

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BARAJ YIKILMASI TAŞKIN RİSK
DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin ALPPAY

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : HİDROLİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emrah DOĞAN

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BARAJ YIKILMASI TAŞKIN RİSK
DEĞERLENDİRMESİ**

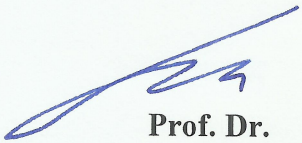
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin ALPPAY

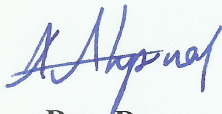
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : HİDROLİK

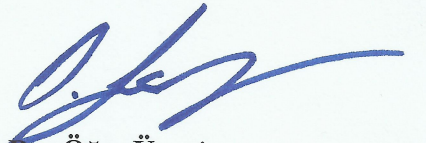
Bu tez 10.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Emrah DOĞAN
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Adem AKPINAR
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Osman SÖNMEZ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hüseyin ALPPAY

10.06.2019

TEŞEKKÜR

Tezin oluşumunda katkısı olan tüm dostlara ve danışman hocam Sayın Prof. Dr. Emrah DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ	4
2.1 Baraj Yıkılması Kavramına Genel Bakış	4
2.2. Gediklenme	8
2.3. Baraj Yıkılması Taşkını (BYT) Yayılımının Modellenmesi	15
BÖLÜM 3.	
ÇALIŞMA ALANI	18
3.1. Kirazdere Barajı	21
3.1.1. Baraj gövdesi	21
3.1.2. Baraj yapıları	22
3.1.3. Baraj rezervuarı (Baraj gölü)	23
BÖLÜM 4.	
YÖNTEM	25

4.1. Gediklenme Modeli	25
4.2. Hidrolik Model	25
BÖLÜM 5.	
VERİLER	30
5.1. Çalışma Alanı 3 Boyutlu Arazi Modeli	30
5.2. Pürüzlülük	33
5.3. Senaryo	34
BÖLÜM 6.	
UYGULAMA	35
6.1. Kirazdere Barajı BYT Yayılım, Derinlik, Hız Haritaları.....	39
6.2. Kirazdere Barajı BYT Hidroğrafları	42
BÖLÜM 7.	
SONUÇ	46
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BYT	: Baraj Yıkılması Taşkını
B	: Gedik genişliği
$\bar{B}$	: Ortalama gedik genişliği
$\bar{B}^*$	: Boyutsuz ortalama gedik genişliği
$B_{üst}$	: Gedik üst genişliği
B_{alt}	: Gedik alt genişliği
C_b	: Von Thun ve Gillette gedik genişliği katsayısı
d_{ovtop}	: Üstten aşma yıkılması anında akım derinliği
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
h_d	: Baraj yüksekliği
h_w	: Yıkılma anında su derinliği
h_b	: Gedik yüksekliği
ICOLD	: Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu
K_o	: Üstten aşma düzeltme katsayısı
K_c	: Geçirimsiz çekirdek düzeltme katsayısı
Q_p	: Pik gedik çıkış akımı debisi
S^*	: Boyutsuz rezervuar hacmi
t_f	: Gedik formasyon zamanı
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USACE	: U.S. Army Corps of Engineers
USCOLD	: Amerika Birleşik Devletleri Büyük Barajlar Komitesi
V_{er}	: Aşınan baraj malzemesi hacmi
V_{out}	: Gedikten çıkan su hacmi
V_w	: Gediklenme anında gedik alt kotu üstündeki su hacmi
$\bar{W}^*$	: Boyutsuz ortalama baraj genişliği
Z	: Gedik kenar şev eğim faktörü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yıkımdan sonra Banqiao Barajı	2
Şekil 2.1. Baraj türlerine göre yıkılma oranları	5
Şekil 2.2. Toprak dolgu baraj yıkılma oranları	6
Şekil 2.3. Toprak dolgu baraj kalite problemleri	6
Şekil 2.4. Gediklenme parametreleri	8
Şekil 3.1. Çalışma alanı genel görünümü (a)	18
Şekil 3.2. Çalışma alanı genel görünümü (b)	19
Şekil 3.3. Çalışma alanı genel görünümü (c)	19
Şekil 3.4. Kirazdere (Yuvacık) Baraj Havzası jeoloji haritası	20
Şekil 3.5. (a) Yapım aşamasında Kirazdere Barajı görünümü (b) Tamamlanmış Kirazdere Barajı görünümü	22
Şekil 3.6. Kirazdere Barajı dolusavak görünümü	22
Şekil 3.7. Kirazdere (Yuvacık) Barajı havzası ana ve alt havzaları	23
Şekil 3.8. (a) Kirazdere Barajı Rezervuarı (b) Kirazdere Barajı Rezervuarı derinlik kontur haritası	24
Şekil 3.9. Kirazdere Barajı Rezervuarı 3 boyutlu görünümü	24
Şekil 5.1. (a) Çalışma alanı TIN modeli (b) Yapı bilgileri eklenmiş çalışma alanı TIN modeli	31
Şekil 5.2. Çalışma alanı raster verisi	31
Şekil 5.3. Çalışma alanı 3 boyutlu arazi modeli	32
Şekil 5.4. Bütünleşik topoğrafik veri seti	32
Şekil 5.5. Çalışma alanı pürzülülük (Manning n değerleri) haritası	33
Şekil 6.1. 2b taşkın yayılım alanı, baraj haznesi, kirazdere barajı, taşkın dalgası çıkış sınırları genel görünümü	35
Şekil 6.2. Gediklenme parametreleri	36
Şekil 6.3. Tamamlanmış gedik geometrisi görünümü	36

Şekil 6.4. Zaman-gedik gelişim parametreleri	37
Şekil 6.5. Analizde kullanılan parametreler	37
Şekil 6.6. Analiz menüsü.....	38
Şekil 6.7. Simülasyon sonuç menüsü.....	38
Şekil 6.8. Kirazdere Barajı BYT yayılım alanı haritası	39
Şekil 6.9. Kirazdere Barajı BYT yayılım-derinlik haritası	40
Şekil 6.10. Kirazdere Barajı BYT yayılım-hız haritası.....	41
Şekil 6.11. Kirazdere baraj rezervuarı hidroğrafi.....	42
Şekil 6.12. Kirazdere Baraj gövdesi hidroğrafi.....	42
Şekil 6.13. kirazdere_out_1 sınırı BYT çıkış hidroğrafi.....	43
Şekil 6.14. kirazdere_out_2 sınırı BYT çıkış hidroğrafi.....	43
Şekil 6.15. kirazdere_out_3 sınırı BYT çıkış hidroğrafi.....	44
Şekil 6.16. kirazdere_out_4 sınırı BYT çıkış hidroğrafi.....	44
Şekil 6.17. kirazdere_out_5 sınırı BYT çıkış hidroğrafi.....	45
Şekil 6.18. kirazdere_out_6 sınırı BYT çıkış hidroğrafi.....	45
Şekil 7.1. Başlangıç anında görünüm (Kirazdere Baraj Rezervuarı su kotu 166,14 m) rezervuar alanı 1,567 km ²	46
Şekil 7.2. 15'inci dk. BYT yayılım alanı 1,697 km ²	47
Şekil 7.3. 15'inci dk. BYT derinlik görünümü	47
Şekil 7.4. 30'uncu dk. BYT yayılım alanı 2,990 km ²	48
Şekil 7.5. 30'uncu dk. BYT derinlik görünümü	48
Şekil 7.6. 45'inci dk. BYT yayılım alanı 7,217 km ²	49
Şekil 7.7. 45'inci dk. BYT derinlik görünümü	49
Şekil 7.8. 60'ıncı dk. BYT yayılım alanı 13,175 km ²	50
Şekil 7.9. 60'ıncı dk. BYT derinlik görünümü	50
Şekil 7.10. 75'inci dk. BYT yayılım alanı 17,693 km ²	51
Şekil 7.11. 75'inci dk. BYT derinlik görünümü	51
Şekil 7.12. 90'ıncı dk. BYT yayılım alanı 21,156 km ²	52
Şekil 7.13. 90'ıncı dk. BYT derinlik görünümü	52
Şekil 7.14. 105'inci dk. BYT yayılım alanı 22,665 km ²	53
Şekil 7.15. 105'inci dk. BYT derinlik görünümü	53
Şekil 7.16. 120'nci dk. BYT yayılım alanı 23,138 km ²	54

Şekil 7.17. 120'nci dk. BYT derinlik görünümü	54
Şekil 7.18. 150'nci dk. BYT yayılım alanı 22,274 km ²	55
Şekil 7.19. 150'nci dk. BYT derinlik görünümü	55
Şekil 7.20. 180'inci dakika BYT yayılım alanı 20,917 km ²	56
Şekil 7.21. 180'inci dk. BYT derinlik görünümü	56
Şekil 7.22. 210'uncu dk. BYT yayılım alanı 19,404 km ²	57
Şekil 7.23. 210'uncu dk. BYT derinlik görünümü	57
Şekil 7.24. 240'ıncı dk. BYT yayılım alanı 17,971 km ²	58
Şekil 7.25. 240'ıncı dk. BYT derinlik görünümü	58
Şekil 7.26. 300'üncü dk. BYT yayılım alanı 15,796 km ²	59
Şekil 7.27. 300'üncü dk. BYT derinlik görünümü	59
Şekil 7.28. 360'ıncı dk. BYT yayılım alanı 14,292 km ²	60
Şekil 7.29. 360'ıncı dk. BYT derinlik görünümü	60
Şekil 7.30. 420'nci dk. BYT yayılım alanı 13,199 km ²	61
Şekil 7.31. 420'nci dk. BYT derinlik görünümü	61
Şekil 7.32. 480'inci dakika BYT yayılım alanı 12,304 km ²	62
Şekil 7.33. 480'inci dk. BYT derinlik görünümü	62

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Çeşitli ülkelerde meydana gelen bazı önemli baraj yıkılmaları	3
Tablo 2.1. Baraj tipleri için muhtemel yıkılma türleri	4
Tablo 2.2. Gediklenme modeli karakteristikleri	9
Tablo 2.3. Baraj yıkılması vaka analizlerine dayalı gediklenme parametre ilişkileri	11
Tablo 2.4. C_b Von Thun ve Gillette gedik genişliği katsayısı	13
Tablo 2.5. Vaka analizlerine dayalı pik çıkış debisi ve gedik parametreleri tahmini için önerilen yöntemler	14
Tablo 3.1. Kirazdere Barajı gövde karakteristikleri	21
Tablo 3.2. Dolusavak karakteristikleri	22
Tablo 3.3. Baraj rezervuarı karakteristikleri	23
Tablo 5.1. Çalışma alanı Manning n pürüzlülük değerleri	33
Tablo 5.2. Baraj gediklenme senaryosu parametreleri	34

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kirazdere (Yuvacık) Barajı, baraj yıkılması taşkını, baraj gediklenmesi, taşkın dalgası yayılımı

Baraj yıkılması taşkınları, olumsuz sonuçlarının büyüklüğünden dolayı bilinen diğer taşkın tiplerinden farklı bir konumda bulunmaktadır. Baraj yıkılması taşkınlarının analizi, potansiyel baraj göçmelerinin tehditlerini azaltmak için çok önemlidir. Bu çalışmada muhtemel bir baraj göçmesi sonucunda Kirazdere (Yuvacık) Barajı mansabındaki riskli bölgelerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Kirazdere (Yuvacık) Barajı ve mansap bölgesi sayısal harita verileri CBS yazılımı ile düzenlenmiş ve baraj yıkılması taşkını modellemesinde kullanılacak 3 boyutlu (3b) arazi modeli elde edilmiştir. Bu 3b arazi modeli ve USACE HEC-RAS yazılımı kullanılarak baraj gediklenmesi senaryosuna uygun baraj gediklenme parametreleri elde edilmiş, sonrasında çalışma alanında baraj yıkılması taşkını (BYT) analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda, Kirazdere Barajında muhtemel baraj hasarı sonrasında oluşacak BYT dalgası yayılım haritaları (derinlik, hız, su baskını alanı haritaları), BYT dalgası yayılım güzergahı ile hidroğraflar elde edilmiş ve Kirazdere Barajı mansabındaki riskli alanlar belirlenmiştir.

