



**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Selahattin KOCAMAN**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU**  
**DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**BARAJ YIKILMASI ANALİZİ VE UYGULAMASI**

**119897**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2002**

119897

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BARAJ YIKILMASI ANALİZİ  
VE  
UYGULAMASI**

**Selahattin KOCAMAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez 05/09/2002 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından  
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.**

**İmza:**

**Yrd. Doç. Dr. Hatice ÇAĞATAY  
DANIŞMAN**

**İmza:**

**ÜYE**

**İmza:**

**ÜYE**

**Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.**

**Kod No: 2050**



**Prof. Dr. Fikri AKDENİZ  
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından  
Desteklenmiştir.**

**Proje No: FBE2002YL144**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.



*sevgili anne ve babama,*

**ÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BARAJ YIKILMASI ANALİZİ  
VE  
UYGULAMASI**

**Selahattin KOCAMAN**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Danışman : Yrd. Doç. Dr. Hatice ÇAĞATAY**

**Yıl : 2002, Sayfa: 141**

**Jüri : Yrd. Doç. Dr. Hatice ÇAĞATAY  
: Prof. Dr. M. Salih KIRKGÖZ  
: Yrd. Doç. Dr. Galip SEÇKİN**

Barajlar toplum için su temini, taşkın kontrolü, hidroelektrik güç, sulama ve rekreasyon gibi önemli faydalar sağlar. Barajlar oldukça güvenli yapılar olmalarına rağmen geçmişte meydana gelen bir çok felaket her barajın yıkılabileceğini ve bir yıkılma riskine sahip olduğunu göstermiştir. Bir barajın yıkılması durumunda rezervuarında depolanmış olan çok büyük miktardaki su gedikten boşalır ve 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 planlarını içeren acil durum planlarının geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada baraj yıkılması hadisesi ve oluşacak taşkın dalgalarının ötelenmesinde kullanılacak çözüm teknikleri sunulmuştur. NWS FLDWAV adlı bilgisayar modeli kullanılarak Kozan Barajı üzerinde bir uygulama yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler :** Baraj Yıkılması, Gedik, Hidrolik Öteleme, Borulanma Yıkılması, Kozan Barajı.

## **ABSTRACT**

MSc THESIS

# **DAM BREAK ANALYSIS AND A CASE STUDY**

Selahattin KOCAMAN

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

**Supervisor :** Assist. Prof. Dr. Hatice ÇAĞATAY

**Year :** 2002, **Pages:** 141

**Jury :** Assist. Prof. Dr. Hatice ÇAĞATAY  
: Prof. Dr. M. Salih KIRKGÖZ  
: Assist. Prof. Dr. Galip SEÇKİN

Dams provide many benefits for society such as water supply, flood control, hydropower, irrigation and recreation. Although dams are very safe structure, many disaster 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 plans. In this study dam break phenomenon and solutions techniques for routing of resultant flood waves were presented. A case study was performed on Kozan Dam by using a computer model NWS FLDWAV.

**Keywords :** Dam Break, Breach, Hydraulic Routing,  
Piping Failure, Kozan Dam.

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Hatice (ÖZMEN) ÇAĞATAY'a, uygulamada gerekli bilgilerin temininde yardımcı olan İnş. Yük. Müh. İsmail KAYA'ya ve yazım aşamasındaki yardımlarından dolayı arkadaşım Araş. Gör. Engin EMSEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZ .....                                                                    | I   |
| ABSTRACT .....                                                              | II  |
| TEŞEKKÜR .....                                                              | III |
| İÇİNDEKİLER .....                                                           | IV  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                     | VI  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                       | VII |
| SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                       | X   |
| 1. GİRİŞ .....                                                              | 1   |
| 1.1. Konunun Tanıtılması ve Önemi .....                                     | 1   |
| 1.2. Baraj Yıkılmaları .....                                                | 2   |
| 1.3. Çalışmanın Amacı ve İzlenecek Yöntem .....                             | 6   |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....                                                  | 8   |
| 3. GEDİK OLUŞUMU VE GEDİKTEN ÇIKAN AKIM HİDROGRAFININ<br>BELİRLENMESİ ..... | 18  |
| 3.1. Giriş .....                                                            | 18  |
| 3.2. Gedik Oluşumu .....                                                    | 21  |
| 3.2.1. Gedik Parametreleri .....                                            | 21  |
| 3.2.2. Gedik Parametrelerinin Belirlenmesi .....                            | 22  |
| 3.2.3. Beton Barajlar .....                                                 | 26  |
| 3.2.4. Toprak Dolgu Barajlar .....                                          | 28  |
| 3.2.5. Toprak Dolgu Barajlarda Üstten Aşma Yıkılması .....                  | 29  |
| 3.2.6. Toprak Dolgu Barajlarda Borulanma Yıkılması .....                    | 31  |
| 3.3. Çıkan Akım Hidrografının Belirlenmesi .....                            | 32  |
| 4. TAŞKIN ÖTELEMESİ .....                                                   | 37  |
| 4.1. Giriş .....                                                            | 37  |
| 4.2. Hidrolik Taşkın Ötelemesi .....                                        | 39  |
| 4.3. Dinamik Dalga Yöntemi .....                                            | 41  |
| 4.3.1. Akımı İdare Eden Denklemler (Saint-Venant Denklemleri).....          | 41  |
| 4.3.2. Saint-Venant Denklemlerinin Sonlu Farklarla Çözümü .....             | 46  |

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.3. Denklemlerin Sonlu Fark İfadeleri .....                                          | 49  |
| 4.3.4. Lineer Olmayan Denklem Takımının Sayısal Çözümü .....                            | 51  |
| 4.3.5. Başlangıç ve Sınır Şartları .....                                                | 56  |
| 4.3.5.1. Memba Sınır Şartları .....                                                     | 56  |
| 4.3.5.2. Mansap Sınır Şartı .....                                                       | 56  |
| 4.3.5.3. Başlangıç Şartları .....                                                       | 59  |
| 4.3.6. Mesafe Adımlarının Seçimi .....                                                  | 61  |
| 4.3.7. Zaman Adımlarının Seçimi .....                                                   | 64  |
| 4.3.8. Manning Pürüzlülük Katsayısının (n) Belirlenmesi .....                           | 65  |
| 5. UYGULAMA VE TARTIŞMA .....                                                           | 68  |
| 5.1. NWS FLDWAV Baraj Yıkılması Analiz Programının Tanıtılması .....                    | 68  |
| 5.2. Uygulamada Kullanılan Veriler .....                                                | 69  |
| 5.2.1. Baraja Ait Bilgiler: .....                                                       | 70  |
| 5.2.2. Baraj Mansabındaki Akarsu Kesimine Ait Bilgiler .....                            | 73  |
| 5.2.3. Baraj Gövdesinde Meydana Geldiği Kabul Edilen Gedik İle İlgili<br>Bilgiler ..... | 76  |
| 5.3. Sayısal Uygulamalar .....                                                          | 82  |
| 5.3.1. Gedik Oluşum (Yıkılma )Süresinin Etkisi .....                                    | 82  |
| 5.3.2. Gedik Genişliğinin Etkisi .....                                                  | 90  |
| 5.3.3. Gedik Oluşum Hızının Etkisi .....                                                | 99  |
| 5.3.4. Pürüzlülük Etkisi .....                                                          | 104 |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                                           | 111 |
| KAYNAKLAR .....                                                                         | 114 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                          | 119 |
| EKLER .....                                                                             | 120 |
| EK 1. NWS FLDWAV Program Data Dosyası .....                                             | 121 |
| EK 2. NWS FLDWAV Program Çıktısı .....                                                  | 124 |
| EK 3. Geçmişte Meydana Gelen Baraj Yıkılmalarına Ait Bilgiler .....                     | 134 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 2.1. Baraj yıkılması taşkın modelleri .....                                                                    | 14  |
| Çizelge 2.2. Baraj gövdesinde gedik oluşumu ile ilgili modeller .....                                                  | 15  |
| Çizelge 3.1. Gedik parametrelerinin belirlenmesi için türetilmiş denklemler .....                                      | 25  |
| Çizelge 3.2. Gedikten çıkan pik akımın belirlenmesi için türetilmiş denklemler .....                                   | 26  |
| Çizelge 3.3. Baraj tipine göre gedik oluşum parametreleri .....                                                        | 27  |
| Çizelge 4.1. Saint-Venant denklemlerinin özeti .....                                                                   | 40  |
| Çizelge 4.2. Pürüzlülük değerleri .....                                                                                | 67  |
| Çizelge 5.1. Kullanılan enkesitlere ait seviye-üst genişlik değerleri .....                                            | 75  |
| Çizelge 5.2. Ortalama gedik genişlikleri .....                                                                         | 78  |
| Çizelge 5.3. Yıkılma zamanları .....                                                                                   | 78  |
| Çizelge 5.4. Gedikten çıkan pik akımlar .....                                                                          | 79  |
| Çizelge 5.5. Farklı gedik oluşum süreleri için çeşitli kesitlerdeki<br>pik debiler ve pik debiye erişme süreleri ..... | 83  |
| Çizelge 5.6. Farklı gedik genişlikleri için çeşitli kesitlerdeki<br>pik debiler ve pik debiye erişme süreleri .....    | 91  |
| Çizelge 5.7. Farklı gedik oluşum hızları için çeşitli kesitlerdeki<br>pik debiler ve pik debiye erişme süreleri .....  | 100 |
| Çizelge 5.8. Farklı pürüzlülük değerleri için çeşitli kesitlerdeki<br>pik debiler ve pik debiye erişme süreleri .....  | 105 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Barajların yapısal yıkılma sebepleri ile ilgili istatistikler .....                            | 5  |
| Şekil 1.2. Baraj türüne bağlı yıkılmalara ait istatistikler .....                                         | 5  |
| Şekil 3.1. Gedik şekilleri .....                                                                          | 20 |
| Şekil 3.2. Gedik karakteristikleri .....                                                                  | 28 |
| Şekil 3.3. Üstten aşma sonucu gedik oluşumu .....                                                         | 29 |
| Şekil 3.4. Borulanma ile gedik oluşumu .....                                                              | 31 |
| Şekil 3.5. Gedik içerisindeki savak akımının bileşenleri .....                                            | 33 |
| Şekil 4.1. Ötelenen taşkın hidrografının akarsu boyunca değişimi .....                                    | 37 |
| Şekil 4.2. Akarsu ve taşkın yatağında kıvrımlılık ( $s_m$ ) .....                                         | 44 |
| Şekil 4.3. Akışkanlarda kayma gerilmesinin deformasyon hızı ile değişimi .....                            | 45 |
| Şekil 4.4 Saint-Venant Denklemlerinin Sonlu Fark Formunun Yazıldığı x-t Ağı ....                          | 48 |
| Şekil 4.5. Tek değerli anahtar eğrisi .....                                                               | 57 |
| Şekil 4.6. Kapalı anahtar eğrisi .....                                                                    | 58 |
| Şekil 4.7. Farklı hidrograflar için yükselme zamanı .....                                                 | 63 |
| Şekil 5.1. Kot-alan eğrisi .....                                                                          | 71 |
| Şekil 5.2. Kot-hacim eğrisi .....                                                                         | 72 |
| Şekil 5.3. Muhtemel maksimum taşkın hidrografi .....                                                      | 72 |
| Şekil 5.4. Akarsu profili ve kesit yerlerinin şematik planı .....                                         | 75 |
| Şekil 5.5. Baraj aksına ait enkesit .....                                                                 | 75 |
| Şekil 5.6. Mansap sınır şartı olarak kullanılan son kesite ait anahtar eğrisi .....                       | 80 |
| Şekil 5.7. Farklı gedik oluşum süreleri için baraj aksındaki<br>gedikten çıkan taşkın hidrografları ..... | 86 |
| Şekil 5.8. Farklı gedik oluşum süreleri için 8.585 km'deki taşkın hidrografları .....                     | 86 |
| Şekil 5.9. Farklı gedik oluşum süreleri için baraj aksındaki su seviyesinin<br>zamanla değişimi .....     | 87 |
| Şekil 5.10. Farklı gedik oluşum süreleri için 8.585 km'deki su seviyesinin<br>zamanla Değişimi .....      | 87 |
| Şekil 5.11. Farklı yıkılma zamanları için maksimum su seviyesi profilleri .....                           | 88 |
| Şekil 5.12. $\tau = 2$ saat için pik debinin mesafeyle değişimi .....                                     | 89 |

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.13. $\tau = 2$ saat için pik debiye ulaşma süresinin<br>mesafeyle değişimi .....                              | 89  |
| Şekil 5.14. $\tau = 2$ saat için baraj aksında (0.00 km) ve<br>son kesitteki (8.585 km) taşkın hidrografları .....    | 90  |
| Şekil 5.15. Farklı gedik genişlikleri için baraj aksındaki gedikten çıkan<br>taşkın hidrografları .....               | 93  |
| Şekil 5.16. Farklı gedik genişlikleri için 8.585 km deki<br>taşkın hidrografları .....                                | 93  |
| Şekil 5.17. Farklı gedik genişlikleri için baraj aksındaki su seviyesin<br>zamanla değişimi .....                     | 94  |
| Şekil 5.18. Farklı gedik genişlikler için 8.585 km deki su seviyesinin<br>zamanla değişimi .....                      | 94  |
| Şekil 5.19. Farklı gedik genişlikleri için maksimum su seviyesi profilleri .....                                      | 95  |
| Şekil 5.20. Baraj aksında farklı gedik genişliği ve yıkılma süresi için pik debiler ...                               | 97  |
| Şekil 5.21. 8.585 km'de farklı gedik genişliği ve yıkılma süresi için<br>pik debiye ulaşma süreleri .....             | 97  |
| Şekil 5.22. Baraj aksında farklı gedik genişlikleri ve gedik oluşum<br>süreleri için pik debiye ulaşma süreleri ..... | 98  |
| Şekil 5.23. 8.585 km'de farklı gedik genişlikleri ve gedik oluşum<br>süreleri için pik debiye ulaşma süreleri .....   | 98  |
| Şekil 5.24. Farklı gedik oluşum hızları için baraj aksındaki gedikten çıkan<br>taşkın hidrografları .....             | 102 |
| Şekil 5.25. Farklı gedik oluşum hızları için 8.585 km deki taşkın hidrografları .....                                 | 102 |
| Şekil 5.26. Farklı gedik oluşum hızları için baraj aksındaki su seviyesinin<br>zamanla değişimi .....                 | 103 |
| Şekil 5.27. Farklı gedik oluşum hızları için km 8.585 teki su seviyesinin<br>zamanla değişimi .....                   | 103 |
| Şekil 5.28. Farklı pürüzlülük değerleri için baraj aksındaki gedikten çıkan<br>taşkın hidrografları .....             | 107 |
| Şekil 5.29. Farklı pürüzlülük değerleri için 8.585 km'deki taşkın hidrografları .....                                 | 107 |

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.30. Farklı pürüzlülük değerleri için baraj aksındaki su seviyesinin<br>zamanla değişimi ..... | 108 |
| Şekil 5.31. Farklı pürüzlülük değerleri için 8.585 km'deki su seviyesinin<br>zamanla değişimi .....   | 109 |
| Şekil 5.32. Farklı pürüzlülük değerleri için maksimum su seviyesi profilleri .....                    | 111 |



## SEMBOL LİSTESİ

|           |                                                                                                                               |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A$       | : Akarsu/taşkın yatağı enkesitindeki aktif akım alanı                                                                         |
| $A_g$     | : Dip savak alanı                                                                                                             |
| $A_o$     | : Ana yatak ve taşkın yatağındaki aktif olmayan enkesit alanı                                                                 |
| $A_{o_k}$ | : k'inci seviyedeki aktif olmayan akım alanı                                                                                  |
| $A_s$     | : Baraj üst seviyesindeki rezervuar alanı                                                                                     |
| $b$       | : Gedik tabanının son genişliği                                                                                               |
| $\bar{b}$ | : Ortalama gedik genişliği                                                                                                    |
| $b_i$     | : Herhangi bir andaki gedik taban genişliği                                                                                   |
| $B$       | : h su yüzeyi seviyesindeki aktif akarsu/taşkın yatağı üst genişliği                                                          |
| $B_d$     | : Baraj $h_d/2$ seviyesindeki rezervuar genişliği                                                                             |
| $B_{c_k}$ | : k'inci seviyedeki akarsu/taşkın yatağının ana kanal kısmının üst genişliği                                                  |
| $B_i$     | : i'inci enkesitin üst genişliği                                                                                              |
| $B_k$     | : Belirlenen üst genişlik                                                                                                     |
| $B_{o_k}$ | : k'inci seviyedeki akarsu/taşkın yatağı enkesitindeki aktif olmayan kısmın üst genişliği                                     |
| $c$       | : Akarsu yatağı                                                                                                               |
| $\hat{c}$ | : Kinematik dalga hızı                                                                                                        |
| $c_d$     | : Baraj kreti üzerinden aşan akım için debi katsayısı                                                                         |
| $c_g$     | : Dip savak debi katsayısı                                                                                                    |
| $c_s$     | : Kontrolsüz dolusavak debi katsayısı                                                                                         |
| $c_v$     | : Hız düzeltme katsayısı                                                                                                      |
| $C$       | : Von Thun ve Gillette denklemindeki dengeleme faktörü, rezervuar boyutunun bir fonksiyonu olarak 6.1m ve 54.9 m arasındadır. |
| $C_w$     | : Boyutsuz rüzgar katsayısı                                                                                                   |
| $D$       | : Hidrolik derinlik                                                                                                           |
| $Fr$      | : Froude sayısı                                                                                                               |
| $g$       | : Yerçekimi ivmesi                                                                                                            |

|            |                                                                                           |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| $h$        | : Baraj gölünün değişen su seviyesi                                                       |
| $h'$       | : $(t - \Delta t)$ anındaki rezervuar su yüksekliği                                       |
| $h_b$      | : Herhangi bir andaki gedik taban yüksekliği,                                             |
| $h_{bm}$   | : Gedik tabanının son yüksekliği,                                                         |
| $h_d$      | : Baraj yüksekliği                                                                        |
| $h_f$      | : Gedik oluşumunun başlatan rezervuardaki su seviyesi                                     |
| $h_g$      | : Dip savak merkez yüksekliği, hareketli kapak yüksekliği                                 |
| $h_i$      | : $i$ kesitindeki hesaplanan su yüzeyi seviyesi                                           |
| $h_{i_k}$  | : Üst genişlik tablosunda $k$ 'inci yükseklik ve $i$ 'inci enkesitteki su yüzeyi seviyesi |
| $h_p$      | : Borulanmanın başladığı merkez çizgisi yüksekliği                                        |
| $h_s$      | : Kontrolsüz dolusavak kret yüksekliği                                                    |
| $h_t$      | : Mansap kuyruk suyu seviyesi                                                             |
| $h_{tw}$   | : Barajın hemen mansabındaki kuyruk suyu seviyesi                                         |
| $h_w$      | : Yıkılmanın başladığı anda gedik üstündeki su yükü                                       |
| $h_l$      | : $l$ kesitindeki su yüzeyi seviyesi                                                      |
| $i$        | : Saint-Venant denklemlerinin $x$ - $t$ çözüm bölgesinde $x$ mesafeleri                   |
| $j$        | : Saint-Venant denklemlerinin $x$ - $t$ çözüm bölgesinde zaman çizgisi                    |
| $k$        | : Enkesitteki herhangi bir seviye                                                         |
| $k_{ce}$   | : Seçilen enkesitler arasındaki daralma-genişleme katsayısı                               |
| $k_d, k_s$ | : Mansap kuyruk suyu etkileri için batıklık düzeltme katsayısı                            |
| $K$        | : Akımın konveyansı                                                                       |
| $K_c$      | : Akarsu ana yatağının konveyansı                                                         |
| $K_w$      | : Kinematik dalga faktörü                                                                 |
| $\ell$     | : Sol taşkın yatağı                                                                       |
| $L$        | : Akarsu kollarından giren yanal akımın momentum etkisi                                   |
| $L_d$      | : Dolusavak uzunluğu çıkarıldıktan sonra kalan baraj kret uzunluğu                        |
| $L_s$      | : Dolusavak uzunluğu                                                                      |
| $M$        | : Belirlenen mesafe adımlarını küçültme faktörü                                           |
| $M''$      | : Seçilen zaman adımlarını küçültme faktörü                                               |
| $n$        | : Akımın pürüzlülük katsayısı, Manning $n$ değeri                                         |

|             |                                                                                                                                   |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $N$         | : Akarsu boyunca belirlenen enkesitlerin toplam sayısı veya en son enkesitin numarası                                             |
| $P$         | : Islak çevre                                                                                                                     |
| $q$         | : Giren veya çıkan yanal debi, birim genişlik debisi                                                                              |
| $Q$         | : Debi                                                                                                                            |
| $\bar{Q}$   | : Ortalama iki kesit arasındaki ortalama debi                                                                                     |
| $Q_1$       | : 1 enkesitindeki akım                                                                                                            |
| $Q_b$       | : Gedikten çıkan akım                                                                                                             |
| $Q_d$       | : Baraj üstünden aşan akım                                                                                                        |
| $Q_g$       | : Dip savaktan çıkan akım                                                                                                         |
| $Q_i$       | : $i$ 'inci enkesitteki akım, rezervuara giren akım                                                                               |
| $Q_N$       | : $N$ 'inci enkesitteki akım                                                                                                      |
| $Q_o$       | : Baraj kreti üzerinden geçen akım                                                                                                |
| $Q_p$       | : Gedikten çıkan pik debi veya çıkması beklenen pik debi                                                                          |
| $Q_p^*$     | : Gedikten çıkması beklenen pik debi                                                                                              |
| $Q_{sp}$    | : Dolusavaktan çıkan akım                                                                                                         |
| $Q_t$       | : Rezervuardan çıkan toplam akım, tırbünlere giden akım                                                                           |
| $\bar{Q}_t$ | : Rezervuardan çıkan ortalama akım                                                                                                |
| $r$         | : Sağ taşkın yatağı                                                                                                               |
| $R$         | : Hidrolik yarıçap                                                                                                                |
| $s_{co}$    | : Süreklilik denklemi için kıvrımlılık faktörü                                                                                    |
| $s_m$       | : Hareket denklemi için kıvrımlılık faktörü                                                                                       |
| $S$         | : Enerji çizgisi eğimi, rezervuar hacmi                                                                                           |
| $S_a$       | : Rezervuar yüzey alanı                                                                                                           |
| $S_f$       | : Sürtünme eğimi (enerji çizgisi eğimi)                                                                                           |
| $S_e$       | : Genişleme-daralma eğimi                                                                                                         |
| $S_i$       | : Çamur/birikinti (yığıntı,enkaz) akımlar gibi Newtonien olmayan akışkanların iç viskoz çalkantısıyla karşılaşılın sürtünme eğimi |
| $S_0$       | : Akarsu yatağı taban eğimi                                                                                                       |
| $t$         | : Zaman                                                                                                                           |

|              |                                                                                       |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $t_b$        | : Gedik oluşumunun başlangıcından itibaren geçen süre                                 |
| $t_p$        | : Pik debiye erişme süresi                                                            |
| $T_r$        | : Hidrografın yükselme zamanı                                                         |
| $x$          | : Akarsuyun boyuna uzaklığı                                                           |
| $V$          | : Akımın hızı                                                                         |
| $V_{er}$     | : Aşınan dolgu malzemesi hacmi                                                        |
| $V_r$        | : Rezervuar hacmi                                                                     |
| $V_{rw}$     | : Akırsu akım hızına göre rölatif rüzgar hızı                                         |
| $V_w$        | : Belirlenen rüzgar hızı, yıkılma başladığı zaman gedik üstündeki depolanmış su hacmi |
| $w$          | : Baraj kret uzunluğu                                                                 |
| $W_f$        | : Akım yüzeyi üstündeki rüzgar direnci etkisi                                         |
| $z$          | : Gedik kenar eğimi                                                                   |
| $\Delta h$   | : $\Delta t$ zaman aralığında rezervuar su yüzeyi yüksekliğindeki değişim             |
| $\Delta t$   | : Hesaplarda kullanılan zaman adımı                                                   |
| $\Delta x$   | : Hesaplarda kullanılacak mesafe adımı                                                |
| $\Delta x_m$ | : Hesaplarda kullanılacak maksimum mesafe adımı                                       |
| $\tau$       | : Gedik oluşum zamanı, yıkılma zamanı                                                 |
| $\tau_0$     | : Akışkanın kayma gerilmesi                                                           |
| $\beta$      | : Momentum düzselme katsayısı                                                         |
| $\kappa$     | : Vizkozite katsayısı, üs fonksiyonunun ölçek faktörü                                 |
| $\gamma$     | : Newtonien olmayan akışkanın birim ağırlığı                                          |
| $\theta$     | : Saint-Venant sonlu farklar şemasında ağırlık faktörü                                |
| $\rho$       | : Gedik oluşum hızı parametresi                                                       |
| $\Psi$       | : Kapalı sonlu faklar yaklaşımında herhangi bir değişken( $Q, h, A, A_0, s_{co}$ vb.) |

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Konunun Tanıtılması ve Önemi

Barajlar toplum için su temini, taşkın kontrolü, hidroelektrik güç, sulama ve rekreasyon (eğlence, dinlenme) gibi önemli faydalar sağlar fakat oldukça güvenilir yapılar olmalarına rağmen geçmişte meydana gelen bazı felaketler her barajın yıkılabileceğini göstermiştir. Bir barajın yıkılması halinde, rezervuarında depolanmış çok büyük miktarda su boşalarak mansapta büyük taşkınlara neden olur ve bunun sonucunda da önemli maddi hasarlar ve can kayıpları meydana gelir. Genellikle baraj yıkılması sonucunda oluşan ani taşkının büyüklüğü, aşırı yağışlar sonucu oluşan taşkınlara göre çok daha fazladır ve baraj yıkılması olayında mansapta yaşayan insanların uyarılması ve tahliye edilmesi için gereken zaman çok daha kısadır. Bu nedenle barajlar mansabındaki yerleşim ve iş merkezleri için büyük risk teşkil ederler.

12.yy'dan bu yana 1000 kadar baraj yıkılması olayı kaydedilmiş ve yaklaşık 200 kadarı da 20. yy'da meydana gelmiştir. Baraj yıkılmasının yıllık oluşma olasılığı  $10^{-4}$  olarak tahmin edilmektedir ve barajın ömrü süresinde (100 yıl) yıkılma olasılığı  $10^{-2}$ 'dir (Singh, 1996). Son baraj yıkılması 2002 yılında Suriye'de meydana gelmiştir. Ülkemiz sınırları içinde denize dökülen Asi nehri üzerindeki Zeyzoun (El Zeytun) Barajı'nın yıkılması sonucu onlarca insan hayatını kaybetmiş ve Hatay ilimizde bazı tarım arazileri de bundan etkilenmiştir.

Baraj yıkılması olaylarını tamamen önlemek imkansızdır. Bununla birlikte, gözlemlerin yanı sıra sayısal ve fiziksel modellerden sağlanan bilgilere dayanarak acil durum planlarının hazırlanması ve baraj yıkılmasından dolayı sel basacak alanların belirlenmesiyle bu tür olaylarının etkileri azaltılabilir. Böyle bir çalışma aynı zamanda yıkılma sonrası oluşturulacak afet yönetimi içinde bir kılavuz olacaktır.

Can kayıplarının önlenmesi de ancak mansaptaki yerleşim merkezlerinin uyarılması için gereken zamanın bilinmesi ve tahliye planlarının hazırlanmasıyla mümkün olmaktadır. Bu düşüncenin doğruluğu Baldwin Hill (1963) ve San

Fernando (1971) baraj yıkılması olaylarında test edilmiştir. Her iki olayda da binlerce insan taşkın öncesi tahliye edilebilmiştir. Daha sonra Quail Creek baraj yıkılmasında hiç yaralanmanın olmayışı tahliye planlarının ve diğer güvenlik gereksinimlerinin önemini ortaya koymuştur (Danielson ve Mc Intyre, 1989).

Bu sebeplerden dolayı baraj yıkılması taşkın analizi, baraj tasarımının bir parçası olarak düşünülmelidir. Farklı yıkılma senaryoları ve koşulları göz önünde tutularak su basması haritaları ile tahliye planlarını içeren acil durum planlarının geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu tür bir çalışma matematiksel modeller kullanılarak baraj yıkılması sonucunda oluşan ani taşkın dalgasının mansap akarsu yatağı boyunca ötelenmesiyle, önceden belirlenen kesitlere ne zaman, hangi yükseklikte ve değerde varacağını ve ne kadar zaman sonra hangi yüksekliğe düşeceğini tahmin etmeye yöneliktir.

## 1.2. Baraj Yıkılmaları

Baraj yıkılmaları yapısal veya yapısal olmayan pek çok nedenden dolayı meydana gelebilir. Genellikle yıkılmalarda insandan kaynaklanan hatalar ve doğal tehlikeler etkili olmaktadır. Barajlar için tehlike oluşturan faktörler:

- Taşkınlar
- Toprak kaymaları
- Depremler
- Yetersiz temel
- Yetersiz projelendirme-inşaat ve zayıf inşaat malzemeleri
- Farklı oturmalar
- Hatalı rezervuar işletmesi
- Kasıtlı hareketler ve savaştır.

Barajların yıkılmasına sebep olabilecek önemli doğal tehlikeler, kısa süre içerisinde aşırı yağış ve kar erimesi sonucu oluşan taşkınlar, depremler ve toprak kaymalarıdır.

Birer taşkın kontrol yapısı olan barajlar genellikle akarsuyun memba tarafında meydana geldiği kabul edilen muhtemel maksimum taşkını emniyetle mansaba aktaracak şekilde inşa edilirler. Fakat muhtemel maksimum taşkın tahminlerinin kısa süreli yağış ve yüzey akışı kayıtlarına dayanılarak yapıldığı yerdeki barajlarda aşırı yağışlar sonucu dolusavak kapasitesi yetersiz kalabilmekte ve bu durumda suyun yeterince tahliye edilememesinden dolayı baraj gövdesi üstünden veya diğer bölümlerinden boşalarak barajın yıkılmasına neden olabilmektedir. Ayrıca bir barajın yıkılması durumunda oluşacak ani taşkın dalgası, mansaptaki diğer bir barajın yıkılmasına sebep olabilir. Bir akarsu üzerinde barajların birbiri ardına inşa edilmesi ve depolama kapasitelerinin çok büyük olması durumunda meydana gelebilecek tehlike çok daha büyük olacaktır.

Depremler de barajlar için önemli bir tehdit kaynağıdır. Hem toprak dolgu hem de beton barajların yer hareketleriyle hasara uğrama ihtimalleri yüksektir. Özellikle iyice sıkıştırılmamış ve suya doymun ince daneli kohezyonsuz malzeme ile inşa edilmiş dolgu barajlar, tabii kohezyonsuz depozitler üzerine inşa edilen barajlar ve yamaç eğimleri fazla olan barajlarda deprem nedeniyle yıkılma daha fazla görülür. Deprem sonucunda yamaçlarda lokal sıvılaşma, toprak kayması, temel altında faylanma toprak barajlarda oluşabilecek hasar türleridir. Kaya dolgu barajlarda oturma beklenebilir. Baraj kret seviyesi oturma sonucunda rezervuardaki su seviyesinin altına düşebilir ve gövde üzerinden su aşması sonucu barajın yıkılmasına neden olabilir. Dolgu barajda deprem çatlaklarının oluşturduğu kılcal (sürekli) kanallar depremi takip eden 24 saat içinde yıkılmaya neden olabilir. Beton barajlarda ise baraj gövdesinde ve temelde çatlaklar oluşabilir.

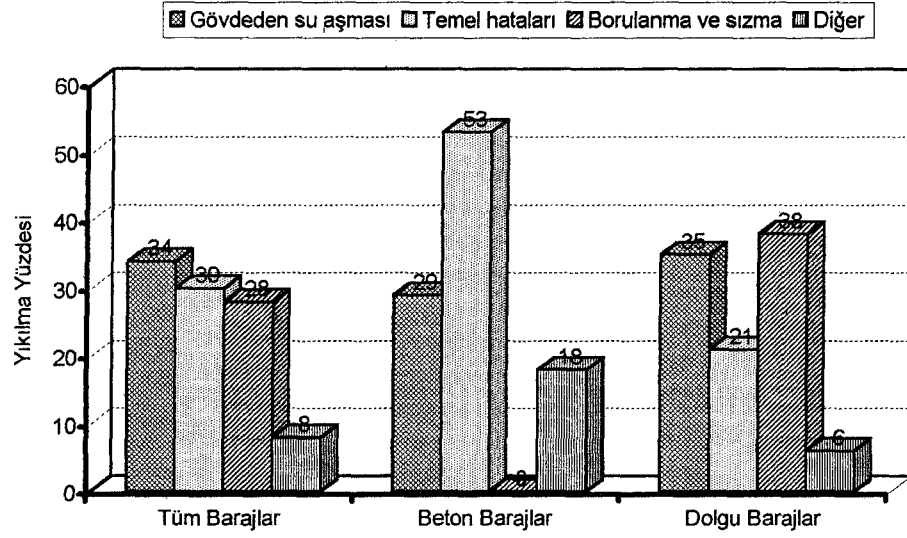
Toprak kaymaları dolu savağın kapanmasına neden olarak veya barajın bir bölümünün mukavemetini azaltarak güvenliğini doğrudan etkiler. Rezervuar içerisinde meydana gelebilecek büyük hacimli bir toprak kayması da, dolusavak kapasitesini aşabilecek ve sonuçta barajın yıkılmasına neden olabilecek bir taşkın oluşturabilir. Ayrıca toprak kaymalarının sebep olduğu katı madde miktarındaki artışlar, rezervuarın depolama kapasitesini azaltmakta ve buda mansabındaki barajın taşkından zarar görme ihtimalini arttırmaktadır.

Proje ve inşaat sırasındaki hatalar ile arazideki belirti göstermeyen özelliklerden dolayı baraj yıkılması olaylarının bir çoğu başlangıçtaki dolma sırasında meydana gelmektedir.

Barajların yıkılmaları ile ilgili yapısal nedenler genel olarak üç grupta toplanabilir:

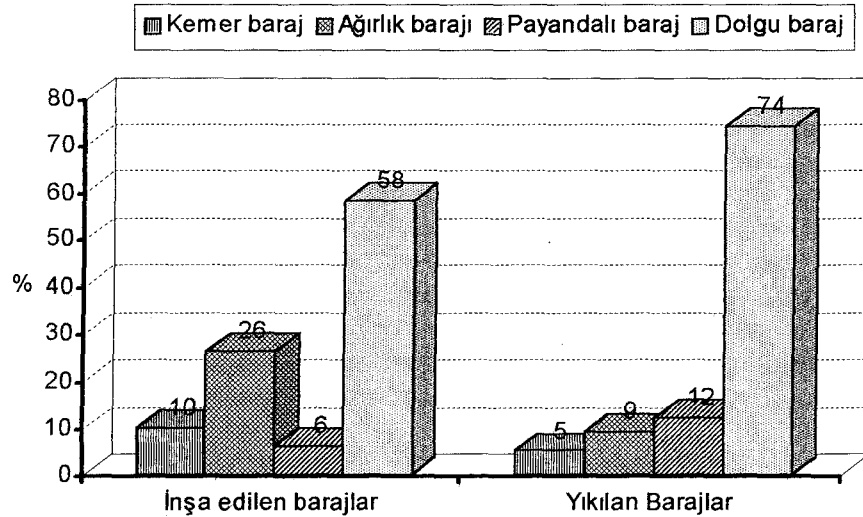
- Üstten aşma (%34)
  - Yetersiz dolu savak tasarımı
  - Dolusavağın katı madde ile tıkanması
  - Baraj kretinin oturması
- Temel hataları (%30)
  - Farklı oturmalar
  - Kayma ve şev stabilitesi
  - Yüksek kaldırma kuvveti
  - Temelde kontrolsüz sızma
- Borulanma ve sızma (%20)
  - Sızma-borulanmanın neden olduğu iç erozyon
  - Dip savak gibi hidrolik yapılar boyunca oluşan sızma ve erozyon
  - Savak ve hayvan geçitlerinde oluşan sızma
  - Barajda meydana gelen çatlaklar
  - Kanal çatlakları ve birleşim yerlerinden giren dolgu malzemesinin borulanma oluşturması
- Diğer (%8)

Şekil 1.1’de beton, dolgu ve tüm baraj çeşitleri için başlıca yapısal yıkılma sebeplerinin karşılaştırmalı bir değerlendirmesi verilmiştir (Demirpençe 1994). Görüldüğü gibi beton barajlar gövde üzerinden su aşmasından daha çok temel hatalarına karşı hassas iken, toprak dolgu barajlar sızma ve borulanma olaylarından olumsuz etkilenirler. Gövde üzerinden su aşması, temel hataları ve borulanma nedeni ile yıkılmalar tüm baraj tipleri için yaklaşık aynı yüzdeye sahip olmaktadır .



Şekil 1.1. Barajların yapısal yıkılma sebepleri ile ilgili istatistikler

Şekil 1.2 1900-1969 yılları arasında inşa edilmiş ve yıkılmış çeşitli baraj tipleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Federal Emergency Management Agency, 1987). Şekle bakılarak ağırlık barajların en emniyetli olduğu, bunu kemer ve dolgu barajların izlediği görülmektedir. Sayıca diğer baraj tiplerinden daha fazla olan dolgu barajların yıkılma olasılığı da daha fazladır.



Şekil 1.2. Baraj türüne bağlı yıkımlara ait istatistikler

### 1.3. Çalışmanın Amacı ve İzlenecek Yöntem

Bu çalışmada baraj yıkılması analizinin ve yıkılma sonucunda oluşacak taşkın dalgalarının ötelenmesinde kullanılan çözüm tekniklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. NWS FLDWAV adlı bilgisayar programı kullanılarak Kozan Barajı üzerinde bir uygulama yapılmıştır.

Baraj yıkılması analizi genel olarak iki kısımda ele alınır. İlk olarak baraj gövdesi üzerinde meydana gelen bir gedikten çıkan taşkın hidrografi hesaplanır ve daha sonra bu hidrograf mansaptaki akarsu kesiminde ötelenir. Bu doğrultuda çalışmanın amacı aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

Birinci bölümde; konu genel olarak tanıtılarak konunun önemine değinilmiştir. Ayrıca baraj yıkılmaları hakkında genel bir bilgi verilmiş ve sonrasında çalışmanın amacı ile izlenecek yöntem tanımlanmıştır.

İkinci bölümde; baraj yıkılması ile ilgili önceki çalışmalar özetlenmiş ve mevcut baraj yıkılması ile gedik oluşum modellerinin listesi verilmiştir.

Üçüncü bölümde; gedik oluşumu ile ilgili bilgiler verilerek gedik parametrelerinin belirlenmesi yöntemlerine değinilmiştir. Ayrıca beton ve dolgu barajlardaki yıkılmanın şekli anlatılarak toprak dolgu barajlarda üstten aşma ve borulanma yıkılmalarından bahsedilmiştir. Daha sonra gedikten çıkan akım hidrografının hesabı anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde; gedikten çıkan taşkının mansap akarsu kesiminde ötelenmesi için kullanılan dinamik dalga yöntemi (Saint-Venant denklemleri) açıklanmış ve taşkının mansapta değişimini belirlemek amacı ile bu denklemlerin başlangıç ve sınır şartları altında ağırlıklı dört noktalı kapalı sonlu farklar yöntemi ile çözümü yapılmıştır. Ayrıca hesaplarda kullanılacak mesafe-zaman adımlarının belirlenmesi anlatılmış ve baraj yıkılması durumundaki pürüzlülük değerlerinden bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde; NWS FLDWAV bilgisayar paket programı tanıtılmış ve Kozan barajına ait bilgiler sunulmuştur. Farklı gedik parametreleri ve pürüzlülük değerleri için ilk ve son kesitteki hidrograflar, su seviyesi değişimleri, pik debiye

ulaşma süreleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı yıkılma zamanları ve pürüzlülük değerleri için su yüzü profilleri çıkarılmıştır.

Altıncı bölümde, çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler özetlenmiştir.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Cristofano (1965), baraj gövdesi üzerinde meydana gelen bir gedığın tedrici olarak aşınması olayını ilk olarak modellemiştir. Çalışmada, gedikten geçen akımın etkidiğı kuvvet, gedığın ıslak çevresi üzerine etkiyen sürtünme kuvvetine eşitlenmiştir. Neticede, debinin değişimi ile gedik içerisindeki düşey ve yatay aşınma hızı arasındaki ilişkiyi veren bir diferansiyel denklem elde etmiştir. Fakat denklemin uygulanması hesaplarda güçlükler neden olmuş ve bazı durumlarda belirsizlikler oluşmuştur.

Harris ve Wagner (1967), tedrici baraj yıkılması olayında, parabolik enkesitli bir gedik oluştuğunu kabul etmişler ve gedikten geçen debinin değişimini incelemişlerdir. Modelde, gedikten geçen akım dolusavak üzerindeki akımla özdeşleştirilmiş mansap kuyruk suyu etkileri ise ihmal edilmiştir. Gedığın boyutları, eğimi ile birlikte katı madde dane boyutu ve katı madde hareketinin başlangıcındaki debinin belirlenmesi gereklidir.

Fread ve Harbough (1973), küçük toprak barajlarda gövde üzerinden suyun aşması sonucu oluşan taşkın zararlarını azaltmak için kavramsal bir yöntem geliştirmişler ve baraj gövdesi üzerinde aşınmayı geciktirici ince bir tabakanın inşa edilmesini teklif etmişlerdir. Bunun yanında, ince tabakanın gedığın oluşumu sırasında meydana gelecek maksimum debiyi ne oranda etkileyeceğini de araştırmışlardır. Baraj gövdesindeki aşınmayı geciktirici tabakanın, gedikten çıkan maksimum taşkını minimum yapacak şekilde, en uygun yüksekliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Brown ve Rogers (1981) tarafından geliştirilen modelde hesaplar iki adımlı bir yöntem olarak ele alınmıştır. İlk olarak gedikten çıkan akım hidrografını elde edebilmek için, rezervuara giren akım hidrografı rezervuar boyunca hidrolojik yöntemle ötelenmiştir. Daha sonra gövde üstünden su aşması veya borulanma nedeni ile toprak dolgu barajda meydana gelen gedik şekli sabit tutulmuş ve aşınma hızı, ampirik bir yöntemle hesaplanmıştır. Aşınma hızını, gedikten geçen debi, hidrolik eğim ve gövde malzemesinin dane çapının bir fonksiyonu olarak dikkate almışlardır.

Lou (1981), toprak dolgu baraj gövdesinde meydana gelen bir gedikten çıkan akımı belirlemek amacı ile bir model geliştirmiştir. Model, akıma ait süreklilik ve hareket denklemleri, katı madde süreklilik denklemi, katı madde taşınımı denklemi ve gedik oluşumu denklemlerine dayanmaktadır. Lou (1981) ayrıca yıkılma süresi, aşınabilirlik indeksi ve akım hızına bağlı olarak aşınmaya maruz kalan zemin kütlelerini hesaplayan bir ifade geliştirmiştir. Gedik meydana gelmesi olayındaki gediğin geometrik özelliklerinin gövde malzemesine ait kayma açısının bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir.

Ponce ve Tsivoglou (1981), değişken akımlara ait bir boyutlu diferansiyel denklemler, Meyer-Peter ve Müller'in katı madde taşınım formülü ve katı madde süreklilik denklemlerini birleştiren kompleks bir gedik aşınma modeli geliştirmişlerdir. Toprak dolgu barajları gövdesi üzerinden su aşması sonucu tedrici olarak yıkıldığı, gediğin mansap yüzünde ve baraj kretinin en zayıf noktasında oluşmaya başladığını kabul etmişlerdir. Araştırmacılar gedik oluşumunu doğru tanımlayabilmek için gedik geometrisi ile akımın hidroliği ve yatak malzemesi özellikleri arasında bir ilişki kurulması gerektiğini ileri sürmüşlerdir. Buna göre önce gedik tepe genişliğini sabit tutup belirli bir kararlılığa ulaşıldıktan sonra gedik genişliği ile akımın debisi arasında bir bağıntı geliştirmişlerdir.

MacDonald ve Langridge-Monopolis (1984), yıkılma anında gedikten çıkan akım hacminin ve gedik üstündeki su derinliğinin bir fonksiyonu olarak tanımlanan bir gedik oluşum faktörü önermişlerdir. Toprak ve kaya dolgu barajlar için bu faktör taşınan gövde malzemesinin hacmi ile ilişkilidir. Bunun için 42 baraj yıkılması olayını incelemişlerdir. Gedik kenar eğimlerinin birçok olayda 1(yatay):2(düşey) olduğunu ve gediğin baraj tabanına ulaşıp ulaşmamasına göre gedik şeklinin üçgen veya dikdörtgen olduklarının kabul edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Singh ve Snorrason (1984), gedik genişliği konusunda ilk nicel bilgileri vermiştir. 20 baraj yıkılması olayı için baraj yüksekliği ile gedik genişliği arasındaki ilişkiyi incelemiş ve gedik genişliğinin genelde baraj yüksekliğinin iki ile beş katı arasında değiştiğini bulmuştur. Ayrıca gedik oluşumunun başlamasından tamamlanmasına kadar olan yıkılma zamanının 15 dakika ile bir saat arasında değiştiğini göstermiştir.

Singh ve Scarlatos (1985), toprak dolgu baraj gövdesinde meydana gelen gedik gelişimi ile ilgili bir yöntem geliştirmişlerdir. Gedik aşınmasını, su ve katı maddenin birbirini etkilediği iki aşamalı olarak düşünerek gedik aşınmasına neden olan kuvvetin su olduğunu kabul etmişlerdir. Sonradan aşınma hızını kontrol eden akımın debisi gedik genişlemesi ile etkilenmektedir. Gedik oluşumunun, rezervuardaki su boşalınca veya baraj gövdesi aşınmaya mukavim oluncaya kadar devam ettiğini kabul etmişlerdir.

Froehlich (1987), ortalama gedik genişliği, ortalama kenar eğim faktörü ve gedik oluşum zamanını tahmin etmek için boyutsuz yaklaşık denklemler geliştirmiştir. Tahminler; rezervuar hacmini de içeren baraj karakteristiklerine, gedik tabanı üstündeki su yüksekliğine, gedik genişliğine, baraj kretindeki ve gedik tabanı genişliğine, baraj yıkılmasının borulanma veya üstten aşma yıkılması olmasına göre değişen katsayılara, çekirdek malzemesinin bulunup bulunmamasına dayanmıştır.

Raltson (1987), kohezyonlu toprak setlerde gedik oluşumunu incelemiş ve gerçek erozyon mekaniğinin iyi bir tanımını yapmıştır. Buna göre toprak dolgu barajlarda suyun gövde üstünden aşması sonucu erozyon ilk olarak barajın topuğunda başlar ve baraj kreti aşınana kadar memba yönünde gelişir (headcut erosion).

Singh ve Scarlatos (1988), 52 baraj yıkılması olayına ait gedik geometrisinin karakteristikleri ile yıkılma zamanlarını incelemişlerdir. Gedik üst genişliğinin taban genişliğine oranının 1.06 ila 1.74 arasında değiştiğini, ortalama 1.29 değerine sahip olduğunu ve standart sapmasının 0.180 olduğunu bulmuşlardır. Gedik kenar eğimlerinin bir çok olayda düşeyden  $10^0$  ile  $50^0$  arasında eğimli olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca yıkılma zamanlarının 3 saatten ve %50'sinin 1.5 saatten daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Fread (1988), baraj gövdesi üzerinden su aşması veya borulanma ile gedik oluşan toprak barajlarda, gedik şekli, boyutları, gedik oluşma sürelerini ve gedikten çıkan akımı hesaplayan bir model geliştirmiştir. Modelde; zemin mekaniği, hidrolik ve katı madde taşınımı esasları kullanılmıştır. Barajdan çıkan akımın belirlenmesinde baraj gölüne giren akım, baraj gölü hacmi, dolu savak özellikleri ile birlikte barajın

malzeme ve geometrik özellikleri ( $D_{50}$  tane boyutu, kohezyon, içsel sürtünme açısı, birim ağırlık, boşluk oranı) dikkate alınmıştır.

Hydrologic Engineering Center (1990), taşkın hasar analizleri, taşkın kontrolü sistem optimizasyonu ve baraj emniyet analizleri yapabilen bir model geliştirmiştir (HEC-1). Baraj gövdesi üzerinden su aşması ihtimali ve barajın tedrici olarak yıkılması kabulü ile oluşan taşkın dalgasının değişimi hesaplanabilmektedir.

Von Thun ve Gillette (1990), Froehlich(1987) ile MacDonald ve Langridge-Monopolis (1984)'in kullandığı aynı baraj yıkılma olaylarını incelemiş ve gedik kenar eğimlerini, ortalama gedik genişliğini ve yıkılma zamanını belirleyen ifadeler geliştirmiştir. Gedik oluşum zamanını gövde malzemesinin kolay aşınabilir olup olmamasına göre iki farklı şekilde ifade etmiştir.

Wetmore ve Fread (1991), yaptıkları çalışmada toprak dolgu barajda gedik oluşumu ile meydana gelen maksimum taşkın debisi tahminlerini kolaylıkla yapabilen bir model geliştirmişlerdir. Bu model yardımıyla işlemler oldukça basitleştirilerek mansaptaki çeşitli kesitlerde pik debi, derinlik ve maksimum derinliğe erişme süreleri gibi parametreler çok kısa zamanda hesaplanabilmektedir. Modeldeki basitleştirmelerden dolayı, hassas sonuçlar elde edilmesi gereken yerlerde kullanılmamasını tavsiye etmişlerdir. Modelin en önemli avantajı kısa sürede sonuç alınabilmesidir.

Mohapatra ve Bhallamudi (1996), kanal geçişlerinde baraj yıkılması akımlarını incelemişler ve olayı idare eden iki boyutlu denklem sistemini sayısal olarak çözmüşlerdir. Geçiş fiziksel alanını dikdörtgen fiziksel alana dönüştürmek için basit cebrik koordinat dönüşüm tekniğini kullanmışlardır. Dönüştürülen denklemlerin çözümü için MacCormack şemasını kullanmışlardır. Ayrıca baraj yıkılması akımları üzerindeki genişleme ve daralma etkilerini araştırmışlardır.

Walder ve O'Connor (1997), bir dizi baraj ve rezervuar konfigürasyonları ve erozyon senaryoları ile idealize edilmiş sayısal analizlere dayanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemdeki en önemli parametrenin gediğin düşey erozyon hızı olduğunu kabul etmişlerdir. Büyük rezervuar/hızlı erozyon ve küçük rezervuar/yavaş erozyon denen durumlar arasında bir ayrım olduğunu düşünmüştür. Buna göre büyük rezervuarlarda çıkan pik akım gedik maksimum derinliğe ulaştığı zaman

meydana gelir ve erozyon hızına duyarlıdır. Küçük rezervuar durumunda gedik genişlerken rezervuarda belirgin bir seviye düşüşü vardır. Çıkan pik akım gedik maksimum derinliğe aşınmadan önce olur ve düşey erozyon hızına bağlıdır. Rezervuarın küçük yada büyük olup olmadığının belirlenmesi, set erozyon hızı, rezervuar boyutu ve yıkılma süresince rezervuar seviyesindeki değişime bağlı olarak boyutsuz bir parametreye dayanır.

