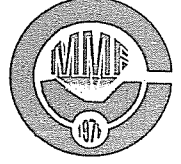




ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT  
VOL 18

SAYI  
NO 1

Haziran  
June 2003

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Probina Orion 2000 ve STA4-CAD Paket Programlarının Yeni Deprem Yönetmeliği Bakımından İrdelenmesi <i>Investigation of Probina Orion 2000 and STA4-CAD Computer Programs in Terms of The New Earthquake Code</i> Tarık BARAN, Erhan KIRAL.....	1
Gedik Parametrelerinin Baraj Yıkılması Taşkın Dalgalarına Etkisi <i>Effects of Breach Parameters on Dam-Break Flood Waves</i> Selahattin KOCAMAN, Hatice (ÖZMEN) ÇAGATAY .....	17
Fiber Çubuklu Kompozit Sistemlerin Mikromekanik Analizi <i>Micromechanic Analysis of Fiber Reinforced Composite Systems</i> H.Murat ARSLAN.....	35
İnşaat Firmalarında Çağdaş Pazarlama ve Teklif Fiyat Belirleme Stratejileri <i>Contemporary Marketing and Bidding Strategies in Construction Firms</i> Mustafa DEMİRCİ, Emel LAPTALI ORAL, Ercan ERDİŞ.....	49
Baraj Yıkılmalarına İstatistiksel Bir Yaklaşım <i>A Statistical Approach to Dam Failures</i> Mehmet SÖYLEMEZ.....	65
Analysis of Biaxially Loaded Polygonal Shaped Reinforced Concreté Members Using Various Stress Distribution Models <i>Eğik Eğilmeye Maruz Poligon Kesitli Betonarme Elemanların Değişik Gerilme Dağılım Modelleri ile Analizi</i> Cengiz DÜNDAR, Serkan TOKGÖZ, A.Kamil TANRIKULU .....	77
İki Boyutlu Elastostatik Problemlerinin Süreksiz Lineer Sınır Elemanları ile Çözümü <i>The Solution of Two Dimensional Elastostatic Problems by Using Discontinuous Linear Boundary Elements</i> Metin Hakan SEVERCAN, A.Hamza TANRIKULU, A.Kamil TANRIKULU.....	85
Çubuk Yöntemiyle İş Programı Hazırlanmasına Yönelik Bir Bilgisayar Programı Yapılması <i>Development of a Computer Program Directed to Prepare Work Schedules by Using Bar Chart Method</i> M.Emin ÖCAL, Eray GÜRKAN.....	99

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

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

**Sahibi**

Tuncay YILMAZ  
Çukurova Üniversitesi  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

**Editör**

Mesut ANIL

**YAYIN KURULU**

Mesut ANIL Beşir ŞAHİN  
Recep YURTAL Hasan ÇETİN  
Osman BABAARSLAN

**YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)**

(SÜREKLİ)

İ.Deniz AKÇALI (Ç.Ü.)	Nur AKIN (İ.T.Ü.)
Ergin ARIOĞLU (İ.T.Ü.)	Orhan AKSOGAN (Ç.Ü.)
Ahmet AYHAN (G.Y.T.E.)	Sedat TEMÜR (S.Ü.)
A.Feyzi BİNGÖL (F.Ü.)	Baki CANIK (A.Ü.)
Cavit DEMİRKOL (Ç.Ü.)	İlhan ERHAN (M.S.Ü.)
Aziz ERTUNC (S.D.Ü.)	Cahit HELVACI (D.E.Ü.)
M.Baki KARAMIŞ (E.Ü.)	Erdal KEREY (İ.Ü.)
Erhan KIRAL (Ç.Ü.)	Salih KIRKGOZ (Ç.Ü.)
Erdem KOC (Ç.Ü.)	Engin MERİÇ (İ.Ü.)
Güven ÖNÄL (İ.T.Ü.)	Işık ÖZPEKER (İ.T.Ü.)
Kazım PIHTILI (F.Ü.)	Senai SALTOĞLU (İ.T.Ü.)
Hamit SERBEST (Ç.Ü.)	Vedia TOKER (A.Ü.)
Bedri TUC (G.Ü.)	İbrahim UZMAY (E.Ü.)
Servet YAMAN (Ç.Ü.)	Cengiz YETİŞ (Ç.Ü.)
Yücel YILMAZ (İ.T.Ü.)	Tuncay YILMAZ (Ç.Ü.)

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

S.Seren AKAVCI (Ç.Ü.)	N.Çaykun ALPASLAN (Y.T.Ü.)
Fikret ANLI (K.S.Ü.)	Mehmet ARDİCİLIOĞLU (E.Ü.)
Emin AYDIN (S.Ü.)	Mesut BAŞIBÜYÜK (Ç.Ü.)
Ali BERKTAY (S.Ü.)	Murat BİKÇE (M.K.Ü.)
Hasan ÇETİN (Ç.Ü.)	Cengiz DÜNDAR (Ç.Ü.)
Hakan ERDEM (19 Mayıs Ü.)	Tefaruk HAKTANIR (E.Ü.)
Demet İRKLİ ERYILDIZ (Gazi Ü.)	Selçuk KACIN (M.K.Ü.)
Amirullah MEMEDOV (Ç.Ü.)	Gülgün MİŞTİKOĞLU (M.K.Ü.)
M.Emin ÖCAL (Ç.Ü.)	Galip SECKİN (Ç.Ü.)
A.Kamil TANRIKULU (Ç.Ü.)	Suat TAŞDELEN (P.Ü.)
Sedat TÜRKMEN (Mer.Ü.)	Mehmet ÜTKÜ (O.D.T.Ü.)
Mustafa YEGİN (Ç.Ü.)	Hüseyin R.YERLİ (Ç.Ü.)
Recep YURTAL (Ç.Ü.)	

**YAZISMA ADRESİ**

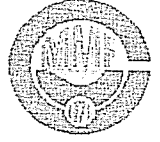
Ç.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı  
01330 Balcalı / ADAÑA

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

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



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT  
VOL 18

SAYI  
NO 1

Haziran  
June 2003

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Probina Orion 2000 ve STA4-CAD Paket Programlarının Yeni Deprem Yönetmeliği Bakımından İrdelemesi <i>Investigation of Probina Orion 2000 and STA4-CAD Computer Programs in Terms of The New Earthquake Code</i> Tarık BARAN, Erhan KIRAL.....	1
Gedik Parametrelerinin Baraj Yıkılması Taşkın Dalgalarına Etkisi <i>Effects of Breach Parameters on Dam-Break Flood Waves</i> Selahattin KOCAMAN, Hatice (ÖZMEN) ÇAĞATAY .....	17
Fiber Çubuklu Kompozit Sistemlerin Mikromekanik Analizi <i>Micromechanic Analysis of Fiber Reinforced Composite Systems</i> H.Murat ARSLAN.....	35
İnşaat Firmalarında Çağdaş Pazarlama ve Teklif Fiyat Belirleme Stratejileri <i>Contemporary Marketing and Bidding Strategies in Construction Firms</i> Mustafa DEMİRCİ, Emel LAPTALI ORAL, Ercan ERDİŞ.....	49
Baraj Yıkılmalarına İstatistiksel Bir Yaklaşım <i>A Statistical Approach to Dam Failures</i> Mehmet SÖYLEMEZ.....	65
Analysis of Biaxially Loaded Polygonal Shaped Reinforced Concrete Members Using Various Stress Distribution Models <i>Eğik Eğilmeye Maruz Poligonal Kesitli Betonarme Elemanların Değişik Gerilme Dağılım Modelleri ile Analizi</i> Cengiz DÜNDAR, Serkan TOKGÖZ, A.Kamil TANRIKULU .....	77
İki Boyutlu Elastostatik Problemlerinin Süreksiz Lineer Sınır Elemanları ile Çözümü <i>The Solution of Two Dimensional Elastostatic Problems by Using Discontinuous Linear Boundary Elements</i> Metin Hakan SEVERCAN, A.Hamza TANRIKULU, A.Kamil TANRIKULU.....	85
Çubuk Yöntemiyle İş Programı Hazırlanmasına Yönelik Bir Bilgisayar Programı Yapılması <i>Development of a Computer Program Directed to Prepare Work Schedules by Using Bar Chart Method</i> M.Emin ÖCAL, Eray GÜRKAN.....	99

Fiber Çubuklarla Güçlendirilmiş Kompozit Plâkların Analizi <i>Analysis of Fiber Reinforced Composite Plates</i> H.Murat ARSLAN, S.Seren AKAVCI.....	115
Baraj Gölünden Taşkın Öteleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması <i>Comparison of Flood Routing Methods Through Reservoirs</i> Hatice ÖZMEN, Tefaruk HAKTANIR.....	129
Öngerilmeli Sürekli Kirişlerin Bilgisayar Programı ile Hesabı <i>Design of Prestressed Continuous Beams with Computer Program</i> İsmail Hakkı ÇAGATAY, M.Selim ARAZ.....	147
Küresel Geometride $S_4$ ile Transport Denkleminin Diamond Difference ve Spektral Green Fonksiyonu Metotları ile Çözümlerinin Karşılaştırılması <i>Comparison of The Solution of The Spektral Green Function and Diamond Difference Methods for Transport Equation with <math>S_4</math> in Spherical Geometry</i> Faruk YAŞA, Süleyman GÜNGÖR.....	163
Yapay Göllerde Kıyı Kenar Çizgisinin Tespitinde Karşılaşılan Sorunlara Bir Örnek: Çukurova Üniversitesi Yerleşkesi ve Seyhan Baraj Gölü <i>An Example of Coastline Application Problem on Artificial Lakes: Cukurova University Campus and Seyhan Dam Lake</i> Kemal GÜRBÜZ.....	175
Bitkisel Yağ Endüstrisi Atıksularının Arıtılması ve Bir Uygulama Örneği <i>Treatment of Vegetable Oil Plant Wastewater a Case Study</i> Ahmet YÜCEER, Demet BİNGÖL.....	187
Osmaniye Atıksularının Özellikleri ve Arıtma Tesisi Planlanmasında Değerlendirilmesi <i>The Characteristics of Osmaniye City Wastewaters and Evaluations for the Planning of Sewege Treatment Plant</i> Ahmet YÜCEER, Oğuzhan GÖK.....	197
Peyniraltı Sularının Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Örtü Reaktörü ile Arıtılabilirliği <i>The Treability of Whey by Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor</i> Ahmet YÜCEER, Ferit IŞIK.....	209
Adana Kanalizasyon Sularının Karakterizasyonu ve Sıcak İklimlerde Arıtma Alternatiflerinin Uygulanabilirliği <i>The Characterization of Adana City Sewerage and Treatability Assesment Using Alternative Treatment Systems in Hot Climates</i> Ahmet YÜCEER, Çağatayhan Bekir ERSÜ.....	219
Mimarlıkta Güneş Enerjisinden Pasif Yararlanma <i>To Take Advantage of Passive Solar Energy in Architecture</i> Erkin ERTEN, Ayşe ÇEVİKER.....	231

## ÖNSÖZ

Fakülte Dergimizin 18. cilt 1. sayısını kısa bir gecikmeyle yayınlamış bulunuyoruz. 2003 yılına ait bu ciltde 18 adet makale yer almaktadır. Bundan sonra yayınlanacak olan 2003 yılı 2. sayısını da Aralık ayında yayınlamayı planlıyoruz. Bu sayımızda da değerli öğretim elemanlarımızın güncel çalışmalarını bekler, dergimize gösterdikleri ilgiye teşekkür ederiz.

Bu sayımıza makale vererek yayın hayatımızı sürdürmemize olanak tanıyan değerli yazarlarımıza, büyük bir özveriyle derginin dizgisini yapan Yayın Bürosu sekreteri Filiz Demirkıran'a ve basımını büyük bir titizlikle gerçekleştiren Üniversitemiz Matbaası yetkililerine teşekkür etmeyi görev biliriz.

Yayın Kurulu



## PROBİNA ORİON 2000 VE STA4-CAD PAKET PROGRAMLARININ YENİ DEPREM YÖNETMELİĞİ BAKIMINDAN İRDELENMESİ

**Tarık BARAN ve Erhan KIRAL**

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

**ÖZET** : Bu çalışmada, inşaat mühendisliği bina proje bürolarında kullanılan *PROBİNA ORİON* ve *STA4-CAD* bilgisayar programlarının, yeni deprem yönetmeliği analiz hesapları bakımından irdelenmesi yapılmaktadır. Önce çeşitli bina taşıyıcı sistemleri *ANSYS 5.3* programı ile çözülmüş ve *SAP-2000* programı sonuçları ile kontrol edilmiştir. Daha sonra kesin olduğu kabul edilen bu sonuçlar ile *PROBİNA ORİON* ve *STA4-CAD* programlarının sonuçları karşılaştırılarak irdelene yapılmıştır. Ayrıca, *PROBİNA ORİON* ve *STA4-CAD* programlarının dayandığı ileri sürülen teorik temeller de incelenmiştir. Böylece deprem yönetmeliğinin analiz hesaplarında belirtilen hususların, *PROBİNA ORİON* ve *STA4-CAD* programları tarafından ne ölçüde yerine getirildiği araştırılmaktadır.

### INVESTIGATION OF PROBINA ORION 2000 AND STA4-CAD COMPUTER PROGRAMS IN TERMS OF THE NEW EARTHQUAKE CODE

**ABSTRACT** : In this thesis, the popular *PROBINA ORION* and *STA4-CAD* computer programs which are used in building project offices is investigated in terms of the analysis aspect of the new Turkish Earthquake Code. First, several building structural systems are solved by the *ANSYS 5.3* and the results are checked with those obtained by *SAP-2000*, which are two well known general purpose structural computer programs. These results are compared with those obtained by *PROBINA ORION* and *STA4-CAD* programs. In addition to this, the theory on which the *PROBINA ORION* and *STA4-CAD* programs are based on is also studied. Therefore, to what extend the analysis aspect of the new Turkish earthquake code is fulfilled by the popular *PROBINA ORION* and *STA4-CAD* computer programs are investigated.

## 1. GİRİŞ

Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe girmiş olan Yeni Türk Deprem Yönetmeliği (TDY98), kat döşemelerinin rijit diyafram olarak modellenmesi için getirilen koşullar, planda ve düşeyde düzensizlik durumları ve kontrolleri, görelî kat ötelemeleri, ikinci merteye etkileri, Mod Birleştirme Yöntemi, Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi gibi birçok olumlu yeniliği beraberinde getirmiştir. Ayrıca bina analizinin üç boyutlu yapılması zorunluluğu da bu olumlu gelişmeler arasındadır.

Bu işlemlerin hepsini veya belli bir kısmını çok hızlı bir şekilde çözümleyen paket programları kullanmak bir zorunluluk haline gelmiştir. Ülkemizde, bu ihtiyaca karşılık vermek amacıyla yazılmış ve kullanılmakta olan PROBİNA, STA4-CAD ve İDE-CAD gibi çeşitli paket programlar bulunmaktadır. Bu tip programlar veri girişini ve çıkışını çok basitleştirmişlerdir.

Bu paket programlar kullanılarak hazırlanan projelerin denetimleri, modeldeki veri eksikliğini veya çözülen problemin şartnamelere uygunluğunu kontrolden öteye gidememektedir. Ülkemizde bu tip programların yeterliliği konusunda henüz bir standart oluşmadığından, paket programların, TDY98 ve diğer yönetmeliklerdeki şartları sağlayıp sağlamadığı araştırılmalıdır. Bu amaçla SAP-2000, ANSYS gibi güvenilir programlar yardımıyla proje bürolarında kullanılan paket programların denetimi yapılabilir. Bu denetimlerde göz önüne alınması gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Programın dayandığı teoriler, yapı statığı, yapı dinamiği, betonarme ve deprem mühendisliği esaslarına uygun olmalıdır.
- Program, ilgili yönetmeliklere uygun olmalıdır.(TDY98, TS500, TS498 gibi). Özellikle, yeni deprem yönetmeliğinde belirtilen, hesaplarda çeşitli düşey yük kombinasyonları ve 4 adet deprem yüklemesi ile 4 adet rüzgar yüklemesi altında binanın 3 boyutlu analizinin yapılması, burulma düzensizliği, yumuşak kat ve zayıf kat düzensizlikleri, görelî öteleme ve ikinci merteye etkileri gibi kontrollerin tümünü yapabilmelidir.
- Binanın, analizinden elde edilecek kesit tesirleri bir yerde saklanmalı ve taşıma gücü yönteminde en elverişsiz etkiyi verecek şekilde birleştirilmelidir.
- Kolon-kiriş ve perde-kiriş birleşim yerlerindeki rijit bölgeler göz önüne alınmalıdır. Ayrıca teçhizat hesabında, kirişlerin perdeye (veya kolona) saplandığı yerdeki azaltılmış kesit tesirleri kullanılmalıdır.

Bu çalışmada, pek çok proje bürosunda kullanılan PROBİNA ORİON (Ver 11) ve STA4-CAD (Ver 9) analiz-tasarım programı, deprem yönetmeliğinin analiz kısmı bakımından irdelenecektir. Ele alınan örnekler önce ANSYS 5.3. programı ile çözülmüş ve SAP-2000 (V. 6.11) ile kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar PROBİNA ORİON ve STA4-CAD programları sonuçları ile karşılaştırılarak irdelenecektir.

## 2. TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNDEKİ (TDY98) ANALİZ YÖNTEMLERİ

Türk Deprem Yönetmeliği üç ana çözüm yöntemi önermektedir. Bunlar arasında yapı analizinde kullanılan esas iki yöntem Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi statik bir yöntem olarak karşınıza çıkmaktadır. Mod Birleştirme Yöntemi dinamik bir yöntem olup, bazı kontrollerden sonra kullanılması zorunlu hale gelmektedir ve uygulanması ve



programlanması daha zordur. Zaman Tanım Alanında Çözüm ise daha çok özel yapılar için kullanılan bir yöntem olup, eski deprem kayıtları esas alınarak yapılan bir analiz türüdür. Bu çözüm yöntemi PROBİNA ORİON (Ver 11) ve STA4-CAD (Ver 9) tarafından kullanılmamaktadır.

### 2.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

TDY98' in, deprem etkisi altındaki yapıların çözümü için önerdiği üç çözüm yönteminden biri olan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, yönetmeliğin öngördüğü hesap yöntemleri içinde uygulaması en kolay olanıdır. Bu yöntemde amaç, yapıya etkiyen ve dinamik bir etki olan depremden dolayı oluşan kuvvetleri, statik olarak kat hizalarına etkilemek ve bu yükler altında çözüm yapmaktır.

Yöntemde, yapıya etkiyen eşdeğer kat deprem yükleri birinci doğal titreşim periyodu kullanılarak elde edilir ve yapıya kat hizalarında her iki analiz yönünde,  $\pm\%5$  eksantrisite uygulanarak yapının statik analizi bu yükler altında yapılır. Buradan elde edilen yer değiştirmelerle yönetmeliğin öngördüğü düzensizlik kontrolleri yapılır. Yöntemin kullanılabilmesi için Tablo 1' deki şartların yerine getirilmesi gerekir. Tabloda adı geçen düzensizlikler TDY98'de ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Eğer bu şartlar sağlanmıyorsa dinamik çözüm yöntemi veya duruma göre rijitliklerin artırılması uygun olur.

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1, 2	A1 türü burulma düzensizliği olmayan, varsa her bir katta $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağlayan binalar	$H_N \leq 25$ m
1, 2	A1 türü burulma düzensizliği olmayan, varsa her bir katta $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağlayan ve ayrıca B2 türü düzensizliği olmayan binalar	$H_N \leq 60$ m
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 75$ m

$H_N$ : Temel üst seviyesinden itibaren ölçülen toplam bina yüksekliği.

Yönetmelikte öngörülen birinci doğal titreşim modunun elde edilmesi için üç farklı yöntem kullanılabilir. Bunlar, Rayleigh Oranı, Ampirik Bağlantı ve Serbest Titreşim Analizidir ( Özdeğer/Özvektör Analizi). Serbest Titreşim Analizi sonucu elde edilen çözüm yönündeki ağırlıklı ilk moda ait periyot birinci doğal titreşim periyodu olarak kullanılabilir. PROBİNA ve STA4-CAD programlarında kullanılan yöntem bu şekildedir.

### 2.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Dinamik bir çözüm tekniği olan Mod Birleştirme Yöntemi' nin temeli elastik davranışa dayanmaktadır.

Esas olarak yapının her bir serbest titreşim modunun, deprem hareketine olan tepkisinin, ayrı ayrı elde edilip daha sonra uygun bir yöntemle birleştirilmesi esasına dayanır. Böylelikle hesaba katılan tüm modların katkısıyla, maksimum yer değiştirmeler ve iç kuvvetler elde edilmiş olur.

### 3. PERDELİ SİSTEMLER

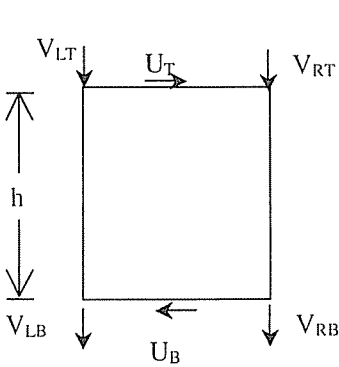
Yatay yüklerin taşınmasında, önemli bir etkisi olan perdelerin modellenmesi paket programlarda oldukça farklı ele alınabilmektedir.

ANSYS ve SAP-2000 programlarında perde geniş kolon olarak veya kabuk elemanı ile modellenebilmektedir. Ancak daha elemanter bir yol olan geniş kolon modeline nazaran perde, kabuk elemanla modellenip yeterli parçaya bölünerek çözüm yapılırsa, daha sağlıklı sonuçlara ulaşmak mümkün olmaktadır.

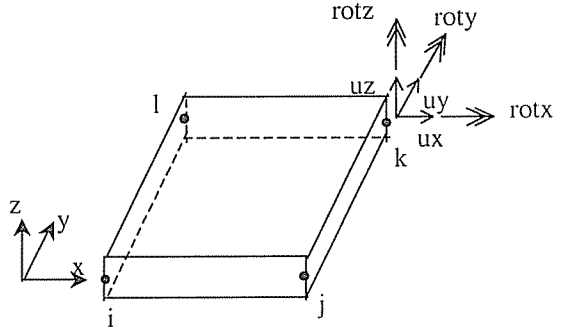
PROBİNA ve STA4-CAD programlarında perde elemanı için farklı kabuller yapılmaktadır. PROBİNA perde için panel elemanı olarak isimlendirilen kolona benzetilmiş bir eleman kullanırken, STA4-CAD perde için geniş kolon modelini kullanmaktadır. Ancak çalışmalarda perde elemanı için poligon kolon gibi değişik modeller de kullanmak mümkün görünmektedir.

#### 3.1. PROBİNA Programı Perde Elemanı:

1. Perde elemanı herhangi iki açıklık arasına yerleştirilebilir. İki kat arasındaki tüm yüksekliği kapsar.
2. Genelde, katlar boyunca sürekli olarak tanımlanan perdeler arasında rijit kirişler (büyük atalet momentli, sıfır kayma alanlı) tanımlanmaktadır.
3. Perde elemanları düşey eğilme elemanlarıdır. Perdelerde oluşan eğilmeler yatay kayma kuvvetlerinin oluşturduğu eğilmelerdir.
4. PROBİNA, perde elemanlarının etkili yüksekliklerini hesaplarken, perdenin altında ve üstünde yer alan kirişlerin derinliklerini göz önüne almamakta ve döşemelerin üst kotları arasındaki mesafeyi kullanmaktadır.
5. En alt kattaki panelin zemine bağlantısı ankastre olarak yapılmaktadır.



(a) PROBİNA Perde Elemanı  
(Panel Eleman)



(b) Uzaysal Kabuk Elemanı  
ANSYS (Shell 63), SAP-2000 (Shell)

Şekil 1. Perdenin Modelenmesinde Kullanılan Elemanlar

Şekil 1 deki büyüklüklerin anlamları ise şöyledir:

$h$  : Kat yüksekliği,

$V_{LT}$  : Panel elemanın sol üst ucundaki eksenine paralel yöndeki deplasman,

$V_{RT}$  : Panel elemanın sağ üst ucundaki eksenine paralel yöndeki deplasman,

$V_{LB}$  : Panel elemanın sol alt ucundaki eksenine paralel yöndeki deplasman,

$V_{RB}$  : Panel elemanın sağ alt ucundaki eksenine paralel yöndeki deplasman,

$U_T$  : Panel elemanın üst ucundaki eksenine dik yöndeki deplasman,

$U_B$  : Panel elemanın alt ucundaki eksenine dik yöndeki deplasman,

$u_x$  : kabuk elemanın herhangi bir noktasında yerel esen takımına göre x eksenini  
yönündeki deplasman,

$u_y$  : Kabuk elemanın herhangi bir noktasında yerel esen takımına göre y eksenini  
yönündeki deplasman,

$u_z$  : Kabuk elemanın herhangi bir noktasında yerel esen takımına göre z eksenini  
yönündeki deplasman,

$rot_x$  : Kabuk elemanın herhangi bir noktasında yerel esen takımına göre x eksenini  
etrafındaki dönme,

$rot_y$  : Kabuk elemanın herhangi bir noktasında yerel esen takımına göre y eksenini  
etrafındaki dönme,

$rot_z$  : Kabuk elemanın herhangi bir noktasında yerel esen takımına göre z eksenini  
etrafındaki dönmedir.

Şekil 1.(a)' da görülen PROBİNA panel elemanı tüm bir kat ve açıklık boyunca devam etmektedir ve toplam 6 adet serbestlik derecesi vardır. Şekil 1.(b)' de ise ANSYS ve SAP-2000 programlarının kullandığı kabuk elemanı görülmektedir, 4 düğümlüdür ve her bir düğüm 6 adet serbestlik derecesine sahiptir. Kat ve açıklık boyunca istenilen sayıda alınarak daha hassas çözüm yapılabilir.

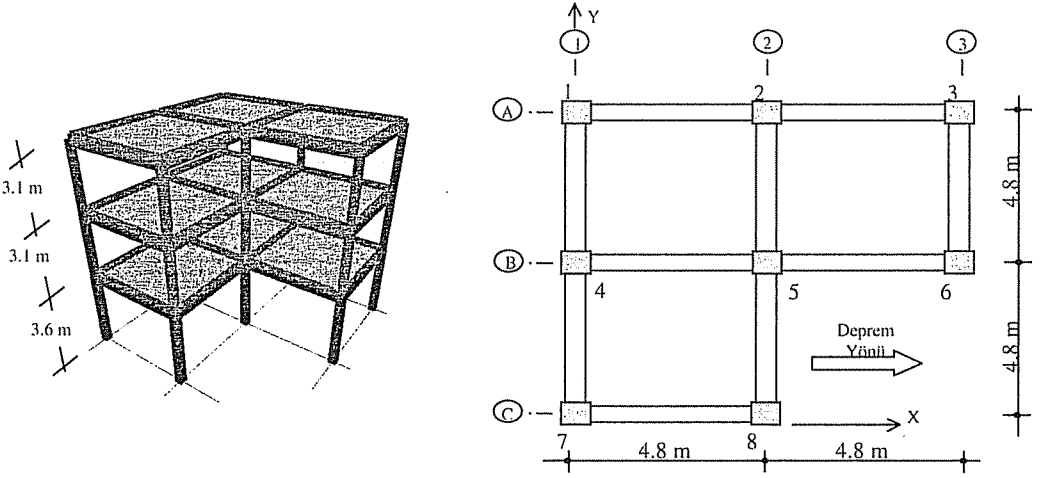
Perdeli Sistemlerin çözümleri için farklı bir yöntem yoktur ancak ek kontroller gerekmektedir. Perdeli sistemlerin ayrıca ele alınmasının sebebi, yatay yüklerin taşınmasında önemli bir eleman olmasının yanı sıra perdeyi modellemek için kullanılan değişik elemanlardan dolayı sonuçlarda oluşabilecek farklılıklardır.

#### 4. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde, seçilen bina tipi yapıların çeşitli yöntemlerle ( Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi) analizi ANSYS, SAP2000, PROBİNA ve STA4-CAD programları kullanılarak yapılmış ve sonuçları periyot değerleri, kesit tesirleri, katlarda deprem hareketinden dolayı oluşan minimum ve maksimum deplasmanlar bakımından karşılaştırılmıştır.

#### Örnek 1

Bu örnekte, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile analizi yapılan yapı Şekil 2'de görülmektedir. Bu örnek daha önce (Celep, Z. ,Kumbasar, N., 1998) tarafından Muto Yöntemiyle ele alınmıştır.



Şekil 2. Örnek 1'e Ait Yapının 3 Boyutlu Görünümü ve Kat Planı

### Bina, Zemin ve Deprem Bilgileri

Kat adedi : 3 Normal Kat,

Bina türü : Konut,

Taşıyıcı sistem türü : Yerinde dökme betonarme çerçeveli sistem,

Deprem bölgesi : 1'inci bölge,

Yerel Zemin Sınıfı : Z3.

Elastisite Modülü:  $2.85 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$

**Sabit Yükler :**  $G_1 = 68.70 \text{ ton}$     **Hareketli Yükler :**  $q = 0.20 \text{ ton/m}^2$   
 $G_2 = 68.70 \text{ ton}$      $q_{çatı} = 0.15 \text{ ton/m}^2$   
 $G_3 = 48.50 \text{ ton}$

Tablo 2. Örnek 1.'e ait yapının kolon boyutları.

KAT NO	KOLON NO	BOYUT (X×Y)
1	Tüm kolonlar (S101 S108)	350 mm × 350 mm
2	Tüm kolonlar (S201 S208)	300 mm × 300 mm
3	S301, S305	300 mm × 300 mm
	S302, S307, S308	250 mm × 300 mm
	S303, S304, S306	300 mm × 250 mm

ANSYS 5.3, SAP-2000, STA4-CAD ve PROBİNA programları ile yapılan çözümlerde, tüm katlar için 250×500 mm dikdörtgen kesitli kirişler alınmıştır.

**Çizelge 1.** Örnek 1.'e ait yapının kat ağırlıklarının oluşturulan bileşenler.

Kat No	wg <sub>i</sub> (ton)				wq <sub>i</sub> (ton)			
	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000
3	48.50	49.02	48.49	48.50	10.368	10.38	10.33	10.30
2	68.70	68.95	68.85	68.70	13.824	13.78	13.82	13.77
1	68.70	68.95	68.74	68.70	13.824	13.78	13.83	13.88

wg<sub>i</sub>(ton): Kat ağırlığına etki eden ölü yük bileşeni(g<sub>i</sub>)

wq<sub>i</sub>(ton): Kat ağırlığına etki eden hareketli yük bileşeni(n×69.12×q<sub>i</sub>)

**Çizelge.2.** Örnek 1.'e ait yapının kat ağırlıkları.

Kat No	w <sub>i</sub> (ton)= wg <sub>i</sub> (ton)+ wq <sub>i</sub> (ton)			
	ANSYS 5.3	PB 2000	STA4	SAP 2000
3	51.6104	52.13	51.588	51.6104
2	72.8472	73.08	72.996	72.8472
1	72.8472	73.08	72.892	72.8472
Σ w <sub>i</sub>	197.305	198.30	197.475	197.305

Çizelge 2.'de görüldüğü gibi kat ağırlıkları bütün programlarda olabildiğince birbirine yakın alınmaya çalışılmıştır. Paket programlar, eleman boyutlarını ve malzeme ağırlığını kullanarak kat ve yapı ağırlığını otomatik olarak hesapladığı için dışardan müdahale ya yapılamamakta ya da zor olmaktadır.

**Çizelge 3.** Örnek 1.'e ait yapının birinci doğal titreşim periyotları (sn).

ANSYS 5.3		PB 2000	STA4	SAP 2000
R a y l e i g h	Modal Analiz	Modal Analiz	Modal Analiz	Modal Analiz
0.540*	0.540	0.5417*	0.5479*	0.5469*

Çizelge 3.'deki periyotların yakın olduğu görülmektedir. Hesaplarda, birinci doğal titreşim periyotlarından yıldızla işaretli olanları kullanılmıştır.

Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (Taban Kesme Kuvvetleri), TDY98 Denk 6.4' ten faydalanılarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.** Örnek 1.'e ait yapının taban kesme kuvvetleri.

V <sub>1</sub> (ton)			
ANSYS 5.3	PB 2000	STA4	SAP 2000
24.663	24.788	24.684	24.663

Yukarıda, bulunan taban kesme kuvvetlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bulunan sonuçlar, ANSYS 5.3, PROBİNA, SAP-2000 ve STA4 CAD programları için TDY98 Denk 6.4' teki koşulu sağlamaktadır. Bulunan Toplam Eşdeğer Deprem Yükü, N' inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına TDY98 Denk 6.9 'a göre dağıtılmıştır.  $H_N \leq 25$  m olduğundan  $\Delta F_N = 0$  olmaktadır.

**Çizelge 5.** Örnek 1.'e ait yapının eşdeğer kat deprem yükleri ( $F_i$ ).

Kat No	$F_i$ (ton)			
	ANSYS 5.3	PB 2000	STA4	SAP 2000
3	9.931	10.02	9.928	9.931
2	9.583	9.61	9.604	9.583
1	5.149	5.16	5.153	5.149

Çizelge 5.'te birbirine çok yakın olarak bulunan eşdeğer kat deprem yükleri ( $F_i$ ), ANSYS 5.3 ve SAP-2000 Programlarında X yönü doğrultusunda, kat hizalarında +%5 eksantrisite ile kaydırılmış kütle merkezlerine etkililerek statik analiz yapılmıştır. PROBİNA Programı bu yüklemeleri otomatik olarak yaptığından X yönü çözümleri alınarak tablolara yansıtılmıştır. ANSYS 5.3 ve SAP-2000 Programlarında sonuç olarak bulunan deplasmanlar kullanılarak, düşeyde ve planda düzensizliklerin TDY98' e göre kontrolü yapılmıştır. PROBİNA Programı ise bu kontrolleri her iki deprem yönünde ve her iki yönde de  $\pm$  eksantrisite durumları için TDY98' e uygun olarak yapmaktadır.

**Çizelge 6.** Örnek 1.'e ait yapı için burulma düzensizliği kontrolü ( $A_1$ ).

Kat No	$(d_i)_{max}$				$(d_i)_{min}$			
	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000
3	0.01453	0.01471	0.01605	0.01490	0.01198	0.01269	0.01254	0.01226
2	0.01098	0.01097	0.01131	0.01127	0.00896	0.00966	0.00936	0.00918
1	0.00525	0.00522	0.00543	0.00538	0.00427	0.00462	0.00445	0.004369
Kat No	$(\Delta_i)_{max}$				$(\Delta_i)_{min}$			
	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000
3	0.00355	0.00373	0.00466	0.00364	0.00302	0.00303	0.00317	0.00309
2	0.00573	0.00575	0.00596	0.00588	0.00469	0.00504	0.00491	0.00481
1	0.00525	0.00522	0.00543	0.00538	0.00427	0.00462	0.00445	0.00437
Kat No	$(\Delta_i)_{ort}$				$\eta_{bi}$			
	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000
3	0.00328	0.003385	0.00392	0.00336	1.08	1.10	1.19	1.08
2	0.00521	0.005395	0.00543	0.00534	1.10	1.07	1.10	1.10
1	0.00476	0.004919	0.00494	0.00487	1.10	1.06	1.10	1.10

ANSYS 5.3, SAP-2000, PROBİNA ve STA4 CAD program sonuçları birbirine yakın olup,  $A_1$  düzensizliğine rastlanmamaktadır ( $\eta_{bi} < 1.2$ ). Ancak maksimum ve minimum deplasmanlar incelendiğinde STA4-CAD programının sonuçlarının, ANSYS

5.3, SAP-2000 ve PROBİNA programlarının sonuçlarından bir miktar farklı olduğu görülmektedir. Bina yüksekliği 25 m 'den küçük olduğu için B2 düzensizliği incelenmemiştir. PROBİNA programında ise her durum için B2 düzensizliği kontrolü yapılmaktadır.

**Çizelge 7.** Örnek 1.'e ait yapının görel kat ötelemeleri kontrolü.

Kat No	$h_i$	$(\Delta_i)_{max}$				$(\Delta_i)_{max}/h_i$			
		ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000
3	3.1	0.00355	0.00373	0.00466	0.00364	0.00114	0.00120	0.00150	0.00117
2	3.1	0.00573	0.00575	0.00596	0.00588	0.00185	0.00186	0.00192	0.00190
1	3.6	0.00525	0.00522	0.00543	0.00538	0.00146	0.00145	0.00151	0.00149

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

$$(\Delta_i)_{max}/h_i \leq 0.02/R=0.0025$$

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden görel kat ötelenmesinin sınırları TDY98 Denk 6.20'de belirtilen yukarıdaki şartlardan küçük olana göre incelenir. Çizelge 7'de görüldüğü üzere bu örnek için her dört programın da sonuçlarına göre sınır değerler aşılmamaktadır. ANSYS 5.3, SAP-2000 ve PROBİNA sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir, ancak STA4 CAD sonuçları bir miktar farklıdır.

**Çizelge 8.** Örnek 1.'e ait yapının için ikinci mertebe etkilerinin kontrolü ( $\theta_i$ ),

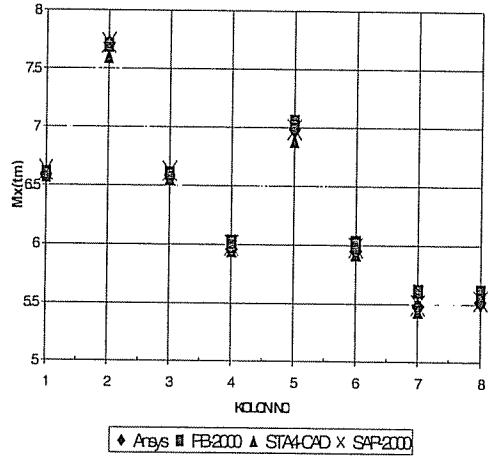
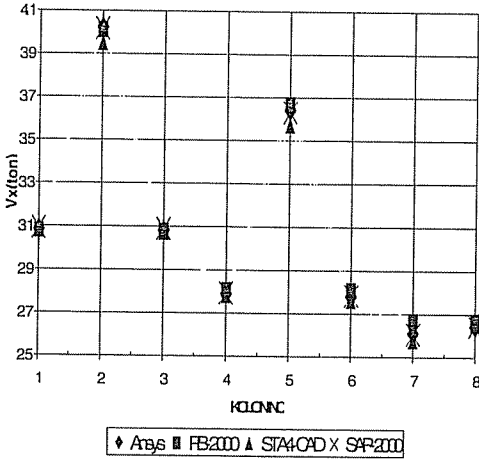
Kat No	$w_i$				$\sum_{j=1}^N w_j$			
	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000
3	51.61	52.13	51.59	51.61	51.6104	52.1300	51.5900	51.6104
2	72.85	73.08	73.00	72.85	124.458	125.218	125.590	124.458
1	72.85	73.08	72.89	72.85	197.305	198.302	197.475	197.305
Kat No	$(\Delta_i)_{ort}$				$V_i$			
	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000	ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP 2000
3	0.00328	0.00338	0.00392	0.00336	9.93100	10.0220	9.9280	9.93100
2	0.00521	0.00539	0.00543	0.00534	19.5140	19.6270	19.532	19.5140
1	0.00476	0.00492	0.00494	0.00487	24.6630	24.7880	24.6840	24.6630
Kat No	$h_i$	$\theta_i$						
		ANSYS 5.3	PB 2000	STA 4	SAP-2000			
3	3.1	0.00551	0.0057	0.00657	0.00559			
2	3.1	0.01072	0.0111	0.01180	0.01099			
1	3.6	0.01187	0.0109	0.01098	0.01082			

TDY98 Denk 6.21'e göre her katta, ikinci merteye etkilerinin gerekliliği kontrolünde kullanılan  $\theta_i$  parametresi 0.12'den küçük olmalıdır. Çizelge 8'de görüldüğü gibi ANSYS5.3, SAP-2000, PROBİNA ve STA4-CAD program sonuçlarına göre ikinci merteye etkilerinin gerekliliği kontrolü sonrası, dört programda TDY98' in istediği şartı sağlamaktadır.

Bu aşamada, birinci katta oluşan, en kritik kesit tesirleri deprem yönündeki kesme ve kolon alt uçlarındaki moment değerleri grafik olarak verilmiştir.

1.KAT X YÖNÜ KESME KUVVETLERİ

1.KAT X YÖNÜ KOLON ALT MOMENTLERİ



Şekil 3. Örnek 1'e ait Yapının 1.Katında Deprem Yönünde Kolonlarda Oluşan Kesme Kuvveti ve Kolon Alt Momenti Değerleri

## Örnek 2

Bu örnekte, Örnek 1 'de ele alınan yapının Mod Birleştirme Yöntemi ile deprem analizi yapılmıştır.

Çizelge 9. Örnek 2.'ye ait yapının kat kütle eylemsizlik momentleri

Kat No	$m_i$				$m\theta_i$ (mr <sup>2</sup> )			
	ANSYS S	PB-2000	STA4	SAP-2000	ANSYS S	PB-2000	STA4	SAP-2000
3	5.2610	4.996	5.2587	5.2610	74.07490	114.0640	74.04272	74.07490
2	7.4258	7.029	7.4410	7.4258	104.5554	159.1250	104.7690	104.5554
1	7.4258	7.029	7.4304	7.4258	104.5554	159.1250	104.6197	104.5554
$M_T$	20.1126	19.054	20.1300	20.1126				

Çizelge 9 incelendiğinde PROBİNA programında kütle değerlerinin farklılığı göze çarpmaktadır. Bu durum PROBİNA programının kütle hesapları hareketli yükten dolayı oluşan ağırlığı hesaba katmaması sonucu oluşmaktadır. Benzer bir farklılık m $\theta$



değerlerinde görülmektedir, bu farklılığın sebebi ise toplanmış kütle kabulüne dayanmaktadır.

Kat kütleleri ANSYS ve SAP-2000 programlarında, +%5 kaydırılmış kütle merkezlerinde tanımlanmış ve yapının serbest titreşim analizi yapılarak aşağıdaki periyotlar bulunmuştur. PROBİNA programında ise örnekte ey bileşeni sıfır alınarak SX+ ve SX- kombinasyonları oluşturulmuştur. SX+/SY+ kombinasyonu ise PROBİNA programındaki standart dört kombinasyon halinden biridir.

Çizelge 10. Örnek 2.'ye ait yapının titreşim periyotları (sn)

MOD	1	2	3	4	5	6	7
ANSYS	0.5460	0.5400	0.3730	0.1950	0.1930	0.1390	0.1270
PB-2000 (SX+)	0.5531	0.5322	0.4647	0.1954	0.1905	0.1737	0.1270
PB-2000 (SX+/SY+)	0.5485	0.5322	0.4588	0.1990	0.1906	0.1714	0.1283
STA4	0.5479	0.5452	0.3846	0.2049	0.2030	0.1458	0.1287
SAP-2000	0.5520	0.5457	0.3732	0.1970	0.1942	0.1321	0.1288

Çizelge 10. incelendiğinde dört programın da periyotları birbirine yakın bulunduğu görülmektedir. m $\theta$  değerindeki farklılıktan dolayı 3 ve 6. periyotlar PROBİNA'da farklı elde edilmiştir.

Kümülatif oran değerlerinin verildiği aşağıdaki Çizelge 11. incelendiğinde, sonuçların yakın çıktığı görülmektedir. ANSYS, SAP-2000, PB-2000 ve STA4-CAD için ilk dört modum yeterli olduğu görülmektedir. Çözümde ANSYS, SAP-2000, PB-2000 de ilk 4 mod göz önüne alınmıştır. STA4-CAD programında ise ilk 8 mod kullanılarak çözüm yapılmıştır. PROBİNA' da ise SX+ ve SX+/SY+ kombinasyonları arasındaki ilk periyoda ait kümülatif orandaki fark dikkat çekicidir

Çizelge 11. Örnek 2.'ye ait yapının etkin kütle oranları

Mod	Kümülatif Oran				
	ANSYS	PB-2000 (SX+)	PB-2000 (SX+/SY+)	STA4	SAP-2000
1	0.8424	0.7881	0.4764	0.8650	0.8373
2	0.8553	0.8090	0.7921	0.8650	0.8566
3	0.8724	0.8719	0.8723	0.8650	0.8736
4	0.9667	0.9490	0.9074	0.9638	0.9613
5	0.9668	0.9494	0.9558	0.9638	0.9667
6	0.9682	0.9687	0.9687	0.9638	0.9684
7	0.9985	0.9934	0.9849	1.0004	0.9966

Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra taban kesme kuvvetleri statik ve dinamik hal için aşağıdaki gibi bulunmuştur.

**Çizelge 12.** Örnek 2.'ye ait yapının Taban Kesme Kuvvetleri

Taban Kesme Kuvveti	ANSYS	PB-2000 (SX+)	PB-2000* (SX+/SY+)	STA4	SAP-2000
$V_{IB}$ (ton)	21.320	19.434	18.757	21.538	21.321
$V_t$ (ton)	24.663	24.788	24.788	24.684	24.663

\*PROBİNA programı en büyük değeri alıp işlem yaptığı için buraya alınan değeri değil daha büyük bir değer olan (SX-/SY-) değerini kullanarak işleme devam etmektedir.

Çizelge 12.'den taban kesme kuvvetlerinin ( $V_{IB}$ ) PROBİNA hariç, diğer programlarda yakın çıktığı görülmektedir.

Bulunan değerlere bağlı olarak, deprem yönetmeliğinde belirtilen büyütme katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

**Çizelge 13.** Örnek 2.'ye ait yapının iç kuvvet ve deplasman büyütme katsayısı.

$(\beta \times V_t / V_{IB})$				
ANSYS $\beta=0.90$	PB-2000 (SX+) $\beta=0.90$	PB-2000 (SX+/SY+) $\beta=0.90$	STA4 $\beta=0.90$	SAP-2000 $\beta=0.90$
1.0411	1.1480	1.1894	1.0315	1.0411

PROBİNA programı, en elverişsiz kombinasyonu seçmektedir. elverişsiz kombinasyonlar kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Aşağıda, dinamik çözüm sonrası maksimum ve minimum deplasmanlar verilmektedir.

**Çizelge 14.** Örnek 2.'ye ait yapının minimum ve maksimum kat deplasmanları (m)

Kat No	$(d_i)_{max}$				$(d_i)_{min}$			
	ANSYS	PB-2000 (SX+)	STA4	SAP-2000	ANSYS	PB-2000 (SX+)	STA4	SAP-2000
		PB-2000 (SX+/SY+)				PB-2000 (SX+/SY+)		
3	0.01379	0.01380	0.01457	0.01409	0.00960	0.00678	0.01137	0.00982
		0.01393				0.00794		
2	0.01050	0.01042	0.01031	0.01075	0.00726	0.00521	0.00847	0.00749
		0.01053				0.00544		
1	0.00502	0.00496	0.00489	0.00515	0.00346	0.00249	0.00401	0.00357
		0.00500				0.00260		

PROBİNA'dan elde edilen  $(d_i)_{min}$  değerlerinin oldukça farklı olduğu görülmektedir.

Yapılan kontrollerden sonra büyütme katsayısının tekrar hesaplanması gerekmektedir. Yeniden hesaplanan büyütme katsayıları aşağıdaki gibidir.

**Çizelge 15.** Örnek 2.'ye ait yapının iç kuvvet ve deplasman büyütme katsayısı( $\beta=1.00$ )

$(\beta \times V_i / V_{iB})$				
ANSYS	PB-2000 (SX+)	PB-2000 (SX+/SY+)	STA4	SAP-2000
1.157	1.280	1.3215	-	1.157

Büyütme katsayıları kullanılarak elde edilen birinci kat kolon alt aşağıda verilmiştir. Çizelge incelendiğinde bulunan kesit tesirlerinin, deplasmanlardaki farklılığa rağmen, birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ancak STA4-CAD programı, A1 ve B2 kontrollerinde düzensizlik tespit etmediği için kesit tesirleri de deplasmanlarda olduğu gibi büyütülmeden ( $\beta=0.90$  alınarak) kullanıcıya sunulmakta ve bu bilgileri tasarım aşamasında da aynen kullanılmaktadır.

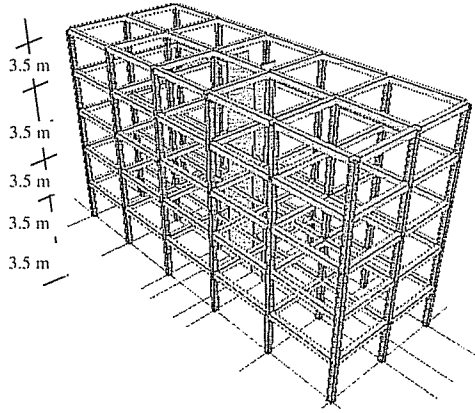
**Çizelge 16.** Örnek 2' ye ait yapının 1.kat kolon moment değerleri(Dep Yönü x)

Kolon No	Mx <sub>AH</sub> (ton m)				
	ANSYS	PB 2000 (SX+)	PB 2000 (SX+/SY+)	STA4-CAD	SAP 2000
S101	7.01	7.39	7.50	5.93	7.05
S102	8.21	8.62	8.74	6.85	8.22
S103	7.01	7.39	7.50	5.91	7.04
S104	5.88	5.77	5.93	5.36	5.92
S105	6.89	6.75	6.94	6.20	6.91
S106	5.86	5.77	5.93	5.34	5.90
S107	4.93	4.74	4.95	4.90	4.97
S108	4.97	4.74	4.95	4.98	5.02

### Örnek 3

Bu örnekte ortasında bir shaft bulunan ve Şekil 4.'te görülen yapı incelenmiştir. Bu örnek daha önce (Özdemir, E. K.,1999) tarafından ele alınmıştır.

Kat ağırlıkları PROBİNA ve STA4-CAD programlarında otomatik olarak hesaplandığından olabildiğince ANSYS ve SAP-2000 programlarında kullanılan kat ağırlıklarına yakın alınmıştır. Analiz yapılırken, ANSYS ve SAP-2000 programlarında kabuk elemanın yanı sıra ANSYS' te BEAM24 ve SAP-2000' de poligonal kesitli çubuk elemanlar da çözümlerde ne kadar yakın sonuç vereceğini görmek amacıyla kullanılmıştır. Sonuçlar da ise sadece ortada bulunan shaft elemanın alt momentlerine bakılmıştır.



Şekil 4. Örnek 3.'e ait yapı.

Çizelge 16. Örnek 3'e ait yapının birinci doğal titreşim periyotları (sn)

ANSYS		PB-2000	STA4	SAP-2000	
Beam24 Rayleigh	Shell63 Rayleigh	Modal Analiz	Modal Analiz	Poligon K. Modal	Shell Modal
0.581	0.579	0.592	0.593	0.5989	0.5946

Çizelgeden periyotların yakın olduğu görülmektedir. Bundan sonra binanın bulunduğu deprem bölgesi, zemin tipi, yapı önem katsayıları gibi büyüklükler kullanılarak yapıya etkiyecek taban kesme kuvvetleri bulunur. Bulunan taban kesme kuvvetlerinin yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 17. Örnek 3.'e ait yapının Taban Kesme Kuvvetleri,

$V_1$ (ton)					
ANSYS		PB-2000	STA4	SAP-2000	
Beam24	Shell63			Poligon K.	Shell
54.411	54.549	54.282	53.546	53.094	53.401

Çizelge 18. Örnek 3'e ait yapının asansör şaftı taban momenti.

ASANSÖR ŞAFTI TABAN MOMENTLERİ (ton-m)					
ANSYS		PB-2000	STA4	SAP-2000	
Beam24	Shell63			Poligon K.	Shell
231.158	226.58	143.94	212.923	208.488	215.827

Çizelgeden görülebileceği gibi taban kesme kuvvetleri yakın olmasına rağmen PROBİNA programında şaft momentinin oldukça farklı olduğu görülmektedir. PROBİNA programı sistemi çerçevelere bölerek analiz yaptığı için bu şaft gibi birlikte çalışan perde durumlarında herhangi bir aks üzerindeki perdenin rijitliğini tek başına çalışan bir perdeymiş gibi dahil etmektedir. Yani depreme dik doğrultudaki perde rijitlikleri olduğundan küçük olarak, şaftın toplam rijitliğini etkilemektedir. Eğer birlikte çalışma söz konusuysa perdelerin birlikte çalıştıkları durum için bir atalet momenti hesaplanmalı ve perdeler bu elle hesaplanan değer girilmelidir.

Program üreticisi tarafından önerilen, bunun gibi bir şaft örneğinde, deprem yönüne  $y$ , depreme dik doğrultu  $x$  olarak alınırsa;  $y$  yönündeki şaft atalet momenti  $I_y$  hesaplandıktan sonra  $y$  yönündeki perdeler dağıtılmasıdır. Bu örnekte PROBİNA programına  $I_{y\text{perde}} = I_{y\text{şaft}} * 3/2$  formülü ile hesaplanan değer perdenin  $y$  yönündeki eğilme atalet momenti olarak girilirse; yapı periyotlarında fazla bir değişim olmadan, şaft taban momenti 220.83 ton-m olarak elde edilebilmektedir.

## 5. SONUÇ

PROBİNA ORİON, STA4-CAD, ANSYS ve SAP-2000 programlarıyla çözülen örneklere ait sonuçlar karşılaştırıldığında, PROBİNA ORİON ve STA4-CAD ile ilgili ortaya çıkan değerlendirmeler aşağıdaki gibidir.

Programların TDY98' e uyumlu olduğu, istenilen bütün kontrolleri yaptığı ve sonuçları da oldukça anlaşılır bir şekilde kullanıcıya sunduğu görülmektedir.

PROBİNA ORİON programında, Mod Birleştirme Yönteminde kullanılan Kütle Dönme Atalet Momenti, Toplanmış Kütle kabulü ile hesaplanmaktadır. Bu kabulde kütleler, kolonların bulunduğu düğüm noktalarına yerleştirilmektedir. Özellikle kolon sayısının az olduğu durumlarda, Yayılı Kütle Kabulü ile Toplanmış Kütle Kabulü arasında farklılıklar oluşmaktadır. Bu durum, özellikle burulmayı idare eden modun farklı olmasına sebep olmaktadır.

STA4-CAD programında ise kütleler bir çubuk üzerine toplanmış gibi düşünülerek modlar ve mod vektörleri hesaplanmaktadır. Mod birleştirme yönteminde kütlelerin, serbest titreşim analizi sırasında kaydırılması gerekirken program bu kaydırma işlemini yapmamaktadır.

PROBİNA ORİON programında, Mod Birleştirme Yöntemi ile analiz yapılırken, Serbest Titreşim Analizi sırasında TDY98'in öngördüğü, kütlelerin  $\pm 5\%$  kaydırılması eksenler üzerinde yapılmamaktadır. Bu durumda sonuçlarda bazı farklılıklar oluşmaktadır.

PROBİNA ORİON programında, Perde elemanı için oluşturulan modelin bazı örneklerde oldukça farklı sonuçlar verdiği, özellikle iki kenarında kolon bulunan perde elemanlarının poligon kolon veya geniş kolon olarak uygulanmasının daha verimli olabileceği görülmüştür. Perdeler için mevcut Panel Elemanı yerine daha gelişmiş bir eleman kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Her iki programın sonuçlarının perdesiz bina ve Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi ile analiz yapıldığında, ANSYS ve SAP-2000 program sonuçlarına büyük oranda uyum gösterdiği ve kesit tesirlerinin de aynı uyumla elde edildiği görülmektedir.

PROBİNA ORİON programında, Mod Birleştirme Yöntemiyle yapılan çözümler de ise kat hizalarındaki deplasmanlar bir miktar farklı olsa da, program kesit tesirlerini daha yakın hesaplamaktadır.

PROBİNA ORİON programında, model kurulurken, aynı aks üzerinde iki eleman tanımlanamamakta (perde/kiriş) dolayısıyla karşılaştırmada kullanılan örneklere yakınlık sağlayabilmek için alternatif yollar aramak durumunda kalınmaktadır. Ayrıca çepeçevre bodrum perdesi örneğinde olduğu gibi, yan yana iki perde tanımlaması durumunda hata iletisi alınmaktadır. Bu durum özel projelerde sorunlar çıkarabilmektedir.

PROBİNA ORİON programı çerçeveler halinde çözüm yaptığı için, eğer bir kolon herhangi bir yönde çerçeve dışında kalıyorsa, kolonun o yöne ait kesit tesirlerini bulmak mümkün olmamaktadır.

Her iki programında bilgi girişi oldukça kolay ve kullanışlı olmakla birlikte kullanılan bazı terimlerde notasyon farklılıkları mevcuttur.

## 6. KAYNAKLAR

1. Prota Bilgisayar A.Ş., "Probina Orion Ver 9 Kullanma Kılavuzu", Prota Bilgisayar, Ankara, 215s., 1999.
2. Amasralı,S., "Sta4-Cad Ver 8.1 Kullanma Kılavuzu", Tasarım Matbaacılık, İstanbul, 208s.
3. Celep,Z., Kumbasar,N., "Yapı Dinamiği Ve Deprem Mühendisliğine Giriş", Sema Matbaacılık, İstanbul, 422s., 1996.
4. Celep,Z., Kumbasar,N., "Betonarme Yapılar", Sema Matbaacılık, İstanbul, 888s., 1998.
5. Dündar,C., Kural,E., Tanrıku,K., Tokgöz,S, "Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Bina Analiz ve Tasarımı", İnşaat Mühendisleri Odası Adana Şubesi, Adana, 102s., 1998.
6. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Eğitim Merkezi, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir, 85s., 1998.

## GEDİK PARAMETRELERİNİN BARAJ YIKILMASI TAŞKIN DALGALARINA ETKİSİ

Selahattin KOCAMAN ve Hatice (ÖZMEN) ÇAĞATAY

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

**ÖZET :** Barajlar, toplum için su temini, taşkın kontrolü, hidroelektrik enerji üretimi, sulama ve rekreasyon gibi önemli faydalar sağlar. Oldukça güvenli yapılar olmalarına rağmen geçmişte meydana gelen bir çok felaket her barajın yıkılabileceğini ve bir yıkılma riskine sahip olduğunu göstermektedir. Bir barajın yıkılması durumunda rezervuarında depolanmış olan çok büyük miktardaki su gedikten boşalarak mansapta çok sayıda can kaybına ve önemli hasarlara neden olabilecek bir taşkın yaratabilir. Bu nedenle baraj yıkılması sonucunda oluşan potansiyel taşkın koşullarının belirlenmesi ve su basması haritaları ile tahliye programlarını da içeren acil durum planlarının geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkın dalgalarının büyüklüğü farklı gedik parametreleri için incelenmiş ve taşkın hidrografi mansap boyunca ötelenmiştir. NWS FLDWAV adlı bilgisayar modeli kullanılarak Kozan Barajı üzerinde bir uygulama yapılmıştır.

### EFFECTS OF BREACH PARAMETERS ON DAM-BREAK FLOOD WAVES

**ABSTRACT :** Dams provide many benefits for society such as water supply, flood control, hydropower, irrigation and recreation. Although dams are considerably safe structures, many disasters which have occurred in the past show that every dam can fail and has risk to fail. In the case of the dam failure, large quantities of stored water in the reservoir releases through the breach into the downstream of the valley and can create major floods that can cause a great number of death and serious damages. Therefore, it is important to predict potential flood conditions resulting from potential failure of a dam and to develop emergency action plans including inundation maps and evacuation programs. In this study, magnitude of the flood waves resulting from dam break has been examined for different breach parameters and flood hydrograf has been routed along downstream. A case study was performed on Kozan Dam by using the computer model NWS FLDWAV.

## 1. GİRİŞ

Bir barajın yıkılması halinde, rezervuarında depolanmış olan çok büyük miktarda su yun kısa süre içerisinde boşalması mansapta büyük taşkınlara neden olacağından önemli ölçüde maddi hasarlar ve can kayıpları meydana gelebilir. Bu tür olayların etkileri, gözlemlerin yanı sıra sayısal ve fiziksel modellerden sağlanan bilgilere dayanarak acil durum planlarının hazırlanması ve baraj yıkılmasından dolayı sel basacak alanların belirlenmesiyle azaltılabilir. Böyle bir çalışma matematiksel modeller kullanılarak baraj yıkılması sonucunda oluşan ani taşkın dalgasının belirlenerek mansap akarsu yatağı boyunca ötelenmesiyle, önceden belirlenen kesitlere ne zaman, hangi yükseklikte ve hangi debide varacağını, ne kadar zaman sonra hangi yüksekliğe düşeceğini tahmin etmeye yöneliktir.

Baraj yıkılması taşkın analizi genel olarak iki kısımda ele alınır. İlk olarak baraj gövdesi üzerinde meydana gelen bir gedikten çıkan taşkın hidrografi hesaplanır, daha sonra bu hidrograf mansaptaki akarsu kesiminde ötelenir. Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkınların akarsu boyunca ötelenmesi için kullanılan modellerin bir çoğunda gedik oluşumu ötelemeden ayrı olarak düşünülür ve gedik karakteristikleri bağımsız olarak belirlenerek taşkın öteleme modellerine girdi olarak kullanılır.

Baraj yıkılması anında gövde üzerinde meydana gelen gediğin modellenmesi ve gedik genişliği, derinliği, kenar eğimi, gedik oluşma zamanı gibi parametrelerin tahmini baraj yıkılması analizinin en büyük belirsizliğini oluşturmaktadır. Bu konu üzerinde literatürde yapılan pek çok çalışma geçmiş baraj yıkılmalarından elde edilen sınırlı bilgilere yada gedik oluşumuyla ilgili akım rejimleri ve erozyon mekanizmalarını tam yansıtmayan sayısal modellere dayanır (1-6). Gedik parametreleri belirlendikten sonra gedikten çıkan taşkın hidrografi yıkılma biçimine göre kalın kenarlı savak veya orifis formülü kullanılarak hesaplanır (7,8).

Gedikten çıkan taşkın, baraj mansabında ötelenmesinde, süreklilik ve momentum (Saint-Venant) denklemlerinin sayısal çözümüne dayanan dinamik dalga yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, ağırlıklı dört noktalı kapalı sonlu farklar ile belirli başlangıç ve sınır şartları altında çözüm yapılmaktadır (9). NWS FLDWAV adlı bilgisayar modeli kullanılarak Kozan Barajı üzerinde uygulama yapılmıştır (7).

## 2. GEDİK OLUŞUMU VE GEDİKTEN ÇIKAN AKIM HİDROGRAFININ BELİRLENMESİ

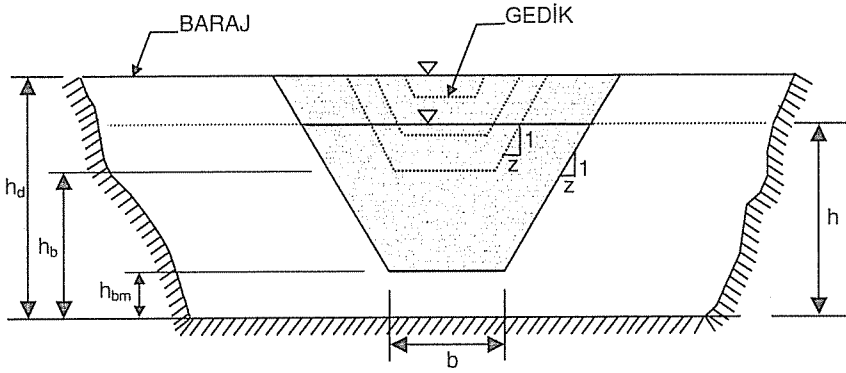
Bir barajın yıkılması sırasında baraj gövdesinin üzerinde meydana gelen açıklık gedik (breach) olarak adlandırılır. Gediğin oluşum hızı, oluşum zamanı ve son boyutları çıkan akımın hızını, pik değerini ve barajın mansabında oluşacak taşkın büyüklüğünü önemli ölçüde etkiler. Bu yüzden gedik karakteristiklerinin doğru seçilmesi çıkan akıma ait hidrografın şekli ve öteleme sonuçları açısından oldukça önemlidir.

Gerçek yıkılma mekanizmasındaki belirsizlik nedenlerinden dolayı, olayı basite indirmek için barajlarda gedik oluşumunun her zaman sonlu bir zaman aralığında ( $\tau$ ) meydana geldiği düşünülerek gediğin herhangi bir son taban genişliği parametresi ( $b$ ) ile belirlenen bir sonuç büyüklüğüne sahip olduğu ve diğer bir parametre olan gedik kenar eğimine ( $z$ ) bağlı olarak farklı şekillerde oluşabileceği kabul edilir. Yani gediğin fiziksel olarak tanımlanabilmesi için gerekli parametreler gedik derinliği, gedik taban genişliği, gedik kenar eğimi ile gediğin başlaması ve gelişmesi için gerekli zamandır.



Dolgu barajlarda gedik oluşumu farklı biçimlerde olabilir. Genellikle üstten aşma ve borulanma şeklinde iki farklı yıkılma biçimi modellenmektedir. Gövde üzerinden su aşması sonucu meydana gelen yıkılmada gedik parametrelerinin belirlenmesi zor olmakla birlikte gövde içerisinde oluşan dahili bir kanalın genişlemesi sonucunda meydana gelen borulanma yıkılmasında bu iş daha güç olmaktadır.

Baraj gövdesi üzerinden su aşması halinde yıkılmanın başlaması için, barajın mansap yüzünde yeterli aşınmaya sebep olacak miktarda akımın gövde üzerinden geçmesi ve barajın memba yüzeyinde de aşınmanın başlaması gerekir. Böylece baraj gövdesinde daha fazla akımın geçtiği zamanla genişleyen bir açıklık meydana gelir (Şekil 1). Şekilde  $h_d$  baraj yüksekliği,  $h_b$  herhangi bir andaki gedik taban yüksekliği,  $h_{bm}$  gedik tabanının son yüksekliği,  $b$  gedik tabanının son genişliği,  $h$  baraj gölünün değişen su seviyesi,  $z$  ise gedik kenar eğimidir.



Şekil 1. Üstten aşma sonucu gedik oluşumu

Üstten aşma yıkılması durumunda gediğin Şekil 1'de görüldüğü gibi zamanla baraj kretinden aşağı doğru ilerleyerek dikdörtgen, üçgen veya yamuk şeklinde geliştiği varsayılır. Örneğin  $z=0$  ve  $b>0$  dikdörtgen gedik şeklini,  $z >0$  ve  $b=0$  üçgen gedik şeklini tanımlar. Herhangi bir anda gedikten geçen akım kalın kenarlı savak denklemi kullanılarak hesaplanır.

Şekil 1'de görüldüğü gibi gedik taban genişliğinin bir noktadan başladığı ve son gedik taban genişliğine ( $b$ ) erişilene ve gedik tabanının son kotu olan  $h_{bm}$  seviyesine aşınana kadar yıkılma süresince ( $\tau$ ) lineer veya lineer olmayan bir hızda genişlediği kabul edilir.

$h_b$ ,  $\tau$ 'nin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki ifade ile hesaplanır:

$$0 < t_b \leq \tau \text{ ise, } h_b = h_d - (h_d - h_{bm}) \left( \frac{t_b}{\tau} \right)^\rho \quad (1)$$

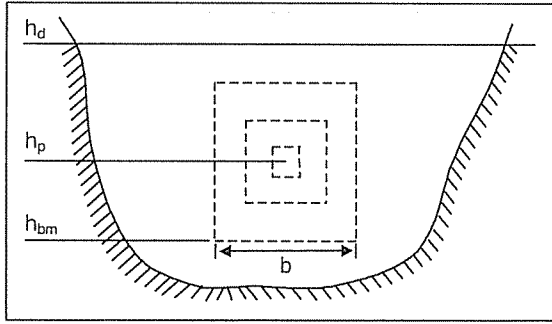
$$t_b > \tau \text{ ise, } h_b = h_{bm} \quad (2)$$

Bu ifadeye  $t_b$ , gedik oluşumunun başlangıcından itibaren geçen süre,  $\rho$  gedik oluşum hızını gösteren parametredir ( $1 \leq \rho \leq 4$ ).

Herhangi bir  $t_b$  anındaki gedik taban genişliği ( $b_i$ ) aşağıdaki ifade ile hesaplanır:

$$0 < t_b \leq \tau \text{ ise, } b_i = b \left( \frac{t_b}{\tau} \right)^p \quad (3)$$

Borulanma yıkılması, baraj gövdesi üzerinde borulanmanın başladığı herhangi bir seviyede belirlenen bir merkez çizgisi yüksekliği  $h_p$  ve  $z = 0$  alınarak bu merkezden genişleyen dikdörtgen bir orifis olarak tanımlanır. Mema yüzü borulanma olayının ilk safhalarında yavaş yavaş aşındığından, borulanma için yıkılma süresi gövde üzerinden su aşması durumuna göre çok daha uzundur. Erozyon sürerken gittikçe genişleyen bir açıklık oluşur ve sonunda baraj üst kısmının çökmesiyle yıkılma hızlanır. Herhangi bir anda gedikten geçen akım, göldeki su seviyesi ve orifis üst seviyesi arasındaki ilişkiye bağlı olarak orifis veya savak denklemleri ile hesaplanır.



Şekil 2. Borulanma ile gedik oluşumu

Yamuk enkesitin en genel gedik şekli olduğu dikkate alınırsa, gedikten çıkan akım,  $z$  gedik kenar eğimine sahip üçgen ve dikdörtgen şekilli kalın kenarlı savak akımının toplamından ibarettir. Gedikten çıkan toplam akım:

$$Q_b = c_v k_s \left[ 3.1 b_i (h - h_b)^{1.5} + 2.45 z (h - h_b)^{2.5} \right] \quad (4)$$

olur. Bu denklemde,  $c_v$  hız düzeltme katsayısı,  $b_i$  herhangi bir andaki gedik taban genişliği (Denk. (3)),  $h$  barajın hemen memba tarafındaki su yüksekliği,  $h_p$  herhangi bir andaki gedik taban yüksekliği (Denk. (1)),  $z$  gedik kenar eğimi,  $k_s$  mansaptaki kuyruksuyu yüksekliğinin neden olduğu batıklık düzeltme katsayısıdır.

Eğer gedik borulanma şeklinde oluşuyorsa, (4). denklem yerine (5) numaralı orifis denklemini kullanılır:

$$Q_b = 4.8 A_p (h - \bar{h})^{3/2} \quad (5)$$

$$A_p = 2 b_i (h_p - h_b) \quad (6)$$

burada  $h_p$  borulanmanın başlayacağı merkez çizgisi yüksekliğidir.  $\bar{h} = h_p$  veya barajın hemen mansabındaki kıvruk suyu yüksekliği  $ht > h_p$  ise  $\bar{h} = h_t$  alınır.  $A_p$  dikdörtgen gedik alanıdır. Rezervuardaki su seviyesi yeterince düştüğünde ve gedik yeterince genişlediğinde orifis akımı yerine kalın kenarlı savak akımı kullanılır. Bunun için aşağıdaki koşul uygulanır:

$$h < 3h_p - 2h_p \quad (7)$$

### 3. TAŞKIN ÖTELENMESİ

Baraj yıkılması sonucu meydana gelen taşkınların mansap boyunca belirlenen bir mesafede ötelenmesinde Saint-Venant denklemleri olarak bilinen süreklilik ve momentum denklemlerinin sayısal çözümüne dayanan dinamik öteleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem taşkın dalgasının ivme etkilerini, akarsu yatağındaki kesit değişimlerini, kabarma etkilerini dikkate aldığından ve hiç bir terimi ihmal etmediğinden dolayı tek boyutlu taşkın öteleme yöntemleri arasında en hassas olanıdır. Bu sebeple taşkın dalgası ivme hareketlerinin, ağırlık ve sürtünme etkilerine göre daha önemli olduğu baraj yıkılması taşkınlarının ötelenmesinde kullanılan en uygun modeldir. Akımı idare eden süreklilik ve momentum denklemlerinin genel hali sırasıyla

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial s_{co}(A + A_0)}{\partial t} - q = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial (s_m Q)}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_c + S_i \right) + L + W_f B = 0 \quad (9)$$

şeklinde dir. Burada  $Q$  debi,  $h$  su yüzeyi seviyesi,  $A$  akımın aktif enkesit alanı,  $A_0$  aktif olmayan enkesit alanı,  $s_{co}$  ve  $s_m$  yükseklikle değişen kıvrımlılık faktörleri,  $x$  akarsu yatağı boyunca boyuna uzaklık,  $t$  zaman,  $q$  giren yada çıkan yanıl akım,  $\beta$  momentum düzeltme katsayısı,  $g$  yerçekimi ivmesi,  $S_f$  sürtünme eğimi (enerji çizgisi eğimi),  $S_c$  genişleme-daralma eğimi,  $S_i$  çamur/enkaz içeren akımlar gibi Newtonien olmayan akışkanların iç viskoz çalkantısıyla karşılaşılın ilave sürtünme eğimi,  $B$  su yüzeyi ( $h$ ) seviyesindeki aktif akarsu üst genişliğini,  $W_f$  akım yüzeyi üzerindeki rüzgar direnci etkisini gösterir.

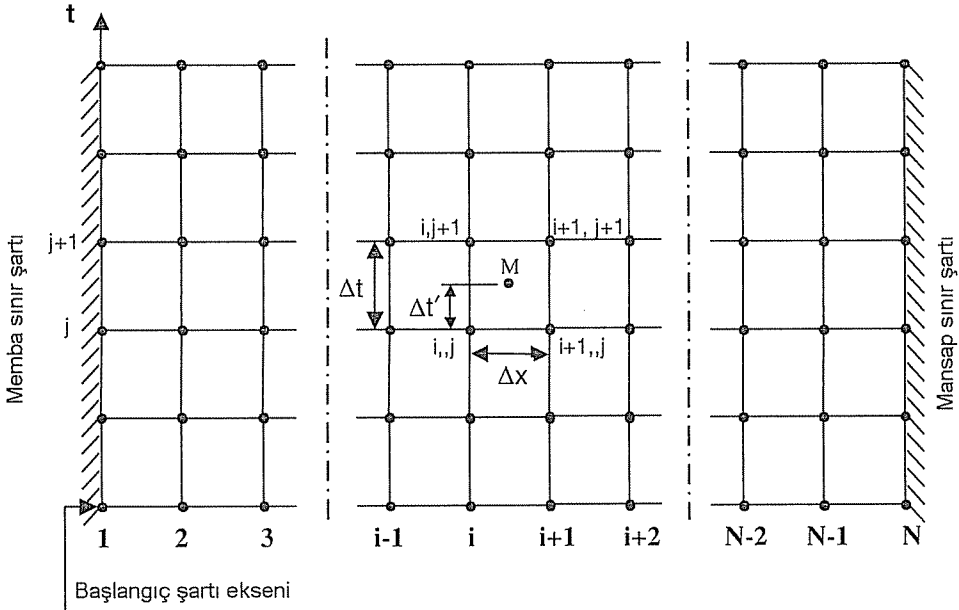
Denklem (8) ve (9)'daki Saint-Venant denklemleri lineer olmayan, hiperbolik kısmi diferansiyel denklem sistemi oluşturur. Denklemler iki bağımsız değişken ( $x$  ve  $t$ ), iki bağımlı değişken ( $h$  ve  $Q$ ) içerir. Kalan terimler ya  $x$ ,  $t$ ,  $h$  ve  $Q$ 'nun fonksiyonlarıdır yada sabitlerdir. Bu denklemler, kanal geometrisi ve sınır şartlarının karışık olmadığı ve denklemlerin lineer olmayan özelliklerinin ihmal edildiği veya lineer kabul edildiği durumlar hariç analitik çözümler için uygun değildir. Bu nedenle denklemlerin çözümünde sayısal yöntemler kullanılır. Sayısal yöntemler içinde oldukça fazla uygulama alanı bulan sonlu farklar yöntemi, kolay uygulanabilirliği nedeni ile diferansiyel denklemlerin çözümünde tercih edilir.

Bir çok avantajı bulunduğundan dolayı "ağırlıklı dört noktalı" şema diferansiyel denklemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3'te görülen şema dikdörtgen şeklindeki x-t (mesafe-zaman) ağından oluşur. i indisi mesafeyi, j indisi zamanı simgeler. Kısmi türevlerin sonlu fark ifadeleri karenin (grid) ortasında yer alan M noktasına göre yazılır. Böylece M'nin etrafındaki dört noktada kullanılmış olur.  $\Delta x$  mesafe  $\Delta t$  ise zaman adımını göstermektedir.  $\Delta x$  ve  $\Delta t$  adımlarının eşit olması gerekmediği gibi  $\Delta x$  ve  $\Delta t$ 'nin büyük değerleri için bile doğru sonuca ulaşılmaktadır. Burada önemli olan  $\Delta x$  ve  $\Delta t$ 'nin artımlarındaki miktarın orantılı olmasıdır (9). M noktasındaki zamana bağlı türevler x eksenı boyunca i'inci ve i+1'inci noktalar arasında orta noktada,

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\Psi_i^{j+1} + \Psi_{i+1}^{j+1} - \Psi_i^j - \Psi_{i+1}^j}{2 \Delta t_j} \quad (10)$$

ifadesi ile bulunur.

Burada  $\Psi$  herhangi bir değişkeni (Q, h, A,  $A_0$ ,  $S_0$ ,  $s_{co}$  vb.) gösterir.



Şekil 3. Saint-Venant Denklemlerinin Sonlu Fark Formunun Yazıldığı x-t Ağı

$\theta = \Delta t' / \Delta t$  olmak üzere M noktasındaki yersel türevler  $\theta$  ve  $(1-\theta)$  ağırlık faktörlerine göre iki bitişik zaman çizgisi arasında,

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} = \theta \left[ \frac{\Psi_{i+1}^{j+1} - \Psi_i^{j+1}}{\Delta x_j} \right] + (1-\theta) \left[ \frac{\Psi_{i+1}^j - \Psi_i^j}{\Delta x_j} \right] \quad (11)$$

ifadesi ile belirlenir.

Türevler dışındaki değişkenler, yersel türevlerin aynı ağırlık faktörleri kullanılarak değerlendirildiği noktadaki zaman çizgisinde,

$$\Psi = \theta \left[ \frac{\Psi_i^{j+1} + \Psi_{i+1}^{j+1}}{2} \right] + (1-\theta) \left[ \frac{\Psi_i^j + \Psi_{i+1}^j}{2} \right] \quad (12)$$

ifadesi ile hesaplanır.

$\theta$  ağırlık faktörü için literatürde yapılan çalışmalar 0,55 ~ 0,60 arasında bir değer tavsiye etmektedir (7).

Denklem (10), (11) ve (12)'deki sonlu fark ifadeleri, (8) ve (9) denklemlerindeki türevlerin ve diğer değişkenlerin yerine yazılırsa aşağıdaki ağırlıklı dört noktalı kapalı sonlu fark formundaki denklemler elde edilir:

Süreklilik denklemi:

$$\theta \left[ \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x_i} \right] - \theta q_i^{j+1} + (1-\theta) \left[ \frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x_i} \right] - (1-\theta) q_i^j + \left[ \frac{s_{coi}^{j+1} (A + A_0)_i^{j+1} + s_{coi}^{j+1} (A + A_0)_{i+1}^{j+1} - s_{coi}^j (A + A_0)_i^j - s_{coi}^j (A + A_0)_{i+1}^j}{2\Delta t_j} \right] = 0 \quad (13)$$

Momentum denklemi:

$$\left[ \frac{(s_{mi} Q_i)^{j+1} + (s_{mi} Q_{i+1})^{j+1} - (s_{mi} Q_i)^j - (s_{mi} Q_{i+1})^j}{2\Delta t_j} \right] + \theta \left[ \frac{(\beta Q^2 / A)_{i+1}^{j+1} - (\beta Q^2 / A)_i^{j+1}}{\Delta x_i} + g\bar{A}^{j+1} \left( \frac{h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}}{\Delta x_i} + \bar{S}_f^{j+1} + S_e^{j+1} + \bar{S}_i^{j+1} \right) + L_i^{j+1} + (W_r \bar{B})_i^{j+1} \right] 3.1. + (1-\theta) \left[ \frac{(\beta Q^2 / A)_{i+1}^j - (\beta Q^2 / A)_i^j}{\Delta x_i} + g\bar{A}^j \left( \frac{h_{i+1}^j - h_i^j}{\Delta x_i} + \bar{S}_f^j + S_e^j + \bar{S}_i^j \right) + L_i^j + (W_r \bar{B})_i^j \right] = 0 \quad (14)$$

### 3.1. Lineer Olmayan Denklem Takımının Sayısal Çözümü

(13) ve (14) denklemlerindeki  $j$ 'inci zaman çizgisinde yer alan terimler başlangıç şartları yada önceki hesaplamalardan bilinir. Başlangıç şartları  $x$  eksenini boyunca ilk zaman çizgisi için ( $t=0$  anında) her bir düğüm noktasındaki  $h_i^j$  ve  $Q_i^j$  değerleri arasındaki ilişkiden belirlenir.  $g, \Delta x_i, \bar{B}_i, C_w, k_{oc}$  gibi terimler çözümden bağımsız olarak belirlenen ve bilinen büyüklüklerdir.  $j+1$ 'inci zaman çizgisindeki  $A_i^{j+1}, A_{i+1}^{j+1}, B_i^{j+1}, B_{i+1}^{j+1}, S_{fi}^{j+1}$  gibi terimler bilinmeyen olmalarına rağmen  $h$  ve  $Q$ 'nun fonksiyonları olarak ifade edilebildiklerinden temel bilinmeyenler  $Q_i^{j+1}, h_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}$  terimleridir.

(13) ve (14) numaralı denklemlerde dört bilinmeyen ( $Q_i^{j+1}, h_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}$ ) ve buna karşın sadece iki denklem mevcut olduğundan doğrudan çözüm yapılamaz. Bununla birlikte (13) ve (14) denklemleri memba ( $i=1$ ) ve mansap ( $i=N$ ) sınırları arasında Şekil 3'te gösterilen  $(N-1)$  adet dikdörtgen ağın her noktasına uygulanırsa,  $2N$  bilinmeyenli ( $2N-2$ ) denklemden meydana gelen lineer olmayan bir denklem sistemi elde edilir.  $N$ , enkesitlerin toplam sayısını gösterir. Daha sonra birisi memba sınırında ve diğeri mansap sınırında olmak üzere önceden belirlenmiş sınır şartları denklem takımının çözümü için gerekli iki ilave denklemi sağlar.

Lineer olmayan denklem sistemi,  $j+1$ 'inci zaman çizgisinde bilinmeyen parametreler olan  $h$  ve  $Q$  cinsinden aşağıda görüldüğü gibi özetlenebilir.

$$\begin{array}{ll}
 UB(h_1^{j+1}, Q_1^{j+1}) = 0 & \text{memba sınır şartı} \\
 C_1(h_1^{j+1}, Q_1^{j+1}, h_2^{j+1}, Q_2^{j+1}) = 0 & \text{birinci gridteki süreklilik denklemi} \\
 M_1(h_1^{j+1}, Q_1^{j+1}, h_2^{j+1}, Q_2^{j+1}) = 0 & \text{birinci gridteki momentum denklemi} \\
 \dots\dots\dots \\
 C_i(h_i^{j+1}, Q_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}) = 0 & i\text{'inci gridteki süreklilik denklemi} \\
 M_i(h_i^{j+1}, Q_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}) = 0 & i\text{'inci gridteki momentum denklemi} \\
 \dots\dots\dots \\
 C_{n-1}(h_{n-1}^{j+1}, Q_{n-1}^{j+1}, h_n^{j+1}, Q_n^{j+1}) = 0 & n-1\text{'inci gridteki süreklilik denklemi} \\
 M_{n-1}(h_{n-1}^{j+1}, Q_{n-1}^{j+1}, h_n^{j+1}, Q_n^{j+1}) = 0 & n-1\text{'inci gridteki momentum denklemi} \\
 DB(h_n^{j+1}, Q_n^{j+1}) = 0 & \text{mansap sınır şartı}
 \end{array}$$

Burada  $C$ 'ler süreklilik denklemini,  $M$ 'ler momentum denklemini,  $UB$  memba sınır şartını (upstream boundry),  $DB$  mansap sınır şartını (downstream boundry) ifade etmektedir.  $2N$  bilinmeyenli lineer olmayan  $2N$  adet denklem sisteminin çözümü Newton-Raphson yöntemi ile yapılır.

Lineer olmayan denklem sisteminin ardışık çözüm hesaplamaları, 2N bilinmeyen için başlangıç deneme değerlerinin verilmesiyle başlar. Q ve h için bu deneme değerleri j zaman çizgisinde başlangıç şartından bilinen (j=1 ise) veya önceki zaman adımı hesaplamalarından bilinen deneme değerleri olabilir. Deneme değerlerinin denklem sistemi içerisinde yerine konulmasıyla 2N adet fark elde edilir. Newton-Raphson yöntemi, bu farkların uygun bir tolerans seviyesine azalana veya sıfıra yaklaşıp kadar deneme değerinin düzeltilmesini sağlar.

Bu denklem sisteminin Newton-Raphson iterasyon tekniği ile çözülebilmesi için teknik gereği sistem her bir  $\Delta t$  zaman dilimi için önce lineer hale getirilmekte bunun içinde Jacobian matrisine ihtiyaç duyulmaktadır. Jacobian katsayılar matrisi 2N adet denklemin 2N adet bilinmeyene göre birinci türevinin alınması ile elde edilmektedir. Lineer hale gelen sistem Gauss Eliminasyon yöntemi ile çözülebilmektedir.

Saint Venant denklem takımının çözülebilmesi için memba ve mansap sınır şartlarının bilinmesi gereklidir. Memba sınır şartı önceden belirlenmiş bir debi  $Q_1=Q(t)$  veya su yüzeyi hidrografi  $h_1=h(t)$  olabilir.

Mansap kesitinin fiziksel özelliklerine ve mevcut imkanlara bağlı olarak farklı sınır şartları kullanılabilir ancak genelde son kesite ait tek değerli veya dinamik kapalı anahtar eğrileri kullanılmaktadır.

Ayrıca Saint-Venant değişken akım denklemlerinin sayısal çözümüne başlayabilmek için, hesaplamaların başlangıcında ( $t=0$  anında) tüm enkesitlerde ( $i=1,2,3,\dots,N$ ) akımın durumu ( $h_i$  ve  $Q_i$ ) bilinmelidir. Bu durum akımın başlangıç şartları olarak adlandırılır.

Saint-Venant denklemlerinin sonlu farklarla çözümünde, hesaplamalarda güçlüklerle karşılaşmamak ve kabul edilebilir nümerik hassaslık elde edebilmek için mesafe adımlarının ( $\Delta x_i$ ) ve zaman adımlarının ( $\Delta t$ ) uygun bir biçimde seçilmesi büyük önem taşır.

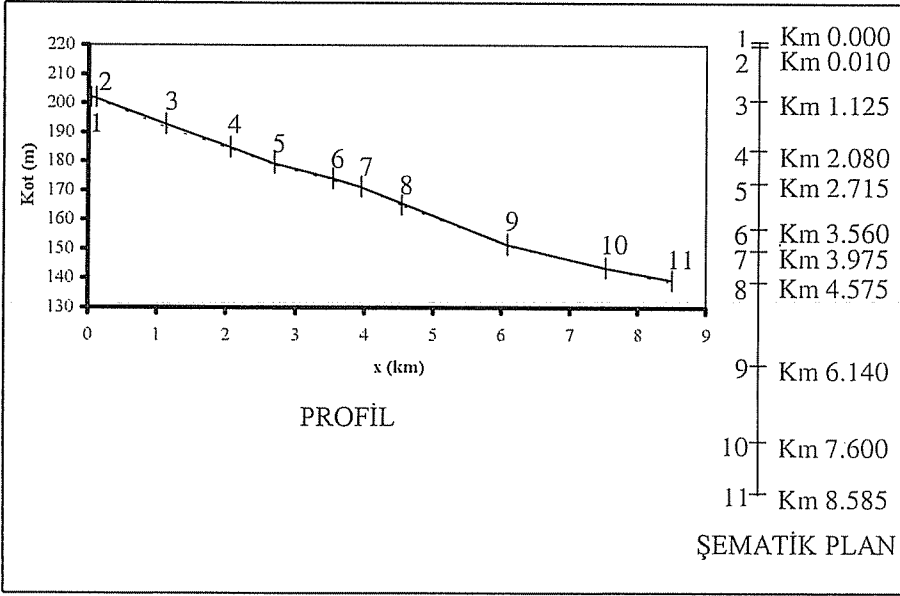
#### 4. UYGULAMA VE TARTIŞMA

Bu çalışmada baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın hidrografının belirlenmesi ve mansaptaki akarsu boyunca ötelenmesi için National Weather Service (A.B.D.) tarafından geliştirilmiş olan NWS FLDWAV (1998) adlı bilgisayar paket programı kullanılmıştır (7).

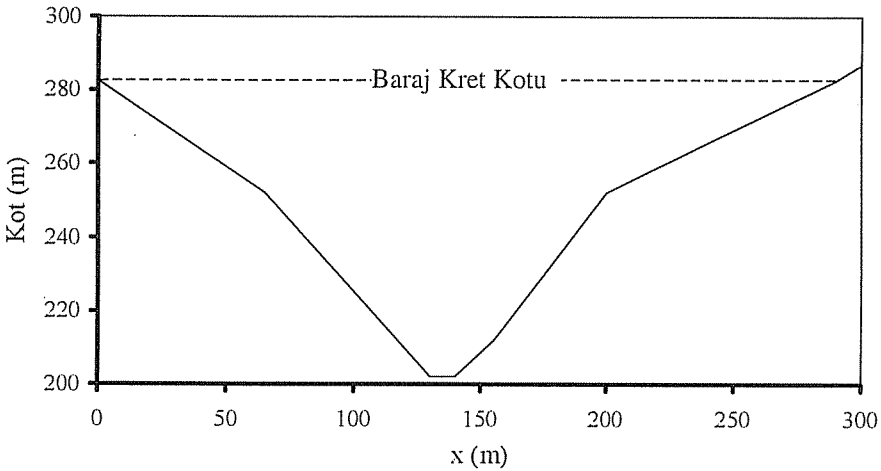
Baraj yıkılması sonucu meydana gelen taşkın dalgası baraj mansabındaki akarsu kısmında ötelenirken modelde akımı idare eden bir boyutlu denklemler kullanılmaktadır. Bu nedenle uygulamada kullanılacak baraj seçiminde öncelikle akarsu kesiminin akımın düşey ve yatay yöndeki hareketlerinin ihmal edilebileceği, dar bir vadiye sahip olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca mansapta risk altındaki popülasyonun varlığına da bakılmıştır. Yıkılma mekanizması toprak dolgu barajlarda daha iyi bilindiğinden ilk olarak bölgemizdeki toprak dolgu barajlar incelenmiş ve bu koşula uyan toprak dolgu baraj olmadığı görülmüştür. Bu yüzden kriterlere en yakın olan kil çekirdekli, kaya dolgu olmasına rağmen Kozan Barajı uygulama için seçilmiştir. Bununla birlikte barajın deprem bölgesi içinde olması da baraj için bir risk oluşturmaktadır.

