

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIZILIRMAK NEHRİ KIRIKKALE BÖLGESİNDE HİDROLİK YÖNTEMLERLE
TAŞKIN ÖTELEMESİ

Akın DUVAN

ŞUBAT 2016

İnşaat Anabilim Dalında Akın DUVAN tarafından hazırlanan KIZILIRMAK NEHRİ KIRIKKALE BÖLGESİNDE HİDROLİK YÖNTEMLERLE TAŞKIN ÖTELEMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Osman YILDIZ

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Nermin ŞARLAK

Üye (Danışman) : Prof. Dr. Osman YILDIZ

Üye : Doç. Dr. Kubilay CİHAN

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

(Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU)

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Çok Değerli Aileme...

ÖZET

KIZILIRMAK NEHRİ KIRIKKALE BÖLGESİNDE HİDROLİK YÖNTEMLERLE TAŞKIN ÖTELEMESİ

DUVAN, Akın

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Osman YILDIZ

Şubat 2016, 90 sayfa

Doğal bir afet olarak kabul edilen taşkın, Türkiye’de ve tüm dünyada meydana gelmekte ve milyonlarca insanın hem maddi hem manevi zarara uğratmaktadır. Taşkın esnasında oluşacak su seviyelerinin doğru tespit edilmesi, taşkına uğrayan bölgede oluşabilecek zararların azaltılması adına birincil öneme sahiptir.

Bu çalışmada Kızılırmak Nehrinin Kırıkkale sınırları içerisinde kalan 17km’lik kısmında taşkın öteleme yapılabilmesi için öncelikle arazi ölçümleriyle nehir yatağının en kesitleri çıkarılmış, bu en kesitler HEC-RAS programında kullanılmış ve çıkan sonuçlar ile olası taşkınların vereceği zararlar önceden tahmin edilmiştir. Taşkın debileri olarak 5,10, 25, 50,100, 500 ve 1000 yıllık tekerrür sürelerine ait debiler kullanılmıştır. Ayrıca çalışma alanının başlangıç noktası olan Kapulukaya Barajı’nın olası yıkılma senaryosu sonucu ortaya çıkabilecek pik debi diferansiyel gelişim algoritması ile geliştirdiğimiz denklem ile hesaplanmış ve taşkın ötelemede kullanılmıştır.

5, 10, 25, 50,100 yıllık taşkınların yerleşim yerlerine zarar vermeden gidebileceği, 500 ve 1000 yıllık taşkınların bazı yerleşim yerleri ile tarım alanlarına zarar verdiği görülmüştür. Kapulukaya Barajının yıkılması durumunda hesaplanan debinin ise yaklaşık 27 metre akım derinliğine sahip olduğu, Bahşılı ve Yahşıhan ilçe

merkezlerindeki bazı yerleşim yerlerini tehdit ettiği, güzergahta bulunan köprülerden geçemediği ve savak akımı oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kızılırmak Nehri, Kapulukaya Barajı, taşkın öteleme, baraj yıkılması, HEC-RAS



ABSTRACT

FLOOD ROUTING IN KIZILIRMAK RIVER AT KIRIKKALE REGION USING HYDRAULIC METHODS

DUVAN, Akın

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, M. Sc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Osman YILDIZ

February 2016, 90 pages

The flood is regarded as a natural disaster, it occurs in Turkey and all over the world and it causes both material and moral damages for millions of people. Determining water surface profiles which will occur during floods correctly has primary importance to reduce the damage caused in the area because of flood.

In this study, the cross sections of the river bed were created by land measuring in a 17 km-part of Kızılırmak river at Kırıkkale region for flood routing and these cross sections were used in HEC-RAS software. The damages of possible floods were predicted in advance thanks to the results. The peak flows used for year return period flows are 5, 10, 25, 50, 100, 500 and 1000. Moreover, the peak flow obtained from possible failure scenario of Kapulukaya dam, the initial point of the research field, was calculated by equation created using differential evolution algorithm and it was used for flood routing.

It was predicted that 5, 10, 25, 50, 100-year return period floods would flow without causing any damages to residential areas, and it was observed that 500-year and 1000-year return period floods would cause damages to some residential areas and cultivated areas. Furthermore, the peak flow, which would occur as a result of the possible failure of Kapulukaya Dam, was observed to have 27-meter flow depth,

become a threat to some residential areas in the centre of Bahşılı and Yahşihan. It was also observed that the peak flow would not pass through the bridge and would create a weir flow.

Key words: Kızılırmak River, Kapulukaya Dam, flood routing, dam break, HEC-RAS



TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması boyunca yardımlarını esirgemeyen, lisans eğitiminden başlayarak bilgi ve tecrübelerini biz genç araştırmacılara aktarma gayretinde bulunan ve her zaman örnek aldığım değerli tez danışmanı hocam, Sayın Prof. Dr. Osman YILDIZ'a teşekkür ve saygılarımı sunarım. Jüri savunmama, görev yaptığım Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesinden gelerek beni onurlandıran, tezimin son halini almasında büyük emekleri olan hocam, Sayın Doç. Dr. Nermin ŞARLAK'a saygılarımla teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerini paylaşan hocam, Sayın Doç. Dr. Kubilay CİHAN'a teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarım boyunca hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak bana her zaman yardımcı olan çok değerli meslektaşım, dostum İnşaat Yüksek Mühendisi Mehmet YAZ'a, arazi çalışmalarına ve bölge haritasının bulunması konusunda yardımlarını esirgemeyen lisans eğitiminden sınıf arkadaşlarım İnşaat Mühendisi Özkan ÖZKAYA ve İnşaat Mühendisi Savaş ÖZÇELİK'e, çalışmalarım boyunca manevi desteklerini esirgemeyen dostum Arş. Gör. Saruhan KARTAL'a, tez çalışmalarım kapsamında yardımlarını esirgemeyen Kırıkkale Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü araştırma görevlileri Baran TOPRAK ve Ersin KORKMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin yazım kısmında bana gösterdiği desteklerden dolayı Kırıkkale Üniversitesi İngilizce mütercim tercümanlık bölümü araştırma görevlisi Mehtap ARAL'a teşekkür ederim.

Yapmış olduğum çalışma Kırıkkale Üniversitesi BAP biriminin 2014/51 no'lu proje desteği ile yapılmıştır. Bu değerli katkısından dolayı Kırıkkale Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Literatür Özetleri.....	3
1.3. Taşkınları Etkileyen Faktörler	7
2. MATERYAL VE METOT	14
2.1. Kararlı Açık Kanal Akımları.....	14
2.1.1. Açık Kanal Hidroliği Temel Denklemleri.....	15
2.1.1.1 Debi Süreklilik Denklemi	15
2.1.1.2. Enerji Denklemi	16
2.1.2. Özgül Enerji Kavramı ve Akım Rejimi Tayini	19
2.2. Taşkın Tahmin Yöntemleri	21
2.2.1. Noktasal Taşkın Frekans Analizi	22
2.3. Taşkınların Ötelenmesi	24
2.3.1. Hidrolojik (Toplu) Yöntemler.....	25
2.3.2. Hidrolik (Yayılı) Yöntemler	25
2.3.2.1. Hidrolik Yöntem Temel Denklemleri	26
2.4. HEC-RAS Yazılımı.....	27
2.4.1. HEC-RAS Yazılımında Kararlı Akım Analizi İçin Gerekli Veriler ...	29
2.4.1.1. Geometrik Veriler	29
2.4.1.2. Kararlı Akım Verileri.....	32

2.4.2. HEC-RAS Yazılımı Hesap Esasları	34
2.4.2.1. Standart Adım Yöntemi	34
2.5. Diferansiyel Gelişim Algoritması	35
2.5.1. Problem ve Parametreler	36
2.5.2. Kodlama ve Başlangıç Popülasyonu	36
2.5.3. Mutasyon.....	36
2.5.4. Çaprazlama.....	37
2.5.5. Uygunluk Fonksiyonu	37
2.5.6. Seçim.....	37
2.5.7. Algoritmanın Durdurulması	38
2.6. Pürüzlülük Katsayısı Tahmini.....	38
2.7. Çalışma Alanı.....	42
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	45
3.1. Geometrik Veriler	45
3.2. Manning Pürüzlülük Katsayısı.....	53
3.3. Taşkın Debileri	56
3.3.1. Diferansiyel Gelişim Algoritması Kullanılarak Kapulukaya Barajı'nın Olası Yıkılma Senaryosu Sonucunda Oluşacak Pik Debi	56
3.3.2. Noktasal Taşkın Frekans Analizi İle Elde Edilen Debiler	59
3.3.3. DSİ Tarafından Kapulukaya Barajı İçin Sentetik Yollarla Hesaplanan Taşkın Hidrograflarından Pik Debinin Elde Edilmesi	60
3.4. HEC-RAS Analizi.....	61
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	73
EKLER.....	77
EK. 1.	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

1.1. 2015 yılı Sugören Köyü Taşkın sonrası vaziyeti (1)	8
1.2. 2015 yılı Sugören Köyü Taşkın sonrası vaziyeti (2)	8
1.3. 2012 yılı Samsun’da meydana gelen taşkın sonrası ulaşımına kapanmış yol.....	9
1.4. 2012 yılı Samsun’da meydana gelen taşkından etkilenmiş dere yatağı	9
1.5. Irmak beldesinin 2011 yılında taşkın sonucunda gördüğü zararlar	10
1.6. 2014 yılı taşkını sonucu Yenimahalle Mezarlığı durumu	11
1.7. Taşkından etkilenmiş Kırıkkale-Kayseri karayolu (1).....	11
1.8. Taşkından etkilenmiş Kırıkkale-Kayseri karayolu (2).....	12
1.9. Taşkından etkilenmiş Kırıkkale-Kayseri karayolu (3).....	12
2.1 Akım sınıflandırmaları	14
2.2. Sonlu kesitli akım borusu.....	16
2.3. Açık kanal akımlarında enerji	17
2.4. Açık kanal akımlarında taban eğimi açısı	18
2.5. Açık kanal akımlarında özgül enerji- su derinliği ilişkisi	20
2.6. Taşkın tahmin yöntemleri	22
2.7. HEC-RAS ana penceresi	28
2.8. HEC-RAS Geometrik Veri Giriş Penceresi	30
2.9. Kararlı Akım Veri Giriş Penceresi.....	33
2.10. Çalışılan Kızılırmak Nehir Güzergahı	43
3.1. Çalışılan Güzergah Üzerinde Alınan En Kesitler (55 adet)	45
3.2. Akustik sonar’ın bağlı olduğu uzaktan kumandalı bot	46
3.3. Akustik sonar cihazı bilgi ekranı.....	46
3.4. Bot ve sonar ile derinlik ölçümü	47
3.5. 250 metre mesafeli lazer metre	47
3.6. Köprü üzerinden yapılan ölçüm (1)	48
3.7. Köprü üzerinden yapılan ölçüm (2)	48
3.8. Ölçüm yapılmış noktanın ekran görüntüsü (18 no’lu kesit).....	49
3.9. Garmin marka GPS cihazı.....	50
3.10. 4 no’lu kesit.....	50

3.11. 25 no'lu kesit.....	51
3.12. 41 no'lu kesit.....	51
3.13. Yahşihan Köprü Kesiti.....	52
3.14. Bahşılı Köprü Kesiti.....	52
3.15. Rafineri Köprü Kesiti.....	53
3.16. Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Çalışma Gözlemleri	55
3.17. Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Çalışma Gözlemleri(2).....	55
3.18. Güzergâhın boy profili	62
3.19. 100 yıllık taşkın debisinin gelmesi durumunda oluşacak üç boyutlu su yüzeyi profili grafiği.....	62
3.20. 500 yıllık taşkın gelmesi durumunda 52 no'lu en kesitte oluşacak su yüzeyi profili	63
3.21. 1000 yıllık taşkın gelmesi durumunda 52 no'lu en kesitte oluşacak su yüzeyi profili	63
3.22. 500 yıllık taşkın gelmesi durumunda 54 no'lu en kesitte oluşacak su yüzeyi profili	64
3.23. 1000 yıllık taşkın gelmesi durumunda 54 no'lu en kesitte oluşacak su yüzeyi profili	64
3.24. 500 ve 1000 yıllık taşkınların gelmesi durumunda 52 ve 54 no'lu kesitler arasındaki tehdit altındaki tarım alanları	65
3.25. 500 ve 1000 yıllık taşkınların gelmesi durumunda 32 ve 36 no'lu en kesitler arasındaki tehdit altındaki alanlar	65
3.26. Baraj yıkılma debisi sonucunda oluşacak su yüzeyinin boy profili ($Q=20000\text{m}^3/\text{s}$)	66
3.27. Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Rafineri köprü kesiti	66
3.28. Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Bahşılı köprü kesiti	67
3.29. Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Yahşihan köprü kesiti	67
3.30. Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Ankara-Kayseri karayolunun tehdit altındaki kısmı	68
3.31. Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Bahşılı ilçe merkezinde tehdit altında kalan alanlar	68
3.32. Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Yahşihan ilçe merkezinde tehdit altında kalan alanlar	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

2.1. Rejimlerine göre akım sınıflandırılması.....	21
2.2. DSI tarafından önerilmiş pürüzlülük katsayıları	41
3.1. Dere yatağı ve sel yatağı pürüzlülük katsayısı tahmininde kullanılan değerler..	54
3.2. Diferansiyel gelişim algoritması kontrol parametreleri	56
3.3. Wahl(1998) tarafından toplanmış baraj yıkılma verileri.....	57
3.4. Kapulukaya Barajının yıkılması durumunda ortaya çıkabilecek pik debiler	58
3.5. Akım verilerinin Kolmogorov – Smirnov sınaması sonucunda elde edilen p değerleri	59
3.6. Noktasal taşkın frekans analizi ile hesaplanmış pik debiler.....	60
3.7. DSI'ye ait Kapulukaya Barajı'nın verilerinden elde edilen ve sentetik yolla bulunmuş taşkın hidrograflarından elde edilen pik debiler.....	61

1.GİRİŞ

Dünyamızda meydana gelen ve kontrol edemediğimiz doğal afetlerin yıkıcı sonuçları karşısında milyonlarca canlı hem maddi hem manevi zararlar görmektedir. Doğal afetlerin önüne geçmek tam olarak mümkün değildir fakat çeşitli korunma yöntemleriyle yıkıcı sonuçlarının etkisi kontrol edilmeye çalışılmalıdır.

Taşkın; bir yataktaki mevcut su miktarının, havzaya normalden fazla düşen yağmur ve/veya kar erimesinden dolayı hızla artması ile yatak çevresinde yaşayan canlı ve cansızlara zarar vermesi olayıdır. Taşkınlar özellikle son yıllarda büyük can ve mal kayıplarına yol açan ve yüzyıllardır insanoğlunun karşılaştığı, ülkemize depremlerden sonra en fazla can ve mal kaybı yaşatan önemli bir doğal afet türüdür.

Tarih boyunca medeniyetler nehir kenarlarında doğmuş ve gelişmişlerdir. Zira akarsular bu medeniyetlerde, yerleşim merkezleri için içme ve kullanma suyunu, tarım alanları için sulama suyunu ve daha sonraki yıllarda da enerji ve endüstri su ihtiyacını karşılamıştır. Bu avantajların beraberinde taşkın tehlikeleri de bir dezavantaj olarak karşılırlarına çıkmıştır. Taşkınların etkilerinden tam olarak korunmak ekonomik olarak mümkün olmasa da taşkın bölgelerinde yapılacak olan modellemeler ile taşkınların sebep olacağı olumsuzluklar önceden tahmin edilip gerekli alanların düzenlemesi ve korunması sağlanabilir.

1975 ile 2010 yılları arasındaki 35 yıllık Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre ülkemizde 695 adet taşkın meydana gelmiştir. Bu taşkınlar 634 adet can kaybına neden olmuş ayrıca 810.000 hektar tarım arazisini etkilemiştir. Bu zararlar toplamda ülke ekonomisine yaklaşık 3.7 milyon dolarlık zarara neden olmuştur [1].

Yağış kaynaklı taşkın dışında, bir de barajların yıkılması sonucu ortaya çıkabilecek taşkınlar mevcuttur. Baraj yıkılmasından kaynaklanan taşkınlar sahip olduğu yüksek değerdeki debiler nedeniyle yağış kaynaklı taşkınlardan çok daha büyük tehditler oluşturmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında Kızılırmak Nehri'nin Kırıkkale İli sınırları içerisinde geçen yaklaşık 17km'lik kısmında taşkın modellemesi yapılmıştır. Modelleme için ihtiyaç duyulan nehir en kesitlerinin elde edilebilmesi için arazide ölçümler yapılmıştır. Taşkın debileri olarak 5, 10, 25 50, 100, 500, 1000 yıllık taşkın debileri ile Kapulukaya Barajı'nın olası yıkılma senaryosu sonucu ortaya çıkabilecek debi kullanılmıştır. Daha sonra bu en kesitler ve debiler kullanılarak HEC-RAS yazılımı ile model kurulmuştur.

Tez çalışması dört kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda taşkın tanımı, çalışmanın amacı, konuyla ilgili literatür özetleri ve açık kanal akımları hakkında bilgiler yer almaktadır. İkinci kısımda, kullanılan materyal ve metot, üçüncü kısımda ise araştırma bulguları bulunmaktadır. Dördüncü kısımda, sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Dünyada görülen son yıllardaki küresel iklim değişikliği birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de şiddetlenen sağanak yağışlara neden olmaktadır. Bunun sonucunda ani taşkın olayları meydana gelmektedir. Belirli tekerrür sürelerine sahip taşkın debilerini birçok farklı yöntemle elde etmek mümkündür. Önceden tahmin edebildiğimiz bu farklı tekerrür sürelerine sahip taşkınların vereceği zararların da önceden tahmin edilip uygun çözüm önerileri sunulurken, olası taşkınların vereceği zararlar en aza indirilmelidir. 2011, 2014 ve 2015 yıllarında çalışma bölgesi yakınlarında meydana gelen ve maddi zararlar veren taşkın olayları bölgenin taşkınlar açısından incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Oldukça güvenli yapılar olmasına rağmen, geçmişte yaşanan birçok felaket barajların da yıkılma riskinin olduğunu göstermektedir. Bir barajın yıkılması durumunda baraj gerisinde bulunan su hacmi oluşacak gedikten boşalarak, mansapta bulunan birçok yerde can ve mal kaybına neden olabilir. Baraj yıkılma debisinin doğru tahmin edilerek olası yıkılma senaryosunun vereceği zararlar önceden tahmin edilmelidir.

Bu nedenlerle çalışma kapsamında Kırıkkale il sınırları içerisindeki Kapulukaya barajından başlanarak, yaklaşık 17 km mansabındaki mülga Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)'ne ait, 2012 yılında gözleme kapatılmış, 1503 no'lu akım gözlem istasyonu (AGİ) olan Yahşihan AGİ arasındaki alanın taşkın modellemesi yapılmıştır.

Modelleme yapılan alanda, Bahşılı ve Yahşihan ilçelerine ait yerleşim yerleri, 3 adet karayolu köprüsü, 1 adet demiryolu köprüsü ve geçişi ile 3 adet piknik ve sosyal eğlence alanı ayrıca çok sayıda tarım arazisi bulunmaktadır. Bu nedenle bölgenin taşkın felaketinden göreceği zararların önceden tahmin edilerek, gerekli önlemlerin alınması amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Özetleri

Hazır modeller ile geliştirilen taşkın analizi bir çok araştırmacı tarafından son yıllarda kullanılmaya başlanılmıştır. Bu modeller kullanılarak taşkın anında oluşacak su yüzeyi profilinin belirlenmesi ve akarsu üzerinde bulunan ya da daha tasarlanan su yapılarının oluşturabileceği olası zararlar önceden tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Sıklıkla kullanılan bu hazır modellerden biri de Amerikan Askeri Mühendisliği tarafından geliştirilen HEC-RAS yazılımıdır.

HEC-RAS ülkemizde ve dünyada birçok araştırmacının tercih ettiği bir yazılımdır. Yapılan çalışmalarda HEC-RAS'ın coğrafi bilgi sistemleri ile kullanılarak taşkın çalışmalarında ve akarsu üzerinde yapılmış ya da yapılması planlanan su yapılarının etkilerinin incelenmesinde kullanıldığı görülmektedir.

M. Üyüküoğlu çalışmasında Ilıca Deresinin modellemesini HEC-RAS ile yapmış, su yüzeyi profilinden taşkın yayılım alanlarını belirlemiştir. Aynı çalışmasında Ilıca deresi için yeni bir güzergah seçip dere yatağını ıslah etmiş ve ıslah ettiği dere yatağını yeniden HEC-RAS ile modelleyerek taşkın kontrol altına alındığını görmüştür [2].

İ. Haltaş ve B. Kocaman Ayvalı Barajının yıkılma senaryosu durumunda Kahramanmaraş ile çevredeki bölgelerin risk durumunu incelemişlerdir. Çalışma sonucunda Kahramanmaraş'ın bazı mahalleleri ile Kahramanmaraş Havaalanının tamamen sular altında kaldığını, Kahramanmaraş-Gaziantep karayolunun ise yaklaşık 4 km bir kısmının sular altında kalmış olduğunu göstermişlerdir [3].

B. Kirmencioğlu çalışmasında Tokat şehir merkezi içinden geçen Behzat deresinin bir boyutlu akım modellemesini 50, 100 ve 500 yıllık taşkın debilerini kullanarak HEC-RAS ile yapmış, model çıktıları ile arazi çalışmaları ve taşkın koruma yapılarını karşılaştırarak gerekli önerileri sunmuştur [4].

Y. Bayazıt ve ark., Sakarya Havzasının alt havzası olan Porsuk Havzasına ismini veren Porsuk Çayının Eskişehir ili için oluşturduğu taşkın risk haritalarını oluşturmak amacıyla Porsuk Çayının 50,100 ve 1000 yıllık taşkın analizini HEC-RAS ile yapmış ve taşkın haritalarını elde etmişlerdir. 50, 100 ve 1000 yıllık taşkınların Eskişehir ilinde en çok etkilediği mahalleleri Sümer Mahallesi ve Ertuğrulgazi Mahallesi olarak bulmuşlar, bu sonucun nedeni olarak bu mahallelerin Porsuk Çayının geçtiği düzlük arazilerde yapılanmış olmalarını göstermişlerdir [5].

H. Efe çalışmasında, Batman Çayı'nın Yeni Malabadi Köprüsü ile Diyarbakır – Batman Karayolu Köprüsü arasında kalan kesimine ait tek boyutlu taşkın analizini HEC-RAS ile yapmıştır. Taşkın değerlerine bağlı taşkın zararlarının alansal değişimlerini göz önüne alarak Taşkın Risk Analiziyle mevcut dereye ait doğal yatakta 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık taşkın tekerrür debilerinde su üst yüzünün geldiği kotları belirlemiştir [6].

E. Doğan ve ark., Aşağı Sakarya Nehir yatağının son 113 km'lik kısmı için 100 yıl tekerrür süreli taşkınları ve baraj yıkılması senaryosunu HEC-RAS programı ile çalışmıştır. Bu çalışmanın sonucunu HEC-GeoRAS, ArcGIS 9x ve ArcView 3.2 programında taşkın yayılım haritalarına dönüştürmüşler ve Aşağı Sakarya Nehrinin olası taşkınlarla karşı duyarlı olduğunu göstermişlerdir. Aşağı Sakarya nehrinin bazı zamanlarda taşkın sularından etkilenmesi çalışma sonucunun gerçekliğini desteklemektedir [7].

E. Şahin ve ark., Güzelyurt bölgesinde su yüzeyi profillerini HEC-RAS ile bulmuşlar ve yayılım alanlarını elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda iki farklı çözüm önerisi sunmuşlardır. İlk olarak maliyet analizlerini değerlendirmişler ve Bostancı deresi üzerine bir sel kapanı ve taşkın debisinin bir kısmını Fabrika Deresine bağlayacak bir kanal önermişlerdir. İkinci olarak bu derelerin akım kapasitelerinin artırılması amacıyla yeni bir kaplamalı kanal önerisi sunmuşlardır. İkinci önerinin yatırım maliyetinin daha yüksek olması nedeniyle ilk önerinin daha etkin olduğunu saptamışlardır [8].

İ. Tuncer çalışmasında İstanbul Küçükçekmece Gölü bölgesinde bulunan yerleşimleri ve ulaşım sistemlerini kapsayan alan içerisindeki Nakkaş Deresini uygulama alanı olarak seçmiştir. Taşkın esnasında ortaya çıkacak su seviyelerini Standart Adım Yöntemi ve Manning Formülünü Excel yardımı ile kullanarak tespit etmiş ve HEC-RAS ile modelleyip çıktılarını karşılaştırmıştır. Uygulama alanında tasarlanmış olan kaplamalı trapez kanalın her iki yöntemde elde edilen su yükseklikleri için yeterli olduğu sonucuna varmıştır [9].

H. Özdemir ve ark., Çanakkale Çokal Barajı çökme modelinin taşkın analizi için HEC-RAS programını kullanmış ve baraj çökmesi sonucu oluşan taşkının Evreşe Ovasında yalnızca tarım ürünlerinden elde edilecek kaybın tahmini 12 milyon TL'yi bulduğunu göstermişlerdir [10].

G. Onuşluel Gül ve ark., İzmir Bostanlı havzası için çalışma yapmıştır. Taşkın hidrograflarını HEC-HMS ile elde etmişler ve taşkın bölgesi modellemesini HEC-RAS ve HEC-GeoRAS ile yapmışlardır. Çalışma alanında alınan önlemlerin yetersiz kalabileceğini göstermişlerdir [11].

İ. Düden çalışmasında Darıdere barajının tedrici yıkılması ve yarıktan çıkan taşkın analizi için HEC-RAS ve DAMBRK yazılımları ile yapmış, HEC-RAS yazılımında daha hassas sonuçların elde edildiğini vurgulamıştır. Ayrıca baraj yıkılması durumunda en fazla zararın pik taşkın debilerinin ve pik dalgası kotlarının en yüksek olduğu baraja yakın bölgelerde olduğunu görmüştür [12].

Ö. Kara çalışmasında yapay kanallar üzerinde oluşturmuş olduğu dört farklı dikdörtgen köprü açıklığını, seçmiş olduğu beş farklı debi ile HEC-RAS'ta incelemiş ve HEC-RAS ile deneysel çalışmada elde ettiği su yüzeyi profillerinin birbiri ile uyumlu olduğunu gözlemlemiştir [13].

İ. Uçar çalışmasında Trabzon Değirmendere havzasını çalışma alanı olarak seçmiş ve havza için modellemesini HEC-RAS ile birlikte bir CBS(Coğrafi Bilgi Sistemi) programı kullanarak çalışma alanındaki yapıların olası taşkın sonucunda nasıl zarar göreceğini ve bu yapılaşmanın taşkının zararını nasıl artıracığına ait tespitler yapmıştır [14].

Vasconcelos ve ark., balık yaşamının devamı ve balık geçişleri için menfez projelendirilmesi çalışmasında HEC-RAS yazılımından faydalanmışlardır [15].

Ackerman ve ark., HEC-RAS modelinin doğruluğunu gösterebilmek amacıyla bölgede daha önceden meydana gelen taşkınlardan faydalanmışlardır. HEC-RAS modeli ile taşkın sonuçlarının önceden tahmin edilebileceğı ve yerleşim yeri planlanırken bu model sonuçlarının kullanılabileceğini belirtmişlerdir [16].