DAM-BREAK FLOOD RISK ASSESSMENT

SUMMARY

Keywords: Kirazdere (Yuvacık) Dam, dam-break flood, dam breach, flood wave propagation.

Dam-break floods are in a different position in comparison with the other types of flood due to its great negative consequences. Analysis of dam-break floods is crucial to reducing threats of potential dam failures. In this study it is aimed defining and assessment of risky zones at Kirazdere (Yuvacık) Dam downstream area through as a result of possible dam failure. In this aim, digital map datas of Kirazdere (Yuvacık) Dam and downstream area were arranged at GIS software and three-dimension (3d) terrain model was achieved for dam-break flood modelling. Using that 3d area model and USACE HEC RAS software, dam breach parameters that are suitable for dam breach scenario were obtained then it was analysed dam break flood at study area. Result of study, it was obtained dam-break flood wave propagation maps (depth maps, velocity maps, inundation maps), dam-break flood wave route and hidrographs that it will be composed after a possible dam failure at Kirazdere Dam and it was defined risky zone at downstream area of Kirazdere (Yuvacık) Dam.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Baraj yıkılması, geçtiğimiz yüzyıl itibariyle daha çok görünür olan ve araştırmacılar tarafından üzerinde çalışılan bir konu olmasına rağmen, gerçekte yüzyıllar öncesinde toplumların ilgisine girmiş ve M.Ö. 18'inci yüzyılda yaşamış olan Babil Kralı Hammurabi'nin kanunları arasında "Bir kimse su bendini uygun koşullarda tutmaz ve bakımını yapmaz ve bu nedenle bent yıkılır ve tarlalar su altında kalırsa, o zaman barajı yıkılan kişi para karşılığı satılır ve elde edilen para harap olmasına yol açtığı mısırın karşılığı olarak verilir." ifadeleriyle yerini almıştır.

Mühendislik alanındaki ilerlemeler, insanoğlunun inşa ettiği diğer tüm yapılarda olduğu gibi baraj yapılarında da büyük boyutlu ve kapasiteli yapıların yapılabilmesini ve insanlığın bu yapıların sağladığı avantajlardan faydalanmasını sağlamıştır. Ancak bu yapılar büyük faydalarının yanında büyük riskleri de beraberinde getirmişlerdir.

"Tarihteki en büyük baraj felaketinde, Çin Halk Cumhuriyetinde 8 Ağustos 1975'te yıllık yağış miktarının sadece 24 saat içinde düşmesi ile Banqiao ve Shimantan Barajları yıkılmış; 62 adet büyüklü küçüklü barajın da yıkılması ile 11 milyon kişinin yaşamı etkilenmiş; taşkın sırasında 26.000, sonraki süreçte açlık ve salgın hastalıklar nedeniyle 145.000 kişi yaşamını yitirmiş (toplam 171.000 ölü); sayısız insan yaralanmış; 5.960.000 bina yıkılmıştır. Çok uç bir örnek olmasına karşın bu olay baraj güvenliğinin önemini ve yıkılmaların nasıl ağır sonuçlar doğurabileceğini açıkça gözler önüne sermektedir" [1]. Banqiao Barajının yıkım sonrası görünümü Şekil 1.1.'de görülmektedir.



Şekil 1.1. Yıkımdan sonra Banqiao Barajı [2].

Ülkemizde son yıllarda sulama suyu temini, içme suyu temini, hidroelektrik, taşkın koruma amaçlarıyla hizmete alınan, proje ve yapım aşamasında bulunan baraj yapılarının sayısının hızla artması doğal olarak ülkemizin baraj yıkılmasına maruz kalma risk seviyesini de yükseltmektedir. Ülkemiz özelinde riski arttıran bir başka faktörde 1950'li yıllardan itibaren inşa ettiğimiz barajlarımızın yaşlanmakta olmalarıdır.

Muhtemel bir baraj yıkılması taşkınının sonuçlarını öngörmek, olumsuz sonuçlarını önlemek yada en aza indirmek için gerekli tedbirlerin alınması ve eylem planlarının oluşturulması açısından son derece önem arz etmektedir. Baraj yıkılması nadiren gerçekleşmesine rağmen, yıkılan bir barajın meydana getirdiği ani ve büyük taşkın dalgası, barajın mansabında bulunan alanlara büyük zararlar vermekte, özellikle yerleşim bölgelerindeki etkisi büyük felaketler şeklinde olabilmektedir. Çeşitli ülkelerde meydana gelmiş bazı önemli baraj yıkılmaları ve sonuçları Tablo 1.1.'de sunulmaktadır.

Tablo 1.1. Çeşitli ülkelerde meydana gelen bazı önemli baraj yıkılmaları [3]

Baraj Adı	Ülke	Türü	Yükseklik (m)	Yıkılma Yılı	Yıkılma Sebebi	Hasar Miktarı (Milyon Dolar)	Ölen İnsan Sayısı
Puentas	İspanya	Kaya Dolgu	50	1802	Temel Bozukluğu	Bilinmiyor	60
Soutfork	ABD	Toprak Dolgu	22	1889	Üstten Aşma	100	2200
Saint Francis	ABD	Beton Kemer	62,5	1929	Yapı Kusuru	Bilinmiyor	450
Vega de Tera	İspanya	Beton Payandalı	34	1959	Yapı Kusuru	Bilinmiyor	144
Malpasset	Fransa	Beton Kemer	66,5	1959	Temel Bozukluğu	68	421
Oros	Brezilya	Toprak Dolgu	54	1960	Üstten Aşma	Bilinmiyor	1000
Bab-ı Yar	Ukrayna	Toprak Dolgu	-	1961	Üstten Aşma	4	145
Hyokiri	Kore	-	-	1961	-	Bilinmiyor	250
Panshet	Hindistan	Toprak Dolgu	50	1961	Yapı Kusuru- Üstten Aşma	Bilinmiyor	1000
Q.la Chapa	Kolombiya	-	-	1963	-	Bilinmiyor	250
Vailont	İtalya	Beton Kemer	267	1963	Üstten Aşma	Bilinmiyor	3000
Baldwin Hills	ABD	Toprak Dolgu	71	1963	Temel Bozukluğu	50	3
Nanaksagar	Hindistan	Toprak Dolgu	16	1967	Yapı Kusuru-Üstten Aşma	Bilinmiyor	100
Pado	Arjantin	-	-	1970	-	20	25
Teton	ABD	Toprak Dolgu	126	1976	Yapı Kusuru-Borulanma	1000	14
Macchu II	Hindistan	Toprak Dolgu	26	1979	Üstten Aşma	Bilinmiyor	2000
Belci	Romanya	Toprak Dolgu	18	1991	Üstten Aşma	Bilinmiyor	48

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Baraj Yıkılması Kavramına Genel Bakış

Baraj yıkılması nedenlerini, U.S Army Corps Of Engineers (USACE) Hidrologic Engineering Center [4]; taşkınlar, borulanma ve sızma, heyelan-toprak kayması, deprem, temel kusurları, yetersiz yada kusurlu yapı bölümleri (kapak, dolusavak, dipsavak vb.), yapısal kusurlar, membadaki baraj yıkılmaları, haznenin hızlı boşaltılması, sabotaj ve planlı yıkımlar olarak sıralamıştır. Baraj türlerine göre muhtemel yıkılma modellerini ise Tablo 2.1.'de gösterildiği şekilde sınıflandırmıştır.

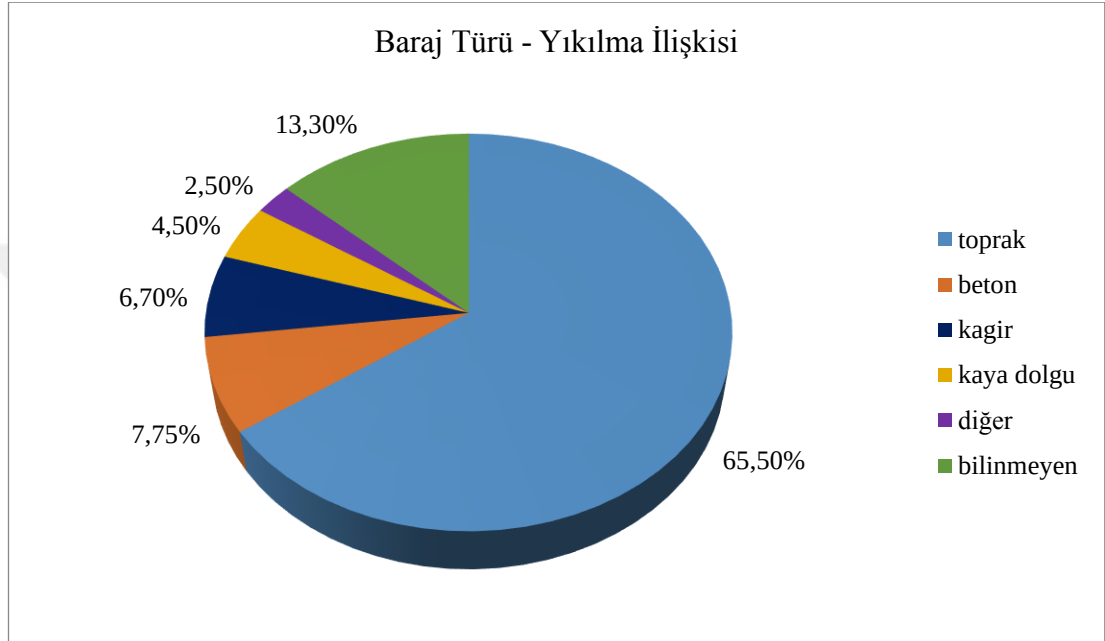
Tablo 2.1. Baraj tipleri için muhtemel yıkılma türleri [4]

Yıkılma Modeli	Toprak Dolgu	Beton Ağırlık	Beton Kemer	Beton Payandalı	Çok Açılı Beton
Baraj üstünden su aşması	U	U	U	U	U
Borulanma/Sızma	U	U	U	U	U
Temel kusurları	U	U	U	U	U
Kayma	U	U	UD	U	UD
Devrilme	UD	U	U	UD	UD
Yarılma	U	U	U	U	U
Kusurlu yapı bölümleri	U	U	U	U	U

(U: yıkılma modeli uygun, UD: yıkılma modeli uygun değil)

Baraj yıkılmalarını araştırmak amacıyla bir çok çalışma yapılmıştır. Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD) baraj yıkılmaları istatistiklerini yayınlamıştır. (ICOLD 1995). Birleşik Devletler Büyük Barajlar Komitesi de (USCOLD 1988) ABD'deki yıkılma ve hasarları inceleyen çalışmayı yayınlamıştır. Bir çok araştırmacı (Howard 1982, Blind 1983, Silveira 1984, Von Thun 1985, Ingles 1988, Foster ve

ark. 2000 vb.) baraj yıkılmaları davranış analizlerinde istatistiksel metotları kullanmışlardır. Dünya genelinde -Çin Halk Cumhuriyeti dışında- 900 den fazla baraj yıkılmasının (e.g., Vogel 1980; USCOLD 1988; Singh 1996) incelendiği çalışmada ise baraj karakteristikleri ve yıkılma bilgileri toplanmış, baraj türlerine göre yıkılma oranları belirlenmiştir (Şekil 2.1.) [2].