Loukola ve Huokuna (1998), toprak dolgu barajlarda baraj yıkılması sonucu çıkan akım debisini hesaplamak için gövdede erozyon oluşumuyla ilgili sayısal bir yöntem geliştirmişler ve gedik gelişimini katı madde taşıma kapasitesine dayanarak hesaplamışlardır. Borulanma ve gövde üstünden su aşaması yıkılmaları için gedik oluşumunu modellemişlerdir. Borulanma gelişiminin dairesel olduğunu ve üstten aşma yıkılmasında da akım rejimlerini dikkate alarak yamuk enkesit oluştuğunu kabul etmişlerdir.

Wahl (1998), toprak dolgu barajlarda gedik oluşumunu ve gedik parametrelerinin belirlenmesiyle ilgili mevcut yöntemleri incelemiştir. Wahl (1998) ayrıca geçmişte meydana gelmiş 108 baraja ait bilgileri derlemiş ve bu bilgiler ışığında mevcut yöntemlerin belirsizlik analizini yapmıştır. Yıkılan 108 baraja ait bilgiler ekte verilmiştir.

Khan, Steffler ve Gerard (2000), baraj yıkılması taşkın dalgaları üzerindeki hareketli enkazın etkisini araştırmışlardır. Enkaz olarak belirli bir ağırlığa sahip plastik parçacıklar kullanmışlardır. Dalga hızı ve yüksekliğini farklı mansap memba derinlikleri oranları için ve farklı katı madde konsantrasyonlarında incelemişler ve buradan bulunan sonuçları katı madde taşımayan dalgalar ile karşılaştırmışlardır.

Mohammad (2000), dolgu barajlarda gedik oluşumuyla ilgili hidrolik, katı madde taşınımı ve zemin mekaniği prensiplerine dayanan bir yöntem geliştirmiştir. Gedik üst genişliğini şev stabilizesi kriterine dayandırmıştır. Gövde üzerinden aşan akımı akım rejimine göre üç farklı bölgeye ayırmış ve akımı hesaplamak için kalın kenarlı savak formülünü kullanmıştır. Homojen, kohezyonsuz barajlar için Yang'ın katı madde formülünü kullanmıştır.

Tingsanchali ve Chinnarasri (2001), gövde üzerinden su aşması sonucu baraj yıkılması olayını modelleyen bir boyutlu sayısal bir yöntem geliştirmişlerdir.

Değişken akımların bir boyutlu kütlenin ve momentumun korunumu denklemlerini çözmek için MacCornack kapalı sonlu fark şemasını kullanmışlardır. Erozyonun gelişiminde dik yatak eğimi için geliştirilmiş olan Smart'ın formülünü seçmişlerdir. Model hassaslığı büyük ölçüde katı madde taşınım formülüne ve boşluk suyu basıncı katsayısına bağlıdır.

Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgalarının ötelenmesinde kullanılan modeller ve baraj gövdesinde gedik oluşumu ile ilgili geliştirilen modeller sırasıyla Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de özetlenmiştir.



Çizelge 2.1. Baraj yıkılması taşkın modelleri (ICOLD Bulletin 111, 1998)

| NO | KURUM                                                                             | MODEL ADI      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 1  | USA/National Weather Service                                                      | DAMBRK         |
| 2  | USA/National Weather Service                                                      | SMPDBK         |
| 3  | BOSS International                                                                | BOSS DAMBRK    |
| 4  | HAESTED METHODS                                                                   | HAESTED DAMBRK |
| 5  | Binnie&Partners                                                                   | UKDAMBRK       |
| 6  | Department of Water Affairs and Forestry Pretoria,<br>South Africa                | DWAF-DAMBRK    |
| 7  | USA / COE-Hydrologic Engineering Center                                           | HEC-Programs   |
| 8  | Tams                                                                              | LATIS          |
| 9  | Institute of Water Resources and Hydroelectric Power<br>Research (IWHR), PR China | DKB 1          |
| 10 | Institute of Water Resources and Hydroelectric Power<br>Research (IWHR), PR China | DKB 2          |
| 11 | Royal Institute of Technology, Stockholm                                          | TVDDAM         |
| 12 | Cemagref                                                                          | RUBBAR 3       |
| 13 | Cemagref                                                                          | RUBAR 20       |
| 14 | Cemagref                                                                          | CASTOR         |
| 15 | Delft Hydraulics                                                                  | SOBEK          |
| 16 | Delft Hydraulics                                                                  | DELFT 2D       |
| 17 | Consulting Engineers Reiter Ltd.                                                  | DYX.10         |
| 18 | ANU-Reiter Ltd.                                                                   | DYNET-ANUFLOOD |
| 19 | ENEL Centro di Ricerca Idraulica                                                  | RECAS          |
| 20 | ENEL Centro di Ricerca Idraulica                                                  | FLOOD 2D       |
| 21 | ENEL Centro di Ricerca Idraulica                                                  | STREAM         |
| 22 | Danish Hydraulic Institute                                                        | MIKE 11        |
| 23 | Danish Hydraulic Institute                                                        | MIKE 21        |
| 24 | ETH Zurich                                                                        | FLORIS         |
| 25 | ETH Zurich                                                                        | 2D-MB          |
| 26 | EDF-Laboratoire National Hydraulique                                              | RUPTURE        |
| 27 | EDF-Laboratoire National Hydraulique                                              | TELEMAC        |

Çizelge 2.2. Baraj gövdesinde gedik oluşumu ile ilgili modeller (Morris, Galland, 1998)

| Model                  | Yapan                        | Gedik Şekli                                               | Baraj Üstünden Aşan Akım         | Katı Madde Taşınımı                                                              | Kenar Eğiminin Mekanik Özellikleri    |
|------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Cristofano             | Cristofano (1965)            | Sabit taban genişlikli yamuk enkesit                      | Kalın kenarlı savak formülü      | Cristofano'nun amprik formülü                                                    | Yok                                   |
| Harris-Wagner (HW)     | Harris-Wagner (HW) (1967)    | Üst genişliği derinliğin 3.75 katı olan parabolik enkesit | Kalın kenarlı savak debi formülü | Schoklitsch formülü                                                              | Yok                                   |
| BRDAM                  | Brown & Rogers (1977/ 1981)  | 45° kenar eğimli parabolik enkesit                        | Kalın kenarlı savak debi formülü | Schoklitsch formülü                                                              | Oluk üzerindeki üst kamanın yıkılması |
| Ponce – Tsivoglou (PT) | Ponce -Tsivoglou (PT) (1981) | Gedik tepe genişliği akım hızı ilişkisi                   | Saint-Venant denklemleri         | Mayer-Peter-Müller sürüntü maddesi formülü                                       | Yok                                   |
| Lou                    | Lou. (1981)                  | En etkili stabil kesit                                    | Saint-Venant denklemleri         | 1.Cristofano'nun amprik formülü<br>2. Duboy ve Einstein formülü<br>3.Lou formülü | Yok                                   |
| Nogueira               | Nogueira (1984)              | Etkili kayma gerilmesi kesiti                             | Saint-Venant denklemleri         | Mayer-Peter-Müller sürüntü maddesi formülü                                       | Yok                                   |

Çizelge 2.2 (Devamı) Baraj gövdesinde gedik oluşumu ile ilgili modeller (Morris, Galland, 1998)

| Model      | Yapan                    | Gedik Şekli                                                                             | Baraj Üstünden Aşan Akım          | Katı Madde Taşınımı                        | Kenar Eğiminin Mekanik Özellikleri                                                            |
|------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| BEED       | Singh (1986/1988)        | Yamuk enkesit                                                                           | Kalın kenarlı savak debi formülü  | Einstein-Brown                             | Gedik kenar eğim stabilitesi                                                                  |
| BREACH     | Fread (1988)             | Dikdörtgen ve yamuk enkesit                                                             | Kalın kenarlı savak debi formülü  | Mayer-Peter-Müller sürüntü maddesi formülü | 1. Gedik kenar eğim stabilitesi<br>2. Borulanma veya üstten aşma süresince üst kama yıkılması |
| Sites      | NRCS (US) (1998)         | 3 seviyeli yıkılma<br>1. kaplama yıkılması<br>2. headcut oluşumu<br>3. headcut erozyonu | Hidrolik ve hidrolojik prensipler | Enerji kırıcı denklem                      | Dolusavak çıkış kanalı stabilitesi.                                                           |
| NCP-BREACH | Coleman (1998)           | Parabolik                                                                               | Amprik formül                     | Amprik formül                              | Yok                                                                                           |
| EDBREACH   | Loukola & Huokuna (1998) | Yamuk enkesit                                                                           | Kalın kenarlı savak formülü       | Meyer-Peter / Müller                       | Borulanma süresince üst kama yıkılması                                                        |

Çizelge 2.2. (Devamı) Baraj gövdesinde gedik oluşumu ile ilgili modeller (Morris, Galland, 1998)

| Model     | Yapan          | Gedik Şekli                            | Baraj Üstünden Aşan Akım          | Katı Madde Taşınımı                                                                                                                                                                                                     | Kenar Eğiminin Mekanik Özellikleri     |
|-----------|----------------|----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| BRES      | Visser (1998)  | 5 seviyeli yıkılma                     | 2 boyutlu St. Venant denklemi     | Dört sediment formülü kullanılır:<br>1. Bagnold-Visser.<br>2. Engelund-Hansen.<br>3. Van Rijn.<br>4. Wilson.                                                                                                            | Yok                                    |
| DEICH_N2  | Broich (1998)  | 2 boyutlu Exner denkleminin çözümünden | Kalın kenarlı savak formülü       | Dokuz farklı formül veya kombinasyon:<br>1 Meyer-Peter / Müller<br>2 Engelund / Hansen<br>3 Bagnold<br>4 Smart<br>5 Smart / Bagnold<br>6 Zanke / Bagnold<br>7 MPM / Bagnold<br>8 Engelund / Hansen<br>9 Smart / Bagnold | Yok                                    |
| HR BREACH | Mohamed (2000) | Şev instabilitesi ve sürekli erozyon.  | Hidrolojik ve hidrolik prensipler | Yang'ın formülü                                                                                                                                                                                                         | Şev stabilitesi için detaylı yöntemler |

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

#### 3.1. Giriş

Bir barajın yıkılması sırasında baraj gövdesinin üzerinde meydana gelen açıklık gedik (breach) olarak adlandırılır. Baraj yıkılma analizinde baraj gövdesi üzerinde gedik oluşması sonucu rezervuardan çıkan akım hidrografi hesaplanır ve bu hidrograf baraj mansabında ötelenir. Çıkan akım hidrografının hesaplanması için rezervuara giren akımın ötelenmesi, gedik karakteristiklerinin belirlenmesi (gediğin şekli, derinliği, genişliği, gedik oluşum hızı) ve gedikten geçen akımın hesaplanması gereklidir. Gediğin oluşum hızı ve son boyutları çıkan akımın hızını, pik değerini ve barajın mansabında oluşacak taşkının büyüklüğünü önemli ölçüde etkiler. Bu yüzden gedik karakteristiklerinin doğru seçilmesi çıkan akıma ait hidrografın şekli ve öteleme sonuçları üzerinde oldukça önemlidir.

Ne yazık ki; gedik oluşumunun modellenmesi ve gedik parametrelerinin belirlenmesi, baraj yıkılması taşkın analizinin tüm yönlerden en büyük belirsizliğini içerir (Wurbs,1987) ve baraj yıkılma mekanizmasının başlaması ve gelişimi ile ilgili çok az şey bilinmektedir. Gerçek yıkılma mekanizması, ne toprak dolgu ne de beton barajlar için tam olarak anlaşılmıştır. Birçok yaklaşım geçmiş baraj yıkılmalarından elde edilen sınırlı bilgilere yada gedik oluşumuyla ilgili akım rejimlerini ve erozyon mekanizmalarını tam yansıtmayan sayısal modellere dayanır. Geçmişteki çalışmalarda, baraj yıkılması sonucu oluşan taşkınların tahmininde bir barajın tamamen ve ani olarak yıkıldığı kabul edilmiştir. Bazı araştırmacılar ise, barajda kısmi gedik oluşumunu incelemiş fakat gediğin ani olarak meydana geldiğini kabul etmişlerdir. Modellemede kolaylıklar sağlayan bu kabuller, beton kemer barajlar için oldukça uygun olmasına rağmen toprak dolgu ve beton ağırlık barajlar için geçerli değildir.

Toprak dolgu barajlar için yıkılma problemi, çok karmaşık ve homojen olmayan üç boyutlu bir olaydır. Bu özelliklerinden dolayı tam çözümü mevcut değildir. Meydana gelen gediğin başlangıçtaki boyutları, şekli ve yeri genellikle tam

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

Selahattin KOCAMAN

olarak bilinmemektedir. Askı maddesi taşınımını da kapsayan yarığın büyümesi sırasındaki aşınma olayı ve şev kayması henüz teorik olarak tanımlanamamış dinamik bir olaydır. Toprak dolgu baraj gövdesinde gedik meydana gelmesi olayı, hidrolojik ve hidrodinamik etkiler, katı madde taşınımı ve geoteknik özelliklerin bir bileşimi olarak incelenir.

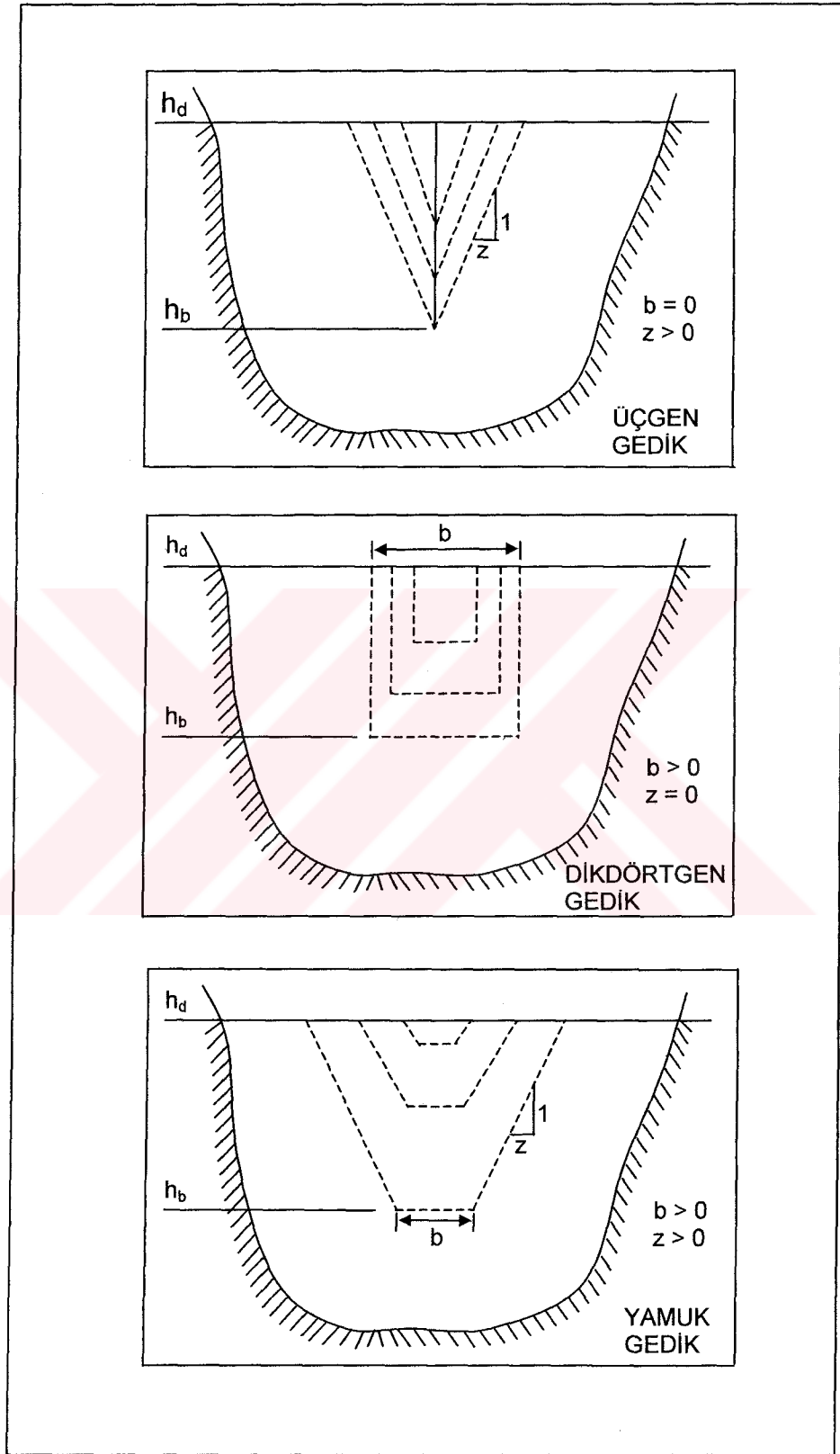
Gedik oluşumu; iki fazlı, birbirini etkileyen bir su zemin ilişkisi içinde ele alınır. Baraj gölünden ayrılan su, barajın gedik meydana gelen kesiti boyunca akar, aşınma ve kayma yoluyla gediğin genişlemesine sebep olur. Bu olay baraj gölü tam boşalincaya veya baraj aşınmaya mukavim oluncaya kadar devam eder (Demirperçe, 1994).

Barajlarda gedik oluşumunun her zaman sonlu bir zaman aralığında ( $\tau$ ) meydana geldiği ve gediğin herhangi bir son taban genişliği parametresi ( $b$ ) ile belirlenen bir sonuç büyüklüğüne sahip olduğu ve şekil 3.1’de görüldüğü gibi diğer bir parametre olan gedik kenar eğimine ( $z$ ) bağlı olarak farklı şekillerde oluşabileceği kabul edilir. Gedik oluşumunun tanımlanması için bu şekilde bir yaklaşım gerçek yıkılma mekanizmasındaki belirsizlik nedenlerinden dolayı olayı basite indirmek için kullanılır.

Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkınların akarsu boyunca ötelenmesi için kullanılan modellerinin bir çoğunda gedik oluşumu ötelemeden ayrı olarak düşünülür ve gedik karakteristikleri bağımsız olarak belirlenerek taşkın öteleme modellerine girdi olarak kullanılır. Gedik oluşumunun belirlenmesiyle ilgili bazı yöntemler olmakla birlikte bu bilgiler sayıca ve hassaslık yönünden oldukça sınırlıdır.

Baraj gövdesi üzerinde meydana geldiği kabul edilen gediğin boyutları ve yıkılma zamanı belirlendikten sonra gedikten çıkan taşkın hidrografi kalın kenarlı savak formülü kullanılarak hesaplanır ve çıkan akım hidrografi mansaptaki akarsu boyunca ötelenir.

3. GEDİK OLUŞUMU VE GEDİKTEN ÇIKAN AKIM HİDROGRAFININ  
BELİRLENMESİ Selahattin KOCAMAN



Şekil 3.1 Gedik şekilleri

### 3.2. Gedik Oluşumu

#### 3.2.1. Gedik Parametreleri

Gediğin fiziksel olarak tanımlanabilmesi için gerekli parametreler gedik derinliği, gedik taban genişliği, gedik kenar eğimi ve gediğin başlaması ve gelişmesi için gerekli zamandır. Gedik derinliği, gedik yüksekliği olarak ifade edilir ve baraj kretinden gedik tabanına kadar olan düşey ölçüdür. Gedik taban genişliği ( $b$ ) yerine genellikle ortalama gedik genişliği ( $\bar{b}$ ) kullanılır.

Gedik kenar eğimi ( $z$ ) gediğin şev eğiminin (1 yatay:  $z$  düşey) tersi olarak tanımlanır ve şekil parametresi olarak da bilinir.  $z$  değeri sıfırdan başlayıp birden büyük bir değere kadar değişebilir (genellikle  $0 \leq z \leq 2$ ) ve gediğin meydana geldiği gövde malzemesinin içsel sürtünme açısına bağlıdır. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi  $z$  ve  $b$ ’nin çeşitli değerleri kullanılarak dikdörtgen, üçgen veya yamuk gedik şekilleri belirlenebilir. Mesela  $z=0$  ve  $b>0$  dikdörtgen gedik şeklini,  $z > 0$  ve  $b=0$  üçgen gedik şeklini tanımlar.

Zamana ilişkin parametreler gedik başlama ve gedik oluşum (gelişim) süresidir. Toprak dolgu barajlarda yıkılma normalde ani olmaz ve erozyon mekaniği ile hızı farklı olabilen gedik başlama ve gedik oluşum evresi olmak üzere iki aşamadan söz edilebilir. Gedik başlama evresinde akım üstten aşar ve mansap yüzünü aşındırabilir fakat barajda bir gedik oluşturmaz. Eğer üstten aşan akım gediğin başlama evresi süresince hemen durursa baraj yıkılmayacaktır. Gedik oluşum evresi süresince çıkan akım ve erozyon hızlı bir şekilde artar. Bu durumda çıkan akımın ve yıkılmanın durdurulması imkansızdır.

Yıkılma esnasında iki evre arasındaki farkı ayırt etmek zordur ve gedik başlama safhasıyla ilgili çok az bilgi mevcuttur. Sızma erozyonu (borulanma) yıkılması süresince gedik başlama ve gedik oluşum süresi arasındaki ayrım daha az belirgindir. Bazı durumlarda sızma-erozyon yıkılmaları gelişimi çok zaman alabilir.

İki evrenin farkına varılması ve hesaplanması önemlidir. Gedik başlama süresi, baraj mansabında bulunan popülasyonun tahliyesi için gereken uyarı zamanını doğrudan etkiler. Gedik oluşum safhası, sadece barajdan çıkan akım hidrografı

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

Selahattin KOCAMAN

belirleneceği zaman önemli olmaktadır. Gedik oluşumu ile ilgili analiz metotları gedik oluşum süresi (yıkılma süresi) üzerine odaklanmıştır ve başlama evresi bu metotlarda dikkate alınmaz.

Gedik başlama ve oluşum sürelerinin daha hassas bir şekilde rapor edilmesini sağlamak için aşağıdaki tanımlar önerilir:

- **Gedik başlama süresi:** Gedik başlama süresi baraj üstünden veya içine doğru ilk akım geçtiğinde başlar. Bu baraj yıkılması olayında uyarı ve tahliyeyi başlatacak zamandır. Gedik başlama zamanı gedik oluşum safhasının başlamasıyla sonlanır.
- **Gedik oluşum süresi (Yıkılma süresi):** Barajın memba yüzünde ilk aşınmanın başlamasıyla gedik tamamen oluşana kadar geçen zaman arasındaki süredir. Üstten aşma yıkılmaları için gedik oluşum zamanının başlaması barajın mansap yüzünün aşınmasıyla oluşan derin yarığın baraj kretini geçerek memba yüzüne ulaşmasından sonradır (Wahl,1998).

Baraj yıkılma süresi mevcut bazı denklemlerle doğrudan tahmin edilen bir parametredir. Toprak dolgu barajlarda yıkılma süresi aynı zamanda gedikten çıkan akımın pik değere ulaşma zamanıyla aynı olabilir. Fakat küçük rezervuarlar için çıkan pik akım gedik tam olarak oluşmadan önce olabilir.

#### 3.2.2. Gedik Parametrelerinin Belirlenmesi

Dolgu barajlarda gedik oluşumunun belirlenmesiyle ilgili bazı yöntemler olmakla birlikte bu bilgiler sayıca ve hassaslık yönünden oldukça sınırlıdır. Genellikle, gedik parametrelerinin kestirilmesi için gedik oluşum mekanizmasını tamamen ihmal eden ve gerçek baraj yıkılması olaylarından toplanmış bilgilerin regresyon analizine dayanan basit yaklaşımlar kullanılır. Bu yaklaşımlarda gedik parametreleri doğrudan hesaplanır. Benzer olarak çıkan akımın pik değeri de bu şekilde kestirilebilir. Bu yöntemler baraj yüksekliği, rezervuar depolama hacmi, dolgu hacmi, yıkılma anındaki su derinliği, gedik derinliği gibi bir veya daha fazla sayıda baraj veya rezervuar parametresinin bir fonksiyonudur.

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

Selahattin KOCAMAN

Çıkan akım hidrografının belirlenmesi için hassas bir yaklaşım ise öteleme modeli içinde parametrik bir yaklaşım kullanılarak barajdaki gediğin ve bunun sonucunda rezervuardan çıkan akımın simüle edilmesidir. Gedik geometrisinin son hali ve gedik oluşum zamanı belirlenerek gediğin gelişimi için basitleştirilmiş zamana bağlı bir yöntem kullanılır (örneğin gedik boyutlarının lineer arttığı gibi). Bu yaklaşım bugün yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca gedik parametrelerinin belirlenmesi için hidrolik ve katı madde taşıma prensiplerini dikkate alan gedik modelleri kullanılmaktadır. Hiçbiri yaygın olarak kullanılmamasına rağmen en bilineni NWS BREACH'tir.

Bu yöntemler kullanılarak belirlenen gedik parametreleri ve çıkan akım hidrografi, baraj yıkılması öteleme analizlerine girdi olarak kullanılır. Gedik oluşumuyla ilgili analiz metotları dört kategoride toplanabilir (Reclamation,1988):

- **Fiziksel Temele Dayanan Modeller:** Gediğin gelişimi sonucunda gedikten çıkan akım hidrolik, katı madde taşınımı ve zemin mekaniği prensiplerine dayanan erozyon modeli kullanılarak yapılır. Bu modeller Çizelge 2.2'de verilmiştir.
- **Parametrik Modeller:** Yıkılma zamanını ve son gedik geometrisini kestirmek için geçmişe ait bilgiler kullanılır. Gedik gelişiminin zamana bağlı olarak lineer olduğu varsayılır ve hidrolik prensipler kullanılarak gedikten çıkan akım hesaplanır.
- **Tahmini denklemler:** Geçmişteki yıkılma olaylarının analizine dayanan denklemlerden çıkan pik debi tahmin edilerek bir çıkan akım hidrografi oluşturulur.
- **Karşılaştırma analizi:** Eğer analizin yapılacağı baraj boyut ve tip yönünden daha önce yıkılmış bir baraja benzer ve yıkılma hakkında detaylı bilgi varsa uygun gedik parametreleri ve çıkan pik akımlar karşılaştırmayla belirlenebilir.

Son üç yaklaşım geçmiş baraj yıkılmalarından elde edilen bilgilere dayanmaktadır. Bu bilgiler oldukça sınırlı olup sağlıklı bilgiler azdır. Ayrıca çok az sayıda örnek yüksek barajları ve büyük biriktirme hacimlerini içerir. Yıkılan barajlara ait bilgilerin yaklaşık %75'i 15 m den daha küçük yüksekliğe sahiptir (Wahl, 1998). Gedik başlama ve oluşum süreleri arasındaki ayırım probleminin tam olarak anlaşılamaması ve birçok barajın tanıksız yıkılmasından dolayı bu bilgilerin

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

Selahattin KOCAMAN

birçoğu güvenli olmayabilir. Bununla birlikte gedik boyutlarının, başlangıç ve son geometrisi arasında lineer geliştiği kabulü bir çok uygulama için gerçekçi değildir ve hatalara neden olabilir. Fiziksel temele dayanan modeller, gedik gelişim mekanizmalarının iyi anlaşılabilmesi, mekanizmaların modellenmesindeki ve baraj yıkılmasında baskın olan yüksek enerjili erozyon oluşumunun modellenmesindeki yetersizlikten dolayı zayıftır. Bu nedenlerden dolayı gedik parametreleri oldukça fazla belirsizliğe sahiptir.

Çizelge 3.1’de gedik parametrelerinin ve Çizelge 3.2’de gedikten çıkan pik akımın belirlenmesi için türetilmiş denklemler kullanılabilir. Bu denklemler gedik karakteristikleri hakkında önemli fikirler vermelerine rağmen dikkat ve muhakeme ile kullanılmalıdır.

Gedik parametrelerinin ( $\bar{b}$ ,  $\tau$ ) uygunluğunu kontrol etmek için aşağıdaki denklemler kullanılabilir:

$$Q_p^* = 0.54(V_r h_d)^{0.5} \quad (3.1)$$

$$Q_p = 0.288 \bar{b} \left( \frac{C}{\tau + 0.552 C / \sqrt{h_d}} \right)^3 \quad (3.2)$$

Bu ifadelerde

$Q_p^*$  ve  $Q_p$  : Gedikten geçmesi beklenen pik debiler ( $m^3/sn$ )

$V_r$  : Rezervuar hacmi ( $m^3$ )

$h_d$  : Baraj yüksekliği (m)

$$C = 1762.3 A_s / \bar{b}$$

$A_s$  : Baraj üst seviyesindeki rezervuar yüzey alanı ( $km^2$ )’dır.

$\bar{b}$  ve  $\tau$  değerlerinin seçilmesinden sonra, (3.1) ve (3.2) denklemlerinden  $Q_p^*$  ve  $Q_p$  değerleri hesaplanarak karşılaştırılır.  $Q_p \gg Q_p^*$  ise,  $\bar{b}$  çok büyük yada  $\tau$  çok küçük seçilmiştir.  $Q_p \ll Q_p^*$  ise,  $\bar{b}$  çok küçük yada  $\tau$  çok büyük seçilmiştir (Wetmore ve Fread,1984; Fread 1988).

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

Selahattin KOCAMAN

Çizelge 3.1. Gedik parametrelerinin belirlenmesi için türetilmiş denklemler

| Formülü Geliştiren                         | GEDİK GENİŞLİĞİ DENKLEMLERİ                                                                                   |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| USBR (1988)                                | $\bar{b} = 3(h_w)$                                                                                            |
| MacDonald ve<br>Langridge-Monopolis (1984) | $V_{er} = 0.0261(V_w \cdot h_w)^{0.769}$ toprak dolgu<br>$V_{er} = 0.00348(V_w \cdot h_w)^{0.852}$ kaya dolgu |
| Von Thun ve Gilette (1990)                 | $\bar{b} = 2.5h_w + C_b$<br>$C_b$ rezervuar boyutunun bir fonksiyonudur.                                      |
| Froehlich (1995b)                          | $\bar{b} = 0.1803K_0V_w^{0.32}h_b^{0.19}$<br>üstten aşma için $K_0=1.4$ ,<br>borulanma için $K_0=1.0$         |
|                                            | <b>YIKILMA ZAMANI DENKLEMLERİ</b>                                                                             |
| MacDonald ve<br>Langridge-Monopolis (1984) | $\tau = 0.0179(V_{er})^{0.364}$                                                                               |
| Von Thun ve Gilette (1990)                 | $\tau = 0.015(h_w)$ yüksek derecede aşınabilir<br>$\tau = 0.020(h_w) + 0.25$ erozyona dirençli                |
| Von Thun ve Gilette (1990)                 | $\tau = \bar{b}/(4h_w)$ yüksek derecede aşınabilir<br>$\tau = \bar{b}/(4h_w + 61)$ erozyona dirençli          |
| Froehlich (1995b)                          | $\tau = 0.00254(V_w)^{0.53}h_b^{-0.9}$                                                                        |
| USBR (1988)                                | $\tau = 0.011(\bar{b})$                                                                                       |

### 3. GEDİK OLUŞUMU VE GEDİKTEN ÇIKAN AKIM HİDROGRAFINİN BELİRLENMESİ

Selahattin KOCAMAN

Çizelge 3.2. Gedikten çıkan pik akımın belirlenmesi için türetilmiş denklemler

| Formülü Geliştiren                         | PİK AKIM DENKLEMLERİ                                                                                                          |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kirkpatrick (1977)                         | $Q_p = 1.268(h_w + 0.3)^{2.5}$                                                                                                |
| SCS (1981)                                 | $Q_p = 16.6(h_w)^{1.85}$                                                                                                      |
| Hagen (1982)                               | $Q_p = 0.54(S \cdot h_d)^{0.5}$                                                                                               |
| Reclamation (1982)                         | $Q_p = 19.1(h_w)^{1.85}$ zarf denklemi                                                                                        |
| Singh ve Snorrason (1984)                  | $Q_p = 13.4(h_d)^{1.89}$<br>$Q_p = 1.776(S)^{0.47}$                                                                           |
| MacDonald ve<br>Langridge-Monopolis (1984) | $Q_p = 1.154(V_w \cdot h_w)^{0.412}$<br>$Q_p = 3.85(V_w \cdot h_w)^{0.411}$ zarf denklemi                                     |
| Costa (1985)                               | $Q_p = 1.122(S)^{0.57}$ zarf denklemi<br>$Q_p = 0.981(S \cdot h_d)^{0.42}$<br>$Q_p = 2.634(S \cdot h_d)^{0.44}$ zarf denklemi |
| Evans (1986)                               | $Q_p = 0.72(V_w)^{0.53}$                                                                                                      |
| Froehlich (1995a)                          | $Q_p = 0.607(V_w^{0.295} \cdot h_w^{1.24})^{0.412}$                                                                           |
| Walder ve O'Connor (1997)                  | $Q_p$ rezervuar boyutu ve barajın aşınabilirlik ilgisine bağlı bir yöntem kullanılarak belirlenir.                            |

#### 3.2.3. Beton Barajlar

Beton barajlarda gedik büyüklüğünün belirlenmesi için belirli bir yöntem yoktur. Genel koşullar içinde yıkılma, toprak dolgu barajlara oranla çok daha hızlı olmaktadır. Tipik bir yaklaşım beton barajın türüne bağlı olarak yıkılma süresinin ve

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

Selahattin KOCAMAN

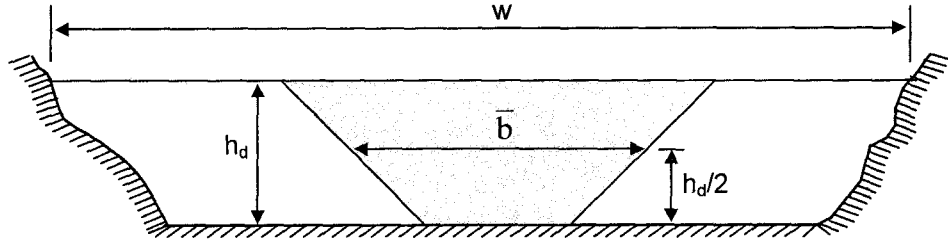
gedik boyutlarının tahmin edilmesidir. Örneğin payandalı barajlarda ortalama gedik genişliği, payandanın çökmesi sonucu meydana gelen yıkılma payandalar arasındaki aralığın bir fonksiyonu olmalıdır.

Beton ağırlık barajlar ise kısmi yıkılma eğilimindedir. Barajın inşaatı sırasında oluşan bir veya daha fazla monolitik kesitler gedige kaçan su tarafından ayrı ayrı zorlanır ve devrilir. Gedik oluşum süresi bir kaç dakikalık bir zaman dilimi içerisinde olmaktadır. Ağırlık barajı yıkılmasında yerinden çıkabilen veya devrilebilen monolitiklerin sayısını kestirmek zordur. Bununla birlikte bu belirsizlik yıkıldığı varsayılan monolitiklerin toplam uzunluğunu gösteren  $b$  parametresi ve rezervuardaki su yükleri değiştirilerek farklı yıkılma senaryoları uygulanmasıyla giderilebilir.

Beton kemer barajlarda yıkılma tamamen ve ani olmaktadır. Gedik oluşumu sadece bir kaç dakikalık bir süre içerisinde meydana gelir. Beton barajlar için şekil parametresi ( $z$ ) genellikle sıfır (dikdörtgen gedik) kabul edilir. Çizelge 3.3'te baraj tipine göre gedik parametrelerinin sınırları verilmiş ve terimler Şekil 3.2'de gösterilmiştir

Çizelge 3.3. Baraj tipine göre gedik oluşum parametreleri

| Barajın Tipi  | Ortalama Gedik Genişliği  | Yıkılma Zamanı(saat)     |
|---------------|---------------------------|--------------------------|
| Toprak        | $2h_d < \bar{b} < 5h_d$   | $0.1 \leq \tau \leq 0.5$ |
| Beton Ağırlık | $\bar{b} \leq 0.5 w$      | $\tau \leq 0.2$ (Ani)    |
| Kemer Ağırlık | $0.5 w < \bar{b} < 0.8 w$ | $\tau \leq 0.2$ (Ani)    |
| Payandalı     | $0.6 w < \bar{b} < 0.8 w$ | $\tau \leq 0.2$ (Ani)    |
| Kemer         | $0.8 w < \bar{b} < 1.0 w$ | $\tau \leq 0.1$ (Ani)    |



Şekil 3.2. Gedik karakteristikleri

Burada,

$w$  : baraj kret uzunluğu,

$h_d$  : baraj yüksekliği,

$\bar{b}$  : ortalama gedik genişliğidir.

#### 3.2.4. Toprak Dolgu Barajlar

Diğer tüm baraj türlerinden sayıca daha fazla inşa edilen toprak dolgu barajlar ne tamamen ne de ani olarak yıkılma eğilimindedir. Toprak dolgu barajlarda tamamen oluşmuş bir gedik,  $0.5h_d \leq \bar{b} \leq 8h_d$  aralığında kalmak şartı ile ortalama bir genişliğe ( $\bar{b}$ ) sahiptir. Burada  $h_d$  baraj yüksekliğini göstermektedir. Bu nedenle toprak dolgu barajlarda gedik genişlikleri genellikle vadinin bir ucundan diğerine ölçülen toplam baraj uzunluğundan daha küçüktür. Ayrıca gedikten çıkan suyla baraj malzemelerinin erozyonundan dolayı gedik oluşması için sonlu bir zaman aralığı ( $\tau$ ) gereklidir.

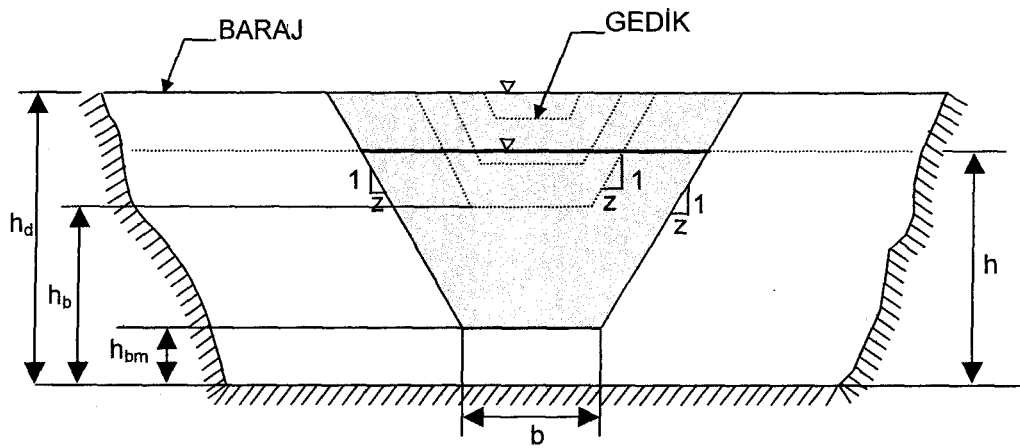
Dolgu barajlarda gedik oluşumu farklı biçimlerde olabilir. Genellikle üstten aşma ve borulanma şeklinde iki yıkılma biçimi düşünülmektedir. Gövde üzerinden su aşması sonucu meydana gelen yıkılmada gedik parametrelerinin belirlenmesi zor olmakla birlikte gövde içerisinde oluşan dahili bir kanalın genişlemesi sonucunda meydana gelen borulanma yıkılmasında bu iş daha güç olmaktadır. Borulanmanın oluşumuyla ilgili bilgi oldukça sınırlıdır ve bu türden bir yıkılmada borulanmanın başlamasından yıkılmanın tamamlanmasına kadar geçen sürenin doğru bir şekilde kestirilmesini zordur ve bu süre çok uzun bir zaman periyodunda olabilir.

### 3.2.5. Toprak Dolgu Barajlarda Üstten Aşma Yıkılması

Baraj gövdesi üzerinden su aşması halinde toplam yıkılma süresi; baraj yüksekliğine, baraj inşaatında kullanılan malzemenin cinsine, malzemelerin sıkıştırılma oranına ve kaçan suyun üstten akış miktarına bağlı olarak bir kaç dakika ile bir kaç saat arasında değişebilir.

Baraj yıkılma süresi olarak, barajın memba yüzünde ilk olarak gediğin oluşumunun başladığı an ile gedik oluşumunu tamamlandığı an arasındaki zaman alınır. Gövde üzerinden su aşması durumundaki yıkılmalarda gedik oluşumu önce barajın mansap yüzünde başlar ve meydana gelen küçük yarıklar, baraj tepe genişliği boyunca memba yüzüne doğru ilerler (Demirpençe,1994).

Baraj yıkılması olayında gedik oluşumu, rezervuardaki su yüzeyi *seviyesi* ( $h$ ), belirli bir  $h_f$  değerini aştığı zaman başlamaktadır. Bu nedenle 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 3.3). 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 3.3. Üstten aşma sonucu gedik oluşumu

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

Selahattin KOCAMAN

Üstten aşma yıkılması durumunda gedik Şekil 3.1’de görüldüğü gibi zamanla baraj kretinden aşağı doğru ilerleyerek dikdörtgen, üçgen veya yamuk şeklinde geliştiği varsayılır. Herhangi bir anda gedikten geçen akım kalın kenarlı savak denklemi kullanılarak hesaplanır.

Şekil 3.3’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. Eğer  $\tau$  bir dakikadan az ise gedik taban genişliği sıfır yerine bir  $b$  değeriyle başlar ve bu da erozyon şeklinde bir yıkılmadan çok göçme (collapse) şeklinde bir yıkılmayı tanımlar.

Herhangi bir andaki gedik taban kotu ( $h_b$ ), baraj yıkılma süresinin ( $\tau$ ) bir fonksiyonu olarak aşağıdaki ifade ile hesaplanır:

$$0 < t_b \leq \tau \text{ ise, } h_b = h_d - (h_d - h_{bm}) \left( \frac{t_b}{\tau} \right)^\rho \quad (3.3)$$

$$t_b > \tau \text{ ise, } h_b = h_{bm} \quad (3.4)$$

Bu ifadede;

$h_{bm}$  : Gedik tabanının son kotu olup şart olmamak üzere genellikle rezervuarın veya çıkış yapısının(dip savak) taban kotu

$t_b$  : Gedik oluşumunun başlangıcından itibaren geçen süre,

$\rho$  : Gedik oluşum hızını gösteren parametre olup ( $1 \leq \rho \leq 4$ ),  $\rho=1$  için lineer oluşum hızı,  $\rho>1$  için lineer olmayan kuadratik gedik oluşum hızı anlaşılır. Genellikle üstten aşma yıkılmalarında gedik oluşum hızının lineer olduğu kabul edilir.

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

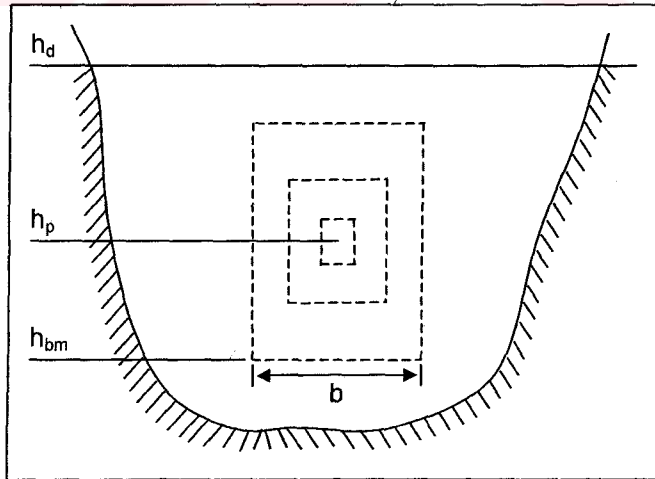
$$0 < t_b \leq \tau \text{ ise, } b_i = b \left( \frac{t_b}{\tau} \right)^\rho \quad (3.5)$$

### 3.2.6. Toprak Dolgu Barajlarda Borulanma Yıkılması

Baraj içerisinde dahili bir kanal oluşması sebebiyle, baraj tepe yüksekliğinin altında herhangi bir noktada başlangıç gediği meydana geldiği zaman, borulanma yıkılması oluşur. Memba 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.

Borulanma yıkılması, baraj gövdesi üzerinde borulanmanın başladığı herhangi bir seviyede belirlenen bir merkez çizgisi yüksekliği ve  $z = 0$  alınarak bu merkezden genişleyen dikdörtgen bir orifis olarak tanımlanır. Herhangi bir anda gedikten geçen akım göldeki su seviyesi ve orifis üst seviyesi arasındaki ilişkiye bağlı olarak orifis veya savak denklemleri ile hesaplanır. Çok fazla bilgi olmamasına rağmen literatüre bakıldığında gedik kenar eğimi ( $z$ ) borulanma yıkılmalarında yaklaşık olarak 0.9 olmaktadır (Froehlich, 1987). Fakat modelde borulanma yıkılmaları için  $z$  değerinin sıfır alınması gerekmektedir.

$\rho \geq 2$  borulanma ile gedik oluşumunu simüle etmek için uygundur.



Şekil 3.4. Borulanma ile gedik oluşumu

### 3.3. Çıkan Akım Hidrografının Belirlenmesi

Baraj yıkılması sonucu rezervuardan çıkan akım gedikten çıkan akım ( $Q_b$ ), dolusavaktan çıkan akım ( $Q_{sp}$ ) ve baraj kreti üzerinden geçen akım ( $Q_o$ )'ın toplamından oluşmaktadır.

$$Q_t = Q_b + Q_{sp} + Q_o \quad (3.6)$$

Gedikten çıkan taşkın hidrografının belirlenmesinde, gedikten çıkan akımın serbest yüzeyli akım olduğu ve kalın kenarlı savak formülü ile ifade edilebileceği kabul edilmektedir. Gedik oluşumunun yıkılma süresi ( $\tau$ ) boyunca son taban genişliği ( $b$ ) ve son taban yüksekliğine ( $h_{bm}$ ) ulaşınca kadar lineer bir hızda geliştiği varsayılmaktadır.

Gedikten çıkan akımı ifade eden kalın kenarlı savak formülü, gedik şeklinin ve savak üzerindeki su yükünün bir fonksiyonudur. Savak (gedik tabanı) üzerindeki su yükü, rezervuar su yüzeyi kotu ile gedik taban kotu arasındaki farktır. Gediğin aşınması sırasında her bir zaman adımında su yüzeyi ve gedik taban yüksekliği değişmektedir. Bu nedenle her bir zaman adımında savak üzerindeki su yükü ve gedikten çıkan yeni bir akım değeri hesaplanır.

Herhangi bir  $\Delta t$  zaman adımında baraj gölü seviyesindeki değişim, kütlenin korunumu esası ile rezervuara giren ( $Q_i$ ) ve çıkan ( $\bar{Q}_t$ ) akımlar arasındaki fark rezervuarda meydana gelen hacim değişikliğine eşittir şeklinde ifade edilerek bulunabilir.

$$Q_i - \bar{Q}_t = S_a \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (3.7)$$

Bu denklemde,

$\Delta h$  :  $\Delta t$  zaman aralığında rezervuar su yüzeyi yüksekliğindeki değişim

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

Selahattin KOCAMAN

$S_a$  : h yüksekliğindeki rezervuar yüzey alanıdır ve alan-hacim eğrisinden bilinir.

(3.7) denklemini yeniden düzenlenirse, baraj gölü su yüzeyi seviyesindeki değişim aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir.

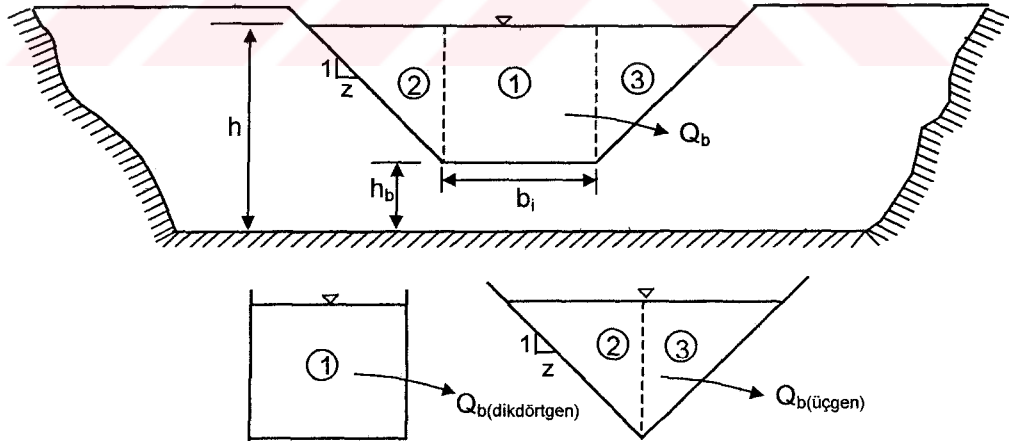
$$\Delta h = \frac{\Delta t}{S_a} (Q_i - Q_b - Q_{sp} - Q_o) \quad (3.8)$$

herhangi bir t anındaki rezervuar su yüksekliği (h) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$h = h' + \Delta h \quad (3.9)$$

burada  $h'$ ,  $(t - \Delta t)$  anındaki rezervuar su yüksekliğidir.

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 ibaret olduğu Şekil 3.5'ten görülebilir (Demirpençe, 1994).



Şekil 3.5. Yarık içerisindeki savak akımının bileşenleri

Gedikin üçgen ve dikdörtgen bileşenlerinden geçen debiler aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır:

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

Selahattin KOCAMAN

$$Q_{b_{dikdörtgen}} = c_1 (h - h_b)^{1.5} \quad (3.10)$$

$$Q_{b_{üçgen}} = c_2 (h - h_b)^{2.5} \quad (3.11)$$

$$Q_b = Q_{b_{dikdörtgen}} + Q_{b_{üçgen}} \quad (3.12)$$

$$Q_b = c_1 (h - h_b)^{1.5} + c_2 (h - h_b)^{2.5} \quad (3.13)$$

$$c_1 = 3.1 c_v k_s b_i \quad (3.14)$$

$$c_2 = 2.45 c_v k_s z \quad (3.15)$$

(3.14) ve (3.15) ifadeleri denklem (3.13)'de yerine yazılır ve yeniden düzenlenirse gedikten çıkan toplam akım:

$$Q_b = c_v k_s \left[ 3.1 b_i (h - h_b)^{1.5} + 2.45 z (h - h_b)^{2.5} \right] \quad (3.16)$$

olur. Bu denklemde;

$c_v$  : Hız düzeltme katsayısı

$b_i$  : Herhangi bir andaki gedik taban genişliği. Denklem (3.5)'te tanımlanmıştır.

$h$  : Barajın hemen memba tarafındaki su yüksekliği

$h_b$  : Herhangi bir andaki gedik taban yüksekliği. Denklem (3.3) ve (3.4)'te tanımlanmıştır.

$z$  : Gedik kenar eğimi(şekil parametresi)

$k_s$  : Mansaptaki kuyruksuyu yüksekliği ( $h_t$ )'nin neden olduğu batıklık düzeltme katsayısı,

$$(h_t - h_b)/(h - h_b) \leq 0.67 \text{ ise, } k_s = 1.0 \quad (3.17)$$

diğer halde:

$$k_s = 1.0 - 27.8 \left[ \frac{h_t - h_b}{h - h_b} - 0.67 \right]^3 \quad (3.18)$$

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

Selahattin KOCAMAN

Hız düzeltme katsayısı ( $c_v$ ) ise aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$c_v = 1.0 + 0.023 \frac{Q_b^2}{[B_d^2 (h - h_{bm})^2 (h - h_b)]} \quad (3.19)$$

bu denklemde,  $B_d$  baraj aksında rezervuar genişliği,  $h_{bm}$  gedik tabanının seçilen nihai yüksekliğidir.