Kozan barajı kozan ilçesinin 10 km kuzey doğusunda olup Kilgen çayı üzerinde sulama amacıyla inşa edilmiştir. 55000 nüfuslu kozan ilçesi barajın mansabında bulunmaktadır ve barajın yıkılması halinde ilçe risk altındadır.

Uygulamada aralarındaki mesafe 0.415 ile 1.565 km arasında değişen 11 kesit kullanılmıştır. İlk iki kesit baraj aksında ve son kesit baraja 8.585 km uzaklıktadır. Her enkesit 9 tane seviye (H) ve buna karşılık gelen kanal üst genişliği (B) çifti ile tanımlanmıştır. Kesit yerlerinin profili ile şematik planı Şekil.4'te ve baraj aksındaki enkesit ise Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Akarsu profili ve kesit yerlerinin şematik planı



Şekil 5. Baraj aksına ait enkesit



Baraj yıkılması olayında uygun pürüzlülük katsayılarının seçimi bir belirsizliğe sahiptir. Kozan Barajı mansabında Manning (n) pürüzlülük değerleri baraj aksından 9. kesite (km 6.140) kadar 0.08, bu kesitten son kesite (km 8.585) kadar 0.06 seçilmiştir. İlk kısımlarda n değerinin daha büyük seçilmesinin nedeni akarsu vadisinin bu kısımlarda oldukça kıvrımlı olmasındandır. Bu kıvrımlardan dolayı ötelenen taşkın dalgasının hızında azalma olacağından bu etki pürüzlülük değerinin artırılması ile yansıtılmaya çalışılmıştır.

Baraj yıkılması analizinde barajın yıkılmasına neden olacak etken (deprem, taşkın vb), yıkılmanın şekli (borulanma, üstten aşma vb) ve yıkılma meydana geldiği anda göldeki su seviyesinin ne olacağı önceden kestirilememektedir. Ayrıca meydana gelecek gediğin büyüklüğü, oluşum hızı ve gelişim süresinin (barajın yıkılma süresi) ne olacağı belirsizdir. Bazı kabuller yapılarak ve farklı yıkılma senaryoları ile yüklenme durumları dikkate alınarak bu belirsizlikler azaltılabilir. Bu çalışmada gedik parametrelerinin farklı değerleri için çeşitli analizler yapılmıştır.

Kozan Barajına ait dolusavak kapasitesi incelendiğinde muhtemel maksimum taşkın rahatlıkla deşarj edebilecek yeterliliğe sahip olduğu görülmüştür. Taşkınların kaynağını sadece yağış suları oluşturduğu için muhtemel taşkınlar kozan barajı için risk oluşturmamaktadır. Bu sebeple barajın gövde üzerinden su aşması sonucu yıkılması olası görülmemektedir. Bundan dolayı çalışmada barajın gövdesinde oluşarak gelişen dahili bir erozyon yani borulanma sonucunda yıkıldığı varsayılmıştır. Literatürde borulanmanın genellikle tabandan, baraj yüksekliğinin 1/2'si ile 2/3'ü arasında bir noktada başladığı söylenmektedir (10). Yapılan analizlerde daha kritik olduğu için borulanma merkezi barajın orta noktası olan 239 m olarak seçilmiş ve aşınmanın talveg seviyesinde (202 m) sonlandığı kabul edilmiştir. Bu seçimin yapılmasının nedeni, borulanmanın barajın orta noktasında başlaması durumunda gedik üstündeki su yükü daha fazla olacağından genellikle yıkılmanın daha kısa sürede meydana gelmesi dolayısıyla daha kritik bir hal olmasıdır. Yıkılmanın borulanma nedeni ile olduğu kabul edildiği için gedik dikdörtgen olacağından hesaplamalarda gedik kenar eğimi  $z = 0$  kullanılmıştır.

Gedikten çıkan akımın pik debi değerine göre muhtemel maksimum taşkın hidrografının pik debi değeri oldukça küçük olduğu için ihmal edilmiştir. Buna karşın daha kritik olduğu için su seviyesinin maksimum su kotunda (278 m) olduğu kabul edilmiştir.

Memba sınır şartı olarak dip savaktan çıkan ortalama  $10 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'lik sabit debi alınmıştır. Başlangıç şartları bu değer yardımıyla program tarafından hesaplanmaktadır. Mansap sınır şartı olarak türetilmiş dinamik kapalı anahtar eğrisi seçilmiştir ve program tarafından son kesite ait bilgiler kullanılarak hesaplanmaktadır.

Öteleme mesafesinin kısa olması ve akarsu taban eğimlerinin ani olarak değişmesinden dolayı mesafe adımları ( $\Delta x$ ) hesaplamalarda çoğunlukla 0.05 km, zaman adımı ( $\Delta t$ ) ise 0.05 saat olarak alınmıştır. Sonlu farklar ağırlık faktörü  $\theta = 0.6$ , savak katsayısı 2 alınmıştır ve öteleme mesafesi içindeki mevcut yapıların varlığı da ihmal edilmiştir.

Bu çalışmada yapılan analizler özetlenirse farklı yıkılma süreleri, gedik boyutları için ilk ve son kesitteki hidrograflar ve pik debiye ulaşma süreleri karşılaştırılmıştır.

Gedik oluşum süresi (yıkılma süresi), baraj gövdesi üzerinde gediğin oluşmaya başladığı andan, son boyutlarına erişinceye kadar geçen süre olarak tanımlanır. Gedik oluşum süresi, yıkılma analizinde gedikten çıkan taşkın hidrografının şeklini etkileyen önemli bir parametre olmasına rağmen hassas bir biçimde belirlenmesi oldukça zordur.

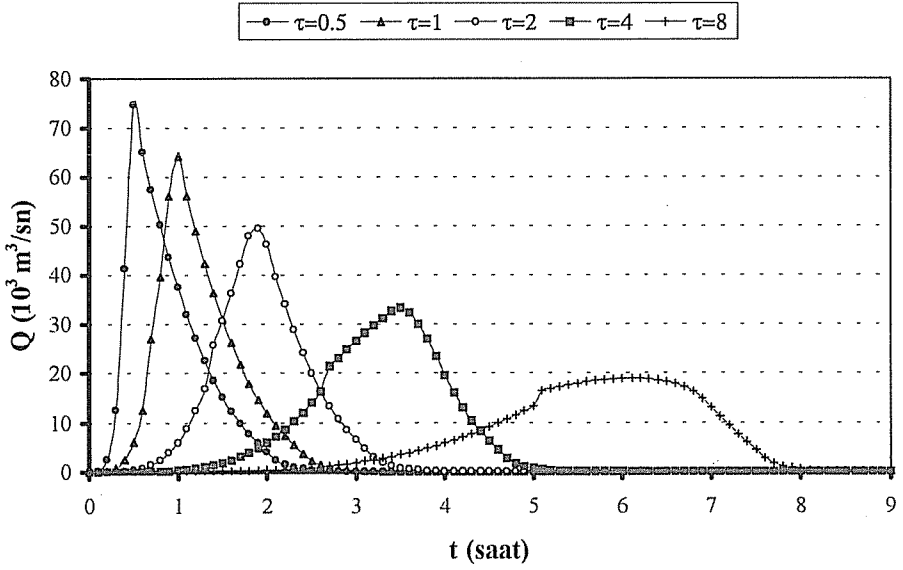
Bu çalışmada yıkılma sürelerinin etkisi araştırılırken  $\tau = 0.5, 1, 2, 4$  ve  $8$  saatlik yıkılma süreleri karşılaştırılmıştır. İncelenen yıkılma sürelerinin fazla sayıda olmasının nedeni yıkılma şeklinin borulanma oluşunun bu belirsizliği artırmasıdır.

Şekil 6 ve Şekil 7’de farklı yıkılma süreleri için gedikten çıkan (baraj aksı) ve son kesitteki (8.585 km) taşkın hidrografları verilmiştir. Şekillere bakıldığında gedikten çıkan en büyük debinin  $0.5$  saatlik gedik oluşum süresi için meydana geldiği ve bunu daha sonra  $1, 2, 4$  ve  $8$  saatlik gedik oluşum sürelerinin izlediği görülmektedir. Bunun nedeni olarak herhangi bir  $t$  anında gedik boyutlarının  $0.5$  saatlik gedik oluşum süresi için en büyük olması söylenebilir. Ayrıca hidrografların yükselme eğrilerine dikkat edilirse  $0.5$  saatlik yıkılma süresi için yükselme eğrisi eğiminin en fazla olduğu ve gedik oluşum süresi arttıkça bu eğimin azaldığı görülebilir. Buradan en büyük taşkın debisinin minimum gedik oluşum süresinde olduğu, gedik oluşum süresinin artmasıyla pik debi değerinin azaldığı ve hidrograf şeklinin yayvanlaştığı sonucuna varılabilir. Hidrograf şekilleri baraj aksında ve mansapta benzerlik göstermekle birlikte  $\tau = 0.5, 1$  ve  $2$  saat için mansapta pik debi değerlerinde belirgin düşüş gözlenirken  $\tau = 4$  ve  $8$  saat için düşüş miktarı azalmaktadır.

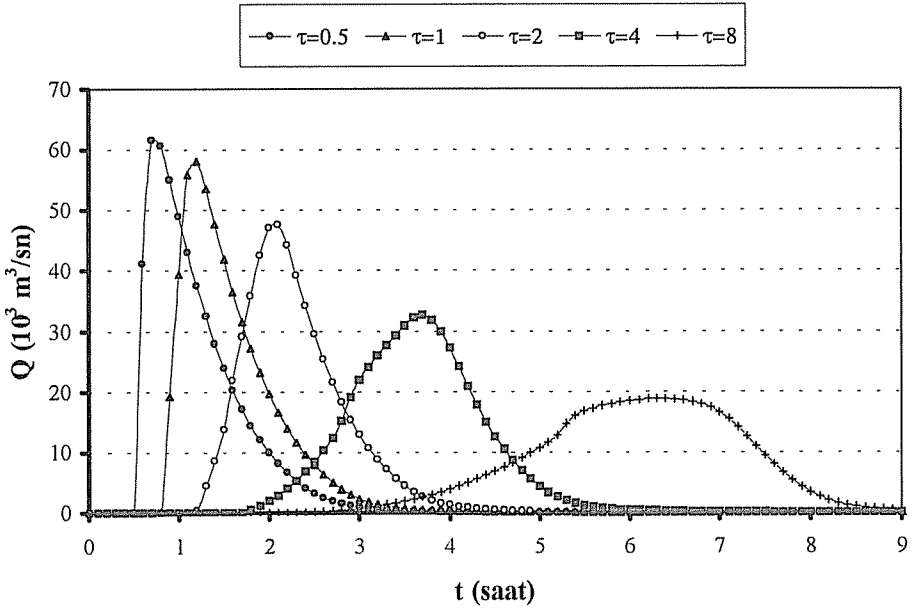
Şekil 8 farklı yıkılma süreleri için baraj aksındaki su seviyesinin zamanla değişimini göstermektedir. Bu değişim aynı zamanda baraj gölündeki su yüzeyi seviyesindeki değişimi ifade etmektedir. Dikkat edilirse su seviyesindeki değişimin hemen başlamadığı ve gedik oluşum süresi arttıkça su seviyesindeki düşüşün daha geç başladığı görülür. Bu borulanmanın ilk safhalarında gedikten çıkan akımın düşük olması ve daha sonra gediğin genişlemesiyle birlikte debide hızlı bir artışın olması ile açıklanabilir.

Şekil 9 son kesitteki (8.585 km) su seviyesi değişimlerini göstermektedir. Bu şeklin aynı kesite ait taşkın hidrografi ile benzerlik gösterdiği söylenebilir. En yüksek su seviyesi en küçük yıkılma süresinde meydana gelmektedir. Yıkılma süresi arttıkça pik debi değeri düşeceğinden dolayısıyla su seviyesi de düşmektedir.  $0.5$  saatlik yıkılma süresi için su seviyesi değişiminin daha hızlı olduğu ve yıkılma süresi arttıkça su seviyesi eğrisinin yayvanlaştığı Şekil 9’da görülmektedir.

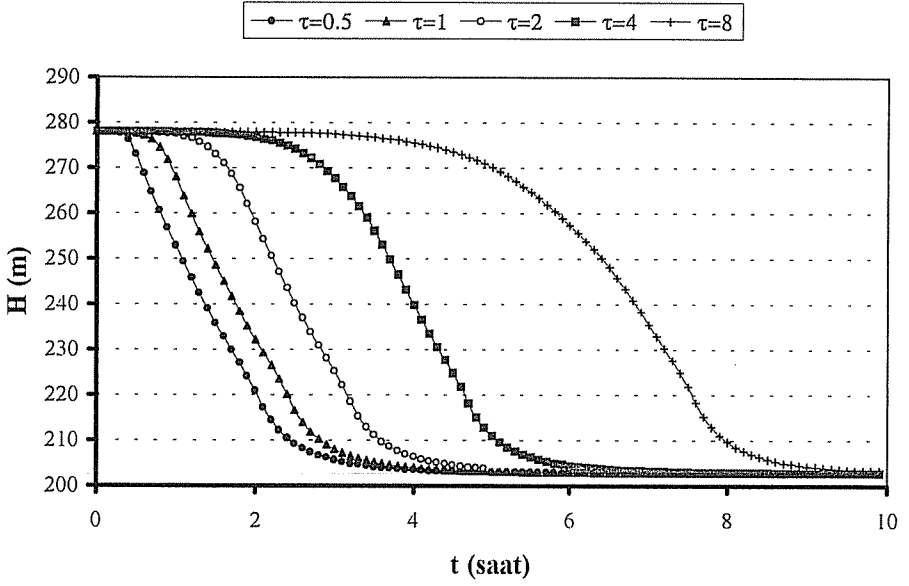
Şekil 10’da öteleme mesafesinin başında ve sonundaki taşkın hidrografları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekle bakıldığında hidrografın zamana göre bir miktar ötelenerek pik debi değerinin düştüğü ve çok az yayvanlaştığı görülebilir. Pik debiler arasındaki farkın küçük olması öteleme mesafesinin kısa ve dar olması, akarsu boyunca biriktirme hacimlerinin fazla olmayışı, su kayıplarının ihmal edilmesi ile açıklanabilir.



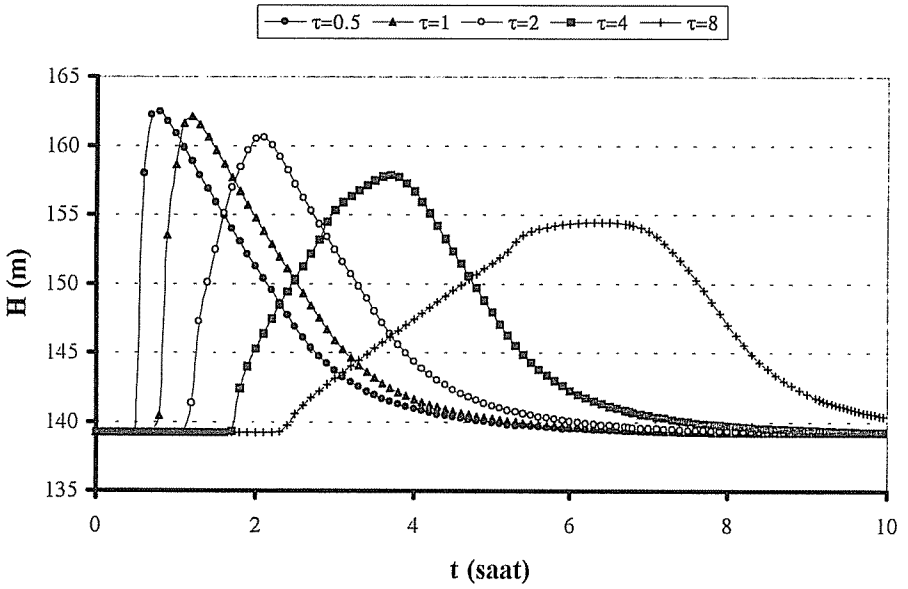
Şekil 6. Farklı gedik oluşum süreleri için baraj aksındaki gedikten çıkan taşkın hidrografları (b=75m)



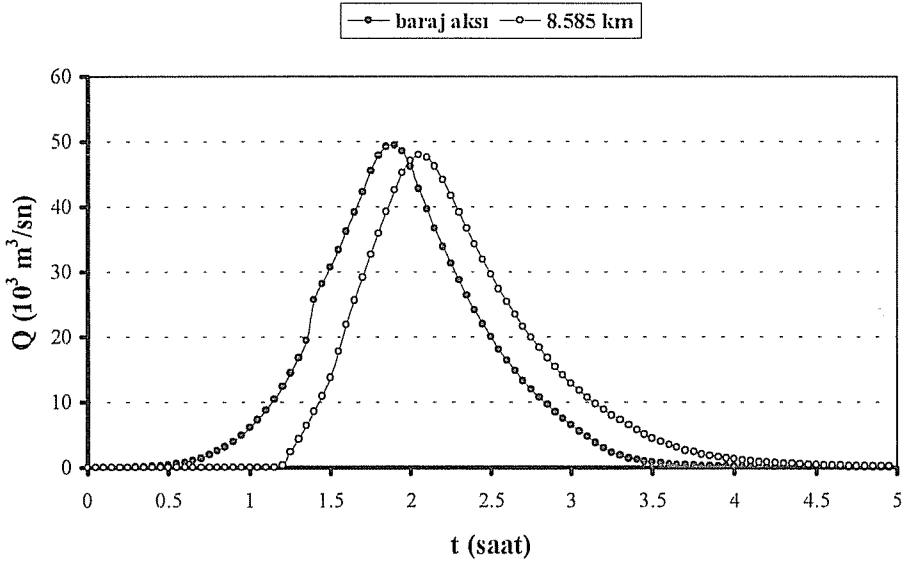
Şekil 7. Farklı gedik oluşum süreleri için 8.585 km'deki taşkın hidrografları (b=75m)



Şekil 8. Farklı gedik oluşum süreleri için baraj aksındaki su seviyesinin zamanla değişimi ( $b=75$  m)



Şekil 9. Farklı gedik oluşum süreleri için 8.585 km'deki su seviyesinin zamanla değişimi ( $b=75$  m)

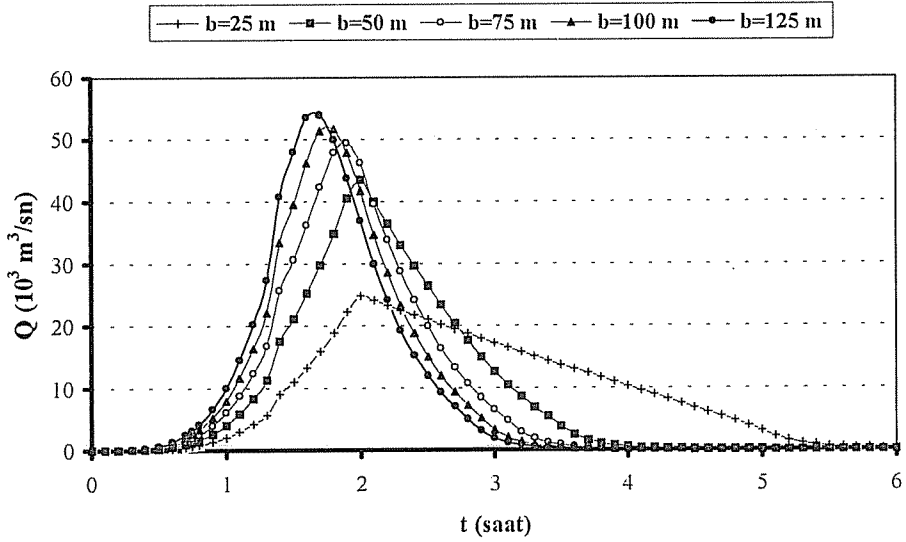


Şekil 10.  $\tau = 2$  saat ve  $b=75$ m için baraj aksında (0.00 km) ve son kesitteki (8.585km) taşkın hidrografları

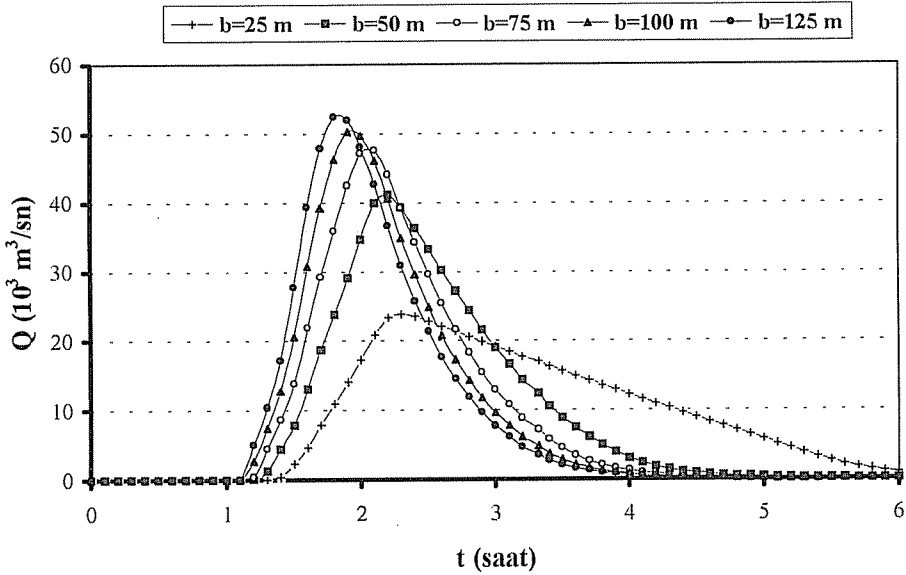
Gedik genişliklerinin etkisi incelenirken yıkılmanın şekli borulanma seçildiğinden dikdörtgen bir gedik olduğu kabul edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda gedik genişliklerinin  $b = 25, 50, 75, 100$  ve  $125$  m olması halinde meydana gelecek taşkın etkisi incelenmiştir.

Şekil 11 ve Şekil 12'de farklı gedik genişlikleri için gedikten çıkan (baraj aksı) ve son kesitteki (8.585 km) taşkın hidrografları verilmiştir. Görüldüğü gibi gedik genişliğinin artması gedikten çıkan pik debi değerinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca gedik genişliğinin artması belirli bir kesitteki pik debiye erişme süresinin azalmasına ve hidrografların yükselme eğrilerinin eğimlerinin artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla gedik genişliğinin artması halinde daha büyük debilerin meydana geleceği ve hidrografın daha dik bir şekle sahip olacağı söylenebilir.

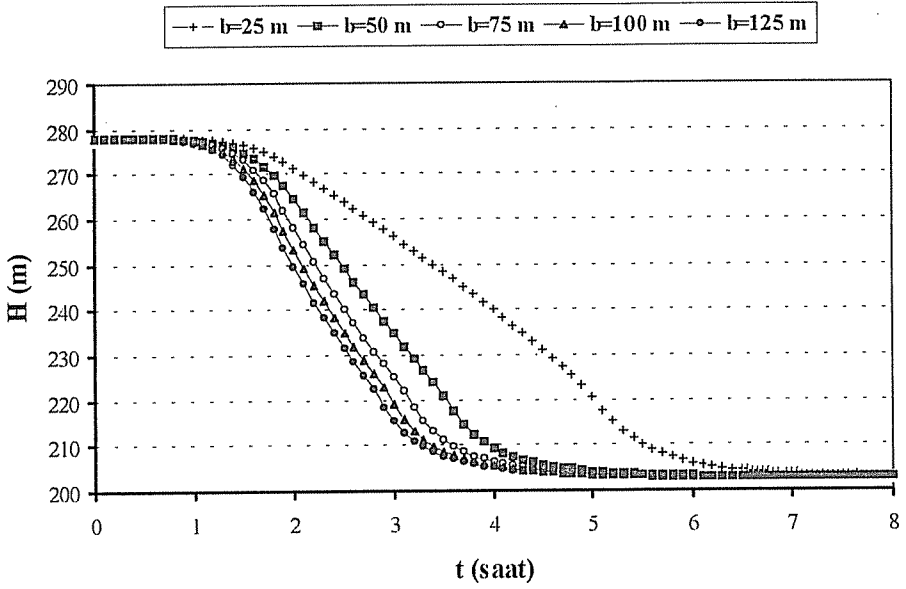
Farklı gedik genişlikleri için baraj aksındaki su seviyesinin zamanla değişimi Şekil 13'te verilmiştir. Şekil incelenirse herhangi bir t anında rezervuardaki su seviyesine bakılırsa farklı genişlikler için farklı yükseklikler elde edilir. Buna göre herhangi bir t anında en büyük gedik genişliğinde su seviyesinin en küçük olduğu söylenebilir. Aynı şekilde gedikten çıkan hidrograflara bakıldığında herhangi bir t anında en yüksek debinin en büyük genişlikte olduğu görülür. Bu bilgilerden gedik genişliğinin haznenin boşalması ve gedikten çıkan akımın büyüklüğü ile şekli üzerinde etkisi olduğu sonucuna varılabilir. Şekil 14 farklı gedik genişlikleri için öteleme mesafesi sonundaki su seviyesinin zamanla değişimini göstermektedir.



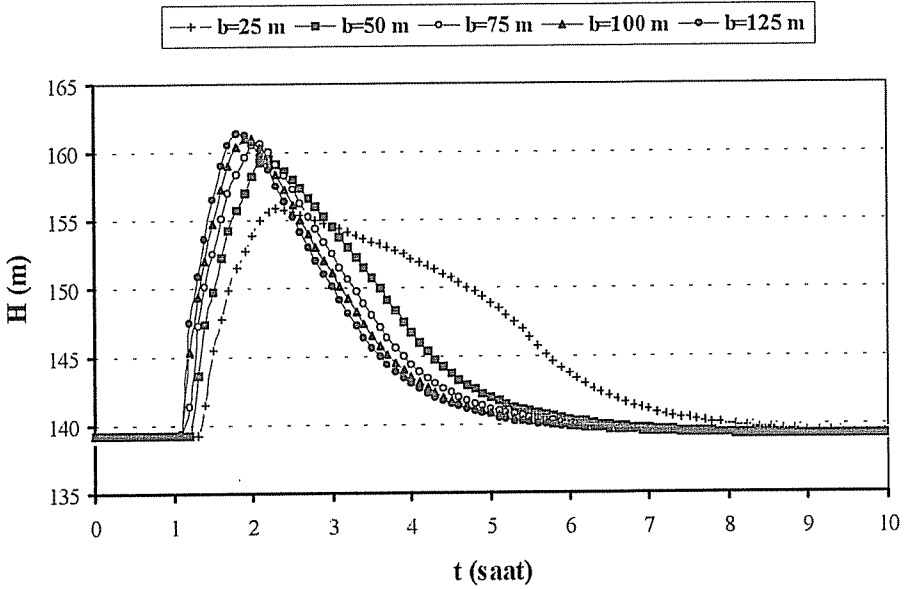
Şekil 11. Farklı gedik genişlikleri için baraj aksındaki gedikten çıkan taşkın hidrografları ( $\tau=2$  sa.)



Şekil 12. Farklı gedik genişlikleri için 8.585 km'deki taşkın hidrografları ( $\tau=2$  sa.)



Şekil 13. Farklı gedik genişlikleri için baraj aksındaki su seviyesinin zamanla değişimi ( $\tau = 2$  sa.)



Şekil 14. Farklı gedik genişlikleri için 8.585 km deki su seviyesinin zamanla değişimi ( $\tau = 2$  sa.)

## 5. SONUÇLAR

Elde edilen bulgulara dayanarak Kilgen çayı üzerinde bulunan Kozan barajının yıkılması sonucunda, barajın 10 km mansabında bulunan Kozan ilçesinin büyük bir kısmının taşkından zarar göreceği söylenebilir. Gedik parametreleri gedikten çıkan akımın şekli, büyüklüğü ve pik debiye erişme süreleri üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Gedik oluşum süresinin kısalması, gedikten çıkan pik debinin artmasına ve pik debiye erişme süresinin azalmasına neden olmaktadır. Gedik oluşum süresinin kısa olması halinde ( $\tau \leq 1$  saat) yıkılma süresi pik debiye erişme süresine eşit olmaktadır.
2. Gedik genişliği gedikten çıkan akımın büyüklüğü ve şekli üzerinde etkili olmaktadır. Gedik genişliği arttığında gedikten çıkan pik debi değeri artarken pik debiye erişme süresi azalmaktadır. Gedik genişliği küçüldükçe hidrografların yükselme kollarının eğimi de azalmakta ve hidrograf şekli yayvanlaşmaktadır.
3. Gedikten çıkan en büyük debiler, maksimum gedik genişliği-minimum gedik oluşum süresi, en küçük debiler ise minimum gedik genişliği maksimum gedik oluşum zamanı durumunda meydana gelmektedir.
4. Yıkılma süresi azaldığında gedikten çıkan akım üzerinde gedik genişliğinin etkisi artmaktadır.
5. Gedik parametrelerinin (gedik genişliği, oluşum süresi) pik debi değerine etkisi mansaba doğru ilerledikçe azalmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

1. MacDonald, T.C. ve Langridge-Monopolis, J., "Breaching Characteristics of Dam Failures", *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(5):567-586, 1984.
2. Singh, K.P. ve Snorrason, A., "Sensitivity of Outflow Peaks and Flood Stages to the Selection of Dam Breach Parameters and Simulation Models", *Journal of Hydrology*, 68: 295-310, 1984.
3. Froehlich, D.C., "Embankment-Dam Breach Parameters", *Hydraulic Engineering, Proceedings of the ASCE National Conference on Hydraulic Engineering, Williamsburg, Virginia, August 3-7, 570-575, 1987.*
4. Singh, V.P., ve Scarlatos, P.D., "Breach Erosion of Earthfill Dams and Flood Routing: BEED Model", *Research Report, Army Research Office, Battelle, Research Triangle Park, North Carolina, 131s, 1985.*
5. Fread, D.L., "BREACH: An Erosion Model For Earthen Dam Failures" *NWS Report, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, Maryland, 1988.*
6. Wahl, T.L., "Prediction of Embankment Dam Breach Parameters: Literature Review and Needs Assessment", *USBR, Dam Safety Report DSO-98-004, 1996.*
7. Fread, D.L. ve Lewis, J.M., "NWS FLDWAV Model: Theoretical Description/ User Documentation", *Silver Spring, Maryland, 1998.*
8. Demirpençe, H. "Toprak Dolgu Barajların Yıkılması ve Oluşan Taşkın Dinamik Öteleme Metodu İle İncelenmesi", *Doktora Tezi, İTÜ, 1995.*
9. Chow, V.T., Maidment, D.R. ve Mays, L.W., "Applied Hydrology", *McGraw-Hill Co., New York, 310-342, 1988.*
10. Molu, M., "Dam-Break Flood in A Natural Channel: A Case Study", *A Master Thesis in Civil Engineering, METU, in Turkey, June, 1995.*



## FİBER ÇUBUKLU KOMPOZİT SİSTEMLERİN MİKROMEKANİK ANALİZİ\*

H. Murat ARSLAN

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

**ÖZET :** Bu çalışmada, fiber ve matris malzemelerinden oluşturulmuş birim hücreler kullanılmıştır. Bu elemanlar mikromekanik yaklaşım kullanılarak birleştirilmiştir. ANSYS paket programı ön işlemci olarak kullanılmıştır. Birim hücre 'ye ait sonlu elemanlar ağını oluşturmak için 20 düğümlü (SOLID95) ve 8 düğümlü (PLANE82) elemanları kullanılmıştır. Problemin çözümü için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Programın girdi dosyası ANSYS den elde edilen verilerin düzenlenmesi ve buna sınır şartları, malzeme özellikleri gibi gerekli bazı verilerin de eklenmesi ile oluşturulmuştur. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen birim hücrelerden oluşan kompozit sistemlerin analizi yapılmıştır. Hücreler istenilen kompozit sistemi elde etmek için çeşitli şekillerde sıralanabilir. Bu kompozit sistemler mikromekanik yaklaşım kullanılarak analiz edilmiştir. Aynı sistem tabakalı kabuk yapılar olarak düşünülmüş, makromekanik yaklaşımdan elde edilen sonuçlar diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

### MICROMECHANIC ANALYSIS OF FIBER REINFORCED COMPOSITE SYSTEMS

**ABSTRACT :** In this study A unit cell composed of fiber and matrix is considered. These elements are connected by using micromechanic approach. As preprocessor, ANSYS is used to create FE meshes for fiber and matrix. In order to model the mesh for a unit cell, 20 node solid elements (SOLID95) and 8 node plane elements (PLANE82) are used for matrix and fiber elements, respectively. A computer program is developed. The input file for the computer program is created by using the preprocessing information obtained from ANSYS. Later, necessary information, such as boundary conditions, material, etc. are added to input file. In this study, composite systems formed by using the above mentioned unit cells are studied. These unit cells can be stacked in a desired structure to form a composite system. Several composite systems formed by using this multiple cell model are considered. These composite systems are analyzed by using a micromechanical approach. The results of these composite systems are compared with a macromechanical approach where composite system is treated as layered shell structures.

\* Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Proje No:MMF.2002.BAP32

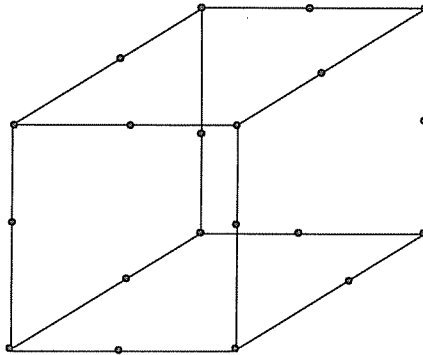
## 1. GİRİŞ

İki veya daha fazla farklı malzemeden yapılmış cisimler kompozit sistem olarak adlandırılmaktadır. Betonarme kiriş, araba lastiği gibi cisimler bu tür sistemlere örnek olabilir. Yapılan bu çalışmada bir malzeme ve etrafında onu çevreleyen başka bir malzemenin oluşturduğu bütünlüğe birim hücre denilmekte ve yapının genel davranışı bu birim hücrelerin matris tipi (yan yana ve alt alta) dizilişi ile modellenmektedir. Herbir hücrenin çekirdek kısmının davranışı beam noktaları denilen noktalara yerleştirilmiş ve çarpılma etkilerinin de hesaba katan iki boyutlu elemanlarla modellenerek çekirdek kısmının etrafındaki malzeme ise üç boyutlu yirmi düğümlü elemanlar ile gösterilmektedir. Analizin ilerleyen kısımlarında iki boyutlu ve üç boyutlu elemanların ortak düğüm noktalarında uygunluk şartları uygulanarak her iki malzeme ortak davranmaya zorlanacaktır. Analiz sonunda düğüm noktalarının deplasmanları ve gerilme dağılımları incelenmektedir.

## 2. MİKROMEKANİK ANALİZ

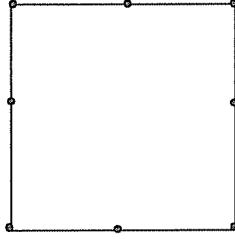
Bu çalışmada, tek bir fiber çubuk ve bunu çevreleyen bölgenin sonlu eleman modeli ile oluşturulması sonucu elde edilen hücre sistemi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Malzeme davranışını inceleyebilmek amacıyla çalışmalar öncelikle birim hücre üzerine yoğunlaşmıştır. Modelleme yaparken fiber çubuk üç boyutlu kiriş elemanı ve etrafını kaplayan malzeme (matris malzeme) ise yirmi düğümlü "solid" elemanı ile modellenmiş ve bu iki eleman sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir.

Bilindiği gibi bir problemin çözümü aşamasında problemi sonlu elemanlar ile modelleyip sonlu elemanlar ağını oluşturmak oldukça zaman alıcı bir iştir. Çözümün gerçeğe daha yakın sonuçlar vermesi için eleman ağını daha da sıklaştırılması gerektiği gözönünde tutulursa ve büyük boyutlu problemler ait düğüm koordinatlarının hesabı ve eleman tariflerine ait bilgilerin oluşturulması uzun süreceğinden bu işi elle yapmak imkansızdır. Bahsedilen sorunları aşmak için bu çalışmada ANSYS paket programı "preprocessor" olarak kullanılmıştır. Çözülecek örneğe ait bilgiler oluşturulduktan sonra ANSYS paket programında örneğin geometrisi oluşturulup her bir kenarın istenilen sayıda elemana bölünmesi sağlanmıştır. Yukarıdada bahsedildiği gibi matris malzeme 3 boyutlu 20 düğümlü elemanlara bölünmüştür. Bu tip eleman ANSYS paket programında SOLID95 olarak adlandırılmaktadır (Şekil. 1).



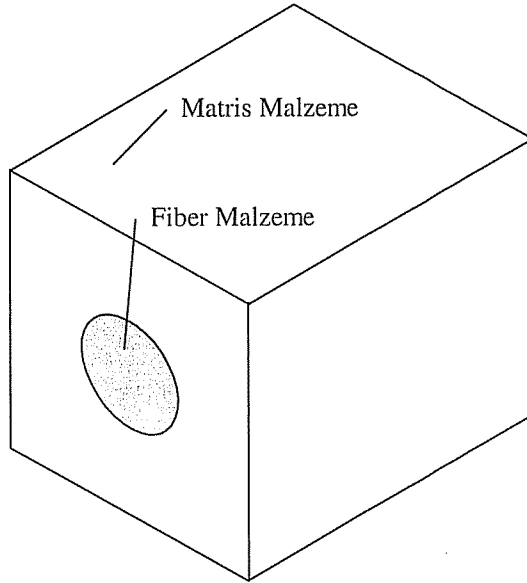
Şekil 1. SOLID95 elemanı

Fiber çubuk bölgesinde ise iki boyutlu 8 düğümlü elemanlar kullanılarak sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Bu tip eleman ANSYS paket programında PLANE82 olarak adlandırılmaktadır (Şekil. 2).

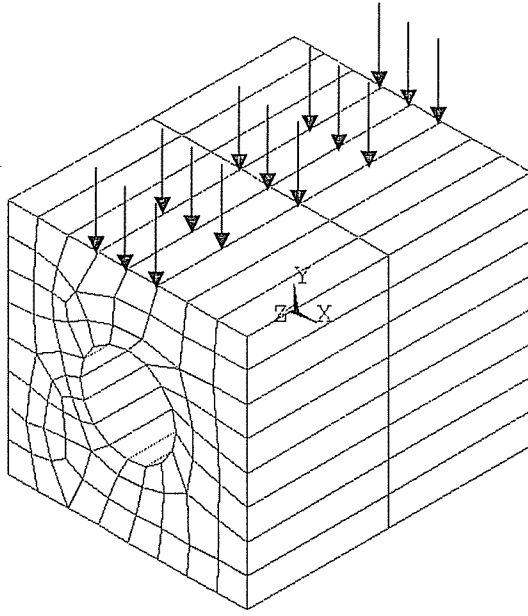


Şekil 2. PLANE82 elemanı

ANSYS paket programında SOLID95 ve PLANE82 elemanları kullanılarak birim hücrenin kesiti herbir kenar 8 adet elemana ve kiris eksenine 2 elemana bölünerek şekil 3 teki sonlu elemanlar ağı elde edilmiştir.



Şekil 3a. Birim hücre



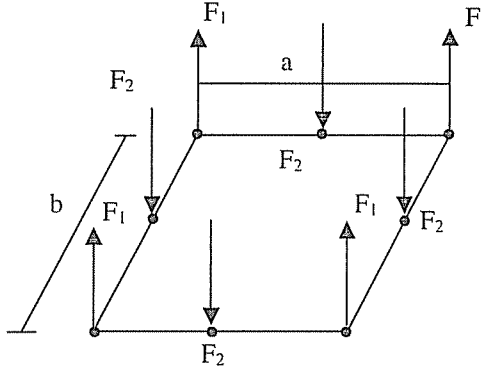
Şekil 3b. Birim hücre ve sonlu elemanlar ağı

### 3. VERİ DOSYASININ HAZIRLANMASI

Örneğin geometrisi ve sonlu elemanlar ağı oluşturulduktan sonra sırasıyla düğüm koordinatları, eleman tarifleri, yükleme bilgileri ve mesnet şartları dosya halinde ANSYS paket programından alınarak ve gerekli eklemeler ile format değişiklikleri yapılarak örneğe ait data dosyası oluşturulmaktadır. Bu data dosyası Fortran programlama dilinde hazırlanmış program tarafından kullanılarak problemin çözümü yapılmakta ve düğümlere ait deplasman ve gerilme değerleri elde edilmektedir.

Birim hücrenin kesiti  $10 \times 10$  cm olup boyu 12 cm dir. Ankastre mesnetlenmiş hücrenin kesit merkezinde fiber malzemesinin yerleştirileceği 2 cm yarıçaplı bir boşluk bulunmakta ve bu boşluk hücre boyunca sürmektedir. Bu şekilde modellenen birim hücre, ortasında farklı malzeme bulunan ankastre mesnetlenmiş kompozit bir kirişi ifade etmektedir.

Üzerinde çalışılan ankastre mesnetlenmiş kiriş z-x düzlemine dik doğrultuda sırasıyla tekil ve basınç yükleri ile yüklenmiştir. Yapılan karşılaştırma ve incelemeler sonucunda tekil yük ile yüklenmiş kirişin gerilme yoğunlaşmasından dolayı beklenen simetrik davranışı göstermediği gözlenmiş, dolayısıyla kiriş z-x düzlemine dik, kiriş eksenine boyunca, ortadaki iki sıra eleman üzerinde basınç yükü ile yüklenmiştir (Şekil 3). Basınç yükü hazırlanan bilgisayar programında eşdeğer tekil yükler ile gösterilmiştir (Şekil 4). Bilindiği gibi q basınç yükü ile yüklenen bir elemanın düğüm noktalarında eşdeğer  $F_1$  ve  $F_2$  kuvvetleri



Şekil 4. Bir eleman için eşdeğer tekil yükler

$$F_1 = \frac{qab}{12}, F_2 = \frac{qab}{3} \quad (1)$$

şeklinde verilir. Örnek problemde  $q= 1 \text{ N/m}$   $a=1 \text{ cm}$ ,  $b=6 \text{ cm}$  ise sırasıyla  $F_1$  ve  $F_2$  değerleri  $0.623 \text{ N}$  ve  $2.5 \text{ N}$  olur.

#### 4. MAKROMEKANİK ANALİZ

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar tabakalı kompozit plak çözümünden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Birim hücre üç tabaka şeklinde düşünülmüştür (Şekil 5). Kompozit plağın alt ve üst tabakaları homojen izotrop olup matris malzeme ile aynı özelliklere sahiptir. Orta tabaka ortotrop bir malzeme olup, farklı iki malzemenin (fiber ve matris) özellikleri birleştirilerek oluşturulmuştur. Orta tabakanın malzeme özellikleri belirlenirken “Spring Analogy” kullanılmıştır. İlk aşamada malzemelerin hacimsel oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Fiber hacim oranına  $V_f$ , matrix hacim oranına  $V_m$  denilirse,

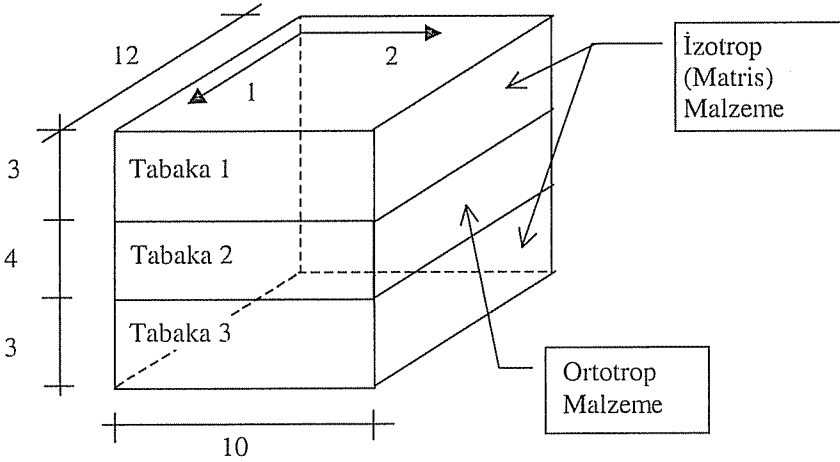
$$V_f + V_m = 1 \quad (2)$$

olmalıdır. 1 doğrultusundaki (Fiber çubuk doğrultusu) orta tabaka paralel bağlı yaylar gibi düşünülmelidir. Bu durumda fiber ile matris malzeme aynı uzamayı yapacaktır. Her iki malzemedeki kuvvetlerin toplamı dış kuvvete eşitlenirse,

$$\frac{\delta A E_f}{L} = \frac{\delta A_f E_f}{L} + \frac{\delta A_m E_m}{L} \quad (3)$$

bağıntısı elde edilir.  $A_f = V_f A$  ve  $A_m = V_m A$  olduğundan 1 doğrultusundaki elastisite modülü,

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (4)$$



Şekil 5. Kompozit plak

şeklinde elde edilir. 2 doğrultusunda ise orta tabaka seri bağlı yaylar gibi düşünülmelidir. Bu durumda malzemelerdeki kuvvetler eşit olacaktır. Orta tabakanın toplam uzama miktarı fiber ve matris malzemelerin uzamaları toplamına eşit olacaktır. Bir başka deyişle

$$\frac{PL}{AE_2} = \frac{PL_f}{A_f E_f} + \frac{PL_m}{A_m E_m} \quad (5)$$

olur.  $A = A_f = A_m$  ve sırasıyla  $L_f = V_f L$ ,  $L_m = V_m L$  değerleri yerine yazılırsa 2 doğrultusundaki eşdeğer elastisite modülü

$$\frac{1}{E_2} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \quad (6)$$

olarak bulunur. Orta tabakanın poisson oranı

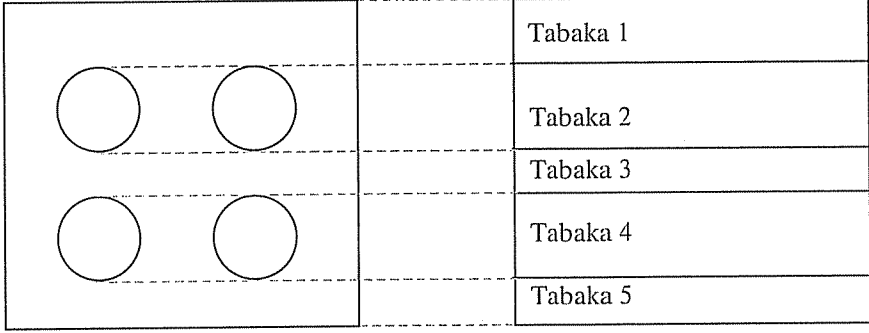
$$\nu_{12} = \nu_f V_f + \nu_m V_m \quad (7)$$

ve kayma modülü

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{V_f}{G_f} + \frac{V_m}{G_m} \quad (8)$$

olarak verilir.

Kesitinde iki sıra fiber bulunan bir kiriş için ise beş tabakalı eşdeğer kompozit plak düşünülmektedir (Şekil 6). Burada 1, 3 ve 5 inci tabakalar izotrop olup matris malzemenin özelliklerine sahiptir. 2 ve 4 üncü tabakalar ise ortotrop olup malzeme özellikleri yukarıda gösterildiği gibi belirlenmektedir.

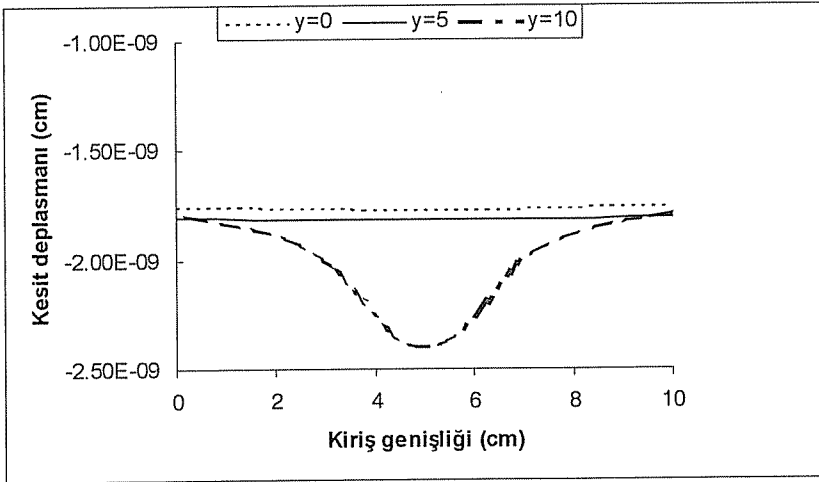


Şekil 6. Beş tabakalı kompozit plak

## 5. SAYISAL UYGULAMALAR VE SONUÇLAR

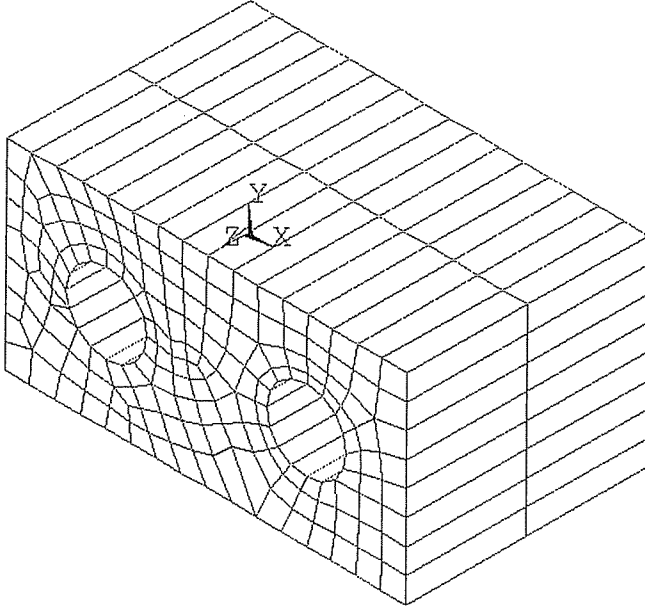
Örnek problemde ve bundan sonra çözülecek örneklerde matris malzemesi epoxy, fiber malzemesi ise e-glass olarak seçilmiştir [Chen, Liu, 2001]. Matris malzemesinin elastisite modülü 4.0 GPa olup poisson oranı 0.34 dür. Fiber malzemenin ise elastisite modülü 84.0 GPa, poisson oranı 0.22 dir.

Şekil 3 deki ankastre mesnetlenmiş ve basınç yükü ile yüklenmiş kirişe (birim hücre) ait data dosyaları oluşturulduktan sonra çözüme geçilmiştir. İlk olarak deplasman değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Birim hücrenin deplasman değerleri

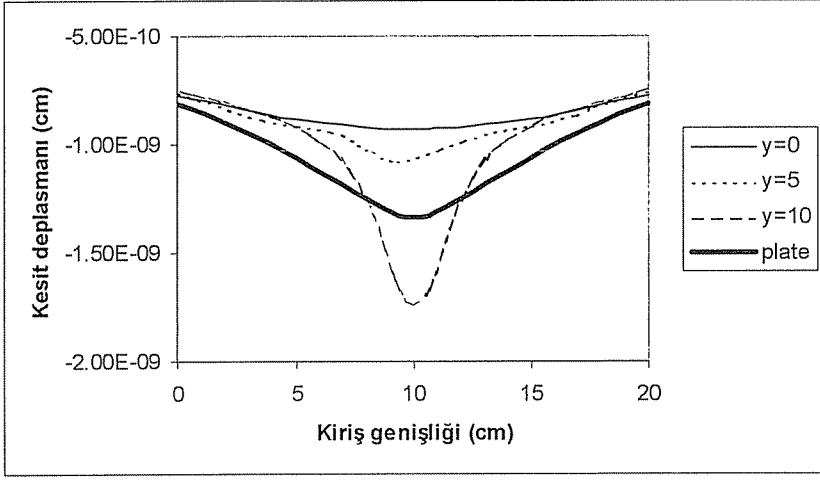
Burada kesit alanı üzerinde üç farklı yükseklikteki deplasman değerleri karşılaştırılmıştır. Sırasıyla kiriş alt lifi ( $y=0$ ) kiriş ortası ( $y=5$ ) ve kiriş üst lifindeki ( $y=10$ ) deplasman değerleri karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi en fazla deplasman yüklemeye en yakın bölge olan en üst lifte oluşmuştur. İki birim hücrenin yan yana konulmasıyla elde edilen kiriş içinde aynı çalışma yapılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. İki birim hücre ile oluşturulmuş eleman

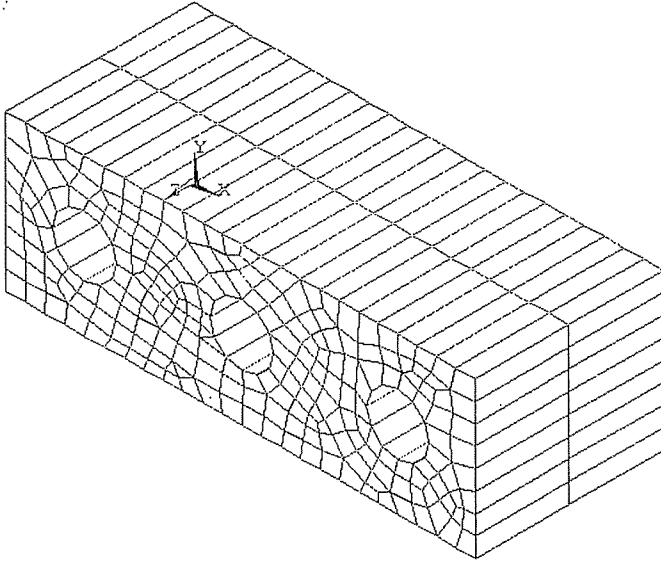
Bu örnekte liflerin deplasmanları elde edildikten sonra bu değerler kompozit plak çözümünden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.



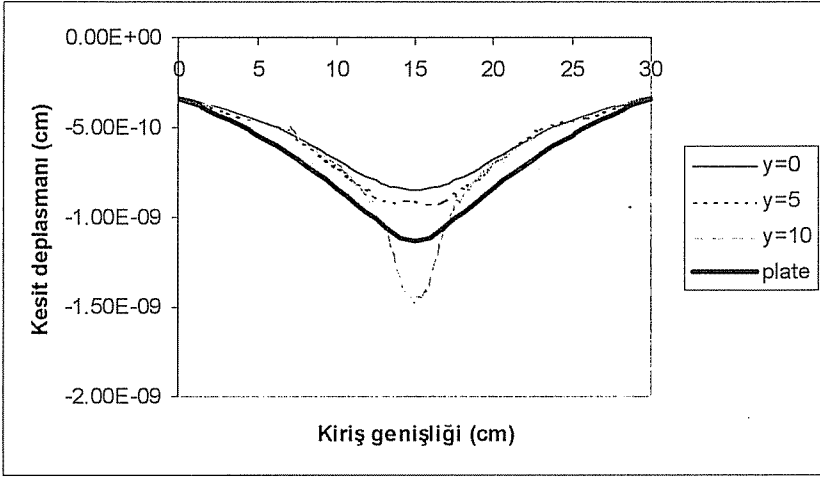


Şekil 9. İki birim hücreli kompozit elemanı deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Grafikten görüldüğü gibi deplasman değerleri beklentilere uygundur. Ayrıca kompozit plak çözümünden elde edilen deplasman değerleri (Plak orta düzleminin deplasmanı) kiriş alt lifindeki deplasman değerlerinden fazla üst lifindeki deplasman değerlerinden azdır. Yan yana dizilmiş üç birim hücreye (Şekil 10) ve eşdeğeri olan kompozit plaka ait deplasmanların karşılaştırılması Şekil 11 de verilmiştir.

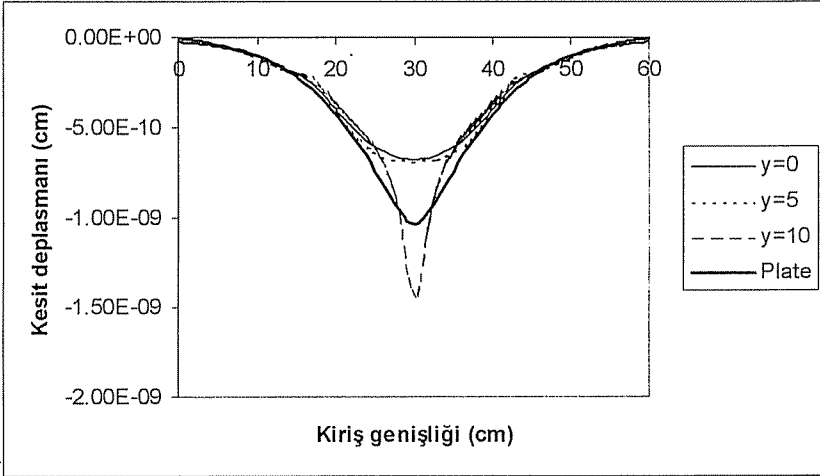


Şekil 10. Üç birim hücre ile oluşturulmuş eleman



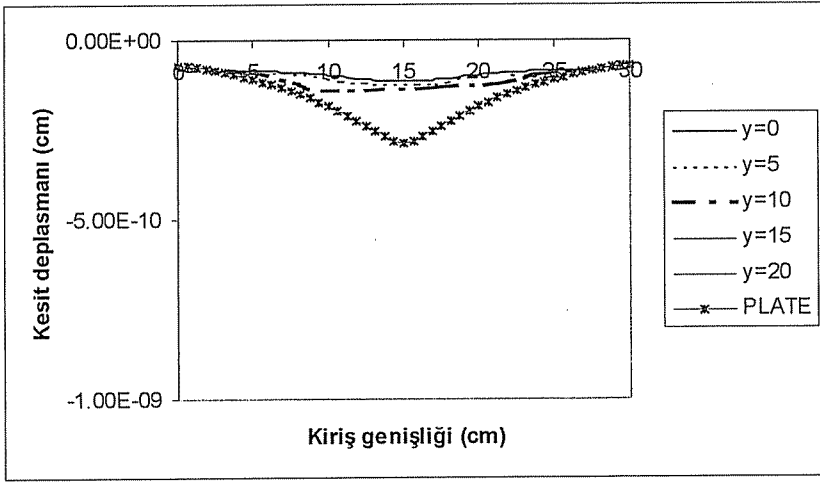
Şekil 11. Üç birim hücreli kompozit elemanı deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Yan yana dizilmiş altı birim hücreye ve eşdeğeri olan kompozit plağa ait deplasmanların karşılaştırılması şekil 12 de verilmiştir.



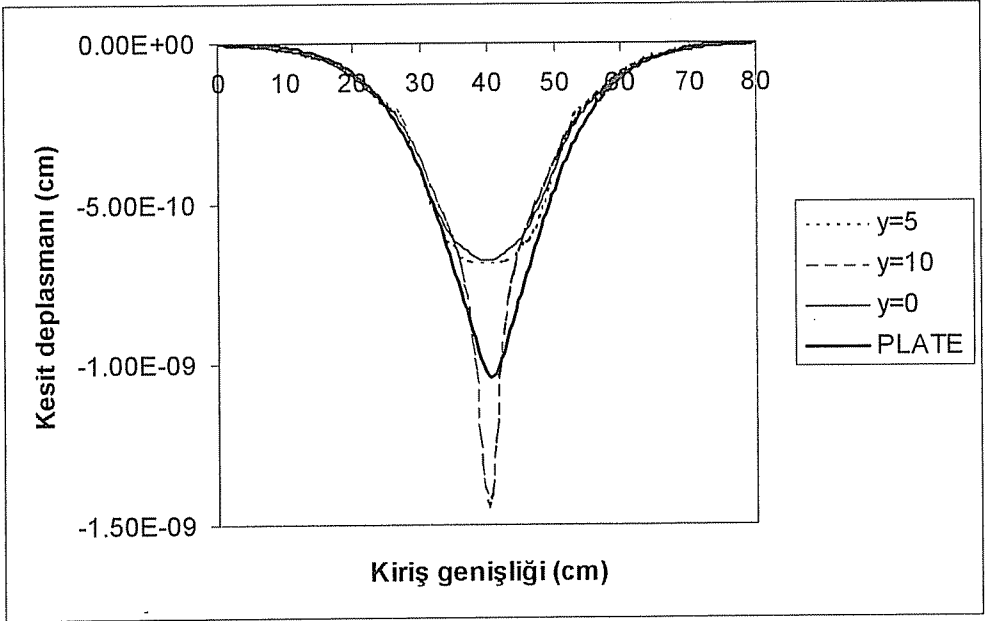
Şekil 12. Altı birim hücreli kompozit elemanı deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Birim hücrelerin üçü alta üç tanesi uste ( $2 \times 3$  sıra) yerleştirilmesiyle elde edilen giriş ve eşdeğeri olan kompozit plağa ait deplasmanların karşılaştırılması şekil 13 de verilmiştir.



Şekil 13. 2x3 birim hücreli kompozit elemanı deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Yan yana dizilmiş sekiz birim hücreye ve eşdeğeri olan kompozit plağa ait deplasmanların karşılaştırılması şekil 14 de verilmiştir.

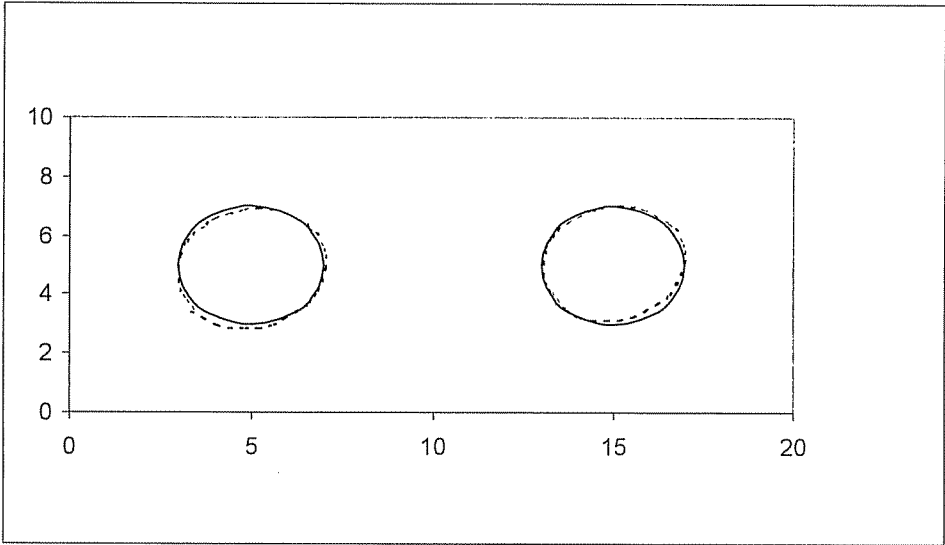


Şekil 14. birim hücreli kompozit elemanı deplasman değerlerinin karşılaştırılması

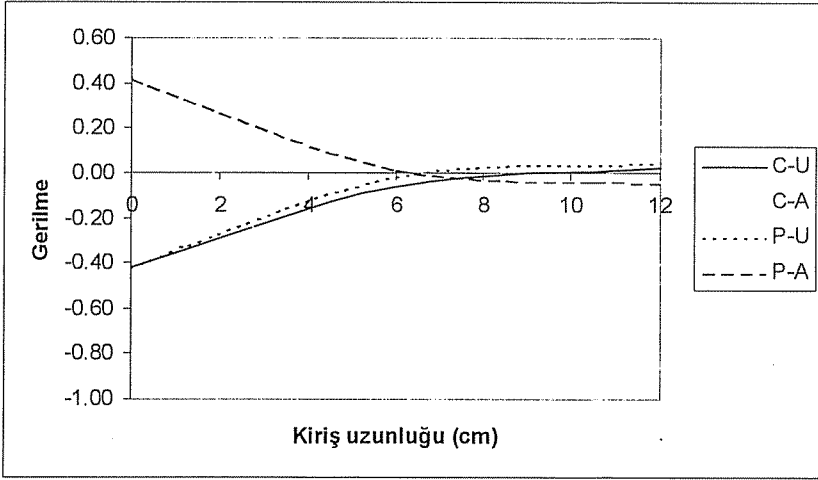
Şekillerden görüldüğü gibi, örnek problemin ortotropik plak ile modellenmesi (Makromekanik yaklaşım) durumunda deplasman değerleri elde edilmiştir. Aynı

problemin sonlu elemanlar yöntemi (Mikromekanik yaklaşım) ile çözümünden de deplasman değerleri elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak herhangi bir kiriş kesitinin herhangi yüksekliğinde deplasman değerleri elde edilmektedir. Bu durumda grafikler incelendiğinde makromekanik yaklaşımla tek bir deplasman eğrisi elde edilmekteyken mikromekanik yaklaşım kullanılarak kirişin alt liflerinde, orta liflerinde, üst liflerinde ayrı ayrı deplasman eğrileri elde edilebilmektedir. Bu durumda hassa yapılar için mikromekanik yaklaşım ı kullanmak gerçeğe daha uygun sonuçlar verecektir.

İki birim hücrenin yanyana yerleştirilmesi (Şekil 8) ile elde edilen elemanın kesitinin şekil değiştirmiş durumu Şekil 15’de verilmiştir. Bu elemana ait gerilme değerlerinin grafikleri Şekil 16-18’de verilmiştir.

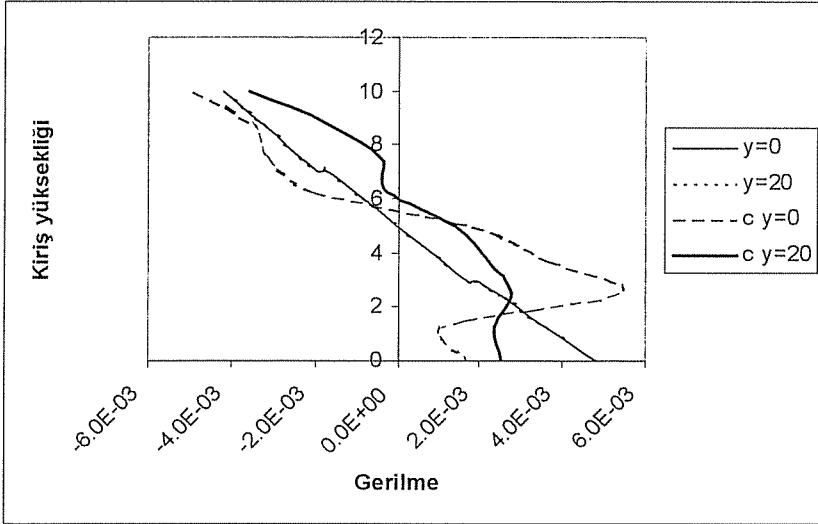


Şekil 15. Birim hücrelerin şekil değiştirmiş durumu



Şekil 16. Kiriş boyunca gerilme dağılımı

Eleman ın üst lifinde mikromekanik(C-U) ve makromekanik (P-U) yaklaşımlardan elde edilen sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır. Ancak yükleme bölgesinden uzaklaştıkça makromekanik (P-A) ve mikromekanik (C-A) yaklaşımdan elde edilen sonuçlar farklılaşmaktadır. Grafik incelendiğinde makromekanik yaklaşımdan elde edilen elemanın alt ve üst liflerindeki gerilme değerleri simetrik olduğu görülmektedir. Mikromekanik yaklaşımda ise eleman alt bölgesindeki gerilme degerleri üst bölgedekinin simetriği değildir.



Şekil 17. Kiriş genişliği doğrultusundaki gerilme uzunluk ilişkisi

Bu grafikte, örnek olarak kiriş ucundaki kesitin sağ ve sol kenarlarındaki kiriş genişliği doğrultusunda oluşan gerilme değerleri karşılaştırılmıştır. makromekanik yaklaşımda kiriş alt ve üst liflerindeki gerilmeler tamamen aynı çıksada mikromekanik yaklaşımda bu değerlerin farklılık gösterdiği görülmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Brown, B.M., Jimack, P.K., Mihajlovic, M.D., "An efficient direct solver for a class of mixed finite element problems" *Appl Numer Math* 38 (1-2): 1-20 Jul 2001.
2. Hiptmair, R., Hoppe, R.H.W., "Multilevel methods for mixed finite elements in three dimensions" *Numer Math* 82 (2): 253-279 Apr 1999.
3. Golub, G.H, Huang, L.C, Simon, H., et al. "A fast Poisson solver for the finite difference solution of the incompressible Navier-Stokes equations" *Siam J Sci Comput* 19 (5): 1606-1624 Sep 1998.
4. Mandel, J., Tezaur, R., Farhat, C., "A scalable substructuring method by Lagrange multipliers for plate bending problems" *Siam J Numer Anal* 36 (5): 1370-1391 Sep 8 1999.
5. Topping, B.H.V., Khan, A.I., "Subdomain generation for non-convex parallel finite element domains" *Adv Eng Softw* 25 (2-3): 253-266 Mar-Apr 1996.
6. Thole, C.A., Supalov, A., Mayer, S., "A parallel hierarchical solver for finite element Applications" *Lect Notes Comput Sc* 1541: 557-564 1998.
7. Kocak, S., Akay, H.U., "Parallel Schur complement method for large-scale systems on distributed memory computers" *Appl Math Model* 25 (10): 873-886 Oct 2001.
8. Chen, X., Liu, Y., "Multiple-cell modeling of fiber-reinforced composites with the presence of interphases using the boundary element method", *Computational Materials Science*, 21, 86-94, 2001.

## İNŞAAT FİRMALARINDA ÇAĞDAŞ PAZARLAMA VE TEKLİF FİYAT BELİRLEME STRATEJİLERİ

Mustafa DEMİRCİ

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

Emel LAPTALI ORAL

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

Ercan ERDİŞ

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

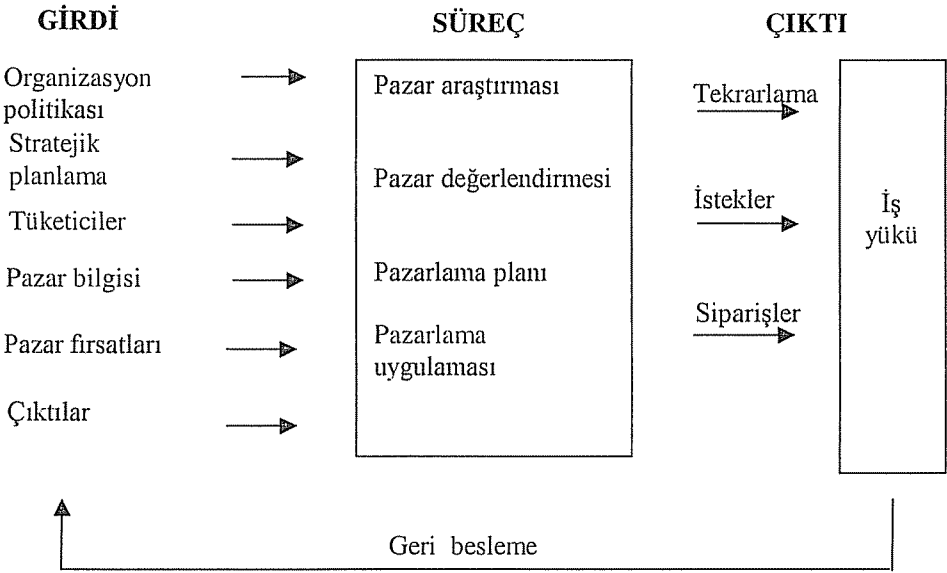
**ÖZET :** Günümüzde rekabetin sürekli artması, müşteri isteklerinin değişmesi ve yeni pazarların açılması (özellikle yurtdışı pazarlara girme isteği) şirketleri, pazarlama ve reklam çalışmalarına ağırlık vermeye, zamanla daha sistematik, belirli hedef ve stratejiler doğrultusunda planlı rekabet etmeye zorlamaktadır. Özellikle büyük ölçekli şirketler süre, maliyet ve kalite kriterlerinin zorlayıcı bir baskı unsuru haline gelmesiyle birlikte, bu konularda kendilerini geliştirme ve şirket içi organizasyonel ve de fonksiyonel yapılanmalarında çeşitli yenilikler yapma arayışlarına başlamışlardır. Tüm dünya ile birlikte ülkemizde de pazarlama kavramına verilen önem her geçen gün artmakta ve inşaat endüstrisinde de etkisini göstermektedir. Dünyanın her yerinde ve her endüstride geçerliliğe sahip olan pazarlama artık evrensel bir kavram olmasına rağmen, pazarlama yaklaşımları ülkeden ülkeye endüstriden endüstriye farklılık göstermektedir. Bu makalenin amacı da Türk inşaat sektöründe pazarlamaya verilen önemi saptamak ve inşaat şirketlerini başarıya götürecek pazarlama stratejilerini ortaya çıkarmak, özellikle teklif hazırlama stratejilerini belirlemektir. Bu amaçla, küçük ölçekli inşaat şirketlerini içeren bir anket çalışması yapılmıştır. Sonuçlar, literatür ve anket bulguları ile değerlendirilmiş ve şirketleri başarıya götürecek etkili pazarlama stratejileri belirtilmeye çalışılmıştır. Çalışmada ağırlıklı olarak pazarlama, pazarlama stratejileri ve inşaat şirketlerinde ihale öncesi teklif hazırlama stratejileri üzerinde durulmaktadır.

## CONTEMPORARY MARKETING AND BIDDING STRATEGIES IN CONSTRUCTION FIRMS

**ABSTRACT :** Due to the continuous competition within the markets together with both the changes in buyer requirements and requirements of new markets, organizations have to focus on strategies which are formed as a result of systematic planning efforts. Large organizations tend to change their organisational and functional structures to deal with the constraints of time, cost and quality. In this context, the importance of the marketing function is realised in our country as it is in all over the world and the results of these new approaches show their affects on construction industry, too. The aim of this article is to identify the importance of marketing for Turkish construction firms and also to discuss the marketing strategies that would be successful especially during pre-tender stage. For the aim of the article, a questionnaire survey has been undertaken. The results are discussed depending on both literature and questionnaire survey findings.

## 1. GİRİŞ

Pazarlama; kişilerin ve örgütlerin amaçlarına uygun şekilde değişimini sağlamak üzere, malların, hizmetlerin ve düşüncelerin yaratılmasını, fiyatlandırılmasını, dağıtımını ve satış çabalarını planlama ve uygulama sürecidir. Pazarlamaya işletmenin çeşitli çevre koşullarından etkilenen, bu koşullarda işleyen bir sistem olarak bakmak gerekir. Çeşitli pazarlama eylemleri ile diğer eylemler arasındaki ilişkiler, işletmelerin pazarlama sistemini oluşturur. Pazarlama sisteminin girdilerini ise organizasyon politikası, stratejik planlama, tüketiciler, pazar bilgisi, pazar fırsatları oluştururken; sistemin sürecini pazarlama araştırmaları, değerlendirme, planlama ve uygulama faaliyetleri oluşturur (1). Sistemin çıktısı ise eski siparişlerin tekrarı, istekler ve yeni siparişlerden oluşan iş yüküdür. Şekil 1' de pazarlama sistemini oluşturan unsurlar gösterilmektedir.



Şekil 1. Pazarlama sistemi

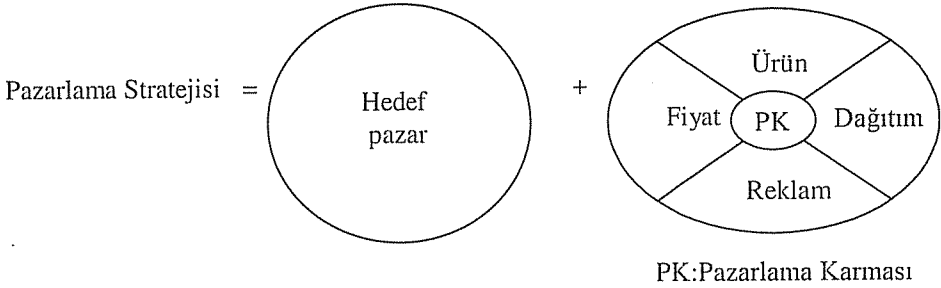
Pazarlama sistemi aracılığı ile değişen çevre koşullarını doğru ve zamanında belirleyerek işletme ve üretim stratejilerini yeni koşullara göre adapte edebilen işletmelerin uzun dönemde varlıklarını sürdürdükleri ve pazar payını amaçları doğrultusunda geliştirdikleri gözlemlenmektedir. Bu da pazarlama sistemindeki geri beslemenin şirketin ayakta kalması açısından önemini ortaya koymaktadır. Organizasyon politikasını ve stratejik planlarını girdi olarak kullanan pazarlama sistemi, bu girdilere geri besleme yapmak zorundadır.



## 2. PAZARLAMA SİSTEMİ VE STRATEJİLERİ

Bir işletmenin pazarlama plan ve politikalarının odak noktasını, pazarlama stratejisi oluşturur. Pazarlama stratejisi pazarlamanın hedefi olan uygun mal ve hizmeti, uygun yerde, uygun zamanda, uygun fiyatla ve uygun müşterilere sunma faaliyetlerinin rasyonel ve sistematik olarak yapılmasını sağlar (2).

Bir pazarlama stratejisi gerçekte iki konu üzerinde odaklaşır. Bunlardan birincisi hedef pazar, ikincisi ise pazarlama karması olarak tanımlanabilir (Şekil 2).



Şekil 2. Pazarlama stratejisi bileşenleri (Hedef pazar ve pazarlama karması)

İşletmenin mal veya hizmetini arz etmek istediği tüketici grubuna hedef pazar adı verilir. Hedef pazar, pazarın aynı özellikleri taşıyan tüketici alt gruplarından oluşur ve farklı hedef pazarlar farklı pazarlama karması gerektirir. Hedef pazarın özelliklerinin ayrıntısıyla tanımlanması, pazar veya ürün geliştirme ve pazara nüfuz etme gibi stratejilerin seçiminde oldukça önemlidir. Dolayısıyla işletme pazarlama stratejilerini belirleyebilmek için öncelikle hedef pazarları tanımlamalıdır (2). Hedef pazarın tanımlanması ile birlikte pazar stratejilerinin seçiminde ve uygulanmasında ürün merkezi rol oynar. Örneğin, mevcut ürünlerle ilgili büyüme stratejisi geliştirmek istendiğinde hangi ürünlerin üretiminin artırılacağı, pazar payının ne olacağı, pazar payını arttırmak için hangi taktik ve usullerin kullanılacağı gibi soruların cevabı verilmeye çalışılır. Eğer işletme yeni bir pazara yeni bir ürünle girmeyi planlıyorsa, hedef pazarın özellikleri belirlendikten sonra ulaşılmak istenen pazar payı, onun için pazara ne zaman girilmesi gerektiği, fiyatlandırma, dağıtım ve kalite politikalarının ne olacağı gibi konular ayrıntısıyla ele alınmalıdır.

Bu aşamada şirketin fiyatlandırma politikaları tüketici talebi kadar ürünün imajını da etkileyecektir. Ürünün hayat safhalarının ilk dönemlerinde yüksek fiyat politikaları kaliteli mal imajı oluşturmada ve pazarın kaymağını almada etkili olabilir. Daha sonraki safhada ise, fiyatların düşük tutulması, pazara nüfuz etmede ve pazar payını arttırmada olumlu sonuçlar doğuracaktır. Olgunluk safhasında pazar payını korumak için fiyatların sabit tutulması ve beraberinde tutundurma çabalarının artırılması gerekir. Tutundurma çabaları ise, reklam, halkla ilişkiler ve satış artırıcı teşviklerden meydana gelir. Tutundurma çabaları ürünün tüm hayat safhalarında uygulanmalı ve ürünün hedeflediği tüketici grubuna hitap etmelidir.

Üretimle tüketim arasında yer, zaman, miktar ve hatta kalite açısından uyumsuzluklar ortaya çıkması yukarıda belirtilen tüm çabalardan sonuç alınmamasına

neden olacaktır. Üretilen mal ve hizmetlerin, tüketime uyumlu bir şekilde akışını sağlayacak, üretimle tüketimin uyumunu sağlayacak bir fonksiyonun gerekliliği açıktır. Bu uyumu sağlayacak fonksiyon ise dağıtımdır. Dağıtım politikaları mal veya hizmetin, tüketicinin ihtiyaç duyduğu yerde ve zamanda ulaştırılmasını sağlayacak biçimde ayarlanmalıdır.

## 2.1. İnşaat Sektöründe Pazarlama Stratejileri

İnşaat sektöründe yüklenici ile mal sahibi arasında yapılan sözleşmenin üretim öncesi yapılması, önceden satılmış olan bir ürünün pazarlanamayacağı ve pazarlamanın inşaat sektörüne uygun olmadığı yolunda ön yargılara neden olmaktadır. Sektörün işleyişindeki bu farklılık yalnızca, inşaat işletmelerindeki ürün satış döngüsünün farklılaşmasına neden olacaktır.

Ürün → sipariş → satış

Sipariş → satış → ürün

**Şekil 3-a.** İmalat Sektöründe  
Ürün Satış Döngüsü

**Şekil 3-b.** İnşaat Sektöründe  
Ürün Satış Döngüsü

Şekil 3-a ve 3-b'den görüldüğü üzere, seri üretim yapan şirketler daha önceden üretilmiş olan ürünün piyasaya sunumu aşamasında alıcıya fiyat verme durumunda kalırken, yüklenici inşaat şirketleri, genellikle henüz ortada olmayan bir ürünü, mal sahibi ile yapılan sözleşmede öngörülen şartlar çerçevesinde bitirme taahhüdü altına girerler.

İnşaat sektörünün de içlerinde olduğu birçok sektörde şirketler siparişlerini ihale rekabeti ile alırlar; bu da pazarlama çalışmalarının ihale stratejileri üzerine yoğunlaşmasını gerektirir. Bu yöndeki çalışmalar ise genellikle fiyatlandırma stratejileri üzerine odaklanmaktadır.

## 2.2. İhale Rekabeti Altında Pazarlama Stratejileri

### 2.2.1. İhaleye Teklif Verme Kararını Etkileyen Faktörler

Yapım işlerinde, her projenin tek ve kendine has olması, şirketlerin ihalelere teklif verme kararlarının kendi yapabilirlikleri ile, proje ömrü boyunca yapılması gerekenleri karşılaştırmasına dayandırılmasını öngörür. Şirketlerin yapabilirliklerini etkileyen unsurları da dört ana başlıkta toplamak mümkündür. Bunlar şirketin;

- (1) Üretim kapasitesi,
- (2) tahmin kapasitesi,
- (3) satış kapasitesi,
- (4) satış yönetimi.

Üretim kapasitesi en küçük aralıktaki maliyet artışının en küçük aralıktaki kar artışını geçeceği fiziksel limitleri belirler (3). Rekabete dayalı ihale usulü ile iş alan şirketler için üretim kapasitesini ölçmek ihaleye dayalı iş almayanlardan çok daha güçtür. Bu ürünün/hizmetin doğasından kaynaklanmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe ihale usulü yüklenilen üretim genelde bir kereye mahsustur ve ürünü üretirken gerekecek maliyet farkları ya hiç bilinmez veya az bilinir. Ayrıca, birçok sektörün üretim faaliyetlerinde

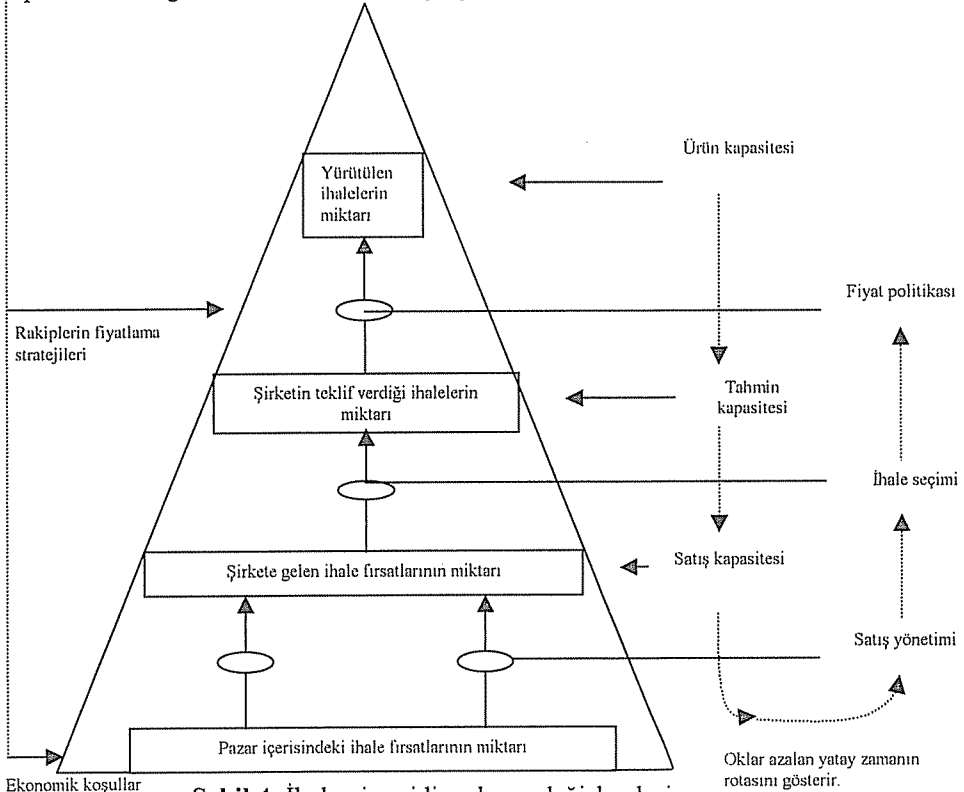
makine veya yer kapasiteleri en önemli fiziksel limitler durumunda iken yapım işlerinde kısıtlı yönetim kapasitesi anahtar kısıtlayıcıdır.

Tahmin kapasitesi, verilen teklifin doğru ve gerçekçi bir biçimde hazırlanabilmesi için şirketin hazırlayabileceği tahminin miktarıdır ve genelde tahmin zamanı için elde bulunan insan gücü olarak verilir.

Satış kapasitesi, şirketin teklif vermesi için gelen davet miktarlarını gösterir. Satış kapasitesi reklam ve halkla ilişkiler gibi satış masraflarını arttırabilen faaliyetlerle arttırılabilirken, şirketin teknolojik yapabilirlik veya güvenilirlik gibi özellikleri satış masraflarını arttırmaksızın satış kapasitesini yüksek tutacak unsurlardır.

Satış yönetimi genel anlamda satış grubunun ve fonksiyonlarının kalitesi, organizasyonu, iş planlaması ve kontrolü ile ilgilidir; alacağı stratejik ve taktik kararlar ile ihaleye teklif verme fırsatlarının yaratılmasını (yani satış kapasitesinin arttırılmasını) ve kullanılmasını etkiler.

Şekil 4'de, ihale fırsatlarının miktarının satış kapasitesi yanında satış yönetiminin makro ekonomik koşullar sonucu ortaya çıkan pazar fırsatlarından yaptığı seçimlerden de etkilendiği görülmektedir. İhale fırsatlarından teklif verileceklerin seçilmesi ise üretim kapasitesi ile birlikte, rakiplerin fiyatlandırma politikaları ve şirketin satış yönetimi politikaları sonucu belirlediği fiyatlandırma politikasının sonucu ortaya çıkmalıdır. Sonuç olarak, elde edilen ihale miktarları tüm bu çalışmaların yanında ürün kapasitesini de göz önünde tutarak ortaya çıkarılmalıdır.



Şekil 4. İhale piramidi ve karar değişkenleri

Yukarıda da belirtildiği gibi ihale fırsatları ekonomik koşullar sonucu ortaya çıkan seçimlerden etkilenir ve şirketlerin ihalelere teklif verme kararı ise kendi yapabilirlikleri ve proje ömrü boyunca yapılması gerekenleri karşılaştırmalarına dayanır. İhale fırsatlarından teklif verileceklerin seçilmesi ise üretim kapasitesi ile birlikte, rakiplerin fiyatlandırma politikaları sonucu ortaya çıkmalıdır. Teklife gidilen ihalelerin sayısı ise tahmin kapasitesi ve satış yönetiminin ihale seçimi politikalarının sonucunda belirlenmelidir. Sonuç olarak, elde edilen ihale miktarları tüm bu çalışmaların yanında ürün kapasitesini de göz önünde tutarak ortaya çıkarılmalıdır.

### 2.2.2 Teklif Hazırlama ve Fiyat Belirleme

Teklif hazırlama süreci, genellikle girişimci tarafından hazırlanan sözleşmenin, yüklenici şirket tarafından incelenmesi, revizyonu ve teklif fiyatının belirlenmesi için gerçekleştirilen adımları içerir (4).

Teklif fiyatı; maliyetler ve kar marjını içine alır. Bu nedenle fiyat belirlemede ilk iş, net bir maliyet tahmini oluşturmaktır. Bu tahmin; personel, ekipman ve malzemenin iş maliyetleri ile bunların giderleri ve finans bedelleri gibi dolaysız maliyetleri içermektedir (5).