Barajların güvenliğı ile ilgili analizler 1970'lerden itibaren geliştirilmektedir. 1971 ile 1977 yılları arasında Amerika'da dört adet baraj yıkılması gerçekleşmiştir. Nisan 1977'de baraj güvenliğı faaliyetlerinin gözden geçirilmesi amacıyla bir genelge yayınlanmıştır. Haziran 1979'da *Interagency Committee on Dam Safety (ICODS)* ilk baraj güvenliğı kurallarını içeren bir rapor yayınlamıştır.

Son yıllarda baraj yıkılma hidrografları, bu hidrografların ötelenmesi ve olası zararların önceden tahmini amacıyla bilgisayar destekli modellemeler yapılmaktadır. Dolgu barajların yıkılması durumunda oluşacak pik debinin tahmini amacıyla son yıllarda birçok metod denemiştir. Bu metodların birçoğı, baraj gerisindeki su hacmi, baraj gerisindeki su yüksekliğı veya her ikisini birlikte kullanarak basit regresyon analizleri yardımı ile pik debinin ilişkilendirilmesine dayanmaktadır.

Wahl kendinden önceki araştırmacıların tespit ettiği dolgu baraj vakalarına ait çalışmaların tamamını içeren 108 örnek çalışmayı bir araya getirerek baraj yıkılmalarında pik debiye etki eden en önemli parametreyi bulmaya çalışmıştır [17-18].

Pierce ve ark., 2010 yılında Wahl tarafından sunulan verileri genişletmişler ve farklı regresyon tipleri kullanarak baraj gerisindeki su hacmi, baraj yüksekliği, ortalama dolgu genişliği ve dolgu uzunluğu parametrelerine bağlı yeni eşitlikler geliştirmişlerdir[19].

Gupta ve Singh, 2012 yılında Pierce ve arkadaşlarının verilerini kullanarak, lineer regresyon yardımıyla baraj yüksekliği ve baraj gerisindeki su hacmine bağlı olarak dolgu barajlar için pik debi eşitliği elde etmişlerdir [20].

1.3. Taşkınları Etkileyen Faktörler

Akarsularda su seviyesi ve debi zaman içinde değişir. Debinin ve dolayısıyla seviyenin yüksek olduğu dönemlerde akım akarsu yatağının dışına taşabilir. Akarsuyun sel yatağına yayılmasıyla çeşitli zararlar ve can kaybı oluşabilir. Bu olaya taşkın, taşkınların zararlarının önlenmesi için yapılan çalışmalara taşkın yönetimi denir.

Taşkınlar pik debi, pik su seviyesi ve taşkın hacmi ile belirlenebilir. Pik su seviyesi akarsu boyunca seddelerin planlanmasında ve sel yatağında suyun yayılacağı bölgelerin belirlenmesinde gerekli olur. Pik debi taşkın kanallarının, köprülerin menfezlerin ve dolu savakların projelendirilmesinde kullanılır. Taşkın hacmi ise taşkın kontrolü için depolama yapılarının hesabında önemlidir [21].

Bir taşkın sırasında debinin zamanla değişimi taşkın hidrografi ile elde edilir. Debi ve seviye zamanla yükselip bir pik değerden geçtikten sonra daha yavaş olarak alçalır.

24 ağustos 2015'te Artvin'in Hopa ilçesine bağlı Sugören köyünde meydana gelen taşkında metrekare başına 255 kg yağış düştüğü ve bu yağışın 500 yıllık taşkına denk geldiği ifade edilmiştir. 8 kişinin öldüğü bu felakette dere yatağı yakınındaki yapılaşmaların felaketten en çok zararı gördüğü gözlemlenmiştir. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de taşkın sonrası vaziyetler görülmektedir.



Şekil 1.1. 2015 yılı Sugören Köyü Taşkın sonrası vaziyeti (1)



Şekil 1.2. 2015 yılı Sugören Köyü Taşkın sonrası vaziyeti (2)

2012 yılı Temmuz ayı içerisinde Samsun'un Canik ilçesinde meydana gelen felakette 9 kişi yaşamını yitirmiştir. Mert Irmağı'nın taşkın debisini geçirememesi sonucunda Samsun ilinin bazı bağlantı yolları sular altında kalmış ve ulaşım sağlanamamıştır. Aynı zamanda dere yatağındaki yapılaşma da ciddi anlamda zarar görmüştür. şekil 1.3'te taşkın sonrası ulaşıma kapanmış karayolu, şekil 1.4'te de taşkından etkilenmiş dere yatağı görülmektedir.



şekil 1.3. 2012 yılı Samsun'da meydana gelen taşkın sonrası ulaşıma kapanmış yol



şekil 1.4. 2012 yılı Samsun'da meydana gelen taşkından etkilenmiş dere yatağı

Çalışma bölgesinde ise 2011 ve 2015 yılları arasında 3 defa taşkın olayı meydana gelmiş ve maddi hasarlara yol açmıştır.

Haziran 2011’de Kırıkkale ili, Yahşıhan ilçesine bağlı Irmak beldesinde yaşanan taşkın felaketi birçok ev ve işyerinin sular altında kalmasına neden olmuştur. Ayrıca taşkın sularının bölgeden geçen tren raylarını da zarara uğratması sonucu tren yolu ulaşımına kapanmıştır. Şekil 1.5’te Irmak beldesinin 2011 yılında taşkın sonucunda gördüğü zararlar görülmektedir.



Şekil 1.5. Irmak beldesinin 2011 yılında taşkın sonucunda gördüğü zararlar

2014 yılı Ağustos ayında Kırıkkale’de meydana gelen ve 45 dakika süren ani sağanak yağışta Yenimahalle Mezarlığı, Kırıkkale şehirlerarası otobüs terminalinin bodrum katı taşkın sonucu sular altında kalmıştır. 2014 yılı taşkınından özellikle Kırıkkale-Samsun karayolu yakınındaki köyler büyük zarar görmüştür. Şekil 1.6’da 2014 yılında görülen taşkın sonucu Yenimahalle mezarlığının durumu görülmektedir.



Şekil 1.6. 2014 yılı taşkını sonucu Yenimahalle mezarlığı durumu

2015 yılı Haziran ayında görülen taşkında ise Kırıkkale şehir merkezinde birçok ev ve işyeri zarar görmüştür. Yine aynı taşkında Kırıkkale-Kayseri karayolu ile yol üzerinde bulunan bir alışveriş merkezinin otoparkı sular altında kalmış bunun sonucunda ulaşım uzun süreli olarak sağlanamamış ve birçok araç zarar görmüştür. Şekil 1.7, 1.8 ve 1.9’da taşkından etkilenmiş Kırıkkale-Kayseri karayolu görülmektedir.



Şekil 1.7. Taşkından etkilenmiş Kırıkkale-Kayseri karayolu (1)



Şekil 1.8. Taşkından etkilenmiş Kırıkkale-Kayseri karayolu (2)



Şekil 1.9. Taşkından etkilenmiş Kırıkkale-Kayseri karayolu (3)

Taşkınlar kısa süreli şiddetli yağışlar, uzun süreli düşük şiddetli yağışlar, kar erimesi, barajların veya seddelerin yıkılması ya da bunların bileşimi sonucu oluşur. Ayrıca depremler, toprak kaymaları, gel-git fırtına dalgaları da taşkın yaratabilirler. Genelde taşkınlar akarsuyun tabii yatağı ve normal taşkın yatağı ile denizlere ulaşırlar. Ancak gelişen şehirleşme ile tabii akarsu yatağı, köprü ayakları, taşımacılık, boru hatları, kanalizasyon deşarjları ve diğer engelleri ile daraltılmıştır. Taşkın yatakları ise su yapıları, evler, fabrikalar, demiryolları ve karayolları ile işgal edilmiştir. Burada yaşayan insanlar genellikle can ve mallarının gelecekte oluşabilecek taşkınlar nedeniyle güvence altında olmadığını farkında değildirler.

Taşkınların fiziksel yapısını kontrol eden en önemli etken iklimdir. Drenaj havzasının ve akarsu ağının fiziksel özellikleri ise diğer önemli etkenler olarak kabul edilebilir ve birbiriyle karmaşık bir şekilde ilişkilidir. Bu etkenler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

A. Drenaj Havzasının Özellikleri:

1. Havzanın büyüklüğü,
2. Havzanın biçimi,
3. Havzanın eğimi,
4. Zemin cinsi,
5. Bitki örtüsü,
6. Yeraltı akiferlerinin kapasitesi,
7. Zemin nemi eksikliği,
8. Yapay drenaj ağının tipi ve miktarı,
9. Yüzeysel biriktirmenin tipi ve miktarı.

B. Akarsu Ağının Özellikleri:

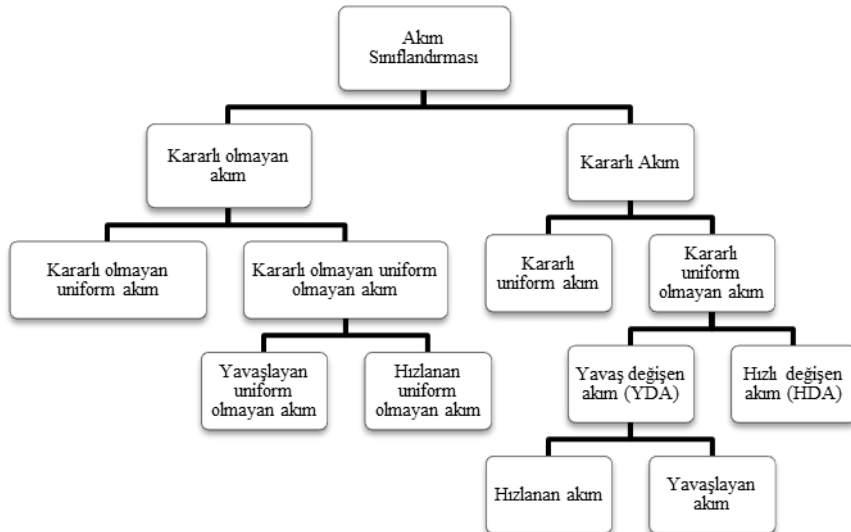
1. Akarsu yoğunluğu,
2. Drenaj yoğunluğu,
3. Akarsu profili.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kararlı Açık Kanal Akımları

Açık kanal akımları su yüzeyinin atmosfer ile temasta olduğu akımlardır. Akarsular sulama kanalları, drenaj kanallarındaki akımlar ile boru, tünel, galeri ve kanalizasyon şebekelerindeki serbest yüzeyli akımlar da açık kanal akımlarıdır.

Bir akımda, herhangi bir noktadaki hızın yönü ve değeri zamanla değişmezse, bu tip hareketlere veya rejimlere kararlı hareket veya kararlı rejim denir. Yani en kesite ait hidrolik parametreler (derinlik, ıslak kesit, debi vb.) sabit bir değerde olur. Kanala herhangi bir surette su gelmediği veya kanalın güzergâhı boyunca dışarıya su verilmediği takdirde (kol, sızıntılar) bütün kesitlerde aynı debi mevcuttur. Bir başka ifadeyle akım derinliği h , zamanla değişmiyorsa veya belli bir zaman aralığında sabit kabul edilebiliyorsa bu akım türüne kararlı akım denmektedir. Zaman ölçütü dışında akımlar konumlarına göre sınıflandırılmaktadır. Eğer açık kanaldaki akım derinliği kanalın her kesitinde aynı ise uniform akım, değilse uniform olmayan akımdır [22]. Açık kanal akımlarının sınıflandırılması Şekil 2.1’de belirtilmiştir.



Şekil 2.1 Akım sınıflandırmaları [22]

2.1.1. Açık Kanal Hidroliği Temel Denklemleri

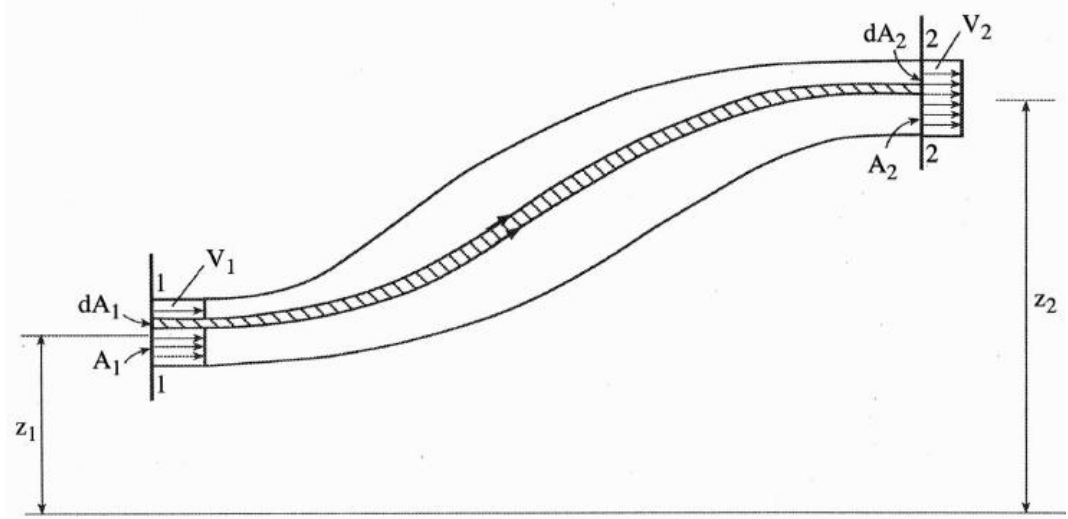
Açık kanal hidroliğinin karakteristik özelliği serbest yüzeylerin şekil değiştirebilme kabiliyetidir, bu özellik sıçrama, ani düşü, kabarma gibi, basınçlı borularda bulunmayan bazı olaylara neden olur. Bunun neticesinde açık kanal akımlarının incelenmesi boru akımının incelenmesinden karakter bakımından çok farklıdır ve çözümleri daha karmaşıktır.

Açık kanal akımlarında kullanılan temel kavramlar şunlardır;

- En kesit: Akımın, akış yönüne dik olarak alınan düzlemsel kesite kanal en kesiti adı verilir.
- Islak kesit: En kesitin sıvı ile dolu olan kısmına ıslak kesit adı verilir.
- Akış kesiti: Akımın Q debisinin fiili olarak geçtiği kesite denir. Daha geniş anlamda çevrintilerin meydana getirdiği ölü bölge olarak anılan alanların, fiilen akışa katılmadığı durumlarda oluşan kesittir.
- Islak çevre: Islak kesiti çevreleyen kanalın katı cidar uzunluğuna ıslak çevre denir.
- Hidrolik yarıçap: Akış kesitinin ıslak çevreye oranına denir.
- Ortalama hız: Kanaldan geçen debinin akış kesitine oranına denir.
- Talveg: Açık kanal en kesitinin en derin noktasına denir [23].

2.1.1.1. Debi Süreklilik Denklemi

Şekil 2.2. de görülen bir sonlu kesitli akım borusunu (hakiki bir boru, bir kanal veya bir akarsu) dikkate aldığımızda bu akım borusundan herhangi bir sızma olmadığı durumda borunun A_1 kesitinden giren akımın borunun A_2 kısmından terk ettiği ve suyun da sıkışmaz özellikte olduğu kabulü altında akım borusunun her iki ucu için hız ile kesit alanının çarpımı daima sabittir ve bu büyüklüğe de debi denir ve denklem 2.1 kullanılarak bulunur [23].



Şekil 2.2. Sonlu kesitli akım borusu

$$Q = A_1 ds_1 = A_1 (V_1 \cdot 1) = V_1 A_1 \quad (2.1)$$

Bu denklemde 1 no'lu kesitte A_1 kesit alanını ve V_1 1 no'lu kesitteki hızı ifade etmektedir.

Her iki kesitte de debinin eşit olduğu bilindiğinden debi denklemi her iki kesit için ayrı ayrı yazılıp eşitlenirse (denklem 2.2), denklem debi süreklilik denklemi olarak ifade edilir.

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (2.2)$$

2.1.1.2. Enerji Denklemi

Hidroliğin temel kavramlarından biri olan toplam enerji yüksekliği, referans yüksekliği, basınç yüksekliği ve hız yüksekliğinin toplamına eşittir. Bernoulli enerji denklemi veya bir boyutlu akımın enerji denklemi olarak ifade ettiğimiz enerji denklemi denklem 2.3'te belirtilmiştir [23].

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (2.3)$$

Burada denklemde;

H: Toplam enerji yüksekliği (m)

z: Referans yüksekliği (m)

$\frac{p}{\gamma}$: Basınç yüksekliği (m)

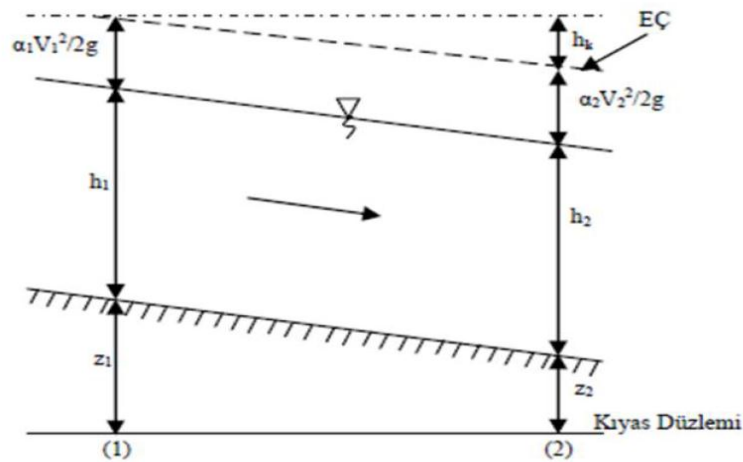
$\frac{v^2}{2g}$: Hız yüksekliği (m)

olarak ifade edilmektedir.

Şekil 2.3'te verilen açık kanal akımında 1 ve 2 no'lu kesitler arasında ideal akışkan kabulü altında denklem 2.3 her iki kesit için yazılırsa

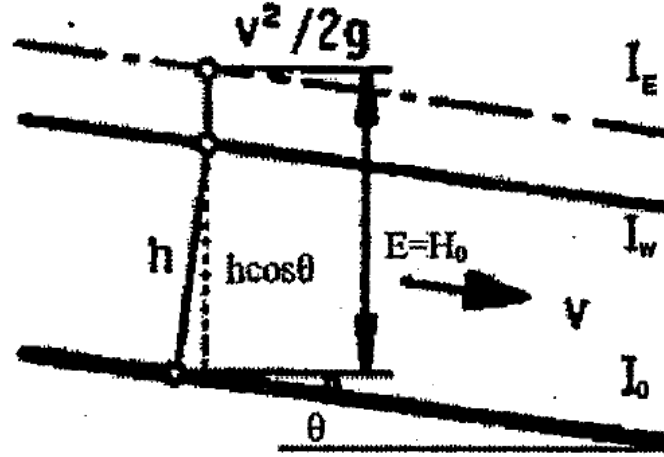
$$z_1 + \frac{p}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.4)$$

denklemini elde edilmiş olur. Bu denklemdeki α_1 ve α_2 düzgün olmayan hız dağılımından dolayı hız düzeltme katsayısı olarak tanımlanmıştır



Şekil 2.3. Açık kanal akımlarında enerji [22]

Tek boyutta hidrolik hesap yapılırken akım derinliği tanımı doğru yapılmalıdır. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi akım derinliği tabana dik olan h ile gösterilmiştir, kanal tabanı yatay ile belli bir θ açısı yapmaktadır. Bu nedenle su seviyesi ile kanal tabanı arasındaki mesafe $h \cos \theta$ değerine eşit olmaktadır.



Şekil 2.4. Açık kanal akımlarında taban eğimi açısı [22]

Şekil 2.3'te herhangi bir h yüksekliğindeki su sütunu için kuvvet denge eşitliği yazılırsa, basınç yüksekliği olarak tanımlanan $\frac{p}{\gamma}$ ifadesi $h \cos \theta$ ifadesine eşit olarak tanımlanabilmektedir. Kanal taban kotunu kıyas düzlemi olarak kabul edilirse ($z=0$) enerji yüksekliği ifadesi özgül enerji yüksekliği olarak ifade edilmektedir. Bu durumda enerji;

$$E = H_0 = h \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (2.5)$$

olarak ifade edilebilir.

2.1.2. Özgöl Enerji Kavramı ve Akım Rejimi Tayini

Akım çizgileri ile kanal tabanının birbirine paralel olduğu durumlarda $\frac{P}{\gamma}$ değeri sabittir. Referans kotu olarak taban kotu alındığında, $\frac{P}{\gamma}$ değeri h su yüksekliğine eşit olur ve enerji yüksekliği ifadesi özgöl enerji olarak tanımlanır ve denklem 2.6'daki halini alır [23].

$$E = h \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (2.6)$$

Kanal taban eğiminin küçük olduğu durumlarda ($\theta < 10^\circ$) veya kanal taban eğiminin 0.018° 'den küçük olması halinde $h \cos \theta$ değeri h değerine çok yakın olmaktadır ($h \cos \theta \approx h$).

Akım çizgileri ile kanal tabanının paralel olduğu durumlarda α hız düzeltme katsayıları 1 olarak alınmaktadır. Bu şartlar altında özgöl enerji denklemi,

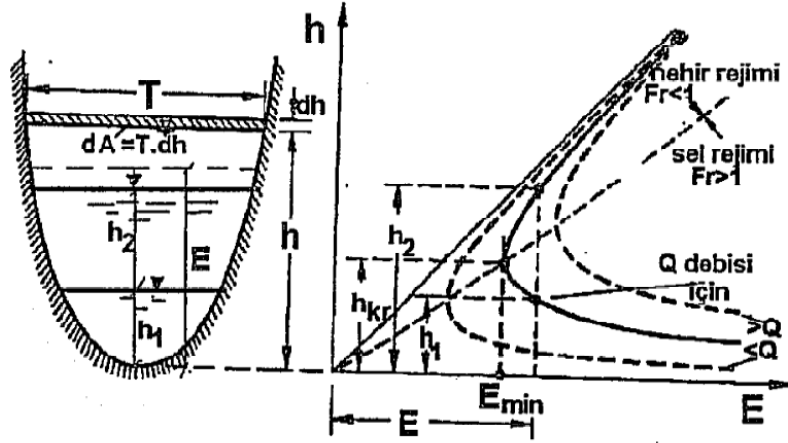
$$E = h + \frac{v^2}{2g} \quad (2.7)$$

şeklini alır.

Denklem 2.6'nın akım derinliği h'ye göre türevi alındığında,

$$\frac{dE}{dh} = 1 - \frac{Q^2}{g \cdot A^3} \cdot \frac{dA}{dh} \quad (2.8)$$

eşitliği bulunur. Şekil 2.5'te gösterilen kesitte su yüzeyi genişliği T ile ifade edildiğinde $dA = T \cdot dh$ olur ve akımın minimum enerjideyken sahip olduğu derinlik olan kritik derinlik (h_k) denklem 2.8 yardımıyla türetilen denklemler ile bulunur [23].



Şekil 2.5. Açık kanal akımlarında özgül enerji- su derinliği ilişkisi [22]

Denklem 2.8'in birinci türevi sıfıra eşitlenirse;

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_{kr}}{T_{kr}} \quad (2.9)$$

denklemini elde edilmiş olur. İlave olarak $\frac{A_{kr}}{T_{kr}} = D_{kr}$ ve $v_{kr} = \frac{Q}{A_{kr}}$ denklemleri kullanılarak 2.7 denklemini aşağıdaki şekle getirebiliriz;

$$Fr^2 = 1 = \frac{v_{kr}^2}{g \cdot D_{kr}} \quad (2.10)$$

Şekil 2.5'ten anlaşılacağı üzere kritik derinlik sırasındaki minimum enerji E_{min} oluştuğunda Froude sayısının 1'e eşit olduğu ($Fr=1$) görülmektedir. Minimum enerjinin olduğu durumdaki hız da kritik hız olarak tanımlanır. Bu durumda;

$$E_{min} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2g} \quad (2.11)$$

Denklem 2.11 kullanarak kritik hızı v_{kr} bulmak istediğimizde;

$$v_{kr} = \sqrt{2g(E_{min} - h_{kr})} \quad (2.12)$$

eşitliği ortaya çıkmaktadır.

Herhangi sabit bir Q debisi için $E > E_{min}$ durumunda aynı özgül enerjiye sahip akım için farklı iki akım derinliği oluşmaktadır;

- Akım nehir rejiminde ise akım hızı $v < v_{kr}$ ve akım derinliği $h > h_{kr}$ olur ve Froude sayısı $Fr < 1$ değerini alır.
- Akım sel rejiminde ise akım hızı ise akım hızı $v > v_{kr}$ ve akım derinliği $h < h_{kr}$ olur ve Froude sayısı $Fr > 1$ değerini alır.

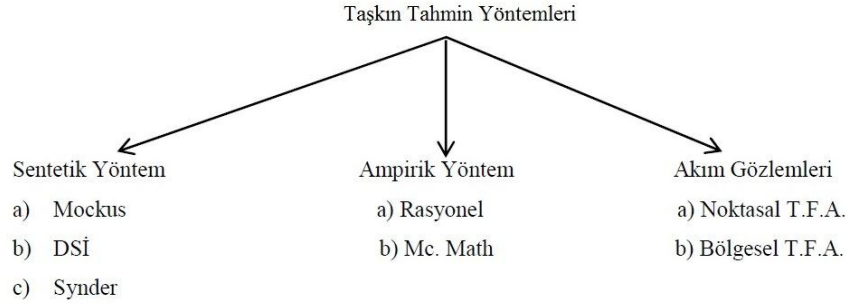
Çizelge 2.1. Rejimlerine göre akım sınıflandırılması

Akım Rejimi	Akım Derinliği	Akım Hızı	Froude Sayısı
Nehir	$h > h_{kr}$	$v < v_{kr}$	$Fr < 1$
Kritik	$h = h_{kr}$	$V = v_{kr}$	$Fr = 1$
Sel	$h < h_{kr}$	$v > v_{kr}$	$Fr > 1$

2.2. Taşkın Tahmin Yöntemleri

Taşkınların ekonomik ve sosyal etkilerinin azaltılabilmesi için taşkın büyüklüklerinin belirlenmesi çok önemlidir. Bu amaçla yapılacak yatırımlar birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde önemli harcamalar gerektirmektedir. Özellikle kırsal drenaj havzalarında ve küçük akarsu havzalarındaki taşkın zararları ülke ekonomisinde önemli rol oynamaktadır. Bunun nedeni büyük akarsu havzaları için gelişmiş taşkın tahmin yöntemleri uygulanırken, küçük ve kırsal havzalardaki önlemlerin azlığı veya yetersizliğidir.

Taşkın tahminlerinde, havzanın durumu ve eldeki veriler ışığında Şekil 2.6’te görünen yöntemlerden biri veya daha fazlası kullanılabilir.



Şekil 2.6. Taşkın tahmin yöntemleri

Bu yöntemlerden Mockus Yöntemi toplanma zamanı 30 saatten küçük olan havzalar için uygulanabilmektedir. DSİ yöntemi drenaj alanı 1000 km²’den az olan havzalar için uygulanırken, Synder yöntemi ise drenaj alanı 1000 km²’den büyük havzalar için uygulanmaktadır. Rasyonel yöntem yerleşim yerleri için 0.5 km²’den küçük alanlara uygulanırken, kırsal alanlar için 1km²’den küçük alanlar için kullanılmaktadır. Mc. Math metodu topografik olarak daha engebesiz alanlarda iyi sonuçlar vermektedir. Akım gözlemleri ile yapılan taşkın frekans analizlerinde ise tek bir akarsu üzerindeki AGİ’ler kullanılıyorsa Noktasal Taşkın Frekans Analizi, farklı akarsulardaki birden fazla AGİ kullanılıyorsa Bölgesel Taşkın Frekans Analizi yöntemi kullanılır.

