

88029

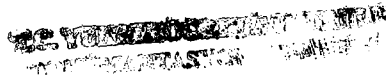


ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Hatice ÖZMEN

BARAJ GÖLÜNDEN TAŞKIN ÖTELEME MODELLERİ



İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 1999

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BARAJ GÖLÜNDEN TAŞKIN ÖTELEME MODELLERİ

Hatice ÖZMEN

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 8/10/1999 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.

Prof. Dr.

**Tefaruk HAKTANIR
DANIŞMAN**

Prof. Dr.

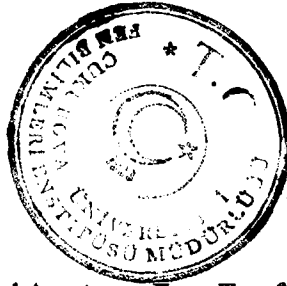
**M. Salih KIRKGÖZ
ÜYE**

Doç. Dr.

**Recep YURTAL
ÜYE**

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No: 534



**Prof. Dr. Melih BORAL
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FBE.97D.112**

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.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

BARAJ GÖLÜNDEN TAŞKIN ÖTELEME MODELLERİ

Hatice ÖZMEN

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

Danışman: Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Yıl: 1999, Sayfa: 135

**Jüri : Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR
: Prof. Dr. M.Salih KIRKGÖZ
: Doç. Dr. Recep YURTAL**

Doğal akarsular üzerinde inşa edilen rezervuarlardan taşkın ötelenmesi gerçek hayatta sıkça karşılaşılan özellikle savak yapılarının boyutlandırılmasında ve işletme rejiminin belirlenmesinde başvurulacak önemli bir su kaynakları problemidir. Baraj haznesine giren taşkın hidrografının baraj dolusavağından çıkarken oluşturacağı hidrografın hesabında hidrolojik ve hidrolik olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Hidrolojik öteleme yöntemi suyun dinamik etkilerini göz önüne almaksızın yalnızca süreklilik denklemi esasına dayanarak çözüm yapmaktadır. Hidrolik öteleme yöntemi ise rezervuarın vadisi boyunca hareket eden su kütlesinin dinamik etkilerini ve duvar sürtünme kayıplarını da göz önünde bulundurarak suyun gerçek hareketini yansıtmaktadır. Dolayısıyla süreklilik ve hareket denklemlerinin çözülmesi ile sonuca ulaşılmaktadır. Akımı idare eden denklemler nonlineer kısmi diferansiyel denklemler olduğu için analitik yolla çözüm mümkün olamamakta sayısal çözüm yöntemlerine başvurulmaktadır. Bu çalışmada hidrolik taşkın ötelemesini idare eden denklemlere dört noktalı kapalı sonlu farklar uygulanarak bir sayısal model oluşturulmuştur. Bu model için geliştirilen bilgisayar programı menba ve mansap sınır şartları altında Newton Raphson İterasyon tekniği ile çözüme ulaşmaktadır. Program Türkiye'nin değişik bölgelerinden seçilen dar ve uzun göl alanına sahip dokuz baraja uygulanmış ve elde edilen sonuçlar hidrolojik öteleme yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler:Değişken Akım, Taşkın Ötelemesi, Hidrolik Öteleme Yöntemi, Saint-Venant Denklemleri, Newton Raphson İterasyon Tekniği.

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

FLOOD ROUTING MODELS THROUGH DAM RESERVOIR

Hatice ÖZMEN

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

Supervisor: Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Year: 1999, **Pages:** 135

Jury : Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR
: Prof. Dr. M.Salih KIRKGÖZ
: Assoc. Prof. Dr. Recep YURTAL

Flood routing through reservoirs constructed on natural rivers is an important water resources problem which is frequently encountered in real life, especially applied in design of spillways and determination of water demand running. Two different methods, hydrologic and hydraulic routing, are used in computation of outflow hydrographs through spillways which is to be formed by flood hydrograph inflowing into reservoir. Hydrologic flood routing method is based on solution of the continuity equation only, so dynamic effects of the water are not taken into account. However, hydraulic routing reflects actual motion of water mass along reservoir valley by taking into account dynamic effects of water and wall friction losses. Therefore, the result is attained by solving continuity and momentum equations simultaneously. Due to the fact that the governing equations are nonlinear differential equations, analytical solution is impossible so numerical solution methods are applied. In this study, a numerical model has been developed by applying four point implicit scheme to the governing equations of hydraulic routing. A computer program developed for this numerical model produces the solution by using Newton Raphson Iteration technique under upstream and downstream boundary conditions. This program has been applied to nine long and narrow valley reservoirs chosen from several regions of Turkey and the results have been compared with those of hydrologic routings.

Key Words : Unsteady Flow, Flood Routing, Hydraulic Routing Method, Saint-Venant Equations, Newton Raphson Iteration Technique.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması aşamasında çalışmalarımı büyük sabır ve ilgi ile yönlendirip değerli bilgi ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR'a en içten teşekkürlerimi sunar, yetiştirdiği öğrencilerden biri olduğum için gurur duyduğumu belirtmek isterim.

Tez çalışmam süresince Erciyes Üniversitesi'ne görevlendirilmem konusunda özveride bulunan sayın hocam Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. M. Salih KIRKGÖZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezin yazımı esnasında özellikle çizimler konusunda yardımlarını gördüğüm mesai arkadaşım sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail H. ÇAĞATAY'a ve çalışmam süresince manevi destekleri ile her zaman yanımda olan aileme de sonsuz teşekkürler.



İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1 Hidrolojik Taşkın Ötelemesi.....	3
2.2 Hidrolik Taşkın Ötelemesi.....	4
3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ.....	11
3.1 Giriş.....	11
3.2 Taşkın Dalgasının Hareketini İdare Eden Saint-Venant Denklemlerinin Baraj Gölüne Uyarlanması.....	11
3.2.1 Saint-Venant Denklemlerinin Elde Edilmesi.....	11
3.2.2 Baraj Gölü Boyunca Rüzgar Kuvvetinin Etkisi.....	13
3.2.3 Baraj Gölü Boyunca Yanal Debinin İncelenmesi.....	14

3.3 Baraj Gölüne Uyarlanmış Saint-Venant Diferansiyel Denklemlerinin	
Sonlu Farklar Formunda İfade Edilmesi.....	17
3.4 Nonlineer Denklem Takımının Sayısal Çözümü.....	22
3.4.1 Sınır Şartlarının İncelenmesi.....	23
3.4.2 Sınır Şartlarının Belirlendiği Durum İçin Sayısal Çözüm.....	24
4. TAŞKIN ÖTELEME MODELLERİNİN UYGULANACAĞI	
BARAJLARA AİT BİLGİLER.....	28
4.1 Seçilen Barajlar ve Seçim Nedenleri.....	28
4.2 Seçilen Baraj Rezervuarlarının Topoğrafik Haritalardan Enkesit	
Yerlerinin Ve Profillerinin Belirlenmesi.....	28
4.3 Baraj Göllerinin Hacim-Kot İlişkilerinin Elde Edilmesi.....	31
4.4 Seçilen Her Baraj İçin Farklı Giriş Hidrografi ile Savak Kombinasyonları	
Ve Savak Kot-Deşarj Debisi Değerlerinin Belirlenmesi.....	32
4.5 Kesitlerin Pürüzlülük Değerlerinin Belirlenmesi.....	35
5. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER VE BİLGİSAYAR	
PROGRAMLARI.....	36
5.1 Giriş.....	36
5.2 Hidrolik Öteleme Modeli İçin Geliştirilen Bilgisayar Programları.....	36
5.2.1 Hidrolik Öteleme Modeli İçin Geliştirilen Ana Bilgisayar	
Programı.....	36
5.2.2 Ana Bilgisayar Programına Yardımcı Bilgisayar Programları.....	39
5.2.3 Bilgisayar Programlarının Çalışma Düzeni.....	40
5.2.4 Ana Bilgisayar Programının Data Dosyası Hakkında Açıklamalar.....	41
5.2.4.1 Karakaya Barajı İçin Ana Programın Data Sayfası Örneği.....	42
5.3 Hidrolojik Taşkın Ötelemesi İçin Kullanılan Bilgisayar Programı.....	45
5.3.1 Karakaya Barajı İçin Hidrolojik Öteleme Programının (ROUTM)	
Data Sayfası Örneği.....	45

5.4 Muskingum Esaslı Yöntemler.....	48
5.4.1 Giriş.....	48
5.4.2 Klasik Muskingum Yöntemi.....	48
5.4.3 İki Safhalı Muskingum Yöntemi.....	49
5.5 Paket Program DUFLOW Hakkında Kısa Bilgi.....	52
 6. SEÇİLEN BARAJLARA UYGULAMALAR VE BULGULAR.....	53
 6.1 Giriş.....	53
6.2 Geliştirilen Hidrolik Öteleme Modelinin Karakaya Barajına Uygulanması....	53
6.2.1 Hidrolik Öteleme Modelinin Karakaya Barajına Uygulanmasından Elde Edilen Sonuçlar.....	57
6.2.2 Karakaya Barajı Çıkan Akım Piklerinin Taban Pürüzlülüğü İle Değişimi.....	63
6.2.3 Karakaya Barajı İçin Hidrolojik ve Hidrolik Öteleme Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	65
6.3 Hidrolik Öteleme Modelinin Diğer Barajlara Uygulamaları ve Sonuçları.....	65
6.4 Muskingum Esaslı Modellerin Seçilen Barajlara Uygulanması ve Diğer Yöntemlerin Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	93
 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	97
 KAYNAKLAR.....	99
 ÖZGEÇMİŞ.....	103
 EKLER.....	104
 EK 1. Jacobian Matrisinin Elde Edilmesi.....	105

EK 2. Karakaya Baraj Vadisi Son İki Kesitinin 1/25000 Ölçekli Haritada	
Gösterimi.....	110
EK 3. Çalışmada Kullanılan Diğer Barajlara Ait Vadi Profilleri.....	111
EK 4. Karakaya Baraj Gölünün Menba Kısımından Üç Kesit Atılmış Hali.....	120
EK 5. Karakaya Barajı İçin DufLOW Paket Programı ile Elde Edilen	
H-x Grafiği.....	124
EK 6. Karakaya Baraj Gölüne Giren İki Pikli Akım Örneği.....	125
EK.7. Diğer Barajlardan Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülük İle	
Değişimi.....	128



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Seçilen Barajlara Ait Bazı Karakteristik Özellikler.....	31
Çizelge 4.2 Seçilen Barajların Göl Kotu-Göl Hacmi Değerleri.....	33
Çizelge 4.3 Barajlar İçin Belirlenen Giriş Hidrografi ve Savak Boyu Değerleri.....	34
Çizelge 6.1 Karakaya Barajı Giriş Hidrografi ve Savak Boyu Kombinasyonları.....	54
Çizelge 6.2 Karakaya Barajı Çıkan Akım Piklerinin n ile Değişimi (RRMHQ).....	63
Çizelge 6.3 Karakaya Barajı Çıkan Akım Piklerinin n ile Değişimi (DUFLOW).....	63
Çizelge 6.4 Karakaya Barajı Hidrolik Ve Hidrolojik Öteleme Çıkan Akım Pikleri.....	65
Çizelge 6.5 Diğer Barajlara Ait Sonuçlar.....	67
Çizelge 6.6 Hidrolik ve Hidrolojik Öteleme Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	92
Çizelge 6.7 Kullanılan Bütün Yöntemlerle Çıkan Akım Piklerinin Karşılaştırılması.....	94
Çizelge Ek 3.1 Baraj Gölü Kesitlerinin Savak Kret Kotlarındaki Su Yüzü Genişlikleri ve Kesit Mesafeleri.....	119

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Preissmann'ın Önerdiği Modelin Sonlu Farklar Ağı.....	6
Şekil 3.1	Saint-Venant Denklemlerinin Elde Edildiği Kontrol Hacmi.....	12
Şekil 3.2	Baraj Gölüne Giren Taşkın Hidrografının Oluşumu.....	15
Şekil 3.3	Saint-Venant Denklemlerinin Sonlu Farklar Formunun Yazıldığı x-t Ağı.....	18
Şekil 4.1	Seçilen Barajların İlgili Nehirler Üzerindeki Konumları.....	29
Şekil 4.2	Topoğrafik Haritalardan Enkesit Profillerinin Elde Edilmesi.....	30
Şekil 5.1	Geliştirilen Hidrolik Öteleme Bilgisayar Programının Akış Diagramı.....	38
Şekil 6.1	Karakaya Barajı Vadi Profili.....	55
Şekil 6.2	Karakaya Baraj Vadisi Boyunca Taban Profili Ve Data Şeması.....	56
Şekil 6.3	Karakaya Baraj Gölü Kesitlerinden Çıkan Akım Hidrografları.....	58
Şekil 6.4	Karakaya Barajı (H-t) Grafikleri.....	59
Şekil 6.5	Karakaya Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x).....	60
Şekil 6.6	Karakaya Barajı I=10000, L=100 (H-x) Değişimi.....	61
Şekil 6.7	Karakaya Barajı I=15000, L=500 (H-x) Değişimi.....	62
Şekil 6.8	Karakaya Barajından Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülük ile Değişimi.....	64
Şekil 6.9	Karakaya Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması.....	66
Şekil 6.10	Kayraktepe Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması.....	68
Şekil 6.11	Berke Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması.....	69
Şekil 6.12	Deriner Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması.....	70
Şekil 6.13	Yamula Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması.....	71
Şekil 6.14	Bayramhacılı Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması.....	72

Şekil 6.15 Bahçelik Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması.....	73
Şekil 6.16 Yedigöze Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması.....	74
Şekil 6.17 Gezende Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması.....	75
Şekil 6.18 Kayraktepe Barajı (H-t) Grafikleri.....	76
Şekil 6.19 Berke Barajı (H-t) Grafikleri.....	77
Şekil 6.20 Deriner Barajı (H-t) Grafikleri.....	78
Şekil 6.21 Yamula Barajı (H-t) Grafikleri.....	79
Şekil 6.22 Bayramhacılı Barajı (H-t) Grafikleri.....	80
Şekil 6.23 Bahçelik Barajı (H-t) Grafikleri.....	81
Şekil 6.24 Yedigöze Barajı (H-t) Grafikleri.....	82
Şekil 6.25 Gezende Barajı (H-t) Grafikleri.....	83
Şekil 6.26 Kayraktepe Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x).....	84
Şekil 6.27 Berke Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x).....	85
Şekil 6.28 Deriner Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x).....	86
Şekil 6.29 Yamula Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x).....	87
Şekil 6.30 Bayramhacılı Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x).....	88
Şekil 6.31 Bahçelik Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x).....	89
Şekil 6.32 Yedigöze Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x).....	90
Şekil 6.33 Gezende Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x).....	91
Şekil 6.34 Karakaya Barajı $I=10000$, $L=100$ İçin Çıkan Akım Hidrograflarının Farklı Yöntemlerle Karşılaştırılması.....	95
Şekil 6.35 Karakaya Barajı $I=15000$, $L=500$ İçin Çıkan Akım Hidrograflarının Farklı Yöntemlerle Karşılaştırılması.....	96
Şekil Ek 3.1 Kayraktepe Barajı Vadi Profili.....	111
Şekil Ek 3.2 Berke Barajı Vadi Profili.....	112
Şekil Ek 3.3 Deriner Barajı Vadi Profili.....	113
Şekil Ek 3.4 Yamula Barajı Vadi Profili.....	114
Şekil Ek 3.5 Bayramhacılı Barajı Vadi Profili.....	115

Şekil Ek 3.6 Bahçelik Barajı Vadi Profili.....	116
Şekil Ek 3.7 Yedigöze Barajı Vadi Profili.....	117
Şekil Ek 3.8 Gezende Barajı Vadi Profili.....	118
Şekil Ek 4.1 Karakaya Barajı Menba Kısımından Üç Kesit Atılmış Hali İçin (H-t) Grafikleri.....	120
Şekil Ek 4.2 Karakaya Barajı Menba Kısımından Üç Kesit Atılmış Hali İçin (H-x) Grafikleri.....	121
Şekil Ek 4.3 Karakaya Barajı I=10000, L=100 Menba Kısımından Üç Kesit Atılmış Hali İçin (H-x) Grafiği.....	122
Şekil Ek 4.4 Karakaya Barajı I=15000, L=500 Menba Kısımından Üç Kesit Atılmış Hali İçin (H-x) Grafiği.....	123
Şekil Ek 5.1 Karakaya Barajı I=15000, L=500 (H-x) Grafiği (DUFLOW).....	124
Şekil Ek 6.1 Karakaya Barajı İki Pikli Giren ve Çıkan Akım Hidrografları.....	125
Şekil Ek 6.2 Karakaya Barajı İki Pikli Giren Akım Hidrografı İçin H-t Grafikleri.....	126
Şekil Ek 6.3 Karakaya Barajı İki Pikli Giren Akım Hidrografı İçin H-x Grafikleri.....	127
Şekil Ek 7.1 Kayraktepe Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi.....	128
Şekil Ek 7.2 Berke Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi....	129
Şekil Ek 7.3 Deriner Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi.....	130
Şekil Ek 7.4 Yamula Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi.....	131
Şekil Ek 7.5 Bayramhacılı Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi.....	132
Şekil Ek 7.6 Bahçelik Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi.....	133
Şekil Ek 7.7 Yedigöze Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi.....	134

Şekil Ek 7.8 Gezende Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının

Pürüzlülükle Değişimi.....135



1. GİRİŞ

Taşkın, şiddetli yağışlar ve kar erimesi sonucu kısa bir süre için ani olarak debinin artmasıdır. Akarsuyun belirli bir kesimine veya bir hazneye giren taşkın dalgası su seviyesinin yükselmesine sebep olur. Suyun bir kısmı bu şekilde depolanırken diğer kısmı çıkış kesitinden mansaba geçer. Giren ve çıkan taşkın hidrografları karşılaştırıldığında giren taşkın dalgasının daha düşük bir debi ve daha uzun bir zamanla çıkış kesitinden geçtiği görülür. Taşkın dalgası geçişi sırasında zamana göre bir miktar ötelendiği için bu harekete taşkın öteleme (Flood Routing) denir. Doğal akarsular üzerinde inşa edilen rezervuarlardan taşkın ötelenmesi gerçek hayatta sıkça karşılaşılan, özellikle savak yapılarının boyutlandırılmasında ve işletme rejiminin belirlenmesinde başvurulmuş önemli bir su kaynakları problemidir.

Taşkın öteleme hesabı bir akarsu veya bir baraj gölü boyunca ilerleyen taşkın dalgasının zamana bağlı olarak değişiminin belirlenmesidir. Bunun için hidrolojik ve hidrolik öteleme olmak üzere iki farklı yöntem kullanılır. Baraj gölleri için yaygın olarak kullanılan hidrolojik öteleme yöntemi oldukça küçük olarak alınan Δt zaman dilimleri sonunda göl hacmi-göl su kotu ve savak debisi-göl su kotu ilişkilerinden yararlanılarak yapılır. Bu yöntemde rezervuardaki su kütlesinin daima yatay durumda olduğu yani su seviyesinin su yüzeyine paralel olarak alçalıp yükseldiği varsayılmaktadır. Bu durumda hareket halindeki su kütlesinde mevcut olan dinamik hareketler ihmal edilmekte olup çözüm sadece süreklilik denklemi esasına dayanmaktadır. Hidrolik öteleme yöntemi ise rezervuarın vadisi boyunca hareket eden su kütlesinin dinamik etkilerini ve duvar sürtünme kayıplarını da göz önünde bulundurarak suyun gerçek hareketini yansıtmaktadır. Bu yöntem süreklilik denklemi ve hareket denkleminin çözülmesiyle gerçekleşir. Dolayısıyla hidrolik öteleme yöntemi baraj gölü vadisinin geometrik ve hidrolik özelliklerini göz önünde bulundurmaktadır. Hesap yöntemi karmaşık olup hesap yükü çok fazladır. Bu yöntemde kullanılacak olan data baraj vadisinin geometrik özelliklerini içerdiğinden elde edilmesi oldukça güç olup çok fazla zaman ve emek gerektirmektedir. Hidrolojik öteleme yöntemi ise baraj gölü geometrik özelliklerini doğrudan gözönünde bulundurmadan küçük zaman dilimleri süresince göldeki su seviyesinin

yatay değiştiği kabulü ile süreklilik denklemini savak karakteristikleri ile bağdaştırarak çözen yaklaşık bir yöntemdir. Hidrolik öteleme yöntemine göre çok daha az hesap yükü ve data gerektirir. Teorik olarak hidrolik öteleme yöntemi daha sağlıklı ve gerçeğe daha yakın çözüm vermektedir. Özellikle yayvan olmayan dar ve uzun baraj gölleri derin bir nehir gibi davranabileceğinden bu tür barajlarda su kütlesinin dinamik hareketinin göz önüne alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada hidrolik öteleme yöntemi için süreklilik denklemi ve su kütlesinin dinamik hareketiyle sürtünme kayıplarını gözönüne alan hareket denkleminin sonlu farklarla çözülmesi esasına dayanan bir sayısal hesap yöntemi geliştirilmiştir. Bu hesap yönteminde nonlinear Saint-Venant diferansiyel denklem takımı, dört noktalı kapalı (implicit) hesap yöntemine göre sonlu farklar formunda ifade edilmekte, Newton Raphson iterasyon tekniği ile başlangıç ve sınır şartları yardımıyla çözüme ulaşılmaktadır. Bunun için Fortran-77 dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program için gerekli olan veriler seçilen barajların geometrilerinden elde edilmiş olan gerçek değerlerdir. Bu çalışmada ele alınan barajlar su kütlesinin hareketini daha iyi yansıtabilmesi amacıyla dar ve uzun göle sahip, önemli ölçüde yan akarsu kolu içermeyen türde seçilmiştir. Çünkü bu tür rezervuarların derin bir nehir gibi davranabileceği dolayısıyla su hızlarının ve buna bağlı olarak atalet kuvveti terimlerinin değerlerinin de büyüyeceği düşünölmektedir. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden yukarıdaki özelliklerde seçilen dokuz baraj gölü menbadan mansaba kadar kesitlere bölünmüş ve geliştirilen bilgisayar programı yardımı ile kesitten kesite taşkın ötelenmesi uygulanmıştır. Baraj göllerinin menba ucundan girilen bir taşkın hidrografının mansaptan yani savaktan çıkan akım hidrografi bulunmuş, çıkan akım pik debi değerleri, aynı barajlar üzerinde uygulanan klasik hidrolojik öteleme ve Muskingum esaslı öteleme yöntemleriyle bulunan pik debilerle karşılaştırılmıştır. Bu işlem her baraj için iki farklı debi ve iki farklı savak boyu olmak üzere toplam dört kombinasyon için tekrarlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Hidrolojik Taşkın Ötelemesi

Baraj gölüne giren akım hidrografi, baraj mansabından çıkarken sadece süreklilik denklemi esasına dayanarak hesaplanıyorsa bu olaya hidrolojik öteleme yöntemi adı verilmektedir. Aşağıda görülen süreklilik denkleminde S depolama hacmini, I giren akımı, Q çıkan akımı, t de zamanı simgelemektedir.

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t) \quad (2.1)$$

Literatürde, bu yöntemin çözümü için bilgisayara, grafiğe ve tabloya dayanan pek çok prosedür geliştirilmiştir. Bu prosedürlerin en yaygın olarak kullanılanı Puls yöntemidir (Chow ve ark., 1988a, Ch. 7). Bu yöntemde süreklilik denklemi çok küçük olarak seçilen Δt zaman dilimi için yazılır, her terim için zaman dilimi başlangıcındaki (j) değerler bilinmektedir. Bilinen bu giriş değerleri ve o baraja ait göl hacmi-göl su kotu ve savak debisi-göl su kotu ilişkilerinin yardımı ile bir sonraki zaman dilimindeki (j+1) çıkan akım değerleri hesaplanmış olur. Bu işleme zaman dilimi Δt kadar artırılarak adım adım devam edilir. Haktanır (1983), tarafından bu işlemi kısa zaman içerisinde kolayca yapabilen Fortran dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Bir akarsuya gelen taşkın dalgasının ötelenmesi için Muskingum yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin formülasyonunda kullanılmak için gerekli olan parametreler ağırlık parametresi X ve akarsu boyunca seyahat zamanı parametresi K, ilgili akarsu için daha önceden gözlenmiş olan giren ve çıkan akım değerlerinin yardımı ile elde edilir. Daha sonra, bu akarsuyun mansabından çıkan akım hidrografi, daha önceden belirlenmiş olan bu parametreler ve giren akım hidrografi yardımıyla aşağıda görülen formülasyonun Δt zaman dilimi için çözülmesiyle elde edilir.

$$S=K \{ X I + (1-X) Q \} \quad (2,2)$$

Eğer bir akarsu için giren ve çıkan akım hidrografları daha önceden gözlenerek elde edilmemişse bu parametreleri (K ve X) belirlemek mümkün olmaz. Bu durumda Muskingum-Cunge yöntemine başvurulur. Cunge (1969), bu yöntemde Muskingum denklemini x-t sonlu farklar ağı üzerinde yazmıştır. Böylece K ve X parametreleri zamana ve yere göre değişken olmakta ve her kesitte ayrıca hesaplanmaktadır. Muskingum-Cunge yönteminin klasik Muskingum yöntemine göre en büyük avantajı arzu edilen değerlerin akarsu boyunca istenilen kesitte elde edilebilme özelliğidir (Chow ve ark., 1988a, Chs. 8, 9).

2.2 Hidrolik Taşkın Ötelemesi

Hidrolojik öteleme yönteminde çıkan akım piki gerçek değerini yansıtamamakta, çünkü suyun dinamik hareketini göz önüne alamamaktadır. Bu nedenden dolayı hidrolik öteleme yöntemine ihtiyaç duyulmuştur. Çeşitli kitaplarda, yapılan çalışmaların bu yöntemdeki dalga hareketinin, dinamik dalga modeli esasına dayandığı, akımın değişken akım olduğu anlatılmaktadır, (Chow ve ark., 1988a, Ch. 10; Linsley ve ark., 1982, Ch. 8). Hidrolik öteleme yönteminin, süreklilik denklemi ve bütün terimleri gözönüne alınmış olan hareket denkleminin çözümü ile gerçekleştiği ilkesi diferansiyel boyutlarda ilk olarak 1871 yılında Saint-Venant tarafından ortaya çıkarılmıştır. Aynı isim ile anılan ve değişken akımı idare eden bu denklemler nonlinear kısmi diferansiyel denklem takımı oluşturmaktadır. Bu nedenle analitik yolla çözümü bulunmamakta, sayısal çözüm yöntemlerine başvurulmaktadır. (Abbot ve ark., 1975, Chs.1,2; Chow ve ark. 1988a, Chs.9,10; Chow, 1988b, Ch.18, 20; French, 1986, Ch.12). Süreklilik ve hareket denklemlerinden oluşan Saint-Venant denklem takımı aşağıda görülmektedir.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (2.3)$$

Hareket denklemi:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + g A \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_o \right) - \beta q v_x + W_f B = 0 \quad (2.4)$$

Bu denklemlerde,

x : Baraj gölü veya akarsu boyunca mesafeyi

t : Zamanı

$Q(x, t)$: Baraj gölü veya akarsu boyunca debiyi

$A(x, t)$: Akış kesit alanını

q : Baraj gölü veya akarsu boyunca birim uzunluk için yanal debiyi

h : Su yüzü seviyesini

S_f : Sürtünme eğimini

S_o : Yerel kayıp eğimini

$B(x, t)$: Su yüzü genişliğini

W_f : Rüzgar kuvvetini

v_x : Yanal debi hızını

β : Momentum düzeltme katsayısını

g : Yerçekimi ivmesini

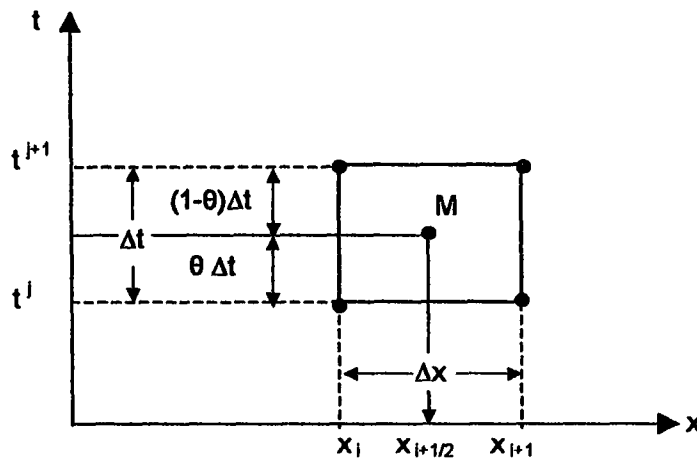
simgelemektedir.

Brutsaert (1971), Saint-Venant denklem takımının sayısal yöntemle çözülebileceğini, üzerinde bu denklemlerin sonlu farklar ifadelerinin yazıldığı ağın sınır bölgelerine yakın kısımlarında açık (explicit) iç bölümlerinde ise kapalı (implicit) hesap tekniğinin uygun olacağını öne süren bir matematik model önermiştir. Bu modelin sonuçlarını yaptığı laboratuvar deneyleri ile karşılaştırmış ve modelin tutarlı sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Amein ve Chu (1975), nonlinear denklem takımının çözümünde nümerik ve karakteristikler olmak üzere iki farklı yöntem kullanılabileceğini fakat karakteristikler yöntemin doğal vadilerin en kesitleri değişken olduğu için uygun olmadığını açıklamışlardır. Nümerik çözümün ise diferansiyel denklemlerin sonlu farklar ifadelerinin açık veya kapalı olmak üzere iki farklı matematiksel teknik kullanarak çözülmesiyle gerçekleştirilebileceğini açıklamışlardır.

Literatürde, dinamik dalga modeli için pek çok çalışma yapılmış ve çeşitli hidrolik problemleri çözebilen geniş kapsamlı bilgisayar paket programları hazırlanmıştır. 1970'li yılların başında Amerika Birleşik Devletinde Uluslararası Hava Servisinin (National Weather Service) Hidrolik Araştırma Laboratuvarında Saint-Venant denklemlerinin kapalı sonlu farklar çözümüne dayanan DWOPER (Dynamic Wave Operation Model) isimli bir model çalışmaya başlanmış ve 1978 tarihinde Fread tarafından tamamlanarak kullanıma sunulmuştur.

Ponce ve ark. (1978), nümerik çözüm için Preissmann'ın 1961 yılında geliştirmiş olduğu Şekil 2.1'de görülen, Saint-Venant denklem takımının sonlu farklar hesap ağının "Four-Point Preissmann Implicit Scheme" olarak bilindiğini ve bu hesap yönteminin büyük zaman artırımları için bile doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Fakat bu yöntemin uygulanmasında kullanılan ağırlık faktörü θ 'nın optimum değerinin seçilmesinin hesap sonucunun doğruluğu ve iterasyonun yakınsayabilmesi açısından önem taşıdığını yaptıkları analizlerde göstermişlerdir.



Şekil 2.1 Preissmann'ın Önerdiği Modelin Sonlu Farklar Ağı

Joliffe (1984), nonlinear değişken akım denklemlerini bilinen Newton Raphson tekniği ile lineer hale getirip çözümünde “sparse matris” tekniğinin kullanımını önermiştir. Böylece lineer denklem setinin hem saklanabilmesi, hem de çözülmesi sağlandığından bilgisayar hafızasının gereksiz kullanımının önemli ölçüde önlenebildiği ileri sürülmüştür.

Goring (1984), değişken akımı idare eden Saint-Venant denklemlerini karakteristikler yöntemini kullanarak hem lineer hem de nonlinear olarak ele alıp, çözüm sonucunda elde edilen taşkın hidrograflarını karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, pik debi değerlerinde dikkate değer bir fark olmadığı, ancak pik debiye ulaşma zamanında önemli bir fark olduğu ve bu farkın dalga yayılmaya başladıktan sonra açık kanal boyunca mesafe artışıyla daha da arttığı gözlenmiştir.

Fread (1985, 1993), tek boyutlu değişken akım için Saint-Venant nonlinear denklem takımının, Preissmann’ın önerdiği kapalı çözüm modeline dayanan FLDWAV isimli geniş kapsamlı bir bilgisayar paket programı geliştirmiştir. Bu program Fread’ın 1978 yılında sunduğu DWOPER isimli paket programın daha gelişmiş şeklidir. Program, hesap adım aralıkları Δx ile Δt nin ve açık kanal boyunca akım kesit alanlarının değişken olmasına izin vermektedir. Bunun yanı sıra, bu programda, açık kanal boyunca pürüzlülük katsayısının debi ve su yüzeyi kotunun değişimine bağlı olarak değişmesine de olanak verilmektedir.

Huang ve Song (1985), dinamik taşkın ötelemesi modellerinin stabilitesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Saint-Venant denklemlerinin çözümünde açık, kapalı ve karakteristikler olmak üzere üç farklı çözüm tekniğini incelemişlerdir. Bunların içinde en popüler olanının, hesap prosedürü çok karmaşık olmasına rağmen kapalı yöntem olduğu, çünkü geniş zaman artırımları için bile doğru sonuçlar verdiği, böylece hesap yükünü azalttığını belirlemişlerdir. Diğer iki hesap tekniğinde ise Δx ve Δt için Courant stabilite kriteri sağlandığı sürece doğru sonuçlar ortaya çıkabileceği bunun sonucunda hesap adımının artacağı da bu araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Ayrıca bu araştırmacılar çok stabil olan bir yöntemin çok doğru sonuç veriyor anlamına gelmediğini, doğru sonuç elde etmenin çalışma modeline göre farklılık gösterebileceğini de ileri sürmüşlerdir.

Lyn ve Goodwin (1987), Preissmann'ın ortaya çıkarmış olduğu kapalı sonlu farklar modelinin değişken açık kanal akımlarında yaygın olarak kullanıldığını araştırarak bu modelin algoritmasında kullanılan zamana (t) bağlı ağırlık faktörü θ 'nın yanısıra mesafeye (x) bağlı ağırlık faktörü ϕ 'nin de optimum değerlerinin seçimi üzerine çalışma yaparak Preissmann'ın modeline stabilite açısından katkıda bulunmuşlardır.

Hormadka ve DeVries (1988), açık kanal akımlarında hidrolik öteleme için kullanılan kinematik dalga ötelemesi yöntemi ile hidrolojik öteleme için kullanılan convex metodu karşılaştırmışlardır. Kinematik dalga modeli için HEC-1 paket programını kullanmışlardır. Açık kanal sonunda pik debiler arasındaki farkın hidrolojik öteleme lehine oldukça büyük çıktığını gözlemişlerdir. Ayrıca bu çalışmada iki yöntemin karşılaştırılmasının yanısıra kinematik dalga modelindeki hesap adım aralıkları Δx ve Δt değerleri değiştirilerek açık kanal boyunca elde edilen hidrograflarda büyük değişimler gözlenmiş, böylece hesap adım aralıklarının hidrolik öteleme yönteminde ne kadar önem taşıdığına dikkat çekilmiştir.

Spaans ve ark. (1989), Hollanda'nın Delft şehrinde bulunan "The Department of Sanitary Engineering and Water Management, Faculty of Civil Engineering and University of Technology and the International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering" 'in katkılarıyla açık kanal akımlarındaki değişken akım hesaplamaları için DUFLOW isimli bir paket program geliştirmişlerdir. Programın hesap temeli Saint-Venant denklemlerinin sonlu farklar ifadesinin Preissmann modelini kullanarak çözülmesi esasına dayanmaktadır. Bu programda ağırlık faktörü $\theta=0.55$ alınmıştır. Bilgisayar programının hesaplama kısmında Fortran-77, giriş bilgilerinin alındığı menü kısmında ise GW-Basic dilleri kullanılmıştır. Açık kanal boyunca, 250 düğüm noktasına kadar çözüm yapılabilmekte, kanalın başında ve sonunda verilen sınır şartları yardımı ile kanal ara kesitlerindeki ve sonundaki hidrografları, su yüksekliklerinin zamana karşı değişimlerini bulmak mümkün olmaktadır. Çıktılar programda hem grafik hemde tablo halinde sunulmaktadır.

Haktanır ve Özmen (1993), ince ve uzun göl hacmine sahip, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden seçilen üç baraj üzerinde hidrolojik ve hidrolik öteleme yöntemi

uygulayarak sonuçları karşılaştırmışlardır. Suyun dinamik etkilerini göz önüne almayan ve hesap prosedürü oldukça kolay olan hidrolojik öteleme yöntemini suyun gerçek hareketini yansıtan hidrolik öteleme yöntemine yaklaştıran bir model önermişlerdir. Bu modelin oluşumunda, vadilerin bazı karakteristik özelliklerinden faydalanılmıştır. Çalışmada, hidrolik öteleme hesabı için DUFLOW isimli paket programı kullanmışlardır.

Strelkoff ve Falvey (1993), açık kanallardaki değişken akım modellerinin çözüm yöntemleri üzerinde araştırma yapmışlar ve nonlinear denklem takımının çözümü için karakteristikler yöntemi ile sayısal yöntemi karşılaştırmışlardır. Karakteristikler yönteminin, akarsulardaki taşkın dalgaları ve sığ sulardaki akım hesapları için kullanılmasının hesap yöntemi gereğince uygun olmadığını belirtmişlerdir. Sayısal yöntemde, diferansiyel denklemlerin sonlu farklar ifadesinin açık veya kapalı olarak mı çözülmesi gerektiği konusunda yaptıkları çalışmada açık hesap tekniğinin doğruluğunun hesap adım aralığı Δt 'nin seçimine göre hassasiyet gösterdiğini açıklamışlardır. Ancak Courant stabilite şartına bağlı olarak belirlenen Δx ve Δt 'nin doğru sonuca ulaştırabileceğini ileri sürmüşlerdir. Bu araştırmacılar kapalı hesap tekniğinin Preissmann modeline dayanan çözümünün en doğru sonucu verdiğini ve Δt 'nin büyük değerleri için bile doğru sonuç vererek hesap yükünü azalttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca bu hesap tekniğinin stabilitesi için ağırlık faktörü θ 'nın $0.55 \leq \theta \leq 0.6$ sınırları içerisinde olması gerektiğini de önermişlerdir.

Karahan (1993), açık kanallardaki değişken akımlara ait çeşitli başlangıç ve sınır koşulları altında kapalı sonlu farklar yöntemi kullanarak bir matematik model geliştirmiştir. Sonuçlar istenilen zaman ve kesitte sayısal veya grafik olarak elde edilebilmektedir. Kanal veya nehir istenildiği kadar bölüme ayrılabilen ve taşkın dalgasının ötelenmesi kanal ya da akarsu boyunca incelenebilmektedir.

U.S Army Corps of Engineers (1990), tarafından düzenli akım hesaplamaları için yapılan HEC-2 isimli paket program 1993 yılında değişken akımlar kısmının ilavesiyle modifiye edilmiştir. Bu program, Barkau (1992), tarafından değişken akımlar için hazırlanan UNET isimli paket program ile birleştirilerek HEC-RAS (Hydrological Engineering Center-River Analysis System) adı ile kullanıma sunma çalışmaları devam etmektedir.

Jin ve Fread (1996), açık kanallardaki değişken akım problemleri için su hacmindeki kayıpları dikkate alarak tek boyutlu bir hesap tekniği geliştirmiş ve daha önceden, Saint-Venant denklem takımının Preissmann'ın kapalı model hesabına dayanarak **Fread** tarafından yapılmış olan NWSFLDWAV isimli paket programın içine uyarlamışlardır. Bu çalışmada yanıl akımlar da dikkate alınmıştır.

Jin ve Fread (1997), tek boyutlu değişken açık kanal akımları için, kısa mesafe içerisinde değişen akım rejimlerinde, örneğin: kritik altı akımdan kritik üstü akıma geçerken yada tam tersi durumlarda kapalı yöntemin hatalı sonuçlar verdiğini ileri sürmüşlerdir. Dolayısıyla, bu tür durumların söz konusu olduğu akımlarda kapalı yöntemin açık yöntemle birarada kullanılması gerektiği düşüncesiyle bir çözüm modeli (implicit-explicit multiple routing) geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu modeli **Fread**'in 1993 yılında tamamlamış olduğu FLDWAV isimli paket programın içerisine adapte ederek çözüm yapmışlar ve her iki hesap yönteminin de avantajlı durumlarını ele aldığı için modelin doğruluğunu savunmuşlardır. Daha önce FLDWAV ismi ile anılan paket programın değişken akımlar için modifiye edilmiş olan bu versiyonunun adı NWSFLDWAV olmuştur.

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ

3.1 Giriş

Bir baraj gölüne gelen taşkın dalgasının hareketini gerçek anlamda ifade eden akım şekli değişken akım olup debi ile su seviyesi zamana ve konuma bağlı olarak değişmektedir. Bu değişim Saint-Venant diferansiyel denklemlerinin çözümü ile elde edilmektedir. Akımı idare eden bu denklemler nonlineer olduğundan analitik çözümü bulunmamakta sayısal çözüm yöntemlerine başvurulmaktadır. Bu çalışmada, süreklilik ve hareket denklemlerinin dört noktalı kapalı sonlu farklarla ifade edilerek çözülmesi esasına dayanan bir sayısal çözüm modeli geliştirilmiştir. Saint-Venant denklemlerinin bir baraj gölüne uyarlanması esnasında yapılan kabuller ve nedenleri alt bölümlerde açıklanmaktadır.

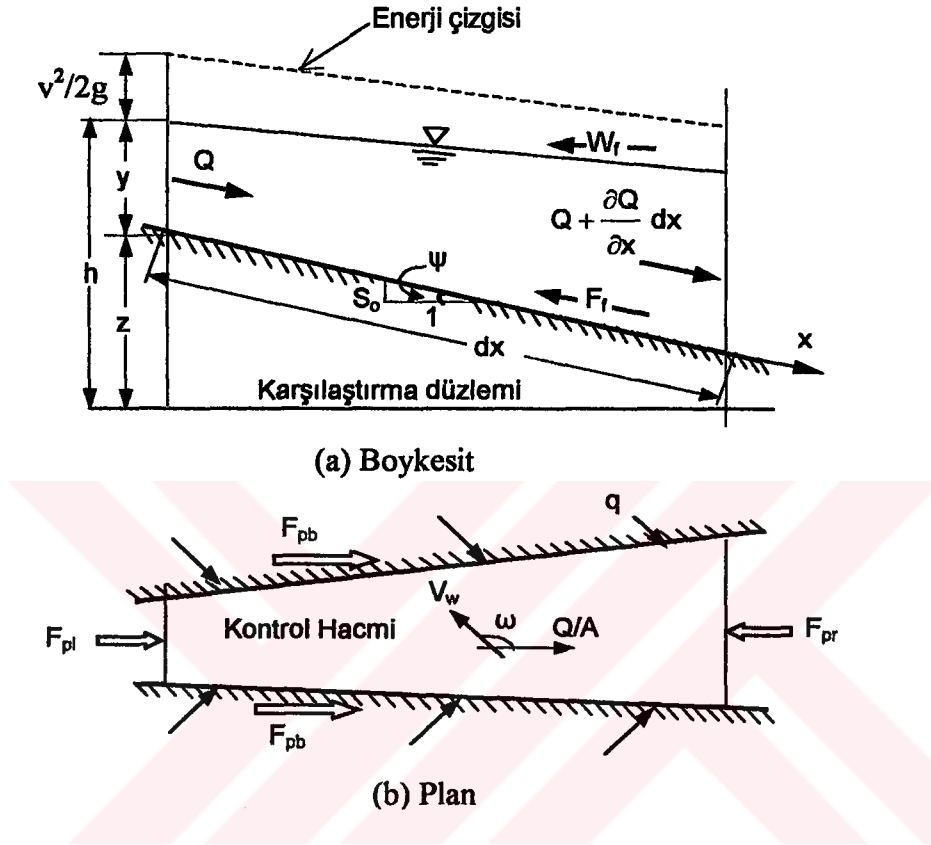
3.2 Taşkın Dalgasının Hareketini İdare Eden Saint-Venant Denklemlerinin Baraj Gölüne Uyarlanması

3.2.1 Saint-Venant Denklemlerinin Elde Edilmesi

Baraj gölüne gelen taşkın dalgasının hareketini idare eden Saint-Venant diferansiyel denklem takımını oluşturan süreklilik denklemi, sıkışmayan bir akıma çok küçük olarak seçilen kontrol hacmi (Şekil 3.1) boyunca kütlenin korunumu prensibinin yazılmasından, hareket denklemi ise aynı kontrol hacminin kütlesine ve yüzey alanına etki eden kuvvetlere Newton'un ikinci kanunun ($F=ma$) uygulanmasından ortaya çıkmaktadır. Şekil 3.1 (a)'da görülen W_f rüzgar kuvvetini, F_f sürtünme kuvvetini ($F_f = -\rho g A S_f dx$), Q kontrol hacmine giren akımı göstermektedir. Şekil 3.1 (b)'de ise kontrol hacmine soldan (F_{pl}), sağdan (F_{pr}) ve taşkın yatağından (F_{pb}) uygulanan hidrostatik basınç kuvvetleri görülmektedir. Hidrostatik basınç kuvvetlerinin bileşkesi $F_p = -\rho g A \frac{\partial y}{\partial x} dx$ şeklinde ifade edilir.

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

q kontrol hacmine giren yanal debiyi simgelemektedir. Akışkanın yoğunluğunu ifade eden ρ sabit olduğundan bundan sonraki formülasyonlarda dikkate alınmamaktadır.



Şekil 3.1 Saint-Venant Denklemlerinin Elde Edildiği Kontrol Hacmi

Kontrol hacmi boyunca süreklilik denklemi:

$$\frac{d}{dt} \iiint_{c.v} dV + \iint_{c.s} \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = 0 \quad (3.1)$$

Hareket denklemi:

$$\sum \mathbf{F} = \frac{d}{dt} \iiint_{c.v} \mathbf{V} dV + \iint_{c.s} \mathbf{V} \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} \quad (3.2)$$

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

Yukardaki denklemlerin kısmi diferansiyel formda açık ifadelerinin yazılması ve akım hızı V 'nin Q cinsinden ifade edilmesiyle süreklilik ile hareket denklemleri aşağıda görülen şekli alır.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (3.3)$$

Hareket denklemi:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + g A \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_o \right) - \beta q v_x + W_f B = 0 \quad (3.4)$$

Yukardaki denklemleri oluşturan simgelerin anlamları Bölüm 2.2'de verilmektedir. Denklemlerde bilinmeyenler h (su seviyesi) ve Q (debi) değerleridir. Bu çalışmada momentum düzeltme katsayısı, β , nehirler için 1.01 ile 1.33 arasında değiştiği için $\beta=1$ kabul edilmiş ve bütün kesitler için sabit alınmıştır. Yanal debi hızı (v_x), yanal debi (q) ihmal edildiğinden dolayı (Bkz. Böl.3.2.3) sıfır alınmıştır ($v_x=0$). Yerel kayıplar da bu çalışmada ihmal edildiği için ilerleyen bölümlerde S_o 'de q gibi dikkate alınmayacaktır.

3.2.2 Baraj Gölü Boyunca Rüzgar Kuvvetinin Etkisi

Rüzgar kuvvetini ifade eden eşitlik:

$$W_f = C_w |V_r| (V_r) \quad (3.5)$$

şeklinde yazılır. Burada C_w rüzgar sürtünme itki katsayısı olup $C_w = \frac{C_f}{2}$ şeklinde ifade edilir. C_f ise rüzgar kesme gerilmesi katsayısıdır. Baraj gölü üzerinde küçük bir

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

hıza sahip geniş su yüzeyine temas eden rüzgar etkisi sabit kabul edildiğinden C_f değeri de sabit alınmıştır. V_r rüzgarın su yüzeyine göre bağıl hızı olup

$$V_r = \frac{Q}{A} - V_w \cos \omega \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilir. Bu eşitlikte, V_w rüzgar hızı olup baraj gölü boyunca sabit alınır. ω , rüzgar yönü ile su yüzü akış yönü arasındaki açıyı göstermektedir. Yukardaki eşitlikte rüzgar hızı suyun akış hızından çok büyük olmasından dolayı ($V_w \gg Q/A$) suyun akış hızı (Q/A) terimi ihmal edilir C_w ve V_r ifadeleri yerlerine konulur ve aşağıdaki şartlı eşitlikler oluşur:

Rüzgar hızı ile akım hızı aynı yönde ise ($\cos \omega = 1$):

$$W_r = -\frac{C_f}{2} V_w^2 \quad (3.7.a)$$

Rüzgar hızı ile akım hızı zıt yönde ise ($\cos \omega = -1$):

$$W_r = \frac{C_f}{2} V_w^2 \quad (3.7.b)$$

3.2.3 Baraj Gölü Boyunca Yanal Debinin İncelenmesi

Bu çalışmada baraj gölü boyunca önemli kapasitede bir yan akarsu kolunun mevcut olmadığı kabul edilmektedir. Göl vadisinin oldukça uzun bir biçimi bulunan bir rezervuar için, göle giren taşkın hidrografi Şekil 3.2’de görüldüğü gibi oluşur. Doğal bir akarsuda ardışık iki kesit arasındaki akım ilişkisi için geliştirilen ampirik formül (3.8) numaralı eşitlikte görülmektedir (Özdemir, 1978, Böl.3)

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^n \quad (3.8)$$

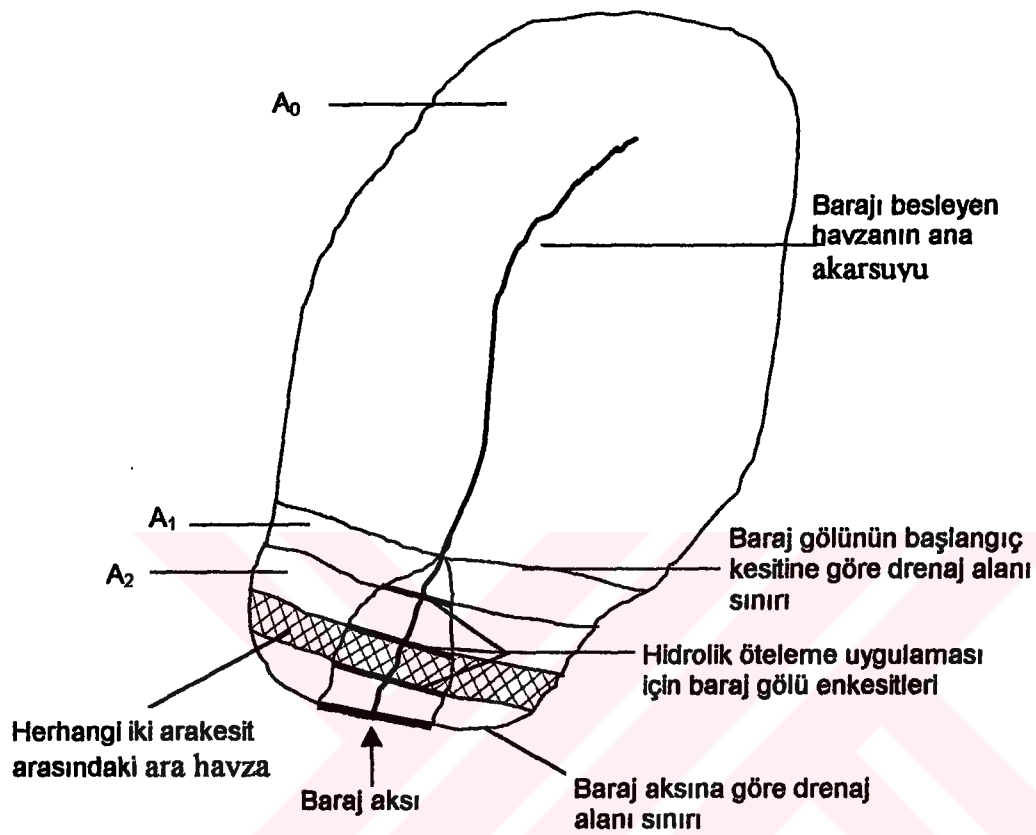
Bu formülde:

A_1, A_2 : İki ardışık kesitteki drenaj alanlarını,

Q_1, Q_2 : A_1 ve A_2 alanlı havzaların akımlarını,

**3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN
GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ** **Hatice ÖZMEN**

n : Katsayıyı
simgelemektedir.