**Dolusavaktan çıkan akım aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:**

$$Q_{sp} = k_s c_s L_s (h - h_s)^{1.5} + \sqrt{2g} c_g A_g (h - h_g)^{0.5} + Q_t \quad (3.20)$$

bu denklemde;

$k_s$  : Mansap kuyruk suyu etkileri için batıklık düzeltme katsayısı.

Denklem (3.17) da tanımlanmıştır.

$c_s$  : Kontrolsüz dolusavak debi katsayısı,

$L_s$  : Dolusavak uzunluğu,

$h_s$  : Kontrolsüz dolusavak kret yüksekliği,

$c_g$  : Dip savak debi katsayısı ( $0.5 \leq c_g \leq 0.75$ ),

$A_g$  : Dip savak alanı,

$h_g$  : Dip savak merkez yüksekliği,

$Q_t$  : Su yükünden bağımsız sabit çıkış akımıdır (türbin akımı).

Baraj gövdesi üzerinden su aşması halinde baraj gölündeki su seviyesi, baraj yüksekliğinden daha fazla olur ve gövde üzerinden aşan akım hesaplanması için kalın kenarlı savak formülü kullanılır:

$$Q_o = k_d c_d L_d (h - h_d)^{1.5} \quad (3.21)$$

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

Selahattin KOCAMAN

Bu denklemde;

$k_d$  : Mansap kuyruk suyu etkileri için batıklık düzeltme katsayısı,

$c_d$  : Baraj kreti üzerindeki akım için debi katsayısıdır.

Akımın geçtiği genişlik  $L_d$  ise toplam baraj kret uzunluğundan dolusavak uzunluğu çıkarılarak bulunur. Rezervuardaki su seviyesi, baraj yüksekliğinden daha az bir değere düştüğü andan itibaren  $Q_o$  sıfır olur (Wetmore ve Fread, 1991).

Eğer gedik borulanma şeklinde oluşuyorsa,  $z$  sıfır kabul edilir (dikdörtgen gedik) ve denklem (3.13) yerine orifis denklemi kullanılır:

$$Q_b = 4.8A_p(h - \bar{h})^{1/2} \quad (3.22)$$

$$A_p = 2b_i(h_p - h_b) \quad (3.23)$$

burada  $h_p$  borulanmanın başlayacağı seçilen merkez çizgisi yüksekliğidir.  $\bar{h} = h_p$  veya barajın hemen mansabındaki kuyruk suyu yüksekliği  $h_t > h_p$  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:

$$h < 3h_p - 2h_b \quad (3.24)$$

Bu bölümde verilen bilgilere bakıldığında gedikten çıkan akım

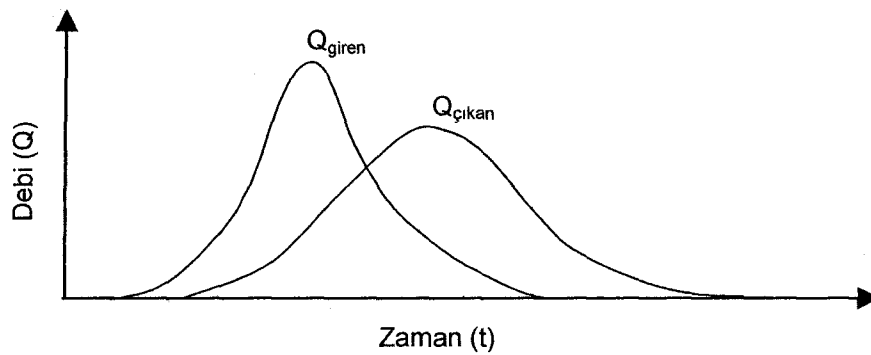
- zamana bağlı olarak gedik boyutları ve şekli
- baraj yüksekliği
- rezervuarın biriktirme kapasitesi
- rezervuara giren akım
- gedikten içine doğru batmış savak akımına neden olabilen mansap akarsu koşullarından (pürüzlülük, akarsu vadisi boyutları) etkilenmektedir.

## 4. TAŞKIN ÖTELEMESİ

### 4.1. Giriş

Baraj yıkılması olayında zamanla değişen gedik boyut ve şekli ile dolu savak karakteristiklerinin tanımlanmasıyla bağlantılı olarak baraj gövdesinden çıkan akım hidrografi hesaplanır ve bu hidrograf akarsu boyunca ötelenir.

Taşkın ötelemesi, bir akarsu ve göl boyunca ilerleyen taşkın dalgasının, zamana bağlı olarak değişiminin hesaplanmasıdır. Çıkan taşkın hidrografi mansaptaki akarsu boyunca ötelenirken taşkın yatağının depolama özellikleri, akıma etki eden sürtünme kuvvetleri, taşkın dalgası ivme bileşenleri, akımdaki kayıplar-kazançlar, akarsu üzerindeki kesit değişimleri ve akarsu kontrol yapılarından dolayı bir değişikliğe uğrar. Bu değişiklik pik debinin değerinde azalma ve pik debiye ulaşma zamanında gecikme şeklinde iki önemli sonuç doğurur. Eğer akarsu yatağı önemli ölçüde depolama özelliğine sahipse baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgasının pik değerindeki düşüş oldukça fazla olabilir ve taşkın dalgasının seyahat süresi büyük ölçüde artabilir. Şekil 4.1’de ötelenen taşkın hidrografının bu değişimi görülmektedir.



Şekil 4.1. Ötelenen taşkın hidrografının akarsu boyunca değişimi

Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgaları yüzeysel akışlardan oluşan taşkın dalgalarıyla (yağış yada ani kar erimesi) karşılaştırıldığında modellemeyi de güçleştiren farklı özelliklere sahiptir. Çoğunlukla baraj yıkılması sonucu oluşan

taşkın dalgasının pik debi değeri aynı nehirde en uç hidrolojik şartlar altında akışlardan dolayı oluşan dalgalara göre çok daha büyüktür. Baraj yıkılması taşkın dalgalarının diğer bir özelliği çok kısa devam süresidir ve özellikle de yükselmenin başlamasından pik değer oluşumuna kadar geçen sürenin son derece kısa olmasıdır. Pik değere ulaşma zamanı genellikle gedik oluşum zamanıyla eşit olmaktadır ve birkaç dakika ile yaklaşık bir saat arasında bir dağılım göstermektedir. Oysaki yüzeysel akışlardan oluşan dalgalar için yükselme periyotları zamanı birkaç saat ile birkaç haftalık bir zaman aralığında olabilir. Baraj yıkılması taşkın dalgalarının, akışlardan oluşan taşkın dalgalarına göre pik değere oldukça hızlı ulaşması çok daha büyük değere sahip ivme bileşenlerine neden olur. Baraj yıkılması öteleme modellerinin çoğunda genellikle hız değişimlerinin sadece akım yönünde meydana geldiği, düşey ve yatay ivmelerin sıfır olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca baraj yıkılması taşkın dalgaları önemli miktarda katı madde taşıma ve aşındırma özelliğine sahiptir. Bundan dolayı taşkın etki alanı, mansap vadisinin pürüzlülüğü ve geometrisi ile önemli ölçüde değişebilir.

Baraj yıkılması sonucu mansapta oluşacak taşkın sonuçlarının tespit edilmesi için gedikten çıkan taşkın hidrografının akarsu yatağı boyunca ötelenmesi gereklidir. Akarsuyun belirli bir noktasındaki taşkın büyüklükleri bilindiğinde, taşkın öteleme hesapları ile bu noktanın kilometrelerce mansabındaki bir yerde taşkın büyüklükleri önceden hesaplanabilir. Bu şekilde insanların uyarılması için gereken zaman kazanılır ve taşkın zararlarının azaltılması sağlanır. Ayrıca taşkın koruma yapılarının boyutları emniyetli bir şekilde belirlenmiş olur.

Taşkın ötelemesi için hidrolojik ve hidrolik öteleme olmak üzere iki farklı yöntem kullanılır. Hidrolojik yöntem süreklilik denkleminde dayanır ve rezervuarın debi-depolama hacmi ilişkisi kullanılarak çözülür. Hidrolojik yöntemler kabarma etkilerinin önemsiz olduğu durumlarda özellikle de baraj haznelerinde öteleme için uygundur.

Baraj yıkılması olayında mansapta oluşan akım değişken akım olduğundan hidrolojik yöntemi kullanmak doğru olmaz. Çünkü akımda zamana bağlı olarak büyük değişimler olmakta ve suyun hareketi ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle hidrolik taşkın ötelemesi yöntemine ihtiyaç duyulur.

#### 4.2. Hidrolik Taşkın Ötelemesi

Hidrolik yöntemlerde akım yerin ve zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Süreklilik denklemine ek olarak hareket (momentum) denklemi kullanılır ve bu iki denklem Saint-Venant denklemleri olarak isimlendirilir. Hidrolik yöntemler hidrolojik yöntemlere göre daha komplekstir ve denklemler analitik olarak çözülemezler. Bu nedenle denklemlerin çözümü genellikle sayısal yöntemler kullanılarak bilgisayar yardımıyla yapılır. Hidrolik öteleme yöntemleri kinematik dalga, difüzyon dalga ve dinamik dalga ötelemesi olarak sınıflandırılmakta ve Çizelge 4.1 de görülmektedir.

En basit hidrolik yöntem olan kinematik dalga yönteminde momentum denklemindeki atalet (yersel ivme ve konvektif ivme) ve basınç kuvveti terimleri ihmal edilir. Akımın ağırlık kuvvetleri ve sürtünme kuvvetlerinin (frictional resistance) denge halinde olduğu ( $S_0=S_f$ ) kabul edilir. Kinematik dalga yaklaşımı kanal eğimlerinin dik olduğu ve kabarma etkilerinin önemsiz olduğu yerdeki uygulamalar için uygundur. Basınç kuvvetlerinin önemli olduğu fakat atalet kuvvetlerinin önemsiz kaldığı durumlarda difüzyon dalga yöntemi uygulanabilir. Kanal eğimi yaklaşık %1 den daha büyükse ve gelgitler, akarsu kollarından giren akımlar veya rezervuar çalışmaları gibi karışıklıklardan dolayı membaya doğru yayılan dalga yoksa difüzyon dalga yöntemi dalganın mansapta yayılmasının tanımlanmasında yararlıdır. Hem atalet hemde basınç kuvvetlerinin önemli olduğu küçük eğimli akarsularda ve kabarma etkilerinin önemli olduğu durumlarda momentum denklemindeki atalet kuvveti ile basınç kuvveti terimleri ihmal edilmez. Bu durumda dinamik dalga yöntemi kullanılır. Saint-Venant denklemlerinin tamamının çözümüne dayanan taşkın dalgası öteleme modeline dinamik öteleme yöntemi denilmektedir. Dinamik öteleme tek boyutlu taşkın öteleme yöntemleri arasında en hassas olanıdır. Çünkü taşkın dalgasının ivme etkilerini, akarsu yatağındaki kesit değişimlerini ve kabarma etkilerini dikkate alan tek yöntemdir. Taşkın dalgası ivme hareketlerinin, ağırlık ve sürtünme etkilerine göre daha önemli olduğu durumlarda dinamik yöntem önem kazanır. Bu sebeple dinamik öteleme yöntemi baraj yıkılması sonucu meydana gelen taşkınların ötelenmesinde kullanılan

en uygun modeldir. Çevrinti kayıpları, rüzgar kesme etkisi ve giren yanal akımlar ihmal edilerek süreklilik ve momentum denklemlerinden oluşan Saint-Venant denklemleri Çizelge 4.1'deki gibi özetlenmektedir.

Çizelge 4.1. Saint-Venant denklemlerinin özeti (Chow, 1988)

### Kabuller:

- Akım tek boyutludur, derinlik ve hız sadece akarsuyun boyuna doğrultusunda değişir.
- Düşey yöndeki ivmelerin ihmal edildiği akımlarda, tüm noktalarda hidrostatik basınç etkilidir ve akım tedrici değişkendir.
- Akarsu yatağının boyuna eksenini düz bir çizgidir.
- Akarsu yatağının taban eğimi küçüktür.
- Akarsu yatağı sabittir. Oyulma ve yığılmanın meydana gelmez.
- Serbest yüzeyli üniform akım için kullanılan sürtünme katsayısı, değişken akımlara da uygulanabilir. Manning denklemi ile sürtünme etkileri tanımlanabilir.
- Akım sıkıştırılamaz olup, her noktasında yoğunluğu sabittir.

### Süreklilik Denklemi

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

### Momentum Denklemi

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} - g (S_0 - S_f) = 0$$

|        |           |         |         |          |
|--------|-----------|---------|---------|----------|
| yersel | konvektif | basınç  | ağırlık | sürtünme |
| ivme   | ivme      | kuvveti | kuvveti | kuvveti  |
| terimi | terimi    | terimi  | terimi  | terimi   |

→ kinematik dalga

→ difüzyon dalga

→ dinamik dalga

### 4.3. Dinamik Dalga Yöntemi

#### 4.3.1. Akımı İdare Eden Denklemler

Akımı idare eden Saint-Venant denklemleri süreklilik ve momentum denklemlerinden oluşur. Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial s_{co}(A + A_0)}{\partial t} - q = 0 \quad (4.1)$$

Momentumun korunumu denklemi:

$$\frac{\partial (s_m Q)}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e + S_i \right) + L + W_f B = 0 \quad (4.2)$$

Burada

- Q : debi,
- h : su yüzeyi seviyesi,
- A : akımın aktif enkesit alanı,
- A<sub>0</sub> : aktif olmayan (off-channel storage) enkesit alanı,
- s<sub>co</sub> ve s<sub>m</sub> : yükseklikle değişen kıvrımlılık faktörleri,
- x : akarsu yatağı boyunca boyuna uzaklık,
- t : zaman,
- q : giren yada çıkan yanal akım (giren akım (+), çıkan akım (-) işaretli alınır),
- β : momentum düzeltme katsayısı,
- g : yerçekimi ivmesi,
- S<sub>f</sub> : sürtünme eğimi (enerji çizgisi eğimi),
- S<sub>e</sub> : genişleme-daralma eğimi,
- S<sub>i</sub> : çamur/enkaz içeren akımlar gibi Newtonien olmayan akışkanların iç viskoz çalkantısıyla karşılaşılan ilave sürtünme eğimi,

- B : h su yüzeyi seviyesindeki aktif akarsu üst genişliğini,  
 $W_f$  : akım yüzeyi üzerindeki rüzgar direnci etkisini gösterir.

Rüzgar etkisi ( $W_f$ ) aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$W_f = C_w V_{rw} |V_{rw}| \quad (4.3)$$

Burada;  $C_w$  boyutsuz rüzgar katsayısı ( $1 \times 10^{-6} \leq C_w \leq 3 \times 10^{-6}$ ),  $V_{rw}$  kanaldaki akım hızına bağlı rüzgar hızıdır.  $V_{rw} = V \pm V_w \cos \omega$  'dır ve  $V=Q/A$ ,  $V_w$  belirlenen rüzgar hızı,  $\omega$  x doğrultusundaki kanal akımı ve rüzgar yönü arasındaki dar açıdır.

Denklem (4.2)'deki L yanal akımın momentum etkisidir. Bu terim aşağıdaki biçimlere sahiptir:

- 1- Giren yanal akımlar için,  $L = -qv_x$ ,  $v_x$  ana nehrin x eksenine doğrultusunda akarsu kolunun akım hızı bileşenidir (akarsu kolları dışındaki giren yanal akımların ana nehre dik olacağı kabul edilir. Bu durumda  $v_x=0$  ).
- 2- Çıkan yanal sızma akımları için,  $L = 0.5qQ/A$
- 3- Hacimli çıkan yanal akımlar için (örneğin bir sedde üzerinden aşan akım),  $L = -qQ/A$  ifadeleri ile bulunabilir.

Denklem (4.2)'deki sürtünme eğimi ( $S_f$ ), düzenli üniform akım için Manning denkleminde elde edilebilir.

$$S_f = \left[ \frac{n_i^2 Q |Q|}{A^2 R^{4/3}} \right] = \frac{Q |Q|}{K^2} \quad (4.4)$$

Bu ifadede R hidrolik çap, K akım konveyansıdır. Konveyans (K),  $S_f$ 'yi ifade etmek için kullanıldığında, akarsu enkesit özellikleri, tek bir kompozit kanal yerine daha çok sol taşkın yatağı, ana yatak ve sağ taşkın yatağı olarak gösterilir. Konveyans aşağıdaki ifadelerden bulunabilir:

$$K_{\ell} = \frac{1}{n_{\ell}} A_{\ell} R_{\ell}^{2/3} \quad (4.5)$$

$$K_c = \frac{1}{n_c} \frac{A_c R_c^{2/3}}{s_m^{1/2}} \quad (4.6)$$

$$K_r = \frac{1}{n_r} A_r R_r^{2/3} \quad (4.7)$$

burada  $\ell$ ,  $c$  ve  $r$  indisleri sırasıyla sol taşkın yatağı, ana yatak ve sağ taşkın yatağını göstermektedir. Kıvrımlılık faktörleri ( $s_{co}$  ve  $s_m$ ) aşağıdaki ifadelerle bulunur:

$$s_{coj} = \frac{\sum_{k=2}^{k=j} \Delta A_{\ell_k} + \Delta A_{c_k} s_{co_k} + \Delta A_{r_k}}{A_{\ell_j} + A_{c_j} + A_{r_j}} \quad (4.8)$$

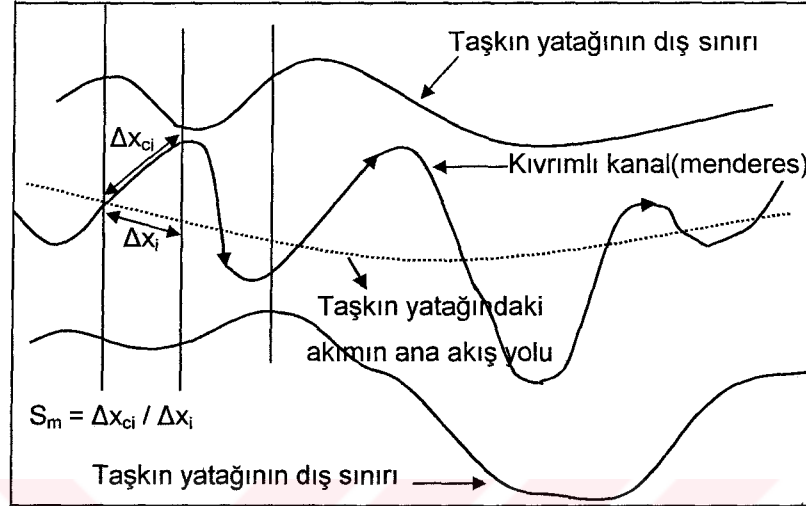
$$s_{mj} = \frac{\sum_{k=2}^{k=j} \Delta K_{\ell_k} + \Delta K_{c_k} s_{m_k} + \Delta K_{r_k}}{K_{\ell_j} + K_{c_j} + K_{r_j}} \quad (4.9)$$

burada;  $\Delta A = A_{j+1} - A_j$ ,  $s_{mj}$ 'inci ve  $j+1$ 'inci derinlikler arasındaki akımın fark kısmı (parçası) için kıvrımlılık faktörünü gösterir. Enkesitler arasındaki  $\Delta x_i$  mesafeleri taşkın yatağındaki akımın ortalama akım yolu doğrultusunda ölçülürken,  $\Delta x_{o_k}$  mesafeleri, enkesitler arasındaki kıvrımlı kanal doğrultusunda ölçülür.  $k$ 'ıncı derinlik için kıvrımlılık katsayıları  $s_{co_k} = s_{m_k} = \Delta x_{c_k} / \Delta x_i$  değerine eşittir.

Hız dağılımı için momentum katsayısı ( $\beta$ ), aşağıdaki gibi bulunur:

$$\beta = \frac{(K_{\ell}^2/A_{\ell} + K_c^2/A_c + K_r^2/A_r)}{(K_{\ell} + K_c + K_r)^2 / (A_{\ell} + A_c + A_r)} \quad (4.10)$$

taşkın yatağı karakteristikleri belirtilmezse ve tüm enkesit kompozit kesit olarak düşünülürse  $\beta = 1.06$  alınır.



Şekil 4.2. Akarsu ve taşkın yatağında kıvrımlılık  $s_m$

Denklem (4.2)'deki  $S_e$  terimi aşağıdaki ifade ile belirlenir:

$$S_e = \frac{k_{ce} \Delta(Q/A)^2}{2g \Delta x} \quad (4.11)$$

burada;  $k_{ce}$  belirlenen daralma-genişleme katsayısı,  $\Delta(Q/A)^2$  bir  $\Delta x$  uzaklığı ile ayrılan iki bitişik enkesitteki  $(Q/A)^2$  farkıdır.  $k_{ce}$  katsayısı genişleme için  $-0.05 \leq k_{ce} \leq -0.75$  ve daralma için  $0.05 \leq k_{ce} \leq 0.4$  aralığındadır.

Denklem (4.2)'deki  $S_i$  terimi sadece akışkanın oldukça viskoz olduğu ve Newtonien olmadığı durumlarda önemlidir. Böyle Newtonien olmayan akımlar için  $S_i$  terimi aşağıdaki ifade hesaplanır:

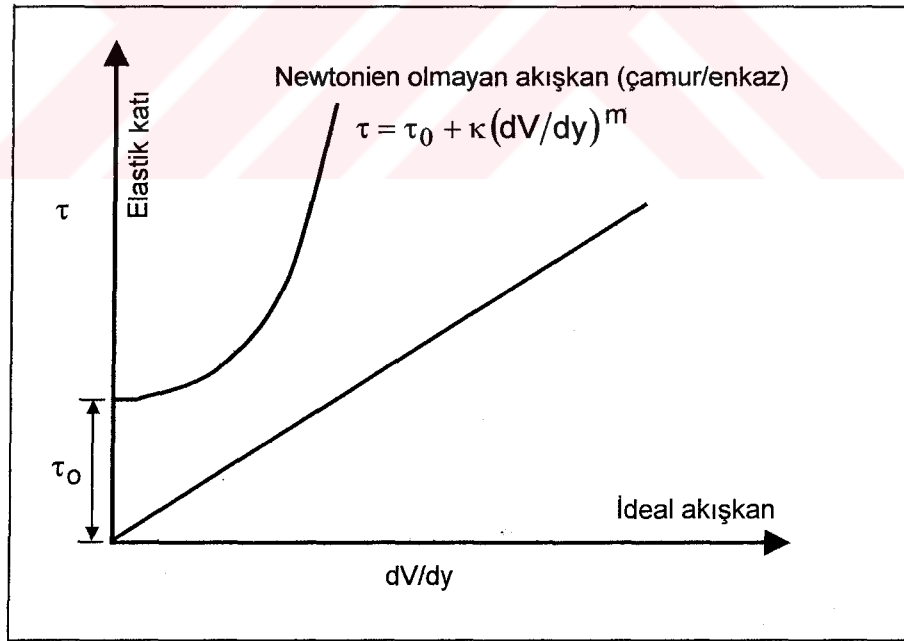
$$S_i = \frac{\kappa}{\gamma} \left[ \frac{(b+2)Q}{AD^{b+1}} + \frac{(b+2)(\tau_0/\kappa)^b}{2D^b} \right]^{1/b} \quad (4.12)$$

burada;  $\gamma$  akışkanın birim ağırlığı,  $\tau_0$  akışkanın kayma gerilmesi,  $D$  hidrolik derinlik ( $A/B$ ),  $b=1/m$ ,  $m$  Şekil 4.3'te görüldüğü gibi akışkanın açısal deformasyon (gerilme-deformasyon) özelliklerine uygun üs fonksiyonu,  $\kappa$  akışkanın viskozite özelliğini temsil eden viskozite katsayısı. Çamur/enkaz taşıyan akımların özellikleri, akışkandaki katı maddelerin belirli hacimdeki yüzde konsantrasyonu ( $c_v$ ) cinsinden aşağıdaki ifadelerle belirlenebilir (O'Brien ve Julien, 1984).

$$\kappa = 0.06497 e^{16.81c_v} \quad (4.13)$$

$$\tau_0 = 0.424217 e^{13.11c_v} \quad (4.14)$$

$\kappa$  ve  $\tau_0$ 'ın birimleri sırasıyla  $N.sn^2/m^2$  ve  $N/m^2$ 'dir.  $e=2.718$  doğal logaritmanın abanı ve  $c_v$  çamurlu taşkınlar için 0.20-0.45, çamurlu akımlar için 0.45-0.50 arasında bir değer alır.



Şekil 4.3. Akışkanlarda kayma gerilmesinin deformasyon hızı ile değişimi

#### 4.3.2. Saint-Venant Denklemlerinin Sonlu Farklarla Çözümü

Denklem (4.1) ve (4.2)'deki 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. Sonlu farklarla sayısal çözümde kısmi diferansiyel denklemler ilk olarak uygun sonlu fark cebrik denklemler takımıyla gösterilir ve daha sonra cebrik denklemler sistemi, bilinen başlangıç ve sınır şartlarıyla uyum içinde çözülür.

Denklemlerin en genel halinin sayısal yöntemlerle elde edilen çözümünün gerçek fiziksel olaya uygunluğu, basitleştirilmiş denklemlerin analitik çözümünden elde edilen sonuçlara göre daha fazladır. Bununla birlikte sonlu farklar yaklaşımlarında da bir hata payı vardır.

Sonlu farklar yöntemiyle bir çözüm elde edebilmek için bağımsız değişken alan bir ağ sistemle noktalara ayrılır. Ağ sistem ile gerçekteki sürekli alanın kararlılık ve yakınsaklık bakımlarından uyum sağlaması gereklidir. Sonlu farklar şeması kararlılık ve yakınsaklığına bağlı olarak değerlendirilir. Zaman-mesafe koordinat sisteminde mesafe ( $\Delta x$ ) ve zaman ( $\Delta t$ ) adımları sıfıra yaklaştıkça sonlu farklar denkleminin çözümü kısmi diferansiyel denklemin çözümüne yaklaşıyorsa, sonlu farklar şeması yakınsaktır denir. Hesaplamaların herhangi bir aşamasındaki hatalar zaman ve mesafe ile doğru orantılı artmıyorsa ve çözümü anlamsız kılmıyorsa sonlu farklar şeması kararlıdır denir. Sayısal yöntemler kararsız olduğu zaman kesme hatası gibi küçük bir hata zamanla artmakta ve birkaç zaman adımı sonra çok farklı değerlere ulaşmaktadır. Yakınsaklık ve kararlılık gibi sayısal özellikler mesafe ve zaman adımlarının küçültülmesi ile sağlanabilir. Kararlılık mesafe adımından daha çok zaman adımının büyüklüğü ile ilgilidir.

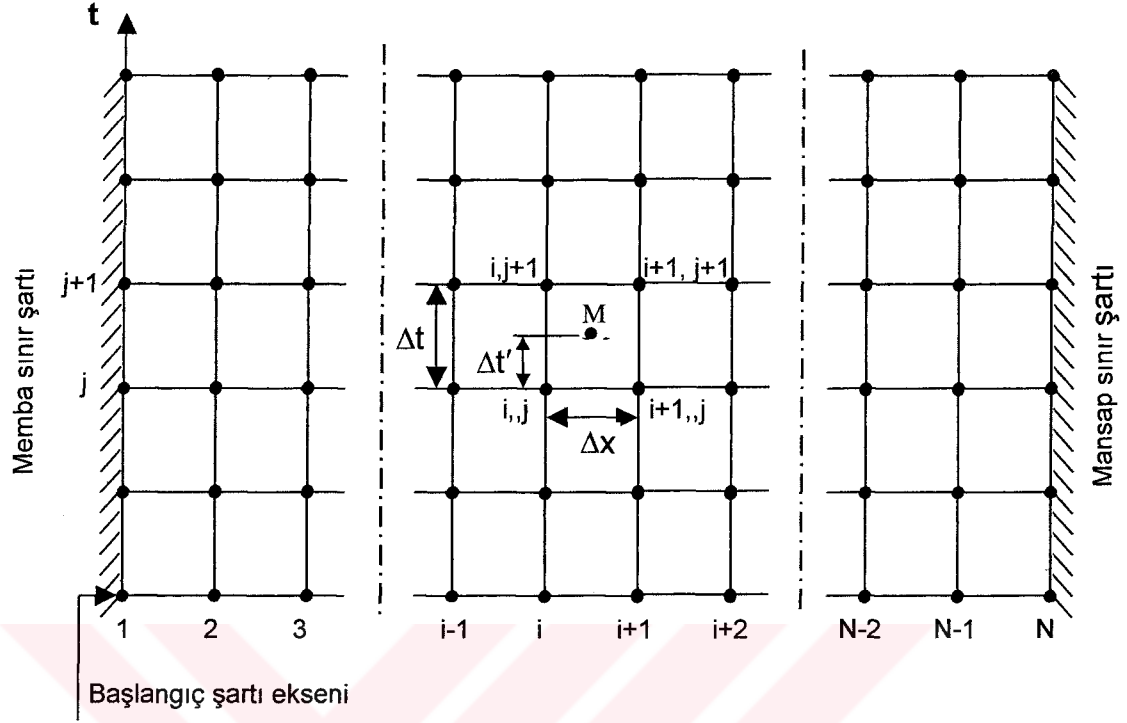
Denklem (4.1) ve (4.2) açık (explicit) veya kapalı (implicit) sonlu fark teknikleri ile çözülebilir. Uygulamalarda daha basit olmalarına rağmen açık yöntemler, ancak çok küçük zaman adımlarında kararlılık göstermekte ve hesap adımlarının artmasına neden olmaktadır. Kapalı sonlu fark teknikleri matematiksel kararlılıktan dolayı zaman adımının büyüklüğü üzerinde sınırlamalara sahip değildir. fakat yakınsaklık düşünceleri ile zaman adımının sınırlanması gerekebilir. Kapalı ve açık yöntemler arasındaki önemli fark açık yöntemler sadece Courant şartı olarak bilinen kritik bir değerden daha küçük zaman adımları için sayısal olarak kararlıyken, kapalı yöntemler koşullara bağlı olarak bütün zaman adımları için kararlıdır. Başka bir ifade ile kapalı yöntemlerde açık yöntemlere kıyasla çok daha büyük zaman adımlarında bile doğru sonuca ulaşılır.

Çeşitli kapalı çözüm şemaları geliştirilmiştir. Bir çok avantajı bulunduğundan dolayı “ağırlıklı dört noktalı” şema daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu şema eşit olamayan mesafe ve zaman adımları için kolayca kullanılabilir ve kararlılık-yakınsaklık özellikleri uygun bir şekilde kontrol edilebilir. Şekil 4.4’te görüldüğü gibi ağırlıklı dört noktalı kapalı sonlu fark şeması,  $h$  ve  $Q$ ’nun çözümlerinin araştırıldığı sürekli  $x$ - $t$  (mesafe-zaman) bölgesi için ayrık noktalardan oluşan bir dikdörtgen ağ ile gösterilebilir. Ağ noktaları  $x$  ve  $t$  eksenlerine paralel çizilen doğruların kesişmesiyle belirlenir.  $t$  eksenine paralel çizgiler enkesitlerin yerlerinin gösterir ve bunlar sabit olması gerekmeyen  $\Delta x_i$  aralıklarına sahiptir.  $x$  eksenine paralel çizgiler zaman çizgilerini gösterir ve  $\Delta t_j$  aralıklarının da sabit olması gerekmez. Dikdörtgen ağ içindeki her bir nokta,  $x$ ’in konumunu gösteren  $i$  indisi ve belirli bir zaman çizgisini gösteren  $j$  indisi ile tanımlanır.  $M$  noktasındaki zamana bağlı türevler  $x$  eksenini boyunca  $i$ ’inci ve  $i+1$ ’inci noktalar arasında orta noktada,

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\Psi_i^{j+1} + \Psi_{i+1}^{j+1} - \Psi_i^j - \Psi_{i+1}^j}{2\Delta t_j} \quad (4.15)$$

ifadesi ile bulunur.

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



Şekil 4.4 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,

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} = \theta \left[ \frac{\Psi_{i+1}^{j+1} - \Psi_i^{j+1}}{\Delta x_j} \right] + (1 - \theta) \left[ \frac{\Psi_{i+1}^j - \Psi_i^j}{\Delta x_j} \right] \quad (4.16)$$

ifadesi ile belirlenir.

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

$$\Psi = \theta \left[ \frac{\Psi_i^{j+1} + \Psi_{i+1}^{j+1}}{2} \right] + (1 - \theta) \left[ \frac{\Psi_i^j + \Psi_{i+1}^j}{2} \right] \quad (4.17)$$

ifadesi ile hesaplanır.

Ağırlıklı dört noktalı sonlu fark şeması,  $\theta$ 'nın sıfırdan büyük herhangi bir değeri için kapalı, sıfır değeri için ( $j$ 'inci zaman çizgisi üzerinde) açık şema halini alır. Ağırlık katsayısı ( $\theta$ ), 0.5 değerini aldığı zaman kutu şema  $\theta=1$  olması halinde ise ( $(j+1)$ 'inci zaman çizgisi üzerinde) kapalı veya geriye doğru fark şeması olarak adlandırılır.

Ağırlıklı dört noktalı kapalı sonlu fark şemasının sayısal özelliklerinin incelenmesiyle aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

- 1) Şema  $0.5 \leq \theta \leq 1.0$  değerleri için şartsız kararlıdır.
- 2) Şema  $\theta=0.5$  olduğu zaman en hassas,  $\theta=1$  olduğu zaman ise en az hassastır.
- 3) Sürtünme ihmal edildiği zaman,  $\theta=0.5$  değerinde elde edilen zayıf kararlılık durumu,  $\theta$  değerinin 0.55'e artırılması ile ortadan kaldırılabilir.  $\theta$ 'nın 0.5'den büyük değerlerinde hassasiyet kaybı minimuma yaklaşır.

FLDWAV model için  $\theta$  ağırlık faktörü kullanıcı tarafından belirlenebilmekle birlikte 0.55 ~ 0.60 arasında bir değer tavsiye edilir.

M noktasının yatay eksene göre gridin tam ortasında olduğu kabul edildiği için yatay eksen için ağırlık faktörüne gerek duyulmamıştır.

#### 4.3.3. Denklemlerin Sonlu Fark İfadeleri

Denklem (4.15) ve (4.17)'deki sonlu fark ifadeleri, (4.1) ve (4.2) denklemlerindeki türevlerin ve diğer değişkenlerin yerine yazılırsa aşağıdaki ağırlıklı dört noktalı kapalı sonlu fark denklemleri elde edilir:

Süreklilik:

$$\theta \left[ \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x_i} \right] - \theta q_i^{j+1} + (1-\theta) \left[ \frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x_i} \right] - (1-\theta) q_i^j + \left[ \frac{s_{coi}^{j+1} (A + A_0)_i^{j+1} + s_{coi}^{j+1} (A + A_0)_{i+1}^{j+1} - s_{coi}^j (A + A_0)_i^j - s_{coi}^j (A + A_0)_{i+1}^j}{2\Delta t_j} \right] = 0 \quad (4.18)$$

Momentum:

$$\begin{aligned}
 & \left[ \frac{(s_{m_i} Q_i)^{j+1} + (s_{m_i} Q_{i+1})^{j+1} - (s_{m_i} Q_i)^j - (s_{m_i} Q_{i+1})^j}{2\Delta t_j} \right] \\
 & + \theta \left[ \frac{(\beta Q^2 / A)_{i+1}^{j+1} - (\beta Q^2 / A)_i^{j+1}}{\Delta x_i} + g \bar{A}^{j+1} \left( \frac{h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}}{\Delta x_i} + \bar{S}_f^{j+1} + S_e^{j+1} + \bar{S}_1^{j+1} \right) + L_i^{j+1} + (W_f \bar{B})_i^{j+1} \right] \\
 & + (1-\theta) \left[ \frac{(\beta Q^2 / A)_{i+1}^j - (\beta Q^2 / A)_i^j}{\Delta x_i} + g \bar{A}^j \left( \frac{h_{i+1}^j - h_i^j}{\Delta x_i} + \bar{S}_f^j + S_e^j + \bar{S}_1^j \right) + L_i^j + (W_f \bar{B})_i^j \right] = 0 \quad (4.19)
 \end{aligned}$$

Burada,

$$\bar{A} = \frac{A_i + A_{i+1}}{2} \quad (4.20)$$

$$\bar{S}_f = \left[ \frac{n_i^2 \bar{Q} \bar{Q}}{\bar{A}^2 \bar{R}^{4/3}} \right] = \frac{\bar{Q} \bar{Q}}{\bar{K}^2} \quad (4.21)$$

$$\bar{Q} = \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \quad (4.22)$$

$$\bar{R} = \frac{\bar{A}}{\bar{B}} \text{ veya } \bar{R} = \frac{\bar{A}}{\bar{P}} \quad (4.23)$$

$$\bar{B} = \frac{B_i + B_{i+1}}{2} \quad (4.24)$$

$$\bar{K} = \frac{K_i + K_{i+1}}{2} \quad (4.25)$$

$$\bar{P} = \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \quad (4.26)$$

buradaki  $P_i$  ıslak çevredir ve ifadesi aşağıda görülmektedir:

$$P_{i_1} = B_{i_1} \quad (4.27)$$

$$P_{i_k} = P_{i_{k-1}} + 2 \left[ 0.25 (B_{i_k} - B_{i_{k-1}})^2 + (h_{i_k} - h_{i_{k-1}})^2 \right]^{1/2} \quad (4.28)$$

denklem (4.21) ve (4.23)'te kullanılan hidrolik yarıçap (R), genellikle A/B veya hidrolik derinlik (D) olarak kullanılır. Bu durum birçok akarsu kanalında  $A/B \cong A/P$  olduğu için uygundur. Dar ve derin kanallar ( $B < 10D$ ) için bu yaklaşım doğru değildir. Bu durumda hidrolik yarıçap  $R=A/P$  ile bulunur ve ıslak çevre (P), Denklem (4.27) ve (4.28) kullanılarak önceden belirlenen seviye ( $h_k$ )-genişlik ( $B_k$ ) tablosundan hesaplanır.  $\bar{S}_i$  terimi denklem (4.12)'te  $D = \bar{R}$ ,  $Q = \bar{Q}$  ve  $A = \bar{A}$  kullanılarak hesaplanır.

Değişkenlerin üzerindeki (-) işareti (i) ve (i+1)'inci ağ noktaları arasında  $\Delta x_i$  yatak uzunluğu boyunca belirli değişkenlerin ortalamasını ifade eder.

#### 4.3.4. Lineer Olmayan Denklem Takımının Sayısal Çözümü

(4.18) ve (4.19) denklemlerindeki j'inci zaman çizgisiyle birlikte düşünülen 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.  $g, \Delta x_i, \bar{B}_i, C_w, k_{ce}$  gibi terimler çözümden bağımsız olarak belirlenen ve bilinen büyüklüklerdir. j+1'inci zaman çizgisindeki  $A_i^{j+1}, A_{i+1}^{j+1}, B_i^{j+1}, B_{i+1}^{j+1}, S_{f_i}^{j+1}$  gibi terimler bilinmeyen olmalarına rağmen h ve Q'nun lineer veya lineer olmayan 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.

(4.18) ve (4.19) denklem takımında 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 (4.18) ve (4.19) denklemleri memba ( $i=1$ ) ve mansap ( $i=N$ ) sınırları arasında Şekil 4.4'te gösterilen (N-1) 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 seviyesinde bilinmeyen parametreler olan h ve Q cinsinden aşağıda görüldüğü gibi özetlenebilir.

|                                                                   |                                       |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| $UB(h_1^{j+1}, Q_1^{j+1}) = 0$                                    | memba sınır şartı                     |
| $C_1(h_1^{j+1}, Q_1^{j+1}, h_2^{j+1}, Q_2^{j+1}) = 0$             | birinci gridteki süreklilik denklemi  |
| $M_1(h_1^{j+1}, Q_1^{j+1}, h_2^{j+1}, Q_2^{j+1}) = 0$             | birinci gridteki momentum denklemi    |
| .....                                                             |                                       |
| .....                                                             |                                       |
| $C_i(h_i^{j+1}, Q_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}) = 0$     | i'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'inci gridteki momentum denklemi     |
| .....                                                             |                                       |
| .....                                                             |                                       |
| $C_{n-1}(h_{n-1}^{j+1}, Q_{n-1}^{j+1}, h_n^{j+1}, Q_n^{j+1}) = 0$ | n-1'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'inci gridteki momentum denklemi   |
| $DB(h_n^{j+1}, Q_n^{j+1}) = 0$                                    | mansap sınır şartı                    |

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 koyulması ile  $2N$  adet fark elde edilir. Newton-Raphson yöntemi bu farklar 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 (Denklem (4.29)). Lineer hale gelen sistem Gauss Eliminasyon yöntemi ile çözülebilmektedir. Her Newton Raphson iterasyonunda , her bir  $\Delta t$  zaman adımı için çözülmesi gereken lineer denklem sistemi denklem (4.30)'daki gibidir.

[illegible]

(4.30)

|   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                             |                                             |                                             |                                             |                                         |                                         |                  |                   |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------|-------------------|
|   | $\frac{\partial UB}{\partial h_1}$  | $\frac{\partial UB}{\partial Q_1}$  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                           | 0                                           | 0                                           | 0                                           | 0                                       | 0                                       | $\Delta h_1$     | -UB               |
|   | $\frac{\partial C_1}{\partial h_1}$ | $\frac{\partial C_1}{\partial Q_1}$ | $\frac{\partial C_1}{\partial h_2}$ | $\frac{\partial C_1}{\partial Q_2}$ | 0                                   | 0                                   | 0                                           | 0                                           | 0                                           | 0                                           | 0                                       | 0                                       | $\Delta Q_1$     | -C <sub>1</sub>   |
|   | $\frac{\partial M_1}{\partial h_1}$ | $\frac{\partial M_1}{\partial Q_1}$ | $\frac{\partial M_1}{\partial h_2}$ | $\frac{\partial M_1}{\partial Q_2}$ | 0                                   | 0                                   | 0                                           | 0                                           | 0                                           | 0                                           | 0                                       | 0                                       | $\Delta h_2$     | -M <sub>1</sub>   |
|   | 0                                   | 0                                   | $\frac{\partial C_2}{\partial h_2}$ | $\frac{\partial C_2}{\partial Q_2}$ | $\frac{\partial C_2}{\partial h_3}$ | $\frac{\partial C_2}{\partial Q_3}$ | $\frac{\partial C_2}{\partial h_2}$         | $\frac{\partial C_2}{\partial Q_2}$         | 0                                           | 0                                           | 0                                       | 0                                       | $\Delta Q_2$     | -C <sub>2</sub>   |
|   | 0                                   | 0                                   | $\frac{\partial M_2}{\partial h_2}$ | $\frac{\partial M_2}{\partial Q_2}$ | $\frac{\partial M_2}{\partial h_3}$ | $\frac{\partial M_2}{\partial Q_3}$ | $\frac{\partial M_2}{\partial h_2}$         | $\frac{\partial M_2}{\partial Q_2}$         | 0                                           | 0                                           | 0                                       | 0                                       | $\Delta h_3$     | -M <sub>2</sub>   |
|   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | $\frac{\partial C_3}{\partial h_3}$ | $\frac{\partial C_3}{\partial Q_3}$ | $\frac{\partial C_3}{\partial h_4}$         | $\frac{\partial C_3}{\partial Q_4}$         | 0                                           | 0                                           | 0                                       | 0                                       | $\Delta Q_3$     | -C <sub>3</sub>   |
|   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | $\frac{\partial M_3}{\partial h_3}$ | $\frac{\partial M_3}{\partial Q_3}$ | $\frac{\partial M_3}{\partial h_4}$         | $\frac{\partial M_3}{\partial Q_4}$         | 0                                           | 0                                           | 0                                       | 0                                       | $\Delta h_4$     | -M <sub>3</sub>   |
| . | .                                   | .                                   | .                                   | .                                   | .                                   | .                                   | .                                           | .                                           | .                                           | .                                           | .                                       | .                                       | .                | .                 |
| . | .                                   | .                                   | .                                   | .                                   | .                                   | .                                   | .                                           | .                                           | .                                           | .                                           | .                                       | .                                       | .                | .                 |
| 0 | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | $\frac{\partial C_{N-2}}{\partial h_{N-2}}$ | $\frac{\partial C_{N-2}}{\partial Q_{N-2}}$ | $\frac{\partial C_{N-2}}{\partial h_{N-1}}$ | $\frac{\partial C_{N-2}}{\partial Q_{N-1}}$ | 0                                       | 0                                       | $\Delta Q_{N-2}$ | -C <sub>N-2</sub> |
| 0 | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | $\frac{\partial M_{N-2}}{\partial h_{N-2}}$ | $\frac{\partial M_{N-2}}{\partial Q_{N-2}}$ | $\frac{\partial M_{N-2}}{\partial h_{N-1}}$ | $\frac{\partial M_{N-2}}{\partial Q_{N-1}}$ | 0                                       | 0                                       | $\Delta h_{N-1}$ | -M <sub>N-2</sub> |
| 0 | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | $\frac{\partial C_{N-1}}{\partial h_{N-1}}$ | $\frac{\partial C_{N-1}}{\partial Q_{N-1}}$ | $\frac{\partial C_{N-1}}{\partial h_N}$     | $\frac{\partial C_{N-1}}{\partial Q_N}$     | $\frac{\partial C_{N-1}}{\partial h_N}$ | $\frac{\partial C_{N-1}}{\partial Q_N}$ | $\Delta Q_{N-1}$ | -C <sub>N-1</sub> |
| 0 | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | $\frac{\partial M_{N-1}}{\partial h_{N-1}}$ | $\frac{\partial M_{N-1}}{\partial Q_{N-1}}$ | $\frac{\partial M_{N-1}}{\partial h_N}$     | $\frac{\partial M_{N-1}}{\partial Q_N}$     | $\frac{\partial M_{N-1}}{\partial h_N}$ | $\frac{\partial M_{N-1}}{\partial Q_N}$ | $\Delta h_N$     | -M <sub>N-1</sub> |
| 0 | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                           | 0                                           | $\frac{\partial DB}{\partial h_N}$          | $\frac{\partial DB}{\partial Q_N}$          | $\frac{\partial DB}{\partial h_N}$      | $\frac{\partial DB}{\partial Q_N}$      | $\Delta Q_N$     | -DB               |

**4.3.5. Başlangıç ve Sınır Şartları****4.3.5.1. Memba Sınır Şartları**

Saint Venant denklemlerinin çözülebilmesi için memba ve mansap sınır şartlarının bilinmesi gereklidir. Memba sınır şartı önceden belirlenmiş bir debi veya su yüzeyi hidrografi olabilir:

$$Q_1 = Q(t) \quad (4.31)$$

veya

$$h_1 = h(t) \quad (4.32)$$

Bu ifadelerde;

- $Q_1$  : 1. kesitteki (membaya en yakın kesit) debi,
- $Q(t)$  : herhangi bir t anında önceden belirlenmiş debi zaman serisini,
- $h_1$  : 1. kesitteki su yüzeyi seviyesi,
- $h(t)$  : herhangi bir t anında önceden belirlenmiş su yüzeyi seviyesi zaman serisini göstermektedir.

Hidrograf değerleri sabit veya değişken zaman aralıklarına sahip olabilir. Ara değerler önceden belirlenmiş debi-zaman veya su yüzeyi seviyesi-zaman tablolarından lineer interpolasyonla bulunur. Membadaki akım düzenli yani tüm zamanlarda sabit ise, hidrograftaki tüm debi ve su yüzeyi seviyeleri aynı değere sahiptir. Genellikle, memba değerinin sıfır olmaması gerekir. Ayrıca memba hidrografi, Saint Venant denklemlerinin çözüldüğü toplam zaman süresi için belirlenmelidir.

**4.3.5.2. Mansap Sınır Şartı**

Mansap sınırı öteleme mesafesinin en mansabında yerleştirilir. Mansap sınırındaki akım kritik altı (nehir rejimi) yani;

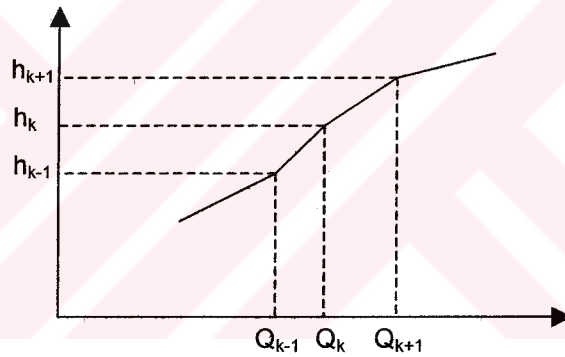
$$Fr_N = V_N / (gA_N / B_N)^{0.5} < 1 \quad (4.33)$$

olduğu zaman debi-derinlik yada derinlik-zaman arasındaki ilişki bilinmelidir. N en uçtaki mansap enkesitinin sıra sayısını gösterir. Mansap kesitinin fiziksel özelliklerine veya mevcut imkanlara bağlı olarak aşağıdaki altı mansap sınır şartından biri kullanılabilir.

1) Tek değerli anahtar eğrisi:

$$Q_N^{j+1} = Q(h) \quad (4.34)$$

$Q(h)$ : Q ve h arasında önceden belirlenmiş ilişkiyi gösterir.



Şekil 4.5. Tek değerli anahtar eğrisi

2) Türetilmiş dinamik kapalı anahtar eğrisi: Seviye ve debi arasındaki ilişki, sadece seviye ve debiye bağlı bir fonksiyon olmayıp sürtünme eğiminin de etkisindedir. Akım artarken su yüzeyi eğimi yatak eğiminden daha büyük olduğundan ve akım azalırken yatak taban eğiminden daha küçük olduğundan, yükselen ve alçalan hidrograflarda bir Q değerine iki seviye karşılık gelir ve genellikle hidrografın yükselen kolundaki su yüzeyi seviyesi alçalan kolundaki aynı debiye göre daha düşük olmaktadır (Şekil 4.6). Aynı debiye karşılık gelen iki su yüzeyi arasındaki maksimum fark su seviyesindeki düşüş hızıyla doğru, kanal yatak eğimiyle ters orantılıdır. Hidrografın pik değerine çok hızlı bir şekilde yükseldiği

baraj yıkılması taşkınlarında bu farkın büyük olması beklenir. Bir kapalı anahtar eğrisi için mansap sınır şartı Manning formülü kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Q_n^{j+1} = \frac{1}{n} A_N^{j+1} R_N^{j+1/3} S_{N-1}^{1/2} = K_N^{j+1} S_{N-1}^{1/2} \quad (4.35)$$

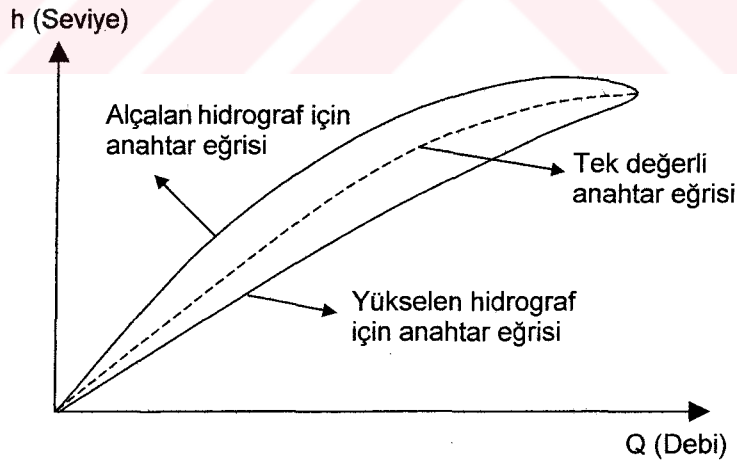
$$S_{N-1} = \frac{h_{n-1} - h_N}{\Delta x_{n-1}} + \frac{(Q'_N - Q_N)}{0.5g(A_N + A_{N-1})\Delta t} + \frac{(Q_{N-1}^2/A_{N-1} - Q_N^2/A_N)}{0.5g(A_N + A_{N-1})\Delta x_{N-1}} \quad (4.36)$$

veya

$$S_{N-1} = \frac{n_N^2 \overline{Q} \overline{Q}}{\overline{A} R^{4/3}} \quad (4.37)$$

$Q'_N$ ,  $t_{j+1}$  anındaki debidir ve denklemdeki diğer terimler j'inci  $(t-\Delta t)$  andadır.