2.2.1. Noktasal Taşkın Frekans Analizi

İstatistik metotların hidrolojide en çok kullanıldığı konulardan biri taşkın debilerinin olasılık dağılımının belirlenmesidir. Yılın en büyük debisi olarak tanımlanan taşkın debisi yıldan yıla büyük değişimler gösterebilen bir rasgele değişkendir. Gözlem yapılan her yıl ancak bir değer gözlenmiş olacağından taşkın debileri için elde edilen örnekler genellikle küçüktür. Taşkın frekans analizi için elde en az 10 elemanı olan bir örnek bulunması gerekir. Böyle bir örneğin elemanları küçükten büyüğe dizilir ($x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_m \leq \dots x_N$). Düzenlenmiş örnekte m’inci eleman x_m olduğuna göre

taşkın debisinin x_m 'den küçük kalması olayının frekans analizi denklem 2.13 kullanılarak hesaplanır.

$$F(x_m) = \frac{m}{N+1} \quad (2.13)$$

Frekans analizinin yeterli doğrulukta yapılabilmesi için uzun ve homojen verilere ihtiyaç vardır. Birçok durumda mevcut veriler rasgele değişkene(taşkın, düşük akım, yağış....) ait riskin belirlenebilmesi için yeterli değildir. Frekans analizi ile söz konusu hidrolojik değişken ve onun oluşma olasılığı arasında bir grafik elde edilir. Bu grafik, verilerden elde edilen değişkenin istatistiksel toplumunun en iyi tahmini olarak kabul edilir[21].

Taşkın frekans analizi genellikle grafik olarak yapılır ve yatay eksen de pik debi değerleri ve düşeyde bu değerlere karşı gelen eklenik frekans değerleri yer alır. Bu yöntem amprik yöntem olarak da anılır. Bu amaçla aritmetik bir kağıt kullanılabileceği gibi taşkın toplumunu temsil edebilecek çeşitli olasılık dağılımlarına ait geliştirilmiş olasılık kağıtlarından da yararlanılabilir.

Taşkın frekans analizi grafik olarak yapılırken taşkın verileri büyükten küçüğe sıraya dizilir. Sıraya dizilmiş taşkın debilerinin eklenik frekans değerleri literatürde önerilen formüller ile belirlenir.

Grafik yöntemine bir alternatif olarak matematik bir model kullanılarak da frekans analizi yapılabilir.

Noktasal taşkın frekans analizi yapılırken akım verilerinin hangi tipte olasılık dağılımına uyduğunun saptanması önem taşımaktadır. Bu amaçla parametrik frekans analizlerinden önce verilerin uyduğu dağılımlara karar verilmesi gerekmektedir. Ancak son zamanlarda parametrik olmayan taşkın frekans analizleri ile verilere uygun dağılımın bulunmasına gerek bulunmamaktadır [24].

2.3. Taşkınların Ötelenmesi

Taşkın ötelemesi, bir akarsu veya bir göl boyunca ilerleyen taşkın dalgasının zamana bağlı olarak değişiminin hesaplanmasıdır. Diğer bir tanımla taşkın ötelemesi; bir taşkın dalgasının yolunun, gidişinin hesabının geliştirilmesi olarak tanımlanır.

Taşkın ötelenmesi hesaplarının taşkın kontrolü açısından birçok faydaları vardır. Bunlar; Akarsuyun belirli bir noktasındaki taşkın büyüklükleri bilindiğinde, taşkın ötelenmesi hesapları ile bu noktanın kilometrelerce mansabındaki bir yerde taşkın büyüklükleri saatlerce hatta günlerce önce hesaplanabilir. Bu durumda can ve malın kurtarılması ve korunması için gerekli zaman kazanılır ve bu şekilde taşkın zararlarının azaltılması sağlanır. Taşkın ötelenmesi hesapları ile akarsu boyunca taşkın debilerinin ve su seviyelerinin değişimi hesaplanabildiğinden taşkın koruma yapılarının, örneğin seddelerin, boyutları emniyetle belirlenir.

Taşkın ötelemede kullanılan iki tip metot vardır, bunlar;

- Hidrolojik(Toplu) Yöntemler: Sadece süreklilik denklemini kullanan bu modellerde yapılan bazı kabullere dayanarak belli kesitlerdeki akımın zamana göre değişimi belirlenir.
- Hidrolik(Yayıllı) Yöntemler: Bu modellerde akımın süreklilik ve hareket (momentum) denklemlerini bir arada kullanarak akarsu boyunca her noktada akımın zamana göre değişimi belirlenir.

Hidrolik öteleme, hidrolojik ötelemeye göre daha karmaşık olmakla beraber ve daha iyi sonuç verir.

2.3.1. Hidrolojik(Toplu) Yöntemler

Hidrolojik yöntemlerde sadece akım süreklilik denklemi kullanılır. İki bilinmeyen bulunduğu (akım derinliği ve debi) süreklilik denklemi dışında bir denkleme daha ihtiyaç duyulur. Momentum denklemini kullanmak yerine bir akarsu parçasındaki biriktirme hacmi ile giren ve çıkan debiler arasındaki ilişki için bir kabul yapılır.

Hidrolojik yöntemlerle taşkın dalgasını ötelerken akarsu uygun uzunlukta parçalara ayrılır. En yukarıdaki parçadan başlayarak sırayla her bir parça için giriş hidrografi bilindiğine göre çıkış hidrografi hesaplanır. Elde edilen çıkış hidrografi bir sonraki parça için giriş hidrografi olarak alınır ve hesaplara devam edilir. Bu sayede akarsuyun belli kesitlerinde belirli zaman aralıklarıyla debiler ve su seviyeleri bulunur.

Akarsuyun bir parçasına giren akım $x(t)$, bu parçadan çıkan akım $y(t)$, bu parçada birikmiş su hacmi $S(t)$ ile gösterilirse süreklilik denklemi akarsuyun o kesiti için denklem 2.14 şeklinde yazılabilir.

$$\frac{dS}{dt} = x - y \quad (2.14)$$

Çalışma kapsamı hidrolik yöntemlerle taşkın ötelemesi olduğundan dolayı hidrolojik modeller hakkında detaylı bilgi verilmemiştir.

2.3.2. Hidrolik(Yayılı) Yöntemler

Taşkın dalgasının ötelenmesinde kullanılan hidrolik yöntemlerde süreklilik denkleminin yanında momentum(hareket) denklemi de göz önüne alınır. Bu iki denklemden her kesitte debinin ve akım derinliğinin zamanla değişimi belirlenebilir. Denklem takımının çözümleri zor olduğundan bazı kabuller altında basitleştirmeler

yapılarak kinematik dalga, difüzyon dalgası ve dinamik dalga olarak adlandırılan yöntemlerle çözümler yapılır.

2.3.2.1. Hidrolik Yöntem Temel Denklemleri

Bir akarsuda zamanla değişen bir boyutlu akımın süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (2.15)$$

Burada x akım yönündeki koordinat eksenini, t zamanı, Q debiyi, A akarsuyun kesit alanını, q akarsu yüzeyinden birim uzunluk boyunca giren debiyi göstermektedir.

Akımın momentum denklemi;

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial (Q^2 / A)}{\partial x} + g \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f \right) = 0 \quad (2.16)$$

Burada g yerçekimi ivmesi, y su derinliği, S_f sürtünme kayıpları için enerji çizgisi eğimi ve S_0 akarsuyun taban eğimidir.

Saint-Venant denklemleri adı ile bilinen bu iki denklem açık kanallarda zamanla değişen bir boyutlu akımın temel denklemleridir. Denklem 2.16 $V=Q/A$ hızı cinsinden yazılırsa;

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - gS_0 + gS_f = 0 \quad (2.17)$$

Denklem 2.17’de verilen momentum denkleminde birinci terim yerel ivmeyi(hızın zamanla değişmesinden doğan momentum değişimini), ikinci terim konvektif ivmeyi(hızın akarsu boyunca değişmesinden doğan momentum değişimini), üçüncü terim basınç kuvvetini ve son terim sürtünme kuvvetini göstermektedir.

Bu denklemleri çözmek güç olduğundan, momentum denklemindeki bazı terimler ihmal edilerek basitleştirmeler yapılır. Yapılan bu kabullere göre üç tip model kurulabilir.

1. Kinematik dalga modeli: Momentum denkleminde yerel ve konvektif ivmeler ile basınç kuvveti ihmal edilir. Bu durumda $S_0 = S_f$ olur ve momentum denklemleri zamanla değişmeyen üniform akımdaki şeklini alır.
2. Difüzyon dalgası modeli: Momentum denkleminde yerel ve konvektif ivmeler ihmal edilir. Denklem $\partial y / \partial x = S_0 - S_f$ şeklini alır. Bu zamanla değişmeyen, üniform olmayan akımın momentum denklemdir.
3. Dinamik dalga modeli: Momentum denklemindeki bütün terimler göz önüne alınır.

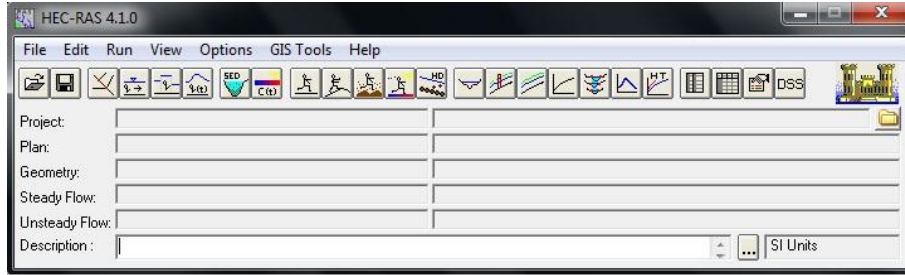
İhmal edilen terim sayısı arttıkça çözüm kolaylaşır. Ancak kinematik dalga ve difüzyon dalgası modeli gibi ihmallerin olduğu yöntemler kendilerine özgü problemlerde iyi sonuç verir.

2.4. HEC-RAS YAZILIMI

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) tek boyutlu, sürekli akımlara ait su yüzeylerinin hesaplandığı ve süreksiz akımlara ait modellemelerin yapıldığı, veri saklama ve yönetim kapasitesi olan bir hidrolik yazılımdır.

Amerikan ordusu mühendislerinin nehir modelleme amacıyla oluşturmuş olduğu bu program önceleri kendi yetkisi altındaki nehir ve limanları yönetmek amacıyla kullanılmış, 1995'ten sonra kamu ve diğer kurumların da kullanımına açılmıştır.

Çok sayıda veri giriş yeteneği, hidrolik analiz bileşenleri, veri depolama ve yönetimi yetenekleri ile grafik ve raporlama yetenekleri göz önüne alındığında nehir modellemede sonuç almamızda kolaylık sağlayan kullanışlı ve kolay ara yüzü bir programdır. HEC-RAS ana penceresi Şekil 2.7’de görülmektedir.



Şekil 2.7. HEC-RAS ana penceresi

HEC-RAS Yazılımı ile yapılabilen 4 farklı analiz tipi aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir;

- Kararlı akımlar için su yüzeyi profili hesabı.
- Kararsız akımlar için su yüzeyi profili hesabı.
- Sınır şartları değişen akım durumlarında sediment taşınımı hesabı
- Su kalitesi analizi ve taşınımı hesabı

Yazılım kararlı akımlar için su yüzeyi profili hesabında, kritik üstü akım, kritik altı akım ve her iki durum için çözüm yapabilmektedir. Yazılım kararlı akımlar için yaptığı çözümlerde tek boyutta enerji denklemini kullanmaktadır. Enerji kayıplarının hesabı için daralma/genişleme katsayıları ile pürüzlülük katsayısına ihtiyaç duyulmaktadır. Köprü hidroliği, hidrolik sıçrama, akım girişiminin olduğu yerler gibi akım rejiminin ani değiştiği durumlarda ise momentum denklemi kullanılmaktadır. Çalışma alanında menfez, köprü, dolusavak ve su bendi gibi yapıların akıma etkisi modelleme sonucu görülebilmektedir. Ayrıca çalışma alanındaki hidrolik ve hidrolojik değişiklikler de daha sonra modele eklenip çıkarılabilmektedir.

HEC-RAS, açık kanallarda bir boyutlu kararsız akımlar için de analiz yapma imkanı vermektedir. Kararlı akımlarda yapılabilen analizlerden farklı olarak kararsız akımlarda havzalar ve havza arası bağlantılar da modellenenbilmektedir.

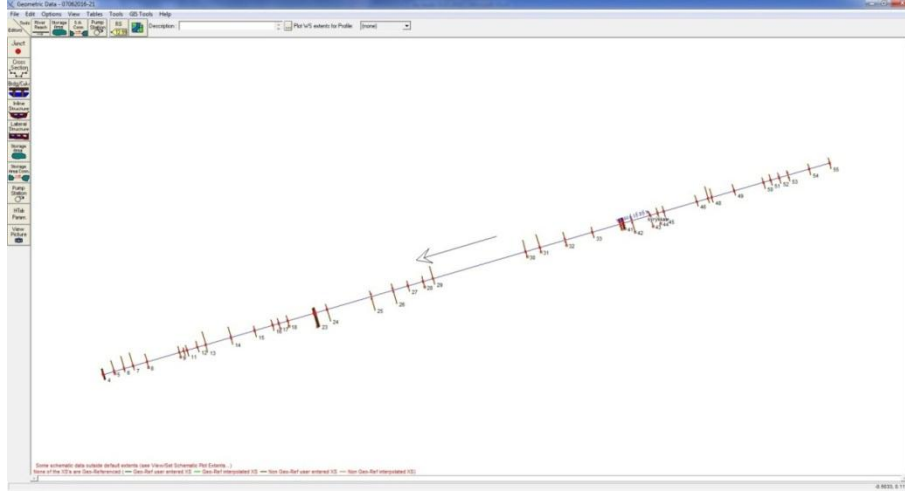
Yazılım ayrıca sediment taşınım hesabı ile su kalitesi ve taşınım hesabı da yapabilmektedir. Fakat bu çalışmada kararlı akım şartları altında hesap yapıldığından sadece kararlı akımlar için gerekli bilgiler verilmiştir.

2.4.1. HEC-RAS Yazılımında Kararlı Akım Hesabı İçin Gerekli Veriler

HEC-RAS yazılımının kararlı akım hesabı yapabilmesi için modellemesi yapılacak akarsuyun fiziksel özelliklerinin ve akım özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Analizin yapılabilmesi için gerekli verilerin eksik olması durumunda program hata verip çalışmayı durdurur. Fiziksel özellikler için geometrik data, akım özellikleri için kararlı akım dataları pencereleri kullanılır.

2.4.1.1. Geometrik Veriler(Geometric Data)

HEC-RAS yazılımına geometrik verilerin giriş amacı, modelleneneccek olan yapının fiziki şartlarını belirlemektir. Bu amaçla geometrik veriler kısmında, enkesitler, enerji kayıp katsayıları ve hidrolik yapılara ait veriler tanımlanabilir. Şekil 2.8’de geometrik veri giriş penceresi görölmektedir.



Şekil 2.8. HEC-RAS Geometrik Veri Giriş Penceresi

HEC-RAS yazılımı bir havzadaki akarsuların şematik olarak çizimine imkan sağlamaktadır. Nehirlere bağlı yan kollar ile küçük derelerin de bağlanmasıyla komple bir sistem kurulması imkanı da mevcuttur. Burada önemli olan nokta yan kollar çizilirken akış yönünün doğru belirtilmesidir.

Geometrik veri giriş sayfasına yazılımın ana sayfasındaki “Edit” menüsünden “Geometrik Data” kısmı seçilerek giriş yapılır. Geometrik veri giriş sayfasına girdikten sonra karşımıza “Tools” ve “Editors” kısmı çıkar. Bu kısımdaki sekmelerde yapılabilecekler şunlardır.

➤ Tools

- River Reach: Nehrin şematik olarak çizilmesi işine yarar.
- Storage Area: Nehir etrafında olan su biriktirme alanlarını tanımlamak için kullanılır.
- Storage Area Connection: Herhangi iki biriktirme alanını birleştirmek amacıyla kullanılır.
- Pump Station: Nehir üzerinde(varsa) pompa istasyonlarını tanımlamak için kullanılır.
- Stream Node: İki farklı nehir için düğüm noktası tanımlamak için kullanılır

- Schematic: Nehir şematiğinin görülebilmesi için arka plana resim yerleştirmek için kullanılır.

➤ Editors

- Junction: Ana akarsuya bağlanan yan kolların birleşme noktası tanımlanarak birlikte çalışmasını sağlar.
- Cross Section: En kesitlerin girişinin yapıldığı kısımdır. Burada en kesitlerin kotu, nehir ve sel yatağı noktaları, iki en kesit arası mesafeler, kesit için Manning pürüzlülük katsayısı, daralma ve genişleme katsayıları tanımlanır.
- Bridges or Culverts: Nehir üzerindeki köprü ve menfezlerin tanımlanması için kullanılır.
- Inline Structures: Akarsu üzerindeki baraj, bent, kanal kapağı gibi yapıların modellenmesi amacıyla kullanılır. Kullanım şekli köprü ve menfez tasarımı gibidir.
- Lateral Structures: Akarsu yatağı üzerinde bulunmayan yapıların modellenmesi amacıyla kullanılır.
- Storage Area: Su biriktirme alanlarının özelliklerinin girişi amacıyla kullanılır.
- Storage Area Connection: Su biriktirme alanlarının birleşim özelliklerini tanımlamak amacıyla kullanılır.
- Pump Station: Pompa istasyonlarının özelliklerini tanımlamak için kullanılır.
- Hydraulic Table Parameters: Kararsız akım özelliklerini tanımlamak amacıyla kullanılır.
- View Picture: En kesitler için sisteme resim eklemek ve bu resimleri görmek için kullanılır.

İlk yapılması gereken işlem “Tools” bölümünden “River Reach” sekmesi yardımı ile akarsuyun şematik olarak çizilmesidir. Şematik olarak çizilen akarsuyun en kesitleri akım yatağı boyunca yerleştirilir. Kesit tanımlama penceresine ulaşmak için, “Editors” bölümünden “Cross Section Data” sekmesi seçilir ve ekrana gelen pencerenin “Options” sekmesinden “Add a new Cross Section” seçilmelidir.

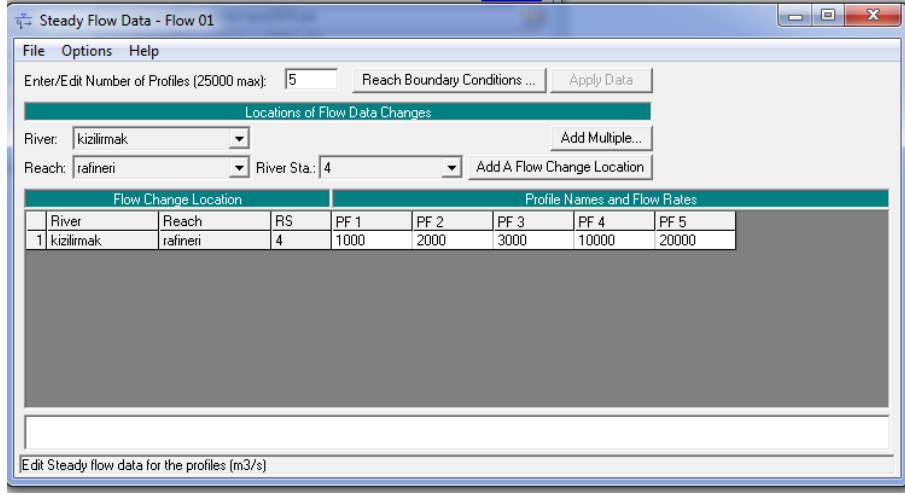
En kesitleri tanımlarken noktalar eksene olan uzaklık(station) ve kot olarak(elevation) tanımlanır. Kesitlerin eksene olan uzaklığı tanımlanırken, sol tarafı için negatif değerler ve sağ tarafı için pozitif değerler verilir. İlave olarak en kesitler arası uzaklık sağ sahil, sol sahil ve merkezden olmak üzere tanımlanır.

Farklı derelerden oluşan bir sistem için tanımlama yapılıyorsa kesitin hangi nehirde olduğu(River), numarası(River Station) ile birlikte etiketinin(River Station Label) tanımlanması gerekmektedir.

2.4.1.2. Kararlı Akım Verileri (Steady Flow Data)

Su yüzeyi profili hesaplanırken, su yüksekliğinin bilinmesiyle ya da bir kesitin başlangıç koşulları bilinen hidrolik özellikleri tanımlanmak suretiyle başlanır. HEC-RAS yazılımı nehir ve sel rejimleri ile beraber karışık rejimler için de hesap yapabilir. Modelleme yapılan alandaki profilinin akım şartları önceden tahmin edilemiyorsa en uygun seçim karışık rejim analizi olmalıdır.

Kararlı akım veri giriş penceresine yazılımın ana sayfasındaki “Edit” menüsünden “Steady Flow Data” kısmı seçilerek giriş yapılır. Şekil 2.9’da kararlı akım veri giriş penceresi görülmektedir. Bu pencerede bize yazılım, 25000 tane debi tanımlayabilme imkânını tanımıştır.



Şekil 2.9. Kararlı Akım Veri Giriş Penceresi

Ayrıca yazılımın hesap yapımına başlayabilmesi için gerekli 4 tane akım şartından birinin tanımlanması gerekmektedir. Bu akım şartları;

- Known Water Surface: Yazılımın akım koşulları bilinen su yüksekliği ile tanımlanır.
- Critical Depth: Yazılıma girmiş olduğumuz debi ve en kesitler ile kritik su yüksekliğini hesaplar ve diğer su yüksekliklerinin hesaplarını başlatır.
- Normal Depth: Kanal taban eğimi biliniyorsa, bu bilinen taban eğimine göre normal su yüksekliği ve debiyi kullanarak hesap yapar.
- Rating Curve: Debiye karşılık gelen akım derinliklerinin girilmesi ile oluşturulan eğri ile lineer enterpolasyon yapar ve gerekli su yüksekliklerini hesaplar [25].

Nehir rejiminde hesabın mansaptan memba yönüne, sel rejiminde ise membadan mansap yönüne olduğundan başlangıç sınır şartlarının doğru belirlenmesi gerekmektedir.

2.4.2. HEC-RAS Yazılımı Hesap Esasları

HEC-RAS yazılımının kararlı akım için su yüzeyi profilini elde ederken iki nokta arasında enerji eşitliğini kullanan ve iteratif hesap esaslarına dayanan Standart Adım Yöntemini kullanır. Yazılım Standart Adım Yöntemi ile hesap yaparken aşağıda belirtilen 5 adımı uygular:

1. Akım nehir rejiminde ise mansaptaki kesitte, sel rejiminde ise membadaki kesitte su yüksekliğini tahmin eder,
2. Tahmin ettiği su yüksekliğine göre hız yüksekliği ve yük kaybını hesaplar,
3. Kanal taban eğimini de hesaplayıp iki kesit arasındaki toplam enerji farkını hesaplar,
4. 2. ve 3. adımda elde ettiği su yüksekliği için enerji eşitliğinin çözümünü yapar,
5. Tahmin ettiği ve hesapladığı su yüksekliğini karşılaştırır. İki yüksekli arasında 0.003 m fark kalıncaya kadar işlemleri tekrarlar.

2.4.2.1. Standart Adım Yöntemi

Standart adım yöntemi yavaş değişen kararlı akım koşullarında, açık kanallarda tek boyutlu su yüzeyi profillerini tahmin etmek için kullanılan bir hesap metodudur. Su derinliğini belirlemek için süreklilik, enerji, momentum denklemlerini birlikte kullanır. Değişken kesitli akarsularda geometrisi bilinen kesitlerde hesap yapma imkanı verdiğinden dolayı akarsu hesabında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Standart adım yöntemi su derinliğinin hesabını deneme yanılma yöntemi(Newton-Raphson) ile belirlemektedir. Tüm nümerik çözümlerin esası gereği iterasyon basamak sayısını artırdıkça hata uzaklığı azalacağından daha iyi sonuçlar almak mümkündür [26].

Bu yöntemde akımın başlangıcında, sonunda veya herhangi iki kesitinde oluşan h akım derinliklerinden bir tanesinin ve Δx mesafesinin bilinmesi durumunda, diğer akım derinliğinin hesaplanması için kullanılmaktadır.

$$I_0 \cdot \Delta x + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \bar{I}_E \cdot \Delta x \quad (2.18)$$

Denklem 2.18’de bilinen h_1 derinliği ve v_1 hızı ile E_1 yani 1 no’lu kesitteki özgül enerji elde edilir. Δx mesafesi uzaklıktaki nokta için bir h_2 değeri tahmin edilir, sırasıyla v_2 ve I_{E2} hesaplanır ve kabul edilen h_2 değeri ile karşılaştırılır.

Δx genellikle standart bir uzunluk olarak alınmaktadır. Belirlenen bu mesafelerde en kesitin geometrik ve fiziksel özellikleri belirlenerek standart adımların yeterince küçük seçilmesi halinde bu yöntem ile doğal yataklarda da sağlıklı sonuçlar alınmaktadır.

2.5. Diferansiyel Gelişim Algoritması

Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) temel olarak genetik algoritmaya dayanan, popülasyon tabanlı bir tür optimizasyon tekniğidir. Price ve Storn tarafından 1997 yılında geliştirilen bu algoritma sürekli verilerin işlendiği problem tiplerinde daha iyi çözümler sunabilmektedir [26-27].

Yaptığı iterasyonlar boyunca, problemin çözümünde en iyi sonucu bulmak amacıyla tasarlanan basit bir algoritmadır. Genetik algortmadan farkı değişkenlerde reel değerlerin kullanılmasıdır. Diferansiyel gelişim algoritmasının öne çıkan en büyük üstünlüğü kolay kodlanabilmesidir. Farklı algoritmaların binlerce satırlık kodlarla yaptığı işlemleri yaklaşık yirmi satırlık kodla yapabilmektedir [27].

DGA’da amaç problemdeki kısıtlara uygun en iyi çözümü araştırmaktır. DGA’da bu kısıtlar amaç fonksiyonunun içinde yer almak zorundadır. Aksi durumda çözüm sonsuza kadar kayabilmektedir. Problemde amaç fonksiyonu, kısıtlar ve değişkenler belirlendikten sonra DGA probleme uygulanabilir.

2.5.1. Problem ve Parametreler

Diferansiyel gelişim algoritmasında çözüme ulaşmak amacıyla kullanılacak parametreler aşağıdaki gibidir.

NP: popülasyon büyüklüğü (kromozom sayısı) $NP \geq 4$ (1, 2, 3, ..., i)

D : değişken sayısı (gen sayısı) (1, 2, 3, ..., j)

CR: çaprazlama oranı [0.1,1.0]

G : jenerasyon (1, 2, 3, ..., Gmax)

F: ölçekleme faktörü

Optimizasyon problemleri genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$f(x)$$

$$g_k(x) \leq 0$$

$$x_j^{(l)} \leq x_j \leq x_j^{(u)} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$f(x)$ amaç fonksiyonu, $g_k(x)$ kısıtlar ve $X=\{x_1, x_2, x_4, \dots, x_n\}$ gerçek değişkenler setidir. $x_j^{(l)}$ ve $x_j^{(u)}$ sırasıyla değişkenlere ait alt ve üst sınır değerleridir.

2.5.2. Kodlama ve Başlangıç Popülasyonu

Problemin değişken sayısı her bir kromozomu oluşturan gen sayısına eşittir. DGA'da yeni kromozomların üretilebilmesi için mevcut kromozomdan hariç üç kromozoma ihtiyaç olduğu için kromozom sayısı her zaman üçten büyük olmalıdır. Başlangıç popülasyonunun üretiminden sonra işlemler jenerasyon sayısı kadar uygulanır ve algoritma tamamlanır. En iyi çözüm bireyi, son jenerasyonda yer alan en iyi bireydir.