Şekil 3.2 Baraj Gölüne Giren Taşkın Hidrografının Oluşumu

Toplam drenaj alanını hesaplamak için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$A_T = A_0 + \sum_{i=1}^m A_i \quad (3.9)$$

Bu formülde:

A_T : Toplam drenaj alanını (km²)

A₀ : Baraj gölünün bitiminden sonraki drenaj alanını (km²)

A_1 : Hidrolik öteleme için baraj gölü boyunca alınan herhangi bir enkesit alanını (km^2)

m : Hidrolik öteleme için baraj gölü boyunca alınan kesitler arasındaki ara havza sayısını

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ

Hatice ÖZMEN

göstermektedir. Vadinin 1. ve 2. kesitleri arasında baraj gölüne giren yanal akım q_i (3.8) bağıntısının q cinsinden aşağıdaki şekilde yazılması ile bulunur.

$$q_i = \frac{\left[Q_i \left(\frac{A_i}{A_0} \right)^n \right]}{L_i} \quad (3.10.a)$$

$$q_i = \frac{\left[Q_i \left(\frac{A_i}{A_0} \right)^n \right]}{L_i} \quad (3.10.b)$$

q_i : Vadinin iki ardışık kesiti arasından baraj gölüne giren yanal akımı

L_i : Vadinin iki ardışık kesiti arasındaki mesafeyi

Q_i : Baraj gölüne ilk kesitten (menba tarafından) giren akım hidrografını

göstermektedir.

Seyhan ve Çatalan arasındaki ara havza için yanal akımın incelenmesi aşağıdaki örnekle açıklanabilir. Bu örnekte havzaya ait değerler gerçek değerlerdir.

Örnek:

$$A_0 = 15000 \text{ km}^2$$

$$A_T = 20000 \text{ km}^2$$

$$\sum_{i=1}^m A_i = 5000 \text{ km}^2$$

$$m=5 \text{ için } \Rightarrow A_1=A_2=\dots=A_5 \cong 1000 \text{ km}^2$$

$$L_1=L_2=\dots=L_5 \cong 4000 \text{ m}$$

Daha önceki bir çalışmada Seyhan havzası için $n=0.987$ bulunmuştur (Yurtal, 1993).

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

Buna göre:

$$q_1 \cong \frac{\left[Q_1 \left(\frac{1000}{15000} \right)^{0.987} \right]}{4000} = \frac{0.07 Q_1}{4000} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} \approx \% 0.002 Q_1 \text{ olur.}$$

$$m=10 \text{ için } \Rightarrow A_1=A_2=\dots\dots\dots=A_{10} \cong 500 \text{ km}^2$$

$$L_1=L_2=\dots\dots\dots=L_5 \cong 2000 \text{ m}$$

$$q_1 = \frac{0.035 Q_1}{2000} \approx \% 0.002 Q_1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

Özet olarak yanal debi ile esas debi arasındaki ilişki

$$q_i \approx \% 0.002 Q_i$$

şeklindedir. Görüldüğü gibi yanal debi esas debinin yanında çok küçük bir değere sahiptir. Ayrıca bu çalışmada da uygulandığı gibi giriş hidrografının tamamının başlangıç kesitinden verilmesi hidrolik ile hidrolojik öteleme yöntemlerinin farkını arttırıcı yöndedir. Giriş hidrografının küçük fraksiyonlarının ara kesitlerde verilmesi öteleme etkisini azaltacaktır. Dolayısıyla, bu çalışmada yanal debi ihmal edilebilmiştir.

3.3 Baraj Gölüne Uyarlanmış Saint-Venant Diferansiyel Denklemlerinin Sonlu Farklar Formunda İfade Edilmesi

Yukarıdaki bölümlerde yapılan kabullerden sonra Saint-Venant denklemlerinin bir rezervuar vadisi boyunca uygulanacak biçimi

Süreklilik denklemi:

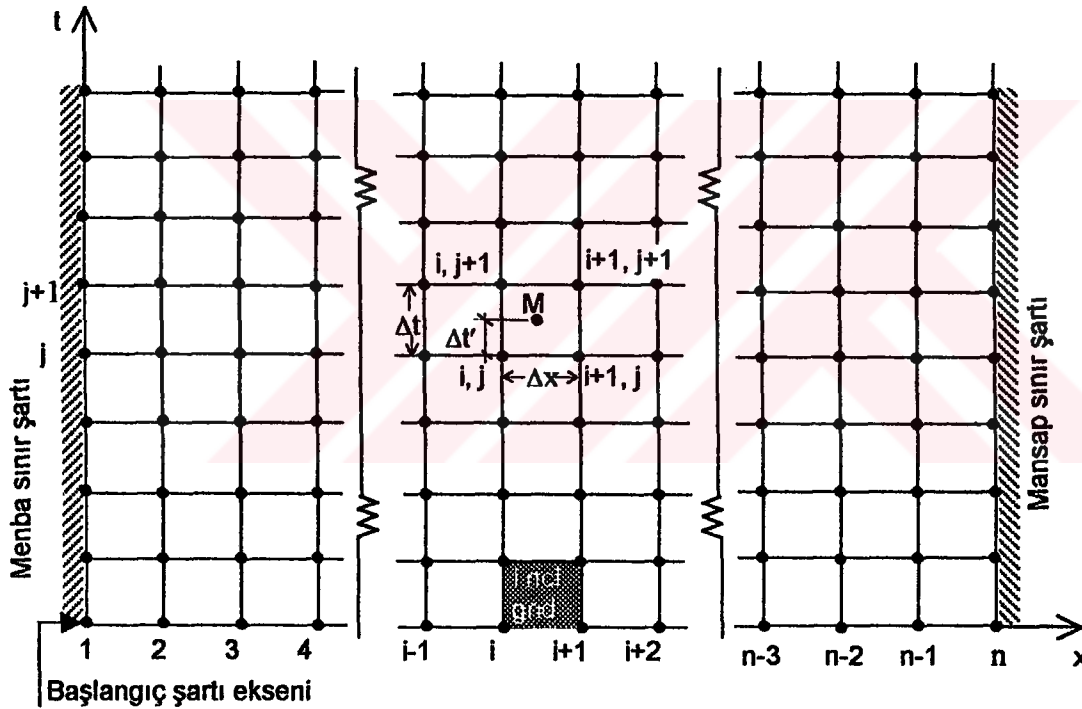
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (3.11)$$

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

Hareket denklemi:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2 / A)}{\partial x} + g A \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) + W_f B = 0 \quad (3.12)$$

şeklinde olur. Kısmi diferansiyel formundaki Saint-Venant denklemlerinin sonlu farklar ifadesi Şekil 3.3’de gösterilen x-t ağı üzerinde, M noktasına göre yazılır. Bu x-t bölme ağı yatay eksenini mesafeyi dikey eksenini zamanı göstermektedir. Dolayısıyla Δx mesafe artırımını Δt ise zaman artırımını simgelemektedir.



Şekil 3.3 Saint-Venant Denklemlerinin Sonlu Farklar Formunun Yazıldığı x-t Ağı

Şekilde, x-t ağı üzerinde n kesit sayısını, i mesafe indeksini, j zaman indeksini simgelemektedir. (3.11) ve (3.12) numaralı eşitliklerde, son halleri yazılı olan Saint-Venant deklemlerinin herbir diferansiyel terimi M noktasına göre sonlu farklar cinsinden ifade edilir. M noktası karenin takriben ortasında yer aldığı için terimlerin sonlu farklar ifadeleri yazılırken M noktasının bulunduğu gridin (x-t ağının en küçük

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

birim elemanı) dört köşe noktası da kullanılmaktadır. Bu yöntem Preissmann tarafından ortaya çıkarılmış olup “four point implicit” yöntem olarak anılmaktadır (Bkz. Böl. 2.2). Sonlu farklar ifadelerinin yazımında bu yöntemin gereği olarak zamana bağlı ağırlık faktörü, θ ($\theta = \Delta t' / \Delta t$) kullanılmaktadır. M noktasının, gridin düşey eksenine göre ortasına yakın bir yerde bulunmasından dolayı $\theta = 0.5$ civarında alınır. Fread tarafından yapılan stabilite çalışmalarında θ 'nın optimum değerinin 0.55 olması uygun görülmüştür. Literatürde de pek çok araştırmacı bu değerini optimum olduğunu yaptıkları çalışmalarla göstermişlerdir. Bu nedenle bu çalışmada da $\theta = 0.55$ alınmıştır. Yatay eksen için ağırlık faktörüne gerek duyulmamıştır çünkü M noktasının yatay eksene göre gridin tam ortasında olduğu kabul edilmektedir. Yukardaki şekle göre her bir terimin sonlu farklar ifadesi aşağıda görülmektedir.

$$\frac{\partial A}{\partial t} \cong \frac{A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1} - A_i^j - A_{i+1}^j}{2\Delta t} \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \cong \frac{Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j}{2\Delta t} \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \cong \theta \left(\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x_i} \right) + (1 - \theta) \left(\frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x_i} \right) \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} \cong \theta \left(\frac{h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}}{\Delta x_i} \right) + (1 - \theta) \left(\frac{h_{i+1}^j - h_i^j}{\Delta x_i} \right) \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial (Q^2 / A)}{\partial x} \cong \theta \frac{(Q^2 / A)_{i+1}^{j+1} - (Q^2 / A)_i^{j+1}}{\Delta x_i} + (1 - \theta) \frac{(Q^2 / A)_{i+1}^j - (Q^2 / A)_i^j}{\Delta x_i} \quad (3.17)$$

$$A = \theta \left(\frac{A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1}}{2} \right) + (1 - \theta) \left(\frac{A_i^j + A_{i+1}^j}{2} \right) \quad (3.18.a)$$

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

$$A = \theta \bar{A}_i^{j+1} + (1-\theta) \bar{A}_i^j \quad (3.18.b)$$

$$S_f \cong \theta \left(\frac{S_{fi}^{j+1} + S_{fi+1}^{j+1}}{2} \right) + (1-\theta) \left(\frac{S_{fi}^j + S_{fi+1}^j}{2} \right) \quad (3.19.a)$$

$$\bar{S}_f = \theta \bar{S}_{fi}^{j+1} + (1-\theta) \bar{S}_{fi}^j \quad (3.19.b)$$

$$B = \theta \frac{(B_i^{j+1} + B_{i+1}^{j+1})}{2} + (1-\theta) \frac{(B_i^j + B_{i+1}^j)}{2} \quad (3.20)$$

$$W_f = \theta \frac{(W_{fi}^{j+1} + W_{fi+1}^{j+1})}{2} + (1-\theta) \frac{(W_{fi}^j + W_{fi+1}^j)}{2} \quad (3.21.a)$$

$$\bar{W}_f = \theta \bar{W}_{fi}^{j+1} + (1-\theta) \bar{W}_{fi}^j \quad (3.21.b)$$

Yukarda sonlu farklar cinsinden yazılan (3.13) ve (3.15) ifadeleri (3.11) numaralı süreklilik denkleminde yerine yazılır ve süreklilik denkleminin (3.22) numaralı formu elde edilir.

$$\theta \left(\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x_i} \right) + (1-\theta) \left(\frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x_i} \right) + \frac{1}{2\Delta t} [A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1} - A_i^j - A_{i+1}^j] = 0 \quad (3.22)$$

Yukardaki eşitliğin her iki tarafı Δx ile çarpılarak

$$\theta (Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}) + (1-\theta) (Q_{i+1}^j - Q_i^j) + \frac{\Delta x_i}{2\Delta t} (A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1} - A_i^j - A_{i+1}^j) = 0 \quad (3.23)$$

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

şeklinde düzenlenir. Benzer şekilde hareket denklemini oluşturan diferansiyel terimlerin yukarıda elde edilen sonlu farklar ifadeleri de (3.12) denkleminde tek tek yerine konulur ve eşitliğin her iki tarafı Δx ile çarpılıp düzenlenerek hareket denkleminin (3.24) numaralı sonlu farklar formu elde edilir.

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta x_i}{2\Delta t} (Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j) + \theta [(Q^2/A)_{i+1}^{j+1} - (Q^2/A)_i^{j+1}] \\ & + (1-\theta) [(Q^2/A)_{i+1}^j - (Q^2/A)_i^j] \\ & + g \left[\frac{\theta}{2} (A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1}) + \frac{(1-\theta)}{2} (A_i^j + A_{i+1}^j) \right] \left\{ \theta (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}) + (1-\theta) (h_{i+1}^j - h_i^j) + \right. \\ & \left. \Delta x_i \left[\frac{\theta}{2} (S_{f_i}^{j+1} + S_{f_{i+1}}^{j+1}) + \frac{(1-\theta)}{2} (S_{f_i}^j + S_{f_{i+1}}^j) \right] \right\} \\ & + \Delta x_i W_f \left[\frac{\theta}{2} (B_i^{j+1} + B_{i+1}^{j+1}) + \frac{(1-\theta)}{2} (B_i^j + B_{i+1}^j) \right] = 0 \end{aligned} \quad (3.24)$$

Yukardaki denklemde sürtünme eğimi S_f , Manning formülü kullanılarak sonlu farklar ifadesi cinsinden aşağıdaki şekilde yazılır. Bu formüllerde n Manning pürüzlülük katsayısı olup bütün kesitler için sabit alınmıştır.

$$\begin{aligned} S_{f_i}^j &= \frac{(Q_i^j)^2 n^2 (P_i^j)^{4/3}}{(A_i^j)^{10/3}} \quad , \quad S_{f_i}^{j+1} = \frac{(Q_i^{j+1})^2 n^2 (P_i^{j+1})^{4/3}}{(A_i^{j+1})^{10/3}} \\ S_{f_{i+1}}^j &= \frac{(Q_{i+1}^j)^2 n^2 (P_{i+1}^j)^{4/3}}{(A_{i+1}^j)^{10/3}} \quad , \quad S_{f_{i+1}}^{j+1} = \frac{(Q_{i+1}^{j+1})^2 n^2 (P_{i+1}^{j+1})^{4/3}}{(A_{i+1}^{j+1})^{10/3}} \end{aligned} \quad (3.25)$$

(3.23) ve (3.25) numaralı süreklilik ve hareket denklemlerinde üssü j olan büyüklükler başlangıç şartlarından dolayı bilinmekte, üssü $j+1$ olanlar ise bir üst zaman dilimindeki değerler olup bilinmeyenleri teşkil etmektedir. O halde bilinen ve bilinmeyenler aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

Bilinenler : $h_i^j, h_{i+1}^j, Q_i^j, Q_{i+1}^j, B_i^j, B_{i+1}^j, A_i^j, A_{i+1}^j, S_{fi}^j, S_{fi+1}^j$

Bilinmeyenler : $h_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, Q_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}, B_i^{j+1}, B_{i+1}^{j+1}, A_i^{j+1}, A_{i+1}^{j+1}, S_{fi}^{j+1}, S_{fi+1}^{j+1}$

Burada toplam on bilinmeyen gözükmektedir fakat bunlardan B, A, S_f , P parametreleri h ve Q'nun birer fonksiyonu olarak ifade edilebildikleri için esas bilinmeyenler $h_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, Q_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}$ değerleridir.

3.4 Nonlineer Denklem Takımının Sayısal Çözümü

Bir önceki bölümde elde edilen süreklilik (3.23) ve hareket (3.25) denklemleri 2n adet bilinmeyen içeren nonlineer denklem takımı oluşturmaktadır. Şekil 3.3 üzerinde n adet düğüm noktası için n-1 adet akarsu parçası vardır. Denklemler her bir akarsu parçası üzerinde yazıldığından dolayı n-1 adet kesit için, n-1 adet süreklilik ve n-1 adet hareket denklemi olmak üzere toplam 2n-2 adet denklem elde edilir. Bu durumda iki ek denkleme ihtiyaç duyulmakta ve bunlar menba ile mansap sınır şartlarından elde edilmektedir. Sayısal çözüm, nonlineer denklem takımının her bir Δt zaman dilimi için Newton Raphson iterasyon tekniğinin kullanılması ile gerçekleşmektedir. Nonlineer denklem takımı başlangıçtan bir sonraki zaman diliminde (j+1), bilinmeyen parametreler olan h ve Q cinsinden fonksiyonel formda aşağıda görüldüğü gibi özetlenebilir. Burada C'ler süreklilik denklemini M'ler hareket (momentum) denklemini, UB (upstream boundary) menba sınır şartını, DB (downstream boundary) mansap sınır şartını ifade etmektedir. Bu denklem takımının Newton Raphson iterasyon tekniği ile çözülebilmesi için teknik gereği sistem her bir Δt zaman dilimi için önce lineer hale getirilmekte bunun için de Jacobian matrisine ihtiyaç duyulmaktadır. Jacobian matrisi 2n adet denklemin 2n adet bilinmeyene göre birinci türevinin alınması ile elde edilmektedir. (Bkz. Ek 1). Lineer hale gelen sistem Gauss Eliminasyon yöntemi ile çözülebilmektedir.

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

$UB (h_1^{j+1}, Q_1^{j+1}) = 0$	menba sınır şartı
$C_1 (h_1^{j+1}, Q_1^{j+1}, h_2^{j+1}, Q_2^{j+1}) = 0$	birinci griddeki süreklilik denklemi
$M_1 (h_1^{j+1}, Q_1^{j+1}, h_2^{j+1}, Q_2^{j+1}) = 0$	birinci griddeki hareket denklemi
.	.
.	.
.	.
$C_i (h_i^{j+1}, Q_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}) = 0$	i nci griddeki süreklilik denklemi
$M_i (h_i^{j+1}, Q_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}) = 0$	i nci griddeki hareket denklemi
.	.
.	.
.	.
$C_{n-1} (h_{n-1}^{j+1}, Q_{n-1}^{j+1}, h_n^{j+1}, Q_n^{j+1}) = 0$	n nci griddeki 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 nci griddeki hareket denklemi
$DB (h_n^{j+1}, Q_n^{j+1}) = 0$	mansap sınır şartı

3.4.1 Sınır Şartlarının İncelenmesi

Bu çalışmada ele alınan baraj göllerinin menba ucunda sınır şartı olarak bir taşkın giriş hidrografi (Q-t) alınmaktadır. Giriş hidrografi birinci kesitte göle giren taşkın hidrografının Δt zaman dilimi aralıklarındaki debi değerlerinden oluşmaktadır. Mansap sınır şartı olarak ise çalışma alanının en son düğüm noktası olan barajın savak kreti üzerinde savağın kot-deşarj (h-Q) ilişkisi alınmaktadır. Bu ilişkiden dolayı Q'yu, h'nin bir fonksiyonu olarak ifade etmek mümkündür. Bu çalışmada savağın h-Q ilişkisi aşağıda görüldüğü gibi m adet çift nümerik değerler halinde verilmektedir (Bkz. Böl. 5.1.4.1'de Karakaya Barajının giriş data dosyası).

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

<u>Savak Kotu</u>	<u>Savak debisi</u>
h_1	Q_1
h_2	Q_2
.	.
.	.
$h_n \Rightarrow h_L$	$Q_L \Rightarrow Q_n$
h_{L+1}	Q_{L+1}
.	.
.	.
h_m	Q_m

Burada Q_L savak debisini h_L ise bu debiye karşılık gelen su kotunu belirtmektedir.

Yukardaki iki kolonda herhangi bir h_n 'ye karşılık gelen Q_n lineer interpolasyon ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Q_n = Q_L + (h_n - h_L) \left\{ \frac{Q_{L+1} - Q_L}{h_{L+1} - h_L} \right\} \quad (3.26)$$

Böylece bilinmeyen olarak gözüken Q_n değeri bilinenler ve bilinmeyen h_n cinsinden ifade edilerek nonlinear denklem takımında bir bilinmeyen olmaktan çıkmış olur.

3.4.2 Sınır Şartlarının Belirlendiği Durum İçin Sayısal Çözüm

Bölüm 3.4.1'de de açıklandığı gibi Q_i^{j+1} terimi menba sınır şartından dolayı, Q_n^{j+1} terimi ise mansapta h_n^{j+1} 'in bir fonksiyonu olarak yazılabildiği için bilinmeyen olmaktan çıkar. Bu durumda h 'lar 1 numaralı astan n numaralı asa kadar n adet; Q 'lar da 2 numaralı astan $(n-1)$ numaralı asa kadar $(n-2)$ adet olmak üzere, toplam

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

$2n-2$ adet bilinmeyen olur. Bölüm 3.4’de açıklandığı gibi $2n-2$ adet de denklem olduğuna göre bilinmeyen sayısı denklem sayısına eşitlenmiş olmaktadır. Bu durumda Bölüm 3.4’de bilinmeyen parametreler cinsinden fonksiyonel formda ifade edilen çözülmesi gereken sistem, menba ve mansap sınır şartlarının da belirlenmesi ile aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$1 : C_1 (h_1, h_2, Q_2) = 0$$

$$2 : M_1 (h_1, h_2, Q_2) = 0$$

$$3 : C_2 (h_2, Q_2, h_3, Q_3) = 0$$

$$4 : M_2 (h_2, Q_2, h_3, Q_3) = 0$$

...

$$2i-1 : C_i (h_i, Q_i, h_{i+1}, Q_{i+1}) = 0$$

$$2i : M_i (h_i, Q_i, h_{i+1}, Q_{i+1}) = 0$$

...

$$2n-5 : C_{n-2} (h_{n-2}, Q_{n-2}, h_{n-1}, Q_{n-1}) = 0$$

$$2n-4 : M_{n-2} (h_{n-2}, Q_{n-2}, h_{n-1}, Q_{n-1}) = 0$$

$$2n-3 : C_{n-1} (h_{n-1}, Q_{n-1}, h_n) = 0$$

$$2n-2 : M_{n-1} (h_{n-1}, Q_{n-1}, h_n) = 0$$

Bu durumda $(j+1)$ zaman dilimindeki bilinmeyenler:

$h_1, h_2, Q_2, h_3, Q_3, \dots, h_{n-1}, Q_{n-1}, h_n$ ’dir. Belirlenen sınır şartları altında $n-1$ adet süreklilik ve $n-1$ adet hareket denklemlerinin yukardaki bilinmeyenler kümesine göre birinci türevlerinin alınması ile elde edilen Jacobian matrisi aşağıda görülmektedir. Jacobian matrisinin elde edilmesi Ek 1’de açıklanmaktadır.

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ

Hatice ÖZMEN

$$\begin{bmatrix}
 \frac{\partial C_1}{\partial h_1} & \frac{\partial C_1}{\partial h_2} & \frac{\partial C_1}{\partial Q_2} & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\
 \frac{\partial M_1}{\partial h_1} & \frac{\partial M_1}{\partial h_2} & \frac{\partial M_1}{\partial Q_2} & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 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} & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 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} & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 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 & \cdot & \cdot & \cdot & 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 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 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 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 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 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 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} & \cdot \\
 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 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}
 \end{bmatrix}$$

(3.27)

Her Newton Raphson iterasyonunda, her bir Δt zaman dilimi için çözülmesi gereken lineer denklem sistemi de aşağıdaki gibidir:

3. BARAJ GÖLÜNDEN HİDROLİK TAŞKIN ÖTELENMESİ İÇİN
GELİŞTİRİLEN SAYISAL ÇÖZÜM MODELİ Hatice ÖZMEN

$$\begin{bmatrix} -C_1 \\ -M_1 \\ -C_2 \\ -M_2 \\ -C_3 \\ -M_3 \\ \vdots \\ -\dot{C}_{n-2} \\ -M_{n-2} \\ -C_{n-1} \\ -M_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta h_1 \\ \Delta h_2 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta h_3 \\ \Delta Q_3 \\ \Delta h_4 \\ \vdots \\ \dot{\Delta Q}_{n-2} \\ \Delta h_{n-1} \\ \Delta Q_{n-1} \\ \Delta h_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & \vdots & 0 & 0 & \frac{\partial C_{n-1}}{\partial h_n} & \frac{\partial h_n}{\partial M_{n-1}} & \frac{\partial h_n}{\partial h_n} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & \dot{\frac{\partial C_{n-2}}{\partial Q_{n-1}}} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial M_{n-2}} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial C_{n-1}} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial h_{n-1}} & \frac{\partial M_{n-1}}{\partial M_{n-1}} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial Q_{n-1}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dot{\frac{\partial C_{n-2}}{\partial h_{n-1}}} & \frac{\partial h_{n-1}}{\partial M_{n-2}} & \frac{\partial h_{n-1}}{\partial C_{n-1}} & \frac{\partial h_{n-1}}{\partial h_{n-1}} & \frac{\partial M_{n-1}}{\partial M_{n-1}} & \frac{\partial h_{n-1}}{\partial Q_{n-1}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dot{\frac{\partial C_{n-2}}{\partial M_{n-2}}} & \frac{\partial Q_{n-2}}{\partial M_{n-2}} & \frac{\partial Q_{n-2}}{\partial h_{n-1}} & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & 0 & \vdots & \dot{\frac{\partial C_{n-2}}{\partial h_{n-2}}} & \frac{\partial h_{n-2}}{\partial M_{n-2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \frac{\partial C_3}{\partial Q_4} & \frac{\partial Q_4}{\partial M_3} & \frac{\partial Q_4}{\partial h_4} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & 0 & 0 & \frac{\partial C_3}{\partial h_4} & \frac{\partial M_3}{\partial h_4} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \frac{\partial C_2}{\partial Q_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial M_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial C_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial M_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial h_3} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \frac{\partial C_2}{\partial h_3} & \frac{\partial M_2}{\partial h_3} & \frac{\partial C_3}{\partial h_3} & \frac{\partial M_3}{\partial h_3} & \frac{\partial h_3}{\partial h_3} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial C_1}{\partial Q_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial M_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial C_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial M_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial Q_2} & 0 & 0 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial C_1}{\partial h_2} & \frac{\partial h_2}{\partial M_1} & \frac{\partial h_2}{\partial C_2} & \frac{\partial h_2}{\partial M_2} & \frac{\partial h_2}{\partial h_2} & 0 & 0 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial C_1}{\partial h_1} & \frac{\partial h_1}{\partial M_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(1)
(2)
(3)
(4)
(5)
(6)
.
(2n-5)
(2n-4)
(2n-3)
(2n-2)

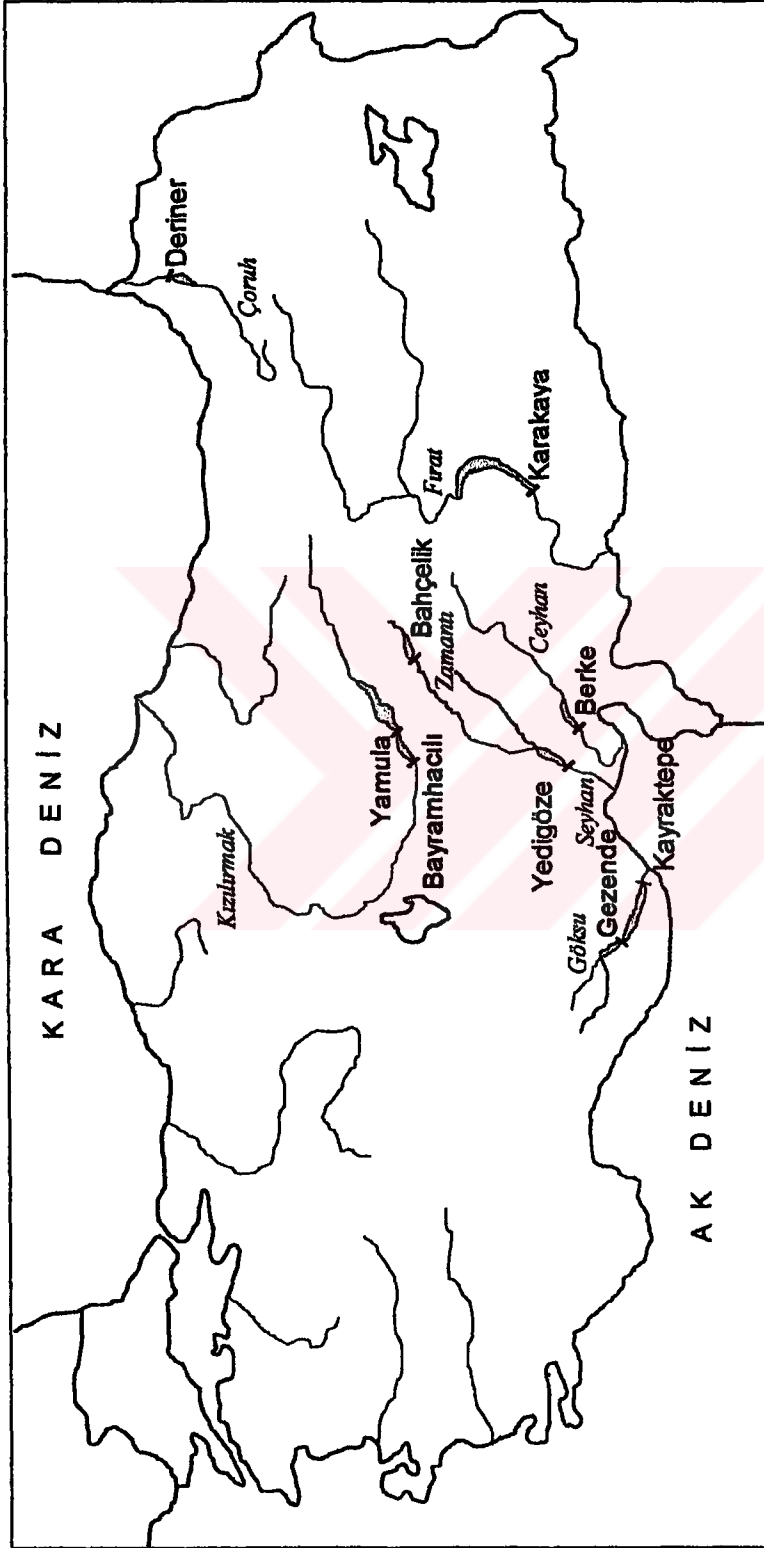
4. TAŞKIN ÖTELEME MODELLERİNİN UYGULANACAĞI BARAJLARA AİT BİLGİLER

4.1 Seçilen Barajlar ve Seçim Nedenleri

Bu çalışmada kullanılan barajlar Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden ince ve uzun göl alanına sahip, genelde dar vadi üzerine kurulmuş barajlar arasından seçilmiştir. Bunun nedeni bu tür baraj göllerinin sanki bir nehir gibi davranabileceği, dolayısıyla hidrolik öteleme yönteminin esasını oluşturan suyun dinamik etkilerinin daha iyi gözlenebileceği düşüncesidir. Barajların seçiminde göl uzunluğu boyunca göle yan taraflardan kayda değer ölçüde büyük akarsu kolları girmeyen türde olmasına özen gösterilmiştir. Bu nedenden dolayı geliştirilen modelde yanal debi ihmal edilebilmiştir. Seçilen barajların konumları ilgili akarsuların üzerinde Türkiye haritası içinde gösterilmektedir (Şekil 4.1). Bu barajların vadilerine ait DSI'den temin edilen bazı karakteristik özellikler Çizelge 4.1'de sunulmaktadır. Bu çizelgenin dördüncü kolonundaki H savak kret kotunu, beşinci kolondaki S rezervuar hacmini, altıncı kolondaki $\bar{B}$ savak kret kotundaki ortalama vadi genişliğini, yedinci kolondaki H_{max} maksimum göl su kotunu, sekizinci kolondaki $\bar{S}_0$ vadinin ortalama yatak eğimini, en son kolondaki $L_{göl}$ ise barajların göl uzunluğunu göstermektedir.

4.2 Seçilen Baraj Rezervuarlarının Topoğrafik Haritalardan Enkesit Yerlerinin Ve Profillerinin Belirlenmesi

Geliştirilen hidrolik taşkın ötelemesi modelinin bilgisayar programına, hesap yöntemi gereği, veri olarak barajların rezervuar alanları boyunca belirli aralıklarla enkesit profilleri gerekmektedir. Çalışmada kullanılan dokuz barajın göl sınırları ve enkesit yerleri Devlet Su İşleri'nden (DSİ) temin edilen 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalardan tesbit edilmiştir (Bkz. Ek 2). Veri olarak kullanılacak olan kesit ara mesafeleri de aynı ölçekli haritadan belirlenmiştir. Şekil 6.2'de görüldüğü gibi enkesit yerleri baraj gölünün menba ucundan başlayarak mansaba (baraj aksına) doğru numaralandırılmıştır.



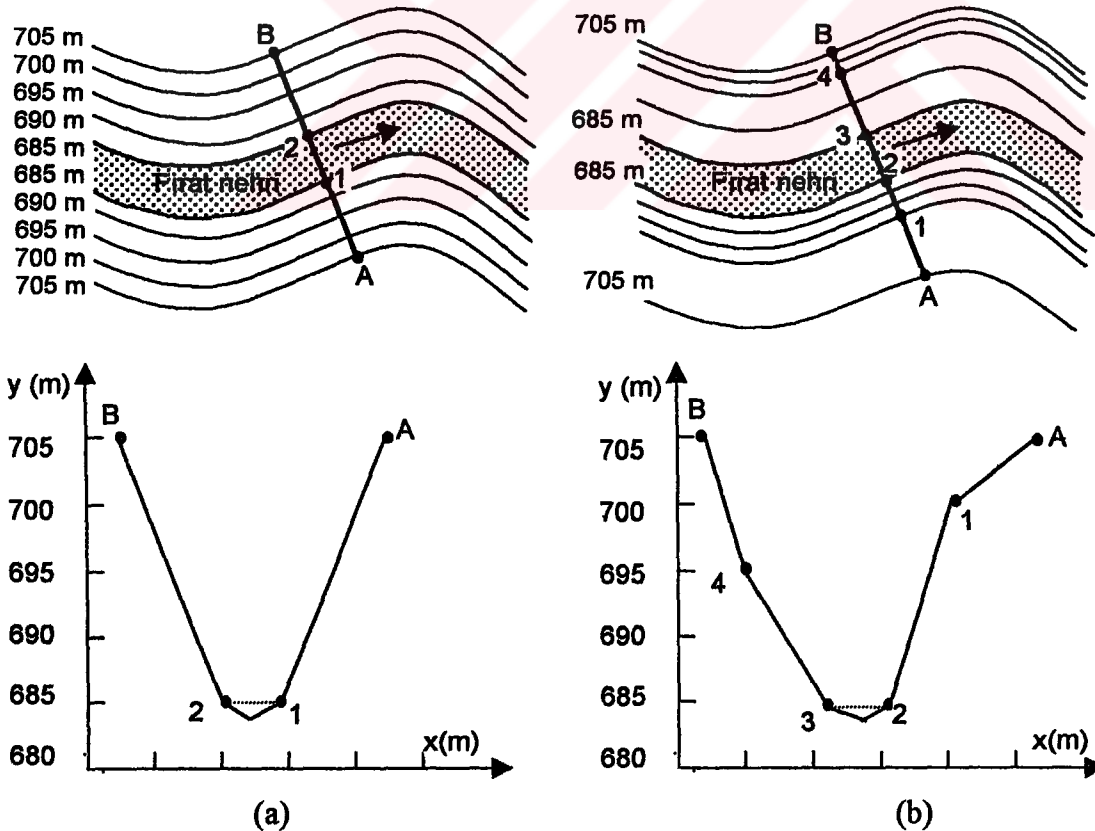
Şekil 4.1 Seçilen Barajların İlgili Nehirler Üzerindeki Konumları

4. TAŞKIN ÖTELEME MODELLERİNİN UYGULANACAĞI BARAJLARA AİT BİLGİLER

Hatice ÖZMEN

Bu durumda en son kesit numarası baraj aksını simgelemektedir. Kesit sayısı dokuz baraj için 10-25 sayıları arasında değişmektedir

Belirlenen kesit yerleri yine DSİ'den elde edilen 1/5000 ölçekli topoğrafik harita üzerinde nehrin akışına dik bir açı yapacak şekilde, maksimum göl su seviyesine kadar bir doğru ile kesiştirilir (Şekil 4.2'deki AB doğrusu). Bu doğru üzerinde sol sahilten başlayarak sağ sahile doğru münhanilerin okunması ve aralarındaki mesafelerin ölçek yardımı ile hesaplanmasıyla herbir enkesitin profili çıkarılır. Şekil 4.2'de B noktası sol sahili A noktası sağ sahili temsil etmektedir. Burada dikkat edilecek husus münhani aralarındaki mesafeler eşit değilse ayrı ayrı numaralandırılma gerekliliğidir. Şekil 4.2-a eşit aralıklı, 4.2-b ise değişken aralıklı münhani eğrilerinden oluşan kesit profillerini örnek olarak göstermektedir. Bu haritalar çalışma yapılacak bölgedeki akarsuyun ve etrafının baraj yapımından önceki halini içermekte dolayısıyla elde edilen kesit profilleri barajın kurulacağı vadinin maksimum su seviyesinin üzerinde olan doğal şeklini yansıtmaktadır.



Şekil 4.2 Topoğrafik Haritalardan Enkesit Profillerinin Elde Edilmesi

4. TAŞKIN ÖTELEME MODELLERİNİN UYGULANACAĞI BARAJLARA AİT BİLGİLER

Hatice ÖZMEN

Çizelge 4.1. Seçilen Barajlara Ait Bazı Karakteristik Özellikler

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

4.3 Baraj Göllerinin Hacim-Kot İlişkilerinin Elde Edilmesi

Hidrolik ve hidrolojik öteleme sonuçlarının karşılaştırılmasının sağlıklı olması amacıyla hidrolojik öteleme yöntemi için gerekli olan Hacim-Kot (H-S) ilişkisi bir önceki bölümde elde edilişi anlatılan vadi enkesit profilleri ve aralarındaki mesafe değerlerinin kullanımıyla tek tek belirlenmiştir. Hacim-Kot ilişkisinin belirlenmesi aşamasında şu prosedür izlenir: En düşük su kotundan başlanır ve ardışık iki kesit için o kotun altındaki alanlar hesaplanıp ortalaması alınarak bu iki kesit arasındaki mesafe ile çarpılıp hacime dönüştürülür. Bu işleme göl boyunca kesit sayısı kadar devam edilir ve elde edilen değerlerin toplanmasıyla o kottaki hacim hesaplanmış olur. Su kotu 10'ar metre artırılarak işleme devam edilir.

Bu çalışmanın hidrolojik öteleme bölümünde tek tek kesit profillerinden hesaplanan bu değerler kullanılmış dolayısıyla DSI'den temin edilen hacim-kot ilişkileri dikkate alınmamıştır. İncelenen dokuz baraj için, enkesit profillerinden hesaplanarak elde edilen hacim-kot ilişkileri toplu halde Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

4.4 Seçilen Her Baraj İçin Farklı Giriş Hidrografı ile Savak Kombinasyonları Ve Savak Kot- Deşarj Debisi Değerlerinin Belirlenmesi

Her baraj için iki farklı giriş hidrografı kombinasyonu kullanılmıştır. Bu hidrografların pik debilerinin belirlenmesinde birinci kombinasyon için DSI'nin belirlemiş olduğu maksimum feyzan pikine yakın bir değer, ikinci kombinasyon için ise öncekinin yaklaşık olarak yarısı kadar bir değer alınmıştır. Hidrografların türetilmesinde benzeri bazı çalışmalarda yapıldığı gibi (örneğin: Croley, 1980) Gama Sentetik Hidrografı dağılımı kullanılmıştır. GW-Basic dilinde bilgisayar programı yazılmış olan bu dağılımda gerekli olan pik debiye ulaşma zamanı baraj gölünün büyüklüğüne göre tesbit edilmektedir. (Bu program hakkında daha geniş bilgi için Bölüm 5.2.2'ye bakınız).

Seçilen her baraj için iki farklı savak boyu kullanılmıştır. Savak boyunun belirlenmesinde barajın büyüklüğü, DSI'nin belirlediği boyutlar ve (4.1) numaralı savak formülü dikkate alınmıştır. Birinci kombinasyon için, belirlenen savak boyundan oldukça küçük bir değer; ikinci kombinasyon için ise belirlenen savak boyundan oldukça büyük bir değer seçilmiştir. Bunun nedeni savak boyunun hidrolik taşkın ötelemesinde ne derecede önem taşıdığını daha iyi gözleyebilmektir. İki farklı giriş hidrografı ve iki farklı savak boyu seçiminden dolayı her baraj için toplam dört farklı kombinasyon mevcuttur. Çalışmada kullanılan her baraj için belirlenen savak ve giriş hidrografı kombinasyonları toplu halde Çizelge 4.3'te sunulmaktadır. Üçüncü kolondaki I_p seçilen giriş hidrografının pik debi değerini, dördüncü kolondaki T_p pik debi değerine ulaşma zamanını ve en son kolondaki L de seçilen savak boyunu simgelemektedir.

4. TAŞKIN ÖTELEME MODELLERİNİN UYGULANACAĞI BARAJLARA AİT BİLGİLER

Hatice ÖZMEN

Çizelge 4.2 Seçilen Barajların Göl Kotu-Göl Hacmi Değerleri

Kayraktepe		Berke		Deriner		Yamula		Bayramhacılı		Bahçelik		Yedigöze		Gezende		Karakaya	
H(m)	S(10 ⁶ m ³)	H(m)	S(10 ⁶ m ³)	H(m)	S(10 ⁶ m ³)	H(m)	S(10 ⁶ m ³)	H(m)	S(10 ⁶ m ³)	H(m)	S(10 ⁶ m ³)	H(m)	S(10 ⁶ m ³)	H(m)	S(10 ⁶ m ³)	H(m)	S(10 ⁶ m ³)
30	0.203	170	0.688	165	0	990	0.029	940	0.0244	1450	0.0156	140	0.617	280	1.038	550	1.894
40	13.112	180	2.432	170	0.465	1000	1.254	950	5.697	1460	3.823	150	5.716	290	6.675	560	9.493
50	39.633	190	4.877	175	1.619	1010	9.604	960	30.372	1470	27.981	160	20.57	300	16.468	570	23.856
60	78.369	200	8.364	180	3.454	1020	41.506	970	75.636	1480	70.435	170	46.038	310	30.44	580	44.84
70	133.568	210	13.164	185	6.165	1030	146.78	980	150.254	1490	134.239	180	87.668	320	48.554	590	72.943
80	211.11	220	19.054	190	10.146	1040	316.24	990	253.701	1500	218.9	190	142.529	330	72.741	600	113.625
90	354.484	230	26.362	195	15.947	1050	565.95	1000	378.796	1510	316.705	200	208.554	340	103.356	610	180.567
100	593.876	240	35.227	200	23.01	1060	893.32	1010	522.546	1520	426.87	210	284.987	350	138.988	620	270.133
110	900.273	250	46.12	205	30.872	1070	1314					220	371.058	360	179.794	630	410.419
120	1298.58	260	59.74	210	39.478	1080	1834					230	471.283			640	666.194
130	1759.39	270	77.08	215	48.642	1090	2455					240	599.413			650	1254.69
140	2263.66	280	100.513	220	58.33	1100	3174					250	754.903			660	2335.2
150	2823.2	290	130.812			1110	3966					260	948.155			670	3776.6
160	3433.7	300	167.404			1120	4846									680	5609.4
		310	210.742													690	7779
		320	260.400													700	10418
		330	317.042													710	13491
		340	381.685													720	16984
		350	450.414													730	20801
		360	527.352														
		370	616.635														
		380	715.697														

4. TAŞKIN ÖTELEME MODELLERİNİN UYGULANACAĞI BARAJLARA AİT BİLGİLER

Hatice ÖZMEN

Her iki taşkın öteleme yöntemi için kullanılan bilgisayar programlarına veri olarak gerekli olan savağın kot-debi (H-Q) ilişkisi ogee profilli dolusavak formülünden

$$Q = C L H^{3/2} \quad (4.1)$$

elde edilmektedir. Bu formülde Q (m³/s) debiyi, C savak deşarj katsayısını, L(m) savak kret boyunu H(m) ise toplam savak yükünü göstermektedir. Bu çalışmada C=2 alınmıştır. H savak kret kotundan başlayarak 0.5 m artırımlar ile (4.1) eşitliğinde yerine konulmuş ve Q değeri o kombinasyondaki giriş hidrografi pik debi değerini aşana kadar devam edilmiştir.

Çizelge 4.3 Barajlar İçin Belirlenen Giriş Hidrografi ve Savak Boyu Değerleri

Baraj Adı	Kesit	I _p (m ³ /s)	T _p (saat)	L (m)
Kayraktepe	13	2000	20	50
		5000		150
Berke	13	1000	15	10
		3000		50
Deriner	16	500	10	10
		1000		30
Yamula	18	6000	20	100
		10000		300
Bayramhacılı	10	2000	20	10
		4000		40
Bahçelik	10	1000	15	10
		2000		50
Yedigöze	11	3000	20	20
		6000		100
Gezende	11	1500	15	25
		3000		60
Karakaya	25	10000	40	100
		15000		500

4.5 Kesitlerin Pürüzlülük Değerlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada seçilen barajlara uygulanacak olan hidrolik öteleme yönteminde veri olarak kullanmak üzere gerekli olan pürüzlülük değeri için Manning pürüzlülük katsayısı “n” kullanılmıştır. Literatürden de bilindiği gibi n’in değerinin belirlenmesinde pek çok etken vardır. Bu etkenlere örnek: Akarsu yatağını oluşturan malzemenin cinsi (çakıl, kil, kaya, vs.), akarsu yatağının ve kenarlarının bitki örtüsü, yatak kesitinin şekli, büyüklüğü ve enkesitlerin ani değişimi, akarsu içerisinde doğal olarak bulunan veya sonradan yapılmış olan engeller ve akarsunun akış güzergahıdır (menderesli olup olmaması). Bütün bu etkenlerin yanısıra mevsim değişiklikleri dahi n’in değerine etki etmektedir. Bu etkenler n’in belirlenmesinde önemli rol oynarlar. Örneğin akarsu yatağını oluşturan malzemenin ince çakıl, kum veya toprak oluşu daha küçük n değeri, iri çakıl oluşu ise daha büyük n değeri gerektirmektedir. Akarsu yatağındaki ani genişleme ve daralmalar da n değerinin artmasına yol açmaktadır. Akarsu yatağı içerisinde mevcut bulunan herhangi bir engel de n değerini artırmaktadır. Akış güzergahının menderesli olması da n değerini önemli ölçüde (%30) artırmaktadır.

Çalışmada kullanılan barajlar için bu etkenlerin tamamının tek tek belirlenmesi mümkün olamayacağından, Türkiye’deki akarsu yataklarının benzer coğrafya ve zemin koşullarından dolayı doğal akarsu yatakları için uygun olan bir değer $n=0.06$ alınmıştır. Bu değer yukarıda bahsedilen etkenleri kapsayan ortalama bir değer olup literatürdeki n ile ilgili tablolardan seçilmiştir (Chow, 1988b sayfa; 15-23). Hidrolik öteleme yönteminin pürüzlülüğe karşı duyarlılığını saptayabilmek için $n=0.03$ ve $n=0.09$ alarak da her baraj için çözüm yapılmıştır. Bir barajdaki bütün enkesitler için n değeri sabit alınmıştır.

5. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER VE BİLGİSAYAR PROGRAMLARI

5.1 Giriş

Bu çalışmada hidrolik taşkın ötelemesi için geliştirilen sayısal modelin yanısıra ince ve uzun göl alanına sahip barajların bir akarsu gibi davranabileceği düşüncesiyle akarsu taşkın ötelemesi için yaygın olarak kullanılan Muskingum esaslı yöntemler de kullanılmıştır. Ayrıca geniş göl alanına sahip barajlarda sağlıklı sonuçlar veren hidrolojik öteleme yöntemiyle de karşılaştırma yapılmıştır. Bahsedilen yöntemler ve bunlara ait bilgisayar programları detaylı bir şekilde alt bölümlerde açıklanmaktadır. Bütün bilgisayar programları teze ilişik olan diskette verilmektedir. Hidrolik öteleme yönteminin bazı karşılaştırmaları için DUFLOW isimli paket programdan da faydalanılmıştır

5.2 Hidrolik Öteleme Modeli İçin Geliştirilen Bilgisayar Programları

Bu çalışmada baraj gölünden hidrolik taşkın ötelenmesi amacıyla RRMHQ.for isimli bir ana bilgisayar programı geliştirilmiştir. Ayrıca bu programın data sayfasının oluşumu için yardımcı bilgisayar programları hazırlanmıştır. Bu programlara ek olarak, su kotunun göl uzunluğu boyunca sabit bir zamanda değişimini (H-x) gözleyebilmek amacıyla HX1.for ve HX2.for isimli fortran dilinde iki program yazılmıştır. Bu iki program hakkında daha geniş bilgi Bölüm 5.2.2’de sunulmaktadır.