Kar marjının hesabı, teklifin kazanılıp kazanılmamasını belirleyen en önemli adımdır. Bu aşamada genel giderler kar marjını etkileyen iç faktörler olarak belirleyici bir rol oynarlar (5). Bir yüklenici şirket için gerçek rekabet ortamında optimum karı belirlemek, genellikle tecrübe gerektiren zor bir iştir. Teoride kabul edilen yaklaşım; yüklenicinin bir proje için fiyat teklifini belirlerken mümkün olduğu kadar az ve uygun varsayımında bulunması ve sağlayabileceği kadar çok konu ile ilgili bilgi kullanmasının gerekliliğidir (6). Bu nedenle, yüklenici teklif tutarını belirlerken teklif sonucunda işi alabilmenin yanında alınan işten yeterli kar sağlayabilmeyi göz önünde bulundurmalıdır (7).

Diğer bir deyişle girişimci tarafından hazırlanan sözleşmenin, incelenmesi ve teklif fiyatının belirlenmesi (maliyetler ve kar marjının tespiti) net bir maliyet tahmininin oluşturulmasını (dolaysız maliyetleri) kapsamaktadır. Kar marjının hesabı, genellikle tecrübe gerektiren zor bir iştir. Yüklenicinin amacı teklif tutarını belirlerken işi alabilmenin yanında alınan işten yeterli kar sağlamak olmalıdır. Bu aşamada yapım ihalelerinde verilen teklif fiyatının belirlenmesi aşamasında belirsizlik ve risk kavramları da önemli bir yer teşkil etmektedir. Bunlar proje maliyetlerinin tahmini ile ilgili belirsizlik ve riskler ve aynı ihaleye giren rakiplerin tepkisi ile ilgili belirsizlik ve riskler olmak üzere 2 grupta ele alınabilir.

Bu çerçevede risk ve belirsizlik kavramlarının tanımlanması faydalı olacaktır. Genel olarak herhangi bir olayın olma olasılığının istatistiksel olarak belirlenebildiği durumlar "risk" ve olayın olma veya olmama olasılığının belli olmadığı durumlar "belirsizlik" olarak tanımlanmıştır.

Risk ve belirsizlik tam olarak ayrılmayabilir. Bazı olaylar, belirsizlik durumundan iyi veri toplandığında risk durumuna geçebilir. Örneğin, bir şirketin ihale öncesi metraj, vs. için yaptığı harcama masrafları araştırılıp veri haline getirilebilir. Bu da belirsizliği belirliliğe çevirmek olur. Bunun yanında rakiplerin önceki ihalelerdeki kırımları ile ilgili bilgiye müteahhit erişmeyebilir. Erişse bile yorumlamayabilir.

Maliyet tahminleri metraj değerlerine dayanmasına rağmen, müteahhit projenin gerçekte ne kadara mal olacağını bilmez. Maliyetteki farklılıklara neden olan sebeplerin bazıları aşağıda listelenmiştir (Bunların çoğu belirsizliklerdir; yani sigortalanamazlar. Ama bunların maliyeti sözleşme kapsamında işverene veya işi yürüten diğer kişilere yüklenilir). Bu sebepler maliyet tahmininde kullanılmaz ama ihale fiyatı belirlenirken eklenmelidirler. Aşağıda maliyette farklılıklara neden olan sebepler bir tablo halinde gösterilmektedir (Tablo 1).

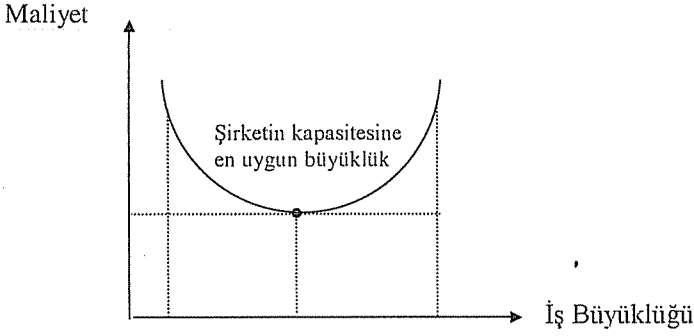
**Tablo 1. Maliyette Farklılıklara Neden Olan Sebepler**

MALİYETLER	SEBEPLER
İşçi maliyetleri	*Moral bozukluğu, işi durdurma, grev, verimlilik düşüşü - Belirsizlik. *Zayıf planlama - Belirsizlik fakat verilerle risk olabilir. *Önceden bilinmeyen işçi ile çalışmadan doğan hatalı işçilik-Belirsizlik ama riske dönüştürülebilir. *İşçi maliyetinin tam hesaplanamaması (ulaşım, vs. masrafları) - Belirsizlik *Enflasyon - Belirsizlik fakat bir kısmı işverene atılabilir.
Malzeme maliyetleri	*Malzeme fiyatlarının zamanla değişmesi-Belirsizlik fakat müşteriye yüklenilir veya stok yapılabilir. *Malzeme sıkıntısı veya malzemenin geç gelmesi-Belirsizlik fakat daha iyi planlama veya önceden teminle elde edilebilir.
Taşeron maliyetleri	*Taşeronun olması gerektiği gibi iş yapmaması - Belirsizlik.
Metraj	*Aritmetik hatalar-belirsizlik: Bu genelde işverenin kesin hesapçısı tarafından kontrol edilir, değişiklikler kabul edilebilir. *Metrajdaki miktarlarda değişiklikler - Belirsizlik. *Tedarikçinin ölçüm şeklinin farklı olması durumu. Örneğin dolgu malzemesi; müteahhit m <sup>3</sup> cinsinden para alır tedarikçi ağırlıkla sayar-Belirsizlik.
Zemin durumu	*Zemin beklenenden farklı çıkabilir - Belirsizlik fakat bazı durumlarda işverenin sorumluluğunda olabilir.
Yönetim masrafları	*Hızla büyüyen şirketlerde yönetim kalitesi tam bilinmeyebilir -Belirsizlik.
Hava ve mevsimler	*Kötü hava, işlerin gidişini etkileyebilir. Sigortalama veya kış aylarında alınan önlemlerle önenebilir. - Risk.
Tasarımcıların davranışları	*Mimar veya mühendisin çizimleri zamanında sağlamaması - Belirsizlik ve müşteriye yüklenilir fakat işi uzatmasından dolayı olacak olaylar için iddiada bulunulamaz. Örneğin, yapılan büyük bir işte çizimlerin eksik olmasından dolayı olan birçok olaydan sonra problemlerin olması ve işin kapatılması durumu. *Mimar veya mühendisin fikrini değiştirmesi - Belirsizlik.
Felaketler	*Yangın, sel, deprem, vs. Risk.
Zaman aşımı	*İş zamanında bitirilmemiş ve sözleşme maddelerinde hataların olma ihtimali. - Belirsizlik.
Sözleşmenin yetersizliği	*Sözleşme maddelerinde ve sorumlulukların belirlenmesinde yapılan hatalar. - Belirsizlik.

Yukarıdakilere destek olarak Broemser (8), müteahhidin taşerona yaptırdığı iş arttıkça kendi aldığı riskin azaldığını fakat müteahhidin tüm işten elde ettiği kar marjının azaldığını belirtmiştir. Benjamin (9) ise, yağışlı mevsimlerde çalışma ile işçi maliyetinin yükselmesi riski arasında ilişki kurmuştur. Bu durumlarda da kar marjının yüksek tutulması gerektiğini ve ayrıca işin geç bitimi olasılığından dolayı ödenecek cezaların da kar marjının belirlenmesinde önemli olduğunu belirtmiştir.

Yukarıdakilere ek olarak Broemser ve Benjamin'in göz önünde tutmadığı bir başka faktörde işin karmaşıklığıdır. İşin karmaşıklığı arttıkça riskin maliyeti artacak ve tüm girdilerin maliyeti ile projenin tüm maliyeti arasındaki fark işin karmaşıklığına bağlı olarak artacaktır (10).

Broemser (8), ayrıca müteahhidin kapasitesine göre büyük bir işin riski artırdığını ve bu durumda müteahhidin kar marjını yükselttiğini (riski kompanse etmek için) belirtmiştir. Müteahhit kapasitesinin altında olan küçük işte şirket rahatlıkla işi bitirecektir, fakat kapasiteleri daha büyük olduğu için kaçırılan fırsat maliyeti de göz önünde tutulmalıdır. Bu nedenle maliyet/iş büyüklüğü ilişkisi aşağıdaki şekildeki gibi olur.



**Şekil 5.** Maliyet / iş büyüklüğü ilişkisi (Maliyet = İşi yürütme ve kapasiteyi doldurabilecek diğer işleri kaçırma maliyeti)

Şekil 5'de görüldüğü gibi işin şirket kapasitesine göre küçük olması, kaçırılan fırsatlar göz önünde tutulduğunda maliyeti arttırmaktadır. Bunun yanında işin kapasiteye göre çok büyük olması da şirketin işi bitirememesi veya kapasite üzeri çalışma durumları için fazladan maliyet getirmektedir.

Bu aşamada belkide en önemlisi işin büyüklük/süre oranına göre yoğunluğudur (Broemser (8)'in tartıştığı ölçülerden biraz farklı) (10). Büyüklük/süre oranı proje programının yoğunluğunu ve yönetim maliyetlerinin ve fazla mesai saatlerinin artışı gösterir. Oranın düşük olması da mevcut insan kaynaklarının çok az kullanıldığını gösterir. Bu ilişkide grafik U biçimini alacaktır (Şekil 5).

### 2.2.3. En Düşük Kayda Değer Kırım Bedeli

Müteahhit maliyeti ve kar marjını etkileyen yukarıdaki faktörleri göz önünde tutarak verebileceği farklı teklifler karşısında kazançlarının veya kayıplarının ne olacağını bilerek ihale bedeli üzerinde yapabileceği en yüksek kırım miktarını belirlemelidir. Kırım miktarını müteahhidin kişiliği, şirketin işi ve nakidi ve müteahhidin pazardaki eğilimlerden beklentileri etkiler.

#### 2.2.4. İş Karlı Alabilme Durumu

Müteahhit işi almak istediği minimum fiyatı belirledikten sonra, iş sahibi verebileceği farklı fiyatlar (kıymalar) ile o fiyata karşılık gelen işi alma olasılıklarını araştırmalıdır. İhaleye giren işletmeler genelde birbirinden habersiz fiyat teklifi verirler.

Amaç en düşük fiyatı teklif etmektir ve ne kadar düşük fiyat teklif edilirse karın o denli düşük olacağı da açıktır. Bu nedenle eksiltme fiyatı belirlenirken "beklenen kar" kavramından yararlanılabilir. Beklenen kar, ihaleyi kazanma olasılığı ile, ihalenin kazanılması durumundaki karın çarpımıdır. Bu nedenle yönetim, çeşitli fiyat düzeylerini, bu fiyatlardaki karı ve bu fiyatlarda ihaleyi kazanma olasılığını tahmin edebilirse, teklif fiyatının ne olması gerektiğini bulabilecektir (11).

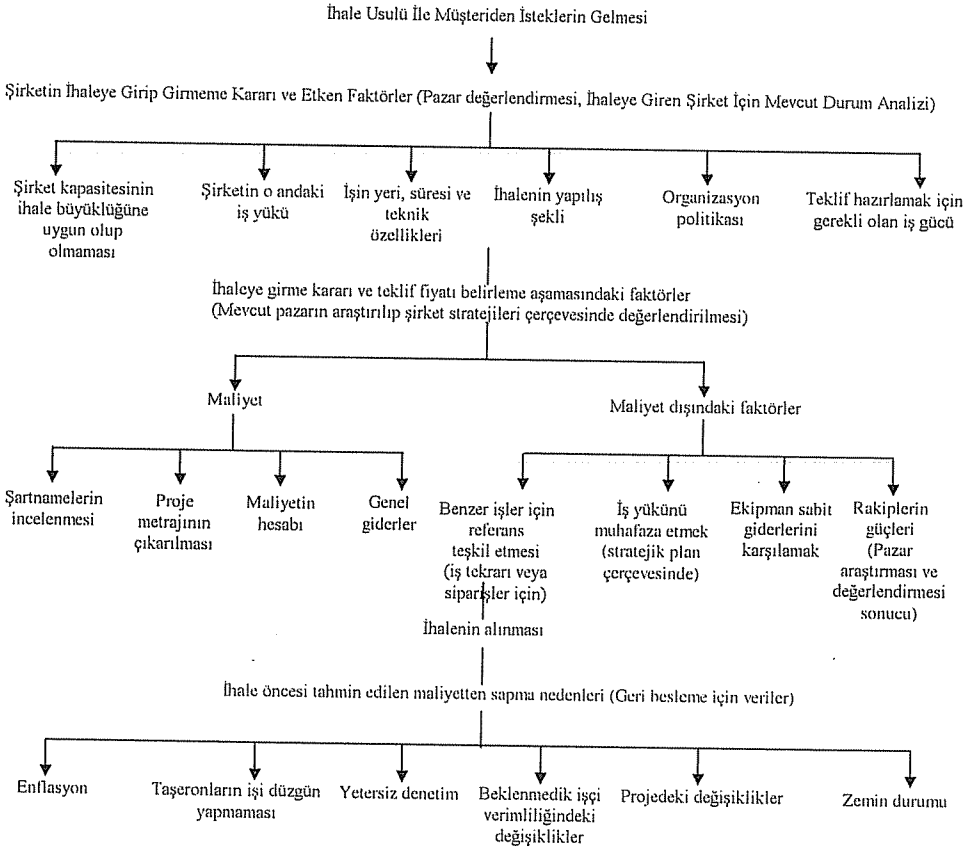
Müteahhitin herhangi bir fiyatta işi alma olasılığı ise; ihaleye giren rakiplerin sayısı ve kimliğinden, rakiplerinin işlerinin yoğunluğundan ve maliyet eğrilerinde nerelerde bulunduğundan, rakiplerinin beklentilerinden ve önceki ihalelerde nasıl kıym yaptıkları ile ilgili verilerden etkilenmektedir.

Şekil 6'da görüldüğü gibi ihale rekabetinde en önemli iki aşama, ihaleye girip girmeme kararı ve teklif fiyatının belirlenmesidir.

Literatürde belirtildiği gibi yüklenici şirketin bir proje için fiyat teklifini belirlerken mümkün olduğu kadar az ve uygun varsayımda bulunması, sağlayabileceği kadar çok konu ile ilgili bilgi kullanması ve maliyeti etkileyecek risk ve belirsizlikleri analiz etmesi gerekmektedir. Şirketin o andaki iş yükü, şirket politikası, ihalenin yapılış şekli, şirket kapasitesinin ihale büyüklüğüne uygun olması, teklif hazırlamak için gerekli olan iş gücü, teklif masrafları, sözleşme türü, işin yeri, işin süresi, işin teknik özellikleri ve rakiplerin durumu teklife girip girmeme kararı yanında teklif fiyatını da etkileyen faktörlerdir. Teklif fiyatı maliyet ve kar marjının toplamından oluşur. Yukarıda belirtilenler kar marjını etkileyen faktörler iken maliyet kısmı, şartnamelerin incelenmesi, proje metrajının çıkarılması, maliyetin hesabı, şantiye giderleri verileri göz önünde tutularak hesaplanır. Teklif fiyatının (özellikle kar marjının) yukarıda belirtilen faktörler dışında iş yükünü muhafaza etmek, ekipman sabit giderlerini karşılamak, alınan işin benzer işler için referans teşkil etmesi, rakiplerin güçleri gibi nedenler de göz önünde tutularak belirlenmesi şirketin hali hazırdaki iş durumu yanında geleceğini de etkileyecek stratejik bir karardır. Şirketin kapasitesinin ihale büyüklüğüne oranı, şirketin o andaki iş yükü ve teklif hazırlamak için gerekli olan işgücü miktarı şirketin ihaleye girip girmemesinde etkili olmaktadır. Teklif fiyatının belirlenmesinde ise alınan işin benzer işler için referans teşkil etmesi, iş yükünü muhafaza etmek ve rakiplerin güçleri önemli rol oynamaktadır. Fakat bu şirketler çoğunluğu bünyelerinde teklif hazırlamak için yeteri kadar eleman çalıştırmamakta, dolayısıyla teklif fiyatını etkileyecek verilerin temininde yetersiz kalmaktadırlar.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yukarıda anlatılan hususların ışığında Türk inşaat sektöründe küçük ölçekli inşaat şirketlerinin teklif hazırlama uygulamalarını tespit etmek ve pazarlamanın bu uygulamalar içindeki yerini belirlemek amacıyla bir anket çalışması yapılmıştır. Literatür ve anket bulguları değerlendirilmiş ve şirketleri başarıya götürecek etkili pazarlama stratejilerinin belirlenmesine çalışılmıştır.



**Şekil 6.** İhale rekabetinde ihaleye girme ve fiyat belirleme stratejisi ve pazarlama sistemi elemanları ile ilişkisi

### 3.1. Anket Verilerinin Toplanması

Toplam 23 sorudan oluşan anket Adana ili dahilinde yapılmış ve 110 adet denek yargısal örnekleme yöntemi ile seçilmiştir. Bu firmalardan 31 tanesi anketleri cevaplandırmıştır. Bu da %28' lik bir geri dönüşüm oranı ile istatistiksel analiz için yeterli veri sağlamaktadır. Ankete cevap verenlerin çoğunluğunu şirket sahipleri oluşturmaktadır.

### 3.2. Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 3.2.1. Şirketlerin Pazarlamaya Yaklaşımları

Ankete katılan şirketlerin %61'i pazarlamanın gerekliliğine inandıklarını, %35'i ise pazarlama ile ilgili bölümlerin bünyelerinde mevcut olduğunu belirtmişlerdir. Ancak şirketlerin %41'inin pazarlamayı yalnızca reklamcılıkla sınırladıkları belirlenmiştir.

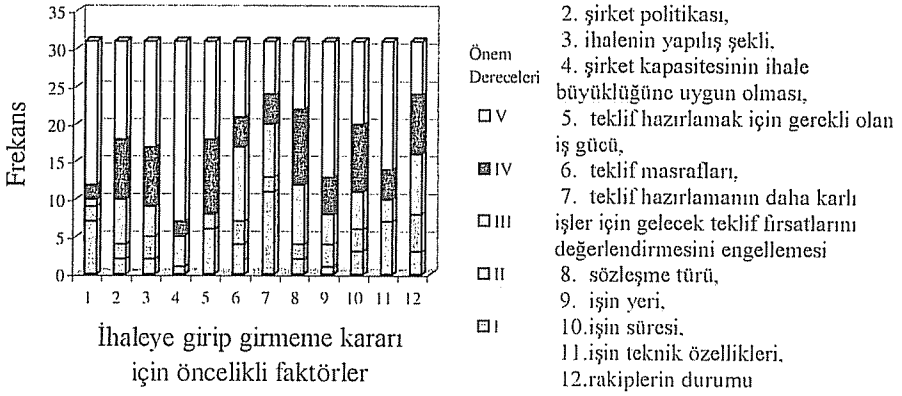


Şirketlerin ancak %29'u pazarlamanın ihaleye hazırlık aşamasını da kapsadığını belirtmişlerdir.

Şirketlerin pazarlama bölümünde çalışan eleman sayısı ise %88 oran ile 1-5 arasındadır. Bu da şirketlerin küçük ölçekli olması nedeniyle doğal bir sonuçtur. Pazarlama bölümünde çalışan elemanların %42'sinin mühendis, %33'ünün de işletmeci oldukları belirtilmiştir. %25'i ise diğerleri seçeneğini işaretlemiş fakat ne olduğunu belirtmemiştir. Bu elemanlar, şirketlerin %88'inde diğer bölümlerde de çalışmaktadırlar.

### 3.2.2. İhaleye Teklif Verme Kararı

Verilen cevaplarda şirketlerin ihaleye teklif verme kararında şirketin kapasitesinin ihale büyüklüğüne uygunluğunun önemli rol oynadığı belirtilmiştir (Şekil-7).

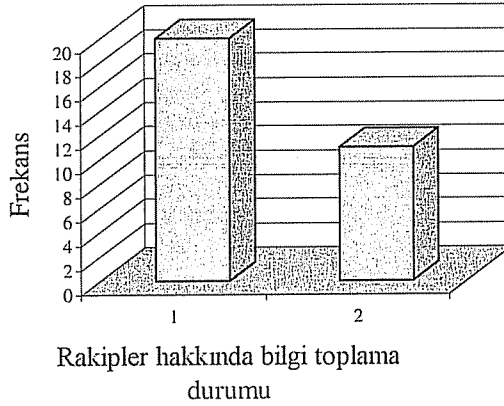


Şekil 7. Şirketlerin ihaleye girip girmeme kararını etkileyen faktörlerin önem derecesine göre frekans dağılımı

Şekil-7' de görüldüğü üzere şirketin o andaki iş yükünün, işin yerinin, süresinin ve teknik özelliklerinin, ihalenin yapılış şeklinin, teklifi hazırlamak için gerekli olan iş gücünün diğer önemli faktörler olduğu bildirilmiştir. Anket sonuçlarına göre en az önem verilen faktör ise teklif hazırlamanın daha karlı işler için gelecek teklif fırsatlarını değerlendirilmesini engellemesidir.

Ankete verilen cevaplardan şirketlerin %65'i ihaleye girip girmeme kararı için rakipler hakkında bilgi toplama işlemini gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir (Şekil-8).

İhaleye girip girmeme kararı için rakipler hakkında bilgi toplama durumu	Cevap veren şirket sayısı (Frekans)	Yüzde (%)
1- Evet	20	65
2- Hayır	11	35

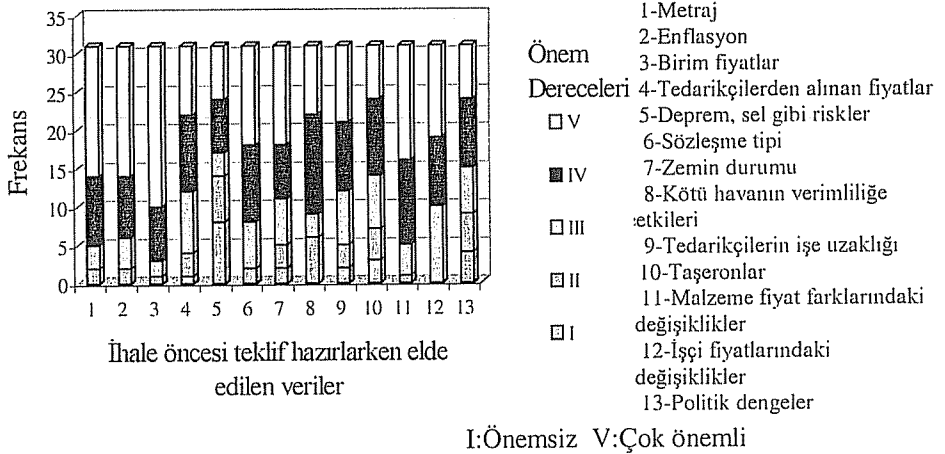


**Şekil 8.** Şirketlerin ihaleye girip girmeme kararı için rakipler hakkında bilgi toplama durumunu gösteren frekans dağılımı

Şirketlerin rakiplerle ilgili bilgileri toplama sahaları hakkında verilen cevapların %35' i duyum yoluyla %18' i basın yolu ile bilgileri sağladıklarını belirtmişlerdir. En yüksek frekans ile %47'lik bir kısım diğerlerini işaretlemiş fakat verilen 'diğerleri' cevabı ile tam olarak neyi kastettiklerini belirtmemişlerdir.

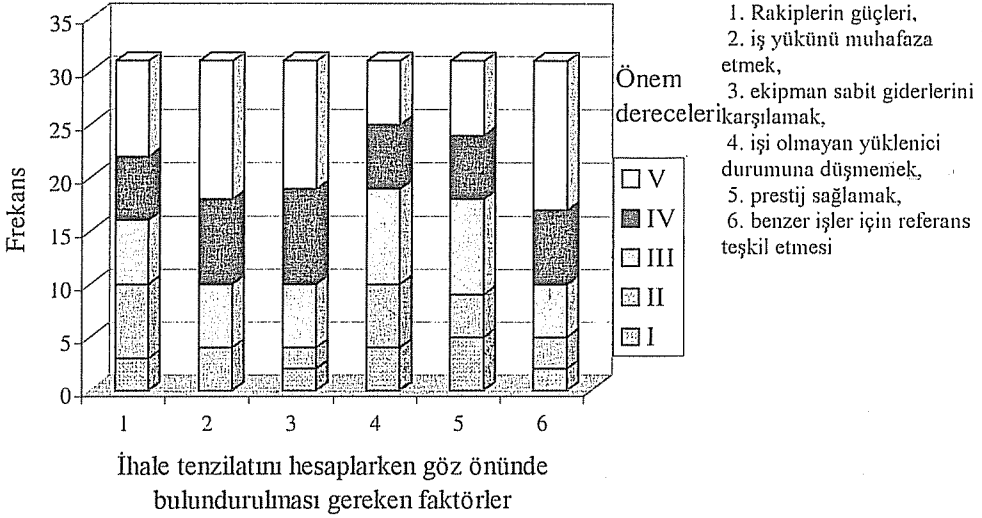
### 3.2.3. Teklif hazırlama süreci

Şirketler ihale öncesi teklif hazırlama sürecinde en kolay birim fiyatlara ulaştıklarını söylemişlerdir. Metraj bilgileri, malzeme birim fiyat farklarındaki değişiklikler, sözleşme tipi de diğer elde edilebilen veriler olarak görünmektedir (Şekil 9).



**Şekil 9.** İhale öncesi teklif hazırlama aşamasında elde edilen verilerin frekans dağılımı

İhale tenzilatını hesaplarken göz önünde bulundurulması gereken faktörlerin başında iş yükünü muhafaza etmek ve benzer işler için referans teşkil etmesi gelmektedir. Ekipman sabit giderlerini karşılamak ve rakiplerin güçleri ise diğer önemli faktörlerdir (Şekil-10).



Şekil 10. İhale tenzilatını hesaplarken göz önünde bulundurulması gereken faktörlerin frekans dağılımı

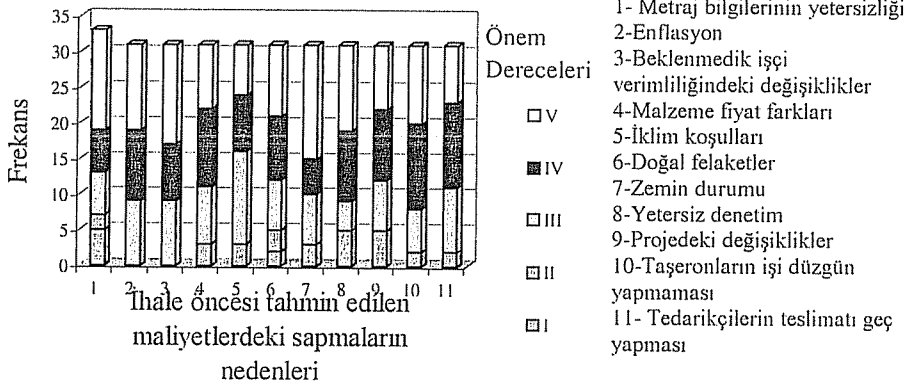
Şirketlerin %74'ü teklif hazırlama masraflarının tekliften teklife değiştiğini ve bunun nedenlerinin başında keşif bedelinin büyüklüğü (%44) ve işi yürütmek için kullanılan teknolojilerin kapsamı (%31)'nin geldiğini belirtmişlerdir. Teklif hazırlama süreleri de her iş için farklı olmakta ve bu süreyi en fazla eldeki eleman sayısının (%25) ve teklif hazırlamak için kullanılan teknolojilerin yeterliliği (%25) etkilemektedir.

İhale öncesi tahmin edilen maliyetten sapma nedenlerinin başında ise enflasyon ve yetersiz denetim gelmektedir (Şekil 11). Taşeronların işi düzgün yapmaması, projedeki değişiklikler, enflasyon ve işçi verimliliğindeki beklenmedik düşüşler diğer önemli faktörlerdir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde sürekli ve hızla artan rekabet ve hızla değişen müşteri istekleri, şirketleri belirli hedef ve stratejiler doğrultusunda planlı hareket etmeye zorlamaktadır. Şirketlere rekabet avantajını sağlayacak hedef ve stratejilerin belirlenmesi ve uygulanması sırasında pazarlama fonksiyonu büyük öneme sahiptir. Pazarlama fonksiyonu, mal ve hizmetin, uygun yerde, uygun zamanda, uygun fiyatla ve uygun müşterilere sunma faaliyetlerinin rasyonel ve sistematik olarak yapılmasını hedefler.

İnşaat endüstrisinde üretimin proje bazlı olması pazarlama fonksiyonunun ağırlıklı olarak ihaleye hazırlık faaliyetlerine odaklanmasına neden olmaktadır. İhaleye hazırlıkta en önemli iki aşama ihaleye girip girmeme kararı ve teklif fiyatının belirlenmesidir.



I:Önemsiz V:Çok önemli

Şekil 11. İhale öncesi tahmin edilen maliyetlerin sapma nedenlerinin frekans dağılımı

Literatürde belirtildiği gibi ihaleye teklif götürecek bir şirketin bir proje için fiyat teklifini belirlerken mümkün olduğu kadar az ve uygun varsayımda bulunması, sağlayabileceği kadar çok konu ile ilgili bilgi kullanması ve maliyeti etkileyecek risk ve belirsizlikleri analiz etmesi gerekmektedir. Şirketin o andaki iş yükü, şirket politikası, ihalenin yapılış şekli, şirket kapasitesinin ihale büyüklüğüne uygun olması, teklif hazırlamak için gerekli olan iş gücü, teklif masrafları, sözleşme türü, işin yeri, işin süresi, işin teknik özellikleri ve rakiplerin durumu teklife girip girmeme kararı yanında teklif fiyatını da etkileyen faktörlerdir.

Yukarıda belirtilenler teklif fiyatının kar marjını etkileyen faktörler iken maliyet kısmı, şartnamelerin incelenmesi, proje metrajının çıkarılması, şantiye giderleri verileri göz önünde tutularak hesaplanır. Teklif fiyatının (özellikle kar marjının) yukarıda belirtilen faktörler dışında iş yükünü muhafaza etmek, ekipman sabit giderlerini karşılamak, alınan işin benzer işler için referansa teşkil etmesi, rakiplerin güçleri gibi nedenler de göz önünde tutularak belirlenmesi şirketin hali hazırdaki iş durumu yanında geleceğini de etkileyecek stratejik bir karardır. Küçük ölçekli inşaat şirketlerinde, ihaleye girip girmeme kararının öncelikle şirketin kapasitesinin ihale büyüklüğüne oranı, şirketin o andaki iş yükü ve teklif hazırlamak için gerekli olan iş gücünden etkilendiği belirlenmiştir. Teklif fiyatının belirlenmesinde ise alınan işin benzer işler için referans teşkil etmesi, iş yükünü muhafaza etmek ve rakiplerin güçleri önemli rol oynamaktadır. Fakat şirketlerin çoğunluğu bünyelerinde teklif hazırlamak için yeteri kadar eleman çalıştırmamakta, dolayısıyla teklif fiyatını etkileyecek verilerin temininde yetersiz kalmaktadırlar.

Yüklenicinin karını etkileyecek proje ve şirket dışı faktörler ise onun rekabet ortamında karşılaşacağı diğer yüklenici şirketlerle ilgilidir. İhalede rakiplerin önüne geçebilmek ve işi kazanmayı garantilemek için konulan düşük kar oranı yüklenicinin projeden para kaybetmesine neden olabilir. Fiyat teklifine konulan aşırı kar ise iş

alamama durumunu doğurabilir. Bu durumda yüklenici şirketler rakipler hakkında bilgi edinmek zorundadırlar. Bu da ağırlıklı olarak duyum yolu ile olmaktadır

Şirketlerin işin yapımı sırasında karşılaşılabilecekleri herhangi bir riske karşı, kendilerini güvence altına almak adına kar oranının içine risk unsurlarını da ilave etmeleri gerekmektedir. Literatürde, inşaat projelerinde kar oranını etkileyecek riskler; işçi verimsizliği, enflasyon, malzeme fiyatlarının zamanla değişmesi, malzeme sıkıntısı veya malzemenin geç gelmesi, taşeronun olması gerektiği gibi iş yapmaması, aritmetik hatalar (metrajdaki miktardaki değişiklikler, tedarikçinin ölçüm şeklinin farklı olması durumu), zemin durumu, yönetim masrafları, tasarım hataları,hava durumu ve doğal felaketler olarak belirtilmiştir. Ankete katılanlar ise ihale öncesi tahmin edilen maliyetten sapma nedenleri olarak taşeronların işi düzgün yapmaması, yetersiz denetim, projedeki değişiklikler, enflasyon ve işçi verimliliğindeki beklenmedik değişiklikleri belirtmişlerdir. Belirsizlik ve risk faktörlerinin ihale fiyatı belirlenirken kar marjına yansıtılması teklif verilecek işin gerçek fiyatını ortaya çıkaracak ve tahmin edilen bedelden sapmaları azaltacaktır.

Literatürde, teklif fiyatının gerçekçi bir biçimde belirlenebilmesinin ancak geçmiş işlere ait fiyat ve verim analizlerinin tutulması ile mümkün olacağına yönelik tespit anket sonuçları ile de gözlemlenmiştir. Yine şirketlerdeki arşiv ve dokümantasyon işlerinin oldukça yetersiz ve düzensiz olduğu, süre ve maliyet planlamasının etkin bir biçimde yapılamadığı anket sonucu ile ortaya konulmuştur. Ayrıca işin tamamlanma süresinden sonra olacak her gecikme için işverence sözleşmede belirtilen belli bir gecikme cezası müteahhit tarafından ödenmekte, gecikilen günlerin dolaylı maliyeti de eklenince toplam gecikme maliyeti oldukça yükselmektedir. Bundan dolayı işin karı oldukça azalmaktadır. Bu nedenle ihale öncesi yapılan maliyet ve süre tahminlerinin uygulamadan sapmaması ve optimum karı belirlemenin yalnızca bireysel tecrübeye dayanmaması için şirketlerde arşiv ve düzenli kayıt sisteminin tutulması gerekmektedir.

Bu çalışmadan çıkan genel sonuç küçük ölçekli inşaat şirketlerinin sistematik bir teklif belirleme stratejileri olmadığı, edinilen tecrübe ve birikimin fiyat belirleme aşamasında daha fazla etken olduğudur. Tecrübenin fiyat belirleme aşamasında çok önemli bir faktör olmasına rağmen, tecrübeye dayalı bilgilerin yeni işler için doğru yorumlanabilmesi, verilerin/bilgilerin dokümantasyonu ve bu dokümantasyona dayalı geri besleme ile sağlanabilecektir. Dokümantasyon eksikliği tüm sektör için iş verimliliğini olumsuz yönde etkileyeceğinden bilginin sürekliliği için gerekli ve öncelikli olan bir konu olmalıdır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Newcombe,R., Langford,D., Fellows,R., *Construction Management*, CIOB, London, s. 115-140, 1990.
2. Yükselen,C., *Pazarlama Araştırmaları. Detay yayıncılık, 1. Baskı, Ankara, 256s, 1994.*
3. Stuart,S. and Slatter,P., *Strategic Marketing Variables Under Conditions of Competitive Bidding*, London Business School, London, U.K,1991.
4. Bently,J.I.W., *Construction Tendering and Estimating*, E&F.N. Spon, London, 113-115, 1987.
5. Pork,W., *Bidding for Profit*, New York, 72-75, 1979.

6. *PMI Standarts Committee, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, 1994.*
7. *Goodland,J.B., Accounting for Construction Management: An Introduction, Heiremann, London, 99s, 1974.*
8. *Broemser,G., Competitive Bidding in the Construction Industry, PhD Dissertation, Standford University, 1968.*
9. *Benjamin, B.H., Competitive Bidding for Building Construction Contracts, Technical Report No:106, Construction Institue, Department of Civil Engineering, Standford University, 1969.*
10. *Hillebrandt,P.M., Analysis of British Construction Industry, Macmillan, s.280, 1974.*
11. *Arpacı,T., Ayhan,D., Böge,E., Tuncer,D. ve Üner,M., Pazarlama, Gazi Yayınları, İkinci Baskı. 100s. Ankara, 1992.*

## BARAJ YIKILMALARINA İSTATİSTİKSEL BİR YAKLAŞIM

**Mehmet SÖYLEMEZ**

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

**ÖZET :** *Bu çalışmada 1791 yılından günümüze kadar inşa edilmiş ve yıkılmış olan 221 baraj istatistiksel olarak araştırılmıştır. Yıkılan barajlar; tiplerine, yüksekliklerine, yapım-yıkım yılı ilişkisine ve yıkılma sebeplerine göre incelenmiştir. Bulunan değerler grafikler yardımıyla açıklanmaya çalışılmış ve başarısız baraj yapımı istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu olaylardan dersler alınarak yapılacak yeni barajlarda bu başarısızlıkların tekrarlanmaması proje sahiplerine ve ülke ekonomilerine büyük katkı sağlayacaktır.*

### A STATISTICAL APPROACH TO DAM FAILURES

**ABSTRACT :** *In this study, 221 dams built and failed or collapsed since 1791 have been examined according to their types, heights, relationships between building and failure years, causes of failure. Failure of these dams have been studied statistically and the results were presented graphically. New dams built following the lessons learned from the failure of these dams will not only help us not to repeat similar failures but also contribute to the contractors and country's economy.*

## 1. GİRİŞ

Barajlar enerji üretimi, içme ve sulama suyu sağlanması, taşkından korunmak, balıkçılık yapmak, ulaşım, sportif etkinlikler düzenlemek amaçlarının bir veya birkaçına yönelik olarak emniyet ve maliyetleri de göz önünde bulundurularak yapılmaktadırlar (1). Barajlar amaca, yapımında kullanılan malzemeye, gövde yüksekliklerine, depoladıkları su hacmine göre sınıflandırılmaktadır. Baraj gövdesi yapımında kullanılan malzemeye göre barajlar; beton ağırlık ve beton kemer, toprak dolgu, kaya dolgu, toprak+kaya dolgu, taş örme, ahşap ve çelik olarak sınıflandırılır.

Bugüne kadar yapılan barajların bir kısmı doğal nedenlerden (deprem, heyelan, aşırı yağış, dalga ve buz etkisi vb.) bir kısmı yapım hatalarından (borulanma, sızma, çökme, yetersiz dolgu kütlesi, inşaat hatası, betonda çatlama ve bozulma vb.), bir kısmı da bu iki nedenin ortak etkisiyle yıkılmış, can ve mal kaybına neden olmuşlardır. Bu çalışmada 1791-2002 yılları arasında çeşitli nedenlerle yıkılmış 221 adet barajın yıkılmaları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmalar yeryüzünde yapılmış ilk barajın Dicle Nehri üzerinde inşa edilen Maruk Barajı olduğunu göstermektedir. Bu baraj su akışını düzenlemek, taşkından korunmak amacıyla milattan önceki yıllarda yapılmış ve 13. yüzyılın sonuna kadar hizmet vermeye devam etmiştir. Baraj yapımında kullanılan kayaçların jeolojik özelliklerinin barajın sağlamlığına etkisinin olabileceği göz önüne alınarak, önceden önlem alınıp yapılan ilk baraj İspanyada Rio Guadalinten nehri üzerinde inşa edilen Puentes barajıdır. Baraj yapılmaya başlandıktan sonra, nehir yatağında 17m genişliğinde çakıl ve kum dolgulu bir oyuğun varlığı anlaşılmış ve barajın memba tarafı kazık ve perdelerle takviye edilerek su kaçaklarının önlenmesi amaçlanmıştır. Buna rağmen bu baraj 1802 yılında göl alanına gelen suyun artması sonucu oyuğu dolduran çakıl ve kum dolgusu yıkanarak taşınmış ve baraj yıkılarak kullanılmaz hale gelmiştir. Bu barajın yıkılması bilimsel anlamda baraj yıkılmalarının araştırılmasına öncülük etmiştir (2).

## 2. BARAJLARIN YIKILMASI VE YIKILMA NEDENİ İLİŞKİSİ

Yeryüzünde baraj yapımına başlandığı tarihten günümüze kadar farklı tip ve yüksekliklerde çeşitli amaçlar için pek çok baraj yapılmış ve bunların bazıları çeşitli nedenlerle yıkılmıştır (Tablo 1) (3). Barajların yıkılma nedenleri çok farklı olmakla beraber, bazı barajlar benzer sebeplerden dolayı yıkılmışlardır. Toprak ve kaya dolgu barajlarda düşük kohezyonlu malzeme kullanılması, beton barajlarda çimento ile kum ve agrega arasında kimyasal tepkime oluşması veya kötü işçilik sonucu baraj gövdesinde kırık ve çatlakların oluşması, baraj yıkılmalarının önemli nedenlerinden birkaç tanesidir.



Tablo 1. Yıkılmış barajlar ve nedenleri.

Baraj Adı ve Lokasyon	Tarih		Yük. (m)	Tip	Yıkım Sebebi
	Yapım	Yıkılma			
Puentes, Spain	1791	1802	50	Kaya Dolgu	Filtre Problemi
Santo Amaro, Brazil	-	1807	63	Hidrolik	Çekirdek Basıncı
Conshohocken, Hill Pa.	-	1873	-	Toprak Dolgu	Borulanma
Mill River, Mass.	1865	1874	43	Top. Dolgu Beton	Kırık,Çatlak
Lynde Brook., Mass	-	1876	27	Toprak Dolgu	Borulanma
Worcester Mass.	1871	1876	41	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Lebanon, Ohio	-	1882	30	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
English, Calif.	-	1883	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Knoxville Reservoir, Tenn.	-	1883	-	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Ashti, İndia	-	1883	58	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Blairtown, Wyo.	-	1888	-	Toprak Dolgu	Borulanma
Valparaiso Chile	-	1888	56	Toprak Dolgu	Heyelan
Johnstown, Pa.	1852	1889	70	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Gunnison, Calif.	-	1890	20	Toprak Dolgu	Borulanma
Nebraska City, Nebr.	1890	1890	17	Top.-Kaya Dol.	Kırık,Çatlak
Ellington. Conn.	-	1890	-	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Dallas Tex.	-	1891	29	Toprak Dolgu	Aşırı Oturma
Turtle Creek. Tex.	-	1891	29	Toprak Dolgu	Aşırı Oturma
Avaca, Pa.	-	1892	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Mahony City	-	1892	-	Toprak Dolgu	Borulanma
Lake, N.Mex.	-	1893	52	Top.-Kaya Dolgu	Üsten Aşma
Lebanon, Pa.	-	1893	40	Toprak Dolgu	Borulanma
Brooklyn, N. Y.	1893	1893	-	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Lake Avalon, N.Mex.	-	1894	48	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Anasonia, Conn.	-	1894		Toprak Dolgu	Borulanma
Lancaster, Pa.	-	1894	21	Toprak Dolgu	Borulanma
Cobden Ont., Canada	-	1894	35	Toprak Dolgu	Heyelan
Lima Mont.	-	1894	40	Toprak Dolgu	Heyelan
Kndbrook, Pa.	-	1894	-	Toprak Dolgu	Filtre Mal. Akması
Angels	1895	1895	52	Ağırılık-Top. Dol.	Borulanma
Emery	1850	1896	51	Toprak Dolgu	Borulanma
Bradfaid, England	-	1896	90	Toprak Dolgu	Borulanma
Montreal Que., Canada	-	1896	18	Top.-Kaya Dol.	Kırık,Çatlak
Baker City, Ore.	-	1896		Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Melsingah, N.Y	-	1897	24	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Snake Ravine, Calif.	1893	1898	64	Hidrolik	Aşırı Oturma
Sout Fork	1852	1899	72	Toprak-Kaya Dol.	Üsten Aşma
Lake Francis, Calif.	1899	1899	50	Toprak Dolgu	Borulanma
Austin, Tex.	1892	1900	-	Ağırılık	Heyelan
Victor, Colo.	-	1901	25	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Eas Liverpool, Olio	1901	1901	-	Toprak Dolgu	Borulanma

Baraj Adı ve Lokasyon	Tarih		Yük. (m)	Tip	Yıkım Sebebi
	Yapım	Yıkılma			
Breakneck, Pa.	-	1902	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Fort Collins, Colo.	-	1902	-	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Utica Reservoir, Newyork	1874	1902	70	Toprak Dolgu	Aşırı Oturma
Jennette, Pa.	-	1903	20	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Bonney Reservoir, Colo.	1901	1903	34	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Avalon, N.Mex.	1893	1904	58	Toprak-Kaya Dol.	Üsten Aşma
Depris Borrier, Calif.	-	1904	-	Hidrolik	Üsten Aşma
Grenlick, Pa.	1901	1904	60	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Lake Avalon, N.Mex.	1894	1904	48	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Leroux, Colo.	-	1905	25	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Norwich, N.Y.	1892	1905	34	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Sherburne, N.Y.	1892	1905	34	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Six Mill Creek, N.Y.	-	1905	15	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Lake Vera	1880	1905	50	Ahşap	Üsten Aşma
Bridgeport, Conn.	1855	1905	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Ketlering, England	-	1905	46	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Necoma, Wis.	-	1905	-	Top. Dol.-Beton	Aşırı Oturma
Piedmont No-1, Calif.	1903	1905	50	Top. Dol.-Beton	Çekirdek Basıncı
Yuba, Calif.	-	1907	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Watchusett, Mass.	-	1907	-	Toprak Dolgu	Heyelan
Hope Reservoir, R.I	1882	1907	23	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
No Dike Wachusett, Mass.	1905	1907	82	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Hauser	1906	1908	70	Çelik Kons.	Borulanma
Lidderdale, Colo.	-	1909	19	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Telluride, Colo.	-	1909	30	Top.-Kaya Dol.	Üsten Aşma
Trout Lake, Colo.	1894	1909	25	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Blue Water, N.Mex.	1908	1909	35	Kaya Dolgu	Üsten Aşma
Grand Rapids Mitch.	1874	1909	25	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Empire, Colo.	1906	1909	30	Toprak Dolgu	Borulanma
Marshall Lake, Colo.	1908	1909	70	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Nezaxa, Mex.	-	1909	190	Hidrolik	Heyelan
Credit River Ont., Canada	-	1910	50	Top. Dol.-Beton	Üsten Aşma
Bouzey, France	1895	1910	43	Ağırlık	Filtre Problemi
Turkey Creek, Colo.	-	1910	22	Toprak Dolgu	Heyelan
Julesburg	1905	1910	70	Toprak Dolgu	Aşırı Oturma
Wisconsin Dels	1909	1911	59	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Dells and Hatfield, Ws.	1910	1911	34	Top. Dol.-Beton	Üsten Aşma
Halfield, Wia.	1908	1911	24	Top. Dol.-Beton	Üsten Aşma
Magic, Idaho	1910	1911	130	Toprak Dolgu	Borulanma
Bayless	1909	1911	52	Ağırlık	Kırık,Çatlak
Valentine, Nebr.	1911	1911	30	Toprak Dolgu	Aşırı Oturma
Prairie River, Wiss.	-	1912	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma

Baraj Adı ve Lokasyon	Tarih		Yük. (m)	Tip	Yıkım Sebebi
	Yapım	Yıkılma			
Toronto Ont., Canada	-	1912	35	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Union Bay B.C., Canada	-	1912	20	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Winston, N.C.	1902	1912	24	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Dalton, N.York	-	1912	29	Top. Dol.-Beton	Borulanma
Cold Springs. Colo.	-	1912	50	Toprak Dolgu	Heyelan
Hornell, N.York	1912	1912	-	Top. Dol.-Beton	Kırık,Çatlak
Gatum Banama	-	1912	115	Hidrolik	Çekirdek Basıncı
Sepulveda, Calif.	1914	1914	65	Top. Dol.-Beton	Üsten Aşma
Suputride Canyon, Calif.	-	1914	65	Top. Dol.-Beton	Üsten Aşma
Horse Creek, Colo.	1911	1914	56	Toprak Dolgu	Borulanma
Hatchtown, Utah	1908	1914	65	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Beer Gulch	1896	1914	63	Toprak Dolgu	Çekirdek Basıncı
Turlock Irrigation, Calif.	-	1914	56	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Long Tom, Idaho	1906	1915	50	Top. Dol.-Beton	Borulanma
Lyman, Arizona	1913	1915	65	Toprak Dolgu	Borulanma
Mohawk, Ohio	-	1915	18	Toprak Dolgu	Aşırı Oturma
Point of Rocks, Colo.	1911	1915	86	Toprak Dolgu	Heyelan
Lower Otay, Calif.	1897	1916	130	Kaya Dol.-Beton	Üsten Aşma
Schenectody, N.Y.	-	1916	30	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Goose Creek	1903	1916	22	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Standley Lake, Colo.	1911	1916	113	Toprak Dolgu	Heyelan
Lake Toxaway, N.C.	1902	1916	62	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Sublete, Idaho	1915	1916	40	Toprak Dolgu	Aşırı Oturma
Providence, R.I	1816	1916	17	Top.-Kaya Dol.	Diğer Sebepler
Mammoth, Utah	1912	1917	70	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Morena, Calif.	1912	-	167	Kaya Dolgu	Üsten Aşma
Calaveras, Calif.	-	1918	240	Hidrolik	Çekirdek Basıncı
Sherburne Lake, Mont.	1916	-	-	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Linville N.C	1919	1919	160	Hidrolik	Çekirdek Basıncı
Middlefield, Mass.	-	1921	20	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Forsythe, Utah	1920	1921	65	Toprak Dolgu	Borulanma
San Pablo Calif.	1921	-	220	Hidrolik	Filtre Problemi
Schaeffer	1911	1921	100	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Fairview, Mass.	-	1922	30	Toprak Dolgu	Borulanma
Langwalds Pand., Mass	-	1922	30	Top. Dol.-Beton	Borulanma
Barton, India	1910	1922	40	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Graham	1822	1923	112	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Walnut Grove	1888	1923	100	Kaya Dolgu	Üsten Aşma
Apishapa, Colo.	1920	1923	115	Toprak Dolgu	Borulanma
Gleno, Italy	1923	1923	49	Payandalı	Kırık,Çatlak
Chichester Avustralya	1923	-	41	Ağırlık	Kırık,Çatlak
Holmes Creek, Utah	1903	1924	65	Toprak Dolgu	Üsten Aşma

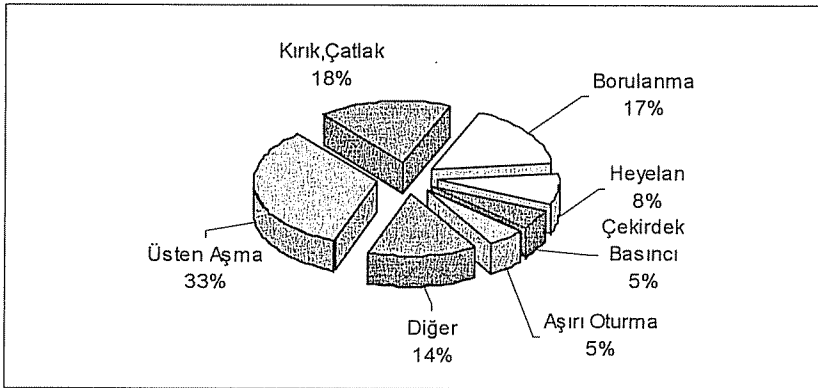
Baraj Adı ve Lokasyon	Tarih		Yük. (m)	Tip	Yıkım Sebebi
	Yapım	Yıkılma			
Seefield, Utah	-	1925	130	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Kundli, India	1924	1925	45	Ağırlık	Kırık,Çatlak
Mission Lake, Kans.	1924	1925	-	Toprak Dolgu	Aşırı Oturma
Horton, Kans.	1924	1925	34	Toprak Dolgu	Enerji Bor. Yıkılma
Lake Coedty, Wales	-	1925	-	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Summer Lake	-	-	60	Toprak Dolgu	Heyelan
Sheffield, Calif.	-	1925	30	Toprak Dolgu	Heyelan
North Scituate, R.I.	-	1926	6	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Puddingstone, Calif.	-	1926	-	Hidrolik	Üsten Aşma
Moyie River	-	1926	53	Kemer	Üsten Aşma
Half Moon Bay, Calif.	-	1926	80	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Vaughn Creek	1926	1926	62	Kemer	Kırık,Çatlak
Garsa, Tex.	1926	1926	80	Hidrolik	Çekirdek Basıncı
Lock Alpine Mich.	-	1926	25	Toprak Dolgu	Aşırı Oturma
Wise River, Mont.	-	1927	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Gras Ventre	1925	1927	185	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Greenville, S.C.	-	1927	140	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Maquoketta, Iowa	1924	1927	20	Toprak Dolgu	Borulanma
Peapack Brook, N.J.	-	1928	32	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Crane Creek, Idaho	1910	1928	63	Toprak Dolgu	Borulanma
Table Rock Cave, S.C.	1927	1928	140	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
St. Francis Calif.	1926	1928	185	Ağırlık	Kırık,Çatlak
Brush Hollow Colorado	1925	1928	-	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Mount Pisgah, Colo.	1910	1928	76	Toprak Dolgu	Heyelan
New Bawman, Calif.	1927	1928	170	Kaya Dolgu	Savak Problemi
Balsam	1927	1929	60	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Littlefield	1929	1929	125	Kaya Dolgu	Borulanma
Lafayette, Calif.	1928	1929	140	Toprak Dolgu	Çekirdek Basıncı
Virgin River, N.Y.	-	1929	120	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
La Fruta, Texas	1930	1930	61	Toprak Dolgu	Borulanma
Saluda, S.C.	1930	1930	208	Hidrolik	Çekirdek Basıncı
Cold Springs, Ore.	-	1931	-	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Mauntain Creek, Texas	1931	-	36	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Desabia Farebay, Calif.	1903	1932	53	Toprak Dolgu	Borulanma
Alexander Hawai	1932	1932	140	Toprak Dolgu	Çekirdek Basıncı
Castle wood	1890	1933	92	Ağırlık	Üsten Aşma
Belle Fourche S.Dak.	1911	1933	122	Toprak Dolgu	Çekirdek Basıncı
Tapon, Ohio	1934	1935	52	Toprak Dolgu	Heyelan
Zerbino, Italy	1925	1935	16	Ağırlık	Kırık,Çatlak
Frazier, Idaho	1915	1935	25	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Elk City, Okla.	1925	1936	30	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Fruit Grovers Reservoir	1898	1937	36	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak

Baraj Adı ve Lokasyon	Tarih		Yük. (m)	Tip	Yıkım Sebebi
	Yapım	Yıkılma			
Marshall Creek, Kans.	-	1937	80	Toprak Dolgu	Temel Yıkılması
Mc.Millan, New Mex.	1894	1937	-	Top. Dol.-Hidrolik	Savak Problemi
Crane Valley, Calif.	-	-	-	Toprak Dolgu	Rip Rap Bozulması
Pratts Fork, Ohio	1934	1938	21	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Balton, Conn.	-	1938	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Killingswarth, Conn.	-	1938	18	Top. Dol.-Beton	Üsten Aşma
Anaconda, Montana	1818	1938	72	Top. Dol.-Beton	Kırık,Çatlak
Fort Pcek, Montana	-	1938	250	Hidrolik	Kırık,Çatlak
Wagner, Wash.	1918	1938	50	Hidrolik	Heyelan
Shart Creek, Ark.	-	1939	57	Top.-Kaya dol.	Üsten Aşma
Dry Creek, Montana	1938	1939	46	Toprak Dolgu	Borulanma
Martin Davey Dam, Texas	-	1940	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Lake Dixle, Texas	-	1940	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Costillo, N. Mex.	1920	1941	125	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Throttle, N.Mex.	1912	1942	65	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Lake Malloya, N.Mex.	1914	1942	50	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Hebran, N.Mex.	1913	1942	56	Toprak Dolgu	Borulanma
Kingsley Nebr.	1941	1942	170	Hidrolik	Filtre Problemi
Sinker Creek, Idaho	1910	1943	70	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Lake Yosemite, Calif.	1884	1943	53	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Davis Reservoir, Calif.	-	1944	39	Toprak Dolgu	Borulanma
Lake George, Colo.	-	1944	-	Toprak Dolgu	Borulanma
Johnson, Nebr.	1940	1945	47	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Sente Coger, S.C.	1942	1946	80	Top. Dol.-Hidrolik	Heyelan
Rector, Calif.	1946	1947	150	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Frazier V. B.C., Canada	-	1948	12	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Kern, Ore.	1948	1949	52	Toprak Dolgu	Aşırı Oturma
Stockton Creek, Calif.	1950	1950	80	Toprak Dolgu	Kırık,Çatlak
Portneuf, Idaho	1911	1950	55	Toprak Dolgu	Savak Problemi
Rocky Ford, Utah	1914	1950	70	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Mosterson, Ore.	1950	1951	60	Toprak Dolgu	Borulanma
Yuba, Calif.	1949	1951	25	Toprak Dolgu	Heyelan
Worcester, Colo.	1912	1951	63	Toprak Dolgu	Aşırı Oturma
Narraginep, Colo.	1908	1951	79	Toprak Dolgu	Heyelan
Val Marle D. S., Canada	-	1952	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Frenchmans Creek, Mont.	1951	1952	-	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Goodrich	1860	1956	44	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Gallinas	1910	1957	95	Ahşap	Üsten Aşma
Malpasset, France	1954	1959	66	Kemer	Kırık,Çatlak
Vegade Tera, Espanol	1956	1959	34	Payandalı	Kırık,Çatlak
Little Deer Creek	1962	1963	85	Toprak Dolgu	Borulanma
Baldwin, Hills	1951	1963	262	Toprak Dolgu	Borulanma

Baraj Adı ve Lokasyon	Tarih		Yük. (m)	Tip	Yıkım Sebebi
	Yapım	Yıkılma			
Swift	1914	1964	189	Top.-Kaya Dol.	Üsten Aşma
Dale Oyke, England	-	1964	95	Top. Dol.-Beton	Borulanma
Cazadero	1906	1965	70	Ahşap	Kırık,Çatlak
Whitewater Brook Upper	1943	1972	62	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
Spartanburg, Pa.	-	1982	10	Top.-Kaya Dol.	Üsten Aşma
Alexander Lake	1935	1982		Kaya Dolgu	Savak Problemi
Upriver Dam Near	-	1986		-	Savak Problemi
Chinook Dam, Columbia		1990	8	Toprak Dolgu	Üsten Aşma
LBP Waste Pond, Pasco	1971	1993	5	Toprak Dolgu	Diğer Sebepler
Olufson, Neer Gig Harbor	1960	1996	6	Toprak Dolgu	Savak Problemi
El Zeyzun, Syria	1996	2002		Toprak Dolgu	Kırık ,Çatlak
CSC Orchards Frost P. Pound. Moses		1995	5	Toprak Dolgu	Borulanma

Barajların yıkılma nedenleri arasında en önemli etkenler, özellikle toprak ve kaya dolgu barajlarda aşırı yağış, fazla suyu baraj gölü alanından güvenli bir şekilde uzaklaştırmak için yapılan dolu savakların yerlerinin iyi seçilememesi yada yanlış boyutlandırılması, baraj yüksekliklerinin olması gerekenden daha küçük seçilmeleridir. Bu hatalar sonucu göl alanına gelen aşırı fazla su baraj gövdesinin üstünden aşarak hem gövdeyi hem de varsa enerji santrallerini yıkmaktadır. Diğer bir önemli etken de baraj gövdesine yerleştirilen filtre ve çekirdek malzemesinin iyi seçilmemesidir. Seçilen yanlış malzeme sonucu baraj gövdesi ve etrafında oluşan sızıntılar borulanmaya sebep olup, baraj gövdesini yıkarak yıkılmasına neden olmaktadır. Ayrıca toprak ve kaya dolgu barajlarda gövde şevlerine uygun eğim verilmemesi sonucu gövdede oluşan heyelanlar ile, gövdeye yakın memba ve mansapta oluşan diğer heyelanlar, gövdede kullanılan kil çekirdeğin basıncı, aşırı oturmalar, depremler tek başlarına veya adı geçen sebepleri tetikleyerek barajların yıkılmalarına neden olmaktadır.

İncelenen 221 adet yıkılmış barajın, % 33'ü üstten aşma, % 18'i gövdede oluşan kırık ve çatlaklardan, % 17'si de borulanmadan dolayı yıkılmışlardır. Baraj yıkılmalarına neden olan bu üç sebebin toplam oranı % 68'dir (Şekil 1).

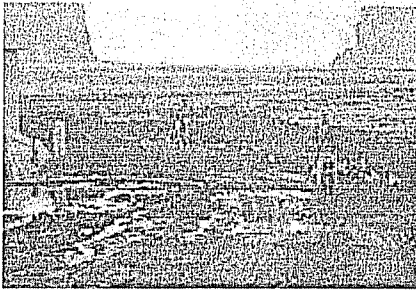


Şekil 1. Barajların yıkılma sebepleri.

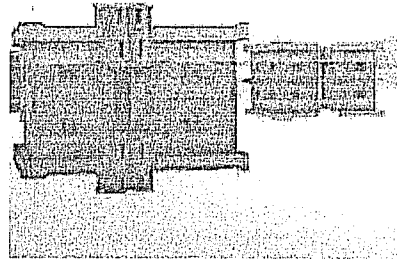
### 3. BARAJ TİPİ BARAJ YIKILMASI İLİŞKİSİ

1926 yılında Kaliforniya da San Francisquito Creek üzerinde inşa edilen ve 1928 yılında temel kayasında su sızmaları sonucu yıkılarak 426 kişinin ölümüne sebep olan St. Francis Barajı, sadece baraj gövdesinin emniyetli yapılmasıyla barajın yıkılmaya karşı emniyetli olmadığını, rezervuar alanındaki kayaç birimlerinin de jeolojisinin araştırılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Fransa'da kumtaşları üzerine 1895 yılında inşa edilen Bouzey Barajı su sızması sonucu 1910 yılında yıkılmış 86 kişinin ölümüne neden olmuştur. Temel kayası boşluklu ve su ile temasta eriyebilen özelliğe sahip kireçtaşları üzerine 1892 yılında inşa edilen Kolorado Nehri üzerindeki Austin Barajı da 1900 yılında baraj gövdesinin eriyen kireçtaşları üzerinde kayması sonucu yıkılmıştır (2),(4),(5).

1996'da inşa edilen, Türkiye sınırına 150 km mesafedeki Hama Kenti'nin kuzeyindeki El Zeyzun barajı haziran 2002 tarihinde yıkılması Suriye'de binlerce kişiyi evsiz bıraktı, yollar kapandı, hayvanlar da telef oldu. Ülkenin 5'inci büyük barajı olan El Zeyzun barajının yıkılması, Türkiye'ye de zarar verdi. Asi Nehri'nde su seviyesi yükselirken, Suriye sınırındaki Altınözü İlçesi'ne bağlı Hacıpaşa Köyü'nün tarım arazileri sular altında kaldı (Şekil 2.a,b).



(a)



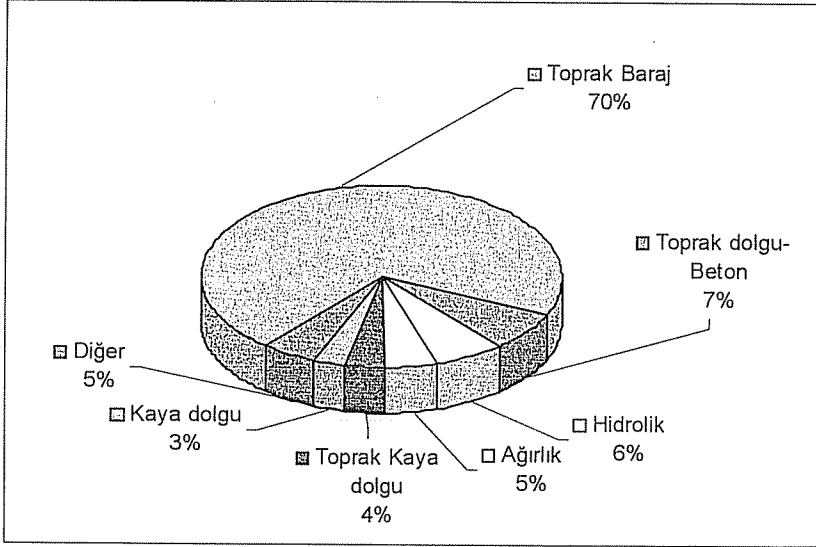
(b)

**Şekil 2.** a) El Zeyzun Baraj gövdesinin yıkım sonrası görüntüsü, b) Sular altında kalan Zeyzun Köyü.

Emniyetli bir baraj tipini belirlemede baraj yerinin; vadi şekli, litolojik özellikleri, yapısal özellikleri, hidrolojik ve hidroljik durumu, yapımda kullanılacak malzeme miktarı, iklim koşulları, bölgenin depremselliği gibi faktörler ile baraj yapıldıktan sonra baraj gövdesine etki edecek kuvvetlerden gravite (baraj ağırlığı), memba ve mansapta toplanacak suyun hidrostatik basıncı, suyun kaldırma kuvveti, oluşacaksa buz basıncı, silt basıncı, dalga etkisi ve deprem etkisi ile dolu savakların yeri, tipi ve fazla suyu güvenli bir şekilde uzaklaştırma kapasiteleri ayrıntılı bir şekilde araştırılıp hesaplamalar yapıldıktan sonra karar verilmelidir. Bu tür hesaplamaların eksik yapılp yanlış baraj tipi seçilerek inşa edilmiş ve sonuçta yapılan bu barajların bir kısmı yıkılarak yanlışların büyük bedellerle ödendiği bir çok baraj vardır.

Bu çalışmada yıkılmış barajların % 70 gibi çok büyük bir bölümünün toprak dolgu tipi baraj olduğu, bunu % 7 yıkılma oranı ile toprak dolgu-beton tipinin takip ettiği,

diğer baraj tipleri ile yıkılma arasındaki ilişki oranının da birbirine yakın olduğu ve % 3 ile % 6 arasında değiştiği görülmektedir. (Şekil 3).



Şekil 3. Tiplerine göre yıkılan barajlar.

#### 4. BARAJ YÜKSEKLİĞİ YIKIM İLİŞKİSİ

Önceleri sadece toprak ve kaya dolgu tipinde yükseklikleri küçük barajlar yapılmasına rağmen, teknolojinin gelişmesiyle günümüzde beton ağırılık, beton kemer, hatta çelik gövdeli ve yüksekliği 300 metreyi bulan büyük barajlar inşa edilmiş, yinede baraj yıkılmalarının önüne geçilememiştir. Baraj yıkılmalarının gövde yükseklikleri ile doğru orantılı olmadığı, yani yüksek barajların daha çok, küçük barajların da daha az yıkılma riski taşıdıkları fikrinin doğru olmadığı yapılan bu çalışma ile belirlenmiştir.

Baraj yıkılmaları ile baraj yükseklikleri arasındaki ilişkiye bakıldığında, gövde yüksekliği küçük barajların daha çok yıkıldığı, yüksek barajların ise daha az yıkıldığı görülmektedir. Yıkılan barajların % 25'i 20-40 metre yüksekliğinde, % 23'ü 40-60 metre, % 18'i de 60-80 metre yüksekliklerinde oldukları görülmektedir. Dolayısıyla 20-80 metre aralığında yüksekliği bulunan yıkılmış barajların oranı % 64' tür. En az yıkılan barajlar ise 180-200 metre yüksekliklerinde olup, yıkılan barajlar içerisindeki oranı da % 4' tür.(Şekil 4).

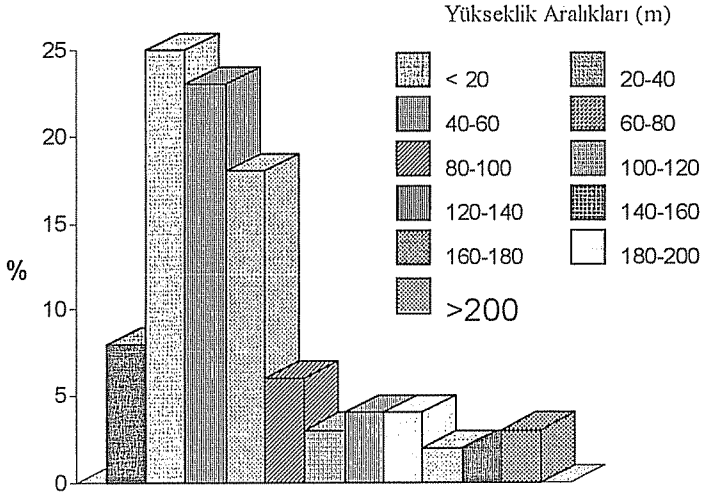
#### 5. BARAJ YIKILMASI VE YIKILMA YILI İLİŞKİSİ

Günümüze kadar yıkılan barajların bir kısmı yapım amacına hizmet edemeden kısa bir süre içerisinde, bir kısmı da birkaç yıl ile birkaç on yıl hizmet verdikten sonra yıkılmışlardır. Bazı barajlarda yüzlerce yıl küçük restorasyonlar yapılarak günümüze kadar ulaşmış ve hizmet vermeye devam etmişlerdir. Barajlar yapıldıkları tarihten itibaren yıkılmaya karşı yüksek riskler taşımakta, bu riskler 4. yıla kadar en üst düzeye ulaşmaktadır. Yani yıkılan barajlar en çok 0-4. yıl arasında yıkılmaktadırlar. Yapıldıktan sonra 4. yılını dolduran bir barajın yıkılma riski yıllar geçtikçe azalmakta

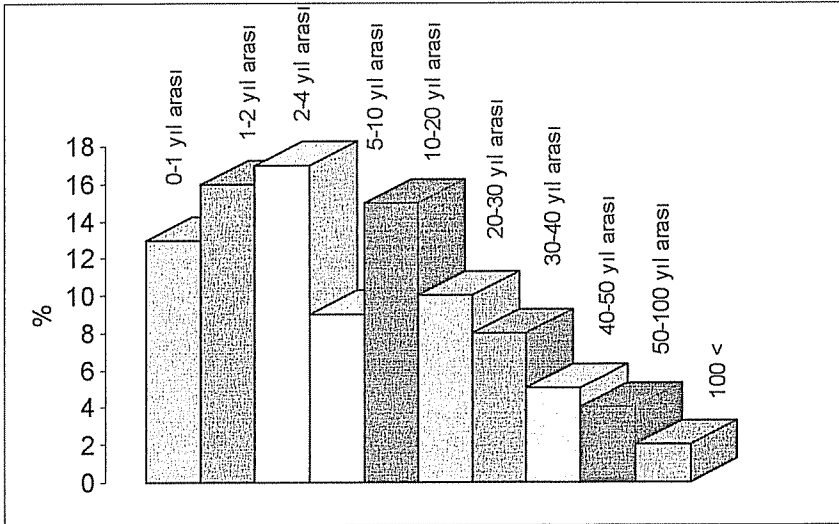


ve yüz yıl sonunda en aza düşmektedir. Barajların çok az bir kısmı yüz yılı doldurduktan sonra yıkılmaktadır. Yapım ve yıkım yılı bilinen 128 barajın % 13' ü ilk yıl içerisinde, % 16' sı 1-2 yıl arasında, % 17'si 2-4 yıl arasında yıkılmışlardır. Bu barajların sadece % 2'si yüz yılı aşttıktan sonra yıkılmıştır (Şekil 5).

Yükseklik-Yıkım İlişkisi



Şekil 4. Yüksekliklerine göre yıkılan barajlar.



Şekil 5. Yapım-yıkım yılı ilişkisi.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada;

- Yıkılan barajlar tiplerine göre değerlendirildiğinde % 70'inin toprak baraj,
- Yıkılma nedenleri ile değerlendirildiğinde % 33'ünün üstten aşma, %18'inin kırık çatlak, %17'sinin borulanma,
- Yüksekliklerine göre değerlendirildiğinde, % 25'i 20-40 metre, %23'ü 40-60 metre %18'i 60-80 metre yüksekliğinde,
- Yapım-yıkım yılı ilişkisine göre değerlendirildiğinde ise, % 17 sinin 2-4 yılları arasında, %16'sı 1-2 yılları arasında, %15'i de 10-20 yılları arasında yıkıldığı sonucuna varılmıştır.

## 7. TEŞEKKÜR

Dataların sağlanmasında ve yorumlanmasında katkılarından dolayı Doç.Dr.Hasan ÇETİN'e, yardımlarından dolayı Osman GÜNAYDIN'a ve Mustafa FENER'e teşekkür ederim.

## 8. KAYNAKLAR

1. Ertunç,A., "Baraj yeri ve rezervuarlarında su kaçağı sorunları", *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, Sayı 6, s: 14-17, İstanbul, 1984.
2. Tarhan,F., "Mühendislik Jeolojisi Prensipleri", KTÜ, Yayın no:41, Trabzon, 1989.
3. Redlinger,F.J. ve diğ., "Lessons From Dam Incidents", USA, ASCE / USCOLD, American Society of Civil Engineers 345 East 47th Street, New York 10017, p.387, 1975.
4. Erguvanlı,K., "Mühendislik Jeolojisi", 590s, İTÜ, İstanbul, 1982.
5. Önalp,A., "İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi", KTÜ, yayın no: 187, c:I-II, Trabzon, 1983.

**ANALYSIS OF BIAXIALLY LOADED POLYGONAL SHAPED REINFORCED  
CONCRETE MEMBERS USING VARIOUS STRESS DISTRIBUTION  
MODELS**

**Cengiz DÜNDAR, Serkan TOKGÖZ and A. Kamil TANRIKULU**  
Ç.U., Department of Civil Engineering, Adana/Türkiye

**ABSTRACT :** *An iterative procedure is presented for the determination of required reinforcement and theoretical ultimate strength of biaxially loaded polygonal shaped reinforced concrete sections using various compressive stress distribution models. In the proposed method, non-linear stress-strain relations of concrete and reinforcing steel are considered and governing equations are solved by a procedure based on the Newton-Raphson method. Two problems available in the literature are solved to demonstrate the accuracy and capability of the proposed method.*

**EĞİK EĞİLMEYE MARUZ POLİGONAL KESİTLİ BETONARME  
ELEMENLARIN DEĞİŞİK GERİLME DAĞILIM MODELLERİ İLE ANALİZİ**

**ÖZET :** *Çalışmada, eğik eğilme ve eksenel yükü maruz poligon kesitli betonarme elemanların değişik gerilme dağılım modelleri kullanılarak gerekli donatı miktarı ve teorik taşıma gücü hesabına yönelik iteratif bir yöntem sunulmaktadır. Önerilen metodda, beton ve çelik için doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi düşünülmekte ve temel denklemler Newton-Raphson yöntemi ile çözülmektedir. Sunulan metodun doğruluğunu ve kapasitesini göstermek için literatürde mevcut iki örnek çözülmüştür.*

## 1. INTRODUCTION

Polygonal shaped reinforced concrete members subjected to biaxial load are widely used in many structures, such as buildings and bridge piers. Many researchers have examined the behaviour and design of biaxially loaded polygonal concrete sections such as L, T, box and channel shaped (1-6). Most of the work developed by the aforementioned researchers was carried out using the Whitney's rectangular stress block for the concrete in compression.

In this paper, as an expansion and modification of the previous study (5), various compressive stress distribution models can be used in the compression zone of the polygonal reinforced concrete section under biaxial loading. This paper presents a general iterative computing method for the rapid design and analysis of polygonal shaped concrete sections with arbitrarily distributed steel reinforcement subjected to biaxial bending and axial load. The proposed method is based on the following assumptions: (1) section remains plane after deformations; (2) the reinforcement is subjected to same variations in strain as the adjacent concrete; (3) the effect of creep and the tensile strength of concrete and any direct tension stresses due to shrinkage, etc. are ignored; (4) shear deformation is neglected and (5) the member does not buckle before ultimate load is attained.

Using aforementioned procedure several examples available in the literature are solved and the results are found to be in good agreement.

## 2. FORMULATION OF THE PROBLEM

Consider a polygonal shaped reinforced concrete member, L-shaped for instance, subjected to biaxially eccentric load ( $P$ ) with coordinates ( $x_p$ ,  $y_p$ ) as shown in Fig. 1.

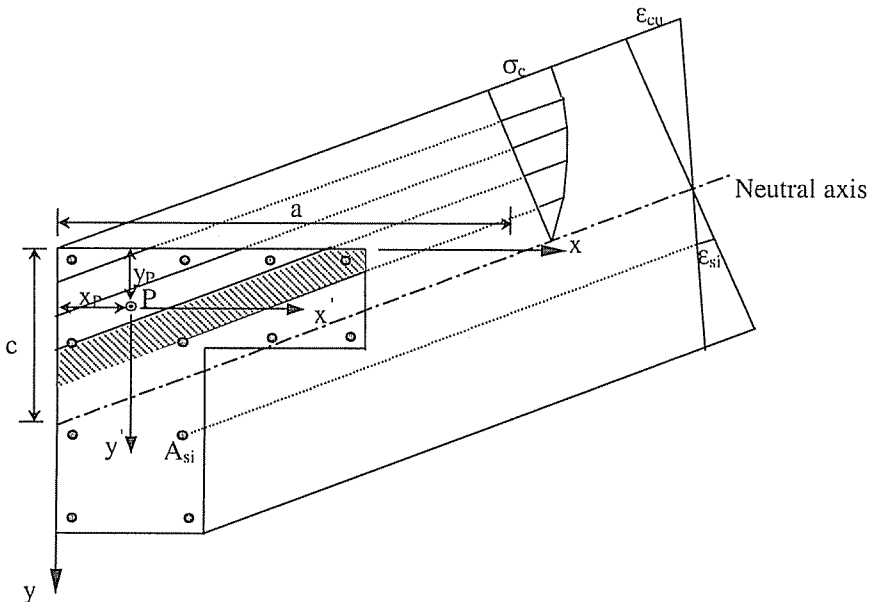


Figure 1. Stresses and strains in concrete section under biaxial bending and axial load

The assumptions, that the plane sections remain plane before and after deformation and there is perfect bond between the steel and concrete, imply that the strain distribution is linear across the concrete section (Fig. 1). Therefore, the strain at any point  $(x_i, y_i)$  in the cross-section is obtained as:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{cu} \left( \left[ \frac{y_i}{c} + \frac{x_i}{a} \right] - 1 \right) \quad (1)$$

Here,  $a$  and  $c$  are the horizontal and the vertical distances between the origin of the  $x$ - $y$  axis system and the neutral axis.  $\varepsilon_{cu}$  is the ultimate strain value of the most heavily stress point.

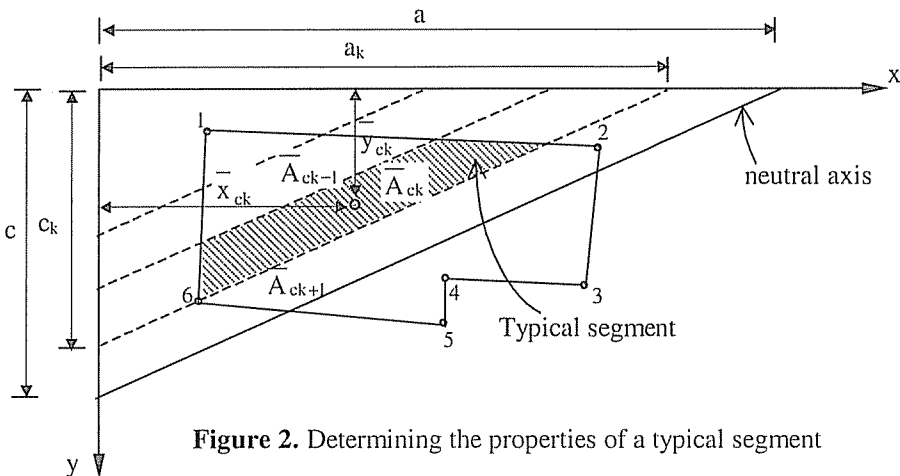
In the analysis, any stress-strain model for the compression zone of concrete and reinforcing steel can be used. In order to apply the chosen stress-strain model, the compression zone of the section is divided into adequate number of segments which are parallel to the neutral axis. The areas and the centroid of each segment are obtained in terms of the parameters  $(a, c)$ , and corresponding strain  $\varepsilon_i$  is determined by using Equation (1).

Hence, using large number of segments in the compression zone provides more compatible compressive stress distribution with the chosen stress-strain model of concrete.

### 2.1. Computation of segment properties

The main objective of this study is to use various stress distribution models in the concrete compression zone. For this reason, the compression zone of the cross-section is divided into several segments parallel to the neutral axis and geometric properties i.e., the area and the coordinates of the centroid of the segment are computed.

Consider a polygonal shaped cross-section in the  $x$ - $y$  axis system as shown in Fig.2. The determination of the coordinates of the intersection points between the neutral axis line and the sides of the cross-section was given by Dundar and Sahin (5). Hence, only the determination of the segment area and its centroid will be given here.



**Figure 2.** Determining the properties of a typical segment

The neutral axis is located with the distances  $a$  and  $c$  from the origin of the  $x$ - $y$  axis system.  $\bar{A}_{ck}$  and  $(\bar{x}_{ck}, \bar{y}_{ck})$  indicate the area and the centroid of the  $k$ th segment respectively.

Therefore, the area of any segment ( $\bar{A}_{ck}$ ) can be determined in terms of the polygonal area values ( $A_{ck}$ ) as follows:

$$\begin{aligned} \bar{A}_{c1} &= A_{c1} \\ \bar{A}_{c2} &= A_{c2} - A_{c1} \\ \bar{A}_{ck} &= A_{ck} - A_{ck-1} \\ &\vdots \\ \bar{A}_{cs} &= A_{cs} - A_{cs-1} \end{aligned} \quad (2)$$

where  $s$  is the number of segments in concrete compression zone.

The centroid of the shaded segment area  $(\bar{x}_{ck}, \bar{y}_{ck})$  with respect to the  $x$ - $y$  axis system can be written as follows:

$$\bar{x}_{ck} = \frac{A_{ck} x_{ck} - A_{ck-1} x_{ck-1}}{A_{ck} - A_{ck-1}} \quad (3)$$

$$\bar{y}_{ck} = \frac{A_{ck} y_{ck} - A_{ck-1} y_{ck-1}}{A_{ck} - A_{ck-1}} \quad (4)$$

where  $x_{ck}$  and  $y_{ck}$  denote the centroid of the compression zone ( $A_{ck}$ ).

## 2.2. Equilibrium equations

The equilibrium equations can be written with respect to the  $x'$ - $y'$  axis system (Fig. 1), as follows:

$$f_1 = \sum_k^s \bar{A}_{ck} \sigma_{ck} - \frac{A_{st}}{m} \sum_i^m \sigma_{si} - P = 0 \quad (5)$$

$$f_2 = \frac{A_{st}}{m} \sum_i^m (x_i - x_p) \sigma_{si} - \sum_k^s \bar{A}_{ck} \sigma_{ck} (\bar{x}_{ck} - x_p) = 0 \quad (6)$$

$$f_3 = \frac{A_{st}}{m} \sum_i^m (y_i - y_p) \sigma_{si} - \sum_k^s \bar{A}_{ck} \sigma_{ck} (\bar{y}_{ck} - y_p) = 0 \quad (7)$$

where  $A_{st}$  is the total area of the main reinforcement within the cross-section,  $\sigma_{ck}$  is the compressive stress of  $k$ th segment at the centroid,  $\sigma_{si}$  is the stress of reinforcing bars,  $x_i$  and  $y_i$  are the coordinates of the reinforcing bars,  $m$  is the total number of reinforcing bars and it is assumed that the diameters of the reinforcing bars are identical.

For design procedure, the algebraic equations have  $\{a, c, A_{st}\}$  triplet unknowns which are determined by Newton-Raphson iterative method.

For ultimate strength analysis, biaxially eccentric ultimate load  $P_u$  can be determined by solving Equation (6) and Equation (7) for  $(a, c)$ , and substituting in Equation (5) as:

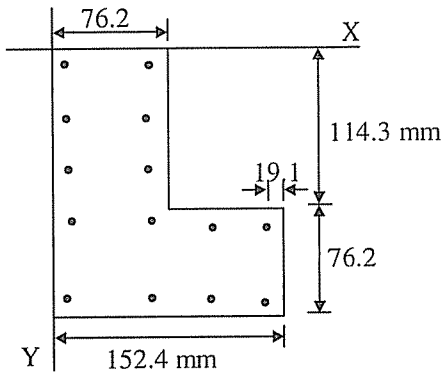
$$P_u = \sum_k^s \bar{A}_{ck} \sigma_{ck} - \frac{A_{st}}{m} \sum_i^m \sigma_{si} \quad (8)$$

It is observed that, the sequence generated by the iterative algorithm has converged for many different problems tested in six to eight iterations.

### 3. NUMERICAL EXAMPLES

#### 3.1. Example 1

C. T. Hsu (2) has tested an L shaped section (Fig. 3) subjected to following eccentricities:  $e_x=16.33$  mm,  $e_y=16.33$  mm. with longitudinal steel area of  $997$  mm<sup>2</sup>. Compressive strength of concrete and yield strength of steel are taken as  $25.9$  MPa and  $357.2$  MPa respectively.



**Figure 3.** L shaped section tested by Hsu

The solution is obtained in four iterations as:  $a=213.6$  mm and  $c=328.3$  mm. The obtained ultimate load  $P_u=484.46$  kN agrees well with the  $P_u=495.5$  kN reported by C. T. Hsu (2).

#### 3.2. Example 2

C. T. Hsu (3) has presented some channel shaped columns under biaxial bending and axial load (Fig.4). All sections have  $1567$  mm<sup>2</sup> total amount of reinforcement. The test results of Hsu are used as input data by the program, and required reinforcements computed using three different stress distribution models (CEB, Hognestad and Whitney's stress block models), are given in Table 1.

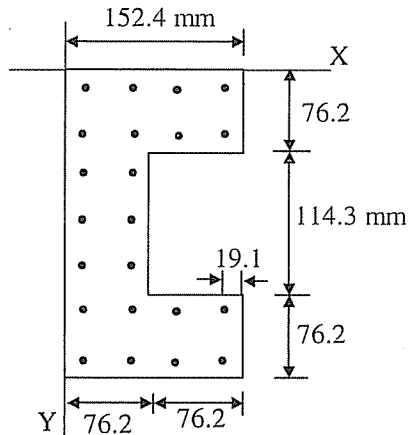


Figure 4. Channel specimens tested by Hsu

Table 1. Evaluation of experimental results obtained by Hsu

No	$f_c$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	P (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)	$A_{st}$ (mm <sup>2</sup> ) (Program Output)		
						CEB Model	Hognestad Model	Whitney's Stress Block
C1	25.2	357.2	482	36.71	22.03	1762	1628	1897
C2	25.2	357.2	532	37.18	24.33	1975	1832	2131
C3	25.2	357.2	459	34.96	24.33	1867	1734	2014
C4	2.92	357.2	477	42.42	21.82	1727	1605	1867
C5	26.9	357.2	541	34.38	20.63	1514	1378	1644

It is seen that required steel areas obtained by the computer program are quite satisfactory. Some variations in results are due to the confinement of concrete by transverse reinforcement which has played important role in achieving higher strain values than the values used in the program.

#### 4. CONCLUSIONS

The iterative method and the program permit a solution to the problem of the ultimate design and analysis of reinforced concrete members of general shape subjected to biaxial bending and axial compression. In the analysis, any stress-strain relation may be chosen for the materials. For the purpose of analysis, the compression zone of the cross-section is divided into large number of segments. Hence, the stress distribution of the concrete compression zone will be more compatible with the chosen stress-strain model.



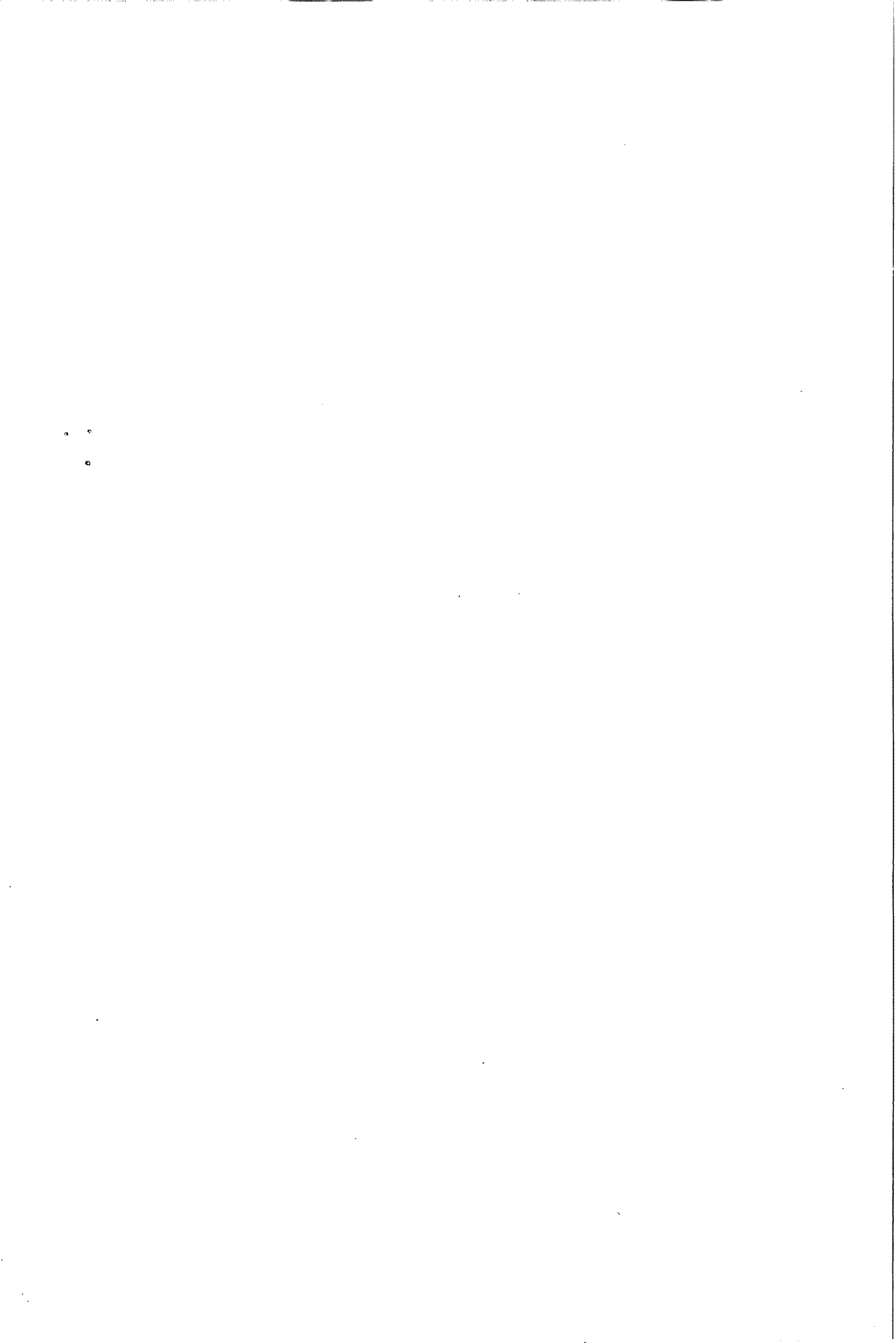
Reliability of the procedure was checked by solving example problems available in the literature. The results computed for the test specimens using the computer program were in good agreement with the test results. However, for some specimens tested under high axial loads, the steel areas predicted by the program were higher. It is believed that this is due to the effect of confinement.