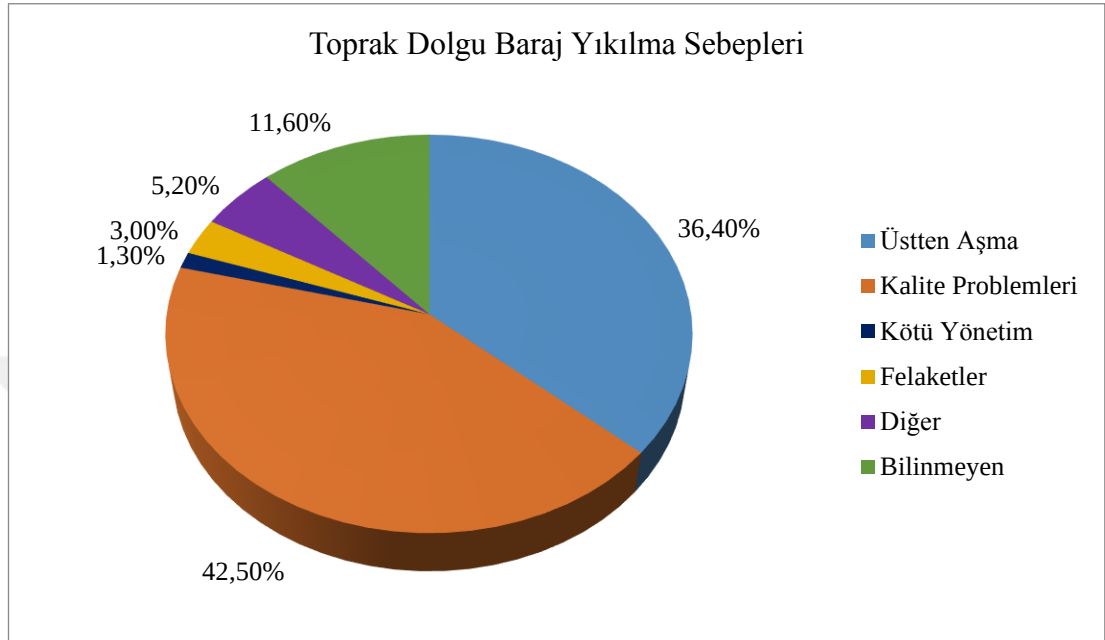


Şekil 2.1. Baraj türlerine göre yıkılma oranları [2].

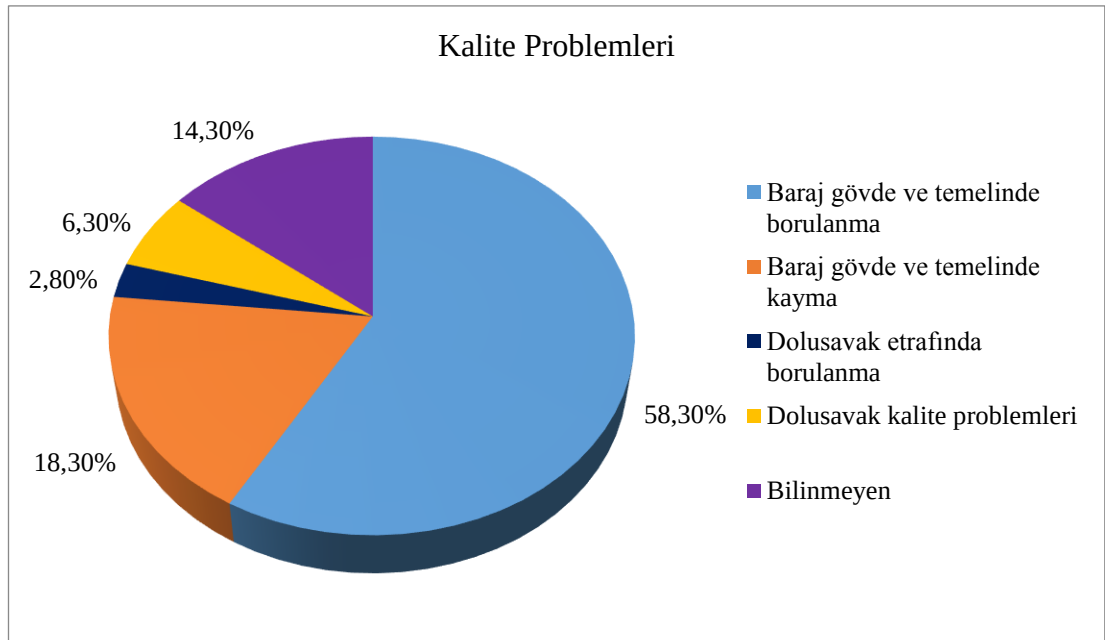
Meydana gelen baraj göçmesi/yıkılması olaylarının; % 65,50 oranında toprak dolgu, % 7,75 oranında beton, % 6,70 oranında kagir, % 4,50 oranında kaya dolgu, % 2,50 oranında diğer ve % 13,30 oranında türü bilinmeyen barajlarda meydana geldiği ortaya konulmuştur.

Zhang ve ark. [2] istatistik amacıyla toplanan bilgilerin vuku bulmuş tüm baraj yıkılmalarından ziyade rapor edilmiş baraj yıkılması olaylarının bilgileri olmasına rağmen istatistiksel olarak toprak barajlarda meydana gelen yıkılma oranı üstünlüğünün değişmeyeceğini, buradan hareketle toprak dolgu barajlarda yıkılma riskinin daha yüksek olduğu sonucunun çıkarılabileceğini rapor etmişlerdir.

Toprak dolgu barajlara dair Zhang ve ark. [2] tarafından 593 adet toprak dolgu barajın yıkılma sebeplerinin araştırılması ile elde edilen istatistiki bilgiler Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.'de sunulmaktadır.



Şekil 2.2. Toprak dolgu baraj yıkılma oranları [2].



Şekil 2.3. Toprak dolgu baraj kalite problemleri [2]

Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.'de verilen grafiklerden; en büyük yıkım sebepleri olarak üstten aşma ile baraj gövde ve/veya temelinde meydana gelen borulanma ve kaymanın neden olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Baraj yıkılması yukarıda sayılan mekanizmalardan bir veya birkaç tanesinin birlikte meydana gelmesi ile de gerçekleşebilmektedir. Baraj yıkılmalarında başlıca üç ana sebep ise : (1) Barajın üstünden su aşması, (2) temel kusurları ve (3) borulanma (iç aşınma) olarak gösterilmiştir [3].

U.S. Bureau of Reclamation [5]; baraj gediklenmesi ve sebep olduğu taşkınların simülasyonunun potansiyel baraj yıkımlarını karakterize etmek ve tehditlerini azaltmak için çok önemli olduğunu belirtmiştir. Aynı çalışmada risk değerlendirme analizlerinde bir baraj için tüm muhtemel yüklemeler ve yıkılma senaryoları, yıkıma sebep olan muhtemel yüklemeler ve olay dizileri ve yıkım sonuçlarının değerlendirilmesini rapor etmiştir.

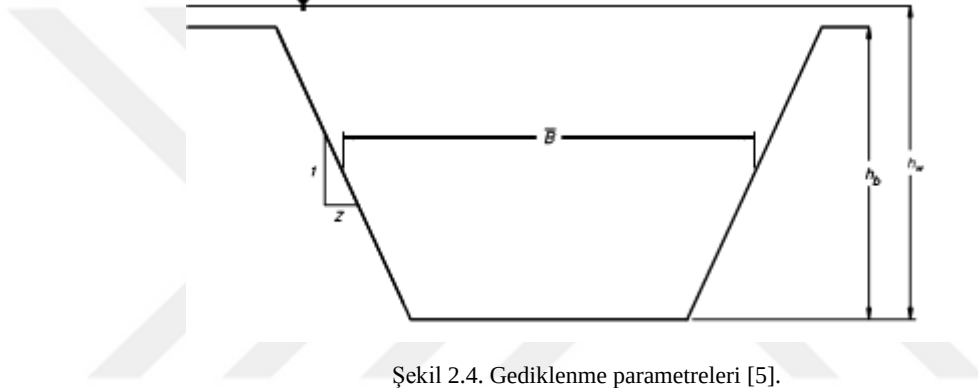
U.S. Bureau of Reclamation [5] risk değerlendirilmesi analizlerinde, baraj gediklenmesine ilişkin yanıtlanması gereken anahtar soruların " baraj yıkılması meydana gelir mi ?", "yıkıma sebep olan yükleme eşikleri nelerdir ?", "muhtemel yıkıma sebep olan özel yükleme durumu nedir ?", "can kaybı ve mal kaybı/yitimi açısından yıkımın sonuçları nedir ?" soruları olduğunu belirtmiştir. Son soruya cevap vermek için uyarı zamanı ve mansap bölgesindeki sel suyu seviyesi ve hızı gibi yıkım hakkında detaylı bilgilerin gerekli olduğu, yıkımın sonuçlarını azaltacak yada bertaraf edecek etkin acil durum planlarının geliştirilmesi, erken uyarı sistemlerinin planlanması için de bu bilgilerin gerekliliği U.S. Bureau of Reclamation [5] tarafından rapor edilmiştir.

Bir toprak dolgu barajın yıkımının analizinde iki adımlı işlem izlenebilir. Birinci adımda barajdaki fiili gediklenme analiz edilmeli, ikinci adımda nufus merkezlerindeki taşkın sonuçlarını belirlemek için gedikten çıkan debi mansap vadilerine doğru yönlendirilmelidir [5].

2.2. Gediklenme

Gediklenme parametreleri terimi gediği fiziksel olarak açıklamak için gerekli parametreleri (gedik derinliği, genişliği, kenar eğim (şev) açıları) içerdiği kadar gedik başlangıç ve gelişim zamanı parametrelerinin de tanımlanmasını gerektirmektedir [5].

Fiziksel parametreler Şekil 2.4.'de görülmektedir. Gediklenmeyi tanımlamak için gerekli parametreler aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 2.4. Gediklenme parametreleri [5].

Gedik derinliği (h_b), pek çok yayında gedik yüksekliği olarak da bahsedilmektedir. Gediğin; baraj kretinden tamamlanmış gediğin altına kadar ölçülen dikey uzunluğu olarak belirtilmektedir. Gedik genişliği ($\bar{B}$), vaka analizlerinde tipik olarak hem ortalama gedik genişliği olarak hem de açılan gediğin alt ve üst gedik genişliği olarak rapor edilmektedir. Gedik kenar şev eğim faktörü (Z), gedik genişliği ve derinliği ile birlikte açılan gedik şeklini belirler. Gedik başlangıç zamanı, uyarı, tahliye veya potansiyel baraj yıkılmasının açıkça farkına varılmasını başlatacak barajdan aşan veya geçen ilk akım ile başlar. Gedik formasyon zamanı (t_f), barajın menba yüzünde oluşan ilk gediklenmeden gediğin tamamen oluşumuna kadar geçen süredir. Üstten aşma yıkılmaları için gediklenme oluşumunun başlangıcı baraj mansap yüzünün aşınması ve sonucunda yarığın arkaya doğru genişleyerek baraj kret genişliğinde menba yüzüne ulaşmasıdır (DAMBRK) [5].