$\overline{A}$ ,  $\overline{Q}$ ,  $\overline{R}$ , Denklem (4.20-4.23)'e göre N-1 mesafesi için ortalama değerlerdir.



Şekil 4.6. Kapalı anahtar eğrisi

- 3) Türetilmiş tek değerli anahtar eğrisi: Denklem (4.35) kullanılır fakat S yerine N'inci enkesit civarındaki kanal taban eğimi kullanılır.

- 4) Kritik akım anahtar eğrisi: Kısa, dik eğimlerin başlangıcında yada çağlayanlarda meydana gelir.

$$Q_n^{j+1} = \left[ g(A_N^{j+1})^3 / B_N^{j+1} \right]^{0.5} \quad (4.38)$$

- 5) Su (yüzeyi) seviyesi-zaman serileri:

$$h_N^{j+1} = h(t) \quad (4.39)$$

$h(t)$  N'inci enkesitte her bir  $t$  anında belirlenen su yüzeyi seviyesi zaman serilerini gösterir.

- 6) Debi-zaman serileri:

$$Q_N^{j+1} = Q(t) \quad (4.40)$$

$Q(t)$  N'inci enkesitte her bir  $t$  anında belirlenen debi-zaman serilerini ifade eder.

#### 4.3.5.3. Başlangıç Şartları

Saint-Venant değişken akım denklemlerini çözmek 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. Başlangıç şartları düzenli yada değişken akım durumunda olabilir. Değişken akım durumunda, her bir enkesitteki seviye ( $h_i$ ) ve debi ( $Q_i$ ) değerleri tahmin edilir. Düzenli akım durumunda, akımın düzenli, üniform olmayan olduğu kabulü ile her bir enkesitteki akım başlangıçta aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$Q_i = Q_{i-1} + q_{i-1} \Delta x_{i-1} \quad (4.41)$$

Bu denklemde;

$Q_1$  : Memba sınırında  $t=0$  anında bilinen düzenli akım debisi.

$q_i$  : Akarsu boyunca  $\Delta x$  aralıkları ile ayrılan enkesitler arasındaki mevcut akarsu kollarından  $t=0$  anında giren yanal akım.

$t=0$  anında düzenli akım debisinin genellikle sıfır olmadığı kabul edilir ve yeterli bir taban akımı bırakılır. Başlangıçtaki kuru mansap kanalı Saint-Venant denklemlerinin sonlu farklarla çözümünde hatalara yol açabilir. Akarsu kollarından giren yanal akımlar beklenen maksimum taşkınla karşılaştırıldığında oldukça küçük bir değere sahipse ihmal edilebilir.

Ayrıca düzenli akımda  $t=0$  anındaki su yüzeyi seviyeleri ( $h_i$ ) hesaplanmalıdır. Öteleme mesafesi boyunca çeşitli yerlerde  $h_i$  değerleri bilinir (baraj arkasındaki rezervuar su seviyesi gibi). Eğer akım nehir rejiminde (kritik altı) ise, diğer su yüzeyi seviyeleri ( $h_i$ ) için aşağıdaki kabarma eğrisi denkleminin çözümü Newton-Raphson metodu kullanılarak yapılır.

$$\left(Q/A^2\right)_{i+1} - \left(Q/A^2\right)_i + g\bar{A}_i(h_{i+1} - h_i + \Delta x_i \bar{S}_f + \Delta x_i S_i) = 0 \quad (4.42)$$

(4.42) denklemi, denklem (4.2)'deki momentum ifadesinin düzenli akım için ilk terimi sıfır alınarak ve  $L$  ve  $W_f$  değerlerinin sıfır olduğu kabul edilerek bulunan basitleştirilmiş halidir. Su yüzeyi seviyelerini belirlemek için yapılan hesaplamalar memba doğrultusunda ilerler ( $i=N, N-1, \dots, 3, 2, 1$ ). Başlangıç su yüzeyi seviyesi ( $h_N$ ),  $t=0$  anında önceden belirlenen mansap sınır şartından ( $Q_N, h_N$ ) elde edilebilir. Başlangıç su yüzeyi yüksekliğini ( $h_N$ ) hesaplamak için aşağıdaki sabit enerji çizgisi eğimini ( $S$ ) içeren Manning denklemi kullanılır.

$$Q_N = \frac{1}{n} A_N R_N^{2/3} S^{1/2} = K_N S^{1/2} \quad (4.43)$$

Denklem (4.43), Newton-Raphson metodu kullanılarak çözülür. Enerji çizgisi eğimi ( $S$ ), mansaba en yakın  $\Delta x_{N-1}$  akarsu yatağı kesimindeki taban eğimine ( $S_0$ )

yaklaşık olarak eşit alınır. Kullanılacak yatak taban eğiminin ( $S_0$ ) negatif değerler almasından dolayı oluşacak sayısal hataları önlemek için aşağıdaki şartın sağlanması gerekir:

$$S_0 = (h_{N-1} - h_N) / \Delta x_{N-1} > 0 \quad (4.44)$$

Akım sel rejiminde (kritik üstü) ise,  $h$  değerleri membadan mansaba doğru hesaplanır ( $i = 1, 2, 3, \dots, N-1, N$ ). Bu durumda  $h_{i+1}$ 'i hesaplamak için (4.42) denklemi kullanılır. Başlangıç su seviyesi ( $h_1$ ), (4.43) denkleminde  $N$  yerine 1 indisi ve (4.44) denkleminde  $N$  yerine 2 indisi yazılarak hesaplanır.

#### 4.3.6. Mesafe Adımlarının Seçimi

Saint-Venant denklemlerinin sonlu farklarla çözümünde, hesaplamalarda güçlüklerle karşılaşmamak ve kabul edilebilir nümerik hassaslık elde edebilmek için mesafe adımlarının ( $\Delta x_i$ ) uygun bir biçimde seçilmesi büyük önem taşır. Mesafe adımları çok büyük seçildiği zaman sonuçtaki kesme hatası (kısmi diferansiyel Saint-Venant denklemlerinin (Denk. (4.1-4.2)) gerçek çözümü ve Saint-Venant denklemlerinin sonlu farklar çözümü (Denk. 4.18-4.19) arasındaki fark) o kadar büyük olabilir ki,  $h_i$  ve  $Q_i$  değerlerinin hesaplanan çözümü tamamen gerçek dışı çıkabilir. Örneğin hesaplanan akım derinlikleri negatif değerler alabilir. Ayrıca büyük yakınsama hataları, hesaplanan hidrografların yükselme ve alçalma eğrilerinde gerçek dışı değerler göstererek çarpıklıklara sebep olabilir. Hesaplamalarda kullanılan mesafe adımlarının seçiminde üç kriter mevcuttur.

Birinci kriter, genişleyen/daralan enkesitlerle ilgilidir. Dört noktalı kapalı sonlu farklar şemasının herhangi bir adımında aşağıdaki kriterin sağlanması gerekir:

$$0.635 < A_{i+1}/A_i < 1.576 \quad (4.45)$$

Bu sınır değerlerden 0.635 değeri 0.70 ve 1.576 değeri 2.00 olarak arttırılabilir.

Hesaplardaki mesafe adımları ( $\Delta x_i$ ), denklem (11.1) deki daralma/genişleme kriterini sağlayacak şekilde aşağıdaki işlem sırası ile yapılabilir.

$$\Delta x_i = L/M \quad (4.46)$$

$$M = 1 + 2|A_i + A_{i+1}|/\hat{A} \quad (4.47)$$

$$A_i > A_{i+1} \text{ daralma ise} \quad \hat{A} = A_{i+1} \quad (4.48)$$

$$A_i < A_{i+1} \text{ genişleme ise} \quad \hat{A} = A_i \quad (4.49)$$

Bu denklemlerde;

- L : Belirlenen enkesitler arasındaki mesafe,
- M : Mesafe adımı içerisinde hesaplarda kullanılacak mesafe adımlarının yeni sayısını gösterir ve en küçük tam sayıya yuvarlatılır,
- A : Akarsu yatağı enkesit alanıdır.

İkinci kriter aşağıdaki ifade ile verilmiştir ve Courant şartı olarak bilinir.

$$\Delta x_{m_i} \leq \hat{c} T_r / M \quad (4.50)$$

Bu denklemlerde;

- $\Delta x_{m_i}$  : Hesaplarda kullanılacak mesafe adımının maksimum değeri,
- $\hat{c}$  : Kinematik dalga hızı,
- $T_r$  : Ötelenen hidrografın yükselme süresi (Şekil 4.7’de gösterildiği gibi debinin belirgin olarak yükselmeye başladığı ve pik debi arasındaki zaman aralığı).
- M : Katsayı olup  $5 \leq M \leq 40$  arasındadır. M=20 alınabilir.

Bir akarsu yada vadi içinde, baraj yıkılması sonucu oluşan taşkınları da içeren değişken akımların birçoğu için kinematik ( $\hat{c}$ ), yaklaşık olarak aşağıdaki bağıntı ile bulunabilir.

$$\bar{c} \cong 0.68 K_w V \quad (4.51)$$

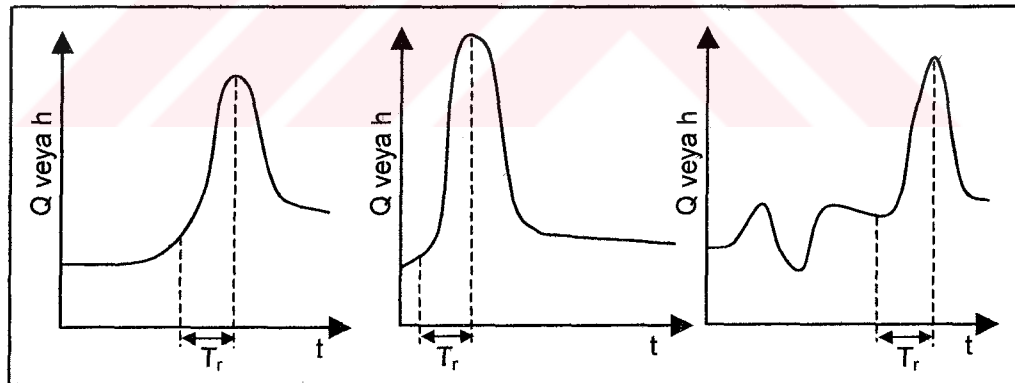
Burada  $V$  Manning denkleminden hesaplanır,  $K_w$  doğal kanalların birçoğu için yaklaşık olarak 1.4 alınabilir veya daha hassas olarak aşağıdaki ifade ile bulunabilir:

$$K_w = 5/3 - 2/3 A (dB/dy) / B^2 \quad (4.52)$$

Ayrıca kinematik dalga hızı ( $\bar{c}$ ), aşağıdaki ifade ile de bulunabilir:

$$\bar{c} \cong 2S_0^{1/2} \quad (4.53)$$

$S_0$  akarsu yatağı taban eğimidir. Kinematik dalga hızı ( $\bar{c}$ ); kanal taban eğimi, hidrolik pürüzlülük ve pik debi değerlerinin mesafeye bağlı olmasından dolayı akarsu boyunca değişmektedir. Bu nedenle  $\Delta x_m$  akarsu boyunca sabit olmayabilir.



Şekil 4.7. Farklı hidrograflar için yükselme zamanı

Hesaplarda kullanılacak mesafe adımlarının seçiminde üçüncü kriter, akarsu yatağı taban eğimindeki ( $S_0$ ) önemli değişikliklerle ilgilidir (Fread,1988). Akarsu yatağının taban eğiminin aniden değiştiği yerlerde, ikinci kriterle elde edilen değerin  $1/5 \sim 1/2$ 'si kadar daha küçük mesafe adımları Denklem (4.50) ile belirlenir. Ayrıca akım rejiminin kritik altı akımdan kritik üstü akıma geçtiği veya tersi yerlerde de

mesafe adımları ( $\Delta x_i$ ) küçültülmelidir. Hesaplarda kullanılacak mesafe adımları, aşağıdaki yaklaşımlara göre hesaplanabilir:

$$S_{0_i} > 0.0057 \text{ ve } S_{0_i}/S_{0_{i+1}} > 2 \text{ ise,}$$

$$\Delta x_i = 0.5(S_{0_{i+1}}/S_{0_i}) \quad (4.54)$$

$$S_{0_i} < 0.0057 \text{ ve } S_{0_i}/S_{0_{i+1}} > 2 \text{ ise,}$$

$$\Delta x_i = 0.5(S_{0_i}/S_{0_{i+1}}) \quad (4.55)$$

Taban eğiminin ani olarak değiştiği yerlerde mesafe adımlarının ( $\Delta x_i$ ) çok büyük seçilmesi, Saint-Venant denklemlerinin çözümünde sayısal hatalara neden olmakla birlikte, başlangıç su yüzeyi yüksekliklerini elde etmekte kullanılan (4.42) denkleminin çözümünde de hatalara yol açar.

Bu kriterlere göre seçilen mesafe adımı değerlerine her durumda güvenilmemelidir. Olağan dışı veya kompleks uygulamalarda doğru sonuçlar elde edilmesi hesaplama adımının mantıklı seçilmesine bağlıdır.

#### 4.3.7. Zaman Adımlarının Seçimi

Hesaplarda kullanılan zaman adımlarının ( $\Delta t$ ) seçimi, mesafe adımlarının ( $\Delta x_i$ ) seçimi kadar büyük önem taşır. Zaman adımının doğru olarak seçilmesi, Saint-Venant denklemlerinin sonlu fark yaklaşımı ile çözümünde yakınsama güçlüğünden dolayı sayısal hataların meydana gelmesini önler. Ayrıca zaman adımlarının çok büyük seçilmesi halinde, baraj gövdesi üzerinde oluşan bir yarıktan çıkan akıma ait hidrograf doğru bir biçimde elde edilemez. Örneğin zaman adımları çok büyük seçilmesi, hidrografın maksimum değerinin atlanmasına neden olabilir. Yakınsama hatalarının olmaması ve hidrografın pik değerinin doğru bir şekilde bulunması için aşağıdaki kriterler kullanılır:

- 1) Seçilen zaman adımı  $\Delta t_j$ , belirlenen hidrografın yükselme süresi yada gedigin oluşum zamanına ( $\tau$ ) eşit olarak bölünebilmelidir.

2) Hidrografın yükselme süresi ( $T_r$ ) veya gedik oluşum süresi ( $\tau$ ),  $6 \leq M' \leq 40$  olmak üzere bir ( $M'$ ) katsayısına bölünür. Genellikle 20 değeri yakınsama hatalarını en aza indirmek için yeterince küçük zaman adımlarını üretecek kadar yeterli bir büyüklüğe sahiptir.

Hesaplarda kullanılacak zaman adımını belirlemek için aşağıdaki ifade kullanılır:

$$\Delta t_j = T_r / M' \quad (4.56)$$

Burada;  $j$  indisi birden başlayarak hesaplamalar süresince kullanılan zaman çizgilerinin toplam sayısına kadar olan belirli zaman çizgilerini,  $T_r$  belirlenen hidrografın yükselme zamanını gösterir ve  $M'=20$  alınabilir. Bu denklem gedik oluşumunun başladığı ana kadar kullanılır. Bundan sonra zaman adımı aşağıdaki ifade ile bulunur:

$$\Delta t_j = \tau / M' \quad (4.57)$$

Burada  $\tau$  gedik oluşum zamanı ve  $M'=20$  uygun bir değerdir fakat zaman adımı seçiminde (4.56) ve (4.57) bağıntıları uygun  $M'$  değeriyle kullanılabilir. Bununla birlikte çoğunlukla hidrografın yükselme zamanı yıkılma zamanına yaklaşık eşit olmaktadır.

Genel olarak küçük zaman adımlarında daha iyi yakınsama olur ve sayısal hataların olma şansı azalır. Bununla birlikte daha küçük zaman adımları daha küçük mesafe adımları gerektirdiğinden, bu durum hesap adımını ve zamanını önemli ölçüde artırır.

#### 4.3.8. Manning Pürüzlülük Katsayısının ( $n$ ) Belirlenmesi

Pürüzlülük katsayısı olarak bilinen Manning  $n$  değeri, akarsu yatağını oluşturan malzemenin cinsi, nehir kıyısındaki bitki örtüsü ve engeller, çevirme

etkileri (bend effects), dolaşma-girdap kayıpları (circulation eddy losses)'ından dolayı akıma gelen direnci tanımlamak için kullanılır.

Bu yüzden pürüzlülük katsayısı olarak bilinen  $n$  değerinin seçimi kıyı ve yatak malzemelerinin, akarsuda bulunan engellerin, nehir kıyısındaki düzensizliklerin, özellikle de bitki örtüsünün etkisini yansıtması gerekir. Manning  $n$  değeri akımın büyüklüğü ile değişir. Akım artarken taşkın yatağının daha fazla kısımları su altında kaldığından, bu seviyelerde bulunan bitki örtüsü akımın pürüzlülük değerinde bir artışa neden olur. Taşkın yatağındaki bitki örtüsündeki farklılık ve dağılımlarındaki düzensizlikten dolayı pürüzlülük değerleri akım derinliği ve hızının artmasıyla değişir. Bununla birlikte zamana bağlı koşullarda aynı akım için taşkın yatağının pürüzlülük değerinde değişimler olabilir. Örnek olarak bitki örtüsü miktarını etkileyen mevsim değişimleri (yapraklar ve otların yazın olup kışın olmaması), akarsudan kum taşınması, kanal düzeltmeleri, döşeme malzemesi kaplanması gibi insan etkileri sayılabilir.

Ne yazık ki Manning  $n$  değerlerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar yağış ve kar erimesi akışlarından kaynaklanan taşkınlarla sınırlıdır. Bununla birlikte baraj yıkılması sonucu oluşan taşkınlarda kullanılacak  $n$  değerleriyle ilgili bilgiler oldukça azdır. Normal taşkınlardan daha fazla büyüklüğe sahip baraj yıkılması taşkınları daha büyük hızlara neden olur ve daha önce hiç sel basmamış taşkın yatağı kısımları su altında kalır. Aynı zamanda baraj yıkılması taşkınları akışlardan oluşmuş taşkınlara göre daha büyük miktarda enkaz yaratma ve taşıma yeteneğine sahiptir (kökünden sökülmüş ağaçlar, yıkılmış evler, taşıtlar vb.). Bu yüzden Manning  $n$  değerlerinin sık sık baraj yıkılması akımlarıyla oluşan ilave enerji kayıplarını hesaplamak için artırılması gerekir. Enkaz etkilerinin büyüklüğü, taşınabilen enkazın bulunuşuna ve miktarına, enkazın gerisine etkili olduğu yerdeki doğal veya insan yapımı daralmaların varlığına ve akıma geçici engellerin oluşumuna bağlıdır.

Manning  $n$  seçimindeki belirsizlik ve  $n$  değerinin sonuçtaki hatası baraj yıkılması taşkınları için aşağıdaki nedenlerden dolayı önemli olabilir:

- 1) Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkınlar oldukça büyüktür ve daha önce hiç sel basmamış taşkın yatağı kısımlarında akıma neden olurlar. Bu yüzden daha önceki

taşkınlardan bilinen pürüzlülük değerlerinden faydalanmadan  $n$  değerleri seçilmesi gereklidir.

- 2) Su altında kalan alanlar, normal taşkınlarla karşılaşılacak tipik pürüzlülük etkileri dışında ağaçlar, evler gibi daha fazla akım direnci içerirler.
- 3) Taşkın yatağındaki akım, kıvrımlı akarsu kanalını kısa yollarla geçer.
- 4) Gelen taşkınla yerinden kaldırılan ve taşınan ağaçlar, evler, araçlar gibi malzemelerin oluşturduğu enkaz akarsu boyunca sürekli engellere ve tıkanmalara neden olarak belirlenemeyen ilave akım dirençleri oluşturabilir.
- 5) Baraj arkasında birikmiş ve yıkılma süresince salıverilen katı madde taşkın yatağında yığıldığı zaman akım direncini etkileyebilir.

Taşınan enkaz etkileriyle  $n$  değeri değişebilir. Manning  $n$  değerindeki belirsizlik büyük olabilmesine rağmen bu etki su yüzeyi seviyelerinin hesaplanması süresince büyük ölçüde azaltılabilir. Örneğin  $n$  değerindeki %20'lik bir değişim Teton baraj yıkılması taşkınında taşkın derinliklerinde %5 ten daha az bir değişimle sonuçlanmıştır (Fread,1988).

Baraj yıkılması modellemesi için uygun pürüzlülük katsayılarının seçimi bir belirsizliğe sahiptir. Akarsu modellemesi için ana yatak ve taşkın yatağı pürüzlülük değerleri için literatürde önerilen tablolar mevcuttur (CHOW, 1986). Bununla birlikte baraj yıkılması koşulları altındaki akımlar için güvenilir pürüzlülük değerleri bilinmemektedir.

$n$  için aşağıdaki arazi ve çalışma bilgilerine dayanmayan tecrübeyle elde edilmiş basit değerler kullanılabilir (Morris ve Galland, 1998):

Çizelge 4.2. Pürüzlülük değerleri

| Vadi Bölgesi             | Pürüzlülük Değerleri ( $n$ ) |
|--------------------------|------------------------------|
| Açık Çim Arazi           | 0.03                         |
| Pürüzlü Tarım Arazisi    | 0.05                         |
| Yoğun Bitki Örtülü Arazi | 0.07                         |
| Sık Orman                | 0.1                          |

## 5. UYGULAMA VE TARTIŞMA

### 5.1. NWS FLDWAV Baraj Yıkılması Analiz Programının Tanıtılması

Bu çalışmada baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın hidrografının mansaptaki akarsu boyunca ötelenmesi için National Weather Service (A.B.D.) tarafından geliştirilmiş olan NWS FLDWAV (1998) adlı bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu model, en bilinen baraj yıkılması modeli olan NWS DAMBRK ve NWS DWOPER modellerinin yerini almıştır. Bu iki modelin özellikleri NWS FLDWAV programında birleştirilmiş ve bunun yanısıra ilave hidrolik özellikler de eklenmiştir. Program test aşamasında olup gelişimini sürdürmektedir.

Modelin teorisi 4. bölümde anlatılan değişken akımı ifade eden bir boyutlu Saint-Venant denklemlerine dayanmaktadır. Öteleme mesafesinin memba ve mansap uç noktalarında uygun dış sınır denklemleri kullanılır. Ayrıca öteleme mesafesindeki köprü, baraj gibi yapılardan dolayı akımın hızlı değiştiği yerlerde iç sınır denklemlerinin kullanılmasına olanak tanır. Sistemi idare eden lineer olmayan denklemler takımı iteratif, ağırlıklı dört noktalı kapalı sonlu farklar yöntemiyle çözülür. Akım tek bir akarsu üzerinde olabildiği gibi akarsu kollarının da dahil edildiği bir akarsu sistemi içerisinde olabilir. Akım kritik altı, kritik üstü veya mesafe ve zamana bağlı olarak ikisinin kombinasyonu olabilir. Ayrıca serbest yüzeyli akımdan basınçlı akıma geçilebilir. Akım özellikleri Newtonien akım veya Newtonien olmayan akım prensiplerine uyabilir Kritik olan mesafe ve zaman adımlarının otomatik olarak seçilmesi için bir seçenek sağlar. Akımın büyüklüğü, yeri veya su yüzeyi seviyesiyle değişen pürüzlülük değerlerinin (Manning n) etkili ayarlanmasını sağlar. Ötelenecek hidrograf verileri kullanıcı tarafından zaman serileri olarak girilebilir veya gedik parametrelerinin (boyutu, şekli, gelişme zamanı) belirlenmesiyle model tarafından üretilebilir. Bunlarla birlikte; zamana bağlı olarak gövde üstünden su aşması veya borulanma şeklinde gedik oluşumu, zamana bağlı geçit kontrol değerleri, farklı dolusavak akımları, kullanıcının belirlediği farklı öteleme tekniği (dinamik kapalı/açık, difüzyon, hidrolojik), mansaptaki başka barajların olası varlığı ve gelen taşkınla bu barajlardaki gedik oluşumu, köprü gibi engeller, akarsu kollarından giren akımlar, akarsu kıvrımlılığı, akarsu boyunca ve akarsu kollarında mevcut seddeler,

gelgit etkilerinin muhtemel varlığı da modelde düşünülmüştür. NWS FLDWAV aynı zamanda belirlenen memba hidrografları kullanarak çamurlu ve enkaz içeren akımları veya yağış/kar erimesi taşkınlarını ötelemek içinde kullanılabilir.

Model fortran diliyle hazırlanmıştır ve modele girilen parametreler bir dizi şeklinde data dosyası hazırlanarak yapılır. Ayrıca java diliyle yazılmış FLDINP adlı programla data dosyası daha kolay bir şekilde hazırlanmaktadır. Programda akarsu boyunca seçilen enkesitler farklı seviyelere karşılık gelen üst genişlik belirlenerek tanımlanır ve en fazla 12 seviye-üst genişlik çiftine izin verilir. Akarsu boyunca yüksek su yüzü profilleri, taşkın varış zamanları, belirlenen kesitlerdeki debi veya su yüzeyi seviyesi hidrografları standart model çıktısıdır. Modele girilen bilgiler ve çıktılar İngiliz veya metrik (SI) birim sisteminde olabilir.

## 5.2. Uygulamada Kullanılan Veriler

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. İnşaatına 1967 yılında başlanılmış ve 1972 yılında tamamlanmıştır. 55000 nüfuslu kozan ilçesi barajın mansabında bulunmaktadır ve barajın yıkılması halinde ilçe risk altındadır.

Baraj yıkılması olayında hesaplamalar, baraj gövdesi üzerinde meydana gelen bir gedğin gelişmesi sonucu bu açıklıktan çıkan akımın belirlenerek mansapta

ötelenmesi esasına dayanır. Zamana bağlı olarak gelişen gedik boyut ve şekli, baraj yüksekliği, rezervuara giren akım ve rezervuarın depolama özellikleri gedikten çıkan akımın büyüklüğünü etkilemektedir. Bununla birlikte akımın ötelenmesi sırasında akarsu vadisinin depolama özellikleri ve pürüzlülük değerleri de akım üzerinde bir değişime neden olmaktadır. NWS FLDWAV modelde bu hesaplamaların yapılabilmesi için baraj yerine ve mansabına ait bazı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Baraj yıkılması olayında kullanılan bu veriler üç grupta toplanabilir:

- a) Baraj ile ilgili bilgiler
- b) Baraj mansabındaki akarsu kesimine ait bilgiler
- c) Baraj gövdesinde meydana geldiği kabul edilen gedik ile ilgili bilgiler

#### 5.2.1. Baraja Ait Bilgiler:

Baraja ait bilgiler DSİ'den temin edilmiş olup liste halinde aşağıda verilmiştir. Bunlarla birlikte baraja ait kot-alan, kot-hacim eğrileri ve muhtemel maksimum taşkın hidrografi sırasıyla Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te gösterilmektedir.

Baraj

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Tipi                        | : Kil çekirdekli kaya dolgu |
| Gövde Hacmi                 | : 1 680 000 m <sup>3</sup>  |
| Kret Kotu                   | : 280.50 m                  |
| Kret uzunluğu               | : 290.09 m                  |
| Temelden yükseklik          | : 82.50 m                   |
| Talvegten yükseklik         | : 78.50 m                   |
| Temel jeolojik yapısı       | : Kalker                    |
| Maksimum su kotu            | : 278.00 m                  |
| Normal su kotu              | : 274 m                     |
| Normal su kotunda göl hacmi | : 163.00 hm <sup>3</sup>    |
| Normal su kotunda göl alanı | : 8.02 km <sup>2</sup>      |

Sulama alanı : 10 220 ha

Talveg Kotu : 202 m

Dolusavak

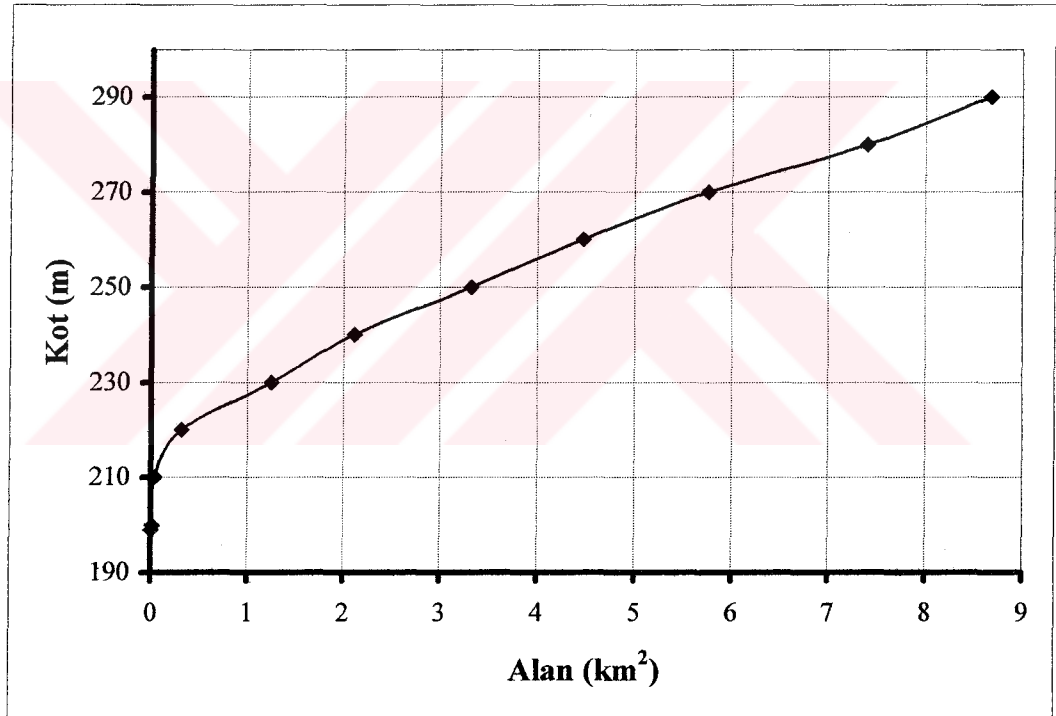
Tipi : yandan alıslı

Kret kotu : 274.00 m

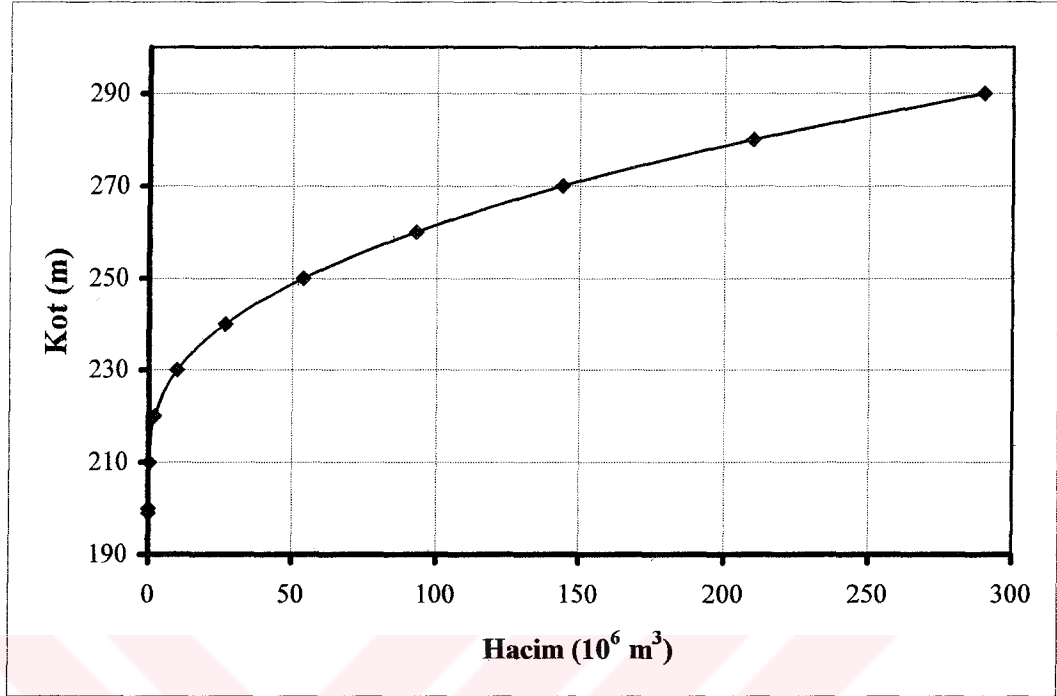
Kret uzunluğu : 70.00 m

Proje taşkın piki : 1650 m<sup>3</sup>/sn

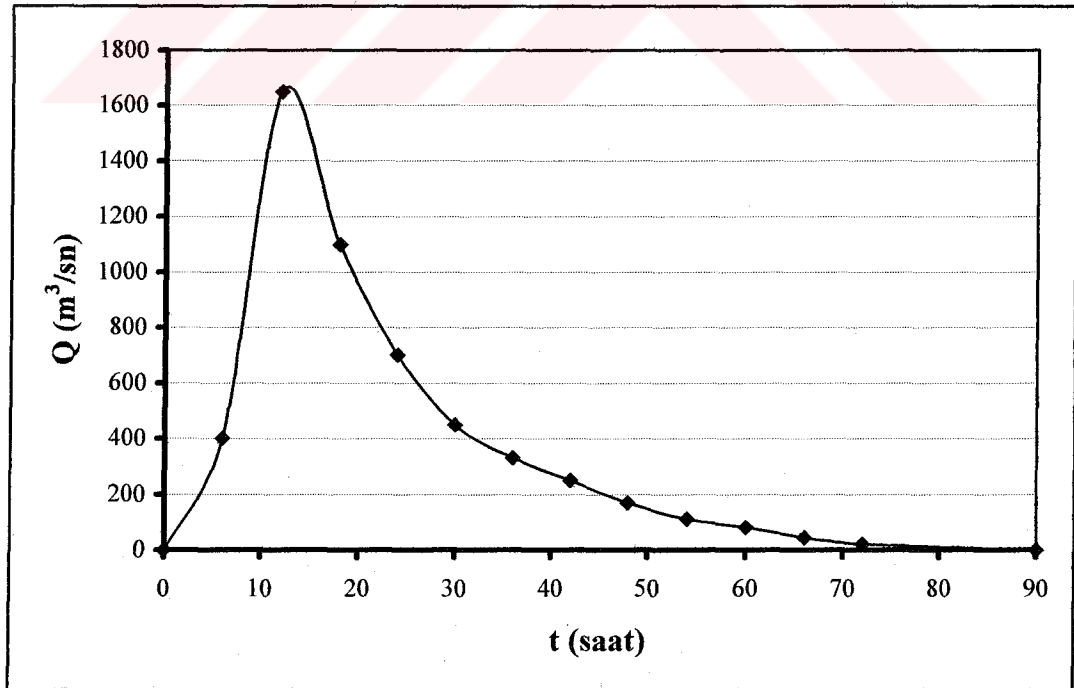
Maksimum deşarj : 1250 m<sup>3</sup>/sn



Şekil 5.1. Kot-alan eğrisi



Şekil 5.2. Kot-hacim eğrisi



Şekil 5.3. Muhtemel maksimum taşkın hidrografi

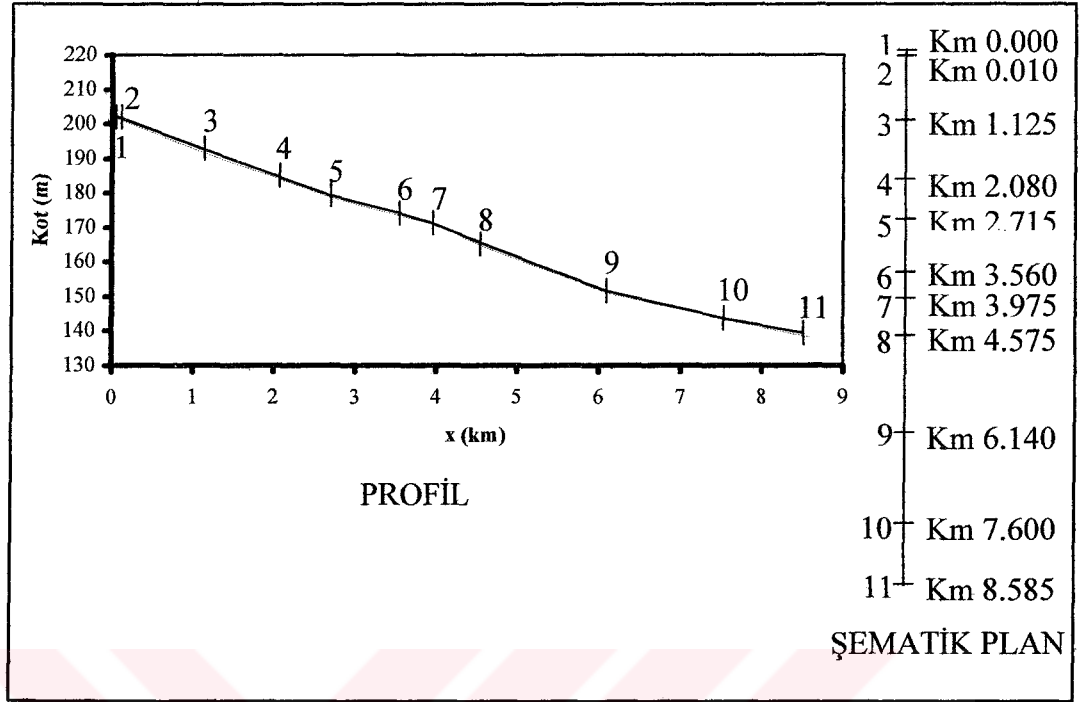
### 5.2.2. Baraj Mansabındaki Akarsu Kesimine Ait Bilgiler

Baraj aksına ve mansabına ait enkesitler 1/25000'lik harita kullanılarak belirlenmiştir. Enkesitlerin akarsu taban eğimi ve pürüzlülük değerinde önemli değişimlerin olduğu ayrıca ötelemenin yapılacağı vadi boyunca önemli daralma-genişlemelerin meydana geldiği ve akım güzergahında keskin kıvrımların olduğu yerlerde seçilmiştir.

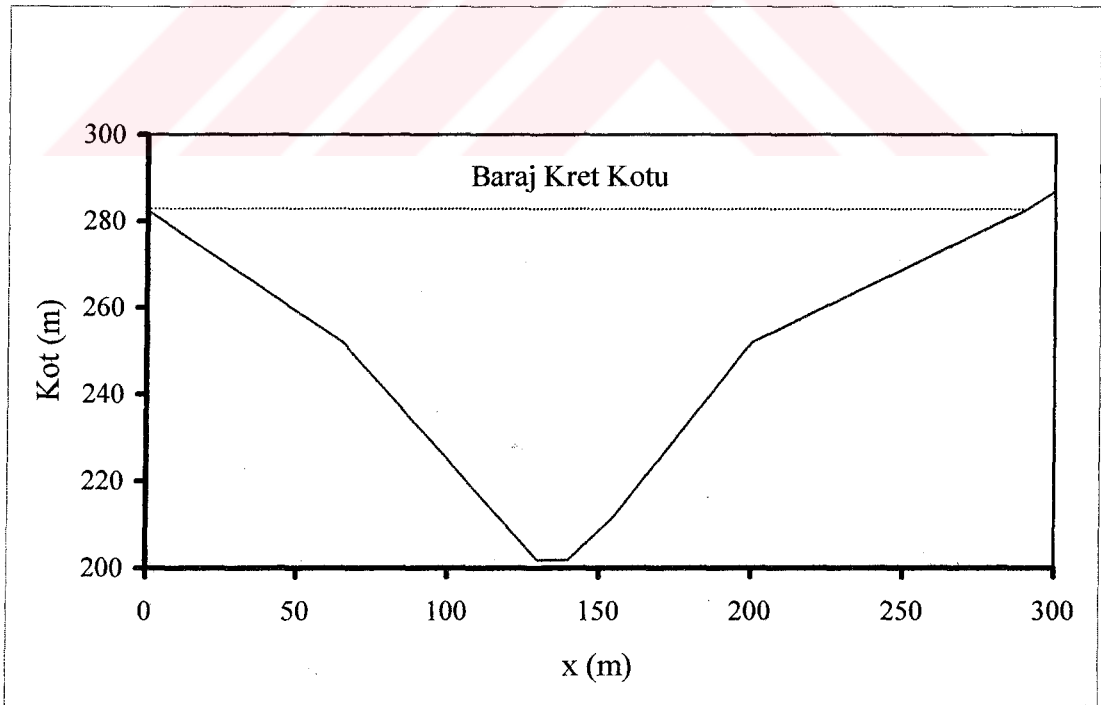
Uygulamada aralarındaki mesafe 0.415 ile 1.565 km arasında değişen 11 kesit kullanılmıştır. İlk iki kesit baraj aksında ve son kesit baraja 8.585 km uzaklıktadır. Her enkesit 9 tane seviye (HS) ve buna karşılık gelen kanal üst genişliği (BS) çifti ile tanımlanmıştır. Genellikle 4-12 arasında üst genişlik ve bunlara ait kotların alınması enkesitin yeterli hassaslıkta tanımlanmasını sağlamaktadır. Kesitler belirlenirken akarsu boyunca her noktada başlangıçtaki su derinliğinin 1 m olduğu kabul edilmiştir.

Kesit yerlerinin profili ile şematik planı Şekil 5.4'te ve baraj aksındaki enkesit ise Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Diğer kesitlere ait geometrik özellikler ise Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Baraj yıkılması olayında uygun pürüzlülük katsayılarının seçimi bir belirsizliğe sahiptir. Kozan Barajı ve mansabında yapılan arazi incelemesinde baraj mansabındaki akarsu kesiminin çam ormanı ile kaplı olduğu ve yaklaşık 6 km'den sonrasında ise arazinin turuncgillerle kaplı olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle Manning (n) pürüzlülük değerleri bölüm 4.3.8'deki yaklaşım düşünülerek 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 arttırılmasıyla yansıtılmaya çalışılmıştır. Ayrıca Manning n değeri doğru olarak belirlenemediğinden pürüzlülük değerindeki değişimin pik debiler üzerindeki etkisi uygulamalar kısmında incelenmiştir.



Şekil 5.4. Akarsu profili ve kesit yerlerinin şematik planı



Şekil 5.5. Baraj aksına ait enkesit

Çizelge 5.1. Kullanılan enkesitlere ait seviye-üst genişlik değerleri

| Baraj aksı |     |          |     |          |      |          |     |
|------------|-----|----------|-----|----------|------|----------|-----|
| km 0.000   |     | km 0.010 |     | km 1.125 |      | km 2.080 |     |
| HS         | BS  | HS       | BS  | HS       | BS   | HS       | BS  |
| 280        | 280 | 280      | 280 | 270      | 315  | 265      | 385 |
| 270        | 245 | 270      | 245 | 260      | 270  | 255      | 348 |
| 260        | 200 | 260      | 200 | 250      | 220  | 245      | 310 |
| 250        | 155 | 250      | 155 | 240      | 190  | 235      | 260 |
| 240        | 125 | 240      | 125 | 230      | 155  | 225      | 205 |
| 230        | 100 | 230      | 100 | 220      | 115  | 215      | 155 |
| 220        | 70  | 220      | 70  | 210      | 83   | 205      | 105 |
| 210        | 40  | 210      | 40  | 200      | 50   | 195      | 66  |
| 200        | 0   | 200      | 0   | 191.7    | 0    | 184      | 0   |
|            |     |          |     |          |      |          |     |
| km 2.715   |     | km 3.560 |     | km 3.975 |      | km 4.575 |     |
| HS         | BS  | HS       | BS  | HS       | BS   | HS       | BS  |
| 260        | 340 | 255      | 365 | 250      | 610  | 245      | 522 |
| 250        | 325 | 245      | 330 | 240      | 525  | 235      | 471 |
| 240        | 280 | 235      | 290 | 230      | 415  | 225      | 420 |
| 230        | 230 | 225      | 248 | 220      | 315  | 215      | 368 |
| 220        | 180 | 215      | 200 | 210      | 260  | 205      | 310 |
| 210        | 140 | 205      | 150 | 200      | 200  | 195      | 248 |
| 200        | 100 | 195      | 100 | 190      | 140  | 185      | 192 |
| 190        | 65  | 185      | 62  | 180      | 85   | 175      | 125 |
| 178.5      | 0   | 173.4    | 0   | 170.8    | 0    | 164.6    | 0   |
|            |     |          |     |          |      |          |     |
| km 6.140   |     | km 7.600 |     | km 8.585 |      |          |     |
| HS         | BS  | HS       | BS  | HS       | BS   |          |     |
| 230        | 990 | 220      | 825 | 215      | 1380 |          |     |
| 220        | 840 | 210      | 770 | 205      | 1295 |          |     |
| 210        | 750 | 200      | 710 | 195      | 1120 |          |     |
| 200        | 660 | 190      | 650 | 185      | 955  |          |     |
| 190        | 565 | 180      | 550 | 175      | 820  |          |     |
| 180        | 470 | 170      | 430 | 165      | 610  |          |     |
| 170        | 385 | 160      | 250 | 155      | 398  |          |     |
| 160        | 305 | 150      | 115 | 145      | 168  |          |     |
| 150.7      | 0   | 143.1    | 0   | 138.2    | 0    |          |     |

**5.2.3. Baraj Gövdesinde Meydana Geldiği Kabul Edilen Gedik İle İlgili Bilgiler**

Baraj gövdesi üzerinde meydana gelecek bir gedik büyüklüğü ve oluşum zamanı gedikten çıkan akımın büyüklüğü üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Bununla birlikte baraj yıkılması olayında en büyük belirsizlik gedik parametrelerinin belirlenmesidir. Yani barajın yıkılması halinde oluşacak gedik hangi hızda gelişeceği, son boyutlarının ne olacağı ve yıkılmanın ne kadar sürede tamamlanacağı önceden kestirilememektedir. Gedik parametrelerinin belirlenmesi için geliştirilen matematiksel modeller de toprak dolgu barajlara uygulanabilmektedir. Bunun dışında Çizelge 3.1 de gösterilen ve geçmişte meydana gelen baraj yıkılma olaylarından elde edilen bilgilerin istatistik analizinden geliştirilmiş ve gedik parametrelerini doğrudan hesaplayan bazı tahmini formüller mevcuttur. Bu çalışmada gedik parametrelerinin farklı değerleri için çeşitli analizler yapılarak bu belirsizlik azaltılmaya çalışılmış fakat fikir vermesi bakımından yıkılma zamanları, ortalama gedik genişlikleri bu formüllerle hesaplanmıştır. Ayrıca gedikten çıkan pik akımlarda bu formüllerle belirlenmiştir. Rezervuardaki su seviyesi normal su kotunda (274 m) ve maksimum su kotunda (278 m) olduğu kabul edilerek iki farklı yükleme durumu için hesaplanmıştır. Hesaplamalarda yıkılmanın talveg kotuna kadar olduğu kabul edilmiştir. Von Thun ve Gillette (1990)'nin geliştirdiği formüldeki  $C_b$  katsayısı rezervuar büyük depolama kapasitesine sahip olduğu için olduğu için 54.9 alınmıştır. Bulunan değerlerden ortalama gedik genişlikleri Çizelge 5.2, yıkılma zamanları Çizelge 5.3 ve gedikten çıkan pik debiler Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.2'ye bakıldığında ortalama gedik genişliklerinin 175 m ile 245 m arasında değiştiği görülmektedir. Kozan barajı aksına ait kesitin ortalama genişliği ise 125 m'dir. Dikkat edilirse hesaplanan ortalama gedik genişlikleri baraj kesitine ait ortalama genişlikten daha fazladır. Bunun nedeni Kozan barajının dar bir vadi üzerine inşa edilmiş olması söylenebilir. Tahmini denklemler geçmişte yıkılan barajlara ait bilgilere dayanmaktadır. Bu bilgilerin çoğu toprak dolgu barajlara aittir ve toprak dolgu barajların daha geniş vadiler üzerine inşa edildiği düşünülürse tahmini denklemlerin gerçeği tam yansıtmadığı söylenebilir. Ancak bu bilgiler gedik parametreleri hakkında yaklaşık bir fikir verebilirler. Uygulamalarda gedik

genişliğinin farklı değerleri için analizler yapılmış fakat genel olarak gedik genişliği 75 m olarak alınmıştır

Çizelge 5.3'e bakılırsa yıkılma sürelerinin 0.67 saat ile 3.26 saat arasında değiştiği görülmektedir. Hesaplamalarda yıkılmanın borulanma nedeni ile olduğu kabul edilmiştir. Çoğunlukla borulanma yıkılmasında yıkılma süresi üstten aşma nedeni ile meydana gelen yıkımlara göre daha fazla olacaktır. Uygulamalarda yıkılma sürelerinin farklı değerleri için analizler yapılmış fakat genel olarak ortalama bir değer olarak yıkılma süresi 2 saat alınmıştır. Yıkılmanın borulanma nedeni ile olduğu kabul edildiği için hesaplamalarda gedik kenar eğimi  $z = 0$  kullanılmıştır.

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 zamanı (barajın yıkılma zamanı) ne olacağı belirsizdir. İlave olarak baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgalarının ötelenmesi sırasında kullanılacak pürüzlülük değerleri de tam olarak bilinmemektedir. Bazı kabuller yapılarak ve farklı yıkılma senaryoları ile yükleme durumları dikkate alınarak bu belirsizlikler azaltılabilir. Bu nedenle tez kapsamında gedik parametrelerinin ve pürüzlülüğün farklı değerleri için çeşitli analizler yapılmıştır.

Kozan Barajına ait dolusavak kapasitesi incelendiğinde muhtemel maksimum taşkını rahatlıkla deşarj edebilecek yeterliliğe sahip olduğu görülmüştür. Aslında bu dolusavak boyutlarının muhtemel maksimum taşkın hidrografına göre planlanmasının doğal bir sonucudur. Bununla beraber taşkınların kaynağını sadece yağış suları oluşturmakta ve 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 baraj yüksekliğinin  $1/2$ 'si ile  $2/3$ 'ü arasında bir noktada başladığı söylenmektedir (Molu,1995). Yapılan analizlerde daha kritik olduğu için borulanma merkezi barajın orta noktası olan 239 m olarak seçilmiş ve aşınmanın talveg seviyesinde 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.