2.5.3. Mutasyon

Mutasyon, kromozomların bazı genleri üzerinde, rasgele belirlenen sayı adedince değişiklik yapmaktır. Bu mutasyonda dikkat edilmesi gereken, hareketin doğru yönde ve doğru miktarda değişmesidir. Mutasyon için, eldeki kromozom dışında birbirinden farklı üç kromozomun seçilmesi gerekir.

2.5.4. Çaprazlama

Çaprazlama yapılırken, mutasyon sonucu elde edilen fark kromozomu ve mevcut kromozom kullanılarak yeni jenerasyona aday, aday kromozomu ($u_{i,G+1}$) üretilir. Aday kromozomuna ait her bir gen CR olasılıkla fark kromozomundan 1-CR olasılıkla mevcut kromozomdan seçilir. DGA'da eşit olasılık yerine CR olasılığı söz konusudur. 0 ile 1 arasında üretilen rasgele sayı CR' den küçükse gen, aday kromozomdan aksi takdirde mevcut kromozomdan seçilir. Amaç belirlenen oranda genin aday kromozomundan alınmasıdır. Rasgele seçilen gen 0 - 1 arasında değilse CR' ye bakılmaksızın aday kromozomdan seçilir.

2.5.5. Uygunluk Fonksiyonu

Mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılarak hedef kromozomla birlikte üç farklı kromozom kullanılarak yeni bir kromozom (deneme kromozomu) elde edilmiştir. Yeni jenerasyona ($G=G+1$) geçecek olan kromozomun belirlenmesinde kriter uygunluk değerleridir. Hedef kromozomun uygunluk değeri zaten bilinmektedir. Bu aşamada hesaplanacak olan $u_{i,G+1}$ ' e ait uygunluk değeridir. Problemin amaç fonksiyonuna $u_{i,G+1}$ ' e ait tüm u_j değerleri girilerek kromozomun değeri hesaplanır.

2.5.6. Seçim

Seçim operatörü ile mevcut nesil ve üretilen aday nesil değerlendirilerek yeni nesil oluşturulur. Kromozomların yeni nesilde yer alma olasılıkları uygunluk değerlerinin mevcut nesildeki uygunluk değerlerinden daha iyi olmasına bağlıdır. DGA'da karşılaştırma birebir yapıldığından seçim için karmaşık prosedürü olan seçim operatörlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Karşılaştırılan kromozomlardan uygunluğu yüksek olan kromozom yeni neslin bireyi olarak atanmaktadır.

2.5.7. Algoritmanın Durdurulması

Amaç her defasında daha iyi uygunluk değerine sahip kromozomlar üretmek ve optimuma yaklaşımdır. Döngü ($G = G_{max}$) olana kadar devam eder, G_{max} olduğunda mevcut en iyi birey çözüm olarak alınır. Algoritmanın durdurulması belirlenen iterasyon sayısına bağlıdır. Algoritmanın durdurulması kriteri olarak, popülasyondaki en iyi ve en kötü uygunluk değerleri arasındaki farkın çok küçük bir değere oluncaya kadar devam ettirilmesi olarak da açıklanabilir.

$$f_{max} - f_{min} \leq \epsilon$$

Burada ϵ değeri parametre olarak kullanıcı tarafından belirlenen, 10^{-6} gibi çok küçük bir sayıdır. Burada diğer bir durdurma koşulu ise belirlenen iterasyon sayısı kadar algoritmanın çalıştırılarak durdurulmasıdır.

2.6. Pürüzlülük Katsayısı Tahmini

Manning formülündeki hidrolik yarıçap ve taban eğimi kolayca ölçülebilir değerlerdir fakat n pürüzlülük katsayısının tayini oldukça güç olup tamamen araştırmacının bilgi birikimi ve tecrübesine bağlıdır. Ayrıca n pürüzlülük katsayısı kanalın geçtiği zeminin özelliklerine bağlı olarak, yapılan deneyler ve arazi ölçümlerine göre elde edilmiş yaklaşık n pürüzlülük değerleri birçok su mühendisliği kitabında bulunabilir. Pürüzlülük katsayısına en çok etki eden faktörler aşağıda belirtilmiştir.

➤ Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü akış alanındaki ıslak çevreyi oluşturan malzemenin şekil ve boyutunu ifade etmektedir. Akımı yavaşlatan en büyük etken olmasından dolayı genellikle pürüzlülük katsayısı tahmininde tek faktör olarak düşünülse de en çok kullanılan faktörlerden sadece biridir. Genellikle n katsayısının ince daneli malzemelerde düşük, iri daneli malzemelerde ise yüksek bir değerdir. Aynı kesit için su seviyesinin düşük olduğu durumlarda pürüzlülük katsayısı yüksek değerde

olurken, su seviyesini yüksek olduğu durumlarda pürüzlülük katsayısının daha düşük değerlerde olduğu görölmektedir.

➤ Kanal En Kesitinin Fiziksel Özellikleri

Kanal en kesiti hidrolik yarıçaptaki değışime yani ıslak çevre değışiminden dolayı pürüzlü yüzeylerin etkidiğı alanın artmasına bağılı olarak pürüzlülük katsayısını etkileyebilir. Kanal en kesitinin boyut ve şeklinin n katsayısına etkisi çok azdır bu nedenle ihmal edilebilir.

➤ Bitki Örtüsü

Kanal içindeki bitki örtüsü kanal pürüzlülüğünü etkileyen en önemli nedenlerden birisidir. Zamanla akış alanında oluşan farklı bitki oluşumları akış hareketine engel olacağından pürüzlülük katsayısının artmasına neden olur. Özellikle doğal akışlarda bitki örtüsünün pürüzlülük katsayısına etkisi daha fazladır. Doğal kanallarda oluşan bitki örtüsünün tüm mevsimlerde farklı olmasından dolayı her mevsim geçen akımın hız ve derinliği farklı olmaktadır. Bu durum bize pürüzlülük katsayısının yaz ve kış ayları için farklı değerler alınması gerektiğini göstermektedir. Yapay kanallarda bitki örtüsü pürüzlülük seçiminde dikkate alınmaz fakat zamanla oluşan yosun vb. bitkisel gelişimler kanalın n katsayısının değışmesine neden olurlar. Bitki örtüsü ile alakalı hesaplar yapılırken tamamen gözleme dayalı bir hesap yapıldığından, araştırmacının bu konuda daha dikkatli davranması gerekmektedir.

➤ Mevsimsel Değişmeler

Kanallarda oluşan ağaç, ot ve bitki örtüsünün mevsimsel değışimlerine göre pürüzlülük katsayısının değeri de önemli değışiklik gösterir.

➤ Seviye ve Debi

Genellikle pürüzlülük katsayısı debi ve seviye yükseldikçe düşer. Yataktaki suyun derinliğinin az olması durumunda kanalın tabanındaki düzensizlikler ortaya çıkar ve pürüzlülüğe etkisi fazla olur. Su derinliğinin yüksek olması durumunda kanaldaki şevlerin düzensizliği ve bitki örtüsü pürüzlülüğün artmasına neden olur. Doğal kanallarda ortaya çıkan bu durumun aksine yapay kanallarda ana yatak ile sel yatağı aynı malzeme ile kaplı ise pürüzlülük katsayısının sabit olduğu kabul edilebilir.

➤ Engeller

Yatakta birikmiş olan büyük boyuttaki kütükler ile köprü ayakları gibi engeller pürüzlülük katsayısını arttırır. Artış miktarı engelin şekline, sayısına, cinsine ve dağılımına bağlı olarak değişir.

➤ Birikim ve Aşınma

Kanal yatağında birikmiş olan alüvyonlar düzensiz bir kanalda pürüzlülüğü azaltarak düzenli bir duruma getirebilir. Aşınma olduğu zamanlarda pürüzlülük katsayısı artar. Yatakta oluşan birikimin oluşum şekli de önemlidir. Birikimlerin kum tepecikleri şeklinde olması durumunda pürüzlülük artar.

➤ Kanal Düzensizliği

Kanal düzensizliği, kanal boyunca kesit, boyut ve şekildeki değişimleri ve ıslak çevredeki düzensizlikleri kapsar. Bu tip düzensizlikler doğal kanallarda, yatakta oluşmuş tümsek, çukur, boşluk ve kum tepeciklerini kapsar. Bu tip düzensizlikler yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olur.

➤ Kanal Eğriliği

Kanal ekseninin akım boyunca eğriliği pürüzlülük katsayısına etki eder. Eksendeki bu kıvrımlar sürüntü malzemesi birikimine neden olarak pürüzlülük katsayısını da arttırır. Eğer akım hızı az ise, pürüzlülük katsayısının kıvrımlı kanallarda çok değişmediği kabul edilebilir.

Yukarıda anlatılan birçok faktörü bir anda düşünmek zor olacağından bu faktörlerden pürüzlülüğe en çok etki eden altı faktörü kullanan bir yöntem geliştirilmiştir. Literatürde “**Cowan's Method for Estimating Roughness**” olarak geçen Cowan metodu pürüzlülük katsayısı belirlenmesinde en çok kullanılan metottur. En ideal pürüzlülük katsayısına ulaşabilmek amacıyla kullanılan Cowan formülü (Denklem 2.19) aşağıda görülmektedir.

$$n=(n_b +n_1+n_2+n_3+n_4)m \quad (2.19)$$

Bu denklemde;

n_b : Genel n değeri,

n_1 : Kanal düzensizliği katsayısı,

n_2 : Şekil değişim katsayısı,

n_3 : Engel düzeltme faktörü,

n_4 : Bitki örtüsü faktörü,

m : Kıvrım(menderes) faktörü

olarak ifade edilir. [29]

Ülkemizde de DSİ taşkın tasarımlarında bu metodu kullanmakta olup kullanılacak olan pürüzlülük katsayıları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. DSİ tarafından önerilmiş pürüzlülük katsayıları

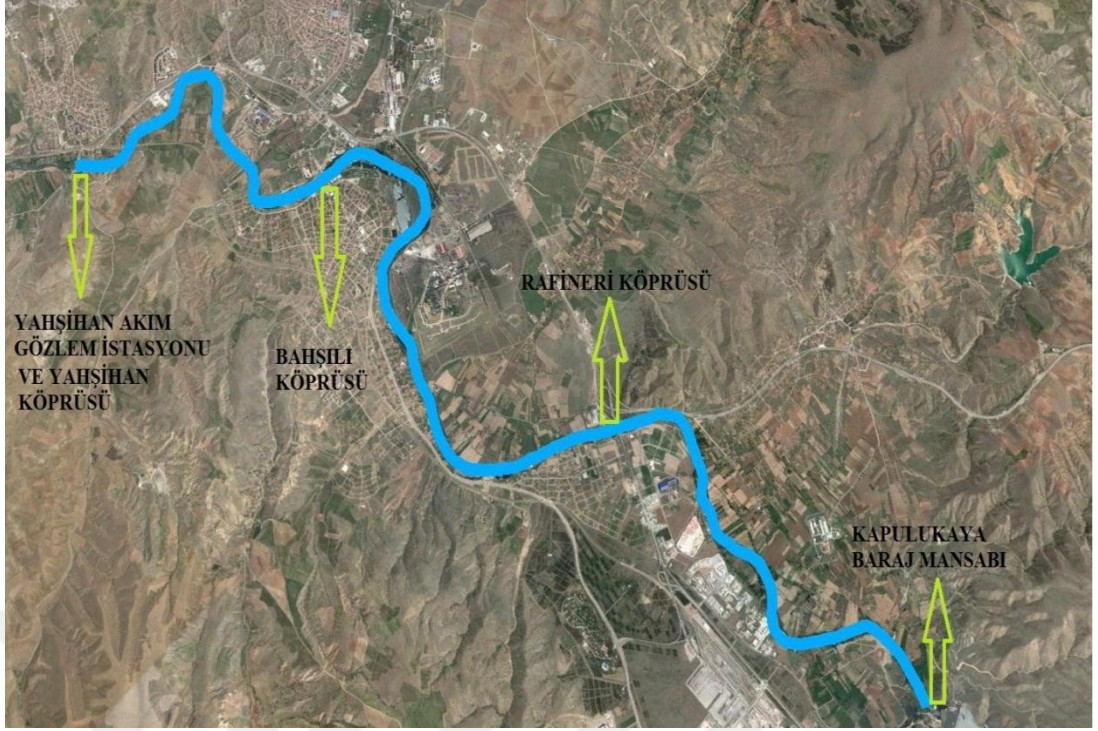
Yataktaki Malzeme Cinsi	Beton	Ortalama Dane çapı (mm)	--	n_b	0.012-0.018
	Kaya		--		--
	Sert Toprak		--		0.025-0.032
	İri Kum		1-2		0.026-0.035
	İnce Çakıl		--		--
	Çakıl		2-64		0.028-0.035
	İri Çakıl		--		--
	İri Taş		64-256		0.030-0.050
	Yumru Kaya		>256		0.040-0.070
Kanal Şev Durumu	Pürüzsüz			n_1	0.000
		Beton Duvar			0.003
	Önemsiz	Taş Duvar			0.005
		İstifli Taş Tahkimat			0.008
	Orta				0.01
		Ağaçsız Yamaç			0.015
	Şiddetli	Ağaçlı Yamaç			0.02

Çizelge 2.2. DSİ tarafından önerilmiş pürüzlülük katsayıları (Devamı)

Kanal Kesit Değişimi	Aşamalı			n ₂	0.000
	Ara Sıra Değişen				0.005
	Sık Değişen				0.010-0.015
Kanaldeki Engeller	İhmal Edilebilir	Engel/Kesit Alanı x 100	< %5	n ₃	0.000
	Önemsiz		<%5-15		0.010-0.015
	Kayda Değer		%15-50		0.020-0.030
	Şiddetli		>%50		0.040-0.060
Kanal Bitki Örtüsü	Düşük			n ₄	0.005-0.010
	Orta				0.010-0.025
	Yüksek				0.025-0.050
	Çok Yüksek				0.050-0.100
Kanal Kıvrımı	Önemsiz	Dere Uzunluğu/Kuş Uçuşu Uzunluk	01.01.2002	m	1.000
	Kayda Değer		1.2-1.5		1.150
	Şiddetli		>1.5		1.300

2.7. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Kızılırmak Nehri üzerinde Kırıkkale il sınırları içerisindeki Kapulukaya HES ile Yahşihan AGİ arasında, yaklaşık uzunluğu 17 km olan alan seçilmiştir. Alanda çok sayıda eski ve şu an işletmede olan kum ocakları mevcuttur. Bunun dışında bir adet nehir düzenleme çalışması, üç adet karayolu köprüsü, bir adet demiryolu köprüsü, üç adet de rekreasyon alanı ile çok sayıda tarım arazisi ile bitki örtüsü birikintisi vardır. Şekil 2.10'da çalışma alanına ait Google Earth görüntüsü görülmektedir.



Şekil 2.10. Çalışılan Kızılırmak Nehir Güzergahı (Yaklaşık 17 km)

Kızılırmak nehri ülkemizde doğup yine ülkemiz sınırları içerisinde denize dökülen en uzun akarsuyumuz olup toplam uzunluğu 1355 km'dir. Sivas ili içinde Kızıldağ'dan doğup sırasıyla Sivas, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Aksaray, Çankırı, Çorum ve Samsun il sınırları içerinden geçerek, Bafra'da Karadeniz'e dökülür.

Yağmur ve kar sularından beslenen nehrin rejimi düzensizdir. Temmuz ayından şubat aylarına kadar düşük su seviyesi ile akan nehir suları mart aylarında yükselişe başlar ve nisan ayında pik yüksekliğe ulaşır. Ortalama debisi $185\text{m}^3/\text{s}$ olan Kızılırmak'ta en yüksek debi $1673\text{m}^3/\text{s}$, en düşük debi ise $19\text{m}^3/\text{s}$ olarak ölçülmüştür.

Kapulukaya Barajı, Kırıkkale'de Kızılırmak üzerinde, içme suyu temini ve elektrik enerjisi üretimi amacıyla 1979-1989 yılları arasında inşa edilmiş bir barajdır. Toprak gövde dolgu tipi olan barajın gövde hacmi $1.560.000\text{ m}^3$, akarsu yatağından yüksekliği 61,00 m, normal su kotunda göl hacmi $282,00\text{ hm}^3$, normal su kotunda göl alanı $20,70\text{ km}^2$ 'dir. Baraj yılda 45 hm^3 içme-kullanma suyu sağlamakta, 54 MW güç

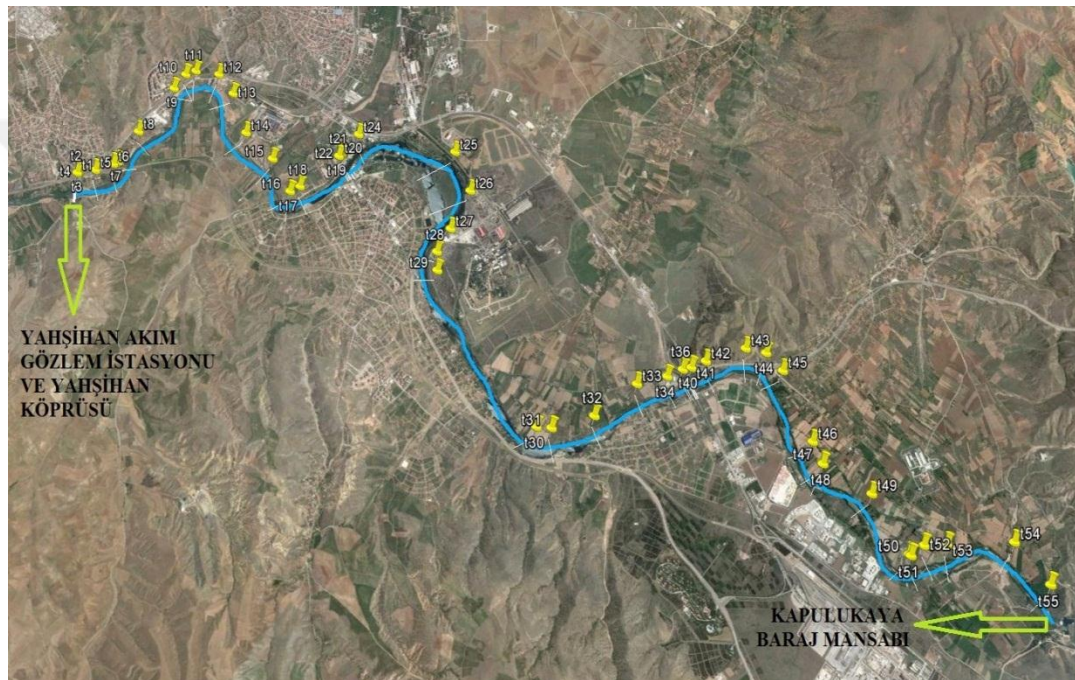
kapasitesindeki HES (hidroelektrik santrali) yılda 190 GWh elektrik enerjisi üretmektedir.

Yahşıhan AGİ, EİE tarafından işletilen 1503 kod numaralı akım gözlem istasyonudur. Toplam 30186 kilometrekare yağış alanına sahip Yahşıhan AGİ 39:50:38 K ve 33:26:54 D koordinatlarında ve 670 m yükseltide bulunmaktadır. 1938 yılında gözlem yapılmaya başlanan Yahşıhan AGİ 2012 yılında gözleme kapatılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Geometrik Veriler

HEC-RAS yazılımında gerekli geometrik verilerin oluşturulması amacıyla çalışma alanında toplam 55 en kesit çıkarılmıştır. Şekil 3.1, çalışma alanında (Kapulukaya Barajı ile Yahşihan Köprüsü arası) belirlenen en kesitleri göstermektedir.



Şekil 3.1. Çalışılan Güzergah Üzerinde Alınan En Kesitler (55 adet)

En kesitlerin su altında kalan kısımlarında Şekil 3.2’de görülen 61x41x20 cm boyutlarında, uzaktan kumandalı bota bağlı akustik sonar cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.3’de akustik sonar cihazının da uzaktan kumandalı bilgi ekranı görülmektedir. Bota bağlı akustik sonar cihazının ölçtüğü derinlik değerleri, sahilde alınan bir referans noktası kotundan çıkarılarak nehir taban kotu elde edilmiştir. En kesitleri doğru tanımlayabilmek için olabildiği kadar sık ölçüm alınmaya çalışılmıştır. Bot ve sonar ile yapılan derinlik ölçümü Şekil 3.4’de görülmektedir. Uzaktan kumandalı botun

yatay mesafe tespiti için derecelendirilmiş ip ve Şekil 3.5’de görülen 250 metre mesafeli lazer metre kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Akustik sonar’ın bağlı olduğu uzaktan kumandalı bot



Şekil 3.3. Akustik sonar cihazı bilgi ekranı



Şekil 3.4. Bot ve sonar ile derinlik ölçümü

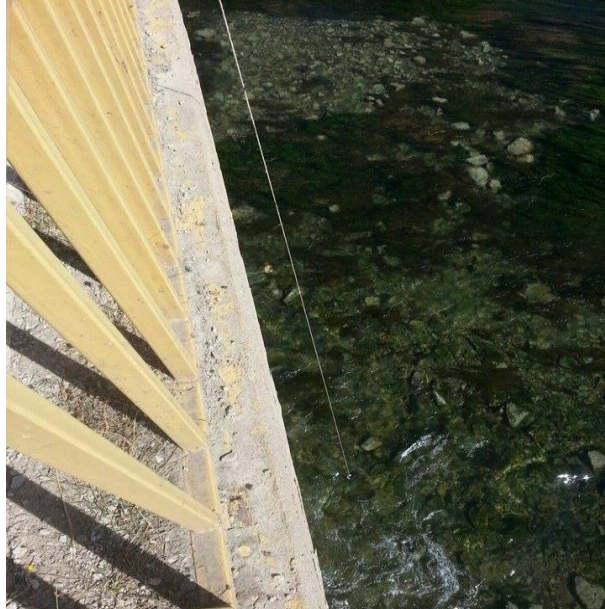


Şekil 3.5. 250 metre mesafeli lazer metre

Köprülerde derecelendirilmiş ipe bağlı ağırlık köprünün üzerinden bırakılmak suretiyle kullanılmış, bu sayede köprüden o noktanın en derin mesafesine kadar olan uzaklık bulunmuştur. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7de köprü üzerinden yapılan ölçümler görülmektedir.



Şekil 3.6. Köprü üzerinden yapılan ölçüm (1)



Şekil 3.7. Köprü üzerinden yapılan ölçüm (2)

Ölçülen noktaların yeri ölçüm sırasında Android tabanlı Google Earth programında işaretlenmiş, ayrıca koordinatlar haritalarda kontrol edilmiştir. Şekil 3.8’de ölçüm yeri işaretlenmiş herhangi bir noktanın ekran görüntüsü görülmektedir.



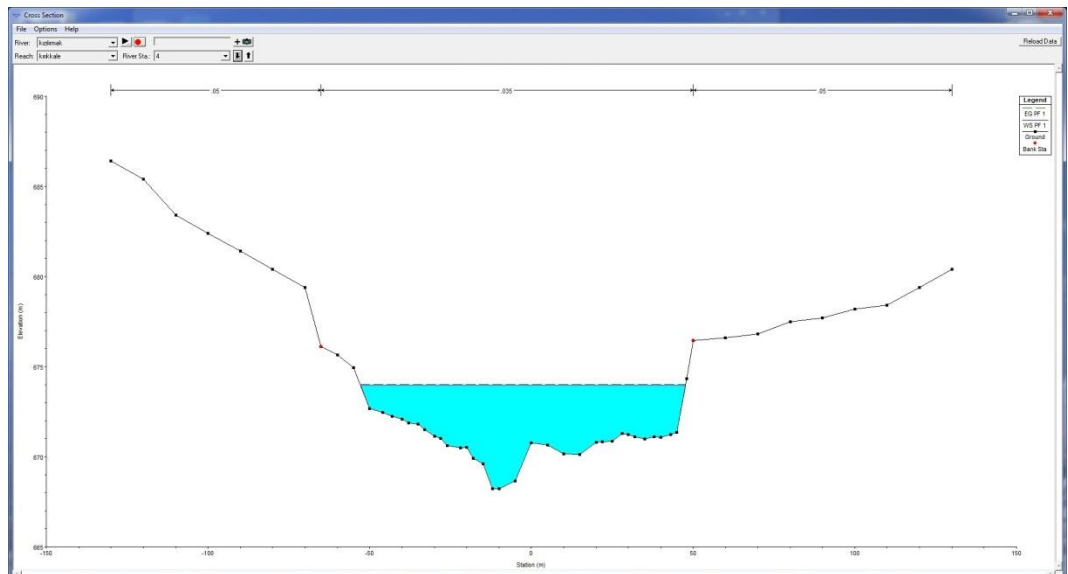
Şekil 3.8. Ölçüm yapılmış noktanın ekran görüntüsü (18 no’lu kesit)

En kesitlerde, akışın olmadığı noktaların kotları alınırken 1/25000 ölçekli haritalar, Şekil 3.9’da görünen Garmin marka GPS cihazı, Android için Google Earth programı ve çeşitli Android harita programları kullanılmıştır.

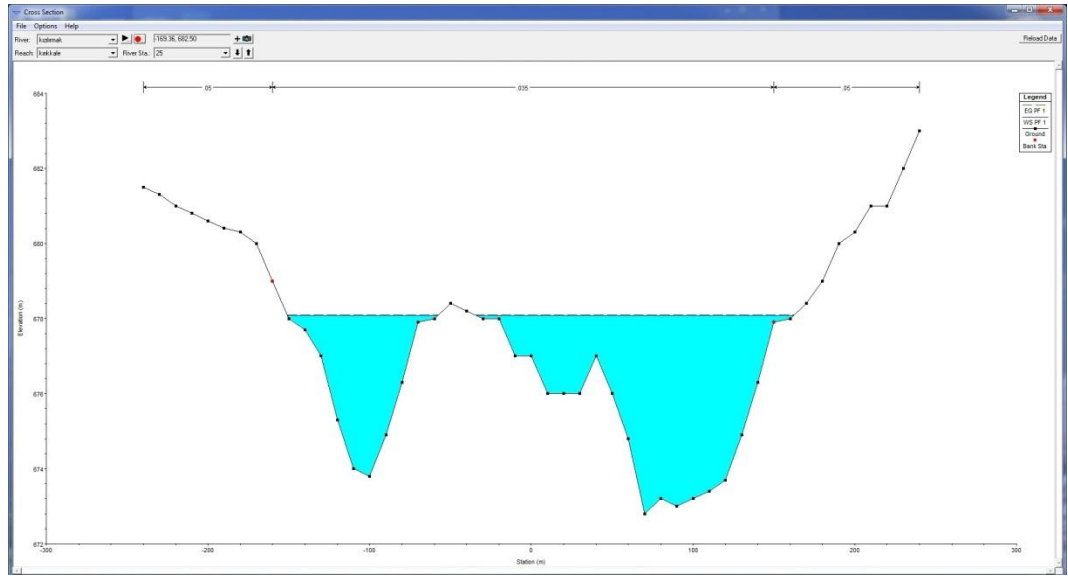


Şekil 3.9. Garmin marka GPS cihazı

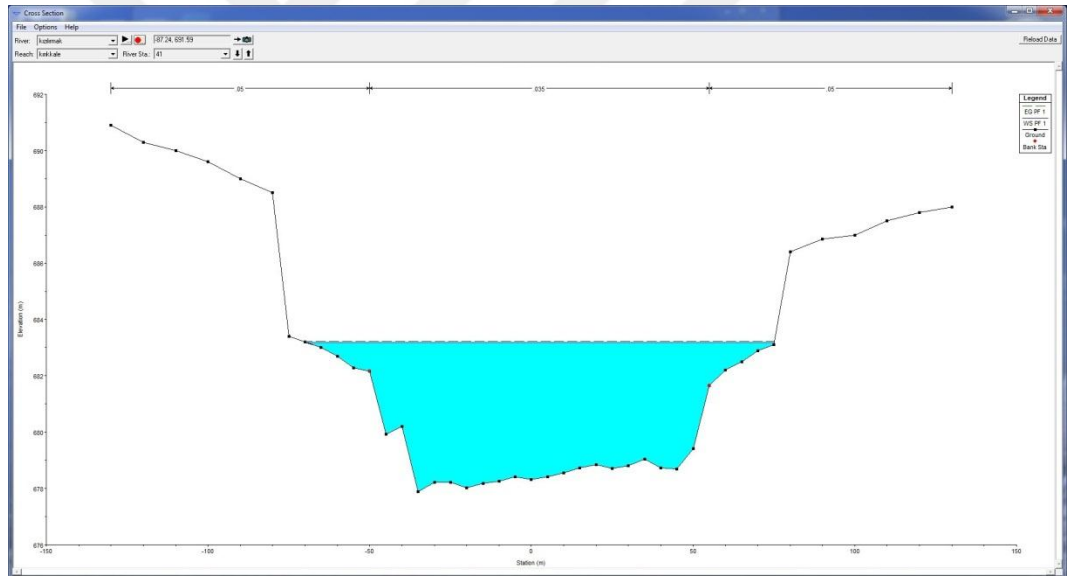
Yapılan en kesit çıkarma çalışmaları sonucunda elde edilen üç örnek kesit (kesit 4, 25 ve 41) ve üç köprü kesiti Şekiller 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15’de gösterilmiştir.