U.S. Bureau of Reclamation [5]; baraj gediklenmesi analizinde öncelikli iki konunun rezervuar dışına çıkan akımın hidroğrafının ve bu hidroğrafın mansap vadileri boyunca ilerlemesinin tahmin edilmesi olduğunu ifade etmiştir. Bununla birlikte çıkış hidroğrafının tahmininin ayrıca gediklenme karakteristiklerinin (örn. şekil, derinlik, genişlik, gedik oluşum hızı) ve hazneden geçerek gediğe giren akımın tahmin edilmesi alt bölümlerine ayrılabilceğini rapor etmiştir.

U.S. Bureau of Reclamation [5] baraj yıkılması analiz metodlarını fiziksel metodlar, parametrik metodlar, tahmin bağıntıları ve karşılaştırmalı analiz olmak üzere dört kategoride toplamıştır.

Fiziksel metodlar, gedik gelişiminin ve sonucunda gedik çıkış akımının tahmininde hidrolik, sediment taşınımı ve zemin mekaniği prensiplerine dayanan bir erozyon modeli kullanır (örn.NWS-BREACH) [5]. Gediklenme parametrelerinin tayini için geliştirilen fiziksel metodların derlendiği en önemli çalışmalardan bir tanesi U.S. Bureau Of Reclamation tarafından yayınlanmıştır. Bu metodların toplandığı daha güncel çalışmalardan bir diğeri de Tablo 2.2.'de verildiği haliyle Zagonjolli [6] tarafından yapılmıştır.

Tablo 2.2. Gediklenme modeli karakteristikleri [6]

Model	Geometri	Hidrolik	Sediment
Cristofano (1965)	Sıkışmış malzemeye göre eşit eğimli kenar şevli Trapezoidal	Geniş tepeli savak	Geliştirilmiş amprik formüller
Harris and Wagner (1967)	Parabolik $h=3,75d$	Geniş tepeli savak	Düzenlenmiş sürüntü maddesi Schoklitsch formülü ve turbilans ve çökme hızına dayanan askı maddesi formülü
Brown and Rogers (1981) BRDAM model	Kenar şev eğimi 45° olan parabol	Geniş tepeli savak	Düzenlenmiş sürüntü maddesi, Schoklitsch formülü
Ponce and Tsivoglow (1981)	Üst genişlik akım hızı ilişkisi	Saint-Venant	Exner ile Meyer-Peter-Muller
Lou (1981)	En uygun durağan kesit (Kosinüs eğrisi)	Saint-Venant	1. Du Boy & Einstein, 2. Lou, 3. Christofano
Nogueira	Etkili kayma gerilmesi kesiti (Kosinüs eğrisi)	Saint-Venant	Exner ile Meyer-Peter-Muller

Tablo 2.2. (Devamı)

Model	Geometri	Hidrolik	Sediment
Fread (1988) NWS BREACH	Dikdörtgen ve trapezoidal	Geniş tepeli savak orifis akımı	Smart tarafından düzenlenmiş Meyer-Peter-Muller
Singh & Quiroga (1987) BEED	Trapezoidal	Geniş tepeli savak	Einstein-Brown
Loukola & Houkuna (1998) EDBREACH	Trapezoidal	Geniş tepeli savak	Meyer-Peter-Muller
Broich (1998) DEICH N1/N2	Difüzyon yaklaşımı	Saint-Venant	Birkaç taşınım denklemleri

Parametrik metodlar, yıkım zamanı ve kesinleşmiş gedik geometrisinin tahmini için vaka analizi bilgilerini kullanır, sonrasında gedik gelişimini zamana bağlı doğrusal işlemlerle benzeştirir ve gedik çıkış akımını hidrolik prensipleri kullanarak hesaplar [5]. Baraj yıkılması analizlerinde gediğin geometrik karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılan parametrik metodların derlendiği çalışmalar Tablo 2.3.'de verilmektedir [5].

Johnson ve Illes (1976) da toprak dolgu barajların yıkılmasında ortaya çıkacak gedik genişliği için $0,5 h_d < B < 3 h_d$ formülünü vermişlerdir (h_d : baraj yüksekliği, B : gedik genişliği) [5].

Singh and Snorrason (1982) 20 baraj yıkılmasının gedik genişliği ile baraj yüksekliğine bağlı grafiklerini çizerek gedik genişliğinin genellikle baraj yüksekliğinin 2 ila 5 katı arasında olduğunu bulmuşlardır. ($2 h_d < B < 5 h_d$ h_d : baraj yüksekliği, B : gedik genişliği) Gediğin başlangıcından tamamlanmasına kadar geçen süreyi ise 15 dakika ile 1 saat arasında olarak belirlemişlerdir. Üstten aşma yıkılmalarında yıkılma başlangıcı öncesi maksimum üstten aşma derinliğinin 0,15 m ile 0,61 m arasında sınırlandığını belirlemişlerdir [5].

MacDonald and Langridge-Monopolis (1984) gedik çıkış hacmi (başlangıç hacmi ve giren akım dahil) ve gediğin tamamlandığı durumda üzerindeki su derinliğinin ürünü olarak açıkladıkları bir gedik oluşum faktörünü ileri sürmüşlerdir. Ayrıca makalelerinde yer alan 42 olay analizinden gedik kenar şev eğiminin $1 h : 2 v$ olarak

Tablo 2.3. Baraj yıkılması vaka analizlerine dayalı gediklenme parametre ilişkileri [5]

Referans	Vaka Analizi Sayısı	Önerilen Bağıntılar (S.I. birim, metre, m ³ /s, saat)
Johnson and Illes (1976)		$0.5h_d \leq B \leq 3 h_d$ toprak dolgu barajlar için
Singh and Snorrason (1982, 1984)	20	$2 h_d \leq B \leq 5 h_d$ $0.15 \text{ m} \leq d_{\text{ovtop}} \leq 0.61 \text{ m}$ $0.25 \text{ sa} \leq t_f \leq 1.0 \text{ sa}$
MacDonald and Langridge-Monopolis (1984)	42	<u>Toprak dolgu barajlar:</u> $V_{er} = 0.0261(V_{\text{out}} * h_w)^{0.769}$ [en uygun] $t_f = 0.0179(V_{er})^{0.364}$ [üst zarf] <u>Toprak Dolgu Haricindeki Barajlar</u> $V_{er} = 0.00348(V_{\text{out}} * h_w)^{0.852}$ [en uygun]
FERC (1987)		$2 h_d < B < 4 h_d$ normal $h_d < B < 5 h_d$ sınır alınabilir $Z = 0.25 - 1.0$ [makinelî-sıkıştırılmış barajlar] $Z = 1 - 2$ [makinesiz, curuf veya atık barajları] $t_f = 0.1-1 \text{ sa}$ [makinelî, sıkıştırılmış toprak dolgu baraj] $t_f = 0.1-0.5 \text{ sa}$ [makinesiz, zayıf sıkıştırılmış]
Froehlich (1987)	43	$\bar{B}^* = 0.47K_0(S^*)^{0.25}$ $K_0 = 1.4$ üstten aşma; 1.0 diğer $Z = 0.75K_c(h_w^*)^{1.57}(\bar{W}^*)^{0.73}$ $K_c = 0.6$ geçirimsiz çekirdekli; 1.0 çekirdeksiz $t_f^* = 79(S^*)^{0.47}$
Reclamation (1988)		$B = (3) h_w$ $t_f = (0.011)B$
Singh and Scarlatos (1988)	52	Gedik geometrisi ve yıkılma zamanı eğilimi $B_{\text{üst}}/B_{\text{alt}}$ ortalama 1.29
Von Thun and Gillette (1990)	57	B, Z, t_f için öneriler
Dewey and Gillette (1993)	57	Gedik başlangıç modeli; B, Z, t_f için öneriler
Froehlich (1995b)	63	$\bar{B} = 0.1803 K_0 V_w^{0.32} h_b^{0.19}$ $t_f = 0.00254 V_w^{0.53} h_b^{(-0.90)}$ $K_0 = 1.4$ üstten aşma için; 1.0 diğer

kabul edilebileceğini çoğunluk olayda gedik şeklinin, gediğin baraj temeline ulaşp ulaşmamasına bağlı olarak üçgen yada trapezoidal olduğu sonucuna varmışlardır [5].

Froehlich (1987), ortalama gedik genişliği, ortalama gedik kenar şev eğimleri ve gedik oluşum süresi tahminleri için boyutsuz tahmin denklemlerini geliştirmiştir. Tahminler; rezervuar hacmi, gedik tabanı üzerindeki su yüksekliği, gedik yüksekliği, baraj kret ve gedik taban genişliği, üstten aşma veya aşmama yıkımları için katsayı ve çekirdek duvarın bulunması yada bulunmamasını içeren baraj karakteristiklerine dayanmaktaydı. Froehlich (1987) diğer tüm etkenlerin eşit olduğu, üstten aşma nedeniyle oluşan gediklenmelerin daha geniş ve yanal erozyon hızının diğer nedenlerle oluşanlardan daha hızlı olduğu sonucuna da varmıştır [5].

Froehlich (1987), analizlerini 1995 yılında toplam 63 örnek olayın verilerini kullandığı yayınıyla revize etmiştir. Bu yıkımlardan önceki dökümünde bulunmayan 18'ini bu rapor için yeniden gözden geçirmiştir. Froehlich (1995) ortalama gedik genişliği ve yıkılma zamanı için yeni tahmin bağıntıları geliştirmiştir. Froehlich (1987) bağıntısının aksine yeni bağıntıları boyutsuz değildir. Froehlich (1995) bağıntısında ortalama gedik şev eğimi için bir öneride bulunmamıştır ancak sade bir şekilde gedik şev eğimi faktörünü üstten aşma için $Z=1,4$ diğer yıkılma modelleri için $Z=0,9$ olarak kabul etmiştir [5].

Froehlich; 2008 yılında önceki bağıntılarını eklenen yeni verilere dayandırarak güncellemiştir. 74 adet toprak dolgu, zonlu toprak dolgu kil çekirdekli toprak dolgu ve kaya dolgu barajı verilerini kullanarak ortalama gedik genişliği, kenar şev eğimleri ve yıkılma süresi bağıntılarını geliştirmiştir [7].

U.S. Bureau of Reclamation (1988) tarafından toprak dolgu barajlar için önerilen gedik genişliği, gedik derinliğinin 3 katıdır. Önerilen gedik gelişme süresi (saat) gedik genişliğinin (metre) 0,011 katıdır [5].

Singh and Scarlatos (1988) gediğin geometrik karakteristiklerini ve yıkılma süresi eğilimlerini 52 vakanın incelenmesiyle belgeledi. Gedik üst genişliğinin alt

genişliğine oranının 1,06 ile 1,74 arasında sınırlandığını, ortalama değerin 1,29 ve standart sapmasının 0,180 olduğunu buldular [5].

Von Thun and Gillette (1990) ve Dewey and Gillette (1993) gedik şev eğimleri, orta yükseklikte gedik genişliği ve yıkılma süresinin tahmin bağıntıları geliştirmek için Froehlich (1987) ve MacDonald and Langridge-Monopolis (1984) verilerini kullandılar. Gedik kenar şev eğimlerinin 1:1 olarak kabul edilebileceğini, kohezif yüzeyli ve çok geniş kohezif çekirdekli barajlar için 1:2 yada 1:3 (h:v) olarak kabul edilmesinin daha uygun olabileceğini ileri sürdüler. Von Thun and Gillette (1990) ortalama gedik genişliği için aşağıdaki bağıntıyı vermişlerdir [5].

$$B = 2,5 h_w + C_b \quad (2.1)$$

Burada ; h_w yıkılma anındaki su derinliğini göstermekte ve C_b Von Thun ve Gillette gedik genişliği katsayısı olarak verilmektedir.