5.2.1 Hidrolik Öteleme Modeli İçin Geliştirilen Ana Bilgisayar Programı

RRMHQ.for isimli bu program Fortran-77 programlama dilinde yazılmıştır. Bölüm 3.4’de açıklanan sayısal yöntemeye dayalı, Newton Raphson iterasyon tekniğinin kullanıldığı bu programın her bir Δt zaman dilimi için akış diagramı Şekil 5.1’de özetlenmektedir. İterasyonun çabuk yakınsayabilmesi için dikkat edilecek

5. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER VE BİLGİSAYAR PROGRAMLARI

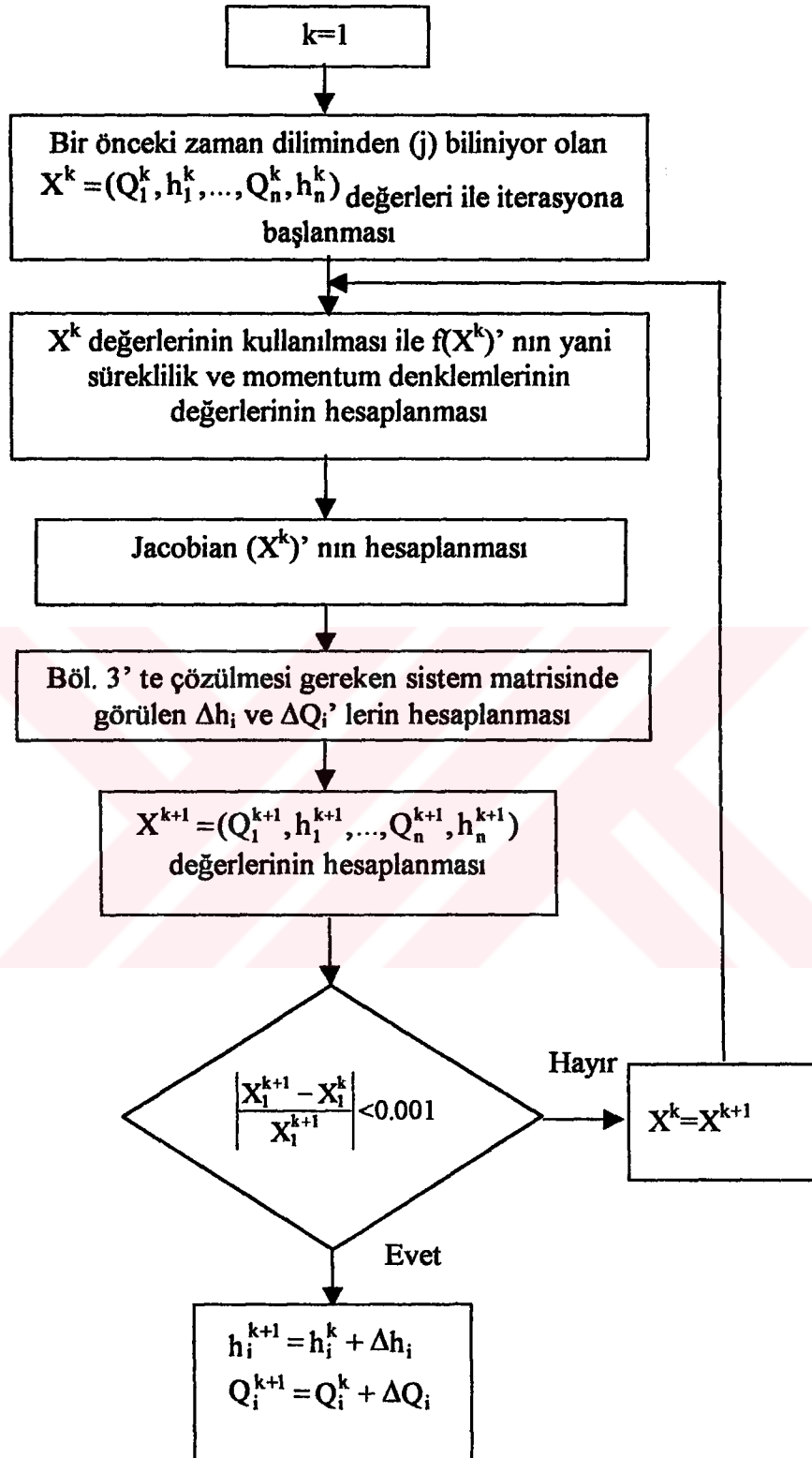
Hatice ÖZMEN

husus iterasyona verilecek olan ilk değerlerin gerçek değerlere yakın olmasıdır. Bu sebepten dolayı ilk Δt 'yi geçtikten sonra bulunan son iki noktadan geçen doğrunun extrapolasyon değerleri bir sonraki zaman dilimi ($2\Delta t$) için ilk iterasyon değerleri olarak kullanılmaktadır.

Geliştirilen program yardımı ile baraj gölü menbasından belirli bir zaman ve büyüklükte giren bir taşkın hidrografının baraj gölü boyunca herhangi bir kesitten veya baraj mansabından çıkan akım hidrografi dolayısıyla pik debi değeri ve pik debiye ulaşma zamanı belirlenmektedir.

Programa sınır şartı olarak menbada (baraj gölünün ilk kesitinde) giriş hidrografi, mansapta (n. kesitte) savağın su kotu-debi (H-Q) ilişkisi verilmektedir. Başlangıç değerleri olarak n adet kesitte sabit H (H=Savak kret kotu) değeri ve n adet kesitte ise sabit Q (Q=0) değeri alınmıştır. Programda data olarak kullanılan diğer bilgiler Bölüm 5.2.4'de ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

RRMHQ.for programı her kesit için ayrı ayrı (Q-t) ve (H-t) değerlerinden oluşan çıktı dosyası hazırlamaktadır. Dolayısıyla istenilen kesitte hidrograf (Q-t) ve (H-t) grafiğini ayrı ayrı veya bütün kesitler için bir arada yani tek grafik üzerinde görebilmek mümkün olmaktadır. Programın yaptığı bu hesaplamalar iki pikli giriş hidrografi için de geçerlidir. Baraj gölü menbasından giriş hidrografi için elde edilen sonuçlar Bölüm 6'da grafikler halinde Karakaya Barajı için örnek olarak sunulmaktadır. Karakaya Barajı iki pikli giriş hidrografi için elde edilen grafikler ise Ek 6'da görülebilir. Diğer barajlara ait sonuçlar da hem tablo hemde grafikler halinde elde edilerek ilerleyen bölümlerde gösterilmektedir.



Şekil 5.1 Geliştirilen Hidrolik Öteleme Bilgisayar Programının Akış Diagramı

5.2.2 Ana Bilgisayar Programına Yardımcı Bilgisayar Programlar

Ana Program RRMHQ.for'un data sayfasını hazırlamada kullanılan yardımcı programların isimleri, ne işe yaradıkları ve gerektirdikleri data aşağıda açıklanmaktadır.

GSH.bas: GW Basic programlama dilinde yazılmış olup ana programda data olarak kullanılan giriş hidrografını belirlemede kullanılır. Bu program Gama Sentetik Hidrografi esasına göre çalışmaktadır. Gerektirdiği data:

- i-) Pik debi değeri (m^3/s)
- ii-) Pik debiye ulaşma zamanı (saat)
- iii-) Δt zaman aralığı (Bütün giriş hidrografları için $\Delta t=0.5$ saat alınmıştır.)
- iv-) Şekil Parametresi (Bütün hidrograflar için 3 alınmıştır.)

SPHQ.for: $Q=CLH^{3/2}$ formülüne dayalı olarak Fortran-77 programlama dilinde yazılmıştır. Ana programda data olarak gerekli olan savağın (H-Q) değerlerini hazırlamada kullanılır. Bütün barajlar için savak katsayısı $C=2$ alınmıştır. Gerektirdiği data:

- i-) Savak boyu, L (m)
- ii-) Savak kret kotu (m)
- iii-) Δt değeri (saat)
- iv-) Giriş hidrografının pik debi değeri (m^3/s)

HQF.bas: GW-Basic dilinde yazılmış olan bu program, ana programın (RRMHQ.for) çıktılarını oluşturan (Q-t) ve (H-t) değerlerinin her kesit için ayrı ayrı yazılabilmesi için kesit sayısının iki katı dosya açılmasını sağlamaktadır.

HX1.for: Ana programdan elde edilen çıkan akım hidrografının artan kolunun yani $t=0$ ile $t=t_p$ aralığının on eşit parçaya bölünmesiyle elde edilen herbir zaman dilimindeki H değerlerini baraj gölü boyunca n adet kesit için RRMHQ.for programının çıktısını okuyarak belirleyen programdır.

HX2.for: HX1.for programı ile aynı amaç için yazılmış olup tek farkı çıkan akım hidrografının azalan kolundaki zaman dilimlerini $t=t_p$ 'den $t=t_{son}$ 'a kadar göz önüne alıyor olmasıdır. HX1.for ve HX2.for programlarının gerektirdiği data:

- i-) RRMHQ.for programının data dosyası
- ii-) RRMHQ.for programının çıktı dosyası

HXF.bas: HX1.for ve HX2.for programlarının çıktılarının yazılması için gerekli olan dosyaların açılmasına yarayan GW Basic dilinde yazılmış programdır.

5.2.3 Bilgisayar Programlarının Çalışma Düzeni

Yardımcı bilgisayar programları GSH.bas ve SPHQ.for'un kullanımıyla ana program RRMHQ.for'un giriş data dosyası oluşturulduktan sonra baraj göllerinin her kesiti için tek tek (Q-t), (H-t) ve (H-x) değerlerini elde edebilmek için gerekli bilgisayar programları aşağıdaki sıraya göre çalıştırılır:

HQF.bas: n adet (H-t) ve n adet (Q-t)'nin yazılabilmesi için toplam 2n adet dosya açmaktadır. Data olarak kesit sayısını gerektirmektedir.

RRMHQ.for: HQF.bas programının açtığı dosyalar üzerine Q-t ve H-t değerlerinin hesaplanarak yazılmasını sağlayan bu programın data dosyasını oluşturan bilgiler ayrıntılı bir şekilde Bölüm 5.2.4'de açıklanmaktadır. Karakaya Barajının data dosyasını da örnek olarak Bölüm 5.2.4.1'de görebilmek mümkündür.

HXF.bas: HX1.for ve HX2.for programlarının on farklı sabit zaman için belirlediği (H-x) değerlerinin yazılabilmesi amacıyla on adet dosya açılmasını sağlayan programdır.

HX1.for: HXF.bas programının oluşturduğu on dosyaya RRMHQ.for programından elde edilen çıkan akım hidrografının artan kolu üzerindeki on farklı zaman sabit tutularak baraj gölü boyunca (H-x) değerlerini belirlemektedir.

HX2.for: HX1.for programı ile aynı amaç için kullanılan bu program RRMHQ.for programından elde edilen çıkan akım hidrografının azalan kolundaki zaman dilimlerini göz önüne almaktadır.

5.2.4 Ana Bilgisayar Programının Data Dosyası Hakkında Açıklamalar

RRMHQ.for isimli programın data dosyasını oluşturan bilgiler sırasıyla programda kullanılan kodlar ile aşağıdaki şekilde listelenebilir.

Bilgi olarak girilen problemi tanıttıcı üç satır sözel data:

Barajın adı, akarsuyu

I_p : Giriş hidrografi pik debi değeri (m^3/s), t_p : Pik debiye ulaşma zamanı (saat)

L: Savak boyu (m)

Her baraj için sabit olarak alınan data değerleri:

$\theta = 0.55$: Diferansiyel denklemlerin sonlu farklar ifadelerinin ağırlık faktörü

$mn = 0.06$: Manning pürüzlülük katsayısı

$wv = 0$: Rüzgar hızı (m/s)

$C_f = 7.2 \times 10^{-6}$: Rüzgar kesme gerilmesi katsayısı

Her baraj için değişken olan data değerleri:

n : Baraj gölü boyunca kesit sayısı

np : Herbir kesitteki koordinat sayısı

csc : Her enkesitin koordinat (x-y) değerleri.

dt : Δt zaman aralığı bütün barajlar için 0.5 saat alınmıştır, 0.2 saat, 1 saat gibi başka değerler de alınabilir.

$m = \left(\frac{tb}{dt} + 1 \right)$: Giriş hidrografi değeri sayısı. Bu formüldeki tb (saat) değeri giriş

hidrografının en son zaman değerini simgelemektedir.

dx : n adet düğüm noktaları arasındaki $n-1$ adet kesit parçasının uzunlukları (m).

(h, q) : Başlangıç değerleri olarak n adet düğüm noktası için su yüzü kotu, $H(m)$ ve debi, $Q(m^3/s)$ değerleri

inf : Menba sınır şartı olarak girilen Δt zaman aralıklarındaki giriş hidrografi debi değerleri (m^3/s)

nd : Mansap sınır şartı olarak girilen savağın $H-Q$ değerlerinin sayısı

(hd, qd) : Savak kotu, $H(m)$ -debi, $Q(m^3/s)$ ilişkisi değerleri

5.2.4.1 Karakaya Barajı İçin Ana Programın Data Sayfası Örneği

Karakaya Barajı (Fırat Nehri)

$I_p = 10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $t_p = 40 \text{ saat}$

Savak boyu = 100m

0.55

0.060 0. 7.2e-6

25

7

345 730 290 700 250 674 175 671 100 674 70 700 35 730

9

725 730 700 720 575 700 500 670 460 668 390 670 275 680 210 690 50 730

12

3380 730 3270 720 3050 690 2900 680 2000 670 1300 669 1200 666 1100 670

870 680 800 690 500 700 100 730

12

3780 730 3250 710 2750 680 2700 670 1600 666 1540 663 1470 666 620 670

570 690 520 700 175 720 100 730

12

3230 730 3150 700 3100 690 2975 680 2900 660 1450 654 1375 652 1300 654

570 660 350 680 220 700 100 730

14

5400 730 5200 700 5100 660 4030 650 3400 648 3350 645 3300 648 3200 650

3150 685 2850 685 2120 687 1600 700 1100 710 100 730

18

13750 730 13275 720 12500 710 10125 700 9825 690 9500 685 7575 683

7250 660 6000 648 5775 640 5700 645 5075 650 5000 660 4700 670

4225 695 2000 700 450 720 250 730

21

8625 730 8325 720 7800 710 7100 700 6625 685 5750 685 5375 680 5225 660

5000 650 4675 645 4025 640 3925 637 3850 640 3500 645 3175 645 3125 650

2500 670 1675 690 1075 700 850 710 250 730

16

3800 730 3560 680 3060 670 3020 660 2950 650 2900 640 1720 639 1500 637

1400 634 1280 640 700 650 580 660 400 670 250 690 220 700 100 730

23

3190 730 3140 710 3040 700 3000 690 2880 690 2850 680 2700 680 2680 670

2580 650 2020 645 1780 640 1550 632 1380 640 1200 650 1080 660 900 670

770 680 700 700 675 710 400 711 380 720 225 721 100 730

14

2875 730 2625 700 2475 640 2400 631 2300 628 2200 631 1725 640 1100 650

980 660 640 680 520 690 350 700 200 710 100 730

5. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER VE BİLGİSAYAR
PROGRAMLARI Hatice ÖZMEN

17

7025 730 6775 720 6400 710 6150 700 4675 665 4250 660 3875 659 3625 650
3500 650 3400 629 3275 626 3150 629 3025 640 1600 690 1175 710 800 720
250 730

24

3550 730 3300 720 3230 714 2620 710 2450 710 2320 690 2250 690 180 680
2050 670 1970 640 1370 630 1330 627 1200 624 1070 627 950 640 900 650
820 676 520 680 450 680 400 690 370 700 180 710 120 720 100 730

18

2370 730 2290 720 2270 710 2190 700 2040 670 1710 650 1600 640 1500 625
1400 622 1270 625 1230 630 870 645 850 650 700 660 620 683 220 700
150 710 100 730

8

500 730 400 700 350 660 300 623 230 621 175 623 120 670 50 730

9

625 730 520 670 430 621 360 618 300 621 275 630 175 690 125 710 50 730

8

575 730 495 670 425 620 270 614 200 617 185 620 125 670 50 730

7

600 730 515 642 350 610 240 603 200 606 135 660 50 730

12

1125 730 1025 710 850 598 785 595 675 598 500 670 375 690 335 700 325 705
100 710 75 720 25 730

10

725 730 650 700 570 650 500 610 425 600 375 595 300 592 250 595 155 660
50 730

11

1150 730 1055 660 975 600 950 591 930 588 875 591 825 600 450 650 325 710
200 710 50 730

7

625 730 505 650 400 576 345 573 275 576 165 650 50 730

9

825 730 725 700 525 650 415 559 375 556 300 560 210 630 125 700 50 730

10

775 730 700 700 600 650 495 590 425 549 400 546 325 550 245 600 170 650
50 730

9

500 730 425 640 350 544 315 541 275 544 225 590 160 650 90 700 50 730

0.5 135.

4750 8000 3500 8750 6750 6000 6000 8125 6250 5000 4250 6000 4000 5000 4500
4625 4750 5250 4875 4000 4875 5250 4500 3750

680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0
680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0
680.5 0 680.5 0 680.5 0 680.5 0

5. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER VE BİLGİSAYAR
PROGRAMLARI Hatice ÖZMEN

0.0 11.3 43.9 96.4 167.1 254.7 357.7 474.9 605.0 746.8 899.2 1061.1
1231.6 1409.8 1594.6 1785.4 1981.2 2181.4 2385.2 2591.9 2801.0 3011.9
3224.0 3436.7 3649.7 3862.4 4074.4 4285.4 4494.9 4702.6 4908.3 5111.6
5312.2 5509.9 5704.5 5895.7 6083.4 6267.4 6447.6 6623.7 6795.7 6963.4
7126.8 7285.8 7440.3 7590.2 7735.4 7876.0 8011.9 8143.1 8269.5 8391.2
8508.1 8620.3 8727.7 8830.4 8928.4 9021.7 9110.4 9194.5 9274.0 9349.1
9419.6 9485.8 9547.7 9605.2 9658.5 9707.7 9752.7 9793.7 9830.8 9864.0
9893.3 9919.0 9940.9 9959.3 9974.2 9985.6 9993.6 9998.4 10000.0 9998.4
9993.8 9986.3 9975.8 9962.5 9946.5 9927.9 9906.6 9882.9 9856.7 9828.1
9797.3 9764.3 9729.1 9691.8 9652.6 9611.4 9568.4 9523.6 9477.0 9428.8
9379.0 9327.7 9274.9 9220.7 9165.1 9108.3 9050.2 8991.0 8930.7 8869.3
8806.8 8743.4 8679.2 8614.0 8548.1 8481.4 8414.0 8345.9 8277.3 8208.0
8138.2 8067.9 7997.2 7926.1 7854.6 7782.7 7710.6 7638.1 7565.5 7492.7
7419.7 7346.5 7273.3 7200.0 7126.6 7053.3 6979.9 6906.6 6833.3 6760.2
6687.1 6614.2 6541.4 6468.8 6396.4 6324.3 6252.3 6180.6 6109.2 6038.1
5967.3 5896.8 5826.6 5756.8 5687.3 5618.3 5549.6 5481.3 5413.4 5345.9
5278.9 5212.3 5146.2 5080.5 5015.4 4950.6 4886.4 4822.7 4759.4 4696.7
4634.5 4572.7 4511.5 4450.9 4390.7 4331.1 4272.1 4213.5 4155.5 4098.1
4041.2 3984.9 3929.1 3873.8 3819.1 3765.0 3711.4 3658.4 3605.9 3554.0
3502.6 3451.8 3401.6 3351.9 3302.8 3254.2 3206.1 3158.6 3111.7 3065.3
3019.4 2974.1 2929.3 2885.1 2841.4 2798.2 2755.5 2713.4 2671.8 2630.7
2590.1 2550.1 2510.5 2471.5 2432.9 2394.9 2357.3 2320.2 2283.7 2247.6
2212.0 2176.8 2142.2 2108.0 2074.3 2041.0 2008.2 1975.8 1943.9 1912.4
1881.4 1850.8 1820.6 1790.9 1761.5 1732.6 1704.2 1676.1 1648.4 1621.1
1594.3 1567.8 1541.7 1516.0 1490.6 1465.7 1441.1 1416.8 1393.0 1369.5
1346.3 1323.5 1301.1 1279.0 1257.2 1235.8 1214.6 1193.9 1173.4 1153.2
1133.4 1113.9 1094.6 1075.7 1057.1 1038.8 1020.7 1003.0 985.5

29

680.5 0. 681.0 71. 681.5 200. 682.0 367. 682.5 566. 683.0 791.
683.5 1039. 684.0 1310. 684.5 1600. 685.0 1909. 685.5 2236. 686.0 2580.
686.5 2939. 687.0 3314. 687.5 3704. 688.0 4108. 688.5 4525. 689.0 4956.
689.5 5400. 690.0 5856. 690.5 6325. 691.0 6805. 691.5 7297. 692.0 7800.
692.5 8314. 693.0 8839. 693.5 9374. 694.0 9920. 694.5 10477.

5.3 Hidrolojik Taşkın Ötelemesi İçin Kullanılan Bilgisayar Programı

Hidrolojik taşkın ötelemesi için Fortran 77 dilinde yazılan ROUTM.for isimli, sadece süreklilik denklemi esasına dayanan Puls yöntemini içeren bir program kullanılmıştır. Bu programın data sayfasını oluşması için

Savaşın (Q-H) ilişkisi

Baraj gölünün (S-H) değerleri

Savak kret kotu

Δt (saat) zaman aralığı

Giriş hidrografi

gerekmektedir. Savaşın (Q-H) ilişkisi Bölüm 4.4’de anlatılan 4.1 numaralı formülasyon esasına dayanarak belirlenmiş olup SP.for isimli yardımcı programın kullanımı ile oluşturulmaktadır. (S-H) değerlerinin elde edilmesi Bölüm 4.3’de açıklanmaktadır. Giriş hidrografi ise Bölüm 5.2.2’de açıklanan Gama Sentetik hidrograf esasına göre hazırlanan GSH.bas isimli program yardımıyla oluşturulmuştur. Hidrolojik taşkın öteleme programı baraj gölü menbasından giren akım hidrografının, mansaptan çıkan akım hidrografını belirlemektedir. Bu yöntemde baraj gölü boyunca herhangi bir kesitteki hidrografi belirlemek mümkün olamamaktadır.

5.3.1 Karakaya Barajı İçin Hidrolojik Öteleme Programının (ROUTM) Data Sayfası Örneği

Karakaya Barajı $I=10000\text{m}^3/\text{s}$, $L=100\text{m}$, $t=40\text{hr}$

29 adet noktada savaşın kot-debi ilişkisi

680.5	0.
681.0	71.
681.5	200.
682.0	367.
682.5	566.
683.0	791.
683.5	1039.
684.0	1310.

5. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER VE BİLGİSAYAR
PROGRAMLARI Hatice ÖZMEN

684.5 1600.
685.0 1909.
685.5 2236.
686.0 2580.
686.5 2939.
687.0 3314.
687.5 3704.
688.0 4108.
688.5 4525.
689.0 4956.
689.5 5400.
690.0 5856.
690.5 6325.
691.0 6805.
691.5 7297.
692.0 7800.
692.5 8314.
693.0 8839.
693.5 9374.
694.0 9920.
694.5 10477.

0 0 , yani başka savak yok

19 adet noktada barajın göl kotu-göl hacmi ilişkisi

550. 1.894
560. 9.493
570. 23.856
580. 44.840
590. 72.943
600. 113.623
610. 180.567
620. 270.132
630. 410.419
640. 666.194
650. 1254.694
660. 2335.206
670. 3776.642
680. 5609.444
690. 7779.331
700. 10417.689
710. 13490.912
720. 16983.480
730. 20800.605

5. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER VE BİLGİSAYAR
PROGRAMLARI Hatice ÖZMEN

1 680.5

0.5 00 271

0.0	11.3	43.9	96.4	167.1	254.7	357.7	474.9	605.0	746.8	899.2	1061.1
1231.6	1409.8	1594.6	1785.4	1981.2	2181.4	2385.2	2591.9	2801.0	3011.9		
3224.0	3436.7	3649.7	3862.4	4074.4	4285.4	4494.9	4702.6	4908.3	5111.6		
5312.2	5509.9	5704.5	5895.7	6083.4	6267.4	6447.6	6623.7	6795.7	6963.4		
7126.8	7285.8	7440.3	7590.2	7735.4	7876.0	8011.9	8143.1	8269.5	8391.2		
8508.1	8620.3	8727.7	8830.4	8928.4	9021.7	9110.4	9194.5	9274.0	9349.1		
9419.6	9485.8	9547.7	9605.2	9658.5	9707.7	9752.7	9793.7	9830.8	9864.0		
9893.3	9919.0	9940.9	9959.3	9974.2	9985.6	9993.6	9998.4	10000.0	9998.4		
9993.8	9986.3	9975.8	9962.5	9946.5	9927.9	9906.6	9882.9	9856.7	9828.1		
9797.3	9764.3	9729.1	9691.8	9652.6	9611.4	9568.4	9523.6	9477.0	9428.8		
9379.0	9327.7	9274.9	9220.7	9165.1	9108.3	9050.2	8991.0	8930.7	8869.3		
8806.8	8743.4	8679.2	8614.0	8548.1	8481.4	8414.0	8345.9	8277.3	8208.0		
8138.2	8067.9	7997.2	7926.1	7854.6	7782.7	7710.6	7638.1	7565.5	7492.7		
7419.7	7346.5	7273.3	7200.0	7126.6	7053.3	6979.9	6906.6	6833.3	6760.2		
6687.1	6614.2	6541.4	6468.8	6396.4	6324.3	6252.3	6180.6	6109.2	6038.1		
5967.3	5896.8	5826.6	5756.8	5687.3	5618.3	5549.6	5481.3	5413.4	5345.9		
5278.9	5212.3	5146.2	5080.5	5015.4	4950.6	4886.4	4822.7	4759.4	4696.7		
4634.5	4572.7	4511.5	4450.9	4390.7	4331.1	4272.1	4213.5	4155.5	4098.1		
4041.2	3984.9	3929.1	3873.8	3819.1	3765.0	3711.4	3658.4	3605.9	3554.0		
3502.6	3451.8	3401.6	3351.9	3302.8	3254.2	3206.1	3158.6	3111.7	3065.3		
3019.4	2974.1	2929.3	2885.1	2841.4	2798.2	2755.5	2713.4	2671.8	2630.7		
2590.1	2550.1	2510.5	2471.5	2432.9	2394.9	2357.3	2320.2	2283.7	2247.6		
2212.0	2176.8	2142.2	2108.0	2074.3	2041.0	2008.2	1975.8	1943.9	1912.4		
1881.4	1850.8	1820.6	1790.9	1761.5	1732.6	1704.2	1676.1	1648.4	1621.1		
1594.3	1567.8	1541.7	1516.0	1490.6	1465.7	1441.1	1416.8	1393.0	1369.5		
1346.3	1323.5	1301.1	1279.0	1257.2	1235.8	1214.6	1193.9	1173.4	1153.2		
1133.4	1113.9	1094.6	1075.7	1057.1	1038.8	1020.7	1003.0	985.5			

5.4 Muskingum Esaslı Yöntemler

5.4.1 Giriş

Bir hidrolojik sistemde çıkan akım ile depolanmış su miktarı arasındaki ilişkinin akım ötelemesi üzerinde oldukça önemli bir etkisi vardır. Sabit yapıda bir depolanma fonksiyonunun $S = f(Q)$ biçiminde bir ifadesi vardır. Burada S depolanan hacmi Q ise çıkan akımı simgelemektedir. Bu ifade, akım yönündeki toplam uzunluklarına göre oldukça geniş ve derin gölleri olan rezervuarlar için uygundur. Çünkü bu tür rezervuarlarda akım hızı oldukça küçük değerlidir. Değişken yapıdaki S-Q ilişkisi ise su yüzü profilinin kuyruk suyu etkilerinden dolayı uzun, dar rezervuarlara, açık kanallara ve akarsulara uygundur (Chow ve ark., 1988a, Ch.8).

Yukarda yapılan alıntılar çerçevesinde bu tezde irdelenmeye çalışılan ince, dar ve uzun bir rezervuarı bulunan bir barajdan taşkın ötelenmesi, nispeten daha geniş ve kısa gölü olan bir rezervuardakinden farklı olabilir konusuna dikkat çekildiği görülmektedir. Böylece ince, uzun rezervuarlar ile akarsular aynı kategoriye konulmaktadır. Dolayısıyla önceki bölümlerde özetlendiği şekilde RRMHQ programının dinamik etkileri de hesaba katan kapsamlı hidrolik öteleme yöntemi sonuçları, hidrolojik öteleme sonuçlarının yanısıra klasik Muskingum hidrolojik akarsu öteleme yönteminin, ve bu çalışmada denenen Muskingum bazlı diğer bir yöntemin sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Bu iki yöntem hakkında daha geniş bilgi alt bölümlerde açıklanmaktadır.

5.4.2 Klasik Muskingum Yöntemi

Özel olarak yazılan bilgisayar programı, barajların menba kesitinde verilen giriş hidrografını ve mansap kesitinde RRMHQ programının verdiği çıkan akım hidrografını alarak klasik Muskingum parametrelerini hesaplamaktadır. İlk etapta, incelenen rezervuarın bir akarsu parçası olduğu kabulü ile ağırlık parametresi olarak adlandırılan ve literatürde X ile gösterilen parametre 0.0, 0.01, 0.02, . . . , 0.49, 0.50 değerlerinde tek tek denenerek, her bir X için $S = K\{ X I + (1-X) Q \}$ modelindeki

K seyahat zamanı parametresi, $\{ X I + (1-X) Q \}$ 'ya karşı S ilişkisine uydurulan regresyon doğrusunun eğimi olarak hesaplanmıştır. Ayrıca her regresyonun determinasyon katsayısı R^2 de hesaplanmıştır. Sonuçta, 0.00'dan 0.50'ye kadar 0.01 artırımlardaki 51 adet X ve K çiftlerinden, eldeki giren ve çıkan akım hidrografları ile maksimum R^2 'yi veren değerlerin en uygun Muskingum parametreleri olduğu kabul edilmiştir. Bu en iyi X ve K ile giriş hidrografına Muskingum yöntemi uygulanarak çıkış hidrografi hesaplanmış ve bunun için Fortran dilinde MUSK.for isimli bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bütün barajlarda X parametresi sıfır veya 0.01 gibi sıfıra çok yakın değerler almıştır.

5.4.3 İki Safhalı Muskingum Yöntemi

Bir taşkın hidrografının bir akarsu parçası boyunca ötelenmesi esnasında yanal (transvers) su yüzü profili, tek boyutlu hesaplarda ihmal edilen yanal akımların etkisiyle, hidrografın yükselme dalında dışbükey alçalma dalında ise içbükey bir hal alır. Mississippi nehrindeki gemi kaptanlarının, bu akarsuda taşınan ağaç dalları gibi nesnelerin, taşkınların yükselme dallarında nehrin kenarlarına doğru alçalma dallarında da nehrin ortalarına doğru sürüklenmelerini gözlemiş olmaları da, yanal su yüzü profilindeki bu değişimi kanıtlamaktadır (Chow ve ark.,1988a, Ch.10). Yükselme ve alçalma dallarındaki bu farklılıktan dolayı, ortalama su derinliği ile akım arasındaki ilişki de sabit olmayıp bir halka şeklinde olabilir. Bu bilgilerin ışığı altında klasik Muskingum yöntemini daha iyileştirmek ümidiyle, bu çalışmada

$$S=K \{ X I + (1-X) Q \} \quad (5.1)$$

yerine

$$S=K \{ X I + (1-X) Q \} + L\{X I + (1-X) Q\}^2 \quad (5.2)$$

ilişkisinin daha hassas olabileceği düşünülmüştür. Muskingum yönteminde (5.1) eşitliği hidrografların tamamı boyunca uygulanmakta iken, (5.2) ifadesinin, taşkın ötelenmesinde yükselme ve alçalma dallarında akarsu parçasının farklı davrandığı kabulü ile yükselme ve alçalma dalları için ayrı ayrı uygulanması uygun

görülmüştür. Bir akarsu parçasının başında ve sonunda ölçülmüş giren ve çıkan akım hidrografları datası mevcut bulunduğu hallerde en uygun X için S'e karşılık $\{X I + (1-X) Q\}$ büyüklüğünün işaretlenmesi ile çoğu kez dar da olsa bir halka olduğu K'nın bu halkayı ortalayan doğrunun eğimi olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, Muskingum yöntemini iyileştirme çabasında $\{X I + (1-X) Q\}$ 'ya karşılık S büyüklüğünün yükselme ve alçalma dallarında iki farklı eğri biçiminde olacağı düşünülmüş ve (5.2) ifadesi her iki dala ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu düşünceyle, iki-safhalı Muskingum modeli olarak adlandırılan bu modelde yükselme ve alçalma dalı için farklı X, K, L olmak üzere toplam altı parametre hesaplanacaktır.

Özetle, $\{X I + (1-X) Q\}$ 'ya karşılık S ilişkisi, giren ve çıkan akım hidrograflarının kesişme noktası olan sistemdeki maksimum depolanmış su miktarı anındaki zamanda birleşen, her biri ikinci dereceden polinomla ifade edilen iki farklı eğri biçiminde olacaktır. Hidrolojik ötelemede, Δt zaman diliminin küçük oluşundan dolayı, giren ve çıkan akım hidrograflarının Δt boyunca lineer değiştiği varsayımı ile Δt boyunca süreklilik denklemi

$$S_2 = S_1 + \left\{ \frac{(I_1 + I_2)}{2} - \frac{(Q_1 + Q_2)}{2} \right\} \Delta t \quad (5.3)$$

biçiminde ifade edilmektedir. Burada 1 ası Δt zaman dilimi başındaki 2 ası ise Δt sonundakilerdir. Bu eşitlik

$$Q_2 = I_1 + I_2 - Q_1 - \frac{2}{\Delta t} (S_2 - S_1) \quad (5.4)$$

biçiminde yazılabilir. S_2 ve S_1 (5.2) nolu eşitlikteki eşdeğerleri ile ifade edilerek gerekli cebrik düzenlemeler yapıldıktan sonra (5.4) eşitliği aşağıdaki tanımlamaların kullanılmasıyla (5.5) şeklinde yazılabilir:

$$C_1 = K X$$

$$C_2 = K (1-X)$$

$$C_3 = L X^2$$

$$C_4 = (1-X)^2$$

$$C_5 = 2 L X (1-X)$$

$$\begin{aligned} C_4 Q_2^2 + \left(\frac{\Delta t}{2} + C_2 + C_3 I_2 \right) Q_2 - \left(\frac{\Delta t}{2} + C_1 + C_3 I_1 \right) I_1 - \left(\frac{\Delta t}{2} - C_1 - C_3 I_2 \right) I_2 \\ - \left(-\frac{\Delta t}{2} + C_2 + C_4 Q_1 \right) Q_1 - C_5 I_1 Q_1 = 0 \end{aligned} \quad (5.5)$$

(5.5) eşitliği Q_2 'nin bilinmeyen olduğu ikinci dereceden bir polinom denklemi olarak yazılır. Denklemin kökleri bilinen X , K , L , Δt , I_1 , I_2 ve Q_1 değerleri ile bilgisayar yardımıyla kısa sürede bulunabilmektedir. Bulunan iki kökten pozitif değerlisi iki-safhalı Muskingum yöntemine göre akarsu parçasının mansap ucunda, Δt zaman dilimi sonundaki çıkan akım değerini verecektir. İncelenen barajlarda $n=0.06$ hali için RRMHQ programının vermiş olduğu mansap kesitteki çıkan akım hidrografını gerçek kabul ederek, giren ve çıkan hidrograflar ile yine $X= 0.00, 0.01, \dots, 0.5$ şeklinde 51 farklı X 'in her biri için (5.2) ifadesine göre $\{ X I + (1-X) Q \}$ 'ya karşı S ilişkisine klasik regresyon tekniği ile uydurulan ikinci derece polinomun katsayıları olan K ve L parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca her regresyonun determinasyon katsayısı R^2 de hesaplanmış bu 51 adet farklı X , K , L parametre kombinasyonlarından maksimum R^2 'yi veren grup en uygunu alınmıştır. Bu işlem S 'nin pozitif olduğu yükselme ve negatif olduğu alçalma dalları için ayrı ayrı yapılmış ve her iki dal için X , K , ve L parametreleri bulunmuştur. Bulunan en uygun parametreler ile (5.5) denklemi giren akıma uygulanarak çıkan akım hidrografi hesaplanmış ve RRMHQ'nun verdiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

İki safhalı Muskingum modelini uygulayan TSM2.for adında Fortran dilinde bir program yazılmıştır. Her iki Muskingum esaslı programın da data sayfası aynı olup hidrolik öteleme için geliştirilen modelin hesapladığı çıkan akım ve giren akım hidrografından oluşmaktadır.

5.5 Paket Program DUFLOW Hakkında Kısa Bilgi

Bu çalışmada bazı sonuçların karşılaştırılmasında kullanılan DUFLOW paket programı açık kanallardaki değişken akım problemleri için geliştirilmiş olup süreklilik ve hareket denklemlerinin kısmi diferansiyel formlarının sonlu farklar ifadeleri ile çözülmesi esasına dayanmaktadır (Daha geniş bilgi için Bölüm 2.2'ye bakınız). Hesap yöntemi bu çalışmada geliştirilen hidrolik öteleme modelinin hesap yöntemine benzemektedir. Aynı başlangıç ve sınır şartları yardımıyla Newton Raphson iterasyon tekniği kullanılarak adım adım çözüme ulaşılmaktadır. Bu programda da vadi kesitlere bölünmekte enkesit profilleri, pürüzlülük değerleri ve kesit parçası uzunlukları veri olarak gerekmede dolayısıyla data şeması bu çalışmada geliştirilen hidrolik öteleme programınıninki ile benzerlik göstermektedir. Sınır şartı olarak yine aynı şekilde menbada giriş hidrografi ve mansapta savağın kot-debi ilişkisi verilmektedir. Programdan çıktı olarak istenilen kesitlerde (Q-t), (H-t), ve baraj gölü boyunca (H-x) grafikleri hem grafik hem de tablo olarak elde edilebilmektedir.

6. SEÇİLEN BARAJLARA UYGULAMALAR VE BULGULAR

6.1 Giriş

Geliştirilen hidrolik öteleme modeli, Bölüm 4’de verilerinin elde edilmesi açıklanan dokuz baraj gölüne uygulanmış, elde edilen sonuçlar klasik hidrolojik öteleme ve Muskingum esaslı öteleme yöntemleriyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bölüm 6.2’de Karakaya Barajı örnek seçilerek geliştirilen hidrolik öteleme programının uygulamaları şekillerle açıklanmakta sonuçları ise çizelge ve grafiklerle sunulmaktadır. Diğer sekiz baraja da aynı şekilde uygulama yapılmış, olup hidrolik ve hidrolojik öteleme karşılaştırmaları toplu halde Çizelge 6.5’de gösterilmektedir. Bu sonuçlar grafikler halinde Bölüm 6.3’de görülmektedir. Ayrıca diğer barajlar için hidrolik öteleme sonucu elde edilen (H-t) ve (H-x) grafikleri de aynı bölümde sunulmaktadır. Muskingum esaslı yöntemlerden elde edilen çıkan akım pikleri tablo halinde Çizelge 6.6’da görülmektedir. Karakaya Barajı için, dört farklı yöntemin kullanımıyla oluşturulan çıkan akım hidrografları ise Şekil 6.34 ve 6.35’de grafikler halinde gösterilmektedir.

6.2 Geliştirilen Hidrolik Öteleme Modelinin Karakaya Barajına Uygulanması

Fırat nehri üzerinde yer alan yaklaşık 129000 m uzunluğundaki Karakaya baraj gölü 1/25000 ölçekli topoğrafik harita üzerinde 25 kesite bölünmüş 24 akarsu parçası elde edilmiştir. (Bkz. Ek 2) Kesitlerin ve akarsu parçalarının numaralandırılması menbada başlayarak mansaba doğru yapılmıştır. Bu durumda 25. kesit baraj aksını göstermektedir. Karakaya Barajının gerçek geometrik değerleri ile oluşturulan üç boyutlu vadi profili Şekil 6.1’de görülmektedir. Bu şekli oluşturan baraj vadi kesitlerinin savak kret kotundaki su yüzü genişlikleri ve kesit parçası uzunlukları Ek 3’de verilmektedir (Çizelge Ek 3.1). Karakaya barajının göl uzunluğu boyunca akarsu parçası uzunlukları (m) ve taban kotları (m) profilinin de içine alındığı data şeması ise Şekil 6.2’de görülmektedir. Bu şekil üzerinde menbada

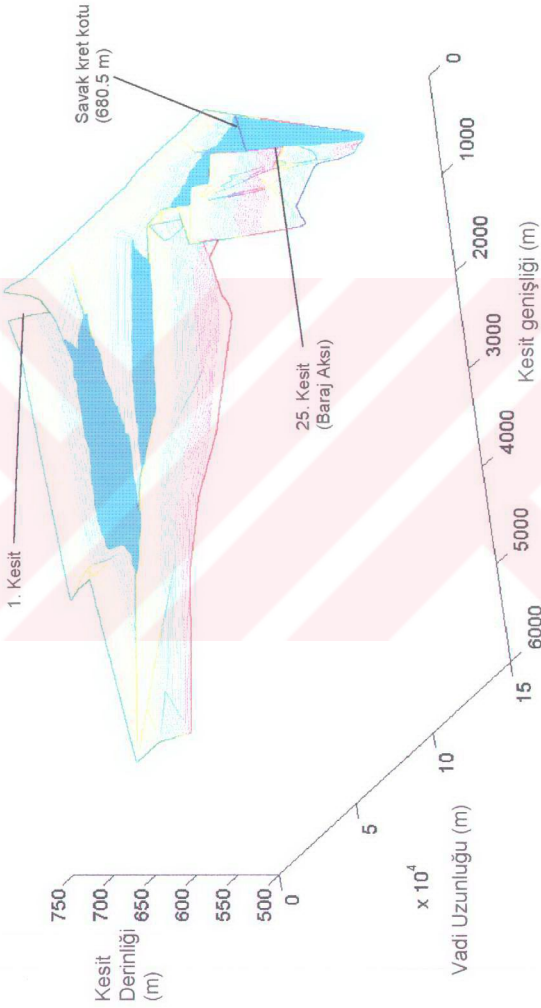
6. SEÇİLEN BARAJLARA UYGULAMALAR VE BULGULAR Hatice ÖZMEN

(birinci kesitte) giriş hidrografi, mansapta (baraj aksında) ise savak kotu-debi ilişkisi sınır şartı olarak yer almaktadır.

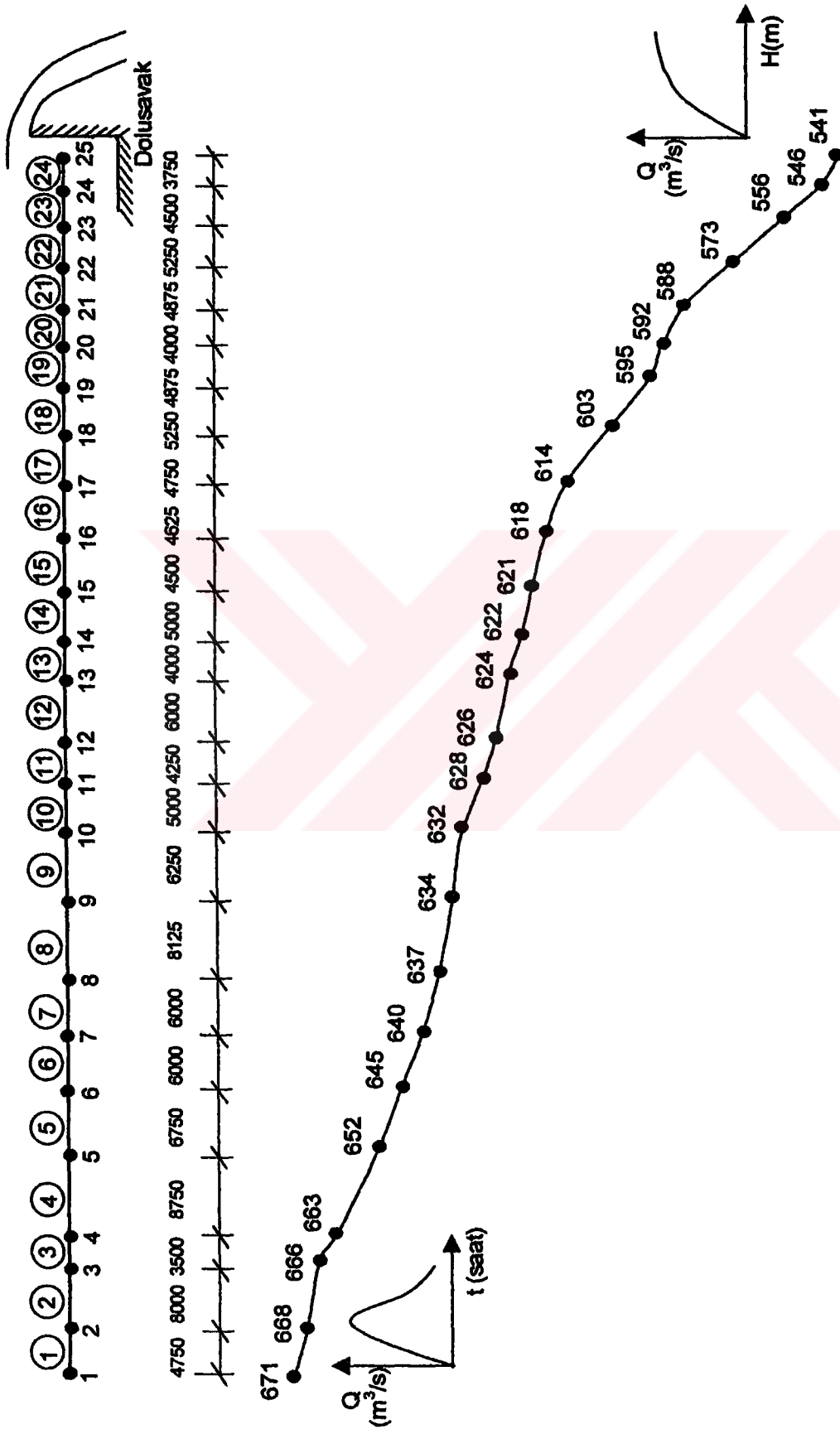
Karakaya Barajı seçilen barajlar arasında 9580 milyon m³ hacim ile en büyük baraj olduğu için savak boyu ve giriş hidrografi da ona göre en büyük olanıdır. Giren akım hidrografının ve savak boyunun seçimi Bölüm 4.4’de açıklanmaktadır. Baraj gölünün uzun ve büyük olmasından dolayı pik debiye ulaşma zamanı da $T_p=40$ saat olarak belirlenmiştir. Bu baraja ait savak boyu ve baraj gölüne giren taşkın pik debi değerleri Çizelge 6.1’de özetlenmektedir.

Çizelge 6.1 Karakaya Barajı Giriş Hidrografi ve Savak Boyu Kombinasyonları

I (m ³ /s)	T _p (saat)	L (m)
10000	40	100
10000	40	500
15000	40	100
15000	40	500



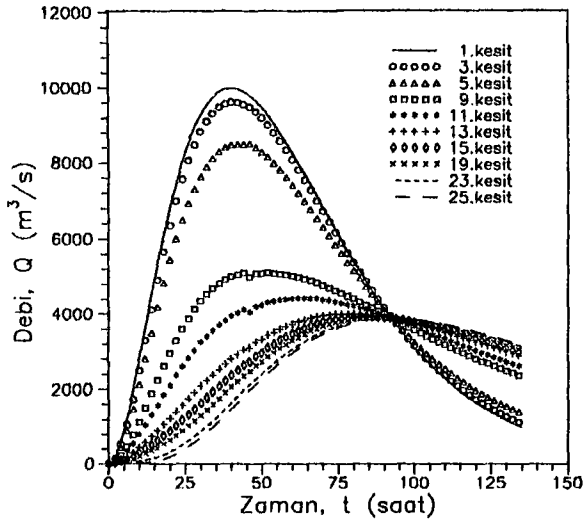
Şekil 6.1 Karakaya Barajı Vadi Profili



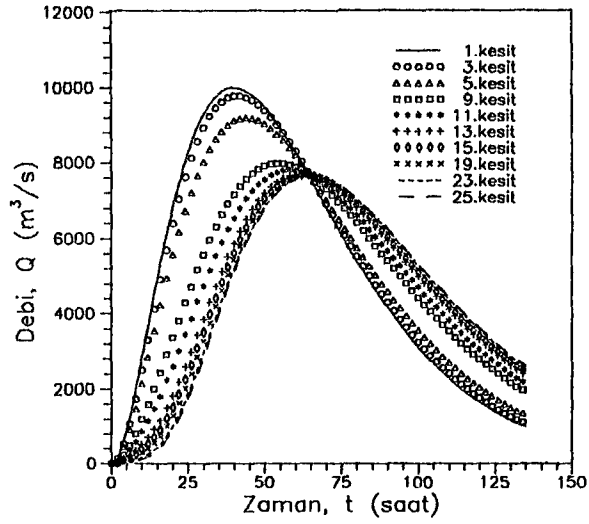
Şekil 6.2 Karakaya Baraj Vadisi Boyunca Taban Profili Ve Data Şeması

6.2.1 Hidrolik Öteleme Modelinin Karakaya Barajına Uygulanmasından Elde Edilen Sonuçlar

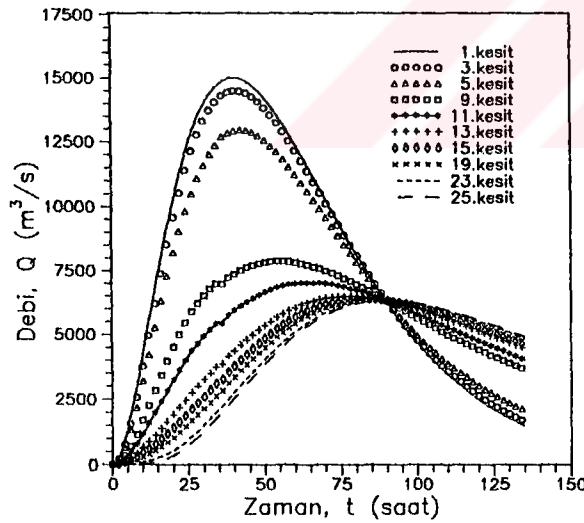
Hidrolik taşkın ötelemesi için geliştirilen bilgisayar programına Şekil 6.2’de data şemasında görülen veriler girilerek mevcut bulunan 25 kesit için (Q-t) ve (H-t) grafikleri elde edilmiştir. Seçilen on farklı kesit için (Q-t) ve dört farklı kesit için de (H-t) değerleri grafikler halinde sunulmaktadır (Şekil 6.3 ve 6.4). Bölüm 5.2 ve 5.2.2’de anlatılan, belirli bir zaman için baraj gölü boyunca su yüzü profili (H-x) de Karakaya Barajı için on farklı zaman için hesaplanmış olup Şekil 6.5’de grafiklerle gösterilmektedir. Dalga hareketi olup olmadığını daha iyi gözleyebilmek amacıyla aynı grafiklerin iki seçeneği tek sayfa halinde ayrıca gösterilmektedir (Şekil 6.6, ve 6.7). Bu grafikler üzerindeki sembollü çizgiler hidrografın artan kolu üzerinde seçilen zaman dilimlerini, kesikli çizgiler ise azalan kolu üzerindeki zaman dilimlerini içermektedir. Karakaya Baraj gölü menba tarafından üç kesit atılarak H-x grafiği yeniden elde edilmiş ve öncekinin aksine ilk üç kesitte ani düşüş gözlenmemiştir (Bkz. Ek 4). Çünkü söz konusu olan bu kesitler, baraj gölünün başlangıcında bulunmasından dolayı su yükseklikleri çok az ve su yüzü genişlikleri de dar olup çok az su kütlesi taşımakta dolayısıyla göl gibi değil de nehir gibi davranmaktadırlar. Geliştirilen hidrolik taşkın ötelemesi modeli üzerinde iki pikli giren akım hidrografi için de Karakaya Baraj gölünde uygulama yapılmıştır. İki pikli akıma ait olan Q-t, H-t, ve H-x grafikleri Ek 6’da verilmektedir.