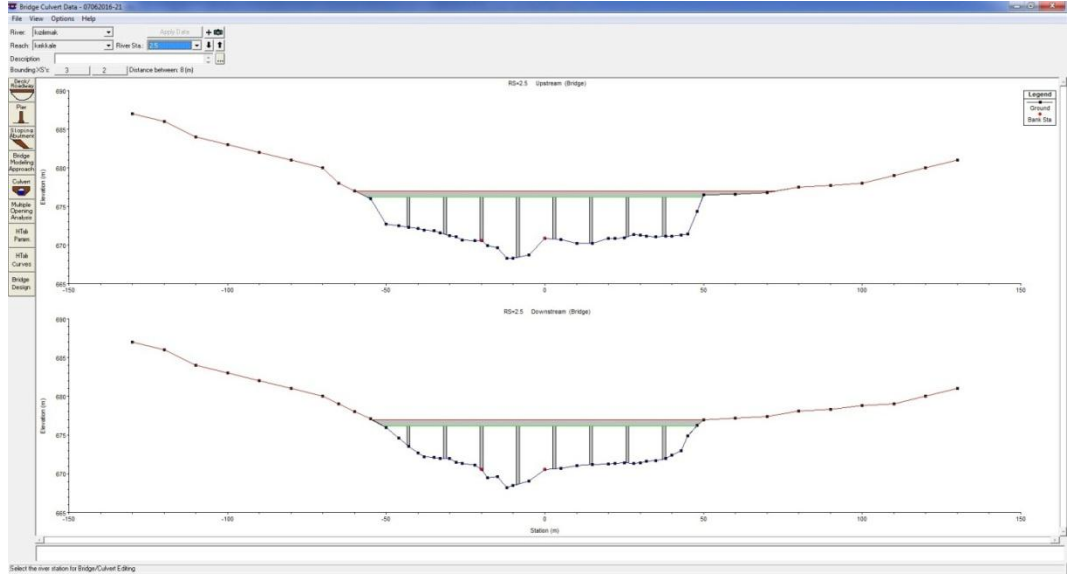
Şekil 3.10. 4 no’lu kesit



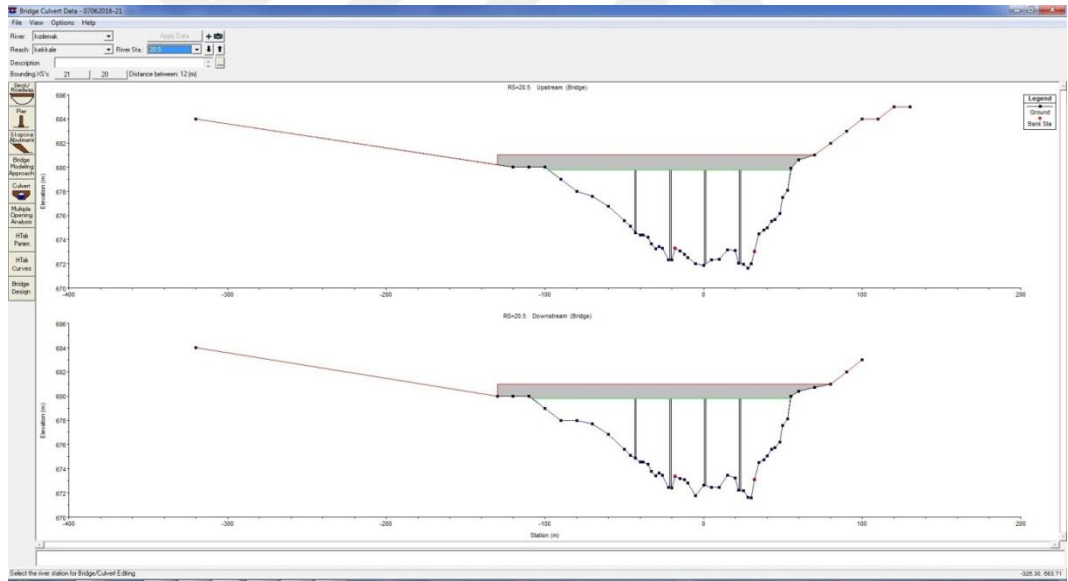
Şekil 3.11. 25 no'lu kesit



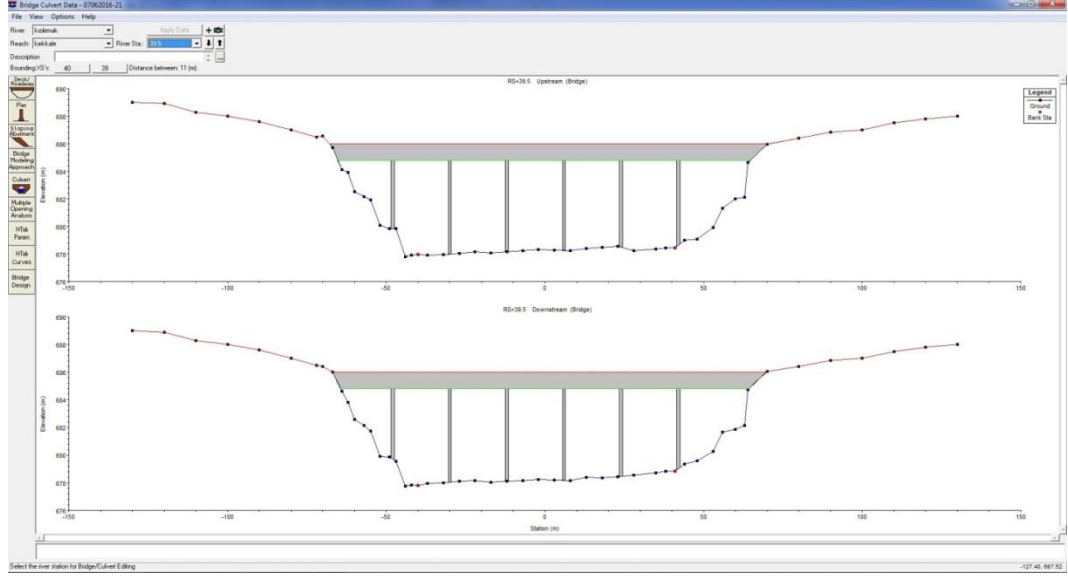
Şekil 3.12. 41 no'lu kesit



Şekil 3.13. Yahşihan Köprü Kesiti



Şekil 3.14. Bahşılı Köprü Kesiti



Şekil 3.15. Rafineri Köprü Kesiti

Yapılan ölçümlerde 55 no'lu kesitin en derin noktasının kotunun 681.60 m ve 1 no'lu en kesitin en derin noktasının 668.20 m olduğu tespit edilmiştir. Kot farkının mesafeye bölünmesi ile nehir taban eğiminin 0.0007791 m/m olduğu hesaplanmıştır.

3.2. Manning Pürüzlülük Katsayısı

Çalışma alanının pürüzlülük katsayısı belirlenirken Bölüm 2.6'da bahsedilen Cowan metodu kullanılmıştır. Cowan metodundaki katsayılar için, DSİ pürüzlülük katsayılarından faydalanılmıştır. Bu amaçla, arazi ölçümleri sırasında gözlemler yapılmış (Şekil 3.16 ve Şekil 3.17) ve bir çok su mühendisliği kitabında bulunan değerlerle karşılaştırılarak gerçeğe en yakın değere ulaşmak hedeflenmiştir.

Dere yatağı için yapılan gözlemler sonucu yatak malzemesinin iri kum ile sert toprak arasında olduğu tespit edilmiştir. Sel yatağı için de yatak malzemesinin sert toprak olduğu gözlemlenmiştir.

Dere yatağı ve sel yataklarının şev durumunun pürüzsüz olduğu görülmüştür.

Dere yatağında kanal kesit değişiminin olduğu fakat bu değişimin sık olmadığı görülmüştür, sel yatağında ise değişimin çok az olduğu gözlemlenmiştir.

Kanaldaki engeller üzerine yapılan gözlemlerde dere yatağındaki engellerin ihmal edilebilir olduğu, sel yatağında ise kaya, kütük vs. gibi nesnelerin su geçişine önemsiz derecede de olsa engel olabilecek nesnelerin olduğu gözlemlenmiştir.

Dere yatağındaki bitki örtüsünün ihmal edilebilir düzeyde olduğu, sel yataklarında ise zaman zaman büyük gövdeli ağaçların bulunduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma alanında nehir uzunluğunun kuş uçuşa oranının 1.2'den az olduğu ölçülmüştür.

Bu gözlemlerin sonucu olarak, dere yatağı ve sel yatağı için ayrı ayrı pürüzlülük katsayıları tahmin edilmiştir. Tahmin edilen ve taşkın analizinde kullanılan pürüzlülük katsayıları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Dere yatağı ve sel yatağı pürüzlülük katsayısı tahmininde kullanılan değerler

	Dere Yatağı	Sel Yatağı
n_b	0.025	0.025
n_1	0	0
n_2	0.005	0
n_3	0.005	0.015
n_4	0	0.01
m	1.0	1.0
n	0.035	0.05



Şekil 3.16. Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Çalışma Gözlemleri



Şekil 3.17. Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Çalışma Gözlemleri(2)

3.3. Taşkın Debileri

Çalışma kapsamında üç farklı yöntem kullanılarak taşkın debileri tahmin edilmiştir. İlk yöntemde, Diferansiyel Gelişim Algoritması kullanılarak Kapulukaya Barajı'nın olası yıkılma senaryosu sonucunda oluşacak pik debi tahmin edilmiştir. İkinci yöntemde çalışma alanının son noktasında bulunan 1503 no'lu Yahşihan AGİ'ye ait verilerle noktasal taşkın frekans analizi yapılarak istenilen dönüş aralıkları için taşkın debileri elde edilmiştir. Son yöntemde ise DSİ tarafından Kapulukaya barajı için sentetik yollarla hesaplanan taşkın debileri kurum tarafından hazırlanmış rapordan alınmıştır.

3.3.1. Diferansiyel Gelişim Algoritması Kullanılarak Kapulukaya Barajı'nın Olası Yıkılma Senaryosu Sonucunda Oluşacak Pik Debi

Bu çalışmada DGA kullanılarak, Çizelge 3.3'de gösterilen, Wahl(1998) tarafından ortaya konulan 43 veri ile barajın talvegden yüksekliğini metre cinsinden ifade eden H ve baraj gerisinde depolanan su hacmini metreküp cinsinden ifade eden V'ye bağlı bir pik debi eşitliği türetilmiştir. Denklem 3.1'de verilen bu ampirik denklem için belirleme katsayısı $R^2=0.8576$ olarak bulunmuştur.

$$Q_p = H^{1.64}V^{0.19} \quad (3.1)$$

DGA ile denklem elde ederken kullanılan parametreler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Diferansiyel gelişim algoritması kontrol parametreleri

Popülasyon Boyutu (Np)	20
Çaprazlama oranı (CR)	0.95
Mutasyon katsayısı (F)	0.95
Mutasyon stratejisi	DE/best/1/exp
Max. İterasyon sayısı	400

Diferansiyel gelişim algoritmasında kullanılan bu değerler Mallipeddi ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma sonucu belirlenen optimum aralıklarda seçilmiştir. Belirlenen değerler aralık içinde farklı kombinasyonlar kullanılması sonucu yapılan optimizasyonlarda en kolay ve kısa sürede çözüme ulaşabilen değerlere göre seçilmiştir.

Çizelge 3.3. Wahl(1998) tarafından toplanmış baraj yıkılma verileri

MEVKİ	BARAJ YÜKSEKLİĞİ H (m)	BARAJ DEPOLAMA HACMİ V (10 ⁶ m ³)	PİK DEBİ Q _p (m ³ /s)
Apishapa, CO	28	22.20	6850
Baldwin Hills, CA	12.2	0.91	1130
Break Neck Run, USA	7.0	0.05	9.2
Buffalo Creek, WV	14.02	0.48	14230
Butler, AZ	7.16	2.38	810
Castlewood, CO	21.6	6.17	3570
Davis Reservoir, CA	11.58	58.00	510
DMAD, UT	8.8	19.70	793
Euclides de Cunha, Brasil	58.22	13.60	1020
Frankfurt, Germany	8.23	0.35	79
Fred Burr, MT	10.2	0.75	654
French Landing, MI	8.53	3.87	929
Frenchman Creek, MT	10.8	16.00	1420
Goose Creek, SC	1.37	10.60	565
Hatchtown, UT	16.8	14.80	3080
Hatfield, USA	6.8	12.30	3400
Hell Hole, CA	35.1	30.60	7360
Ireland No. 5, CO	3.81	0.16	110
Johnstown, PA	24.6	18.90	8500
Kelly Barnes, GA	11.3	0.78	680
Lake Avalon, NM	13.7	31.50	2320
Lake Latonka, PA	6.25	4.09	290
Laurel Run, PA	14.1	0.56	1050
Lawn Lake, CO	6.71	0.80	510
Lily Lake, CO	3.35	0.09	71
Little Deer Creek, UT	22.9	1.36	1330
Lower Latham, CO	5.79	7.08	340
Lower Two Medicine, MT	11.3	29.60	1800
Martin Cooling Pond Dike, FL	8.53	136.00	3115
Mill River, MA	13.1	2.50	1645
Nanaksagar, IN	15.85	210.00	9700
North Branch, PA	5.49	0.02	29.4
Oros, Brazil	35.8	660.00	9630
Otto Run, USA	5.79	0.01	60
Prospect, CO	1.68	3.54	116
Puddingstone, CA	15.2	0.62	480
Quail Creek, UT	16.7	30.80	3110

Çizelge 3.3. Wahl(1998) tarafından toplanmış baraj yıkılma verileri (Devamı)

Salles Oliveria, Brazil	38.4	71.50	7200
Sandy Run, PA	8.53	0.06	435
Schaeffer, CO	30.5	4.44	4500
South Fork Tributary, PA	1.83	0.00	122
Swift, MT	47.85	37.00	24947
Teton, ID	77.4	310.00	65120

Kapulukaya barajının talvegden yüksekliği $H=44\text{m}$, minimum göl hacmi $V_{\min}=180 \times 10^6 \text{ m}^3$ ve maksimum göl hacmi $V_{\max}=285 \times 10^6 \text{ m}^3$ dür. Gupta ve Singh tarafından ortaya konulmuş denklem ve bu çalışmada DGA ile türetilen denklem sonucu ortaya çıkacak pik debiler Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kapulukaya Barajının yıkılması durumunda ortaya çıkabilecek pik debiler

	Gupta ve Singh (2012)		DGA	
	$V_{\min}=180 \times 10^6 \text{ m}^3$	$V_{\max}=285 \times 10^6 \text{ m}^3$	$V_{\min}=180 \times 10^6 \text{ m}^3$	$V_{\max}=285 \times 10^6 \text{ m}^3$
$H=44\text{m}$	$Q_p=19686.32 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_p=24241.02 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_p=18355.41 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_p=20030.11 \text{ m}^3/\text{s}$

Çizelge 3.4’e verilen değerlere bakıldığında minimumlarda %7, maksimumlarda %20’lik fark olduğu görülmektedir. Bu sonuç da bulduğumuz eşitliğin Kapulukaya barajı için kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Baraj yıkılma anında baraj gerisinde bulunabilecek su hacmi bilinmediğinden analiz için, hesaplar sonucu bulunan ve çizelge 3.4’te verilen pik debilerin ortalaması olarak $20000 \text{ m}^3/\text{s}$ kullanılmıştır.

3.3.2. Noktasal Taşkın Frekans Analizi İle Elde Edilen Debiler

Akım gözlem verileri E.İ.E tarafından “Su Yılı Akım Neticeleri” adı altında yayınlanan günlük debilerden elde edilmiştir. Akım verileri olarak 1939 ile 1994 yılları arasındaki 56 yıllık veriler kullanılmıştır. 1953-1959 yılları arasında inşa edilen Hirfanlı barajı, 1969-1966 yılları arasında inşa edilen Kesikköprü barajı ve 1979-1989 yılları arasında inşa edilen Kapulukaya barajı nedeniyle Yahşihan AGİ’den elde edilen veriler 1953 yılı sonrası doğallığını yitirmiştir. Bu nedenle, doğal su yapılarından etkilenmemiş akımların bulunması amacıyla 1939 ile 1953 yılları arasındaki 1501 nolu Yamula AGİ ile 1503 nolu Yahşihan AGİ arasında lineer bir bağıntı kurulmuş ve 1953 yılı sonrası veriler 1501 nolu Yamula AGİ’den verilerinin bu bağıntıya göre düzenlenmesi ile doğal hale getirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada akım verilerinin hangi tipte olasılık dağılımına uygun olduğunu görmek amacıyla eldeki akım verilerine Kolmogorov – Smirnov sınaması uygulanmıştır. Çizelge 3.5’de dağılımlar ve Kolmogorov – Smirnov sınaması sonucunda elde edilen p değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Akım verilerinin Kolmogorov – Smirnov sınaması sonucunda elde edilen p değerleri

Dağılım Tipi	p değeri
Gumbel	0.0753
Normal	0.5082
Gamma	0.9664
Log-Normal	0.9694

Burada p değerinin 0.05’ten yüksek çıkması dağılımın kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Sınanmış olan bu dört tip dağılım da kabul edilebilir, fakat p değeri 1’e yaklaştıkça verilerin o tipteki dağılıma daha yakın sonuç verdiği bilinmektedir.

Noktasal taşkın frekans analizi yapılırken hem Gumbel hem de Log-Normal dağılım kullanılmıştır ve elde ettiğimiz pik debiler Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Noktasal taşkın frekans analizi ile hesaplanmış pik debiler

Tekerrür Aralığı	Gumbel Dağılımı	Log-Normal Dağılım
Q_5	480 m ³ /s	478 m ³ /s
Q_{10}	620 m ³ /s	495 m ³ /s
Q_{25}	780 m ³ /s	513 m ³ /s
Q_{50}	900 m ³ /s	540 m ³ /s
Q_{100}	1020 m ³ /s	643 m ³ /s
Q_{500}	1320 m ³ /s	745 m ³ /s
Q_{1000}	1420 m ³ /s	789 m ³ /s

Çizelge 3.5’e bakıldığında akım verilerinin Gumbel ve Log-Normal dağılıma istatistiksel olarak uyduğu görülmektedir. Fakat Çizelge 3.6’da da görüldüğü üzere verilerin Gumbel dağılıma uyduğu kabulü ile hesaplanan pik debilerin aşırı yüksek çıkması yapılan kabulün doğruluğunu sorgulamamıza neden olduğundan, HEC-RAS yazılımında Log-Normal dağılım ile elde edilen pik debiler kullanılmıştır.

3.3.3. DSI Tarafından Kapulukaya Barajı İçin Sentetik Yollarla Hesaplanan Taşkın Hidrograflarından Pik Debinin Elde Edilmesi

DSI’ye ait sentetik yollarla DSI tarafından hesaplanmış ve Kapulukaya Barajı’na ait raporlardan elde edilen taşkın debileri Çizelge 3.7’de sunulmuştur.

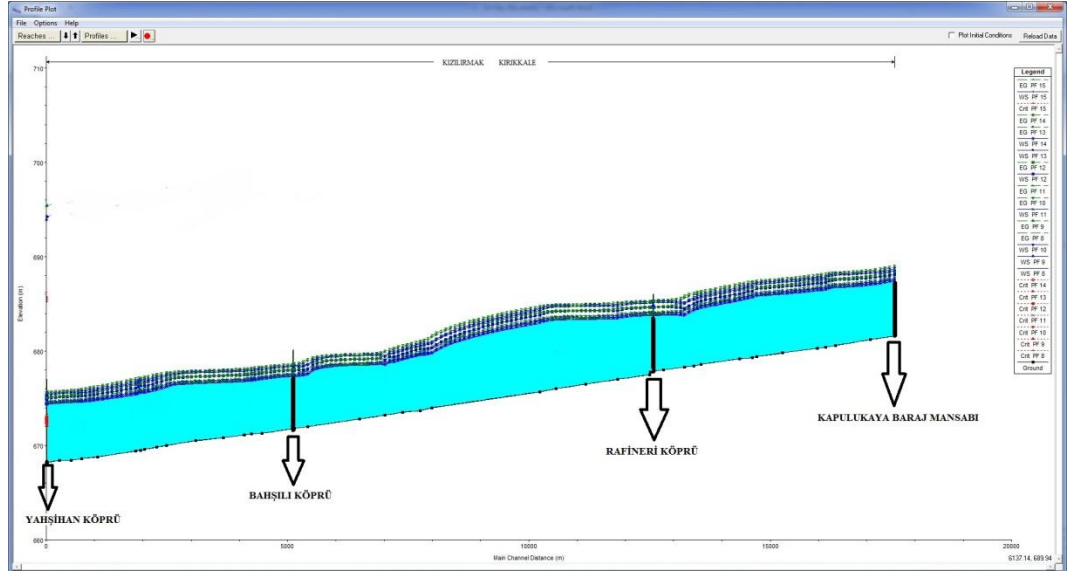
Çizelge 3.7. DSİ'ye ait Kapulukaya Barajı'nın verilerinden elde edilen ve sentetik yolla bulunmuş taşkın hidrograflarından elde edilen pik debiler

	DSİ tarafından hesaplanan pik debiler
Q_5	389 m ³ /s
Q_{10}	435 m ³ /s
Q_{25}	489 m ³ /s
Q_{50}	531 m ³ /s
Q_{100}	572 m ³ /s
Q_{500}	666 m ³ /s
Q_{1000}	709 m ³ /s

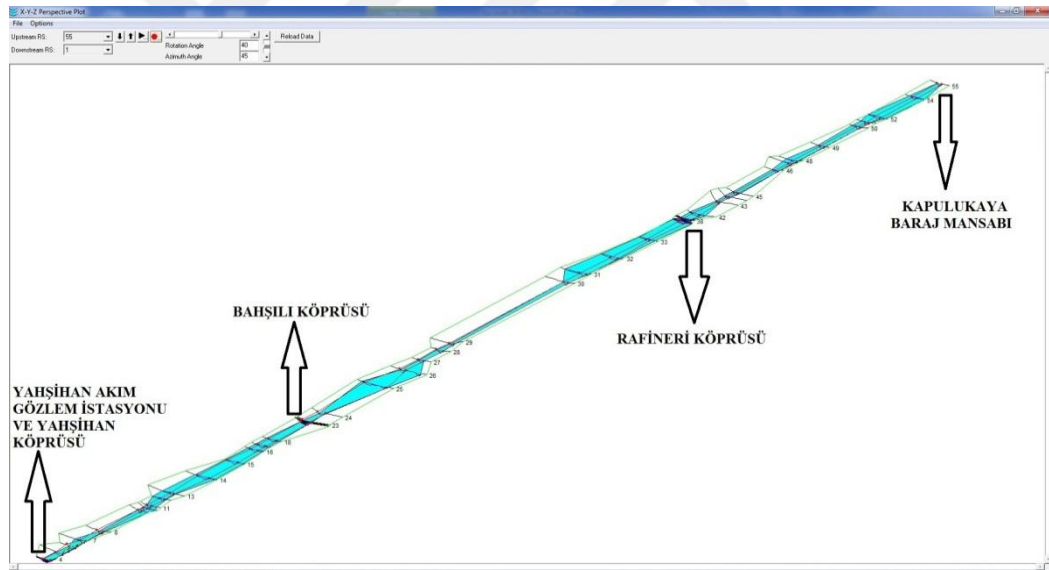
3.4. HEC-RAS Analizi

Tez çalışması kapasımında araziden alınmış 55 adet en kesit, 3 adet köprü kesiti ve pürüzlülük katsayıları HEC-RAS yazılımına geometrik data kısmından, taşkın debileri ile sınır şartları olarak memba ve mansap kısmında bilinen eğim ise kararlı akım datası kısmından yazılıma tanımlanmıştır. Taşkın debileri olarak Bölüm 3.3'te yer alan taşkın debilerinden noktasal taşkın frekans analizi ile elde edilen debiler ve baraj yıkılma debisi, sınır şartı olarak ise Bölüm 3.1'de hesaplanan 0.0007791 m/m eğim yerine 0.00078 m/m kullanılmıştır.

HEC-RAS yazılımında her bir kesit için su yüzeyi profili, güzergâhın boy profili ve güzergâhın üç boyutlu su yüzeyi profili elde edilebilmektedir. Şekil 3.18'de güzergâhın boy profili, Şekil 3.19'da 100 yıllık taşkın gelmesi durumunda ortaya çıkan üç boyutlu su yüzeyi profili görülmektedir.