Tablo 2.4. C_b Von Thun ve Gillette gedik genişliği katsayısı [5].

Rezervuar hacmi, m ³	C_b , m.	Rezervuar hacmi, acre-feet	C_b , feet
$< 1,23 \cdot 10^6$	6,1	$< 1,000$	20
$1,23 \cdot 10^6 - 6,17 \cdot 10^6$	18,3	1,000-5,000	60
$6,17 \cdot 10^6 - 1,23 \cdot 10^7$	42,7	5,000-10,000	140
$> 1,23 \cdot 10^7$	54,9	$> 10,000$	180

Von Thun and Gillette (1990) ortalama gedik formasyon zamanının tahmini için erozyona dirençli ve kolay oyulabilir malzemeler için ayrı ayrı olmak üzere aşağıdaki iki ayrı bağıntıyı önermiştir.

$$t_f = 0,020 h_w + 0,025 \quad (\text{erozyona dirençli}) \quad (2.2)$$

$$t_f = 0,015 h_w \quad (\text{kolay oyulabilir}) \quad (2.3)$$

$$t_f = \frac{\bar{B}}{4h_w} \quad (\text{erozyona dirençli}) \quad (2.4)$$

$$t_f = \frac{\bar{B}}{4h_w + 61,0} \quad (\text{kolay oyulabilir}) \quad (2.5)$$

Burada t_f gedik formasyon süresi (saat), h_w yıkılma anındaki su derinliği (m) ve $\bar{B}$ ortalama gedik genişliği (m)'dir.

Baraj yıkılması vaka analizlerine dayanan gedik çıkış akımı debisinin belirlenmesinde ve gedik parametrelerinin tahmininde kullanılması önerilen yöntemlerin birlikte derlendiği çalışma Tablo 2.5.'de verilmektedir.

Tablo 2.5. Vaka analizlerine dayalı pik çıkış debisi ve gedik parametreleri tahmini için önerilen yöntemler [5].

Referans	Vaka Analizi	Önerilen Bağıntılar	Notlar
Babb and Mermel (1968)	>600 olay		Birçok olay iyi belgelenmemiştir.
Kirkpatrick (1977)	16 (ilave 5 adet varsayım olayı)	$Q_p = f(h_w)$	
SCS (1981)	13	$Q_p = f(h_w)$	
Hagen (1982)	6	$Q_p = f(h_w * S)$	
Reclamation (1982)	21	$Q_p = f(h_w)$	
Graham (1983)	6		Geniş hazneli barajlar - yükseklik oranları
Singh and Snorrason (1982, 1984)	20 gerçek yıkılma ve 8 benzetilmiş yıkım	B, d_{ovtop} ve t_f için öneriler $Q_p = f(S); Q_p = f(h_d)$	Q_p bağıntıları tabanlı simülasyonlar
Graham (tarihsiz)	19	$Q_p = f(h_w, S)$	
MacDonald and Langridge-Monopolis (1984)	42	$V_{er} = f(V_{out} * h_w), t_f = f(V_{er})$ $Q_p = f(V_{out} * h_w)$	
Costa (1985)	31 tamamlanmış baraj	$Q_p = f(h_d) \quad Q_p = f(S)$ $Q_p = f(h_d * S)$	Doğal baraj yıkımı verilerini içermektedir.
Evans (1986)		$Q_p = f(V_w)$	

Tablo 2.5. (Devamı)

Referans	Vaka Analizi	Önerilen Bağıntılar	Notlar
FERC (1987)		B, Z, t_f için öneriler	
Singh and Scarlatos (1988)	52	B, Z, t_f için öneriler	
Von Thun and Gillette (1990)	57	Z için öneri $B = f(h_w, S)$ $t_f = f(h_w, \text{erozyon direnci})$	
Froehlich (1995b)	63	B, Z, t_f bağıntıları	
Froehlich (1995a)	22	$Q_p = f(V_w, h_w)$	

Tahmin bağıntıları metodu, pik debi tahminini vaka analizine dayalı bir amprik bağıntıdan alır ve uygun bir çıkış hidroğraf şeklini kabul eder [5].

Karşılaştırmalı analiz metodu, incelenen baraja çok benzer boyutlarda ve yapıda yıkılan bir barajın bulunması ve yıkımı iyi bir şekilde kayıt altına alınmış olması durumunda gediklenme parametrelerinin veya pik çıkış debisinin karşılaştırma ile belirlenmesi uygun olabilir [5].

2.3. Baraj Yıkılması Taşkını (BYT) Yayılımının Modellenmesi

Elçi ve ark. [8], geçmişte genellikle bir boyutlu (1-D) modellerin kullanıldığı baraj yıkılması sonrası taşkın dalgasının ötelenmesinin modellenmesine yönelik çalışmalar yapıldığını, bu çalışmalarda, Amerikan Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından geliştirilen HECRAS ve Amerikan Ulusal Hava Servisi (NWS) tarafından geliştirilen FLDWAV modellerinin birçok nehir ve dereye uygulandığını, CBS teknolojisindeki gelişmelerin iki boyutlu sayısal modellerin taşkın dalgasının yayılımında sıklıkla kullanılmaya başlamasına neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Zagonjolli [6], BYT dalgası yayılımının modellenmesi üzerine yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda araştırmacıların mansap vadilerindeki enkaz akımı ve sediment taşınması dışındaki temiz su hareketi üzerine yoğunlaştığını, temiz su baraj yıkılması taşkınlarının deneysel, analitik ve sayısal olarak çalışıldığını, günümüzde hala

yapısal yıkım kaynaklı taşkın dalgasının yayılımının her türlü atık cisim, sediment ihmal edilerek modellendiğini, karmaşık işlemlerin zorluğunun, yapısal yıkım kaynaklı taşkın modellemelerini temiz su dalgası yayılımıyla sınırladığını rapor etmiştir. Ayrıca, bir yapısal yıkımdan kaynaklanan sonuçların doğru tahmin edilmesi için taşkın yayılım modelinin yüksek doğrulukta olması gerektiğini, taşkına maruz kalan alanların, taşkın derinliğinin, hızının ve süresinin tanımlanması kadar taşkın suyunun özelliklerindeki (tuz, temizsu, kirli/zehirli su vb.) taşkın yayılım alanlarında karar alma, acil tahliye ve erken uyarı üzerinde etkili olduğunu belirtmiştir.

Baraj yıkılması taşkın yayılımının modellenmesinde Sain-Venant (1871) denklemleri (sığ su denklemleri) kullanılmaktadır. Kütle ve momentumun korunumu bağıntılarından oluşan bu denklemler; dikey hızların hidrostatik basıncın kanal kesiti içindeki dağılımıyla yönetilen yatay hızlardan çok küçük olduğunu kabul eder [6].

Saint -Venant denklemlerinin 1 ve 2 boyutlu formlarının çözümü için farklı sayısal modeller geliştirilmiştir. Sonlu farklar, (Abbott, 1979), sonlu elemanlar metodları (örn. Hervouet (2007)) ve son olarak sonlu hacim (Toro, 1999) metodları süreksizlik çözümlerini çoğaltma yetenekleri nedeniyle tercih edilen metodlardır [6].

Baraj yıkılması risk değerlendirmesi için yapılan çalışmalardan aşağıda kısaca bahsedilmektedir.

Elçi ve ark. [8] Eskişehir Porsuk Barajı ve İstanbul Alibey Barajları ile ilgili olarak CBS ortamında oluşturulan veriler ve HEC-RAS ve FLO-2D yazılımlarını kullanarak taşkın yayılımı tayini yapmışlardır.

Seker ve ark. [9] İstanbul Alibeyköy Barajı ile ilgili olarak FLDWAV ve CBS teknolojileri ile taşkın yayılımı tayini yapmışlardır.

Fan ve ark. [10] 7,9 büyüklüğündeki 2008 Wenchuan depreminin etkisiyle oluşan heyelan barajının yıkılma senaryolarını BREACH (Fread, 1991) modeli ve SOBEK yazılımı ile incelemişlerdir.

Natale [11] Baker Vadisi (Şili) için NWS SMPBDBK ve ORSA (1B) yazılımı kullanarak baraj yıkılması taşkın yayılımı ve risk değerlendirmesi yapmıştır.

Alvarez ve ark. [12] Chipembe Barajı (Mozambik) için yaptıkları çalışmada İber (2B) yazılımını kullanmışlardır.

Changzhi ve ark. [13] Laiyang Şehri (Çin Halk Cumhuriyeti) baraj yıkılması risk değerlendirmesi için yaptıkları çalışmalarında HEC-RAS yazılımını kullanmışlardır.



BÖLÜM 3. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı; 29°-30° Doğu boylamları ile 40°-41° Kuzey enlemleri arasında bulunan ve literatürde Yuvacık Barajı olarak da adlandırılan Kirazdere Barajı ve baraj mansap bölgesidir. Kirazdere barajının bulunduğu Kocaeli şehri Marmara Denizinin Anadolu topraklarına girinti yaparak doğal bir liman oluşturduğu İzmit Körfezi kıyılarında kuruludur. Şekil 3.1., Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'de çalışma alanı gösterilmektedir.

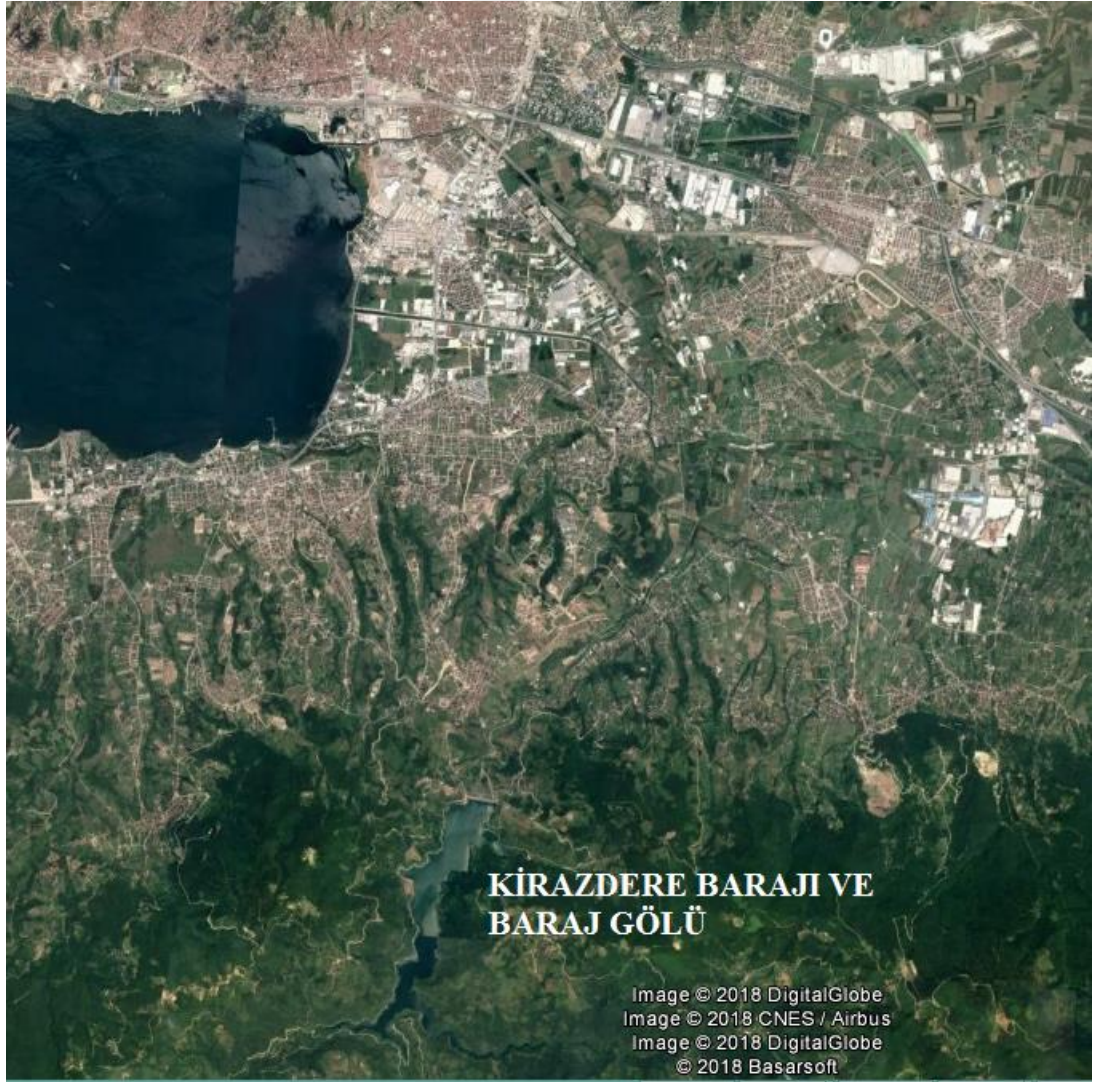


Şekil 3.1. Çalışma alanı genel görünümü (a) [14].