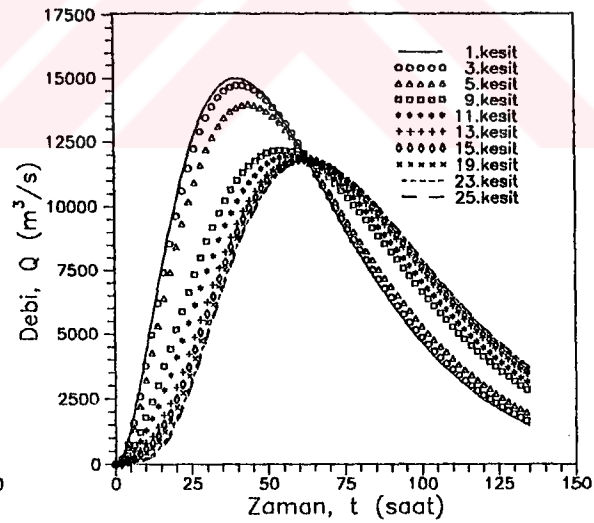
Karakaya Barajı $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$



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

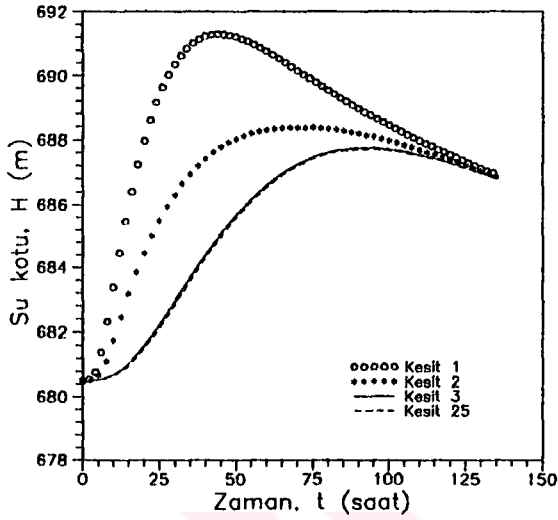


Karakaya Barajı $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$

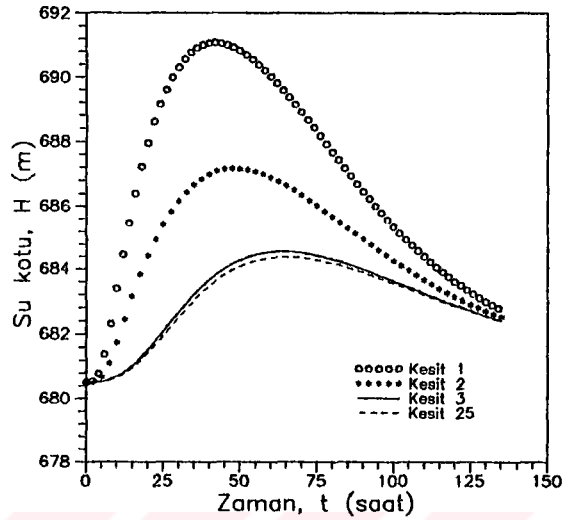


Karakaya Barajı $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=500 \text{ m}$

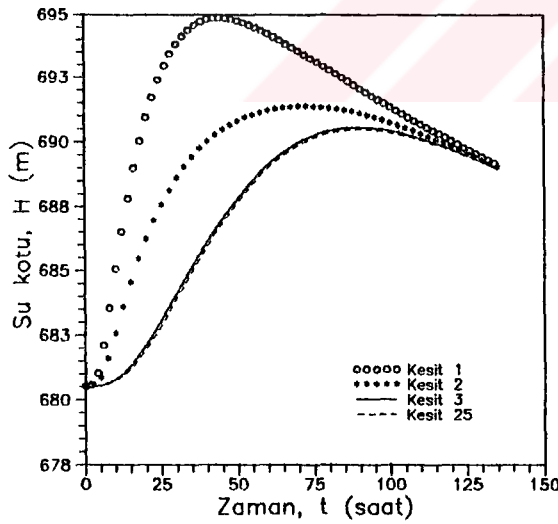
Şekil 6.3 Karakaya Barajı Gölü Kesitlerinden Çıkan Akım Hidrografları



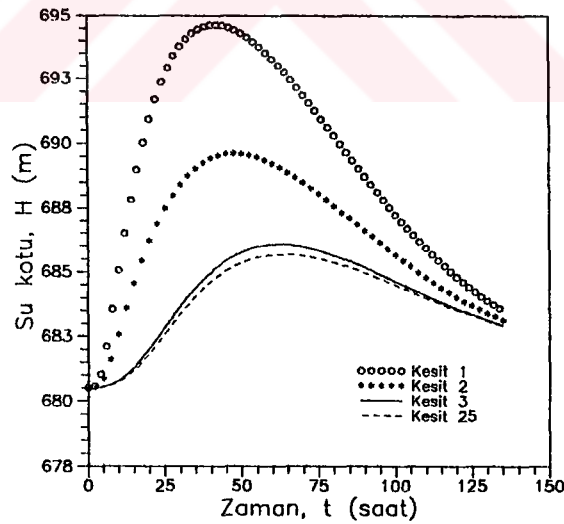
Karakaya Barajı $I=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$



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

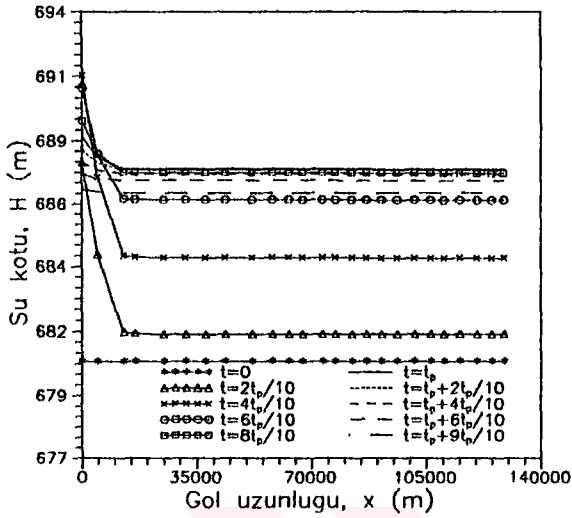


Karakaya Barajı $I=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$

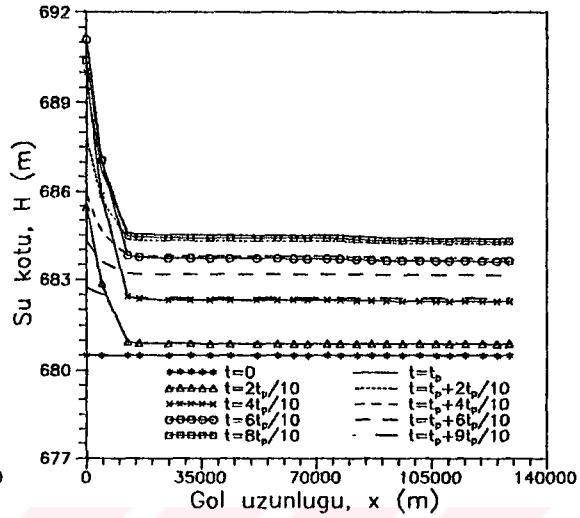


Karakaya Barajı $I=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=500 \text{ m}$

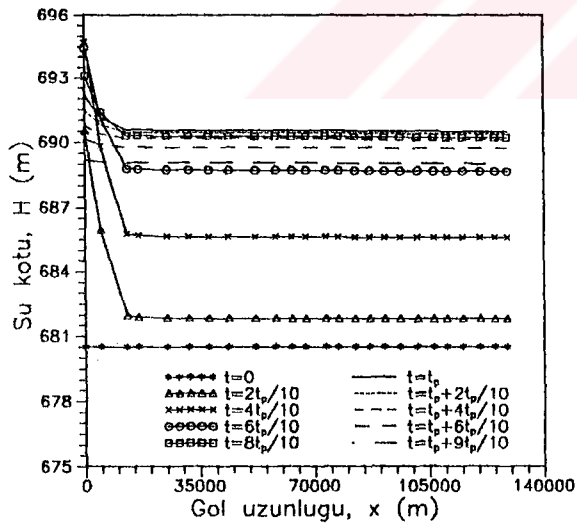
Şekil 6.4 Karakaya Barajı (H-t) Grafikleri



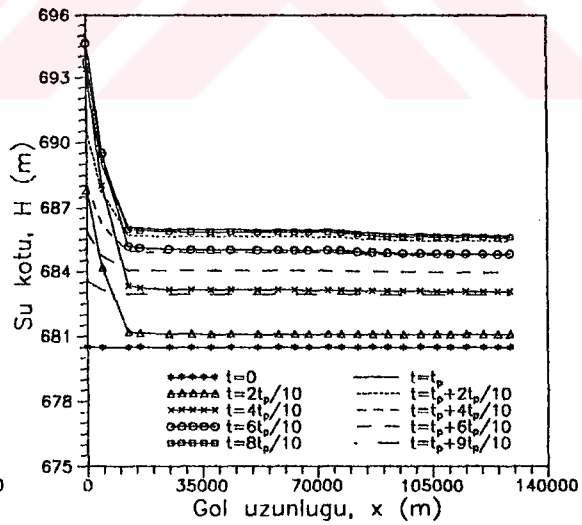
Karakaya Barajı $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$



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

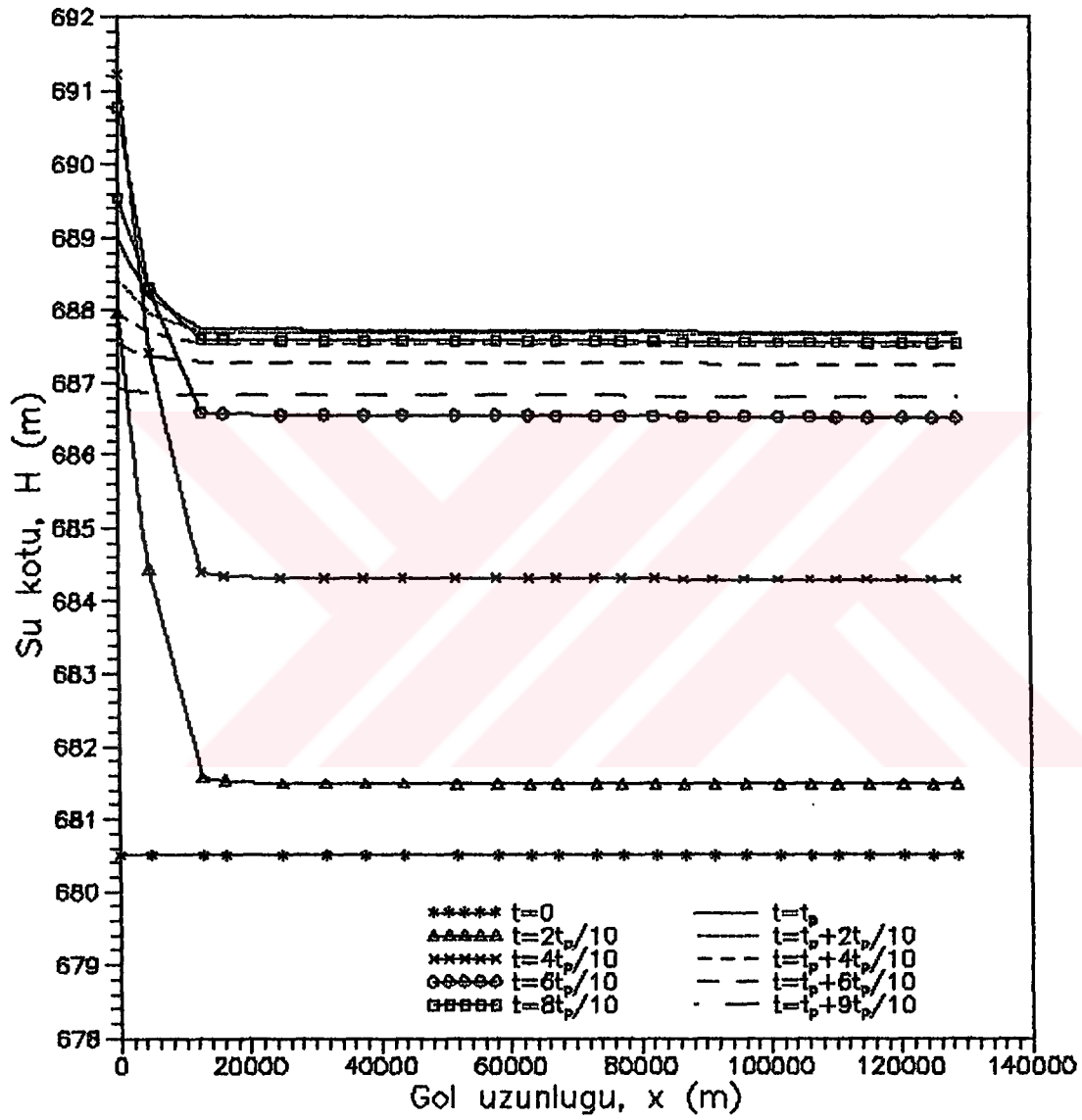


Karakaya Barajı $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$

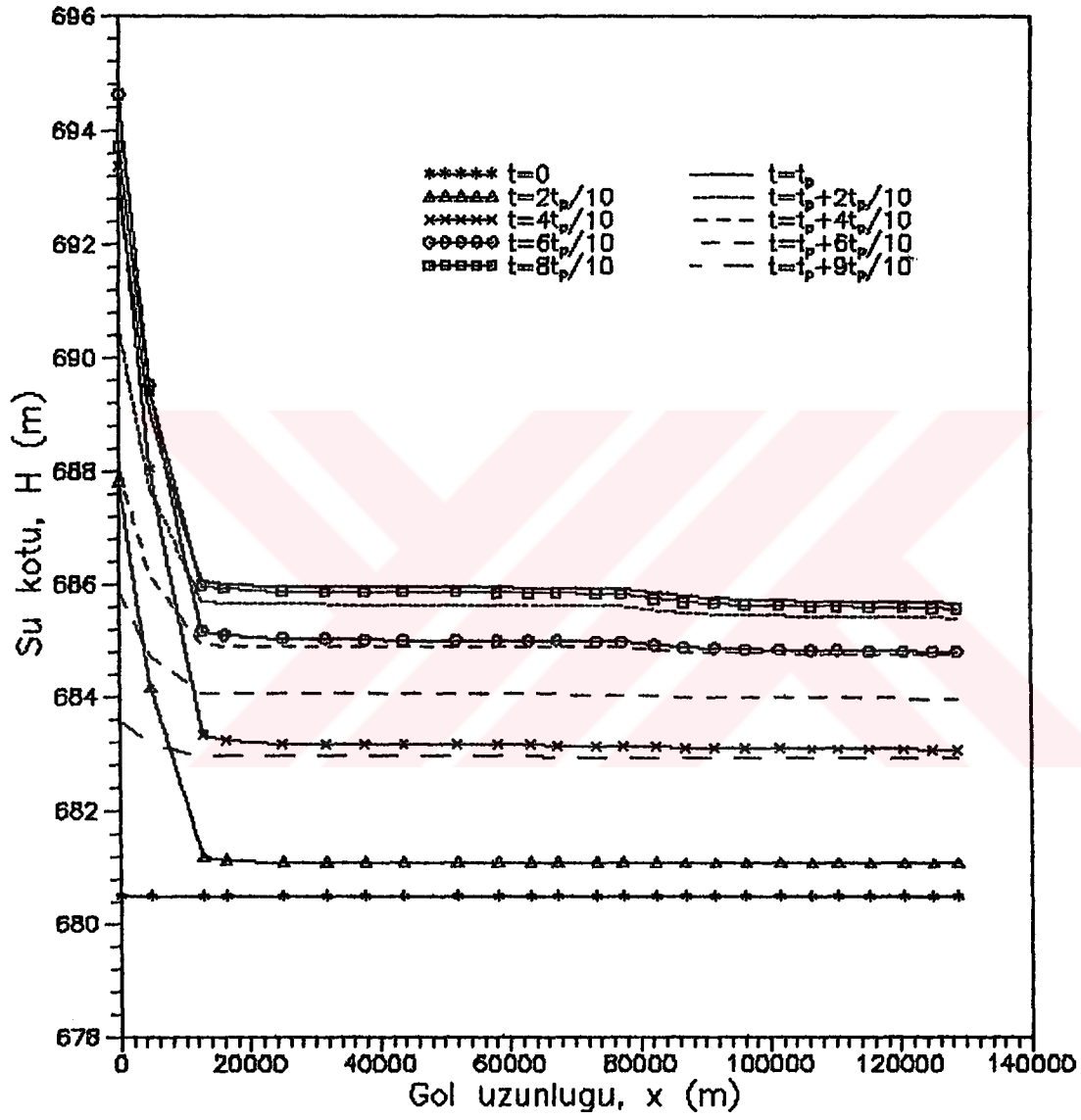


Karakaya Barajı $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=500 \text{ m}$

Şekil 6.5 Karakaya Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x)



Şekil 6.6 Karakaya Barajı $I=10000$, $L=100$ ($H-x$) Değişimi



Şekil 6.7 Karakaya Barajı $I=15000$, $L=500$ (H-x) Değişimi

6.2.2 Karakaya Barajı Çıkan Akım Piklerinin Taban Pürüzlülüğü ile Değişimi

Bu çalışmada geliştirilen hidrolik öteleme modeli Karakaya Barajına $n=0.03$, $n=0.06$, $n=0.09$ olmak üzere üç farklı pürüzlülük değeri kullanarak uygulanmıştır. Pürüzlülük değerlerinin baraj gölü üzerindeki kesitler boyunca sabit olduğu kabul edilmiştir. Çizelge 6.2’de Karakaya Barajı’nın dört farklı kombinasyonu için bu pürüzlülük değerleri kullanılarak çıkan akım pikleri ve pike ulaşma zamanları özetlenmiştir. Şekil 6.8’de de bu tablonun grafikleri sunulmaktadır. Aynı bilgiler, karşılaştırma yapmak amacıyla DUFLOW paket programı kullanılarak da elde edilmiştir (Çizelge 6.3). Diğer barajlar için de pürüzlülük çalışması yapılmış, tablo halinde Çizelge 6.5’de ve grafikler halinde Ek 7’de sunulmuştur.

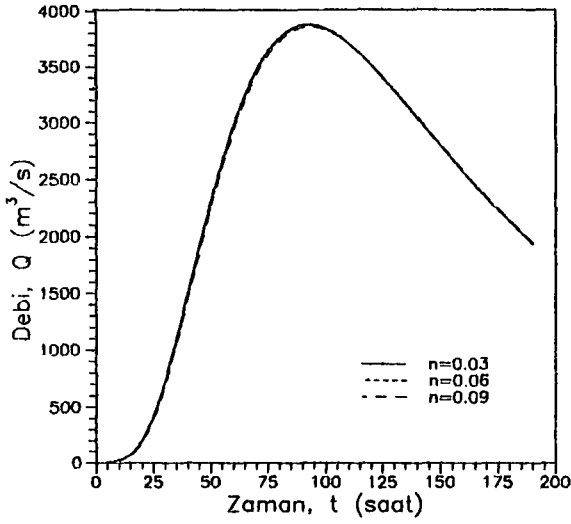
Çizelge 6.2 Karakaya Barajı Çıkan Akım Piklerinin n ile Değişimi (RRMHQ)

I (m³/s)	T _p (saat)	L (m)	n=0.03		n=0.06		n=0.09	
			Q (m³/s)	T _p (saat)	Q (m³/s)	T _p (saat)	Q (m³/s)	T _p (saat)
10000	40	100	3881	91.5	3876	92	3864	92.5
		500	7738	64	7658	65	7526	66
15000		100	6321	89.5	6304	89.5	6271	90
		500	11997	62	11795	63.5	11484	65.5

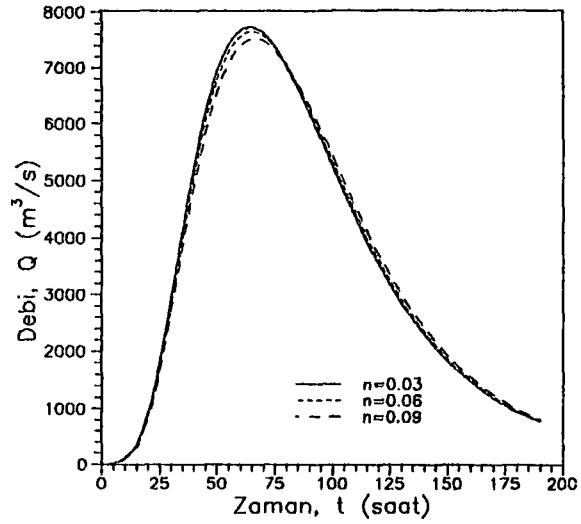
Çizelge 6.3 Karakaya Barajı Çıkan Akım Piklerinin n ile Değişimi (DUFLOW)

I (m³/s)	T _p (saat)	L (m)	n=0.03		n=0.06		n=0.09	
			Q (m³/s)	T _p (saat)	Q (m³/s)	T _p (saat)	Q (m³/s)	T _p (saat)
10000	40	100	4183	90	4179	92	4166	90
		500	7950	62	7887	63	7764	64
15000		100	6777	86	6763	87	6727	88
		500	12394	60	12233	62	11948	63

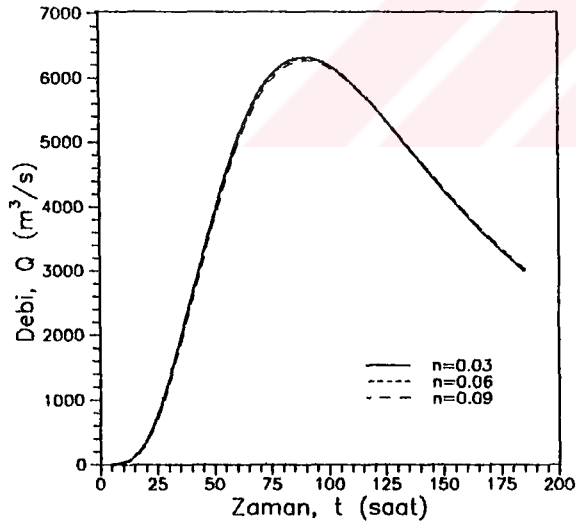
Yukardaki çizelgelerde görüldüğü gibi Karakaya Barajı için her iki programda da n arttıkça Q azalmaktadır.



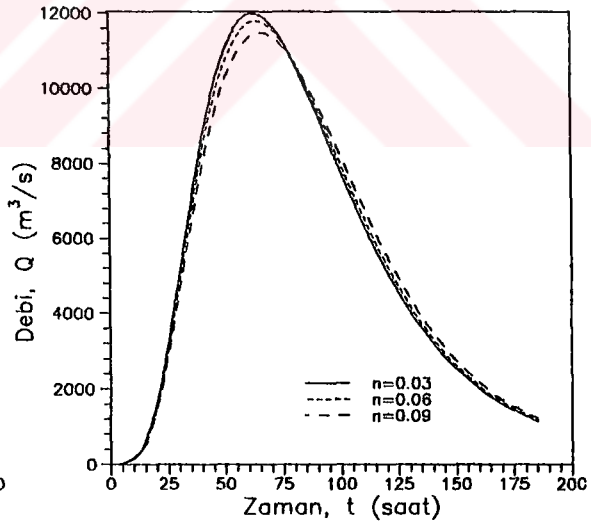
Karakaya Barajı $I_p=10000 \text{ m}^3/s$, $L=100 \text{ m}$



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



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



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

Şekil 6.8 Karakaya Barajından Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülük ile Değişimi

6.2.3 Karakaya Barajı İçin Hidrolojik ve Hidrolik Öteleme Sonuçlarının Karşılaştırılması

Karakaya Barajının dört farklı giriş hidrografi-savak boyu kombinasyonu için hidrolik öteleme programı RRMHQ.for'un $n=0.06$ pürüzlülük katsayısı için hesaplanan çıkan akım hidrografının pik debi değerleri hidrolojik öteleme programı olan ROUTM.for'un çıkan akım sonuçlarıyla birlikte Çizelge 6.4'de görülmektedir. Aynı değerler grafikler halinde de verilmektedir (Şekil 6.9).

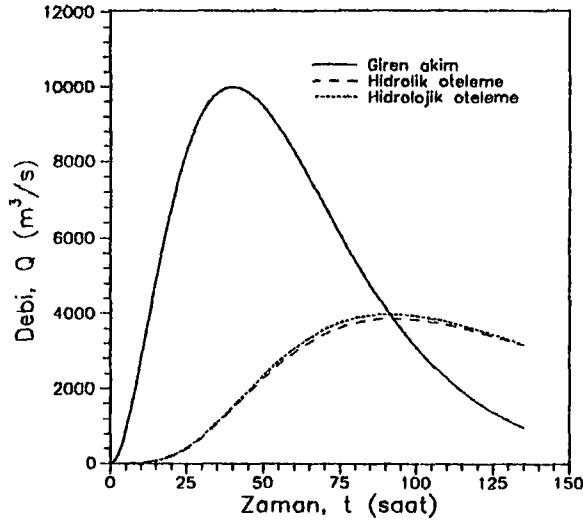
Çizelge 6.4 Karakaya Barajı Hidrolik Ve Hidrolojik Öteleme Çıkan Akım Pikleri

I(m³/s)	T _p (saat)	L (m)	Hidrolik Öteleme (RRMHQ n=0.06)		Hidrolojik Öteleme (ROUTM)	
			Q (m³/s)	T _p (saat)	Q (m³/s)	T _p (saat)
10000	40	100	3876	92	3997	92
		500	7658	65	7768	64.5
15000		100	6304	89.5	6521	88.5
		500	11795	63.5	12146	62

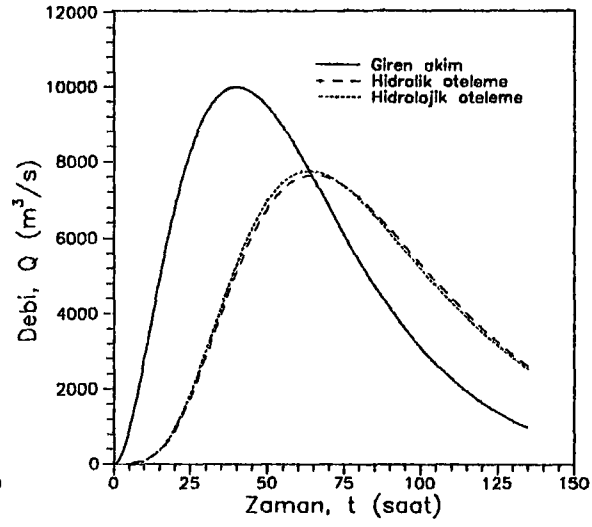
6.3 Hidrolik Öteleme Modelinin Diğer Barajlara Uygulamaları Ve Sonuçları

Hidrolik ve hidrolojik öteleme modelleri Karakaya Barajı haricinde sekiz baraj gölüne daha uygulanmıştır. Bu barajlara ait gerçek vadi profil şekilleri üç boyutlu olarak Ek 3'de sunulmaktadır. Vadi profillerinin daha iyi anlaşılabilmesi açısından bu barajların savak kret kotundaki su yüzü genişlikleri ve kesitler arası uzunlukları da çizelge halinde aynı bölümde özetlenmektedir (ÇizelgeEk 3.1).

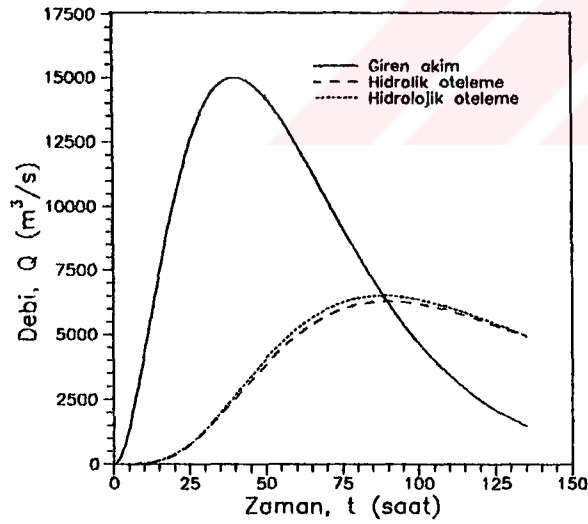
Çalışmada incelenen diğer barajlar için de hidrolojik ve hidrolik öteleme yöntemleri ile çıkan akım hidrografları elde edilmiş olup pik debi değerleri Çizelge 6.5 ve 6.6'da özetlenmektedir. Bu hidrografların karşılaştırmaları grafikler halinde de görülmektedir (Şekil 6.10-6.17). Grafiklerin hidrolik öteleme hesabında $n=0.06$ alınmıştır. Aynı barajlara ait (H-t) grafikleri Şekil 6.18-6.25 arasında, (H-x) grafikleri ise Şekil 6.26-6.33 arasında görülmektedir.



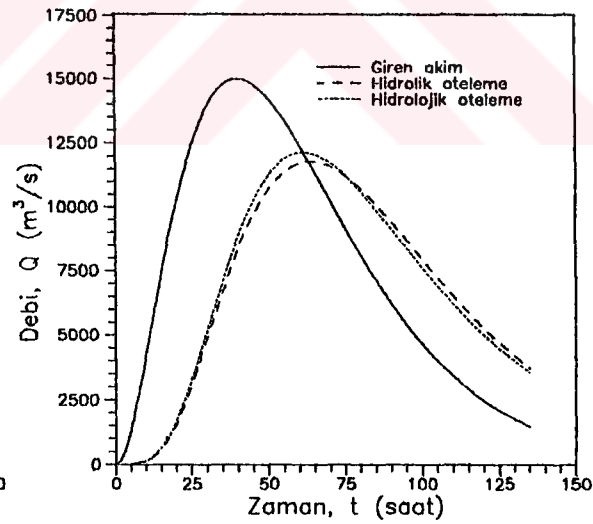
Karakaya Barajı $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100\text{m}$



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



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

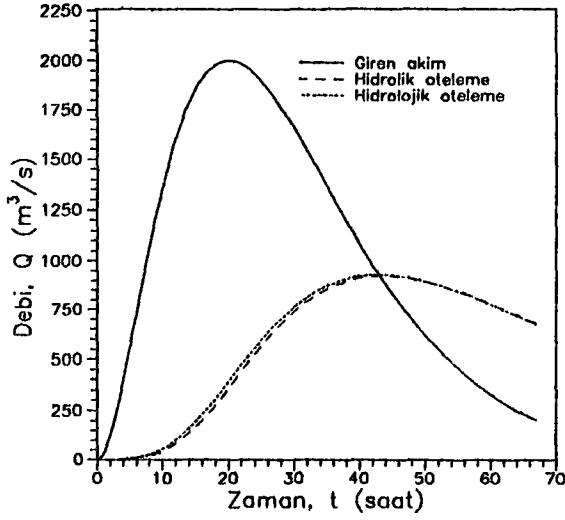


Karakaya Barajı $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=500\text{m}$

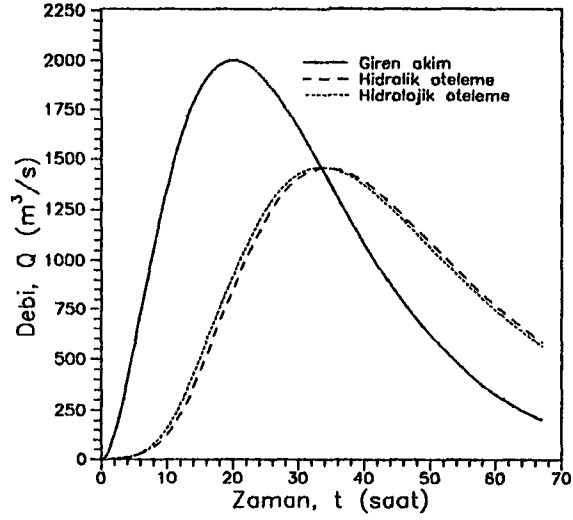
Şekil 6.9 Karakaya Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması

Çizelge 6.5 Diğer Barajlara Ait Sonuçlar

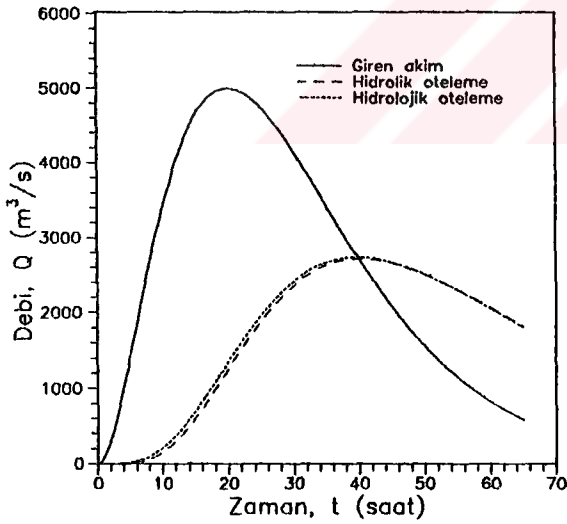
Baraj Adı	Kesit adedi	Sav.kret kotu (m)	$\bar{B}$ (m)	I_p Inflow (m ³ /s)	L Sav.boyu (m)	T_p (saat)	RRMHQ (n=0.03)		RRMHQ (n=0.06)		RRMHQ (n=0.09)		ROUTM	
							Q_p (m ³ /s)	T_p (saat)	Q_p (m ³ /s)	T_p (saat)	Q_p (m ³ /s)	T_p (saat)	Q_p (m ³ /s)	T_p (saat)
Kayraktepe	13	105	602	2000	50	20	921	42.5	925	43.5	928	43	932	43
					150		1450	33.5	1454	34.5	1455	35	1457	33.5
					50		2709	40	2719	40	2726	40.5	2740	39.5
					150		4000	31	4004	31.5	3988	32.5	4019	30.5
Berke	13	320	241	1000	10	15	533	29.5	533	29.5	534	30	522	30
					50		872	21	872	21	872	21	866	21.5
					10		1892	27.5	1892	27.5	1893	27.5	1860	27.5
					50		2786	19.5	2787	19.5	2787	19.5	2772	19.5
Deriner	16	195	165	500	10	10	381	16	381	16	381	16	381	16.5
					30		465	13	466	13	466	13	465	13
					10		808	15	809	15.5	809	15	810	16
					30		953	12.5	953	12.5	954	12.5	953	12.5
Yamula	18	1085	1187	6000	100	20	3037	42	3040	42	3043	42.5	3073	41.5
					300		4573	33	4575	33	4578	33.5	4606	32.5
					100		5586	40	5593	40.5	5601	40.5	5637	39.5
					300		8061	31.5	8066	31.5	8067	32	8108	31
Bayramhacılı	10	965	238	2000	10	20	1235	37	1241	37	1247	37	1236	38
					40		1839	26.5	1844	26.5	1846	27	1838	26.5
					10		2520	36.5	2527	36.5	2537	36	2515	36.5
					40		3699	26	3711	26.5	3718	26.5	3693	26.5
Bahçelik	10	1489	576	1000	10	15	395	34.5	395	34	395	33.5	400	33.5
					50		772	24	772	23.5	773	24	782	24
					10		909	32	910	32	911	32	911	32
					50		1652	22.5	1654	22.5	1656	22.5	1660	22.5
Yedigöze	11	220	333	3000	20	20	2042	35	2043	35	2045	35	2056	34.5
					100		2851	25	2852	25	2853	25	2852	25
					20		4302	33.5	4305	34	4309	33.5	4301	33.5
					100		5796	24	5798	24	5800	24	5796	24
Gezende	11	325	188	1500	25	15	1387	19.5	1389	19.5	1390	19.5	1389	19.5
					60		1471	17	1471	17	1472	17.5	1472	17.5
					25		2837	19	2837	19	2841	19	2830	19
					60		2960	17	2962	17	2962	17	2961	17



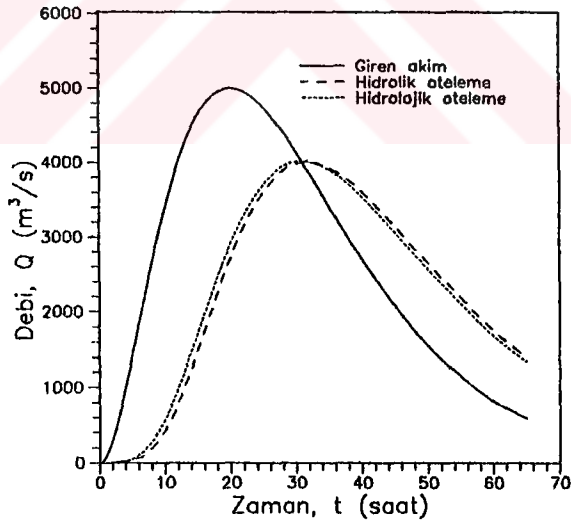
Kayraktepe Barajı $I=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$



Kayraktepe Barajı $I=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=150 \text{ m}$



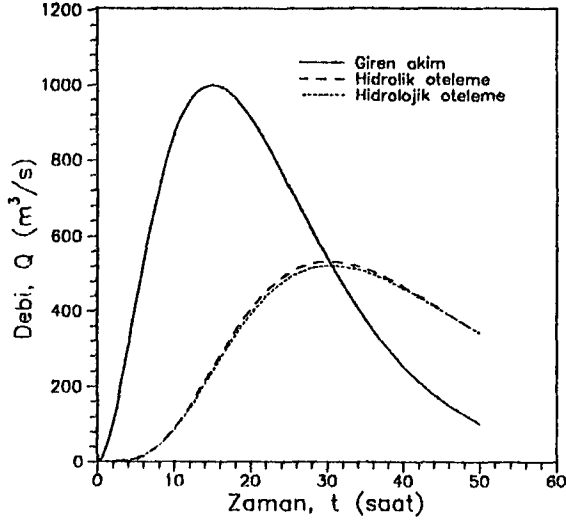
Kayraktepe Barajı $I=5000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$



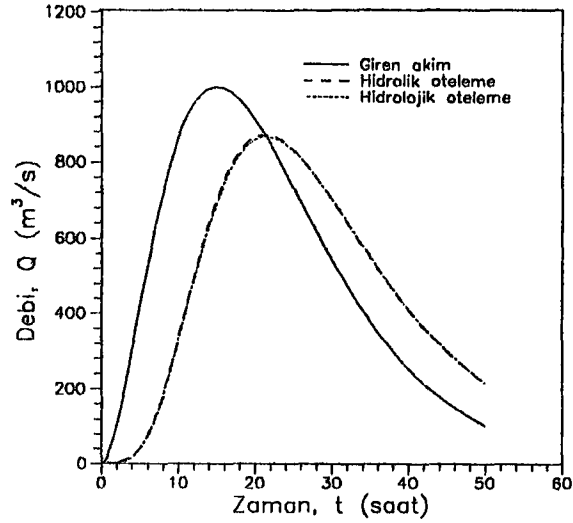
Kayraktepe Barajı $I=5000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=150 \text{ m}$

Şekil 6.10 Kayraktepe Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması

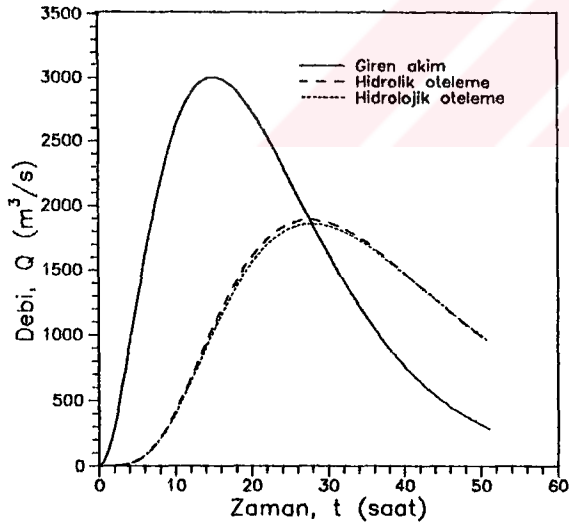
6. SEÇİLEN BARAJLARA UYGULAMALAR VE BULGULAR Hatice ÖZMEN



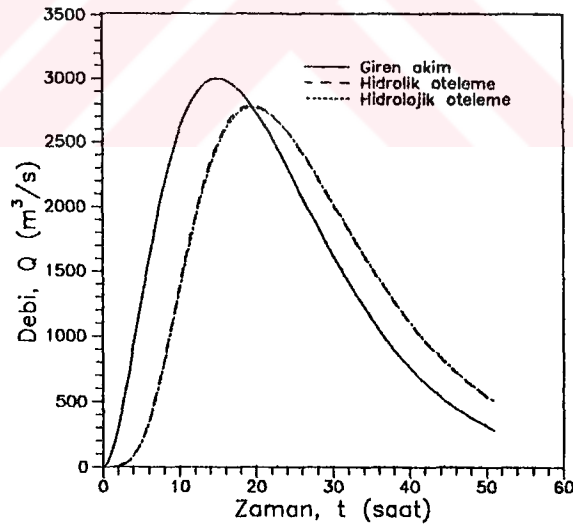
Berke Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$



Berke Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

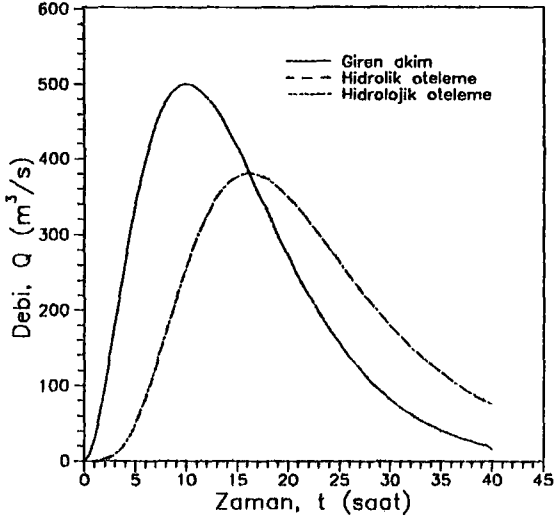


Berke Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$

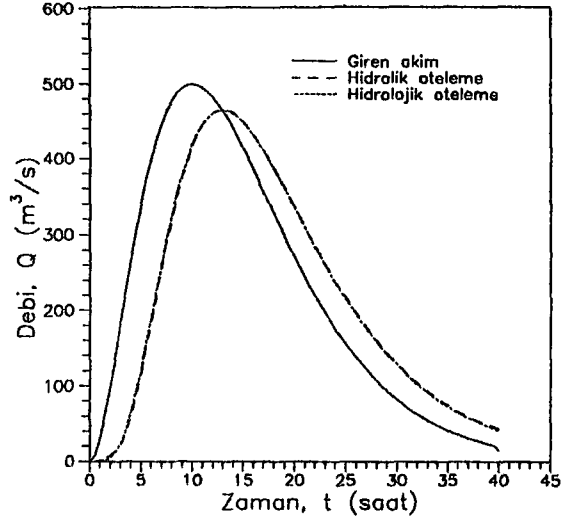


Berke Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

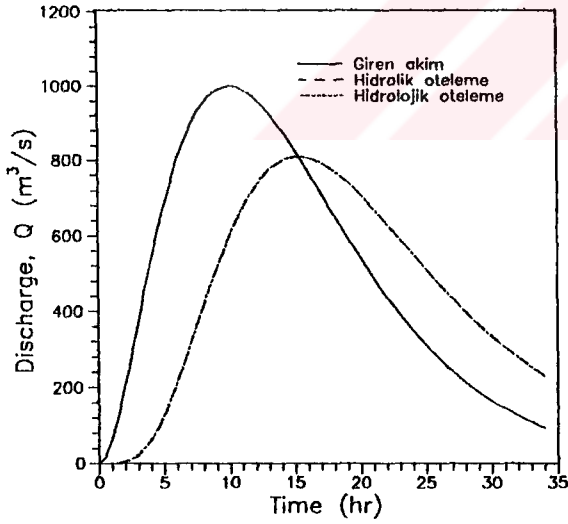
Şekil 6.11 Berke Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması



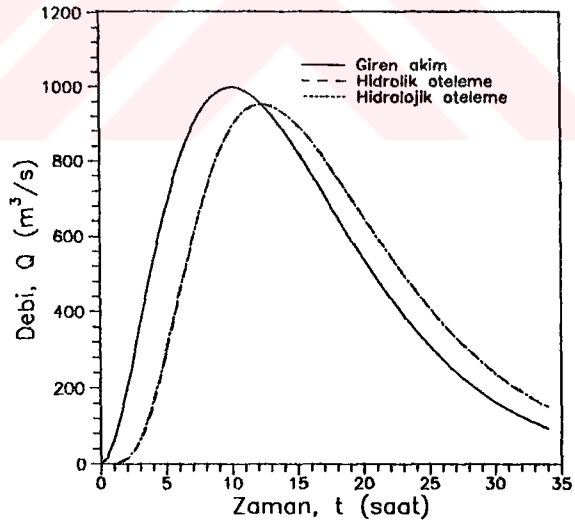
Deriner Barajı $I_p=500 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$



Deriner Barajı $I_p=500 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=30 \text{ m}$

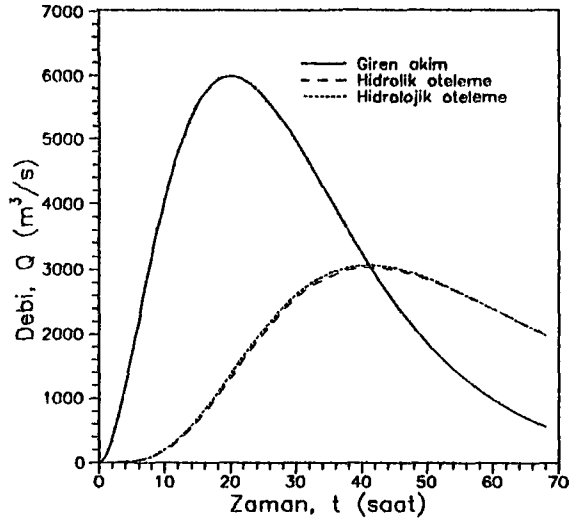


Deriner Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$

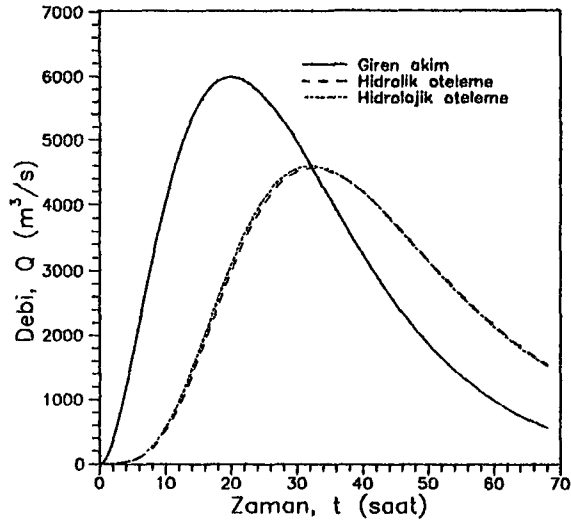


Deriner Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=30 \text{ m}$

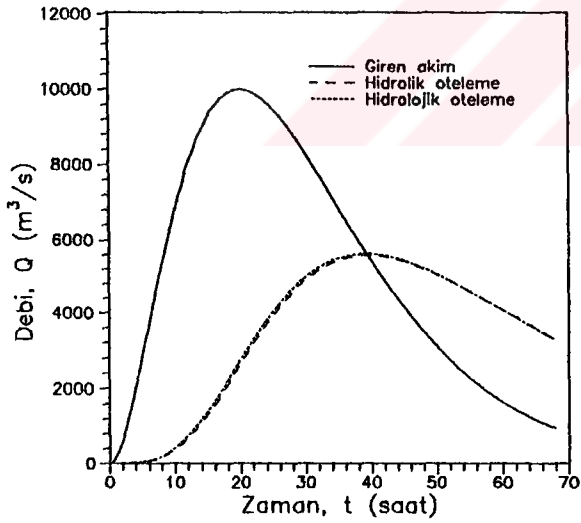
Şekil 6.12 Deriner Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması



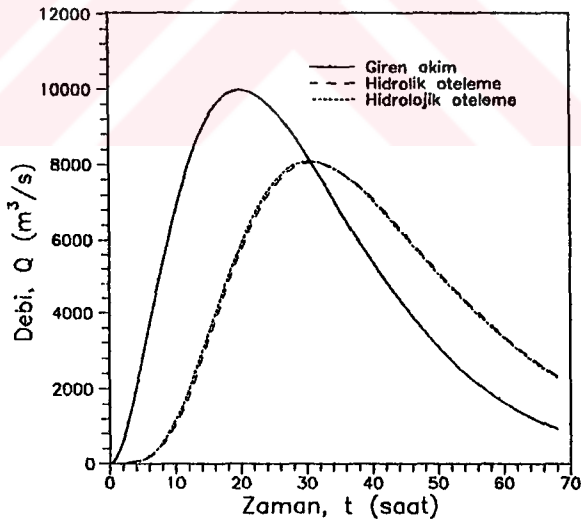
Yamula Barajı $I_p=6000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$