The proposed method has thus been shown to be effective and accurate and is directly applicable in practical design and analysis of biaxially loaded polygonal shaped reinforced concrete members.

PC version and the manual of the developed computer program can be obtained free of charge from the authors upon request.

## 5. REFERENCES

1. Brondum-Nielsen, T., "Ultimate flexural capacity of fully prestressed, partially prestressed, arbitrary concrete sections under symmetric bending", *ACI Journal* 1986; 83: 29-35, 1986.
2. Hsu, C.T., "Biaxially loaded L-shaped reinforced concrete columns", *Journal of Structural Engineering*, ASCE 111(12), 2576-2595, 1985.
3. Hsu, C.T., "Channel-shaped reinforced concrete compression members under biaxial bending", *ACI Structural Journal*, 84, 201-211, 1987.
4. Dundar, C., "Concrete box sections under biaxial bending and axial load", *Journal of Structural Engineering*, 116, 860-865, 1990.
5. Dundar, C., Sahin, B., "Arbitrarily shaped reinforced concrete members subjected to biaxial bending and axial load", *Computers and Structures*, 49, 643-662, 1993.
6. Kawakami, M., Ghali, A., "Cracking, ultimate strength and deformations of prestressed concrete sections of general shape", *PCI Journal* 1996; July-August, 114-122, 1996.



## İKİ BOYUTLU ELASTOSTATİK PROBLEMLERİNİN SÜREKSİZ LİNEER SINIR ELEMANLARI İLE ÇÖZÜMÜ

M. Hakan SEVERCAN, A. Hamza TANRIKULU ve A. Kamil TANRIKULU  
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** *Bu çalışmada, iki boyutlu elastostatik problemlerinin çözümü için sınır eleman formülasyonu yapılmıştır. Formülasyonda süreksiz lineer sınır eleman yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan formülasyona dayalı bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan program yardımıyla örnek bir elastisite problemi, elemana ait düğüm noktalarının farklı konumları için çözülmüş ve sonuçlar sabit eleman yaklaşımı ile elde edilen değerlerle ve analitik olarak elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.*

### THE SOLUTION OF TWO DIMENSIONAL ELASTOSTATIC PROBLEMS BY USING DISCONTINUOUS LINEAR BOUNDARY ELEMENTS

**ABSTRACT :** *In this study, a boundary element formulation for the solution of two dimensional elastostatic problems is presented. In the formulation, discontinuous linear boundary element is used. Based on the formulation, a computer program is developed. An elasticity problem is solved using the program for different position of nodal points of elements. The results are compared with those of constant element model and analytical solution in the literature.*

## 1. GİRİŞ

Mekanik problemlerinin çözümü, genel olarak, iki aşamada yapılmaktadır. İlk olarak, probleme ilişkin diferansiyel denklemler elde edilmektedir. Daha sonra problemin başlangıç ve sınır şartları göz önüne alınarak, elde edilen denklemler çözülmektedir. Ancak, genellikle problemin geometrisinin ve malzeme özelliklerinin karmaşık bir yapıya sahip olması nedeniyle çoğu zaman diferansiyel denklemlerin analitik çözümünü yapmak mümkün olamamaktadır. Bu tip problemlerle karşılaşıldığında yaklaşık bir çözüm elde etmek amacıyla çeşitli sayısal yöntemler kullanılmaktadır.

Sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemi, yaygın olarak kullanılan sayısal yöntemlerdir. Bu çözüm yöntemlerinin yanı sıra, son yıllarda yarı analitik bir yöntem olan sınır eleman yöntemi geliştirilmiştir (1-2). Sınır eleman yönteminde, ele alınan cismin davranışını idare eden diferansiyel denklem, cismin sınırları üzerinde tanımlanan integral denkleme dönüştürülmekte, dolayısıyla, yalnızca çözüm bölgesi sınırının elemanlara bölünmesi yeterli olmaktadır. Böylelikle, çözülecek denklem sayısı önemli ölçüde azalmaktadır (3). Sınır eleman yöntemi, integral ifadelerde yer alan temel çözümler analitik olarak hesaplandığından, yarı analitik bir yöntemdir. Yarı analitik olması nedeniyle, diğer sayısal yöntemlere göre daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Sınır eleman yöntemi, özellikle sonsuza uzanan çözüm bölgeleri ve lineer problemler için oldukça uygundur (4).

Bu çalışmada, iki boyutlu elastostatik problemlerin çözümü için sınır eleman formülasyonu yapılmıştır. Formülasyonda, süreksiz lineer eleman kullanılmış, sabit noktanın ve integrasyon noktasının aynı sınır elemanı üzerinde bulunmasından kaynaklanan tekillik durumları göz önüne alınmıştır. Yüksek dereceli eleman kullanılarak elde edilen yaklaşık çözümün hassasiyeti artırılmaya çalışılmıştır. Yapılan formülasyona dayalı olarak düğüm noktalarının farklı konumları için çözüm yapabilen bir bilgisayar programı (D2SL) hazırlanmıştır. Programın doğruluğunu kontrol için bir dairesel disk problemi çözümlenerek elde edilen sonuçlar ile literatürde verilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. FORMÜLASYON

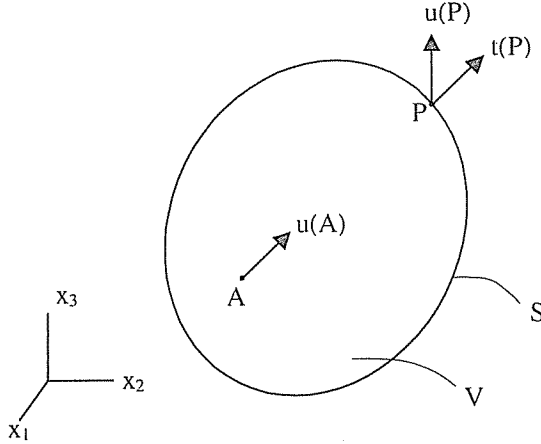
### 2.1. Elastostatik Problemler için Sınır Eleman Formülasyonu

Elastostatik problemler için sınır eleman formülasyonunun temel bağıntıları literatürde geniş bir şekilde verilmektedir (1,5-6).

Şekil 1'de görülen, hacmi  $V$  olan bir cisim için sınır eleman denklemi, hacim kuvvetleri ihmal edilerek, matris formunda,

$$\underline{cu}(A) = \int_S \underline{G}(A, P) \underline{t}(P) dS - \int_V \underline{H}(A, P) \underline{u}(P) dV \quad (1)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada  $S$ , cismin sınır yüzeyini göstermektedir. İntegralleri terimlerde görülen  $\underline{G}$  ve  $\underline{H}$  matrisleri, sırasıyla elastostatik problemler için elde edilmiş olan birinci ve ikinci temel çözümleri temsil etmektedir.  $\underline{u}$  ve  $\underline{t}$  sırasıyla, deplasman ve gerilme vektörlerini göstermektedir.  $A$  ve  $P$  ise sırasıyla, integral işlemlerinde kullanılan sabit noktayı ve integrasyon noktasını temsil etmektedir.



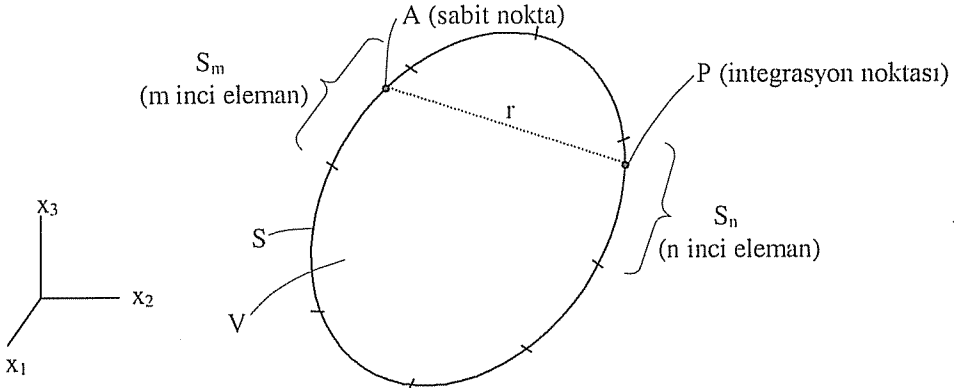
Şekil 1. Formülasyonda ele alınan cisim

(1) denklemi yardımıyla, sınırda ya da cismin iç bölgesinde yer alan noktadaki deplasman değerleri bulunabilmektedir.  $\underline{c}$  matrisi A noktasının bulunduğu konuma göre değişik değerler almaktadır. A noktası cismin iç bölgesinde herhangi bir nokta ise  $\underline{c}$  matrisi birim matrise ( $\underline{I}$ ) eşittir. A noktası cismin dışında ise  $\underline{c}$  matrisinin bütün elemanları sıfırdır. Eğer A noktası, sınır yüzeyi üzerinde, köşe noktaları dışında bir nokta ise,

$$\underline{c} = \frac{1}{2} \underline{I} \quad (2)$$

şeklinde dir. A noktasının S üzerinde bir köşe noktası olması halinde ise,  $\underline{c}$  matrisi, A noktasındaki köşe açılarına bağlı olarak verilmektedir (1).

A noktasının sınır yüzeyinde seçilmesi halinde (1) denklemi, sadece sınır büyüklüklerini içeren bir denklem haline dönüşmektedir. Bu durumda denkleme "İndirgenmiş Sınır Eleman Denklemi" adı verilmektedir. İndirgenmiş sınır eleman denkleminde yer alan integraller, cismin sınır yüzeyi (S) elemanlara bölünerek (Şekil 2) sayısal olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 2. Sınır yüzeyinin elemanlara bölünmesi

Elastostatik problemler için temel çözümler ( $\underline{G}$  ve  $\underline{H}$ ), literatürde, referans sisteminin sonsuz ortam olarak seçilmesi durumunda analitik olarak elde edilmektedir (5). İzotropik malzemeler için temel çözümler,

$$G_{\epsilon k}^{mn} = \frac{1}{8\pi\mu(1-\nu)} \left[ (3-4\nu)\ln\left(\frac{1}{r}\right)\delta_{\epsilon k} + \frac{\partial r}{\partial x_\ell} \frac{\partial r}{\partial x_k} \right] \quad (3)$$

$$H_{\epsilon k}^{mn} = -\frac{1}{4\pi(1-\nu)r} \left[ \frac{\partial r}{\partial n} \left\{ (1-2\nu)\delta_{\epsilon k} + 2\frac{\partial r}{\partial x_k} \frac{\partial r}{\partial x_\ell} \right\} - (1-2\nu) \left( \frac{\partial r}{\partial x_\ell} n_k - \frac{\partial r}{\partial x_k} n_\ell \right) \right] \quad (4)$$

şeklindedir.  $G_{\epsilon k}^{mn}$  ve  $H_{\epsilon k}^{mn}$ , sırasıyla,  $\{$  yönündeki birim yüklemeye bağlı olarak  $k$  yönünde oluşan deplasman ve gerilme vektörü bileşenlerini göstermektedir. Burada,  $m$ , sabit noktanın bulunduğu elemanın numarasını,  $n$  ise integrasyon noktasının bulunduğu elemanın numarasını göstermektedir.  $\mu$ , kayma modülünü,  $\nu$ , poisson oranını ve  $\delta$  ise Kronecker delta'yı göstermektedir.

## 2.2. Yüksek Dereceli Sınır Eleman Formülasyonu

Bu bölümde, izoparametrik sınır eleman kullanılarak yüksek dereceli sınır eleman formülasyonu elde edilmiştir. İzoparametrik elemanda, sınır elemanın geometrisini tanımlayan ve eleman üzerinde sınır büyüklüklerini enterpole eden şekil fonksiyonları eşittir. Ayrıca, hazırlanan bu formülasyonda, sınır elemanın düğüm noktalarını ve sınır eleman yüzeyini tanımlamak için aynı noktalar kullanılmıştır. Bu noktalar,  $S_m$  elemanı için  $P_m^k$  ( $m=1, \dots, N$  ve  $k=1, \dots, q$ ) ile gösterilmiştir (Şekil 3). Burada,  $N$  eleman sayısını,  $q$  ise her bir eleman üzerinde göz önüne alınan nokta sayısını belirtmektedir.

İzoparametrik formülasyonda, sınır eleman yüzeyi,

$$x_i = \sum_{k=1}^q \phi_k(u_1, u_2) x_i^k \quad (5)$$

denklemini, sınır elemanı üzerindeki sınır büyüklükleri ise,

$$u_i = \sum_{k=1}^q \phi_k(u_1, u_2) u_i^k \quad (6)$$

$$t_i = \sum_{k=1}^q \phi_k(u_1, u_2) t_i^k$$

ifadeleri ile verilmektedir. Bu ifadelerde,  $x_i$ ,  $P$  integrasyon noktasının koordinatlarını;  $x_i^k$ ,  $P^k$  düğüm noktasının koordinatlarını;  $(u_1^k, t_1^k)$ ,  $P^k$  düğüm noktasındaki sınır büyüklüklerinin değerlerini;  $\phi_k$ , şekil fonksiyonlarını;  $(u_1, u_2)$  ise boyutsuz yüzey koordinatlarını temsil etmektedir.

Şekil 3'de görülmekte olan  $S_m$ 'inci elemanın  $P_m^k$  sabit noktası için (1) denklemi,

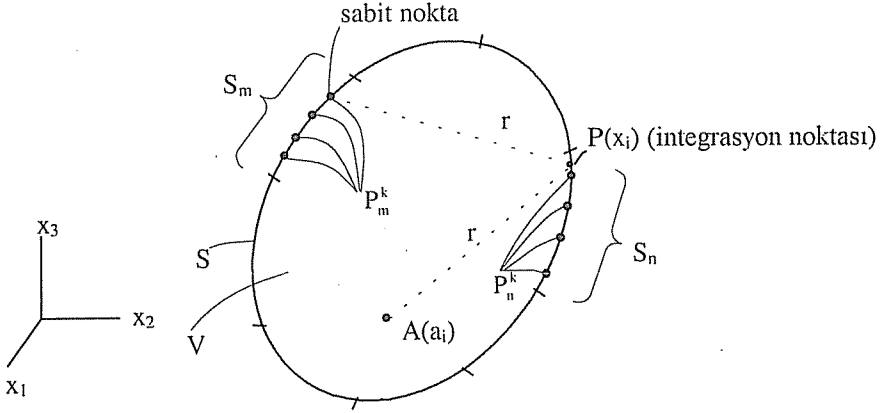
$$c_m^k \underline{u}(P_m^k) = \int_S \underline{G}(P_m^k, P) \underline{t}(P) dS - \int_S \underline{H}(P_m^k, P) \underline{u}(P) dS \quad (7)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada,  $P_m^k$  köşe noktası ise  $c_m^k$ 'nin değeri köşe açısına bağlı olarak değişmektedir. Aksi halde  $c_m^k = 1/2$  dir.

Sınır yüzeyinin Şekil 3’de görüldüğü gibi, elemanlara bölünmesi halinde (7) denklemi,

$$c_m^k \underline{u}(P_m^k) = \sum_{n=1}^N \int_{S_n} \underline{G}(P_m^k, P) \underline{t}(P) dS - \sum_{n=1}^N \int_{S_n} \underline{H}(P_m^k, P) \underline{u}(P) dS \quad (8)$$

şeklinde ifade edilmektedir.



**Şekil 3.** Cisim sınırının yüksek dereceli sınır elemanlarına bölünmesi

(6) ifadeleri, (8) denklemine yerleştirilirse ve integrasyon parametresi  $dS$ , ( $dS=g(u_1, u_2) du_1 du_2$ ) eşitliği kullanılarak  $du_1, du_2$  olarak değiştirilirse,

$$c_m^k \underline{u}(P_m^k) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^q \left[ \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 g \underline{G}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s du_1 du_2 \right] \underline{t}(P_n^s) - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^q \left[ \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 g \underline{H}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s du_1 du_2 \right] \underline{u}(P_n^s) \quad (9)$$

denklemleri elde edilir. Burada,

$$\underline{\phi}_s = \begin{bmatrix} \phi_s & \underline{0} \\ \phi_s & \\ \underline{0} & \phi_s \end{bmatrix} \quad (s=1, \dots, q) \quad (10)$$

şeklinde tarif edilmektedir. (9) no'lu ifadede verilen  $g$ , Jacobian matrisinin determinantını göstermektedir.  $P$  integrasyon noktasının koordinatları (5) eşitliği kullanılarak  $(u_1, u_2)$ 'ye bağlı olarak ifade edilmekte ve  $\underline{G}$  ile  $\underline{H}$  matrisleri,

$$\underline{G}_{ks}^{mn} = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 g \underline{G}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s du_1 du_2 \quad (11a)$$

$$\underline{H}_{ks}^{mn} = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 g \underline{H}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s du_1 du_2 \quad (11b)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. (11) ifadeleri (9) denklemlerine yerleştirilerek, (9) denklemleri,

$$c_m^k \underline{u}(P_m^k) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^q \underline{G}_{ks}^{mn} \underline{t}(P_n^s) - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^q \underline{H}_{ks}^{mn} \underline{u}(P_n^s) \quad (12)$$

şeklinde elde edilmektedir. (12) denklemi,  $P_m^k$  ( $k=1, \dots, q$ ) sabit noktaları için yazılarak birleştirilirse, aşağıdaki ifade elde edilmektedir.

$$\underline{c}^m \underline{u}^m = \sum_{n=1}^N \underline{G}^{mn} \underline{t}^n - \sum_{n=1}^N \underline{H}^{mn} \underline{u}^n \quad (13)$$

(13) denkleminde geçen matris ve vektörler,

$$\underline{G}^{mn} = \begin{bmatrix} \underline{G}_{11}^{mn} & \dots & \underline{G}_{1q}^{mn} \\ \dots & \dots & \dots \\ \underline{G}_{q1}^{mn} & \dots & \underline{G}_{qq}^{mn} \end{bmatrix}; \quad \underline{H}^{mn} = \begin{bmatrix} \underline{H}_{11}^{mn} & \dots & \underline{H}_{1q}^{mn} \\ \dots & \dots & \dots \\ \underline{H}_{q1}^{mn} & \dots & \underline{H}_{qq}^{mn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

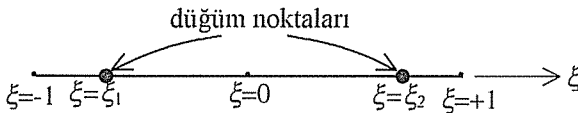
$$\underline{u} = \begin{bmatrix} \underline{u}(P_n^1) \\ \vdots \\ \underline{u}(P_n^q) \end{bmatrix}; \quad \underline{t} = \begin{bmatrix} \underline{t}(P_n^1) \\ \vdots \\ \underline{t}(P_n^q) \end{bmatrix}; \quad \underline{c}^m = \begin{bmatrix} c_m^1 \mathbf{I} & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & c_m^q \mathbf{I} \end{bmatrix}$$

şeklinde. Burada,  $\mathbf{I}$  matrisi, birim matrisi belirtmektedir. (13) denkleminde verilen  $\underline{G}^{mn}$  ve  $\underline{H}^{mn}$  matrisleri, (11) eşitliklerinde verilen integrallerin Gauss sayısal integrasyon yöntemi ile çözümlenip (14) ifadesinde verilen matrislere yerleştirilmesiyle elde edilmektedir (7).

(13) denkleminin, önceden bilinen sınır büyüklükleri kullanılarak çözülmesiyle sınır üzerindeki bilinmeyen deplasman ve gerilme vektörü bileşenleri hesaplanabilmektedir.

### 2.3. Süreksiz Lineer Sınır Eleman Formülasyonu

Bu çalışmada, sınır eleman denkleminin sayısal olarak çözümü için Bölüm 2.2 'de genel olarak ifade edilen yüksek dereceli sınır eleman formülasyonu, süreksiz lineer eleman seçilerek iki boyutlu problemler için düzenlenmiştir.



Şekil 4. Lineer Sınır Elemanı

Sayısal çözüm için, ilk olarak cisim sınırı,  $N$  adet sınır elemanına bölünmektedir. Her bir eleman üzerinde olmak üzere iki adet düğüm noktası seçilmiştir (Şekil 4). Düğüm nokta sayısı ( $q=2$ ) alınarak, Bölüm 2.2'de verilen (5) ve (6) ifadeleri yeniden düzenlenmiştir. Buna göre, sınır eleman koordinatlarını tanımlamak üzere,

$$x_i = \sum_{k=1}^2 \phi_k(\xi) x_i^k \quad (15)$$



ifadesi ve sınır elemanı üzerindeki sınır büyüklüklerini belirlemek üzere,

$$u_i = \sum_{k=1}^2 \phi_k(\xi) u_i^k \quad (16a)$$

$$t_i = \sum_{k=1}^2 \phi_k(\xi) t_i^k \quad (16b)$$

ifadeleri kullanılmaktadır. (15) ve (16) ifadelerinde verilen şekil fonksiyonları süreksiz lineer eleman için, boyutsuz koordinatlarda,

$$\phi_1 = \left( \frac{\xi_2 - \xi}{\xi_2 - \xi_1} \right) ; \phi_2 = \left( \frac{\xi - \xi_1}{\xi_2 - \xi_1} \right) \quad -1 \leq \xi_1 < 0 ; 0 < \xi_2 \leq 1 \quad (17)$$

şeklinde elde edilmiştir.

(17) ifadelerinde belirtilen şekil fonksiyonları (9) denklemine yerleştirildiğinde,

$$c_m^k \underline{u}(P_m^k) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^2 \left[ \int_{-1}^1 g \underline{G}(P_m^k, P) \phi_s d\xi \right] \underline{t}(P_n^s) - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^2 \left[ \int_{-1}^1 g \underline{H}(P_m^k, P) \phi_s d\xi \right] \underline{u}(P_n^s) \quad (18)$$

denklemini elde edilmektedir. (18) denkleminde gösterilen şekil fonksiyon matrisi ( $\phi_s$ ),

$$\phi_s = \begin{bmatrix} \phi_s & 0 \\ 0 & \phi_s \end{bmatrix} \quad (19)$$

şeklinde (11) denklemlerinde verilen ifadeler, (18) denklemine yerleştirilerek, (18) denklemini,

$$c_m^k \underline{u}(P_m^k) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^2 \underline{G}_{ks}^{mn} \underline{t}(P_n^s) - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^2 \underline{H}_{ks}^{mn} \underline{u}(P_n^s) \quad (20)$$

şeklinde yeniden düzenlenmiştir. (20) denklemini,  $P_m^k$  ( $k=1,2$ ) sabit noktaları için yazılarak birleştirilmiş ve aşağıdaki ifade elde edilmiştir.

$$\underline{c}^m \underline{u}^m = \sum_{n=1}^N \underline{G}^{mn} \underline{t}^n - \sum_{n=1}^N \underline{H}^{mn} \underline{u}^n \quad (21)$$

(21) denkleminde verilen matrisler,

$$\underline{G}^{mn} = \begin{bmatrix} \underline{G}_{11}^{mn} & \underline{G}_{12}^{mn} \\ \underline{G}_{21}^{mn} & \underline{G}_{22}^{mn} \end{bmatrix} ; \underline{H}^{mn} = \begin{bmatrix} \underline{H}_{11}^{mn} & \underline{H}_{12}^{mn} \\ \underline{H}_{21}^{mn} & \underline{H}_{22}^{mn} \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$\underline{u} = \begin{bmatrix} \underline{u}(P_n^1) \\ \underline{u}(P_n^2) \end{bmatrix} ; \underline{t} = \begin{bmatrix} \underline{t}(P_n^1) \\ \underline{t}(P_n^2) \end{bmatrix} ; \underline{c}^m = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \underline{I} & \underline{0} \\ \underline{0} & \frac{1}{2} \underline{I} \end{bmatrix}$$

şeklinde (21) denkleminde verilen  $\underline{G}^{mn}$  ve  $\underline{H}^{mn}$  ifadeleri, ( $m \neq n$ ) eşitsizliği halinde (11) denkleminde verilen integrallerin Gauss sayısal integrasyon yöntemi kullanılarak hesaplanmasıyla elde edilmektedir (7). ( $m=n$ ) ve ( $k=s$ ) olması halinde ortaya çıkan tekillik durumunda ise (4) ifadesinde belirtilen  $\underline{H}^{mmm}$ , rijit cisim deplasman yöntemi kullanılarak bulunmaktadır (1). (3) ifadesinde verilen  $\underline{G}^{mmm}$  ise, logaritmik tekillik durumu oluşturan ( $\ln(1/r)$ ) ifadesinin bulunmasından dolayı integre edildikten sonra integral ikiye bölünerek, logaritmik tekilliği meydana getiren ifadenin bulunduğu

integral, logaritmik Gauss, diğer kalan kısım ise standard Gauss sayısal yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır (2). Burada k, sabit düğüm noktasının numarasını, s ise şekil fonksiyonu numarasını göstermektedir.

(21) denklemi, N adet sınır elemanı için yazılırsa, elde edilen denklemler bir araya toplanarak, matris formunda,

$$\underline{\bar{H}}\underline{\bar{u}} = \underline{\bar{G}}\underline{\bar{t}} \quad (23)$$

eşitliği bulunur. Burada,

$$\underline{\bar{G}} = (\underline{\bar{G}}^{mn}) ; \quad \underline{\bar{H}} = \left( \underline{\bar{H}}^{mn} + \frac{1}{2} \mathbb{I} \delta_{mn} \right) \quad (24)$$

$$\underline{\bar{u}} = (\underline{\bar{u}}^n) ; \quad \underline{\bar{t}} = (\underline{\bar{t}}^n) \quad (m, n = 1, 2, \dots, 2N)$$

olarak verilmiştir. (24) eşitliklerinde verilen  $\delta_{mn}$  Kronecker delta'yı göstermektedir.

(23) sistem denklemini 4N adet denklem içermektedir. Cisim sınırının N adet süreksiz lineer sınır elemanına bölünmesinden dolayı, toplam 8N adet sınır büyüklüğü ( $\underline{\bar{u}}, \underline{\bar{t}}$ ) olduğu için, 4N adet sınır büyüklüğünün sınır şartı olarak verilmesi gerekmektedir. Sınır şartları olarak, her bir düğüm noktası üzerinde  $x_i$  ( $i=1,2$ ) doğrultusunda  $t_i$  veya  $u_i$  bileşenlerinden birinin yada kombinasyonunun bilinmesi gerekmektedir.

Böylelikle, bilinen sınır şartları, (23) sistem denkleminde yerine konularak, bilinmeyenler denklemin sol tarafında toplanırsa bu denklem,

$$\underline{A} \underline{X} = \underline{B} \underline{Y} \quad (25)$$

formunda elde edilebilir. Burada,  $\underline{X}$  ve  $\underline{Y}$ , sırasıyla, bilinmeyen ve bilinen sınır büyüklüklerini temsil etmektedir.  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  matrisleri ise, tüm bilinmeyenler, denklemin

sol tarafında toplanacak şekilde,  $\underline{\bar{H}}$  ve  $\underline{\bar{G}}$  matrislerinin ilgili kolonlarının yer değiştirilmesiyle elde edilmektedir. (25) denklemi çözülerek, cisim sınırı üzerindeki bilinmeyen sınır büyüklükleri hesaplanmaktadır.

### 2.3. İç Noktalarda Deplasman ve Gerilmelerin Belirlenmesi

(25) denkleminin çözülmesiyle elde edilen sınır büyüklüklerini kullanarak Şekil 3'de gösterilen A noktasındaki deplasman ve gerilme değerleri elde edilmektedir.

$$u_\epsilon(A) = \int_s u_{\epsilon i}^*(A, P) t_i(P) dS - \int_s t_{\epsilon i}^*(A, P) u_i(P) dS \quad (26)$$

#### 2.3.1. Deplasmanların Belirlenmesi

(26) denkleminin matris formu,

$$\underline{u}(A) = \int_s \underline{G}(A, P) \underline{t}(P) dS - \int_s \underline{H}(A, P) \underline{u}(P) dS \quad (27)$$

şekindedir. Sınır, N adet elemana bölünür ve süreksiz lineer sınır eleman formülasyonu uygulanırsa, (27) denklemi,

$$\underline{u}(A) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^2 \left[ \int_{-1}^1 g \underline{G}(A, P) \underline{\phi}_{-s} d\xi \right] \underline{t}(P_n^s) - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^2 \left[ \int_{-1}^1 g \underline{H}(A, P) \underline{\phi}_{-s} d\xi \right] \underline{u}(P_n^s) \quad (28)$$

şeklinde yazılabilir.

(28) denklemindeki integral ifadeleri, Gauss sayısal integrasyon yöntemiyle çözümlenerek ve (25) denkleminle elde edilen sınır büyüklükleri yerlerine konularak A noktasındaki deplasman değeri hesaplanır.

### 2.3.2. Gerilmelerin Belirlenmesi

Gerilmelerin hesaplanabilmesi için (26) denkleminin yanı sıra A noktasında bünye denkleminin yazılması gerekmektedir. A noktasında bünye denklemi,

$$\tau_{ij}(A) = c_{ijs\ell} \frac{\partial u_{\ell}}{\partial a_s}(A) \quad (29)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,  $\tau_{ij}$ , gerilme bileşenlerini göstermektedir. Elastik  $c_{ijs\ell}$  katsayıları, izotropik malzemeler için,

$$c_{ijs\ell} = \mu(\delta_{is}\delta_{j\ell} + \delta_{i\ell}\delta_{js}) + \lambda\delta_{ij}\delta_{s\ell} \quad (30)$$

olarak verilmektedir. Bu eşitlikte  $\lambda$  Lamé sabiti ve  $\mu$  kayma modülüdür. (29) denkleminde görülen  $a_s$ , A noktasının koordinatlarını göstermektedir. (26) denkleminin  $a_s$ 'ye göre türevi alındığında,

$$\tau_{ij}(A) = \int_s D_{kij}(A, P) t_k(P) dS - \int_s S_{kij}(A, P) u_k(P) dS \quad (31)$$

eşitliği elde edilir. Burada,

$$D_{kij}(A, P) = c_{ijs\ell} \frac{\partial G_{\ell k}(A, P)}{\partial a_s} ; S_{kij}(A, P) = c_{ijs\ell} \frac{\partial H_{\ell k}(A, P)}{\partial a_s} \quad (32)$$

eşitlikleri kullanılmıştır. (32) eşitliklerinde verilen gerilme çekirdek fonksiyonları, temel çözümlerin A noktasının koordinatlarına göre türevleri alınarak elde edilebilmektedir.

(31) denkleminin Gauss sayısal integrasyon yöntemi ile çözülmesiyle A noktasındaki gerilmeler bulunmaktadır. Bu amaçla, cisim sınırı N adet lineer sınır elemana bölünmekte ve süreksiz lineer sınır eleman formülasyonu kullanılarak (31) denklemi,

$$\tau_{ij}(A) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^2 D_{kij}^{nm} t_k^{nm} - \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^2 S_{kij}^{nm} u_k^{nm} \quad (33)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada,  $n_1$ , düğüm noktasının numarasını belirtmektedir.

### 3. BİLGİSAYAR PROGRAMI

Bu çalışmada, süreksiz lineer eleman için geliştirilen formülasyon ve ilgili sayısal yöntemler kullanılarak, düğüm noktalarının farklı konumları ( $\xi_1$  ve  $\xi_2$ ) için çözüm yapabilecek şekilde D2SL adlı bilgisayar programı hazırlanmıştır.

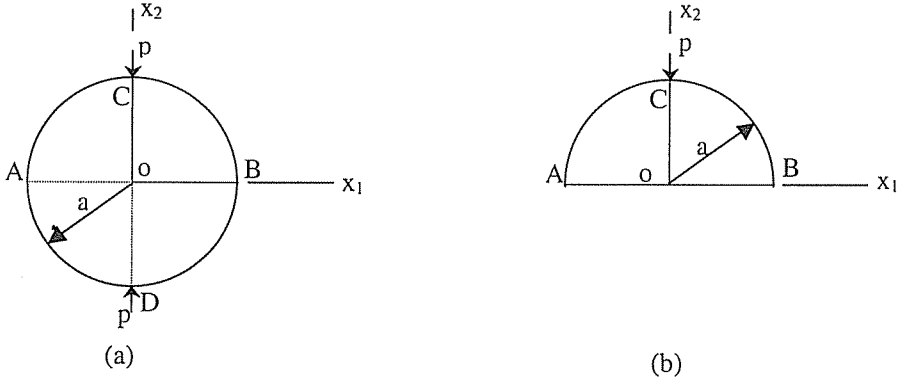
### 4. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde, dairesel disk probleminin D2SL bilgisayar programı yardımıyla çözümü verilmektedir. Bu program kullanılarak düğüm noktalarının farklı konumları için elde edilen değerler kendi içlerinde ve literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Örnek olarak, Şekil 5.a'da görülen a yarıçaplı, p aksenal basınç kuvvetine maruz bir dairesel disk ele alınmıştır. İzotropik elastik malzemeden yapılmış olan disk, orijini diskin merkezinde olup  $x_1$ - $x_2$  koordinat sistemi ile gösterilmiştir.

P kuvvetinin uygulandığı C ve D noktaları hariç diskin sınırında gerilme yoktur. Simetri şartlarından dolayı Şekil 5.b'de görüldüğü üzere problem yarıya indirgenmiş ve

dolayısıyla AB yatay sınırı boyunca düşey deplasman ve yatay gerilme vektörü bileşeni sıfır olarak alınmıştır. Analizde (34) ifadelerinde belirtilen boyutsuz değişken ve parametreler kullanılmıştır. Ayrıca, hesaplamalarda poisson oranı ( $\nu$ ), 0.25 olarak alınmış ve boyutsuz yük değeri ( $\bar{p}$ ), 1 olarak seçilmiştir.



Şekil 5. p aksenal basınç kuvvetine maruz dairesel disk

$$\bar{x}_i = \frac{x_i}{d} ; \bar{u}_i = \frac{u_i}{d} ; \bar{t}_i = \frac{t_i}{\mu} \quad (i = 1,2) \quad (34)$$

$$\bar{p} = \frac{p}{\mu d} ; \bar{\mu} = \frac{\mu}{\mu} = 1$$

Problem analizinde, AB yatay sınırı 40, BCA yay sınırı ise 15 adet süreksiz lineer elemana bölünmüştür. C noktasına uygulanan düşey yük, 0.104 uzunluğundaki 48 no'lu eleman üzerine üniform yayılı olarak etki ettirilmiştir. 48 no'lu eleman üzerindeki her iki düğüm noktasında boyutsuz düşey yöndeki gerilme vektörü bileşeni,

$$\bar{t}_2 = -\frac{1}{0.104} = -9.62$$

olarak elde edilmiştir.

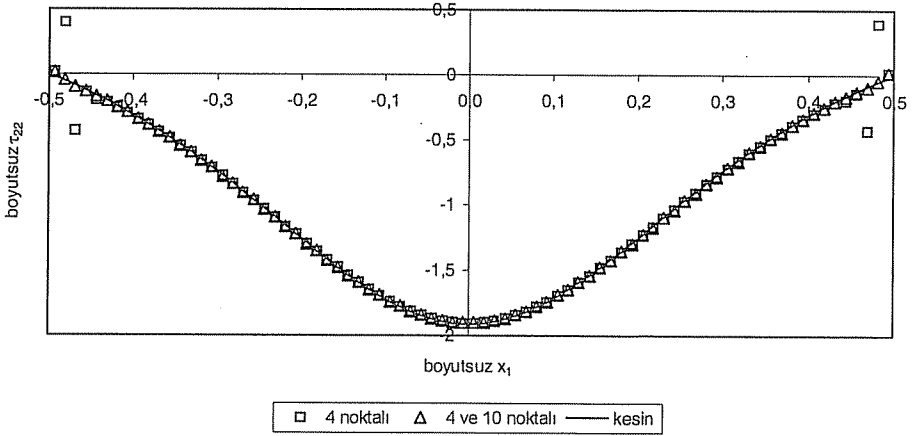
Hazırlanan bu veriler kullanılarak problemimiz D2SL bilgisayar programı ile çözülmüştür. Ayrıca karşılaştırmada kullanılmak üzere düşey normal gerilme değerleri,

$$\tau_{22} = \frac{2p}{\pi d} \left[ 1 - \frac{4d^4}{(d^2 + 4x_1^2)^2} \right]$$

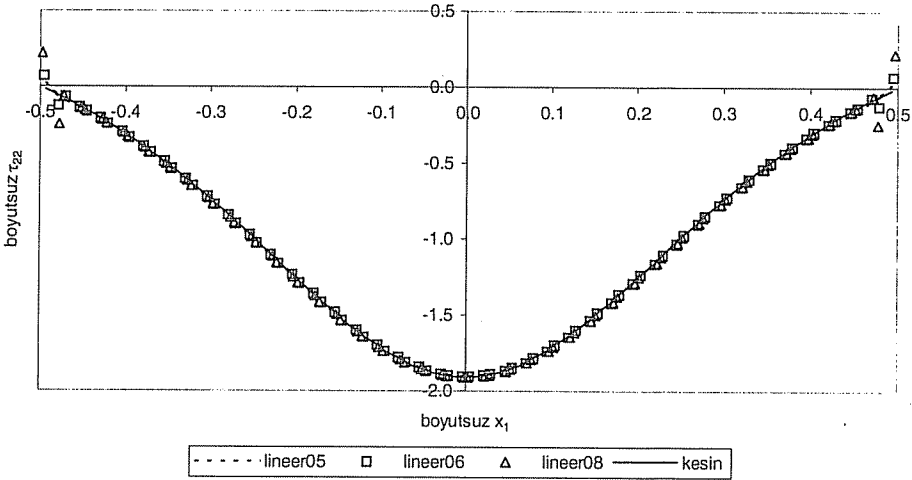
formülü yardımıyla elde edilmiştir (8).

Bu çalışmada, problem (a) tüm integrallerde 4 noktalı Gauss sayısal integrasyon yöntemi, (b) ( $m \neq n$ ) ve ( $m=n$  ve  $k \neq s$ ) durumlarında 4 noktalı, ( $m=n$  ve  $k=s$ ) olması durumunda ise 10 noktalı Gauss sayısal integrasyon yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Şekil 6'da görüleceği üzere, (b)'de elde edilen normal gerilme değerlerinin (a)'da elde edilen değerlere kıyasla kesin sonuçlara daha yakındır. Aynı problem, düğüm noktalarının farklı konumları için ( $\xi_1, \xi_2$ , sırasıyla,  $(-1/2, 1/2)$ ,  $(-2/3, 2/3)$  ve  $(-8/10, 8/10)$ )

seçilerek) yeniden çözülmüştür. AB boyunca elde edilen düşey normal gerilmeler kesin sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Şekil 7'de görüleceği üzere en uyumlu sonuç ( $\xi_1=-1/2$ ,  $\xi_2=1/2$ ) durumunda elde edilmiştir.



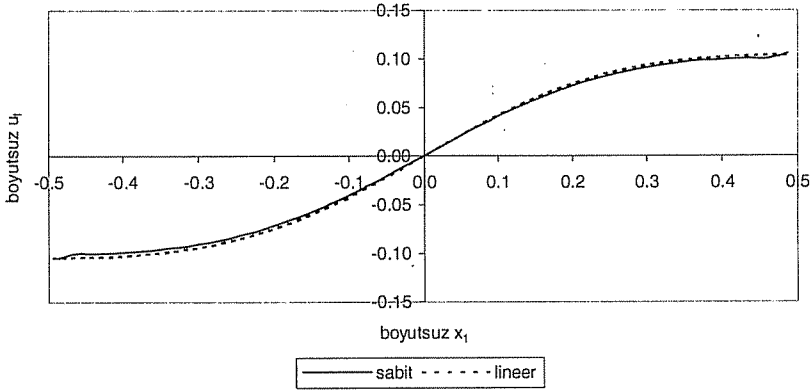
Şekil 6. AB boyunca düşey normal gerilme dağılımı



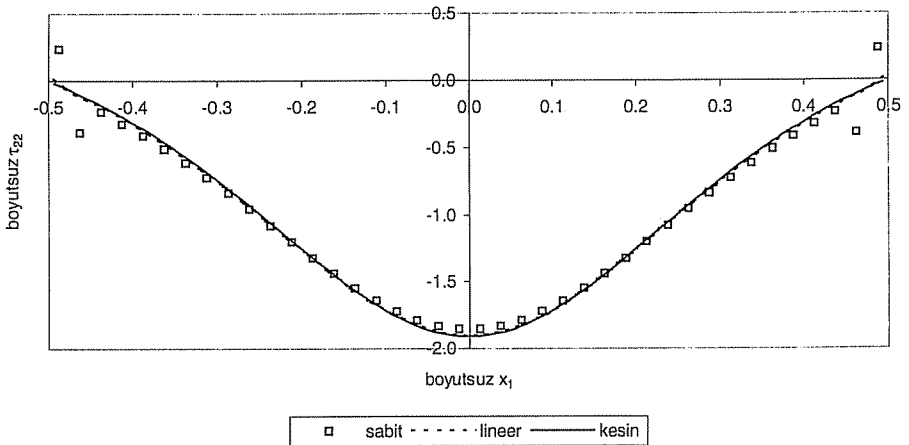
Şekil 7. AB boyunca düşey normal gerilme dağılımı

Şekil 6 ve Şekil 7 'de elde edilen bulgular dikkate alınarak bundan sonra yapılan çözümlerde 4 ve 10 noktalı Gauss sayısal integrasyon yöntemi birlikte kullanılmıştır. Ayrıca, süreksiz lineer eleman üzerindeki boyutsuz düğüm noktası koordinatları da ( $\xi_1=-1/2$ ,  $\xi_2=1/2$ ) olarak seçilmiştir.

Aynı problem daha önce Mengi ve diğ. (1994) tarafından sabit eleman formülasyonu kullanılarak çözülmüştür. Bu çalışmada elde edilen AB boyunca oluşan yatay deplasman değerleri, Mengi ve diğ. (1994)'nin elde ettiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 8). Şeklin incelenmesiyle, her iki yöntemle elde edilen sonuçların uyum içerisinde oldukları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, AB boyunca elde edilen boyutsuz düşey gerilme değerleri, Mengi ve diğ. (1994)'nin elde etmiş olduğu sonuçlar ve Timeshenko ve Goodier (1970)'in vermiş olduğu kesin sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 9). Şekillerin incelenmesinden sonra, süreksiz lineer sınır eleman formülasyonu ile elde edilen sonuçların, sabit eleman formülasyonu ile elde edilen değerlere nazaran, özellikle bölgenin uç kesimlerinde kesin sonuçla daha uyumlu oldukları görülmüştür.



Şekil 8. AB boyunca yatay deplasman dağılımı



Şekil 9. AB boyunca düşey normal gerilme dağılımı

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla bir adet dairesel disk problemi çözülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

(i) Süreksiz lineer sınır eleman modeli ile elde edilen sonuçlar, sabit eleman modeline kıyasla kesin sonuçlara daha yakındır.

(ii) Süreksiz lineer eleman modelinde ortaya çıkan integrallerin sayısal çözümünde ( $m \neq n$ ) ve ( $m=n$  ve  $k \neq s$ ) durumlarında 4 noktalı, ( $m=n$  ve  $k=s$ ) olması durumunda ise 10 noktalı Gauss sayısal integrasyon yönteminin kullanılması ile elde edilen sonuçlar, tüm integraller için 4 noktalı Gauss sayısal integrasyon yönteminin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlara kıyasla kesin sonuçlarla daha uyumlu olduğu görülmektedir.

(iii) Süreksiz lineer eleman modelinde düğüm noktalarının ( $\xi_1=-1/2$ ,  $\xi_2=1/2$ ) koordinatlarında seçilmesinin uygun olduğu anlaşılmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Brebbia, C.A., Dominguez, J., "Boundary Elements An Introductory Course", Computational Mechanics Publications, Southampton, 1989.
2. Becker, A.A., "The Boundary Element Method in Engineering", McGraw-Hill Book Company, London, 1992.
3. Tanrikulu, A.H., "İki Malzemeli Kompozitin Dinamik Analizi için Yerel Olmayan Sınır Şartlarını İçeren Bir Sınır Eleman Modeli", Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
4. Tanrikulu, A.H., Yerli, H.R., "Yapı-Zemin Etkileşim Analizinde Sınır Eleman Yönteminin Kullanılması", Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Vol:15 No:1-2, 2000.
5. Mengi, Y., Tanrikulu, A.H. and Tanrikulu, A.K., "Boundary Element Method for Elastic Media, An Introduction", ODTÜ Basım İşliği, Ankara, 1994.
6. Banerjee, P.K., "The Boundary Element Methods in Engineering", McGraw-Hill Book Company, London, 1994.
7. Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., and Vetterling, V.T., "Numerical Recipes", Cambridge University Press, New York, 1986.
8. Timoshenko, S.P., Goodier, J.N., "Theory of Elasticity", McGraw-Hill Book Company, New York, 1970.





## FİBER ÇUBUKLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ KOMPOZİT PLAKLARIN ANALİZİ

H. Murat ARSLAN

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

S. Seren AKAVCI

Ç. Ü., Mimarlık Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Bu çalışmada, fiber ve matris malzemelerinden oluşturulmuş kompozit plakların analizi yapılmıştır. Fiber ve matris malzemelerin tanımı yapıldıktan sonra, bu malzemeler kullanılarak oluşturulmuş plakların malzeme özellikleri belirlenmiştir. İnce plaklar için Kirchhoff kabulleri yapılarak ve temel gerilme-deformasyon ilişkileri kullanılarak ince plaklarda gerilme dağılımları belirlenmiştir. Statik denge şartları kullanılarak fiber çubuklarla güçlendirilmiş ince plakların çözümü için, moment cinsinden, 4. dereceden differansiyel denklem elde edilmiştir. Gerilme-deformasyon ilişkileri kullanılarak bu differansiyel denklem plak düşey deformasyonuna bağlı olarak yeniden yazılmıştır. Differansiyel denklemde yükleme ve deplasman fonksiyonları için Fourier serileri kullanılarak Navier çözümü uygulanmıştır. Analiz sonunda karşılaştırmalı bir örnek verilmiştir.

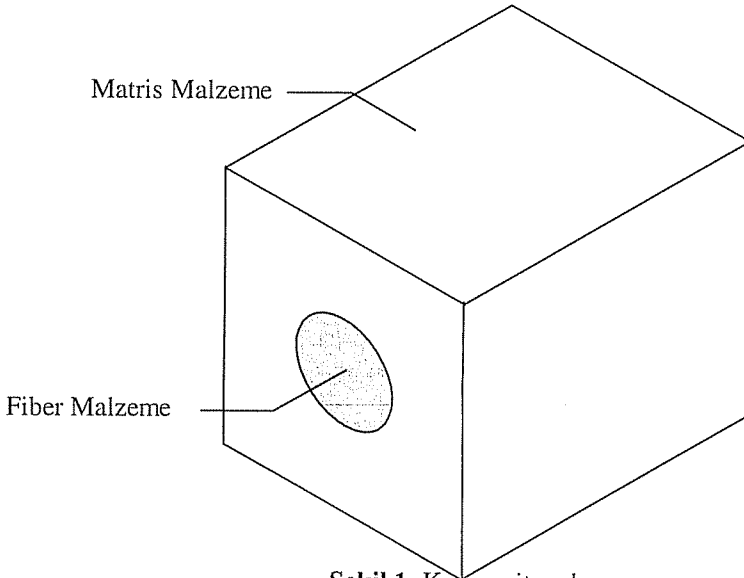
### ANALYSIS OF FIBER REINFORCED COMPOSITE PLATES

**ABSTRACT :** In this study an anlysis of composite plates made by fiberous and matrix materials has been carried out. After making a definition of fiberous and matrix materials, material properties of plates which are made of these materials have been determined. Kirchhoff hypotesis has been assumed for thin plates and using basic stress strain relations, the stress distribution of thin plates have been found. Using static equilibrium equations, fourth order differential equation of fiber reinforced plates is obtained as a governing equation in terms of moments. This differential equation is re-written in terms of vertical displacements by using stress-strain relation. Navier solution is applied to this governing equation by using Fourier series for displacement and loading functions. A comparative example is given at the end of the analysis.

## 1. GİRİŞ

Kompozit malzeme belirli bir amaca yönelik olarak en az iki farklı maddenin (Şekil. 1) bir araya getirilmesiyle meydana gelen malzeme grubudur. Betonarme kiriş, araba lastiği gibi cisimler bu tür malzemelere örnek olabilir. Üç boyutlu nitelikteki bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiç birinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir. Bu özellikler, mekanik dayanım, korozyon direnci, yüksek sıcaklığa dayanıklılık, ısı iletkenliği, rijitlik, ağırlık, görünüm olarak sıralanabilir. Bu tanıma göre kompozit malzemede genelde şu koşullar aranmaktadır: İnsan yapısı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması. Kimyasal bileşenleri birbirinden farklı ve belirli arayüzlerle ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması. Farklı malzemelerin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması. Bileşenlerin hiçbirinin tekbaşına sahip olmadığı özellikleri taşıması, dolayısıyla bu amaçla üretilmiş olması. Malzemenin bir bütün olarak davranması yani fiber ve matris malzemelerin tam bağlı olması.

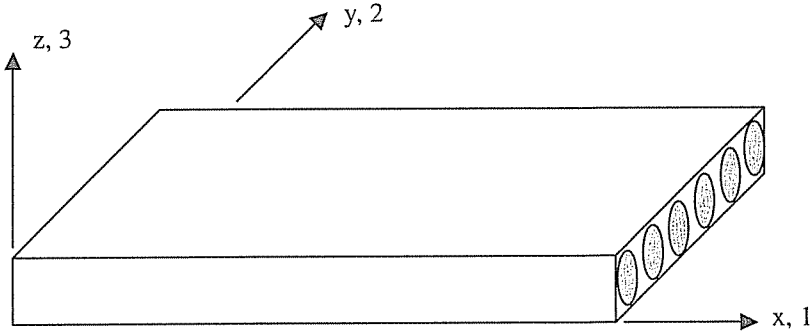
Farklı malzemelerden oluşturulmuş kompozit sistemler başlıca üç gruba ayrılabilir: taneciklerle güçlendirilmiş kompozitler, çubuklarla güçlendirilmiş kompozitler, tabakalı kompozitler. Bu çalışmada fiber çubuklu kompozit malzemeler incelenecektir.



Şekil 1. Kompozit malzeme

## 2. KOMPOZİT PLAKLAR

Genellikle yeterli basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları çok düşük düzeyde kalan veya zayıf yapı, kırılma dayanımına zayıf olan yönlerinin iyileştirilmesi, kırılma dayanımının giderilmesi, malzemenin sünekleştirilmesi gibi amaçlarla bu özellikleri iyileştirecek nitelikte liflerle donatılması ile üretilen kompozitlerdir.



Şekil 2. Fiber çubuklarla güçlendirilmiş kompozit plak

Kompozit plak ortotrop malzeme özelliği göstermekte olup, farklı iki malzemenin (fiber ve matris) özellikleri birleştirilerek oluşturulmuştur. Plakın malzeme özellikleri belirlenirken "Spring Analogy" kullanılmıştır. İlk aşamada malzemelerin hacimsel oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Fiber hacim oranına  $V_f$ , matrix hacim oranına  $V_m$  denilirse,

$$V_f + V_m = 1 \quad (1)$$

olmalıdır. 1 doğrultusundaki (Fiber çubuk doğrultusu) orta tabaka paralel bağlı yaylar gibi düşünülmelidir. Bu durumda fiber ile matris malzeme aynı uzamayı yapacaktır. Her iki malzemedeki kuvvetlerin toplamı dış kuvvete eşitlenirse,

$$\frac{\delta A E_1}{L} = \frac{\delta A_f E_f}{L} + \frac{\delta A_m E_m}{L} \quad (2)$$

bağıntısı elde edilir.  $A_f = V_f A$  ve  $A_m = V_m A$  olduğundan 1 doğrultusundaki elastisite modülü,

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (3)$$

şeklinde elde edilir. 2 doğrultusunda ise orta tabaka seri bağlı yaylar gibi düşünülmelidir. Bu durumda malzemelerdeki kuvvetler eşit olacaktır. Orta tabakanın toplam uzama miktarı fiber ve matris malzemelerin uzamaları toplamına eşit olacaktır. Bir başka deyişle

$$\frac{PL}{AE_2} = \frac{PL_f}{A_f E_f} + \frac{PL_m}{A_m E_m} \quad (4)$$

olur.  $A = A_f = A_m$  ve sırasıyla  $L_f = V_f L$ ,  $L_m = V_m L$  değerleri yerine yazılırsa 2 doğrultusundaki eşdeğer elastisite modülü

$$\frac{1}{E_2} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \quad (5)$$

olarak bulunur. Orta tabakanın Poisson oranı

$$\nu_{12} = \nu_f V_f + \nu_m V_m \quad (6)$$

ve kayma modülü

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{V_f}{G_f} + \frac{V_m}{G_m} \quad (7)$$

olarak elde edilir.

### 3. İNCE PLAK ANALİZİ

Düzlemine dik yüklü, ortotrop ince plakların analizi yapılırken şu kabuller yapılmıştır.

1. Orta düzlemin deplasmanı plak kalınlığına göre küçüktür. Deplasman yapmış yüzeyin eğimi çok küçük olup eğimin ikinci kuvveti ihmal edilebilir.
2. Orta düzlemde birim deformasyon yoktur.
3. Eğilmeden önce düzleme dik olan kesitler eğilmeden sonrada dik kalır. Bundan dolayı, düşey kesitlerdeki kayma birim deformasyonları ve düşey doğrultudaki birim deformasyon ihmal edilebilir.
4. Düzleme dik doğrultudaki gerilme bileşeni diğer gerilme bileşenlerine göre küçük olduğundan ihmal edilebilir.

Yukarıda bahsedilen kabuller Kirchhoff hipotezleri olarakta bilinmektedir. Plak deplasmanı

$$u = -z \frac{\partial w}{\partial x} \quad v = -z \frac{\partial w}{\partial y} \quad \gamma_{,xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. (8) ifadelerini uzama-birim deformasyon ilişkisinde yerlerine koyacak olursak

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} = -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad \gamma_{,xy} = -2z \frac{\partial^2 w}{\partial y \partial x} \quad (9)$$

birim deformasyonlar plak düşey deplasmanı cinsinden elde edilir.

Hooke yasasına göre ortotrop plaklar için gerilme ifadeleri

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{E'_x}{1 - \nu_x \nu_y} (\epsilon_x + \nu_y \epsilon_y) \\ \sigma_y &= \frac{E'_y}{1 - \nu_x \nu_y} (\epsilon_y + \nu_x \epsilon_x) \\ \tau_{xy} &= G \gamma_{xy}\end{aligned}\quad (10)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burda  $E'_x$  ve  $E'_y$  ifadeleri x ve y yönündeki efektif elastisite modülleridir.

$$E_x = \frac{E'_x}{1 - \nu_x \nu_y} \quad E_y = \frac{E'_y}{1 - \nu_x \nu_y} \quad E_{xy} = \frac{E'_x \nu_y}{1 - \nu_x \nu_y} = \frac{E'_y \nu_x}{1 - \nu_x \nu_y} \quad (11)$$

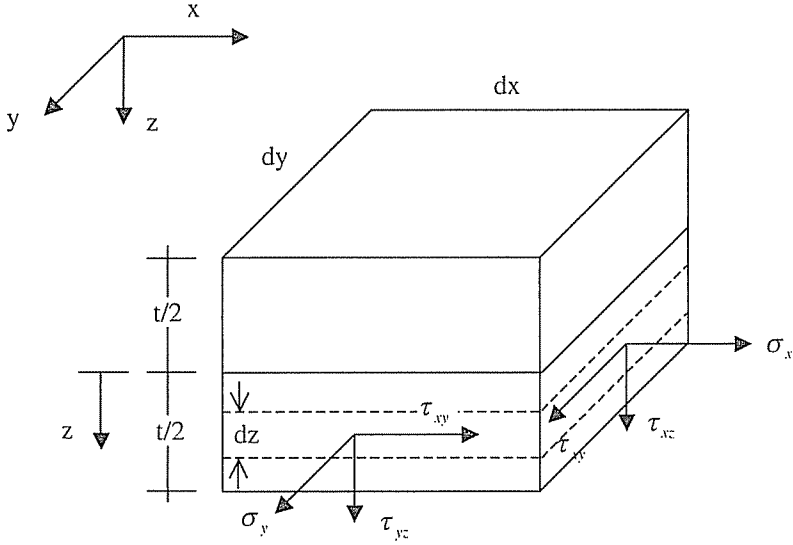
kısaltmaları yapıлып Beti-Maxwell teoremi (10) nolu ifade için uygulanırsa gerilme ifadeleri

$$\sigma_x = E_x \epsilon_x + E_{xy} \epsilon_y \quad \sigma_y = E_y \epsilon_y + E_{xy} \epsilon_x \quad \tau_{xy} = G \gamma_{xy} \quad (12)$$

şeklini alır. (12) nolu ifadede (9) nolu ifade yazılırsa

$$\begin{aligned}\sigma_x &= -z E_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + (-z) E_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -z \left( E_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ \sigma_y &= -z \left( E_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ \tau_{xy} &= -2Gz \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}\end{aligned}\quad (13)$$

gerilme ifadeleri plak düşey deformasyonu cinsinden elde edilir.



Şekil 3. Birim elemandaki gerilmeler

Şekil 3'te görülen birim elemanda x doğrultusundaki gerilme bileşeninin oluşturduğu  $M_x$  momentini bulmak için

$$M_x = \int_{-t/2}^{t/2} z \sigma_x dz \quad (14)$$

integrali alınırsa

$$M_x = - \left( D_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (15)$$

ifadesi elde edilir. Burada;

$$D_x = \frac{t^3 E_x}{12}, \quad D_{xy} = \frac{t^3 E_{xy}}{12} \quad (16)$$

Benzer şekilde

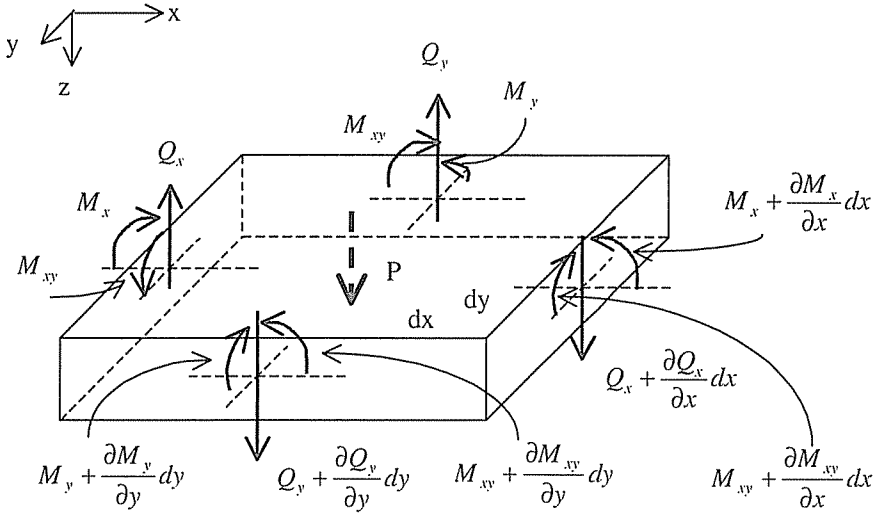
$$D_y = \frac{t^3 E_y}{12}, \quad G_{xy} = \frac{t^3 G}{12} \quad (17)$$

olmak üzere;

$$M_y = - \left( D_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (18)$$

$$M_{xy} = -2G_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

ifadeleri elde edilir.



Şekil 4. Plak dengesi

Şekil 4'teki plak için düşey kuvvetlerin dengesi yazılırsa

$$dx \left( -Q_y + Q_y + \frac{\partial Q_y}{\partial y} dy \right) + \left( -Q_x + Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx \right) dy + P dx dy = 0 \quad (19)$$

Bu ifade düzenlenirse

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + P = 0 \quad (20)$$

halini alır. x eksenini etrafındaki moment dengesinden;

$$\left( M_y + \frac{\partial M_y}{\partial y} dy - M_y \right) dx + \left( M_{xy} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} dx - M_{xy} \right) dy + \left( Q_x dy \frac{dy}{2} - Q_x dy \frac{dy}{2} - \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx dy \frac{dy}{2} \right) + \left( -Q_y dx dy - \frac{\partial Q_y}{\partial y} dy dx dy \right) + P dx dy \frac{dy}{2} = 0 \quad (21)$$

ifadesi yazılabilir. Bu ifadede kesme kuvvetlerindeki diferansiyel artımdan kaynaklanan moment ifadeleri ile plak yükünden kaynaklanan moment değeri ihmal edilip gerekli düzenlemeler yapılırsa

$$\frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - Q_y = 0 \quad (22)$$

ifadesi elde edilir. Kesme kuvveti ifadesi ise (22) nolu ifadeden

$$Q_y = \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} \quad (23)$$

şeklinde elde edilir. Benzer şekilde y eksenini etrafındaki moment dengesi şartından kesme kuvveti ifadesi

$$Q_x = \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial M_x}{\partial x} \quad (24)$$

şeklinde elde edilir. (23) ve (24) nolu ifadeler (20) nolu ifadede yerine konulursa

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial M_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} \right) + P = 0 \quad (25)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade düzenlenirse

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} = -P \quad (26)$$

(26) nolu ifadedeki olayı idare eden diferansiyel denklem elde edilir.  $Q_x$  ve  $Q_y$  kesme kuvveti ifadelerini plak deplasmanı cinsinden yazmak için (15) ve (18) nolu ifadeler (24) nolu ifadede yerine yazılırsa



$$Q_x = \frac{\partial}{\partial y} \left( -2G_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( - \left( D_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right) \quad (27)$$

Bu ifade düzenlenir,

$$\begin{aligned} Q_x &= -2G_{xy} \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} - D_x \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} - D_{xy} \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \\ &= -D_x \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} - \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} (2G_{xy} + D_{xy}) \end{aligned} \quad (28)$$

ve  $H = 2G_{xy} + D_{xy}$  kısaltması yapıp sadeleştirilirse,

$$Q_x = -\frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + H \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (29)$$

ifadesi elde edilir. Benzer şekilde

$$Q_y = -\frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + H \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (30)$$

ifadesi de elde edilebilir. (26) nolu ifadeyi de düşey deplasmanlar cinsinden yazmak için (15) ve (18) nolu ifadeler (26) nolu ifadeye yerine yazılırsa

$$-\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( D_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) - 4G_{xy} \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) - \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left( D_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) = -P \quad (31)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadenin düzenlenmesi ile

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = P \quad (32)$$

olayı idare eden diferansiyel denklem deplasmanlar cinsinden yazılmış olur. Bu diferansiyel denklem için Navier çözümü yapılacaktır. Bu amaçla plak yük ve plak düşey deplasman fonksiyonları için Fourier serileri kullanılacaktır. Yük fonksiyonu olarak

$$P(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} P_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (33)$$

deplasman fonksiyonu olarak

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (34)$$

seçilmiştir.

$$\begin{aligned} D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} &= D_x \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \left( \frac{m\pi}{a} \right)^4 \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \\ D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} &= D_y \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \left( \frac{n\pi}{b} \right)^4 \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \\ 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} &= 2H \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2 \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \end{aligned} \quad (35)$$

(35) ifadeleri elde edilip (32) nolu ifadede yerine konulursa

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \left( D_x a_{mn} \left( \frac{m\pi}{a} \right)^4 + 2H a_{mn} \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2 + D_y a_{mn} \left( \frac{n\pi}{b} \right)^4 \right) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \right] = \\ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} P_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \end{aligned} \quad (36)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade düzenlenirse

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ a_{mn} \left( D_x \left( \frac{m\pi}{a} \right)^4 + 2H \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2 + D_y \left( \frac{n\pi}{b} \right)^4 \right) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \right] = \\ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} P_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \end{aligned} \quad (37)$$

ve sağ taraftaki yük terimi diğer tarafa geçirilirse,

$$\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ a_{mn} \left( D_x \left( \frac{m\pi}{a} \right)^4 + 2H \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2 + D_y \left( \frac{n\pi}{b} \right)^4 \right) - P_{mn} \right] \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} = 0 \quad (38)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadenin her x ve y değeri için çözümü olabilmesi için katsayılarının sıfıra eşit olması gerekir.

$$a_{mn} \left[ D_x \left( \frac{m\pi}{a} \right)^4 + 2H \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2 + D_y \left( \frac{n\pi}{b} \right)^4 \right] = P_{mn} \quad (39)$$

Yukarıdaki denklemden

$$a_{mn} = \frac{P_{mn}}{D_x \left( \frac{m\pi}{a} \right)^4 + 2H \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2 + D_y \left( \frac{n\pi}{b} \right)^4} \quad (40)$$

olarak elde edilip

$$k_{mn} = D_x \left( \frac{m\pi}{a} \right)^4 + 2H \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2 + D_y \left( \frac{n\pi}{b} \right)^4 \quad (41)$$

kısaltması yapılırsa

$$a_{mn} = \frac{4}{ab} \int_0^b \int_0^a \frac{1}{k_{mn}} P(x, y) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy \quad (42)$$

şeklinde elde edilir. Bu ifade de  $P_{mn}$

$$P_{mn} = \frac{4}{ab} \int_0^b \int_0^a P(x, y) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy \quad (43)$$

şeklinde belirlenmiştir.  $a_{mn}$  katsayısı deplasman fonksiyonunda yerine konularsa;

$$w = \frac{4}{ab} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{k_{mn}} \int_0^b \int_0^a P(x, y) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy \right] \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (44)$$

şeklinde deplasman fonksiyonu elde edilir.

#### 4. UYGULAMA

Üniform yayılı yük etkisindeki, dört tarafı basit mesnet ile mesnetlenmiş, kenarları a ve b boyutunda olan, ortotrop bir plağı inceleyelim. Plağın yük fonksiyonu  $P(x,y)=P_0$  dır. Yük fonksiyonu (43) nolu ifadede yerine konulursa

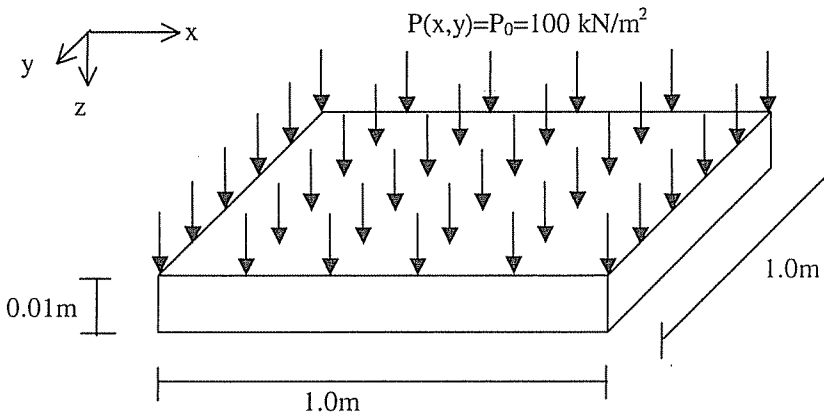
$$P_{mn} = \frac{16P_0}{\pi^2 mn} \quad (m, n = 1, 3, \dots) \quad (45)$$

elde edilir. Bu ifade deplasman fonksiyonunda yerine yazılırsa,

$$w = \frac{16P_0}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{m n k_{mn}} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \right] \quad (46)$$

deplasman fonksiyonu elde edilir. Sayısal uygulama için üniform yayılı yük etkisinde, kenarlarından basit mesnetlenmiş, kare plak seçilmiştir (Şekil 5). Malzeme olarak Graphite fiber çubuklarla güçlendirilmiş epoxy seçilmiştir. Malzeme özellikleri  $E_1=181$  GPa,  $E_2=10.3$  GPa,  $G_{12}=7.17$  GPa,  $\nu_{12}=0.28$ , fiber malzemenin hacimsel oranı 0.7 dir [10].

Plak maksimum deplasmanı plak orta noktasında olacaktır. (46) nolu plak deplasman fonksiyonunda değerler yerine konulup, bu ifadedeki Fourier serisinin ilk üç elemanı hesaba katılınca maksimum deplasman (plak ortasının deplasmanı) 0.0832 m olarak bulunmaktadır. Aynı örnek formülasyonun doğruluğunu kontrol amacıyla ANSYS paket programı ile de çözülmüştür. Plak bir boyutu 0.1 m olan kare elemanlarla toplam 100 elemana bölünmüştür. Sonlu eleman olarak Ansys paket programında ortotrop özellik SHELL91 adı ile tanımlanan 8 düğümlü ve 6 serbestlik dereceli elemanlar kullanılmıştır.

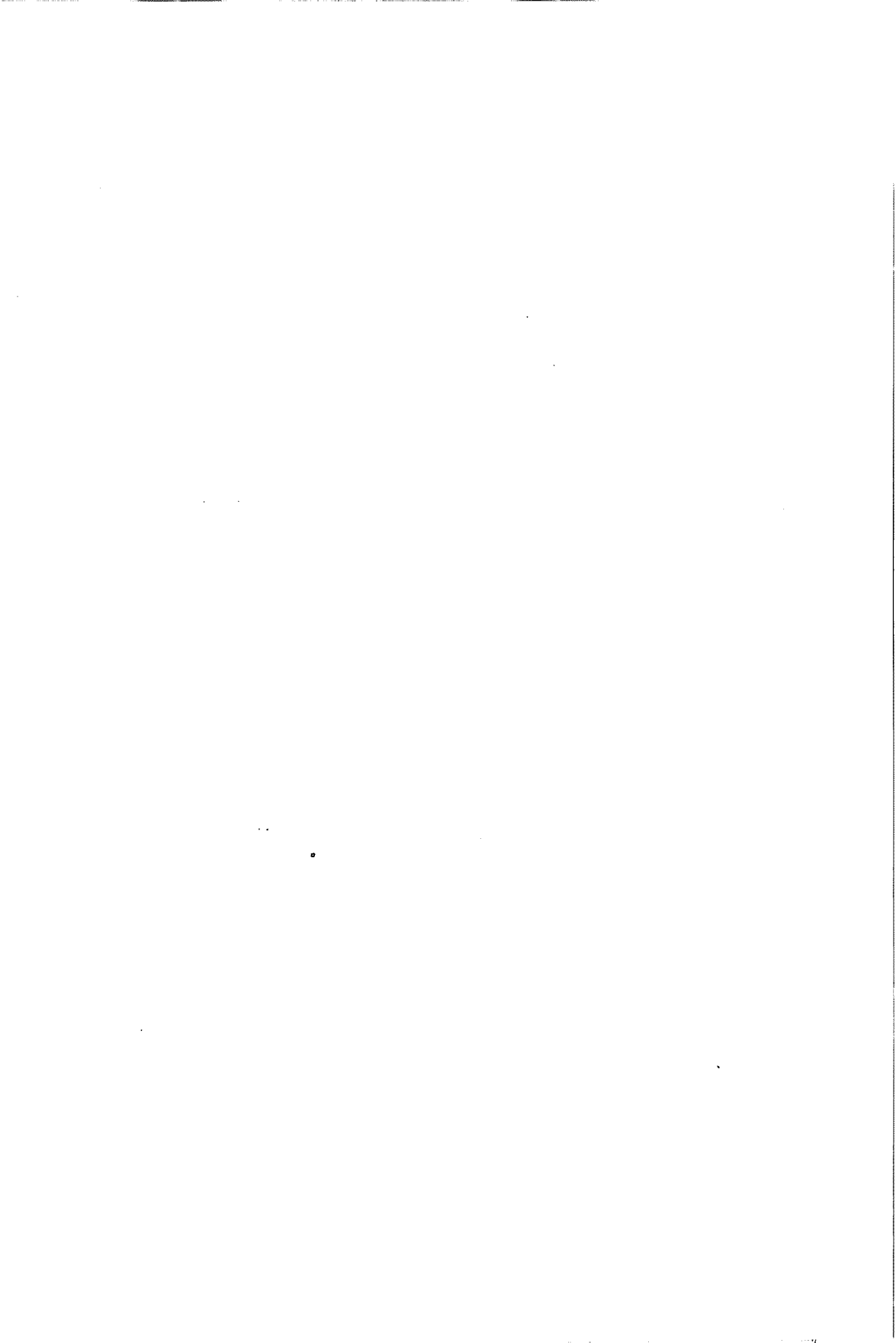


Şekil 5. Örnek plak

Ansys programının çalıştırılması sonucunda plak ortası düşey deplasmanı 0.0838 m olarak elde edilmiştir. Problemin analitik olarak çözülmesi ile elde edilen sonuç ile Ansys paket programından elde edilen bu iki deplasman değeri arasında %0.72 fark vardır. Bu fark analitik çözümde Fourier serisinin ilk üç elemanının hesaba katılmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca plağın Ansys paket programı ile çözülmesi sırasında daha fazla elemana bölünmesiyle de sonuçların birbirine yaklaşacağı tahmin edilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

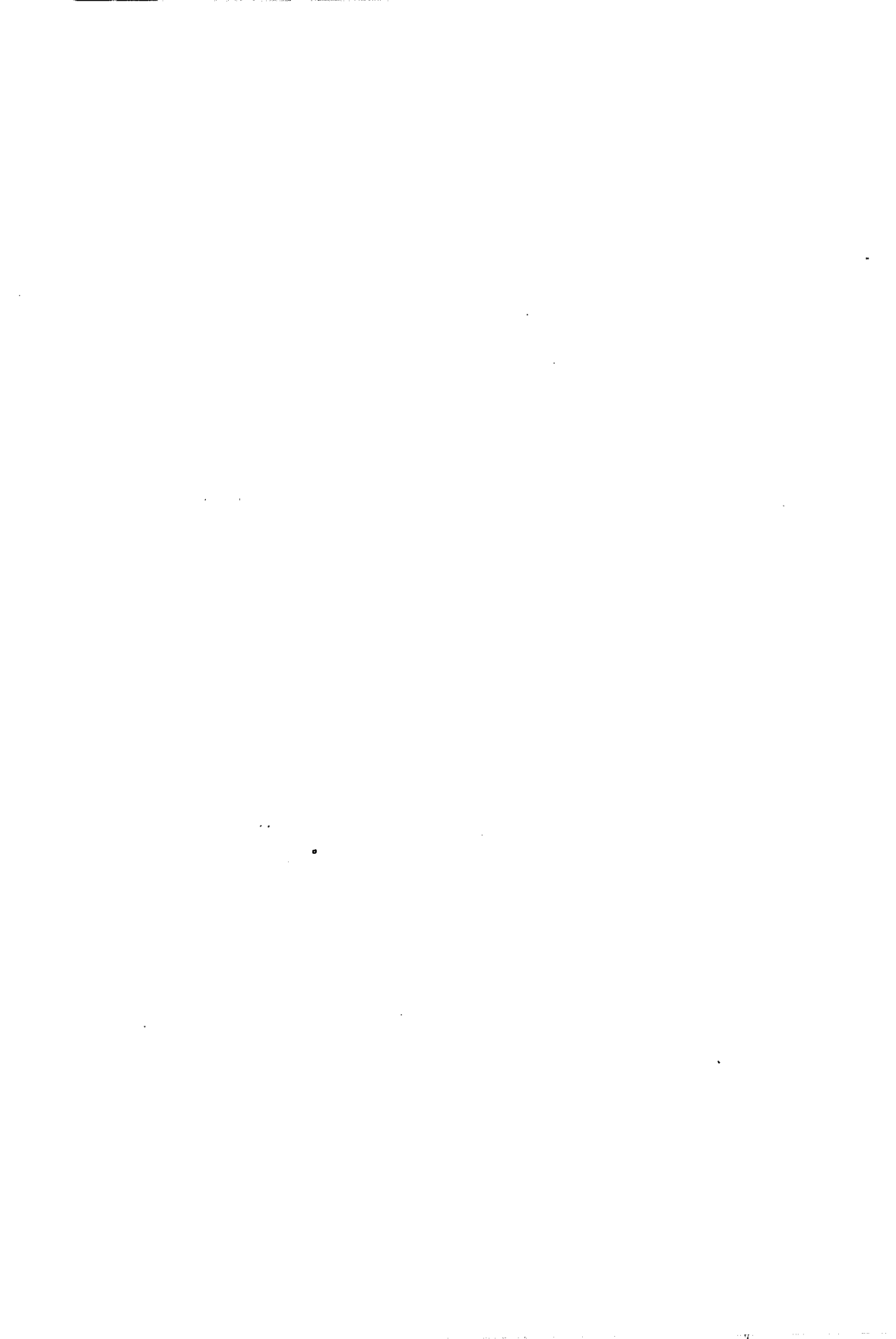
1. Brown, B.M., Jimack, P.K., Mihajlovic, M.D., "An efficient direct solver for a class of mixed finite element problems", *Appl. Numer. Math.*, 38, 1-2, 2001.
2. Hiptmair, R., Hoppe, R.H.W., "Multilevel methods for mixed finite elements in three dimensions", *Numer. Math.*, 82, 2, 253-279, 1999.
3. Golub, G.H., Huang, L.C., Simon, H. et al., "A fast Poisson solver for the finite difference solution of the incompressible Navier-Stokes equations", *Siam J. Sci. Comput.*, 19, 5, 1606-1624, 1998.
4. Mandel, J., Tezaur, R., Farhat, C., "A scalable substructuring method by Lagrange multipliers for plate bending problems", *Siam J. Numer. Anal.*, 36, 5, 1370-1391, 1999.
5. Topping, B.H.V., Al Khan, "Subdomain generation for non-convex parallel finite element domains", *Adv. Eng. Softw.*, 25, 2-3, 253-266, 1996.
6. Thole, C.A., Supalov, A., Mayer, S., "A parallel hierarchical solver for finite element applications", *Lect. Notes Comput. Sci.*, 1541, 557-564, 1998.
7. Kocak, S., Akay, H.U., "Parallel Schur complement method for large-scale systems on distributed memory computers", *Appl. Math. Model.*, 25, 10, 873-886, 2001.
8. Chen, X., Liu, Y., "Multiple-cell modeling of fiber-reinforced composites with the presence of interphases using the boundary element method", *Computational Materials Science*, 21, 86-94, 2001.
9. Ugural, A.C., "Stresses in plates and shells", *McGraw-Hill Book Company*, 317, 1981.
10. Tsai, S.W., Hahn, H.T., "Introduction to Composite Materials", *Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA*, 1980.



Ansysis programının çalıştırılması sonucunda plak ortası düşey deplasmanı 0.0838 m olarak elde edilmiştir. Problemin analitik olarak çözülmesi ile elde edilen sonuç ile Ansysis paket programından elde edilen bu iki deplasman değeri arasında %0.72 fark vardır. Bu fark analitik çözümden Fourier serisinin ilk üç elemanının hesaba katılmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca plağın Ansysis paket programı ile çözülmesi sırasında daha fazla elemana bölünmesiyle de sonuçların birbirine yaklaşacağı tahmin edilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Brown, B.M., Jimack, P.K., Mihajlovic, M.D., "An efficient direct solver for a class of mixed finite element problems", *Appl. Numer. Math.*, 38, 1-2, 2001.
2. Hiptmair, R., Hoppe, R.H.W., "Multilevel methods for mixed finite elements in three dimensions", *Numer. Math.*, 82, 2, 253-279, 1999.
3. Golub, G.H., Huang, L.C., Simon, H. et al., "A fast Poisson solver for the finite difference solution of the incompressible Navier-Stokes equations", *Siam J. Sci. Comput.*, 19, 5, 1606-1624, 1998.
4. Mandel, J., Tezaur, R., Farhat, C., "A scalable substructuring method by Lagrange multipliers for plate bending problems", *Siam J. Numer. Anal.*, 36, 5, 1370-1391, 1999.
5. Topping, B.H.V., Al Khan, "Subdomain generation for non-convex parallel finite element domains", *Adv. Eng. Softw.*, 25, 2-3, 253-266, 1996.
6. Thole, C.A., Supalov, A., Mayer, S., "A parallel hierarchical solver for finite element applications", *Lect. Notes Comput. Sci.*, 1541, 557-564, 1998.
7. Kocak, S., Akay, H.U., "Parallel Schur complement method for large-scale systems on distributed memory computers", *Appl. Math. Model.*, 25, 10, 873-886, 2001.
8. Chen, X., Liu, Y., "Multiple-cell modeling of fiber-reinforced composites with the presence of interphases using the boundary element method", *Computational Materials Science*, 21, 86-94, 2001.
9. Ugural, A.C., "Stresses in plates and shells", *McGraw-Hill Book Company*, 317, 1981.
10. Tsai, S.W., Hahn, H.T., "Introduction to Composite Materials", *Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA*, 1980.





## BARAJ GÖLÜNDEN TAŞKIN ÖTELEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

**Hatice ÖZMEN**

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

**Tefaruk HAKTANIR**

*Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri/Türkiye*

**ÖZET :** Doğal akarsular üzerine inşa edilen barajlardan hidrolik taşkın ötelenmesi için sayısal çözüm modeli geliştirilmiştir. Akımı idare eden süreklilik ve hareket denklemleri belirli başlangıç ve sınır şartları altında Newton Raphson iterasyon tekniğinin kullanılmasıyla çözülmektedir. Fortran dilinde yazılmış olan bir bilgisayar programı ile çözüme ulaşılmaktadır. Hidrolik taşkın ötelenmesi Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden seçilen dokuz baraj gölü üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, barajlardan taşkın ötelenmesi için yaygın olarak kullanılan ve sadece süreklilik denklemi esasına dayanan klasik hidrolojik öteleme yönteminin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

### COMPARISON OF FLOOD ROUTING METHODS THROUGH RESERVOIRS

**ABSTRACT :** A numerical computation model is developed for hydraulic flood routing through reservoirs constructed on natural rivers. The governing equations of flow, continuity and momentum, are solved under certain initial and boundary conditions by using Newton Raphson iteration technique. The solution is obtained by computer program written in Fortran. Hydraulic flood routing is applied to nine reservoirs chosen from several regions of Turkey. The results are compared with results of classical hydrologic routing method, which is well known for flood routing and based on only continuity equation.

## 1. GİRİŞ

Bir akarsu veya baraj gölüne gelen taşkın dalgasının mansaptan çıkarken oluşturacağı hidrografın bilinmesi, savak yapılarının boyutlandırılması ve işletme rejiminin belirlenmesi için gerekmektedir. Mansaptan çıkan akım hidrografi hidrolik ve hidrolojik olmak üzere iki farklı öteleme yöntemiyle belirlenir. Hidrolojik yöntem sadece süreklilik denklemi esasına dayandığı için taşkın dalgasının ilerlemesi sırasında su kütlelerinin daima yatay durumda olduğu yani su seviyesinin su yüzeyine paralel olarak alçalıp yükseldiği varsayılmaktadır. Hidrolik öteleme yönteminde ise taşkın hidrografının akarsu boyunca ilerlemesi sırasında akarsuda üniform olmayan, zamana bağlı olarak değişen bir akım oluşmakta ve suyun gerçek hareketini yansıtmaktadır (1). Değişken akımı idare eden süreklilik ve hareket denklemleri nonlineer kısmi diferansiyel denklemler olup analitik yolla çözümü mevcut değildir. Bu nedenle denklemlerin çözümünde sayısal yöntemlere başvurulmaktadır. Amein ve Chu (2), sayısal çözüm için bu denklemlerin sonlu farklar cinsinden açık (explicit) ve kapalı (implicit) olmak üzere iki farklı biçimde ifade edilebileceğini belirtmişlerdir. Literatürde pek çok araştırmacı Preissmann'ın (1961) önermiş olduğu dört noktalı kapalı sonlu farklar ağ sisteminin büyük zaman aralıkları için bile doğru sonuçlar verdiğini gözlemişlerdir (Ponce ve ark (3), Huang ve Song (4)). Jin ve Fread ise kısa mesafede değişen akımlarda kapalı yöntemin açık yöntemle birarada kullanılmasını önermişlerdir (5).

Bu çalışmada da Preissmann'ın önermiş olduğu dört noktalı kapalı sonlu farklar ağ sisteminin kullanıldığı, belirli başlangıç ve sınır şartları altında Newton Raphson iterasyon tekniği ile çözüme ulaşan bir sayısal çözüm modeli geliştirilmiştir (6). Geliştirilen model Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden seçilen barajlar üzerine uygulanarak elde edilen sonuçlar hidrolojik öteleme sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

## 2. TAŞKIN DALGASINI İDARE EDEN DENKLEMLERİN BARAJ GÖLÜNE UYARLANMASI

Baraj gölüne gelen taşkın dalgasının hareketini idare eden ve Saint-Venant denklemleri olarak bilinen süreklilik ve hareket denklemlerinin genel hali sırasıyla

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + g A \left( \frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) - \beta q v_x + W_f B = 0 \quad (2)$$

şeklinde. Bu denklemlerde;  $x$ , mesafeyi,  $t$ , zamanı,  $Q$ , debiyi,  $A$ , akış kesit alanını,  $q$ , yanal debiyi,  $h$ , su kotunu,  $S_f$ , sürtünme eğimini,  $S_e$ , yerel kayıp eğimini,  $B$ , su yüzü genişliğini,  $W_f$ , rüzgar kuvvetini,  $v_x$ , yanal debi hızını,  $\beta$ , momentum düzeltme katsayısını,  $g$  yerçekimini ivmesini göstermektedir. Yukardaki parametrelerin tamamı  $x$  ve  $t$ 'nin birer fonksiyonu olarak değişmektedir. Denklemlerde bilinmeyenler  $Q$  ve  $h$ 'dir.  $\beta$  baraj gölü boyunca sabit olup  $\beta=1$  kabul edilmiştir. Çalışmada irdelenen baraj gölleri önemli ölçüde yan akarsu kolu içermeyen türde olduğundan yanal debi  $q$  ve buna bağlı

## BARAJ GÖLÜNDEN TAŞKIN ÖTELEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

**Hatice ÖZMEN**

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

**Tefaruk HAKTANIR**

*Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri/Türkiye*

**ÖZET :** Doğal akarsular üzerine inşa edilen barajlardan hidrolik taşkın ötelenmesi için sayısal çözüm modeli geliştirilmiştir. Akımı idare eden süreklilik ve hareket denklemleri belirli başlangıç ve sınır şartları altında Newton Raphson iterasyon tekniğinin kullanılmasıyla çözülmektedir. Fortran dilinde yazılmış olan bir bilgisayar programı ile çözüme ulaşılmaktadır. Hidrolik taşkın ötelenmesi Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden seçilen dokuz baraj gölü üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, barajlardan taşkın ötelenmesi için yaygın olarak kullanılan ve sadece süreklilik denklemi esasına dayanan klasik hidrolojik öteleme yönteminin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

### COMPARISON OF FLOOD ROUTING METHODS THROUGH RESERVOIRS

**ABSTRACT :** A numerical computation model is developed for hydraulic flood routing through reservoirs constructed on natural rivers. The governing equations of flow, continuity and momentum, are solved under certain initial and boundary conditions by using Newton Raphson iteration technique. The solution is obtained by computer program written in Fortran. Hydraulic flood routing is applied to nine reservoirs chosen from several regions of Turkey. The results are compared with results of classical hydrologic routing method, which is well known for flood routing and based on only continuity equation.

## 1. GİRİŞ

Bir akarsu veya baraj gölüne gelen taşkın dalgasının mansaptan çıkarken oluşturacağı hidrografın bilinmesi, savak yapılarının boyutlandırılması ve işletme rejiminin belirlenmesi için gerekmektedir. Mansaptan çıkan akım hidrografi hidrolik ve hidrolojik olmak üzere iki farklı öteleme yöntemiyle belirlenir. Hidrolojik yöntem sadece süreklilik denklemi esasına dayandığı için taşkın dalgasının ilerlemesi sırasında su kütesinin daima yatay durumda olduğu yani su seviyesinin su yüzeyine paralel olarak alçalıp yükseldiği varsayılmaktadır. Hidrolik öteleme yönteminde ise taşkın hidrografının akarsu boyunca ilerlemesi sırasında akarsuda üniform olmayan, zamana bağlı olarak değişen bir akım oluşmakta ve suyun gerçek hareketini yansıtmaktadır (1). Değişken akımı idare eden süreklilik ve hareket denklemleri nonlineer kısmi diferansiyel denklemler olup analitik yolla çözümü mevcut değildir. Bu nedenle denklemlerin çözümünde sayısal yöntemlere başvurulmaktadır. Amein ve Chu (2), sayısal çözüm için bu denklemlerin sonlu farklar cinsinden açık (explicit) ve kapalı (implicit) olmak üzere iki farklı biçimde ifade edilebileceğini belirtmişlerdir. Literatürde pek çok araştırmacı Preissmann'ın (1961) önermiş olduğu dört noktalı kapalı sonlu farklar ağ sisteminin büyük zaman aralıkları için bile doğru sonuçlar verdiğini gözlemişlerdir (Ponce ve ark (3), Huang ve Song (4)). Jin ve Fread ise kısa mesafede değişen akımlarda kapalı yöntemin açık yöntemle birarada kullanılmasını önermişlerdir (5).