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) İzmit-Kirazdere Projesi Planlama Raporunda [15] baraj yeri ve rezervuar alanının paleosen-eosen esnasında meydana gelen volkanik kayalardan oluştuğu, birinci derece deprem bölgesinde yer aldığı ve Kuzey Anadolu Fayına (KAF) 1,5 km mesafede bulunduğu rapor edilmiştir.

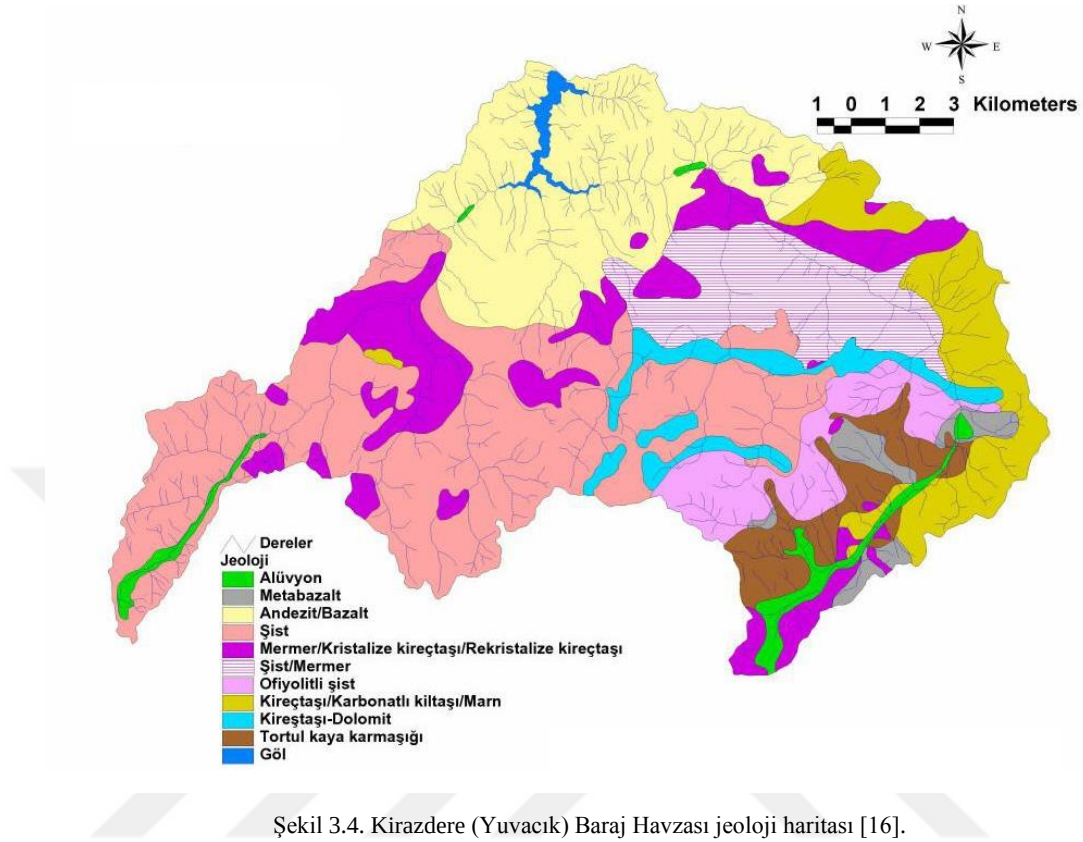


Şekil 3.2. Çalışma alanı genel görünümü (b) [14].



Şekil 3.3. Çalışma alanı genel görünümü (c) [14].

Kirazdere baraj havzasına ait jeoloji haritası Şekil 3.4.'de sunulmuştur.



Şekil 3.4. Kirazdere (Yuvacık) Baraj Havzası jeoloji haritası [16].

DSİ İzmit-Kirazdere Projesi Planlama Raporunda [15] çalışma alanının genel iklim karakteristiği yaz ayları sıcak ve az yağışlı, kış ayları ılık ve yağışlı olarak rapor edilmiştir.

Proje alanında depresyonik, konvektif ve orografik tipte yağışlar olmaktadır. Havzanın yüksek kesimlerinde orografik etki yağışları artırıcı yöndedir. Depresyonik yağışlar kış ve bahar aylarında Orta Avrupa ve Balkanlar üzerinden gelen alçak basınç sistemlerine bağlı sıcak ve soğuk cepeler aracılığı ile olmaktadır. Kuzeyden gelen ve Karadenizi geçerken nemlenen, ısınan ve böylece kararsız bir hal kazanan hava kütleleri de proje alanında kararsız yağışlara neden olmaktadır. Bu tip yağışlar ve konvektif yağışlar kış, bahar ve yaz aylarında proje alanında oldukça etkili olmaktadır [15].

Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) Adrese Dayalı Kayıt Sistemine (ADKS) [17] göre 2018 yılı Kocaeli ili genel nüfusu 1.906.391 kişi, çalışma alanında bulunan Başiskele ilçesi nüfusu 97.817 kişi, Kartepe ilçesi nüfusu 118.066 kişi ve İzmit ilçesi nüfusu 363.416 kişidir. Kocaeli ili 528 kişi/km² nüfus yoğunluğu ile İstanbul ilinden sonra ikinci sırada yer almaktadır.

Kocaeli ili Türkiye imalat sanayinde % 13 oranında pay sahibidir ve 210'u yabancı sermayeli olmak üzere yaklaşık 2.588 kapasite raporlu tesis bulunmaktadır [18].

Türkiyenin en önemli sanayi kuruluşlarını sınırlarında barındıran, aynı zamanda konumu nedeniyle bir lojistik merkez olan Kocaeli ili yoğun ticari ve endüstriyel faaliyetleri nedeniyle çok sayıda insanı uzun yada kısa dönemli olarak misafir etmektedir.

3.1. Kirazdere Barajı

14/05/1987 tarihinde yapımına başlanılmıştır. Yap-İşlet-Devret modeli ile yapılmak üzere 21/03/1996 tarihli Tasfiye Protokolünün imzalanmasına kadar derivasyon tüneli, dolusavak kazısı ve eşik yapısı ile gövde kazısı ve 102.50 kotuna kadar gövde dolgusu ikmal edilmiştir. Baraj 1999 yılında tamamlanmıştır [19].

3.1.1. Baraj gövdesi

Baraj gövdesi ile ilgili sayısal bilgiler Tablo 3.1.'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Kirazdere Barajı gövde karakteristikleri [19]

Gövde Tipi	Zonlu Toprak Dolgu
Kret Kotu (m)	172,50
Yükseklik (Temelden) (m)	108,5
Yükseklik (Talvegden) (m)	102,5
Kret Uzunluğu (m)	400
Kret Genişliği (m)	12

Kirazdere Barajının yapım aşamasına ait görünüm Şekil 3.5. (a)'da, tamamlanmış haline ait görünüm Şekil 3.5. (b)'de verilmektedir.



3.1.2. Baraj yapıları

Baraj yapıları, dip savak, dolu savak, düşü havuzu, su alma yapısı ve vana odasından oluşmaktadır. Dolu savak yapısına ait sayısal bilgiler Tablo 3.2.'de verilmektedir.

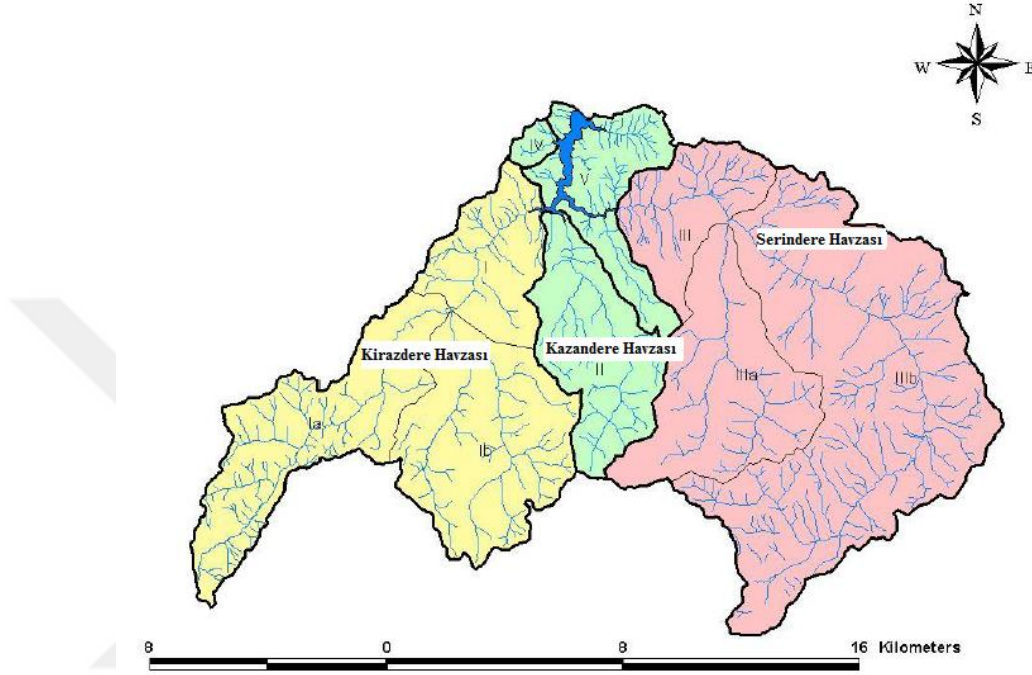
Tablo 3.2. Dolusavak karakteristikleri [20]

Dolusavak Kapak Türü	Radyal
Dolusavak Kapak Adedi (ad)	4
Deşarj Kapasitesi (m^3/sn)	1560



3.1.3. Baraj rezervuarı (Baraj gölü)

Kirazdere Baraj Havzası Kirazdere, Kazandere, Serindere olmak üzere 3 ana havzadan oluşmaktadır [16]. Kirazdere (Yuvacık) havzası ana ve alt havzaları Şekil 3.7.'de gösterilmektedir.