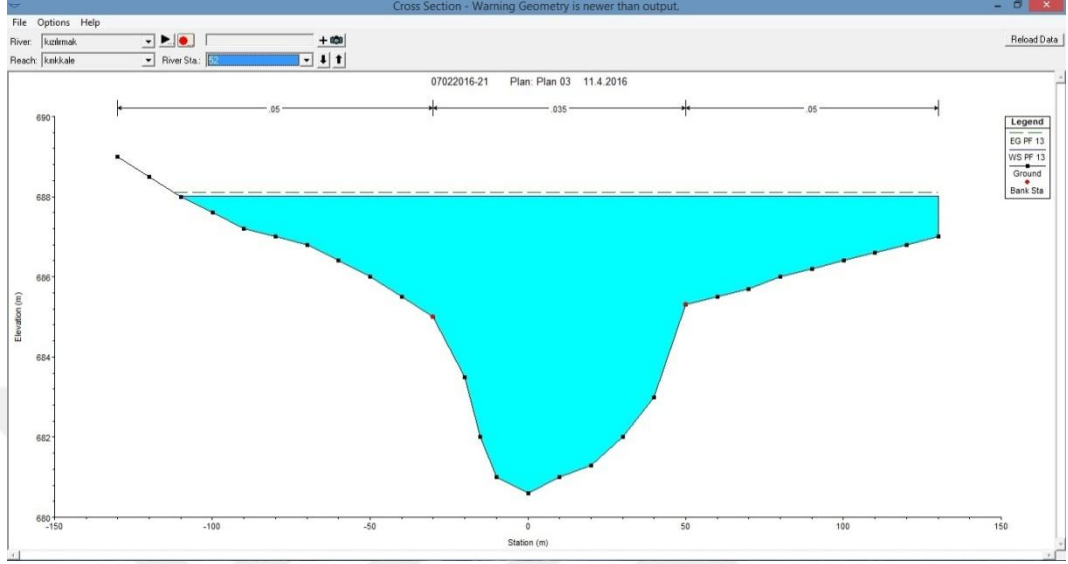
Şekil 3.18. Güzergâhın boy profili



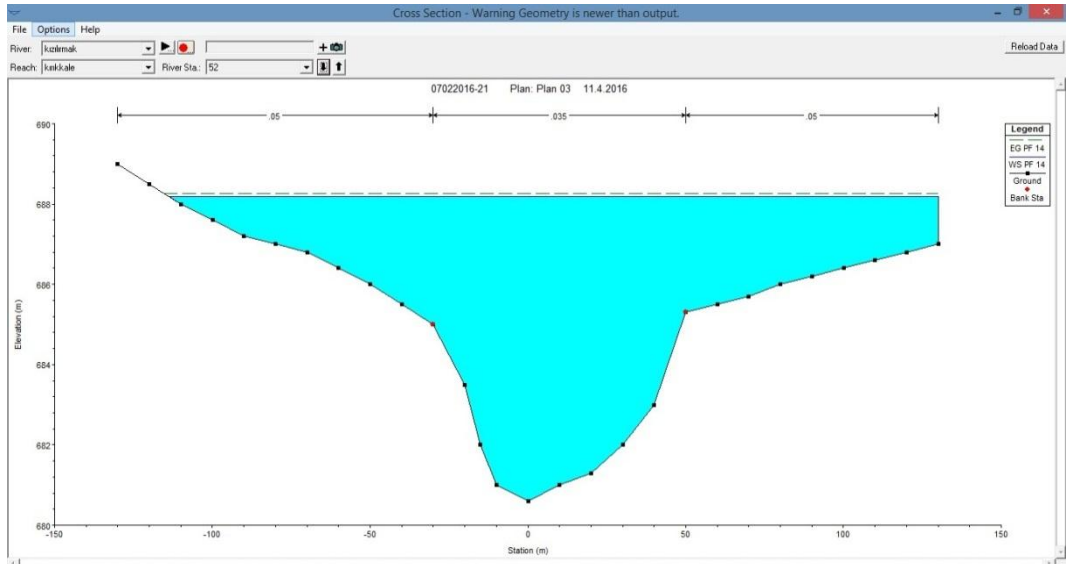
Şekil 3.19. 100 yıllık taşkın debisinin gelmesi durumunda oluşacak üç boyutlu su yüzeyi profili grafiği

Şekil 3.19'den de görüleceği üzere 5, 10, 25, 50, 100 yıllık taşkın debileri dere ana yatağından kolaylıkla geçebilmektedir. 500 ve 1000 yıllık taşkınların ise 52 ve 54 no'lu kesitlerden geçemeyeceği görülmüştür. 52 ve 54 no'lu kesitlerin 500 ve 1000

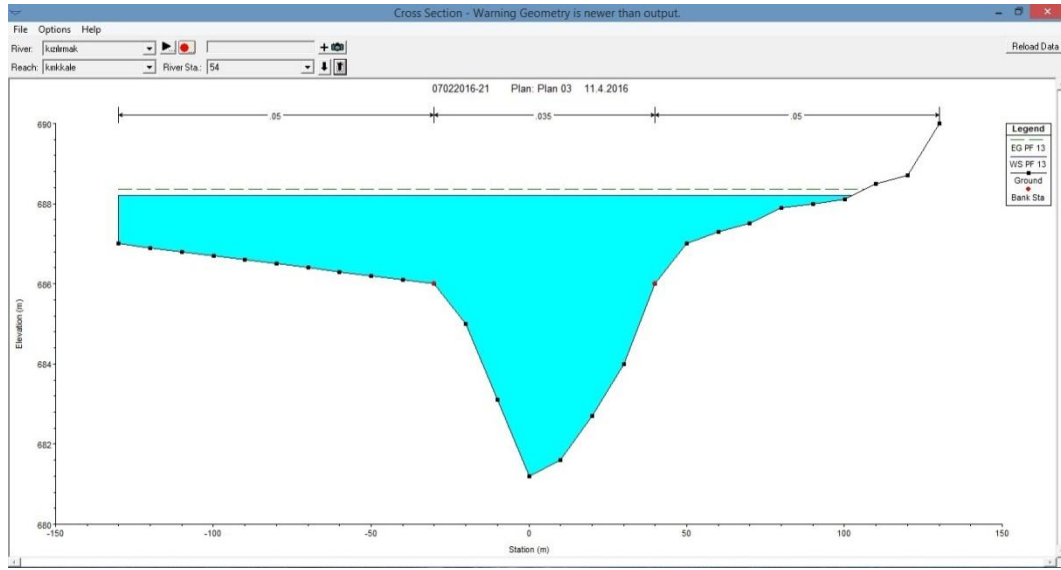
yıllık taşkın debisi gelmesi durumunda kesitlerde oluşacak su yüzeyi profili Şekil 3.20, Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de verilmiştir.



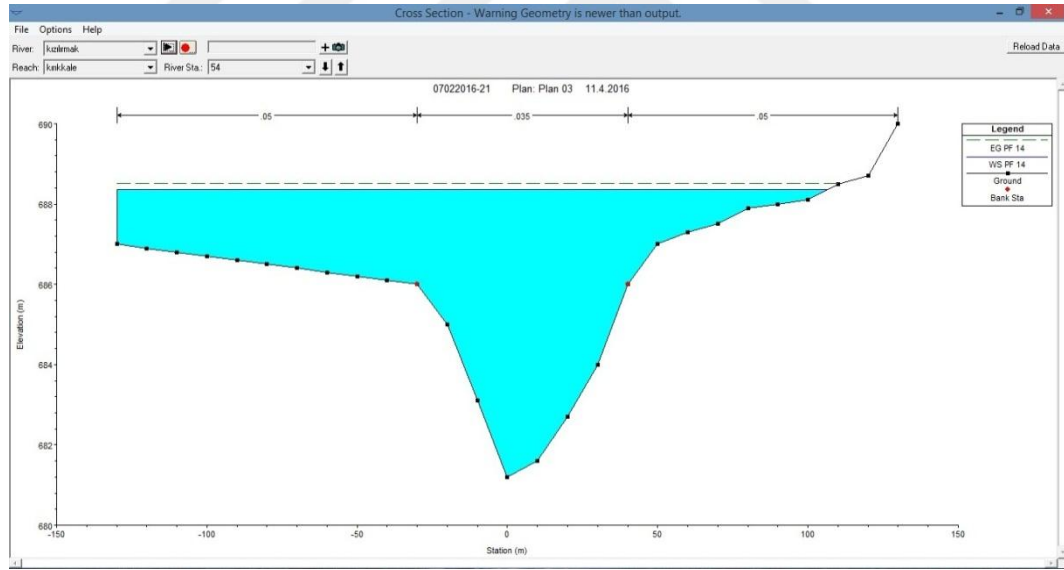
Şekil 3.20. 500 yıllık taşkın gelmesi durumunda 52 no’lu en kesitte oluşacak su yüzeyi profili



Şekil 3.21. 1000 yıllık taşkın gelmesi durumunda 52 no’lu en kesitte oluşacak su yüzeyi profili

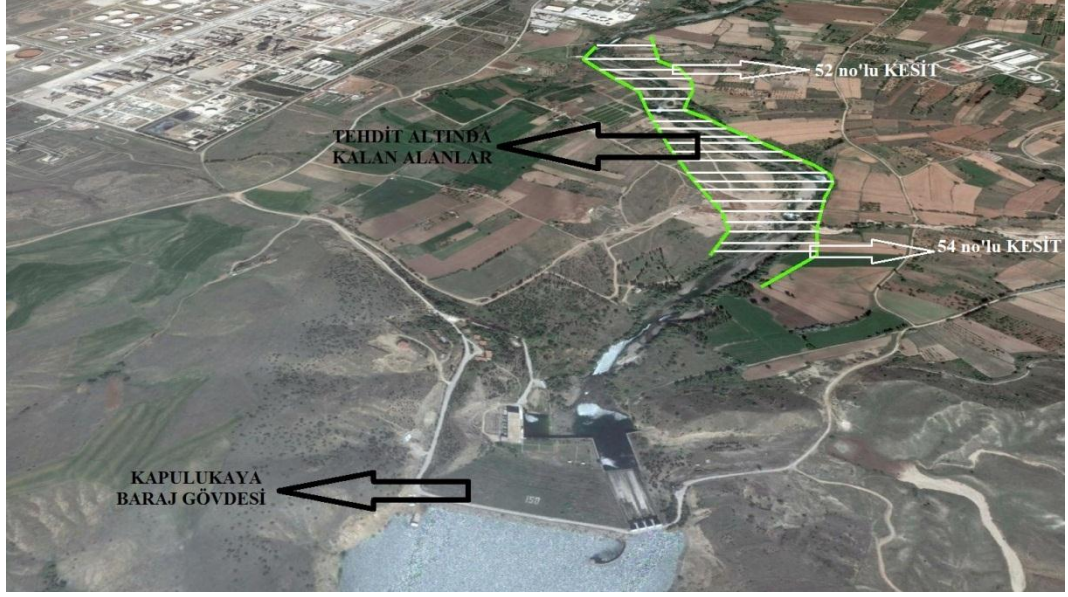


Şekil 3.22. 500 yıllık taşkın gelmesi durumunda 54 no’lu en kesitte oluşacak su yüzeyi profili



Şekil 3.23. 1000 yıllık taşkın gelmesi durumunda 54 no’lu en kesitte oluşacak su yüzeyi profili

500 ve 1000 yıllık taşkın debilerinin gelmesi durumunda 52 ve 54 no’lu kesitler arası tehdit altında olan tarım alanları Şekil 3.24’de gösterilmiştir.



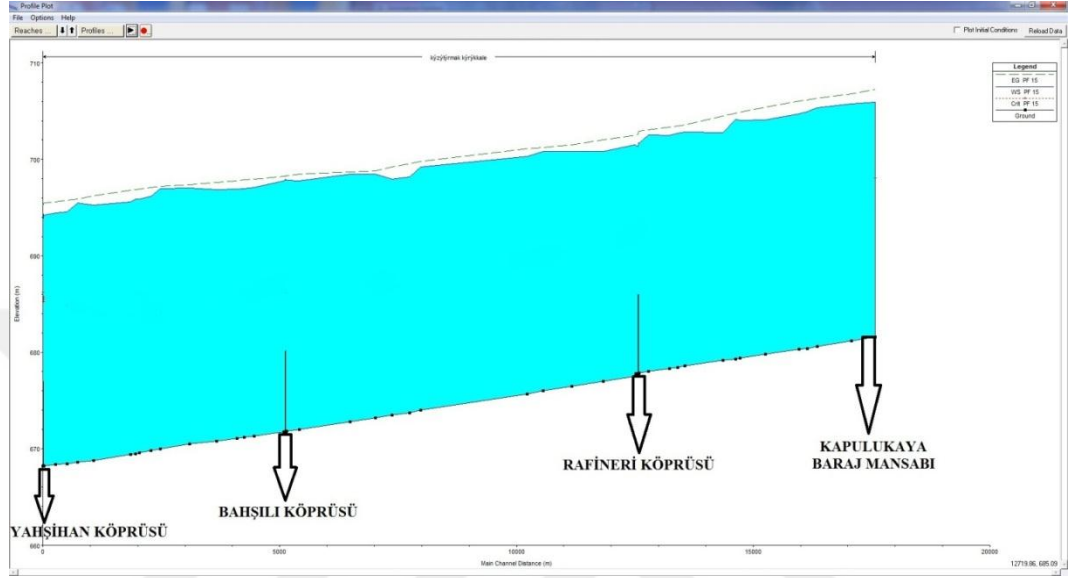
Şekil 3.24. 500 ve 1000 yıllık taşkınların gelmesi durumunda 52 ve 54 no'lu kesitler arası tehdit altındaki tarım alanları

500 ve 1000 yıllık taşkın debilerinin gelmesi durumunda 32 ve 36 no'lu kesitler arası tehdit altında olan tarım alanları ile sol sahilde tehdit altındaki evler Şekil 3.25'de görülmektedir.

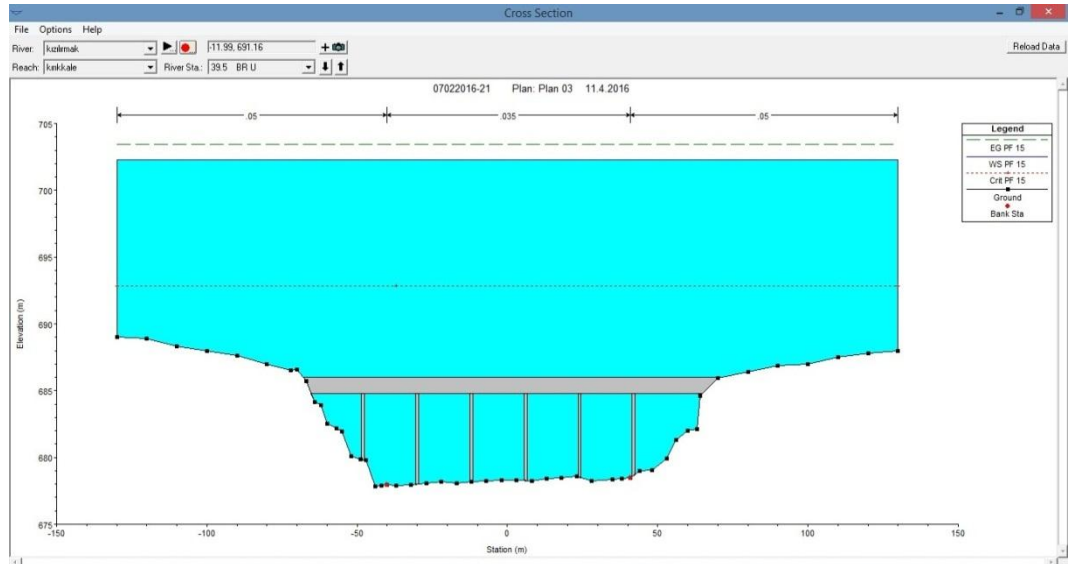


Şekil 3.25. 500 ve 1000 yıllık taşkınların gelmesi durumunda 32 ve 36 no'lu en kesitler arasındaki tehdit altındaki alanlar

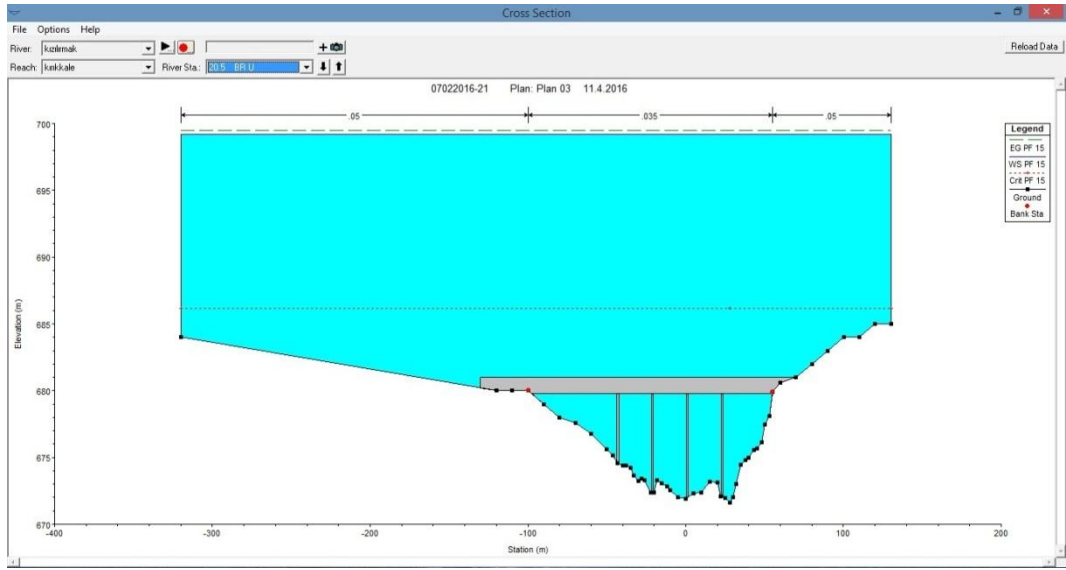
Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda ($Q=20000 \text{ m}^3/\text{s}$) akım derinliğinin 27 metreye kadar çıktığı ve köprü açıklıklarının yetersiz olduğu görülmektedir. Şekil 3.26'da baraj yıkılma debisi sonucunda oluşacak su yüzeyinin boy profili, Şekiller 3.27, 3.28 ve 3.29 sırasıyla Rafineri, Bahşılı ve Yahşihan Köprülerindeki baraj yıkılma senaryosuna ait akış kesitlerini göstermektedir.



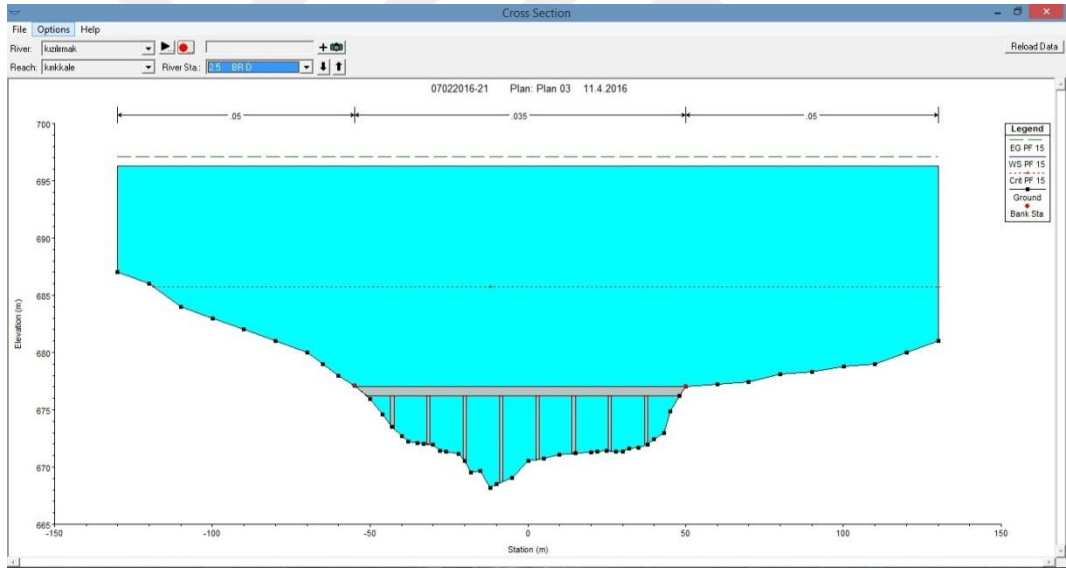
Şekil 3.26. Baraj yıkılma debisi sonucunda oluşacak su yüzeyinin boy profili($Q=20000 \text{ m}^3/\text{s}$)



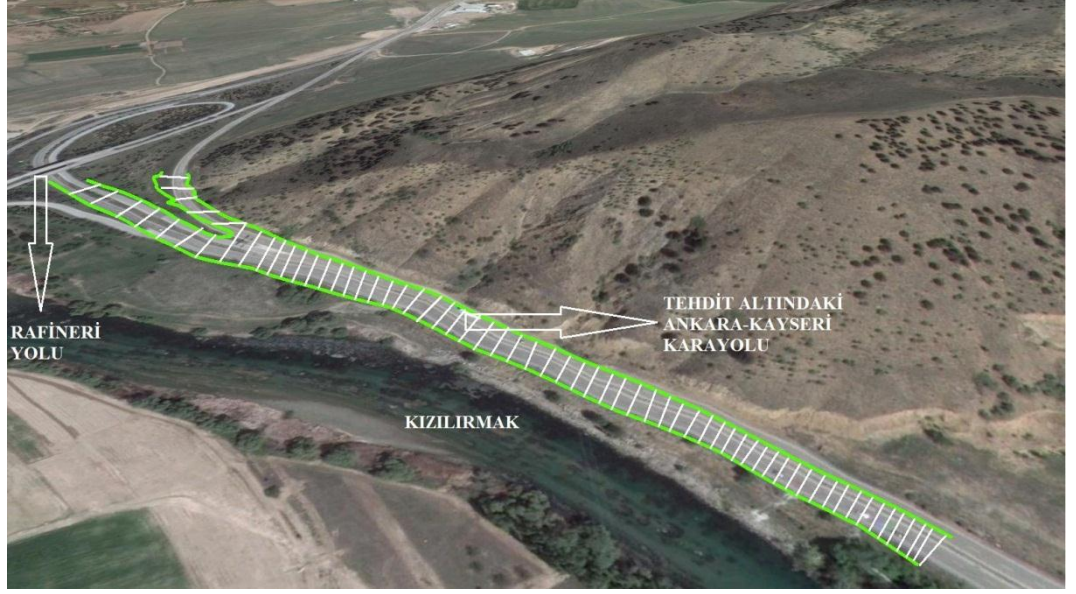
Şekil 3.27. Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Rafineri köprü kesiti



Şekil 3.28. Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Bahşılı köprü kesiti

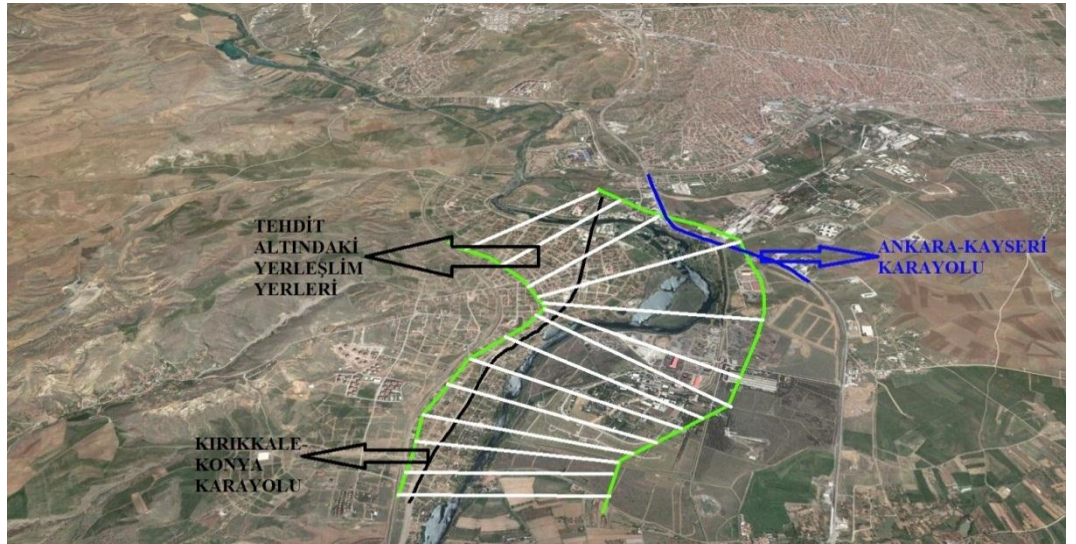


Şekil 3.29. Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Yahşihan köprü kesiti

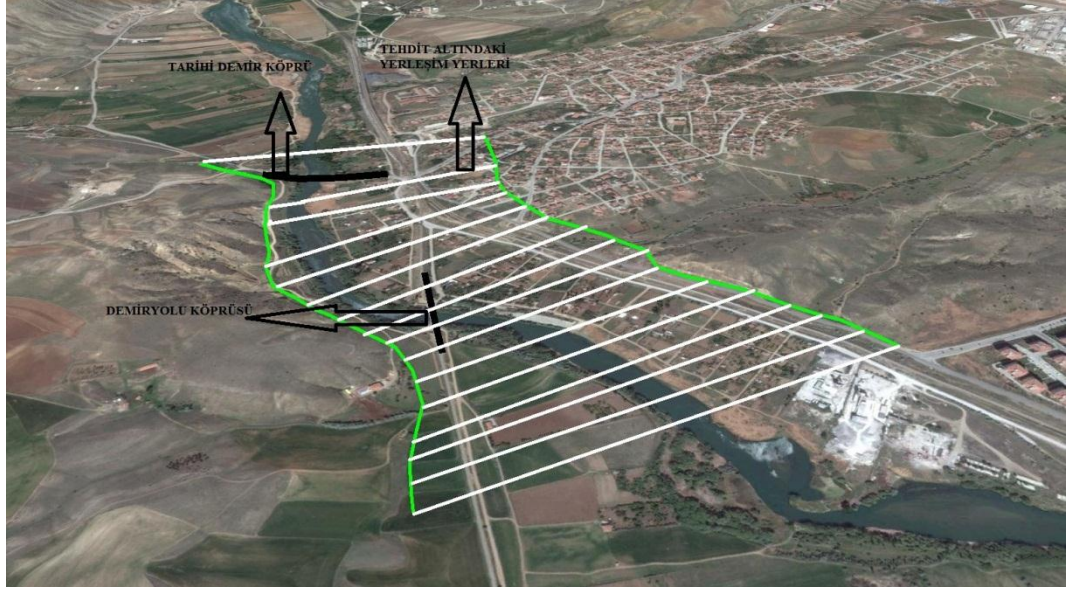


Şekil 3.30. Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Ankara-Kayseri karayolunun tehdit altındaki kısmı

Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Bahşılı ilçe merkezi ve Yahşıhan ilçe merkezine ait tehdit altındaki alanlar Şekiller 3.31 ve 3.32’de (ekle) gösterilmiştir.



Şekil 3.31. Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Bahşılı ilçe merkezinde tehdit altında kalan alanlar



Şekil 3.32 Baraj yıkılma debisinin gelmesi durumunda Yahşihan ilçe merkezinde tehdit altında kalan alanlar

Analiz sonucu her bir taşkın debisi için en kesitlerde elde edilen minimum kot, su yüzeyi kotu, akım derinliği, hız, akış alanı ve Froude sayısı Ek 1’de verilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde artan düzensiz yapılaşmaların sonucu olarak, özellikle doğal yatağına müdahale edilmiş nehirlerin taşkınlara karşı savunmasız olduğu bilinmektedir. Bununla beraber yaşanan iklim değişiklikleri ile taşkın risklerinin artması taşkınlar konusunda almamız gereken tedbirlerin daha önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada Kızılırmak Nehri, Kırıkkale sınırları içerisinde, Kapulukaya Barajı ile Yahşihan AGİ arasında kalan 17 km’lik bölgenin taşkına karşı durumları araştırılmıştır. Gelecekte dere yatağına yapılması düşünülen olası müdahaleler öncesinde çalışmada elde edilen bulgulara göre gerekli önlemler alınmalıdır.

Kızılırmak nehrinin Kırıkkale bölgesinde yaklaşık 17 km uzunluğundaki çalışma alanı için HEC-RAS yazılımı ile yapılan analizde Kızılırmak doğal nehir yatağının 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık taşkınlar için yeterli olduğu görülmüştür.