Bu çalışmada da Preissmann'ın önermiş olduğu dört noktalı kapalı sonlu farklar ağ sisteminin kullanıldığı, belirli başlangıç ve sınır şartları altında Newton Raphson iterasyon tekniği ile çözüme ulaşan bir sayısal çözüm modeli geliştirilmiştir (6). Geliştirilen model Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden seçilen barajlar üzerine uygulanarak elde edilen sonuçlar hidrolojik öteleme sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

## 2. TAŞKIN DALGASINI İDARE EDEN DENKLEMLERİN BARAJ GÖLÜNE UYARLANMASI

Baraj gölüne gelen taşkın dalgasının hareketini idare eden ve Saint-Venant denklemleri olarak bilinen süreklilik ve hareket denklemlerinin genel hali sırasıyla

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + g A \left( \frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) - \beta q v_x + W_f B = 0 \quad (2)$$

şeklinde. Bu denklemlerde;  $x$ , mesafeyi,  $t$ , zamanı,  $Q$ , debiyi,  $A$ , akış kesit alanını,  $q$ , yanal debiyi,  $h$ , su kotunu,  $S_f$ , sürtünme eğimini,  $S_e$ , yerel kayıp eğimini,  $B$ , su yüzü genişliğini,  $W_f$ , rüzgar kuvvetini,  $v_x$ , yanal debi hızını,  $\beta$ , momentum düzeltme katsayısını,  $g$  yerçekimi ivmesini göstermektedir. Yukardaki parametrelerin tamamı  $x$  ve  $t$ 'nin birer fonksiyonu olarak değişmektedir. Denklemlerde bilinmeyenler  $Q$  ve  $h$ 'dir.  $\beta$  baraj gölü boyunca sabit olup  $\beta=1$  kabul edilmiştir. Çalışmada irdelenen baraj gölleri önemli ölçüde yan akarsu kolu içermeyen türde olduğundan yanal debi  $q$  ve buna bağlı

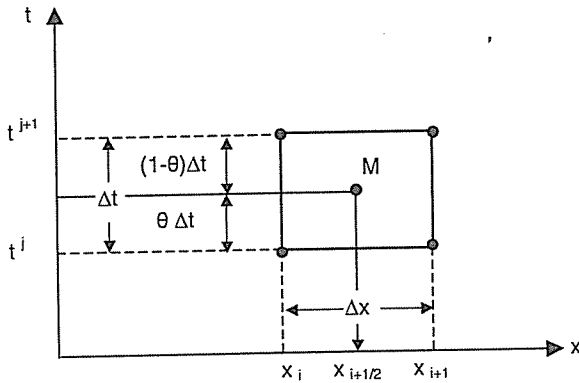
olarak yanal debi hızı  $v_x$  ihmal edilmiştir. Yerel kayıplar da bu çalışmada dikkate alınmadığı için  $S_e$  de ihmal edilmektedir.

Baraj gölü boyunca rüzgar kuvvetinin etkisi; rüzgar hızı ile akım hızı aynı yönde ise:  $W_r = -\frac{C_f}{2} V_w^2$  zıt yönde ise:  $W_r = \frac{C_f}{2} V_w^2$  şeklindedir. Burada  $C_f$  rüzgar kesme gerilmesi katsayısı olup baraj gölü üzerinde küçük bir hızla sahip geniş su yüzeyine temas eden rüzgar etkisi sabit kabul edildiğinden  $C_f$  değeri de sabit alınmıştır.  $V_w$  ise rüzgar hızı olup baraj gölü boyunca sabit olduğu kabul edilmiştir. Yapılan varsayımlardan sonra 1 ve 2 numaralı denklemler:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2/A)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) + W_r B = 0 \quad (4)$$

şeklinde düzenlenir. Denklemlerin sayısal çözümü için her diferansiyel terim Şekil 1'de görülen sonlu farklar ağ sistemine göre yazılır. Şekilde  $i$  indeksi mesafeyi  $j$  indeksi ise zamanı simgelemektedir. Sonlu farklar cinsinden ifade edilen terimler 3 ve 4 numaralı denklemlerde yerine konulup düzenlendikten sonra 5 ve 6 numaralı süreklilik ve hareket denklemleri elde edilir. Şekil 1'de ve denklemlerde görülen  $\theta$  ise zamana göre ağırlık parametresi olup literatürde pek çok araştırmacının da önerdiği gibi bu çalışmada  $\theta$ 'nın optimum değeri  $\theta=0.55$  alınmıştır (Strelkoff ve Falvey, 1993(9)).



Şekil 1. Sayısal Çözümde Kullanılan Sonlu Farklar Ağ Sistemi

Süreklilik denklemi:

$$\theta(Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}) + (1-\theta)(Q_{i+1}^j - Q_i^j) + \frac{\Delta x_i}{2\Delta t} (A_{i+1}^{j+1} + A_{i+1}^j - A_i^j - A_{i+1}^j) = 0 \quad (5)$$

Hareket denklemi:

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta x_i}{2\Delta t} (Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j) + \theta \left[ (Q^2/A)_{i+1}^{j+1} - (Q^2/A)_i^{j+1} \right] \\ & + (1-\theta) \left[ (Q^2/A)_{i+1}^j - (Q^2/A)_i^j \right] \\ & + g \left[ \frac{\theta}{2} (A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1}) + \frac{(1-\theta)}{2} (A_i^j + A_{i+1}^j) \right] \left\{ \theta (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}) + (1-\theta) (h_{i+1}^j - h_i^j) + \right. \\ & \left. \Delta x_i \left[ \frac{\theta}{2} (S_{f_i}^{j+1} + S_{f_{i+1}}^{j+1}) + \frac{(1-\theta)}{2} (S_{f_i}^j + S_{f_{i+1}}^j) \right] \right\} \\ & + \Delta x_i W_f \left[ \frac{\theta}{2} (B_i^{j+1} + B_{i+1}^{j+1}) + \frac{(1-\theta)}{2} (B_i^j + B_{i+1}^j) \right] = 0 \quad (6) \end{aligned}$$

### 2.1. Sayısal Çözüm Algoritmasının Kurulması

Süreklilik ve hareket denklemlerinin son halleri olan 5 ve 6 numaralı denklemlerde esas bilinmeyenler  $h_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, Q_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}$  olmaktadır. Diğer  $j+1$  üslü parametreler esas bilinmeyenlerin birer fonksiyonu olarak yazılabildiğinden bilinmeyen olmamaktadır. Akarsuyun  $n$  adet düğüm noktasına bölündüğü düşünülürse  $n-1$  adet de akarsu parçası mevcut olur. Denklemler her bir akarsu parçası üzerinde yazıldığından dolayı  $n-1$  adet süreklilik ve  $n-1$  adet hareket olmak üzere toplam  $2n-2$  adet denklem elde edilir. Bilinmeyenler ise  $n$  adet  $h$  ve  $n$  adet  $Q$  olmak üzere toplam  $2n$  adettir. O halde iki ek denkleme ihtiyaç duyulmakta ve bunlar menba ile mansap sınır şartlarından elde edilmektedir. Menba sınır şartı taşkın giriş hidrografi olup bilinmektedir. Mansap sınır şartı ise baraj gölünün en son düğüm noktası olan  $n$ . noktada bilinen savak kotu - savak debisi ( $h-Q$ ) ilişkisine lineer interpolasyon uygulanarak

$$Q_n = Q_L + (h_n - h_L) \left\{ \frac{Q_{L+1} - Q_L}{h_{L+1} - h_L} \right\} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Böylece bilinmeyen olarak gözüken  $Q_n$  değeri bilinenler ve bilinmeyen  $h_n$  cinsinden ifade edilerek bir bilinmeyen olmaktan çıkmış olur.  $Q_i^{j+1}$  terimi menba sınır şartından dolayı  $Q_n^{j+1}$  terimi ise mansapta  $h_n^{j+1}$ 'in bir fonksiyonu olarak yazılabildiği için bilinmeyen olmaktan çıkar. Bu durumda  $h$ 'lar 1 numaralı astan  $n$  numaralı asa kadar  $n$  adet  $Q$ 'lar da 2 numaralı astan  $(n-1)$  numaralı asa kadar  $(n-2)$  adet olmak üzere toplam  $2n-2$  adet bilinmeyen mevcut bulunmaktadır. Sınır şartlarının

belirlenmesiyle çözülmesi gereken sistem bilinmeyenler cinsinden fonksiyonel formda aşağıdaki gibi ifade edilir. Burada C süreklilik denklemini M ise hareket denklemini simgelemektedir.

$$\begin{aligned} 1 & : C_1 (h_1, h_2, Q_2) = 0 \\ 2 & : M_1 (h_1, h_2, Q_2) = 0 \\ 3 & : C_2 (h_2, Q_2, h_3, Q_3) = 0 \\ 4 & : M_2 (h_2, Q_2, h_3, Q_3) = 0 \\ & \cdot \\ & \cdot \\ 2i-1 & : C_i (h_i, Q_i, h_{i+1}, Q_{i+1}) = 0 \\ 2i & : M_i (h_i, Q_i, h_{i+1}, Q_{i+1}) = 0 \\ & \cdot \\ & \cdot \\ 2n-5 & : C_{n-2} (h_{n-2}, Q_{n-2}, h_{n-1}, Q_{n-1}) = 0 \\ 2n-4 & : M_{n-2} (h_{n-2}, Q_{n-2}, h_{n-1}, Q_{n-1}) = 0 \\ 2n-3 & : C_{n-1} (h_{n-1}, Q_{n-1}, h_n) = 0 \\ 2n-2 & : M_{n-1} (h_{n-1}, Q_{n-1}, h_n) = 0 \end{aligned}$$

Yukarıda görülen sistem matematiksel olarak aşağıda ifade edilmektedir. Sistem her  $\Delta t$  zaman aralığı için Newton Raphson iterasyon tekniğinin kullanılmasıyla çözülmektedir. Bu çözüm tekniği için yukarıda açıklanan sınır şartları altında n-1 adet süreklilik ve n-1 adet hareket denklemlerinin bilinmeyenler kümesine göre birinci türevlerinin alınması ile Jacobian matrisi elde edilerek sistem lineer hale gelmekte ve denklemler belli bir tolerans değerine ulaşıncaya kadar devamlı iterasyon yapılarak çözüme gidilmektedir. Her Newton Raphson iterasyonunda her bir  $\Delta t$  zaman dilimi için çözülmesi gereken denklemler sistemi aşağıda matris formunda görülmektedir. Sistemin çözümü Fortran 77 dilinde yazılmış olan bir bilgisayar programı yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Programa başlangıç şartı olarak her düğüm noktasında h için savak kret kotu değeri Q için sıfır değeri alınmaktadır.

$$\begin{aligned}
 & \left[ \begin{array}{cccccccccccc}
 (1) & \frac{\partial C_1}{\partial h_1} & \frac{\partial C_1}{\partial M_1} & \frac{\partial C_1}{\partial Q_2} & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 (2) & \frac{\partial C_1}{\partial h_1} & \frac{\partial C_1}{\partial M_1} & \frac{\partial C_1}{\partial M_1} & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 (3) & 0 & \frac{\partial C_2}{\partial h_2} & \frac{\partial C_2}{\partial Q_2} & \frac{\partial C_2}{\partial h_3} & \frac{\partial C_2}{\partial M_2} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 (4) & 0 & \frac{\partial C_2}{\partial h_2} & \frac{\partial C_2}{\partial M_2} & \frac{\partial C_3}{\partial h_3} & \frac{\partial C_3}{\partial M_2} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 (5) & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial C_3}{\partial h_3} & \frac{\partial C_3}{\partial M_2} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 (6) & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial C_3}{\partial h_3} & \frac{\partial C_3}{\partial M_2} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 (2n-5) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 (2n-4) & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 (2n-3) & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 (2n-2) & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots
 \end{array} \right] \begin{bmatrix} \Delta h_1 \\ \Delta h_2 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta h_3 \\ \Delta Q_3 \\ \Delta h_4 \\ \dots \\ \Delta Q_{n-2} \\ \Delta h_{n-1} \\ \Delta Q_{n-1} \\ \Delta h_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C_1 \\ -M_1 \\ -C_2 \\ -M_2 \\ -C_3 \\ -M_3 \\ \dots \\ -C_{n-2} \\ -M_{n-2} \\ -C_{n-1} \\ -M_{n-1} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$



### 3. GELİŞTİRİLEN ÇÖZÜM MODELİNİN BARAJLARA UYGULANMASI

Hidrolik taşkın ötelemesi için geliştirilen sayısal çözüm modeli Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden seçilen dokuz baraj üzerine uygulanmıştır. Barajların seçiminde, göl uzunluğu boyunca ana akarsu yatağına önemli ölçüde yan akarsu kolu girmeyen türde olmasına özen gösterilmiştir. Hidrolik öteleme denklemlerinde suyun hızına bağlı olan atalet terimleri de dikkate alındığından dar ve derin vadilere kurulmuş olan ince uzun göl alanına sahip barajlar tercih edilmiştir. Bu tür barajlarda su hızı büyük olacağından atalet terimleri de büyük olacağı dolayısıyla hidrolik öteleme ile hidrolojik öteleme arasındaki farkın da daha belirgin olacağı düşünülmektedir. Çalışmada incelenen barajların konumları Türkiye haritasında ilgili akarsular üzerinde Şekil 2'de görülmektedir. Aynı baraj vadilerine ait bazı karakteristik bilgiler de Çizelge 1'de özetlenmektedir. Baraj göllerinin yerleri ve uzunlukları ile enkesit yerlerinin belirlenmesi 1/25000 ölçekli, enkesit profilleri ise 1/5000 ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilmiştir. Baraj vadilerinin taban pürüzlülüğü için Manning pürüzlülük katsayısı  $n$  kullanılmış olup bu çalışmada ortalama bir değer olan  $n=0.06$  alınmıştır. Barajlara ait hacim-kot ilişkileri, enkesit profilleri ile kesitlerarası uzunluklardan hesaplanmıştır.

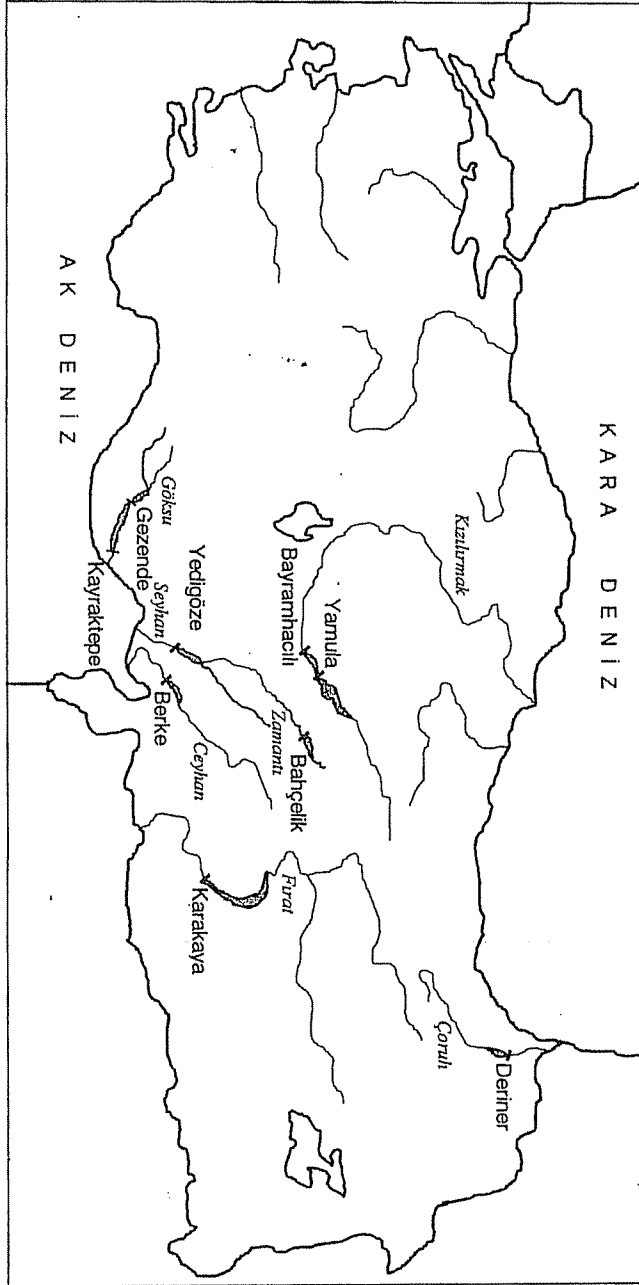
Menba sınır şartı olarak taşkın giriş hidrografının belirlenmesinde Gama Sentetik Hidrografi dağılımı kullanılmıştır. Mansap sınır şartı olarak ise savağın kot-debi ( $H-Q$ ) ilişkisi ogee profilli dolusavak formülünden ( $Q = C L H^{3/2}$ ) elde edilmektedir. Bu formülde  $Q$  ( $m^3/s$ ) debiyi,  $L$  (m) savak kret boyunu,  $H$  (m) toplam savak yükünü  $C$  ise savak deşarj katsayısını göstermektedir. Bu çalışmada  $C=2$  alınmıştır.

İncelenen her baraj için iki farklı taşkın pik debisi ve iki farklı savak boyu olmak üzere toplam dört kombinasyona göre hesap yapılmıştır.

Baraj Adı	Baraj Tipi	Akarsu Adı	Savak H(m)	S ( $10^6 m^3$ )	$\bar{B}$ (m)	$H_{max}$ (m)	$\bar{S}_0$	$L_{göl}$ (m)
Kavraktepe	Kava dolgu	Göksu	105	748	602	158	0.00146	48475
Berke	İnce kemer	Cevhan	320	260	241	346	0.00695	22000
Deriner	Beton kemer	Coruh	195	15.8	165	220	0.00302	8880
Yamula	Toprak dolgu	Kızılırmak	1085	3476	1187	1101	0.00183	49625
Bavramhacılı	Kava dolgu	Kızılırmak	965	912	238	981	0.0014	16625
Bahçelik	Kava dolgu	Zamantı	1489	216.14	576	1500	0.0026	14375
Yedigöze	Kava dolgu	Sevhan	220	661.55	333	236	0.0036	22600
Gezende	Beton kemer	Göksu	325	92	188	333	0.0045	11750
Karakaya	Beton kemer	Fırat	680.5	9580	1366	698	0.001	128750

Çizelge 1. Seçilen Barajlara Ait Bazı Karakteristik Bilgiler

Çizelgede  $H$ , savak kret kotunu,  $S$ , rezervuar hacmini,  $\bar{B}$ , savak kret kotundaki ortalama vadi genişliğini,  $H_{max}$ , maksimum göl su kotunu,  $\bar{S}_0$  vadinin ortalama yatak eğimini,  $L_{göl}$  ise baraj gölü uzunluğunu simgelemektedir.

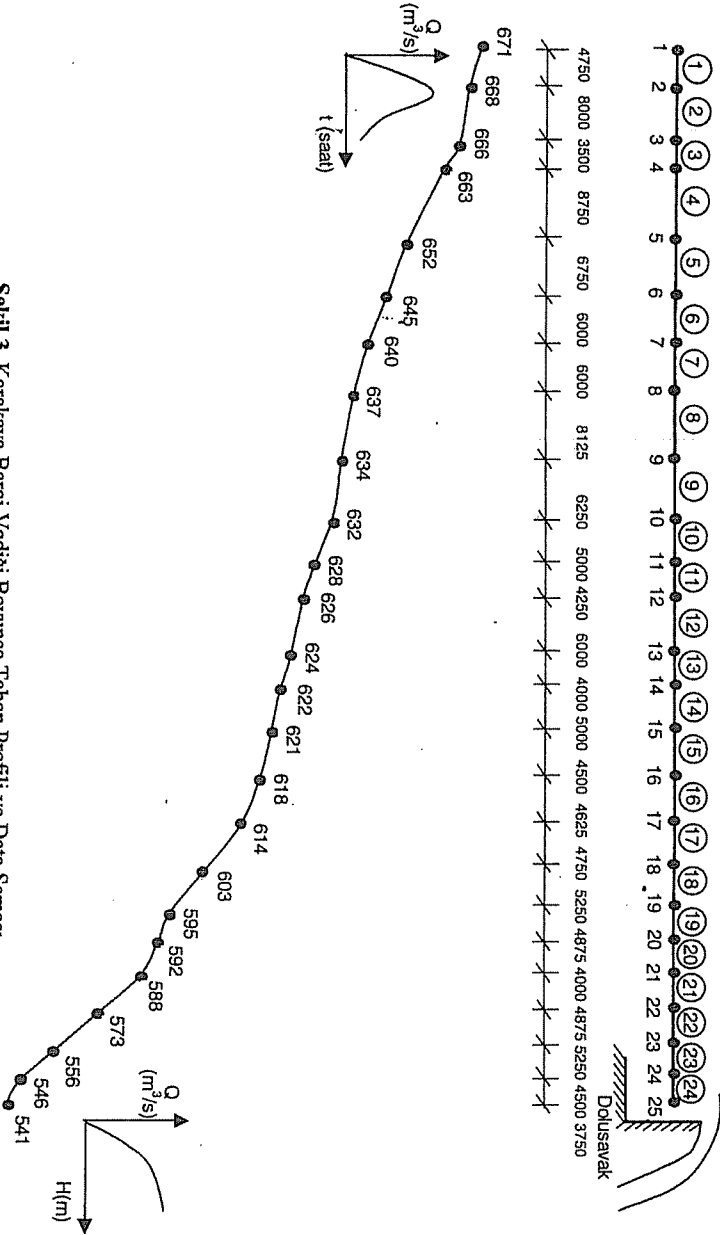


**Şekil 2** Seçilen Barajların İlgili Nehirler Üzerindeki Konumları

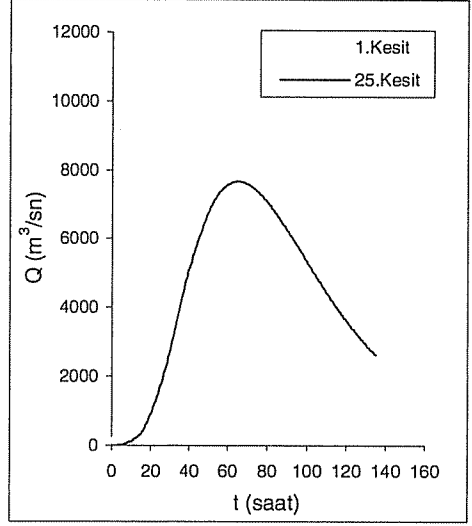
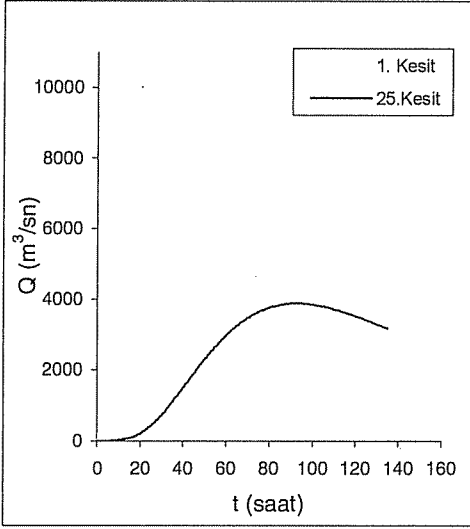
### 3.1. Karakaya Barajı Örneği

Fırat nehri üzerinde yer alan yaklaşık 129000 m göl uzunluğu bulunan Karakaya Barajının vadi profili Şekil 3'de görülmektedir. Baraj gölü 25 kesite bölünmüş 24 akarsu parçası elde edilmiştir. Kesitlerin ve akarsu parçalarının numaralandırılması menbada mansaba doğru yapılmıştır. Bu durumda 25. düğüm noktası baraj aksını göstermektedir. Karakaya barajının göl uzunluğu boyunca akarsu parçası uzunlukları (m) ve taban kotu (m) profilinin de içine alındığı data şeması Şekil 4'de görülmektedir. Aynı şekil üzerinde menbada giriş hidrografi, mansapta savağın kot-debi ilişkisi sınır şartı olarak yer almaktadır. Karakaya barajı için taşkın pik debi değeri olarak  $Q=10000 \text{ m}^3/\text{s}$  ve  $Q=15000 \text{ m}^3/\text{s}$  savak boyu olarak  $L=100 \text{ m}$  ve  $L=500 \text{ m}$ , pik debiye ulaşma zamanı olarak  $T_p=40$  saat alınmıştır.

Karakaya barajına ait  $Q-t$ ,  $h-t$ ,  $h-x$  grafikleri Şekil 4-6 arasında sunulmaktadır.  $Q-t$  grafiklerinde savak boyu arttıkça çıkan akım pikinin büyüdüğü gözlenmektedir. Diğer kesitlere ait çıkan akım hidrografları da bu iki hidrograf arasında yer almaktadır.  $h-t$  eğrileri her kombinasyon için ilk üç kesitte önemli bir fark gösterip diğer kesitlerde özellikle küçük savak boyu kombinasyonlarında üst üste çakışmaktadır. Şekil 5'de gösterilmeyen diğer kesitler 3. ve 25. kesitler arasında yer almaktadır. Hidrografın farklı zamanları için su yüzü profillerinin gösterildiği Şekil 6'da büyük savaklı kombinasyonlarda su seviyesinin düştüğü, hafif de olsa bir dalga hareketi olduğu gözlenmektedir. Hidrografın pik debiye ulaşma zamanı ve ona yakın olan zamanlarda su kotu, ilk üç kesitte önemli ölçüde düşüş göstermekte diğer kesitlerde ise hemen hemen sabit kalmaktadır. Şekil 7'de görülen hidrolik ve hidrolojik öteleme yöntemleri arasındaki fark küçük savak kombinasyonlarında büyük savak kombinasyonlarına göre daha belirgindir. Diğer barajlara ait sonuçlar ise her barajın dört farklı kombinasyonu için pik debi ve pik debiye ulaşma zamanı olarak Çizelge 2'de toplu halde gösterilmektedir. Çizelgede son sütunda görülen bağıl hata iki yöntemin pik debi değerlerinden hidrolik öteleme değerinin doğru olduğu kabulüyle hesaplanmış olup teoremin aksine bazı barajlar için bu değer negatif çıkmıştır.

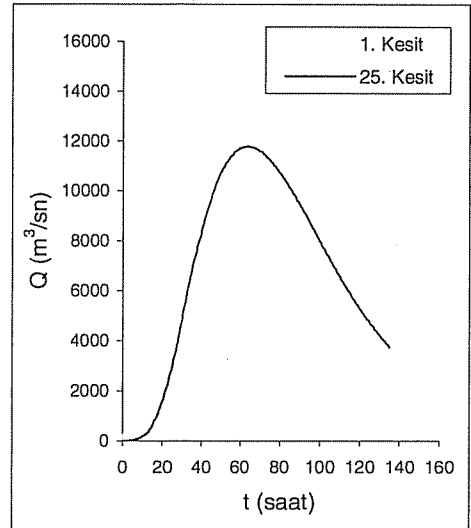
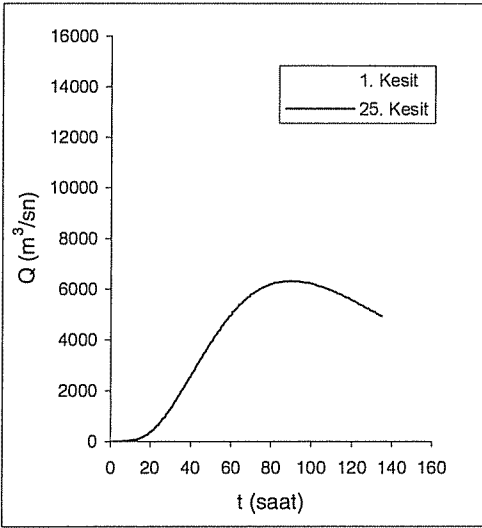


Şekil 3 Karakaya Barajı Vadisi Boyunca Taban Profili ve Data Şeması



Karakaya Barajı  $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=100 \text{ m}$

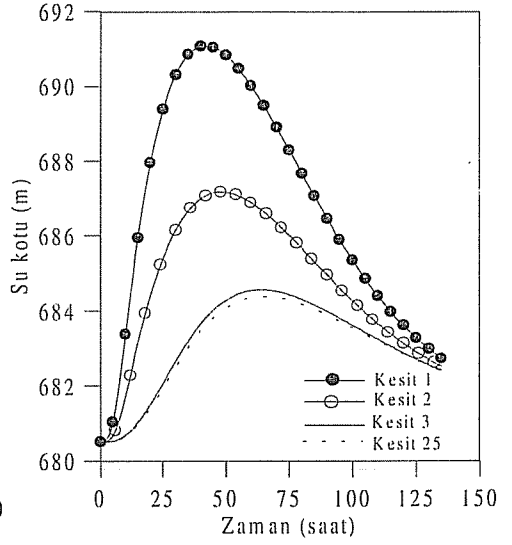
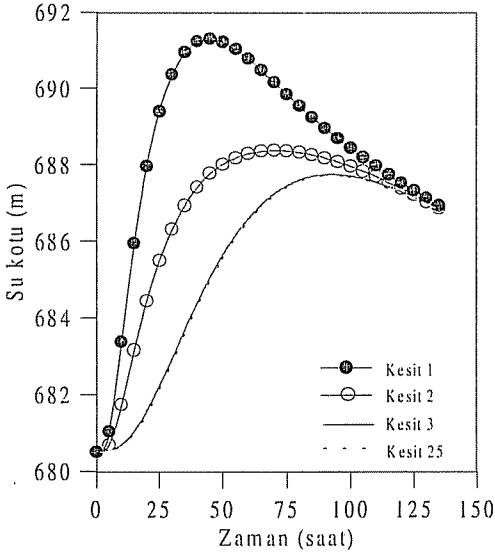
Karakaya Barajı  $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=500 \text{ m}$



Karakaya Barajı  $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=100 \text{ m}$

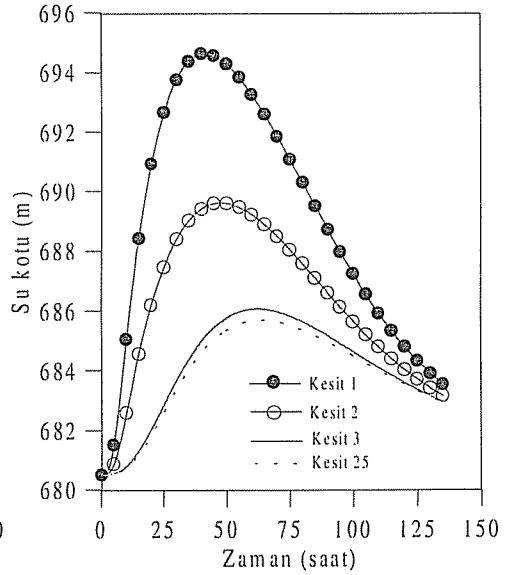
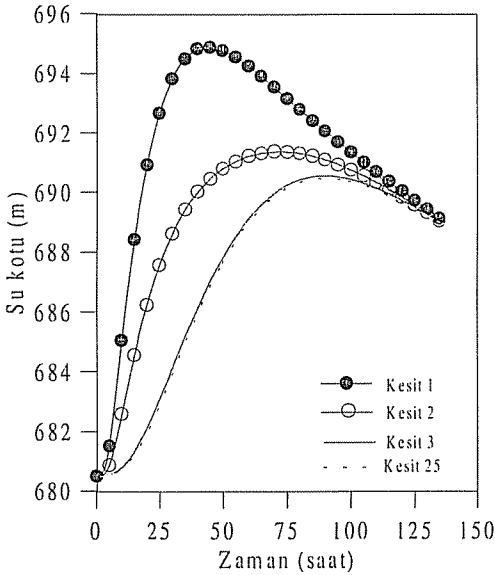
Karakaya Barajı  $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=500 \text{ m}$

Şekil 4. Karakaya Barajı Q-t Grafikleri



Karakaya Barajı  $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=100 \text{ m}$

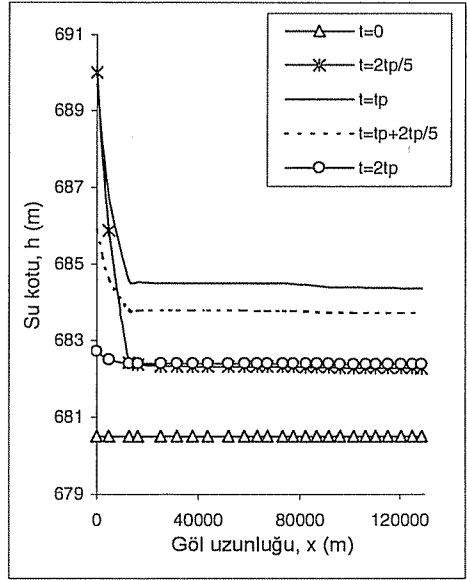
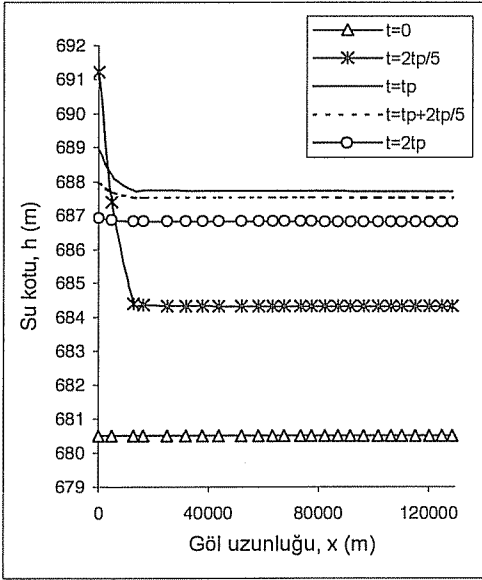
Karakaya Barajı  $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=500 \text{ m}$



Karakaya Barajı  $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=100 \text{ m}$

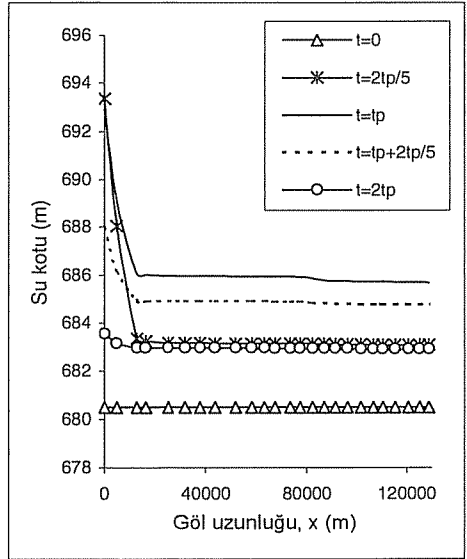
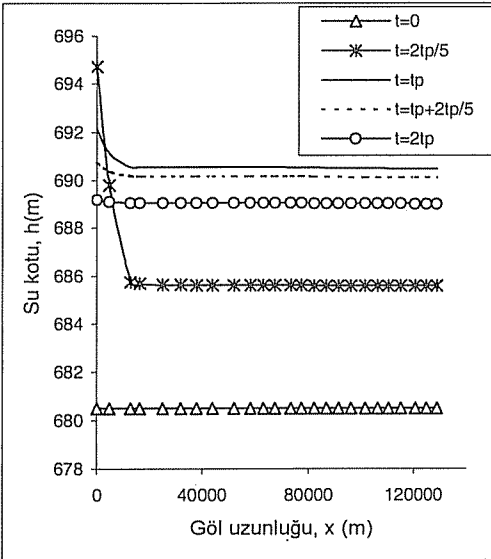
Karakaya Barajı  $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=500 \text{ m}$

Şekil 5. Karakaya Barajı h-t Grafikleri



Karakaya Barajı  $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=100 \text{ m}$

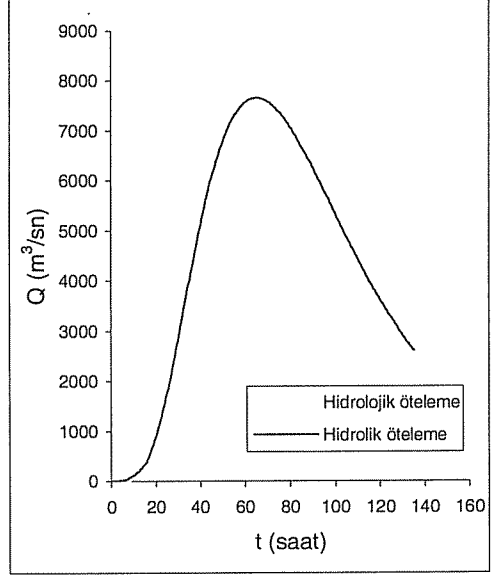
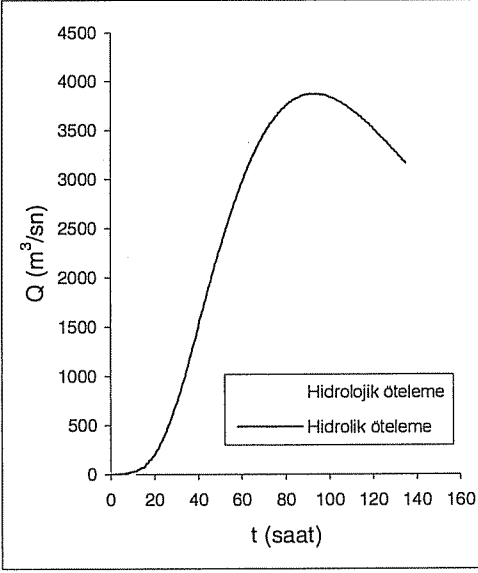
Karakaya Barajı  $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=500 \text{ m}$



Karakaya Barajı  $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=100 \text{ m}$

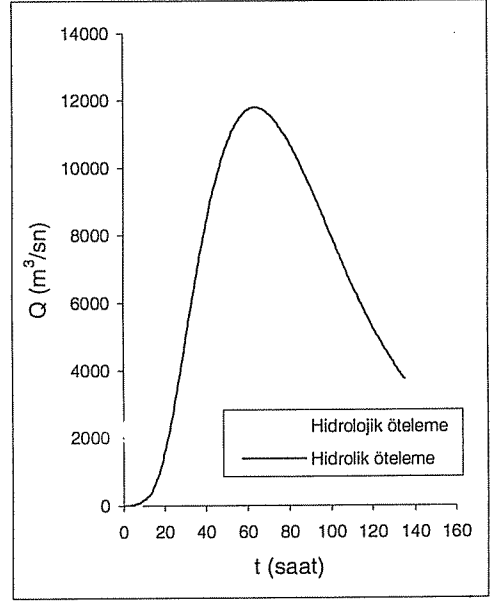
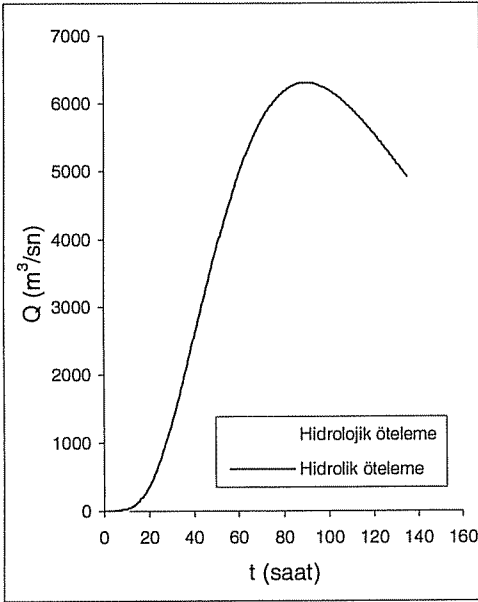
Karakaya Barajı  $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=500 \text{ m}$

Şekil 6. Karakaya Barajı h-x Grafikleri



Karakaya Barajı  $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=100 \text{ m}$

Karakaya Barajı  $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=500 \text{ m}$



Karakaya Barajı  $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=100 \text{ m}$

Karakaya Barajı  $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{sn}$ ,  $L=500 \text{ m}$

**Şekil 7.** Karakaya Barajı Hidrolik ve Hidrolojik Öteleme Sonuçlarının Karşılaştırılması



Çizelge 2. Pik Debilerin ve Pik Debiye Ulaşma Zamanlarının Karşılaştırılması

Baraj Adı	$I_p$ ( $m^3/s$ )	L (m)	Hidrolik ötl.		Hidrolojik ö.		Bağlı hata
			$Q_p$ ( $m^3/s$ )	$T_p$	$Q$ ( $m^3/s$ )	$T_p$	
Kayraktepe	2000	50	925	43.5	932	43	0.76
		150	1454	34.5	1457	33.5	0.21
	5000	50	2719	40	2740	39.5	0.77
		150	4004	31.5	4019	30.5	0.37
Berke	1000	10	533	29.5	522	30	-2.06
		50	872	21	866	21.5	-0.69
	3000	10	1892	27.5	1860	27.5	-1.69
		50	2787	19.5	2772	19.5	-0.54
Deriner	500	10	381	16	381	16.5	0.0
		30	466	13	465	13	-0.21
	1000	10	809	15.5	810	16	0.12
		30	953	12.5	953	12.5	0.0
Yamula	6000	100	3040	42	3073	41.5	1.09
		300	4575	33	4606	32.5	0.68
	10000	100	5593	40.5	5637	39.5	0.79
		300	8066	31.5	8108	31	0.52
Bayramhacılı	2000	10	1241	37	1236	38	-0.4
		40	1844	26.5	1838	26.5	-0.33
	4000	10	2527	36.5	2515	36.5	-0.47
		40	3711	26.5	3693	26.5	-0.49
Bahçelik	1000	10	395	34	400	33.5	1.27
		50	772	23.5	782	24	1.3
	2000	10	910	32	911	32	0.11
		50	1654	22.5	1660	22.5	0.36
Yedigöze	3000	20	2043	35	2056	34.5	0.64
		100	2852	25	2852	25	0.0
	6000	20	4305	34	4301	33.5	-0.09
		100	5798	24	5796	24	-0.03
Gezende	1500	25	1389	19.5	1389	19.5	0.0
		60	1471	17	1472	17.5	0.07
	3000	25	2837	19	2830	19	-0.25
		60	2962	17	2961	17	-0.03
Karakaya	10000	100	3876	92	3997	92	3.12
		500	7658	65	7768	64.5	1.44
	15000	100	6304	89.5	6521	88.5	3.44
		500	11795	63.5	12146	62	2.98

#### 4. SONUÇLAR

Derin vadilerde yer alan dar ve uzun rezervuara sahip barajlardan taşkın ötelenmesinde, yalnızca süreklilik denklemi esasına dayanan hidrolojik yöntemler suyun gerçek hareketini yansıtamadığı için suyun dinamik etkilerinin ve sürtünme kayıplarının da göz önüne alınması gerekçesiyle hidrolik öteleme yöntemine başvurulmuştur. Hidrolik ötelemeyi idare eden süreklilik ve hareket denklemleri dört noktalı kapalı sonlu farklarla ifade edilerek menba ve mansap sınır şartları altında Newton Raphson İterasyon tekniği ile sayısal olarak çözülmüştür. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden seçilen dar ve uzun göl alanına sahip dokuz baraj vadisine uygulanmıştır. Her bir baraj rezervuarı için iki farklı taşkın hidrografi ve iki farklı savak boyu olmak üzere toplam dört kombinasyon alınmıştır. Yapılan uygulamalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Hidrolojik ve hidrolik öteleme sonuçları arasında önemli ölçüde bir farka rastlanmamıştır. Pik debiler arasındaki en büyük fark % 3.5 düzeyindedir. Ayrıca bazı barajlarda (Berke ve Bayramhacılı) pozitif çıkması beklenen bu fark teorinin aksine, çok küçük değerli de olsa negatif çıkmıştır. Küçük savaklı kombinasyonlarda aradaki farkın büyük savaklı kombinasyonlara göre daha büyük olduğu saptanmıştır. Büyük savak durumunda h-t grafiklerinde kesitten kesite zamana bağlı değişim gözlenirken küçük savak durumunda belirgin bir değişim olmamıştır.

2. Savak boyunun büyük olduğu kombinasyonlarda, baraj depolama yapmadığı için baraj rezervuarında nehir hareketi etkisinin arttığı, vadi taşımalarının ön plana çıktığı ve hafif de olsa bir dalga hareketi olduğu elde edilen ise yüzü profili grafiklerinden gözlenmiştir. Savak boyunun küçük olduğu durumda ise rezervuar depolama etkisi artmakta, hızlar azalmakta, n'in ve sürtünme kayıplarının yanısıra dinamik momentum etkisi yani atalet kuvveti değişimleri de azalarak süreklilik denkleminin etkisi hakim olmaktadır. Bu durum küçük savak kombinasyonlarında gözlenen ufuk düzlemine paralel su yüzü profili değişiminden anlaşılmaktadır. Öteleme baz zamanının başından sonuna kadar bütün H-x'ler paralel çıkıp paralel inmekte ve herhangi bir zamanda bir dalga hareketi profili oluşmamaktadır.

3. Sonuç olarak, suyun dinamik etkilerinin bu tür barajlarda sanıldığı kadar etkili olmadığını, süreklilik denkleminin hareket denklemi üzerinde dominant olduğunu söylemek mümkündür. Dolayısıyla çözüm yöntemi oldukça basit olan hidrolojik öteleme, çözüm tekniği çok karmaşık olan ve elde edilmesi güç data gerektiren hidrolik öteleme yerine kullanılabilir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Haktanir, T., Ozmen, H., "Comparison of Hydraulic and Hydrologic Routing on Three Long Reservoirs", *J. Hydr. Eng., ASCE*, 123 (2), 153-157, 1997.
2. Amein, M., and Chu, H., "Implicit Numerical Modeling of Unsteady Flows", *J. Hydr. Div., ASCE*, 101 (HY6), 717-731, 1975.
3. Ponce, V.M., Indlekofer, H., et al, "Convergence of Four-Point Implicit Water Wave Models", *J. Hydr. Div., ASCE*, 104 (HY7), 947-957, 1978.
4. Huang, J. And Song, C.C.S., "Stability of Dynamic Flood Routing Schemes", *J. Hydr. Eng., ASCE*, 111 (12), 1947-1505, 1985.

5. Jin, M., and Fread, D.L., "Dynamic Flood Routing with Explicit and Implicit Numerical Schemes", *J. Hydr. Eng.*, ASCE, 123 (3), 166-173, 1997.
6. Özmen, H. "Baraj Gölünden Taşkın Öteleme Modelleri", *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1999.*
7. Chow, V.T., "Applied Hydrology", *McGraw-Hill Book Co., New York, 1988.*
8. Chow, V.T., "Open Channel Hydraulics", *McGraw-Hill Book Co., New York, 1988.*
9. Strelkoff, T.S. and Falvey, H.T., "Numerical Methods Used to Model Unsteady Canal Flow", *J. of Irrigation and Drainage Eng.*, ASCE, 119(4), 637-655, 1993.



## ÖNGERİLMELİ SÜREKLİ KİRİŞLERİN BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE HESABI

İsmail H. ÇAĞATAY ve M. Selim ARAZ  
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımında öngerilme kuvveti ve eksantrisiteyi belirlemek uzun işlemler gerektirmektedir. Bu nedenle tasarım için gerekli olan öngerilme kuvveti ve eksantrisiteyi belirleyecek bir bilgisayar programı zaman ve doğruluk açısından gerekli olmaktadır.

Bu çalışmada öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımını Yük-Dengeleme yöntemiyle yapan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program kesite uygulanacak öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerini doğrulukla bulmaktadır.

Yapılan bilgisayar programı ile literatürde mevcut örnekler çözülmüş, sonuçların uyum içinde olduğu görülmüştür.

## DESIGN OF PRESTRESSED CONTINUOUS BEAMS WITH COMPUTER PROGRAM

**ABSTRACT :** In design of prestressed continuous beams tedious computations are necessary to determine prestressing force and the eccentricity. For this reason a computer program is needed for rapid and accurate determination of eccentricity and the prestressing force of prestressed continuous beams.

In this study, a computer program has been developed for designing the prestressed continuous beams by using Load-Balancing Method. The program determines the required prestressing force and eccentricity of continuous beams.

Various examples that are available in the literature have been solved using the aforementioned program and results were found to be in good agreement.

## 1. GİRİŞ

Yapı mühendisliğinde gelişen teknolojiye paralel olarak daha dayanımlı yapılara ve yüksek mukavemetli malzeme kullanımına doğru etkin çalışmalar yapılmaktadır. Bunun sonucunda kesit boyutlarında azaltmalar yapılarak yapıların daha ekonomik olması sağlanmaktadır. Bu çalışmaların en önemli uygulama alanlarından biri de öngerilmeli betondur. Öngerilmeli beton sisteminde istenmeyen pekçok durum giderilmiş, beton ve çelik daha etkin bir şekilde kullanılmıştır (1).

Öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımı basit kirişlere göre daha zor olmaktadır. Genel olarak, öngerilmeli basit kirişlerin tasarımında iki tür problem vardır. Birinci tür problemde, kesit boyutları bellidir. Sadece öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerleri bilinmemektedir. Dolayısıyla, bu tür kesitlerin tasarımı sadece öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerinin bulunmasıyla yapılmaktadır. İkinci tür problemlerde ise kesit boyutları da belli değildir. Bu tür problemlerde hem kesit boyutları, hem de öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerleri belirlenmelidir. Özellikle, geniş açıklıklarda maliyeti düşürmek için bu tür kesitlerin kullanılması gerekmektedir (2).

Öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımı ise durum daha farklı bir boyuttadır. Her açıklık için öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerinin seçimi daha karmaşık bir yapıda olmaktadır. Sürekli kirişlerde, açıklık değerleri değişmekle beraber üzerlerindeki yük değerleri de değişebilmektedir. Böylece, farklı açıklık ve yük değerleri için en emniyetli ve en ekonomik öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerinin seçilmesi gerekmektedir. Tasarım sırasında işlemlerin kısa sürede tamamlanıp yorumlanabilmesi için bir bilgisayar programı kaçınılmaz olmaktadır.

Öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımı çeşitli yöntemlerle yapılabilmektedir. Günümüzde en yaygın kullanılanlar; yük-dengeleme yöntemi ve elastik teori yöntemi'dir (3). Genel olarak her iki yöntemde aynı esaslara dayanmaktadır. Sadece analiz adımları birbirinden farklı olmaktadır. Özellikle öngerilme kablosunun yerinin belirlenmesi ve kesite uygulanacak öngerilme kuvvetinin tespiti için en ekonomik yöntem yük-dengeleme yöntemidir.

Bu çalışmada da yük-dengeleme yöntemi detaylı bir şekilde incelenmiş ve öngerilmeli sürekli kirişlerin yük-dengeleme yöntemiyle tasarımını yapan bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan programla değişik örnekler çözülerek sonuçlar yorumlanarak irdelenmiştir. Ayrıca literatürde mevcut bazı örnekler hazırlanan bilgisayar programı ile çözülerek elde edilen sonuçların programın doğrulukla kullanılabildiğini göstermiştir. Ele alınan problem türlerinde; kesit boyutları, açıklık ve yük değerleri bilinmemektedir. Kesite uygulanacak öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerleri bilinmemektedir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımı konusunda ayrıntılı çalışmalar T.Y. Lin tarafından yapılmıştır (3). Lin, öngerilmeli sürekli kirişlerin hesabı için yük-dengeleme yöntemini geliştirmiştir. Yük-dengeleme yönteminde, servis yükleri altında kirişte bunu dengeleyecek bir öngerilme kuvveti değeri bulunur. Bu öngerilme kuvveti kirişe aşağıdan yukarıya doğru basınç olarak etki ettirilmektedir. Öngerilme kuvvetinden dolayı kirişte üniform dengeli yük meydana gelerek servis yüklerini karşılamaya çalışacaktır. Eğer servis yükü dengeli yükten büyükse aradaki fark kadar kirişte

dengelenmemiş yük meydana gelmektedir. Bu dengelenmemiş yükten dolayı oluşan gerilmeler kirişin alt ve üst liflerinde bulunarak, toplam gerilmelere eklenir. Böylece kiriş servis yükleri altında dengelenmiş olacaktır. Servis yükü dengeli yüke eşit olması durumunda kiriş tamamen dengeli yük altında hareket edecektir. Bu durumda, sadece öngerilme kuvvetinden dolayı meydana gelen gerilmeler kirişin alt ve üst bölgesinde tespit edilmektedir

Burgoyne, çalışmasında öngerilmeli sürekli kirişlerin kablo tasarımını ele almıştır (4). Öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımında, kesite uygulanacak öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerinin seçimi için başlangıçta deneme yanılma yoluyla tahminlerde bulunulur. Seçilen değerler istenilen sonuçları sağlamadığı sürece işlemler tekrarlanır. Bu nedenle işlemlerin kısa sürede tamamlanarak tasarımın erken bitmesi için öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerinin iyi seçilmesi gerekmektedir. Burgoyne, bu çalışmasında kablo tasarımı için gerekli olan öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerinin seçimi için Magnel'in grafik yönteminden (5) yararlanmıştır.

Cohn, öngerilmeli beton yapıların tasarımı için lineer olmayan analiz yöntemini kullanmıştır (6). Bu çalışmada, öngerilmeli beton yapılar için optimizasyon konusu da ele alınarak, yapıların tasarımı için en ekonomik çözümler önerilmiştir. Öngerilmeli sürekli kirişlerin optimizasyonu için lineer olmayan analiz yapılarak, problemlerin çözümünde Lagrange Algoritmasından yararlanılmıştır.

Tong ve Saadatmanesh, öngerilmeli sürekli kompozit kirişlerin parametrik çalışmasını yapmışlardır (7). Bu çalışmada, servis yükleri altında kiriş kesitlerine uygulanacak öngerilme kuvvetinden dolayı oluşan kablo profillerinin şekilleri gösterilmektedir. Bu kablo profilleri, yükleme durumlarına göre doğrusal veya eğrisel olabilmektedir.

Camphell ve Kodur, öngerilmeli sürekli kirişlerde meydana gelen deformasyonları ve bunların kontrollerini non-lineer analiz yöntemiyle incelemişlerdir (8). Yükleme altında kirişlerdeki moment değerleri ile eğrilik ilişkisi incelenmektedir.

Ghali ve Elbadry, servis durumundaki öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımını yapmışlardır (9). Öngerilmeli ve betonarme elemanların tasarımında, sayısal işlemlerin kısa sürede bitirilebilmesi için tasarımda kullanılan denklemler, matematiksel modellere uyarlanarak bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Yapılan bilgisayar programı, yapıdaki çerçeve sistemlerini ve köprülerde kullanılan öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımını kapsamaktadır. Geliştirilen bilgisayar programı ile iki adet köprü örneği çözümlenerek programın uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Maucessian ve Camphell, öngerilmeli iki açıklıklı sürekli kirişlerin taşıyabilecekleri maksimum yükleme durumlarını incelemişlerdir (10). Öngerilmeli ve kısmi öngerilmeli sürekli kirişlerin taşıma kapasitelerini kırılma noktalarına kadar incelemişlerdir. Sonuçta öngerilmeli ve kısmi öngerilmeli sürekli kirişlerin kırılma yük değerleri bulunmuştur.

Basu, Sharif ve Ahmed, kısmi öngerilmeli sürekli kompozit kirişler konusunu incelemişlerdir (11). Çelik kirişler tarafından destekli beton döşemelerden oluşan kısmi öngerilmeli kirişlerin yükleme altında davranışları ve kesitin alt ve üst liflerinde oluşan gerilme durumları açıklanmaktadır.

Nawy, öngerilmeli ve songerilmeli basit mesnetli kirişler ile öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımında kullanılan formülasyonlar için matematiksel modeller yapmıştır (12). Nawy, çalışmasında işletme yükleri altında kirişlerde meydana gelen gerilme

durumlarını kesitin alt ve üst liflerinde ayrı ayrı göstermiş, kirişlerin tasarımında fazla yüklemeler nedeniyle oluşan çatlak genişliklerini yükleme durumlarına göre incelemiştir.

Lopes, Harrap ve Gamble, öngerilmeli kompozit kirişlerde momentlerin moment dağıtma yöntemiyle bulunmasını incelemiştir (13). Yedi adet 6.2 m'lik iki açıklıklı hiperstatik kirişlerin moment değerleri bulunarak tasarımları gösterilmiştir.

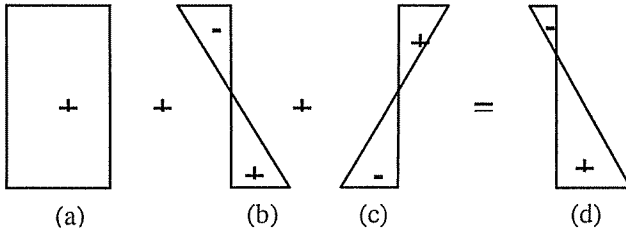
Kirsh, öngerilmeli hiperstatik kirişlerin optimizasyonu için lineer programlama yöntemini kullanmıştır (14). Beton kesiti sadece kesit yüksekliği ve genişliğine bağlı olarak ifade edilmektedir. Maliyet fonksiyonu için kalıp maliyeti göz önüne alınmamakta, kesme kuvveti, taşıma gücü ve sehim kontrolü gibi kısıtlayıcılar kullanılmamaktadır.

### 3. KESİTTE MEYDANA GELEN GERİLMELER

Öngerilmeli betonda meydana gelen gerilmeler iki durumda incelenir.

#### 3.1. Transfer Durumu

Transfer öngerilme kuvvetinin betona tatbik edilmesidir. Elemana sadece öngerilme kuvveti ve kendi ağırlığı etkimektedir. Öngerilme kayıpları henüz meydana gelmemiştir. Şekil 1'te transfer durumunda kesitte meydana gelen gerilme dağılımı görülmektedir.



Şekil 1. Transfer durumunda kesitte meydana gelen gerilmeler

Şekil 1'de

- Öngerilme kuvvetinden dolayı meydana gelen gerilmeleri,
- Eksantrik öngerilme kuvvetinden dolayı meydana gelen gerilmeleri,
- Kirişin kendi ağırlığından dolayı meydana gelen gerilmeleri,
- Transfer durumunda kesitte meydana gelen gerilmeleri göstermektedir.

Transfer durumunda kesitin alt lifinde büyük basınç gerilmeleri, üst lifinde ise eğer izin verilmiş ise, az miktarda çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Bu çekme gerilmeleri, istenilen sınırlar içerisinde kalacak şekilde boyutlandırma yapılabilmektedir. Kesitte hiç çekme gerilmesi yoksa kesit tamamen basınca çalışmaktadır.

Kesitte meydana gelen gerilmeler



Üst lifte

$$F_{TT} = \frac{P}{A} - \frac{PeY_t}{I} + F_{td} \quad (1)$$

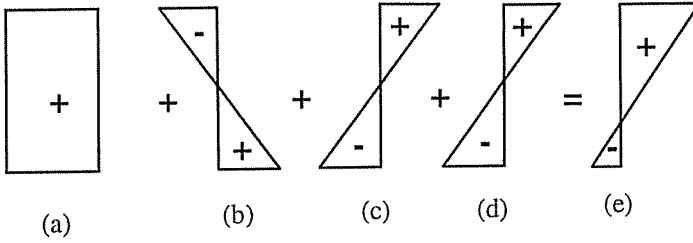
Alt lifte

$$F_{TB} = \frac{P}{A} + \frac{PeY_b}{I} - F_{bd} \quad (2)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir. Burada, P: Öngerilme kuvveti, e : Eksantrisite, A: Kesit alanı, I: Kesit atalet momenti,  $Y_t$ ,  $Y_b$ : Sırasıyla kesit ağırlık merkezinden üst ve alt liflere olan mesafeleri,  $F_{td}$ ,  $F_{bd}$  : Sırasıyla kirişin kendi ağırlığından dolayı üst ve alt liflerde meydana gelen gerilmeleri göstermektedir. Eksantrisite e, kesit ağırlık merkezinden aşağıya doğru pozitif kabul edilmektedir. Diyagramlarda basınç gerilmeleri (+), çekme gerilmeleri (-) ile gösterilmektedir.

### 3.2. Servis Durumu

Servis durumunda kesite, transfer durumundaki kuvvetlerden başka servis yükleri de etkimektedir. Kesite etkileyen öngerilme kuvveti efektif öngerilme kuvvetidir. Öngerilme kayıpları meydana gelmiştir. Kesitte meydana gelen gerilmeler Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Servis durumunda kesitte meydana gelen gerilmeler

Şekil 2'de

- Efektif öngerilme kuvvetinden dolayı kesitte meydana gelen gerilmeleri,
- Eksantrik öngerilme kuvvetinden dolayı kesitte meydana gelen gerilmeleri,
- Kirişin kendi ağırlığından dolayı kesitte meydana gelen gerilmeleri,
- Hareketli yükten dolayı kesitte meydana gelen gerilmeler,
- Servis durumunda kesitte meydana gelen gerilmeleri göstermektedir.

Servis durumunda kesitin üst bölgesinde büyük basınç gerilmeleri meydana gelir. Alt lifinde ise eğer izin verilmiş ise çekme gerilmeler meydana gelmektedir.

Kesitte meydana gelen gerilmeler

Üst lifte

$$F_{ST} = \frac{P \alpha}{A} - \frac{P \alpha e Y_t}{I} + F_{td} + F_{tl} \quad (3)$$

Alt lifte

$$F_{SB} = \frac{P \alpha}{A} + \frac{P \alpha e Y_b}{I} - F_{bd} - F_{bl} \quad (4)$$

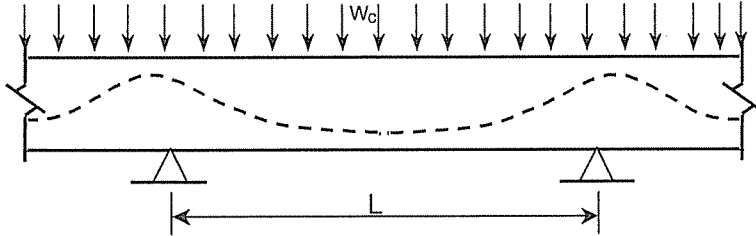
denklemleri ile hesaplanmaktadır. Burada,  $\alpha$  öngerilme kayıp faktörünü,  $F_{tl}$ ,  $F_{bl}$  sırasıyla hareketli yükten dolayı üst ve alt liflerde meydana gelen gerilmeleri göstermektedir.

(1-4) formülleri ile transfer ve servis durumlarında kesitin alt ve üstünde meydana gelen gerilmeler hesaplanmaktadır. Standartlarca bu gerilmeler sınırlandırıldığı için, bu gerilmelerin izin verilen gerilme değerlerinden küçük olması gerekmektedir.

#### 4. ÖNGERİLMELİ SÜREKLİ KİRİŞLERİN TASARIMI

Öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımında kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Sürekli kirişlerin tasarımı basit kirişlere göre daha zor olmaktadır. Öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerinin bulunması çeşitli yöntemlerle sağlanmaktadır. Önemli olan, servis yükleri altında kirişe emniyetli bir şekilde servis ömrü boyunca kalıcı gerilmeler verilmesidir. Bunun için yüklemeler altında, öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerinin en ekonomik şekilde seçilmesi gerekmektedir.

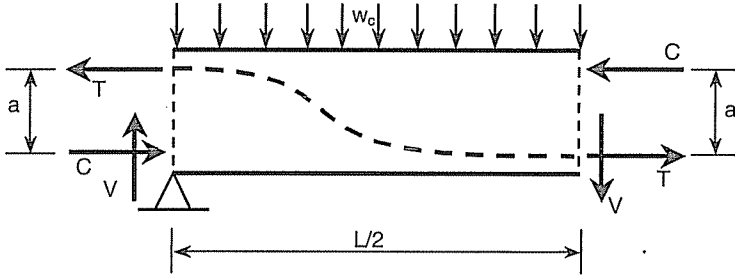
Öngerilme sürekli bir kirişin yük taşıma kapasitesi basit kirişten daha fazla olmaktadır. Şekil 3'te öngerilmeli bir sürekli kiriş görülmektedir.



Şekil 3. Öngerilmeli sürekli kiriş

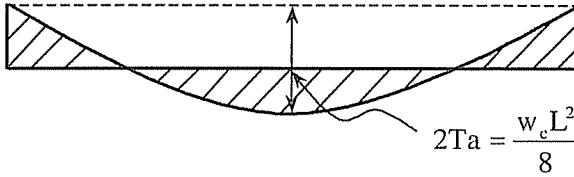
Hareketli yükler altında kablo profilinin şekli de görülmektedir. Şekilde;  $w_c$ : hareketli yükü göstermektedir.

Orta açıklığında bir kesit alınan sürekli kirişin serbest cisim diyagramı Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Serbest cisim diyagramı

Hareketli yüklerden dolayı öngerilmeli sürekli bir kirişin moment diyagramını Şekil 5'de gösterilmektedir.



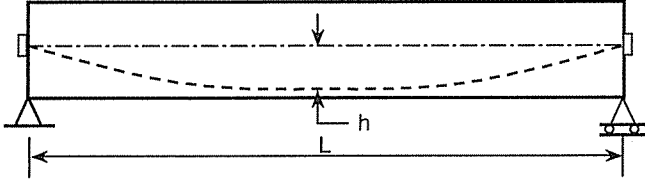
Şekil 5. Moment diyagramı

Şekil 5'ten görüldüğü gibi sürekli bir kiriş basit bir kirişe göre iki kat daha fazla yük taşıyabilmektedir. Bunun anlamı, aynı miktar beton ve çelik kullanılmasına rağmen öngerilmeli sürekli bir kirişin yük taşıma kapasitesi fazla olmaktadır. Bu durum tasarım açısından çok önemli bir noktadır. Tasarım sırasında maksimum açıklıklar en ekonomik kesitlerle geçilmeye çalışılmaktadır. Aynı yüklem altında öngerilmeli sürekli bir kirişte kesit boyutları, basit kirişe göre küçültülebilmekte böylece ekonomik açıdan fayda sağlamaktadır. Aynı zamanda aynı kesitlerle daha fazla yüklem altında geniş açıklıklar öngerilmeli sürekli kirişlerle geçilebilmektedir.

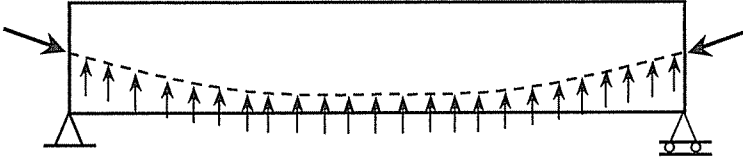
#### 4.1 Yük Dengeleme Yöntemi

Öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımı için kullanılan yöntemlerden yük-dengeleme yöntemi T. Y. Lin (2) tarafından geliştirilmiştir.

Yük-Dengeleme yönteminde, servis yükleri altında kirişte meydana gelecek eğilmeye zıt yönde bir öngerilme kuvveti tespit edilerek, kirişe üniform olarak uygulanır. Öngerilme kuvveti kirişte üniform dengeli yük olarak oluşmaktadır. Şekil 6'da parabolik kablolu öngerilmeli basit bir kiriş görülmektedir. Şekil 7'de ise öngerilme kuvvetinden dolayı meydana gelen üniform yayılı yük gösterilmektedir. Yük-dengeleme yönteminde bu yük dengeli yük olarak ifade edilmektedir.



Şekil 6. Parabolik kablolu öngerilmeli basit kiriş



Şekil 7. Serbest cisim diyagramı

Öngerilme kuvveti kirişe aşağıdan yukarıya doğru yayılı yük olarak etki ettirilmektedir. Meydana gelen bu yük,

$$w_b = \frac{8Ph}{L^2} \quad (5)$$

denklemleri ile bulunmaktadır. Burada,  $w_b$  = Dengeli yük,  $P$  = Öngerilme kuvveti,  $h$  = Kablonun eksantrisitesi,  $L$  = Kiriş açıklığını göstermektedir.

Böylece, servis yükleri altında öngerilme kuvvetinden dolayı dengeli yük meydana gelmektedir. Uygulanan öngerilme kuvveti betonda üniform gerilmelere sebep olmaktadır. Bu üniform gerilmeler kirişin her yerinde basınç gerilmeleri olarak meydana gelirler. Bu gerilmeler,

$$f = \frac{P}{A} \quad (6)$$

denklemleri ile bulunmaktadır. Burada,  $f$  = Gerilme,  $A$  = Kesit alanı olarak gösterilmektedir.

Kirişte, servis yükü dengeli yükten büyükse aradaki fark kadar dengelenmemiş yük oluşacaktır. Bu yükten dolayı meydana gelen gerilmeler,

$$f = \frac{M}{I} y \quad (7)$$

denklemleri ile bulunmaktadır. Burada,  $M$  = Moment,  $y$  = Kesit ağırlık merkezinin alt veya üst lifine olan mesafesi,  $I$  = Atalet momentini gösterilmektedir.

Öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımında, öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerini bulmak için birkaç yöntem vardır. Bunların hepsi aynı kabullere dayanır. Sadece başlangıçta kabuller farklıdır. Sonuçta aynı değerler bulunmaktadır. Yöntemlerden biri, öngerilme kuvvetini bulmak için hareketli yükleri kirişte dengeleyecek öngerilme değeri,

$$P = \frac{w_L L^2}{8h} \quad (8)$$

denklemleri ile bulunmaktadır. Burada,  $w_L$  = Hareketli yükü göstermektedir.

Kirişin alt ve üst liflerinde toplam gerilmeler,

a) Üst lifte

$$FST = \frac{P}{A} + \frac{M}{I} Y_t \quad (9)$$

denklemleri ile ifade edilir. Burada, FST = Servis durumunda kirişin üst lifinde meydana gelen toplam basınç gerilmelerini göstermektedir.

b) Alt lifte

$$FSB = \frac{P}{A} - \frac{M}{I} Y_b \quad (10)$$

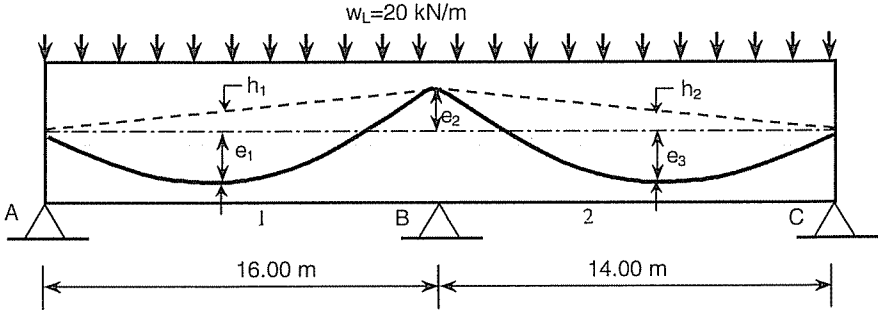
denklemleri ile ifade edilir. Burada, FSB = Servis durumunda kirişin alt lifinde meydana gelen toplam çekme gerilmelerini göstermektedir.

## 5. SAYISAL UYGULAMALAR

### 5.1. Örnek 1

Şekil 8'de görülen öngerilmeli iki açıklıklı sürekli bir kirişin tasarımı yapılmaktadır. Kirişin açıklıkları  $L_1=16$  m,  $L_2=14$  m ve hareketli yük değeri  $20$  kN/m'dir. İzin verilen gerilmeler, servis durumu için  $FT=0$  N/mm<sup>2</sup>,  $FC=20$  N/mm<sup>2</sup>'dir. Beton birim ağırlığı  $24$  kN/m<sup>3</sup> olarak verilmektedir.

Kirişin kesiti dikdörtgen olup  $b=300$  mm ve  $h=800$  mm'dir. Paspayı mesafesi  $75$  mm olarak verilmektedir. Bu örnek daha önce literatürde (15)'te çözülmüştür. Çizelge 1'de eksantrisite ve öngerilme kuvveti, Çizelge 2'de gerilme sonuçları verilmektedir.



Şekil 8. Örnek 1 için öngerilmeli iki açıklıklı sürekli kiriş

Çizelge 1. Örnek 1 için eksantrisite değerleri ve öngerilme kuvvetleri

		EKSANTRİSİTE (mm)			ÖNGERİLME KUVVETİ (kN)
ELEMAN NO		e1	e2	e3	
1	Bu çalışma	0.0	325.0	325.0	1312.8
	Gilbert ve Mickleborough	0.0	325.0	325.0	1313.0
2	Bu çalışma	325.0	210.7	0.0	1312.8
	Gilbert ve Mickleborough	325.0	210.5	0.0	1313.0

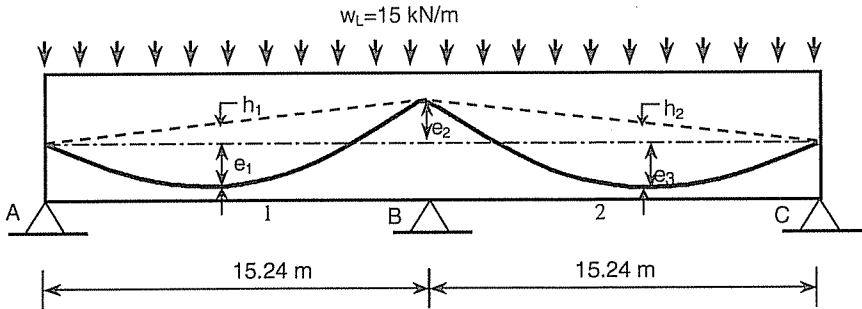
Çizelge 1' den de görüldüğü gibi her eleman için eksantrisite değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri yakın bulunmuştur.

Çizelge 2. Örnek 1 için gerilme değerleri

ELEMEN NO		GERİLMELER (N/mm <sup>2</sup> )					
		AÇIKLIK		MESNET			
		ÜST	ALT	SOL		SAĞ	
		ÜST	ALT	ÜST	ALT	ÜST	ALT
1	Bu çalışma	8.51	2.43	0.00	0.00	1.03	9.91
	Gilbert ve Mickleborough	8.50	2.44	0.00	0.00	1.03	9.91
2	Bu çalışma	7.30	3.64	1.03	9.91	0.00	0.00
	Gilbert ve Mickleborough	7.42	3.52	1.03	9.91	0.00	0.00

### 5.2. Örnek 2

Bu örnekte Şekil 9'da görülen öngerilmeli iki açıklıklı sürekli bir kirişin tasarımı yapılmaktadır. Kirişin açıklıkları  $L_1=15.24$  m,  $L_2=15.24$  m ve hareketli yük değeri 15 kN/m, toplam ölü yük değeri 8.3 kN/m'dir. İzin verilen gerilmeler, servis durumu için  $FT=-5.0$  N/mm<sup>2</sup>,  $FC=15$  N/mm<sup>2</sup>'dir. Beton birim ağırlığı 24 kN/m<sup>3</sup> olarak verilmektedir. Kirişin kesiti dikdörtgen olup  $b=304.80$  mm ve  $h=762$  mm'dir. Paspayı mesafesi 76.2 mm olarak verilmektedir. Bu örnek T.Y. Lin tarafından çözülmüştür (3).



Şekil 9. Örnek 2 için öngerilmeli iki açıklıklı sürekli kiriş

**Çizelge 3.** Örnek 2 için eksantrisite değerleri ve öngerilme kuvvetleri

EKSANTRİSİTE (mm)					ÖNGERİLME KUVVETİ (kN)
ELEMAN NO		e1	e2	e3	
1	Bu çalışma	0.0	304.8	304.8	952.5
	T.Y.Lin	0.0	304.8	304.8	952.5
2	Bu çalışma	304.8	304.8	0.0	952.5
	T.Y.Lin	304.8	304.8	0.0	952.5

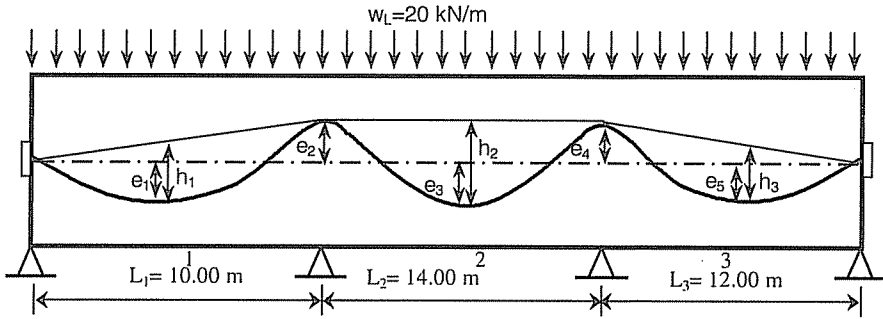
**Çizelge 4.** Örnek 2 için gerilme değerleri

ELEMAN NO		GERİLMELER (N/mm <sup>2</sup> )					
		AÇIKLIK		MESNET			
				SOL		SAĞ	
		ÜST	ALT	ÜST	ALT	ÜST	ALT
1	Bu çalışma	8.63	-0.43	0.00	0.00	-4.04	12.24
	T.Y. Lin	8.70	-0.50	0.00	0.00	-4.10	12.27
2	Bu çalışma	8.63	-0.43	-4.04	12.24	0.00	0.00
	T.Y. Lin	8.70	-0.50	-4.10	12.27	0.00	0.00

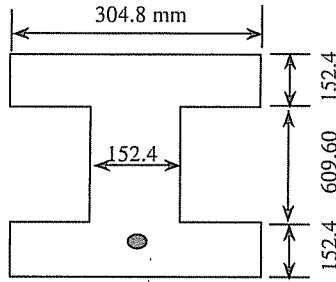
### 5.3. Örnek 3

Bu örnekte Şekil 10'da görülen öngerilmeli üç açıklıklı sürekli bir kirişin tasarımı yapılmaktadır. Kirişin açıklıkları  $L_1=10.00$  m,  $L_2=14.00$  m  $L_3=12.00$  m ve hareketli yük değeri  $20$  kN/m'dir. İzin verilen gerilmeler,  $FT=0.0$  N/mm<sup>2</sup>,  $FC=15$  N/mm<sup>2</sup>'dir. Beton birim ağırlığı  $24$  kN/m<sup>3</sup> olarak verilmektedir. Kirişin kesit boyutları Şekil 11'de verilmektedir. Paspayı mesafesi  $50$  mm olarak verilmektedir.





Şekil 10. Örnek 3 için öngerilmeli üç açıklıklı sürekli kiriş



Şekil 11. Örnek 3 için kiriş kesiti

Çizelge 5. Örnek 3 için eksantrisite değerleri ve öngerilme kuvvetleri

ELEMEN NO	EKSANTRİSİTE (mm)			ÖNGERİLME KUVVETİ (kN)
	e1	e2	e3	
1	0.00	211.91	407.20	601.67
2	407.20	407.20	407.20	601.67
3	407.20	394.73	0.00	601.67

Çizelge 6. Örnek 3 için gerilme değerleri

ELEMEN NO	GERİLMELER (N/mm <sup>2</sup> )					
	AÇIKLIK		MESNET			
	ÜST	ALT	SOL		SAĞ	
	ÜST	ALT	ÜST	ALT	ÜST	ALT
1	3.96	2.52	0.00	0.00	1.47	5.01
2	4.28	2.20	1.47	5.01	1.08	5.39
3	4.49	1.99	1.08	5.39	0.00	0.00

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, önerilmeli sürekli kirişlerin tasarımı yük-dengeleme yöntemi ile yapan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımı iki aşamada ele alınmaktadır. Birinci aşamada statik analiz yapılarak kesme kuvvetleri ile açıklıkta ve mesnette moment değerleri bulunmaktadır. İkinci aşamada ise eksantrisiteler ile kesite uygulanacak önerilme kuvveti bulunarak, açıklıklarda ve mesnetlerde meydana gelen gerilmeler hesaplanmaktadır. Bu gerilmeler izin verilen gerilmelerle karşılaştırılarak, kesitte meydana gelen gerilmelerin izin verilen gerilme değerlerini aşmaması sağlanmaktadır. Böylece istenilen şekilde tasarım işlemi yapılmaktadır.

Geliştirilen bilgisayar programı ile değişik geometriye sahip kesitlerin tasarımı yapılabilmektedir. Sürekli kirişin açıklık sayısı n sayıda olabilmekte ve açıklık değerleri farklı seçilebilmektedir. Hareketli yük değerleri her açıklık için farklı değerde olabilmektedir.

Yapılan bilgisayar programı işlemlerin en kısa sürede ve doğru şekilde yapılmasına olanak sağlamıştır. Literatürdeki mevcut bazı örnekler geliştirilen bilgisayar programı ile çözülmüştür, elde edilen sonuçların uyum içinde olduğu görülmüştür.

## 7. KAYNAKLAR

1. Çağatay, İ.H., "Öngerilmeli Beton Kirişlerin Optimum Tasarımı", Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, 207s, 1996.
2. Taylor, M.A., "Direct Design of Nonprismatic Prestressed Beams: I", J. Struct. Eng., ASCE, Vol.113, No.6, pp.1154-1166, 1987.
3. Lin, T.Y., "Design of Prestressed Concrete Structures", John Wiley and Sons, America, 646s, 1981.
4. Burgoyne, C.J., "Cable Design for Continuous Prestressed Concrete Bridges", Proceedings-Institution of Civil Engineers, V. 85, pp.161-184, 1988.
5. Magnel, G., "Prestressed Concrete, Concrete Publications", London, U.K, 1948.
6. Cohn, M.Z., "Optimum Limit Design of Continuous Prestressed Concrete Beams", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.119, No.12, pp.2761-2769, 1993.

7. Tong,W., Saadatmanesh,H., "Parametric Study of Continuous Prestressed Composite Girders", *Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.118, No.1, pp. 186-206, 1992.*
8. Campbel,T.I., Kodur,V.K., "Deformation Controlled Nonlinear Analysis of Prestressed Concrete Continuous Beams", *Journal Prestressed Concrete Institute, Vol.35, No.5, pp.42-55, 1990.*
9. Ghali,A., Elbadry,M.M., "Serviceability Design of Continuous Prestressed Concrete Structures", *Journal Prestressed Concrete Institute, Vol.34, No.1, pp.54-91., 1989.*
10. Moucessian,A., Campbell,T.I., "Prediction of the Load Capacity of Two Span Continuous Prestressed Concrete Beams", *Journal Prestressed Concrete Institute, Vol.33, No.2, pp.130-151, 1988.*
11. Basu,P.K., Sharif,A.M., Ahmed,N., "Partially Prestressed Continuous Composite Beams", *Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.113, No.9, pp. 1909-1925, 1987.*
12. Nawy,E.G., "Flexural Cracking Behaviour of Pretensioned and Post-Tensioned Beams", *Journal of the America Concrete Institute, Vol.82, No.6, pp.890-900, 1985.*
13. Lopes,S.M.R., Harrop,J., Gamble,A.E., "Study of Moment Redistribution in Prestressed Concrete Beams", *Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.118, No.3, pp. 1260-1268, 1997.*
14. Kirsh,U., "Optimum Design of Prestressed Beams", *Computers and Structures, Vol.2, pp.573-583, 1985.*
15. Gilbert,R.I., Micleborough,N.C., "Design of Prestressed Concrete", Hyman, London, 1990.



**KÜRESEL GEOMETRİDE  $S_4$  İLE TRANSPORT DENKLEMİNİN  
DİAMOND DIFFERENCE VE SPEKTRAL GREEN FONKSİYONU  
METOTLARI İLE ÇÖZÜMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Faruk YAŞA**

*K.S.Ü., Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, K.Maraş/ Türkiye*

**Süleyman GÜNGÖR**

*Ç.Ü., Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana/ Türkiye*

**ÖZET :** *Bu çalışmada nükleer fiziğin güncel konularından biri olan transport eşitliğinin çözümleri detaylı olarak incelendi. Bu eşitlik küresel geometri için geliştirildikten sonra  $S_4$  için Diamond Difference(DD) ve Spektral Green Foksiyonu(SGF) metodu ile çözüldü. Spektral Green Fonksiyonu metot Diamond Difference metottan daha doğru ve pozitif sonuçlar getirdiği tartışıldı. Bunlarla birlikte küresel geometride bir analitik çözüm geliştirildi.*

*Anahtar Kelimeler: Nötron Transport, Spektral Green Fonksiyonu , Küresel Geometri.*

**COMPARISON OF THE SOLUTION OF THE SPEKTRAL GREEN  
FUNCTION AND DIAMOND DIFFERENCE METHODS FOR TRANSPORT  
EQUATION WITH  $S_4$  IN SPHERICAL GEOMETRY**

**ABSTRACT :** *In this study, Transport equation which is current topics of nuclear physics is investigated in details. After this equation is constructed in spherical geometry, it is solved by Diamond Difference(DD) and Spectral Green Function(SGF) method for  $S_4$ . Spectral Green Function method is discussed to provide more accurate and positive solutions than the Diamond Difference for neutron transport equation in the spherical geometry. Moreover, an analytic solution is developed in spherical geometry.*

*Key Words : Neutron Transport, Spectral Green Function, Spherical Geometry.*

## 1. GİRİŞ

Nötronlar, çekirdeklerle yaptıkları çarpışmalar sonunda zig-zag yollar çizerler. Bu hareketin sonucu olarak reaktörün bir kesiminde bulunan nötronlar, bir süre sonra reaktörün farklı bir kesiminde, farklı bir enerji ile ortaya çıkarlar. Bu durumda nötronlar bir bölgeden diğer bölgeye taşınmıştır denir ve bu olayın incelendiği konu, “Nötron Transport Teori” olarak adlandırılır. Nötronların davranışını açıklayan denklem, “Lineer Transport Denklem” veya “Boltzman Denklem” olarak bilinir. Başka bir deyişle nötronun hareketi bir difüzyon olayı olarak düşünülür. Lineer transport denklemi, reaktör fiziğinin yanı sıra, radyoaktif kaynakların zırlanması, plazma dinamiği, astrofizik, radiatif transfer problemleri ve gazların kinetik teorisi gibi fiziğin pek çok dalında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Nötron transport teori nötronların akı davranışını konuma, açığa, zamana ve hıza bağlı olarak inceler (1, 2).

Bu hesaplamaların sonuçlarını gerçek değerlerine en yakın şekilde elde edebilmek için, uygun geometri seçmek gerekmektedir. Bizim çalışmamızın amacı da gerçek geometri olarak düşündüğümüz küresel geometride, transport eşitliğini farklı iki yolla çözerek karşılaştırmaktır.

$\psi(r, \mu)$  nötronların açısız akı dağılım fonksiyonunu belirlemek için küresel koordinatlarda transport eşitliğinin çözümü için  $r$  konumuna bağlı kısmı için üstel bir fonksiyon önerilmiştir. Bu önerilen yeni analitik çözüm yöntemi küresel transport denklemini sağlamakta ve bu denklemi daha basit bir şekle indirgemektedir. Sonuçta Spektral Green Fonksiyonu metodu kolaylıkla küresel geometri problemlerine uygulanabilmektedir. Nötron transport eşitliğinde diskret (kesikli) ordinatta Diamond-Difference (kıymetli fark) metodu karşılaştırma yapmak için geliştirildi.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Reaktörlerde nötronların dağılımını hesaplamak için, nötronların hareketlerinin incelenmesi gerekmektedir. Çarpışmalar sonucu nötronlar saçılabilir, absorplanabilir veya reaktörden dışarı sızabilir. Nötronlar, reaktör korununun bir noktasında, bir yöne doğru  $v$  hızı ile görünürken, bu çarpışmalar sonucu biraz sonra farklı hız ve yönde, sistemden diğer bir noktasında görünür. Böylece nötronlar, bir bölgeden ikinci bölgeye transfer edilmiş olur. Bu olay transport teorisinin çalışma alanına girer. Transport teorisi, Boltzman'ın 1872 yılındaki yayını ile gelişmeye başlar. Nonlinear olan Boltzman eşitliğinin çözümü bazı özel durumlar için vardı. Gerçekten günümüze kadar bu eşitliğin çözümü, tam olarak anlaşılacak değildir. Fakat, bazı yaklaşımlar altında lineerize edilmiş Boltzman eşitliğinin çözümleri, nükleer reaktörlerin planlanmasında ve çalıştırılmasında iyi sonuçlar vermektedir.

1940 yılından sonra nötron transport teorisinin içeriği; Marshak, Mark, Davison, Case, de Hoffman ve Plaezek gibi bir çok yazar tarafından tekrar formüle edildi (3). 1967'de Pahor bir nümerik metot olan Chandrasekhar metodu yaklaşımını transport teoriye yeni fikir olarak getirmiştir.  $S_N$  kesikli ordinat metodu da transport denkleminin çözümünde yaygın olarak kullanılır hale geldi (4, 5).

Yeni oluşturulan nötron transport denklemi  $S_N$  de Diamond- Difference (DD) fark metodu ve Spektral Green Fonksiyonu metodu ile küresel geometride çözüldü. SGF metodu;  $x$  bir boyutta,  $x-y$  iki boyutunda ve  $x-y-z$  üç boyutunda kartezyen geometride çalışılmıştır (6, 7). Bu çalışmada Anlı (8), De Barros (9), Yavuz (10), Siewert (11),

Kornreich (12), Sahni ve Sharma (13) ve Lathrop (14)'nın çalışmaları temel alınarak çözüm geliştirerek bu metotlar arasında karşılaştırma yapıldı.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Küresel Koordinatlarda Analitik Bir Çözüm

Önce tek gruplu, izotropik saçılmalı homojen bir ortam için küresel koordinatlarda transport eşitliği yazılarak çözüme başlanır. Bu geometride  $\psi(r, \mu)$  nötron açısız akı dağılımı, azimutal açılardan bağımsızdır. Düzlem geometride olduğu gibi küresel harmonikler( $P_N$ ) çözüm metodu göz önüne alınarak küresel geometride transport eşitliği çözülebilmektedir. Açısız kısmın çözümünde, açısız kısım herhangi bir fonksiyon olmak üzere konuma bağlı çözümler günümüzde bir çok araştırmacı tarafından kullanılan(5,11,13) Bessel fonksiyonları yerine, analitik bir yaklaşım kullanılacaktır.