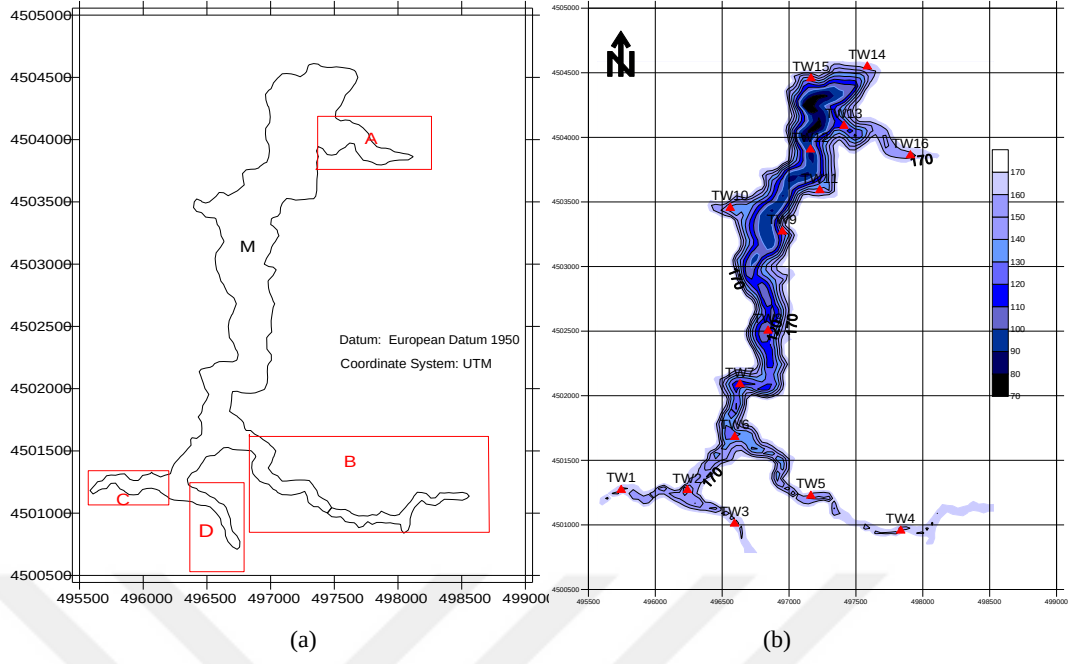
Şekil 3.7. Kirazdere (Yuvacık) Barajı havzası ana ve alt havzaları [16].

Baraj rezervuarı ile ilgili bilgiler Tablo 3.3.'de verilmektedir.

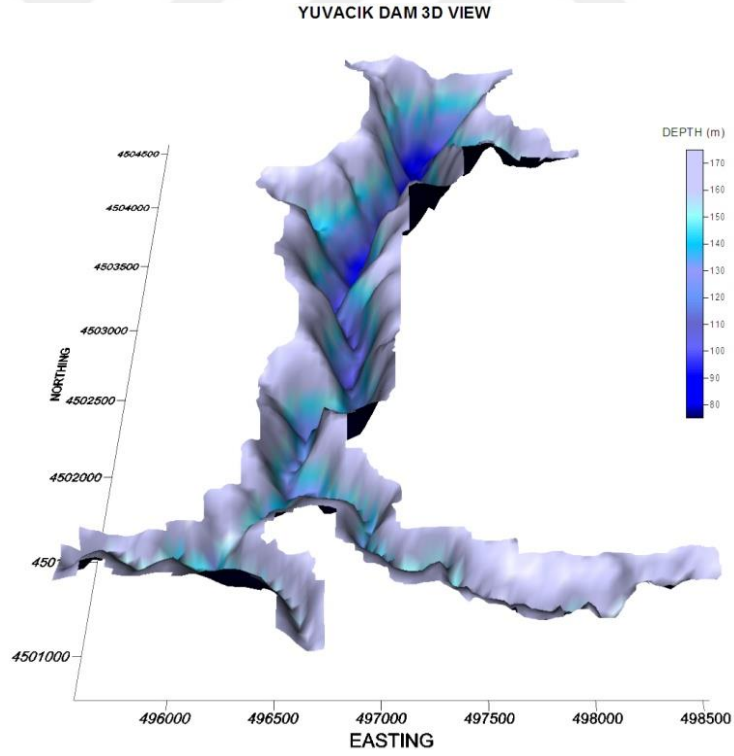
Tablo 3.3. Baraj rezervuarı karakteristikleri [20]

Baraj gölü yüzey alanı (km ²)	1,75 (maks.)
Mevcut faydalı hacim (milyon m ³)	51,10 (maks)
Ölü hacim (milyon m ³)	4,90

Kirazdere barajı rezervuarı tepelerle kaplı bir rezervuar olup 3 ana dere tarafından beslenmektedir. Ana havza Kirazdere Deresi tarafından beslenmekte olup, (C ile M Bölgeleri), Kuzeydoğu Havzası (A Bölgesi) Çatal Dere ile ana havzaya bağlanmaktadır. Güneydoğu Havzası (B Bölgesi) Serindere Nehri ile beslenirken, Kazandere (D Bölgesi) Nehri Kirazdere'ye Doğu taraftan bağlanmaktadır [21]. Baraj rezervuarına ait görünüm Şekil 3.8. ve Şekil 3.9.'da verilmektedir.



Şekil 3.8. (a) Kirazdere Barajı Rezervuarı [21] (b) Kirazdere Barajı Rezervuarı derinlik kontur haritası [21].



Şekil 3.9. Kirazdere Barajı Rezervuarı 3 boyutlu görünümü [21].

BÖLÜM 4. YÖNTEM

4.1. Gediklenme Modeli

Baraj gediklenmesi modellemesinde HEC-RAS yazılımının gediklenme (Storage Area Connection Breach Data) modülü kullanılacaktır. Modül Bölüm 2'de anlatılan parametrik metodları kullanmaktadır. Modül ayrıca kullanıcı tarafından belirlenecek gediklenme parametrelerinin manuel olarak girilebilmesine de olanak sağlamaktadır.

4.2. Hidrolik Model

Taşkın dalgasının topoğrafya üzerindeki yayılımının belirlenmesinde kullanılan temel denklemler süreklilik ve momentum (Navier-Stokes) denklemleridir.

Sıkıştırılamaz akış kabulü ile üç boyutlu süreklilik denkleminin vektörel ve diferansiyel formu (4.1) ve (4.2)'de verilmiştir.

$$\vec{V} \cdot \vec{V} = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.2)$$

Sıkıştırılamaz akış kabulü ile üç boyutlu Navier-Stokes (Momentum) denklemi vektörel ve diferansiyel formu (4.3) - (4.6)'da verilmiştir.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla}P + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (4.3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4.4)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (4.5)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4.6)$$

Kanal ve taşkın modellemelerinde süreklilik ve Navier-Stokes denklemlerinin de-Saint Venant veya Sığ Su (SW) denklemleri olarak adlandırılan sadeleştirilmiş formları kullanılmaktadır.

BYT dalgasının yayılımının modellenmesinde teorik temelleri aşağıda özetlenen USACE HEC-RAS 5.04 yazılımı ve bu yazılımın kararsız akım analiz (Unsteady Flow Analysis) modülü kullanılacaktır. Yazılım hem 2 boyutlu de-Saint Venant denklemleri (türbilans ve coriolis etkisi opsiyonel olarak momentum denklemine eklenebilen) hem de 2 boyutlu difüzyon dalgası denklemleriyle çözüm yapmaktadır [7].

Navier-Stokes denklemleri 3 boyutlu düzlemde akışkanın hareketini açıklar. Kanal ve taşkın modellemesi bağlamında daha da basitleştirilmeye zorlanır. Basitleştirilmiş denklem kümelerinden biri Sığ Su (SW) denklemleridir. Akış sıkıştırılamaz, yoğunluk ve hidrostatik basınç üniform kabul edilir ve denklemler Reynolds ortalamalıdır bu yüzden türbilans hareketi eddy viskozitesi kullanılarak yakınlştırılır. Düşey uzunluğun yatay uzunluktan çok daha küçük olduğu da kabul edilir. Sonuç olarak düşey hız küçük ve basınç hidrostatiktir [4].

Sıkıştırılamaz akış kabulüyle kararsız akım süreklilik denkleminin diferansiyel formu aşağıdaki şekilde verilmektedir;

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad (4.7)$$

Burada;

H : su yüzeyi kotunu, [$H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$, z : kanal taban kotu, h : su derinliği],

x ve y yatay düzlemleri,

t zamanı,

u ve v : x ve y düzlemlerindeki hızlar,

q : giren/çıkan akımı temsil etmektedir [4].

Süreklilik denkleminin vektörel formu ise aşağıdaki şekilde verilmektedir;

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \nabla \cdot hV + q = 0 \quad (4.8)$$

Burada,

$V(u,v)$ hız vektörünü ve

∇ : diferansiyel operatörü göstermektedir [4].

Yatay uzunluk düşey uzunluktan çok daha büyük olduğunda hacmin korunması düşey hızın küçük olduğu anlamına gelir. Navier-Stokes düşey momentum denklemi basıncın hemen hemen hidrostatik olduğunun doğrulanmasında kullanılabilir. Baroklinik basınç gradyeni (değişken yoğunluk), kuvvetli rüzgar zorlaması ve hidrostatik olmayan basınç yokluğu dikey-ortalama bir momentum denklemi modeline elverişlidir. Dikey hız ve türev terimler güvenle ihmal edilebilir. (Hem kütle hemde momentum denklemlerinde) Böylece Sığ Su denklemleri elde edilir [4].

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v \quad (4.9)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f u \quad (4.10)$$

Burada,

g : yerçekimi ivmesi,

v_t : eddy viskozite katsayısı,

c_f : taban (yüzey) sürtünme katsayısı,

f : Coriolis parametresini ifade etmektedir [4].

Momentum denkleminin vektörel formu aşağıdaki şekilde verilmektedir;

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \cdot \nabla V = -g \nabla H + v_t \nabla^2 V - c_f V + f k \times V \quad (4.11)$$

Vektörel denklemdeki tüm terimler açık bir fiziksel karşılığa sahiptir. Denklemden soldan sağa doğru; kararsız akış ivmesi, konvektif (taşımalsal) ivme, barotropik basınç, eddy difüzyonu, yüzey sürtünmesi ve coriolis terimleri yer almaktadır [4]. Denklemin sol tarafındaki terimler maddesel türevin hız alanına uygulanmış hali olan maddesel ivmedir.

Bazı sığ akışlarda yerçekimi ve yüzey sürtünme terimleri momentum denklemindeki baskın terimlerdir ve kararsız akış, advektif ve viskoz terimleri ihmal edilebilir. Böylece momentum denkleminin iki boyutlu Difüzyon Dalgası Yaklaşımı formuna ulaşılır. Bu denklemin kütle korunumu ile birleşimiyle Sığ Su Denkleminin Difüzyon Dalgası Yaklaşımı (DSW) olarak bilinen bir tek denklem modeli elde edilir [4].

Sürtünme ve yerçekimi kontrolündeki sığ akışta, momentum denkleminin basitleştirilmiş biçimine ulaşmak için kararsız akış, advektif, turbülans ve Coriolis terimleri ihmal edilebilir. Akış hareketi yüzey sürtünmesiyle ayarlanan yerçekimi tarafından devam ettirilir. Sonuçta basitleştirilen momentum denklemi aşağıda verildiği şekilde olur;

$$V = \frac{-(R(H))^{2/3}}{n} \frac{\nabla H}{|\nabla H|^{1/2}} \quad (4.12)$$

Burada,

R : hidrolik yarıçap,

∇H : yüzey seviye gradyeni,

n : manning pürüzlülük katsayısı,

V : hız vektörü'dür [4].