Çizelge 5.2. Ortalama gedik genişlikleri

| Kullanılan Formül                      | Ortalama gedik genişliği ( $\bar{b}$ ), metre |                             |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
|                                        | Normal su seviyesi                            | Maksimum su seviyesi        |
| USBR, 1988                             | 216                                           | 228                         |
| Von Thun ve Gilette, 1990              | 235                                           | 245                         |
| Froehlich, 1995b                       | 175                                           | 186                         |
| MacDonald ve Langridge-Monopolis, 1984 | $V_{er} = 1\,320\,000\,m^3$                   | $V_{er} = 1\,623\,000\,m^3$ |

Çizelge 5.3. Yıkılma süreleri

| Kullanılan Formül                      | Yıkılma süresi ( $\tau$ ), saat |                      |
|----------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
|                                        | Normal su seviyesi              | Maksimum su seviyesi |
| MacDonald ve Langridge-Monopolis, 1984 | 3.02                            | 3.26                 |
| Von Thun ve Gilette, 1990              | 1.69                            | 1.77                 |
| Von Thun ve Gilette, 1990              | 0.67                            | 0.64                 |
| Froehlich, 1995b                       | 1.13                            | 1.25                 |
| USBR, 1988                             | 2.38                            | 2.51                 |

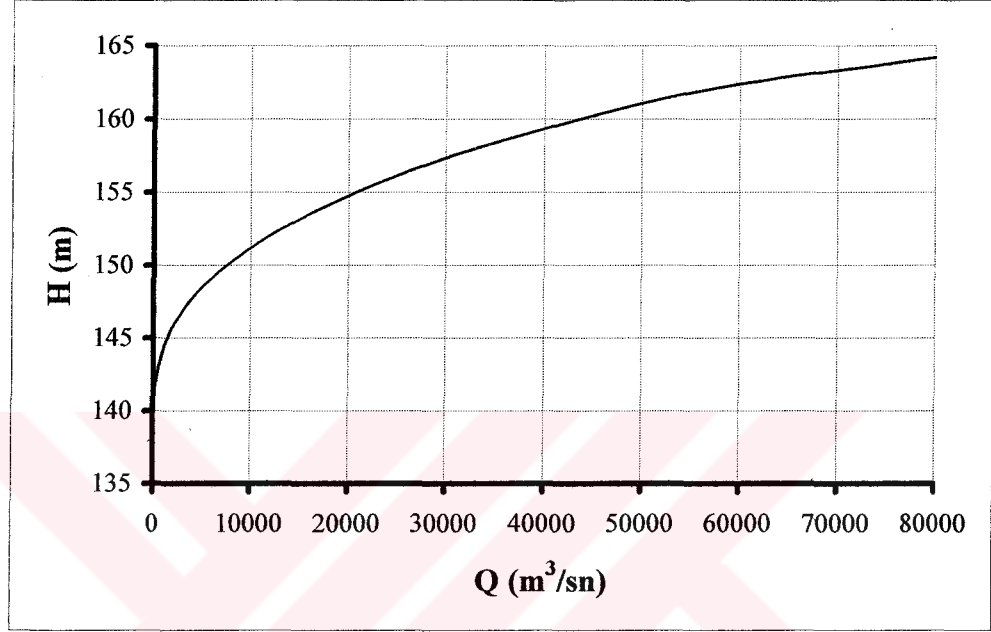
Çizelge 5.4. Gedikten çıkan pik akımlar

| Kullanılan Formül                                          | Çıkan pik akımlar ( $Q_p$ ), $m^3/sn$ |                      |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
|                                                            | Normal su seviyesi                    | Maksimum su seviyesi |
| Kirkpatrick, 1977                                          | 56 360                                | 64 480               |
| SCS, 1981                                                  | 45 300                                | 50 100               |
| Hagen, 1982                                                | 61 100                                | 67 100               |
| Reclamation, 1982                                          | 52 130                                | 57 615               |
| Singh ve Snorrason, 1984,<br>$Q_p=f(h_d)$                  | 51 100                                | 51 100               |
| Singh ve Snorrason, 1984<br>$Q_p=f(S)$                     | 12850                                 | 14050                |
| MacDonald ve Langridge-<br>Monopolis, 1984, $Q_p=f(S)$     | 16 250                                | 17 950               |
| MacDonald ve Langridge-<br>Monopolis, 1984 (zarf denklemi) | 52 970                                | 58 500               |
| Costa, 1985, $Q_p=f(S)$                                    | 53 820                                | 59 900               |
| Costa, 1985, $Q_p=f(S, h_d)$                               | 17 250                                | 18 670               |
| Costa, 1985, $Q_p=f(S, h_d)$ (zarf<br>denklemi)            | 73 750                                | 80 100               |
| Evans, 1986                                                | 16 210                                | 17 900               |
| Froehlich, 1995a                                           | 32 280                                | 36 500               |

Gedikten çıkan pik akımlara göre muhtemel maksimum taşkın hidrografının pik değeri oldukça küçük olduğu için ihmal edilmiştir Buna karşın daha kritik olduğu için su seviyesinin maksimum su kotunda olduğu kabul edilmiştir.

Memba sınır şartı olarak dip savaktan çıkan ortalama  $10 m^3/sn$ 'lik sabit debi alınmıştır. Başlangıç şartları bu değer kullanılarak program tarafından hesaplanmaktadır. Bu değer dip savak anahtar eğrisinden alınmıştır. Mansap sınır

şartı olarak türetilmiş dinamik kapalı anahtar eğrisi seçilmiştir ve program tarafından son kesite ait bilgiler kullanılarak hesaplanmaktadır. Şekil 5.6'da mansap sınır şartı olarak kullanılan anahtar eğrisi verilmiştir.



Şekil 5.6. Mansap sınır şartı olarak kullanılan son kesite ait anahtar eğrisi

Hesaplamalarda güçlüklerle karşılaşmamak ve kabul edilebilir nümerik hassaslık elde edebilmek için mesafe adımlarının ( $\Delta x$ ) ve aynı zamanda yakınsama hatalarıyla karşılaşmamak için zaman adımının ( $\Delta t$ ) uygun seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Öteleme mesafesinin kısa olması ve akarsu taban eğimlerinin ani olarak değişmesinden dolayı mesafe adımları ( $\Delta x$ ) hesaplamalarda çoğunlukla 0.05 km olarak alınmıştır. zaman adımları ( $\Delta t$ ) belirlenirken mesafe adımlarının kısa olmasından dolayı bölüm 4.3.7'de anlatıldığı gibi yıkılma zamanlarına bağlı olarak  $\Delta t_j = \tau/M'$  ifadesi kullanılmış ve  $M' = 40$  alınmıştır. Örneğin 2 saatlik bir yıkılma zamanı için  $\Delta t = 0.05$  saat olmaktadır. Ayrıca Courant şartı olarak bilinen Denklem (4.48) dikkatle incelendiğinde zaman adımları ve mesafe adımlarının birbiriyle ilişkili olduğu görülmektedir. Bu ilişki dikkate alınarak bazı analizlerde yakınsama

hataları meydana gelmesinden dolayı zaman adımlarının küçültülmesi gerektiği için mesafe adımları da azaltılmıştır.

Akarsu taban eğiminin oldukça fazla olması ve taban eğimlerindeki ani değişimler nedeni ile öteleme mesafesi boyunca akım rejimi karışık akım seçilmiştir. Ayrıca pürüzlülük, yıkılma zamanı, gedik genişliği etkileri incelenirken farklı değerler için öteleme mesafesinde akım rejimleri değiştiği için bu seçenek kullanılmıştır. Bunların dışında 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, gedik oluşum hızları ve pürüzlülük değerleri için ilk ve son kesitteki hidrograflar, su seviyesi değişimleri, pik debiye ulaşma süreleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı yıkılma zamanları ve pürüzlülük değerleri için su yüzü profilleri çıkarılmıştır. Aksi belirtilmedikçe hesaplamalarda kullanılan parametrelerden yıkılma zamanı  $\tau = 2$  saat, gedik tabanının son genişliği  $b=75$  m, gedik oluşum hızı  $\rho = 2$ , ve pürüzlülük değeri 9. kesite kadar  $n=0.08$  sonrası için  $n=0.06$  alınmıştır. Bunlarla birlikte gedik kenar eğimi  $z=0$ , borulanmanın başladığı kot 239 m, başlangıçta rezervuardaki su seviyesinin 278 m olduğu ve aşınmanın 202 m kotunda sonlandığı kabul edilmiştir.

### 5.3. Sayısal Uygulamalar

#### 5.3.1. Gedik Oluşum (Yıkılma) Süresinin Etkisi

Gedik oluşum süresi (yıkılma süresi), baraj gövdesi üzerinde gediğin oluşmaya başladığı andan, son boyutlarına erişinceye kadar geçen süre olarak tanımlanır. Gedik oluşum süresi, meydana gelen gediğin oluşum hızını etkileyen bir parametredir. Gedik oluşum hızı da gedikten çıkan taşkın hidrografının şeklini etkilemektedir. Bununla birlikte gedik oluşum süresi yıkılma analizinde oldukça önemli olmasına rağmen hassas bir biçimde belirlenmesi en zor parametredir. Bu nedenle uygulamalarda yıkılma süresi için minimum, ortalama ve maksimum değer tespit etmek mantıklı bir yaklaşım olacaktır.

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 olduğunun kabul edilmesidir. Diğer parametrelerin etkisi araştırılırken ortalama bir değer olan  $\tau = 2$  saatlik yıkılma süresi seçilmiştir. Bunun dışında baraj ve mansap akarsu kesimi ile ilgili hesaplarda kullanılan diğer bilgiler bölüm 5.2’de verilen değerlerle aynıdır.

Farklı yıkılma süreleri için gedikten çıkan pik debi ve mansaptaki diğer kesitlerdeki pik debi değerleri ( $Q_p$ ) ile pik debiye erişme süreleri ( $t_p$ ) Çizelge 5.5’te verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında gedik oluşum süresinin 2 saatten 1 saate düşmesi durumunda gedikten çıkan pik debi değerinde %30.22’lik bir artış elde edilirken, bu artış öteleme mesafesi sonunda %22.20’ye gerilemektedir. Aynı şekilde gedik oluşum süresinin 2 saatten 4 saate çıkması halinde gedikten çıkan pik debi değerinde %32.81’lik bir düşüş gözlenirken öteleme mesafesinin sonunda (8.585 km) bu fark %31.63’e düşmektedir. Öteleme mesafesinin başında ve sonundaki pik debiler karşılaştırıldığında 1 saatlik gedik oluşum süresi için pik debi değerindeki düşüş %9.08 iken 2 saatlik gedik oluşum süresi için %3.11 ve 4 saatlik gedik oluşum süresi için %1.42 olmaktadır. Gedik oluşum süresindeki değişimin taşkın pik değeri üzerindeki etkisinin barajdan uzaklaştıkça azaldığı ve pik debi değerindeki en büyük düşüşün en küçük yıkılma süresi için oluştuğu söylenebilir.

Yıkılma süresi ile pik debiye ulaşma süreleri arasındaki ilişki incelendiğinde  $\tau = 1$  saat için gedikten çıkan hidrografın pik debiye ulaşma süresi yıkılma süresinin %2'si kadar daha erken olurken  $\tau = 4$  saat için bu oran %13 olmaktadır. Buradan yıkılma süreleri kısa olduğunda ( $\tau < 1$  saat) gedikten çıkan taşkın hidrografının pik debiye erişme süresinin yıkılma süresine eşit olduğu ve yıkılma süresi arttıkça pik debilerin yıkılma süresine göre daha erken meydana geldiği söylenebilir.

Gedik oluşum süresinin 2 saatten 1 saate düşmesi halinde pik debiye ulaşma süresinde %47.37'lik bir düşüş gözlenirken bu düşüş öteleme mesafesi sonunda %43.69'a gerilemektedir. Gedik oluşum süresinin 2 saatten 4 saate çıkması durumunda pik debiye ulaşma süresinde %84.74'lük bir artış olurken öteleme mesafesi sonunda bu artış %79.13'e düşmektedir. Gedik oluşum süresinin pik debiye ulaşma süresine etkisi incelendiğinde mansaba doğru ilerledikçe bu etkinin azaldığı söylenebilir.

Çizelge 5.5. Farklı gedik oluşum süreleri için çeşitli kesitlerdeki pik debiler ve pik debiye erişme süreleri

| Kesit No | Mesafe (km) | $\tau = 1$ (saat) |                            | $\tau = 2$ (saat) |                            | $\tau = 4$ (saat) |                            |
|----------|-------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
|          |             | $t_p$ (saat)      | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) | $t_p$ (saat)      | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) | $t_p$ (saat)      | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) |
| 1        | 0.000       | 0.98              | 64390                      | 1.88              | 49447                      | 3.48              | 33222                      |
| 2        | 0.010       | 0.98              | 64390                      | 1.88              | 49447                      | 3.48              | 33222                      |
| 3        | 1.125       | 1.00              | 63780                      | 1.90              | 49292                      | 3.51              | 33167                      |
| 4        | 2.080       | 1.02              | 62723                      | 1.92              | 49042                      | 3.53              | 33085                      |
| 5        | 2.715       | 1.03              | 62139                      | 1.94              | 48920                      | 3.54              | 33039                      |
| 6        | 3.560       | 1.04              | 61727                      | 1.96              | 48849                      | 3.57              | 33020                      |
| 7        | 3.975       | 1.05              | 61656                      | 1.96              | 48831                      | 3.57              | 33043                      |
| 8        | 4.575       | 1.06              | 61413                      | 1.97              | 48783                      | 3.57              | 33016                      |
| 9        | 6.140       | 1.09              | 60181                      | 2.00              | 48447                      | 3.62              | 32911                      |
| 10       | 7.600       | 1.14              | 58963                      | 2.04              | 48051                      | 3.66              | 32786                      |
| 11       | 8.585       | 1.16              | 58542                      | 2.06              | 47907                      | 3.69              | 32752                      |

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’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.

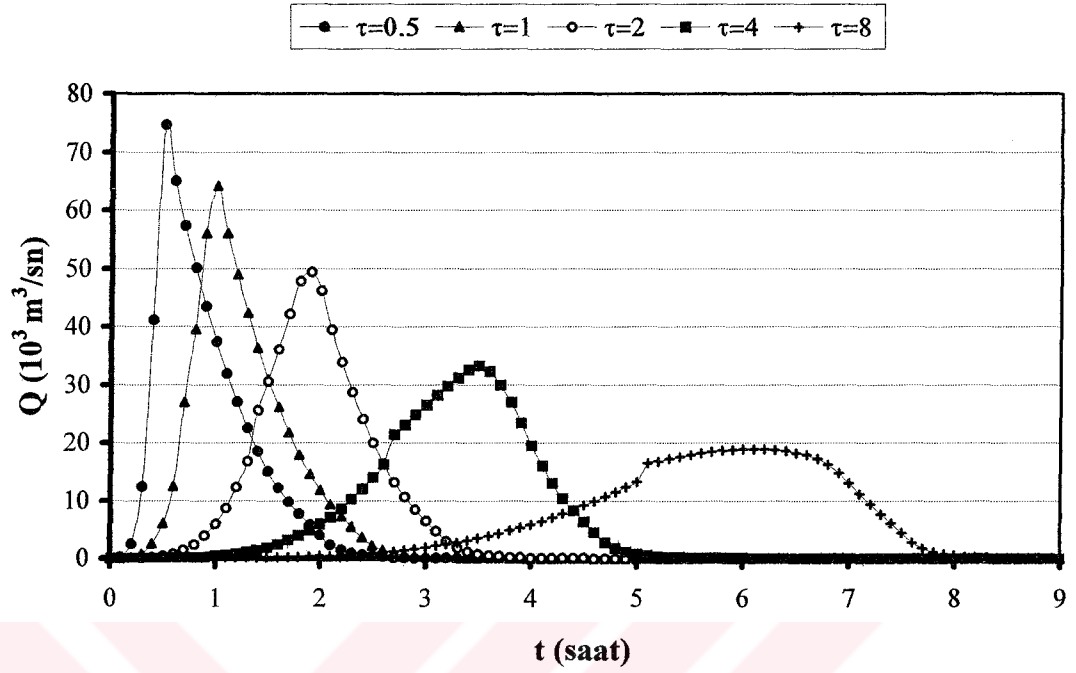
Şekil 5.9 farklı yıkılma süreleri için baraj aksındaki su seviyesinin zamanla değişimini göstermektedir. Bu değişim aynı zamanda baraj gölündeki su yüzeyi seviyesindeki değişimi ifade etmektedir. Dikkat edilirse su seviyesindeki değişimin hemen başlamadığı ve gedik oluşum süresi arttıkça su seviyesindeki 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 5.10 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.  $\tau = 0.5$  ve  $8$  saatlik gedik oluşum süreleri için maksimum seviyeleri 162.2 m kotu ile 154.46 m’dir. Diğer gedik oluşum sürelerine ait maksimum su seviyeleri bu iki değer arasında değişim göstermektedir. 0.5 saatlik yıkılma süresi için su seviyesi değişiminin daha hızlı olduğu ve yıkılma süresi arttıkça su seviyesi eğrisinin yayvanlaştığı Şekil 5.10’da görülmektedir.

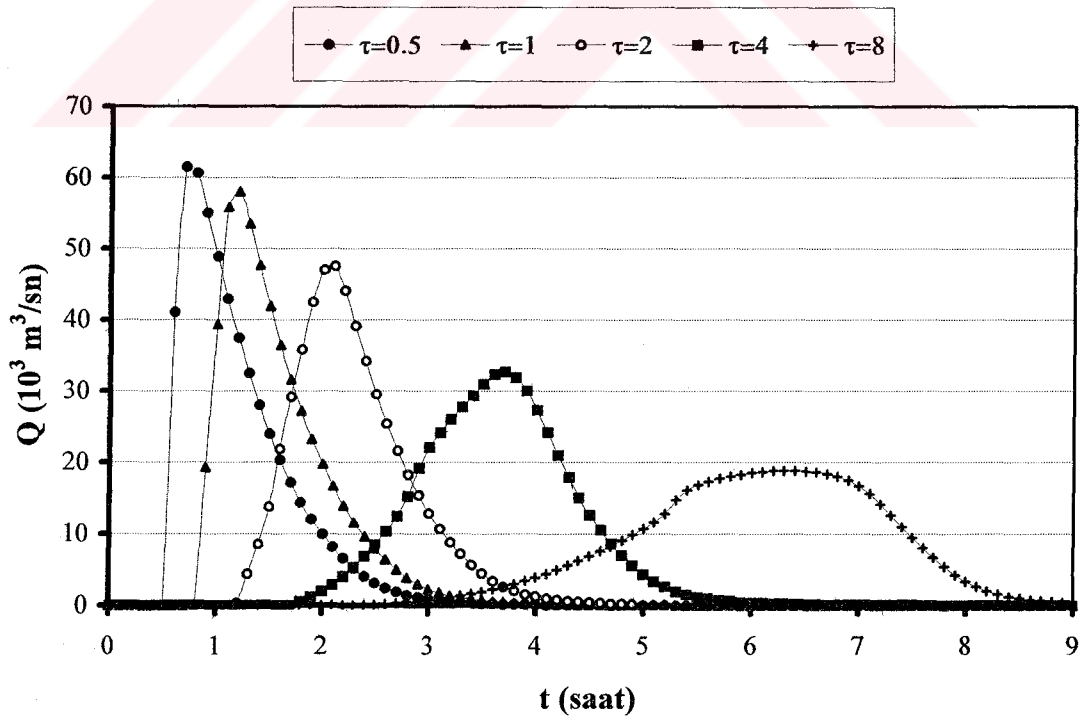
Şekil 5.11’de farklı gedik oluşum süreleri için maksimum su seviyesi profilleri çizilmiştir. Su yüzü profillerinin bir paralellik içinde olduğu görülmektedir. En yüksek su seviyeleri minimum yıkılma süresi için olmaktadır.

$\tau = 2$  saatlik yıkılma süresi için pik debinin mesafeyle değişimi Şekil 5.12’de, pik debiye ulaşma sürelerinin mesafeyle değişimi de Şekil 5.13’te verilmiştir. Öteleme mesafesi sonunda pik debi değerinde %3.11’lik bir düşüş olmaktadır. İlk ve son kesitteki pik debiye ulaşma süreleri arasında 0.18 saatlik bir fark vardır. Yani ilk kesitte pik debiye ulaşıldıktan 10.8 dakika sonra son kesitte pik debi meydana gelecektir. Pik debinin ve pik debiye ulaşma sürelerinin mesafeyle değişimi karşılaştırıldığında şekil benzerliği yönünden birbirinin tersi olduğu göze çarpmaktadır.

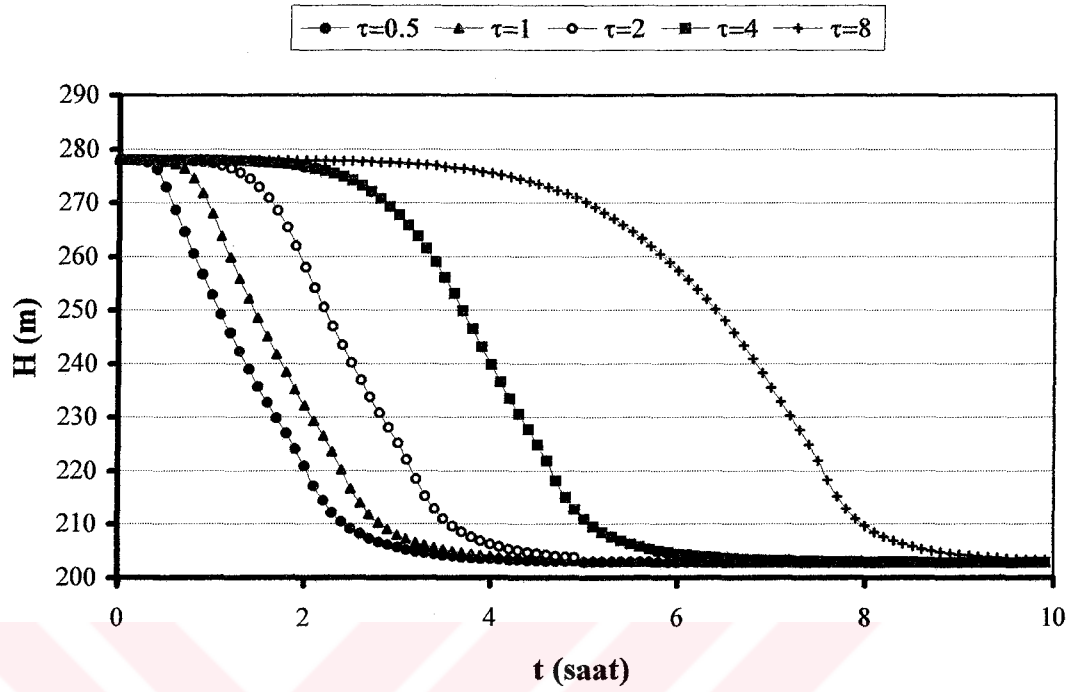
Şekil 5.14’te öteleme mesafesinin başında ve sonundaki taşkın hidrografları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekle bakıldığında hidrografın zamana göre bir miktar ötelenerek pik debi değerinin düştüğü ve çok az yayvanlaştığı görülebilir. Hidrograflar arasındaki farkın küçük olması öteleme mesafesinin kısa ve dar olması, akarsu boyunca biriktirme hacimlerinin fazla olmayışı, su kayıplarının ihmal edilmesi ile açıklanabilir.



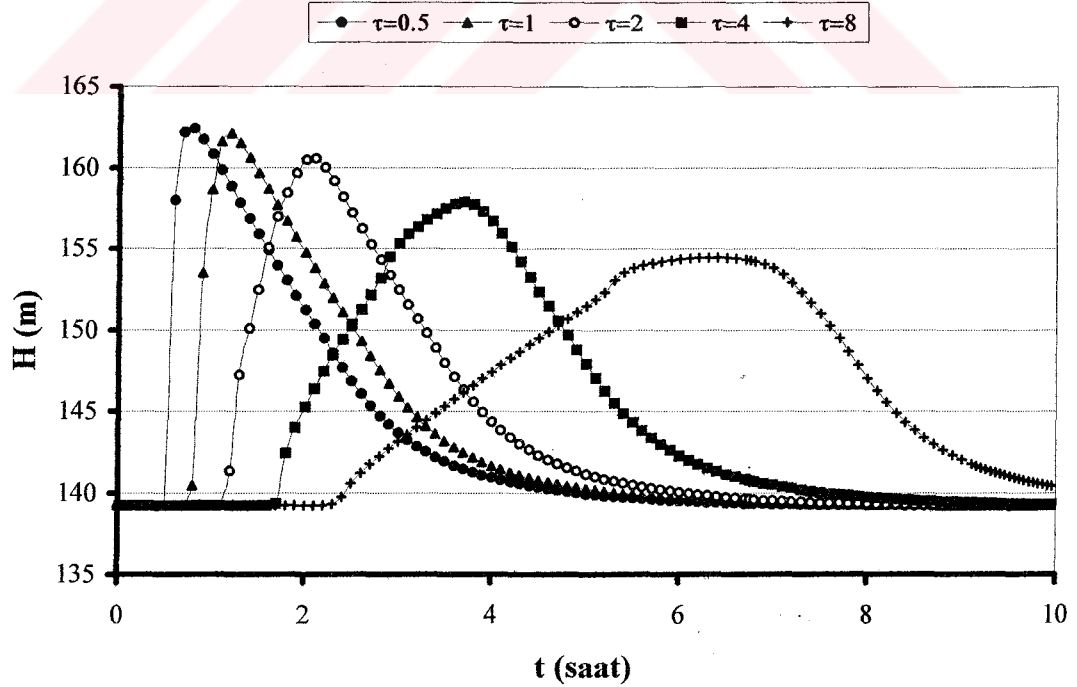
Şekil 5.7. Farklı gedik oluşum süreleri için baraj aksındaki gedikten çıkan taşkın hidrografları



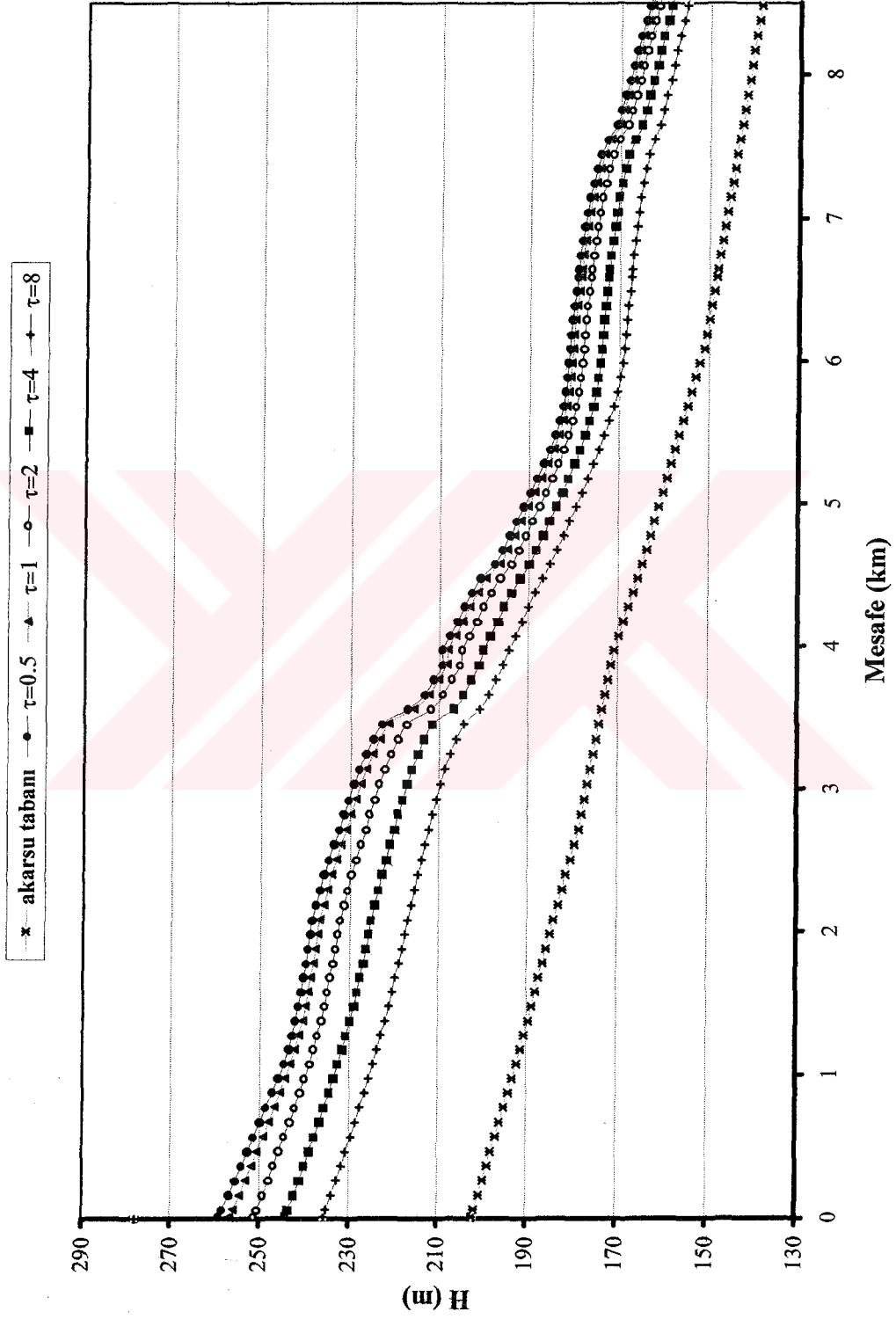
Şekil 5.8. Farklı gedik oluşum süreleri için 8.585 km'deki taşkın hidrografları



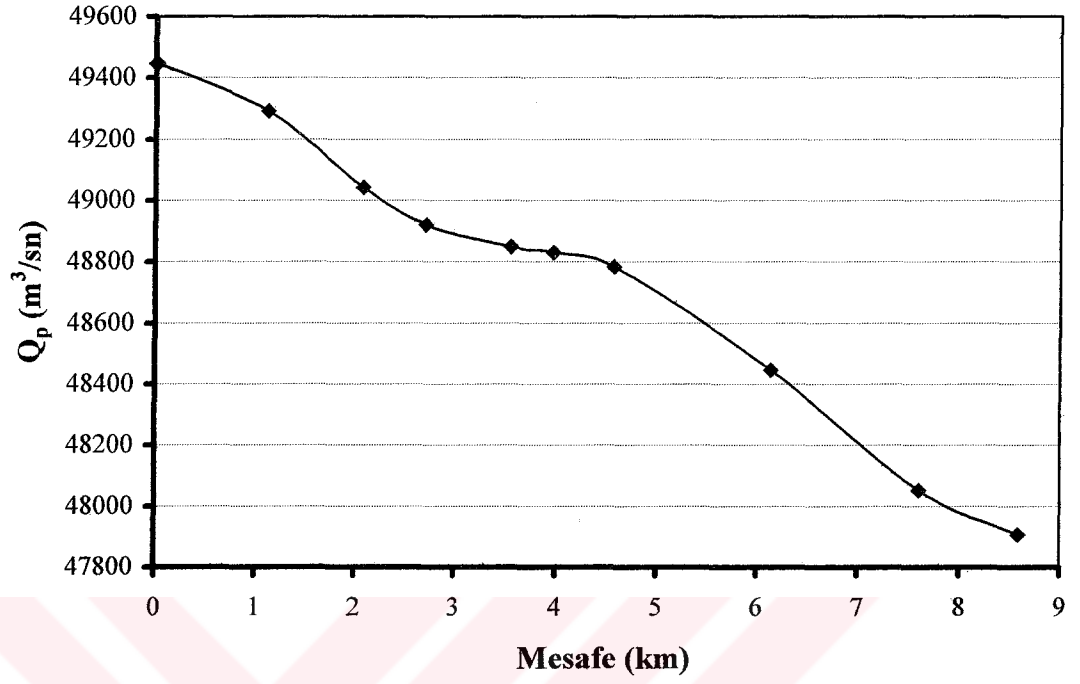
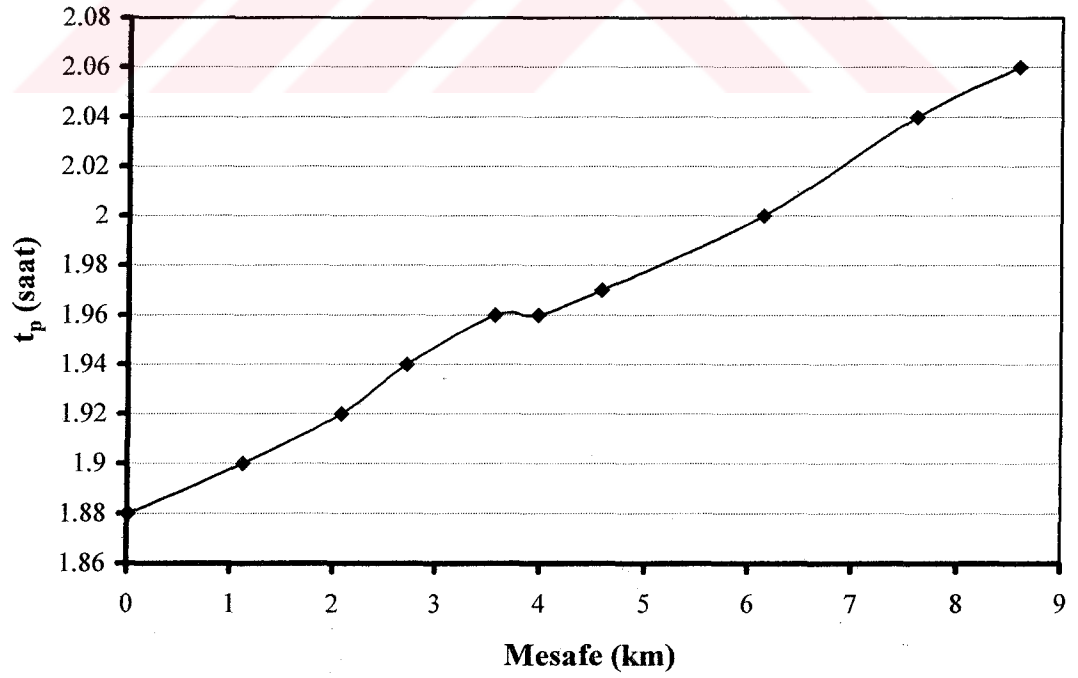
Şekil 5.9. Farklı gedik oluşum süreleri için baraj aksındaki su seviyesinin zamanla değişimi

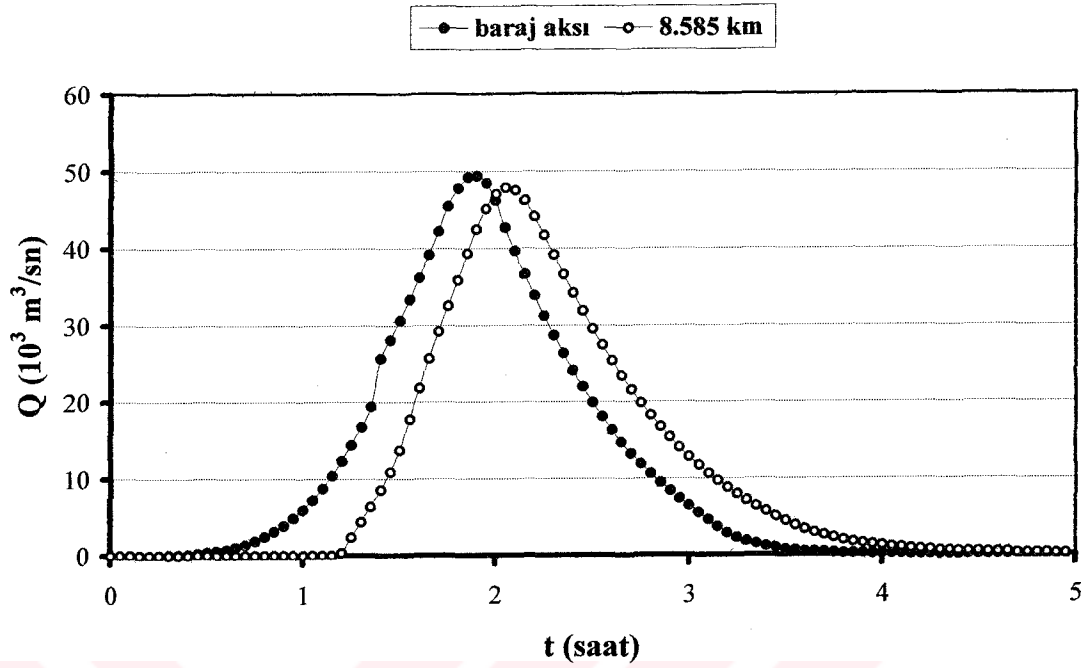


Şekil 5.10. Farklı gedik oluşum süreleri için 8.585 km'deki su seviyesinin zamanla değişimi



Şekil 5.11. Farklı yıkılma zamanları için maksimum su seviyesi profilleri

Şekil 5.12.  $\tau = 2$  saat için pik debinin mesafeyle değişimiŞekil 5.13.  $\tau = 2$  saat için pik debiye ulaşma süresinin mesafeyle değişimi



Şekil 5.14.  $\tau = 2$  saat için baraj aksında (0.00 km) ve son kesitteki (8.585 km) taşkın hidrografları

### 5.3.2. Gedik Genişliğinin Etkisi

Baraj gövdesinde meydana gelen taşkın hidrografına etki eden önemli bir gedik özelliği de gedik boyutlarıdır. Gedik genişliklerinin etkisi incelenirken yıkılmanın şekli borulanma seçildiğinden dikdörtgen bir gedik olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle gedik kenar eğimi  $z = 0$  alınmıştır ve gedik 202 m seviyesine kadar aşındığı varsayılmıştır. Yapılan hesaplamalarda gedik genişliklerinin  $b = 25, 50, 75, 100$  ve  $125$  m olması halinde meydana gelecek taşkın etkisi incelenmiştir.

Diğer parametrelerin etkisi araştırılırken gedik genişliği  $b = 75$  m olarak seçilmiştir. Bunun dışında baraj ve mansap akarsu kesimine ait hesaplarda kullanılan diğer bilgiler bölüm 5.2'de verilen değerlerle aynıdır.

Çizelge 5.6'da  $b = 50, 75$  ve  $100$  m gedik genişlikleri için gedikten çıkan akımın pik debi değerleri ve mansaptaki diğer kesitlerdeki pik debi değerleri ile pik debiye erişme süreleri verilmiştir. Çizelge incelenirse gedik genişliğinin  $50$  m'den  $75$

m'ye çıkması halinde barajdan çıkan pik debi değerinde %13.58'lik bir artış gözlenirken 75 m den 100 m'ye çıkması durumunda %5.43'lik bir artış elde edilmektedir. Bu artışın 50 m'den 100 m'ye olması halinde pik debi değerinde %19.75'lik bir değişim gözlenmektedir. Sonuç olarak gedik genişliğinin artması gedikten çıkan pik debi değerinin artmasına neden olmaktadır.

Çizelge 5.6. Farklı gedik genişlikleri için çeşitli kesitlerdeki pik debiler ve pik debiye erişme süreleri

| Kesit No | Mesafe (km) | b = 50 m     |                            | b = 75 m     |                            | b = 100 m    |                            |
|----------|-------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|
|          |             | $t_p$ (saat) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) | $t_p$ (saat) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) | $t_p$ (saat) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) |
| 1        | 0.000       | 2.00         | 43533                      | 1.88         | 49447                      | 1.75         | 52131                      |
| 2        | 0.010       | 2.00         | 43533                      | 1.88         | 49447                      | 1.75         | 52131                      |
| 3        | 1.125       | 2.01         | 43299                      | 1.90         | 49292                      | 1.77         | 51953                      |
| 4        | 2.080       | 2.02         | 42919                      | 1.92         | 49042                      | 1.79         | 51671                      |
| 5        | 2.715       | 2.03         | 42684                      | 1.94         | 48920                      | 1.81         | 51530                      |
| 6        | 3.560       | 2.05         | 42548                      | 1.96         | 48849                      | 1.83         | 51447                      |
| 7        | 3.975       | 2.06         | 42493                      | 1.96         | 48831                      | 1.83         | 51429                      |
| 8        | 4.575       | 2.07         | 42407                      | 1.97         | 48783                      | 1.84         | 51375                      |
| 9        | 6.140       | 2.10         | 41935                      | 2.00         | 48447                      | 1.87         | 51017                      |
| 10       | 7.600       | 2.15         | 41405                      | 2.04         | 48051                      | 1.91         | 50625                      |
| 11       | 8.585       | 2.17         | 41252                      | 2.06         | 47907                      | 1.94         | 50484                      |

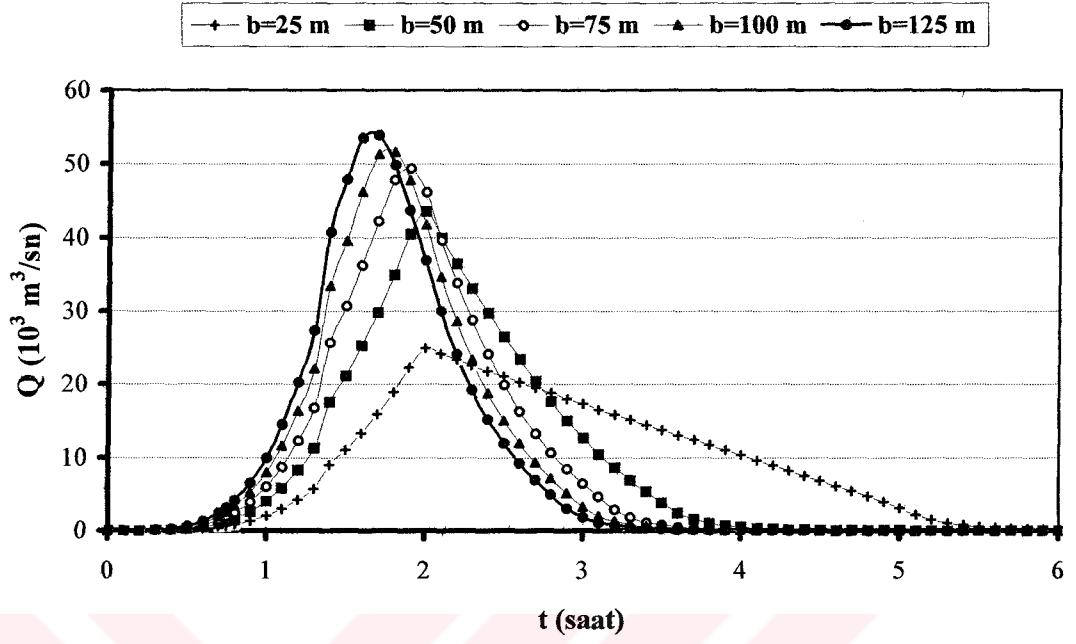
Gedik genişliğinin pik debiye ulaşma sürelerine etkisi incelenirse gedik genişliğinin 50 m'den 75 m'ye çıkması halinde gedikten çıkan hidrografın pik debiye ulaşma süresinde %6'lık bir düşüş gözlenirken 75 m'den 100 m'ye genişlemesi halinde %6.91'lik bir düşüş görülmektedir. öteleme mesafesinin sonunda bu değerler genişliğin 50 m'den 75 m'ye çıkması durumunda %5.1'lik düşüş elde edilirken 75 m'den 100 m'ye genişlemesi durumunda bu düşüş %5.82 olmaktadır. Buradan gedik

genişliğinin artmasının belirli bir kesitteki pik debiye erişme süresinin azalmasına neden olduğu söylenebilir. Bu ilişki farklı gedik genişlikleri için baraj aksı (0.00 km) ve son kesitteki (8.585 km) taşkın hidrograflarını gösteren Şekil 5.15 ve Şekil 5.16 yardımıyla kolayca tespit edilebilir. Ayrıca dikkat edilirse gedik genişliklerinin artması halinde hidrografların yükselme eğrilerinin eğimleri de artmaktadır. Dolayısıyla gedik genişliğinin artması halinde daha büyük debilerin meydana geleceği ve hidrografın daha dik bir şekle sahip olacağı söylenebilir. Genel olarak şekillere bakıldığında 25 m'lik gedik genişliği için elde edilen hidrografın diğerlerine göre saptığı görülmektedir. Bunun nedeni  $b=25$  m genişliğinde ve 78.5 m yüksekliğinde bir gediğin gerçekçi olmayışı olabilir.

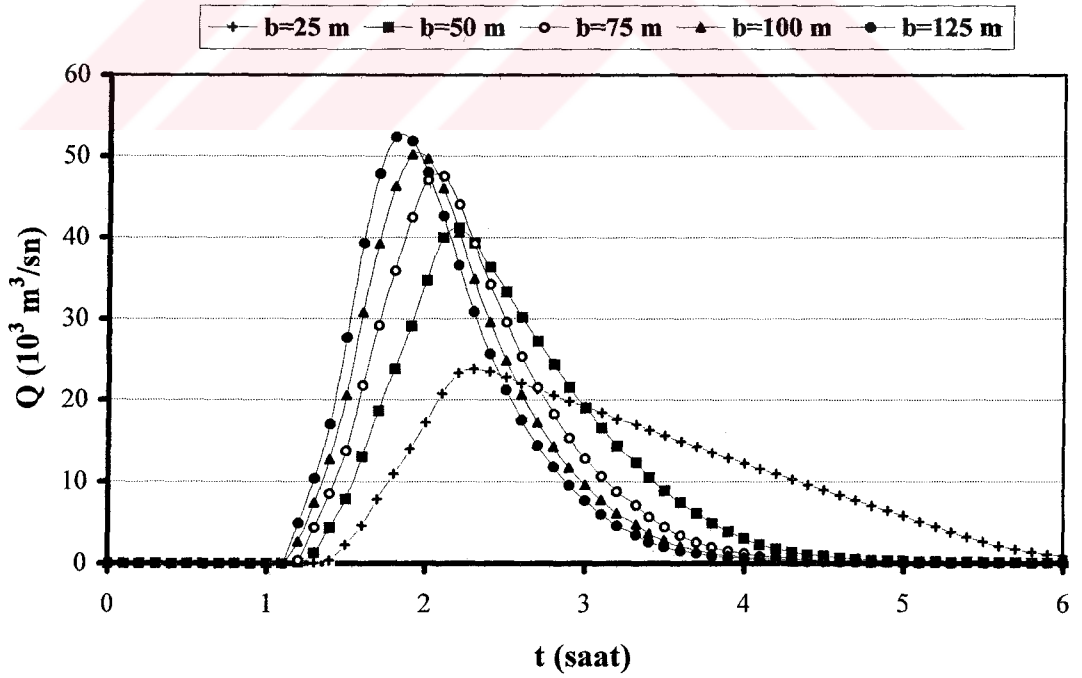
Farklı gedik genişlikleri için baraj aksındaki su seviyesinin zamanla değişimi Şekil 5.17'de verilmiştir. Şekil incelenirse herhangi bir  $t$  anında rezervuardaki su seviyesine bakılırsa farklı genişlikler için farklı yükseklikler elde edilir. Örneğin  $t = 2$  saat için göldeki su seviyesi  $b = 50$  m için  $h = 264.44$ ,  $b = 75$  m için 258.07 ve  $b = 100$  m için 253.19 olmaktadır. 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. Ayrıca Çizelge 5.6 yardımıyla Şekil 5.17'de pik debiye erişme sürelerine karşılık gelen su seviyelerine bakıldığında pik debilerin su seviyesinde ani düşmenin başlamasından hemen sonra olduğu görülür.

Şekil 5.18 öteleme mesafesi sonunda su seviyesinin zamanla değişimini göstermektedir. Maksimum su seviyeleri 25 m ile 125 m gedik genişlikleri için 155.83 ve 161.39 m'dir. Farklı gedik genişlikleri için öteleme mesafesi sonundaki su seviyeleri arasındaki maksimum fark 5.56 m olmaktadır.

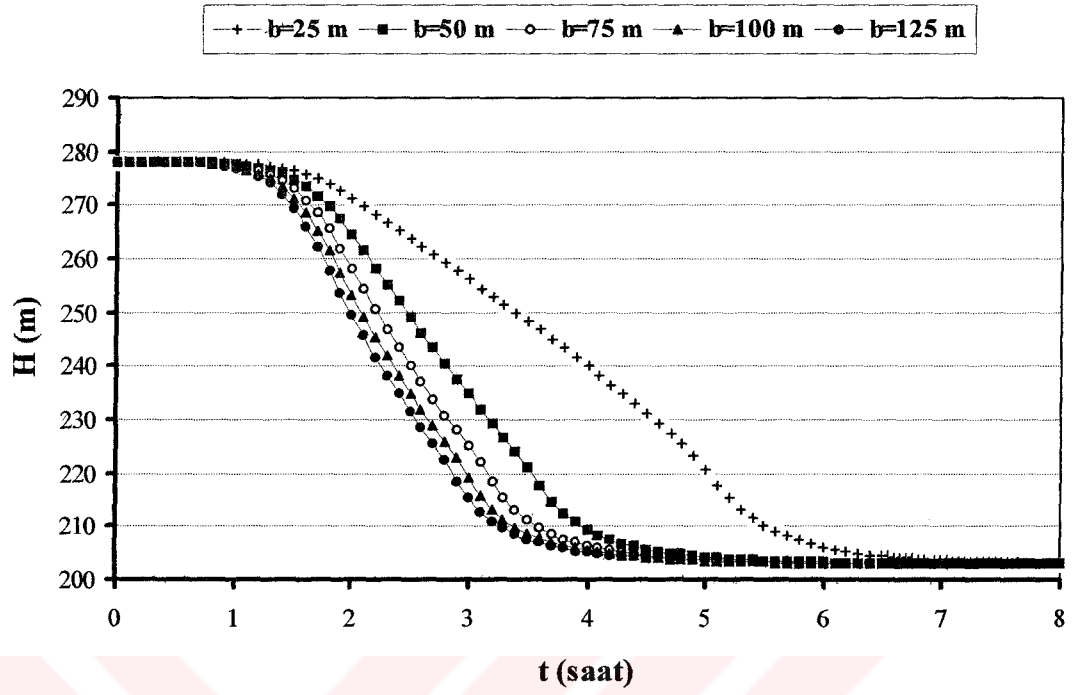
Farklı gedik genişliklerine ait maksimum su seviyesi profilleri Şekil 5.19'da verilmiştir. Görüldüğü gibi maksimum su seviyesi profilleri birbirlerine paraleldir ve en yüksek su seviyesi en büyük gedik genişliği için olmaktadır. Buda pik debi değerinin  $b=125$  için en fazla olmasından kaynaklanmaktadır.