Bu geometride  $r$ , 0 ile  $\infty$  aralığında değiştiği bilinmektedir. Bessel fonksiyonları göz önünde alındığında konuma bağlı kısım eksponansiyel olmalıdır. Böylece,

$$\mu \frac{\partial \psi(r, \mu)}{\partial r} + \frac{1 - \mu^2}{r} \frac{\partial \psi}{\partial \mu} + \sigma_T \psi(r, \mu) = \frac{\sigma_{s0}}{2} \int_{-1}^1 \psi(r, \mu') d\mu' + Q/2 \quad (1)$$

küresel geometride transport denklemini ( $\sigma_{s0} = 0$  için)

$$\psi(r, \mu) \approx e^{-\sigma_T r f(\mu)} \quad (2)$$

şeklinde bir analitik çözümün, sağlayacağı açıktır. Burada  $f(\mu)$  açısız kısmın çözümü olan herhangi bir fonksiyondur. Bu çözüm ifadesi Eş.(1)'de yazılırsa,  $f(\mu)$  için

$$f(\mu) = \mu(1 - c_o) + (1 - c_o) \sqrt{1 - \mu^2} \cdot C \quad (3)$$

ifadesi bulunur ve C integral sabiti sıfır seçilirse, çözüm ifademiz,

$$\psi(r, \mu) = e^{-\sigma_T r (1 - c_o) \mu} \quad (4)$$

şekline gelir. Buradan

$$\frac{\partial \psi(r, \mu)}{\partial \mu} = -\sigma_T r (1 - c_o) \psi(r, \mu) \quad (5)$$

$$\mu \frac{\partial \psi(r, \mu)}{\partial r} - \sigma_T (1 - c_o) (1 - \mu^2) \psi(r, \mu) + \sigma_T \psi(r, \mu) = \frac{\sigma_{s0}}{2} \int_{-1}^1 \psi(r, \mu') d\mu' \quad (6)$$

şeklinde pseudo-slab(sözde-dilim) problemine ulaşılır. Bundan sonra küresel koordinatların sınır şartları bu sözde-dilim probleminde kullanılarak işlemlere devam edilir. Eş.(6) açısız türevsiz transport denklemi şeklindedir. Bu tür bir yaklaşıma sözde-dilim geometri denilmektedir (5,11,13,15). Böylece küresel geometride transport eşitliği, dilim geometri eşitliğine benzetilmiş olur.

#### 3.2. Küresel Geometride $S_N$ Denkleminin Diamond Difference(DD) Yöntemi Çözümü

Legendre polinomlarına bağlı,  $\psi(r, \mu)$  nötron açısız akısının uzaysal dağılımını ifade etmek için alternatif bir yol, diskret ordinat metodunu( $S_N$ ) kullanmaktır. Bu prosedürde açısız akı, yönlerin sınırlı sayısı ile göz önünde tutulur ve bu akı diskret (kesikli) yönler arasında lineer bir tarzda değiştiği kabul edilir. Şimdi  $S_N$  denkleminde Diamond-

Difference (Kıymetli Fark) yaklaşım metodunu ele alalım. Daha önce oluşturulan küresel geometri için

$$\mu \frac{\partial \psi(r, \mu)}{\partial r} - \sigma_T (1 - c_0) (1 - \mu^2) \psi(r, \mu) + \sigma_T \psi(r, \mu) = \frac{\sigma_{so}}{2} \int_1^{-1} \psi(r, \mu') d\mu' \quad (7)$$

şeklindeki transport eşitliğini  $S_N$  denklemi şeklinde yazalım:

$$\begin{aligned} \mu_m \frac{\psi_{m,i+1/2} - \psi_{m,i-1/2}}{h} - \sigma_T (1 - c_0) (1 - \mu_m^2) \psi_{m,i} + \sigma_T \psi_{m,i} \\ = \frac{\sigma_{so}}{2} (\psi_{1,i} w_1 + \psi_{2,i} w_2 + \psi_{3,i} w_3 + \dots) \end{aligned} \quad (8)$$

burada  $i, r$  eksenleri üzerindeki noktalar olmak üzere, hücre genişliği  $h = r_{i+1/2} - r_{i-1/2}$  olan bir hücre düşünülerek Gauss-Legendre quadrature seti kullanılacaktır. Burada bilinmeyen sayısı eşitlik sayısından fazla olduğundan yardımcı bir eşitliğe ihtiyaç vardır. Bu eşitlik hücre kenarı açışal akılarını hücre ortalama açışal akılarına bağlamalıdır. Bu bağıntı  $S_N$  çözümlerinde çok kullanılan DD eşitlikleridir. Bunlar

$$\psi_{m,i} = \frac{1}{2} (\psi_{m,i-1/2} + \psi_{m,i+1/2}) \quad (9)$$

şeklinde hücre kenar akılarının toplamının ikiye bölümü ile tanımlanır.  $S_N$ 'de bu eşitliğin kullanılması ile elde edilen denklem sistemi Gauss Siedel iterasyon yöntemi kullanılarak hücre kenarı akılar hesaplanır.

### 3.3. Bir Boyutlu Nötron Transportu İçin Spektral Green Fonksiyonlarının(SGF) Türetilmesi ve Bu Fonksiyonlar ile Çözüm

Şimdi, tek grup için alışılmış gösterim ile zamanla değişmeyen ve kararlı nötron transport eşitliğini, küresel geometride yazarak Spektral Green Fonksiyonu metodu ile çözüm yapmaya başlayabiliriz. Eş.(1)'de saçılım fonksiyonu Legendre polinomları cinsinde seriye açılmıştır. İztropik saçılımı gösteren ilk terim ele alınarak yazılmıştır (16).

Daha öncede anlatıldığı gibi ilk önce bu eşitlik uygun dönüşümler ile şu hale getirilir,

$$\mu \frac{\partial \psi(r, \mu)}{\partial r} - \sigma_T (1 - c_0) (1 - \mu^2) \psi(r, \mu) + \sigma_T \psi(r, \mu) = \frac{\sigma_{so}}{2} \int_1^{-1} \psi(r, \mu') d\mu' + Q/2. \quad (10)$$

Sonra bu eşitlik kesikli ordinatta ele alınabilmesi için şu formda yazılır,

$$\mu_m \frac{d\psi(r, \mu)}{dr} - \sigma_T (1 - c_0) (1 - \mu_m^2) \psi_m(r, \mu) + \sigma_T \psi_m(r) = \frac{h \sigma_{so}}{2} \sum_{n=1}^N \psi_n(r, \mu) w_n + Q/2. \quad (11)$$

Burada sözde-dilim problemi göz önünde bulundurularak  $\psi(r, \mu)$  için analitik çözüm şöyle düşünülür,

$$\psi(r, \mu) = H(\nu, \mu) e^{-\sigma_T r / \nu}. \quad (12)$$

Eşitlik (11)'ün açışal akının açışal  $H(\nu, \mu)$  kısmı için, Eş.(12) çözümünü Eş.(11)'de yazılırsa, şu dispersiyon (dağılım) bağıntısı elde edilir,



$$H_m(v, \mu) = \frac{vc_0}{2[v - \mu_m - (1 - c_0)v(1 - \mu_m^2)]} \sum_{n=1}^N H_n(v)w_n \quad (13)$$

$v$  özdeğerlerini elde etmek için, Eş.(13)  $w_n$  ağırlık fonksiyonu ile çarpılır ve bütün  $m$  ler üzerinden toplanır. Sonuçta  $N$  tane basit reel köklü  $N$ 'inci dereceden bir denklem elde edilir. Bu eşitlikte, herhangi  $0 \leq c_0 < 1$  şartını sağlayan  $c_0$  için orijine simetrik olarak dizilen  $v_k$ ,  $N$  basit gerçek köklü  $N$ 'nci mertebeden polinomdur,

$$\frac{vc_0}{2} \sum_{n=1}^N \frac{w_n}{[v - \mu_m - (1 - c_0)v(1 - \mu_m^2)]} = 1 \quad (14)$$

Böylece Eş.(11) için genel çözüm şöyle yazılabilir;

$$\psi_m(r) = \sum_{k=1}^N \lambda_k H_m(v_k) \exp(\sigma_T r / v_k) \quad m=1, \dots, N, 0 \leq r \leq a \quad (15)$$

Burada  $\lambda_k$  herhangi bir sabittir. Bu bölümde bundan sonra kesikli açılal ve skaler akıları çözmek için, gerekli prosedür tanımlanacaktır. İşleme, uzaysal hücre genişliği  $h$  ile gösterilen düzgün bir kesikli uzay(ızgara) seçilerek başlanır. Denge eşitliğini elde etmek için Eş.(11) bir hücre üzerinden integre edilerek

$$\frac{\mu_m}{\sigma_T} [\psi_{m,i+1/2} - \psi_{m,i-1/2}] - (1 - c_0)(1 - \mu^2)h\psi_{m,i} + h\psi_{m,i} = \frac{c_0}{2} \sum_{i=1}^N \psi_{m,i} \omega_i + \frac{hQ_{oi}}{2\sigma_T} \quad (16)$$

elde edilir. Burada,  $\psi_{m,i}$  ve  $\psi_{m,i \pm 1/2}$  herhangi bir  $i$ 'nci hücre için sırası ile hücre ortalama ve hücre kenarı açılal akılarıdır. Eş.(16)'da  $\psi_{m,i}$  hücre ortalama açılal akısı, şöyle tanımlanır:

$$\psi_{m,i} = \frac{1}{h_i} \int_{r_{i-1/2}}^{r_{i+1/2}} \psi_m(r) dr \quad (17)$$

burada  $h_i = r_{i+1/2} - r_{i-1/2}$  şeklinde tanımlı hücre genişliğidir. Bu problem direk küresel geometride çözülsüydü, hücre ortalama açılal akısı

$$\psi_{m,i} = \frac{1}{V_i} \int_{r_{i-1/2}}^{r_{i+1/2}} \psi_m(r) dV \quad (18)$$

şeklinde tanımlanırdı. Biz burada tek boyutta küre problemini sözde dilim(pseudo slab) olarak ele aldığımızdan  $\psi_{m,i}$ , Eş.(17)'daki gibi tanımlanmıştır. Eş.(15)'den  $i$ . hücre kenar açılal akı ifadeleri için

$$\psi_{m,i \pm 1/2} = \sum_{k=1}^N \lambda_k H_m(v_k) \exp(\sigma_T r_{i \pm 1/2} / v_k) \quad (19)$$

elde edilir. Eş.(16) denge eşitliği hücre ortalama açılal akılarını hücre kenarı açılal akılara bağlar. Sınır şartları ile birlikte Eş.(16) çözülemez. Çünkü, eşitlik sayısından bilinmeyenler daha çoktur. Bilinmeyenlerin sayısını azaltmak için hücre ortalama akıyı hücre kenarı açılal akıya bağlayan bir bağıntıya ihtiyaç vardır. Literatürde bu Diamond-Difference (DD) yaklaşımı ile sağlanıyordu. Diamond-Difference (DD) yaklaşımı hücre kenarı açılal akılar toplamının ikiye bölümü olarak tanımlanmaktadır. Biz bu çalışmamızda Diamond-Difference (DD) yerine Green Fonksiyonlarını kullanarak yeni

bir yardımcı eşitlik tanımlayacağız. De Barros ve Larsen (9) tarafından yapılan dilim geometride, önceki bir çalışmamı takip ederek şu şekilde bir yardımcı eşitlik yazılabilir; herhangi bir  $i$ 'nci hücrede fiziksel olarak  $m$  yönünde  $\Psi_{m,i}$  hücre ortalama açılmal akısı,  $\mu_m > 0$  için  $\Psi_{n,i-1/2}$  ve  $\mu_m < 0$  için  $\Psi_{n,i+1/2}$  hücre kenar akılarından ve  $Q$  iç kaynaktan oluştuğu düşünülebilir. Böylece genel bir yardımcı eşitliği,

$$\Psi_{mi} = \sum_{n=1}^{N/2} \theta_{m,n} \Psi_{n,i-1/2} + \sum_{n=1+N/2}^N \theta_{m,n} \Psi_{n,i+1/2} + G_{mi}(Q), \quad m=1 \dots N, i=1 \dots I, \quad (20)$$

gibi kurarız, burada  $\theta_{m,n}$  katsayıları kesikli olmuş uzayda Green Fonksiyonlarıdır ve  $\Psi_{m,i}$  hücre ortalama açılmal akıya katkıyı temsil ederler.

Şimdi  $\theta_{m,n}$  Spektral Green Fonksiyonlarını (SGF) oluşturalım. Bunları hesaplamak için Eş.(15), Eş.(17)'de yazılırsa,

$$\Psi_{mi} = \frac{Q_0}{2\sigma_T(1-c_0)} + \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{v_k H_m(v_k)}{h\sigma_T} \left[ \exp\left(\frac{\sigma_T r_{i+1/2}}{v_k}\right) - \exp\left(\frac{\sigma_T r_{i-1/2}}{v_k}\right) \right], \quad (21)$$

olur. Burada  $Q_0$ 'a bağlı  $Q_0/2\sigma_T(1-c_0)$  terimi özel bir çözüm olup, bizim problemimizde işlem kolaylığı için bu terim sıfır kabul edilmiştir. Sonra Eş.(21) ve Eş.(17), Eş.(20)'de kullanılırsa, şu bağıntılar elde edilir;

$$G_{m,i}(Q) = \left( 1 - \sum_{n=1}^N \theta_{m,n} \right) \frac{Q_0}{2\sigma_T(1-c_0)} \quad m=1 \dots N, i=1 \dots I \quad (22)$$

$$\frac{2v_k H_m(v_k)}{h\sigma_T} \sinh\left(\frac{h\sigma_T}{2v_k}\right) = \exp\left(-\frac{h\sigma_T}{2v_k}\right) \sum_{n=1}^{N/2} \theta_{m,n} H_n(v_k) + \exp\left(\frac{h\sigma_T}{2v_k}\right) \sum_{n=1+N/2}^N \theta_{m,n} H_n(v_k) \quad (23)$$

Sonuç olarak,  $1 \leq m, k \leq N$ , için  $k=1,2,\dots,N$  olmak üzere  $\mu_m$  doğrultu kosinüsleri ve  $w_m$  ağırlık fonksiyonları ile belirlenen  $v_k$ 'nın bilinen değerleri kullanılarak,  $\theta_{m,n}$  Green Fonksiyonları için  $N^2$  bilinmeyenli  $N^2$ 'li Lineer denklem sistemi elde edilir.  $N=4$  için  $\theta_{m,n}$  sekiz bilinmeyenli çözülebilir denklem oluşur.  $N \times N$  denklem sistemlerinde iterasyon tekniği ile SGF'lar hesaplanır. Özetlenirse, Eş.(16) da verilen dispersiyon bağıntısı ile hesaplanan  $v_k$  ( $k=1,2,\dots,N$ ) ile Eş.(23) denklem sisteminde  $\theta_{m,n}$  Spektral Green Fonksiyonları hesaplanır. Sonra hesaplanan  $\theta_{m,n}$ 'ler Eş.(17)'de kullanılırsa, bu eşitlik yardımcı ve sınır şartları ile denge eşitliği, çözülebilir hale gelmiş olur. Eş.(16), Eş.(20) ve verilecek sınır şartları, SGF metodunu oluştururlar.  $\theta_{m,n}$  hesaplanarak ve Eş.(20), Eş.(16)'de kullanılarak, basit iterasyon tekniği ile hücre kenarı açılmal akıları için çözülebilir eşitlikler, aşağıdaki gibi elde edilir,

$$\Psi_{m,i+1/2} = \sum_{n=1}^{N/2} A_{m,n} \Psi_{n,i-1/2} + \sum_{n=1+N/2}^N A_{m,n} \Psi_{n,i+1/2} \quad 1 \leq m \leq N/2 \quad (24a)$$

$$\Psi_{m,i-1/2} = \sum_{n=1}^{N/2} A_{m,n} \Psi_{n,i-1/2} + \sum_{n=1+N/2}^N A_{m,n} \Psi_{n,i+1/2} \quad N/2 \leq m \leq N. \quad (24b)$$

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Diskret ordinat metotta transport eşitliğinden ve DD yaklaşımından yararlanarak elde edilen denklem sistemi için iterasyon matrisleri oluşturularak çözüme gidilir.  $N=4$  merteye yaklaşıklık için  $f_m=1$  ve  $g_m=0$  sınır şartları kullanılarak, 4 bilinmeyenli 4 denklem sistemi elde edilir. Herhangi bir  $N$  merteye yaklaşıklıkta da,  $N$  bilinmeyenli  $N$  denklem sistemi oluşur. Böyle bir denklem sistemi uygun bir iterasyon tekniği ile bilinmeyen hücre kenarı açısız akıları, basit bir bilgisayar programı ile hesaplanır. Bu sistemi çözmek için başlangıç değeri olarak 1 değerinin alındığı Gauss Siedel iterasyonu kullanılarak Basic programlama dili ile bir bilgisayar programı yapıldı. Bu program ile hücre sayısı 2, 4, 10, 20, 50; izotropik saçılma  $\sigma_{s0} = 0.99 \text{ cm}^{-1}$  ve toplam saçılma tesir kesiti  $\sigma_T = 1 \text{ cm}^{-1}$ ; Gauss-Legendre quadrature setleri kullanılarak hücre kenarı açısız ve skaler akıları hesaplandı.  $N=4$  merteye yaklaşıklık için DD sonuçları SGF metot sonuçları ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 1'de verildi.

Spektral Green Fonksiyonları (SGF) kullanılarak elde edilen hücre kenarı açısız akıları  $\mu_m > 0$  için  $f_m=1$ ,  $\mu_m < 0$  için  $g_m=0$  sınır şartları ve  $\sigma_T = 1 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\sigma_s = 0.99 \text{ cm}^{-1}$ ,  $a = 10 \text{ cm}$ ,  $Q_0 = 0$  materyal parametreleri kullanılarak hücre kenarı açısız akıları elde edildi. Bilindiği gibi açısız akının tüm açılar üzerinden integrali skaler akıyı verecektir. Buna göre skaler akılar şu şekilde verilir;

$$\phi(r) = \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega} \psi(r, \mu) d\Omega. \quad (25)$$

Gauss quadrature setleri cinsinden

$$\phi_{i \pm 1/2} = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M \psi_{i \pm 1/2} w_m \quad (26)$$

şeklinde verilir. Biz bu çalışmamızda önce hücre kenarı açısız akılarını hesapladık, sonra Eş.(2)'de tanımlandığı gibi skaler akıları hesapladık.

$$\psi_{mi} = \sum_{n=1}^{N/2} \theta_{mn} \psi_{ni-1/2} + \sum_{n=N/2+1}^N \theta_{mn} \psi_{ni+1/2}, \quad m=1 \dots N, \quad i=1 \dots I, \quad (27)$$

SGF yardımcı eşitliği kullanılarak hücre ortalama açısız akıları da hesaplanabilir. Sonra Eş.(26) kullanılarak hücre ortalama skaler akı hesaplanır. Yukarıda anlatılan DD ve SGF metotları ile hücre kenarı açısız akılara bağlı skaler akıları  $N=4$  merteye durumlar için hesaplandı. Küre yarıçapının 0'dan 10cm'ye kadar değiştiği aralık için akı değerleri bir bilgisayar programı ile hesaplandı.  $r=0, 5$  ve  $10 \text{ cm}$ 'deki sonuçlar açık bir şekilde Çizelge 1'de verildi. Karşılaştırma yapmak için aynı durumlarda  $S_N$  eşitliğinde Diamond-Difference (DD) yaklaşımı ile çözümleme yapılarak sonuçlar aynı çizelgede verildi.

Transport çözümleri için kullanılan, İntegral Transport (İT) ve küresel harmonik ( $P_N$ ) analitik metotları ile  $S_N$  'de nümerik metot sonuçları (DD), bizim yeni geliştirdiğimiz SGF metodu ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, küresel geometride SGF çözümünün DD'den üstün özellikleri olduğu görülmektedir(9,10).  $P_N$ 'in genel çözümünde Bessel fonksiyonlarının karmaşıklığı ve integral sabitlerinin hesaplanmasında güçlükler ile karşılaşılır. Seiwert ve Grandjean (11),  $P_N$  metodu ile küresel geometride A ve B gibi

**Çizelge 1.** Gauss-Legendre quadratürleri ile hücre skaler akılarının  $S_4$  çözümü  
 ( $\sigma_{s0} = 0.99 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\sigma_T = 1 \text{ cm}^{-1}$ ,  $R = 10 \text{ cm}$ )

Hücre Sayısı	$\phi(0)$		$\phi(5)$		$\phi(10)$		İterasyon Sayısı	
	SGF Metot	DD Metot	SGF Metot	DD Metot	SGF Metot	DD Metot	SGF Metot	DD Metot
2	0.9325	1.1010	0.4299	1.1236	0.0416	0.2540	48	2
4	0.9325	0.9980	0.4299	0.9076	0.0416	0.1400	84	8
10	0.9325	0.9325	0.4299	0.4298	0.0416	0.0415	186	321
20	0.9325	0.8090	0.4299	0.4305	0.0416	0.0416	346	485
50	0.9325	0.9325	0.4299	0.4304	0.0416	0.0416	780	943

integral sabitlerinin bilgisayarsız kolay hesaplanma yolunun olmamasından dolayı, Benchmark kaliteli çözüm elde edilemeyeceğini bildirmektedirler. Onun için bu durumlarda özel çözümlere gidilir. Ama SGF metotta daha önce hiç kullanılmayan sınır şartları ile integral sabitleri iterasyonlar ile kolaylıkla bulunmaktadır. Transport eşitliği çözümü için, uzaysal Diamond Difference (DD) yaklaşımı ile diskret ordinat  $S_N$  metodu, nükleer reaktör fiziğinde ve zırh hesaplamalarında geniş bir şekilde kullanılır. Diskret ordinat metot transport çözümleme sonuçları, IT (İntegral Dönüşüm) metot ve difüzyon teori temelli metot sonuçlarından daha doğruluğa sahip olmasına rağmen, programlanması geniş bilgisayar zamanı gerektirmekte, negatif skaler akı değerleri verebilmekte, yuvarlatma hatası içermekte ve açısız türev içeren küresel geometri denklemlerinde çok güçlükler ile karşılaşılır. Bu çalışmada DD ile çözülen  $S_N$  eşitliğinde  $N$ 'in küçük değerleri için negatif akı ve doğru olmayan sonuçlar ile karşılaşılmaktadır (Çizelge 1). Ama,  $N$  yaklaşım sayısının hangi durumu olursa olsun, SGF metot negatif akı değeri vermeyen ve yuvarlatma hatalarından bağımsız olmaktadır.

Fletcher (17), Garis (18), Sharma (19) ve Kobayashi (20)'nin yaptığı çalışmalardan alınan  $P_N$  metot sonuçları SGF metot ile elde ettiğimiz sonuçlar ile uyumludur. Aynı şekilde Sharma(18)'nin yaptığı  $S_N$  sonuçları ve bizim hesapladığımız  $S_N$  sonuçları ( $N$ 'nin büyük değerlerinde), yeni geliştirdiğimiz Spektral Green Fonksiyonu metodu sonuçları ile uyum içinde olduğu Çizelge 1'e bakıldığında anlaşılmaktadır.

## 5. SONUÇ

Burada önceki bölümde bahsedilen Spektral Green Fonksiyonları (SGF) ve diskret ordinatın DD metodunun iterasyon matrisleri, hücre kenarı açısız akıları, hücre ortalama açısız akıları ve hücre ortalama skaler akılarının nümerik değerleri çizelge ve şekiller halinde detaylı olarak verilerek sonuçlar tartışılacak.

$\sigma_T = 1 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\sigma_s = 0.99 \text{ cm}^{-1}$ ,  $a = 10 \text{ cm}$ ,  $Q_0 = 0$  ile homojen bir küre ve sınır şartları bir önceki bölümdeki gibi verilmiş olan problemin çözümü, farklı uzaysal hücre sayıları için, standart  $S_4$  Gauss - Legendre quadrature setleri ile yapıldı. Öneminden dolayı  $S_4$  için hesaplanan sonuçların grafiği Şekil 1'de verildi.  $r=0, 5$  ve  $10 \text{ cm}$ 'de hücre kenarı skaler akıları, Çizelge 1'de sunuldu.  $\epsilon = 10^{-7}$  yakınsaklık kriterini sağlamak için gerekli olan iterasyon sayısı da verildi. Bu çizelgede ilk sütunlar, hücrelerin sayılarını; son

sütunlar ise iterasyon sayılarını gösterir. Diğer üç sütunda ise, iki metottan elde edilen çözüm sonuçlarını göstermektedir. Çizelge 2'de gösterildiği gibi skaler akılar 0'dan başlayarak 10cm'ye kadar hesaplandı.  $S_N$  'de DD yaklaşımı ve SGF olan iki metot'dan elde edilen sonuçlar oldukça uygundur.

Her bölgede  $Q_n(r)$  kaynağı sıfır kabul edildi. Fakat, metotlarda,  $Q_n(r)$  kaynağının herhangi bir fonksiyonel formu kullanılabilir ve analitik özel bir çözümü elde edilebilir. Bu çalışmada akılar iki metotta da  $N=4$  mertebesi için elde edildi. Fakat SGF metotta bu  $N>4$  olan keyfi mertebelerin quadrature setlerine de uygulanabilir. Bu durumda  $v_k, 1 \leq k \leq N$ , özdeğerlerini hesaplamak için  $N$ 'inci dereceden polinom denklemi çözümlenmelidir.  $N$  büyüdükçe sonlu aritmetik ve yuvarlatma hatası oluşabilir. Bunun yanında  $\theta_{m,n}$ 'ı hesaplamak için  $N$  sistemden oluşan  $N$  tane Lineer cebrik denklem takımı çözümlenmelidir;  $N$  büyüdükçe  $\theta_{m,n}$  bilinmeyenlerin katsayıları çok dağınıqlaşır. Bu durum, SGF metodun doğruluğuna,  $N$  üzerinde pratikte bir sınırlama getirir.  $N=4$  mertebe yaklaşımı birçok fiziksel özelliği sağladığından SGF metot ve DD metot ile hesaplanan skaler akı sonuçları, daha detaylı bir şekilde  $r$  konumunun fonksiyonu olarak verelim:

**Çizelge 2.**  $S_4$  ile kürede SGF ve DD için nötron akısı değerleri  
(Hücre adımı;  $h=2\text{cm}$ )

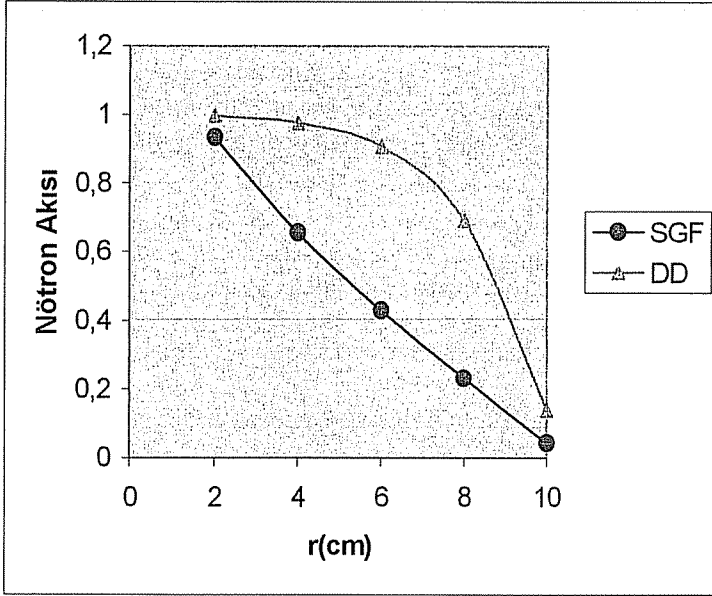
Konum (cm)	Dört hücre için kürede nötron akısı	
	SGF	DD
2	0,9325	0,998
4	0,6541	0,975
6	0,4298	0,907
8	0,2325	0,692
10	0,0416	0,14

Nötronların aynı enerjiye sahip olduğu kabullenildi. Yani bir gruplu durum için çalışıldı. Burada, geliştirilen Spektral Green Fonksiyonu metodu, çok gruplu problemlerin çözümlerine de uygulanabilir. Bunun için,  $\theta_{m,n}$ 'ı  $\theta_{m,n,g}$  şeklinde olmasını düşünmek yeterlidir.  $\theta_{m,n,g}$ ;  $\mu_n$  yönünde,  $g$  grup enerjisi ile gelen parçacıkların  $\mu_m$  yönünde  $g$  grup enerjisi ile ilerleyen parçacıkların, hücre ortalama akıya katkısını tanımlar. Yine bu tür hesaplamada sonuçlar yuvarlatma hatasından bağımsız olur.

SGF metodunun, herhangi bir saçılım kanunu ile çok boyutlu problemleri de çözmek için kullanılabileceğini söyleyebiliriz. Örneğin kartezyen geometride iki boyutlu  $x,y$  geometrili  $S_N$  problemlerinde integral sabiti gibi kaynağın yanına, enine sızıntı terimi olarak  $S_N$  eşitlikleri  $x$  ve  $y$  üzerinden ayrı ayrı integre edilir (9).

Ortogonal (dik) polinomları transport problem çözümlerinde kolaylık sağladığından genişçe kullanılır. Bu çalışmada, nötron transportunun çözüm metotlarında, birçok fonksiyonun özellikleri, detaylı bir şekilde incelendi. Bu fonksiyonların tanım aralıklarına ve diğer özelliklerine bakılır. Buna göre nötronların dağılımını temsil eden

çözüm fonksiyonunun uzaysal kısmına mı, yoksa açısal kısmına mı uyum göstereceğine karar verilir. Bessel ve Legendre gibi ortogonal polinomları ve Green fonksiyonlarının bu çalışmada kullanıldığı gibi, Laguerre ve Chebishev polinomları da diğer geometri ve transport problemlerinde, kullanılabilirliği açıktır (2).



Şekil 1. S<sub>4</sub> ile dört hücreli kürede SGF ve DD için nötron akısı

Bilindiği gibi dilim geometride asimtotik çözüm için  $c$  çoğalma faktörü 1'e giderken asimtotik çözüm için iki tane reel özdeğer bulunmaktadır.  $P_N$  metodunda  $N$  yeteri kadar büyük alındığında bu sonuçlara ulaşılmakta ve diğer özdeğerlerde  $-1 < \nu < 1$  aralığında yayılmaktadır. Bu özdeğer sonuçları, küresel geometride transport denkleminin çözümünde de aynı kullanıma ve aynı değerlere sahiptirler (5, 13).

Case ve Zweifel (2), Tezcan ve Yıldız (21), Yavuz (10), Yıldız (5) gibi araştırmacıların çalışmalarında incelenen dilim geometride kullanılan analitik Case metodu ve küresel geometride Bessel fonksiyonları ile yapılan  $P_N$  metodu, bu metodun elde edilmesinde büyük katkı sağlamıştır. Basitlik için genellikle bir şey kayıp etmeden dış kaynaklı, zamandan bağımsız tek boyutta, izotropik saçılmalı transport denklemi, küresel geometride ele alındı. Transport denkleminin bu şartlardaki durumu; dilim, silindirik ve küresel geometrilerde çözüm metodlarını araştırmaya ve nötronların transportu için yeni çözüm özelliklerini, ortaya çıkarması bakımından önemli bulduğumuzu belirtelim. Bu metodların açık, basit, nümerik ve diğer yöntemlere taşınabilir olması gibi özellikleri bu metodların yaygın kullanılabilirliğini göstermektedir. Ayrıca bu analitik ve nümerik metod daha önce kimse tarafından küresel geometri için kullanılmamış bulunmaktadır. Bu metodlar ile İnnü saçılımı olarak

bilinen sentetik saçılım kerneli kullanılarak; ileri ve geri saçılım, kritik kalınlık, Albedo ve Milne problemleri incelenebilir (21).

Sonuç olarak, analitik bir çözüme dayalı olarak çözülebilen nümerik Spektral Green Fonksiyonu metodu ile küresel geometri de daha doğru ve pozitif sonuçlar elde etmiş bulunuyoruz ve bu metot başlıca şu özellikleri içermektedir: Bu metot DD metot gibi birçok transport çözümünün maruz kaldığı uzaysal yuvarlatma hatalarından bağımsız; yeni analitik bir çözüm içermekte; açılal türev işlemlerinden uzak olarak açılal türevsiz eşitliğe sahip; en az diğer  $S_N$  de DD metot kadar hızlı ve bütün saçılımları genel olarak yuvarlatma hatasız bir şekilde ele alır. Ek olarak SGF metot yüksek mertebe  $S_N$  hesaplarına uygulanabilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Duderstadt, J.J. and Martin, W.R., "Transport Theory", The university of Michigan, Ann Arbor, 1978.
2. Case, K.M. and Zweifel, P.F., "Linear Transport Theory", Addison-Wesley Company. London, 1967.
3. Sjöstrand, N.G., "Criticality of reflected spherical reactors for neutrons of one speed", Ann. Nucl. Energy 13, 533-537, 1986.
4. Chandrasekher, S., "Radiative Transfer", Oxford University Press, New York, 1960.
5. Yildiz, C., "The spherical harmonics method for anisotropic scattering in neutron transport theory", JQSTR 71, 25-37, 2001.
6. De Barros, R.C. and Larsen, E.W., "A spectral nodal method for one group  $x, y$  geometry discrete ordinates problems", Nucl. Sci. Eng. 111, 34, 1992.
7. Anlı, F. and Güngör, S., "A spectral nodal method for one group  $x, y, z$  cartesian geometry discrete ordinates problems", Annals of Nuclear Energy 23, 669, 1996.
8. Anlı, F., "Spectral Green's Function method for neutron transport" Ann. Nucl. Energy, vol. 28, 1033-1042, 2001.
9. De Barros, R.C. and Larsen, E.W., Nucl. Sci. Eng. 104, 199, 1990.
10. Yavuz, M., "Methods for computing  $S_N$  eigenvalue and eigenvectors of slab geometry transport problems", Ann. of Nucl. Energy, Vol. 25, 149-160, 1997.
11. Seiwert, C.E. and Grandjean, P., "Three basic neutron transport problems in spherical geometry", Nucl. Sci. and Engng., 70, 96-110, 1979.
12. Kornrich, D.E. and Ganapol, B.D., "The suite of analytical benchmarks for neutral particle transport in infinite isotroically scattering media", Nucl. Sci. Eng. 125, 24-50, 1997.
13. Sahni, D.C. and Sharma, A., "Computation of higher spherical harmonics moment of the angular flux for neutron transport problems in spherical geometry" Ann. Nucl. Energy 27, 411-433, 2000.
14. Lathrop, K.D., Nucl. Sci. Eng. 134, 239, 2000.
15. Mitsis, G.J., "Transport Solutions to the Monoenergetic Critical Problems", (Thesis), ANL-6787, 1963.
16. Lewis, E.E. And Miller, W. F., "Computational Methods of Neutron Transport", John Willey and Sons, New York, 1984.

17. Fletcher, J.K., "A semi analytic method for the solution of the neutron transport equation in plane and spherical geometry", *Nucl. Engng.*, 77, 373-376, 1981.
18. Sharma, A., "Spherical harmonics moments of neutron angular flux for spherically symmetric systems", *Ann. Nucl. Energy*, 7, 15-21, 2000.
19. Garis, N.S., "One speed neutron transport eigenvalues for reflected slabs and spheres", *Nucl. Sci. and Engng.*, 107, 343-358, 1991.
20. Kobayashi, K., Oigawa, H. and Yamagata, H., "The spherical harmonics method for the multigroup transport equation in x-y geometry", *Ann. Nucl. Energy* 13, 663-678, 1986.
21. Tezcan, C. and Yıldız, C., "The criticality problems with  $F_N$  method for the FBIS model", *Ann. Nucl. Energy*, 13, 345-348, 1986.



## YAPAY GÖLLERDE KIYI KENAR ÇİZGİSİ'NİN TESPİTİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLARA BİR ÖRNEK: ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKESİ VE SEYHAN BARAJ GÖLÜ

**Kemal GÜRBÜZ**

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

**ÖZET :** 3621 sayılı kıyı kanunu üzerinde yapılmış olan son değişikliklerle daha öncekilerinin uygulanması sırasında ortaya çıkan birçok soruna açıklık getirilmiş ve gerçek anlamıyla uygulandığında kıyılarımızı koruyucu önlemlerin alınmasını sağlamıştır.

Bu çalışmaya konu olan Seyhan Baraj Gölü'nün kıyı kenar çizgisinin genel olarak kıyı kanununda yer alan doğal ve suni göllerdeki kıyı kenar çizgisi tanımına uyduğu gözlenmektedir. Buna rağmen; alandaki hem jeolojik hem de jeomorfolojik yapı bazı kesimlerin farklı kıyı tipleri sunmasını sağlamaktadır. Bu ise, Kıyı Kenar Çizgisi'nin tespiti sırasında farklı yorumlamalara neden olmakta ve uygulamada istenmeyen durumların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada; Seyhan Baraj Gölü'nün Çukurova Üniversitesi Yerleşkesi'ne ait kıyısı üzerinde tespit edilmiş jeolojik ve jeomorfolojik veriler ışığında bu sorunlar tartışılacak ve uygulamaya yönelik öneriler sunulacaktır.

### AN EXAMPLE OF COASTLINE APPLICATION PROBLEM ON ARTIFICIAL LAKES: ÇUKUROVA UNIVERSITY CAMPUS AND SEYHAN DAM LAKE

**ABSTRACT :** Modified Coastal Zone Management Act of 3621 eliminates confusions of previous misapplications and when applied correctly, it is now a powerful tool to protect our coastal areas.

Coastline of Seyhan Dam Lake, subject of this study; is similar to that defined in law for natural and artificial lakes. However, geological and geomorphological structure of the area causes formation of different coast types. During determination of the coastline, these differences result in different interpretations by people determining and applying the line according to the law.

With this study, geological and geomorphological nature of the Seyhan Dam Lake, with a quite long coastline within the Çukurova University Campus area, will be discussed and some suggestions will be given for application.

## 1. GİRİŞ

Çukurova Üniversitesi Yerleşkesi (Şekil 1), Türkiye'nin en büyük Neojen sedimantasyon alanlarından birisi olan Adana Baseni güney kesimlerinde yer almaktadır. Aşağıda birkaç tanesi kaynak olarak verilmiş olan çok sayıda araştırmannın yapıldığı Adana Baseni sedimanter istifi Mesozoyik temel üzerine diskordan olarak gelişmiştir. Yaklaşık 10 km. kadar bir kalınlığa sahip olan istif, genelde güneye doğru yaklaşık 10-15 derecelik bir eğime sahiptir. Oligosen?-Alt Miyosen yaşlı karasal özellikteki Gildirli Formasyonu sedimanlarıyla başlayan sedimantasyonu Erken Miyosen'de oluşan Karaisalı ve Kaplankaya formasyonlarının oluşumu, bunun üzerine Langiyen-Serravaliyen zaman aralığında oluşan Cingöz ve Güvenç formasyonlarının sedimantasyonu takip eder. Bunlarında üzerine Tortoniyen'de Kuzgun formasyonu, Pliyosen'de ise Handere formasyonları yer almaktadır.

Çukurova Üniversitesi arazisinin bulunduğu sahada ise, Handere Formasyonu'na ait kilttaşları, kumtaşları ardalanması ve istifin üst kesimlerinde çakıltaşlarından oluşan seviyeler gözlenmektedir. Bu kesimlerde ayrıca; Seyhan Nehri kıyısı ile nehirlerin yakınlarında taraça oluşumları ile bölgeye özgün özellikleri olan kaliçi oluşumları yer almaktadır (1-6). Üniversite yerleşim alanında yüzeylenen bu kayaçlar farklı topoğrafik oluşumlara neden olmuştur.

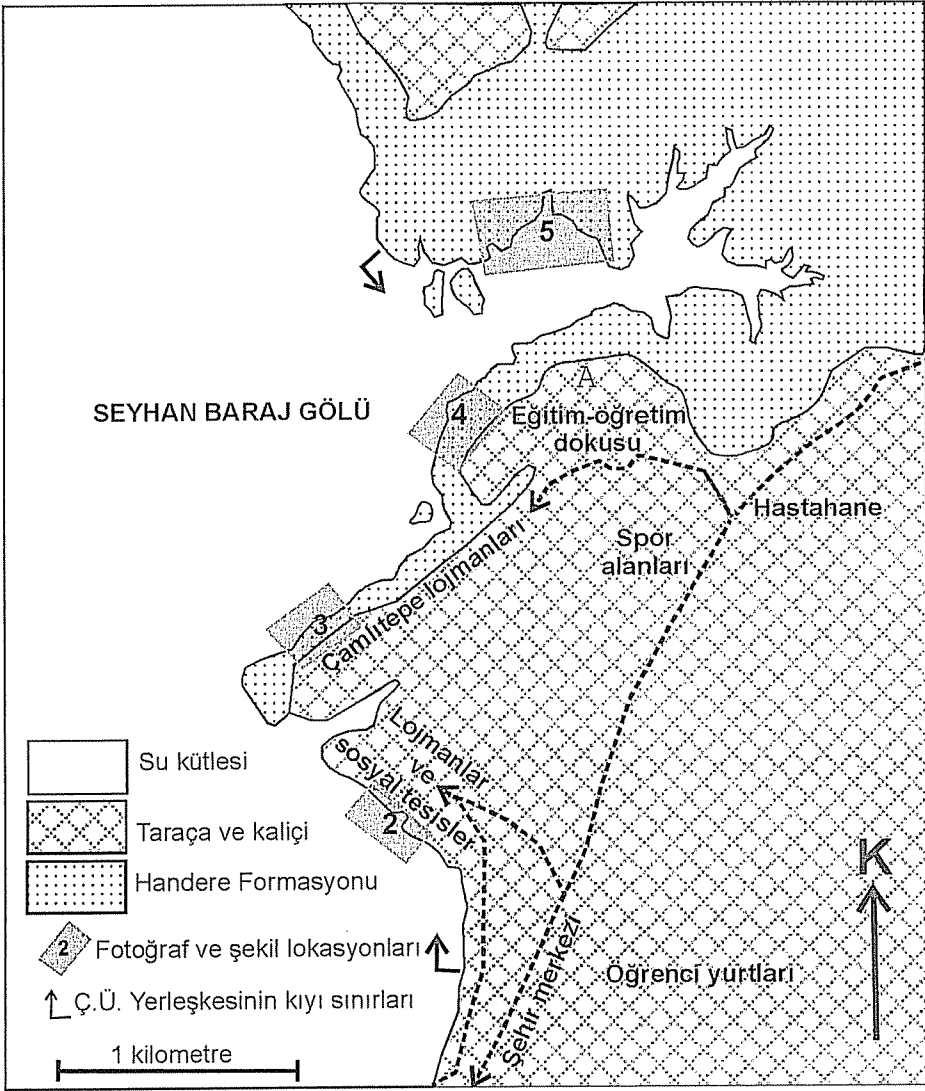
Seyhan Baraj Göl alanı Kuzgun ve Handere formasyonları içerisinde akmakta olan Seyhan Nehri üzerinde yer almaktadır. Göl alanı içerisindeki Kuzgun ve Handere formasyonları genel olarak killi, siltli kayaçlar ile kumtaşlarının ardalanmasından oluşmuştur. Genel olarak aşınmaya karşı dayanımlı olmayan gevşek dokulu sedimanter kayaçlardan oluşmaktadır. Bazı alanlarda ise genelde istifin üst kesimlerinde yer yer çakıltaşı seviyeleri şeklinde gözlenmektedir. Güneye ve güneydoğuya doğru istif taraça konglomeraları ve kaliçi oluşumlarıyla son bulmaktadır. Taraçalar Seyhan Nehri'nin Kuvaterner dönemindeki oluşumlarıdır. Dolayısıyla genel olarak Seyhan Nehrine paralel bir alanda farklı topoğrafik seviyelerde gözlenmektedir. Ayrıca Adana Baseni'nin güney kesimlerinde gözlenen kaliçi oluşumları da gözlenmektedir. Hem taraçalar, hem de kaliçi oluşumları alttaki az dayanımlı birimler üzerinde sert bir topoğrafya oluşturmaktadır.

Bu çalışma ile; Çukurova Üniversitesi yerleşim alanında Seyhan Nehri baraj gölü kıyısı için Kıyı Kenar Çizgisi'nin çizimi ile çevre etkileşimi incelenecek ve bunlarla ilgili öneriler sunulacaktır.

## 2. KIYI KANUNU VE GENEL TANIMLAR:

Kıyı Kanunu'nun tarihsel gelişimi ve yapılmış olan değişiklikler ve kanunun hepsi burada tartışılmayacaktır. Detaylı bilgi ve kanunlar için ilgili kaynaklara başvurulması önerilir. Burada sadece Kıyı, Kıyı Kenar Çizgisi, Sahil şeridi, Kıyı Çizgisi, Dar-Yüksek Kıyı, Alçak-Basık Kıyı gibi tanımlar Kıyı Kanunu ve ilgili yönetmelikteki şekliyle verilecektir.

1.7.1992 tarih ve 3830 sayılı Kanun ile değişik 4.4.1990 tarih ve 3621 sayılı Kıyı Kanununun 5'inci ve 16'ncı maddeleri gereğince düzenlenen 3.8.1990 tarih ve 20594 sayılı Resmî Gazete de yayımlanan Kıyı Kanun'unun uygulanmasına Dair Yönetmelikte bu tanımlar şu şekilde yer almaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanının jeoloji ve yerbulduru haritası.

**Madde 4-** Bu Yönetmelikte kullanılan deyimler aşağıda tanımlanmıştır.

**Kanun:** (Değişik: 13.10.1992/21374) 1.7.1992 tarih ve 3830 sayılı Kanun ile değişik 4.4.1990 tarih ve 3621 sayılı Kıyı Kanunudur. Bakanlık: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'dır.

**Kıyı Çizgisi:** Deniz, tabii ve suni göl ve akarsularda, taşkın durumları dışında, suyun kara parçasına değdiği noktaların birleşmesinden oluşan meteorolojik olaylara göre değişen doğal çizgidir. Tabii ve suni göllerde Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğüne belirlenen maksimum su kotu kıyı çizgisini belirler.

**Kıyı Kenar Çizgisi:** (Değişik: Resmi Gazete 30.3.1994/21890) Deniz, tabii ve suni göl ve akarsuların alçak-basık kıyı özelliği gösteren kesimlerinde kıyı çizgisinden sonraki kara yönünde su hareketlerinin oluşturduğu, kumsal ve kıyı kumullarından oluşan kumluk, çakıllık, kayalık, taşlık, sazlık, bataklık ve benzeri alanların doğal sınırı; dar-yüksek kıyı özelliği gösteren kesimlerinde ise, şev ya da falezin üst sınırıdır.

Bu sınır doldurma suretiyle arazi elde edilmesi halinde de değiştirilemez. Kıyı kenar çizgisi tespitine konu olmayan akarsuların, deniz, tabii ve suni göllerle birleştiği yerlerde, kıyı kenar çizgisi deniz, tabii ve suni göl kıyı kenar çizgisi olarak tespit edilir.

**Kıyı:** (Değişik: Resmi Gazete 30.3.1994 / 21890) Kıyı çizgisiyle kıyı kenar çizgisi arasındaki alandır.

**a. Dar-Yüksek Kıyı:** Plaj ya da abrazyon platformu olmayan veya çok dar olan, şev veya falezle son bulan kıyılardır.

**b. Alçak-Basık Kıyı:** Kıyı çizgisinden sonra da devam eden, kıyı hareketlerinin oluşturduğu plaj, hareketli ve sabit kumulları da içeren kıyı kordonu lagün gölü, lagün alanları, sazlık, bataklık ile kumluk, çakıllık taşlık ve kayalık alanları içeren kıyılardır.

**Sahil Şeridi:** (Değişik: Resmi Gazete 13.10.1992 / 21374) Deniz, tabii ve suni göllerin kıyı kenar çizgisinden itibaren kara yönünde yatay olarak en az 100 m genişliğindeki alandır.

İki bölümden oluşan bu alan kullanım amacı ve doğal eşiklere göre belirlenir.

**Sahil şeridinin birinci bölümü:** Sahil şeridinin tümü ile sadece açık alanlar olarak düzenlenen; yeşil alan, çocuk bahçesi, gezinti alanları, dinlenme ve bu Yönetmelikte tanımlanan rekreatif alanlardan ve yaya yollarından oluşan, kıyı kenar çizgisinden itibaren, kara yönünde yatay olarak 50 m genişliğinde belirlenen bölümdür.

**Sahil şeridinin ikinci bölümü:** Sahil şeridinin birinci bölümünden sonra, kara yönünde yatay olarak en az 50 m. genişliğinde olmak üzere belirlenen ve üzerinde sadece Kanunun 8. maddesinde ve bu Yönetmelikte tanımlanan toplumun yararlanmasına açık günübirlik turizm yapı ve tesisleri, taşıt yolları, açık otoparklar ve arıtma tesislerinin yer aldığı bölümdür.

### 3. SEYHAN BARAJ GÖLÜ KİYISINDA BELİRLenen KİYİ TİPLERİ

Seyhan Baraj Gölü, özellikle Çukurova Üniversitesi Yerleşke alanı ile ilgili olan kesiminde yapılmış olan arazi incelemeleri sonucunda aşağıda belirtilen kıyı ilişkileri saptanmıştır (Şekil 2, 3, 4, 5).

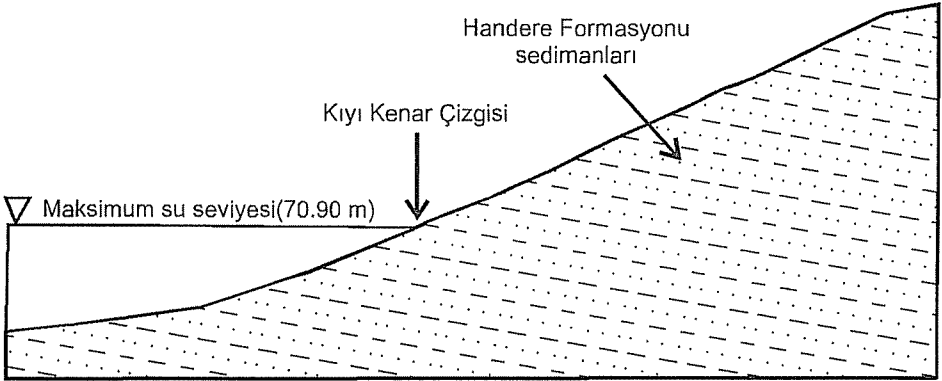
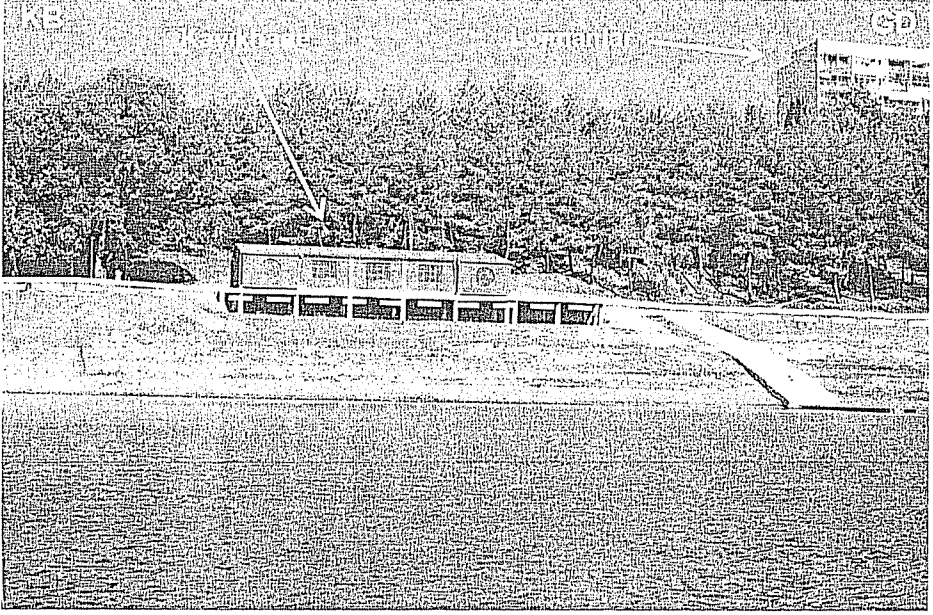
1. Orta-az eğimli bir topoğrafya ile suyla birleşen kıyı. Burada herhangi bir şev veya benzeri bir doğal yapı gözlenmemektedir. Genellikle çakıltaşlarıyla kaplı sert zeminlerde dik, daha yumuşak kayalardan oluşan zeminlerde yayvan, az eğimli bir topoğrafya sunmaktadır. Lojmanların önü, Fen-Edebiyat Fakültesi karşısı ve İlahiyat Fakültesi kuzeyinde bu tip kıyı sözkonusudur (Şekil 2).

2. Orta-az eğimli bir topoğrafya ve sonrasında bir şevle suyla birleşen kıyı. Genellikle killi kayaların yer aldığı kesimlerde dalgaların kıyıyı aşındırarak geliştirdiği ve kıyı

kanundaki Dar Kıyı tanımına giren kıyılar. Bu gibi alanlarda oluşan şevin yüksekliği değişken olup, bazen 15 metreyi bulmaktadır. Mühendislik-Mimarlık ve Fen-Edebiyat Fakültesi karşısı ile bunların kuzeyinde gözlenen kıyı tipidir (Şekil 4).

3. Yukarıda tanımlanan her iki tipteki kıyısında gerisinde eski nehir teraslarının (taraçaların) yer aldığı kıyı tipi. Bu alanlarda su seviyesinden kara yönüne doğru farklı eğimlerdeki bir topoğrafyadan sonra yer alan, ancak su hareketleriyle ilgisi olmayan yatay ve yataya yakın bir eğime sahip olan Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı çakıltaşlarının oluşturduğu yamaçlar bulunmaktadır. Bu yamaçların kıyıdan ve kıyı hareketlerinden uzaklığı 10 ile 500 metre arasında değişmektedir.

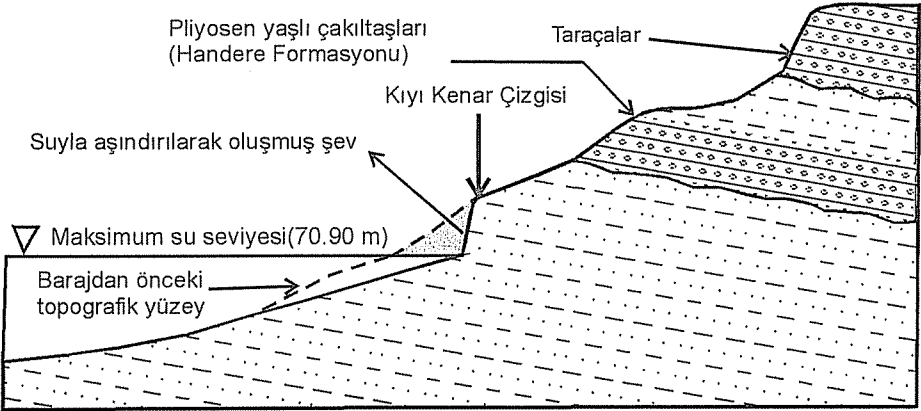
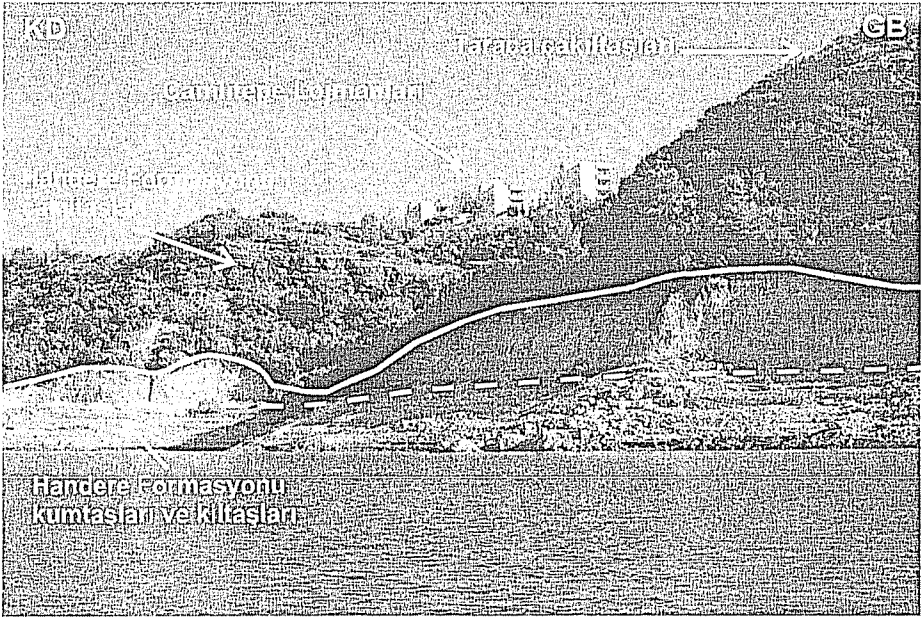
Göl kıyısı ile taraçaların oluşturduğu şevin en üst seviyesi arasındaki alan genellikle fazla eğimli olup su hareketleriyle ilgisi olmayan maki örtüsü ile kaplı bir alandır. Çakıltaşı seviyelerinin kıyıya yakınlaştığı yerlerde bu falezler göl kıyısında kıyı hareketleri ile oluşmuş falezlerle karışmakta ve dar kıyı gibi gözlenmektedir. Dolayısıyla, bu gibi kesimlerde (Şekil 3) kıyıya yakın olan bu falezler Kıyı Kenar Çizgisi çizilirken dikkat edilmesi gereken bir durum ortaya koymaktadır. Ancak Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binalarının kuzeyindeki alanlara gelindiğinde alttaki şevler ile taraçaların oluşturduğu şevlerin arasındaki mesafe artmaktadır. Çamlıtepe Lojmanları güneybatı ucunda ve Fen-Edebiyat Fakültesi kuzeyinde bu tip kıyı özelliğinde alanlar bulunmaktadır (Şekil 3). Ancak, bu tip yamaç sekileri çakıltaşlarının kıyıdan tamamen uzaklaştığı alanlar da bulunmaktadır. Fen-Edebiyat Fakültesi karşısındaki Ziyaret Tepedeki taraçalar buna bir örnektir (Şekil 5). Bundan dolayı, taraça konglomeralarının kıyıya yaklaştığı yerdeki falezin üst sınırı Kıyı Kenar Çizgisi olarak alınıp ve bu falezin üst sınırını takip ederek çizilirse belli bir mesafe sonra taraça konglomeraları kıyıdan yaklaşık 500 metre uzakta kalacaktır. Bunun için; Kıyı Kenar Çizgisi göle ait maksimum su kotu olan 70.90 metreden geçirilmelidir. Ancak bazı kesimlerde (Şekil 3) görüldüğü üzere, göl kıyısında su hareketleri ile oluşmuş dik falezler bulunmaktadır. Bu durumda Kıyı Kenar Çizgisi dar kıyı tanımında olduğu gibi bu falezin üst sınırından geçirilmelidir.



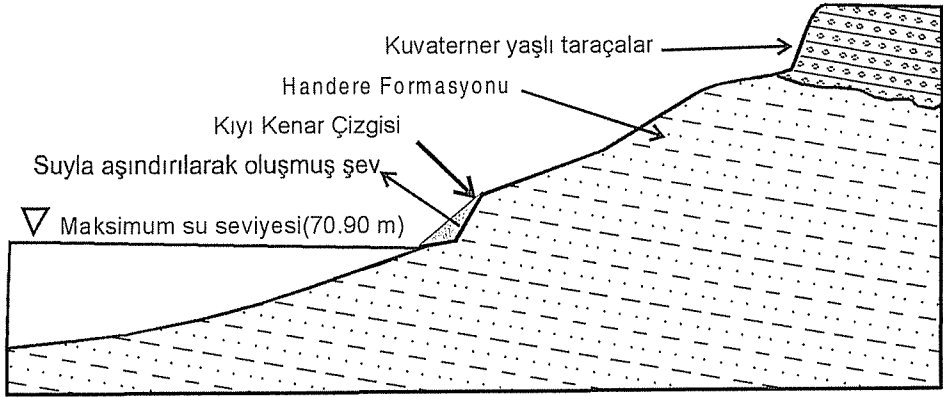
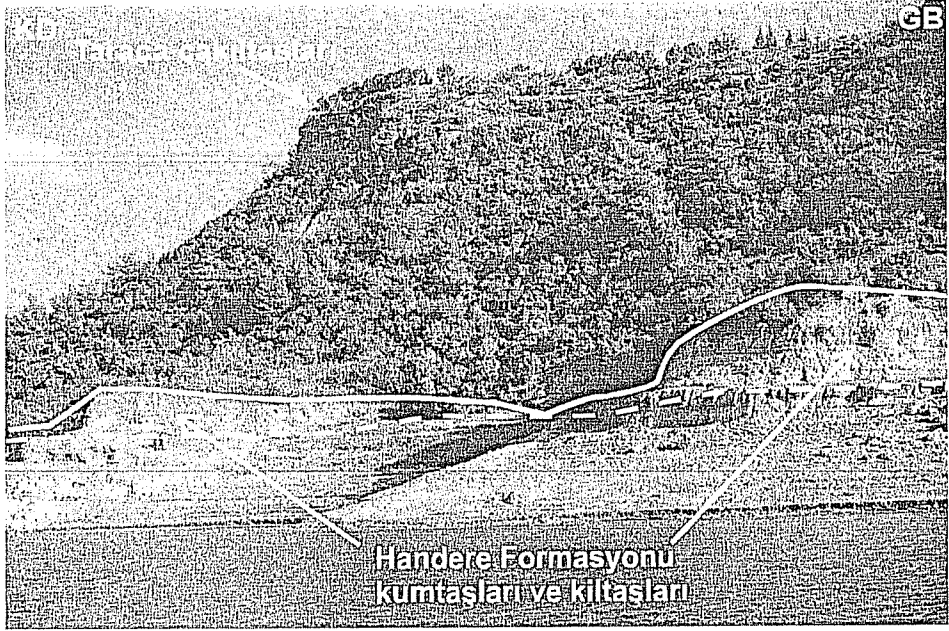
Şekil 2. Lojmanlar ve sosyal tesislerin güney batısındaki kıyı ve kıyı kenar çizgisi ilişkisi.

Not: Bu ve bundan sonraki şekillerde kıyı çizgisi kesikli çizgi, kıyı kenar çizgisi devamlı çizgi olarak gösterilmiştir.

YAPAY GÖLLERDE KIYI KENAR ÇİZGİSİ'NİN TESPİTİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLARA  
BİR ÖRNEK : ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKESİ VE SEYHAN BARAJ GÖLÜ

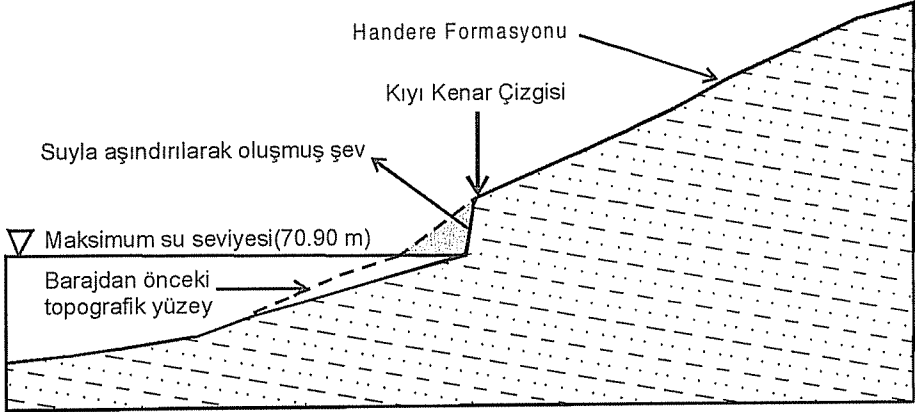
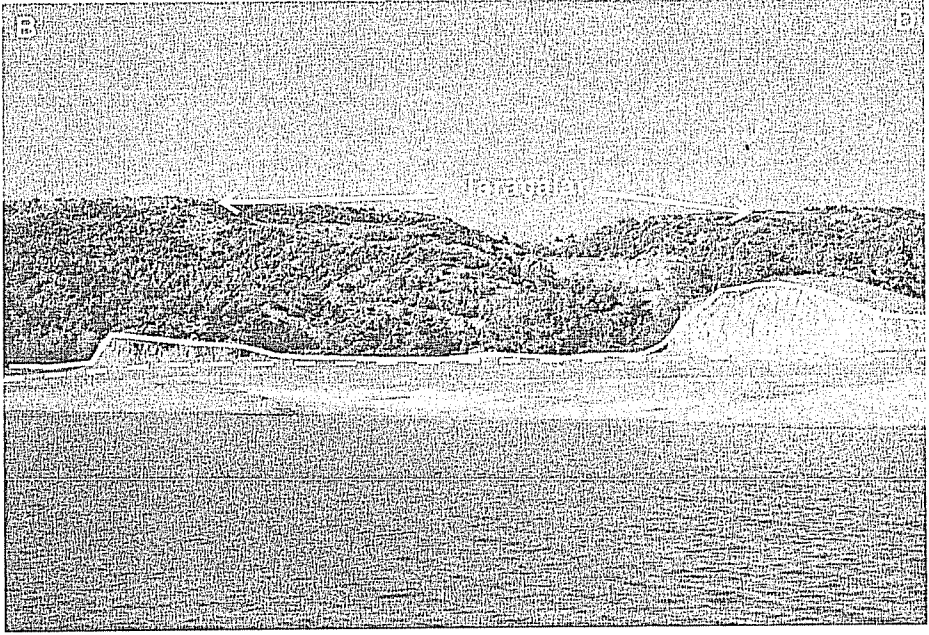


Şekil 3. Çamlıtepe lojmanları batı-güneybatısındaki kıyı ve kıyı kenar çizgisi ilişkisi.



Şekil 4. Eğitim-öğretim dokusu hemen kuzeyindeki kıyı ve kıyı kenar çizgisi ilişkisi.





Şekil 5. Eğitim-öğretim dokusu kuzeyinde, baraj gölü karşı kıyısındaki kıyı ve kıyı kenar çizgisi ilişkisi.

Bütün bunların yanısıra; Çukurova Üniversitesi Yerleşkesi içerisinde bulunan taraça konglomeraları; az eğimli, sert, yapılaşmaya uygun bir zemin oluşturmaktadır. Bu taraçalar ile kıyı kenar çizgisi arasında kalan alanda (hemen hemen tüm Ç.Ü. kıyısında) çalılık ve ormandan oluşan, doğal hayatın geliştiği kanunda belirlenen bir sahil şeridi (genişliği değişken) bulunmaktadır. Bu alan, çok fazla eğime sahip, jeolojik olarak yapılaşma için sakıncalı olan alanlardandır.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapay ve suni göllerin kıyıları aslında deniz ile ilgili kıyılara benzerlik sunarlar (7). Ancak; Seyhan Baraj Gölü'nün bir kısmında yapılmış olan bu çalışma sonucu göstermiştir ki kıyı oluşumları alanın jeolojisi ve jeomorfolojik yapısı ile çok yakın ilişkilidir. Bu yapıya bağlı olarak ta hem değişiklikler sunmaktadır.

Kıyı Kenar Çizgisi'nden itibaren taraçaların bulunduğu alana doğru olan kesimde, genişliği değişken olan bir sahil şeridi bulunmaktadır. Bu şerit; Çukurova Üniversitesi'nin koruma etkisi içerisinde kalmış ve doğal hayatın yapılandığı, korunması gereken bir alan haline gelmiştir. Bu alanın jeolojik yapısı da dikkate alındığında, her türlü yapılaşmaya kapatılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Kıyı Kanunu'nda yer alan yapay göllerden birisi olan Seyhan Baraj Gölü'nde kanunda yer alan Kıyı Kenar Çizgisi tanımına uymakla beraber yukarıda sunulan yoruma dayalı olarak değerlendirilebilen yerler bulunmaktadır. Bunun için kanunlarda yer alan Kıyı Kenar Çizgisi ve benzeri tanımlamaların yapay göller için olan kısımlarının bu örnekte olduğu gibi bazı özel durumlar sunabileceği dikkate alınarak gözden geçirilmesi, mümkünse Türkiye'deki buna benzer göllerin tümü için sorunsuz uygulanabilecek şekilde düzenlenmesi ve uygulamaya yönelik açıklayıcı bilgilerin verilmesi gerekmektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Kıyı Kenar Çizgisi Tespit Komisyonu'nun çalışmalarından yola çıkılarak hazırlanmıştır. Yazar katkılarından dolayı Ç.Ü. Rektörlüğü ve Kıyı Kenar Çizgisi Tespit Komisyonu üyelerine teşekkürü bir borç bilir.

#### 6. KAYNAKLAR

1. Schimidt, G.C., "Stratigraphic Nomenclature for the Adana Region Petroleum District", 7, Petroleum Administration Bull, 6., 47-63 s., Ankara, 1961.
2. Yetiş, C. and Demirkol, C. "Adana Baseni batı kesiminin detay jeoloji etüdü", M.T.A. Raporu. Rapor No: 8037, 187 s., Ankara, 1986.
3. Gürbüz, K., "Karaömerli-Akkuyu-Balcalı Bölgesi (N.Adana) Tersiyer istifinin sedimanter jeolojik incelenmesi", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77 s., 1985.
4. Gürbüz, K. and Gökçen, S.L., "Karaömerli-Akkuyu-Balcalı bölgesi (Kuzey Adana) Neojen istifinin sedimanter jeolojik incelenmesi. H.Ü. Yerbilimleri. 12, 69-79, 1985.
5. Gürbüz, K., "Identification and Evaluation of Miocene Submarine fans", in the Adana Basin, Turkey. Ph.D Thesis, University of Keele. 327 p., 1993.

6. Ünlügenc,U.C., “Controls on Cenezoic Sedimentation, Adana Basin southern Turkey”, Ph.D. Thesis, University of Keele, England, 1993.

7. Erol,O., “Türkiye’de kıyıların Doğal Niteliği, Kıyının ve Kıyı Varlıklarının Korunmasına İlişkin “Kıyı Kanunu” Uygulamaları Konusuna Jeomorfolojik Yaklaşım”, Kıyılarımız-Mevzuat-planlama-Uygulama Semineri, Bildiriler. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Yayın No: 61., 31-60. Ankara, 1993.



## BİTKİSEL YAĞ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITILMASI VE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

**Ahmet YÜCEER, Demet BİNGÖL**

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

**ÖZET :** Bu çalışmada, bitkisel yağ üreten bir fabrikadan alınan atıksu numuneleri ile yağlı atıksuların karakterizasyonu araştırılmıştır. Karakterizasyon belirleme çalışması sonunda elde edilen sonuçlar literatür ile birlikte değerlendirildiğinde, söz konusu atıksuların klasik aktif çamur yöntemiyle arıtilamayacağı, atıksu kirlilik yükünün kaynağında azaltılması veya fizikokimyasal ön arıtmanın gerektiği görülmektedir. Alınan tesis içi önlemlerle, KOİ, Yağ-gres ve AKM konsantrasyonları 1/3 – 1/10 oranlarına düşürüldükten sonra bu atıksuların fizikokimyasal arıtilabilirliği koagülasyon – sedimentasyon çalışmaları ile belirlenmiştir. Bu çalışmada en yüksek verim, alüm + kireç kullanılması durumunda elde edilmiştir. Deneyler sonrasında elde edilen bulgular prototip arıtma tesisine uygulanarak tesisin işletme verimi ve aylık kimyasal tüketimi önceki durumuyla karşılaştırılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Yağ Endüstrisi Atıksuları, Atıksu Karakterizasyonu, Tesis İçi Kontroller, Koagülasyon – Sedimentasyon.

## TREATMENT OF VEGETABLE OIL PLANT WASTEWATER: A CASE STUDY

**ABSTRACT :** In this study the characterization of the wastewater from a vegetable oil plant was investigated. When the characterization study results were compared with the previous studies, it was found out that, the pollution load needed to be decreased by in-plant control. After the reduction of COD, Oil-Grease and SS concentrations by 1/3-1/10 taking in-plant control, physico-chemical treatibility of the wastewater was investigated and the highest removal efficiencies were obtained with alum+lime. After applying the experimental results to prototype wastewater treatment plant, the treatment efficiencies and operational costs were compared with the previous situation. **Key words:** Vegetable Oil Wastewater, Wastewater Characterization, In-Plant Control, Coagulation-Sedimentation

\*Bu proje Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Proje No: FBE.2000YL104

## 1. GİRİŞ

Dünya su tüketiminde büyük pay sahibi olan endüstriyel kuruluşlardan kaynaklanan atıksuların arıtılmadan alıcı ortamlara verilmesi durumunda doğada ve çevrede yaşayan canlılar üzerinde birçok olumsuz etkiler açığa çıkar. Bu etkilerin en önemlileri; denizlerde ve/veya diğer alıcı ortamlarda organik kirlenme sonucu oksijen azalması, sudaki askıda katı parçacıkların artması, yağ, ağır metal ve toksik kimyasal maddelerin konsantrasyonlarının artması ve alıcı ortam sıcaklığının değişmesidir (1- 4).

Bitkisel yağ endüstrisi atıkları yüksek kirlilik konsantrasyonları nedeniyle arıtılmadan deşarj edildiklerinde alıcı ortamlarda su kalitesini bozmaktadır. Yağlı atıksuların arıtılması için uzun yıllar farklı yöntemler denenmiştir. Çalışmalar sonucunda ortaya çıkan farklılıklar, çalışma alanının genişliği ile ilişkilidir (5-7). İnsanların beslenme gereksinimlerini karşılayan en önemli tüketim maddelerinden biri olan yağın üretildiği endüstri tesisleri, Çukurova Bölgesi'nde su tüketimi ve atıksu kirlilik yükü bakımından en önemli sektörlerden biridir (8). Bu sebeple, bitkisel yağ üretimi sırasında açığa çıkan atıksuların karakterizasyonu, arıtılabilirliğinin incelenmesi, uygun arıtma yöntemlerinin belirlenmesi ve işletme maliyetinin azaltılmasına yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmalar çevre kirlenmesinin önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır (9).

Bu çalışmanın amacı, bitkisel yağ üretimi yapılan endüstrilerin atıksularının, alınacak tesis içi önlemler sonrası değişimini incelemek, maliyet azaltıcı tedbirleri saptamaktır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada; öncelikle örnek olarak seçilen bitkisel yağ fabrikasının atıksu arıtma tesisinin mevcut işleyişi hakkında bilgi verilmiştir. Tesisin aylık ortalama kimyasal madde tüketiminin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tesis özellikleri değerlendirildikten sonra bitkisel yağ endüstrisi atıksularının karakterizasyonu araştırılmıştır. Atıksu karakterizasyon çalışmasının birinci aşamasında atıksu arıtma tesisine gelen çeşitli üretim proseslerinden kaynaklanan atıksuların uygulanan prosese göre karakterinin değişimi, ardından tüm bu atıksuların arıtma tesisinde karışıp, yağ ayırma havuzundan geçirildikten sonraki karakterizasyonu incelenmiştir.

Atıksu karakterizasyonunun belirlenmesinden sonra, mevcut kirlilik yükünün tesis içi önlemlerle azaltılması için çalışmalar yapılmış, atıksuların fizikokimyasal arıtılabilirliği araştırılmıştır. Fizikokimyasal arıtılabilirliğin araştırılması için jar test düzeneği kullanılmıştır. Koagülasyon-Sedimentasyon deneylerinde farklı koagülant maddelerin değişen dozları ile farklı pH değerlerinde çalışılarak, örnek arıtma tesisinin kimyasal işleminde kullanılacak olan koagülant cinsi, optimum koagülant dozu ve pH değeri belirlenmiştir.

Çalışma sonunda işletme içerisinde alınan çeşitli tesis içi önlemler ve atıksu arıtma tesisinin işleyişindeki düzenlemeler sonucu elde edilen işletme verim ve aylık ortalama kimyasal madde tüketimi mevcut durumla karşılaştırılmıştır.

## 2.1. Mevcut Durumun Değerlendirilmesi

Mevcut durumda işletmenin farklı ünitelerinden gelen farklı nitelikteki atıksular bir tankta toplanmakta ve bu tankta kimyasal işlemlere tabii tutulmaktadır. Fizikokimyasal arıtmadan çıkan sular biyolojik arıtımın sağlanacağı aktif çamur havuzuna alınmaktadır.

Çizelge 2.1. Mevcut Kimyasal Arıtma Giriş-Çıkış Atıksu Karakterizasyonu

	Parametre			
	pH	KOİ (mg/L)	Yağ-Gres (mg/L)	AKM (mg/L)
Giriş	11	27504	4343	6426
Çıkış	7,5	3079	998	1026
Kimyasal arıtım verimi(%)		88.9	77	84

Çizelge 2.2. Mevcut Aylık Ortalama Kimyasal Madde Tüketimi

Kimyasal Adı	Aylık Tüketim (Kg)	Birim Tüketim (Kg/m <sup>3</sup> )
Sülfürik Asit	27877	0.619
Sönmüş Kireç	59421	1.32
Alüminyum Sülfat	18584	0.41
Polielektrolit	37	0.0008

Bu çalışmada fizikokimyasal arıtılabilirlik için jar test düzeneği kullanılmıştır. Koagülasyon-Sedimentasyon düzeneği, hızı 0-200 devir/dakika arasında ayarlanabilen 6 pedallı jar test aletidir. Deneysel çalışma atıksu karakterizasyonu ve fizikokimyasal arıtılabilirlik deneyleri olmak üzere iki aşamada yapılır. Deneysel çalışmalar sırasında; KOİ ölçümleri Hach Dr 2000 spektrofotometre ile, pH ölçümleri Hach One Portable pH-metre ile yapılmıştır. Yağ-gres ve AKM ölçümünde Whatman GF/C filtre kağıtları kullanılmıştır. Deneyler standart metotlara uygun olarak yapılmıştır (10).

Çizelge 2.3. Atıksu Arıtma Tesisine Gelen Atıksuların Özellikleri

Atıksu Kaynakları	Parametre			
	pH	KOİ (mg/L)	Yağ-Gres (mg/L)	AKM (mg/L)
Rafineri	10,39	35090	1949	7332
Margarin	6,98	8826	2776	437
Deodorize	7,35	146	20	34
Sertleştirme	8,56	2050	298	145
Kazan Atıksuyu	5,75	388	5	120
Evsel Nitelikli Atıksular	7,88	336	56	80
Katı Atık Sahası	6,15	25000	315	4875
Yağ Asidi Yıkama Suyu	2,85	15650	3100	5500
Yağ Kabul İstasyonu Atıksuyu	7.58	24720	5740	3550

## 2.2. Fizikokimyasal Arıtılabilirlik Çalışması

En yaygın kullanılan fizikokimyasal arıtma yöntemleri, çözünmüş hava flotasyonu ve kuagülasyon-sedimentasyonudur. Bitkisel yağ endüstrilerinin atıksularının arıtılmasında yaygın olarak kuagülasyon-sedimentasyon yöntemi kullanılır. Arıtma verimleri, atıksuyun AKM ve yağ-gres içeriğine bağlı olarak, genellikle çözünmüş hava flotasyonuna nazaran daha yüksektir. Buna karşılık kuagülant miktarının fazla olması çözünmüş hava flotasyonuna göre dezavantaj olarak görülebilir.(11, 12)

Kuagülasyon-sedimentasyon yöntemine yönelik yapılan deneyler ile % olarak KOİ, Yağ-Gres ve AKM giderme verimleri, optimum kuagülant dozları ve en uygun pH değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan jar testi süresince, çeşitli kimyasal madde dozlarına karşılık oluşan yumakların meydana gelme hızları ve yumak çökme özellikleri izlenmiştir.

**Çizelge 2.4. Jar Test Uygulama Koşulları**

Koagülant Madde	Alüminyum Sülfat	Ferri Klorür
Hızlı karıştırma devri, (devir/dk)	120	120
Hızlı karıştırma süresi, (dk)	2	2
Yavaş karıştırma devri, (devir/dk)	70	70
Yavaş karıştırma süresi, (dk)	30	30
Çökme süresi, (dk)	30	30

Atıksu arıtma tesisine gelen tüm atıksuların karakterizasyonunun belirlenmesinden sonra mevcut kirlilik yükünün kaynağında azaltılmasına yönelik olarak tesis içi önlemlerin alınmasına geçilmiştir.

## 2.3. Tesis İçi Önlemler

Atıksu arıtma tesisinin mevcut işletme veriminin artırılmasına ve maliyetinin düşürülmesi çalışmasına, öncelikle tesise gelen atıksuyun olduğu kaynakta kirlilik yükünün azaltılması ve dengelenmesi ile başlandı. Bu kapsamda alınan tesis içi önlemler aşağıda belirtilmektedir:

- Bazık rafinasyon işlemi atıksuları (pH:10-12) ile asidik soap-stock işleme atıksularının (pH:1-2) mevcut dekantasyon havuzunda karıştırılarak pH'nın dengelenmesi sağlanmıştır.
- Fabrika sahasındaki yağlı atıksuların toplandıkları noktalara yağ tutucular yapılmıştır.
- Yağ tutuculara gelen atıksuların, anlık pik debilerinden kaynaklanan işletme problemlerinin giderilmesi için gerekli noktalara debi dengeleme tankları yerleştirilmiştir.
- Deodorizasyon işleminden kaynaklanan nötr, az kirli atıksuların kimyasal arıtma işleminden geçirilmeden direk havalandırma havuzuna alınması ile, harcanan koagülant madde miktarı azaltılmıştır.



**Çizelge 2.5.** Tesis İçi Önlemlerden Sonra Kimyasal Arıtma Girişi Atıksu Özelliklerinin Önceki Özelliklerle Karşılaştırılması

Karışım	Parametre			
	pH	KOİ (mg/L)	Yağ-Gres (mg/L)	AKM (mg/L)
Önceki Karakterizasyon	11	27504	4343	6426
Tesis İçi Önlemlerden Sonraki Karakterizasyon	8,5	6664	450	2135
Giderim verimi (%)		76	90	67

### 3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Tesis içi kontrollerden sonra fizikokimyasal arıtılabilirlik çalışması için iki saatlik kompozit numuneye ait analiz sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Ham Atıksu Analiz Sonuçları

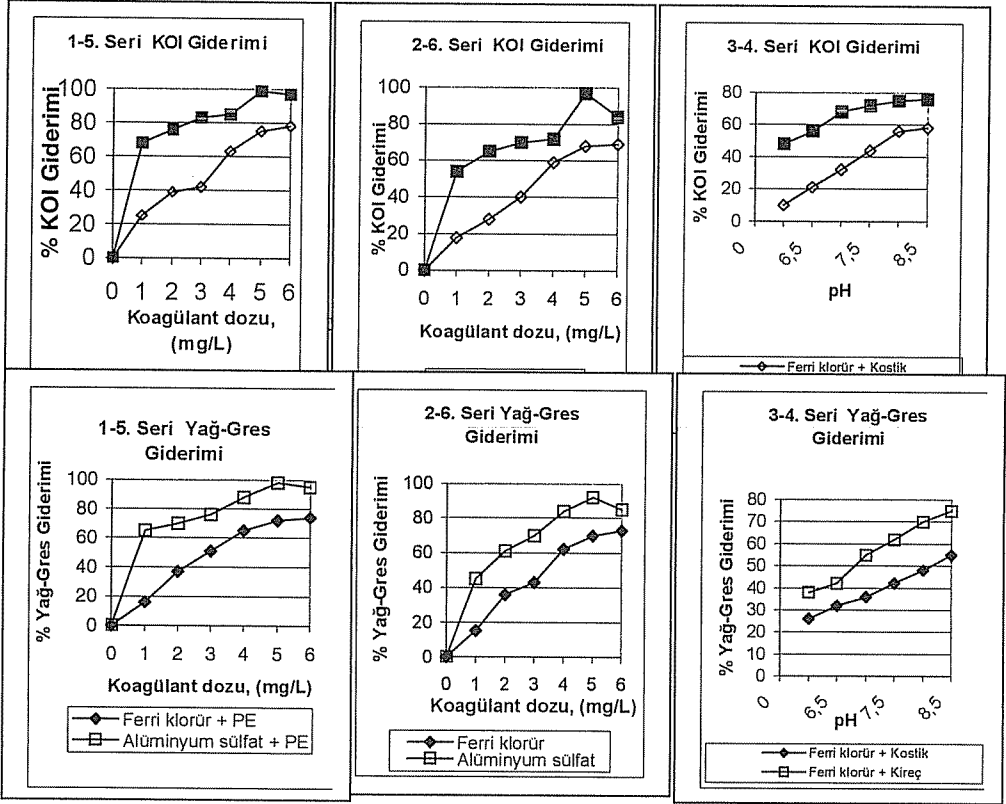
Karışım	Parametre			
	pH	KOİ (mg/L)	Yağ-Gres (mg/L)	AKM (mg/L)
Sonuçlar	7,18	6050	490	1720

Bitkisel yağ endüstrisi atıksularının fizikokimyasal arıtılabilirliği koagülasyon-sedimentasyon deneyleriyle araştırılmıştır. Yağlı atıksularla yapılan önceki çalışmalarda yüksek verim elde edilen alüminyum sülfat, ferri klorür, kireç ve polielektrolitin arıtma verimleri karşılaştırılmıştır.(13-15)

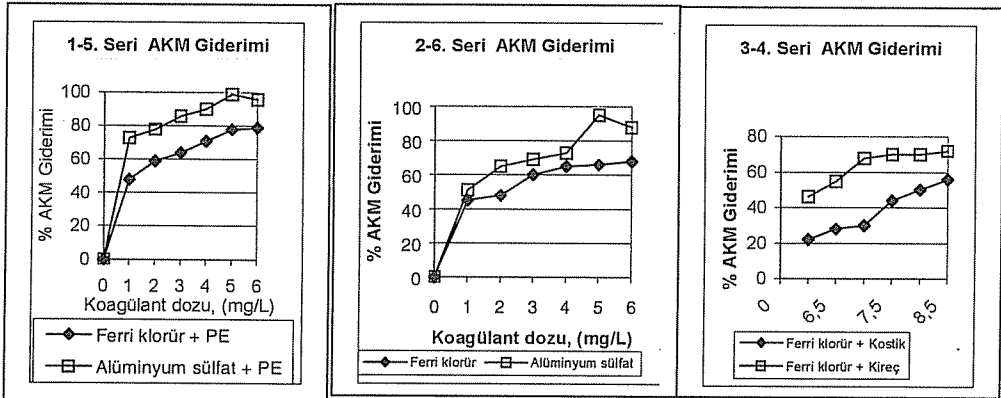
**Çizelge 3.2.** Koagülasyon-Sedimentasyon Deney Programı

1. SERİ	Kraking + kireçle nötralizasyon + değişen dozlarda ferri klorür + 2 mg/L PE kullanılarak koagülasyon
2. SERİ	Kraking + kostikle nötralizasyon + sbt ferri klorür dozu + değişen pH değerlerinde koagülasyon
3. SERİ	Kraking + kireçle nötralizasyon + sbt ferri klorür dozu + değişen pH değerlerinde koagülasyon
4. SERİ	Kraking + kireçle nötralizasyon + değişen dozlarda alüminyum sülfat + 2 mg/L PE kullanılarak koagülasyon
5. SERİ	Kraking + kostikle nötralizasyon + sbt alüminyum sülfat dozu + değişen pH değerlerinde koagülasyon
6. SERİ	Kraking + kireçle nötralizasyon + sbt alüminyum sülfat dozu + değişen pH değerlerinde koagülasyon

(Sülfirik Asit : %98, Sönmüş Kireç Çözeltisi : %2.5, Sodyum Hidroksit: %47, Alüminyum Sülfat Çözeltisi : %3.5, Demir III Klorür : %5, PE çözeltisi: %0.1  
Numune Hacmi : 1000 ml.)



Şekil 3.2. Yağ-Gres Giderimlerinin Karşılaştırılması



Şekil 3.3. AKM Giderimlerinin Karşılaştırılması

### 3.1. Arıtma Tesisi İşleyişinin Yeniden Düzenlenmesi

- Atıksu arıtma tesisinin ilk ünitesi olan yağ ayırma havuzunda toplanan yağların sabun üreticilerine satılması ile hem atıksudaki yağdan kaynaklanan kirlilik yükü ve işletme maliyetinin azaltılmış, hem de yan ürün satışı ile işletmeye ek kazanç sağlanmıştır.
- Fizikokimyasal arıtılabilirlik çalışması sonunda belirlenen en uygun koagülant cinsi ve optimum dozun uygulanması ile işletme maliyeti düşürülürken, verim artırılmıştır.
- Verime önemli bir katkı sağlamadığı için polielektrolit kullanımından vazgeçilmiştir.
- Atıksu arıtma tesisi kimyasal arıtma ünitesinde kullanılan kimyasallara ait standart satın alma spesifikasyonları oluşturularak satın alınan kimyasalın kalitesinden kaynaklanan problemlerin verime olumsuz etkisi önlenmiştir.
- Havalandırma havuzunda bulunan üç yüzeysel havalandırıcıdan bir tanesi oksijenmetreye bağlanarak 2 mg/L O<sub>2</sub> konsantrasyonunun üzerine çıkılması durumunda otomatik olarak durması sağlanmıştır. Böylece fazla havalandırma nedeniyle flokların parçalanması engellendiği gibi enerji tasarrufu da yapılmaktadır.
- Atıksu arıtma tesisinin çeşitli ünitelerinden numune alınarak gözlem ve analiz yapma periyodu yeniden düzenlenmiştir.
- Atıksu arıtma tesisinde bulunan mekanik teçhizatın bakım programı yeniden yapılarak, arıza sebebi verim düşüşleri ortadan kaldırılmıştır.
- Aş çamuru geri devir oranı yeniden hesaplanarak, çamur uzaklaştırma periyodu düzenlenmiştir.
- Atıksu arıtma tesisinde çalışan elemanlara çevre eğitimi verilerek çevre bilinci ve duyarlılığı artırılmış, iş talimatlarının eğitimi ile insan kaynaklı işletme problemleri büyük ölçüde azaltılmıştır.