Yamula Barajı $I_p=6000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=300 \text{ m}$

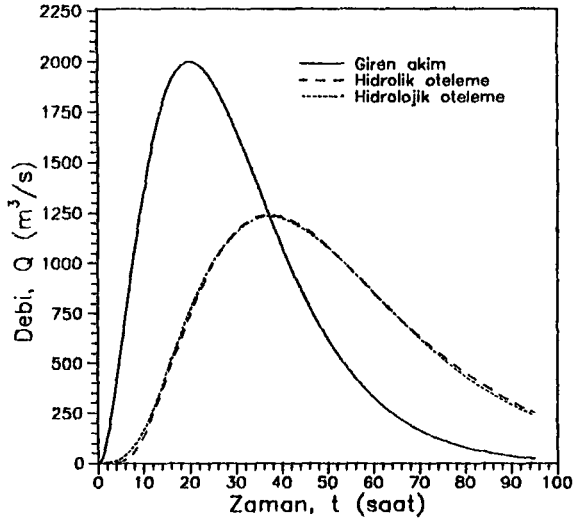


Yamula Barajı $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$

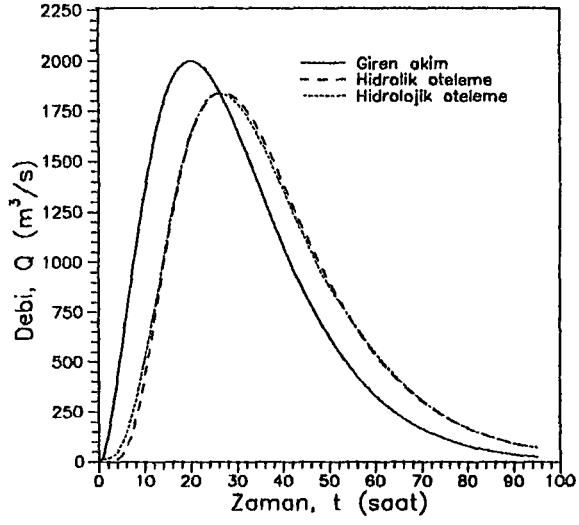


Yamula Barajı $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=300 \text{ m}$

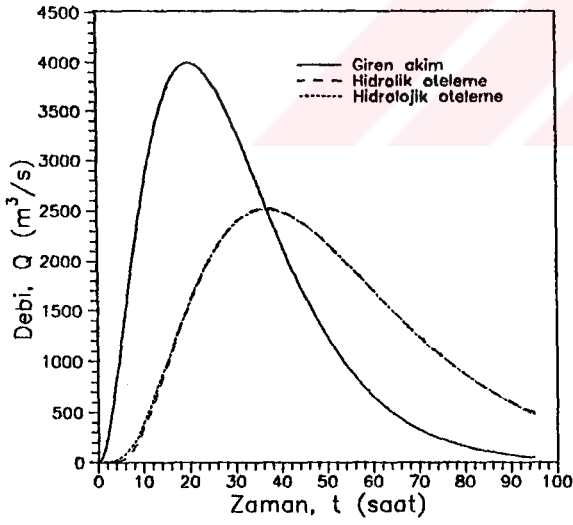
Şekil 6.13 Yamula Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması



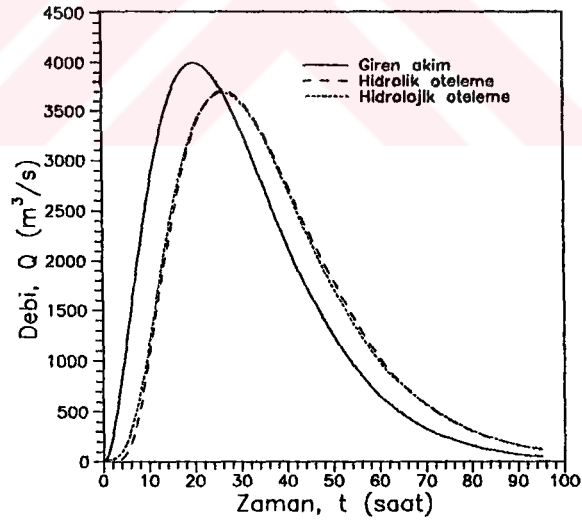
Bayramhacili Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10\text{m}$



Bayramhacili Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=40\text{m}$

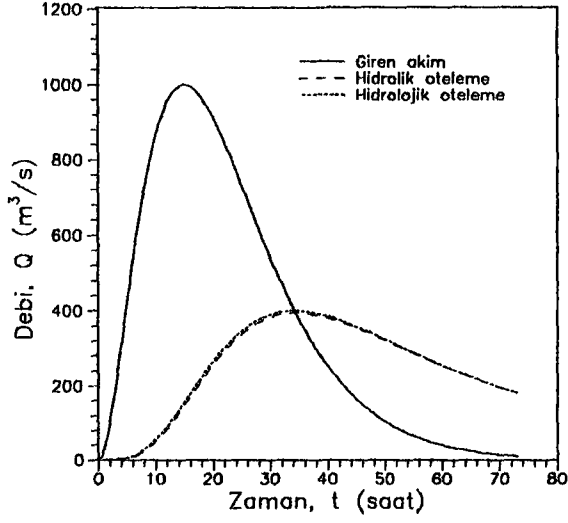


Bayramhacili Barajı $I_p=4000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10\text{m}$

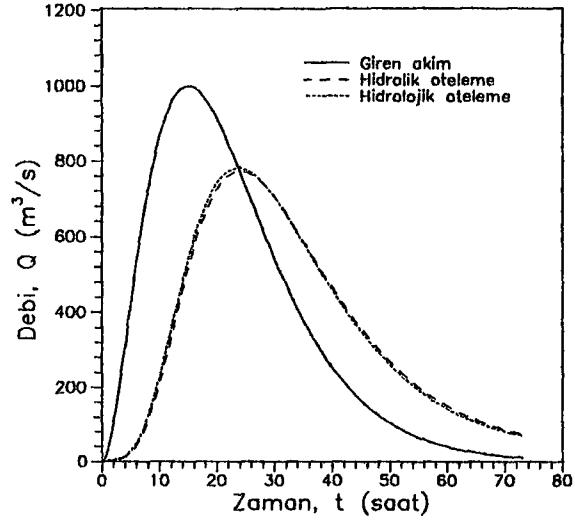


Bayramhacili Barajı $I_p=4000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=40\text{m}$

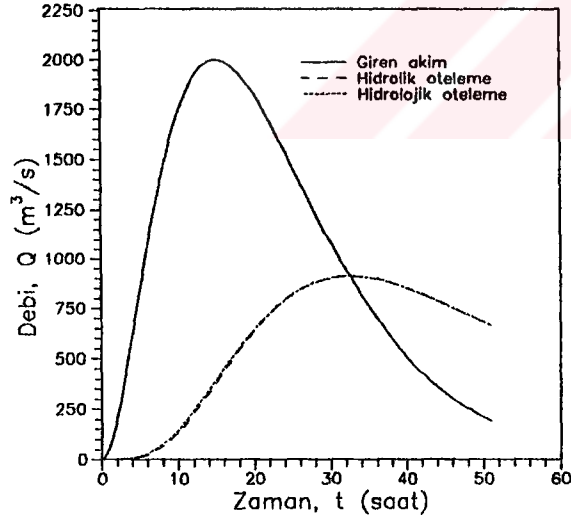
Şekil 6.14 Bayramhacılı Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması



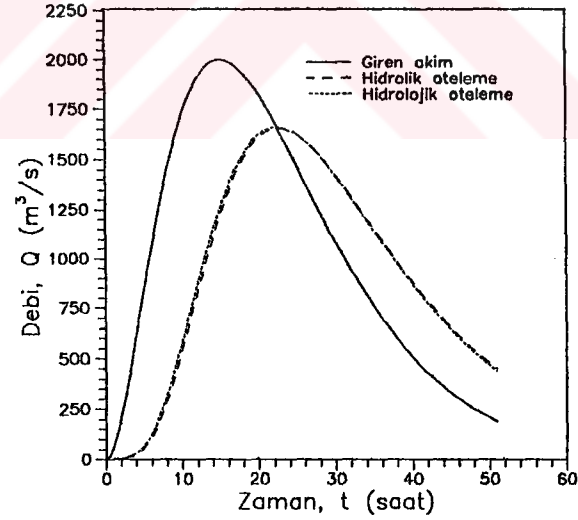
Bahçelik Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/s$, $L=10 \text{ m}$



Bahçelik Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/s$, $L=50 \text{ m}$

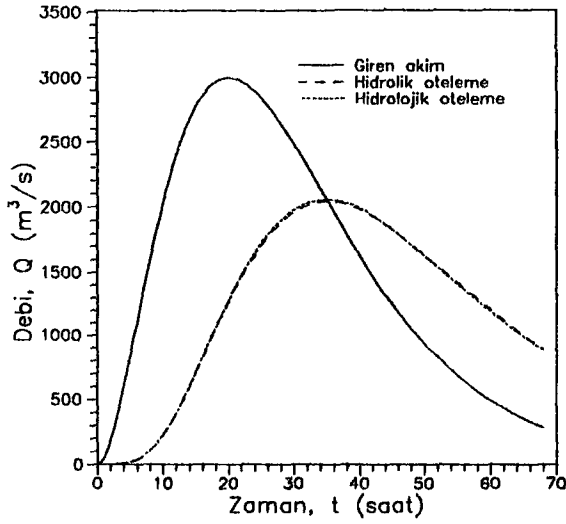


Bahçelik Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/s$, $L=10 \text{ m}$

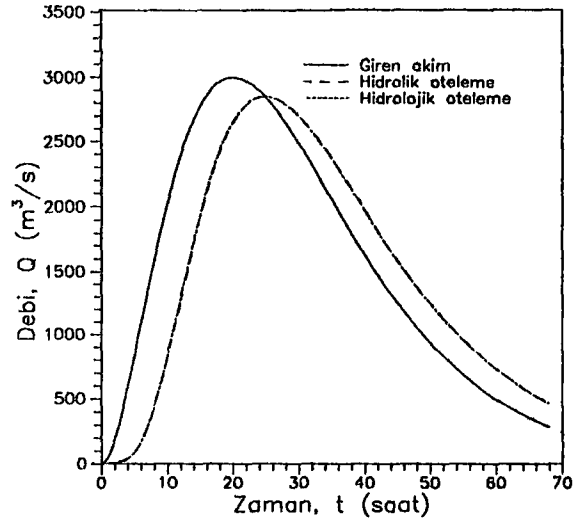


Bahçelik Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/s$, $L=50 \text{ m}$

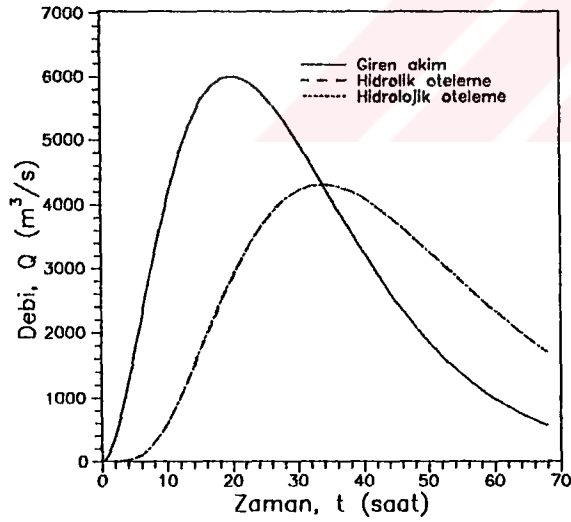
Şekil 6.15 Bahçelik Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması



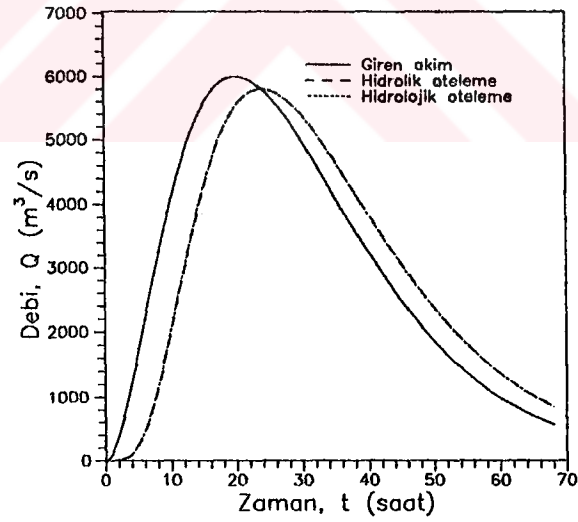
Yedigöze Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/s$, $L=20 \text{ m}$



Yedigöze Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/s$, $L=100 \text{ m}$



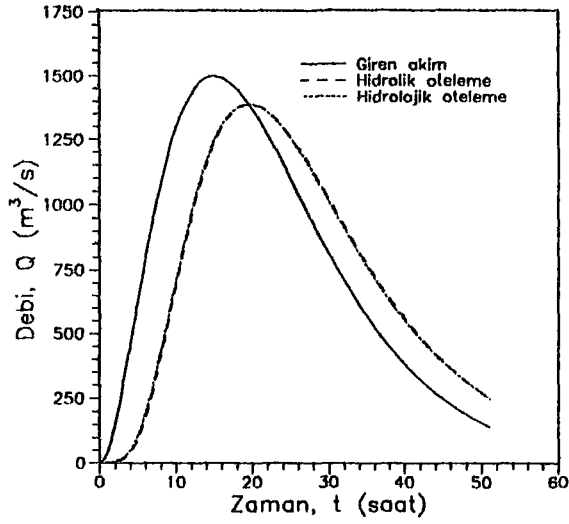
Yedigöze Barajı $I_p=6000 \text{ m}^3/s$, $L=20 \text{ m}$



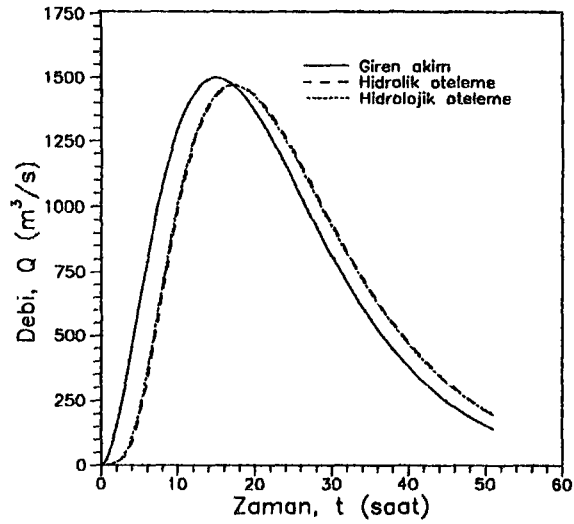
Yedigöze Barajı $I_p=6000 \text{ m}^3/s$, $L=100 \text{ m}$

Şekil 6.16 Yedigöze Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması

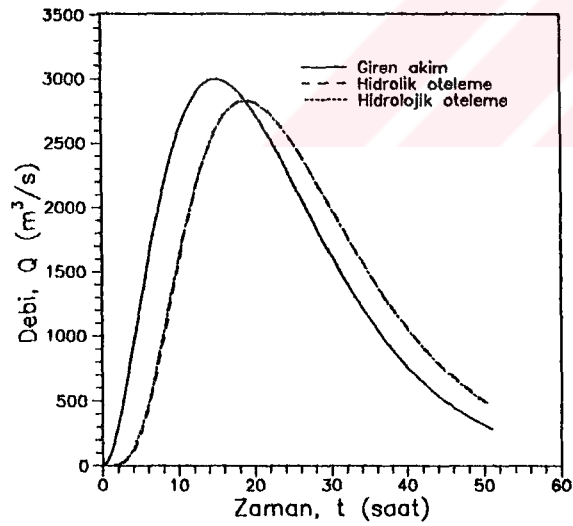
6. SEÇİLEN BARAJLARA UYGULAMALAR VE BULGULAR Hatice ÖZMEN



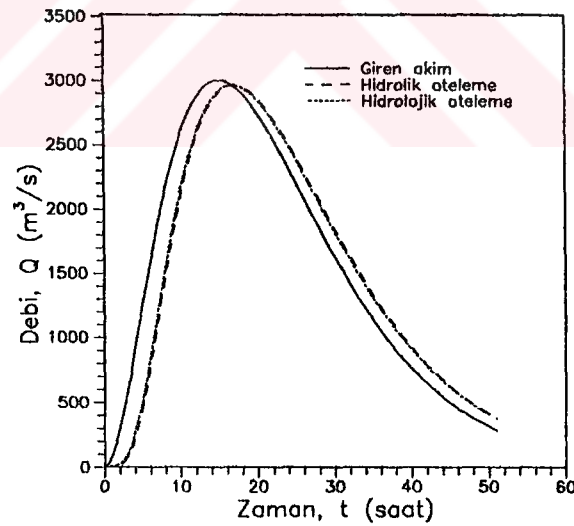
Gezende Barajı $I_p=1500 \text{ m}^3/s$, $L=25 \text{ m}$



Gezende Barajı $I_p=1500 \text{ m}^3/s$, $L=60 \text{ m}$

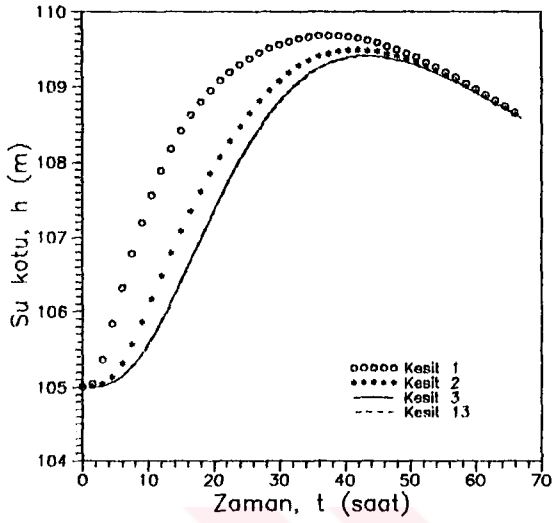


Gezende Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/s$, $L=25 \text{ m}$

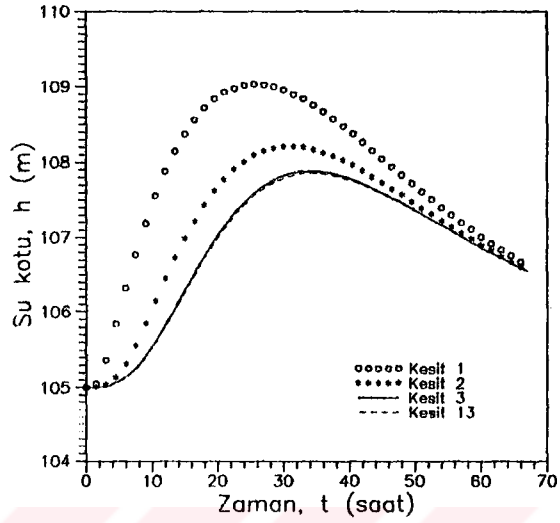


Gezende Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/s$, $L=60 \text{ m}$
giren ve çıkan akım hidrografları

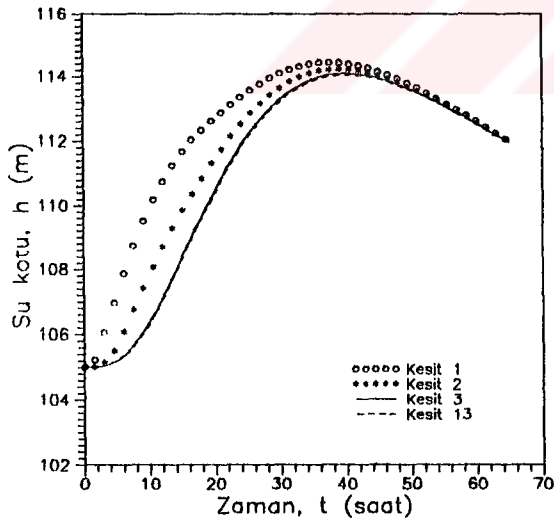
Şekil 6.17 Gezende Baraj Gölünden Çıkan Akım Hidrograflarının Karşılaştırılması



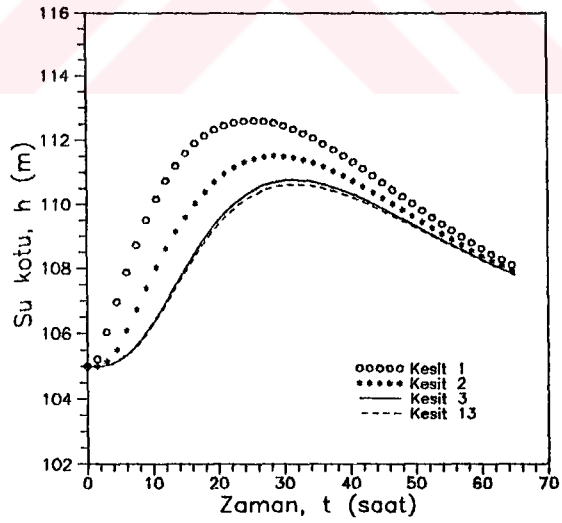
Kayraktepe Barajı $I=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$



Kayraktepe Barajı $I=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=150 \text{ m}$

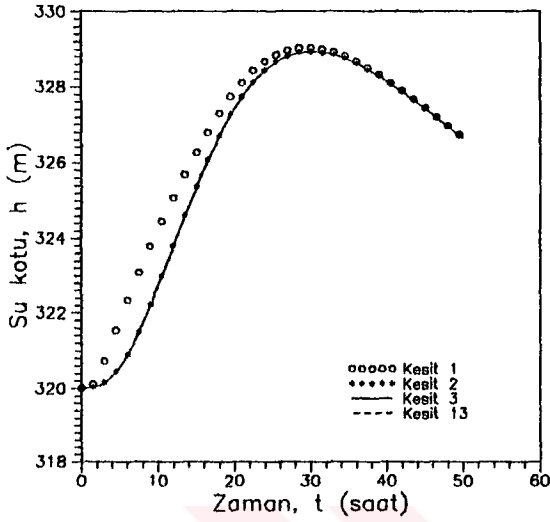


Kayraktepe Barajı $I=5000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

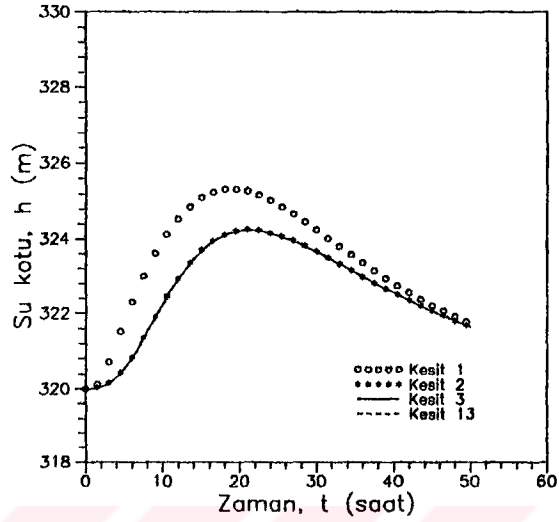


Kayraktepe Barajı $I=5000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=150 \text{ m}$

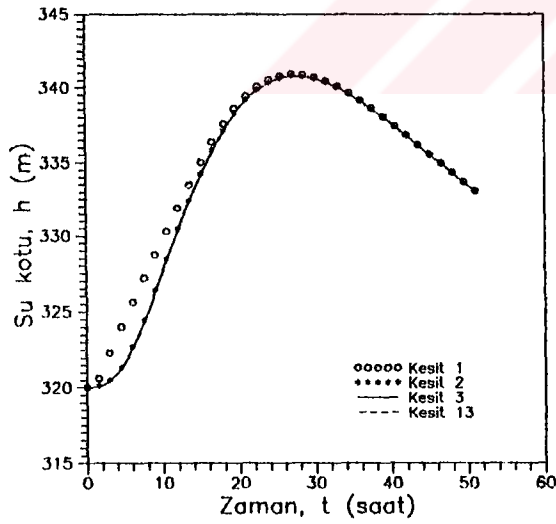
Şekil 6.18 Kayraktepe Barajı (H-t) Grafikleri



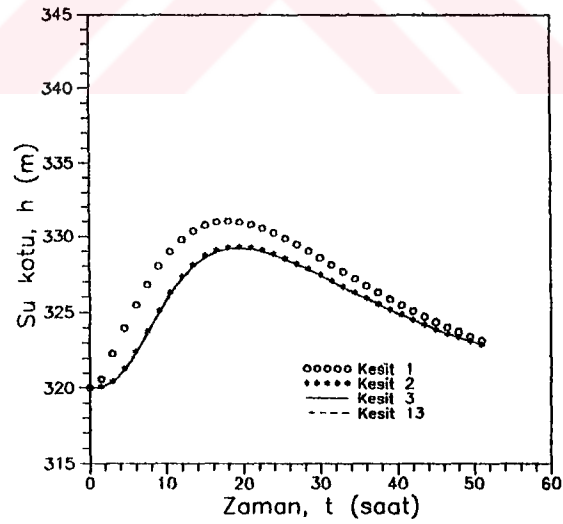
Berke Barajı $I=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$



Berke Barajı $I=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

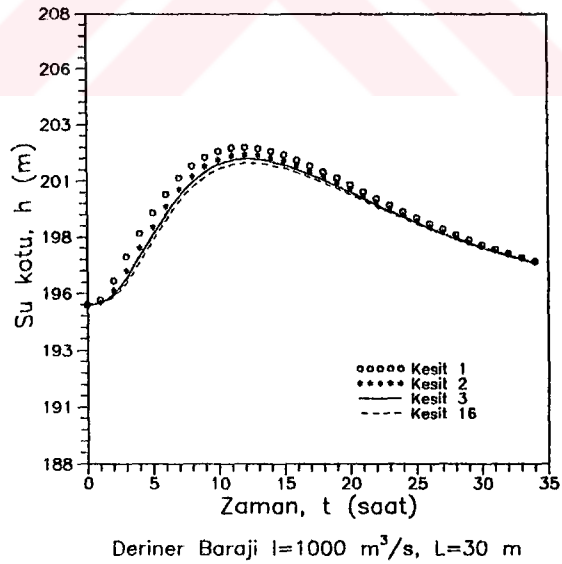
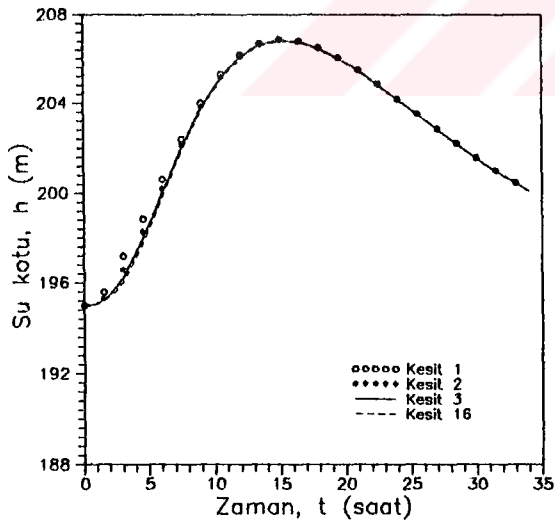
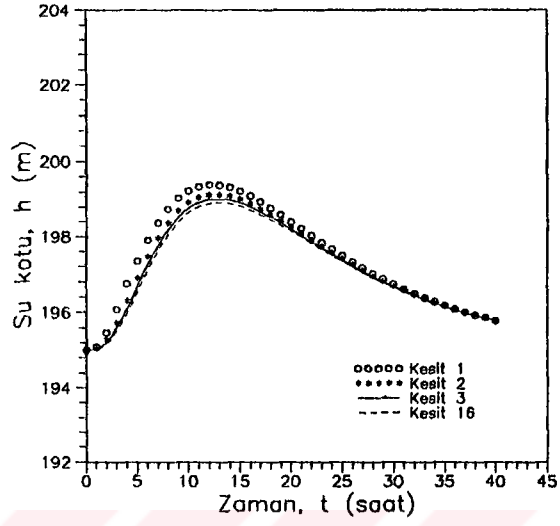
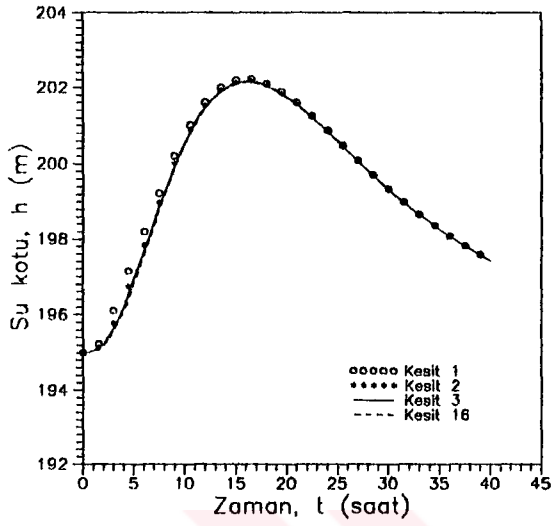


Berke Barajı $I=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$

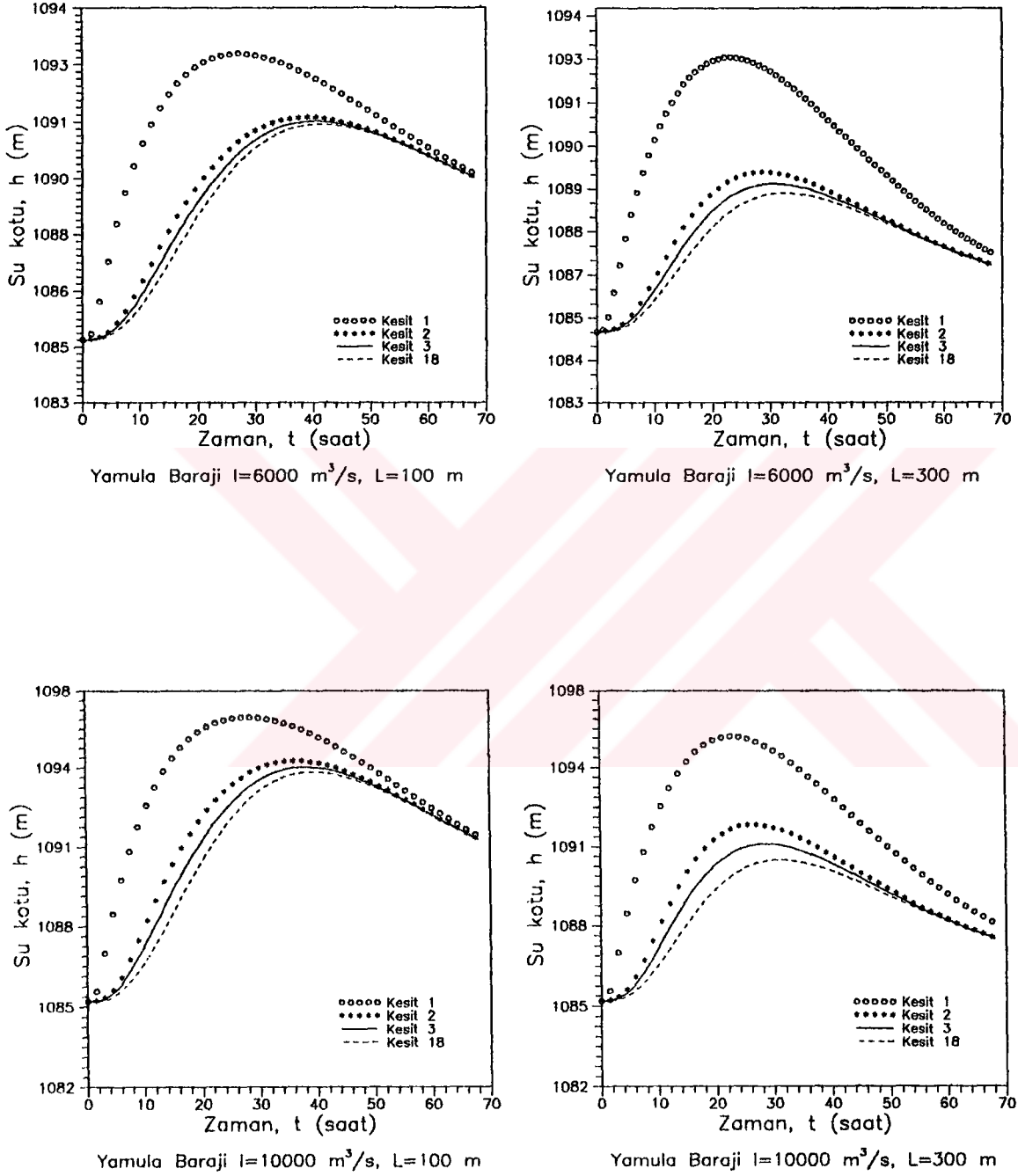


Berke Barajı $I=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

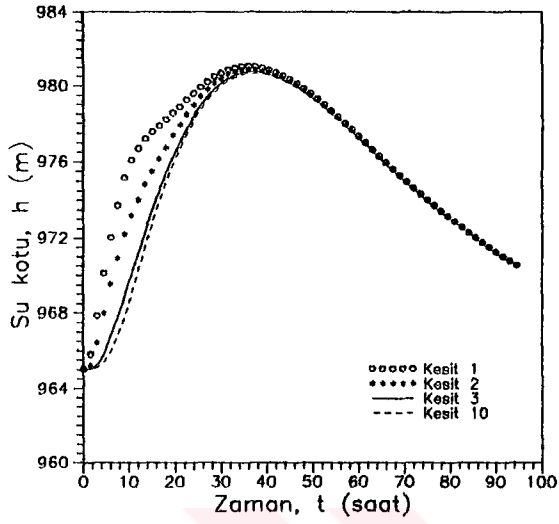
Şekil 6.19 Berke Barajı (H-t) Grafikleri



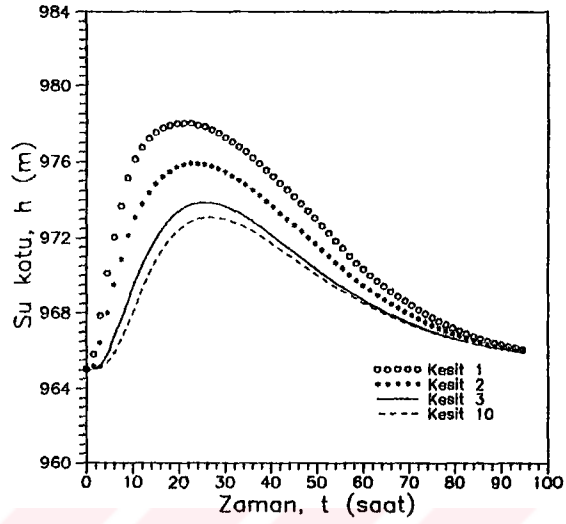
Şekil 6.20 Deriner Barajı (H-t) Grafikleri



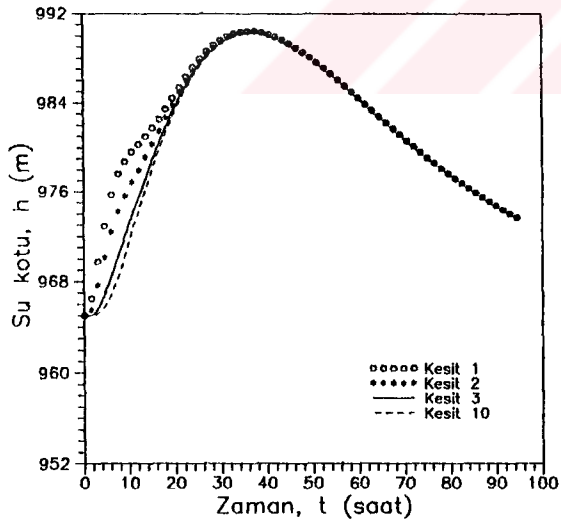
Şekil 6.21 Yamula Barajı (H-t) Grafikleri



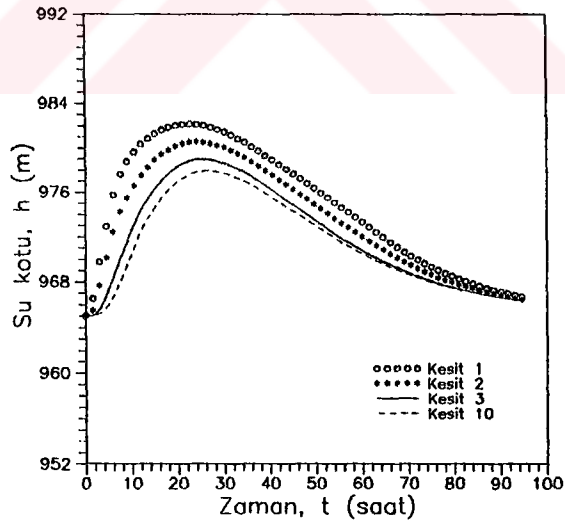
Bayramhacılı Barajı $I=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$



Bayramhacılı Barajı $I=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=40 \text{ m}$

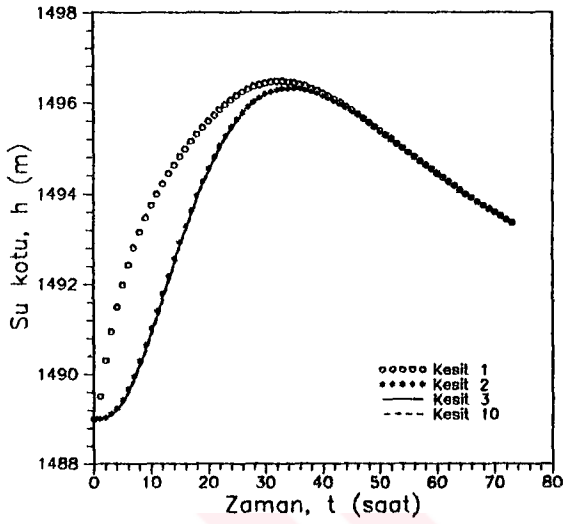


Bayramhacılı Barajı $I=4000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$

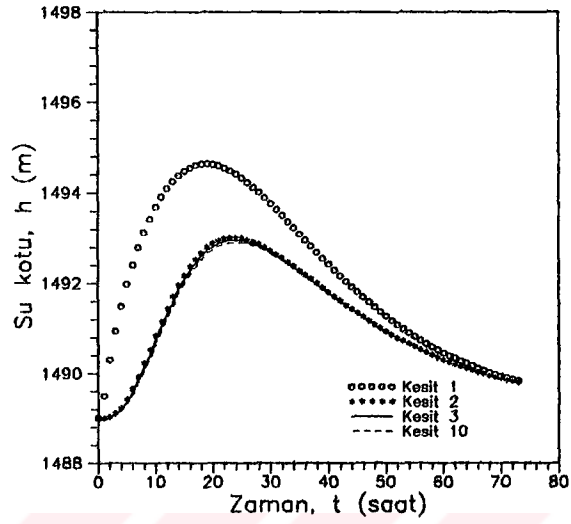


Bayramhacılı Barajı $I=4000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=40 \text{ m}$

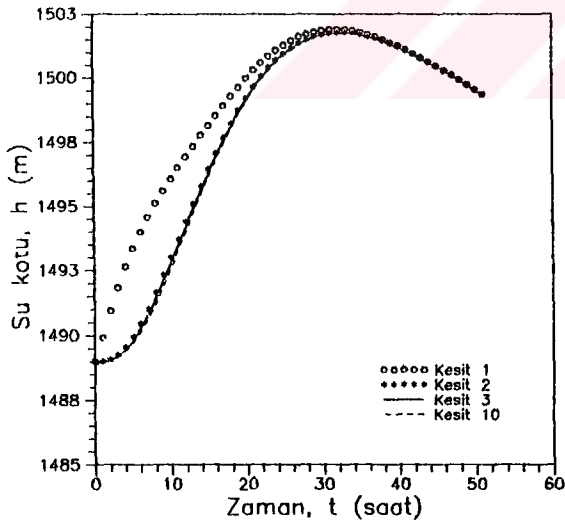
Şekil 6.22 Bayramhacılı Barajı (H-t) Grafikleri



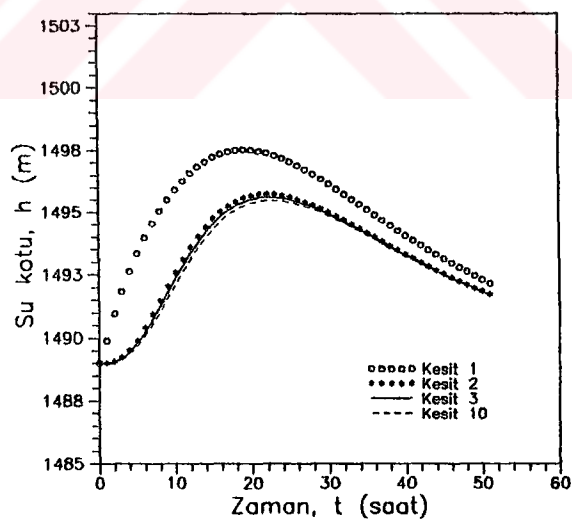
Bahcelik Barajı $I=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$



Bahcelik Barajı $I=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

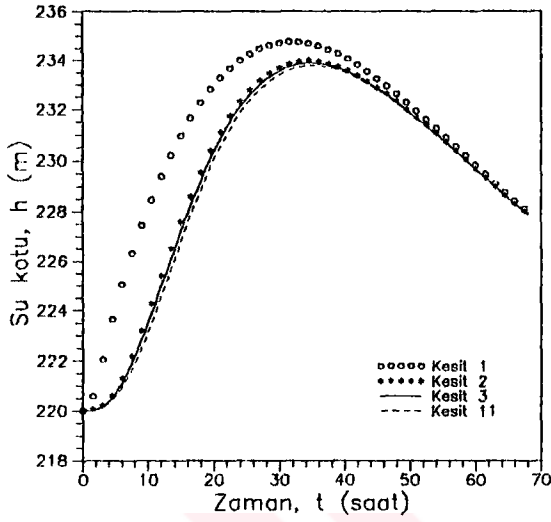


Bahcelik Barajı $I=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$

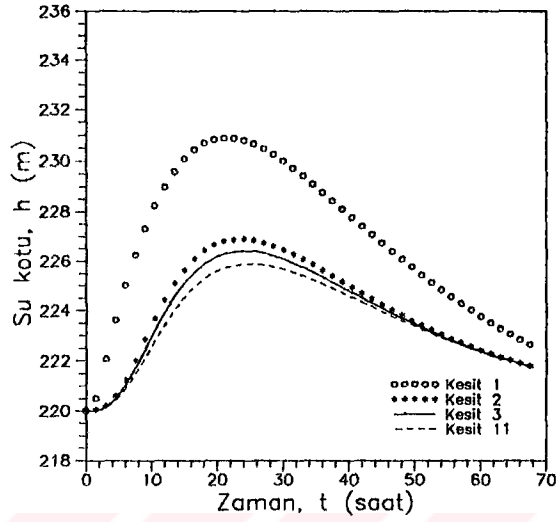


Bahcelik Barajı $I=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

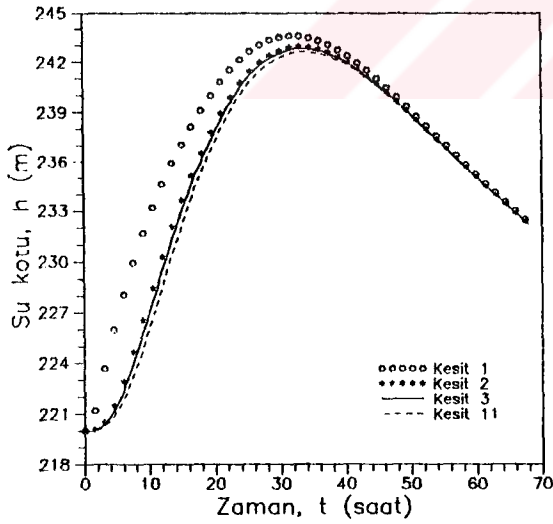
Şekil 6.23 Bahçelik Barajı (H-t) Grafikleri



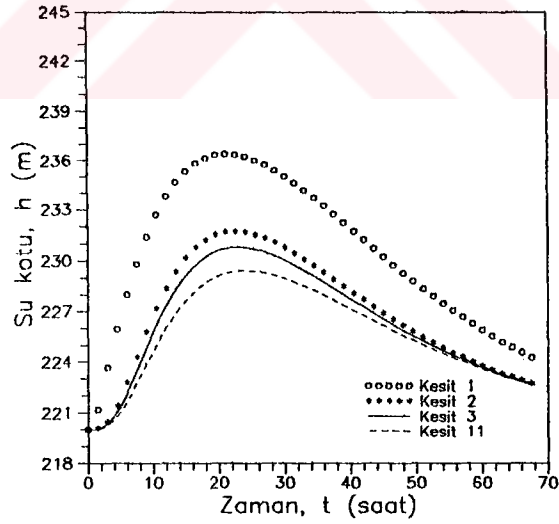
Yedigöze Barajı $I=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=20 \text{ m}$



Yedigöze Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$

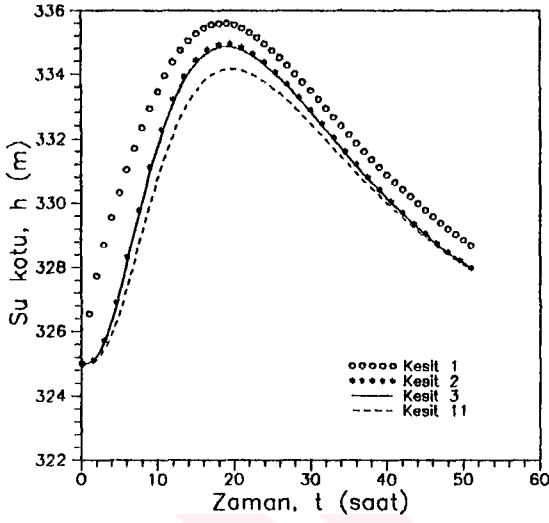


Yedigöze Barajı $I_p=6000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=20 \text{ m}$

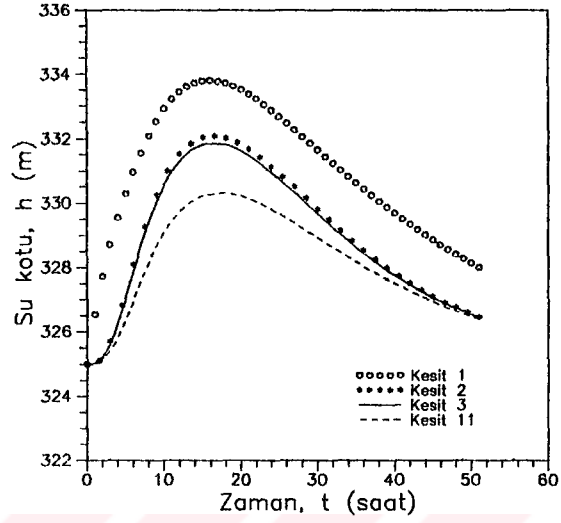


Yedigöze Barajı $I_p=6000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$

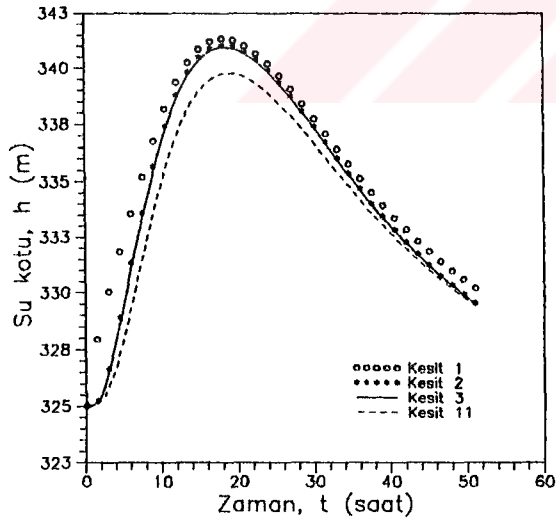
Şekil 6.24 Yedigöze Barajı (H-t) Grafikleri



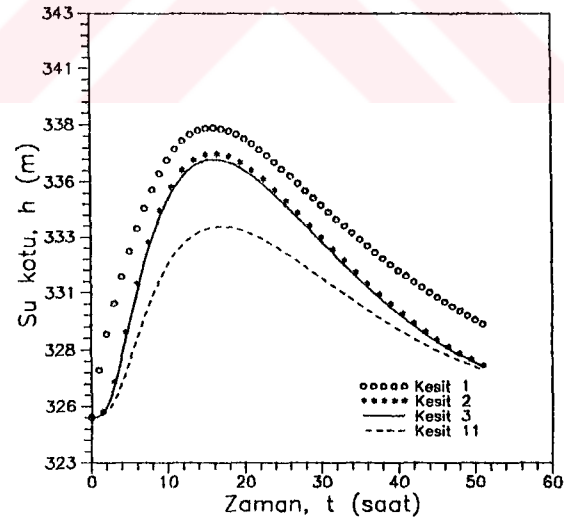
Gezende Barajı $I_p=1500 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=25 \text{ m}$



Gezende Barajı $I_p=1500 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=60 \text{ m}$