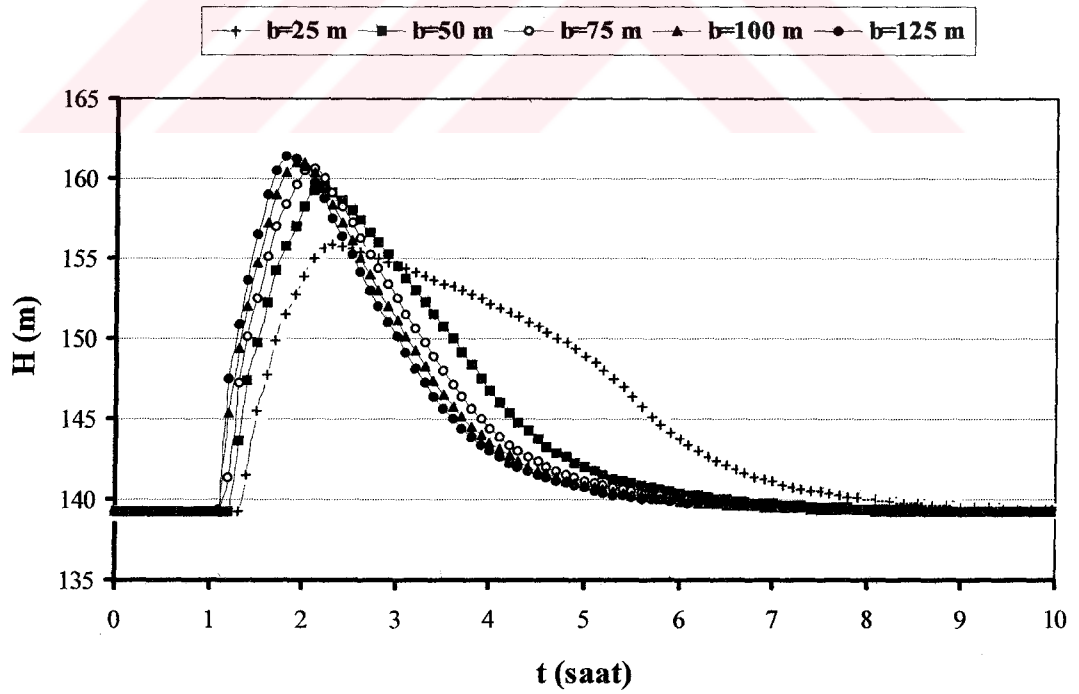
Şekil 5.15. Farklı gedik genişlikleri için baraj aksındaki gedikten çıkan taşkın hidrografları



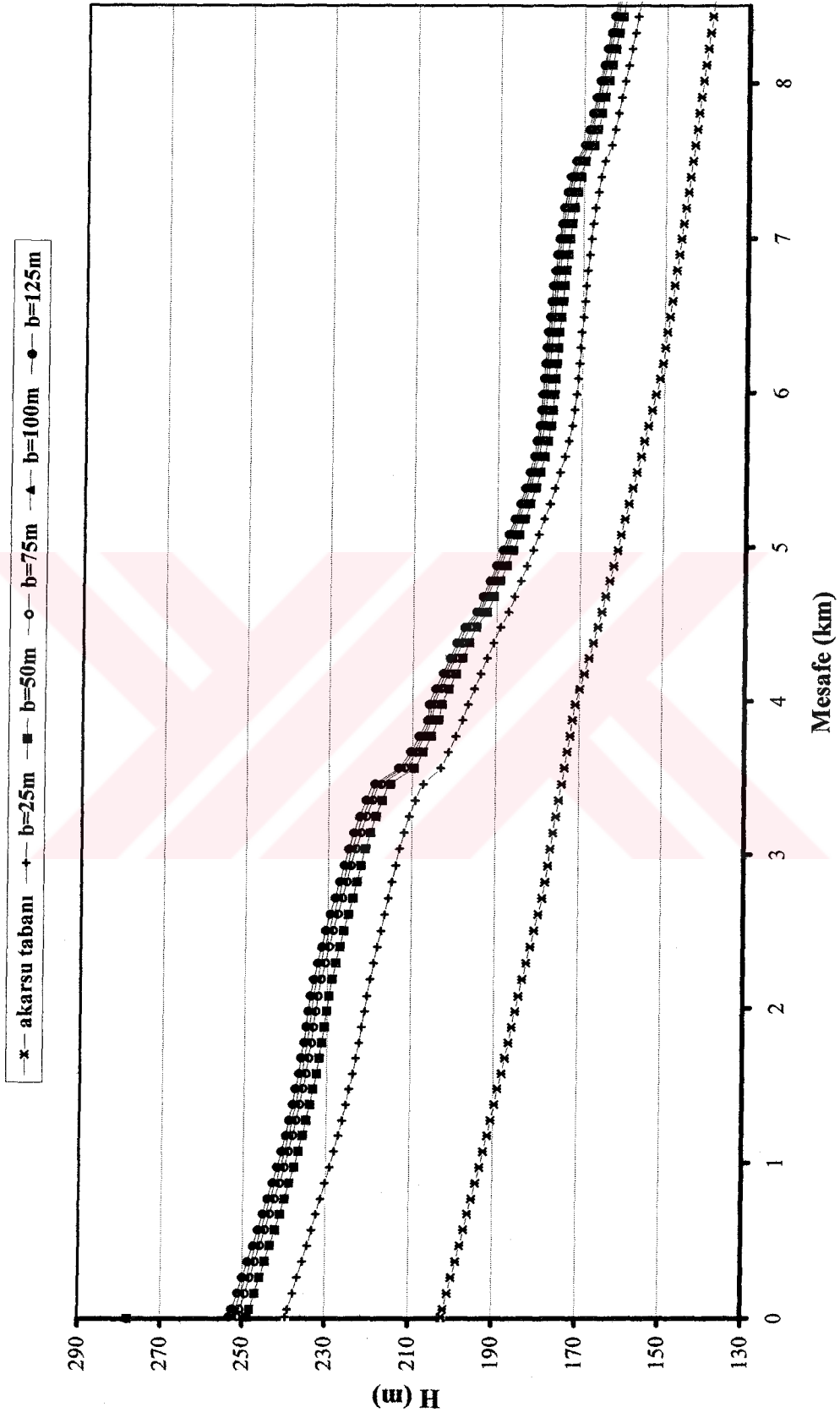
Şekil 5.16. Farklı gedik genişlikleri için 8.585 km'deki taşkın hidrografları



Şekil 5.17. Farklı gedik genişlikleri için baraj aksındaki su seviyesinin zamanla değişimi



Şekil 5.18. Farklı gedik genişlikleri için 8.585 km'deki su seviyesinin zamanla değişimi

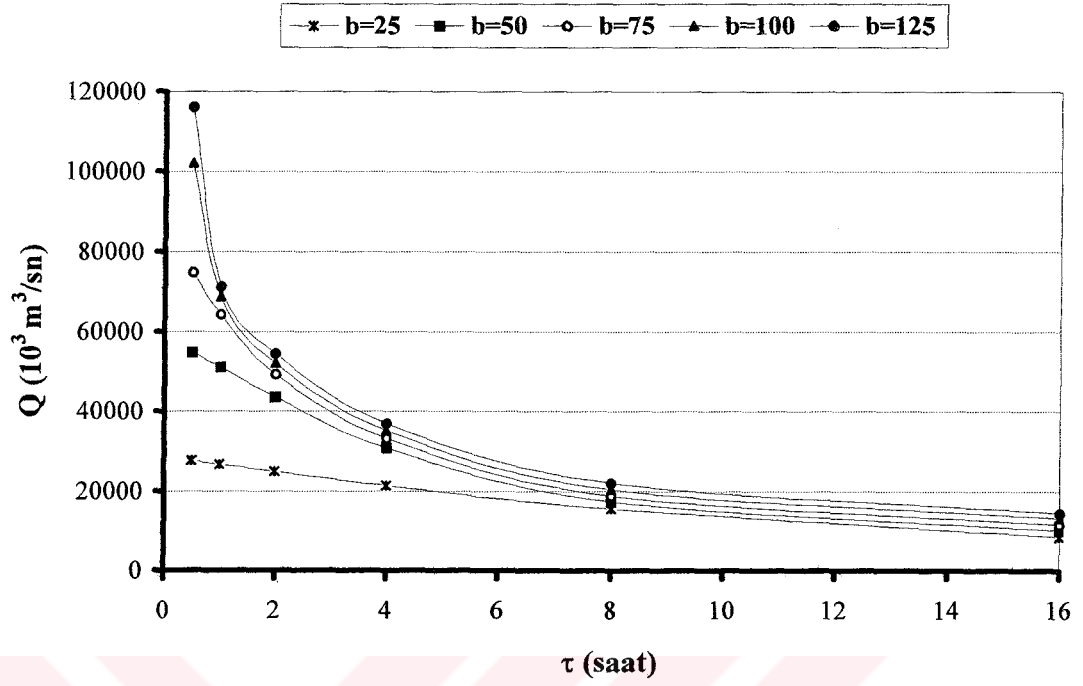


Şekil 5.19. Farklı gedik genişlikleri için maksimum su seviyesi profilleri

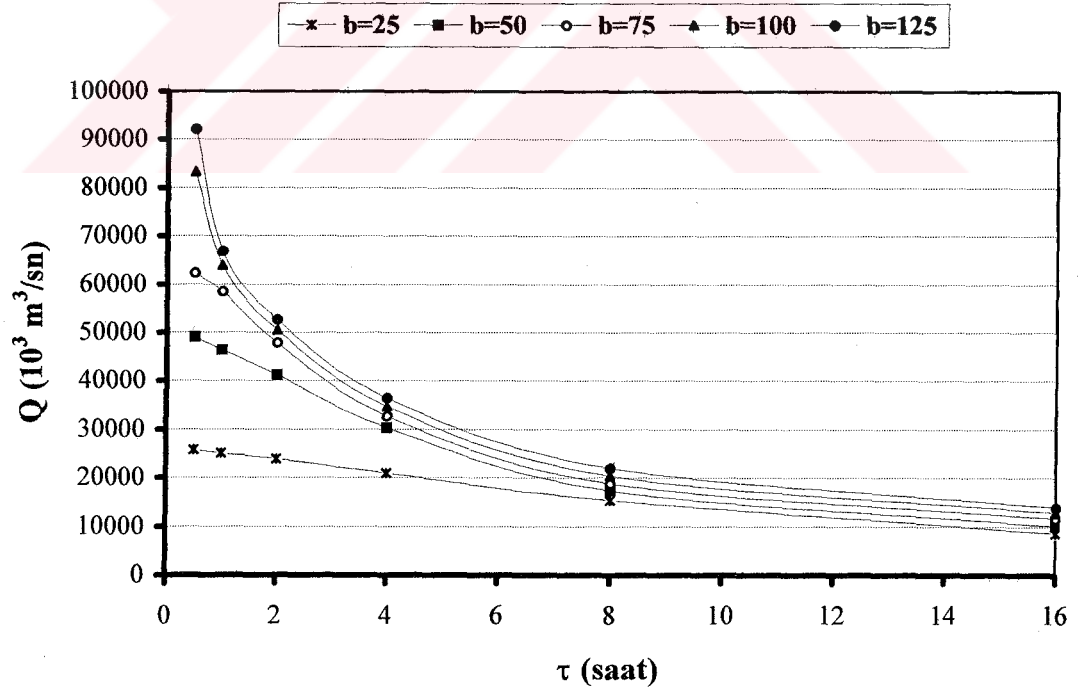
Gedik boyutları ve gedik oluşum süreleri tam olarak belirlenemediğinden gedik genişliklerinin ve yıkılma sürelerinin farklı değerleri için pik debiler ile pik debiye ulaşma süreleri hesaplanarak grafikleri çizilmiştir. Böylelikle gedik genişlikleri ve oluşum süreleri birlikte düşünülerek gedik parametreleri üzerindeki belirsizlik azaltılmaya çalışılmıştır.

Şekil 5.20 ve 5.21 yardımıyla farklı gedik genişlikleri ve yıkılma süreleri için öteleme mesafesinin başında ve sonundaki pik debi değerleri bulunabilir. Aynı biçimde farklı gedik genişlikleri ve yıkılma süreleri için pik debiye ulaşma süreleri Şekil 5.22 ve Şekil 5.23 ile elde edilebilir. Şekiller incelenirse en büyük pik debinin minimum gedik oluşum süresi ve maksimum gedik genişliği için meydana geldiği söylenebilir. Ayrıca küçük yıkılma sürelerinde gedik genişliği etkisinin daha fazla olduğu, yıkılma süresi arttıkça bu etkinin azaldığı sonucuna varılabilir.

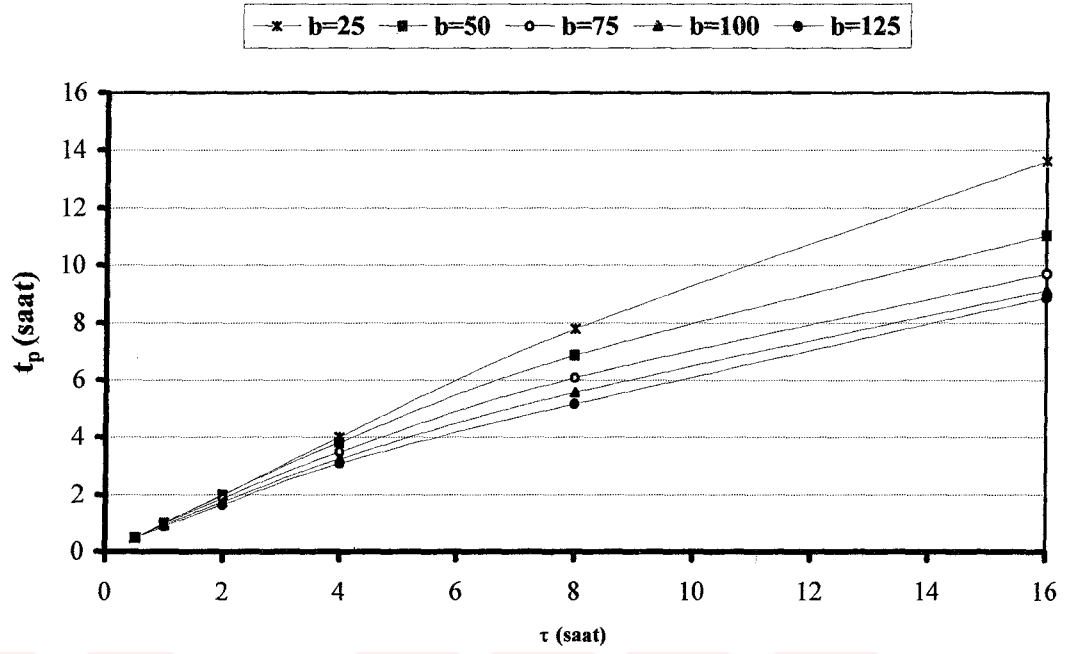
Yıkılma süresinin küçük değerlerinde yıkılma süresi ile pik debiye ulaşma sürelerinin çakıştığı ve yıkılma süresi arttıkça pik debiye ulaşma sürelerinin daha erken meydana geldiği Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'e bakılarak görülenebilir. Şekillerde herhangi bir anda (örneğin  $t=8$ ) için farklı gedik genişliklerine karşılık gelen pik debiye erişme sürelerine bakılırsa en büyük genişlikte pik debiye ulaşma süresinin daha kısa olduğu görülür.



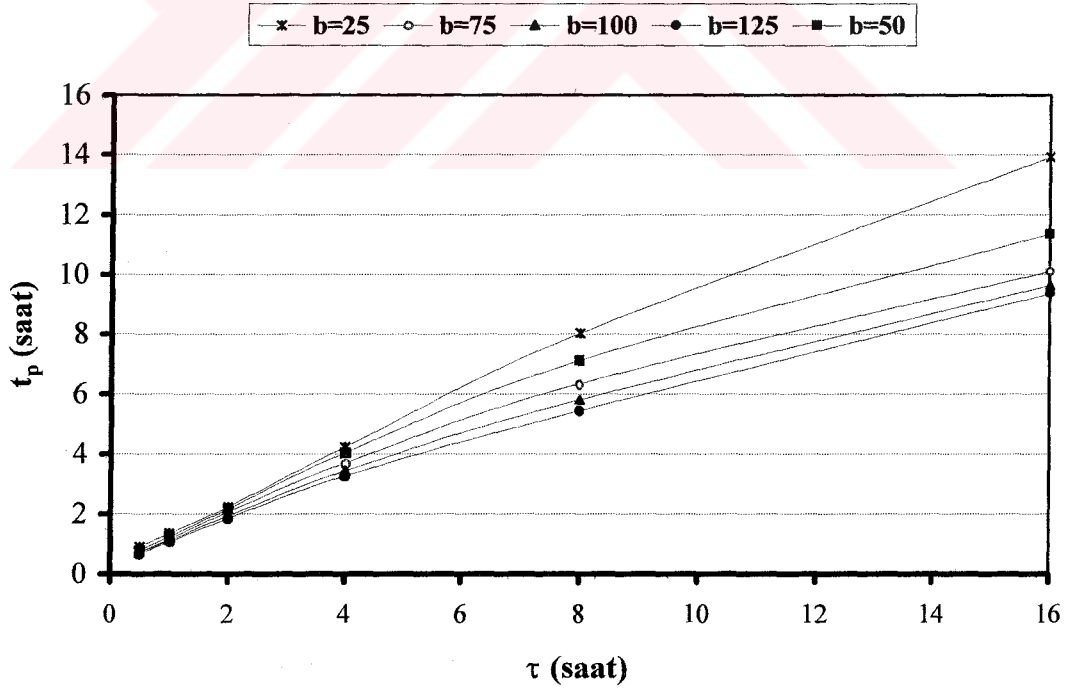
Şekil 5.20. Baraj aksında farklı gedik genişliği ve yıkılma süresi için pik debiler



Şekil 5.21. 8.585 km'de farklı gedik genişliği ve yıkılma süresi için pik debiye ulaşma süreleri



Şekil 5.22. Baraj aksında farklı gedik genişlikleri ve gedik oluşum süreleri için pik debiye ulaşma süreleri



Şekil 5.23. 8.585 km'de farklı gedik genişlikleri ve gedik oluşum süreleri için pik debiye ulaşma süreleri

### 5.3.3. Gedik Oluşum Hızının Etkisi

Gedik taban yüksekliği ve gedik taban genişliği, gedik oluşum süresinin bir fonksiyonudur. Denklem (3.3) ve (3.5)'e bakıldığında bu ilişkinin gedik oluşum hızına bağlı olarak lineer ( $\rho=1$ ) ve lineer olmayan ( $\rho>1$ ) bir şekilde olduğu görülebilir. Borulanma ile gedik oluşumunu ifade etmek için  $\rho \geq 2$  değerleri uygundur. Ancak bu çalışmada gedik oluşum hızı parametresinin lineer olması ve olmaması durumu bir arada incelenmiştir. Gedik oluşum hızının  $\rho = 1, 2, 3, 4$  olması durumunda ilk ve son (8.585 km) kesitlerdeki taşkın hidrografları ve su seviyesindeki değişimler üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Diğer parametrelerin etkisi incelenirken gedik oluşum hızı ortalama bir değer olan  $\rho = 2$  alınmıştır. Bunun dışında baraj ve mansap akarsu kesimine ait hesaplarda kullanılan diğer bilgiler bölüm 5.2'de verilen değerlerle aynıdır.

Çizelge 5.7'de farklı gedik oluşum hızları için gedikten çıkan ve mansaptaki diğer kesitlere ait pik debi değerleri ile pik debiye erişme süreleri verilmiştir. Bu değerler yardımıyla gedik oluşum hızı parametresinin gedikten çıkan pik debiye etkisi incelenirse  $\rho$  değerinin 2'den 1'e değişmesi halinde pik debi değerinde %19.14 düşüş olmaktadır.  $\rho$  değeri 2'den 3'e çıktığında pik debi değerinde %15.44, 3'ten 4'e çıktığında ise %9.04'lük bir artış ve  $\rho = 2$ 'den 4'e çıktığında ise %25.88'lik bir artış elde edilmektedir. Buradan gedik oluşum hızı artarken pik debinin arttığı fakat pik debideki artış oranının azaldığı ifade edilebilir.

Öteleme mesafesi sonunda (8.585 km) gedik oluşum hızı parametresinin  $\rho = 2$ 'den 1'e düşmesiyle pik debi değerinin %18.2 azaldığı,  $\rho = 2$ 'den 3'e çıktığında pik debi değerinin %12 arttığı ve  $\rho = 3$ 'ten 4'e çıktığında ise %6.06 arttığı gözlenmiştir. Gedik oluşum hızının pik debiye etkisi incelendiğinde mansaba doğru bu etkinin azaldığı söylenebilir.

Çizelgeden gedik oluşum hızının pik debiye erişme süresine etkisi incelendiğinde  $\rho = 2$ 'den 1'e indiğinde pik debiye ulaşma süresi %15.96 düşmektedir.  $\rho = 2$ 'den 3'e çıktığında bu değer %4.26 artmakta ve  $\rho = 3$ 'ten 4'e çıktığında ise bu artış %1.02 olmaktadır. Öteleme mesafesi sonunda  $\rho = 2$ 'den 1'e

düşüğünde %14.08 düşmekte ve  $\rho = 2$ 'den 3'e çıktığında ise %3.40 artmaktadır. Görüldüğü gibi mansaba doğru ilerledikçe gedik oluşum hızının pik debiye ulaşma süresi üzerindeki etkisi azalmaktadır.

Ayrıca gedik oluşum hızı ne olursa olsun pik debi değerlerinin mansap akarsu kesimi boyunca ilerledikçe azaldığı ve buna karşın pik debiye ulaşma sürelerinin arttığı söylenebilir.

Çizelge 5.7. Farklı gedik oluşum hızları için çeşitli kesitlerdeki pik debiler ve pik debiye erişme süreleri

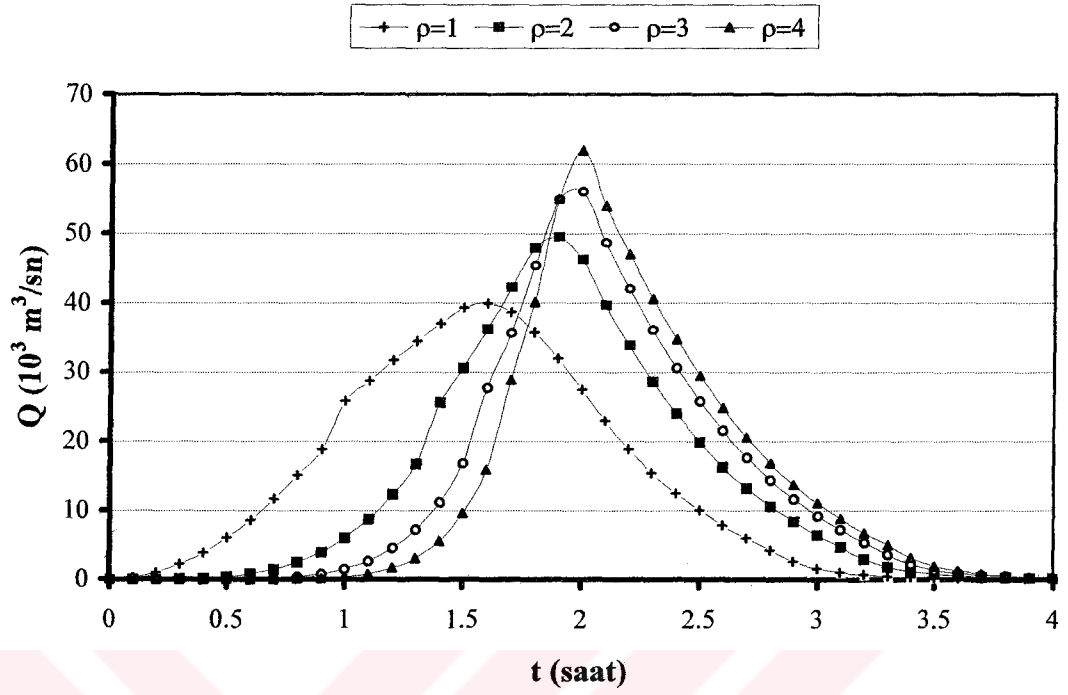
| Kesit No | Mesafe (km) | $\rho = 1$   |                            | $\rho = 2$   |                            | $\rho = 3$   |                            | $\rho = 4$   |                            |
|----------|-------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|
|          |             | $t_p$ (saat) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) | $t_p$ (saat) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) | $t_p$ (saat) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) | $t_p$ (saat) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) |
| 1        | 0.000       | 1.58         | 39981                      | 1.88         | 49447                      | 1.96         | 57082                      | 1.98         | 62245                      |
| 2        | 0.010       | 1.58         | 39981                      | 1.88         | 49447                      | 1.96         | 57082                      | 1.98         | 62245                      |
| 3        | 1.125       | 1.60         | 39910                      | 1.90         | 49292                      | 1.98         | 56709                      | 2.00         | 61677                      |
| 4        | 2.080       | 1.62         | 39797                      | 1.92         | 49042                      | 1.99         | 56148                      | 2.01         | 60726                      |
| 5        | 2.715       | 1.64         | 39741                      | 1.94         | 48920                      | 2.01         | 55837                      | 2.03         | 60191                      |
| 6        | 3.560       | 1.66         | 39707                      | 1.96         | 48849                      | 2.02         | 55647                      | 2.04         | 59839                      |
| 7        | 3.975       | 1.66         | 39694                      | 1.96         | 48831                      | 2.03         | 55599                      | 2.05         | 59753                      |
| 8        | 4.575       | 1.68         | 39672                      | 1.97         | 48783                      | 2.04         | 55472                      | 2.06         | 59529                      |
| 9        | 6.140       | 1.71         | 39520                      | 2.00         | 48447                      | 2.07         | 54752                      | 2.09         | 58425                      |
| 10       | 7.600       | 1.75         | 39335                      | 2.04         | 48051                      | 2.10         | 53932                      | 2.14         | 57269                      |
| 11       | 8.585       | 1.77         | 39275                      | 2.06         | 47907                      | 2.13         | 53654                      | 2.16         | 56908                      |

Şekil 5.24 ve 5.25 sırası ile gedik oluşum hızının farklı değerleri için baraj aksında gedikten çıkan ve son kesitteki (8.585 km) taşkın hidrograflarını göstermektedir. Şekillere bakıldığında yukarıda sözü edilen değişimler kolaylıkla görülebilir. En büyük debi  $\rho = 4$  için meydana gelmekte ve bunu sırasıyla  $\rho = 3, 2, 1$  gedik oluşum hızları izlemektedir. Pik debiye ulaşma süreleri ise bu sıralamanın tam

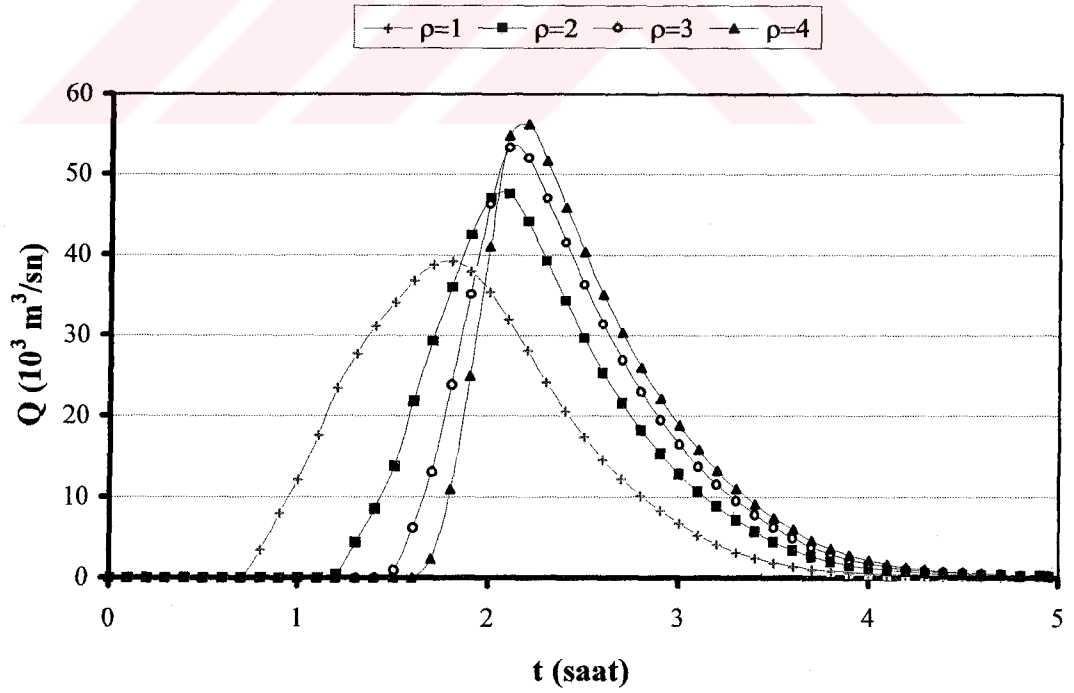
tersi olmaktadır. Hidrograflar incelendiğinde yükselme kollarının alçalma kollarına göre daha dik bir eğime sahip olduğu gözlenmektedir. Yükselme eğrisi eğimi en fazla olan  $\rho=4$ 'tür. Ayrıca alçalma eğrileri bir paralellik göstermektedir. Bunun nedeni, farklı gedik oluşum hızları alınmasına rağmen herhangi bir  $\tau$  süresi sonunda gediğin aynı son boyutlara sahip olması ile açıklanabilir. Hidrograflara bakıldığında  $\rho = 1$  için (lineer oluşum hızı) elde edilen hidrograf şekli diğerlerine göre daha yassı bir görünüme sahiptir. Aynı zamanda  $\rho = 1$  için hidrografın yükselme eğrisinin yaklaşık  $t = 0$  anında yükselmeye başladığı görülmektedir. Oysaki borulanma yıkılmasında borulanmanın ilk safhaları yavaş gelişmekte daha sonra gediğin gelişimi hızlı olmaktadır. Bu nedenle  $\rho = 1$  değerinin borulanma yıkılmaları için uygun olmadığı sonucuna varılabilir.

Şekil 5.26'da herhangi bir  $t$  anında su seviyelerinin farklı olduğu görülmektedir.  $t= 2$  saat anında  $\rho = 1, 2, 3$  ve  $4$  değerleri için göldeki su seviyeleri sırasıyla yaklaşık 246, 258, 264 ve 267 m olmaktadır. Gedik oluşum hızlarının haznenin boşalması ve gedikten çıkan akım üzerinde etkisi olduğu söylenebilir. Şekil 5.26'da pik debiye karşılık gelen su seviyelerine bakıldığında pik debilerin su seviyesinde değişimin başlamasından sonra meydana geldiği görülmektedir.

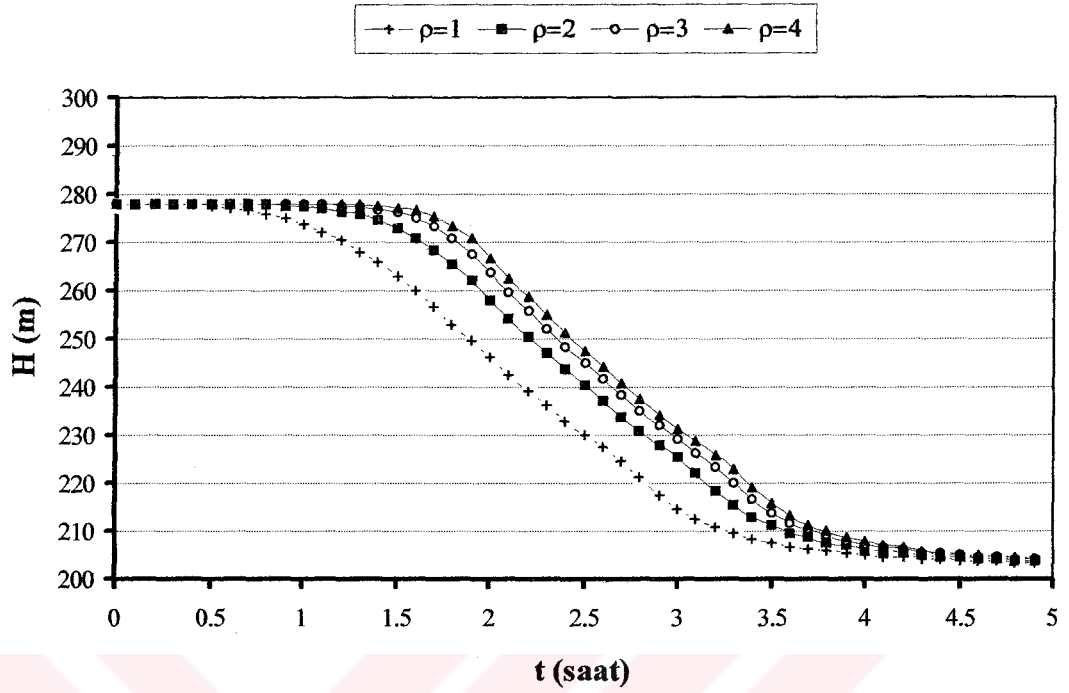
Şekil 5.27'de 8.585 km'deki su seviyesi değişimleri verilmiştir. Öteleme mesafesi sonunda  $\rho = 1$  ve  $4$  için maksimum su seviyeleri sırasıyla 159.15 m ve 161.95 m'dir. Farklı gedik oluşum hızları için öteleme mesafesi sonundaki maksimum fark 2.8 m olmaktadır.



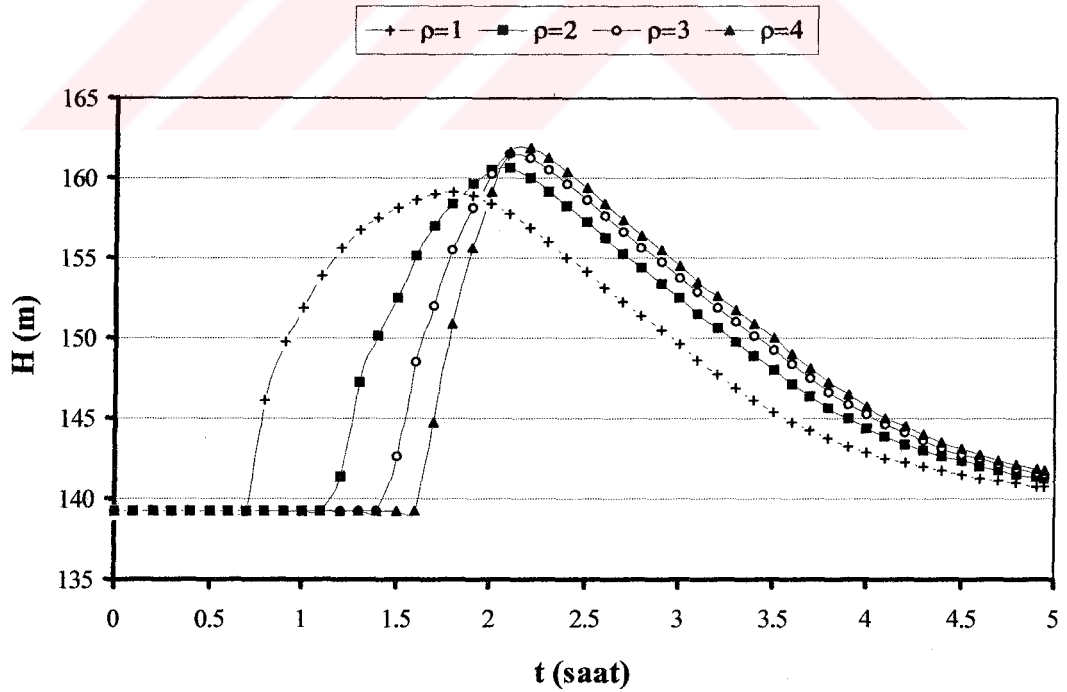
Şekil 5.24. Farklı gedik oluşum hızları için baraj aksındaki gedikten çıkan taşkın hidrografları



Şekil 5.25. Farklı gedik oluşum hızları için 8.585 km deki taşkın hidrografları



Şekil 5.26. Farklı gedik oluşum hızları için baraj aksındaki su seviyesinin zamanla değişimi



Şekil 5.27. Farklı gedik oluşum hızları için km 8.585 teki su seviyesinin zamanla değişimi

#### 5.3.4. Pürüzlülük Etkisi

Baraj yıkılması analizinde belirsiz olan diğer bir parametrede mansaptaki akarsu kesimine ait pürüzlülük değeridir. Bu çalışmada öteleme mesafesi içinde baraj aksından 9. kesite (6.140 km) kadar olan pürüzlülük değeri  $n = 0.08$  ve bundan sonraki kısım için son kesite (8.585 km) kadar  $n = 0.06$  alınmıştır. Pürüzlülük etkisi incelenirken bu değerlerin % 25 arttırılması ve azaltılması ile bulunan değerlerle karşılaştırma yapılmıştır.  $n = 0.08 - 0.06$  değerleri arttırılarak elde edilen  $n = 0.1 - 0.08$  ve azaltılarak elde edilen  $n = 0.06 - 0.045$  değerleri hesaplamalarda kullanılmıştır. Şekil gösterimlerinde pürüzlülük ilk değerler kullanılarak ifade edilmiştir. Bunun haricinde baraj ve mansap akarsu kesimine ait hesaplarda kullanılan diğer parametreler bölüm 5.2’de verilen değerlerle aynıdır.

Çizelge 5.8’de farklı pürüzlülük değerleri için gedikten çıkan ve mansaptaki diğer kesitlerdeki pik debi değerleri ile pik debiye erişme süreleri verilmiştir, Çizelgeye bakıldığında pürüzlülük değerlerinin ( $n=0.08$ ) akarsu boyunca %25 azaltılması halinde ( $n=0.06$ ) gedikten çıkan pik debi değerinde %9.18’lik bir artış elde edilirken öteleme mesafesinin sonunda bu artış % 8.88’e gerilemektedir. Pürüzlülüğün %25 arttırılması durumunda ( $n=0.1$ ) ise pik debide % 8.22’lik bir düşüş gözlenirken öteleme mesafesinin sonunda bu değer % 8.36 olmaktadır. Bu bilgi ile pürüzlülük değerindeki değişimin öteleme mesafesi boyunca taşkın pik debi değeri üzerinde fazla etkisinin olmadığı söylenebilir.

Çizelgeden baraj aksındaki pik debiye erişme sürelerine bakılırsa pik debiye en erken büyük pürüzlülük değerinde ( $n=0.1$ ) ulaşıldığı görülmektedir. Pürüzlülük azaldıkça pik debiye ulaşma süresi yıkılma süresine yaklaşmaktadır. Pürüzlülüğün pik debiye ulaşma süresine etkisi incelenirse akarsu boyunca pürüzlülük değeri  $\mp$  %25 değişmesi durumunda baraj aksında pik debiye ulaşma süresi  $\mp$  %3.19 oranında etkilenmektedir. Buradan pürüzlülükteki değişimin pik debiye ulaşma süresini eşit oranda etkilediği sonucuna varılabilir

Farklı pürüzlülük değerleri için öteleme mesafesinin başında ve sonundaki pik debi değişimlerine bakılırsa  $n=0.08$  için bu değişim %3.11,  $n=0.06$  için %3.39 ve  $n=0.1$  için %3.26 olmaktadır. Farklı pürüzlülük değerlerinde öteleme mesafesinin

başı ile sonu arasında hidrografların pik debileri aynı oranda düşmektedir. Buradan akarsudaki pürüzlülüğün pik debi değerinin azalmasında etkisi olmadığı söylenebilir. Pik debi değeri akarsudaki biriktirme hacimleri ve su kayıplarından etkilenmektedir. Oysaki pürüzlülük akımın hızı üzerinde etkili olur. Pürüzlülüğün artması ile akımın hızında bir azalma olmaktadır. Bununla birlikte akımın özgül enerjisi sabit olduğundan kinetik enerji potansiyel enerjiye dönüşerek su seviyesinde yükselme (kabarma) meydana gelmektedir.

Çizelge 5.8. Farklı pürüzlülük değerleri için çeşitli kesitlerdeki pik debiler ve pik debiye erişme süreleri

| Kesit No | Mesafe (km) | n = 0.1      |                            | n = 0.08     |                            | n = 0.06     |                            |
|----------|-------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|
|          |             | $t_p$ (saat) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) | $t_p$ (saat) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) | $t_p$ (saat) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /sn) |
| 1        | 0.000       | 1.82         | 45382                      | 1.88         | 49447                      | 1.94         | 53988                      |
| 2        | 0.010       | 1.82         | 45382                      | 1.88         | 49447                      | 1.94         | 53988                      |
| 3        | 1.125       | 1.85         | 45165                      | 1.90         | 49292                      | 1.96         | 53848                      |
| 4        | 2.080       | 1.87         | 44897                      | 1.92         | 49042                      | 1.97         | 53589                      |
| 5        | 2.715       | 1.89         | 44777                      | 1.94         | 48920                      | 1.98         | 53402                      |
| 6        | 3.560       | 1.91         | 44714                      | 1.96         | 48849                      | 1.99         | 53263                      |
| 7        | 3.975       | 1.92         | 44692                      | 1.96         | 48831                      | 1.99         | 53213                      |
| 8        | 4.575       | 1.93         | 44655                      | 1.97         | 48783                      | 2.00         | 53153                      |
| 9        | 6.140       | 1.98         | 44330                      | 2.00         | 48447                      | 2.02         | 52838                      |
| 10       | 7.600       | 2.02         | 44013                      | 2.04         | 48051                      | 2.06         | 52294                      |
| 11       | 8.585       | 2.05         | 43902                      | 2.06         | 47907                      | 2.07         | 52160                      |

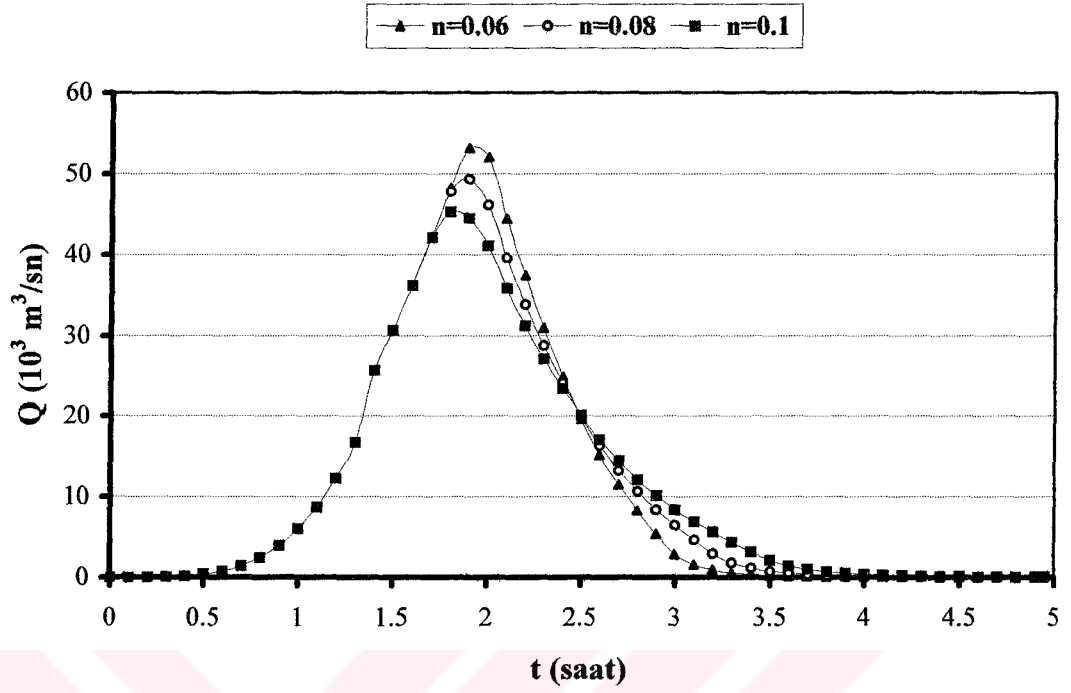
Çizelgeye bakılırsa herbir pürüzlülük değeri için ilk ve son kesite ait pik debiye ulaşma süreleri incelenirse aradaki farkın n=0.1 için pik debinin seyahat süresi 0.23 saat iken n=0.08 için 0.18 saat ve n=0.06 için 0.13 saat olmaktadır.

Pürüzlülük hidrografın seyahat süresini etkilemekte  $n$  arttıkça seyahat süresi de artmaktadır. Bu durum pürüzlülüğün dolayısı akım hızının azalması ile açıklanabilir.

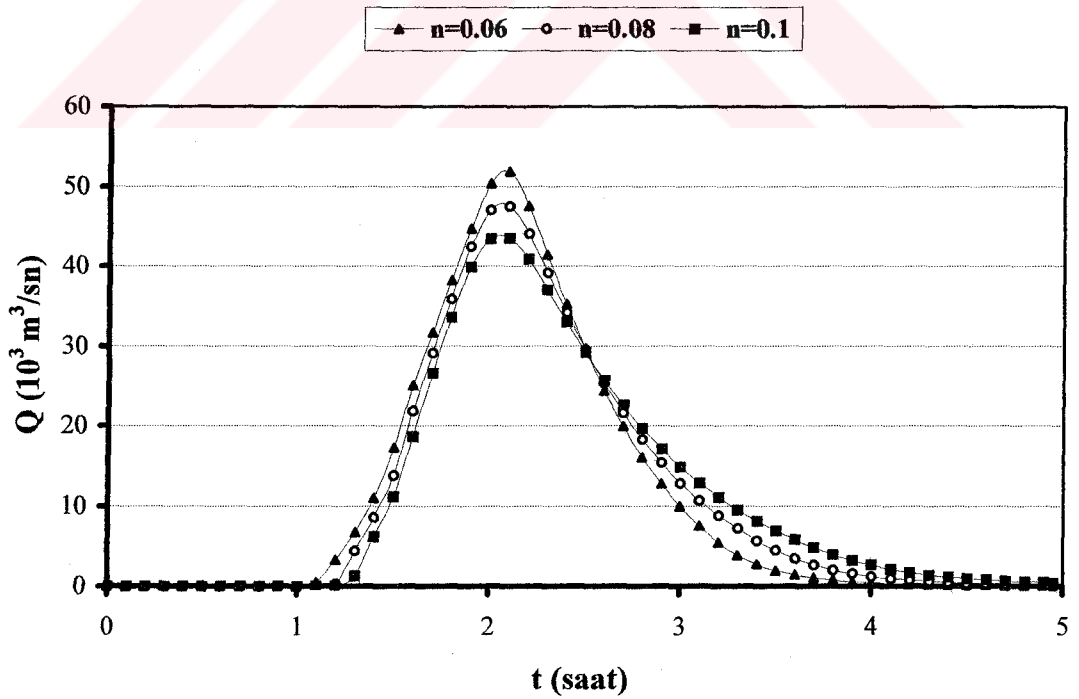
Şekil 5.28'e bakılırsa farklı pürüzlülük değerleri için gedikten çıkan taşkın hidrograflarının yükselme kollarının birbiriyle çakıştığı ve en yüksek debi değerinin en küçük pürüzlülük durumunda ( $n=0.06$ ) olduğu görülmektedir. Hidrografların alçalma kollarının eğimlerine bakılırsa en küçük pürüzlülük değeri için eğimin en fazla olduğu fark edilir. Gedikten çıkan taşkın hidrografının pik debisi ve alçalma eğrisinin pürüzlülük değerinden etkilendiğini söyleyebiliriz. Bunun nedeni baraj mansabındaki su seviyesinin pürüzlülük değerinin büyüklüğünden dolayı kabarması ve gedikten çıkan akım üzerinde kuyruk suyu etkilerinin önem kazanması ile açıklanabilir. Pik debiye ulaşma sürelerinde hafifte olsa öteleme oluşmuştur.

Şekil 5.29'da farklı pürüzlülük değerleri için son kesitteki (8.585 km) taşkın hidrografları verilmiştir. Dikkat edilirse baraj aksında çakışan yükselme kollarının öteleme mesafesi sonunda birbirlerinden ayrıldığı ve ilk olarak  $n=0.06$  için debinin artmaya başladığı ve daha sonra bunu 0.08 ve  $n=0.1$  hidrograflarının izlediği görülür. Bunun sebebi olarak küçük pürüzlülük değerinde akım hızının daha fazla olması ve böylelikle son kesite daha erken ulaşması gösterilebilir. Şekilden üç farklı pürüzlülük değeri için pik debiye erişme sürelerinin de hemen hemen aynı olduğu gözlenmektedir.

Şekil 5.30 incelenirse farklı pürüzlülük değerine ait su seviyesi eğrileri belirli bir kota kadar çakışmakta ve daha sonra ayrılmaktadır. Bu olay pürüzlülüğün değişimden dolayı mansaptaki su seviyesinin kabarması ve gedikten çıkan akımın batmış savak akımı (submerged weir flow) olarak hesaplanması ile açıklanabilir. Batıklık etkisi ile gedikten çıkan suyun hareketi engellenmektedir. Şekil 5.32'de maksimum su seviyesi profillerine bakıldığında baraj aksındaki su kotlarının Şekil 5.30'da değişimin başladığı kotlarla aynı olduğu görülebilir. Küçük pürüzlülük değerlerinde akım hızı büyük olduğundan kabarma daha az olacak ve dolayısı ile gedikten daha büyük akım çıkacaktır.

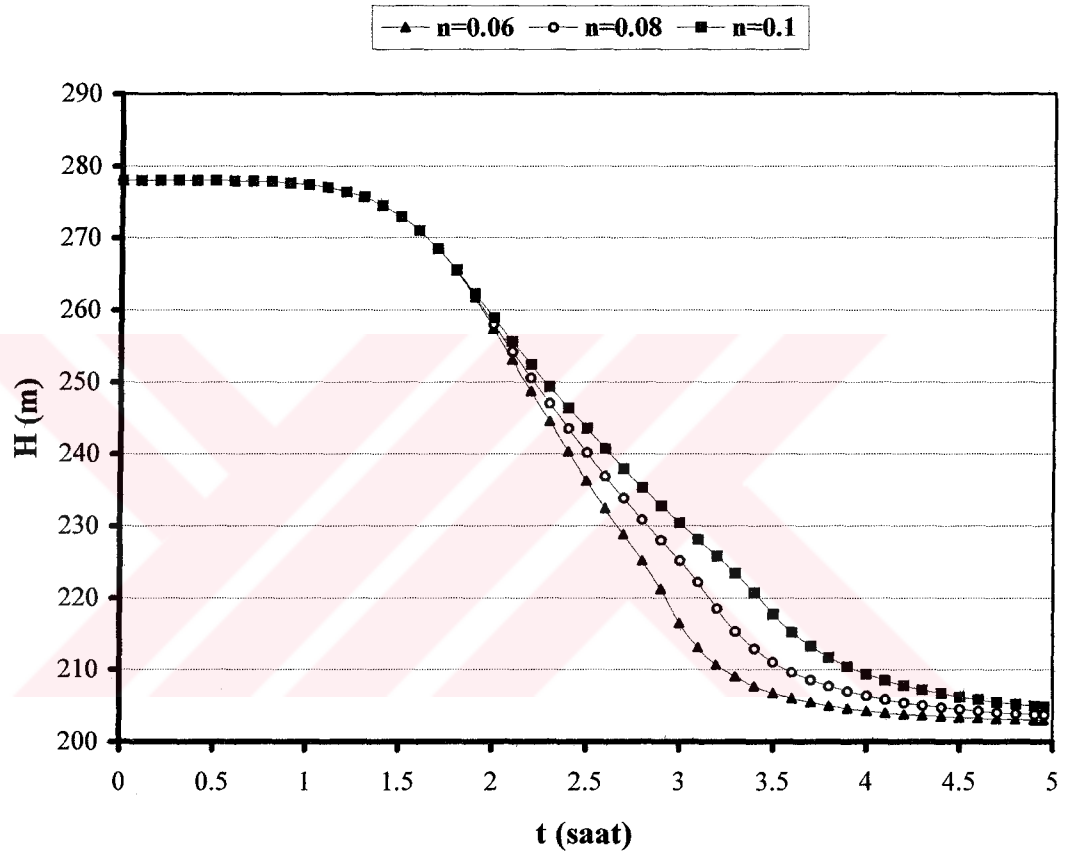


Şekil 5.28. Farklı pürüzlülük değerleri için baraj aksındaki gedikten çıkan taşkın hidrografları



Şekil 5.29. Farklı pürüzlülük değerleri için 8.585 km'deki taşkın hidrografları

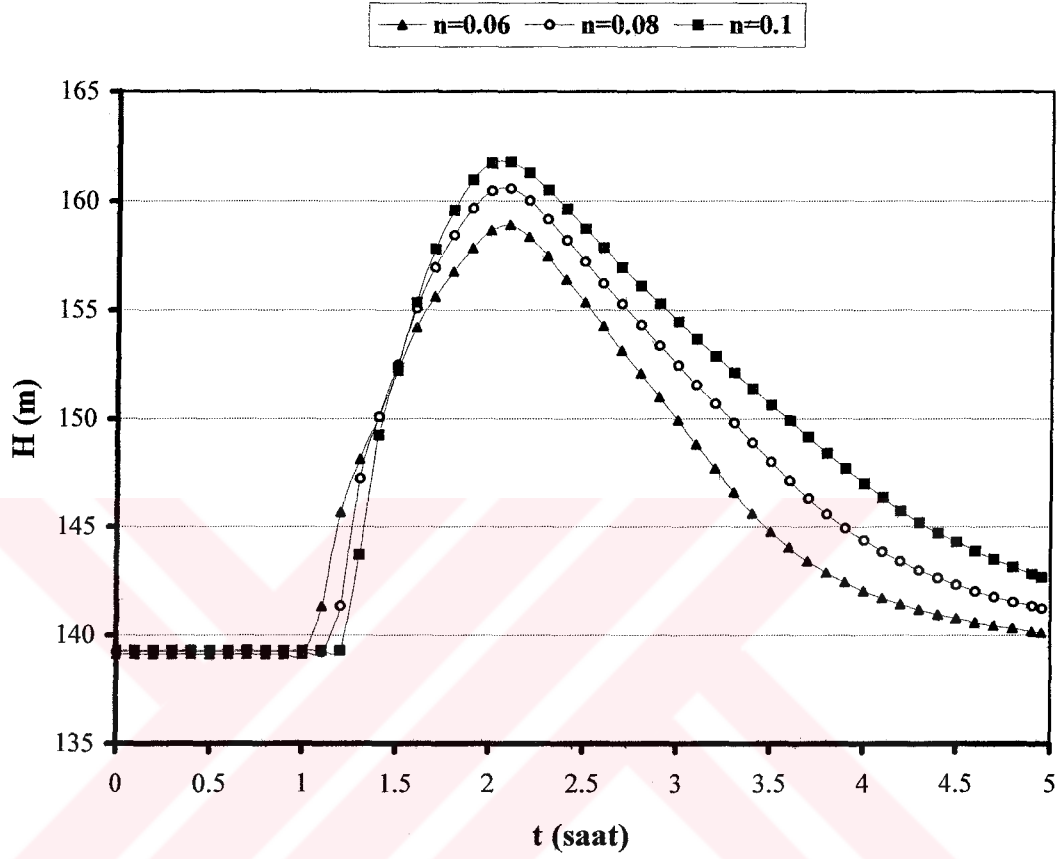
Şekil 5.31’de son kesitte farklı pürüzlülük değerleri için su seviyesinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Öteleme mesafesi sonunda pürüzlülük değerlerinin sırasıyla %25 azaltılması ve artırılması durumunda maksimum su seviyeleri 158.93 ve 161.83 m olmaktadır. Pürüzlülükteki bu değişimden dolayı son kesitte 2.9 m’lik bir yükseklik farkı oluşmaktadır.