**Çizelge 3.3. Tesis İçi Kontrol Öncesi ve Sonrası Kimyasal Arıtma Girişine Gelen Atıksu Özelliklerinin Ortalaması**

Kimyasal Çıkış	Parametre			
	pH	KOİ (mg/L)	Yağ-Gres (mg/L)	AKM (mg/L)
İyileştirme Öncesi	7.5	3079	998	1026
İyileştirme Sonrası	7,5	463	29	134

Bu durumda KOİ giderme verimi % 93, Yağ-Gres giderme verimi % 94 ve AKM giderme verimi % 94'tür.

Böylece biyolojik arıtmaya giren atıksu kirlilik yükü azaltılmış ve çıkış suyu kirletici parametreleri deşarj limitlerinin çok altına indirilmiştir. Bu projenin örnek atıksu arıtma tesisine uygulanmasından sonra, atıksu arıtma tesisi çıkış sularının soğutma suyu amaçlı yeniden kullanılması gündeme gelmiştir.

Tesis içi önlemler ve optimum kimyasal madde dozlarının kullanılması ile atıksu arıtma tesisi aylık ortalama kimyasal madde tüketimleri aşağıdaki değerlere düşürülmüştür.

**Çizelge 3.4. İyileştirme Öncesi ve Sonrası Kimyasal Madde Tüketimleri**

Kimyasal Adı	İyileştirme öncesi ve sonrası aylık ortalama kimyasal tüketimi (kg)		Kimyasal tüketimindeki azalış (%)	Birim tüketim (kg/m <sup>3</sup> )
	İyileştirme öncesi	İyileştirme sonrası		
Sülfürik Asit	27877	9428	66	0.21
Sönmüş Kireç	59421	8000	86	1.18
Alüminyum Sülfat	18584	1100	94	0.024
Polielektrolit	37	0	100	0

#### 4. SONUÇ

1. Atıksu özelliklerinin, rafineride işlenen yağın cinsine ve uygulanan rafinasyon işlemine bağlı olarak geniş bir aralıkta değiştiği ve özellikle pamuk yağı rafinasyonu sırasında kirletici konsantrasyonlarının arttığı gözlenmiştir.

2. “Soap – stock” un atıksu kirletici konsantrasyonunu 2 – 3 kat arttırdığı, işlenmesi sırasında oluşan asidik (pH:2) yıkama sularının da rafineri atıksularının nötrlenmesinde kullanılan asit miktarını azalttığı görülmüştür.

3. Koagülasyon – Sedimentasyon işlemi ile yapılan arıtılabilirlik çalışmasında aynı dozlarda en yüksek % KOİ, Yağ – Gres ve AKM giderimi Alum + Kireç ile sağlanmıştır. Koagülanlarla birlikte polielektrolit kullanımının verimi fazla bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

4. Koagülasyon – Sedimentasyon işleminde önce atıksularda sülfürik asit ile emülsiyonların kırılması arıtma verimini artırdığı görülmüştür.

5. Tesis içi önlemlerle yağlı atıksuların KOİ konsantrasyonu %76, yağ-gres konsantrasyonu %90 ve AKM konsantrasyonu %67 oranında azaltılmıştır.

6. Atıksu arıtma tesisine gelen atıksuların kirlilik yüklerine göre kimyasal beslemesi yapılması durumunda arıtma tesisinin aylık ortalama kimyasal madde tüketimleri sülfürik asit için %66, kireç için %86, alüminyum sülfat için %94 ve polielektrolit için %100 oranında azaltılmıştır.

7. Yağ Endüstrisi atıksularının Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (16) deşarj standartlarına uygunluğunun sağlanabilmesi için birinci kademede fizikokimyasal arıtmaya ek olarak ikinci kademede biyolojik arıtma gerekliliği “görülmüştür.”

#### 5. KAYNAKLAR

1. Muslu, Y., “Su Temini ve Çevre Sağlığı”, Cilt 3, İTÜ İnşaat Fakültesi Yayınları, No.1314, İTÜ Matbaası, İstanbul, 342s., 1985.

2. Fair, M.G., Geyer, J.C., Okun, A.D., “Elements of Water Supply And Wastewater Disposal”, 2<sup>nd</sup> Ed., John-Wiley-Interscience, N.Y., 1972.

3. Rich, L.G., “Unit Operations of Sanitary Engineering”, John- Wiley Sons, Inc., N.Y., 1961.

4. Metcalf and Eddy, “Wastewater Engineering”, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill, Inc., 1334p., 1991.

5. Cantrel, M.K., Keller, H.F., “Treatment of Vegetable Oil Refining Wastes to Conform to Government Regulation”, J.A.M. Oil Chemists’ Soc. Vol.52, 13A-17A, 1975.

6. Dart, C. "Wastewaters from the Manufacture of Edible Oils and Margarine. Proceedings of Symposium on Treatment of Wastes from the Food and Drink Industry. Newcastle Upon Tyne England, 1974.
7. El-Gohar, F.A., Nawar, S.S., "Edible oil Wastewater Treatment", Proceedings of International Symposium on Environmental Management Environment '87 Vol.1 İstanbul, 1987.
8. Adana İli Çevre Durum Raporu, " T.C. Adana Valiliği İl Çevre Müdürlüğü", 1998.
9. Yılmaz, T., "Bitkisel Yağ Sanayii Rafineri Atıksularının Fizikokimyasal ve Biyolojik Arıtılabilirlik Derecelerinin Araştırılması", Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, s. 102, 1997.
10. Apha, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 18'th edition" American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Federation, Washington, D.C., 1998.
11. Öztürk, İ., Eroğlu, V., San, H.A., Demir, İ. "Comparative Evaluation of Treatment Alternatives for Wastewater from an Edible Oil Refining Industry", Wat Sci. Tech. Vol. 22, no.9 pp 225-234, 1990.
12. Eroğlu, V., "Yemelik Yağ Sanayi Atıksularının Arıtımında Çözünmüş Hava Flotasyonu Ve Aktif Çamur Sisteminin Verimliliğinin Araştırılması", 7. Türk-Alman Çevre Mühendisliği Sempozyumu, '88, İstanbul, 1988.
13. Basu, A.K., "Treatment of effluents from the manufacture of soap and hydrogenated vegetable oil", Journal W.P.C.F., Vol. 39., No 10., Part 1., p.1653-1658, 1967.
14. Şengül, F., "Endüstri Atıksuları Arıtılması Ders Notları", E.Ü. İnşaat Fak. Yayın No 40, 1982.
15. Seng, W.C., Kreutzer, G.M., "Resume of Total Operation of Waste Treatment Facility for Animal and Vegetable oil refinery", J.A.M. Oil Chemists' Soc. Vol. 52, pp 9A-13A, 1975.
16. Çevre Kanunu ve İlgili Mevzuat, Lebib Yalkın Yayınları.



## OSMANİYE ATIKSULARININ ÖZELLİKLERİ VE ARITMA TESİSİ PLANLANMASINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

**Ahmet YÜCEER, Oğuzhan GÖK**

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

**ÖZET :** Bu çalışmada amaç, Osmaniye ili evsel atıksularının özellikleri belirlemek ve bu özellikleri bölgenin jeolojik, topografik, ve iklim şartlarıyla birlikte değerlendirip en uygun atıksu arıtma tesisi tipinin belirlenmesidir.

Osmaniye bölgesinde evsel nitelikli ham atıksuda kirletici parametreleri üzerinde yapılan çalışmada; ortalama AKM konsantrasyonu 128 mg/L, KOİ 250 mg/L, filtre KOİ 117 mg/L, BOİ<sub>5</sub> 119 mg/L, TKN 11 mg/L ve toplam fosfor 3,3 mg/L bulunmuştur. Ham atıksuyun filtrasyonundan sonra AKM'den kaynaklanan ortalama KOİ %46 olarak ölçülmüştür. Ayrıca bölgenin evsel atıksu numuneleri 15, 30, 60 ve 120 dakikalık sakın çökelmeye tabi tutulmuş ve çökeltme sonucunda üst fazdan çekilen 300 mL'lik atıksuda KOİ değişimleri incelenmiştir. 120 dakikalık çökeltme süresinin sonunda AKM'nin ortalama %75'i çökelmektedir.

Çalışmaların neticesinde bütün bu sonuçlar değerlendirilerek hem ekonomik hem de yüksek verimde arıtma kapasitesine sahip olan stabilizasyon havuzlarının uygun olacağı öngörülmüştür.

**Anahtar Kelimeler :** Evsel Atıksu, Atıksu Arıtımı, Stabilizasyon Havuzları

## THE CHARACTERISTICS OF OSMANİYE CITY WASTEWATERS AND EVALUATIONS FOR THE PLANNING OF SEWAGE TREATMENT PLANT

**ABSTRACT :** The aim of this study is to determine the characteristics of Osmaniye city municipal wastewaters. These characteristics are evaluated with geological, topographic and climatic characteristics of region with the literature together to determine the type of sewage treatment plant.

The average values were found to be; 128 mg/L TSS, 250 mg/L COD, 117 mg/L filtered COD, 119 mg/L BOD<sub>5</sub>, 11mg/L TKN and 3,3 mg/L TP. After filtration of raw sewage average 46 % of COD was measured to be due to SS removal. In this study, the wastewater samples were let to settle for the retention periods of 15, 30, 60 and 120 minutes and COD concentrations were observed in 300 ml wastewater which taken from supernatant. Average 75% of SS was removed after settling time of 120 minutes.

As a result of this study, it has been seen that stabilization ponds will be the most suitable system from economical point and having high treatment efficiency.

**Key Words :** Municipal Wastewater, Wastewater Treatment, Stabilization Ponds.

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda nüfusun hızlı artmasıyla beraber düzensiz kentleşme ve bilinçsiz endüstrileşme çabaları sonucunda çevre kirlenmesinin en önemli iki etkenidir. Gerek sosyal gerekse endüstri faaliyetleri sonucunda kullanılan sular, atıksular olarak açık veya kapalı sistemlerle alıcı ortamlara ulaşır. Atıksular aynı zamanda fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirlenme unsurları da beraberinde taşımaktadır. Bunun sonucunda yeraltı ve yüzeysel su kaynakları kirlenmektedir (1,2). Bu kaynakların korunabilmesi için alıcı ortamlara verilmeden önce atıksuların mutlaka arıtılması gerekir.

Evsel atıksular bünyesinde bulunan kirlenmelerden dolayı alıcı ortama arıtılmadan verildiğinde; mikrobiyal kirlenmeye, organik maddelerin parçalanması sonucunda oksijen azalmasına, suda azot ve fosfor konsantrasyonunun artmasına, katı maddelerden dolayı dip çamuru oluşmasına, ağır metal ve toksik maddelerden dolayı canlıların yaşamsal faaliyetleri sona ermesiyle birlikte su kalitesinin bozulmasına sebep olurlar (3).

Dünyanın neresinde olursa olsun evsel atıksular benzer özellik taşıdıklarından, benzer atıksu arıtma tesislerinde arıtılabilmektedir (4-6). Ancak ülkemizde, sosyo-ekonomik ve sosyo-kültürel yapıya bağlı olarak atıksuyun özellikleri değişebilmektedir. Atıksuyun bu yapısal değişimi nedenlerin içerisinde, tuvalet kağıdı kullanımı, mutfak artıklarının lavabolara verilmemesi gibi bir takım faktörleri sayabiliriz. Toplumsal bu değerler, atıksuların niteliklerini belirleyen önemli bir etken haline gelmiştir.

## 2. EVSEL ATIKSULAR

Konutlar, sanayi-endüstri kuruluşları, enerji santralleri, tarım ve hayvancılık uygulamaları sonucu açığa çıkan ve içinde sağlığa zararlı biyolojik, kimyasal maddeleri barındıran sular atıksu olarak tanımlanır. Evsel atıksular ise insan atıklarından, yıkanma, genel temizlik ve mutfak işleri sonucu meydana gelen sulardan oluşur (7).

### 2.1. Evsel Atıksuların Özellikleri

Evsel atıksular konsantrasyonlarına bağlı olarak , kuvvetli, orta veya zayıf olarak sınıflandırılır. Rengi genellikle açık kahverengimsi gri ve kendine has bir kokusu vardır (8). Taze atıksu bulanık olup, büyüklü küçüklü yüzen veya askıda katı maddeler ve kolloidal yapıda çok küçük katı maddeler içerir. Fiziksel olarak arzu edilmediği gibi içerdiği bir takım hastalık yapıcı (patojen) organizmalar nedeni ile sağlık açısından oldukça tehlikelidir.

Evsel atıksuların takriben % 95-99'u su olup % 1-5'lik kısmı organik ve inorganik madde ihtiva etmektedir (9). Evsel atıksular banyodan gelen sular, mutfaktan gelen sular ve tuvaletten gelen sulardan oluşmaktadır. Tuvaletten gelen sular mutfak ve banyodan gelen sulara göre fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak daha kirli ve içerisinde katı madde miktarı daha fazladır.

Atıksu sistemlerinde toplanan atıksular çok çeşitli kirlenmeler içerir. Atıksulardaki bileşenlerin miktarı, toplama sistemine karışan endüstriyel atıksu miktarına ve tipine bağlı olarak değişir. Atıksu AKM değerinin yaklaşık olarak %70' ini organik maddeler, %30'unu da inorganik maddeler oluşturmaktadır. Organik madde içerisinde proteinler (%65), karbonhidratlar (%25) ve yağlar (%10) bulunmaktadır (10). Ayrıca organik maddelerin %20-25'i atıksu içerisinde çözülmüş halde bulunurken



%75-80'lik kısmı çözünmeyen maddelerden oluşmaktadır (11). İnorganik maddeler ise kum, tuz ve metallere oluşmaktadır. Bütün bu organik materyaller karbon içerir ve biyolojik yollarla karbondioksit dönüşümüne bu da su içerisinde oksijen tüketimine neden olmaktadır. Karbonun yanı sıra proteinlerin yapısında bulunan azotun tüketilmesi de tüketilen oksijen miktarını arttırmaktadır (10).

## 2.2. Atıksuların Arıtılması

Atıksuların arıtılmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler kullanılmaktadır. Arıtım, atıksu ve bölge özelliklerine göre bu işlemlerden biri veya birkaçının kombinasyonu şeklinde gerçekleşir. Günümüz teknolojisinde genellikle aşağıdaki sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır (12).

- Fiziksel Arıtım Sistemleri: Izgaradan geçirme, filtreden geçirme ve çökeltim işlemleri
- Kimyasal Arıtım Sistemleri: Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma
- Biyolojik Arıtım Sistemleri: Aktif çamur sistemleri, biyodiskler, stabilizasyon havuzları, damlatmalı filtreler, anaerobik sistemler ve bu sistemlerin kombinasyonu.

## 3. MATERYAL VE METOT

### 3.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Osmaniye, Çukurova'nın doğu kesiminde, Osmaniye ovasının Amanos dağları ile birleştiği alanda kurulmuştur. Denizden ortalama yüksekliği ise 150 m' dir. Kentin son 40 yıllık nüfus sayımı sonuçlarına göre nüfus artışı %6 civarında gerçekleşmiştir. Bölgenin topografyası düz ve düze yakın eğimde, tarımsal değeri yüksek olan bir alanda bulunmaktadır. Osmaniye, Akdeniz Bölgesi iklim karakterlerini taşımaktadır. Kışlar kısa süreli, ılık ve yağışlıdır. Yazlar kurak ve sıcaktır. 13 yıllık rasat süresince yapılan ölçümlere göre Osmaniye'de yıllık ortalama sıcaklık 18.1<sup>0</sup>C'dir. Yaz ayları (Nisan-Eylül) ortalama sıcaklığı 23.9<sup>0</sup>C ve kış ayları (Ekim-Mart) ortalama sıcaklığı 12.15<sup>0</sup>C'dir. 32 yıllık verilere göre yıllık ortalama yağış miktarı 755.8 mm' dir. Bu verilere göre ortalama en çok yağış 111.4 mm ile Ocak ayında, ortalama en az yağış ise 5.4 mm ile Ağustos ayındadır. 32 yıllık rasat süresince günlük en çok yağışa 83.1 mm ortalama açık gün sayısı 125.6 ve ortalama bulutlu gün sayısı 162.8'dir (13).

Osmaniye'de hakim rüzgar yönü kış aylarında güney-batı, yaz aylarında güneydir. Ortalama rüzgar hızı 1 m/s ve en hızlı rüzgar yönü (güney-batı) ve hızı yıllık 7m/s'dir.

### 3.2. Materyal

Çalışmada kullanılan materyal, Osmaniye ilinin merkeze bağlı atıksularıdır. Bu atıksular deşarj edildiği tek noktadan Hamus Çayına, daha sonrada Ceyhan Nehrine ulaşmaktadır. Deşarj noktası, Osmaniye'nin kuzeyinde, il merkezine 5 km uzaklıkta Nohut Tepe bölgesidir ve buradan farklı zamanlarda 8 kez iki saatlik kompozit numuneler alınmıştır. Numuneler Temmuz 2000 ile Eylül 2000 ayları arasında ve 11:00-13:00 saatleri arasında alınmıştır.

### 3.3. Metot

Atıksu analizlerinin deneysel çalışmalar sırasında Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve Toplam Fosfor (TP) ölçümleri MN (Macherey-Nagel) Filterphotometer Nanocolor 100D Spektrofotometre kullanılarak yapılmıştır.

Filtre KOİ de aynı şekilde bulunmuş olup numune öncelikle Whatman GF/C filtre kağıdından geçirilerek filtre edilmiştir. pH WTW 330 pH metre ile, Eİ ise Hanna Instruments Conductivity Meter ile ölçülmüştür. BOİ<sub>5</sub>, TKN, AKM ve Imhoff değerleri Imhoff hunisinde ölçümleri standart metotlara uygun olarak yapılmıştır (14).

KOİ, filtre KOİ, BOİ<sub>5</sub> deneyleri üçlü olarak yapılmış ve diğer deneyler ise iki defa tekrarlanarak hata payını en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Bulunan sonuçların ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir.

### 3.4. Çökeltme Deneyleri

pH, Eİ, AKM, KOİ, KOİ<sub>Filtre</sub>, BOİ<sub>5</sub>, TKN, TP değerlerine bakılmak suretiyle karakterizasyonu yapılan atıksu numuneleri dört sıra halinde ikişer dizilmiş 1 L' lik mezürlere homojen şekilde konulmuş ve 1. Sıra 15 dakika, 2. Sıra 30 dakika, 3. Sıra 60 dakika, 4. Sıra ise 120 dakika sakin çökelmeye tabi tutulmuştur.

15 dakika sonra 1. sıradaki 1L'lik mezürlerden atıksuyun üst fazdan uygun biçimde sifonlanarak alınan numunelerde KOİ değerleri belirlenmiştir. Aynı işlem 30,60,120 dakika geçtiğinde 2. Sıra, 3. Sıra, 4. Sıra için tekrarlanmıştır. Her beherdeki üst fazdan belirlenen süreler sonunda yüzeyden 300 mL alınarak numunelerin KOİ analizleri üçlü şekilde yapılmış ve iki beherden elde edilen değerlerin ortalaması alınarak söz konusu çökeltme süresi sonunda üst fazdaki ortalama KOİ değerleri bulunmuştur.

## 4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Ham Atıksu Özellikleri

Alınan atıksu numuneleri Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilerek bekletilmeden fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Fiziksel ve kimyasal olarak, atıksu numunelerinde pH, Eİ, AKM, KOİ, BOİ<sub>5</sub>, KOİ<sub>Filtre</sub>, TKN, TP ve çökelebilen katı madde miktarı (Imhoff Testi) parametrelerine bakılmak suretiyle atıksu karakterizasyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Bununla ilgili olarak elde edilen değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Ham Atıksu Numunelerinin Özellikleri

Parametreler	Numune No								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ort.
PH	7,5	7,2	7,5	7,5	7,4	7,7	7,9	7,6	7.5
Eİ (µS/cm)	865	895	602	650	762	540	661	840	740
AKM (mg/L)	113	176	104	103	105	156	152	66	128
KOİ (mg/L)	268	275	247	198	217	341	326	125	250
Filtre KOİ (mg/L)	112	120	135	109	110	145	133	68	117
BOİ (mg/L)	134	125	108	90	113	167	152	60	119
TKN (mg/L)	13	11	-	8	10	-	-	-	11
TP (mg/L)	4.2	-	3.0	2.5	2.9	3.5	3.8	-	3.3
Imhoff(ml/L)	2.0	2,5	1,5	2,0	2,0	1,5	2,5	1,5	2.0

Çizelge 4.2. Evsel Atıksuların Genel Bileşimi (8)

Kirlenici Parametreler	Konsantrasyon (mg/L)			Çalışma Bölgesi
	Zayıf	Orta	Güçlü	
Toplam Katı Maddeler (TKM)	350	720	1200	--
Askıda Katı Maddeler (AKM)	100	220	350	128
Çökelebilen Katı Maddeler	5	10	20	2,5
Biyolojik Oksijen İhtiyacı(BOİ <sub>5</sub> )	110	220	400	119
Toplam Organik Karbon (TOK)	80	160	290	---
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	250	500	1000	250
Toplam Azot	20	40	85	11
Toplam Fosfor	4	8	15	3,3

Yapılan bu çalışmada elde edilen verilere göre Çizelge 4.2 ile karşılaştırıldığında bölge atıksuyununun zayıf- orta karaktere sahip olduğu görülmektedir.

Evsel atıksuların bileşimini ile ilgili olarak Metcalf ve Eddy tarafından oluşturulan çizelgeye bakıldığında AKM değerlerine göre alınan numunelerinin 7'sinin orta, 1'inin zayıf, KOİ değerlerine göre; 4'nün zayıf, 4'nün orta, 5 günlük BOİ değerlerine göre; 3'ünün zayıf, 5'inin orta, TKN ve TP değerlerine bakıldığında tümüyle zayıf karakterde olduğu görülmektedir.

Analizleri yapılan evsel atıksu numunelerine ait sonuçların ortalama değerlerinin Çizelge 4.2. ile karşılaştırılmasıyla, AKM, BOİ ve 5 günlük BOİ' ye göre orta, TKN, TP çökelebilen katı maddelere göre ise zayıf karakterdedir.

#### 4.2. Araştırma Bulguları ve Çökme Deneylerinin Değerlendirilmesi

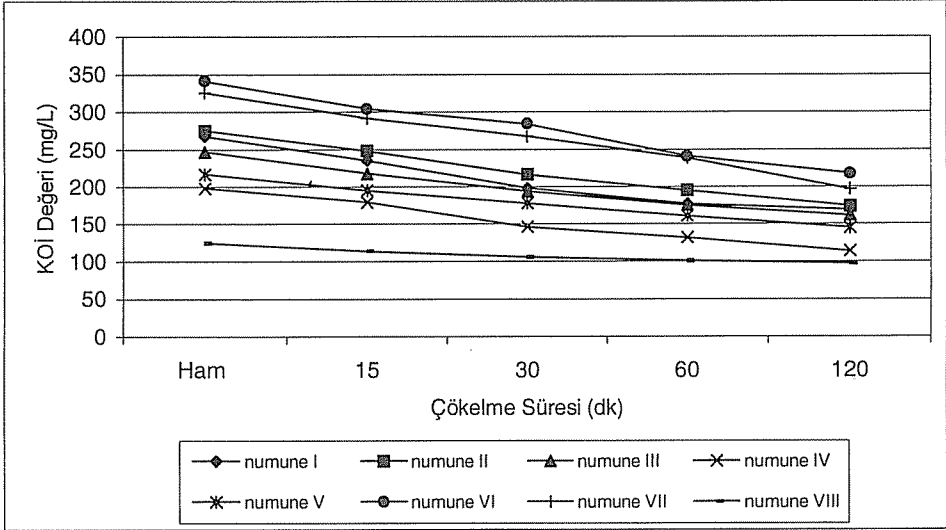
Osmaniye İli evsel atıksuları ile yapılan çökme deneyleri neticesinde 15, 30, 60 ve 120 dakikalık çökme süreleri sonunda 300 mL'lik üst fazda KOİ değerlerinin bulunması ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre atıksuda bulunan KOİ değerleri, KOİ giderim verimi, AKM miktarları ve giderim verimi, aşağıdaki çizelge ve şekillerde verilmiştir.

Ortalama değerler incelendiğinde, 15-30 dakika arasında artış %9,32, olurken 15-60 dakika arasında %17,28, 60-120 dakika arasında %7,03, 15-120 dakika arasında %24,3, 30-120 dakika arasında ise %15'lik ortalama artışlar elde edilmiştir.

KOİ değerlerine bakıldığında 15 dakikalık çökme süresi için elde edilen KOİ giderme verimi %8-12 arasında değişirken, 30 dakikalık çökme süresi için bu değerler çoğunlukla %15-26 arasında değişmektedir. Bu oranlar 60 dakikalık çökme süresi için %19-33 arasında, 120 dakikalık çökme süresi için bu oran %33-39 civarında gerçekleşmiş olup bir numunede %22 olarak bulunmuştur ( Çizelge 4.3 ).

Çizelge 4.3. Çökeltme Süresine Karşılık KOİ Değerleri

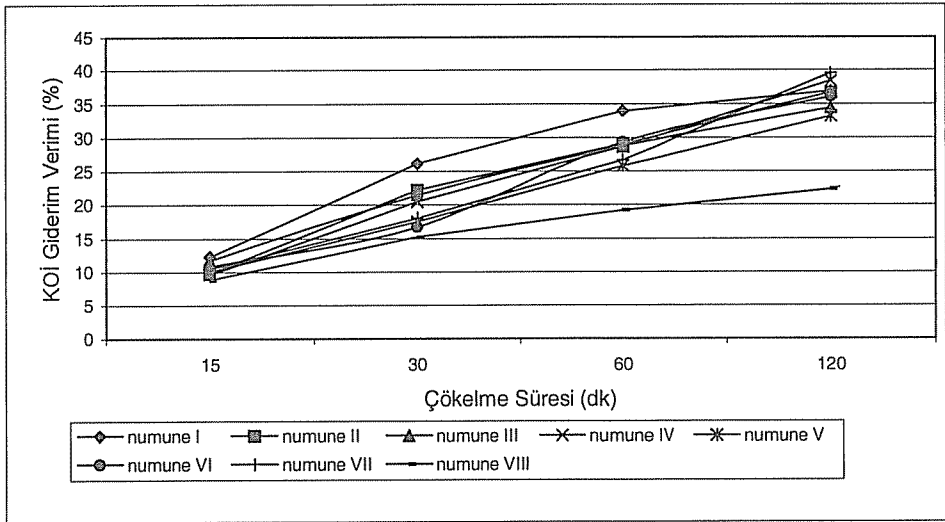
Numune No	Ham KOİ	Çökeltme Süresine Karşılık Üst Fazda KOİ Değerleri (mg/L)			
		15 dk.	30 dk.	60 dk.	120 dk
I	268	235	198	177	169
II	275	248	216	195	174
III	247	218	194	176	162
IV	198	179	147	132	114
V	217	195	178	161	145
VI	341	304	284	241	218
VII	326	292	267	239	197
VIII	125	114	106	101	97
<b>Ort.</b>	<b>250</b>	<b>221</b>	<b>198</b>	<b>177</b>	<b>159</b>



Şekil 4.1. Atıksu Numunelerinin Çökeltme Süreleri Sonunda Üst Fazlarındaki KOİ Değerleri

Çizelge 4.4. Çökeltme Süresine Karşılık KOİ Giderme Verimleri

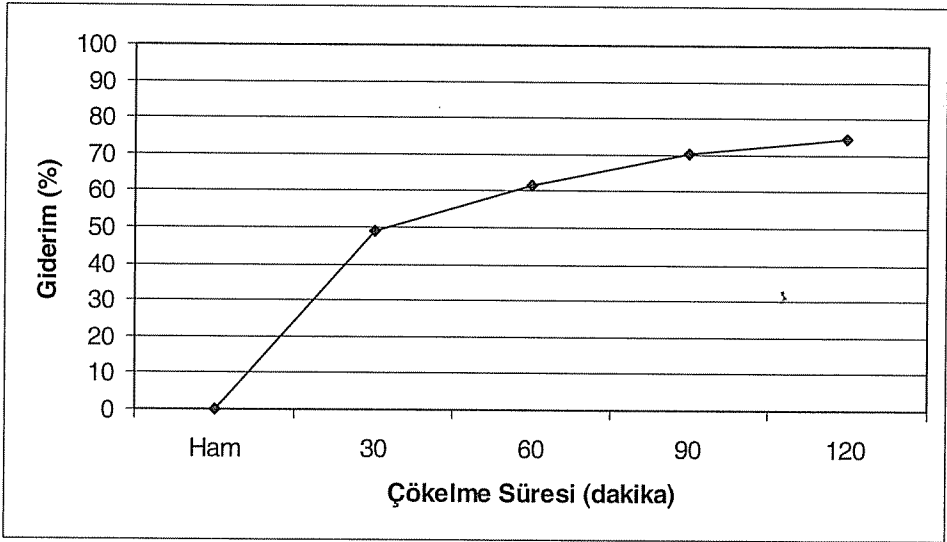
Numune No	Çökeltme Süresine Karşılık KOİ Giderme Verimleri (%)			
	15 dk.	30 dk.	60 dk.	120 dk
I	12,30	26,11	33,95	36,94
II	9,80	22,18	29,09	36,72
III	11,70	21,45	28,74	34,41
IV	9,59	20,54	28,64	38,37
V	10,13	17,47	25,80	33,17
VI	10,80	16,71	29,32	36,07
VII	10,42	18,09	26,68	39,57
VIII	8,80	15,20	19,20	22,40
<b>Ort.</b>	<b>10,39</b>	<b>19,71</b>	<b>27,67</b>	<b>34,70</b>



Şekil 4.2. Atıksu Numunelerinde Çökeltme Süreleri Sonunda KOİ Giderme Verimleri

Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda maksimum KOİ giderme verimi 120 dakikalık çökeltme süresi için ortalama %34,70 olarak gerçekleşmekle birlikte 60 dakikalık çökeltme süresi için bu oran %27,67 olarak gerçekleşmiştir. Aradaki yaklaşık olarak %7,03'lük fark için çökeltme süresinin iki katına çıkarılması durumunda iki katı hacimde bir ön çökeltim havuzu inşa etmek gerekecektir.

Çökeltme deneyleri sonucunda ortalama AKM giderimleri ilk 15 dakikada %40 ve 120 dakika sonunda %74 oranında bulunmuştur. Şekil 4.3.'te AKM giderim verimleri gösterilmiştir.



**Şekil 4.3.** Alman Atıksu Numunesinin Çökelme Süreleri Sonunda AKM Giderim Verimleri

#### 4.3. Arıtma Tesisi Seçimi ve Arıtma Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

Kullanılmış suların artması ile, uygun uzaklaştırma esaslarını ve nihayetinde arıtmayı zorunlu hale gelmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, en uygun arıtma tesis tipinin belirlenmesidir. En uygun ve ekonomik olan arıtma tesisi ve yerinin seçimi; atıksu özelliği, alıcı ortam özellikleri, iklimsel faktörler, topografya özellikleri ve jeolojik özellikler önemli bir yere sahiptir (9). Çalışma alanının topografyası, atıksuyun cazibeli ulaşımına olanak sağlamaktadır. Ayrıca atıksu kaynağına ve deşarj sahasına yakındır. Bölge ikliminin sıcak olması, gerçekleşecek biyolojik aktiviteleri yüksek tutarak arıtma verimini arttıracığından tesis seçiminde stabilizasyon havuzlarını öne çıkarmaktadır. Bu koşullar altında atıksuyun bekletme süresi kısaldığından işletmesi de kolaylaşacaktır. Örneğin soğuk iklimlerde iyi çalışan bir aktif çamur sistemi sıcak iklimlerde de iyi çalışabilirken, sıcak iklime göre dizayn edilmiş bir stabilizasyon havuzunda aynı durum söz konusu olmamaktadır. Böylece bölge kriterlerine uygun ön yatırım ve işletme maliyetleri en düşük olan ekonomik arıtma tesisi tipini ortaya koyacaktır.

Çalışma alanı jeolojik yapısı itibarı ile kayalık zemin üzerinde olmayıp az geçirgen zemin özelliği gösterdiğinden kazı maliyeti minimum olacaktır. Rüzgar yönü güney-batı olduğundan tesisten kaynaklanacak sinek ve kötü kokuların yerleşim birimine ulaşması mümkün değildir.

Evsel atıksuların arıtılmasında istenilen temel amaç; işletme ve kirlilik parametrelerinin istenilen seviyelere indirilmesidir. Evsel atıksuyun giderim verimleri bakımından incelenmesi sonucunda ön çökeltim ünitesinin gerekliliği ortaya

çıkmaktadır. Atıksuda mevcut olan AKM'in biyolojik ünitelerde mikroorganizmalar tarafından parçalanması çok zordur. Dolayısıyla katı maddeler biyolojik ünitelerde çökelmek zorunda kalırlar. Oysa ki bu flokların son çökeltim havuzlarında çöktürülmesi gerekir. AKM'nin bu şekilde davranması tesiste işletme sorunları çıkarmaktadır. Bunun engellenmesi için küçük konsantrasyonlarda olsa bile evsel atıksuların önce bir ön çökeltimden geçirildikten sonra biyolojik arıtıma verilmesi verimli bir arıtma sağlayacaktır (15).

Arıtma tesislerinin inşa ve işletme maliyetlerinin mukayesesine ilişkin yapılan bir araştırmada 5.000 kişilik bir yerleşim birimine dair, dizayn için gereken 150L/kişi-gün ve BOİ 60g/kişi-gün değerleri alınarak küçük-orta ölçekte arıtma tesisi dizaynı yapılmıştır. Dört atıksu arıtma sistemlerinin maliyet tutarları karşılaştırılmıştır. En pahalı sistem damlatmalı filtreler, en uygun sistem ise stabilizasyon havuzlarının olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.6. Atıksu Arıtma Tesisleri İnşaat ve İşletme Maliyetleri (15).**

Arıtma Sistemi	US \$ olarak maliyet*1000				Ortalama Yıllık İşletme Maliyeti
	İnşaat	Mekanik	Elektrik	Toplam	
Klasik Aktif Çamur	267	55	143	465	30,6
Damlatmalı Filtre	394	86	130	610	30,3
Biyodiskler	175,5	241,5	10,1	400,1	19,8
Stabilizasyon Havuzları	299	66,3	---	305,3	1,38

Arıtma sistemleri inşaat, işletme, ve bakım maliyetleri dikkate alınarak mukayese edildiğinde; klasik aktif çamur sistemlerinin ve damlatmalı filtrelerin ön yatırım maliyetleri, stabilizasyon havuzlarına nazaran 15-20kat daha fazladır. Ayrıca aktif çamur, damlatmalı filtre ve biyodisk sistemlerinin ortalama yıllık işletme masrafları stabilizasyon havuzlarına kıyasla 20-30 kat daha fazladır. İnşaat ve işletme maliyetlerinin bu denli farklı olmasının sebepleri; tüketilen enerji miktarı, ekipman ihtiyacı, işletme özellikleri, deneyimli eleman çalıştırılması ve artan nüfusa karşı gösterdikleri tolerans kapasiteleridir (16).

Stabilizasyon havuzlarının dezavantajı olarak nitelendirilebilecek bir özelliği, arazi ihtiyacının diğer arıtma sistemlerine nazaran en az üç misli olmasıdır. Bunun sebebi stabilizasyon havuzlarında arıtma için seçilen atıksu bekletme süreleri çok uzun süreleri kapsadığından gerekli olan arazi ihtiyacı aktif çamur sistemi veya damlatmalı filtre yöntemlerine göre çok yüksektir. Stabilizasyon havuzlarının tesisi için arazinin geniş, uygun topografyada ve düşük maliyette olması istenmektedir.

Çalışma alanı için planlanan arıtma sistemi için ihtiyaç duyulacak arazi maliyeti hesaplanmalıdır. Suyun kalitesine bakıldığında BOİ<sub>5</sub> 120mg/L, havuz derinliği=1.2 m, bekletme süresi=7 gün, debi ölçümleri sonucu yaklaşık olarak Q =230 L/kişi-gün ve nüfus ise 180 000 kişidir. Bu durumda; ön arıtım, çamur kurutma yatakları ve havuzlar için toplam alan 241,5 dekar (da) civarındadır. Bir dekar arazinin yaklaşık olarak 400\$

olduğu kabul edilirse, toplam 940.000\$, arazi için ödenmesi gereken miktardır. Görüldüğü gibi stabilizasyon havuzları için en önemli girdi arazi maliyetleridir. Ancak ileriki yıllarda arıtma sistemi değiştirilip stabilizasyon havuzlarından vazgeçilmesi durumunda arazi yeni amaçlı kullanımlar için kullanılabilir.

Stabilizasyon havuzları, atıksu arıtma ile ilgili literatür incelendiğinde, özellikle sıcak iklimler için önerilmektedir. Sıcak iklime sahip olan bu bölge için stabilizasyon havuzlarının avantajları şu şekilde sıralanabilir (10):

- İstenilen arıtma derecesi en ucuza mal edilebilir. İşletmesi kolay ve bakımı oldukça basittir.
- Patojen bakteri giderimi diğer metotlardan daha fazladır.
- Aşırı organik ve hidrolik yükleri iyi tolere eder.
- Zirai ve sanayi atıksuları kolaylıkla arıtılabilir.
- Dizayn kolay olduğundan arıtma derecesi kolaylıkla değiştirilebilir.
- Arıtma sistemi değiştirildiğinde ya da değiştirme ye gerek duyulduğunda, arazi tekrar kolayca kullanılabilir.
- Üretilen alg, yüksek protein kaynağı olarak kullanılabilir.
- Olgunlaştırma havuzları balıkçılıkta ve su hayvanları beslenmesinde kullanılabilir.
- İnşası kolay ve ucuzdur. İşletme maliyeti düşüktür.
- Alandan tasarruf yapmak amacıyla havalandırmalı sistemler yapılabilir.

Bu sistemlerin dezavantajları ise, geniş arazi ihtiyacı ve yeraltı suları için kirlenme potansiyeli oluşturmalarıdır. Çalışma alanı bölgesinde önemli bir akifer bulunmamaktadır. Yeraltı suyunun yaklaşık 20m derinlikte olmasından zayıf-orta karakter gösteren atıksuyun bir miktarı sızması durumunda dahi yeraltı sularının kirlenmesine önemli bir etken olmayacağı öngörülmektedir.

Diğer arıtma sistemlerinin dezavantajlarının sıralamak gerekirse; aktif çamur, makine aksamı ön yatırımları en yüksek olan sistemlerden birisidir. Bu enerji tüketimine işçilik ve bakım onarım eklendiğinde gerçek işletme maliyetinin yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Damlatmalı filtreler ve biyodisklerin dezavantajları ise; özellikle sıcak iklimlerde damlatmalı filtrelerde alg üretmesi nedeniyle büyük sorunlar yaşanması, her iki sistemin de aşırı yüklerde arıtma verimi düşmesi ve arıza anında sistemin tekrar çalışır hale gelmelerinin en az 10-15 gün sürmesi sayılabilir (17,18,19).

Klasik atıksu arıtma teknolojilerinin maliyetteki dezavantajlarının yanı sıra, iklim ve yeterli arazi şartlarının sağlanması durumunda stabilizasyon havuzları ucuz bir sistemdir. ABD'de 1983 yılında, 7000 stabilizasyon havuzu bulunduğu ve sürekli artacağı bildirilmektedir (20).

Ülkemizde ise arıtma tesisi inşa etmede çok geri kalmıştır. DPT raporlarına göre 35 tesis tamamlanmış olup, 21 tesisin inşaatı bitiminde ise nüfusun yaklaşık % 7,3'ü daha atıksu arıtma tesisinden istifade edecektir (21).

Çalışma alanı için, dört sistemin yanında bu sistemlerin modifikasyonları ele alınmış olup, klasik aktif çamur sistemi, damlatmalı filtreler, biyodiskler ve stabilizasyon havuzları ön planda tutulmuştur. Seçilen bu sistemlerin avantajları ve dezavantajları çok yönlü olarak irdelenmiştir. İrdeleme, çalışma alanının özellikleri, atıksu debisi ve kirlilik parametreleri üzerinde yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara en uygun



sistemlerin mukayeseleri ile yapılmıştır. Bu şartlar ve özellikteki bölgenin evsel atıksuyunun artımı için stabilizasyon havuzları uygun görülmektedir. Bu sistemin uygulanması için tesisin yer seçiminin çok iyi yapılması gerekmektedir. Bunun yanında biyolojik arıtmanın vazgeçilmez sistemlerinden aktif çamur sistemi ve damlatmalı filtre esasına dayalı arıtma sistemleri tercihi de alternatif olarak öngörülmüştür.

## 5. SONUÇ

Bölgenin mevcut ayırık kanalizasyon sisteminin deşarj noktasında yapılan çalışmalar sonucunda atıksuyun zayıf-orta karakterde olduğu gözlenmiştir. Çökeltme deneyleri sonucunda zamana bağlı KOİ giderim verimi 120 dakika sonunda % 34,70 değerleri bulunmuştur. AKM ortalama giderim verimleri, çökeltme süreleri sonunda % 75 olarak bulunmuştur. Tesiste ön çökeltimin uygulanması ve bekletme süresinin de 1,5 saat olması uygun görülmektedir.

Bu özellikte ve karaktere sahip olan evsel atıksu arıtımının ise, inşaat ve işletmedeki basitliği, maliyetinin düşük, sıcak iklimlerde bölge şartları bakımından uygun ve arıtma performansı yüksek olması nedeniyle stabilizasyon havuzlarıyla yapılması öngörülmektedir. Aktif çamur sistemi, alan ihtiyacının az olması, mevsimler değişimlerinde güvenilir olması ve veriminin yüksek olması bakımından diğer arıtma sistemlerine göre avantajlı görülmektedir. Fakat maliyetinin yüksektir ve üst düzeyde işletme bilgisi gerektirmektedir. Yöntem ancak bu şartlar altında başarıya ulaşabilir.

Çalışmaya konu olan şartların irdelemesi sonucunda bölgenin ve atıksu özellikleri dikkate alındığında ilk etapta stabilizasyon havuzu işletilmesi ileriki yıllarda ise havalandırıcılar eklemek suretiyle mekanik havalandırılmalı havuzlar olarak kullanılması ekonomik aynı zamanda verimli olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

1. De Bustamante, "Land Application: Its Effectiveness in Purification of Urban and Industrial Wastewaters in La Mancha Spain", *Envir. Geo. Water Sc. Vol:10, No:3, 179-185, 1990.*
2. Choi,D., Park,H.A. "Hybrid Artificial Neural Network as a Software Sensor for Optimal Control of a Wastewater Treatment Process", *Wat. Res. Vol.35, No.16, Pp.3959-3967, 2001.*
3. Novotny,V., Ocem,H., "Water Quality-Prevention Identification and Management of Diffuse Pollution", *Van Nonstrand Reinhold Newyork, 1994.*
4. Inamari,Y., Takai,T., Yamamoto,Y., Katagai,N., Sankai,T., Hirata,A., "Sludge Production Characteristics of Small-Scale Wastewater Treatment Facilities Using Anaerobic/Aerobic Biofilm Reactors", *Wat.Sci.Tech.Vol.34 No. 3-4 pp.379-387, 1996.*
5. Wilderer,P., Bungartz,H.J., Lemmer,H., Wagner,M., Keller,J., Wuertz,S., "Modern Scientific Methods and Their Potential in Wastewater Science and Technology", *Received, Vol: 36, pp:370-380, 2001.*
6. Watanabe,T., Kuniyasu,K., Ohmori,H., "Anaerobic and Aerobic Submerged Bio-Filter System for Small Scale on-Site Domestic Sewage Treatment", *Wat. Sci. Tech. Vol 27 No 1 pp 51-57, 1993.*
7. Polprasert,C., "Organic Wastes Recycling Wiley", *Chichester, UK, 1989.*
8. Metcalf & Eddy, "Wastewater Engineering", *3th Ed., Mc Graw-Hill, 1991.*

9. Mara,D., " Sewage Treatment in Hot Climates, Willy - Interscience Publication Scontland", 168 pp., 1978.
10. Tebbutt,T.H.Y., "Principles of Water Quality Control", Pergamon, Oxford, 1970.
11. Yüceer,A., "Effects of waste activated sludge on primary settlement", M.sc. Thesis, University of Glasgow, United Kingdoom, 1980.
12. Yüceer,A., "Atıksu Arıtma Tesislerinin Planlanması, Sorunlar ve Çözüm Önerileri", Ç.Ü.M.M. Dergisi. Adana, 1995.
13. DSİ, Devlet Su İşleri Adana Bölge Müdürlüğü Verileri, 2000.
14. Apha, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 18<sup>th</sup> edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Federation, Washington,D.C., 1998.
15. Batchelor,A., Bocarro,R., Pybus,P.J., "Low-Cost and Low-Energy Wastewater Treatment Systems: A South African Perspective", Wat. Sci. Tech. Vol.24, No.5, pp.241-246, 1991.
16. Arceivala,S.J., "Wastewater treatment for pollution control", Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1980.
17. Muslu,Y., "Atıksuların Arıtılması", İTÜ Matbaası, İstanbul, 1994.
18. Khan,M.A., Ahmad,S.I., "Performance Evaluation of Waste Stabilization Ponds in Subtropical Region", Water Science and Technology. 26, 7-8, 1717-1728, 1992.
19. Zhao,Q., Zhang,Z., "Temperature Influence on Performance of Oxidation Ponds", Water Science and Technology. 24, 5, 85-86, 1991.
20. Epa, Municipal Wastewater Stabilization Ponds, 1983.
21. DPT, VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001 - 2005) İçme Suyu, Kanalizasyon, Arıtma Sistemleri ve Katı Atık Denetimi Özel İhtisas Komisyonu Raporu Ankara s.42-52, 2000.

## PEYNİRALTI SULARININ YUKARI AKIŞLI ANAEROBİK ÇAMUR ÖRTÜ REAKTÖRÜ İLE ARITILABİLİRLİĞİ

Ahmet YÜCEER, Ferit IŞIK

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

**ÖZET :** Bu çalışmada süt endüstrisi atıksu kaynaklarından peyniraltı sularının atıksu karakterizasyonu ve anaerobik arıtılabilirliği incelenmiştir. Karakterizasyon çalışmaları sonucunda peyniraltı suları  $KOİ$  konsantrasyonunun 60000-93000 mg/L,  $BOİ_5$  konsantrasyonunun 35000-70000 mg/L ve AKM konsantrasyonunun 1400-5750 mg/L arasında değiştiği gözlenmiştir.

Anaerobik arıtmada kullanılan laboratuvar ölçekli UASB reaktöründe yüksek kirlilik konsantrasyonuna sahip peyniraltı sularının farklı organik yüklemelerdeki arıtılabilecek organik yük miktarları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla reaktöre 2,320 kg  $KOİ/m^3.gün$ 'den 29,128 kg  $KOİ/m^3.gün$ 'e kadar değişen aralıklarda organik yüklemeler yapılmıştır. Uygulanan organik yüklemelerde ortalama  $KOİ$  ve  $BOİ_5$  giderme verimi sırasıyla %95,7; %97 olarak gerçekleşmiştir. 9,392 kg  $KOİ/m^3.gün$  organik yüklemeden sonra tek kademeli anaerobik reaktörde çıkış sularının deşarj standardını sağlamadığı ve ikinci bir arıtma ünitesine (aerobik biyolojik arıtma) ihtiyaç olduğu görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Süt Endüstrisi, Peyniraltı Suyu, Anaerobik Arıtma, Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Örtü Reaktör

## THE TREATABILITY OF WHEY BY UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET REACTOR

**ABSTRACT :** In this research, characterization and the anaerobic treatability of whey from the dairy industry have been investigated. After characterization works, it was found that the COD concentrations were between 60000-93000 mg/L,  $BOD_5$  concentrations were between 35000-70000 mg/L and suspended solid concentrations were between 1400-5750 mg/L.

It was tried to determine the performance of the bench scale UASB reactor for the treatment of whey under various organic loads. For this purpose, organic loads from 2,320 kg  $COD/m^3.day$  to 29,128 kg  $COD/m^3.day$  were applied to the reactor. Under these

\* Bu proje Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Proje No: FBE. 98.YL.85

*organic loading conditions, average COD and BOD<sub>5</sub> removal rates were found to be 95,7% and 97% respectively. It was also found that the anaerobic reactor was not efficient enough for the organic loading of higher than 9,392 kg COD/m<sup>3</sup>.day and a subsequent (aerobic treatment) treatment unit is needed in order to obtain necessary discharge standards.*

**Key Words:** Dairy Industry, Whey, Anaerobic Treatment, Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde 20. Yüzyılın ortalarında başlayan ve giderek hızlanan endüstrileşme sürecinde, gıda, tekstil ve kimya gibi sektörler öne çıkmıştır. Gıda sektörü, bu sektörün önemli bir yan kolu olan süt ve süt ürünleri (Süt Endüstrisi) üretimi, işlenmesi, üretim kapasitesi ve çevreye verdiği kirlilik yükü bakımından ülkemizde oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

Süt ve süt ürünleri işletmelerinde oluşan atıksu kaynakları; ısıtma ve soğutma sistemlerinden gelen sular, evsel atıksular, tesis ve makinelerin yıkanmasından gelen atıksular ve peyniraltı sularındır. Atıksu miktar ve özellikleri, üretim şekli ve ürün çeşidine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Peyniraltı suyu dışında oluşan atıksular, süt endüstrisinin hidrolik yük açısından büyük, kirlilik yük açısından küçük bir kısmını oluşturur (1). Orhon ve arkadaşları, 531 m<sup>3</sup>/gün atıksu oluşan bir süt entegre tesisinde sadece peyniraltı sularından gelen atıksu miktarını 50 m<sup>3</sup>/gün olarak bildirmişlerdir (2). Süt endüstrisinde toplam kirlilik yükünün büyük kısmını oluşturan peyniraltı suları (Whey), sütün peynir ve kazeine işlenişi sırasında maya enziminden ve asitten etkilenmeyerek pıhtılaşmayan, bileşiminde laktoz, protein, mineral madde ve yağ bulunan yeşilimsi-sarı renkte bir sıvıdır (3). Miktarı az, kirlilik konsantrasyonu yüksek ve biyolojik parçalanabilirliği kolaydır (4).

Bu çalışmada kirlilik konsantrasyonu oldukça yüksek olan peyniraltı sularının anaerobik olarak arıtılabilirliği araştırılmıştır. Anaerobik arıtma sistemi olarak yukarı akışlı anaerobik çamur örtü reaktörü [Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASBR)] kullanılmıştır. Peyniraltı suyu KOİ konsantrasyonunun çok yüksek olması nedeniyle, reaktör hacmi (1,9 L) ve reaktöre beslenen atıksu debisi (4,406 L/gün) sabit tutulmuş, organik yük kademeli olarak arttırılmıştır. Böylece organik yükler belirlenerek, her bir yük için reaktörün arıtma verimi tespit edilmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Peyniraltı Suyu

Deneysel çalışmada kullanılan peyniraltı suları Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Döner Sermaye İşletme Müdürlüğü Süt Mamulleri İşletme Atölyesinden temin edilmiştir. İşletme atölyesinde üretimin sürekli olmamasından dolayı atıksu numuneleri, peynirin

süzülmeye bırakıldığı peynir teknelerinden değişik zaman aralıklarında 2 saatlik kompozit numune olarak alınmıştır.

Peyniraltı sularının UASB reaktörüne beslenmeden önce sıcaklık, pH, Elektriksel İletkenlik, KOİ, BOİ<sub>5</sub>, AKM, TKM, TKN, PO<sub>4</sub> ve Yağ-Gres analizleri yapılarak ham su özellikleri belirlenmiştir (Tablo 1). KOİ ve PO<sub>4</sub> ölçümleri MN filterphotometer 100 D spektrofotometre ve hazır reaktifleri kullanılarak tespit edilmiştir. BOİ<sub>5</sub>, TKN, Yağ-gres, AKM ve TKM ölçümleri standart metotlara uygun olarak yapılmıştır (5). pH, WTW 330 pH metre, Elektriksel İletkenlik (Eİ) Hanna Instruments Conductivity Meter ile ölçülmüştür.

Tablo 1. Peyniraltı Suyunun Özellikleri

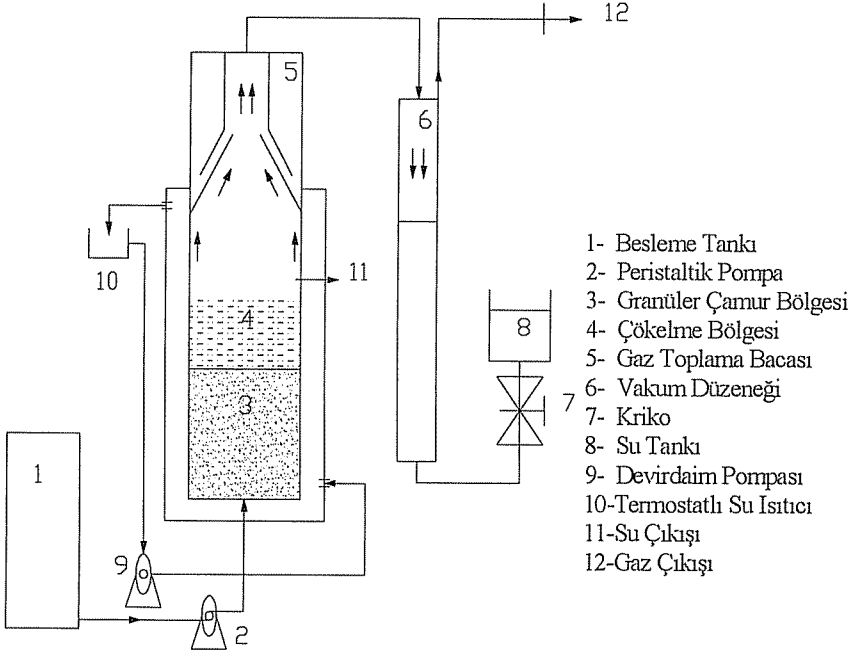
Parametre	Numune No			
	1	2	3	4
Sıcaklık (°C)	35	29	32	29
PH	6,46	4,61	6,30	6,31
E.İ (µs/cm)	4540	6520	4860	5070
KOİ (mg/L)	92650	63450	71500	63300
BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	69650	37560	43975	45900
TKM (mg/L)	59372	45242	52214	51378
AKM (mg/L)	5705	2300	2889	1424
TKN (mg/L)	233	120	204	142
PO <sub>4</sub> (mg/L)	740	269	625	489
Yağ-Gres (mg/L)	16333	19800	18457	15670

## 2.2. UASB Reaktörü

Deneysel çalışma boyunca peyniraltı suyunu arıtmak için kullanılan yukarı akışlı anaerobik çamur örtü reaktör (UASBR) çamur yatağı, çamur örtüsü, çökeltme bölgesi ve gaz-sıvı ayırma bölgesinden oluşan yüksek organik yüke dayanıklı hızlı sistemlerdir. Kullanılan UASBR sistemi soğutuculu besleme tankı, besleme pompası, gaz-sıvı ayırıcısı, gaz toplama kolonu, su ceketli ve çamur bölgesinden oluşmaktadır. Kullanılan reaktör laboratuvar ölçeklerinde pleksiglastan silindirik olarak yapılmış olup, faydalanabilir hacmi 3 L'dir. Çamur bölgesi %60 oranında anaerobik çamurla doldurulmuş ve çevresi 35 ± 1 °C sıcaklık sağlamak amacıyla sabit tutulmuştur. Reaktörün akım şeması Şekil 1'de gösterilmektedir.

Anaerobik arıtmada biyolojik ayrışmayı gerçekleştirmek için gerekli olan KOİ:N:P (100:1:0,2) oranında azottan ileri gelen eksiklik NH<sub>4</sub>OH ilavesi ile giderilmiştir. Anaerobik mikroorganizmaların hücre gelişimi için azot ve fosfor nütrientleri dışında demir (Fe), nikel (Ni) ve kobalt(Co) gibi iz elementlere ihtiyacı vardır (6). Bu yüzden bu iz elementleri deneysel çalışma boyunca peyniraltı suyuna ilave edilmiştir.

Peyniraltı suyu KOİ konsantrasyonunun çok yüksek olması nedeniyle, reaktör hacmi (1,9 L) ve reaktöre beslenen atıksu debisi (4,406 L/gün) sabit tutulmuş, farklı organik yükler temin etmek için, ham peyniraltı sularının belirli oranlarda çeşme suyuyla seyreltilerek arıtma verimleri incelenmiştir.



Şekil 1. UASB Reaktörünün Şematik Dizaynı

Anaerobik arıtmada biyolojik ayrışmayı gerçekleştirmek için gerekli olan KOİ:N:P (100:1:0,2) oranında azottan ileri gelen eksiklik  $\text{NH}_4\text{OH}$  ilavesi ile giderilmiştir. Anaerobik mikroorganizmaların hücre gelişimi için azot ve fosfor nütrientleri dışında demir (Fe), nikel (Ni) ve kobalt (Co) gibi iz elementlere ihtiyacı vardır (6). Bu yüzden bu iz elementleri deneysel çalışma boyunca peyniraltı suyuna ilave edilmiştir.

Peyniraltı suyu KOİ konsantrasyonunun çok yüksek olması nedeniyle, reaktör hacmi (1,9 L) ve reaktöre beslenen atıksu debisi (4,406 L/gün) sabit tutulmuş, farklı organik yükler temin etmek için, ham peyniraltı sularının belirli oranlarda çeşme suyuyla seyreltilerek arıtma verimleri incelenmiştir.

### 3. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Peyniraltı sularının yukarı akışlı anaerobik çamur örtü reaktöründe yapılan anaerobik arıtılabilirlik çalışmasında hidrolik bekleme süresi (HRT) sabit tutularak (10,34 saat), organik yük kademeli olarak artırılmıştır. Deneysel sonuçların değerlendirilmesinde KOİ ve BOİ<sub>5</sub> parametreleri göz önüne alınmıştır. Deneysel sonuçları KOİ ve BOİ<sub>5</sub> için Tablo 2 ve Şekil 2'de verilmektedir.

Gerek Türkiye gerekse yurt dışında yapılan çalışma verilerine göre peyniraltı sularının kirlilik konsantrasyonu, genel süt endüstrisi atıksularının kirlilik konsantrasyonundan çok daha yüksektir (7). Peyniraltı suları ile ilgili yapılan karakterizasyon çalışmalarında Yenigün ve arkadaşları, peyniraltı suyunun BOİ<sub>5</sub> konsantrasyonunun peynir yapım prosesine bağlı olarak 30000-60000 mg/L arasında değiştiğini bildirmektedir (4).

Yapılan bir başka çalışmada Pala ve Sponza, peyniraltı sularında KOİ'nin 32000-62000 mg/L ve AKM'nin 3440-4000 mg/L arasında değiştiğini (1); Öztürk ve arkadaşları ise, KOİ konsantrasyonunun 69500 mg/L olduğunu bildirmişlerdir (7). Holder ve Sowards entegre bir tesiste yaptıkları çalışmada peyniraltı suyu BOİ<sub>5</sub> konsantrasyonunu 30000-32000 mg/L, KOİ konsantrasyonunu ise ortalama 50000 mg/L olarak bildirmişlerdir (8). Bir başka çalışmada ise Weiland, peyniraltı suyu BOİ<sub>5</sub> konsantrasyonunu 35000 mg/L (9), Nemerow, 32000 mg/L bildirmişlerdir (10). Tablo 1'de görüldüğü gibi bu çalışmada kullanılan peyniraltı suyu BOİ<sub>5</sub> konsantrasyonu 35000-70000 mg/L, KOİ konsantrasyonu 60000-93000 mg/L ve AKM konsantrasyonu 1400-5750 mg/L arasında değişmektedir. Görüldüğü gibi önceki yapılan çalışmalarda kullanılan peyniraltı suyu KOİ konsantrasyonu en fazla 70000 mg/L'dir.

Bu çalışmada ise ham besleme suyunda en yüksek KOİ konsantrasyonu 93000 mg/L ölçülmüştür. Kirlilik konsantrasyonlarında görülen bu geniş aralığın, peynir yapımında kullanılan süt türünden ve yapılan peynir çeşidinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada peynir yapım tekniklerinden alınan ve arıtılabilirliği araştırılan inek sütünün kullanıldığı beyaz peynir yapımında oluşan peyniraltı suyunun ortalama olarak BOİ<sub>5</sub> konsantrasyonu 40000 mg/L ve KOİ konsantrasyonu 68000 mg/L; keçi-koyun sütü karışımının kullanıldığı kaşar peyniri yapımından oluşan peyniraltı suyunun ortalama BOİ<sub>5</sub> konsantrasyonunun 69250 mg/L ve KOİ konsantrasyonunun 92650 mg/L olduğu belirlenmiştir.

Peyniraltı sularının arıtılabilirliği ile ilgili yapılan çalışmalarda çeşitli yöntemler denenmiştir. Bunlar fizikokimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleridir. Bileşiminin büyük oranda çözünmüş maddelerden oluşmasından dolayı koagülasyon, peyniraltı suları için başarılı bir yöntem olmamaktadır (1). Bu araştırmacılar yaptıkları çalışmada %50 seyreltilmiş peyniraltı sularında Demir Sülfat (FeSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O), Demir-III Sülfat [Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O], Demir Klorür (FeCl<sub>3</sub>) ve Alüm [Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18H<sub>2</sub>O] koagülanları kullanarak [Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O] koagülantı ile %60 KOİ giderimi sağlandığını bildirmişlerdir. Ancak seyreltmenin atıksu arıtma uygulamalarında atıksu miktarı ve buna bağlı olarak

yatırım ve işletme maliyetini arttırması gibi olumsuzlukları vardır. Koagülasyon, peyniraltı sularında aktif çamur sistemi için ön arıtma olarak düşünülebilir.

Literatürde Metcalf ve Eddy, klasik aktif çamur sistemi için organik yük sınırının 0,32-0,64 kg BOİ<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.gün, uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemi için 0,16-0,4 kg BOİ<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.gün ve kontak stabilizasyon aktif çamur sistemi için 0,96-1,2 kg BOİ<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.gün olduğunu bildirmişlerdir (11). Ancak peyniraltı suları KOİ konsantrasyonunun 93000 mg/L'e kadar olabildiği dikkate alınrsa, seyreltilmiş atıksuda %50 KOİ gideriminde bile yaklaşık 22000 mg/L gibi yüksek KOİ konsantrasyonu mevcut olacağından bu atıksuların aerobik sistemlerin yükleme kapasitesine bağlı olarak çok uzun bekleme süreleri gerekecektir.

Peyniraltı suları, biyolojik parçalanabilirlik bakımından süt endüstrisi atıksuları ile oldukça benzerlik gösteren yüksek kirlilik yüküne sahiptir. Bu yüzden süt endüstrisi atıksuları ile peyniraltı suları arıtılmasının birbirinden farklı olduğu bildirilmiştir (12). Süt endüstrisi atıksularının arıtılması için aerobik arıtma uygun ve yeterli olabilir. Bununla ilgili yapılan çalışmalarda Orhon ve arkadaşları, süt ve süt ürünleri atıksularının arıtılabilirlik çalışmasında 1760 mg/L BOİ<sub>5</sub> ve 2483 mg/L KOİ içeren atıksuların aktif çamur sistemi ile arıtılmasında %99,7 BOİ<sub>5</sub>, %97 KOİ giderimi elde edildiğini bildirmişlerdir (2).

Bir başka çalışmada ise Yung ve Tsehng, süt ürünleri atıksularının kesikli aktif çamur reaktöründe arıtılabilirliğini incelemişler ve %95 KOİ giderimi elde edildiğini bildirmişlerdir (13).

Türkiye'de peynir üretiminin çoğunlukla mandıralarda yapıldığı dikkate alınrsa, bu tip tesislerde bu atıksuların arıtılması için en uygun yöntemin anaerobik arıtma olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (12,14). Anaerobik arıtma yüksek organik yükleri arıtma başarısına sahip bir proses olmasına rağmen parçalanma mekanizmasının 4 safhadan oluşması ve bu safhalardaki reaksiyon hızlarının birbirinden farklı olması, yüksek organik yüklerde bu sistemin en önemli dezavantajıdır. Yüksek organik yüklerde, asidojenik fazla metanojenik faz arasında reaksiyon hız farkı problem oluşturmaktadır. Asidojenik fazdaki reaksiyon hızı metanojenik fazdan 5-6 kat daha yüksektir (15). Asidojenik fazda oluşan asetik asit, propiyonik asit gibi organik asitlerin artması, artan organik asitlerin metanojenik fazda aynı hızda tüketilememesi, tek fazlı reaktörlerde pH düşmesine ve düşük pH'da metanojen bakteri faaliyetinin durmasına neden olmaktadır. Bu problemin ortadan kaldırılması için iki temel alternatif öne sürülmüştür (16). Birinci alternatif iki fazlı reaktör kullanımıyla asidojenik ve metanojenik fazların ayrılması, ikinci alternatif ise tek fazlı reaktörlerde NaHCO<sub>3</sub> tamponlamasıdır. Bu çalışmada tek fazda NaHCO<sub>3</sub> tamponlaması uygulanmıştır. NaHCO<sub>3</sub> tamponlamasında Palns ve arkadaşlarının, 1,2-1,6 g Alkalinite CaCO<sub>3</sub> /g giriş KOİ'si referans alınarak, giriş KOİ'sinden beslenmesi gereken NaHCO<sub>3</sub> miktarı hesaplanmıştır (17). Hesaplama 1000 mg/L KOİ için 1500 mg/L alkalinite ihtiyacı esas alınmıştır.



Tablo 2 ve Şekil 2'de KOİ giderme verimleri verilmiştir. Artan organik yüke bağlı olarak KOİ giderimlerinde azalma beklenirken, azalma olmamış hatta bir miktar artma olmuştur. Besleme periyotlarının uzun olması, sürekli artan organik yüklerin beslenmesi ile çamur miktarındaki artışa bağlı olarak giderme verimlerinin artmış olacağı düşünülebilir. Çünkü bu çalışmada deney başlangıcından sonuna kadar çamur atılmamıştır. Sadece yüksek organik yüklerde, artan gaz oluşumu ve artan çamur miktarından dolayı çıkış suyu ile birlikte reaktörden çamur kaçması olmuştur.

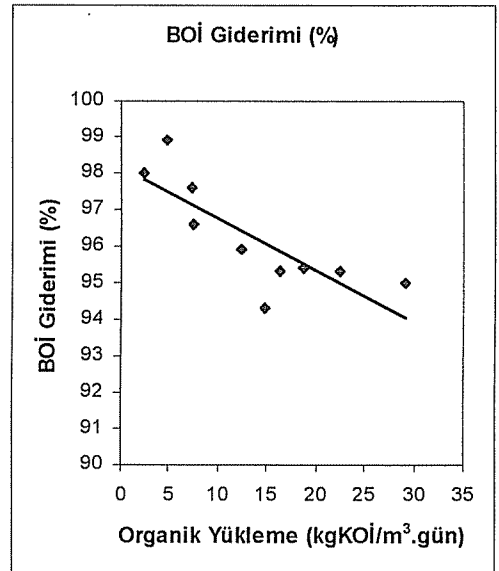
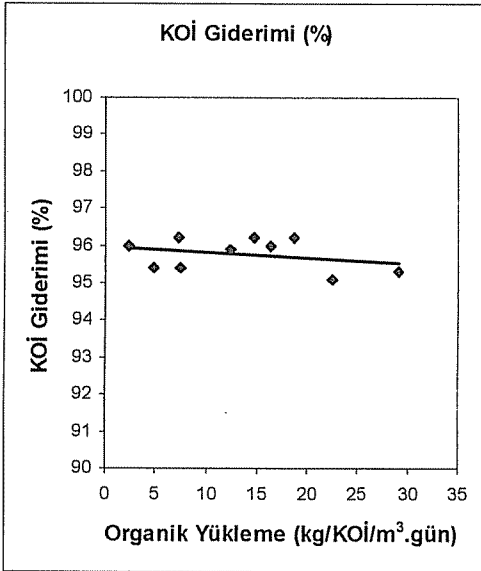
Peyniraltı sularının arıtılabilirliği ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle organik yük artışı ile KOİ giderme verimlerinde azalma olduğu bildirilmiştir. Hwang ve Hensen, peyniraltı sularının UASB reaktörü ile arıtılabilirlik çalışmasında, organik yükün 2,11 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün'den 26,67 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün'e artırılması ile KOİ giderme veriminin %99'dan %64,2'e düştüğünü bildirmişlerdir (18). Bir başka çalışmada, Öztürk ve arkadaşlarının bildirdiklerine göre, 5,53 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün olan organik yük 17 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün'e artırıldığında KOİ giderme verimi %87'den %75'e düşmüştür (7).

Peyniraltı sularının anaerobik arıtılabilirliği ile ilgili çalışmada Van Den Berg ve Kennedy, peyniraltı sularının arıtılmasında aşağı akışlı sabitleştirilmiş film reaktörün (DSFF) yukarı akışlı anaerobik çamur örtü reaktörden (UASB) daha etkili olduğunu bildirmişlerdir (19). Van Den Berg ve Kennedy'nin (1982) bildirdiklerine göre, UASB için 5 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeye %87, 15 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeye %73 KOİ giderimi sağlanmıştır. Buna karşılık DSFF'de 5kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeye %97,15 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeye ise %92 KOİ giderimi elde edilmiştir. Bu çalışmada Van Den Berg ve Kennedy'nin UASB için denediği benzer yükler karşılaştırıldığında 4,719 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeye %97,5, 14,727 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeye %97,8 filtre KOİ giderimi sağlanmıştır. Bu sonuçlar Van Den Berg ve Kennedy'nin 5 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeye DSFF'de elde ettiği giderimle benzerlik göstermektedir (19). Aynı araştırmacıların DSFF'de 15 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeye elde ettikleri %92'lik KOİ giderimine karşılık bu çalışmada 22,473 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeye %97,6 KOİ giderimi sağlanmıştır. Aradaki bu KOİ giderim farklarının çamur miktarından veya reaktörün işletme şartlarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Şekil 2).

BOİ<sub>5</sub> aerobik arıtmada temel parametredir. Anaerobik arıtmada BOİ<sub>5</sub> parametresi aerobik arıtma kadar önem taşımamaktadır (15). Aerobik arıtma biyokimyasal oksidasyona dayanan bir proses olmasına karşın anaerobik arıtma indirgenme ile gerçekleşir. Bundan dolayı biyokimyasal oksidasyona dirençli organik maddeler içeren bir çok atıksu anaerobik indirgenme ile arıtılır. Bu çalışmada giriş ve çıkış BOİ<sub>5</sub> parametresi takip edilmiş ve her bir organik yük için elde edilen BOİ<sub>5</sub> giderme verimleri Tablo 2 ve Şekil 2'deki grafiklerde verilmiştir. BOİ<sub>5</sub>'te %98,9'e varan giderme verimi elde edilmiştir.

**Tablo 2.** Farklı Organik Yükleme Oranlarında UASB ile KOİ ve BOİ<sub>5</sub> Giderim Sonuçları

Hidrolik Bekletme Süresi (saat)	Organik Yük (kgKOİ /m <sup>3</sup> gün)	Sıcaklık (°C)	pH	Alkalinite (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ham su KOİ (mg/L)			Ham su BOİ <sub>5</sub> (mg/L)		
					Giriş	Çıkış	% Giderim	Giriş	Çıkış	% Giderim
10,34	2,320	35±1	7,13	1020	1000	38	96	609	9,84	98
10,34	4,719	35±1	7,35	1640	2035	92	95,4	1267	13	98,9
10,34	7,328	35±1	7,14	2080	3160	120	96,2	2205	51	97,6
10,34	9,392	35±1	7,55	2450	4045	184	95,4	2565	85,9	96,6
10,34	12,384	35±1	8,13	2800	5340	218	95,9	3110	125	95,9
10,34	14,727	35±1	7,97	4400	6350	241	96,2	3565	200	94,3
10,34	16,326	35±1	8,01	4740	7040	276	96	5019	234	95,3
10,34	18,623	35±1	7,83	5300	8030	298	96,2	5839	268	95,4
10,34	22,473	35±1	7,96	6600	9690	471	95,1	6767	316	95,3
10,34	29,128	35±1	7,86	7440	12560	581	95,3	8600	427	95

**Şekil 2.** Farklı Organik Yükleme Oranlarında KOİ ve BOİ<sub>5</sub> Giderme Verimleri

Peyniraltı suları süt endüstrisi atıksu kaynakları içinde yer almasına rağmen, kirlilik konsantrasyonu süt endüstrisinden tamamen farklıdır. Artırılmış atıksuların deşarj standartları belirlenirken alıcı ortam özellikleri, deşarjla alıcı ortama verilen toplam kirlilik

yükü, arıtılabilirliği gibi temel kriterler esas alınır. Peyniraltı sularının arıtılmasında %95-96 oranına varan KOİ giderimi elde edilmesine rağmen, yüksek giriş konsantrasyonundan dolayı anaerobik arıtma ile deşarj standartlarının sağlanması sistemi, düşük organik yüke göre (Yaklaşık 9 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün) tasarlanmalıdır. Anaerobik arıtma sisteminin yüksek organik yüklere göre tasarlanması durumunda deşarj standardının sağlanabilmesi için anaerobik arıtma çıkışına bir arıtma sisteminin yapılması zorunlu görülmektedir.

Peyniraltı sularının deşarj standartları süt ve süt ürünleri endüstrisi için belirlenen standartlarla aynıdır. Yüksek kirlilik içeriği ve düşük atıksu miktarından dolayı alıcı ortama vereceği kirlilik yükü ve arıtma maliyeti, süt ve süt ürünleri endüstrisi ile karşılaştırılarak değerlendirilmeli ve yeniden belirlenmelidir.

#### 4. SONUÇLAR

Peyniraltı sularının anaerobik (UASB) arıtılabilirliğini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Peyniraltı sularının BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM, TKN ve fosfor konsantrasyonlarının sırasıyla; 35000-70000 mg/L, 60000-93000 mg/L, 1400-5750 mg/L, 120-250 mg/L, 270-750 mg/L değerleri arasında değişmektedir.

Anaerobik arıtma için organik madde ve nütrientler arasında KOİ:N:P 100:1:0,2 oranı vardır. Bu çalışmada kullanılan peyniraltı suyunda bu orana göre P konsantrasyonunun yeterli, N konsantrasyonunun ise düşük miktarda bulunduğu tespit edilmiştir.

Peyniraltı suları, kirlilik konsantrasyonu yüksek, miktarı düşük olmasından dolayı arıtma tesisleri için yüksek organik yük oluşturmaktadır. Bundan dolayı peyniraltı sularının süt ve süt ürünleri endüstrisinden farklı olarak arıtılması gerektiği öngörülmektedir.

Peyniraltı sularının arıtılmasında kullanılan laboratuvar ölçekli UASB reaktörünün 29,128 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeye kadar başarılı olduğu deneysel çalışmalarda görülmüştür.

Anaerobik (UASB) arıtma ile deşarj standardı (BOİ<sub>5</sub>: 50 mg/L, KOİ:170 mg/L) 9,392 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeye kadar sağlandığı belirlenmiştir (20). Bu yükten daha yüksek organik yüklemelerde ikinci bir arıtma sisteminin gerekli olduğu düşünülmektedir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Pala,A., Sponza,D., "Bir Süt Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu ve Arıtma Sisteminin incelenmesi", İTÜ 4. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu 94, İstanbul,55-65s., 1994.
2. Orhon,D., Artani,N., Tünay,O., "Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisinde Atıksu Sorunu ve Arıtma Yaklaşımları". Uluslararası Çevre 87 Sempozyumu, İstanbul, 469-491s., 1987.
3. Yöney,Z., "Süt Kimyası", Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, Sayı 530, 1974.

4. Yenigün, O., Mutlutürk, G., "Peyniraltısuyu Atık Giderimi ve Peyniraltı Suyundan Biogaz Eldesi", *Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu*, Cilt 2, İstanbul, 536-549s., 1991.
5. *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th. ed., APHA-SWWA-WPCF, American Public Health Association, Washington DC, (1998).
6. Kelly, C.R., Switzenbaum, M.S., "Anaerobic Treatment: Temperature and Nutrient Effects", *Agricultural Wastes*, Vol. 27, 1152s., 1984.
7. Öztürk, İ., Eroğlu, V., Ubay, G., Demir, İ., "Hybrid Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (HUASBR) Treatment of Dairy Effluents", *International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries*, İstanbul, 111-120s., 1992.
8. Holder, G.A., Swards, G.J., "Treatment and Disposal of Dairy Whey", *International Symposium on Waste Management Problems In Agro-Industries*. İstanbul-Turkey, 1989.
9. Weiland, P., "Development of Anaerobic Filters for Treatment of High Strength Agro-Industrial Wastewaters", *Branshweig Bioprocess Engineering*, 1987.
10. Nemerow, N.L., "Industrial Water Pollution",. *Origin, Characteristics and Treatment*. Addison-Wesley, Reading, MA, 155, 1978.
11. Metcalf ve Eddy, "Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse", McGraw-Hill Inc., 1334s., 1991.
12. Tseng, S., Lung, S.P., "An Improved Anaerobic Digester for Treatment of Dairy Wastewater", *International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries*, İstanbul, 101-109s., 1992.
13. Yung-Tsehung, "Batch reactor Activated Sludge treatment of Milk Processing Wastewaters",. *Process Biochemistry*, February, 1984.
14. Barford, J.P., Cail, R.G., Callender, I.J., and Floyd, E J., "Anaerobic Digestion of High-Strength Cheese Whey Utilizing Semicontinuous Digesters and Chemical Flocculant Addition", *Biotechnology and Bioengineering*. 28:1601-1607, 1986.
15. Van Haandel, A.C., Lettinga, G., "Anaerobic Sewage Treatment", *A Practical Guide for Regions with a Hot Climate*. John Wiley and Sons, Chichester, England, 1994.
16. Speece, R.E., "Anaerobic Biotechnology",. Vanderbilt University, USA, 1996.
17. Palns, S.S., Loewenthal, R.E., Wentzel, M.C., Moosbrugger, R.E., Marais, G.R., "Effects of a Recycle in Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) Systems", *Water SA*, Vol. 17, 37-46s., 1991.
18. Hwang, S.H., Hansen, C.L., "Aceedings of The 6. International Symposium", *Food Processing waste*. American Social of Agricultural Engineers. USA, 1994.
19. Van Den Berg, L., Kennedy, K.J., "Dairy wastw Treatment With Anaerobic Stationary Fixed Film Reactors", *Anaerobic Treatment of Wastewaters in Fixed Film Reactors*, 229-240s., 1982.
20. SKKY; "Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Atıksuların Boşaltım Esasları", 4.9.1988 sayılı Resmi Gazete, 1988.

**ADANA KANALİZASYON SULARININ KARAKTERİZASYONU VE SICAK İKLİMLERDE ARITMA ALTERNATİFLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ**

**Ahmet YÜCEER, Çağatayhan Bekir ERSÜ**  
Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Bu çalışmada sıcak iklimlerde evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan alternatifler üzerine bir literatür araştırması ve ön çökeltimin arıtma verimine etkisini ortaya koymak amacıyla Adana evsel atıksularının karakterizasyonu ve zamana bağlı çökeltme deneyleri yapılmıştır.

Sıcak iklimin hakim olduğu Adana bölgesinde, evsel nitelikli ham atıksularda AKM, KOİ, filtre KOİ, BOİs, yağ-gres, TKN ve toplam fosfor konsantrasyonları sırasıyla; 190-355 mg/L, 280-580 mg/L, 130-220 mg/L, 210-465 mg/L, 50-80 mg/L, 15-25 mg/L, 4-5,2 mg/L olarak bulunmuştur. Ham atıksuyun filtre edilmesi sonucu KOİ'nin yaklaşık %40'ının AKM'den kaynaklandığı tespit edilmiştir. Çalışmada, atıksu numuneleri 15, 30, 60 ve 120 dakikalık sakin çökeltmeye tabi tutulmuş ve çökeltme sonucu üst fazdaki KOİ değişimi incelenmiştir. 120 dakikalık çökeltme süresi sonrasında askıdaki katı maddelerin ortalama %30 oranında çökeldiği belirlenmiştir.

Literatür bilgileri ve yapılan analizler sonucunda, sıcak iklimlerde evsel atıksuların stabilizasyon havuzlarında ve sulak alanlarda hem düşük maliyetlerle hem de yüksek verimlerle arıtılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Evsel Atıksu, Ön Çökeltim, Sıcak İklim, Arıtma Metotları.

**THE CHARACTERIZATION OF ADANA CITY SEWERAGE AND TREATABILITY ASSESMENT USING ALTERNATIVE TREATMENT SYSTEMS IN HOT CLIMATES**

**ABSTRACT :** In this study, literature survey about the alternative wastewater treatment systems available in hot climates and the characterization of the municipal wastewater of Adana Region in order to determine the effect of primary sedimentation on treatment efficiency have been investigated. The wastewater samples have been let to sedimentation for the retention periods of 15, 30, 60, and 120 minutes and chemical oxygen demand levels have been observed.

*In the municipal raw wastewater of Adana region which is dominated by hot climate, concentrations vary between 190-355 mg/L TSS, 280-580 mg/L COD, 130-220 mg/L filtered COD, 210-465 mg/L BOD<sub>5</sub>, 50-80 mg/L oil-grease, 15-25 mg/L TKN, and 4-5,2 mg/L TP. After filtration of raw sewage, averagely 40% of COD was measured to be due to SS. In this study, the wastewater samples were let to settle for the retention periods of 15, 30, 60, and 120 minutes and COD levels have been observed in the supernatant. The analyses show that Adana municipal wastewater is mainly in weak character. Averagely 30% of SS was removed after settling period of 120 minutes.*

*The literature and analyses show that the municipal wastewater can be almost purified in stabilization ponds and wetlands not only economically but also efficiently in hot climates.*

**Key Words:** *Municipal Wastewater, Primary Sedimentation, Hot Climate, Treatment Methods.*

## 1. GİRİŞ

Atıksuların hacimce önemli bir kısmını oluşturan evsel atıksuların arıtılmasında başvurulan pek çok alternatif olmakla birlikte sıcak iklim (tropikal, subtropikal) kuşağındaki bölgelerde bu atıksuların arıtılmasında, evsel atıksuyun özelliklerine, bölgenin iklimsel koşullarına, öngörülen arıtma tipine bağlı olarak farklı giderme verimleri elde edilebilmektedir. Küresel ısınmanın giderek artmakta olduğu ve sıcak olmayan iklim kuşaklarındaki bölgelerde de mevsimsel sıcaklıkların yükselmeye devam ettiği düşünülürse bu konunun önemi daha da açığa çıkmaktadır (1,2). Bunun yanında, günümüzde ekonomik unsurların ön plana çıkmasıyla birlikte istenen giderme verimlerini daha düşük ön yatırım ve işletme maliyetleri ile sağlayan sistemlerin araştırılması çalışmaları hız kazanmaktadır (3).

Diğer taraftan, atıksuların kimyasal ve biyolojik özelliklerinin tespit edilmesi son derece önemlidir. Bu özellikler ile birlikte atıksuyun çökeltme oranları uygulanabilecek arıtma tipi, proses ve işlemlerinin uygun şekilde belirlenmesine olanak verir. Nitekim, günümüz teknolojisinde de atıksular ön arıtma işlemlerinde çökeltmeye tabi tutulurlar. Böylece, askıda katı maddelerin 30 dakikalık çökeltme süresi sonunda % 50-70' i, 120 dakikalık çökeltme süresi sonunda da % 64-73' ü giderilebilmektedir (4). Bununla birlikte, literatürdeki değerler bu değerlerden genellikle daha düşüktür.

Bu çalışmanın amacı, sıcak iklim (tropikal, subtropikal) kuşağındaki bölgelerde evsel atıksuların arıtılmasında ekonomik ve diğer unsurlar (İşletme, bakım-onarım, giderme verimi...vs.) açısından en uygun arıtma alternatiflerini ortaya koymaktır

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan materyal, 1995 yılında yapılan son nüfus sayımına göre 1.110.000 kişilik yerleşik nüfusu ile yoğun endüstriyel ve tarımsal faaliyet gözlenen Adana İlinin kanalizasyon sularıdır. Türkiye'nin beşinci büyük kenti ve önemli bir tarım bölgesi olan Adana'da belediyeye ait bir atıksu arıtma tesisi olmayıp kanalizasyon ve yağmur suyunun tamamına yakın bir kısmı arıtılmadan Seyhan Nehri'ne ve drenaj kanallarına deşarj edilmektedir. (2003 yılı itibarıyla arıtma tesisi inşası devam etmektedir).

Çukurova bölgesi subtropik iklim kuşağında yer alan bir bölge olup ortalama sıcaklık 19,6 °C ve yılın 195,6 günü yazdır. Yağış her mevsimde farklı miktarlarda gerçekleşmekte ve en çok yağış Ocak, Şubat ve Mart aylarında görülmektedir. Yaz aylarında ortalama sıcaklık 29 °C, kış aylarında ise 11 °C olup 0 °C sıcaklık çok nadir görülür. Yıllık ortalama maksimum yağmurlu gün sayısı 76,4 gün olup minimum yağmurlu gün sayısı Ağustos ayında 0,7 gündür (5).

Kanalizasyon ile toplanan atıksuların büyük çoğunluğunun Seyhan Nehri'ne tek bir noktadan döküldüğü yer olan Güneşli Bölgesi'nden farklı zamanlarda olmak üzere 8 kez iki saatlik kompozit atıksu numuneleri alınmıştır. Numuneler Ekim ile Kasım-1999 ayları arasında değişik tarihlerde ve 11:00-13:00 saatleri arasında alınmıştır.

Alınan atıksu numuneleri yarım saatlik mesafede olan Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarına getirilerek bekletilmeden fiziksel ve kimyasal olarak analiz edilmiştir. Fiziksel ve kimyasal olarak atıksu numunelerinde pH, elektriksel iletkenlik (Eİ), askıda katı madde (AKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>), yağ-gres, filtre kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ<sub>filtr</sub>), toplam Kjeldahl azotu (TKN), toplam fosfor (TP) parametrelerine bakılmak suretiyle atıksu karakterizasyonu yapılmıştır. Bununla ilgili olarak elde edilen değerler Çizelge 2.1 de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Ham Atıksu Numunelerinin Özellikleri

Parametreler	Numune No								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ort.
pH	8,1	8,7	7,3	7,9	7,8	8,2	8,7	7,6	8,1
Eİ (µS/cm)	1058	820	970	953	1130	965	1150	920	996
AKM (mg/L)	194	352	182	205	273	238	336	315	262
KOİ (mg/L)	395	565	280	422	456	376	582	492	446
KOİ <sub>f</sub> (mg/L)	150	200	132	176	192	154	216	184	176
BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	310	462	212	298	325	285	424	442	345
Yağ-gres (mg/L)	68	79	63	67	70	53	75	68	68
TKN (mg/L)	16	24	18	20	16	19	23	19	19
TP (mg/L)	4	4,9	4,1	4,3	4,3	3,9	5,2	4,6	4,4

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Atıksu Analizleri

DeneySEL çalışmalar sırasında KOİ ve TP ölçümleri MN (Macherey-Nagel) Filterphotometer Nanocolor 100D Spektrofotometre kullanılarak yapılmıştır. Filtre KOİ de aynı şekilde bulunmuş olup numune öncelikle Whatman GF/C filtre kağıdından geçirilerek filtre edilmiştir.

Toplam fosfor analizinde metot, atıksu numunesinin 100 °C sıcaklıkta asidik ortamda hidrolizi ve oksidasyonu sonrası fosfat-molibdat-vanadat kompleksinin renk şiddetinin konsantrasyon cinsinden fotometrik olarak saptanması prensibine dayanır. Bu metot 2-50 mg/L aralığında hassastır (MN Filterphotometer Nanocolor 100D-Test 79).

BOİ<sub>5</sub>, TKN, yağ-gres ve AKM ölçümleri standart metotlara uygun olarak yapılmıştır (6).

pH WTW 330 pH-Meter ile, Eİ ise Hanna Instruments Conductivity Meter ile ölçülmüştür.

Yağ-gres ve AKM ölçümünde Whatman GF/C filtre kağıtları kullanılmıştır. Hata payını en aza indirmek için KOİ, filtre KOİ, BOİ<sub>5</sub> üçlü olarak yapılmış ve diğer deneyler ise iki defa tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

### 2.2.2. Çökeltme Deneyleri

pH, EI, AKM, KOİ, BOİ<sub>5</sub>, yağ-gres, TKN, TP değerlerine bakılmak suretiyle karakterizasyonu yapılan atıksu numuneleri dört sıra halinde ikişer dizilmiş 1 L.'lik beherlere homojen şekilde konulmuş ve 1. Sıra 15 dakika, 2. Sıra 30 dakika, 3. Sıra 60 dakika, 4. Sıra ise 120 dakika sakin çökelmeye tabi tutulmuştur.

15 dakika sonra 1. sıradaki beherlerdeki atıksuyun üst fazından uygun biçimde alınan numunelerde KOİ değerleri belirlenmiştir. Aynı işlem 30, 60, 120 dakika geçtiğinde sırasıyla; 2. sıra, 3. sıra, 4. sıra için tekrarlanmıştır. Her beherdeki üst fazdan belirlenen süreler sonunda alınan numunelerin KOİ analizleri üçlü şekilde yapılmış ve iki beherden elde edilen değerlerin ortalaması alınarak söz konusu çökeltme süresi sonunda üst fazdaki ortalama KOİ değerleri bulunmuştur.