500 ve 1000 yıllık taşkınların olması durumunda Kapulukaya barajının mansabından 1,5 km uzaklıktaki 52 no’lu kesite kadar olan kısımda su yüzeyi kotunun 688.3 metre olduğu ve sağ ile sol sahildeki tarım alanlarının tehdit altında olduğu görülmüştür. Bu bölgelerde oluşacak riskin maliyet analizi yapılarak dere yatağında gerekli düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Ayrıca bu alanların hobi bahçesi vs. gibi nedenlerle yerleşime açılmasına gerekli düzenlemeler yapılmadan izin verilmemelidir.

500 ve 1000 yıllık taşkın olması durumunda rafineri köprüsünün mansap boyunca 1,3 km’lik kısmında sağ ve sol sahildeki tarım alanları ile sol sahildeki bazı evlerin tehdit altında olduğu görülmüştür. Burada can kaybının yaşanmaması adına gerekli tedbir ve önemlerin hem yerel yönetimler hem de mesken sahipleri tarafından alınması gerekmektedir.

Çalışma alanının içinde yer alan, Bahşılı köprüsünün mansabında bulunan yaklaşık 600 metrelik nehir düzenleme çalışmasının 1000 yıllık taşkın için yeterli olduğu görülmüştür.

Kapulukaya Barajının yıkılması durumunda ortaya çıkabilecek tahmini pik debinin ($Q=20.000 \text{ m}^3/\text{s}$) oluşturduğu akım derinliğinin 27 metrelere kadar çıktığı görülmektedir ve çalışılan güzergâhta bulunan köprülerden geçemediği ve savak akımı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Köprü tabliyeleri üzerindeki su yükseklikleri Rafineri köprüsünde 15 metre, Bahşılı köprüsünde 16 metre ve Yahşihan köprüsünde 17 metre olarak bulunmuştur. Dolayısıyla Ankara-Kayseri Karayolu başta olmak üzere bu bölgede ulaşımda önemli problemler yaşanacağı açıktır. Böyle bir afet durumunda can ve mal kayıplarının önlenmesi için buna göre gerekli tedbirlerin alınması gerekir.

Baraj yıkılma pik debisinin oluşması durumunda ortalama akım hızının ortalama 5 m/s olduğu tespit edilmiştir. Ortaya çıkacak pik debinin de yaklaşık 1 saatte ortaya çıkması beklenmektedir. Bu durumda taşkın dalgasının Bahşılı ilçe merkezine yaklaşık 1 saat 45 dakika, Yahşihan ilçe merkezine ise yaklaşık 2 saatte ulaşacağı öngörülmektedir. Erken uyarı sistemleri ile olası felakete karşı yerleşim alanlarının bu süre içerisinde boşaltılabilmesi için planlamalar yapılarak gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Diferansiyel gelişim algoritması kullanılarak elde ettiğimiz denklem ile hesaplanan pik debi Kapulukaya Barajının yıkılması durumu için daha önce literatürde var olan denklemlerden elde edilen pik debiye yakın çıkmıştır. Diferansiyel gelişim algoritması kullanılarak elde edilen pik debi eşitliği ile Türkiye’de var olan diğer dolgu barajların pik debisi elde edilip, literatürdeki denklem sonucu hesaplanan pik debiler ile karşılaştırılarak geliştirdiğimiz eşitliğin uygulanabilirliği araştırılabilir.

Çalışmada kullanılan 1503 no’lu Yahşihan AGİ’nin akım verilerinin Kolmogorov-Smirnov sınaması sonucu Gumbel olasılık dağılımına da uygun olduğu fakat Gumbel olasılık dağılımından elde edilen taşkın pik debi değerlerinin, DSI’den alınan pik debi değerleri ve Log-Normal dağılım ile elde edilen pik debi değerlerinden aşırı

yüksek çıktığı görülmüştür. Bu sonuç taşkın frekans analizinin sadece parametrik yöntemlere değil, parametrik olmayan yöntemlerle de yapılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur.



KAYNAKLAR

- [1] Altundal, M. Taşkınların Ekonomik Analizi. Erişim : [<http://www.dsi.gov.tr/docs/sempozyumlar/5-4-task%C4%B1nlar%C4%B1n-ekonom%C4%B1k-boyutu-m-altundal-.pdf?sfvrsn=2>]. (Erişim Tarihi: 25.05.2015)
- [2] M. Üyüküoğlu, HEC-RAS ile Taşkın Bölgelerinin Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2015.
- [3] Haltaş, İ., Kocaman, B., Ayvalı Barajı Olası Yıkılma Taşkın Tehlike Modellemesi Ve Haritalandırması. VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi 08-10 Ekim 2015, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, s. 70-78, 2015
- [4] Kirmencioğlu, B., Türkiye’de Dere Yataklarına Müdahalelerin Taşkınlar Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 2015.
- [5] Bayazıt, Y., Bakış, R., Koç, C., Kaya, T., Porsuk Çayı’nın Eskişehir İli Taşkın Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Oluşturulması. Uluslararası Katılımlı IV. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Ekim 2014, Elazığ, s. 731-737, 2014.
- [6] H. Efe, Batman Çayı’nın Taşkın Analizinin HEC-RAS Programıyla Yapılması. Yüksek Lisans Tezi. Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2014.
- [7] Doğan, E., Sönmez, O., Yapan, E., Othan, K., Özdemir, S., Çitgez, T., Aşağı Sakarya Nehrinde Taşkın Yayılım Haritalarının Elde Edilmesi. SAÜ. Fen Bil. Der. 17. Cilt, 3. Sayı, s. 363-369, 2013.
- [8] Şahin, E., Akıntuğ, B., Yanmaz, A.M., Güzelyurt Taşkını Modellemesi ve Çözüm Önerileri. İMO Teknik Dergi, 6447-6462, Yazı 403, 2013.

- [9] İ. Tuncer, Açık Kanallarda Su Yüzü Profilinin Belirlenmesi, Nakkaş Dere Örneğinde Bir HEC-RAS Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2011.
- [10] Özdemir, H., Akbulak, C., Özcan, H., Çokal Barajı(Çanakkale) Çökme Çodeli ve Taşkın Risk Analizi. Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 2, s. 659-698, 2011.
- [11] Onuşluel Gül, G., Gül, A., İzmir Bostanlı Havzası İçin Taşkın Alanlarının HEC-HMS Ve HEC-RAS Modelleri İle Belirlenmesi. II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, Mart 2010, Afyonkarahisar, s. 267-275, 2010.
- [12] İ. Düden, Darıdere Barajının Tedrici Yıkılması Ve Yarıktan Çıkan Taşkın HEC-RAS Ve Dambrk Programlarında İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2010.
- [13] Ö.Kara, Su Yüzü Profillerinin HEC-RAS Paket Programıyla İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2009.
- [14] İ. Uçar, Trabzon Değirmendere Havzasında Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Bir Hidrolik Model Yardımıyla Taşkın Analizi Yapılması, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2010
- [15] Vosconcelos, J. G., Tritico, H. M., Hatcher, T. M. A Post- Processing Tool For HEC-RAS For The Assesment of Fish Passage Conditions In Highway Culverts. World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability, ASCE, 2518-2527, 2011.
- [16] C. T. Ackerman, M. R. Jensen, G. W. Brunner, New Floodplain Delination Capabilities in HEC-RAS. World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers, ASCE, s. 2873-2879, 2009.

- [17] Wahl, T. L. Prediction of Embankment Dam Breach Parameters: A Literature Review And Needs Assessment, Dam Safety Rep. No. DSO-98-004, Bureau of Reclamation, U.S. Dept. of the Interior, Denver, 1998.
- [18] Wahl, T. L. "Uncertainty of Predictions of Embankment Dam Breach Parameters." J. Hydraul. Eng., Vol. 130, No. 5, pp. 389-397, 2004.
- [19] Pierce, M. W., Thornton, C. I., Abt, S. R. Predicting Peak Outflow From Breached Embankment Dams. Journal of Hydrologic Engineering, 15(5), 338-349, 2009.
- [20] Gupta, S. and Singh, V. "Discussion of "Enhanced predictions for peak outflow from breached Embankment Dams" by Christopher, I. Thornton, Michael W., Pierce, and Steven R., Abt." J. Hydrol. Eng., ASCE, Vol. 17, No. 3, pp. 463-466, DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943- 5584.0000470, 2012.
- [21] Bayazıt, M., Önöz, B. Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi. Nobel Akademik Yayıncılık. İstanbul, 2008
- [22] Özbek, T. Açık Kanal Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar. Teknik Yayınevi Mühendislik Mimarlık Yayınları. 1-666. Ankara, 2009.
- [23] Yüksel, Y. Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik. Beta Yayınları. 389-404, 582. İstanbul, 2008
- [24] Şarlak, N. Flood Frequency Estimator With Nonparametric Approaches in Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 21(5), 1083-1089, 2012.
- [25] HEC User Guide. HEC-RAS River Analysis System. U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, 2010.
- [26] Hydraulic Reference Manual 4.1, HEC-RAS River Analysis System. U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, 2010.

- [27] Storn, R. and Price, K. Differential Evolution—A Simple And Efficient Heuristic For Global Optimization Over Continuous Spaces. *Journal Of Global Optimization*, 11(4), 341-359, 1997
- [28] Mayer, D. G., Kinghorn, B. P., Archer, A. A. Differential Evolution—An Easy And Efficient Evolutionary Algorithm For Model Optimisation. *Agricultural Systems*, 83(3), 315-328, 2005
- [29] Cowan, L.W. Estimating Hydraulic Roughness Coefficients, *Agricultural Engineering*, Vol. 37, No. 7, pp. 473-475, 1956
- [30] Chow, V.T., *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York, 1959
- [31] Chaudry, M.H., *Open-Channel Flow*, Springer, New York, 2008

EKLER

Ek-1 Çalışma güzergahına ait HEC-RAS analiz verileri

	En Kesit No	Tekerrür Aralığı	Toplam Debi (m3/s)	Minimum Kot (m)	Su Yüzeyi Kotu (m)	Akım Derinliği (m)	Hız (m/s)	Akış Alanı (m2)	Froude Sayısı
Kızılırmak	55	Q ₅	478	681.6	687.4	5.8	2.15	221.83	0.36
Kızılırmak	55	Q ₁₀	495	681.6	687.48	5.88	2.18	226.94	0.36
Kızılırmak	55	Q ₂₅	513	681.6	687.57	5.97	2.21	232.2	0.36
Kızılırmak	55	Q ₅₀	540	681.6	687.7	6.1	2.25	239.96	0.37
Kızılırmak	55	Q ₁₀₀	643	681.6	688.14	6.54	2.4	268.98	0.38
Kızılırmak	55	Q ₅₀₀	745	681.6	688.53	6.93	2.53	301.61	0.38
Kızılırmak	55	Q ₁₀₀₀	789	681.6	688.69	7.09	2.58	316.78	0.38
Kızılırmak	55	Baraj Yıkılma	20000	681.6	706.04	24.44	6.4	4621.18	0.44

Kızılırmak	54	Q ₅	478	681.2	686.96	5.76	1.96	301.83	0.31
Kızılırmak	54	Q ₁₀	495	681.2	687.05	5.85	1.97	318.59	0.3
Kızılırmak	54	Q ₂₅	513	681.2	687.15	5.95	1.97	336.37	0.3
Kızılırmak	54	Q ₅₀	540	681.2	687.29	6.09	1.97	362.86	0.3
Kızılırmak	54	Q ₁₀₀	643	681.2	687.79	6.59	1.96	462.77	0.28
Kızılırmak	54	Q ₅₀₀	745	681.2	688.23	7.03	1.96	560.43	0.27
Kızılırmak	54	Q ₁₀₀₀	789	681.2	688.41	7.21	1.96	601.49	0.26
Kızılırmak	54	Baraj Yıkılma	20000	681.2	705.88	24.68	5.86	5131.56	0.39

0

Kızılırmak	52	Q ₅	478	680.6	686.7	6.1	1.27	437.04	0.19
Kızılırmak	52	Q ₁₀	495	680.6	686.8	6.2	1.28	455.21	0.19
Kızılırmak	52	Q ₂₅	513	680.6	686.9	6.3	1.29	474.89	0.19
Kızılırmak	52	Q ₅₀	540	680.6	687.05	6.45	1.3	505.37	0.19
Kızılırmak	52	Q ₁₀₀	643	680.6	687.57	6.97	1.33	621.92	0.18
Kızılırmak	52	Q ₅₀₀	745	680.6	688.04	7.44	1.36	731.04	0.18
Kızılırmak	52	Q ₁₀₀₀	789	680.6	688.22	7.62	1.37	774.82	0.18
Kızılırmak	52	Baraj Yıkılma	20000	680.6	705.47	24.87	5.4	5253.31	0.36

Kızılırmak	51	Q ₅	478	680.4	686.43	6.03	2.25	236.39	0.32
Kızılırmak	51	Q ₁₀	495	680.4	686.52	6.12	2.29	242.87	0.32
Kızılırmak	51	Q ₂₅	513	680.4	686.61	6.21	2.32	250.06	0.32
Kızılırmak	51	Q ₅₀	540	680.4	686.75	6.35	2.37	261.43	0.32
Kızılırmak	51	Q ₁₀₀	643	680.4	687.24	6.84	2.55	310.53	0.33
Kızılırmak	51	Q ₅₀₀	745	680.4	687.67	7.27	2.68	370.29	0.34
Kızılırmak	51	Q ₁₀₀₀	789	680.4	687.85	7.45	2.72	400.47	0.34
Kızılırmak	51	Baraj Yıkılma	20000	680.4	705.06	24.66	6.82	4738.44	0.45

Kızılırmak	50	Q ₅	478	680.3	686.35	6.05	1.92	251.48	0.29
Kızılırmak	50	Q ₁₀	495	680.3	686.44	6.14	1.94	258.04	0.3
Kızılırmak	50	Q ₂₅	513	680.3	686.54	6.24	1.97	265.16	0.3
Kızılırmak	50	Q ₅₀	540	680.3	686.67	6.37	2.01	276.15	0.3
Kızılırmak	50	Q ₁₀₀	643	680.3	687.17	6.87	2.14	320.76	0.3
Kızılırmak	50	Q ₅₀₀	745	680.3	687.62	7.32	2.24	378.33	0.3
Kızılırmak	50	Q ₁₀₀₀	789	680.3	687.8	7.5	2.28	405.65	0.3
Kızılırmak	50	Baraj Yıkılma	20000	680.3	704.82	24.52	6.58	4615.82	0.44

Kızılırmak	49	Q ₅	478	679.8	686.01	6.21	1.58	308.12	0.24
Kızılırmak	49	Q ₁₀	495	679.8	686.1	6.3	1.6	315.63	0.24
Kızılırmak	49	Q ₂₅	513	679.8	686.2	6.4	1.63	323.56	0.24
Kızılırmak	49	Q ₅₀	540	679.8	686.34	6.54	1.66	335.4	0.24
Kızılırmak	49	Q ₁₀₀	643	679.8	686.84	7.04	1.78	379.75	0.25
Kızılırmak	49	Q ₅₀₀	745	679.8	687.29	7.49	1.89	424.14	0.25
Kızılırmak	49	Q ₁₀₀₀	789	679.8	687.46	7.66	1.93	444.12	0.25
Kızılırmak	49	Baraj Yıkılma	20000	679.8	704.21	24.41	6.44	4615.88	0.43

Kızılırmak	48	Q ₅	478	679.4	685.79	6.39	1.6	313.5	0.23
Kızılırmak	48	Q ₁₀	495	679.4	685.88	6.48	1.62	322.38	0.23
Kızılırmak	48	Q ₂₅	513	679.4	685.98	6.58	1.65	332.2	0.23
Kızılırmak	48	Q ₅₀	540	679.4	686.12	6.72	1.68	348.02	0.23
Kızılırmak	48	Q ₁₀₀	643	679.4	686.62	7.22	1.8	413.88	0.24
Kızılırmak	48	Q ₅₀₀	745	679.4	687.07	7.67	1.88	486.31	0.24
Kızılırmak	48	Q ₁₀₀₀	789	679.4	687.25	7.85	1.91	517.95	0.24
Kızılırmak	48	Baraj Yıkılma	20000	679.4	704.17	24.77	5.46	5716.95	0.36

Kızılırmak	47	Q ₅	478	679.3	685.59	6.29	2.29	222.54	0.35
Kızılırmak	47	Q ₁₀	495	679.3	685.68	6.38	2.32	229.44	0.35
Kızılırmak	47	Q ₂₅	513	679.3	685.77	6.47	2.35	237.09	0.35
Kızılırmak	47	Q ₅₀	540	679.3	685.91	6.61	2.39	249.25	0.35
Kızılırmak	47	Q ₁₀₀	643	679.3	686.4	7.1	2.52	304.2	0.35
Kızılırmak	47	Q ₅₀₀	745	679.3	686.86	7.56	2.6	367.52	0.35
Kızılırmak	47	Q ₁₀₀₀	789	679.3	687.04	7.74	2.63	396.2	0.34
Kızılırmak	47	Baraj Yıkılma	20000	679.3	704.27	24.97	5.15	6421.63	0.34

Kızılırmak	46	Q ₅	478	679.2	685.31	6.11	2.37	206.56	0.37
Kızılırmak	46	Q ₁₀	495	679.2	685.4	6.2	2.41	212.26	0.37
Kızılırmak	46	Q ₂₅	513	679.2	685.49	6.29	2.44	218.38	0.37
Kızılırmak	46	Q ₅₀	540	679.2	685.62	6.42	2.48	227.81	0.37
Kızılırmak	46	Q ₁₀₀	643	679.2	686.11	6.91	2.64	266.5	0.37
Kızılırmak	46	Q ₅₀₀	745	679.2	686.55	7.35	2.76	308.42	0.38
Kızılırmak	46	Q ₁₀₀₀	789	679.2	686.73	7.53	2.81	326.29	0.38
Kızılırmak	46	Baraj Yıkılma	20000	679.2	702.95	23.75	7.68	4124.75	0.52

Kızılırmak	45	Q ₅	478	678.6	684.51	5.91	2.3	214.24	0.36
Kızılırmak	45	Q ₁₀	495	678.6	684.6	6	2.33	219.91	0.36
Kızılırmak	45	Q ₂₅	513	678.6	684.69	6.09	2.36	225.91	0.36
Kızılırmak	45	Q ₅₀	540	678.6	684.83	6.23	2.4	234.82	0.36
Kızılırmak	45	Q ₁₀₀	643	678.6	685.32	6.72	2.56	272.86	0.37
Kızılırmak	45	Q ₅₀₀	745	678.6	685.78	7.18	2.66	330.52	0.36
Kızılırmak	45	Q ₁₀₀₀	789	678.6	685.96	7.36	2.71	359.93	0.37
Kızılırmak	45	Baraj Yıkılma	20000	678.6	702.92	24.32	5.26	6086.46	0.35

Kızılırmak	44	Q ₅	478	678.4	684.22	5.82	2.74	192.32	0.43
Kızılırmak	44	Q ₁₀	495	678.4	684.31	5.91	2.77	197.93	0.43
Kızılırmak	44	Q ₂₅	513	678.4	684.41	6.01	2.8	203.84	0.43
Kızılırmak	44	Q ₅₀	540	678.4	684.54	6.14	2.84	212.57	0.43
Kızılırmak	44	Q ₁₀₀	643	678.4	685.03	6.63	3.01	244.45	0.43
Kızılırmak	44	Q ₅₀₀	745	678.4	685.48	7.08	3.16	286.12	0.43
Kızılırmak	44	Q ₁₀₀₀	789	678.4	685.66	7.26	3.2	309.8	0.43
Kızılırmak	44	Baraj Yıkılma	20000	678.4	702.8	24.4	5.64	5921.45	0.38

Kızılırmak	43	Q ₅	478	678.3	683.7	5.4	3.33	156.14	0.53
Kızılırmak	43	Q ₁₀	495	678.3	683.79	5.49	3.36	161.15	0.53
Kızılırmak	43	Q ₂₅	513	678.3	683.89	5.59	3.39	166.44	0.53
Kızılırmak	43	Q ₅₀	540	678.3	684.03	5.73	3.43	174.25	0.53
Kızılırmak	43	Q ₁₀₀	643	678.3	684.52	6.22	3.6	202.68	0.53
Kızılırmak	43	Q ₅₀₀	745	678.3	684.96	6.66	3.75	230.44	0.52
Kızılırmak	43	Q ₁₀₀₀	789	678.3	685.11	6.81	3.87	240.4	0.53
Kızılırmak	43	Baraj Yıkılma	20000	678.3	702.57	24.27	6.11	5517.65	0.41

Kızılırmak	42	Q ₅	478	678	683.78	5.78	0.98	514.14	0.14
Kızılırmak	42	Q ₁₀	495	678	683.88	5.88	1	530.43	0.14
Kızılırmak	42	Q ₂₅	513	678	683.98	5.98	1.01	548.28	0.14
Kızılırmak	42	Q ₅₀	540	678	684.14	6.14	1.03	575.82	0.14
Kızılırmak	42	Q ₁₀₀	643	678	684.66	6.66	1.08	679.23	0.15
Kızılırmak	42	Q ₅₀₀	745	678	685.14	7.14	1.13	783.43	0.15
Kızılırmak	42	Q ₁₀₀₀	789	678	685.31	7.31	1.15	822.97	0.15
Kızılırmak	42	Baraj Yıkılma	20000	678	702.61	24.61	4.07	7202.51	0.27

0

Kızılırmak	41	Q ₅	478	677.88	683.76	5.88	0.9	567.58	0.13
Kızılırmak	41	Q ₁₀	495	677.88	683.86	5.98	0.91	582.75	0.13
Kızılırmak	41	Q ₂₅	513	677.88	683.97	6.09	0.92	598.52	0.13
Kızılırmak	41	Q ₅₀	540	677.88	684.12	6.24	0.94	621.4	0.13
Kızılırmak	41	Q ₁₀₀	643	677.88	684.64	6.76	1	701.65	0.13
Kızılırmak	41	Q ₅₀₀	745	677.88	685.12	7.24	1.06	775.62	0.14
Kızılırmak	41	Q ₁₀₀₀	789	677.88	685.29	7.41	1.09	802.4	0.14
Kızılırmak	41	Baraj Yıkılma	20000	677.88	701.76	23.88	5.65	4757.11	0.38

Kızılırmak	40	Q ₅	478	677.81	683.77	5.96	0.8	600.94	0.11
Kızılırmak	40	Q ₁₀	495	677.81	683.87	6.06	0.81	613.5	0.12
Kızılırmak	40	Q ₂₅	513	677.81	683.97	6.16	0.83	626.57	0.12
Kızılırmak	40	Q ₅₀	540	677.81	684.12	6.31	0.84	645.66	0.12
Kızılırmak	40	Q ₁₀₀	643	677.81	684.64	6.83	0.91	713	0.12
Kızılırmak	40	Q ₅₀₀	745	677.81	685.12	7.31	0.98	775.59	0.12
Kızılırmak	40	Q ₁₀₀₀	789	677.81	685.3	7.49	1.01	798.5	0.13
Kızılırmak	40	Baraj Yıkılma	20000	677.81	701.78	23.97	5.39	4816.78	0.36

Kızılırmak	39	Q ₅	478	677.76	683.76	6	0.81	593.85	0.12
Kızılırmak	39	Q ₁₀	495	677.76	683.86	6.1	0.82	606.41	0.12
Kızılırmak	39	Q ₂₅	513	677.76	683.96	6.2	0.84	619.49	0.12
Kızılırmak	39	Q ₅₀	540	677.76	684.11	6.35	0.85	638.44	0.12
Kızılırmak	39	Q ₁₀₀	643	677.76	684.64	6.88	0.92	705.14	0.12
Kızılırmak	39	Q ₅₀₀	745	677.76	685.08	7.32	0.99	761.96	0.13
Kızılırmak	39	Q ₁₀₀₀	789	677.76	685.24	7.48	1.02	783.48	0.13
Kızılırmak	39	Baraj Yıkılma	20000	677.76	701.41	23.65	5.51	4710.89	0.37

Kızılırmak	38	Q ₅	478	677.8	683.75	5.95	0.87	550.07	0.13
Kızılırmak	38	Q ₁₀	495	677.8	683.85	6.05	0.88	562.92	0.13
Kızılırmak	38	Q ₂₅	513	677.8	683.96	6.16	0.89	576.28	0.13
Kızılırmak	38	Q ₅₀	540	677.8	684.11	6.31	0.91	595.65	0.13
Kızılırmak	38	Q ₁₀₀	643	677.8	684.63	6.83	0.97	663.8	0.14
Kızılırmak	38	Q ₅₀₀	745	677.8	685.07	7.27	1.03	721.64	0.14
Kızılırmak	38	Q ₁₀₀₀	789	677.8	685.24	7.44	1.06	743.35	0.14
Kızılırmak	38	Baraj Yıkılma	20000	677.8	701.4	23.6	5.45	4639.33	0.37

Kızılırmak	37	Q ₅	478	677.8	683.74	5.94	0.93	577.8	0.13
Kızılırmak	37	Q ₁₀	495	677.8	683.84	6.04	0.94	597.9	0.13
Kızılırmak	37	Q ₂₅	513	677.8	683.95	6.15	0.95	619.25	0.13
Kızılırmak	37	Q ₅₀	540	677.8	684.1	6.3	0.97	651.04	0.13
Kızılırmak	37	Q ₁₀₀	643	677.8	684.63	6.83	1.02	770.87	0.13
Kızılırmak	37	Q ₅₀₀	745	677.8	685.07	7.27	1.07	882.83	0.13
Kızılırmak	37	Q ₁₀₀₀	789	677.8	685.23	7.43	1.09	925.81	0.14
Kızılırmak	37	Baraj Yıkılma	20000	677.8	701.55	23.75	5.27	5167.06	0.35

Kızılırmak	36	Q ₅	478	677.5	683.75	6.25	0.86	658.43	0.12
Kızılırmak	36	Q ₁₀	495	677.5	683.85	6.35	0.87	681.16	0.12
Kızılırmak	36	Q ₂₅	513	677.5	683.95	6.45	0.88	705.47	0.12
Kızılırmak	36	Q ₅₀	540	677.5	684.1	6.6	0.89	741.72	0.12
Kızılırmak	36	Q ₁₀₀	643	677.5	684.63	7.13	0.93	872.22	0.12
Kızılırmak	36	Q ₅₀₀	745	677.5	685.07	7.57	0.98	986.11	0.12
Kızılırmak	36	Q ₁₀₀₀	789	677.5	685.24	7.74	1	1029.08	0.12
Kızılırmak	36	Baraj Yıkılma	20000	677.5	701.57	24.07	5.17	5274.15	0.34

Kızılırmak	33	Q ₅	478	677	683.38	6.38	2.06	269.44	0.3
Kızılırmak	33	Q ₁₀	495	677	683.48	6.48	2.07	282.63	0.3
Kızılırmak	33	Q ₂₅	513	677	683.59	6.59	2.08	297.31	0.3
Kızılırmak	33	Q ₅₀	540	677	683.74	6.74	2.1	320.57	0.3
Kızılırmak	33	Q ₁₀₀	643	677	684.3	7.3	2.12	420.47	0.29
Kızılırmak	33	Q ₅₀₀	745	677	684.76	7.76	2.13	522.24	0.28
Kızılırmak	33	Q ₁₀₀₀	789	677	684.93	7.93	2.15	563.06	0.28
Kızılırmak	33	Baraj Yıkılma	20000	677	700.91	23.91	6.52	4717.72	0.44