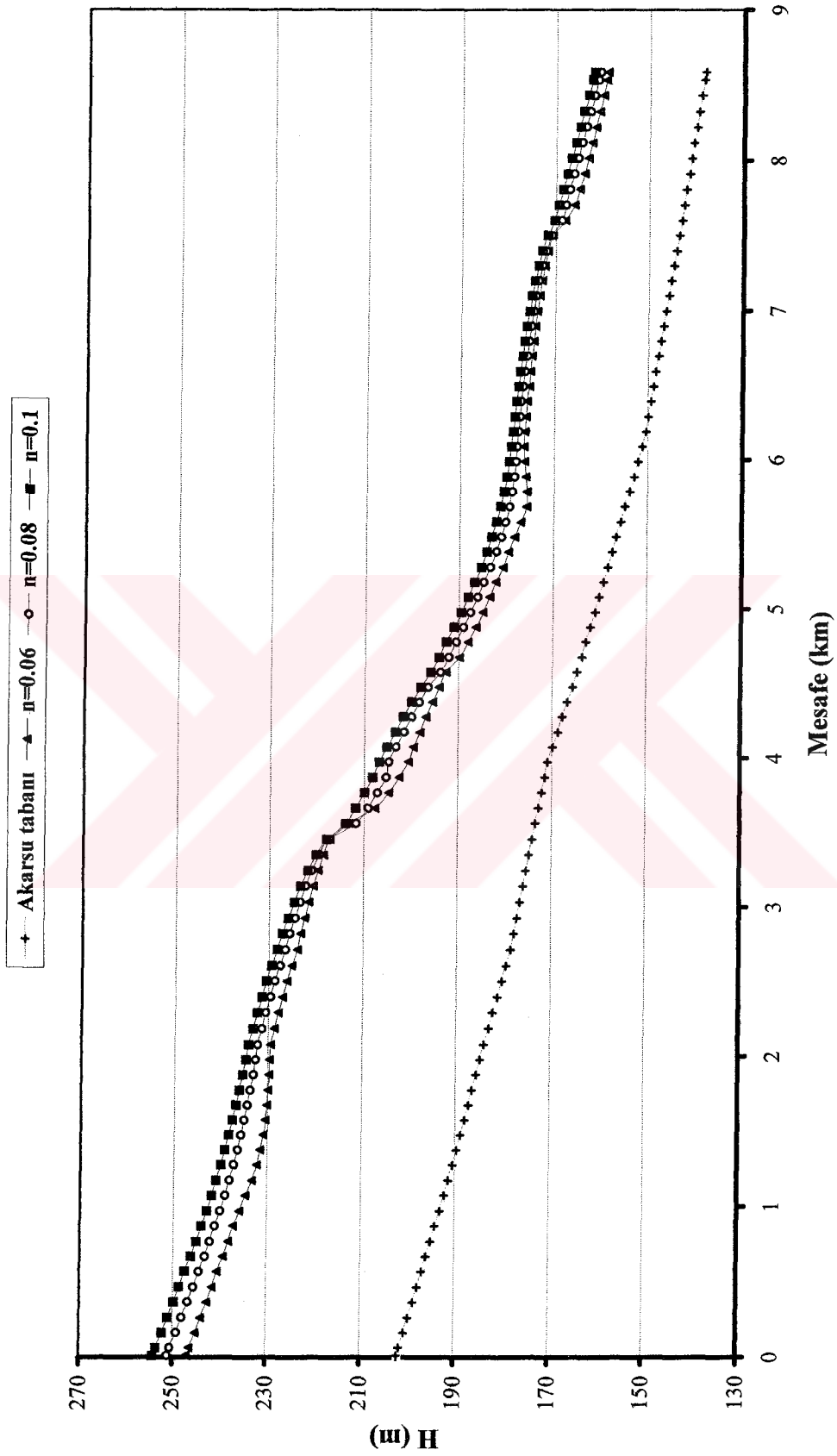
Şekil 5.30. Farklı pürüzlülük değerleri için baraj aksındaki su seviyesinin zamanla değişimi

Farklı pürüzlülük değerlerine ait maksimum su seviyesi profilleri Şekil 5.32’de verilmiştir. En yüksek su seviyesi en büyük pürüzlülük değeri olan  $n=0.1$  için meydana gelmekte ve daha sonra  $n=0.08$  ve  $n=0.06$  gelmektedir. Pürüzlülük arttığında akım hızı azalacağından pürüzlülük değerinin değişmesi ile akım rejimi değişebilmektedir.  $n=0.06$ ’ya ait su yüzü profiline bakılırsa kanal eğimlerinin değiştiği, daralma ve genişlemelerin bulunduğu yerlerde su yüzündeki değişimler ve

sıçramalar daha belirgindir. Buda akım hızının diğerlerine göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.31. Farklı pürüzlülük değerleri için 8.585 km'deki su seviyesinin zamanla değişimi



Şekil 5.32. Farklı pürüzlülük değerleri için maksimum su seviyesi profilleri

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, baraj gövdesi üzerinde meydana gelen bir gedikten çıkan taşkın hidrografının belirlenmesi ve bu taşkının mansaptaki akarsu kesiminde ötelenmesi esasına dayanan baraj yıkılması olayı genel olarak ele alınmıştır. Çalışma kapsamında farklı türdeki barajlar için gedik oluşumu araştırılmıştır. Bununla birlikte baraj gövdesi üzerinden suyun aşması ve gövde içerisinde borulanma meydana gelmesi durumunda toprak dolgu barajlarda gedik oluşumu incelenmiştir. Gedikten çıkan taşkın hidrografının belirlenmesinde, kalın kenarlı savak ve orofis debi formülleri ile gedik boyutları ve gedik oluşum süresi arasındaki bağıntılar kullanılmıştır. Taşkın hidrografının mansap akarsu kesiminde ötelenmesinde ise kütlenin ve momentumun korunumu denklemlerine dayanan dinamik dalga yöntemi esas alınmıştır. Denklemlerin sayısal çözümü ağırlıklı dört noktalı sonlu farklar yöntemi ile yapılmıştır ve elde edilen denklem sisteminin çözümünde Newton-Raphson iterasyon tekniği kullanılmıştır.

Uygulamada Kozan Barajı'na ait veriler kullanılmış ve yıkılmaya borulanmanın neden olduğu kabul edilmiştir. Farklı gedik genişlikleri, gedik oluşum süreleri, gedik oluşum hızları ve pürüzlülük değerlerinin baraj aksında ve mansapta taşkın hidrografına, pik debiye ulaşma süresine, su seviyelerine etkisi araştırılarak su yüzü profilleri belirlenmiştir. Gedik parametreleri belirlenirken geçmişteki yıkılma bilgilerine dayanan tahmini denklemlerden yararlanılmıştır. Fakat gedik parametrelerindeki belirsizliklerden dolayı alt, ortalama ve üst değerler tespit edilerek çalışmada kullanılmıştır. Elde edilen bilgiler incelendiğinde Kilgen çayı üzerinde bulunan Kozan barajının yıkılması sonucunda, barajın 10 km mansabında bulunan Kozan ilçesinin (ilçe merkezi kotu  $\cong 110$  m) büyük bir kısmının taşkından zarar göreceği söylenebilir.

Gedikten çıkan taşkın hidrografının belirlenmesi ve ötelenmesi için National Weather Service (A.B.D.) tarafından geliştirilen NWS FLDWAV adlı bilgisayar programı kullanılmıştır.

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 ( $\tau=1$  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. Gedik oluşum hızı arttığında gedikten çıkan akımın pik debisi ve pik debiye ulaşma süresi artmaktadır. Borulanma yıkılmaları için  $\rho=1$  değeri uygun olmamaktadır.
5. Gedik parametrelerinin (gedik genişliği, oluşum süresi, oluşum hızı) pik debi değerine etkisi mansaba doğru ilerledikçe azalmaktadır.
6. Gedik parametreleri gedikten çıkan akımın şekli, büyüklüğü ve pik debiye erişme süreleri üzerinde oldukça etkili olmaktadır.
7. Büyük pürüzlülük değerlerinde barajın hemen mansabında daha yüksek su seviyeleri meydana geldiğinden gedikten çıkan akım üzerinde kuyruk suyu (batıklık) etkisi artmaktadır. Bu durumda pürüzlülük, gedikten çıkan hidrografın pik değeri ve alçalma eğrisinin şekli üzerinde etkili olmaktadır. Pürüzlülük arttığında pik debi değerinde ve alçalma eğrisinin eğiminde azalma görülmektedir.
8. Pürüzlülüğün artması akım hızını düşürmektedir. Buda ötelenen hidrografın seyahat süresini arttırmakta ve öteleme mesafesi boyunca su seviyelerinde yükselmeye neden olmaktadır.
9. Gedik parametrelerinin ve pürüzlülüğün değişimi mansap boyunca maksimum su seviyesi profillerine sadece büyüklük olarak yansıtmakta eğriler üzerinde belirgin bir şekil farkı göstermeyip birbirine paralel olmaktadır.

Barajların projelendirilmesi sırasında, özellikle mansabında büyük yerleşim yerlerinin ve önemli sanayi merkezlerinin bulunması halinde barajın yıkılma durumu dikkate alınarak oluşacak taşkın dalgasının yayılma analizi mutlaka yapılmalıdır.

Baraj yıkılması analizinde gedik boyutlarının ve özellikle gedik oluşum süresinin doğru olarak tahmin edilmesi çok zordur. Bu çalışmada sunulan geçmişte yıkılan barajlara ait bilgilerden yararlanılabilir fakat bu bilgiler dikkat ve titizlikle kullanılmalıdır.

Parametrelerin belirlenmesinde genellikle çalışma bilgileriyle desteklenmeden yargıyla belirlenen kabuller yapılmaktadır. Farklı yıkılma, arazi, akım vb. koşullarında farklı belirsizlikler önem kazanabileceğinden yapılan kabullerin sonuçları ne oranda etkilediğinin düşünülmesi ve dikkate alınması gereklidir. Örneğin mansabın geniş bir vadi olması halinde bir boyutlu akım tanımlaması, mansap akarsu yatağında oyulma ve birikmelerin oluşması, oluşan enkazın etkisi, akımda meydana gelen kayıplar-kazançlar, arazideki biriktirme hacimleri vb.

Pürüzlülük değerinin değişmesi öteleme mesafesi içinde akım rejimlerinin değişimine neden olabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı baraj yıkılması analizinde taşkın güzergahındaki pürüzlülük değerlerinin doğru tahmin edilmesi önemlidir.

Gedik oluşumunun modellenmesinde değişken gövde ve temel konfigürasyonları, malzemeleri, dolgu yoğunlukları ile barajın kendine has özellikleri (filtre zonları, topuk drenleri vb.) tanımlanabilmelidir. Erozyonun gelişimi ve gedikten çıkan akımın üç boyutlu doğası düşünülmelidir. Ayrıca arazinin üç boyutlu modellenmesi daha doğru sonuçlar alınmasını sağlayacaktır

Toprak dolgu barajların mansap yüzeyinin çimle veya erozyona karşı dirençli bir malzeme ile kaplanması veya riprap düşünülmesi üstten aşma yıkılmalarına karşı mukavemetini arttırabilir.

## KAYNAKLAR

ALMEDIA, A.B. ve FRANCO, A.B., 1994. Modelling of Dam-Break Flow. Technical University of Lizbon, Instituto Sperior Technico, Civil Engineering Department, Av. Rovisco Pais, 1006 Lisbon Codex, Portigal.

BOSS DAMBRK, 1991. User's Manual. Boss Co., USA.

BOZKUŞ, Z.,1994b. Baraj Yıkılması Analizlerinde Kullanılan Matemetiksel Modellerin Kıyaslanması ve Uygulamalı Örnekler. Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı Bildirileri, DSI, 731-747, Ankara

BROWN, R.J. ve ROGERS D.C., 1981. User's Manual for Program Brdam. Engineering and Research Center, Bureau of Reclemation, Denver, Colo.

CHAUHRY, M.H. and RAHMAN, M., 1998. Simulation of Dam-Break Flow With Grid Adaptation. Advanced in Water Resources, 21(1):1-9.

CHOW, V.T., 1959. Open Channel Hydraulics. Mc. Graw Hill Book Company Inc., N.Y.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. ve MAYS L.W., 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill Co., New York, s.310-342.

CRISTOFANO, E.A., 1965. Method of Computing Erosion Rate for Failure of Eart-Fill Dams. U.S., Bureau of Reclemation, Denver, Colo.

DANIELSON, J.A. ve MC INTYRE, W.C., 1989. A Status Report on Dam Safety in the U.S..Hydro Rewiev, 8(2): 10-14.

- DEMİRPENÇE, H. 1995. Toprak Dolgu Barajların Yıkılması ve Oluşan Taşkın Dinamik Öteleme Metodu İle İncelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ.
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, 1987. Dam Safety: An Owner's Guidance Manual.
- FREAD D.L. ve HARBAUGH, T.E., 1973. Transient Hydraulic Simulation of Breached Earth Dams. Journal of Hydraulics Division, ASCE, 99(1):139-154.
- FREAD, D.L., 1988 (revised 1991). BREACH: An Erosion Model For Earthen Dam Failures. NWS Report, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, Maryland.
- FREAD, D.L. ve LEWIS, J.M., 1998. NWS FLDWAV Model: Theoretical Description/ User Documentation. Silver Spring, Maryland.
- FROELICH, D.C., 1987. Embankment-Dam Breach Parameters. Hydraulic Engineering, Proceedings of the ASCE National Conference on Hydraulic Engineering, Williamsburg, Virginia, August 3-7, s.570-575.
- GUNER, A.I., 1998. Pre-Event Dam Failure Analyses for Emergency Management. A Master Thesis in Civil Engineering, METU, in Turkey.
- HARRIS G.W. ve WAGNER, D.A., 1967. Outflow from Breached Earth Dams. B.S. Thesis, University of Utah, Salt Lake City, Utah.
- HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 1990. HEC-1 Flood Hydrograph Package, User's Manual.
- ICOLD BULLETIN 111, 1998. Dam-Break Flood Analysis – Bulletin 111. ICOLD.

- KASAP, A., 1996. Comparison of Physical and Numerical Dam-Break Simulations: A Case Study. A Master Thesis in Civil Engineering, METU, in Turkey.
- KHAN A.A., STEFFLER P.M. ve GERARD R.,2000. Dam-Break Surges With Floating Debris. Journal Of Hydroulic Engineerng, May:375-379.
- LOU, W.C., 1981. Mathematical Model of Earth Dam Breach. Ph. D. Dissertaton, Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins, Colo.
- MACDONALD, T.C. ve LANGRIDGE-MONOPOLIS, J., 1984. Breaching Characteristics of Dam Failures. Journal of Hydraulic Engineering, 110(5):567-586.
- MOLU, M., 1995. Dam-Break Flood in A Natural Channel: A Case Study. A Master Thesis in Civil Engineering, METU, in Turkey, June.
- MOHAMED, M., SAMUELS, P.G., GHATAORA, G.S. ve MORRIS, M.W..1999. A New Methodology to Model theBreaching of Non-Cohesive Homogeneous Embankments. Proceedings of the 4th CADAM Concerted Action Meeting, University of Zaragoza.
- MOHAPATRA, P.K. ve BHALLAMUDI, S.M., 1996. Computation of A Dam-Break Flood Wave in Channel Transitions. Advances in Water Resources, 19(3): 181-187.
- MORRIS, M.W. ve GALLAND, J.C., 1998. CADAM (Concerted Action on Dambreak Modelling): Dambreak Modelling Guidelines & Best Practice. HR Wallingford, Howbery Park, Wallingford, Oxon, OX10 8BA, United Kingdom.

- O'BRIEN, J.S. and JULIEN, P., 1984. Physical Properties and Mechanics of Hyper-Concentrated Sediment Flows. Delineation of Landslide, Flash Flood, and Debris Flow Hazards in Utah, Utah State Univ., Utah Water Research Laboratory, Logan, Utah, General Series, UWRL/G-85/03:260-279.
- PONCE, V.M. ve TSIVOGLU, A.J., 1981. Modelling Gradual Dam Breaches. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 107(7):829-838.
- RALSTON, D.C., 1987. Mechanics of Embankment Erosion During Overflow. *Hydraulic Engineering, Proceedings of the 1987 ASCE National Conference on Hydraulic Engineering*, Williamsburg, Virginia, August 3-7: 733-738.
- SINGH, K.P. ve SNORRASON, A. 1984. Sensitivity of Outflow Peaks and Flood Stages to the Selection of Dam Breach Parameters and Simulation Models. *Journal of Hydrology*, 68: 295-310.
- SINGH, V.P., ve SCARLATOS, P.D., 1985. Breach Erosion of Earthfill Dams and Flood Routing: BEED Model. Research Report, Army Research Office, Battelle, Research Triangle Park, North Carolina, 131s.
- SINGH, V.P. ve SCARLATOS, P.D., 1988. Analysis of Gradual Earth-Dam Failure. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(1):21-42.
- TINGSANCHALI T. ve CHINNARASRI C., 2001. Numerical Modelling Of Dam Failure Due To Flow Overtopping. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 46(1):113-130
- VÍSCHER, D.L. ve HAGER W.H., 1997. *Dam Hydraulics*. John Willey and Sons Ltd., England, s.271-304.

- THUN V, LAWRENCE, J. ve GILLETTE, D.R., 1990. Guidance on Breach Parameters. Unpublished Internal Document, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, March 13, 17s .
- WAHL, T.L., 1996. Prediction of Embankment Dam Breach Parameters: Literature Review and Needs Assessment. USBR, Dam Safety Report DSO-98-004.
- WAHL, Tony L., 2001. The Uncertainty of Embankment Dam Breach Parameter Predictions Based on Dam Failure Case Studies. USDA/FEMA Workshop on Issues, Resolutions and Research Needs Related to Dam Failure Analysis.
- WALDER, J. S., ve O'CONNOR, J.E., 1997. Methods for Predicting Peak Discharge of Floods Caused by Failure of Natural and Constructed Earth Dams. Water Resources Research, 33(10):12s
- WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1992. Dam Safety Guidelines: Dam Break Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification. Water Resources Programme, Dam Safety Office, Olympia WA, USA.
- WETMORE, J.N. ve FREAD D.L. 1984. The NWS Simplified Dam-Break Model Executive Brief. Hydrologic Reserch Lab., NWS, NOAA, Silver Sipring, Maryland.
- WURBS, R.A., 1987. Dam-Breach Flood Wave Models. Journal of Hydraulic Engineering, 113(1):29-46.

## ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Antakya’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimimi Antakya’da tamamladı. 1994-95 eğitim döneminde Karadeniz Teknik Üniversitesi Kimya Öğretmenliği Bölümü’nde bir yıl okudu. 1995 yılında girdiği Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 1999 yılında mezun oldu. Aynı yıl M.K.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1999 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başladı. 2001 yılında lisansüstü çalışmalarını sürdürebilmek için Çukurova Üniversitesi’nde Araştırma Görevlisi olarak görevlendirildi. Halen Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak göreve devam etmektedir.



EKLER

## EK 1. NWS FLDWAV Program Data Dosyası

KOZAN BARAJI

İnş. Müh.Selahattin KOCAMAN

Çukurova Üniversitesi

EOM

NODESC

```
0.01 0.8 0.6 1000 0 0 1
1 2 10 2 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1
9 2 0 0 0
0 0 0 0 0
5 0.05 0.05 0.05 0 0
0 0 0
11 1 11 100. 0 0 0
2 4 0 2 2 0 0 0 0 0
3 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.000 0.010 1.125 2.080 2.715 3.560 3.975 4.575 6.140
7.600 8.585
.1 .1 .1 .1 .1 .1 .1 .1 .1 .1
10 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7.400 5.763 4.469 3.325 2.113 1.256 0.312 0.
280 270 260 250 240 230 220 200
1 280.5 290 2 10 0
0 0 0 0 0 0
2 0.01 278 75 0 202 2 239
1 0.00 KM
11 8.585 KM
10 10
0 10
0.0 278 0 0.0
202 210 220 230 240 250 260 270 280
```

10 40 70 100 125 155 200 245 290  
 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 0.0 0 0 0.0  
 202 210 220 230 240 250 260 270 280  
 10 40 70 100 125 155 200 245 290  
 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 0.0 0 0 0.0  
 191.7 200 210 220 230 240 250 260 270  
 0 50 83 115 155 190 220 270 315  
 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 0.0 0 0 0.0  
 184 195 205 215 225 235 245 255 265  
 0 66 105 155 205 260 310 348 385  
 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 0.0 0 0 0.0  
 178.5 190 200 210 220 230 240 250 260  
 0 65 100 140 180 230 280 325 340  
 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 0.0 0 0 0.0  
 173.4 185 195 205 215 225 235 245 255  
 0 62 100 150 200 248 290 330 365  
 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 0.0 0 0 0.0  
 170.8 180 190 200 210 220 230 240 250  
 0 85 140 200 260 315 415 525 610  
 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 0.0 0 0 0.0  
 164.6 175 185 195 205 215 225 235 245

```
0 125 192 248 310 368 420 471 522
0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.0 0 0 0.0
150.7 160 170 180 190 200 210 220 230
0 305 385 470 565 660 750 840 990
0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.0 0 0 0.0
143.1 150 160 170 180 190 200 210 220
0 115 250 430 550 650 710 770 825
0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.0 0 0 0.0
138.2 145 155 165 175 185 195 205 215
0 168 398 610 820 955 1120 1295 1380
0 0 0 0 0 0 0 0 0

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
1 9
0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08
0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06
Edit this line for Fldgraph message line
```

## EK2. NWS FLDWAV Program Çıktısı Özeti

PROGRAM FLDWAV 1.0.0 (DATE: NOVEMBER 28, 1998)

HYDROLOGIC RESEACH LABORATORY  
W/OH1 OFFICE OF HYDROLOGY  
NOAA, NATIONAL WEATHER SERVICE  
SILVER SPRING, MARYLAND 20910

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*  
\*\*\*  
\*\*\* SUMMARY OF INPUT DATA \*\*\*  
\*\*\*  
\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

KOZAN BARAJI  
İnş Müh. Selahattin KOCAMAN  
Çukurova Üniversitesi

|                      |         |         |          |         |             |        |             |
|----------------------|---------|---------|----------|---------|-------------|--------|-------------|
| EPSY                 | THETA   | F1      | XFACT    | DTHYD   | DTOUT       | METRIC |             |
| 0.010                | 0.800   | 0.600   | 1000.000 | 0.000   | 0.000       | 1      |             |
| JN                   | NU      | ITMAX   | KWARM    | KFLP    | NET         | ICOND  | FUTURE DATA |
| 1                    | 2       | 10      | 2        | 0       | 0           | 0      | 0 0 0       |
| NYQD                 | KCG     | NCG     | KPRES    |         |             |        |             |
| 0                    | 0       | 0       | 1        |         |             |        |             |
| NCS                  | KPL     | JNK     | KREVR    | NFGRF   |             |        |             |
| 9                    | 2       | 0       | 0        | 0       |             |        |             |
| IOBS                 | KTERM   | NP      | NPST     | NPEND   |             |        |             |
| 0                    | 0       | 0       | 0        | 0       |             |        |             |
| TEH                  | DTHII   | DTHPLT  | FRDFR    | DTEXP   | MDT         |        |             |
| 5.000                | 0.05000 | 0.05000 | 0.05     | 0.00000 | 0           |        |             |
| NLEV                 | DHLV    | DTHLV   |          |         |             |        |             |
| 0                    | 0.00000 | 0.00000 |          |         |             |        |             |
| RIVER NO.            | NBT     | NPT1    | NPT2     | EPQJ    | COFW        | VWIND  | WINAGL      |
| 1                    | 11      | 1       | 11       | 100.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00        |
| RIVER NO.            | KU      | KD      | NQL      | NGAGE   | NRCM1       | NQCM   | NSTR        |
| 1                    | 2       | 4       | 0        | 2       | 2           | 0      | 0           |
|                      |         |         |          |         |             |        | 0 0 0       |
| RIVER NO.            | MIXF    | MUD     | KFTR     | KLOS    | FUTURE DATA |        |             |
| 1                    | 3       | 0       | 0        | 0       | 0 0 0 0 0 0 |        |             |
| XT(I, 1) I=1,NB( 1)  |         |         |          |         |             |        |             |
| 0.000                | 0.010   | 1.125   | 2.080    | 2.715   | 3.560       | 3.975  | 4.575       |
| 6.140                | 7.600   | 8.585   |          |         |             |        |             |
| DXM(I, 1) I=1,NB( 1) |         |         |          |         |             |        |             |
| 0.100                | 0.100   | 0.100   | 0.100    | 0.100   | 0.100       | 0.100  | 0.100       |
| 0.100                | 0.100   |         |          |         |             |        |             |
| KRCH(I, 1) I=1,NRCH  |         |         |          |         |             |        |             |
| 10                   | 0       | 0       | 0        | 0       | 0           | 0      | 0           |
| 0                    | 0       |         |          |         |             |        |             |

RIVER NO. 1, DAM NO. 1

|                     |         |        |        |        |        |        |        |  |
|---------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| SAR(L, 1, 1) L=1,8  |         |        |        |        |        |        |        |  |
| 7.40                | 5.76    | 4.47   | 3.33   | 2.11   | 1.26   | 0.31   | 0.00   |  |
| HSAR(L, 1, 1) L=1,8 |         |        |        |        |        |        |        |  |
| 280.00              | 270.00  | 260.00 | 250.00 | 240.00 | 230.00 | 220.00 | 200.00 |  |
| LAD                 | HDD     | CLL    | CDOD   | QTD    | ICHAN  |        |        |  |
| 1                   | 280.50  | 290.00 | 2.00   | 10.00  | 0      |        |        |  |
| ICG                 | HSPD    | SPL    | CSD    | HGTD   | CGD    |        |        |  |
| 0                   | 0.00    | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |        |        |  |
| TFH                 | DTHDB   | HFDD   | BBD    | ZBCH   | YBMIN  | BREXP  | CPIP   |  |
| 2.000               | 0.01000 | 278.00 | 75.00  | 0.00   | 202.00 | 2.00   | 239.00 |  |

PLOTTING/OBSERVED TIME SERIES FOR RIVER J= 1

|   |     |          |
|---|-----|----------|
| I | NGS | ID       |
| 1 | 1   | 0.00 KM  |
| 2 | 11  | 8.585 KM |

ST1(K,1), K = 1, NU  
10.00 10.00

T1(K,1), K = 1, NU  
0.00 10.00

RIVER NO. 1

|        |   |         |        |        |        |        |        |        |    |
|--------|---|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| I=     | 1 | FLDSTG= | 0.00   | YDI=   | 278.00 | QDI=   | 0.     | AS1=   | 0. |
|        |   | HS=     | 202.00 | 210.00 | 220.00 | 230.00 | 240.00 | 250.00 |    |
| 260.00 |   | HS=     | 270.00 |        |        |        |        |        |    |
|        |   | HS=     | 280.00 |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BS=     | 10.0   | 40.0   | 70.0   | 100.0  | 125.0  | 155.0  |    |
| 200.0  |   | BS=     | 245.0  |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BS=     | 290.0  |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BSS=    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |    |
| 0.0    |   | BSS=    | 0.0    |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BSS=    | 0.0    |        |        |        |        |        |    |
| I=     | 2 | FLDSTG= | 0.00   | YDI=   | 0.00   | QDI=   | 0.     | AS1=   | 0. |
|        |   | HS=     | 202.00 | 210.00 | 220.00 | 230.00 | 240.00 | 250.00 |    |
| 260.00 |   | HS=     | 270.00 |        |        |        |        |        |    |
|        |   | HS=     | 280.00 |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BS=     | 10.0   | 40.0   | 70.0   | 100.0  | 125.0  | 155.0  |    |
| 200.0  |   | BS=     | 245.0  |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BS=     | 290.0  |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BSS=    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |    |
| 0.0    |   | BSS=    | 0.0    |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BSS=    | 0.0    |        |        |        |        |        |    |
| I=     | 3 | FLDSTG= | 0.00   | YDI=   | 0.00   | QDI=   | 0.     | AS1=   | 0. |
|        |   | HS=     | 191.70 | 200.00 | 210.00 | 220.00 | 230.00 | 240.00 |    |
| 250.00 |   | HS=     | 260.00 |        |        |        |        |        |    |
|        |   | HS=     | 270.00 |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BS=     | 0.0    | 50.0   | 83.0   | 115.0  | 155.0  | 190.0  |    |
| 220.0  |   | BS=     | 270.0  |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BS=     | 315.0  |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BSS=    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |    |
| 0.0    |   | BSS=    | 0.0    |        |        |        |        |        |    |
|        |   | BSS=    | 0.0    |        |        |        |        |        |    |
| I=     | 4 | FLDSTG= | 0.00   | YDI=   | 0.00   | QDI=   | 0.     | AS1=   | 0. |
|        |   | HS=     | 184.00 | 195.00 | 205.00 | 215.00 | 225.00 | 235.00 |    |
| 245.00 |   | HS=     | 255.00 |        |        |        |        |        |    |
|        |   | HS=     | 265.00 |        |        |        |        |        |    |

|        |        |         |        |        |        |        |        |      |    |
|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|------|----|
|        | BS=    | 0.0     | 66.0   | 105.0  | 155.0  | 205.0  | 260.0  |      |    |
| 310.0  | 348.0  |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 385.0   |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |      |    |
| 0.0    | 0.0    |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     |        |        |        |        |        |      |    |
| I=     | 5      | FLDSTG= | 0.00   | YDI=   | 0.00   | QDI=   | 0.     | AS1= | 0. |
|        | HS=    | 178.50  | 190.00 | 200.00 | 210.00 | 220.00 | 230.00 |      |    |
| 240.00 | 250.00 |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | HS=    | 260.00  |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 0.0     | 65.0   | 100.0  | 140.0  | 180.0  | 230.0  |      |    |
| 280.0  | 325.0  |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 340.0   |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |      |    |
| 0.0    | 0.0    |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     |        |        |        |        |        |      |    |
| I=     | 6      | FLDSTG= | 0.00   | YDI=   | 0.00   | QDI=   | 0.     | AS1= | 0. |
|        | HS=    | 173.40  | 185.00 | 195.00 | 205.00 | 215.00 | 225.00 |      |    |
| 235.00 | 245.00 |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | HS=    | 255.00  |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 0.0     | 62.0   | 100.0  | 150.0  | 200.0  | 248.0  |      |    |
| 290.0  | 330.0  |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 365.0   |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |      |    |
| 0.0    | 0.0    |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     |        |        |        |        |        |      |    |
| I=     | 7      | FLDSTG= | 0.00   | YDI=   | 0.00   | QDI=   | 0.     | AS1= | 0. |
|        | HS=    | 170.80  | 180.00 | 190.00 | 200.00 | 210.00 | 220.00 |      |    |
| 230.00 | 240.00 |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | HS=    | 250.00  |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 0.0     | 85.0   | 140.0  | 200.0  | 260.0  | 315.0  |      |    |
| 415.0  | 525.0  |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 610.0   |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |      |    |
| 0.0    | 0.0    |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     |        |        |        |        |        |      |    |
| I=     | 8      | FLDSTG= | 0.00   | YDI=   | 0.00   | QDI=   | 0.     | AS1= | 0. |
|        | HS=    | 164.60  | 175.00 | 185.00 | 195.00 | 205.00 | 215.00 |      |    |
| 225.00 | 235.00 |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | HS=    | 245.00  |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 0.0     | 125.0  | 192.0  | 248.0  | 310.0  | 368.0  |      |    |
| 420.0  | 471.0  |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 522.0   |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |      |    |
| 0.0    | 0.0    |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     |        |        |        |        |        |      |    |
| I=     | 9      | FLDSTG= | 0.00   | YDI=   | 0.00   | QDI=   | 0.     | AS1= | 0. |
|        | HS=    | 150.70  | 160.00 | 170.00 | 180.00 | 190.00 | 200.00 |      |    |
| 210.00 | 220.00 |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | HS=    | 230.00  |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 0.0     | 305.0  | 385.0  | 470.0  | 565.0  | 660.0  |      |    |
| 750.0  | 840.0  |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 990.0   |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |      |    |
| 0.0    | 0.0    |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     |        |        |        |        |        |      |    |
| I=     | 10     | FLDSTG= | 0.00   | YDI=   | 0.00   | QDI=   | 0.     | AS1= | 0. |
|        | HS=    | 143.10  | 150.00 | 160.00 | 170.00 | 180.00 | 190.00 |      |    |
| 200.00 | 210.00 |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | HS=    | 220.00  |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 0.0     | 115.0  | 250.0  | 430.0  | 550.0  | 650.0  |      |    |
| 710.0  | 770.0  |         |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BS=    | 825.0   |        |        |        |        |        |      |    |
|        | BSS=   | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |      |    |
| 0.0    | 0.0    |         |        |        |        |        |        |      |    |

```

      BSS=          0.0

I=  11      FLDSTG=  0.00      YDI=  0.00      QDI=  0.      AS1=  0.
      HS=      138.20      145.00      155.00      165.00      175.00      185.00
195.00      205.00
      HS=      215.00
      BS=      0.0      168.0      398.0      610.0      820.0      955.0
1120.0      1295.0
      BS=      1380.0
      BSS=      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
0.0      0.0
      BSS=      0.0

```

REACH INFO RIVER NO. 1

```

FKEC(I,1), I = 1, NM(1)
      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
      0.00      0.00

```

```

NCM(K, 1), K=1,NRCM1( 1)
      1      9

```

```

      CM(K, 1, 1)= 0.0800      0.0800      0.0800      0.0800      0.0800      0.0800
0.0800      0.0800      0.0800

```

```

      CM(K, 2, 1)= 0.0600      0.0600      0.0600      0.0600      0.0600      0.0600
0.0600      0.0600      0.0600

```

Edit this line for Fldgraph message line

METHOD OF ROUTING FOR THIS RIVER SYSTEM:

```

RIVER NO. 1
L= 1      KRTYP= 0      KRT1= 1      KRTN= 11      IMPLICIT DYNAMIC ROUTING

```

#### SUMMARY OF ARRAY SIZES

```

NO. OF RIVERS IN THE SYSTEM ..... 1
MAXIMUM NO. OF CROSS SECTIONS ON ANY RIVER ..... 85
NO. OF COMPUTATIONAL TIME STEPS ..... 501
MAXIMUM NO. OF GAGING STATIONS ON ANY RIVER ..... 2
MAXIMUM NO. OF ROUTING TECHNIQUES IN THE SYSTEM ..... 1
NO. OF SETS OF POINTS IN THE D/S RATING CURVE TABLE ... 1
MAXIMUM NO. OF MANNING N REACHES ON ANY RIVER ..... 85
NO. OF SETS OF POINTS IN THE MANNING N TABLE ..... 9
NO. OF SETS OF POINTS IN THE BS VS HSS TABLE ..... 9
MAXIMUM NO. OF LATERAL FLOW HYDROGRAPHS ON ANY RIVER .. 1
MAXIMUM NO. OF REACHES ON ANY RIVER ..... 11
MAXIMUM NO. OF EQUATIONS TO BE SOLVED (K2*2) ..... 170
MAXIMUM NO. OF INTERNAL BOUNDARIES ON ANY RIVER ..... 1
TOTAL NO. OF LEVEE REACHES IN THE SYSTEM ..... 1
MAXIMUM NO. OF MULTIPLE GATES ON ANY RIVER ..... 1
NO. OF DAMS WHICH HAVE MULTIPLE GATES ..... 0
NO. OF POINTS IN THE MOVABLE GATE TIME SERIES ..... 1
NO. OF INTERPOLATED LEVEE REACHES IN THE SYSTEM ..... 1
MAXIMUM NO. OF ACTUAL CROSS SECTIONS ON ANY RIVER ..... 11
TOTAL NO. OF HYDROGRAPH POINTS USED IN FLDGRF PROGRAM . 1002

```

```

*****
*****
***                                     ***
*** SUMMARY OF OUTPUT DATA ***
***                                     ***
*****
*****

```

|                        |                         |                   |                  |
|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|
| TOTAL INFLOW (1000 CM) | TOTAL OUTFLOW (1000 CM) | TOTAL VOLUME      | CONTINUITY ERROR |
| RIVER                  | TRIBUTARIES             | RIVER             | TRIBUTARIES      |
| 196575.50              | 0.00                    | 196027.50         | 0.00             |
|                        |                         | CHANGE(1000 CU-M) | (PERCENT)        |
|                        |                         | 365.98            | 0.09             |

TOTAL VOLUME/ACTIVE VOLUME CHANGE (%) OF RIVER 1 = -0.28 -0.29

TOTAL ITERATIONS FOR EACH OF 1 RIVERS.  
761

TOTAL TIME= 5.00 TOTAL NO. OF TIME STEPS: KTIME= 100 NUMTIM= 500

PROFILE OF CRESTS AND TIMES  
\* ORIGINAL CROSS-SECTION  
# PEAK STAGE EXCEEDED MAX HS

| RVR | SEC | LOCATION | BOTTOM | TIME MAX | MAX WSEL | TIME MAX  | MAX FLOW | MAX   |
|-----|-----|----------|--------|----------|----------|-----------|----------|-------|
| NO. | NO. | KM       | METERS | WSEL(HR) | METERS   | FLOW(CMS) | CMS      | (M/S) |
| 1   | 1*  | 0.000    | 202.00 | 0.00000  | 278.00   | 1.88000   | 49447.   | 8.37  |
| 1   | 2*  | 0.010    | 202.00 | 1.90000  | 251.12   | 1.88000   | 49447.   | 11.52 |
| 1   | 3   | 0.111    | 201.06 | 1.90000  | 249.87   | 1.88000   | 49433.   | 11.46 |
| 1   | 4   | 0.213    | 200.13 | 1.90000  | 248.65   | 1.89000   | 49420.   | 11.39 |
| 1   | 5   | 0.314    | 199.19 | 1.90000  | 247.44   | 1.89000   | 49411.   | 11.32 |
| 1   | 6   | 0.415    | 198.25 | 1.90000  | 246.25   | 1.89000   | 49400.   | 11.25 |
| 1   | 7   | 0.517    | 197.32 | 1.91000  | 245.08   | 1.89000   | 49387.   | 11.17 |
| 1   | 8   | 0.618    | 196.38 | 1.91000  | 243.92   | 1.89000   | 49373.   | 11.10 |
| 1   | 9   | 0.720    | 195.45 | 1.91000  | 242.79   | 1.89000   | 49356.   | 11.02 |
| 1   | 10  | 0.821    | 194.51 | 1.92000  | 241.67   | 1.90000   | 49342.   | 10.94 |
| 1   | 11  | 0.922    | 193.57 | 1.92000  | 240.58   | 1.90000   | 49328.   | 10.85 |
| 1   | 12  | 1.024    | 192.64 | 1.92000  | 239.52   | 1.90000   | 49312.   | 10.75 |
| 1   | 13* | 1.125    | 191.70 | 1.93000  | 238.49   | 1.90000   | 49292.   | 10.65 |
| 1   | 14  | 1.231    | 190.84 | 1.93000  | 237.61   | 1.90000   | 49267.   | 10.40 |
| 1   | 15  | 1.337    | 189.99 | 1.93000  | 236.77   | 1.91000   | 49241.   | 10.15 |
| 1   | 16  | 1.443    | 189.13 | 1.94000  | 235.99   | 1.91000   | 49218.   | 9.90  |
| 1   | 17  | 1.549    | 188.28 | 1.94000  | 235.25   | 1.91000   | 49191.   | 9.65  |
| 1   | 18  | 1.656    | 187.42 | 1.94000  | 234.57   | 1.91000   | 49160.   | 9.39  |
| 1   | 19  | 1.762    | 186.57 | 1.94000  | 233.93   | 1.91000   | 49127.   | 9.12  |
| 1   | 20  | 1.868    | 185.71 | 1.94000  | 233.34   | 1.92000   | 49100.   | 8.85  |
| 1   | 21  | 1.974    | 184.86 | 1.94000  | 232.79   | 1.92000   | 49072.   | 8.57  |
| 1   | 22* | 2.080    | 184.00 | 1.95000  | 232.29   | 1.92000   | 49042.   | 8.29  |
| 1   | 23  | 2.186    | 183.08 | 1.95000  | 231.47   | 1.93000   | 49013.   | 8.39  |
| 1   | 24  | 2.292    | 182.17 | 1.95000  | 230.61   | 1.93000   | 48993.   | 8.52  |
| 1   | 25  | 2.398    | 181.25 | 1.95000  | 229.71   | 1.93000   | 48971.   | 8.66  |
| 1   | 26  | 2.503    | 180.33 | 1.95000  | 228.75   | 1.93000   | 48949.   | 8.82  |
| 1   | 27  | 2.609    | 179.42 | 1.95000  | 227.73   | 1.94000   | 48932.   | 9.02  |

|       |       |        |         |        |         |        |       |
|-------|-------|--------|---------|--------|---------|--------|-------|
| 1 28* | 2.715 | 178.50 | 1.95000 | 226.61 | 1.94000 | 48919. | 9.25  |
| 1 29  | 2.821 | 177.86 | 1.95000 | 225.64 | 1.94000 | 48905. | 9.31  |
| 1 30  | 2.926 | 177.23 | 1.96000 | 224.62 | 1.94000 | 48890. | 9.39  |
| 1 31  | 3.032 | 176.59 | 1.96000 | 223.54 | 1.95000 | 48878. | 9.50  |
| 1 32  | 3.138 | 175.95 | 1.96000 | 222.37 | 1.95000 | 48871. | 9.65  |
| 1 33  | 3.243 | 175.31 | 1.96000 | 221.07 | 1.95000 | 48864. | 9.86  |
| 1 34  | 3.349 | 174.68 | 1.96000 | 219.57 | 1.95000 | 48856. | 10.18 |
| 1 35  | 3.454 | 174.04 | 1.96000 | 217.66 | 1.95000 | 48849. | 10.71 |
| 1 36* | 3.560 | 173.40 | 1.96000 | 211.77 | 1.96000 | 48848. | 13.76 |
| 1 37  | 3.664 | 172.75 | 1.96000 | 208.92 | 1.96000 | 48845. | 13.83 |
| 1 38  | 3.768 | 172.10 | 1.96000 | 207.27 | 1.96000 | 48840. | 13.13 |
| 1 39  | 3.871 | 171.45 | 1.97000 | 205.24 | 1.96000 | 48835. | 12.80 |
| 1 40* | 3.975 | 170.80 | 1.97000 | 204.80 | 1.96000 | 48835. | 11.51 |
| 1 41  | 4.075 | 169.77 | 1.97000 | 203.15 | 1.96000 | 48825. | 11.38 |
| 1 42  | 4.175 | 168.73 | 1.97000 | 201.54 | 1.96000 | 48814. | 11.25 |
| 1 43  | 4.275 | 167.70 | 1.97000 | 199.93 | 1.97000 | 48805. | 11.14 |
| 1 44  | 4.375 | 166.67 | 1.97000 | 198.31 | 1.97000 | 48799. | 11.06 |
| 1 45  | 4.475 | 165.63 | 1.97000 | 196.59 | 1.97000 | 48793. | 11.06 |
| 1 46* | 4.575 | 164.60 | 1.98000 | 193.79 | 1.97000 | 48787. | 11.79 |
| 1 47  | 4.679 | 163.67 | 1.98000 | 192.13 | 1.97000 | 48779. | 11.42 |
| 1 48  | 4.784 | 162.75 | 1.98000 | 190.51 | 1.97000 | 48770. | 11.08 |
| 1 49  | 4.888 | 161.82 | 1.98000 | 188.94 | 1.98000 | 48762. | 10.77 |
| 1 50  | 4.992 | 160.89 | 1.98000 | 187.41 | 1.98000 | 48757. | 10.49 |
| 1 51  | 5.097 | 159.97 | 1.99000 | 185.93 | 1.98000 | 48749. | 10.22 |
| 1 52  | 5.201 | 159.04 | 1.99000 | 184.50 | 1.98000 | 48739. | 9.96  |
| 1 53  | 5.305 | 158.11 | 1.99000 | 183.15 | 1.98000 | 48725. | 9.69  |
| 1 54  | 5.410 | 157.19 | 2.00000 | 181.92 | 1.98000 | 48706. | 9.38  |
| 1 55  | 5.514 | 156.26 | 2.01000 | 180.86 | 1.99000 | 48686. | 9.02  |
| 1 56  | 5.618 | 155.33 | 2.01000 | 179.98 | 1.99000 | 48659. | 8.58  |
| 1 57  | 5.723 | 154.41 | 2.02000 | 179.30 | 1.99000 | 48625. | 8.09  |
| 1 58  | 5.827 | 153.48 | 2.02000 | 178.77 | 1.99000 | 48583. | 7.55  |
| 1 59  | 5.931 | 152.55 | 2.03000 | 178.38 | 2.00000 | 48537. | 7.01  |
| 1 60  | 6.036 | 151.63 | 2.03000 | 178.08 | 2.00000 | 48496. | 6.48  |
| 1 61* | 6.140 | 150.70 | 2.03000 | 177.85 | 2.00000 | 48451. | 5.98  |
| 1 62  | 6.244 | 150.16 | 2.03000 | 177.53 | 2.00000 | 48404. | 6.03  |
| 1 63  | 6.349 | 149.61 | 2.03000 | 177.20 | 2.01000 | 48363. | 6.09  |
| 1 64  | 6.453 | 149.07 | 2.03000 | 176.85 | 2.01000 | 48326. | 6.15  |
| 1 65  | 6.557 | 148.53 | 2.03000 | 176.48 | 2.01000 | 48288. | 6.22  |
| 1 66  | 6.662 | 147.99 | 2.03000 | 176.09 | 2.02000 | 48249. | 6.30  |
| 1 67  | 6.766 | 147.44 | 2.04000 | 175.67 | 2.02000 | 48222. | 6.40  |
| 1 68  | 6.870 | 146.90 | 2.04000 | 175.23 | 2.02000 | 48194. | 6.50  |
| 1 69  | 6.974 | 146.36 | 2.04000 | 174.74 | 2.02000 | 48164. | 6.63  |
| 1 70  | 7.079 | 145.81 | 2.04000 | 174.21 | 2.03000 | 48139. | 6.78  |
| 1 71  | 7.183 | 145.27 | 2.04000 | 173.61 | 2.03000 | 48121. | 6.96  |
| 1 72  | 7.287 | 144.73 | 2.04000 | 172.93 | 2.03000 | 48101. | 7.20  |
| 1 73  | 7.392 | 144.19 | 2.04000 | 172.09 | 2.03000 | 48081. | 7.53  |
| 1 74  | 7.496 | 143.64 | 2.04000 | 170.97 | 2.04000 | 48068. | 8.05  |
| 1 75* | 7.600 | 143.10 | 2.05000 | 168.82 | 2.04000 | 48056. | 9.38  |
| 1 76  | 7.710 | 142.56 | 2.05000 | 167.85 | 2.04000 | 48040. | 9.17  |
| 1 77  | 7.819 | 142.01 | 2.05000 | 166.91 | 2.04000 | 48021. | 8.98  |
| 1 78  | 7.928 | 141.47 | 2.06000 | 165.99 | 2.05000 | 48003. | 8.79  |
| 1 79  | 8.038 | 140.92 | 2.06000 | 165.08 | 2.05000 | 47989. | 8.62  |
| 1 80  | 8.147 | 140.38 | 2.06000 | 164.19 | 2.05000 | 47972. | 8.47  |
| 1 81  | 8.257 | 139.83 | 2.06000 | 163.31 | 2.05000 | 47952. | 8.32  |
| 1 82  | 8.366 | 139.29 | 2.06000 | 162.42 | 2.06000 | 47933. | 8.20  |
| 1 83  | 8.476 | 138.74 | 2.07000 | 161.53 | 2.06000 | 47921. | 8.10  |
| 1 84* | 8.585 | 138.20 | 2.07000 | 160.60 | 2.06000 | 47907. | 8.03  |