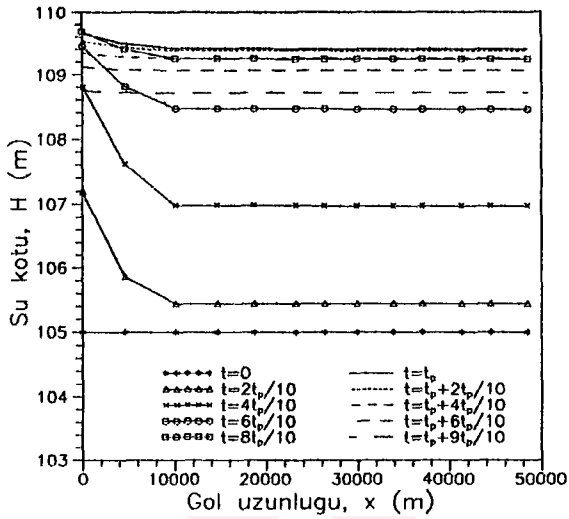


Gezende Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=25 \text{ m}$

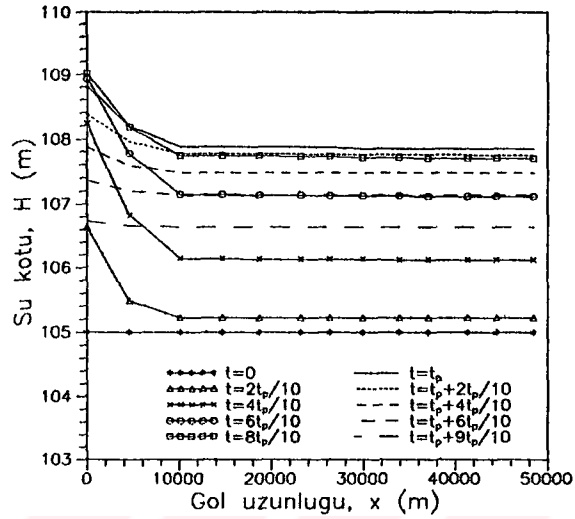


Gezende Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=60 \text{ m}$

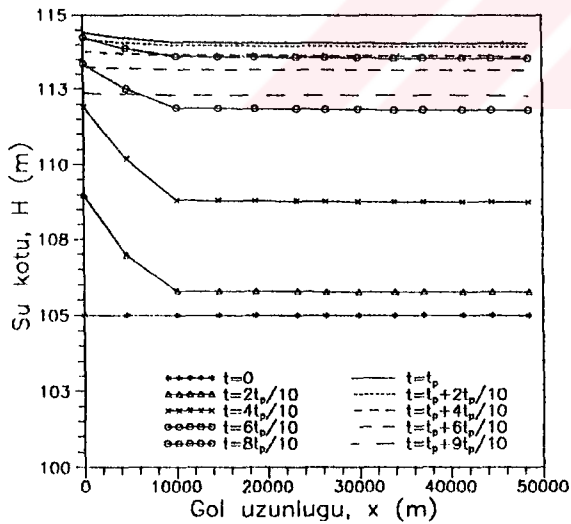
Şekil 6.25 Gezende Barajı (H-t) Grafikleri



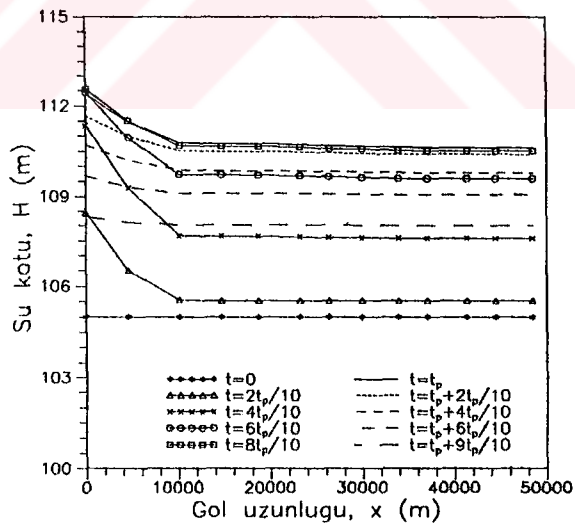
Kayraktepe Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$



Kayraktepe Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=150 \text{ m}$

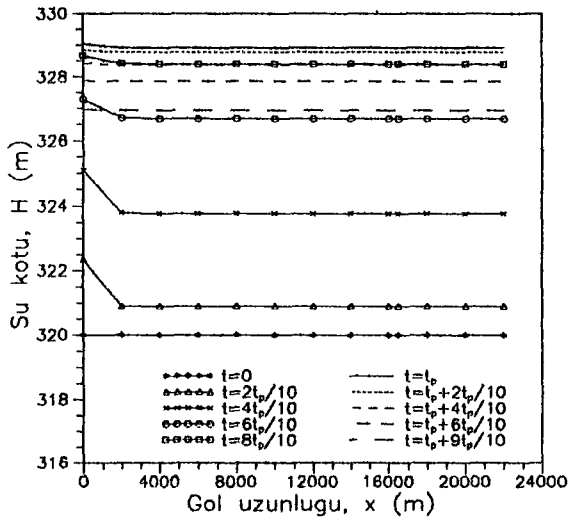


Kayraktepe Barajı $I_p=5000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

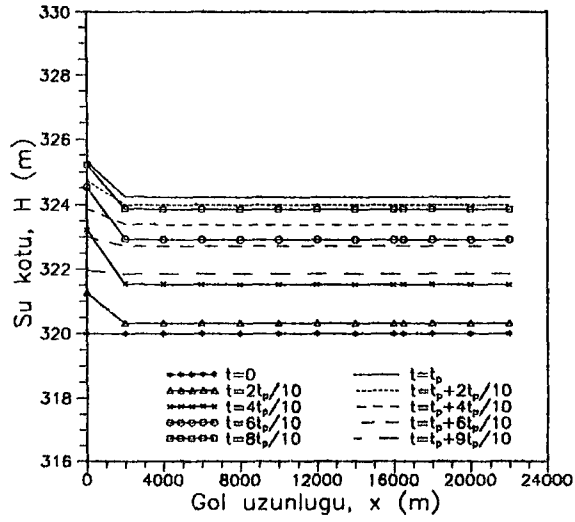


Kayraktepe Barajı $I_p=5000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=150 \text{ m}$

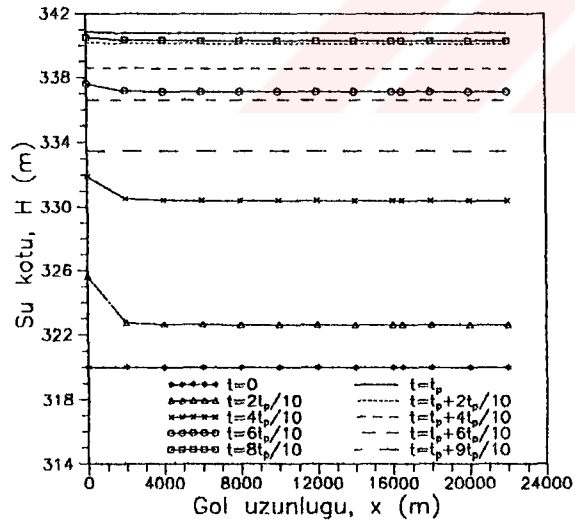
Şekil 6.26 Kayraktepe Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x)



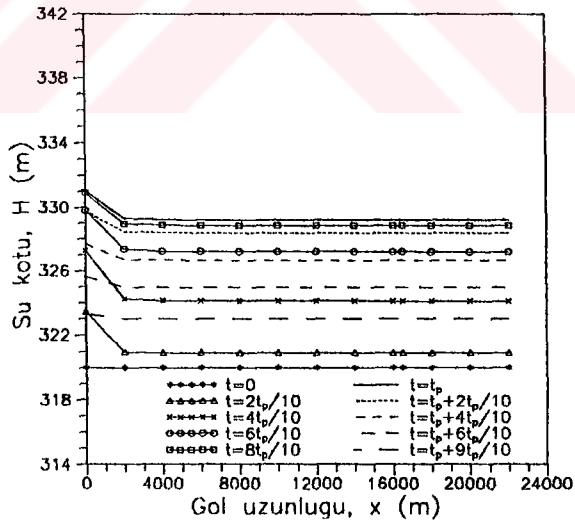
Berke Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$



Berke Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

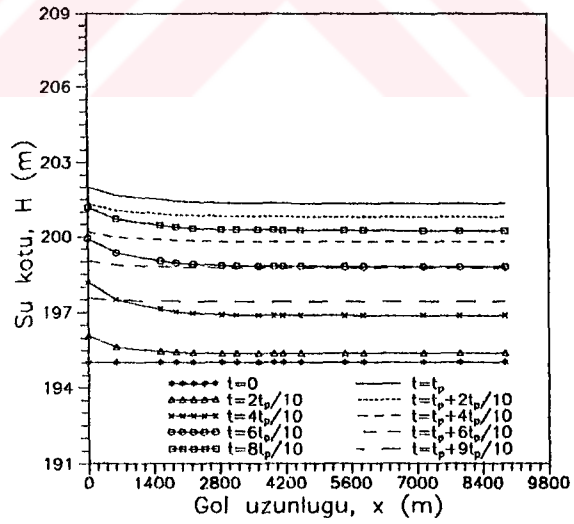
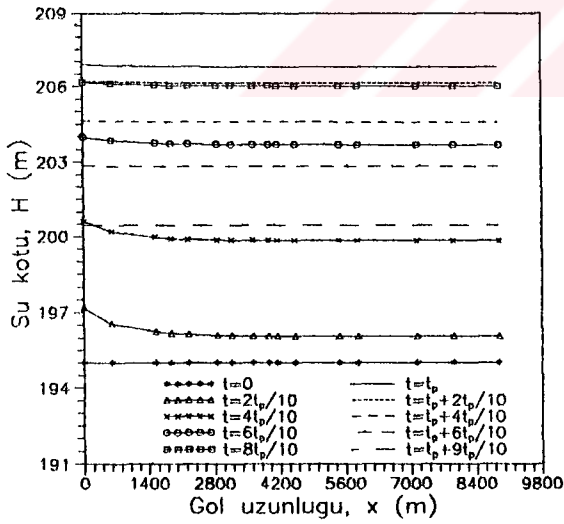
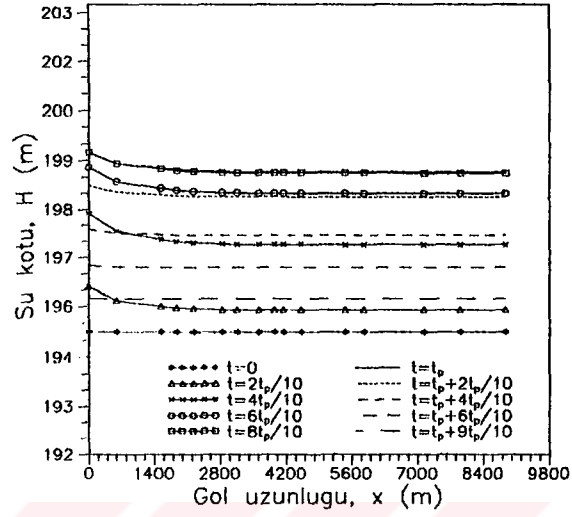
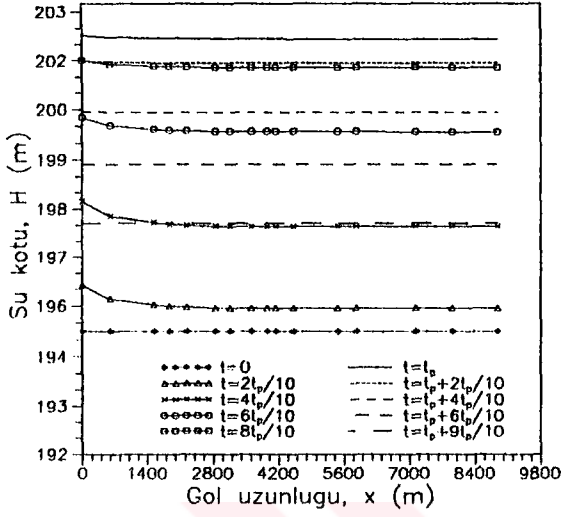


Berke Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$

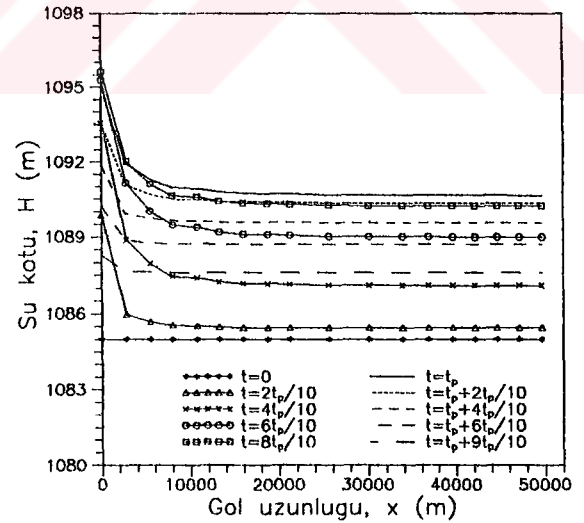
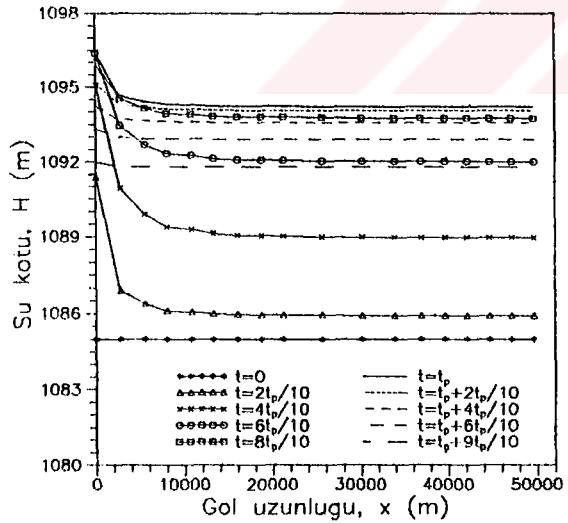
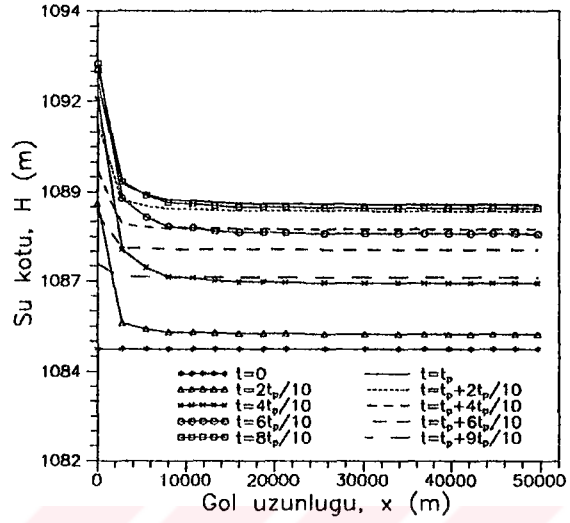
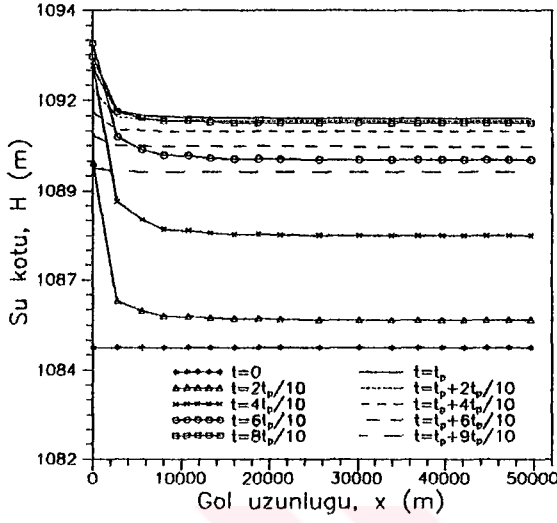


Berke Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

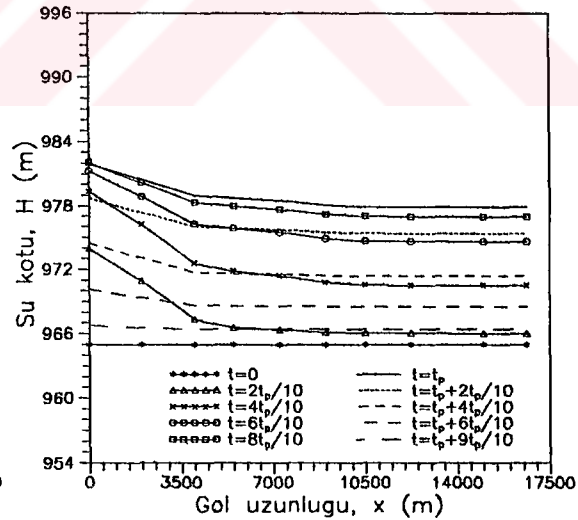
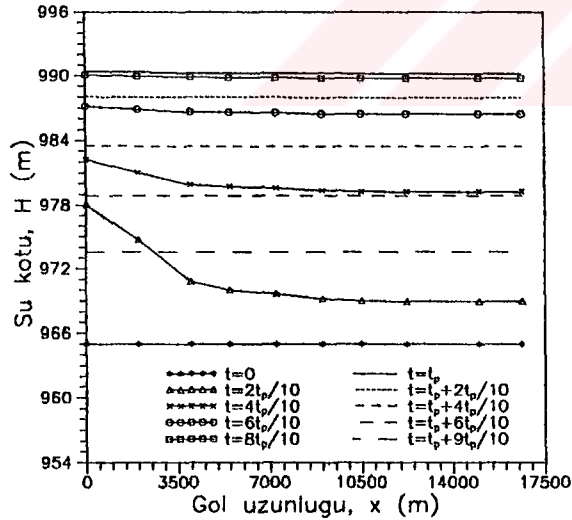
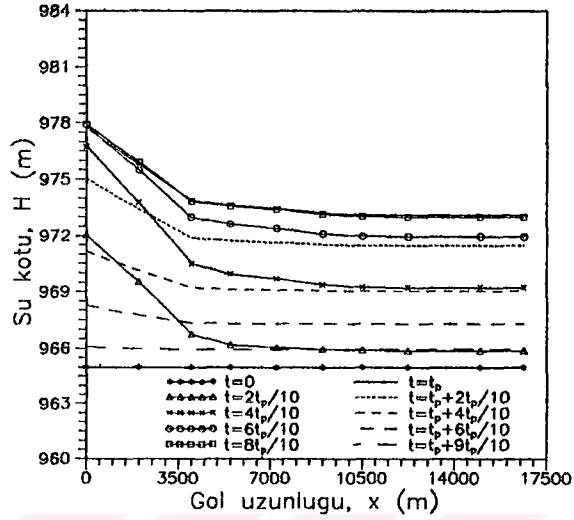
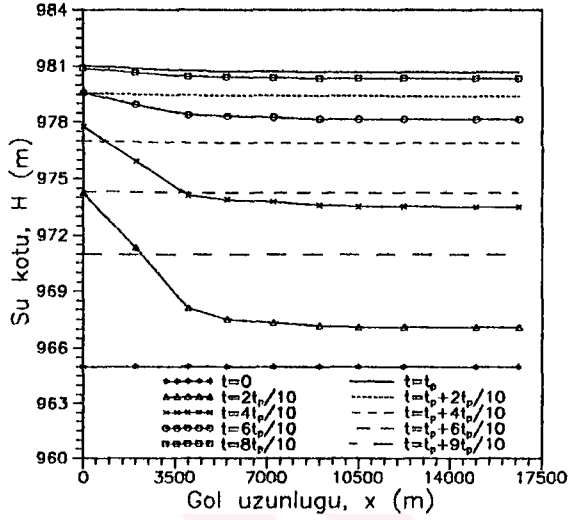
Şekil 6.27 Berke Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x)



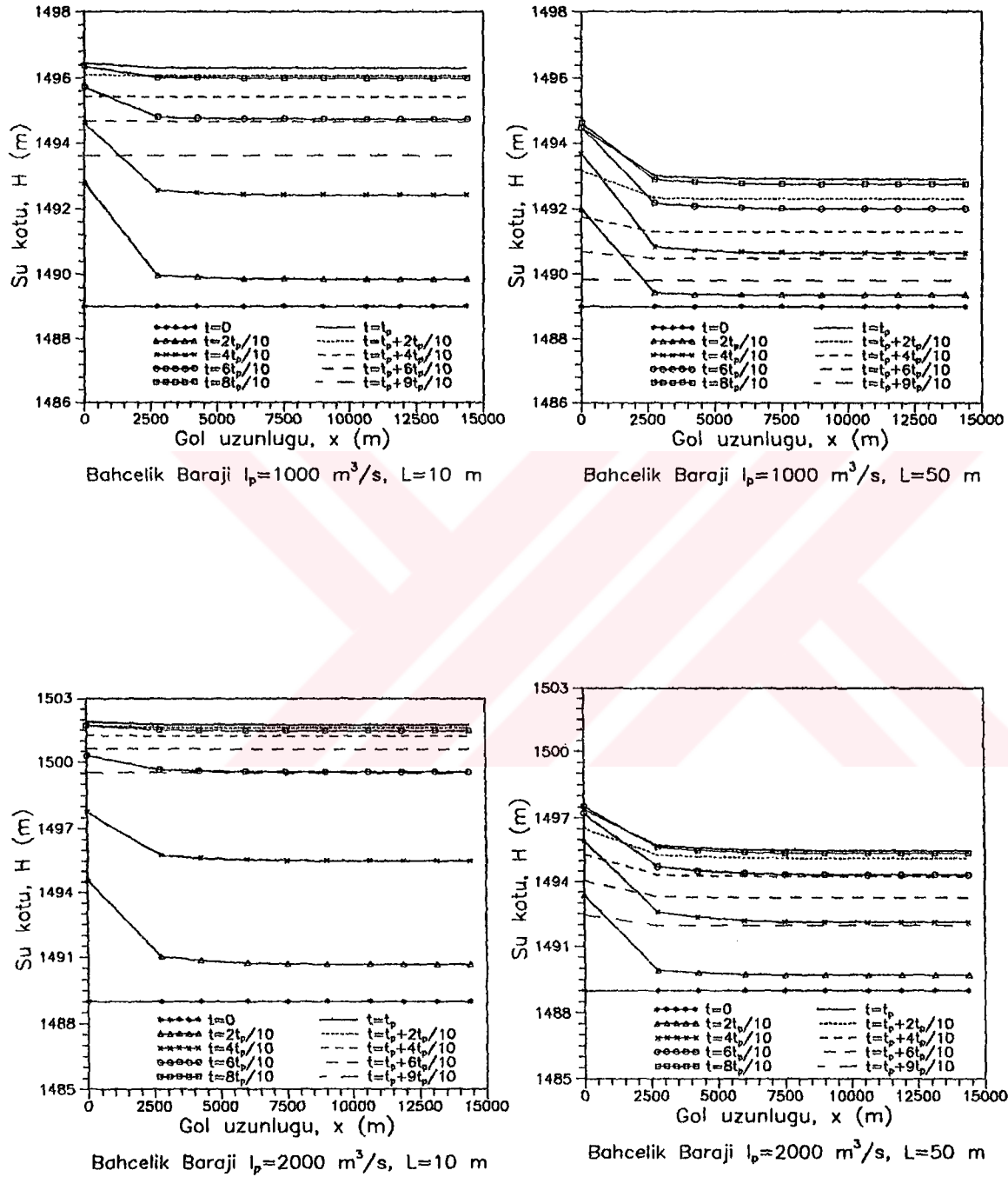
Şekil 6.28 Deriner Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x)



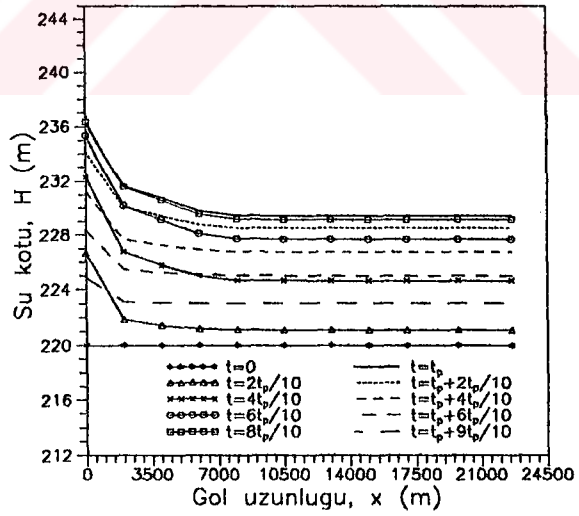
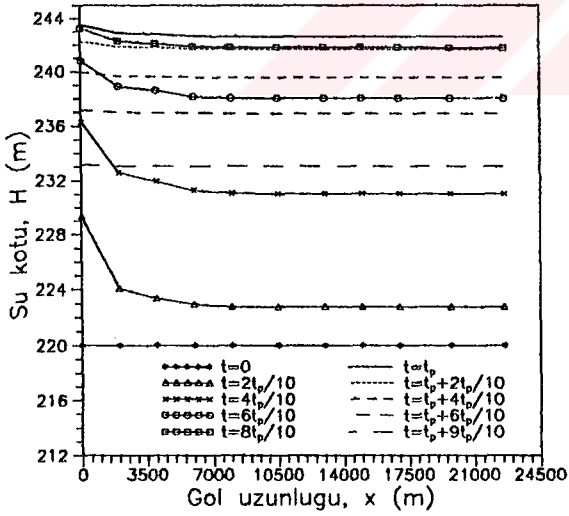
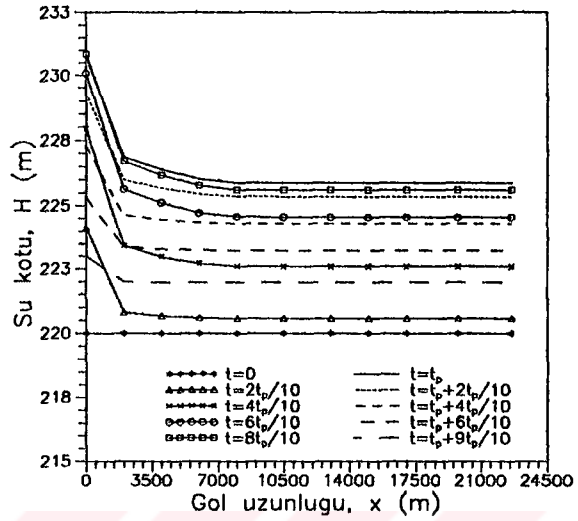
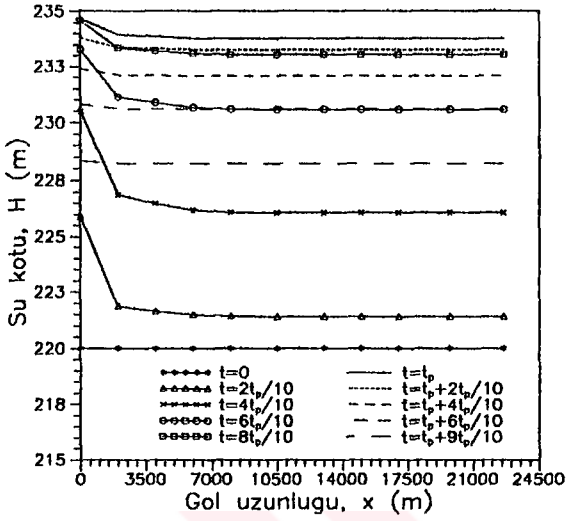
Şekil 6.29 Yamula Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x)



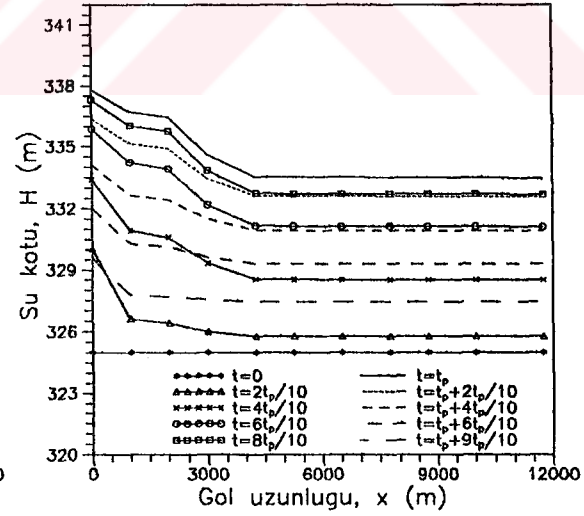
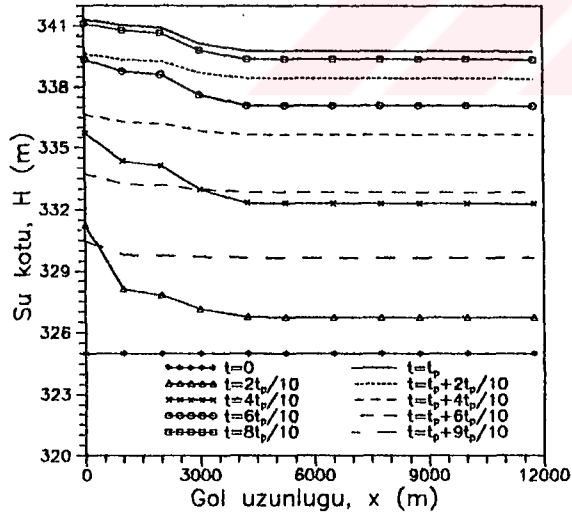
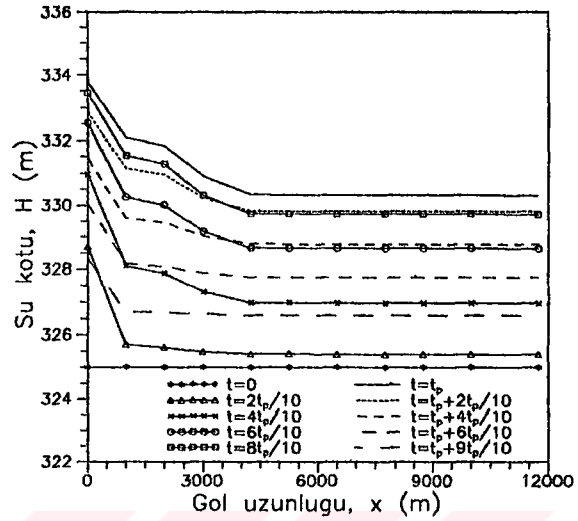
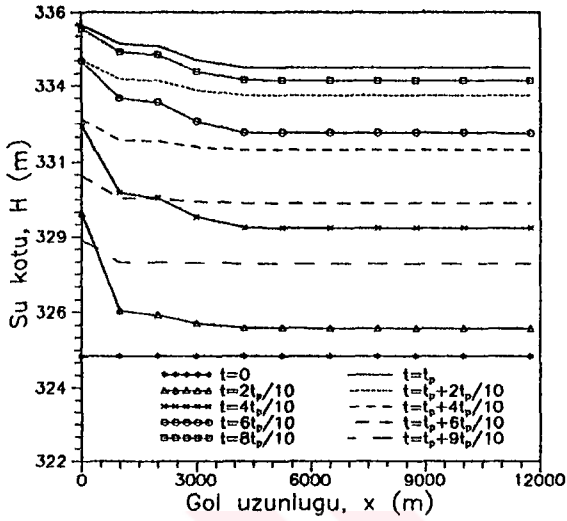
Şekil 6.30 Bayramhacılı Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x)



Şekil 6.31 Bahçelik Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x)



Şekil 6.32 Yedigöze Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x)



Şekil 6.33 Gezende Baraj Gölü Boyunca Su Kotunun Değişimi (H-x)

Çizelge 6.6 Hidrolik ve Hidrolojik Öteleme Sonuçlarının Karşılaştırılması

Baraj Adı	I_p (m^3/s)	L (m)	RRMHQ		ROUTM	
			$Q_p(m^3/s)$	H_p	$Q_p(m^3/s)$	H_p
Kayraktepe	2000	50	925	109.40	932	109.43
		150	1454	107.86	1457	107.87
	5000	50	2719	114.04	2740	114.09
		150	4004	110.62	4019	110.64
Berke	1000	10	533	328.93	522	328.80
		50	872	324.23	866	324.22
	3000	10	1892	340.76	1860	340.53
		50	2787	329.19	2772	329.16
Deriner	500	10	381	202.13	381	202.14
		30	466	198.92	465	198.92
	1000	10	809	206.78	810	206.80
		30	953	210.32	953	201.32
Yamula	6000	100	3040	1091.13	3073	1091.18
		300	4575	1088.87	4606	1088.89
	10000	100	5593	1094.21	5637	1094.26
		300	8066	1090.65	8108	1090.67
Bayramhacılı	2000	10	1241	980.68	1236	980.63
		40	1844	973.10	1838	973.08
	4000	10	2527	990.18	2515	990.10
		40	3711	977.91	3693	977.87
Bahçelik	1000	10	395	1496.30	400	1496.37
		50	772	1492.90	782	1492.94
	2000	10	910	1501.74	911	1501.76
		50	1654	1495.49	1660	1495.51
Yedigöze	3000	20	2043	233.77	2056	233.83
		100	2852	225.88	2852	225.88
	6000	20	4305	242.63	4301	242.61
		100	5798	229.44	5796	229.44
Gezende	1500	25	1389	334.17	1389	334.17
		60	1471	330.31	1472	330.32
	3000	25	2837	339.76	2830	339.74
		60	2962	333.48	2961	333.48
Karakaya	10000	100	3876	687.71	3997	687.86
		500	7658	684.38	7768	684.42
	15000	100	6304	690.48	6521	690.70
		500	11795	685.68	12146	685.78

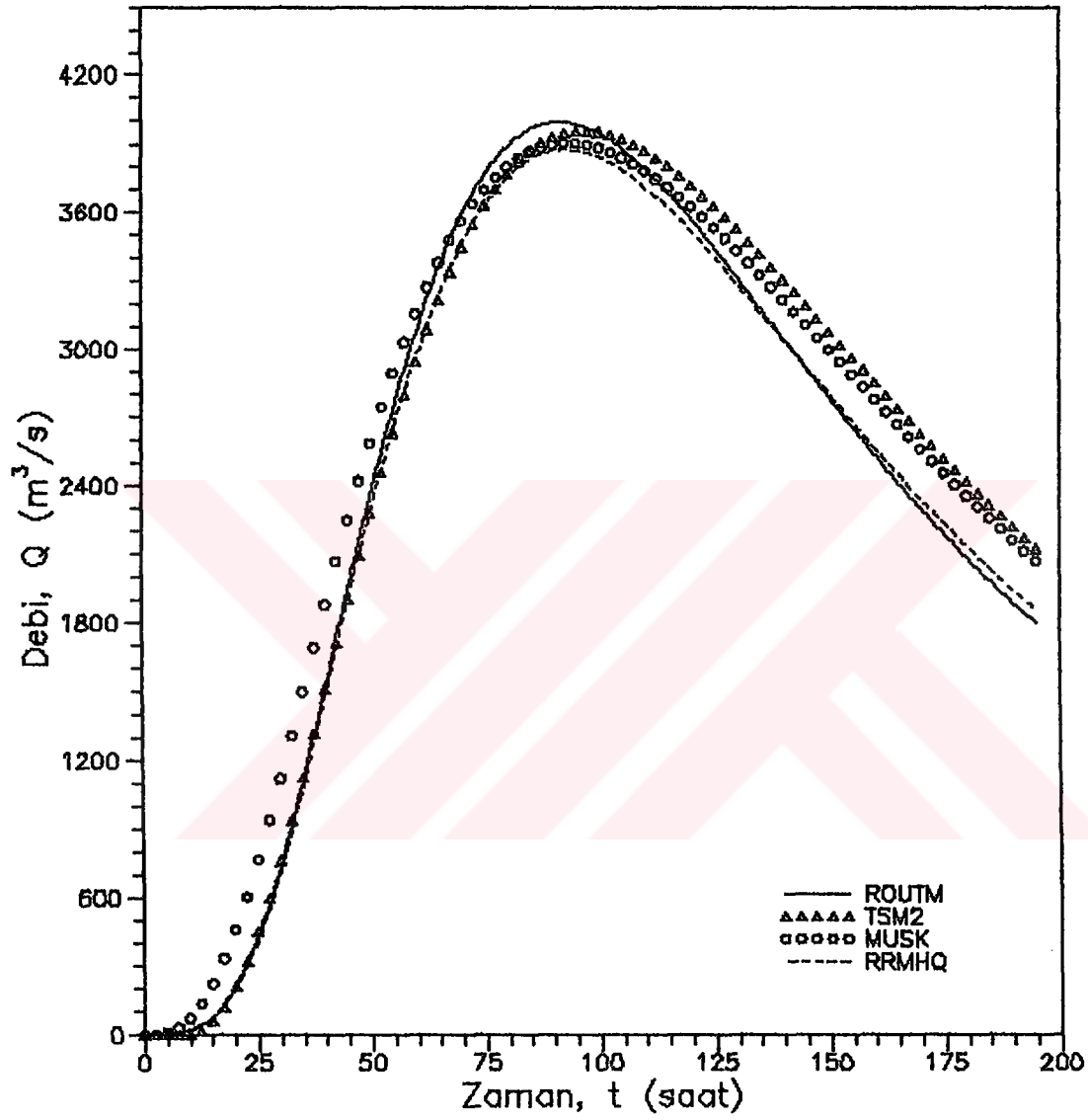
 Q_p : Pik debi değeri H_p : Su seviyesinin pik değeri

6.4 Muskingum Esaslı Modellerin Seçilen Barajlara Uygulanması ve Diğer Yöntemlerin Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

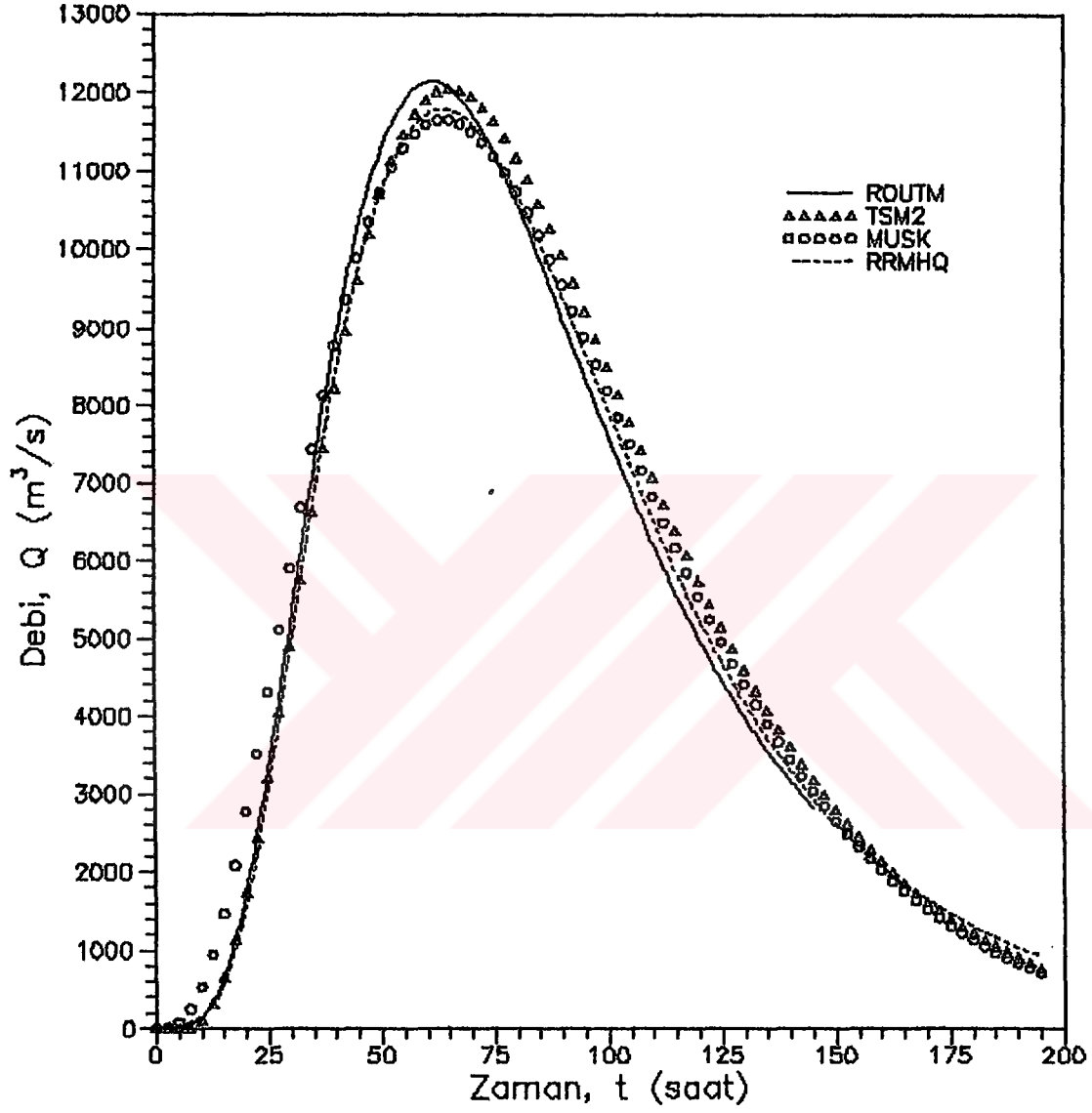
Muskingum yöntemine dayalı klasik ve iki safhalı öteleme yöntemleri barajların bütün kombinasyonlarına uygulanmıştır. Bu iki yönteme ait bilgisayar programları, menba kesitinde giriş hidrografi, mansap kesitinde ise RRMHQ programının hesapladığı çıkan akım hidrografını alarak X ile K parametrelerinin optimum değerini belirlemekte ve bu değerleri kullanarak çıkan akım hidrografını hesaplamaktadır. Çalışmada incelenen barajların tüm kombinasyonları için iki Muskingum esaslı (MUSK, TSM2), bir hidrolik(RRMHQ) ve bir klasik hidrolojik (ROUTM) olmak üzere toplam dört farklı yöntemle hesaplanan çıkan akım pikleri bağıl hataları ile birlikte toplu halde Çizelge 6.7’de gösterilmektedir. Bağıl hatanın belirlenmesinde, teorik olarak doğru olduğu kabulü ile hidrolik öteleme yönteminin sonuçları baz alınmaktadır. Bu sonuçlara göre, bazı durumlarda özellikle küçük savağa sahip barajlar için MUSK iyi sonuçlar verirken bazı kombinasyonlarda ise ROUTM iyi sonuçlar vermiştir. Fakat MUSK’ın verdiği bağıl hata genelde negatif değerli, ROUTM’nin verdiği bağıl hata ise 36 seçeneğin 13’ünde negatif değerli çıkmıştır. İki safhalı Muskingum yönteminin (TSM2) verdiği bağıl hata sonuçlarının ise hepsi pozitif ve en büyük olup pik debi değerleri çizelgedeki doğru sonuca en uzak değerleri oluşturmaktadır. Çizelgede görülen hidrolik öteleme programı RRMHQ’nun pik debi değerleri pürüzlülük katsayısı değeri $n=0.06$ alınarak hesaplanmış olanlarıdır. Karakaya barajının iki kombinasyonu için dört farklı yöntem ile çıkan akım hidrografları grafikler halinde Şekil 6.34 ve 6.35’de görülmektedir. Aradaki farkın daha iyi görülebilmesi amacıyla bu grafiklerde giriş hidrografları gösterilmemiştir.

Çizelge 6.7 Kullanılan Bütün Yöntemlerle Çıkan Akım Piklerinin Karşılaştırılması

Baraj Adı	I_p (m^3/s)	L (m)	RRMHQ $Q_p(m^3/s)$	ROUTM		MUSK		TSM2	
				Q_p	Bağıl hata	Q_p	Bağıl hata	Q_p	Bağıl hata
Kayraktepe	2000	50	925	932	0.76	929	0.43	945	2.16
		150	1454	1457	0.21	142	-1.79	1475	1.44
	5000	50	2719	2740	0.77	272	0.26	2788	2.54
		150	4004	4019	0.37	392	-1.90	4075	1.77
Berke	1000	10	533	522	-2.06	536	0.56	545	2.25
		50	872	866	-0.69	851	-2.41	888	1.83
	3000	10	1892	1860	-1.69	189	0.11	1936	2.33
		50	2787	2772	-0.54	272	-2.15	2832	1.61
Deriner	500	10	381	381	0.0	376	-1.31	389	2.10
		30	466	465	-0.21	455	-2.36	473	1.50
	1000	10	809	810	0.12	798	-1.36	825	1.98
		30	953	953	0.0	935	-1.89	967	1.47
Yamula	6000	100	3040	3073	1.09	305	0.43	3103	2.07
		300	4575	4606	0.68	449	-1.86	4661	1.88
	10000	100	5593	5637	0.79	559	0.09	5708	2.06
		300	8066	8108	0.52	788	-2.23	8215	1.85
Bayramhacılı	2000	10	1241	1236	-0.4	124	0.64	1270	2.34
		40	1844	1838	-0.33	182	-1.14	1880	1.95
	4000	10	2527	2515	-0.47	253	0.4	2574	1.86
		40	3711	3693	-0.49	368	-0.62	3782	1.91
Bahçelik	1000	10	395	400	1.27	397	0.51	403	2.03
		50	772	782	1.3	758	-1.81	788	2.07
	2000	10	910	911	0.11	917	0.77	930	2.2
		50	1654	1660	0.36	161	-2.18	1688	2.06
Yedigöze	3000	20	2043	2056	0.64	204	0.1	2093	2.45
		100	2852	2852	0.0	279	-2.03	2892	1.4
	6000	20	4305	4301	-0.09	429	-0.28	4386	1.88
		100	5798	5796	-0.03	570	-1.60	5868	1.21
Gezende	1500	25	1389	1389	0.0	136	-2.09	1411	1.58
		60	1471	1472	0.07	145	-1.22	1483	0.82
	3000	25	2837	2830	-0.25	279	-1.62	2878	1.45
		60	2962	2961	-0.03	293	-0.88	2982	0.68
Karakaya	10000	100	3876	3997	3.12	390	0.7	3955	2.04
		500	7658	7768	1.44	752	-1.70	7814	2.04
	15000	100	6304	6521	3.44	634	0.6	6420	1.84
		500	11795	12146	2.98	116	-1.17	1205	2.18



Şekil 6.34 Karakaya Barajı $I=10000$, $L=100$ İçin Çıkan Akım Hidrograflarının Farklı Yöntemlerle Karşılaştırılması



Şekil 6.35 Karakaya Barajı $I=15000$, $L=500$ İçin Çıkan Akım Hidrograflarının Farklı Yöntemlerle Karşılaştırılması

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Genellikle derin vadilerde yer alan dar ve uzun rezervuara sahip barajlardan taşkın ötelenmesinde, yalnızca süreklilik denklemi esasına dayanan hidrolojik yöntemler suyun gerçek hareketini yansıtamamaktadır. Bu tür baraj rezervuarlarının bir nehir gibi davranabileceği dolayısıyla suyun dinamik etkilerinin ve sürtünme kayıplarının da göz önüne alınması gerekçesiyle hidrolik öteleme yöntemine başvurulmuştur. Süreklilik ve hareket denklemlerinin çözümüyle sonuca ulaşılan bu yöntemde nonlinear denklem takımının analitik çözümü mevcut olmadığından sayısal çözüm yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, dört noktalı kapalı sonlu farklarla ifade edilen diferansiyel denklem takımı için, menba ve mansap sınır şartları altında Newton Raphson İterasyon tekniği ile çözüme ulaşan bir sayısal model oluşturulmuştur. Bu model Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden seçilen ince ve uzun göl alanına sahip dokuz baraj vadisine uygulanmıştır. Her bir baraj rezervuarı için iki farklı taşkın hidrografi ve iki farklı savak boyu olmak üzere toplam dört kombinasyon alınmıştır. Yapılan uygulamalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yapılan uygulamalarda hidrolojik ve hidrolik öteleme sonuçları arasında önemli ölçüde bir farka rastlanmamıştır. Pik debiler arasındaki en büyük fark % 3.5 düzeyindedir. Ayrıca bazı barajlarda (Berke ve Bayramhacılı) pozitif çıkması beklenen bu fark teoremin aksine, çok küçük değerli de olsa negatif çıkmıştır. Küçük savaklı kombinasyonlarda aradaki farkın büyük savaklı kombinasyonlara göre daha büyük olduğu saptanmıştır. Baraj mansabında iki yöntemle de hesaplanan göl su kotu pikleri arasında da, pik debi farklarına benzer şekilde önemli ölçüde bir fark gözlenmemiştir. Büyük savak durumunda H-t grafiklerinde kesitten kesite zamana bağlı değişim gözlenirken küçük savak durumunda belirgin bir değişim olmamıştır. Sonuç olarak, suyun dinamik etkilerinin bu tür barajlarda sanıldığı kadar etkili olmadığını süreklilik denkleminin, hareket denklemi üzerinde dominant olduğunu söylemek mümkündür. Dolayısıyla çözüm yöntemi oldukça basit olan hidrolojik öteleme, çözüm tekniği çok karmaşık olan ve elde edilmesi güç data gerektiren hidrolik öteleme yerine kullanılabilir.

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

3. Bu çalışmada incelenen baraj rezervuarlarının bazılarında en menba ucundaki bir kaç kesitin taban kotları baraj savağının kret kotuna çok yakın değerler olduğundan taşıdıkları su miktarı diğer kesitlere göre çok az olmaktadır. Akarsu gibi davranan bu kesitlerin, rezervuar niteliğindeki diğer kesitlerle olan uyumsuzluğundan dolayı H-x grafiklerinin ilk üç kesitinde ani düşüşler gözlenmiştir. Karakaya Barajı için, söz konusu olan bu kesitler atılarak çözüm yapılmış ve elde edilen H-x grafiğinde bu ani düşüşlerin yok olduğu görülmüştür (Bkz. Ek 4).

4. Hidrolik öteleme yöntemi için oluşturulan sayısal çözüm modelinin taban pürüzlülüğüne olan duyarlılığı incelenmiş ve pürüzlülük katsayısı n 'in debiye olan etkisi açısından istikrarlı bir sonuca ulaşılammıştır. Karakaya Barajı'nda n artarken Q azalmakta bazı barajlarda ise değişim oranı az olmakla birlikte tam tersi durum söz konusu olmaktadır. Aynı durum paket program DUFLOW ile de ortaya çıkmıştır. Bunun nedeninin vadinin geometrik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca savak boyu uzadıkça pik debilerin n 'e göre duyarlılığı artmıştır (Şekil 6.8).

5. Hidrolik öteleme sonuçlarının doğru olduğu kabulü ile Muskingum esaslı yöntemlerden Klasik Muskingum yönteminin sonuçları küçük savaklı hallerin bazıları için hidrolojik öteleme sonuçlarından daha iyi çıkmıştır. Hesap yükü daha fazla olmasına rağmen İki Safhalı Muskingum yöntemi diğer yöntem kadar başarılı olamamıştır. Bu yöntemin, ilerde doğal akarsu parçalarına uygulanması denenecektir.

KAYNAKLAR

ABBOT, M.B., CUNGE, J.A., LIGGETT, J.A., MAHMOOD, K., MILLER, W.A., SIMONS, D.B., WOOLHISER, D.A, and YEVJEVICH, V., 1975, Unsteady Flow in Open Channels, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, 1:89-250.

AMEIN, M., and HSIAO-LING CHU, A.M., June, 1975, Implicit Numerical Modeling of Unsteady Flows, ASCE, Journal of the Hydraulics Division, 101(HY6):717-731.

BARKAU, R.L., 1992, UNET, One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels, Computer Program, St. Louis, M.O.

BRUTSAERT, W., September, 1971, De Saint-Venant Equations Experimentally Verified, ASCE, Journal of the Hydraulics Division, 97 (HY9):1387-1399.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. and MAYS, L.W., 1988a, Applied Hydrology, McGraw-Hill Book.Co., New York, 572s.