Kızılırmak	32	Q ₅	478	676.5	683.36	6.86	0.71	832.01	0.09
Kızılırmak	32	Q ₁₀	495	676.5	683.46	6.96	0.72	854.86	0.09
Kızılırmak	32	Q ₂₅	513	676.5	683.57	7.07	0.73	878.96	0.09
Kızılırmak	32	Q ₅₀	540	676.5	683.73	7.23	0.75	914.69	0.09
Kızılırmak	32	Q ₁₀₀	643	676.5	684.28	7.78	0.8	1047.83	0.1
Kızılırmak	32	Q ₅₀₀	745	676.5	684.74	8.24	0.85	1168.17	0.1
Kızılırmak	32	Q ₁₀₀₀	789	676.5	684.91	8.41	0.87	1214.07	0.1
Kızılırmak	32	Baraj Yıkılma	20000	676.5	700.88	24.38	4.49	6274.68	0.3

Kızılırmak	31	Q ₅	478	676	683.27	7.27	1.03	594.52	0.16
Kızılırmak	31	Q ₁₀	495	676	683.37	7.37	1.03	620.96	0.16
Kızılırmak	31	Q ₂₅	513	676	683.48	7.48	1.04	648.92	0.15
Kızılırmak	31	Q ₅₀	540	676	683.64	7.64	1.04	690.42	0.15
Kızılırmak	31	Q ₁₀₀	643	676	684.2	8.2	1.05	845.78	0.14
Kızılırmak	31	Q ₅₀₀	745	676	684.67	8.67	1.07	986.41	0.14
Kızılırmak	31	Q ₁₀₀₀	789	676	684.84	8.84	1.09	1039.97	0.14
Kızılırmak	31	Baraj Yıkılma	20000	676	700.84	24.84	3.84	7601.82	0.26

Kızılırmak	30	Q ₅	478	675.7	682.92	7.22	2.06	231.57	0.33
Kızılırmak	30	Q ₁₀	495	675.7	683.02	7.32	2.08	237.49	0.33
Kızılırmak	30	Q ₂₅	513	675.7	683.13	7.43	2.1	243.75	0.33
Kızılırmak	30	Q ₅₀	540	675.7	683.28	7.58	2.13	253	0.33
Kızılırmak	30	Q ₁₀₀	643	675.7	683.83	8.13	2.24	287.41	0.34
Kızılırmak	30	Q ₅₀₀	745	675.7	684.28	8.58	2.35	320.32	0.34
Kızılırmak	30	Q ₁₀₀₀	789	675.7	684.43	8.73	2.4	334.48	0.35
Kızılırmak	30	Baraj Yıkılma	20000	675.7	700.37	24.67	5.28	5982.04	0.37

Kızılırmak	29	Q ₅	478	674	679.69	5.69	3.21	148.93	0.57
Kızılırmak	29	Q ₁₀	495	674	679.77	5.77	3.25	152.4	0.57
Kızılırmak	29	Q ₂₅	513	674	679.84	5.84	3.29	156.04	0.57
Kızılırmak	29	Q ₅₀	540	674	679.96	5.96	3.35	161.43	0.58
Kızılırmak	29	Q ₁₀₀	643	674	680.37	6.37	3.54	181.54	0.59
Kızılırmak	29	Q ₅₀₀	745	674	680.75	6.75	3.71	200.88	0.61
Kızılırmak	29	Q ₁₀₀₀	789	674	680.9	6.9	3.77	209.09	0.61
Kızılırmak	29	Baraj Yıkılma	20000	674	699.23	25.23	4.79	6566.56	0.33

Kızılırmak	28	Q ₅	478	673.7	679.5	5.8	2	239.56	0.35
Kızılırmak	28	Q ₁₀	495	673.7	679.58	5.88	2.02	245.36	0.35
Kızılırmak	28	Q ₂₅	513	673.7	679.67	5.97	2.04	251.44	0.35
Kızılırmak	28	Q ₅₀	540	673.7	679.79	6.09	2.07	260.41	0.36
Kızılırmak	28	Q ₁₀₀	643	673.7	680.22	6.52	2.19	293.75	0.36
Kızılırmak	28	Q ₅₀₀	745	673.7	680.61	6.91	2.29	325.69	0.37
Kızılırmak	28	Q ₁₀₀₀	789	673.7	680.77	7.07	2.33	339.21	0.37
Kızılırmak	28	Baraj Yıkılma	20000	673.7	698.21	24.51	6.3	4423.51	0.44

Kızılırmak	27	Q ₅	478	673.5	679.04	5.54	2.25	212.05	0.38
Kızılırmak	27	Q ₁₀	495	673.5	679.12	5.62	2.29	216.5	0.39
Kızılırmak	27	Q ₂₅	513	673.5	679.19	5.69	2.32	221.15	0.39
Kızılırmak	27	Q ₅₀	540	673.5	679.3	5.8	2.37	227.97	0.39
Kızılırmak	27	Q ₁₀₀	643	673.5	679.7	6.2	2.54	253.31	0.41
Kızılırmak	27	Q ₅₀₀	745	673.5	680.07	6.57	2.69	277.29	0.42
Kızılırmak	27	Q ₁₀₀₀	789	673.5	680.22	6.72	2.75	287.39	0.43
Kızılırmak	27	Baraj Yıkılma	20000	673.5	698	24.5	6.3	4630.77	0.43

Kızılırmak	26	Q ₅	478	673.2	678.47	5.27	2.58	185.06	0.45
Kızılırmak	26	Q ₁₀	495	673.2	678.54	5.34	2.62	188.74	0.46
Kızılırmak	26	Q ₂₅	513	673.2	678.6	5.4	2.66	192.58	0.46
Kızılırmak	26	Q ₅₀	540	673.2	678.7	5.5	2.72	198.17	0.47
Kızılırmak	26	Q ₁₀₀	643	673.2	679.05	5.85	2.94	218.55	0.49
Kızılırmak	26	Q ₅₀₀	745	673.2	679.37	6.17	3.14	237.62	0.51
Kızılırmak	26	Q ₁₀₀₀	789	673.2	679.5	6.3	3.21	245.61	0.51
Kızılırmak	26	Baraj Yıkılma	20000	673.2	698.51	25.31	3.49	8606.65	0.24

Kızılırmak	25	Q ₅	478	672.8	678.49	5.69	0.6	798.97	0.12
Kızılırmak	25	Q ₁₀	495	672.8	678.56	5.76	0.61	823.02	0.12
Kızılırmak	25	Q ₂₅	513	672.8	678.64	5.84	0.61	848.12	0.12
Kızılırmak	25	Q ₅₀	540	672.8	678.75	5.95	0.62	884.74	0.12
Kızılırmak	25	Q ₁₀₀	643	672.8	679.14	6.34	0.64	1018	0.11
Kızılırmak	25	Q ₅₀₀	745	672.8	679.5	6.7	0.67	1142.14	0.11
Kızılırmak	25	Q ₁₀₀₀	789	672.8	679.65	6.85	0.68	1193.9	0.11
Kızılırmak	25	Baraj Yıkılma	20000	672.8	698.49	25.69	2.31	10084.99	0.16

Kızılırmak	24	Q ₅	478	672	677.47	5.47	2.81	170.21	0.55
Kızılırmak	24	Q ₁₀	495	672	677.55	5.55	2.82	175.28	0.55
Kızılırmak	24	Q ₂₅	513	672	677.62	5.62	2.84	180.52	0.55
Kızılırmak	24	Q ₅₀	540	672	677.74	5.74	2.87	188.24	0.56
Kızılırmak	24	Q ₁₀₀	643	672	678.13	6.13	2.97	216.66	0.55
Kızılırmak	24	Q ₅₀₀	745	672	678.47	6.47	3.07	242.46	0.55
Kızılırmak	24	Q ₁₀₀₀	789	672	678.61	6.61	3.12	253.08	0.55
Kızılırmak	24	Baraj Yıkılma	20000	672	697.79	25.79	4.6	6442.29	0.32

Kızılırmak	23	Q ₅	478	671.8	677.29	5.49	1.44	330.82	0.25
Kızılırmak	23	Q ₁₀	495	671.8	677.37	5.57	1.46	338.75	0.25
Kızılırmak	23	Q ₂₅	513	671.8	677.45	5.65	1.48	346.73	0.25
Kızılırmak	23	Q ₅₀	540	671.8	677.57	5.77	1.51	358.21	0.25
Kızılırmak	23	Q ₁₀₀	643	671.8	677.98	6.18	1.61	399.76	0.26
Kızılırmak	23	Q ₅₀₀	745	671.8	678.34	6.54	1.7	438.05	0.27
Kızılırmak	23	Q ₁₀₀₀	789	671.8	678.48	6.68	1.74	453.89	0.27
Kızılırmak	23	Baraj Yıkılma	20000	671.8	697.86	26.06	3.64	7756.7	0.24

Kızılırmak	22	Q ₅	478	671.65	677.27	5.62	1.55	307.84	0.28
Kızılırmak	22	Q ₁₀	495	671.65	677.35	5.7	1.57	315.81	0.28
Kızılırmak	22	Q ₂₅	513	671.65	677.43	5.78	1.58	323.84	0.28
Kızılırmak	22	Q ₅₀	540	671.65	677.54	5.89	1.61	335.43	0.28
Kızılırmak	22	Q ₁₀₀	643	671.65	677.95	6.3	1.7	377.15	0.29
Kızılırmak	22	Q ₅₀₀	745	671.65	678.31	6.66	1.79	415.24	0.29
Kızılırmak	22	Q ₁₀₀₀	789	671.65	678.46	6.81	1.83	430.92	0.29
Kızılırmak	22	Baraj Yıkılma	20000	671.65	697.88	26.23	3.51	8061.86	0.24

Kızılırmak	21	Q ₅	478	671.65	677.3	5.65	1.19	402.84	0.2
Kızılırmak	21	Q ₁₀	495	671.65	677.38	5.73	1.2	412.39	0.2
Kızılırmak	21	Q ₂₅	513	671.65	677.46	5.81	1.22	422.01	0.21
Kızılırmak	21	Q ₅₀	540	671.65	677.58	5.93	1.24	435.91	0.21
Kızılırmak	21	Q ₁₀₀	643	671.65	677.99	6.34	1.32	487.76	0.22
Kızılırmak	21	Q ₅₀₀	745	671.65	678.35	6.7	1.39	537	0.22
Kızılırmak	21	Q ₁₀₀₀	789	671.65	678.5	6.85	1.42	557.3	0.23
Kızılırmak	21	Baraj Yıkılma	20000	671.65	697.88	26.23	3.34	8205.91	0.22

Kızılırmak	20	Q ₅	478	671.6	677.28	5.68	1.24	386.65	0.22
Kızılırmak	20	Q ₁₀	495	671.6	677.36	5.76	1.25	396.08	0.22
Kızılırmak	20	Q ₂₅	513	671.6	677.44	5.84	1.26	405.57	0.22
Kızılırmak	20	Q ₅₀	540	671.6	677.56	5.96	1.29	419.24	0.22
Kızılırmak	20	Q ₁₀₀	643	671.6	677.97	6.37	1.37	469.99	0.23
Kızılırmak	20	Q ₅₀₀	745	671.6	678.33	6.73	1.43	522.54	0.24
Kızılırmak	20	Q ₁₀₀₀	789	671.6	678.48	6.88	1.45	544.35	0.24
Kızılırmak	20	Baraj Yıkılma	20000	671.6	697.82	26.22	3.39	7829.46	0.23

Kızılırmak	19	Q ₅	478	671.74	677.29	5.55	1.11	428.93	0.17
Kızılırmak	19	Q ₁₀	495	671.74	677.37	5.63	1.13	437.28	0.18
Kızılırmak	19	Q ₂₅	513	671.74	677.45	5.71	1.15	445.64	0.18
Kızılırmak	19	Q ₅₀	540	671.74	677.56	5.82	1.18	457.56	0.18
Kızılırmak	19	Q ₁₀₀	643	671.74	677.97	6.23	1.29	499.69	0.19
Kızılırmak	19	Q ₅₀₀	745	671.74	678.33	6.59	1.39	537.48	0.19
Kızılırmak	19	Q ₁₀₀₀	789	671.74	678.48	6.74	1.43	553.16	0.2
Kızılırmak	19	Baraj Yıkılma	20000	671.74	697.8	26.06	3.75	8010.88	0.24

Kızılırmak	18	Q ₅	478	671.3	676.97	5.67	1.57	305.19	0.29
Kızılırmak	18	Q ₁₀	495	671.3	677.06	5.76	1.56	331.38	0.28
Kızılırmak	18	Q ₂₅	513	671.3	677.14	5.84	1.57	344.77	0.28
Kızılırmak	18	Q ₅₀	540	671.3	677.26	5.96	1.59	363.93	0.28
Kızılırmak	18	Q ₁₀₀	643	671.3	677.67	6.37	1.65	434.24	0.27
Kızılırmak	18	Q ₅₀₀	745	671.3	678.03	6.73	1.72	502.85	0.27
Kızılırmak	18	Q ₁₀₀₀	789	671.3	678.18	6.88	1.74	536.67	0.27
Kızılırmak	18	Baraj Yıkılma	20000	671.3	697.11	25.81	4.97	5429.75	0.33

Kızılırmak	17	Q ₅	478	671.2	676.8	5.6	1.65	290.33	0.3
Kızılırmak	17	Q ₁₀	495	671.2	676.88	5.68	1.66	298.32	0.3
Kızılırmak	17	Q ₂₅	513	671.2	676.97	5.77	1.67	306.74	0.3
Kızılırmak	17	Q ₅₀	540	671.2	677.09	5.89	1.67	337.84	0.3
Kızılırmak	17	Q ₁₀₀	643	671.2	677.52	6.32	1.72	409.73	0.29
Kızılırmak	17	Q ₅₀₀	745	671.2	677.9	6.7	1.77	477.24	0.28
Kızılırmak	17	Q ₁₀₀₀	789	671.2	678.04	6.84	1.8	506.22	0.28
Kızılırmak	17	Baraj Yıkılma	20000	671.2	696.99	25.79	5.01	5392.24	0.33

Kızılırmak	16	Q ₅	478	671.1	676.74	5.64	1.36	372.42	0.23
Kızılırmak	16	Q ₁₀	495	671.1	676.83	5.73	1.37	384.4	0.23
Kızılırmak	16	Q ₂₅	513	671.1	676.92	5.82	1.38	396.9	0.23
Kızılırmak	16	Q ₅₀	540	671.1	677.04	5.94	1.4	416	0.23
Kızılırmak	16	Q ₁₀₀	643	671.1	677.47	6.37	1.47	495.74	0.23
Kızılırmak	16	Q ₅₀₀	745	671.1	677.85	6.75	1.52	570.91	0.23
Kızılırmak	16	Q ₁₀₀₀	789	671.1	678	6.9	1.56	602.06	0.23
Kızılırmak	16	Baraj Yıkılma	20000	671.1	696.95	25.85	4.93	5492.61	0.32

Kızılırmak	15	Q ₅	478	670.8	676.65	5.85	0.94	513.88	0.16
Kızılırmak	15	Q ₁₀	495	670.8	676.73	5.93	0.95	530.01	0.16
Kızılırmak	15	Q ₂₅	513	670.8	676.82	6.02	0.96	547.54	0.16
Kızılırmak	15	Q ₅₀	540	670.8	676.95	6.15	0.97	573.86	0.16
Kızılırmak	15	Q ₁₀₀	643	670.8	677.39	6.59	1.02	673.89	0.16
Kızılırmak	15	Q ₅₀₀	745	670.8	677.78	6.98	1.07	767	0.16
Kızılırmak	15	Q ₁₀₀₀	789	670.8	677.93	7.13	1.09	805.26	0.16
Kızılırmak	15	Baraj Yıkılma	20000	670.8	696.86	26.06	4.27	5724.19	0.28

Kızılırmak	14	Q ₅	478	670.5	676.53	6.03	0.88	567.72	0.15
Kızılırmak	14	Q ₁₀	495	670.5	676.62	6.12	0.89	587.56	0.15
Kızılırmak	14	Q ₂₅	513	670.5	676.71	6.21	0.89	608.5	0.15
Kızılırmak	14	Q ₅₀	540	670.5	676.84	6.34	0.91	638.86	0.15
Kızılırmak	14	Q ₁₀₀	643	670.5	677.29	6.79	0.95	753.37	0.15
Kızılırmak	14	Q ₅₀₀	745	670.5	677.68	7.18	0.99	860.18	0.15
Kızılırmak	14	Q ₁₀₀₀	789	670.5	677.84	7.34	1.01	903.94	0.15
Kızılırmak	14	Baraj Yıkılma	20000	670.5	697.02	26.52	3.1	8722.4	0.2

Kızılırmak	13	Q ₅	478	670	676.13	6.13	2.12	286.27	0.34
Kızılırmak	13	Q ₁₀	495	670	676.23	6.23	2.12	301.11	0.33
Kızılırmak	13	Q ₂₅	513	670	676.33	6.33	2.12	316.78	0.33
Kızılırmak	13	Q ₅₀	540	670	676.46	6.46	2.12	339.24	0.32
Kızılırmak	13	Q ₁₀₀	643	670	676.94	6.94	2.15	421.69	0.31
Kızılırmak	13	Q ₅₀₀	745	670	677.35	7.35	2.15	537.13	0.3
Kızılırmak	13	Q ₁₀₀₀	789	670	677.52	7.52	2.14	588.83	0.29
Kızılırmak	13	Baraj Yıkılma	20000	670	696.98	26.98	3.27	9763.1	0.21

Kızılırmak	12	Q ₅	478	669.8	675.82	6.02	2.37	201.29	0.41
Kızılırmak	12	Q ₁₀	495	669.8	675.91	6.11	2.4	206.6	0.41
Kızılırmak	12	Q ₂₅	513	669.8	676	6.2	2.42	212.53	0.41
Kızılırmak	12	Q ₅₀	540	669.8	676.14	6.34	2.43	236.41	0.41
Kızılırmak	12	Q ₁₀₀	643	669.8	676.65	6.85	2.41	327.09	0.38
Kızılırmak	12	Q ₅₀₀	745	669.8	677.09	7.29	2.42	411	0.36
Kızılırmak	12	Q ₁₀₀₀	789	669.8	677.27	7.47	2.39	450.79	0.35
Kızılırmak	12	Baraj Yıkılma	20000	669.8	696.19	26.39	5.51	5341	0.36

Kızılırmak	11	Q ₅	478	669.6	675.51	5.91	2.29	208.64	0.38
Kızılırmak	11	Q ₁₀	495	669.6	675.6	6	2.32	213.77	0.38
Kızılırmak	11	Q ₂₅	513	669.6	675.69	6.09	2.34	219.11	0.39
Kızılırmak	11	Q ₅₀	540	669.6	675.82	6.22	2.38	227.08	0.39
Kızılırmak	11	Q ₁₀₀	643	669.6	676.31	6.71	2.47	277.75	0.38
Kızılırmak	11	Q ₅₀₀	745	669.6	676.74	7.14	2.56	324.99	0.38
Kızılırmak	11	Q ₁₀₀₀	789	669.6	676.91	7.31	2.59	346.17	0.38
Kızılırmak	11	Baraj Yıkılma	20000	669.6	695.91	26.31	5.82	5109.44	0.38

Kızılırmak	10	Q ₅	478	669.5	675.5	6	1.95	300.49	0.31
Kızılırmak	10	Q ₁₀	495	669.5	675.6	6.1	1.95	312.68	0.31
Kızılırmak	10	Q ₂₅	513	669.5	675.69	6.19	1.96	325.44	0.3
Kızılırmak	10	Q ₅₀	540	669.5	675.84	6.34	1.97	344.64	0.3
Kızılırmak	10	Q ₁₀₀	643	669.5	676.34	6.84	2.04	418.36	0.3
Kızılırmak	10	Q ₅₀₀	745	669.5	676.78	7.28	2.1	495.27	0.29
Kızılırmak	10	Q ₁₀₀₀	789	669.5	676.96	7.46	2.11	529.54	0.29
Kızılırmak	10	Baraj Yıkılma	20000	669.5	695.89	26.39	5.81	5143.83	0.38

Kızılırmak	9	Q ₅	478	669.4	675.33	5.93	2.24	213.15	0.34
Kızılırmak	9	Q ₁₀	495	669.4	675.41	6.01	2.28	217.28	0.34
Kızılırmak	9	Q ₂₅	513	669.4	675.5	6.1	2.32	221.55	0.35
Kızılırmak	9	Q ₅₀	540	669.4	675.63	6.23	2.37	227.91	0.35
Kızılırmak	9	Q ₁₀₀	643	669.4	676.1	6.7	2.56	258.46	0.36
Kızılırmak	9	Q ₅₀₀	745	669.4	676.52	7.12	2.67	316.39	0.37
Kızılırmak	9	Q ₁₀₀₀	789	669.4	676.7	7.3	2.71	341.44	0.36
Kızılırmak	9	Baraj Yıkılma	20000	669.4	695.61	26.21	6.45	4795.7	0.42

Kızılırmak	8	Q ₅	478	668.8	674.75	5.95	1.93	248.18	0.31
Kızılırmak	8	Q ₁₀	495	668.8	674.83	6.03	1.96	253.06	0.31
Kızılırmak	8	Q ₂₅	513	668.8	674.91	6.11	1.99	258.1	0.31
Kızılırmak	8	Q ₅₀	540	668.8	675.03	6.23	2.03	265.61	0.32
Kızılırmak	8	Q ₁₀₀	643	668.8	675.45	6.65	2.2	292.46	0.33
Kızılırmak	8	Q ₅₀₀	745	668.8	675.83	7.03	2.35	317.09	0.34
Kızılırmak	8	Q ₁₀₀₀	789	668.8	675.98	7.18	2.41	327.36	0.35
Kızılırmak	8	Baraj Yıkılma	20000	668.8	695.25	26.45	5.39	5468.45	0.36

Kızılırmak	7	Q ₅	478	668.6	674.55	5.95	1.74	273.95	0.27
Kızılırmak	7	Q ₁₀	495	668.6	674.63	6.03	1.78	278.71	0.27
Kızılırmak	7	Q ₂₅	513	668.6	674.7	6.1	1.81	283.75	0.28
Kızılırmak	7	Q ₅₀	540	668.6	674.82	6.22	1.85	291.36	0.29
Kızılırmak	7	Q ₁₀₀	643	668.6	675.24	6.64	1.9	386.35	0.29
Kızılırmak	7	Q ₅₀₀	745	668.6	675.61	7.01	1.98	441.95	0.29
Kızılırmak	7	Q ₁₀₀₀	789	668.6	675.77	7.17	2.01	465.24	0.29
Kızılırmak	7	Baraj Yıkılma	20000	668.6	695.48	26.88	3.93	7827.73	0.25

Kızılırmak	6	Q ₅	478	668.45	674.53	6.08	1.15	414.13	0.18
Kızılırmak	6	Q ₁₀	495	668.45	674.61	6.16	1.17	421.76	0.18
Kızılırmak	6	Q ₂₅	513	668.45	674.68	6.23	1.19	429.7	0.19
Kızılırmak	6	Q ₅₀	540	668.45	674.8	6.35	1.22	441.42	0.19
Kızılırmak	6	Q ₁₀₀	643	668.45	675.21	6.76	1.33	483.52	0.2
Kızılırmak	6	Q ₅₀₀	745	668.45	675.57	7.12	1.43	521.91	0.21
Kızılırmak	6	Q ₁₀₀₀	789	668.45	675.72	7.27	1.47	537.74	0.21
Kızılırmak	6	Baraj Yıkılma	20000	668.45	694.57	26.12	5.27	4591.89	0.36

Kızılırmak	5	Q ₅	478	668.4	674.46	6.06	1.17	409.32	0.18
Kızılırmak	5	Q ₁₀	495	668.4	674.54	6.14	1.19	416.63	0.18
Kızılırmak	5	Q ₂₅	513	668.4	674.61	6.21	1.21	424.22	0.19
Kızılırmak	5	Q ₅₀	540	668.4	674.73	6.33	1.24	435.41	0.19
Kızılırmak	5	Q ₁₀₀	643	668.4	675.13	6.73	1.35	475.5	0.2
Kızılırmak	5	Q ₅₀₀	745	668.4	675.49	7.09	1.46	511.92	0.21
Kızılırmak	5	Q ₁₀₀₀	789	668.4	675.63	7.23	1.5	526.9	0.21
Kızılırmak	5	Baraj Yıkılma	20000	668.4	694.46	26.06	5.51	5142.71	0.36

Kızılırmak	4	Q ₅	478	668.21	674.35	6.14	1.35	354.57	0.23
Kızılırmak	4	Q ₁₀	495	668.21	674.42	6.21	1.37	361.99	0.23
Kızılırmak	4	Q ₂₅	513	668.21	674.5	6.29	1.39	369.7	0.23
Kızılırmak	4	Q ₅₀	540	668.21	674.61	6.4	1.42	381.12	0.23
Kızılırmak	4	Q ₁₀₀	643	668.21	675	6.79	1.52	421.98	0.24
Kızılırmak	4	Q ₅₀₀	745	668.21	675.36	7.15	1.62	459.53	0.25
Kızılırmak	4	Q ₁₀₀₀	789	668.21	675.51	7.3	1.66	475.18	0.25
Kızılırmak	4	Baraj Yıkılma	20000	668.21	694.23	26.02	5.51	4712.4	0.37

Kızılırmak	3	Q ₅	478	668.28	674.34	6.06	1.38	346.19	0.24
Kızılırmak	3	Q ₁₀	495	668.28	674.41	6.13	1.4	353.47	0.24
Kızılırmak	3	Q ₂₅	513	668.28	674.49	6.21	1.42	361.07	0.24
Kızılırmak	3	Q ₅₀	540	668.28	674.6	6.32	1.45	372.31	0.24
Kızılırmak	3	Q ₁₀₀	643	668.28	674.99	6.71	1.56	412.44	0.25
Kızılırmak	3	Q ₅₀₀	745	668.28	675.35	7.07	1.66	448.77	0.25
Kızılırmak	3	Q ₁₀₀₀	789	668.28	675.49	7.21	1.7	463.7	0.26
Kızılırmak	3	Baraj Yıkılma	20000	668.28	694.16	25.88	5.68	4613.52	0.38

Kızılırmak	2	Q ₅	478	668.19	674.26	6.07	1.71	280.24	0.31
Kızılırmak	2	Q ₁₀	495	668.19	674.33	6.14	1.73	286.57	0.31
Kızılırmak	2	Q ₂₅	513	668.19	674.41	6.22	1.75	293.22	0.31
Kızılırmak	2	Q ₅₀	540	668.19	674.51	6.32	1.78	303.05	0.31
Kızılırmak	2	Q ₁₀₀	643	668.19	674.9	6.71	1.9	338.3	0.32
Kızılırmak	2	Q ₅₀₀	745	668.19	675.25	7.06	2.01	370.39	0.32
Kızılırmak	2	Q ₁₀₀₀	789	668.19	675.39	7.2	2.06	383.68	0.33
Kızılırmak	2	Baraj Yıkılma	20000	668.19	693.89	25.7	6.02	4419.21	0.41

Kızılırmak	1	Q ₅	478	668.19	674.26	6.07	1.7	281.95	0.3
Kızılırmak	1	Q ₁₀	495	668.19	674.33	6.14	1.72	288.28	0.31
Kızılırmak	1	Q ₂₅	513	668.19	674.4	6.21	1.74	294.91	0.31
Kızılırmak	1	Q ₅₀	540	668.19	674.51	6.32	1.77	304.72	0.31
Kızılırmak	1	Q ₁₀₀	643	668.19	674.9	6.71	1.89	339.88	0.31
Kızılırmak	1	Q ₅₀₀	745	668.19	675.24	7.05	2.01	371.84	0.32
Kızılırmak	1	Q ₁₀₀₀	789	668.19	675.38	7.19	2.05	385.07	0.32
Kızılırmak	1	Baraj Yıkılma	20000	668.19	693.82	25.63	6.29	4406.16	0.42