RIVER = 1 STATION = 1 0.00 KM FLOOD STAGE = 0.00 M  
 MAX ELEV = 278.00 M AT TIME = 0.000 HOUR  
 MAX FLOW = 49447.38 CMS AT TIME = 1.880 HOUR  
 \*---COMPUTED +---OBSERVED DISCHARGE (1000 CMS )

| TIME   | 0. | 6. | 12. | 18. | 24. | 30. | 36. | 42. | 48. | 54.   | 60.    | Q-FCST | H-FCST | TIME |
|--------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|--------|--------|--------|------|
| 0.00*  | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.01  | 278.00 | 0.000  |        |      |
| 0.05*  | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.01  | 278.00 | 0.050  |        |      |
| 0.10*  | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.01  | 278.00 | 0.100  |        |      |
| 0.15*  | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.01  | 278.00 | 0.150  |        |      |
| 0.20*  | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.02  | 278.00 | 0.200  |        |      |
| 0.25*  | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.03  | 278.00 | 0.250  |        |      |
| 0.30*  | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.06  | 278.00 | 0.300  |        |      |
| 0.35*  | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.10  | 278.00 | 0.350  |        |      |
| 0.40*  | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.17  | 277.99 | 0.400  |        |      |
| 0.45*  | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.26  | 277.99 | 0.450  |        |      |
| 0.50!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.39  | 277.98 | 0.500  |        |      |
| 0.55!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.56  | 277.97 | 0.550  |        |      |
| 0.60!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 0.79  | 277.95 | 0.600  |        |      |
| 0.65!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 1.09  | 277.93 | 0.650  |        |      |
| 0.70!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 1.46  | 277.90 | 0.700  |        |      |
| 0.75!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 1.92  | 277.85 | 0.750  |        |      |
| 0.80!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 2.48  | 277.80 | 0.800  |        |      |
| 0.85!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 3.16  | 277.73 | 0.850  |        |      |
| 0.90!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 3.96  | 277.64 | 0.900  |        |      |
| 0.95!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 4.91  | 277.52 | 0.950  |        |      |
| 1.00!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 6.02  | 277.38 | 1.000  |        |      |
| 1.05!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 7.30  | 277.21 | 1.050  |        |      |
| 1.10!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 8.77  | 277.00 | 1.100  |        |      |
| 1.15!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 10.44 | 276.75 | 1.150  |        |      |
| 1.20!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 12.33 | 276.45 | 1.200  |        |      |
| 1.25!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 14.44 | 276.10 | 1.250  |        |      |
| 1.30!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 16.80 | 275.68 | 1.300  |        |      |
| 1.35!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 19.41 | 275.19 | 1.350  |        |      |
| 1.40!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 25.69 | 274.55 | 1.400  |        |      |
| 1.45!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 28.11 | 273.80 | 1.450  |        |      |
| 1.50!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 30.66 | 272.97 | 1.500  |        |      |
| 1.55!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 33.36 | 272.03 | 1.550  |        |      |
| 1.60!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 36.18 | 270.99 | 1.600  |        |      |
| 1.65!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 39.14 | 269.83 | 1.650  |        |      |
| 1.70!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 42.23 | 268.54 | 1.700  |        |      |
| 1.75!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 45.45 | 267.10 | 1.750  |        |      |
| 1.80!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 47.84 | 265.51 | 1.800  |        |      |
| 1.85!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 49.21 | 263.78 | 1.850  |        |      |
| 1.90!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 49.38 | 261.94 | 1.900  |        |      |
| 1.95!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 48.48 | 260.02 | 1.950  |        |      |
| 2.00!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 46.19 | 258.07 | 2.000  |        |      |
| 2.05!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 42.75 | 256.14 | 2.050  |        |      |
| 2.10!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 39.61 | 254.25 | 2.100  |        |      |
| 2.15!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 36.66 | 252.40 | 2.150  |        |      |
| 2.20!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 33.87 | 250.58 | 2.200  |        |      |
| 2.25!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 31.24 | 248.80 | 2.250  |        |      |
| 2.30!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 28.74 | 247.05 | 2.300  |        |      |
| 2.35!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 26.38 | 245.32 | 2.350  |        |      |
| 2.40!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 24.13 | 243.60 | 2.400  |        |      |
| 2.45!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 22.00 | 241.91 | 2.450  |        |      |
| 2.50!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 19.98 | 240.23 | 2.500  |        |      |
| 2.55!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 18.09 | 238.57 | 2.550  |        |      |
| 2.60!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 16.35 | 236.96 | 2.600  |        |      |
| 2.65!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 14.76 | 235.39 | 2.650  |        |      |
| 2.70!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 13.29 | 233.87 | 2.700  |        |      |
| 2.75!* | .  | .  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 11.93 | 232.38 | 2.750  |        |      |





|                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |      |        |       |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|--------|-------|
| 4.70                     | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.28 | 141.78 | 4.700 |
| 4.75*                    | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.25 | 141.66 | 4.750 |
| 4.80*                    | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.23 | 141.55 | 4.800 |
| 4.85*                    | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.21 | 141.44 | 4.850 |
| 4.90*                    | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.20 | 141.34 | 4.900 |
| 4.95*                    | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.18 | 141.25 | 4.950 |
| EXECUTION COMPLETED O.K. |   |   |   |   |   |   |   |   |   |      |        |       |

|                        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |      |        |       |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|--------|-------|
| 75*                    | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.25 | 141.66 | 4.750 |
| 80*                    | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.23 | 141.55 | 4.800 |
| 85*                    | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.21 | 141.44 | 4.850 |
| 90*                    | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.20 | 141.34 | 4.900 |
| 95*                    | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.18 | 141.25 | 4.950 |
| ECUTION COMPLETED O.K. |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |      |        |       |

**EK 3. Geçmişte meydana gelen baraj yıkılmalarına ait bilgiler**

EK 3. Geçmişte meydana gelen baraj yıkılmalarına ait bilgiler

| BARAJ BOYUTLARI                |       |         |                      |                                         |          |             |             |              |             |               |               |         |               |  |
|--------------------------------|-------|---------|----------------------|-----------------------------------------|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|---------------|---------------|---------|---------------|--|
| Baraj Adı ve Yeri              | Yapım | Yıkılma | Yıkılma Biçimi       | Gövde Malzemesi                         | Referans | Baraj Yükl. | Kret Geniş. | Temel Geniş. | Ort. Geniş. | Mamba Eğimi   | Mansap Eğimi  | Uzunluk | Çıkan Pk Akım |  |
|                                |       |         |                      |                                         |          | $h_b$       | $W_c$       | $W_b$        | $W$         | $Z_{mb}$      | $Z_{sl}$      | $L$     | $Q_p$         |  |
|                                |       |         |                      |                                         |          | m           | m           | m            | m           | Z : 1 (h : v) | Z : 1 (h : v) | m       | $m^3/s$       |  |
| Apishapa, Colo.                | 1920  | 1923    | Borulanma            | Homojen Toprak Dolgu, ince kum          | fghijkq  | 34.14       | 4.88        | 160          | 82.4        | 3             | 2             |         | 6850          |  |
| Baldwin Hills, Calif.          | 1951  | 1963    | Borulanma            | Homojen Toprak Dolgu                    | efghijkq | 71          | 19.2        | 100          | 59.6        | 2             | 1.8           | 198     | 1130          |  |
| Bearwallow Lake, N.C.          | 1963  | 1976    | Kayma                | Homojen Toprak Dolgu                    | ik       |             | 3.1         |              | 14          |               |               |         |               |  |
| Bradfield, England             | 1863  | 1864    | Borulanma            | Kaya Dolgu/Toprak Dolgu                 | dh       | 28.96       |             |              | 50          |               |               | 382.2   | 1150          |  |
| Break Neck Run, USA            | 1877  | 1902    |                      |                                         | h        | 7           |             |              | 86          |               |               |         | 9.2           |  |
| Buckhaven No. 2, Tennessee     |       |         | Üstten Aşma          |                                         | k        |             |             |              | 37          |               |               |         |               |  |
| Buffalo Creek, W. Va.          | 1972  | 1972    | Sızma                | Homojen Dolgu, maden artıkları          | fghq     | 14.02       | 128         |              | 128         | 1.6           | 1.3           |         | 1420          |  |
| Bullock Draw Dike, Utah        | 1971  | 1971    | Borulanma            | Homojen Toprak Dolgu                    | fhik     | 5.79        | 4.3         |              | 18.6        | 2             | 3             |         |               |  |
| Butler, Arizona                |       | 1982    | Üstten Aşma          | Homojen Toprak Dolgu                    | jk       |             |             |              | 9.63        |               |               |         | 810           |  |
| Canyon Lake, USA               | 1938  | 1972    | Üstten Aşma          |                                         | dh       | 6.1         |             |              |             |               |               | 152.4   |               |  |
| Castlewood, Colo.              | 1890  | 1933    | Üstten Aşma          | Toprak/Kaya Dolgu                       | fghijkq  | 21.34       | 4.9         |              | 47.4        | 3             | 1             |         | 3570          |  |
| Caulk Lake, Kentucky           |       |         | Borulanma veya Kayma |                                         | k        |             |             |              | 32          |               |               |         |               |  |
| Cheaha Creek, USA              | 1970  | 1970    | Üstten Aşma          | Zonlu Toprak Dolgu                      | fh       | 7.01        | 4.3         |              |             | 3             | 2.5           |         |               |  |
| Clearwater Lake Dam, Georgia   | 1965  | 1994    | Üstten Aşma          | Homojen Toprak Dolgu                    | m        |             |             |              | 15          |               |               |         |               |  |
| Coedty, England                | 1924  | 1925    | Üstten Aşma          | Toprak Dolgu, merkezi diyaframlı        | dhik     | 10.97       | 3.1         |              |             |               |               | 262.1   |               |  |
| Cougar Creek, Alberta          |       |         | Üstten Aşma          |                                         | k        |             |             |              | 21.7        |               |               |         |               |  |
| Davis Reservoir, Calif.        | 1914  | 1914    | Borulanma            | Homojen Toprak Dolgu, beton kaplamalı   | fg       | 11.89       | 6.1         |              |             | 2             | 2             |         | 510           |  |
| DMAD, Utah                     |       | 1983    |                      | Toprak Dolgu                            | g        | 8.8         |             |              |             |               |               |         | 793           |  |
| East Fork Pond River, Kentucky |       |         | Borulanma            |                                         | k        |             |             |              | 38.9        |               |               |         |               |  |
| Elk City, Okla.                | 1925  | 1936    | Üstten Aşma          | Kumlu Kil Dolgu, merkezi beton diyafram | dhik     | 9.14        | 4.9         |              | 50.4        | 3             | 2             | 563.9   |               |  |
| Emery, Calif.                  |       |         | Borulanma            |                                         | k        |             |             |              | 22.2        |               |               |         |               |  |

| Baraj Adı ve Yeri                 | Yapım | Yıkılma | Yıkılma Biçimi         | Gövde Malzemesi                       | Referans | Baraj Yıkıl. $h_d$ | Kret Geniş. $W_c$ | Temel Geniş. $W_b$ | Ort. Geniş. $W$ | Memba Eğimi $Z_{e/a}$ | Mansap Eğimi $Z_{s/a}$ | Uzunluk $L$ | Çıkan Pik Akım $Q_p$ |
|-----------------------------------|-------|---------|------------------------|---------------------------------------|----------|--------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|-------------|----------------------|
| Fogelman, Tennessee               |       |         | Borulanma              |                                       | k        | m                  | m                 | m                  | m               | $Z_{e/a}$             | $Z_{s/a}$              | m           | $m^3/s$              |
| Frankfurt, Germany                | 1975  | 1977    | Borulanma              | Toprak Dolgu                          | fh       | 9.75               |                   |                    | 21.3            |                       |                        |             | 79                   |
| Fred Burr, Mont.                  |       | 1948    | Borulanma              | Homojen Toprak Dolgu                  | gjq      | 10.4               |                   |                    | 30.8            |                       |                        |             | 654                  |
| French Landing, Mich.             | 1925  | 1925    | Borulanma              | Homojen Toprak Dolgu                  | fghijk   | 12.19              | 2.4               |                    | 34.3            | 2                     | 2.5                    |             | 929                  |
| Frenchman Creek, Mont.            | 1952  | 1952    | Borulanma              | Homojen Toprak Dolgu                  | fghijk   | 12.5               | 6.1               |                    | 37.3            | 3                     | 2                      |             | 1420                 |
| Frias, Argentina                  | 1940  | 1970    | Üstten Aşma            | Homojen Kaya Dolgu                    | dh       |                    |                   |                    |                 | 1                     | 1                      | 62.2        |                      |
| Goose Creek, S. Carolina          | 1903  | 1916    | Üstten Aşma            | Toprak Dolgu                          | fgh      | 6.1                | 3                 |                    |                 | 1.5                   | 1.5                    |             | 565                  |
| Grand Rapids, USA                 | 1874  | 1900    | Üstten Aşma            | Toprak Dolgu, kil diyafam             | dhk      | 7.62               | 3.7               |                    | 14.8            | 1.5                   | 1.5                    | 440.5       |                      |
| Granite Creek, Alaska             |       | 1971    |                        |                                       | c        |                    |                   |                    |                 |                       |                        |             | 1841                 |
| Haas Pond, Connecticut            |       |         | Borulanma              |                                       | k        |                    |                   |                    | 16.7            |                       |                        |             |                      |
| Hart, Mich.                       | 1920  | 1986    | Borulanma              | Homojen Toprak Dolgu                  | ik       |                    | 4.3               |                    | 31.1            |                       |                        |             |                      |
| Hatchtown, Utah                   | 1908  | 1914    | Borulanma temel hatası | Zonlu Toprak Dolgu                    | dfghijkq | 19.2               | 6.1               |                    | 44.8            | 2                     | 2.5                    | 237.7       | 3080                 |
| Hatfield, USA                     | 1908  | 1911    |                        |                                       | h        | 6.8                |                   |                    |                 |                       |                        |             | 3400                 |
| Hebron, USA                       | 1913  | 1914    | Borulanma              | Toprak Dolgu                          | fh       | 11.58              | 3.7               |                    |                 | 3                     | 1.5                    |             |                      |
| Hell Hole, Calif.                 | 1964  | 1964    | Borulanma              | Kaya Dolgu                            | fghijkq  | 67.06              | 21.3              |                    | 103.2           | 1.5                   | 1.5                    |             | 7360                 |
| Herrin, Ill.                      |       | 1935    | Üstten Aşma            | Zonlu Toprak Dolgu                    | ik       |                    | 4.6               |                    | 28.8            |                       |                        |             |                      |
| Horse Creek, Colo.                | 1911  | 1914    | Borulanma              | Homojen Toprak Dolgu, beton kaplamalı | dfik     | 12.19              | 4.9               |                    | 26.8            | 1.5                   | 2                      | 701         |                      |
| Hutchinson Lake Dam, Georgia      | 1960  | 1994    | Üstten Aşma            | Homojen Toprak Dolgu                  | m        |                    |                   |                    | 14              |                       |                        |             |                      |
| Iowa Beef Processors, Washington  | 1971  | 1993    | Borulanma              | Toprak Dolgu                          | kr       | 4.57               |                   |                    |                 |                       |                        | 304.8       |                      |
| Ireland No. 5, Colo.              |       | 1984    | Borulanma              | Homojen Toprak Dolgu                  | ijk      |                    | 2.4               |                    | 18              |                       |                        |             | 110                  |
| Jacobs Creek, Penn.               |       |         | Borulanma              |                                       | k        |                    |                   |                    |                 |                       |                        |             |                      |
| Johnston City, Ill.               | 1921  | 1981    | Borulanma              | Homojen Toprak Dolgu                  | fhik     | 4.27               | 1.8               |                    | 21.5            | 4.75                  | 2.75                   |             |                      |
| Johnstown (South Fork Dam, Penn.) | 1853  | 1889    | Üstten Aşma            | Zonlu Toprak ve Kaya Dolgu            | dfghijkq | 38.1               | 3.05              |                    | 64              | 2                     | 1.5                    | 283.5       | 8500                 |
| Kaddam, India                     | 1957  | 1958    | Üstten Aşma            | Toprak Dolgu                          | abdlp    | 12.5               |                   |                    |                 |                       |                        |             |                      |
| Kelly Barnes, Ga.                 | 1948  | 1977    | Borulanma              | Homojen Toprak Dolgu                  | fghijkq  | 11.58              | 6.1               |                    | 19.4            | 1                     | 1                      |             | 680                  |
| Kendall Lake Dam, S.C.            | 1900  | 1990    | Üstten Aşma            | Toprak Dolgu                          | n        | 5.49               |                   |                    |                 |                       |                        | 128.02      |                      |
| Kraftsmen's Lake Dam, Georgia     |       | 1994    | Üstten Aşma            | Homojen Toprak Dolgu                  | m        |                    |                   |                    | 8.1             |                       |                        |             |                      |

| Baraj Adı ve Yeri                 | Yapım | Yıkılma | Yıkılma Biçimi | Gövde Malzemesi                  | Referans | Baraj Yükl. | Kret Geniş. | Temel Geniş. | Ort. Geniş. | Mamba Eğimi       | Mansap Eğimi      | Uzunluk | Pik Akım          |
|-----------------------------------|-------|---------|----------------|----------------------------------|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|-------------------|
| La Fruta, Tex.                    | 1930  | 1930    | Borulanma      | Homojen Toprak Dolgu             | ik       | m           | m           | m            | m           | Z <sub>e</sub> /u | Z <sub>e</sub> /d | L       | Q <sub>p</sub>    |
| Lake Frances, Calif.              | 1899  | 1899    | Borulanma      | Homojen Toprak Dolgu             | fhik     | 15.24       | 4.9         | 40           | 40          | Z <sub>e</sub> /u | Z <sub>e</sub> /d | m       | m <sup>3</sup> /s |
| Lake Geneva, Kentucky             |       |         | Borulanma      | Toprak Dolgu                     | k        |             | 4.9         |              | 47.4        | 3                 | 2                 |         |                   |
| Lake Latonka, Penn.               | 1966  | 1966    | Borulanma      | Homojen Toprak Dolgu             | hik      | 13          | 6.1         |              | 19.8        |                   |                   |         |                   |
| Lake Philema Dam, Georgia         | 1965  | 1994    | Üstten Aşma    | Homojen Toprak Dolgu             | m        |             |             | 28           | 28          |                   |                   |         | 290               |
| Lambert Lake, Tenn.               |       |         | Borulanma      | Toprak Dolgu                     | k        |             |             |              | 53.9        |                   |                   |         |                   |
| Laurel Run, Penn.                 |       | 1977    | Üstten Aşma    | Toprak Dolgu                     | fgjhikq  | 12.8        | 6.1         |              | 40.5        |                   |                   |         | 1050              |
| Lawn Lake, Colo.                  | 1903  | 1982    | Borulanma      | Homojen Toprak Dolgu             | gikq     | 7.9         | 2.4         |              | 14.2        |                   |                   |         | 510               |
| Lily Lake, Colo.                  | 1913  | 1951    | Borulanma      | Homojen Toprak Dolgu             | ijk      |             |             |              |             |                   |                   |         | 71                |
| Little Deer Creek, Utah           | 1962  | 1963    | Borulanma      | Homojen Toprak Dolgu             | fgjhikq  | 26.21       | 6.1         |              | 63.1        |                   |                   |         | 1330              |
| Long Branch Canyon, Calif.        |       |         | Borulanma      |                                  | k        |             |             |              | 11.3        |                   |                   |         |                   |
| Lower Latham, Colo.               |       | 1973    | Borulanma      | Homojen Toprak Dolgu             | ijkp     |             | 4.6         |              | 25.7        |                   |                   |         | 340               |
| Lower Otay, Calif.                | 1897  | 1916    | Üstten Aşma    | Kaya Dolgu, beton/çelik diyafram | dfik     | 41.15       | 3.7         |              | 53.3        | 1                 | 1                 | 172.2   |                   |
| Lower Two Medicine, Mont.         | 1913  | 1964    | Borulanma      | Homojen Toprak Dolgu             | fgjhikq  | 11.28       | 3.7         |              |             |                   |                   |         | 1800              |
| Lyman, Ariz.                      | 1913  | 1915    | Borulanma      | Zonlu Toprak Dolgu               | fhi      | 19.81       | 3.7         |              |             | 2                 | 2                 |         |                   |
| Lynde Brook, Mass.                | 1871  | 1876    | Borulanma      | Toprak Dolgu, merkezi diyaframlı | fik      | 12.5        | 15.2        |              | 41.8        | 2                 | 2.3               |         |                   |
| Machhu II, India                  |       | 1979    | Sızma          | Toprak Dolgu                     | dhp      | 60.05       | 6           |              |             | 3                 | 2                 | 4175.8  |                   |
| Mammoth, USA                      | 1916  | 1917    | Sızma          |                                  | h        | 21.3        |             |              |             |                   |                   |         | 2520              |
| Martin Cooling Pond Dike, Florida |       | 1979    | Temel hatası   |                                  | pq       |             |             |              |             |                   |                   |         | 3115              |
| Melville, Utah                    | 1907  | 1909    | Borulanma      | Zonlu Toprak Dolgu               | fhik     | 10.97       | 3           |              | 25.1        | 3                 | 1.5               |         |                   |
| Merimac Lake Dam, Georgia         | 1939  | 1994    | Üstten Aşma    | Homojen Toprak Dolgu             | m        |             |             |              | 17.5        |                   |                   |         |                   |
| Mill River, Massachusetts         |       | 1874    | Toprak ve Taş  | Toprak Dolgu                     | g        | 13.1        |             |              |             |                   |                   |         | 1645              |
| Mossy Lake Dam, Georgia           | 1963  | 1994    | Üstten Aşma    | Homojen Toprak Dolgu             | m        |             |             |              | 14.3        |                   |                   |         |                   |
| Nanaksgar, India                  | 1962  | 1967    | Üstten Aşma    |                                  | hp       | 15.85       |             |              |             |                   |                   |         | 9700              |
| Nahzille, New Mexico              |       | 1996    | Üstten Aşma    | Homojen Toprak Dolgu             | o        | 5.4864      |             |              |             | 3                 | 2                 | 129.54  |                   |
| North Branch, Penn.               |       | 1977    |                | Toprak Dolgu                     | figh     | 5.5         |             |              |             |                   |                   |         | 29.4              |
| Oakford Park, USA                 |       | 1903    | Üstten Aşma    | Toprak Dolgu, merkezi diyaframlı | dh       | 6.1         | 2.6         |              |             |                   |                   | 106.7   |                   |
| Oros, Brazil                      | 1960  | 1960    | Üstten Aşma    | Zonlu Toprak ve Kaya Dolgu       | fgjhikpq | 35.36       | 5           |              | 110         |                   |                   |         | 9630              |
| Otter Lake, Tenn.                 |       |         | Borulanma      | Toprak Dolgu                     | k        |             |             |              | 20.6        |                   |                   |         |                   |

| Baraj Adı ve Yeri             | Yapım | Yıkılma | Yıkılma Biçimi | Gövde Malzemesi                        | Referans | Baraj Yük. | Kret Geniş. | Tenel Geniş. | Ort. Geniş. | Mamba Eğimi | Mansap Eğimi | Uzunluk | Pik Akım |
|-------------------------------|-------|---------|----------------|----------------------------------------|----------|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|---------|----------|
|                               |       |         |                |                                        |          | $h_a$      | $W_c$       | $W_b$        | $W$         | $Z_{c/a}$   | $Z_{e/d}$    | $L$     | $Q_p$    |
| Otto Run, USA                 |       | 1977    |                | Toprak Dolgu                           | fgh      | m          | m           | m            | m           | $Z:1 (h:v)$ | $Z:1 (h:v)$  | m       | $m^3/s$  |
| Prospect, Colo.               | 1914  | 1980    | Borulama       | Homojen Toprak Dolgu                   | ijk      | 5.8        |             |              |             |             |              |         | 60       |
| Puddingstone, Calif.          | 1926  | 1926    | Üstten Aşma    | Homojen Toprak Dolgu                   | ijk      |            | 4.3         |              | 13.1        |             |              |         | 116      |
| Quail Creek, Utah             | 1986  | 1989    | Borulama       | Homojen Toprak Dolgu                   | jk       |            |             |              | 56.6        |             |              |         | 480      |
| Rainbow Lake, Mich.           |       | 1986    | Üstten Aşma    | Homojen Toprak Dolgu                   | ik       |            | 11.3        |              | 28.2        |             |              |         | 3110     |
| Renegade Resort Lake, Tenn.   |       |         | Üstten Aşma    |                                        | k        |            |             |              | 11          |             |              |         |          |
| Rito Manzanares, N.M.         |       | 1975    | Borulama       | Homojen Toprak Dolgu                   | fhiik    | 7.32       | 3.7         |              | 13.3        | 1.34        | 1.34         |         |          |
| Salles Oliveira, Brazil       | 1966  | 1977    | Üstten Aşma    | Toprak Dolgu                           | fh       | 35.05      |             |              |             |             |              |         | 7200     |
| Sandy Run, Penn.              |       | 1977    | Üstten Aşma    | Toprak Dolgu                           | fhiq     | 8.53       |             |              |             |             |              |         | 435      |
| Schaeffer, Colo.              |       | 1921    | Üstten Aşma    | Toprak Dolgu, merkezi beton diyafram   | dfghikq  | 30.5       | 4.6         |              | 80.8        | 3           | 2            | 335.3   | 4500     |
| Scott Farm Dam No. 2, Alberta |       |         | Borulama       |                                        | k        |            |             |              | 39.3        |             |              |         |          |
| Sheep Creek, USA              | 1969  | 1970    | Sızma          | Toprak Dolgu                           | fh       | 17.07      | 6.1         |              |             | 3           | 2            |         |          |
| Sherburne, USA                | 1892  | 1905    | Sızma          | Toprak Dolgu, merkezi diyaframlı       | dh       | 10.36      |             |              |             |             |              | 91.4    | 960      |
| Sinker Creek, USA             | 1910  | 1943    | Sızma          | Toprak Dolgu                           | fh       | 21.34      |             |              |             |             |              |         |          |
| South Fork Tributary, Penn.   |       | 1977    |                | Toprak Dolgu                           | fgh      | 1.8        |             |              |             |             |              |         | 122      |
| Spring Lake, R.I.             | 1887  | 1889    | Borulama       | Homojen Toprak +E69Dolgu, kıl ve çakıl | fhi      | 5.49       | 2.4         |              |             | 0.75        | 0.75         |         |          |
| Statham Lake Dam, Georgia     | 1955  | 1994    | Üstten Aşma    | Homojen Toprak Dolgu                   | m        |            |             |              | 12.6        |             |              |         |          |
| Swift, Montana                | 1914  | 1964    | Üstten Aşma    | Kaya Dolgu, beton mamba diyaframı      | dfiq     | 57.61      |             |              |             |             |              | 225.6   | 24947    |
| Teton, Idaho                  | 1975  | 1976    | Borulama       | Zonlu Toprak Dolgu                     | fghijkq  | 92.96      | 10.7        |              | 250         | 3           | 2.5          |         | 65120    |
| Trial Lake, Utah              |       |         | Borulama       |                                        | k        |            |             |              | 7.62        |             |              |         |          |
| Trout Lake, N.C.              |       |         | Üstten Aşma    |                                        | k        |            |             |              | 21.6        |             |              |         |          |
| Upper Pond, Connecticut       |       |         | Üstten Aşma    |                                        | k        |            |             |              |             |             |              |         |          |
| Wheatland No. 1, Wyo.         | 1893  | 1969    | Borulama       | Homojen Toprak Dolgu                   | fhiik    | 13.6       | 6.1         |              |             |             |              |         |          |
| Wilkinson Lake Dam, Georgia   | 1956  | 1994    | Borulama       | Homojen Toprak Dolgu, merkezi diyafram | m        |            |             |              | 13.2        |             |              |         |          |
| Winston, N.C.                 | 1904  | 1912    | Üstten Aşma    | Toprak Dolgu, merkezi diyaframlı       | dfik     | 7.32       | 2.1         |              | 7.76        | 1           | 1            | 132.6   |          |

| HİDROLİK KARAKTERİSTİKLERİ     |                |                          |                          |                      |             |                |                  |                  |               |                  |                 |                |                |                     |                         |  | GEDİK KARAKTERİSTİKLERİ |  |  |  |  |  |  | ZAMAN PARAMETRELERİ |  |  |  |  |
|--------------------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------|----------------|------------------|------------------|---------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|-------------------------|--|-------------------------|--|--|--|--|--|--|---------------------|--|--|--|--|
| Rezerv. Hacmi                  | Yüzey Alanı    | Gedik Üstündeki su hacmi | Gedik Üstündeki Derinlik | Gedik Oluşum Faktörü | Gedik Şekli | Yükseklik      | Üst Genişlik     | Alt Genişlik     | Ort. Genişlik | Ort. Kenar Eğimi | Aşınan Hacim    | Oluşum Zamanı  | Yıkılma Zamanı | Max. Gelişme Zamanı | Gedik ve Boşalma Zamanı |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| S                              | A              | V <sub>w</sub>           | h <sub>w</sub>           | V <sub>whw</sub>     |             | h <sub>b</sub> | B <sub>üst</sub> | B <sub>alt</sub> | B             | Z                | V <sub>er</sub> | t <sub>f</sub> | t <sub>f</sub> | t <sub>f</sub>      | t <sub>f</sub>          |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| m <sup>3</sup>                 | m <sup>2</sup> | m <sup>3</sup>           | m                        | m <sup>4</sup>       |             | m              | m                | m                | m             | Z:1 (h:v)        | m <sup>3</sup>  | sa             | sa             | sa                  | t <sub>f</sub>          |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Baraj Adı ve Yeri              |                |                          |                          |                      |             |                |                  |                  |               |                  |                 |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Apishapa, Colo.                | 2.3E+07        | 22200000                 | 28                       | 621600000            | Trapez      | 31.1           | 91.5             | 81.5             | 93            | 0.44             | 238000          | 0.75           | 2.5            | 2.5                 |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Baldwin Hills, Calif           | 1100000        | 76900                    | 12.2                     | 111000000            | Üçgen       | 21.3           |                  |                  | 25            | 0.31             | 31700           | 0.3333         | 1.3            | 1.3                 |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Bearwallow Lake, N.C.          |                | 49300                    | 5.79                     | 285000               |             | 6.4            |                  |                  | 12.2          | 1.43             | 1090            |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Bradfield, England             | 3200000        |                          |                          |                      |             |                |                  |                  |               |                  |                 |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Break Neck Run, USA            | 49000          |                          |                          |                      |             | 7              |                  |                  | 30.5          |                  |                 |                | <0.5           |                     | 0.75                    |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Buckhaven No. 2, Tennessee     |                |                          |                          |                      |             |                |                  |                  |               |                  |                 |                | 3              |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Buffalo Creek, W. Va.          | 484000         | 52600                    | 6.1                      | 151000               |             | 6.1            |                  |                  | 4.72          | 0.73             | 1070            |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Bullock Draw Dike, Utah        | 1130000        |                          | 14.02                    | 6780000              | Trapez      | 14             | 153              | 97               | 125           | 2                | 319000          |                | 0.5            | 0.5                 |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Butler, Arizona                |                | 740000                   | 3.05                     | 2260000              | Trapez      | 5.79           | 13.6             | 11               | 12.5          | 0.21             | 1350            |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Canyon Lake, USA               | 985000         |                          | 7.16                     | 170000000            |             | 7.16           |                  |                  | 62.5          | 0.85             | 4310            |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Castlewood, Colo.              | 4230000        | 809000                   | 21.6                     | 1330000000           | Trapez      | 21.3           | 54.9             | 33.5             | 44.2          | 0.5              | 55700           | 0.5            |                | 0.33                |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Caulk Lake, Kentucky           |                | 698000                   | 11.1                     | 7750000              |             | 12.2           |                  |                  | 35.1          | 1.38             | 13700           |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Cheaha Creek, USA              | 69000          |                          |                          |                      |             |                |                  |                  |               |                  | 15500           |                | 5.5            | 5.5                 |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Clearwater Lake Dam, Georgia   |                | 466000                   | 4.05                     | 1890000              |             | 3.78           |                  |                  |               |                  |                 |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Coedty, England                | 310000         | 311000                   | >11.00                   | 3420000              |             | 11             | 67               | 18.2             | 42.7          | 2.22             |                 | 0.25           | kısa           |                     | kısa                    |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Cougar Creek, Alberta          |                | 29800                    | 11.1                     | 331000               |             | 10.4           |                  |                  |               |                  |                 |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Davis Reservoir, Calif.        | 5.8E+07        | 1.3E+07                  | 11.5824                  | 6710000000           | Trapez      | 11.9           | 21.336           |                  |               | 0.25             | 6470            |                |                | 7                   |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| DMAD, Utah                     | 2E+07          | 19700000                 |                          |                      |             |                |                  |                  |               |                  |                 |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| East Fork Pond River, Kentucky |                | 1870000                  | 9.8                      | 18300000             |             | 11.4           |                  |                  | 17.2          | 0.44             | 7630            |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Elk City, Okla.                | 740000         | 1180000                  | 9.44                     | 11100000             |             | 9.14           | 45.5             | 27.7             | 36.6          | 1                | 16900           |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Emery, Calif.                  |                | 425000                   | 6.55                     | 2780000              |             | 8.23           |                  |                  | 10.8          | 0.35             | 1970            |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Erindale, Canada               |                |                          |                          |                      |             | 4.6            | 39.5             |                  |               |                  |                 |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Euclides de Cunha, Brazil      | 1.4E+07        |                          | 58.22                    |                      | Trapez      | 53             | 131              |                  |               |                  | 726000          |                | <0.5           |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Fogelman, Tennessee            |                | 493000                   | 11.1                     | 5470000              |             | 12.6           |                  |                  | 7.62          | 0.36             | 2050            |                | 7.3            | 7.3                 |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Frankfurt, Germany             | 350000         | 351542                   | 8.23                     | 2890000              | Trapez      | 9.75           | 9.2              | 4.6              | 6.9           | 0.4              | 1290            |                | 2.5            | 0.25                |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Fred Burr, Mont.               | 752000         | 750000                   | 10.2                     | 7650000              |             | 10.4           |                  |                  |               |                  |                 |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| French Landing, Mich.          |                | 3870000                  | 8.53                     | 33000000             | Trapez      | 14.2           | 41               | 13.8             | 27.4          | 0.97             | 13800           | 0.5833         | 0.58           | 0.58                |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |
| Frenchman Creek, Mont.         | 2.1E+07        | 16000000                 | 10.8                     | 1730000000           | Trapez      | 12.5           | 67               | 54.4             | 54.6          | 0.5              | 28400           |                |                |                     |                         |  |                         |  |  |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |

|                               | HİDROLİK KARAKTERİSTİKLER |                |                                |                                |                            |                | GEDİK KARAKTERİSTİKLERİ |                 |                 |                  |                        |                 | ZAMAN PARAMETRELERİ |                   |                           |                               |
|-------------------------------|---------------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------------|-----------------|---------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------|
|                               | Rezerv.<br>Hacmi          | Yüzey<br>Alanı | Gedik<br>Üstündeki<br>su hacmi | Gedik<br>Üstündeki<br>Derinlik | Gedik<br>Oluşum<br>Faktörü | Gedik<br>Şekli | Yükseklik               | Üst<br>Genişlik | Alt<br>Genişlik | Ort.<br>Genişlik | Ort.<br>Kenar<br>Eğimi | Aşınan<br>Hacim | Oluşum<br>Zamanı    | Yıkılma<br>Zamanı | Max.<br>Gelişme<br>Zamanı | Gedik ve<br>Boşalma<br>Zamanı |
| Grand Rapids, USA             | 220000                    |                | 25500                          | 6.4                            | 163000                     |                | 6.4                     | 12.2            | 6               | 19               | 2.26                   | 1799.7          |                     | 0.5               |                           | kısa                          |
| Granite Creek, Alaska         |                           |                |                                |                                |                            |                |                         |                 |                 |                  |                        |                 |                     |                   |                           |                               |
| Haas Pond, Connecticut        |                           |                | 23400                          | 2.99                           | 70000                      |                | 3.96                    |                 |                 | 10.7             | 0.38                   | 707.61          |                     |                   |                           |                               |
| Hart, Mich.                   |                           |                | 6350000                        | 10.7                           | 67900000                   |                | 10.8                    |                 |                 | 73.9             | 3.03                   | 24800           |                     |                   |                           |                               |
| Hatchtown, Utah               | 1.5E+07                   |                | 14800000                       | 16.8                           | 249000000                  | Trapez         | 18.3                    | 180             | 140.4           | 151              | 2.42                   | 161000          | 1                   | 3                 | 3                         | 1                             |
| Hatfield, USA                 | 1.2E+07                   |                |                                |                                |                            |                | 6.8                     |                 | 6.1             | 91.5             |                        |                 |                     |                   |                           |                               |
| Hebron, USA                   |                           |                |                                | 12.19                          |                            | Trapez         | 15.3                    | 61              | 30.4            | 45.7             | 0.5                    | 30800           |                     | 2.25              | 2.25                      |                               |
| Hell Hole, Calif.             | 3.1E+07                   |                | 30600000                       | 35.1                           | 1.07E+09                   | Trapez         | 56.4                    |                 |                 | 121              | 0.96                   | 555000          | 0.75                |                   | 5                         |                               |
| Herrin, Ill.                  |                           |                |                                | >10.70                         |                            |                | 10.7                    |                 |                 | 47.2             | 1.14                   | 14500           |                     |                   |                           |                               |
| Horse Creek, Colo.            | 2.1E+07                   | 4860000        | 12800000                       | 7.01                           | 89700000                   | Trapez         | 12.8                    | 76.2            | 70              | 73.1             | 0.83                   | 20500           |                     |                   |                           |                               |
| Hutchinson Lake Dam, Georgia  |                           |                | 1170000                        | 4.42                           | 5170000                    |                | 3.75                    |                 |                 | 33.4             | 1.14                   | 1750            |                     |                   |                           |                               |
| Iowa Beef Processors, Wash    | 333000                    | 150000         | 333000                         | 4.42                           | 1470000                    |                | 4.57                    |                 |                 | 16.8             | 0.33                   |                 |                     |                   |                           |                               |
| Ireland No. 5, Colo.          |                           |                | 160000                         | 3.81                           | 610000                     |                | 5.18                    |                 |                 | 13.5             | 0.38                   | 1260            | 0.5                 |                   |                           |                               |
| Jacobs Creek, Penn.           |                           |                | 423000                         | 20.1                           | 8500000                    |                | 21.3                    |                 |                 | 17.5             | 0.61                   |                 |                     |                   |                           |                               |
| Johnston City, Ill.           | 575000                    |                | 575000                         | 3.05                           | 1750000                    | Trapez         | 5.18                    | 13.4            | 2               | 8.23             | 1                      | 673             |                     |                   |                           |                               |
| Johnstown (South Fork Dam)    | 1.9E+07                   | 1650000        | 18900000                       | 24.6                           | 465000000                  | Trapez         | 24.4                    | 128             | 61              | 94.5             | 1.38                   | 68800           | 0.75                | 1                 | 3.5                       | 3.5                           |
| Kaddam, India                 | 2.1E+08                   |                |                                |                                |                            |                | 15.2                    | 30              |                 | 137.16           |                        |                 |                     | 0.5               |                           |                               |
| Kelly Barnes, Ga.             | 505000                    | 170000         | 777000                         | 11.3                           | 8780000                    | Trapez         | 12.8                    | 35              | 18              | 27.3             | 0.85                   | 9940            |                     |                   |                           |                               |
| Kendall Lake Dam, S.C.        | 728000                    | 166000         |                                |                                |                            |                |                         |                 |                 |                  |                        |                 |                     |                   |                           |                               |
| Kraftsmen's Lake Dam, Georgia |                           |                | 177000                         | 3.66                           | 648000                     |                | 3.2                     |                 |                 | 14.5             | 1.48                   | 375.84          |                     |                   |                           |                               |
| La Fruta, Tex.                |                           |                | 789000000                      | 7.9                            | 623000000                  |                | 14                      |                 |                 | 58.8             | 0.3                    | 32900           |                     |                   |                           |                               |
| Lake Avalon, N.M.             | 7750000                   |                | 31500000                       | 13.7                           | 432000000                  |                | 14.6                    |                 |                 | 130              | 0.52                   | 81000           |                     | 2                 |                           |                               |
| Lake Barcroft, USA            | 3120000                   |                |                                |                                |                            |                | 11                      | 23              |                 |                  |                        |                 |                     | >1                |                           | Uzun                          |
| Lake Frances, Calif.          | 865000                    | 174000         | 789000                         | 14                             | 11000000                   | Trapez         | 17.1                    | 30              | 10.4            | 18.9             | 0.65                   | 12400           |                     | 1                 | 1                         |                               |
| Lake Genevieve, Kentucky      |                           |                | 680000                         | 6.71                           | 4560000                    |                | 7.92                    |                 |                 | 16.8             | 1.54                   | 2630            |                     |                   |                           |                               |
| Lake Latonka, Penn.           | 1590000                   |                | 4090000                        | 6.25                           | 25600000                   |                | 8.69                    |                 |                 | 39.2             | 1.18                   | 9540            |                     | 3                 |                           |                               |
| Lake Philena Dam, Georgia     |                           |                | 4780000                        | 9                              | 43000000                   |                | 8.53                    |                 |                 | 47.2             | 0.33                   | 11300           |                     |                   |                           |                               |
| Lambert Lake, Tenn.           |                           |                | 296000                         | 12.8                           | 3790000                    |                | 14.3                    |                 |                 | 7.62             | 0.21                   | 5870            |                     |                   |                           |                               |
| Laurel Run, Penn.             | 385000                    |                | 555000                         | 14.1                           | 7830000                    |                | 13.7                    |                 |                 | 35.1             | 2.4                    | 19500           |                     |                   |                           |                               |
| Lawn Lake, Colo.              |                           |                | 798000                         | 6.71                           | 5350000                    |                | 7.62                    |                 |                 | 22.2             | 0.96                   | 2400            |                     |                   |                           |                               |
| Lily Lake, Colo.              |                           |                | 92500                          | 3.35                           | 310000                     |                | 3.66                    |                 |                 | 10.8             | 0.13                   |                 |                     |                   |                           |                               |
| Little Deer Creek, Utah       | 1730000                   |                | 1360000                        | 22.9                           | 31100000                   | Trapez         | 27.1                    | 23              |                 | 29.6             | 0.75                   | 50600           | 0.3333              | 0.33              | 0.33                      |                               |
| Lower Latham, Colo.           | 7080000                   |                | 7080000                        | 5.79                           | 41000000                   |                | 7.01                    |                 |                 | 79.2             | 6.3                    | 14300           | 1.5                 |                   |                           |                               |

| HİDROLİK KARAKTERİSTİKLER         |             | GEDİK KARAKTERİSTİKLERİ  |                          |                      |             |           |              |              |               |                  |              | ZAMAN PARAMETRELERİ |                |                     |                         |  |
|-----------------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------|-----------|--------------|--------------|---------------|------------------|--------------|---------------------|----------------|---------------------|-------------------------|--|
| Rezerv. Hacmi                     | Yüzey Alanı | Gedik Üstündeki su hacmi | Gedik Üstündeki Derinlik | Gedik Oluşum Faktörü | Gedik Şekli | Yükseklik | Üst Genişlik | Alt Genişlik | Ort. Genişlik | Ort. Kenar Eğimi | Aşınan Hacim | Oluşum Zamanı       | Yıkılma Zamanı | Max. Gelişme Zamanı | Gedik ve Boşalma Zamanı |  |
| Lower Two Medicine, Mont.         | 2E+07       | 29600000                 | 11.3                     | 334000000            | Trapez      | 11.3      |              |              | 67            | 1.5              |              |                     |                |                     |                         |  |
| Lyman, Ariz.                      | 5E+07       | 35800000                 | 16.2                     | 580000000            | Trapez      | 19.8      | 107          | 87           | 97            | 1                | 71900        |                     |                |                     |                         |  |
| Lynde Brook, Mass.                | 2520000     | 534000                   | 11.6                     | 33400000             | Trapez      | 12.5      | 45.7         | 15.3         | 30.5          | 1.22             | 15300        |                     |                | 3                   |                         |  |
| Machhu II, India                  | 1.1E+08     |                          |                          |                      |             | 60        | 540          |              |               |                  |              |                     | 2              |                     |                         |  |
| Mammoth, USA                      | 1.4E+07     |                          |                          |                      |             | 21.3      |              |              | 9.2           |                  |              |                     | 3              |                     |                         |  |
| Martin Cooling Pond Dike, Florida | 1.4E+08     | 136000000                | 8.5344                   | 1.16E+09             |             |           |              |              | 185.93        |                  |              |                     |                |                     |                         |  |
| Meiville, Utah                    |             | 24700000                 | 7.92                     | 196000000            | Trapez      | 9.75      | 40           | 25.6         | 32.8          | 0.7              | 10600        |                     |                |                     |                         |  |
| Merimac Lake Dam, Georgia         |             | 69600                    | 3.44                     | 239000               |             | 3.05      |              |              | 14.2          | 0.41             | 757.93       |                     |                |                     |                         |  |
| Mill River, Massachusetts         | 2500000     | 2500000                  |                          |                      |             |           |              |              |               |                  |              |                     |                |                     |                         |  |
| Mossy Lake Dam, Georgia           |             | 4130000                  | 4.41                     | 18200000             |             | 3.44      |              |              | 41.5          | 1.24             | 2040         |                     |                |                     |                         |  |
| Nanakasagar, India                | 2.1E+08     |                          |                          |                      |             | 16        |              |              | 46            |                  |              |                     | 12             |                     |                         |  |
| Nahzille, New Mexico              |             |                          |                          |                      |             |           |              |              |               |                  |              |                     |                |                     |                         |  |
| North Branch, Penn.               |             | 22200                    | 5.49                     | 122000               |             | 4.6       | 23           |              |               |                  |              |                     |                |                     |                         |  |
| Oakford Park, USA                 |             |                          |                          |                      |             |           |              |              |               |                  |              |                     | 1              |                     |                         |  |
| Oros, Brazil                      | 6.5E+08     | 6600000000               | 35.8                     | 2.36E+10             | Trapez      | 35.5      | 200          | 130          | 165           | 1                | 765000       | 8.5                 |                |                     |                         |  |
| Otter Lake, Tenn.                 |             | 109000                   | 5                        | 545000               |             | 6.1       |              |              | 9.3           | 1.28             | 1170         |                     |                |                     |                         |  |
| Otto Run, USA                     |             | 7401                     | 5.79                     | 42900                |             |           |              |              |               |                  |              |                     |                |                     |                         |  |
| Pierce Reservoir, Wyo.            |             | 4070000                  | 8.08                     | 32900000             |             | 8.69      |              |              | 30.5          | 0.77             |              | 1                   |                |                     |                         |  |
| Potato Hill Lake, N.C.            |             | 105000                   | >7,77                    | 816000               |             | 7.77      |              |              | 16.5          | 1.25             | 3010         |                     |                |                     |                         |  |
| Prospect, Colo.                   |             | 3540000                  | 1.68                     | 5950000              |             | 4.42      |              |              | 88.4          | 0.69             | 5120         | 2.5                 |                |                     |                         |  |
| Puddingstone, Calif.              |             | 617000                   | >15.20                   | 9380000              |             | 15.2      |              |              |               |                  |              | 0.25                |                |                     |                         |  |
| Quail Creek, Utah                 |             | 308000000                | 16.7                     | 514000000            |             | 21.3      |              |              | 70            | 0.1              | 84400        | 1                   |                |                     |                         |  |
| Rainbow Lake, Mich.               |             | 6780000                  | 10                       | 678000000            |             | 9.54      |              |              | 38.9          | 2.52             | 10500        |                     |                |                     |                         |  |
| Renegade Resort Lake, Tenn.       |             | 13900                    | 3.66                     | 50900                |             | 3.66      |              |              | 2.29          | 0.63             | 92.195       |                     |                |                     |                         |  |
| Rito Manzanares, N.M.             | 24700       | 24700                    | 4.57                     | 113000               | Trapez      | 7.32      | 19           | 7.6          | 13.3          | 0.77             | 1290         |                     |                |                     |                         |  |
| Salles Oliveira, Brazil           | 2.6E+07     | 71541947                 | 38.4                     | 2.75E+09             | Trapez      | 35        |              |              | 168           |                  | 440000       |                     | 2              | 2                   |                         |  |
| Sandy Run, Penn.                  | 56800       | 56740                    | 8.53                     | 484000               |             |           |              |              |               |                  |              |                     |                |                     |                         |  |
| Schaeffer, Colo.                  | 3920000     | 4440000                  | >30,50                   | 135420000            | Trapez      | 30.5      | 210          | 64           | 137           | 2.25             | 227000       | 0.5                 | 0.5            | 0.5                 | 0.5                     |  |
| Scott Farm Dam No. 2, Alberta     |             | 86000                    | 10.4                     | 894400               |             | 11.9      | 15           | 15           | 15            | 0                | 7020         |                     |                |                     |                         |  |

| HİDROLİK KARAKTERİSTİKLER   |             |                          |                          | GEDİK KARAKTERİSTİKLERİ |             |           |              |              |               | ZAMAN PARAMETRELERİ |             |               |                |                     |                         |
|-----------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|-----------|--------------|--------------|---------------|---------------------|-------------|---------------|----------------|---------------------|-------------------------|
| Rezerv. Hacmi               | Yüzey Alanı | Gedik Üstündeki su hacmi | Gedik Üstündeki Derinlik | Gedik Oluşum Faktörü    | Gedik Şekli | Yükseklik | Üst Genişlik | Alt Genişlik | Ort. Genişlik | Ort. Kenar Eğimi    | Aşman Hacim | Oluşum Zamanı | Yıkılma Zamanı | Max. Gelişme Zamanı | Gedik ve Boşalma Zamanı |
| Sherburne, USA              | 42000       |                          |                          |                         | Trapez      | 21.3      | 92           | 49.2         | 70.6          | 0.5                 | 84100       |               | 2              |                     |                         |
| Sinker Creek, USA           | 3330000     |                          | 21.34                    | 71100000                |             |           |              |              |               |                     |             |               | 2              | 2                   |                         |
| South Fork Tributary, Penn. |             | 3700                     | 1.83                     | 6770                    |             |           |              |              |               |                     |             |               |                |                     |                         |
| Statham Lake Dam, Georgia   |             |                          |                          |                         |             |           |              |              |               |                     |             |               |                |                     |                         |
| Swift, Montana              | 3.7E+07     |                          | 5.55                     | 3130000                 |             | 5.12      |              |              | 21            | 0.54                | 1350        |               |                |                     |                         |
| Teton, Idaho                | 3.6E+08     |                          | 47.8536                  | 1.77E+09                | Trapez      | 57.6      | 225          | 225          | 225           | 0                   | 206000      |               | Kısa           | 0.25                |                         |
| Trial Lake, Utah            |             |                          | 77.4                     | 2.4E+10                 | Trapez      | 86.9      |              |              | 151           | 1                   | 3E+06       | 1.25          | 4              | 6                   |                         |
| Trout Lake, N.C.            |             |                          | 5.18                     | 7670000                 |             | 5.18      |              |              | 21            | 0.82                | 828.9       |               |                |                     |                         |
| Upper Pond, Connecticut     |             |                          | 8.53                     | 4210000                 |             | 8.53      |              |              | 26.2          | 1.79                | 4830        |               |                |                     |                         |
| Wheatland No. 1, Wyo.       | 1.2E+07     |                          | 5.18                     | 1150000                 |             | 5.18      |              |              | 16.5          | 1.71                |             |               |                |                     |                         |
| Wilkinson Lake Dam, Georgia |             |                          | 12.2                     | 142000000               | Trapez      | 13.7      | 46           | 41           | 35.4          | 0.75                | 14600       | 1.5           | 1.5            | 1.5                 |                         |
| Winston, N.C.               | 664000      |                          | 3.57                     | 1900000                 |             | 3.72      |              |              | 29            | 1.74                | 1420        |               |                |                     |                         |
|                             |             |                          | 6.4                      | 4240000                 | Trapez      | 6.1       | 21.3         | 18.3         | 19.8          | 0.2                 | 1480        |               | 5              | 5                   | 5                       |

#### REFERANSLAR

- Babb, 1968
- ICOLD, 1974
- SCS, 1981
- K. Singh & Snorrason, 1982
- Jansen, 1983
- MacDonald & Langridge-Monopolis, 1984
- Costa, 1985
- V. Singh & Searlatos, 1987
- Froehlich, 1987
- Froehlich, 1995a
- Froehlich, 1995b
- Froehlich, written communication
- Ballentine, 1993
- Baker & Bliss, 1996
- Graham, 1983
- Graham, ?, Actual and Equation Derived Dam Failure Flood Peaks
- Washington State Department of Ecology Dam Safety Section, <http://www.wa.gov/ecology/shwr/dams/iowa.html>