CHOW, V.T., 1988b, Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Co., New York, 572s.

CROLEY, T.E., 1980, Gamma Synthetic Hydrographs, Journal of Hydrology, 47:41-52.

CUNGE, J.A., 1969, On the Subject of a Flood Propagation Method, International Association of Hydraulics Research, 7 (2):205-230.

DSİ 6.ve 12. Bölge Müdürlükleri Arşivi, 1997.

ERKEK, C., ve AĞIRALIOĞLU N., 1986, Su Kaynakları Mühendisliği, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 417s.

FREAD, D.L., 1978, DWOPER (Dynamic Wave Operational Model), Computer Program, National Weather Service (NOAA), Maryland.

FRENCH, R.H., 1986, Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Co., New York, 705s.

GORING, G.D., 1984, Flood Routing by a Linear Systems Analysis Technique, Journal of Hydrology, 69:59-76.

HAKTANIR, T. and OZMEN, H., February, 1997, Comparison of Hydraulic and Hydrologic Routing on Three Long Reservoirs, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 123 (2):153-157.

HROMADKA, T.V. and DeVRIES, J.J., February, 1988, Kinematic Wave Routing and Computational Error, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 114(2):207-217.

HUANG, J. and SONG, C.C.S., December, 1985, Stability of Dynamic Flood Routing Schemes, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 111 (12):1497-1505.

JIN, M. and FREAD, D.L., October, 1996, Channel Routing with Flow Losses, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 122 (10):580-582.

JIN, M., and FREAD, D.L March, 1997, Dynamic Flood Routing with Explicit and Implicit Numerical Solution Schemes, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 123 (3):166-173.

JOLIFFE, I.B., October, 1984, Computation of Dynamic Waves in Channel Networks, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 110 (10):1358-1370.

KARAHAN, H., Ekim,1993, Açık Kanallardaki Değişken Akımların İmplicit Dinamik Dalga Modeliyle Hesabı, 1. Teknik Kongre, Kuzey Kıbrıs, 1:216-223.

LYN, D.A. and GOODWIN, P., January, 1987, Stability of a General Preissmann Scheme, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 113 (1):16-28.

LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A., and PAULHUS, J.L.H., 1982, Hydrology for Engineers, McGraw-Hill, 508s.

ÖZMEN, H., Eylül, 1993, Comparison of Hydraulic and Hydrologic Routing Methods for Dams Having Thin and Long Reservoirs, Master Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 64s.

PONCE, V.M., INDLEKOFER, H. and SIMONS, D.B., July, 1978, Convergence of Four-Point Implicit Water Wave Models, ASCE, Journal of Hydraulics Division 104 (HY7):947-957.

SPAANS, W., BOOIJ, N., PRAAGMAN, N., NOORMAN, R. and LANDER, J., 1989, DUFLOW, A Micro-Computer Package for the Simulation of One-Dimensional Unsteady Flow in Open Channel Systems, The Hague, The Netherlands.

STRELKOFF, T.S. and FALVEY, H.T., July/August, 1993, Numerical Methods Used to Model Unsteady Canal Flow, ASCE, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 119 (4):637-655.

**US ARMY CORPS of ENGINEERS, 1995, HEC-RAS River Analysis System,
Hydraulic Reference Manual, Version 1.0, Davis, California.**

**YURTAL, R., Eylül,1993, Çoklu Baraj Sistemlerinin Enerji Optimizasyonu İçin
Geliştirilen Etkin Bir Artırımlı Dinamik Programlama Modeli ve Aşağı
Seyhan Havzasına Uygulanması, Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,
Adana, 101s.**



ÖZGEÇMİŞ

1966 yılında Kayseri’de doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Adana’da tamamladım. Yüksek öğrenimime O.D.T.Ü. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde başladım ve 1990 tarihinde mezun oldum. 1991 eğitim yılı bahar döneminde Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimime başladım. 1993 eğitim yılı güz döneminde Yüksek Lisans eğitimimi tamamlayıp aynı bölümde doktora eğitimime devam ettim. 10.07.1991 tarihinden beri Araştırma Görevlisi olarak Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde görevimi sürdürmekteyim.



EKLER

EK 1. JACOBIAN MATRİSİNİN ELDE EDİLMESİ

Bölüm 3.4 ve 3.4.2’de açıklandığı gibi Jacobian matrisi, bu çalışmada $2n-2$ adet denklemin $2n-2$ adet bilinmeyene göre birinci türevinin alınması ile elde edilmektedir. Burada C süreklilik denklemini M ise hareket denklemini simgelemektedir.

Bilinmeyen Vektörü:

$$\{ h_1^{j+1}, h_2^{j+1}, Q_2^{j+1}, h_3^{j+1}, Q_3^{j+1}, \dots, h_i^{j+1}, Q_i^{j+1}, \dots, h_{n-2}^{j+1}, Q_{n-2}^{j+1}, h_{n-1}^{j+1}, Q_{n-1}^{j+1}, h_n^{j+1} \}$$

şeklinde yazılır.

Süreklilik denkleminin sonlu farklar formu (C):

$$\theta(Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}) + (1-\theta)(Q_{i+1}^j - Q_i^j) + \frac{\Delta x_i}{2\Delta t} (A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1} - A_i^j - A_{i+1}^j) = 0 \quad (\text{Ek 1.1})$$

Süreklilik denklemindeki diferansiyel terimler h ve Q parametrelerine bağlıdır. C’nin h parametresine göre türevi alınırken zincir kuralı uygulanmaktadır (Ek 1.2).

$$\frac{\partial C}{\partial h} = \frac{\partial C}{\partial A} \frac{\partial A}{\partial h} = \frac{\partial C}{\partial A} B \quad (\text{Ek 1.2})$$

Süreklilik denkleminin $h_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, Q_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}$ parametrelerine göre birinci türevleri sırasıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{\partial C}{\partial h_i^{j+1}} = \frac{\Delta x_i}{2\Delta t} B_i^{j+1} \quad (\text{Ek 1.3})$$

$$\frac{\partial C}{\partial h_{i+1}^{j+1}} = \frac{\Delta x_i}{2\Delta t} B_{i+1}^{j+1} \quad (\text{Ek 1.4})$$

$$\frac{\partial C}{\partial Q_i^{j+1}} = -\theta \quad (\text{Ek 1.5})$$

$$\frac{\partial C}{\partial Q_i^{j+1}} = -\theta \quad (\text{Ek 1.6})$$

Hareket denkleminin sonlu farklar formu (M):

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta x_i}{2\Delta t} (Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j) + \theta [(Q^2/A)_{i+1}^{j+1} - (Q^2/A)_i^{j+1}] \\ & + (1-\theta) [(Q^2/A)_{i+1}^j - (Q^2/A)_i^j] \\ & + g \left[\frac{\theta}{2} (A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1}) + \frac{(1-\theta)}{2} (A_i^j + A_{i+1}^j) \right] \left\{ \theta (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}) + (1-\theta) (h_{i+1}^j - h_i^j) + \right. \\ & \left. \Delta x_i \left[\frac{\theta}{2} (S_{fi}^{j+1} + S_{fi+1}^{j+1}) + \frac{(1-\theta)}{2} (S_{fi}^j + S_{fi+1}^j) \right] \right\} \\ & + \Delta x_i W_f \left[\frac{\theta}{2} (B_i^{j+1} + B_{i+1}^{j+1}) + \frac{(1-\theta)}{2} (B_i^j + B_{i+1}^j) \right] = 0 \end{aligned} \quad (\text{Ek 1.7})$$

Aynı şekilde hareket denkleminin de $h_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, Q_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}$ parametrelerine göre birinci türevleri de aşağıda görüldüğü gibi tek tek elde edilir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial h_i^{j+1}} &= \theta \left(\frac{Q^2}{A^2} \right)_{i+1}^{j+1} B_{i+1}^{j+1} + g \left(\frac{\theta}{2} \right) B_{i+1}^{j+1} \left\{ \theta (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}) + (1-\theta) (h_{i+1}^j - h_i^j) \right. \\ & \left. + \Delta x_i \left[\frac{\theta}{2} (S_{fi}^{j+1} + S_{fi+1}^{j+1}) + \left(\frac{1-\theta}{2} \right) (S_{fi}^j + S_{fi+1}^j) \right] \right\} \\ & + g \left[\frac{\theta}{2} (A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1}) + \left(\frac{1-\theta}{2} \right) (A_i^j + A_{i+1}^j) \right] \left\{ -\theta + \Delta x_i \left(\frac{\theta}{2} \right) \left(\frac{\partial S_f}{\partial h} \right)_i^{j+1} \right\} \quad (\text{Ek 1.8}) \end{aligned}$$

$\left(\frac{\partial S_f}{\partial h}\right)_i^{j+1}$ ifadesi, Manning denkleminde faydalanılarak S_f 'nin formülünün yazılıp

h 'a göre birinci türevinin alınması ile elde edilir.

Manning ifadesi:

$$S_{f_i}^{j+1} = n^2 \frac{(P_i^{j+1})^{4/3}}{(A_i^{j+1})^{10/3}} (Q_i^{j+1})^2 \quad (\text{Ek 1.9})$$

Bu formülde n (pürüzlülük katsayısı) bütün kesitler için sabit alınmıştır. S_f 'nin h 'a göre türevi alınıp gerekli matematiksel düzenlemeler yapıldıktan sonra aşağıda görülen Ek.1.10 ifadesi elde edilir.

$$\frac{\partial S_{f_i}^{j+1}}{\partial h_i^{j+1}} = n^2 (Q_i^{j+1})^2 \left\{ \frac{(P_i^{j+1})^{1/3} \left[\frac{4}{3} A_i^{j+1} \left(\frac{\partial P}{\partial h} \right)_i^{j+1} - \frac{10}{3} P_i^{j+1} B_i^{j+1} \right]}{(A_i^{j+1})^{13/3}} \right\} \quad (\text{Ek 1.10})$$

S_f 'nin sırasıyla Q_i^{j+1} , Q_{i+1}^{j+1} , ve h_{i+1}^{j+1} 'a, göre de türevleri alınır:

$$\frac{\partial S_{f_i}^{j+1}}{\partial Q_i^{j+1}} = 2 Q_i^{j+1} n^2 \frac{(P_i^{j+1})^{4/3}}{(A_i^{j+1})^{10/3}} \quad (\text{Ek 1.11})$$

$$\frac{\partial S_{f_{i+1}}^{j+1}}{\partial Q_{i+1}^{j+1}} = 2 n^2 Q_{i+1}^{j+1} \frac{(P_{i+1}^{j+1})^{4/3}}{(A_{i+1}^{j+1})^{10/3}} \quad (\text{Ek 1.12})$$

$$\frac{\partial S_{f_{i+1}}^{j+1}}{\partial h_{i+1}^{j+1}} = n^2 (Q_{i+1}^{j+1})^2 \left\{ \frac{(P_{i+1}^{j+1})^{1/3} \left[\frac{4}{3} A_{i+1}^{j+1} \left(\frac{\partial P}{\partial h} \right)_{i+1}^{j+1} - \frac{10}{3} P_{i+1}^{j+1} B_{i+1}^{j+1} \right]}{(A_{i+1}^{j+1})^{13/3}} \right\} \quad (\text{Ek 1.13})$$

$$\frac{\partial M}{\partial Q_i^{j+1}} = \frac{\Delta x_i}{2\Delta t} - 2\theta \frac{Q_i^{j+1}}{A_i^{j+1}} + g \left[\frac{\theta}{2} (A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1}) + \left(\frac{1-\theta}{2} \right) (A_i^j + A_{i+1}^j) \right] \left[\Delta x_i \frac{\theta}{2} \frac{\partial S_{f_i}^{j+1}}{\partial Q_i^{j+1}} \right] \quad (\text{Ek 1.14})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial h_{i+1}} = & -\theta \frac{Q_{i+1}^2 B_{i+1}^{j+1}}{(A_{i+1}^{j+1})^2} + g \frac{\theta}{2} B_{i+1}^{j+1} \left\{ \theta (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}) + (1-\theta) (h_{i+1}^j - h_i^j) \right. \\ & \left. + \Delta x_i \left[\frac{\theta}{2} (S_{f_i}^{j+1} + S_{f_{i+1}}^{j+1}) + \left(\frac{1-\theta}{2} \right) (S_{f_i}^j - S_{f_{i+1}}^j) \right] \right\} \\ & + g \left[\frac{\theta}{2} (A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1}) + \left(\frac{1-\theta}{2} \right) (A_i^j + A_{i+1}^j) \right] \left\{ \theta + \Delta x_i \frac{\theta}{2} \left(\frac{\partial S_f}{\partial h} \right)_{i+1}^{j+1} \right. \\ & \left. + \Delta x_i W \frac{\theta}{2} \left(\frac{\partial B}{\partial h} \right)_{i+1}^{j+1} \right\} \quad (\text{Ek 1.15}) \end{aligned}$$

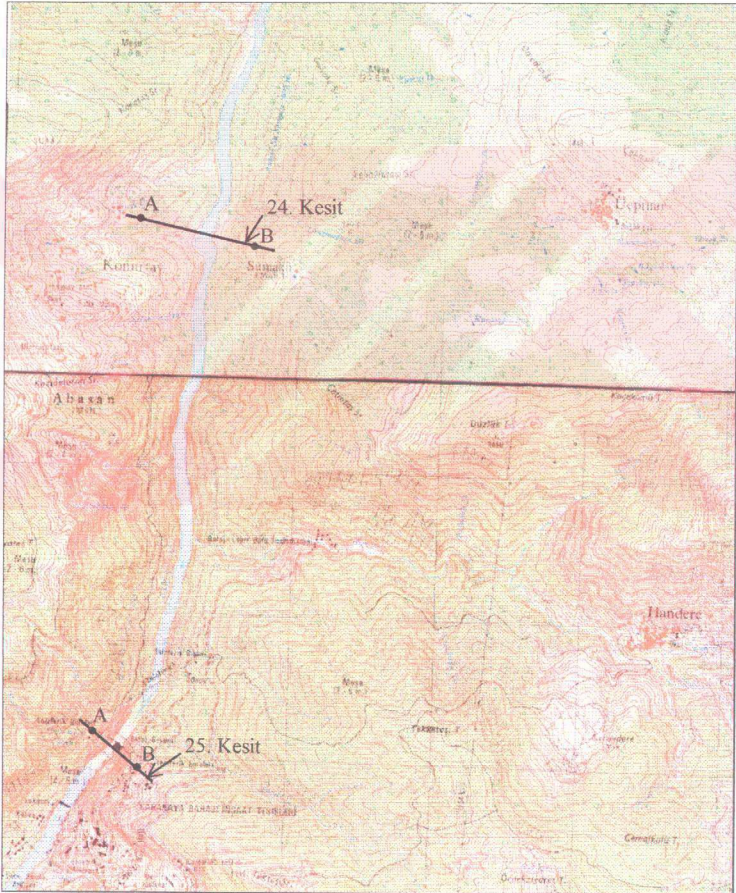
$$\begin{aligned} \frac{\partial M_i}{\partial Q_{i+1}^{j+1}} = & \frac{\Delta x_i}{2\Delta t} + 2\theta \left(\frac{Q}{A} \right)_{i+1}^{j+1} \\ & + g \left[\frac{\theta}{2} (A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1}) + \left(\frac{1-\theta}{2} \right) (A_i^j + A_{i+1}^j) \right] \left[\Delta x_i \frac{\theta}{2} \left(\frac{\partial S_f}{\partial Q} \right)_{i+1}^{j+1} \right] \quad (\text{Ek 1.16}) \end{aligned}$$

Bu çalışmada menba sınır şartı, giriş hidrografi (Q_1) olup bilinen bir değer olduğu için Jacobian matrisinin ilk iki satırını oluşturan 1 numaralı süreklilik ve momentum denklemlerinin türev ifadelerinde yer almaz. Aynı şekilde mansapta da Q_n , h_n cinsinden yazılabildiği için bilinmeyen olmaktan çıkar ve Jacobian matrisinin son iki satırını oluşturan n numaralı süreklilik ve momentum denklemlerinin türev ifadelerinde yer almaz. Böylece aşağıda görüldüğü gibi Jacobian matrisinin ilk iki ve son iki satırında üçer türev elemanı ara satırlarında ise dörder türev elemanı yer almaktadır.

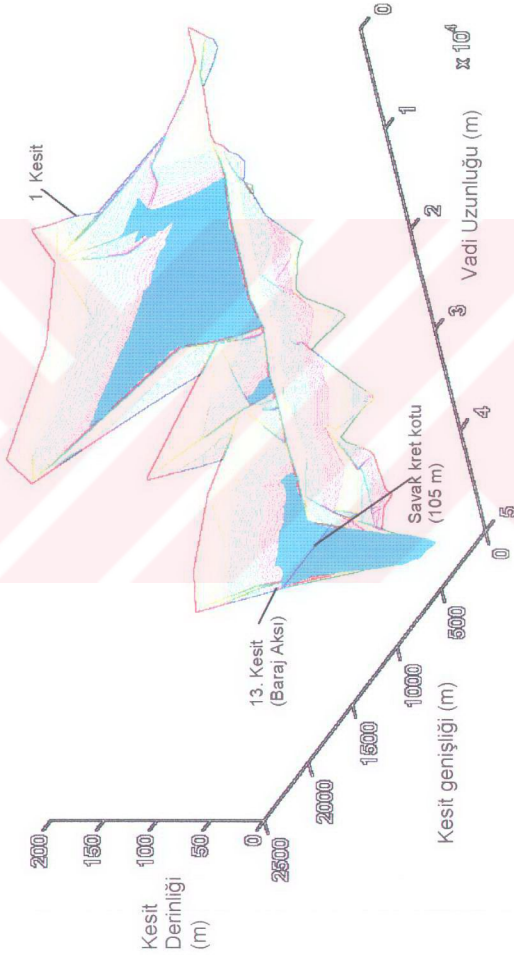
$\frac{\partial c_1}{\partial h_1}$	$\frac{\partial c_1}{\partial h_2}$	$\frac{\partial c_1}{\partial Q_2}$	0	0	.	.	.	.	.	.	0
$\frac{\partial M_1}{\partial h_1}$	$\frac{\partial M_1}{\partial h_2}$	$\frac{\partial M_1}{\partial Q_2}$	0	0	.	.	.	.	.	.	0
0	$\frac{\partial c_2}{\partial h_2}$	$\frac{\partial c_2}{\partial Q_2}$	$\frac{\partial c_2}{\partial h_3}$	$\frac{\partial c_2}{\partial Q_3}$	0	0	.	.	.	.	0
0	$\frac{\partial M_2}{\partial h_2}$	$\frac{\partial M_2}{\partial Q_2}$	$\frac{\partial M_2}{\partial h_3}$	$\frac{\partial M_2}{\partial Q_3}$	0	0	.	.	.	.	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	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	.	.	.	.	.	.	$\frac{\partial \dot{c}_{n-2}}{\partial h_{n-2}}$	$\frac{\partial \dot{c}_{n-2}}{\partial Q_{n-2}}$	$\frac{\partial \dot{c}_{n-2}}{\partial h_{n-1}}$	$\frac{\partial \dot{c}_{n-2}}{\partial Q_{n-1}}$	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	.	.	.	.	.	.	.	0	$\frac{\partial c_{n-1}}{\partial h_{n-1}}$	$\frac{\partial c_{n-1}}{\partial Q_{n-1}}$	$\frac{\partial c_{n-1}}{\partial h_n}$
0	.	.	.	.	.	.	.	0	$\frac{\partial M_{n-1}}{\partial h_{n-1}}$	$\frac{\partial M_{n-1}}{\partial Q_{n-1}}$	$\frac{\partial M_{n-1}}{\partial h_n}$

EK 2. KARAKAYA BARAJ VADİSİ SON İKİ KESİTİNİN 1/25000 ÖLÇEKLİ HARİTADA GÖSTERİMİ

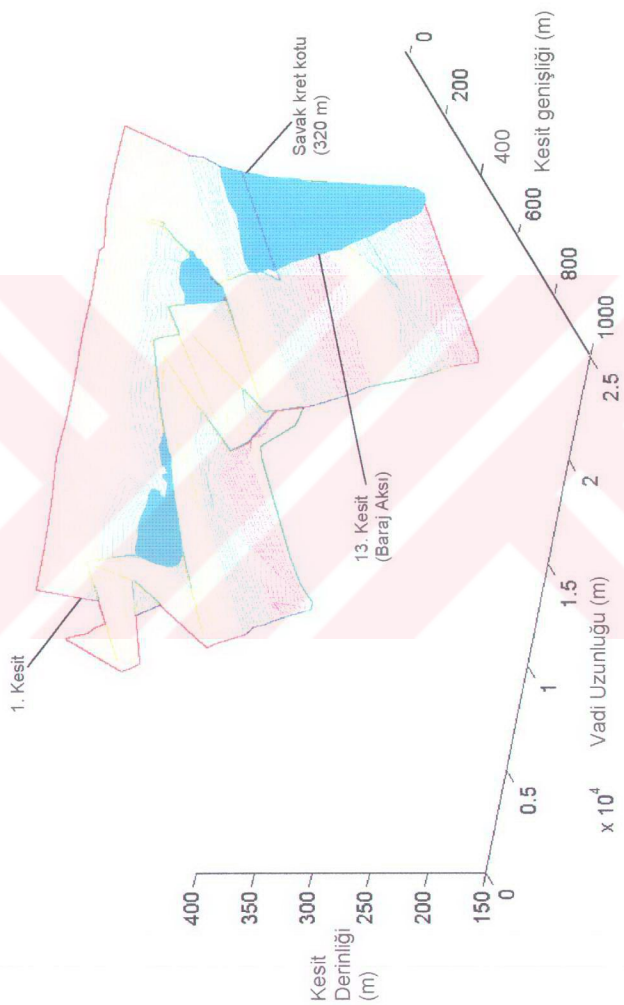
Aşağıda görülen 1/25000 ölçekli haritada Karakaya Barajının son iki kesiti yer almakta olup A noktası 730 m (bu çalışmada kullanılan maksimum vadi kotu) kotundaki sağ sahili B noktası ise 730 m kotundaki sol sahili simgelemektedir.



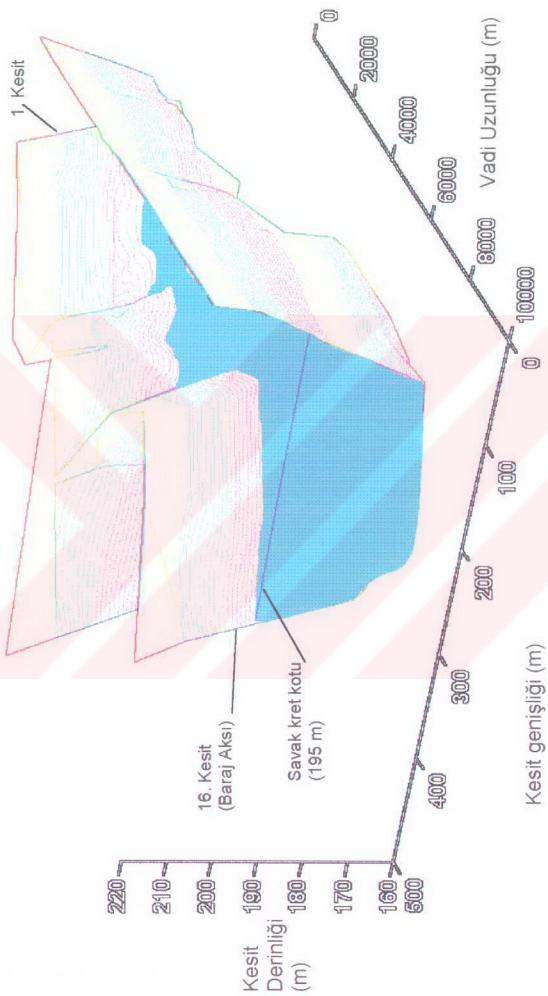
EK 3. ÇALIŞMADA KULLANILAN DİĞER BARAJLARA AİT VADI PROFİLLERİ



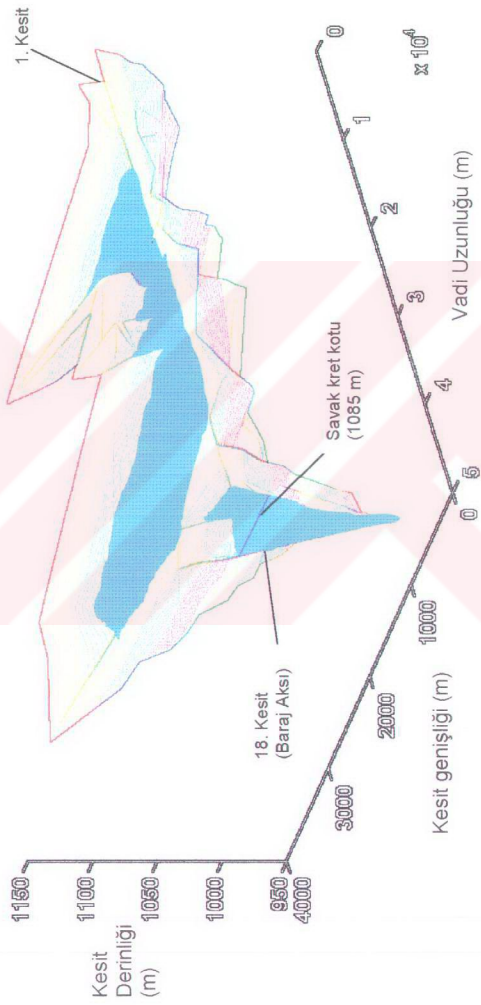
Şekil Ek 3.1 Kayraktepe Barajı Vadi Profili



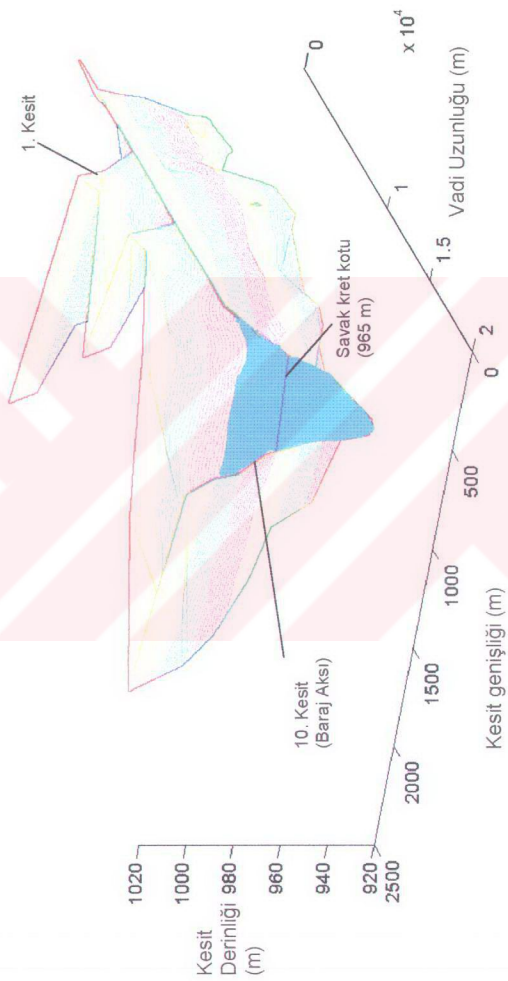
Şekil Ek 3.2 Berke Barajı Vadi Profili



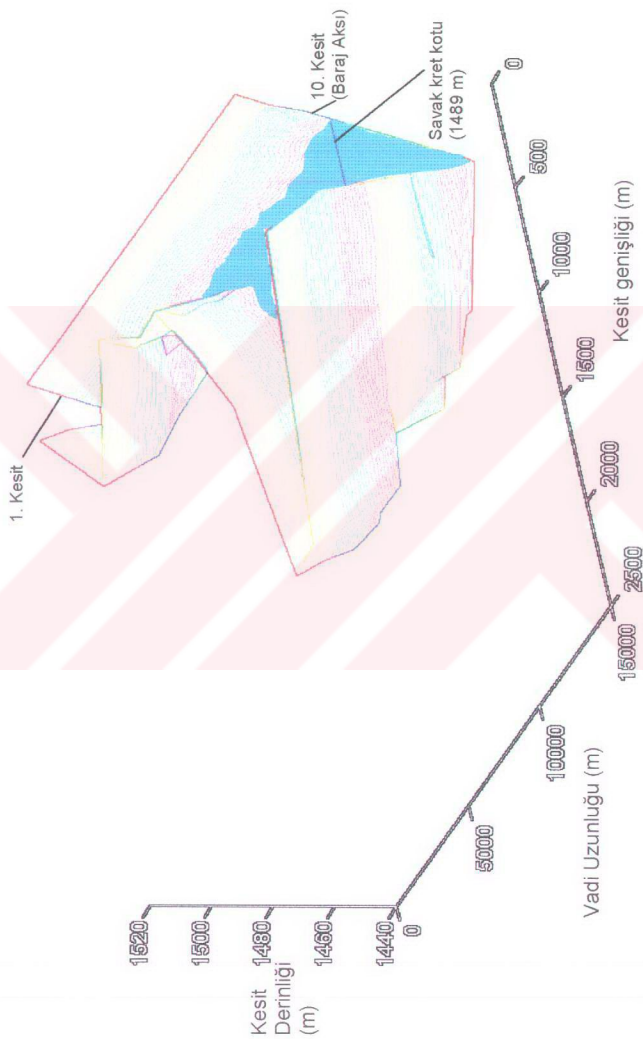
Şekil Ek 3.3 Deriner Barajı Vadi Profili



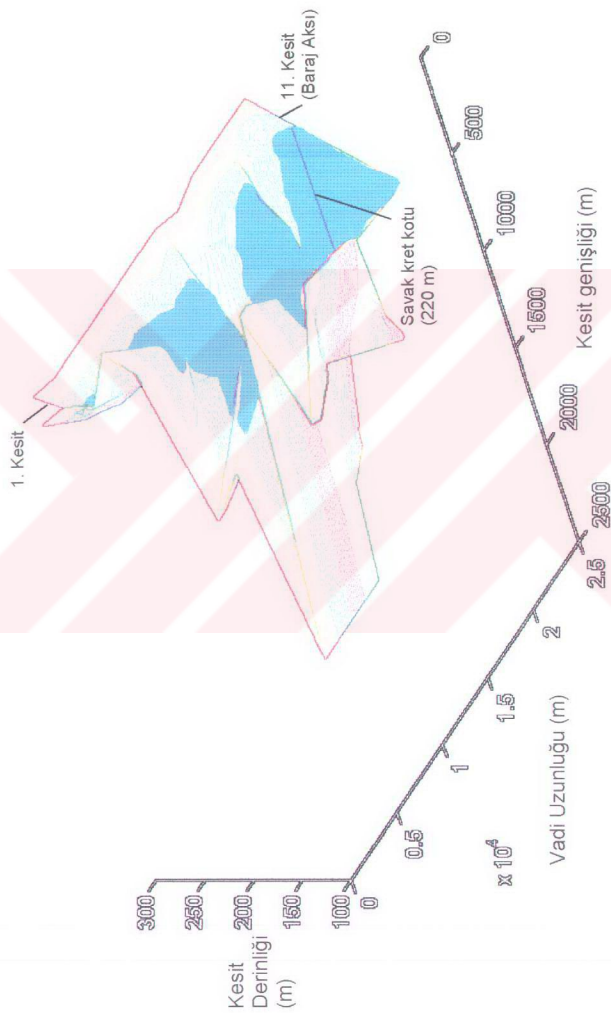
Şekil Ek 3.4 Yamula Barajı Vadi Profili



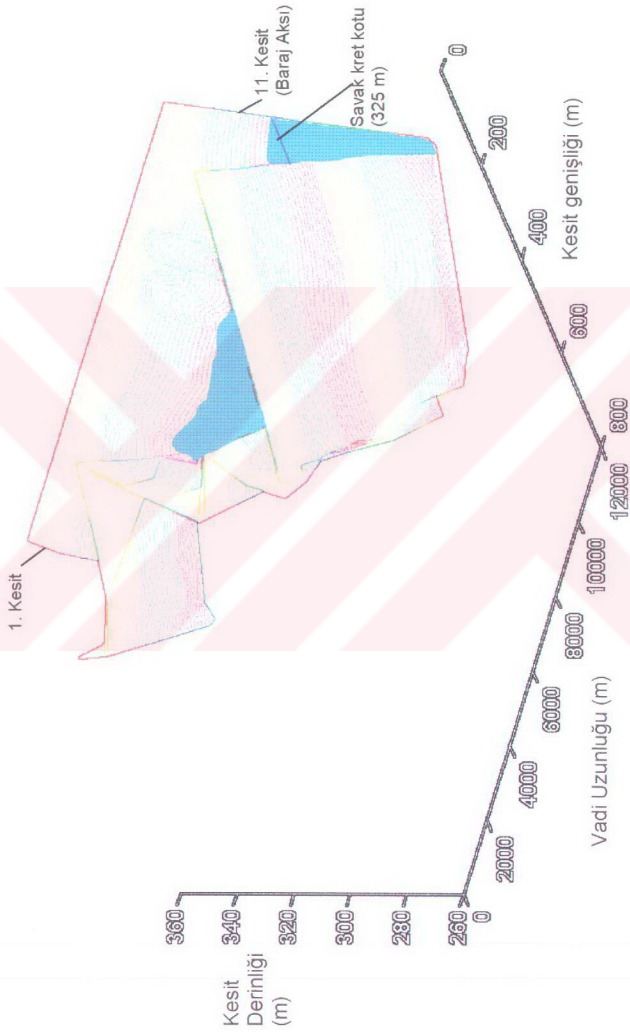
Şekil Ek 3.5 Bayramhacılı Barajı Vadi Profili



Şekil Ek 3.6 Bahçelık Barajı Vadi Profili



Şekil Ek 3.7 Yedigöze Barajı Vadi Profili

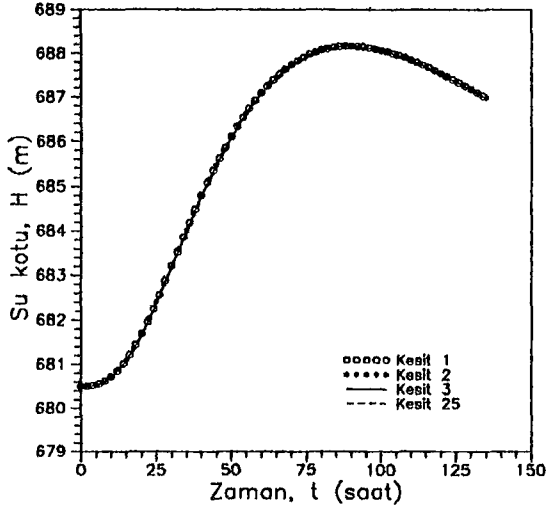


Şekil Ek 3.8 Gezende Barajı Vadi Profili

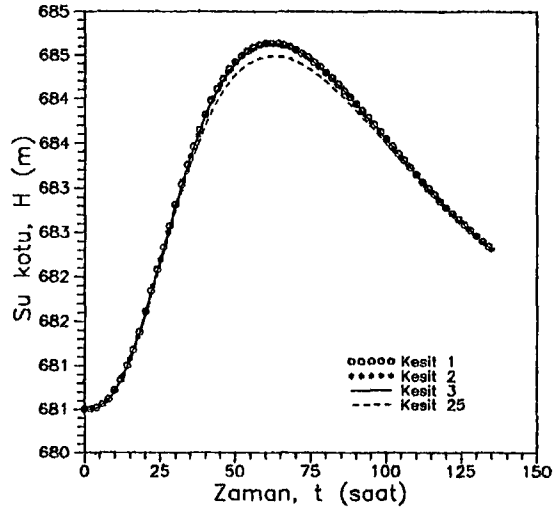
Çizelge Ek 3.1 Baraj Gölü Kesitlerinin Savak Kret Kotlarındaki Su Yüzü Genişlikleri ve Kesit Mesafeleri

Kesit no.	Kayraktepe		Deriner		Berke		Yamula		Bahçelik		Bayramhacılı		Gezende		Yedigöze		Karakaya	
	B	L _{kesit}	B	L _{kesit}	B	L _{kesit}	B	L _{kesit}	B	L _{kesit}	B	L _{kesit}	B	L _{kesit}	B	L _{kesit}	B	L _{kesit}
1	395	0	41	0	44	0	100	0	75	0	75	0	15	0	30	0	165	0
2	595	4625	75	602	120	2000	120	2750	275	2750	30	2000	165	1000	65	2000	250	4750
3	665	5500	107	940	94	2000	190	2750	115	1500	80	2000	90	1000	125	2000	2020	8000
4	495	4600	95	331	198	2000	280	2500	170	1750	195	1500	35	1000	80	2000	2150	3500
5	170	4000	162	368	314	2000	1950	2750	200	1500	120	1750	105	1250	195	2000	2620	8750
6	650	4500	115	610	272	2000	220	2500	400	1500	85	1750	185	1000	460	2500	1990	6750
7	230	3125	146	310	284	2000	630	2750	875	1625	220	1500	270	1250	360	2500	3000	6000
8	420	3575	187	460	232	2000	815	2750	1650	1250	460	1750	285	1250	635	2000	3300	6000
9	935	4025	360	331	220	2000	700	2500	1700	1250	750	2750	415	1000	540	2000	3210	8125
10	1775	3125	257	190	488	500	410	4375	300	1250	360	1625	400	1250	505	2750	2050	6250
11	860	4275	170	381	234	1500	2600	4500					100	1750	665	2850	1920	5000
12	255	3125	176	944	310	2000	2700	3750									3425	4250
13	380	4000	132	397	326	2000	3670	3000									1700	6000
14			177	1272			1700	2750									1450	4000
15			162	771			3300	2500									265	5000
16			272	975			635	2500									335	4500
17							760	2500									390	4625
18							580	2500									435	4750
19																	525	5250
20																	485	4875
21																	685	4000
22																	425	4875
23																	495	5250
24																	530	4500
25																	340	3750
B _{gen}	602		165		241		1187		576		238		188		333		1366	
L _{ort}	48475		8882		22000		49625		14375		16625		11750		22600		128750	

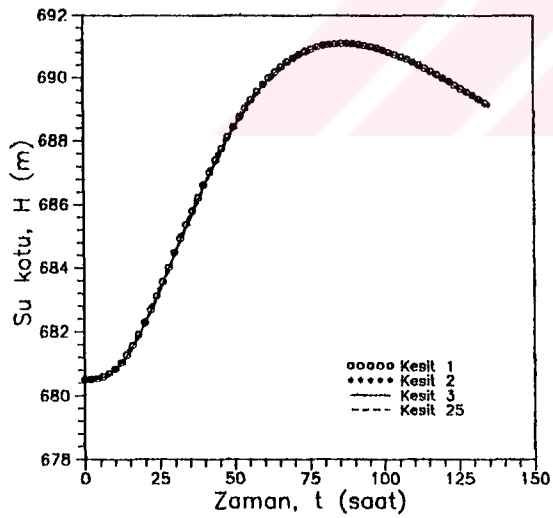
EK 4. KARAKAYA BARAJ GÖLÜNÜN MENBA KISMINDAN ÜÇ KESİT ATILMIŞ HALİ



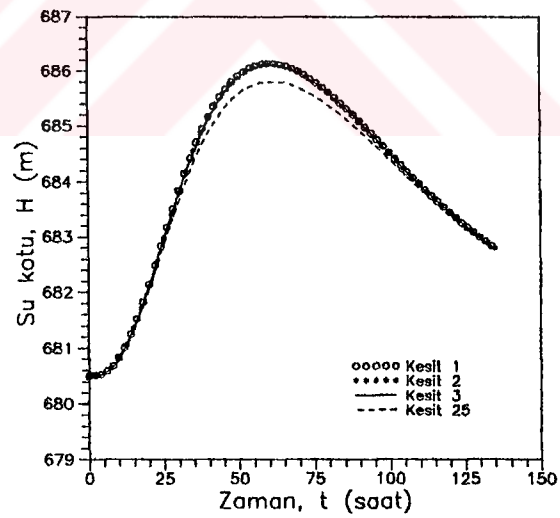
Karakaya Barajı $I=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$



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

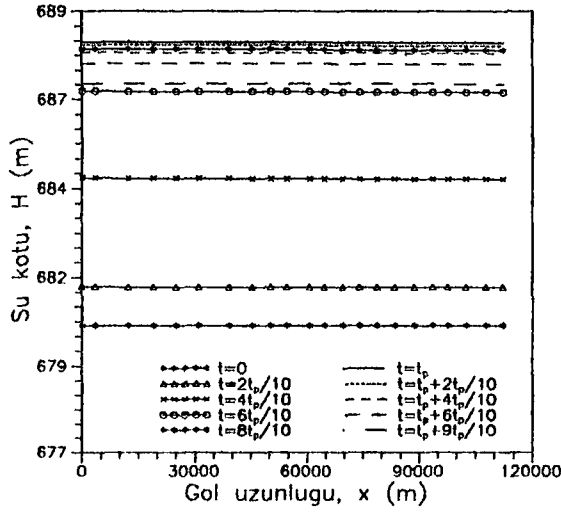


Karakaya Barajı $I=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$

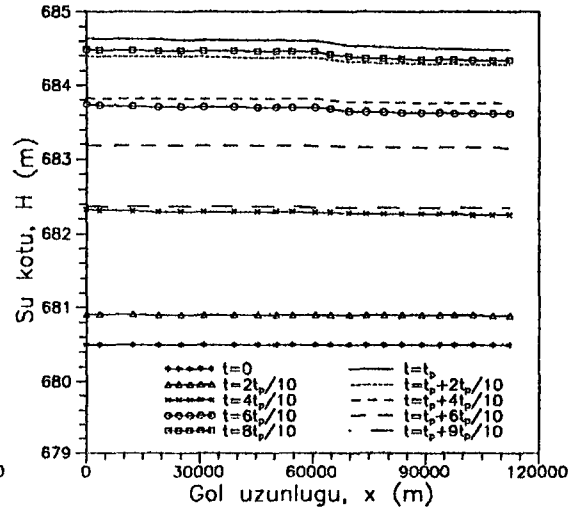


Karakaya Barajı $I=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=500 \text{ m}$

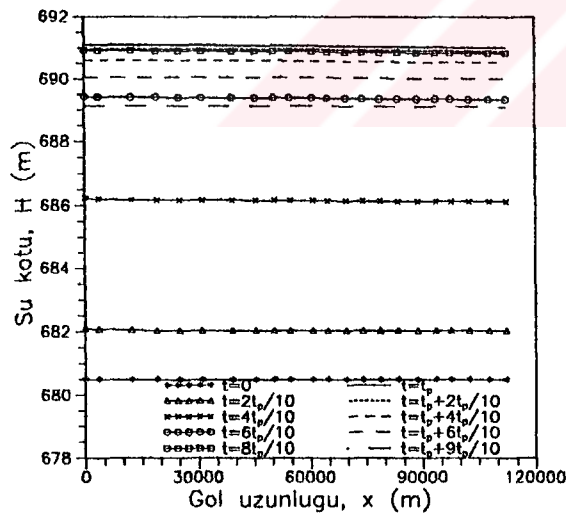
Şekil Ek 4.1 Karakaya Barajı Menba Kısmından Üç Kesit Atılmış Hali İçin (H-t)
Grafikleri



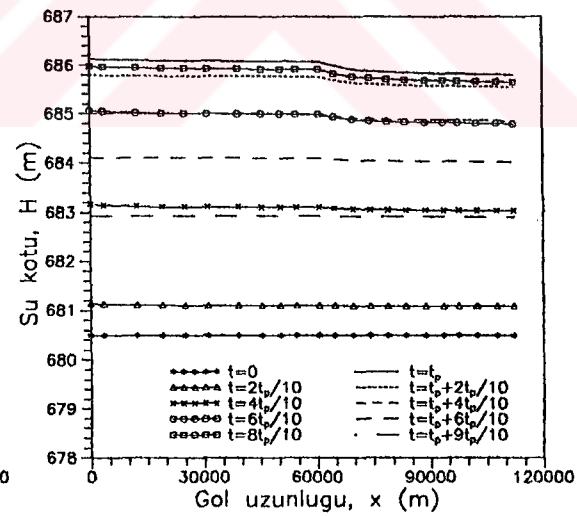
Karakaya Barajı $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$



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



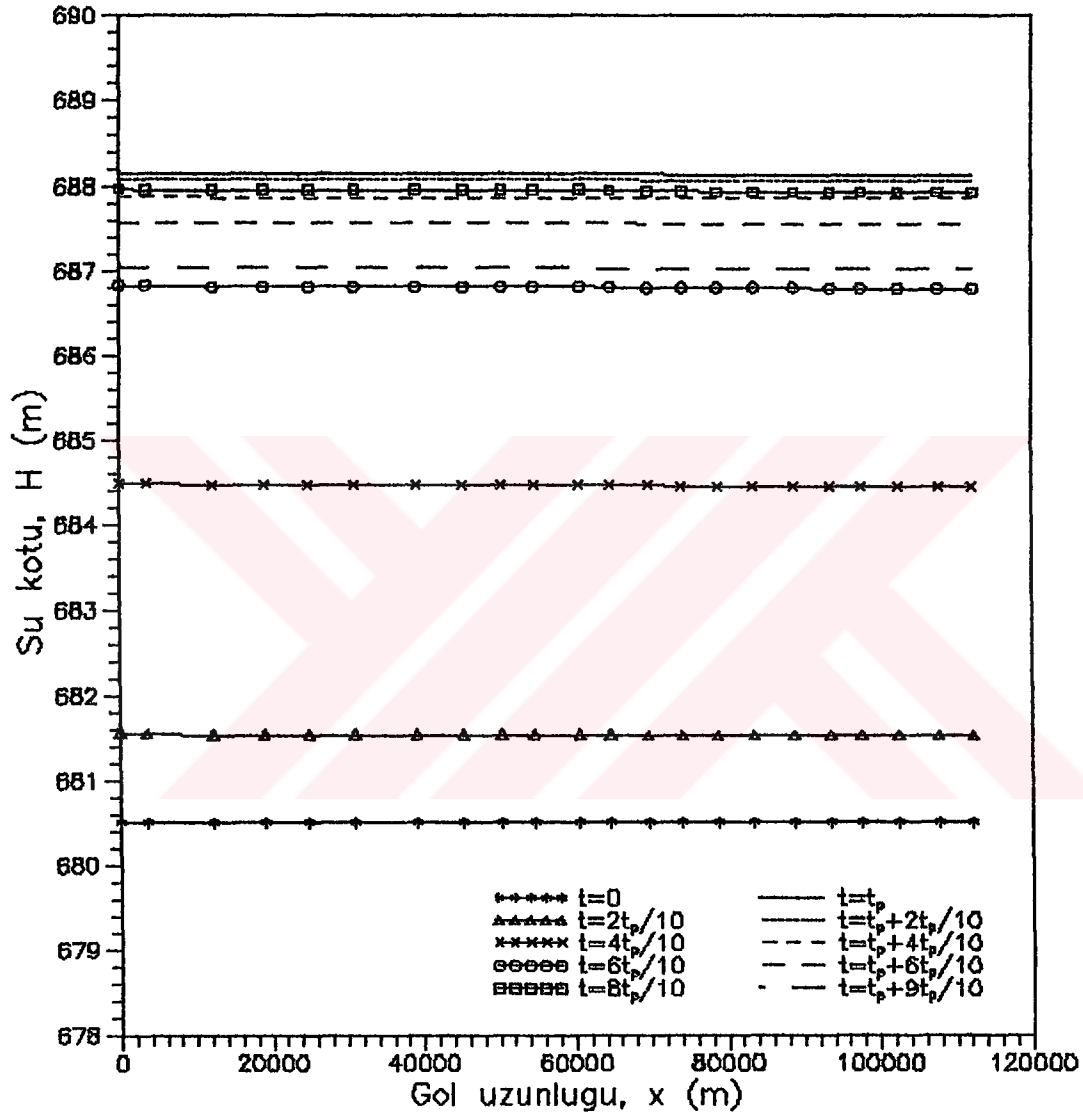
Karakaya Barajı $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$



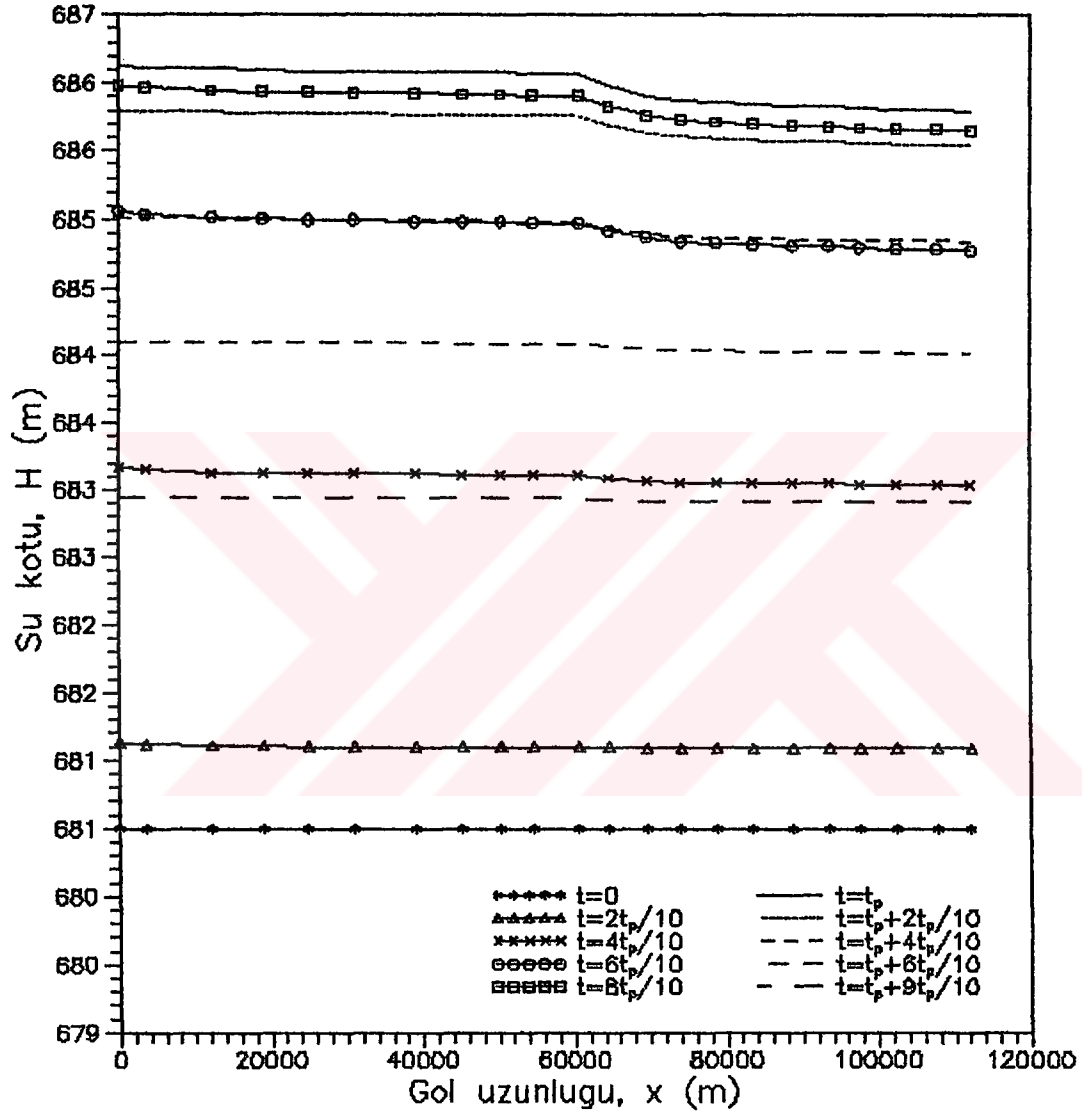
Karakaya Barajı $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=500 \text{ m}$