Elde edilen bulgular gerek sayısal gerekse de yüzde giderimler şeklinde çizelge ve grafiklerle ifade edilmiştir.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 3.1. Atıksu Karakterizasyonu

Çizelge 2.1 de karakterizasyonu verilen atıksu numunesine ait değerlere bakıldığında atıksuyun çoğunlukla orta sınıf karaktere sahip olduğu görülmektedir. Metcalf ve Eddy (7) nin evsel atıksuların bileşimi ile ilgili olarak verdikleri çizelgeye bakıldığında AKM değerlerine göre alınan numunelerinin 5'inin orta, 3'ünün güçlü, KOİ değerlerine göre 2'sinin zayıf, 6'sının orta, BOİ<sub>5</sub> değerlerine göre 3'ünün orta, 5'inin güçlü, toplam Kjeldahl azotu ve toplam fosfor değerlerine göre hepsinin zayıf karakterde olduğu görülmektedir.

Alınan numunelere ait analiz sonuçlarının ortalama değerlerine bakıldığında AKM ve KOİ göre orta, BOİ<sub>5</sub> göre güçlü, TKN ve TP göre ise zayıf karakterdedir.

Literatürde verilen değerlerle karşılaştırıldığında, Adana evsel atıksularının daha güçlü bir karaktere büründüğü görülmektedir. Büyük bir hızla artan tarımsal ve endüstriyel faaliyetlere ait altyapılaşmanın ve çevre koruma ilkelerinin hayata geçirilmesi ile tarımsal sulamadan dönen drenaj suları ve endüstriyel tesislerden açığa çıkan arıtmaya tabi tutulmuş veya tutulmamış atıksular büyük oranda kanalizasyonda toplanmaya başlanmış ve bu da kanalizasyondaki atıksuyun karakterini büyük ölçüde değiştirmeye başlamıştır. Numunelerin kirleticilerin maksimum seviyelere ulaştığı 11:00-13:00 saatleri arasında alınmış olması da literatüre göre oldukça yüksek olan bu değerlerin elde edilmesinde rol oynamıştır.

Ortalama değerler göz önüne alındığında, atıksu numuneleri için tespit edilen BOİ<sub>5</sub>:N:P oranının 100:5,5:1,3 olduğu ve bu oranın biyolojik arıtmaya uygunluğu ifade etmek için ortaya konan 100:5:1 oranına çok yakın olduğu görülmektedir. Tüketimin artması ve sosyal alışkanlıkların değişmesi de bu oranların değişmesinde önemli rol oynamaktadır.

pH'nin bazik nitelikte olduğu, elektriksel iletkenlik (EI) değerinin de 1000 µs/cm civarında seyrettiği analiz bulgularından açıkça anlaşılmaktadır. Yine ortalama değerler



göz önüne alındığında KOİ değerinin yaklaşık %30'unun çözünmüş maddelerden kaynaklandığı ve bunun da literatürde karşılaşılan değerlerle hemen hemen aynı olduğu görülmektedir (7,8). Tuvaletlerden gelen sular mutfak ve banyodan gelen sulara nazaran fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan daha kirlidir ve katı madde içeriği daha fazladır. Evsel atıksuların içerdiği ortalama %2-3'lük katı madde zamanla su içerisinde parçalanarak çözünmüş maddelerin konsantrasyonlarını arttırmaktadır (8).

### 3.2. Çökeltme Deneyleri Sonuçları

Adana evsel atıksuları ile yapılan çökeltme deneyleri neticesinde 15, 30, 60 ve 120 dakikalık çökeltme süreleri sonunda üst fazda KOİ parametresi elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde göz önüne alınmıştır. Buna göre, üst fazdaki kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri ile KOİ giderme oranları çizelgeler 3.1 ve 3.2 de, bu değerlerin ifade edildiği eğriler de şekiller 3.1 ve 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çökeltme Süresine Karşılık KOİ Değerleri

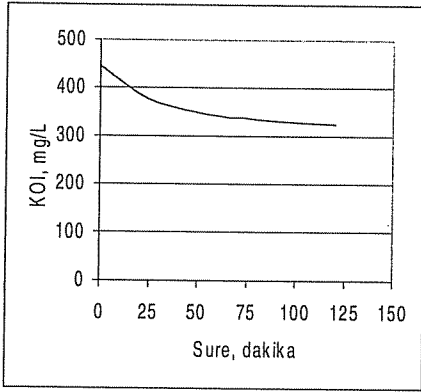
Numune No	Ham KOİ	Çökeltme Süresine Karşılık Üst Fazda KOİ Değerleri			
		15 dakika	30 dakika	60 dakika	120 dakika
I	395	355	338	319	287
II	565	510	478	442	408
III	280	265	257	249	232
IV	422	370	332	306	293
V	456	402	366	329	305
VI	375	348	322	310	296
VII	583	520	472	442	426
VIII	492	428	386	353	336
Ortalama Aralık*	446±203	400±161	369±142	344±127	323±123

\* Aralıklar t dağılımında  $\alpha=0.1$ ,  $n=8$  ve  $\sigma_{n-1}$  e göre bulunmuştur.

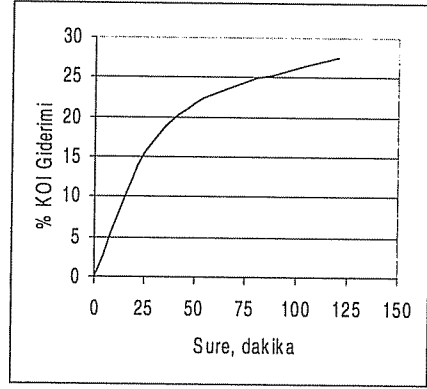
Çizelge 3.2. Çökeltme Süresine Karşılık KOİ Giderme Verimleri

Numune No	Çökeltme Süresine Karşılık KOİ Giderme Verimleri (%)			
	15 dakika	30 dakika	60 dakika	120 dakika
I	10,1	14,4	19,2	27,3
II	9,7	15,4	21,8	27,8
III	5,4	8,2	11,1	17,1
IV	12,3	21,3	27,5	30,6
V	11,8	19,7	27,9	33,1
VI	7,2	14,1	17,3	21,1
VII	10,8	19,0	24,2	26,9
VIII	13,0	21,5	28,3	31,7
Ortalama Aralık*	10,1±4,9	16,7±8.7	21,8±11	27,0±10.2

\*Aralıklar t dağılımında  $\alpha=0.1$ ,  $n=8$  ve  $\sigma_{n-1}$  e göre bulunmuştur.



**Şekil 3.1.** Üst fazda ortalama KOİ değerleri



**Şekil 3.2.** Çökeltme sonrasında ortalama KOİ giderme verimleri

Sakin çökelmeye tabi tutulan atıksu numunelerinde partiküllerin büyük çoğunluğunun yumaklaşarak çöktüğü gözlenmiştir. KOİ değerlerinin değerlendirmede esas alındığı çökeltme deneylerinde üst fazdaki KOİ değerlerine bakıldığında 15 dakikalık çökeltme süresi için elde edilen KOİ giderme verimi %5-13 arasında değişirken, 30 dakikalık çökeltme süresi için bu değerler çoğunlukla %14-21 arasında değişmektedir. Bu oranlar 60 dakikalık çökeltme süresi için %17-29 arasında değişirken sadece bir numunede bu oran %11 civarında gerçekleşmiştir.

Ortalama olarak ifade etmek gerekirse bu değerler 15 dakikalık çökeltme süresi için %10,3, 30 dakikalık çökeltme süresi için %17,3, 60 dakikalık çökeltme süresi için %23,1 ve 120 dakikalık çökeltme süresi için %27,6'dır.

Eldeki bulgular değerlendirildiğinde ve Şekil 3.1 ve 3.2' den de görülebileceği gibi çökeltme süresi arttıkça KOİ gideriminde mutlak bir artış gözlenmektedir. Çökeltme süresinin 15 dakikadan 30 dakikaya çıkarılmasıyla giderme oranlarında %3-9'luk artışlar elde edilirken 60 dakikaya çıkarılmasıyla oranlardaki artış %10-18 arasında değişmektedir. 30 dakikadan 60 dakikaya geçişlerde ise artışların %3-8 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Çökeltme süresinin 15 dakikadan 120 dakikaya çıkarılmasıyla KOİ giderme oranlarındaki artışların %14-22 aralığında olduğu görülmüştür. 30 dakika ile 120 dakika arasındaki artışlar %7-17, 60 dakika ile 120 dakika arasındaki artışlar da %3-8 arasında gerçekleşmiştir.

Ortalama değerlere bakıldığında ise 15 ile 30 dakika arasında artış %5, 6, 30 ile 60 dakika arasında %5, 1, 15 ile 60 dakika arasında %11, 7, 60 ile 120 dakika arasında %5,2, 15 ile 120 dakika arasında %16,9, 30 ile 120 dakika arasında ise %10,3 luk ortalama artışlar elde edilmiştir.

Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda maksimum KOİ giderme verimi 120 dakikalık çökeltme süresi için ortalama %27 olarak gerçekleşmekle birlikte 60 dakikalık çökeltme süresi için bu oran %21,8 olarak gerçekleşmiştir. Aradaki yaklaşık olarak %5,2

lik fark için çökeltme süresinin iki katına çıkarılması söz konusu olamaz. Aksi halde iki katı hacimde bir ön çökeltim havuzu inşa etmek gerekecektir.

Zayıf ve orta karakterdeki bu atıksulara uygulanan çökeltme deneyleri neticesinde elde edilen verimlere bakıldığında ön çökeltimin evsel atıksulara kesinlikle uygulanması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Yapılan literatür taramasından elde edilen bulgular değerlendirildiğinde sıcak iklimlerde artan biyolojik parçalama oranlarına karşılık çökeltme verimlerinin iyi olmayışı ön plana çıkmaktadır. Tropikal ve subtropikal iklim bölgelerinde atıksular daha çabuk anaerobik hale gelmekte ve bu da aynı zamanda çökeltme özelliğinin zayıflamasına neden olmaktadır.

### 3.3. Arıtma Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

Evsel atıksular geçmişten günümüze çeşitli yöntemlerle arıtmaya tabi tutulmuş ve her arıtma prosesinde gerek proses özelliği gerekse de atıksu tipine bağlı olarak farklı giderme verimleri elde edilmiştir. Sıcaklık, arıtma verimine etki eden önemli bir faktör olup bölgenin iklimsel koşulları bu kriter üzerinde önemli düzeyde rol oynar. Sıcaklık arttıkça mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri hızlandığı için genellikle sıcaklığın artmasıyla arıtma verimi yükselir. Sıcak iklimin (tropikal, subtropikal) hakim olduğu bölgelerde çoğu arıtma prosesinde elde edilen verimler nispeten soğuk iklimde elde edilenlerden çok farklı olabilmektedir.

Evsel atıksular hangi yöntemle arıtılırsa arıtılsın iyi bir planlama ve işletme ile kirlilik parametrelerinde %90-95'lere kadar giderim elde edilebilir (7). Burada en önemli husus arıtma tesislerinin ön yatırım ve işletme maliyetleridir. Evsel atıksuların arıtılması söz konusu olduğunda karşılaşılan arıtma sistemleri arasında aktif çamur sistemleri, stabilizasyon havuzlar, anaerobik arıtma, biyodiskler, damlatmalı filtreler, arazide arıtma sistemleri, sulak alanlar...vs. sayılabilir.

Stabilizasyon havuzları özellikle sıcak iklimlerde geniş çapta kullanılabilen bir sistemdir. Stabilizasyon havuzlarında BO<sub>5</sub> giderme verimi atıksuyun özelliğine, coğrafi bölgeye ve çevre şartlarına bağlı olarak % 70-90 arasında değişmektedir. Bakımı ve işletmesi kolaydır. Patojen organizma giderimi diğer metotlara göre daha fazladır. Aşırı organik ve hidrolik yükleri iyi tolere ederler. Dizaynı kolay olduğundan arıtma derecesi kolayca değiştirilebilir. Arazinin son durumu halen kullanılabilir. İnşaatı kolay ve ucuzdur. Ancak stabilizasyon havuzlarının diğer arıtma tesis tiplerine göre daha fazla alan kaplaması bir dezavantaj olarak görülse de yapılan son çalışmalarda havuz derinliğinin artırılması ile ihtiyaç duyulan yüzey alanının azaldığı görülmüştür. Mara'nın (1978) bildirdiğine göre kurak bölgelerde havuz derinliği 2m civarında alınabilmektedir. Hosetti ve Patil'in (1987) yaptığı diğer bir çalışmada ise stabilizasyon havuzlarının 2.44m derinlikte çalıştığı bildirilmektedir. (1,3,9,16).

Uzun havalandırılmalı sistemler inşaatları ve işletmeleri yönünden çok basittirler. Sistem tamamen aerobik şartlarda çalışmaktadır. Bu sistemde atıksu, ızgaralar ve kum tutuculardan sonra direkt olarak havalandırma tankına getirilir. Uzun süreli bir havalandırma yapıldığında, çamurdaki katı maddeler yeterince mineralize olurlar ve çamur, çürütme işlemine tabii tutulmadan kurutulabilir. Fakat sistemin enerji ihtiyacı aktif çamura göre daha fazladır. Bu problem, nitrifikasyonu ve denitrifikasyonu havalandırma havuzunda aynı anda yapmakla minimize edilebilir (10,11,12).

Anaerobik arıtma sistemlerinde de yüksek verimler elde edilebilmekle birlikte işletmesi aktif çamur sistemlerine nazaran zordur. Ön yatırım maliyetleri de yüksektir (13,14).

Biyodiskler aşırı yüklemeye dayanıklı değildirler. Diğer taraftan, ekvator iklimin hakim olduğu bölgelerde sıcaklığın 1-21g TOC/m<sup>2</sup>/gün yüklemelerde % 90-94 giderme verimlerine ulaşılmasında önemli rol oynadığı belirtilmiştir (7).

Damlatmalı filtrelerin ilk yatırım maliyeti yüksek olmakla birlikte işletme maliyetleri de oldukça düşüktür. İşletmesi kolay, verimleri yüksek sistemlerdir. Yalnız sıcak iklimlerde filtre yüzeyindeki alg oluşumu ve birikmesi sonucu filtre bloke olabilmektedir. Aşırı yüklerle dayanıklı olmamakla birlikte soğuk iklimlerde verimleri düşer (7).

Atıksuların arazi üzerinde tasfiyesi arazi ve üzerindeki bitki örtüsünün kullanılmasından ibarettir ve uygun işletme ile düşük maliyetle arıtım elde edilmektedir (7,15).

Düşük maliyetli ve etkin bir diğer sistem de yapay ve doğal sulak alanlardır. Sıcaklık olumlu bir faktör olmakla birlikte organik yüklemenin yüksek olması durumunda koku, sinek gibi olumsuz faktörlere sebebiyet verebilir. Yatırım ve işletme maliyetleri düşüktür. Yapay sulak alanlar doğal sulak alanlardan farklı olarak herhangi bir yerde yapılabilirler. Ayrıca, geniş ölçekte dizayn ve yönetim seçenekleri sunar ve böylece daha üstün performans ve güvenilirlik sağlar (7).

Aerobik arıtma sistemlerinin şematik olarak karşılaştırılması Çizelge 3.3 de, arıtma ve işletme maliyetleri ise Çizelge 3.4 de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Evsel atıksulara uygulanan arıtma sistemlerinin karşılaştırılması

Arıtma Sistemi	Maliyet			İşletme	Sıcaklık	Çamur Üretimi	Nitrifikasyon	Y.E.I. <sup>(b)</sup>
	Ön yatırım	İşletme	Enerji					
Klasik Aktif Çamur	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Zor	--- <sup>(a)</sup>	Yüksek	-	Var
Uzun Havalandırma	Orta	Orta	Yüksek	Kolay	Avantaj	Az	+	Az
Oksidasyon Hendekleri	Orta	Orta	Yüksek	Kolay	--- <sup>(a)</sup>	Az	+	Var
Anaerobik Sistemler	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	--- <sup>(a)</sup>	Az	-	Var
Damlatmalı Filtre	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Zor	Avantaj	Orta-Yüksek	-	Var
Biyodiskler	Orta-Yüksek	Orta-Yüksek	Düşük-Orta	Orta	--- <sup>(a)</sup>	Orta-Yüksek	-	Az
Stabilizasyon Havuzları	Orta	Düşük	Çok Düşük	Kolay	Avantaj	Yok	+	Yok
Arazide Arıtma	Orta	Düşük	Düşük	Kolay	Avantaj	Yok	---	Yok

(a) --- : Değişen ortam şartları, sistem performansını etkilediği için şartlara göre yorum yapılmalıdır.

(b) Y.E.I. : Yetiştirilmiş eleman ihtiyacı

**Çizelge 3.4. Aerobik Arıtma Sistemlerinin Karşılaştırılması (7)**

Arıtma Sistemi	BOİ <sub>5</sub> Giderimi (%)	Org. Azot Giderimi (%)	Enerji İhtiyacı (kwh/kgBOİ <sub>5</sub> )	Arazi İhtiyacı* (m <sup>2</sup> /kişi)
Klasik Aktif Çamur	80-95	15-50	1-3	0,2-0,4
Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	75-95	15-30	2-4	0,35-0,65
Damlatmalı Filtre	65-95	15-50	0,2-0,3	0,3-0,4
Biyodiskler	80-90	15-50	0,05-1,0	0,3-0,5
Stabilizasyon Havuzları	70-95	40-50	0-0,05	3-12

\* BOİ<sub>5</sub>=54g/kişi.gün

Güney Afrika'da yapılan bir çalışmada farklı tip atıksu arıtma tesislerinin inşaat, işletme ve bakım maliyetlerinin mukayese edilip değerlendirilmesi amacıyla klasik aktif çamur, damlatmalı filtre, biyodiskler ve stabilizasyon havuzları karşılaştırılmıştır. Çalışmada ele alınan arıtma tesis tiplerinin dizayn kriterleri; nüfus 5000 kişi, günlük su tüketimi 150L/kişi.gün ve BOİ<sub>5</sub> 60g/kişi.gün olarak alınmıştır. Yapılan arıtma tesislerinin beklenen çıkış suyu kalitesine ulaşması için ihtiyaç duyulan inşaat ve işletme maliyetlerin aşağıdaki tabloda verilmiştir. Buna göre stabilizasyon havuzlarının ön yatırım ve işletme maliyetleri açısından en ekonomik sistem olduğu görülmüştür.

**Çizelge 3.5. Atıksu Arıtma Tesisleri İnşaat ve İşletme Maliyetleri (3)**

Arıtma Sistemi	US \$ olarak maliyet (x1000)				
	İnşaat	Mekanik	Elektrik	Toplam	İşletme
Klasik Aktif Çamur	267	55	143	465	30,6
Damlatmalı Filtre	394	86	130	610	30,3
Biyodiskler	175,5	241,5	10,1	400,1	19,8
Stabilizasyon Havuzları	299	66,3	---	305,3	1,38

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sıcak iklimlerde evsel atıksuların arıtılmasında alternatiflerin değerlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada literatür taraması ve çökeltme deneyleri neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Sıcak iklimin hakim olduğu Adana bölgesinde evsel ve evsel nitelikli atıksuların karakterizasyonu sonucu elde edilen bulgular atıksuların AKM, BOİ<sub>5</sub>, KOİ, filtre KOİ, yağ-gres, TKN ve TP parametrelerine göre çoğu zaman zayıf ve orta karakterde olduğunu göstermektedir.
2. Zamana bağlı çökeltme deneyleri sonrasında ortalama KOİ giderme verimleri 15 dakikalık çökeltme süresi için %10,31, 30 dakikalık çökeltme süresi için %17,27, 60 dakikalık çökeltme süresi için %23,1 ve 120 dakikalık çökeltme süresi için %27,58 olarak gözlenmiştir.
3. Çökeltme deneyleri neticesinde Adana Kenti evsel atıksuları için bir saatlik çökeltme süresi uygun görülmektedir.

4. Ön çökelmeye tabi tutulan evsel atıksular yeraltı su kaynaklarının durumu da göz önüne alınmak suretiyle kolaylıkla tarımsal sulamada kullanılabilir. Bu sayede, sıcak iklimin hakim olduğu Adana gibi bölgelerde hem su kaynaklarının planlanması açısından hem de arıtma külfetinden kurtulması açısından önemli kazançlar sağlanabilir.
5. Ön çökeltim havuzundan çıkan bu atıksular doğrudan ön yatırım maliyeti çok düşük olan ve işletmede kolaylık sağlayan ve sıcak iklim bölgelerinde çok yüksek verimlerle çalışabilen stabilizasyon havuzlarına verilebilir.
6. Evsel atıksular bir ön çökeltim havuzundan geçirildikten sonra yeraltı su kaynakları da dikkate alınarak enerji ve ön yatırım maliyeti aerobik arıtma sistemlerine nazaran düşük olan arazide arıtma usullerinden bir veya birkaçı uygulanmak suretiyle arıtılabilir.
7. Evsel atıksular ön çökeltim de gerek duyulmadan arıtma ve işletme maliyetlerinin söz konusu olmadığı doğal veya yapay olarak oluşturulan sulak alanlara verilebilirler.
8. Bu atıksular sıcak iklimlerde verimli olarak çalışabilen anaerobik bir sistem olan septik tanklara da verilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Mara,D., "Sewage Treatment in Hot Climates", Wiley-Interscience Publication. Scotland.168pp., 1978.
2. Zhao,Q., Zhang,Z., "Temperature Influence on Performance of Oxidation Ponds", *Water Science and Technology*. 24 (5), pp. 85-86, 1991.
3. Batchelor,A., Bocarro,R., and Pybus,P.J., "Low-Cost and Low-Energy Wastewater Treatment Systems: A South African Perspective", *Water Sci. and Tech.* 24(5), pp.241-246, 1991.
4. Yüceer,A., Dizdar,Ö.C., "Evsel Atıksularda Askıda Katı Madde Oranları ve Çökme Özellikleri", *Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt 6, Sayı 1, 99, 1991.
5. Yüceer,A., "Seyhan Nehri ve Baraj Gölü, Çevreye Etkileri ve Koruma Öncelikleri", *Türkiye Çevre Kirlenmesi Sempozyumu (I) Bildiriler Kitabı*, 21-22 Mayıs,1991, s.808-815, 1991.
6. Apha, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 18<sup>th</sup> edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Federation, Washington, D.C., 1998.
7. Metcalf ve Eddy, "Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse", Edited by G. Tchobanoglous and F.L. Burton. McGraw-Hill Inc., Wastewater Engineering, 3rd Edition, New York, 1991.
8. Tebbutt,T.H.Y., "Principles of Water Quality Control", Pergamon, Oxford, 1970.
9. Khan,M.A., Ahmad,S.I., "Performance Evaluation of Waste Stabilization Ponds in Subtropical Region", *Water Science and Technology*. 26,7-8,1717-1728, 1992.
10. Gemmel,J.S., Herbert,J.C., "The Design and Operation of an Extended Aeration Plant in Western Canada", *Water Pollution Control*, 81, 5, 587, 1985.
11. Johnstone,O.W.M., "Oxygen Requirements Energy Consumption and Sludge Production in Extended-Aeration Plants", *Wat.Poll. Control*. 83, 1, 100-115s., 1984.
12. Middlebrooks,E.J., Jenkins,D., Neal,R.C., Phillips,J.L., "Kinetics and Effluent Quality in Extended Aeration", *Water Research*, Pergamon Press, 3, 39-46, 1969.

13. Barnes,D., Fitzgerald,P.A., “Anaerobic Wastewater Treatment Processes”, *Environmental Biotechnology*, 63-65s., 1987.
14. Letting,A.G., Vinken,J.N., “Feasibility of the Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Process For the Treatment of Low Strength Wastes”, *Proceeding of the 35<sup>th</sup> Industrial Waste Conference, Purdue University, Lafayette, Indiana, USA, 625-638s., 1980.*
15. Boll,R., Kayser,R., “Reuse of Wastewater in Agriculture by Means of Sprinkle Irrigation”, *Water Science Technology* (18), 163-173, 1986.
16. Hosetti,B.B. and Patil,H.S. “Performance of wastewater stabilization ponds at different depths”, *Water, Air and Soil Pollution*, 34, 191-198, 1987.





**MİMARLIKTAKİ GÜNEŞ ENERJİSİNDEN PASİF YARARLANMA\***

**Erkin ERTEN ve Ayşe ÇEVİKER**  
Ç.Ü., Mimarlık Bölümü, Adana/ Türkiye

**ÖZET :** Çağımızın güncel sorunlarından biri, artan enerji gereksinimi ve enerji ihtiyacını gidermek için kullanılan fosil kaynaklarının tükenmesidir. Ayrıca fosil kaynakların yanması ve beraberinde endüstriyel etkinlikler karbondioksit, metan, ozon ve benzeri gazların atmosferde artmasına neden olmaktadır. Atmosferdeki sera gazlarının artması dünya ikliminde değişikliğe sebep olmaktadır. İklim değişimi biyolojik türün sürekliliği ve eko sistemlerin dengesi üzerinde ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Çalışmanın amacı; enerji elde etmek için kullanılan fosil kaynaklarının sebep olduğu tehlikelere dikkat çekmek, enerji tasarrufu çalışmalarına mimari açıdan destek olabilmek amacıyla ile, binalarda güneş enerjisinin pasif olarak kullanıldığı sistemleri tanıtmaktır. Araştırmada, yapısal önlemlerle binalardaki ısı kayıplarının engellenmesini sağlayan tasarım yöntemleri açıklanmıştır. Türkiye'de deneysel amaçlı yapılmış güneş evlerin tanıtılması ile, bu konuda araştırma ve uygulama yapmak isteyen mimarlara güncel bilgilerin aktarılması sağlanmıştır.

**TO TAKE ADVANTAGE OF PASSIVE SOLAR ENERGY IN ARCHITECTURE**

**ABSTRACT :** One of the current problems in our period is the increasing need for energy and coming to the end of fossil sources which are needed to meet the energy requirement. Also the use of fossil sources and along with the industrial activities cause an increase in the amount of carbon dioxide, methane, ozone and similiar gases in the atmosphere. This causes changes in the climate of earth. Metamorphosis of climate poses a serious threat on the continuity of biological species and the equilibrium of the echo-systems. The aim of the study is to draw attention to threats brought by using the fossil sources to get energy, to make known the usage of the systems of passive solar energy for buildings and in order to nourish energy saving studies from an architectural viewpoint. In the study, design methods that provide to prevent heat losses in buildings by structural precautions have been explained. By introducing the solar houses in Turkey that have been built for experimental purposes, it has been provided to transfer the current information to the architects who want to make research and practical application in this subject.

\* Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Proje No: FBE.99.YL.83

## 1. GİRİŞ

Türkiye’de yapılar genel enerji tüketiminde birinci, yalnız elektrik enerjisi tüketiminde ise sanayiden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Yapılarda ise, enerji en çok mekan ısıtmada kullanılmaktadır. Binalarda enerji tüketimini en aza indirmeye yönünde önlemler almak, enerji tasarrufu çalışmalarına ciddi destek sağlamaktadır. Bu nedenle, binalarda ısı kayıplarının önlenmesi amaçlanırken enerji tasarrufu çalışmalarına bir destek de çevredeki mevcut enerjilerin kullanılarak bina içerisindeki ısının artırılmasıdır. Bu konuda en büyük kaynak güneş ışınlarıdır.

Türkiye, yüksek güneş enerjisi potansiyeli ile Avrupa’nın en şanslı ülkesi durumundadır. Türkiye’de, konutların yenilenebilir enerji kaynaklarından; güneş enerjisi ile ısıtılması, hem çağın güncel sorunlarından biri olan enerji bunalımına hem de hızla artan çevre kirliliğine büyük ölçüde çözüm sağlayacaktır. Bu nedenle araştırmada güneş enerji sistemleri kısaca açıklanmakta, mimaride güneş enerjisinden pasif yararlanma olanakları ele alınmakta ve pasif sistemin tüm alt grupları avantajları ve dezavantajları ile birlikte anlatılmaktadır. Çalışmada, ısıtmanın istendiği kış döneminde ve ısıtmanın istenmediği yaz döneminde güneş enerjisinden yararlanmayı optimize etmek için; binanın yapılacağı iklimsel karakterlerin göz önüne alınarak planlama yapılması gerekliliği savunulmaktadır. Bunun için; yapısal önlemlerle konutlarda ısı kayıplarının önlenmesi ve doğal ısıtmanın sağlanması için tasar parametreleri araştırılmıştır. Araştırmada ayrıca ülkemizdeki değişik kurumlar tarafından uygulanmış ya da tasarı halindeki güneş evleri tanıtılarak, gelecekte yapılacak araştırmalar için ön bilgiler sağlanmaya çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

Yapılan çalışmada öncelikli olarak, konu ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalar taranarak, çevre sorunlarına mimari açıdan bakış noktaları ve güneş mimarisi ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalar 1970’lerde meydana gelen enerji krizinin ardından ilk olarak başlamış ve günümüzde ise hızını artırarak devam etmektedir.

Çalışmanın önceki çalışmaları araştırma aşamasında, Yüksek Öğretim Kurumu’nun Web safasında (<http://www.yok.gov.tr>) bulunan “tez tarama” bölümünden yurt içindeki Üniversitelerde yapılan tezlere ulaşılmıştır. Ancak 1987 yılı öncesi ve 2000 yılı sonrası yapılan çalışmalar henüz internet üzerinde arşiv çalışmalarına dahil edilemediği için bu tarihlerde yapılan çalışmalara kütüphanelerdeki katalogların taranması ile ulaşılabilmektedir.

Yurtdışındaki bazı mimarlık okullarında lisans ve lisansüstü programlarında “çevresel tasarım”, “ekolojik tasarım”, “enerji etkin bina tasarımı” ya da “yeşil mimarlık” adları altında seçmeli yada zorunlu dersler verilmekte ve bu ders notları ve araştırma çalışmaları internette yayınlanmaktadır. Bu kaynaklardan başlıcaları; <http://fridge.arch.uwa.edu.au> (2000 yılında internet üzerinden ders notlarını yayımlayan Dr. Andrew Marsh’ın, Cardiff Üniversitesi’nde “Square One Research and the Welsh School of Architecture” çalışmalarına devam etmeye başlamasından sonra (2002), “Çevresel Tasarım” ders notlarını Dr. Marsh Caroline Raines ile birlikte “Environmental Design Website” olarak <http://www.squ1.com/site.html> adresinden yayınlamaya devam etmektedir). Bu sitede

mimarlar, bina tasarımcılar, öğrenciler ve enerji etkin bina tasarımı ile sürdürülebilir mimarlıkla ilgilenen herkes için bilgiler bulunmaktadır. Ayrıca Hong Kong Üniversitesinin Yapım Mühendisliği Bölümünün programında yer alan “Sustainability in the Built Environment” adlı dersin web sayfası <http://www.hku.hk/bse/e-conf/k/solar.html>’dan yararlanılarak bu konudaki araştırmalara ve uygulama örneklerine ulaşılmıştır.

Türkiye’de ve yurtdışındaki üniversiteler ve dünyanın çeşitli yerlerindeki sivil toplum kuruluşları tarafından yürütülen mimarlıkta güneş enerjisinden yararlanma ile ilgili güncel araştırmalar ve uygulama örnekleri analiz edilerek derlenmiş ve bu çalışmaların tanıtılması ile de bu konuda güncel enformasyonun toplandığı başvuru kaynağı oluşturulmaya çalışılmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Enerji ve Çevre

Bir zamanlar sonsuz enerji kaynağı olarak görülen çekirdek enerjisinin (nükleer enerji), ilk başlarda düşünüldüğü gibi çok ucuz olmak yerine, santrallerin yapım, işletme ve bakım giderlerinin yüklü olması sonucu, oldukça pahalı elde edilen bir enerji olduğu anlaşılmıştır. Nükleer enerji üretimindeki kullanılan Uranyum, gerek kömür gerekse petrolden çok daha fazla depolanmış enerji ile yüküldür ve bu nedenle, az miktarda Uranyum bu iş için yeterli olabilmektedir. Ancak nükleer enerjinin atıklarının en büyük tehlikesi; insan sağlığına çok zararlı etkileri olması, çevreye zarar vermesi ve ortadan kaldırılmasının çok zor olmasıdır (1). Bugün kullanılan enerjinin pek çoğu fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtlar ancak uzun süreçte yenilenebilen enerji kaynaklarıdır. Bu yakıtların tükenmesi ve fiyatlarının devamlı artmasının yanı sıra, yanmaları sonucu çevreye verdikleri zararlar ve insan sağlığı üzerindeki etkileri de büyüktür. (2). Bu yüzden sürekli olarak alternatif enerji kaynaklarının aranmasına devam edilecektir.

#### 3.2. Güneş Enerjisi

Güneş daha milyonlarca ışınmasını sürdürdüğü için, yerküre için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Dünyadaki tüm elektrik santrallerinin toplam gücü; güneşten gelen gücün 61.000’de birinden azdır. Güneşten gelen enerjinin gücü; dünyadaki tüm nükleer santrallerin ürettiği toplam gücün 527000 katıdır (2). Güneşten dünyaya gelen enerji, saniyede 170 milyon gigawatt iken, aynı sürede bir atom santralinden elde edilen enerji ise 1 gigawatt olarak bilinmektedir.

Coğrafi olarak 36-42° kuzey enlemleri arasında bulunan Türkiye, güneş kuşağı içindedir. Türkiye’de güneş enerjisi kullanımı oldukça azdır, ancak geleceğin dünyasının enerji gereksiniminin karşılanmasında, alternatif olarak temiz, yenilenebilir ve sürekli olan güneş enerjisi düşünülmektedir. Güneş ışınımının etkinliği; güneş ışınımı alma süresi ve güneş ışınımının değeri ile ölçülmektedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Kurumunun Meteoroloji verilerine göre, ülkemizde yıllık ışınım değerleri ortalaması 237-389 cal/cm<sup>2</sup>/gün değerleri arasında değişmektedir (3). Ülkemizde bölgelere göre yıllık güneş enerjisi potansiyeli aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 1).

**Çizelge 1. Bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli (4)**

Bölgeler	Top. güneş enerjisi kwh/m <sup>2</sup> .yıl	Yıllık top. güneşlenme süresi saat/yıl
Güney-Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Ege	1304	2738
İç Anadolu	1314	2628
Doğu-Marmara	1365	2664
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1917
<b>Türkiye Ortalaması</b>	<b>1311</b>	<b>2640</b>

Güneş enerjisi ile çalışan sistemler, kolayca taşınıp kurulabilen, gerektiğinde enerji ihtiyacına bağlı olarak basitçe değiştirilebilen sistemlerdir. Hemen hemen her yerde, hatta akaryakıtları nakletmekte güçlük çekilen ulaşımı güç bölgelerde bile bol miktarda güneş enerjisi mevcuttur. Enerji nakil hatlarına ve dağıtım şebekelerine ihtiyaç göstermemektedir. Tesisat harcamalarının dikkatle hesaplanması gerekmele beraber bakım ve geliştirme masrafları çok düşük olacaktır. Ayrıca güneş enerjisinin küçük üniteler halinde fertler tarafından kullanılması da mümkündür. Güneş enerjisinin dezavantajları ise; düşük verimli (%15) olmaları,; başlangıç maliyetinin çok yüksek olması, piller gibi depolama malzemeleri için uygun olmamasıdır. Tüketiciler için maliyeti yüksektir. Kesikli, değişken, dağınık ve az yoğun olabilmektedir. Kullanılabilir enerjileri dönüştürme teknolojinin henüz doruk noktasına ulaşmamış bulunması da bir dezavantajdır (2).

### 3. 3. Türkiye’de Enerji İstatistikleri ve Konutlarda Harcanan Enerji

Türkiye’de tüketilen enerjinin ancak % 42’sinin üretilebilmektedir. Türkiye’deki enerji tüketimi; konut, sanayi, ulaştırma, tarım, enerji dışı, ve çevrim tesisleri sektörlerinde olmaktadır. Sektörel enerji tüketiminin toplam enerji tüketimi oranına bakıldığında, konutlarda kullanılan enerjinin, sanayiden sonra ikinci sırada yer aldığı görülmektedir. Enerji istatistikleri verilerine göre; sektörel enerji tüketiminin yıllara göre dağılımı incelendiğinde, enerji tüketen her bir sektörün on yıl içerisindeki enerji tüketimlerinde ciddi bir artış söz konusudur. Bu nedenle enerji açığının zamanla daha da çoğalacağı tahmin edilebilir. Enerji açığını kapatmak için alternatif enerji kaynaklarının daha verimli kullanılabilmesi ve enerji tasarrufu önlemleri gerekmektedir.

Konutlarda en çok ısıtma, sıcak su elde etme, yemek pişirme, ve güç elde etmek amacıyla enerji kullanılmaktadır. Konutların sonsuz enerji kaynaklarından güneş enerjisi ile ısıtılması, güneş kuşağı içerisinde yer alan Türkiye’de kullanılması ile hem enerji sorununa hem de hızla artan çevre kirliliğine çözüm olacaktır. Bundan dolayı, çalışmanın takip eden konusu; güneş enerjisi kullanım prensipleri ve güneş enerjisi ile konutların ısıtılması şeklinde olacaktır.

### 3. 4. Başlıca Güneş Enerjisi Sistemleri ve Kullanım Prensipleri

Güneş enerjisi sistemlerinin başlıca tipleri fotovoltaiik sistemler ve termodinamik sistemlerdir. Güneş ışığının elektrik enerjisine dönüştürülmesi (fotovoltaiik dönüşüm) ilk kez 1839 yılında incelenmiştir. Solar Cell'ler üzerine gelen güneş ışınları anında elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılmaktadır. Bu yıllarda enerji üretimi ucuz olduğu için fotovoltaiik (PV) cell'lerin üretimi pahalı bulunmuş, dolayısıyla kullanım alanları kısıtlı kalmıştır. Öte yandan uzay çalışmalarında başta olmak üzere PV cell'lerin kullanımı günümüzde hızla yaygınlaşmaktadır. Çok geniş araziye sahip ülkelerde de binlerce PV panel kullanılmakta ve elektrik üretilmektedir. Ayrıca birçok kamusal ve özel kuruluş ancak helikopterlerle ulaşılabilen yüksek ve özellikle sert hava koşullarına sahip kırsal alanlardaki haberleşme istasyonlarında solar sistemleri tercih etmektedir (5).

Termodinamik sistemlerde, güneş enerjisinden yararlanmanın pasif ve aktif olarak sınıflandırılması ile farklı iki kullanımdan bahsedilir. Aktif ve pasif sistemlerin bir arada kullanıldığı sistemlere de karma sistemler denilmektedir. Genel anlamda işlevsellik açısından pasif ve aktif kullanımları, yabancı enerjinin taşınması ve dağılımına ilişkin kriterleri kapsadığını söylemek olanaklıdır. Bugün kullanılan tesisler, güneş kolektörlerini, ısı depolayıcılarını, sürekli akım pompalarını, ısı dağılımını zamanında ayarlayan ayarlama sistemi vantilatörlerini gerektirmektedir. Güneş ışınları aktif kullanımda güneş kolektörleri araçları ile kullanılabilir hale çevrilir, hava yer ve su ısıtı ise ısı pompası yoluyla kullanılabilir hale dönüştürülmektedir. Pasif güneş enerjisi sistemleri, güneş enerjisinin kullanımı için geliştirilen en eski sistemlerden biridir. Pasif güneş enerjisi sistemlerinin başlıca kullanım alanlarını; binaların kışın ısıtılması, yazın ise ısınmayı önleyecek koşulların sağlanması, seraların ısıtılması ve zirai ürünlerin kurutulması olarak sıralanabilir. Güneş enerjisinden pasif yararlanmadaki başlıca prensip, mimari önlemlerle hiçbir mekanik ve elektronik araç kullanılmadan doğrudan mimarinin araç olarak kullanılmasıdır. Bu yöntem mimara en yakın olanıdır. (6). "Karma" güneş enerjisi sisteminde, pasif elemanlar, yedek aktif teknik donanımlar yoluyla desteklenmektedir. Sürekli akım pompaları bu donanımlara örnek olarak verilebilir (7).

Güneş enerjisinin kullanım prensiplerine göre; güneş ışığı toplayıcı bir yüzeyi ısıtmakta ve bu yüzey de ısıyı emerek bir yerde depolamaktadır. Depolanmış ısı ihtiyaç duyulduğunda dağıtılarak kullanılmaktadır. Ayrıca tüm sistemin randıman gücünü artırmak için ısı ayarlama araçları kullanılmaktadır. Bu durumda sistemin beş temel ögesine gereksinimi olduğu ortaya çıkmaktadır; "toplayıcılar" (kolektörler), "emici yüzey", "depolayıcılar", "dağıtıcılar" ve "ısı ayarlama araçları". Bunların her biri ayrı bir işlev yerine getirir. Ama böyle bir sistemin işleyebilmesi için bu beş eleman ortak olarak etkili olmalı birbirlerini tamamlamalıdır (7).

### 3. 5. Güneş Enerjisinden Pasif Yararlanma Yöntemleri

Güneş enerjisinden yararlanmanın sadece yapısal (tasarım ve konstrüksiyon) olanakları, pasif yararlanma olarak ifade edilmektedir. Bu yararlanma; pencereden güneş enerjisinin kazanılması, güneşin ışınımının içteki yapı kesimlerinde depolanması, güneş ışınımının az

olduğu ya da olmadığı (gece) zamanlarında yapısal ısı koruyucu önlemlerle enerji akımının engellenmesi biçiminde sağlanmaktadır (8). Pasif kullanımda, sistem binaya entegre edilmiştir.

Güneş mimarisinde, güneş enerjisi yoğunluk ve süresinin ısı, ışık ve sağlığa yararlı, istenilen etkilerini elde edebilmek, buna karşın yüksek sıcaklık, aşırı aydınlık ve kişilere ve malzemelere zarar verecek, istenmeyen etkilerinden ise korunacak şekilde kontrol edilmesi ve kullanılması çok önemlidir. Güneş enerjisi binanın yardımıyla ya da direkt olarak toplanmakta ve depolanmaktadır. Bu sistemlerde ısı sirkülasyonu konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon yoluyla gerçekleşmektedir. Isı transferi ve sıcak akışkanın çevrimi doğal yolla olmaktadır. Pasif güneş ısı sistemleri, pencereler gibi enerji toplayıcı elemanları veya bina duvarları gibi depolama elemanlarını da içermektedir. Pasif güneş sistemlerinde, pasif sistem elemanları bir çok fonksiyonu yerine getirmektedirler. Örneğin; güneşe yönelik bir pencere güneş ısını biriktirir ve aynı zamanda manzarayı ve doğal güneş ışığının iç mekana alınmasını sağlamaktadır. Binaların duvarları hem termik depolama görevi yapar hem de taşıyıcı sistem olarak hizmet etmektedir.

Yıldız'ın belirttiğine göre (9), pasif ısıtma sistemleri binada fiziksel şekillenmelerine göre beş temel ısıtma tekniğinde ele alınmaktadır. Bunlar;

1. Doğrudan enerji kazanımı, 2. Termik depolayıcı duvarlar, 3. Ek olarak yapılmış güneş evleri, 4. Termik depolayıcı çatılar ve 5. Sürekli dolaşım halkası (doğal dolaşım/termosifon) olarak sıralanabilirler.

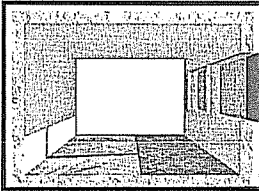
Araştırmanın devam eden bölümü, binalarda bu sistemlerin uygulama yöntemlerini açıklama doğrultusunda olacaktır.

### 3.5.1. Doğrudan Isı Kazanım Sistemi (Direct Gain)

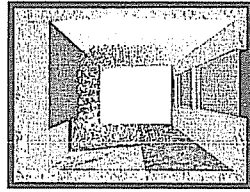
Bu yöntemde, güneş ışınları bina içine ara sistem olmadan alınır ve bu enerjinin tutulması ve depolanması sağlanır (10). Bu sistemlerde; güneş enerjisi kuzey yarım küre için; güneşe bakan, güney yarım küre için ise kuzeye bakan yönde düşey bir pencereler yardımıyla toplanır. Güneş pencerelerin yalnızca güneşe yönlendirilmeleri ile enerji tüketiminin % 10'a kadar azaltılması mümkündür. Güney yönünden batı veya doğuya 20°'lik sapmalar, maksimum enerji kazancını yarı yarıya azaltmaktadır. Gün boyu kazanılan enerji miktarının, kullanılan miktardan fazla olması durumunda, bu ısının gece kullanılabilmesi için, bir ısı depolayıcısına gerek duyulur ve güneş enerjisinin ısıtma payı %40'ı geçtiği anda devreye girer. Isı depolayıcısı olarak, döşeme, çatı ve duvarlar gibi yapı elemanları görev yapmaktadır ve bu yapı elemanları depoladıkları enerjiyi, gece oda soğumaya başladığında, ısının sıcaktan soğuğa doğru akması prensibini kullanarak; ısı biçiminde tekrar hacme vermektedir. Bina içinde güneş ışınlarını depolayan yapı elemanlarında, malzeme olarak; tuğla, taş, kerpiç ya da bunlara ek olarak su (su dolu kaplar) kullanılabilir (Şekil 1).

Direkt olarak güneş enerjisinin binalarda kullanıldığı bu sistemde, uygun bir planlama yapıldığında, kışın %30-%75 verimlilik sağlanmaktadır (12). Bu nedenle; bu sistem ile bina tasarımı yapacak mimarın özellikle dikkat etmesi gereken noktalar şunlardır; geniş

cam yüzeylerin toplayıcı olarak güneş yönünde (güney, güney-batı) düzenlenmesi ve bunlarda  $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'nın altında k-değeri olan ısı tutucu camların kullanılması, özellikle direkt güneş alan hacimlerde depolayıcı olarak iyi ısı yutma yeteneği olan yer döşemesi ve duvarların düşünülmesi, iyi bir ısı dağılımı sağlayan açık planlamaya dikkat edilmesi, geceleri fazla soğumaya karşı pencere yüzeylerinde gece örtüleri düzenlenmesi, iç ortamı aşırı ısınmadan korumak için dışarıda güneş koruyucularının yapılması gerekmektedir (13).



(a)



(b)

Şekil 1 Doğrudan ısı kazanım sistemine tipik bir örnek (a) ve bu sistemin ısı depolayıcı su duvarı ile (b) desteklenmesi (11)

Güneş toplayıcılarına nazaran güneye bakan pencere daha ekonomik olması, tüm sistemin maliyeti hemen hemen geleneksel bir konutunki kadar olması, güney camlarının; güneş toplayıcılık, doğal aydınlatma, dış ortamla görsel bağlantının kuvvetli olmasını sağlama gibi birçok hizmete yanıt vermesi ve uygulamanın basit olması sistemin avantajlarıdır. Sistemin dezavantajları ise; ultraviyole ışınların, güney odalarında bulunan mobilyaların renklerinde solmaya sebep olması ve bu odalarda fazla ışıktan dolayı göz kamaşmasının olması, güney odalarında mahremiyetin azalması, kullanıcıların, kapı, panjur ve güneş kırıcıların açılıp kapatılması ile ilgilenmek zorunda kalmaları; kullanıcıların kışın evden bir-iki hafta uzaklaştıklarında odaların ısısında büyük düşüş olabilesidir (14).

### 3. 5. 2. Termik Depolayıcı Duvarlar

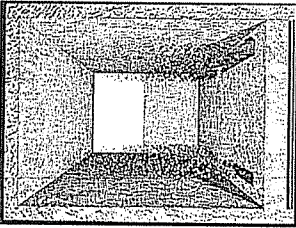
Termik depolayıcı duvarlar, güneşli fakat soğuk kışların iklim kuşakları için çok uygundur. "Trombe duvar" olarak da adlandırılan bu sistemde ısıtma, güneş ışınlarının, büyük çift camlı bir yüzeyin arkasına yerleştirilmiş, güneye yönelik ısı tutucu bir kütleden yapılmış duvara gelmesi ile oluşmaktadır. Trombe duvar, hem duvar malzemesinin depolama yeteneği, hem de duvar önündeki camın sera etkisi ile içeriye giren güneş enerjisini yararlı hale getirmektedir. Bu sistemin avantajı, mekanın içini ekstrem şartlardan izole etmesi, duvar arkasındaki odanın sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi, istenmeyen ya da malzemelere zarar verebilecek direkt ışıktan da korumasıdır. Trombe duvarın dış yüzeyinin dokusu genellikle pürüzlü, sert bir dokudur ve güneş enerjisini verimli bir şekilde toplayabilmek için, dış yüzeyi siyah ya da koyu renge boyanmıştır. Trombe duvarların bazıları güneşin aydınlatılması sırasında ısıyı hemen dağıtacak şekilde yapılmıştır. Bu nedenle; hava sirkülasyonunu sağlamak için, duvarda biri zemin kotunda ve diğeri tavan kotunda havalandırma kanalları bulunmaktadır (Şekil 2.a).

Sistemin verimliliği %30-45 arasında olmaktadır. Trombe duvarı dış yüzeyinden yalıtılmadığı takdirde, geceleyin ısı kaybı söz konusu olmaktadır. Bunu önlemek için cam

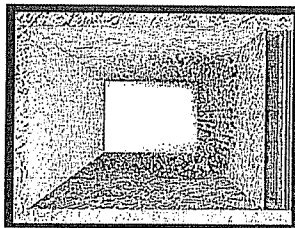
katmanları arasında ya da duvar ile cam yüzey arasında sızdırmaz ısı yalıtım perdesi kullanılmaktadır. Isıtma mevsimi boyunca, oda havasını gece soğutabilen ters bir sürekli akımı önlemek için; havalandırma boşluklarının kapaklarının elle ya da otomatik kumanda edilerek kapatılmaktadır (9; 12; 15).

Eğer duvar içine gerektiğinde fazla ısı taşınır, yüzey çok büyük ya da duvar çok ince ise, oda içinde fazla bir ısınma meydana gelmektedir. Cam ve depolayıcı madde arasındaki sürekli dolaşım aralığının havalandırma delikleri boyutunun doğru ayarlanması da aynı şekilde çok önemlidir (7).

Termik depolayıcı duvarlar içinde enerji depolamanın değişik bir türü, içi su dolu kapların güneş ışınına karşı yerleştirilmeleridir. Masif bir yığma duvardan oluşan depolayıcılarda olduğu gibi sabahları güneş ışığını doğrudan oda içine yayarak hızlı bir ısınma sağlamaktadır. Prensip olarak trombe duvar gibi çalışmaktadır. Aralarındaki tek fark; Trombe duvar ısıyı masif kütleden iletirken, su duvarları suyun içindeki konvektif sirkülasyon ile ısıyı transfer etmektedirler. Suyun, beton ve tuğlaya göre daha düşük sıcaklıklarda da ısıyı tutabilmesi ve ısıyı yüzey üzerine eşit dağıtma özelliklerinden dolayı; su duvarlarının, aynı hacimdeki masif duvara göre iki kat daha fazla depolama kapasitesi bulunmaktadır (16;17). Güneş enerjisinden elde edilen ısının depolanması için gerekli olan su, düşey borularla ya da kanallarda, cam elyafı tüplerde ya da özel olarak inşa edilen duvardan duvara, tavandan döşemeye depolama ünitelerinde saklanır. Bu depolama üniteleri kazanç sistemlerinde doğrudan güneye bakan cephelerin arkasına (Şekil 2.b) ya da direkt kazanç sistemi için odanın arkasına yerleştirilir (Şekil 1-b).



Şekil 2.a Trombe duvar



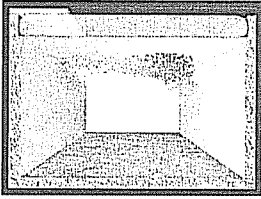
Şekil 2.b Termik depolayıcı su duvarı (11)

### 3. 5. 3. Termik Depolayıcı Çatılar

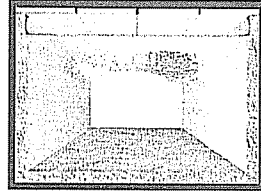
Bu sistem, prensip olarak ısı depolayıcı su duvarlarına benzemektedir. Bu sistemin termik depolayıcı su duvarlarından tek farkı; aradaki ısı depolayıcı maddenin çatı üzerinde yer almasıdır. Isıtma, dayanıklı metal tavanların üzerine yerleştirilen 15-20 cm derinliğindeki su havuzu tarafından toplanan güneş ısısının, mekanların tavanlarından alt hacimlere iletilmesi ile sağlanmaktadır (15). Termik depolayıcı maddeler, siyaha boyalı çatı konstrüksiyonu üzerine yerleştirilen ya açık bir havuzdan ya da PVC' den üretilen su dolu plastik torbalardan oluşmuştur. Termik çatı ile ısı kazanımının yanı sıra, duvarlar da ikinci dereceden termik madde olarak çalışmaktadırlar. Böylece bu sistem ışın halinde ısının rahat ve düzenli dağılımını sağlamaktadır.



Termik depolayıcı çatı, hem soğutmada hem de ısıtmada kullanılan çok az sayıda pasif sistemlerden biri olmuştur. Kışın istenmeyen ısı kayıplarını, yazın da suyun çok ısınmasını önlemek amacıyla; su kaplarının üzeri açılabilen hareketli sert bir ısı yalıtım malzemesi ile örtülmüştür. Kışın gündüzleri yalıtım kapakları açılarak su dolu torbalar güneş enerjisi ile ısıtılmakta ve depolanan ısı çatı tarafından aşağıdaki odalara verilmektedir, geceleyin ise üstü kapatılarak ısının dışarıya kaçması önlenmektedir. Gündüz ise ısıtılan torbalar, gece radyasyonla içerisini ısıtmaktadır (Şekil 3). Yazın ise gündüzleri üzeri kapalı olduğundan, güneşin olumsuz etkisi önlenmekte, geceleyin ise kapaklar açılarak bina içinden dışarıya doğru bir ısı geçişi ile soğutma sağlanmaktadır (9). Bu sistem, özellikle büyük sıcaklık farklılıkları olan iklim bölgeleri için uygundur. Yatay yüzeylerde, kışın güneş enerjisinin toplanması zayıf olduğundan ve donma ve kar yükü potansiyel problemler olarak ortaya çıktığından, çatı havuzlarının en çok sıcak iklimlerde ve 35 °C kuzey enlemi ya da onun altındaki enlemlerde kullanılması uygun olmuştur. Ayrıca bu sistemde sadece havuzların altındaki mekanların ısıtılmasından dolayı, bu sistemin tek başına kullanıldığı durumlarda, ısıtılan binalar ısı geçişini sağlayan bazı ayrıcalıklı binalar dışında tek katlı olarak yapılmaktadır. Termik depolayıcı çatılar, mimari açıdan daha serbest imkanlar sağlamaktadır. Mimari açıdan söz konusu olan sınırlamalar, sadece yüksek bir çatı gereksinimi ve havuz içindeki suyun taşınması için gerekli olan duvar ve tavan takviyesi olmaktadır. Termik depolayıcı çatılar, dekoratif parapetlerle kolaylıkla gizlenerek güneş enerjisi sisteminin çevreden görülmemesini sağlamaktadırlar.



Gündüz



Gece

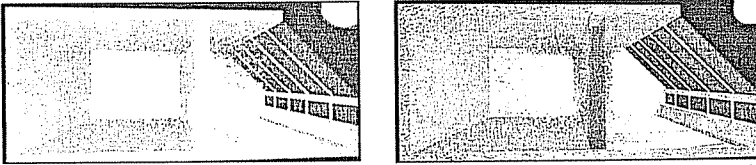
Şekil 3 Termik çatıda ısıtma mevsimi gündüz ve gece uygulaması (11)

### 3. 5. 4. Ek Olarak Yapılan Güneş Odaları (Kış Bahçeleri)

İyi tasarlanmış güneş odası, kışın sıcak olmalı, yazın ise havalandırma etkisi sağlayabilmelidir. Bu yöntemin etkinliğini artırmak için mimar ve mühendisler bina bitişğine ek olarak yapılmış güneş odaları kavramını geliştirmişlerdir. Binaya bitişik olarak yapılan güneş odaları güneş enerjisinden pasif yararlanmada sıkça uygulama örneklerine rastlanılan bir yöntemdir. Uygun yöne yönlendirilmiş güneş odalarında; ısının gereken zamanda ve perdeleme yöntemi kullanılarak, ısı gerektiğinde perdelerin açılması, gerekmediğinde kapanması suretiyle güneş odasında toplanacak sıcak ve soğukun denetimli bir biçimde yapıya yansıtılması gerekmektedir (18). Bu odalar güneşe ya da güneyden en fazla 30° C sapacak şekilde yerleştirilmektedir. Kış bahçesine sahip bir konutun ısı kazancı %50 oranında pasif güneş sistemi ile sağlanmaktadır (10). Bu sistemin üstünlüğü, hemen hemen her yerde sonradan kurulabilmesidir. Kış bahçeleri hakkında; direkt ısı kazanım ve

termik depolayıcı duvar tekniklerinin birleştiği sera tekniği olduğu söylenebilir. Kış bahçelerinin çalışma prensibi; güneş ışınları güneye yönelik güneş odasının cam yüzeylerinden emilerek odayı çevreleyen yüzeyler (duvar, zemin) tarafından depolanmasıdır. Kış bahçesi sayesinde pencereden daha büyük olan cam yüzeyler güneş ışınını alabilmektedirler. Eğer ısı yalıtımı için tedbir alınmamış ise, kış bahçelerinde büyük bir ısı kaybı olur.

Kış bahçesi ve onunla ilişkili mekan arasında düzenlenen duvar genelde masif olup, ısı koruyucu ve depolayıcı işlevini görmektedir. Masif duvara alternatif olarak su duvarları da kullanılabilir (Şekil 4). Böylece güneş odasındaki aşırı sıcaklık farklılıkları azaltılmış, konforu yüksek, dengeli bir mikro-klima sağlanmış ve daha uzun süre kullanılabilen bir mekan yaratılmıştır. Kış bahçeleri ile ısıtılan mekanın, seraya bakan yüzünün saydam olması halinde (ancak bu durumlarda da aşırı sıcaklık farklılığı ve yansımaya gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır) direkt ısıtma, termal olarak yalıtılmış masif duvar olması halinde ise, dolaylı ısıtma sisteminden bahsedilmektedir (12).



Şekil 4 Kış bahçesi ile iç mekan arasındaki duvarın masif ve sulu ısı depolayıcı duvar olarak kullanılışı (11)

Kış bahçesi ile olabildiğince rahat bir iç iklim elde etmek ve aynı zamanda yapının ısıtma gereksinimini olumlu etkilemek için sistemin planlamasında dikkat edilmesi gerek noktalar şunlardır:

- Kış bahçelerinden maksimum düzeyde yararlanabilmek için, açılabilen yüzeylerin camlı alanının en az 1/6 oranında ve bu açıklıkların %50 sinin alt bölümünde, %50 sinin üst bölümünde düzenlenmesi gerekmektedir.
- Yönlendirmenin güney, güney-batı arasında yapılması,
- Eğimli cam yüzeylerinin en aza indirilmesi hatta eğimli yüzeylerde cam kullanılmaması (Kış bahçelerinde, eğimli cam çatılar kullanılması daha fazla enerji toplasa da geceleyin daha fazla ısı kaybına ve mevsim geçişlerinde istenmeyen ölçüde ısı kazançlarına neden olabilir. Bu nedenle, camların kış bahçesinin yüzeylerinde kullanılması daha yararlı olmaktadır. Ayrıca dikey camlar ucuz ve eğimli camlara göre montajı daha kolaydır. Bunlara ek olarak, dikey camlar kışın yatay gelen güneş ışınlarını daha fazla alırken, yazın dikey gelen ışınları daha az alarak hem ekonomik, hem de verim yönünden avantaj sağlamaktadır),
- İki kat cam kullanılması ve toplam cam yüzeylerinin 1/12'si kadar altta ve üstte havalandırma kanalları düzenlenmesi,
- Derin ve alçak tasarımlardan ziyade dar ve yüksek tasarımlara yönelmek,

- Isıtılan hacimleri ayıran duvarın ısı yalıtımının yeterli k-değerinde yapılması,
- Büyük zemin yüzeyinin, küçüğüne göre daha yararlı olduğunun planlamada dikkate alınması,
- Olabiliyorsa birden fazla katın ısıtılması,
- Rüzgar sızdırmazlığına dikkat edilmesi,
- Donmaya karşı korunum sağlanması, bitkilerin korunması için önlem alınması ya da hafif donmaya dayanıklı bitkiler seçilmesi (4;8;10).

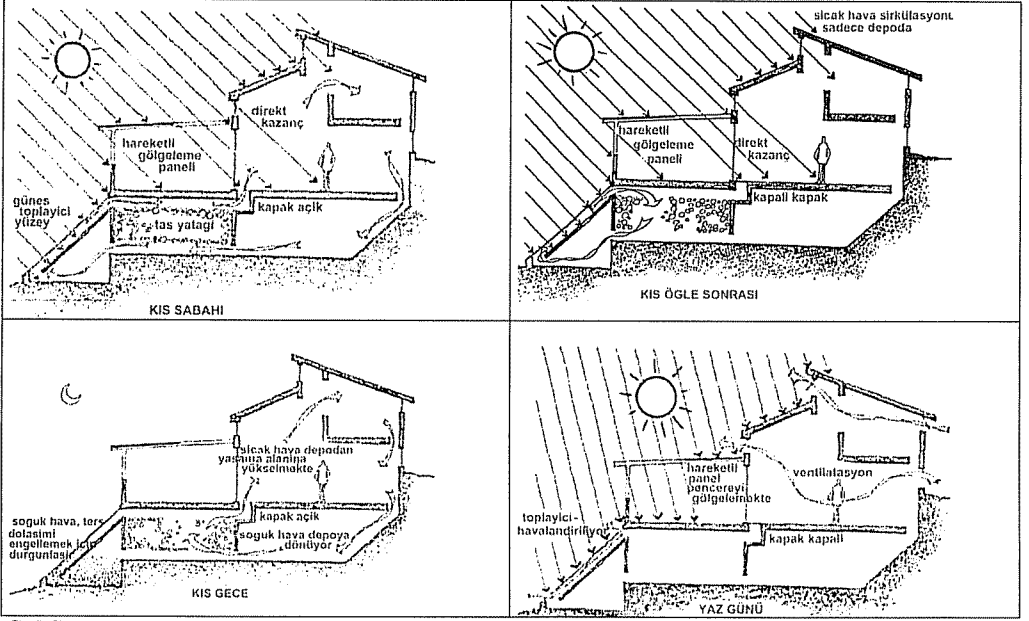
### 3. 5. 5. Sürekli Dolaşım Halkası/Doğal Dolaşım/Termosifon Sistemi

Termosifon sistemin (Şekil 5) başlıca gereksinimleri; toplayıcı alan ve ısı dağıtım metodudur. Doğal dolaşım tekniğinde, ısınan akışkanın kendiliğinden yükselip yer değiştirmesi özelliğinden yararlanılmıştır. Pasif güneş sistemlerinden doğal dolaşımın kullandığı binalarda, toplayıcı alan binadan bağımsız olduğu için; güneş enerjisinden maksimum düzeyde yararlanmaktadır (7; 19). Sistem güneşe eğimli arazilerde daha kolay uygulanabilmektedir. Bu sistemin diğer pasif güneş sistemlerine göre avantajları; depo alanlarının termik olarak yalıtılabilmesi ya da yaşama alanı ile birleştirilebilmesi ve toplayıcı kısmın binadan tamamen bağımsız olduğu için, duvar ve pencere açıklıklarının tasarımının esnek olmasıdır. Sistemin dezavantajları ise; hava ya da sıvı dolaşım sistem tasarımında yapılan yanlışlıkların, ters hava akışına sebep olması ve termosifon sistemde dolaşımında kullanılan suyun donmasına karşı önlem alınması gerekliliğidir (19).

### 3. 6. Yapısal Önlemlerle Konutlarda Isı Kayıplarının Önlenmesi ve Doğal Isıtmanın Sağlanması için Tasar Parametreleri

Binaların pasif ısıtma sistemleri ile ısıtılmasının yanı sıra, enerji verimliliği açısından ısı kaybını önleyecek yapısal önlemlerinin sağlanması ile düşük enerjili binalar elde etmek mümkündür. Binalarda enerji tasarrufu prensip olarak; ısı yalıtımı ve tasarım sırasında alınacak planlama önlemleri ile ısı kaybı azaltılarak ve güneş enerjisinden aktif ya da pasif olarak yararlanılarak sağlanılmaktadır (8).

Binalarda ısı kayıpları iki ana yolla olmaktadır; binanın dış kabuğunda meydana gelen termal iletkenlik ve dış havanın binanın içine girmesi ve binanın dış bileşenlerindeki konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon olayları ile meydana gelmekte ve iç ve dış hava sıcaklığı farkı, bileşenlerin alanları ve bileşenlerin ısı iletkenlikleri ile orantılıdır. Bu kayıpları önlemenin de dört yolu vardır. Bunlar; iç ve dış hava sıcaklığı arasındaki farkın azaltılması, bina kabuk alanının azaltılması, bina bileşenlerinin yüzey film tabakalarının ısı iletkenliklerinin azaltılması, yüksek sıcaklıktaki yaşama mekanları ile dış hava arasına tampon bölgeler yerleştirilmesi şeklinde kısaca sıralanabilir. Ayrıca binayı kış rüzgarlarından korumak da bina çevresindeki rüzgar basıncını engelleyecek; dolayısıyla infiltrasyonu azaltacaktır. Standart bir evde infiltrasyon ve vantilatasyon kayıpları toplam ısı kayıplarının %30-35'ini teşkil etmektedir. Ev çok iyi yalıtılıp, ısı kayıpları daha da azaltıldığında bu oran %50'lere varmaktadır; infiltrasyon düşük enerji kullanımlı binalarda çok önemli bir unsur haline gelmektedir (15).



Şekil 5 Termosifon sisteminin kış ve yaz çalışma prensipleri şeması (16)

Dörter'in (17) bildirdiğine göre, güneş enerjisinden pasif yöntemlerle yararlanmayı daha etkin hale getirmek için mimari tasarlama yolu ile ısıtma enerjisi kazanımı artırılmaktadır. Mimari tasar yolu ile ısıtma enerjisinin kazancının artırılması ise, bina tasarım ölçeğinde, mekan tasarım ölçeğinde, bina-çevre tasarımı ölçeğinde ve yapı bileşeni ölçeğinde yapılan bir takım tasar kriterlerini ortaya çıkarmıştır (Çizelge. 2).

Bir bölgede yapılacak yapıların, kurulacak şehirlerin o bölgenin iklimiyle dengeli olarak, enerji korunumu bakımından optimum çözümleri sağlayabilmesi açısından bu yöreler için tasar parametrelerinin ortaya konması gerekmektedir. Söz konusu tasar parametreleri başta yön başta olmak üzere, yer, bina biçimi ve bina kabuğu olmak üzere dört ana grupta toplanabilir (20). Bunun yanında konunun ve problemlerin gerekliliğine göre ek parametreler ya da kontrol sistemleri ilave edilir. Kontrol sistemi içerisinde, önlem karakterinde olan ve parametre olarak kullanılan güneş kontrolü, rüzgar kontrolü, nem kontrolü sistemleri gibi parametreler de kullanılmaktadır.

**Çizelge. 1** Isıtma enerjisinin kazancının artırılmasında mimari tasar parametreleri

MİMARİ TASARLAMA YOLUYLA ISITMA ENERJİSİ KAZANCININ ARTIRILMASI	
Bina tasarımı ölçeğinde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bina planı organizasyonu düzenlenmesi</li> <li>• Termal tampon zonların oluşturulması</li> <li>• Bina formu seçilmesi</li> <li>• Pencereleir düzenlenmesi</li> </ul>
Mekan tasarımı ölçeğinde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mekanın plan organizasyondaki yeri</li> <li>• Mekanın boyutları ve biçim faktörü</li> <li>• Mekanların yönlendirilmesi</li> <li>• Mekan kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri</li> </ul>
Bina/çevre tasarımı ölçeğinde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Binaların yönlendirilişii</li> <li>• Bina aralıkları ve yükseklikleri</li> <li>• Binaların konumlandırılışii</li> <li>• Binalar arası doğa düzenleme</li> </ul>
Yapı bileşeni ölçeğinde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Güneş duvarları</li> <li>• Çatılar</li> <li>• Pasif güneş enerjisi kullanımına ek sistemler</li> <li>• Geçici ısı kontrolü elemanları</li> <li>• Hava dolaşımı</li> <li>• İsi geri kazanımı</li> <li>• Yansıtıcılar</li> <li>• Güneş kontrolü elemanları</li> </ul>

### 3. 7. Türkiye’deki Deneysel Güneş Evleri

Güneş enerjisinden ısıtmada yararlanmak amacıyla Türkiye’de uygulanan ya da tasarlanan sistem örnekleri üniversiteler ve diğer kamu kuruluşları tarafından yapılan araştırmalar ve uygulamalar, özel sektörün gerçekleştirildiği yatırımlar, üniversite-özel sektör işbirliği ile yapılan araştırmalar ve sivil toplum örgütleri tarafından gerçekleştirilen projelerdir. Üniversiteler ve diğer kamu kuruluşları tarafından yapılan araştırmalar ve uygulamalar genellikle master ya da doktora tezi kapsamında yürütülen çalışmaların bir ürünüdür. Araştırmada, uygulamalarla ilgili detaylı bilgilere İrklı Eryıldız ve Demirbilek’in “Anadolu Güneş Mimarlığı” (21) ve “Solar Architecture in Turkey, State of the Art” (22) adlı çalışmalarından ulaşılmıştır.

Üniversitelerde yapılmış güneş evleri şunlardır:

- ODTÜ Güneş Evi (Mimarlık Fakültesi),
- Çukurova Üniversitesi Güneş Evi,
- ODTÜ Pasif Güneş Evleri,
- Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Lâboratuar Binası,
- Erciyes Üniversitesi Güneş Evi,
- ODTÜ’de Tasarı Halindeki Projeler

Üniversitelerin dışındaki diğer kamu kuruluşları tarafından gerçekleştirilen başlıca projeler ise;

- Marmaris MTA Güneş Enerjisi Lâboratuarı

- Marmaris MTA Kimya Lâboratuvarı,
- TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi Misafirhanesi,
- Ankara Büyükşehir Belediyesi Güneş Evi olarak sıralanabilir.

Özel sektörün konuyla ilgili gerçekleştirdiği yatırımlarda şimdiye kadar sıcak su ısıtma amacıyla toplayıcı yapımından öteye gidememiş ve sadece toplayıcının bina ile bütünleşmesi, verimi ve teknik özellikleri konusunda ilerlemeler kaydedilmiştir. Ülkemizde özel sektörün güneş enerjisiyle ısıtma sistemlerine gerektiği önemi vermemesinin en önemli sebebi bütün araştırmalara rağmen sistemin ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Bu nedenle az para ile konut sahibi olmak isteyen ülke insanlarının büyük bir miktar daha ödeyerek evine güneş enerjisiyle ısıtma sistemi yerleştirebileceğini düşünmek özel sektör için iyimser bir düşünce olarak ortaya çıkmaktadır.

Bunun dışında Türkiye’de bu konu ile bireysel olarak ilgilenen Yüksek Mimar Çelik Erengezzgin, pasif güneş sistem ile ısıtılan konut projeleri gerçekleştirmiş ve bunlardan birini de kendisi için geliştirerek uygulamaya koymuştur. Topluma örnek olmak amacı ile bu binada ailesi ile birlikte yaşamaktadır. “Söylediklerini yapan, yaptıklarını söyleyen biri olmalıyız” görüşünü savunan Erengezzgin (23), ek ısıtma sistemi kullanılmayan bu binanın gerçekleştirilmesinde pasif sistemin tüm alt sistemlerinden faydalanmıştır. Erengezzgin Afyon’da, 72 dönüm arazi üzerinde, 72 konutluk, kendi enerjisini kendi üretecek olan ekoköy projesi üzerinde çalışmalarına devam etmektedir (23).

Güneş enerjisinden ısıtma amacıyla yararlanan sistemlerde üniversite-özel sektör işbirliği ile yapılan araştırmaların en kapsamlısı; Prof. Lütfü Zeren başkanlığında İstanbul Teknik Üniversite Mimarlık Fakültesi Döner Sermaye İşletmelerinin yaptığı Ankara-Sincan yöresinde enerji tasarrufuna dayalı bir yerleşme modelinin fiziksel planlama araştırmasıdır. Sincan projesi de maalesef sadece proje safhasında kalmış, uygulamaya konulamamıştır. Bu durumda özel sektör üreticileri, güneş enerjisinden ısıtmada faydalanmak üzere yaptığı yatırımlara ara vererek, üretim çalışmalarını tamamen sıcak su ısıtma sistemlerinde yoğunlaşmıştır (15).

Sivil toplum kuruluşları tarafından gerçekleştirilen projeler ilk defa, 17 Ağustos 1999 Marmara bölgesinde meydana gelen deprem felaketinin ardından “Temiz Enerji Vakfı” tarafından iki proje ile geliştirilmiştir. Bunlar;

- Deprem bölgesinde bir “Güneş Evi ve Bilim Oyunları Merkezi” yapmak,
- Deprem bölgesinin yeniden yapılanmasında (kalcı yapılanma) iklimle uyumlu ve enerji bilinçli yapılar yapılmasının sağlanmasıdır.

Vakıf, bu projelerin ilkinin, İzmit Birleşmiş Milletler Çadır-Kent’inde UNDP/GEF desteği alarak ve dört kuruluşun ortaklığı ile gerçekleştirmiştir. Projeye katkılarını koyan kuruluşlar; Kaldera-Dağsan Solar A.Ş. (Konya), Dunasolar Photovoltaics (Budapeşte/Macaristan), Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü (Ankara) ve Mutlu Akü ve malzemeleri A.Ş. (İstanbul) olup, Temiz Enerji Vakfı eşgüdümünde çalışmışlardır.

1999 Kasım ayında başlayan proje 2000 Mart ayında tamamlanmıştır. Proje’ de 100 m<sup>2</sup>’lik bir alan üzerinde depreme dayanıklı çelik iskeletli bir yapı inşaa edilmiştir. Bu

yapının güneye bakan eğimli çatısına, yaklaşık 3 kw gücünde güneş panelleri ve 40 adet güneş toplacı konulmuştur. Yapının dışındaki alan, bir toplanma yeri olacak şekilde düzenlenmiş ve güneş panellerinden sağlanan elektrikle aydınlatma yapılmıştır. Yapının iç hacmi “Bilimsel Oyunlar” alanı olarak deney setleri ve bilgilendirici posterlerle donatılmıştır. Güneş toplaçlarından elde edilen sıcak su, çadır-kentteki duş ve yıkama birimlerine verilecek şekilde tasarlanmıştır. Güneş panellerinden elde edilen elektrik, yapının içini ve çevresini aydınlatmak amacıyla kullanılmıştır. Bundan amaç; deprem gibi olağanüstü durumlarda elektrik kesintilerinden etkilenmeyecek aydınlanmış bir alan ve mekan oluşturmak ve bu şekilde bölgedeki insanlara rahatlık sağlamaktır.

Yapının iç hacminin bir çekirdek “Bilim Oyunları Merkezi” olarak düzenlenmesindeki amaç; çadır-kentte yaşayanların bilime merakını arttırmak, aynı zamanda ülkemizde yeni bir olgu olan bu tür etkinliğin yaygınlaşmasına örnek olmaktır.

Projenin diğer bir önemli yanı, bir sivil toplum kuruluşunun, deprem bölgesi için kendi uzmanlık alanında bir projeyi tasarlayıp gerçekleştirmesi ve bu projenin gerçekleşmesinde, biri yurt dışında olmak üzere üç özel kesim kuruluşunun ve bir kamu kuruluşunun (üniversite) projeye katkı koymaları ve tüm ortakların uyumlu yaklaşımı ile projenin kısa sürede, bir aksaklığa yol açılmadan başarı ile tamamlanmış olmasıdır.

Temiz Enerji Vakfı'nın ikinci projesi; deprem bölgesinin yeniden yapılanmasında, iklimle uyumlu, ve enerji bilinçli yapılar yapılmasının sağlanması, için projesini hazırlamış ancak projeyi hayata geçirmek için vakfın şimdiye dek yaptıkları girişimlerden sonuç alınamamıştır (24;25).

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çevre sorunlarının etkileri yaşamsal anlamda tüm canlıları tehdit etmektedir. Etnik olarak bilimin topluma hizmet etmesi gereği, tüm bilim dallarının çalışmalarının özünde yaşam kalitesinin sağlıklı bir biçimde geliştirilmesi ve uygulanması vardır. Çevre sorunları ve enerji tasarrufu çalışmalarına mimari açıdan çözüm üretebilmek için; konutların güneş enerjisi ile ısıtılması ve iklimle uyumlu bina tasarım parametrelerinin optimum çözüm üretimi ile birlikte ele alınması gerekmektedir. Ülkemizin Avrupa ülkelerine göre güneş ışınımı alma açısından daha şanslı bir konuma sahip olmasının avantajları kullanılmamakta ve güneş enerjisinden ısıtmada yararlanma konusundaki uygulamalara yeterince önem verilmemektedir. Bu nedenle çevre sorunlarına kamuoyunun dikkatini çekmek, devletin bu konuya önem vermesini sağlamak, tasarımcının bilinçlenmesini sağlamak gerekmektedir.

Mimaride güneş enerjisinden pasif olarak yararlanmak tasarım ve konstrüksiyon ile mümkündür. Güneşin istenen dönemlerde binadan içeri alınması, güneş enerjisinin binada depolanması ve gerektiğinde bina içerisinde dağıtılması prensibine dayanan güneş mimarisi ile fosil kaynaklı enerji tüketimi en aza indirgenmiş olacaktır. Güneş mimarisinin uygulanmasında enerji korunumunun maksimum düzeyde sağlanabilmesi için binanın yapılacağı bölgenin iklim özellikleri ile güneş kontrolü, rüzgar denetimi, nem kontrolü sistemleri ve bunlara bağlı olarak yön, yer, bina biçimi ve bina kabuğu tasarım parametreleri olarak ele alınmalıdır. Binaların pasif ısıtma sistemleri ile ısıtılmasının yanı

sıra, enerji verimliliği açısından ısı kaybını önleyecek yapısal önlemlerinin sağlanması ile düşük enerjili binalar elde etmek mümkündür. Standart bir konutta infiltrasyon ve vantilatasyon kayıpları toplam ısı kayıplarının %30-35'ini teşkil etmektedir.

Ayrıca farklı iklim bölgelerine göre, farklı özellikleri olan pasif yararlanma olanakları düşünülmelidir. Doğrudan ısı kazanım yönteminde güneşin pencerelerin yalnızca güneye yönlendirilmeleri ile enerji tüketiminin % 10'a kadar azaltılması mümkündür. Güney yönünden batı veya doğuya 20<sup>o</sup>lik sapmalar dahi maksimum enerji kazancını yarı yarıya azaltmaktadır. Türkiye'deki tüm iklim bölgelerinde kullanılabilir en kolay yöntemdir. Direkt olarak güneş enerjisinin binalarda kullanıldığı bu sistemde, uygun bir planlama yapıldığında, kışın %75'e varan verimlilik sağlanmaktadır. Termik depolayıcı duvarlar, güneşli fakat soğuk kışların iklim kuşakları için çok uygundur. Sistemin verimliliği %30-45 arasında olmaktadır. Termik depolayıcı çatı, hem soğutmada hem de ısıtmada kullanılan çok az sayıda pasif sistemlerden biri olmuştur. Bu sistem, özellikle büyük sıcaklık farklılıkları olan iklim bölgeleri için uygundur. Güneş mimarisinde en çok uygulanan bir diğer yöntem de bina bitişğine ek olarak yapılmış kış bahçeleridir. Kış bahçesine sahip bir konutun ısı kazancı %50 oranında pasif güneş sistemi ile sağlanmaktadır. Bu sistemin üstünlüğü, hemen hemen her yerde sonradan kurulabilmesidir. Termosifon sistemde ise, ısınan akışkanın kendiliğinden yükselip yer değiştirmesi özelliğinden yararlanılmıştır. Pasif güneş sistemlerinden doğal dolaşımın kullandığı binalarda, toplayıcı alan binadan bağımsız olduğu için; güneş enerjisinden maksimum düzeyde yararlanmaktadır. Sistem güneye eğimli arazilerde daha kolay uygulanabilmektedir.

Enerji tasarrufu açısından ve dünyadaki ekolojik dengelerin korunması açısından, yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılmasının önemini geliştirmiş ülkeler çok iyi kavramışlardır. Dışarıdan enerji ithal eden Türkiye, sıcak iklim kuşağı içerisinde yer almakta ve yıllık güneşlenme süresi bakımından çok şanslı bir konuma sahiptir. Ülkemizde bu konudaki araştırmalar büyük oranda üniversiteler bünyesinde yapılmaktadır, dolayısıyla konunun önemini kamuoyuna duyurulması bakımından akademisyenlere sorumluluklar düşmektedir. Bundan sonra yapılacak araştırmalar için; binaların güneş enerjisinden pasif ve aktif sistemlerle bir arada iklimlendirilmesi ya da mevcut yapıların bu sistemlerden yararlanılarak ısıtılması ve soğutulmasının sağlanması için yenileme projeleri önerilebilir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Bockris, J. O' m. and Smuth, D., Veziroğlu, T. N., "Güneş Enerjisi", İletişim Yayınları, 112s., İstanbul, 1993.
2. <http://www.koeri.boun.edu.tr/meteor/enerji/enerjl.htm> (Alınış Tarihi: 27.11.200)
3. Buldurur, M. A., "Kentsel Tasarımda Güneş Enerjisinden Optimum Yararlanma Konusunda Bir Araştırma ve İstanbul'da Çeşitli Uygulama Örnekleri", İ.T.Ü. Doktora Tezi, 109s., İstanbul, 1983.
4. Göksal, T., "Mimaride Güneş Enerjisi", Anadolu Üniversitesi Yayınları, 79s., Eskişehir, 1998.



5. İstanbulluoğlu, S., "Güneş: Elektrik Kaynağı", *Elektrik Mühendisliği*, 39 (403): 35-36, 1998.
6. Irklı, D. "Sürdürülebilir Bir Geleceğe Mimarın Katkısı", *96/290 Mimarlık Dergisi* S: 33-35
7. Wachberger, M. and Wachberger, H., "Güneş ve Konut", *Yaprak Kitabevi*, 135s., Ankara, 1988.
8. Erten, E., "Binalarda Planlama Sırasında Alınabilecek Enerji Tasarrufu Önlemleri", *Enerji Tasarrufu Semineri Tebliğleri*, Tüyap, s.145-152., İstanbul, 1993 a.
9. Yıldız, M., "Binalarda Pasif Isıtma Teknikleri, Dünyada ve Ülkemizdeki Uygulamaları", *Güneş Enerjisi Konferansı Tebliğleri*, s.371-389, Ankara, 1984.
10. Çakmanus, İ. ve Böke, A., "Binaların Güneş Enerjisi İle Pasif Isıtılması ve Soğutulması", *Yapı Dergisi*, (235):83-88, 2001.
11. <http://fridge.arch.uwa.edu.au/topics/thermal/solar/> (Alınış Tarihi: 20.03.2001)
12. Kenber, O., "Enerji Nedeniyle Çevre Sorunları Oluşturmaması İçin Konut Tasarımında Kullanılabilecek Bir Denetim Modeli", *İstanbul Teknik Üniversitesi Doktora Tezi*, 120s., İstanbul, 1993.
13. Erten, E., "Düşük Enerji Yapıları", *Enerji Tasarrufu Semineri Tebliğleri*, TÜYAP, İstanbul, 1993 b.
14. Demirbilek, N., "%100 Güneşle Isıtılan Bir Güneş Evi. Güneş Enerjisi Konferansı Tebliğleri", s.57-70, Ankara, 1984.
15. Özgen, N., "Güneş Enerjisinden Isıtmada Yararlanma", *İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, 157 s., İstanbul, 1990.
16. Moore, F., "Environmental Control Systems; Heating, Cooling and Lighting", *Mc Graw-Hill*, 427s., Singapur, 1993.
17. Dörter, C. H., "Konutlarda Isıtma Enerjisi Korunumu Amaçlı Mimari Tasarıma Yön Verici İlkelerin ve Çözümlerin Belirlenmesine Bir Yaklaşım Araştırması", *İstanbul Teknik Üniversitesi Doktora Tezi*, 122s., İstanbul, 1994.
18. Eyıldız, S. ve Irklı Eryıldız, D., "Enerji ve Yapı Yüzeyi İlişkisi", *III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 15-17 Kasım 2000, *İstanbul Bildiri Kitabı*, Cilt I, s. 271-280.
19. [http://www.hku.hk/bse/e-conf/k/solar\\_k.html](http://www.hku.hk/bse/e-conf/k/solar_k.html) (Alınış Tarihi: 17.08.2000)
20. Zeren, L., "Mimarlıkta Yapma Çevre Dizaynı ve Güneş Enerjisi", *Güneş Enerjisi ve Çevre Dizaynı Ulusal Sempozyumu*, İstanbul Teknik Üniversitesi, s.1-17, İstanbul, 1978.
21. Irklı Eryıldız, D. ve Demirbilek, F. N., "Anadolu Güneş Mimarlığı", *III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 15-17 Kasım 2000, *İstanbul Bildiri Kitabı*, Cilt I, s. 245-254.
22. Demirbilek, N.; Irklı Eryıldız D., "Solar Architecture in Turkey, State of the Art", *ISES 1999 Solar World Congress, Proceedings; 4-9 July 1999, Jarusalem, Vol II*, p. 41-47
23. Erengözgin, Ç., "Güneş Mimarisi-Tasarım Kriterleri, Uygulamalar", *Güneş İle Tasarım Seminer-Panel-Workshop*, Eskişehir, 2001.
24. Anonymous, "İzmit BM Çadırkentinde Güneş Evi", *Cumhuriyet Bilim ve Teknik Dergisi*, (393):101, 2000.
25. <http://www.temev.org.tr/tarihce.htm> (Alınış Tarihi: 01.08. 2001)



## YAZIM KURALLARI

Gönderilecek makaleler, Mühendislik Bilimleri ile ilgili başka hiçbir yerde yayınlanmamış, orijinal bir araştırma niteliğinde olmalıdır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilemez. Yazı dili Türkçe ve İngilizce'dir. Dergi ofset tekniği ile basıldığından makaleler IBM uyumlu bilgisayarla Microsoft Word'97 ve yukarıları programda yazılmış, biri orijinal, ikisi fotokopi olmak üzere üç nüsha olarak gönderilmelidir.

Makalelerin incelemesi yapıldıktan sonra düzeltmeler yazarlar tarafından yapılmalı, tüm şekil ve grafikler yerleştirilmiş olarak, düzeltilmiş nüshaya ait disket ile birlikte 15 gün içerisinde geri gönderilmelidir. Makalenin başlığı metne uygun, kısa ve açık ifadeli olmalıdır. Başlık, büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Makale 1 satır aralıkla yazılmalıdır. Alt başlıklarla ilk paragraf ve paragraflar arasında 1 aralık bırakılmalıdır. Yazar ad ve soyadları unvan belirtilmeden, başlığın 1 cm altına sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Yazar sayısı birden çok ise, hepsi alt alta yazılmalıdır. Yazar adresi (Üniversite, Fakülte, Bölüm, Şehir) makale başlığının altına yazılmalıdır.

Makaleler çizelge, şekil ve fotoğraflarla en fazla 15 sayfa olmalıdır. Ancak kısaltılması mümkün olmayan makalelerin yayınlanmasında yayın kurulu yetkilidir. Şekil ve grafikler çini mürekkep ile aydinger kağıdına veya beyaz kuşe kağıda çizilmeli, resimler parlak fotoğraf kartına siyah-beyaz ve net basılmış olmalıdır.

Çalışma herhangi bir kurumun desteği ile yapılmış ise, bu ilk sayfanın altına \* işaretini takip edecek şekilde dipnot olarak yazılmalıdır.

Başlıklar 1., 2., ve alt başlıklar 1.1., 1.2., vb. numaralandırılıp, alt başlıklar küçük harflerle, fakat kelime baş harfleri büyük olarak yazılmalıdır. Metindeki eşitlikler (1), (2),... vb. şeklinde numaralandırılmalı ve numaralar sayfanın en sağına yerleştirilmelidir. Daktiloda bulunmayan işaretler, siyah çini mürekkep ve şablon kullanılarak (veya elle çok düzgün bir şekilde) yazılmalıdır.

Makalenin bölümleri aşağıdaki sıraya göre olmalıdır : Türkçe başlık, özet, İngilizce başlık ve özet, metin, teşekkür (gerekli ise) ve kaynaklar. Özetler en az beş, en fazla on satır olmalıdır. Özetten sonra makalenin İngilizce başlığı büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılıp, bunun altına da "Abstract" İngilizce olarak verilmelidir. Metinde mutlaka giriş ve sonuç bölümleri bulunmalıdır. Ara bölümler materyal ve metod, deneysel çalışma, teorik esaslar gibi başlıklar veya alt başlıklar şeklinde düzenlenebilir. Metin içinde kaynaklara atıfta bulunmak istenildiğinde, yazar adı verilerek veya verilmeksizin kaynak numarası parantez içinde gösterilmelidir. Numaralandırma metinde veriliş sırasına göre yapılmalıdır. İki'den fazla yazar sayısı durumunda ilk iki yazar adı yazılıp, Türkçe kaynaklarda "ve diğ." Yabancı kaynaklarda "et.al." ibaresi eklenir. Kaynak makale ise, önce yazar adı baş harfi, yazarın soyadı, makalenin adı (yalnız ilk kelimenin baş harfi büyük), derginin adı veya varsa kısaltılmış adı, dergi cilt ve sayısı, parantez içinde yılı ve en sona da başlangıç ve bitiş sayfaları tire ile ayrılarak verilmelidir. Kaynak bir kitap ise yazar adının ilk harfi, soyadı, kitap adı (kelime harfleri büyük), yayınevi, yayın yeri, yayın yılı ve sayfa numarası verilmelidir.

Makalesi yayınlanan yazarlara bir adet dergi, 10 adet ayrı baskı gönderilir, ancak telif hakkı ödenmez. Dergiye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Yayınlanması istenen makaleler aşağıdaki adrese gönderilir:

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı

01330 Balçalı-ADANA

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