Şekil Ek 4.2 Karakaya Barajı Menba Kısmından Üç Kesit Atılmış Hali İçin (H-x)

Grafikleri

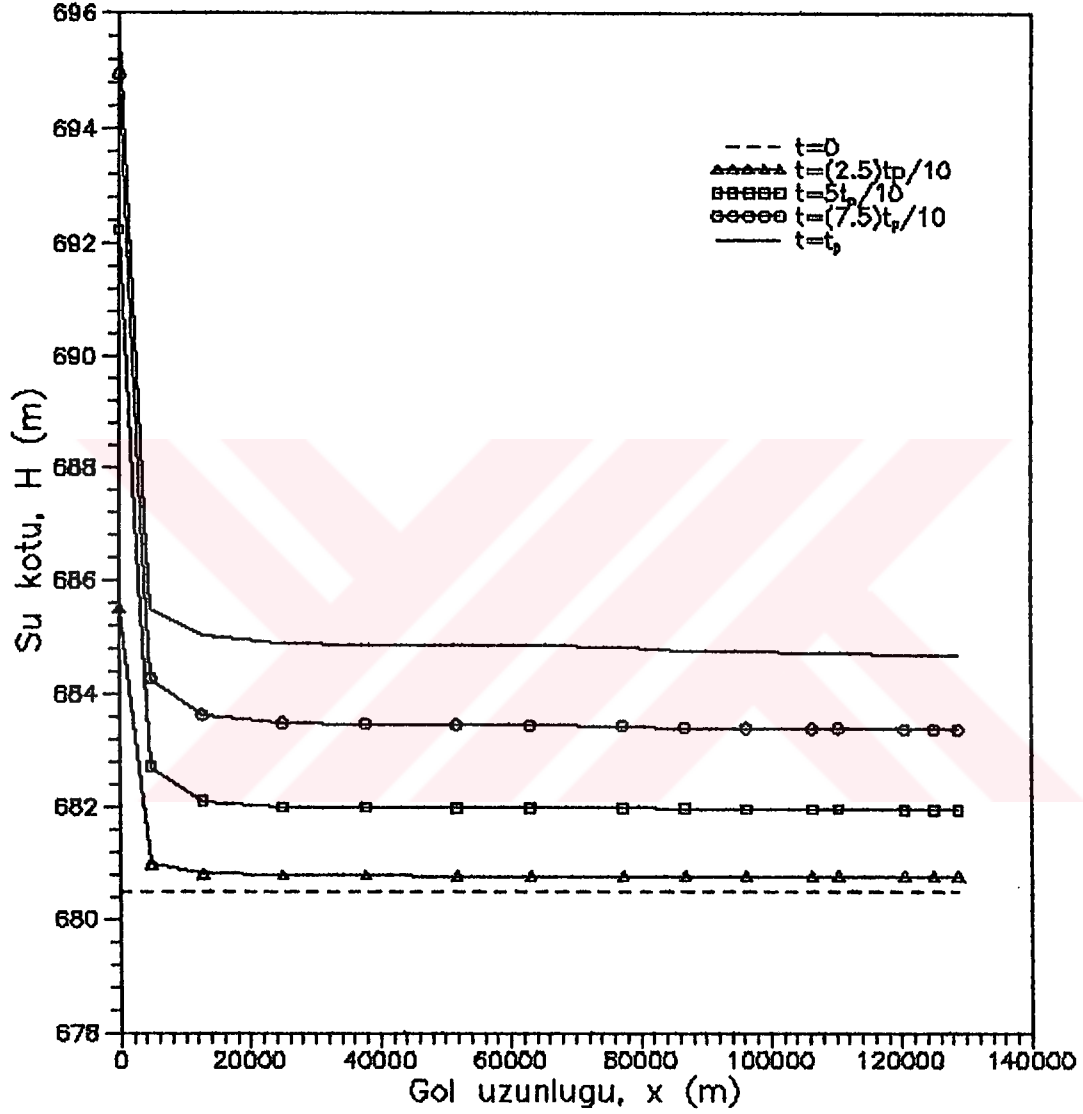


Şekil Ek 4.3. Karakaya Barajı $I=10000$, $L=100$ Menba Kısmından Üç Kesit Atılmış Hali İçin (H-x) Grafiği



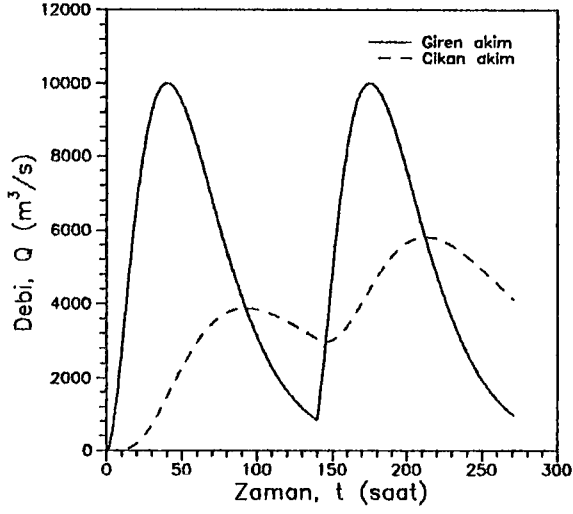
Şekil Ek 4.4 Karakaya Barajı $I=15000$, $L=500$ Menba Kısımından Üç Kesit Atılmış Hali İçin $(H-x)$ Grafiği

**EK 5. KARAKAYA BARAJI İÇİN DUFLOW PAKET PROGRAMI İLE
ELDE EDİLEN H-X GRAFİĞİ**

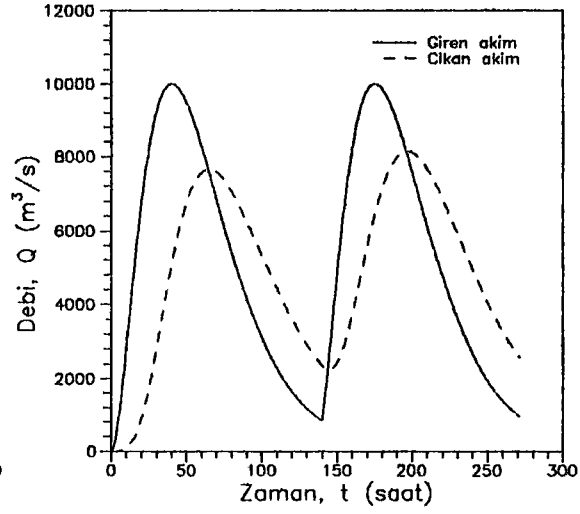


Şekil Ek 5.1 Karakaya Barajı I=15000, L=500 (H-x) Grafiği (DUFLOW)

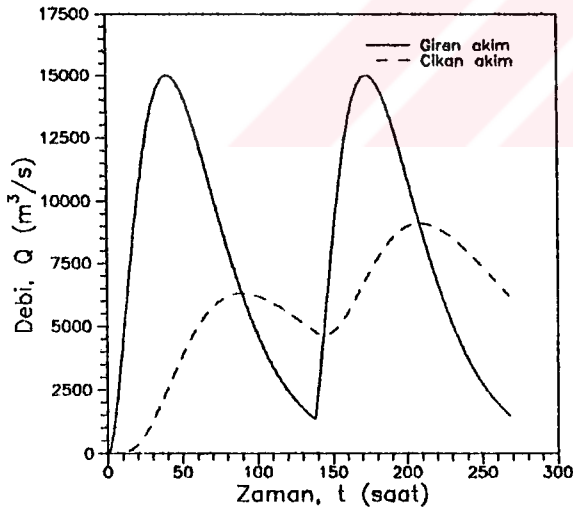
EK 6. KARAKAYA BARAJ GÖLÜNE GİREN İKİ PİKLİ AKIM ÖRNEĞİ



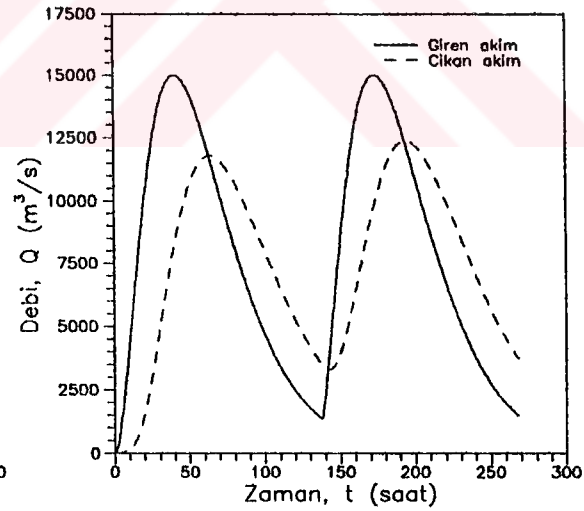
Karakaya Barajı $I_p=10000 \text{ m}^3/s$, $L=100m$



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

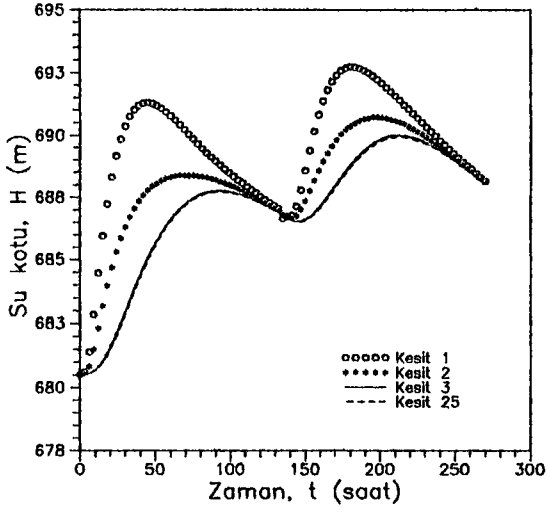


Karakaya Barajı $I_p=15000 \text{ m}^3/s$, $L=100m$

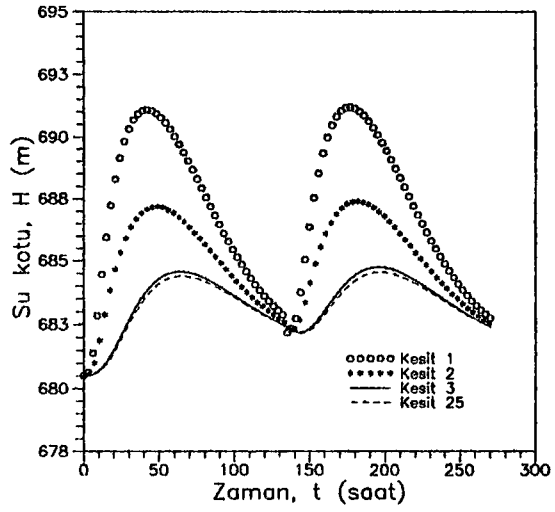


Karakaya Barajı $I_p=15000 \text{ m}^3/s$, $L=500m$

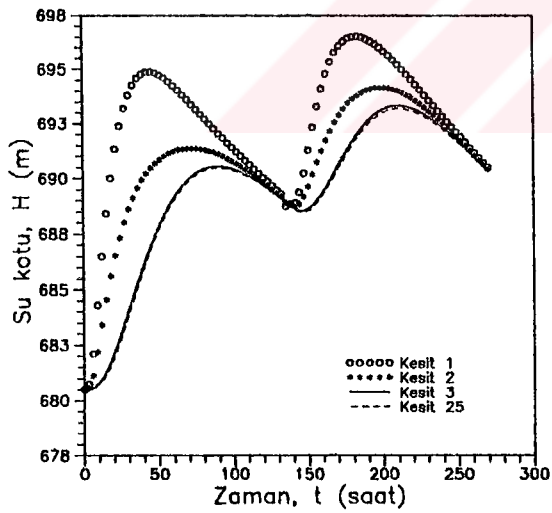
Şekil Ek 6.1 Karakaya Barajı İki Pikli Giren ve Çıkan Akım Hidrografları



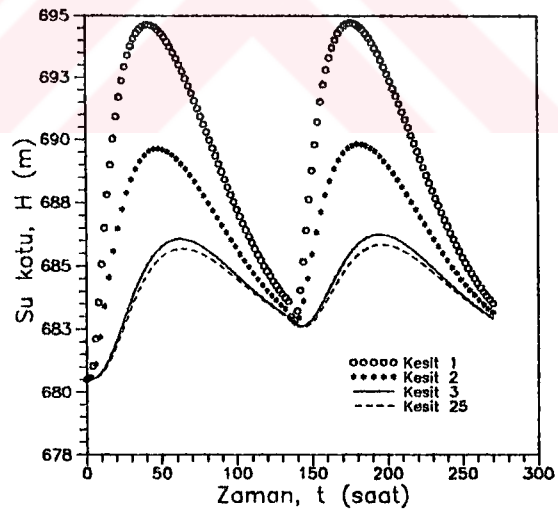
Karakaya Barajı $I=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$



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

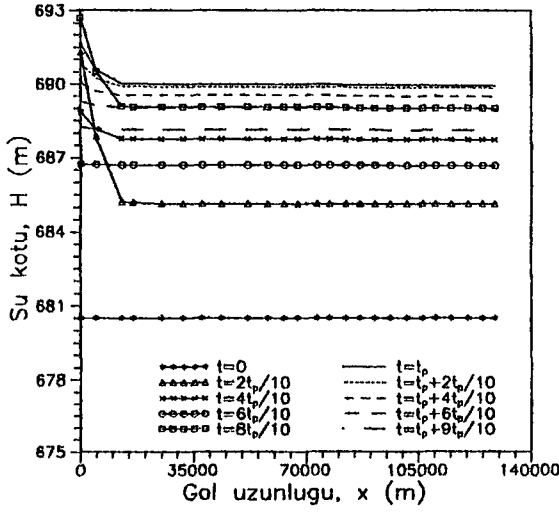


Karakaya Barajı $I=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$

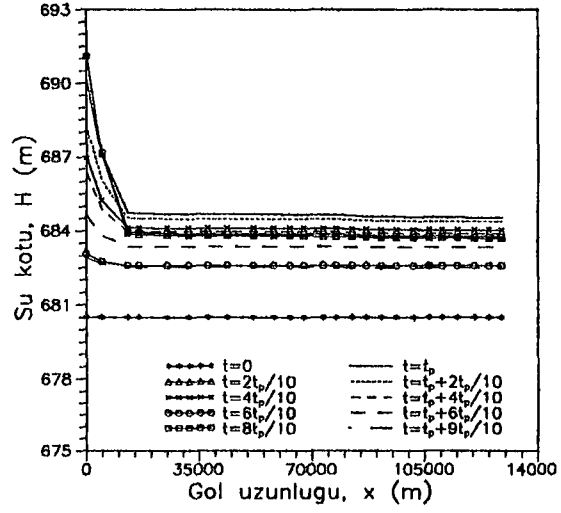


Karakaya Barajı $I=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=500 \text{ m}$

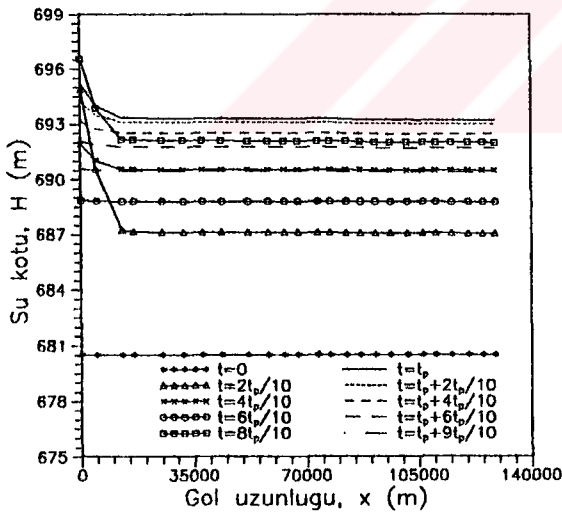
Şekil Ek 6.2 Karakaya Barajı İki Pikli Giren Akım Hidrografi İçin H - t Grafikleri



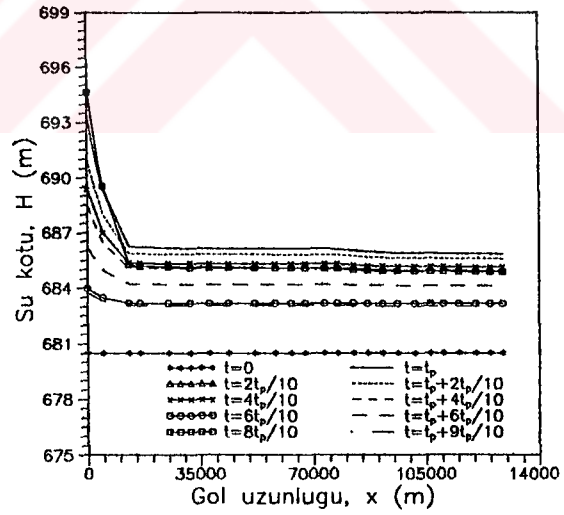
Karakaya Barajı $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$



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



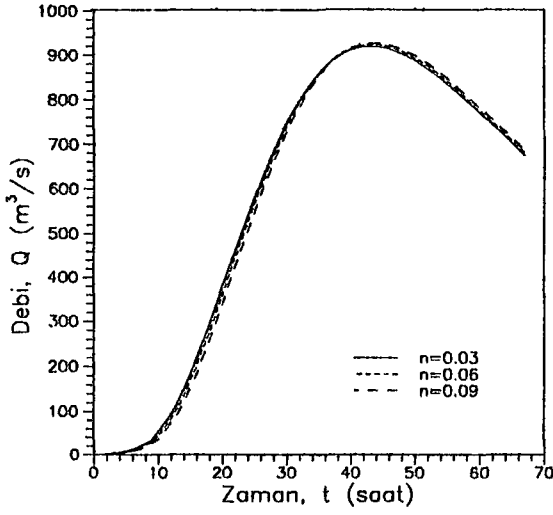
Karakaya Barajı $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$



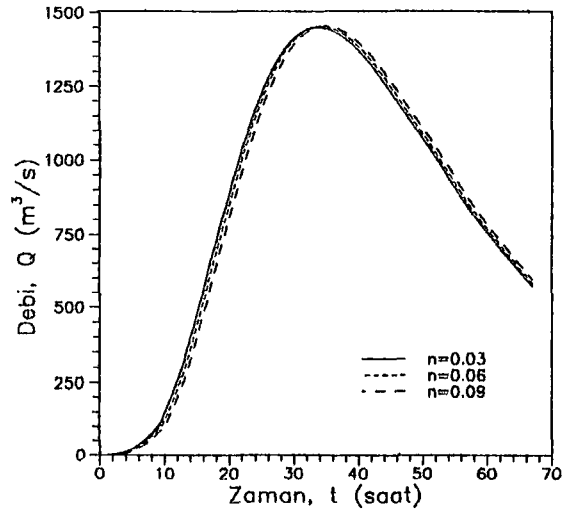
Karakaya Barajı $I_p=15000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=500 \text{ m}$

Şekil Ek 6.3 Karakaya Barajı İki Pikli Giren Akım Hidrografi İçin H-x Grafikleri

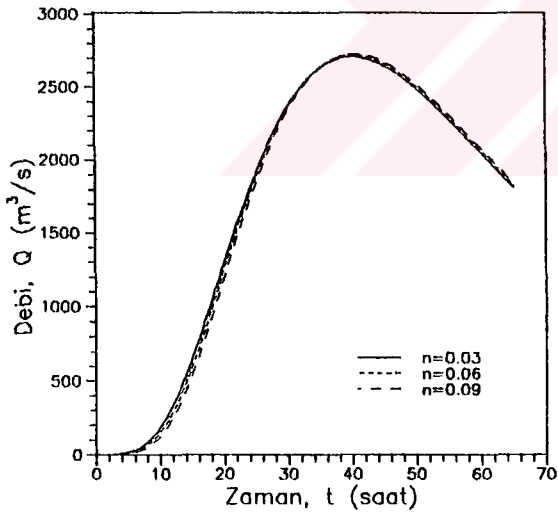
EK 7. DİĞER BARAJLARDAN ÇIKAN AKIM HİDROGRAFLARININ PÜRÜZLÜLÜK İLE DEĞİŞİMİ



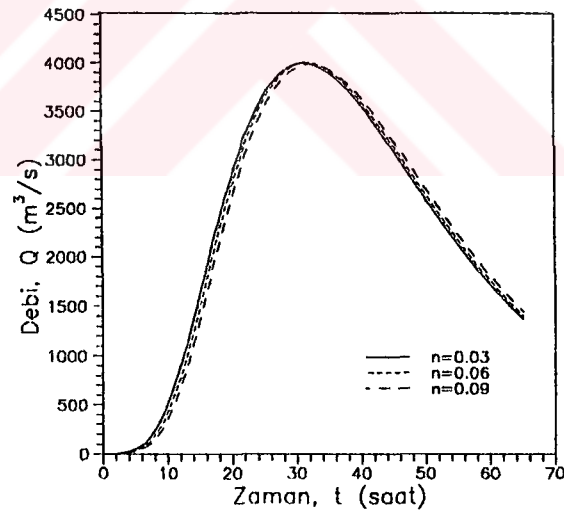
Kayraktepe Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$



Kayraktepe Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=150 \text{ m}$

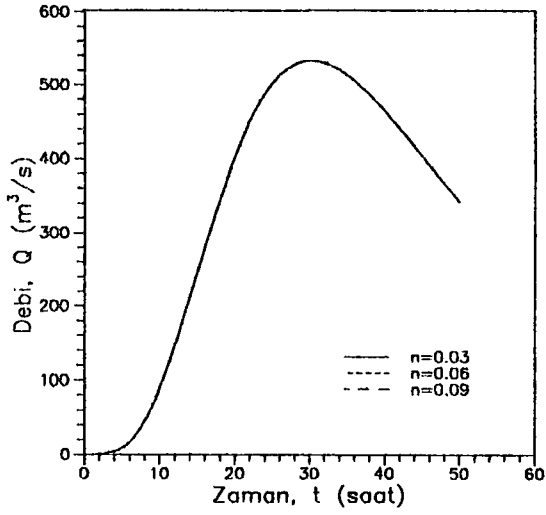


Kayraktepe Barajı $I_p=5000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

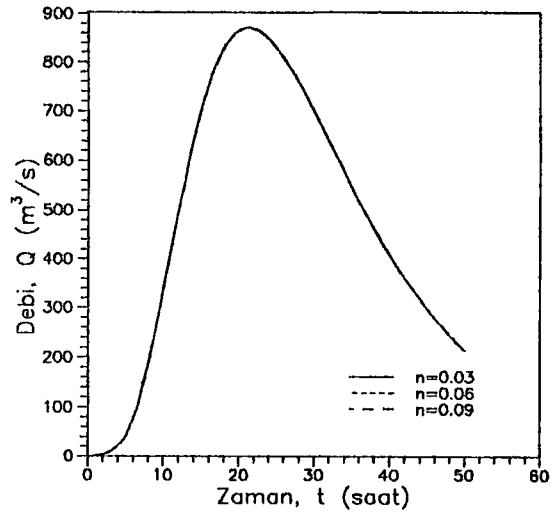


Kayraktepe Barajı $I_p=5000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=150 \text{ m}$

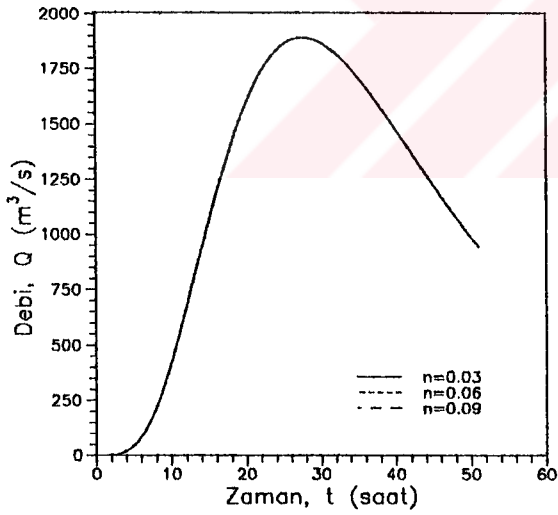
Şekil Ek 7.1 Kayraktepe Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi



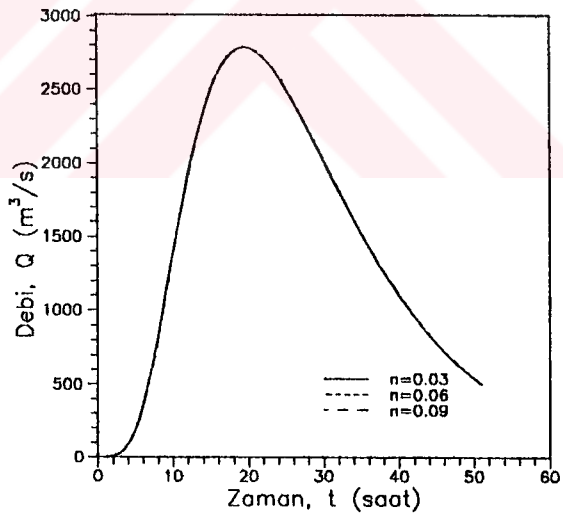
Berke Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$



Berke Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

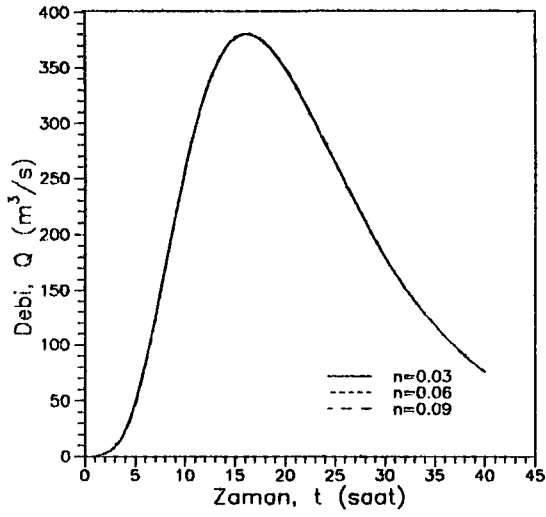


Berke Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$

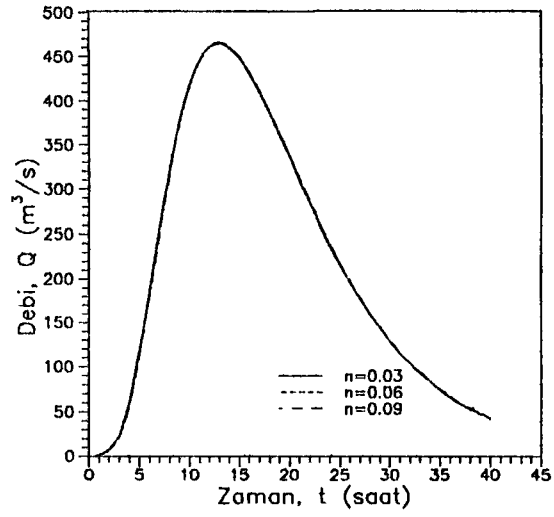


Berke Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

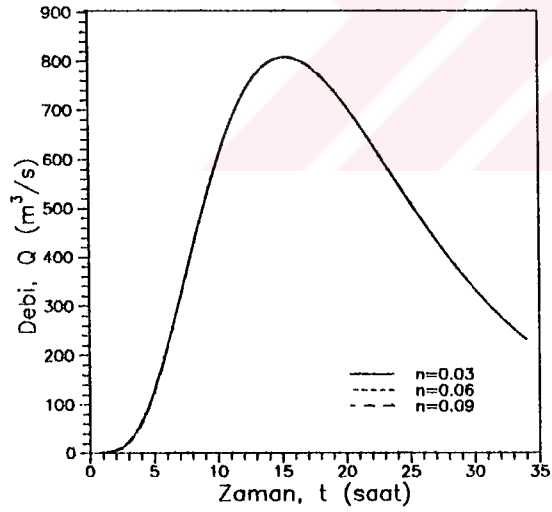
Şekil Ek 7.2 Berke Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi



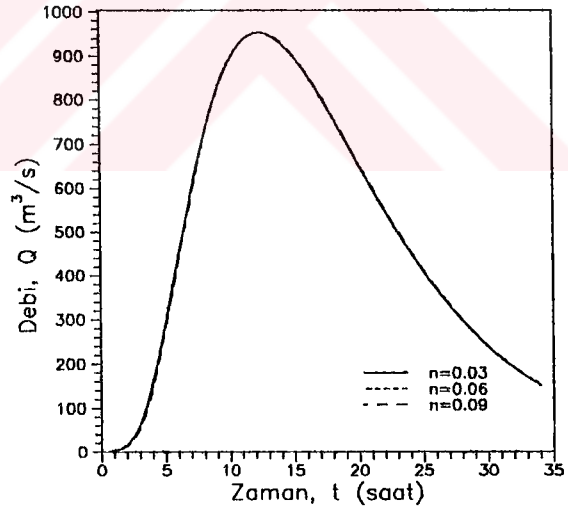
Deriner Barajı $I_p=500 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$



Deriner Barajı $I_p=500 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=30 \text{ m}$

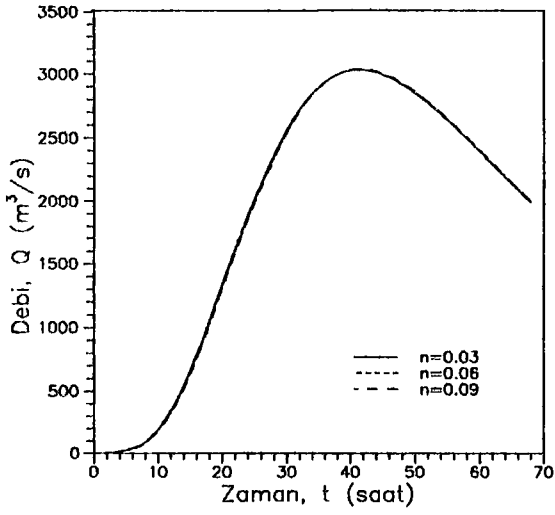


Deriner Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$

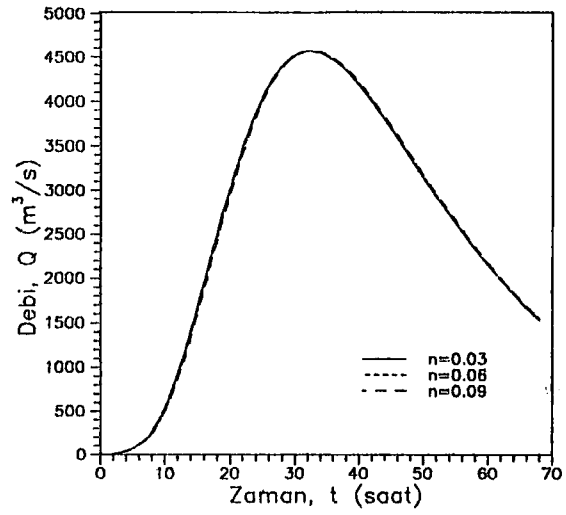


Deriner Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=30 \text{ m}$

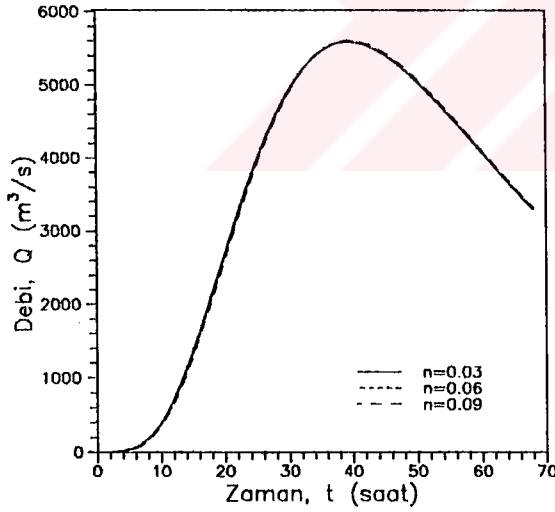
Şekil Ek 7.3 Deriner Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi



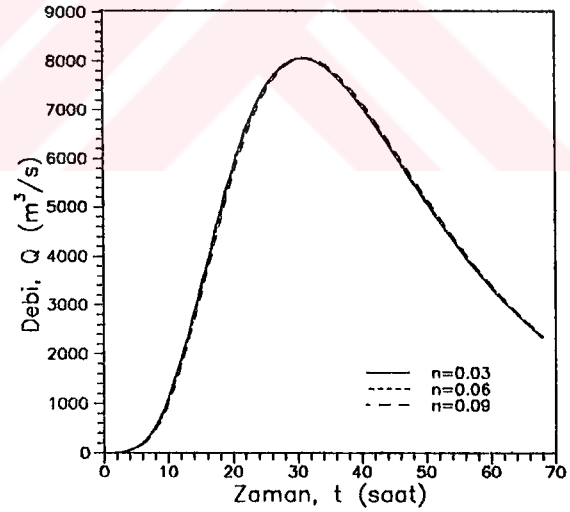
Yamula Barajı $I_p=6000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$



Yamula Barajı $I_p=6000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=300 \text{ m}$

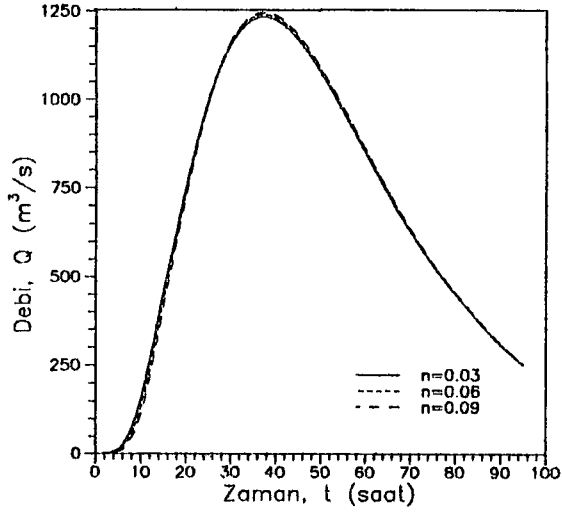


Yamula Barajı $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$

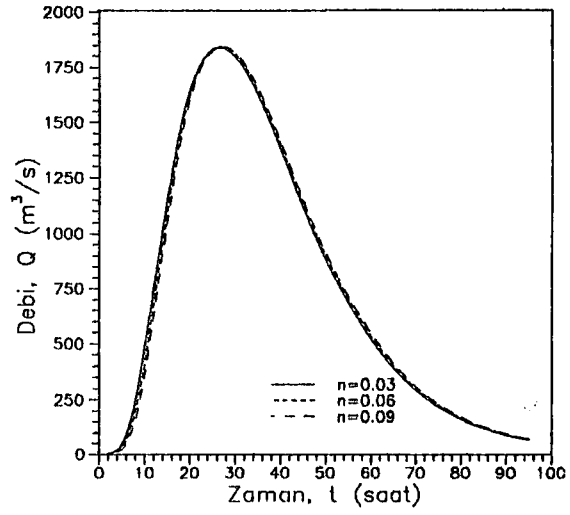


Yamula Barajı $I_p=10000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=300 \text{ m}$

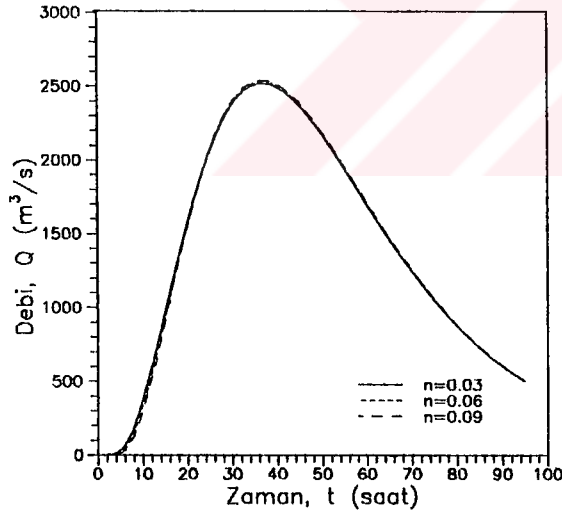
Şekil Ek 7.4 Yamula Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi



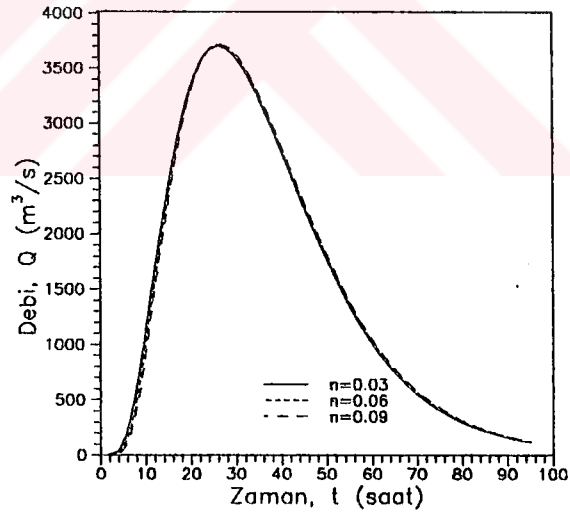
Bayramhacılı Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$



Bayramhacılı Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=40 \text{ m}$

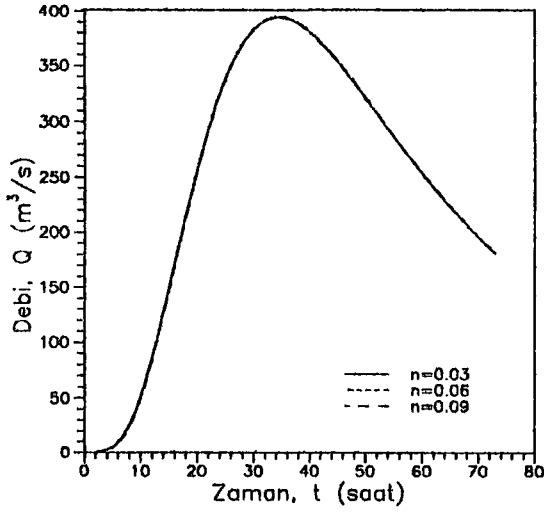


Bayramhacılı Barajı $I_p=4000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$

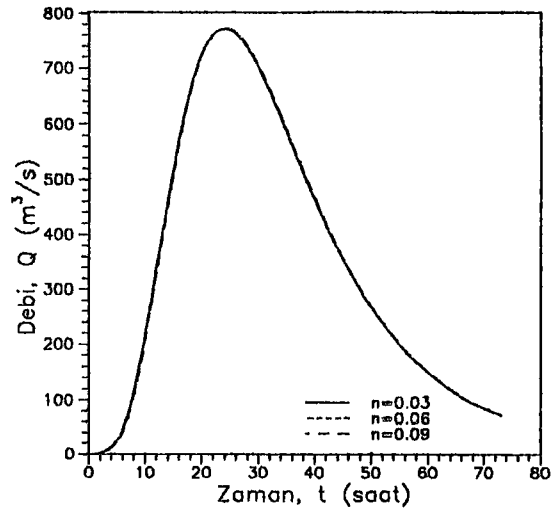


Bayramhacılı Barajı $I_p=4000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=40 \text{ m}$

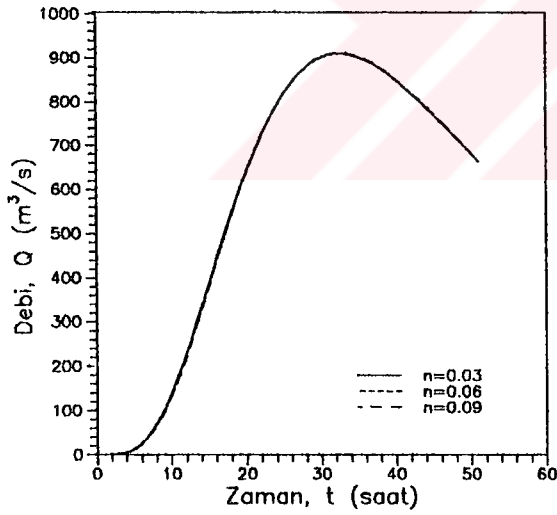
Şekil Ek 7.5 Bayramhacılı Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi



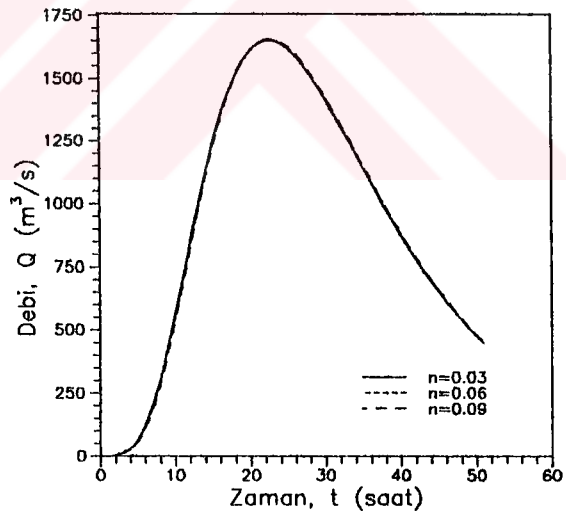
Bahçelik Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$



Bahçelik Barajı $I_p=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

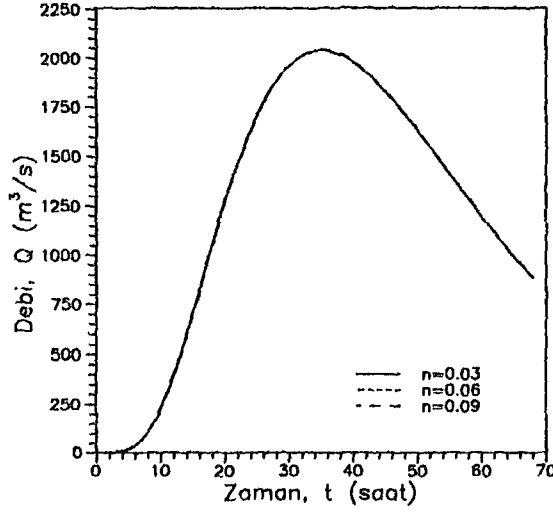


Bahçelik Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=10 \text{ m}$

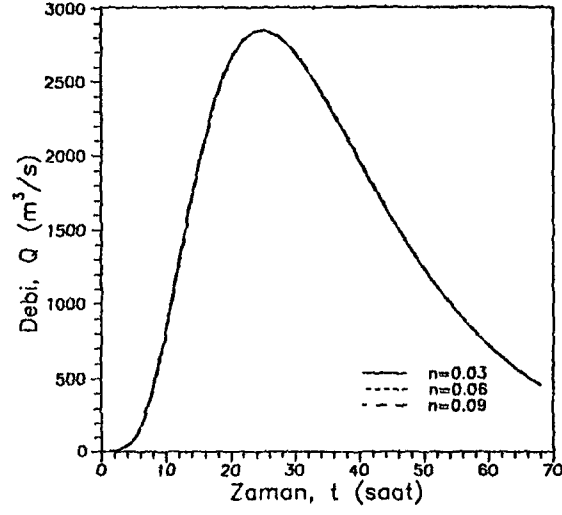


Bahçelik Barajı $I_p=2000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=50 \text{ m}$

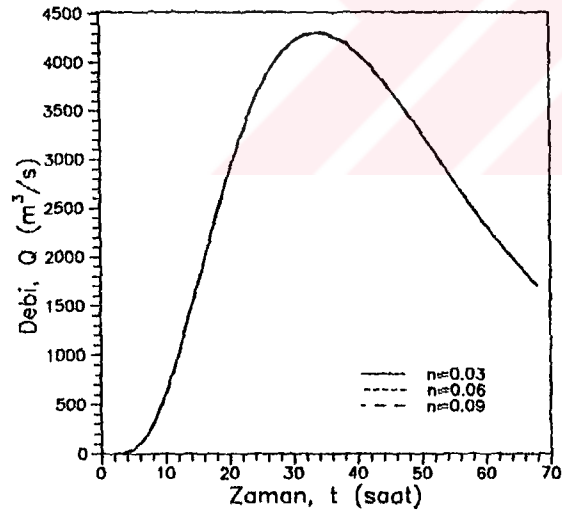
Şekil Ek 7.6 Bahçelik Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi



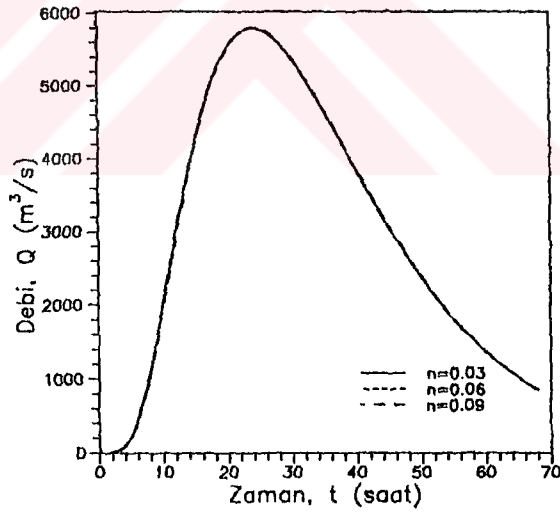
Yedigöze Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=20 \text{ m}$



Yedigöze Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$

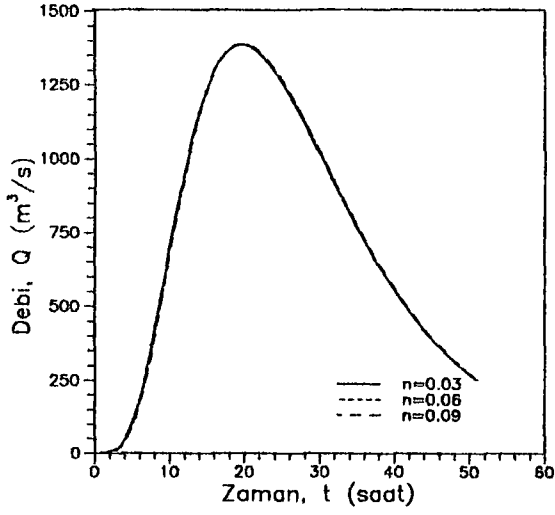


Yedigöze Barajı $I_p=6000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=20 \text{ m}$

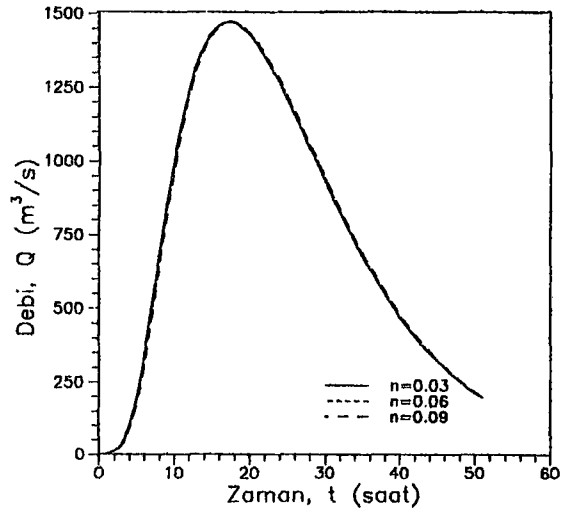


Yedigöze Barajı $I_p=6000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100 \text{ m}$

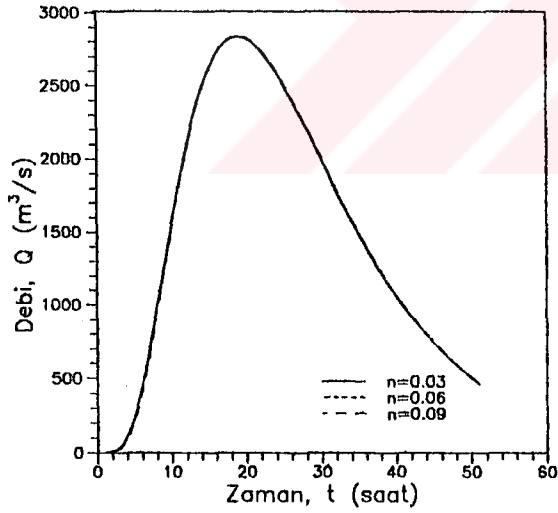
Şekil Ek 7.7 Yedigöze Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi



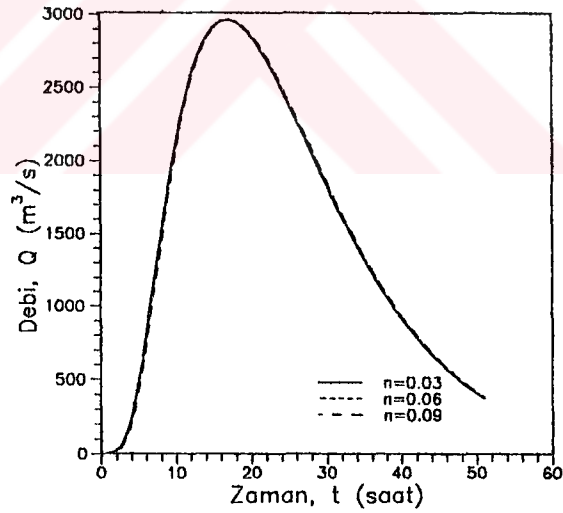
Gezende Barajı $I_p=1500 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=25 \text{ m}$



Gezende Barajı $I_p=1500 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=60 \text{ m}$



Gezende Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=25 \text{ m}$



Gezende Barajı $I_p=3000 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=60 \text{ m}$

Şekil Ek 7.8 Gezende Barajı Çıkan Akım Hidrograflarının Pürüzlülükle Değişimi