Hız, barotropik basınç dağılımı (yerçekimi) ve yüzey sürtünmesi tarafından belirlendiğinde difüzyon dalgası formundaki momentum denklemi tam momentum denkleminin yerine kullanılabilir ve denklem sisteminin yerini tutan basitleştirilmiş bir tek denklem modeline dönüşebilir. Difüzyon dalgası denklemi doğrudan süreklilik denkleminde yerine konularak klasik diferansiyel formda Sığ Su Denkleminin Difüzyon Dalgası Yaklaşımı (DSW) formu elde edilir [4].

$$\frac{\partial H}{\partial t} - \nabla \cdot \beta \nabla H + q = 0 \quad (4.13)$$

Burada,

$$\beta = \frac{(R(H))^{5/3}}{n |\nabla H|^{1/2}} \quad (4.14)$$

Analizde kullanılan 2 boyutlu karasız akım denklemleri kapalı sonlu hacim algoritması kullanılarak çözümlenir. Sonlu hacim metodu geliştirilmiş kararlılıkta artış sağlar ve geleneksel sonlu farklar ve sonlu elemanlar tekniklerinden daha dirençlidir. Ek olarak algoritma kritik altı, kiritik üstü ve karışık rejimlerle başa çıkabilir [4].

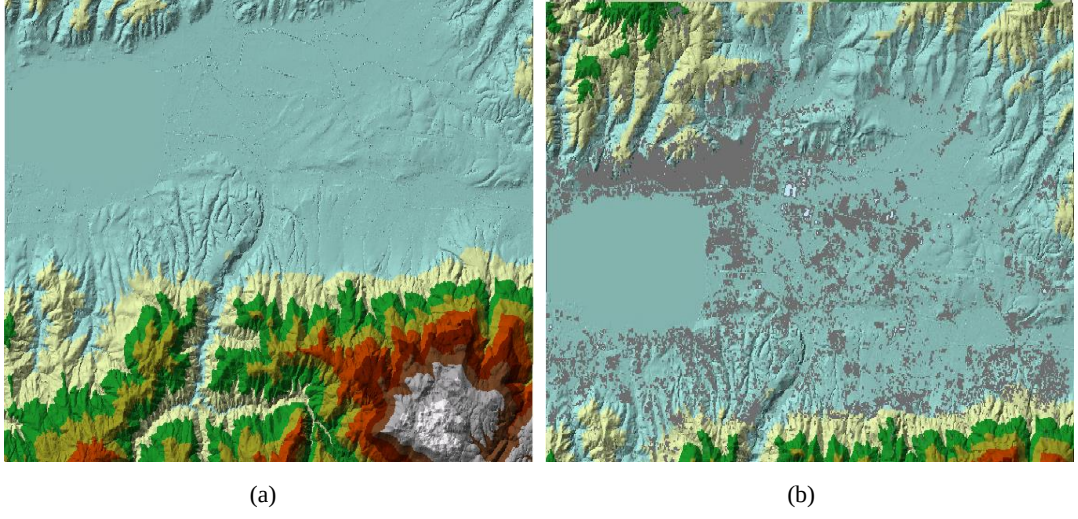
BÖLÜM 5. VERİLER

5.1. Çalışma Alanı 3 Boyutlu Arazi Modeli

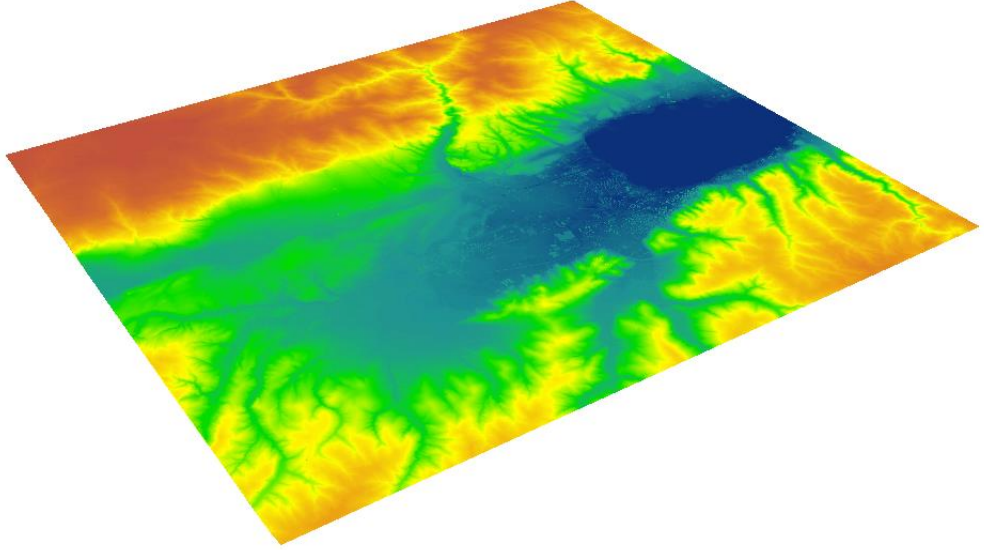
3 boyutlu (3b) arazi modelinin oluşturulmasında; Kocaeli Büyükşehir Belediyesinden temin edilen 2006 yılında fotogrametrik yöntemle hazırlanmış olan 1/5000 ölçekli sayısal hali hazır harita ve 2005 yılında yapılmış olan Yuvacık Barajı Sediman Dağılımı Araştırması Çalışmasından [21] temin edilen baraj rezervuarı sayısal batimetri haritası kullanılmıştır. İzmit Sarıdere kesimi için 2015 yılında yapılmış olan dere ıslahına ait İzmit İlçesi Sarı Dere Islahı İnşaatı projesinden faydalanılmış, Kirazdere (Yuvacık) Barajına ait geometrik bilgiler DSİ 1. Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir.

Kocaeli Büyükşehir Belediyesinden temin edilen 1/5000 ölçekli sayısal hali hazır haritaya baraj rezervuarı batimetri haritası ile dolusavak ve tahliye kanalı bilgileri eklenerek 3b topoğrafik veri seti elde edilmiştir. Oluşturulan 3b harita veri ayıklaması işlemine tabi tutulmuştur. CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ortamına aktarılan 3b topoğrafik veri setinde TIN (Şekil 5.1.) ve Raster formatlarına dönüşümler yapılarak BYT modellemesinde kullanılacak olan 3 boyutlu arazi modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.).

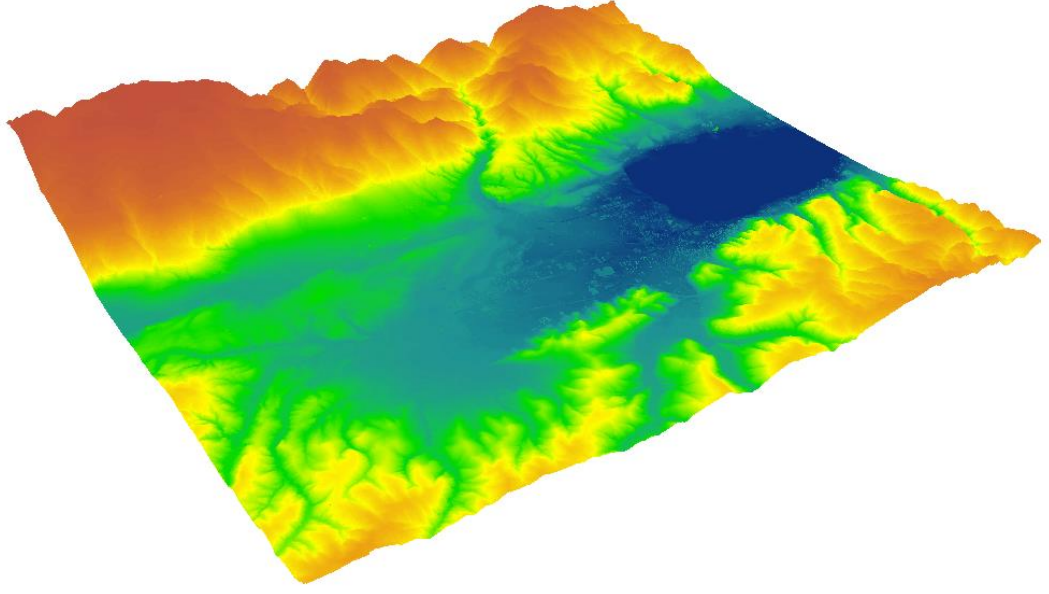
3b arazi modeline son olarak HEC-RAS yazılımında Sarı Dere kesimine ait bilgiler eklenerek BYT analizinde kullanılacak olan bütünleşik topoğrafik veri seti elde edilmiştir. (Şekil 5.4.).



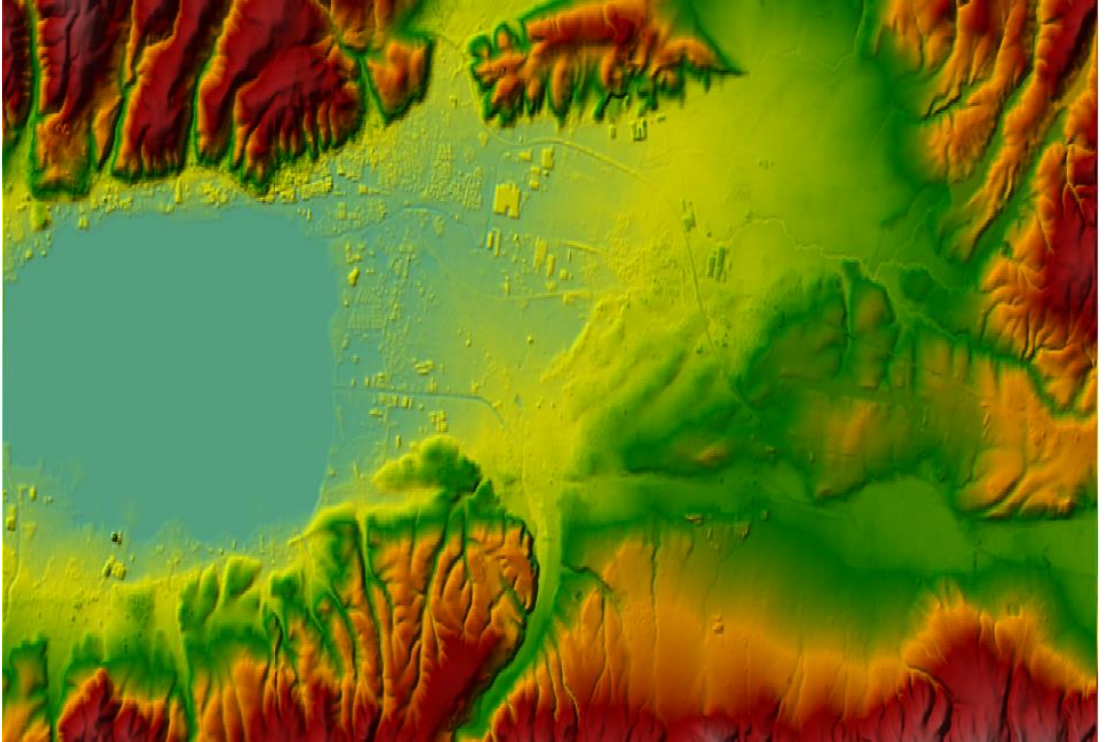
Şekil 5.1. (a) Çalışma alanı TIN modeli (b) Yapı bilgileri eklenmiş çalışma alanı TIN modeli



Şekil 5.2. Çalışma alanı raster verisi



Şekil 5.3. Çalışma alanı 3 boyutlu arazi modeli



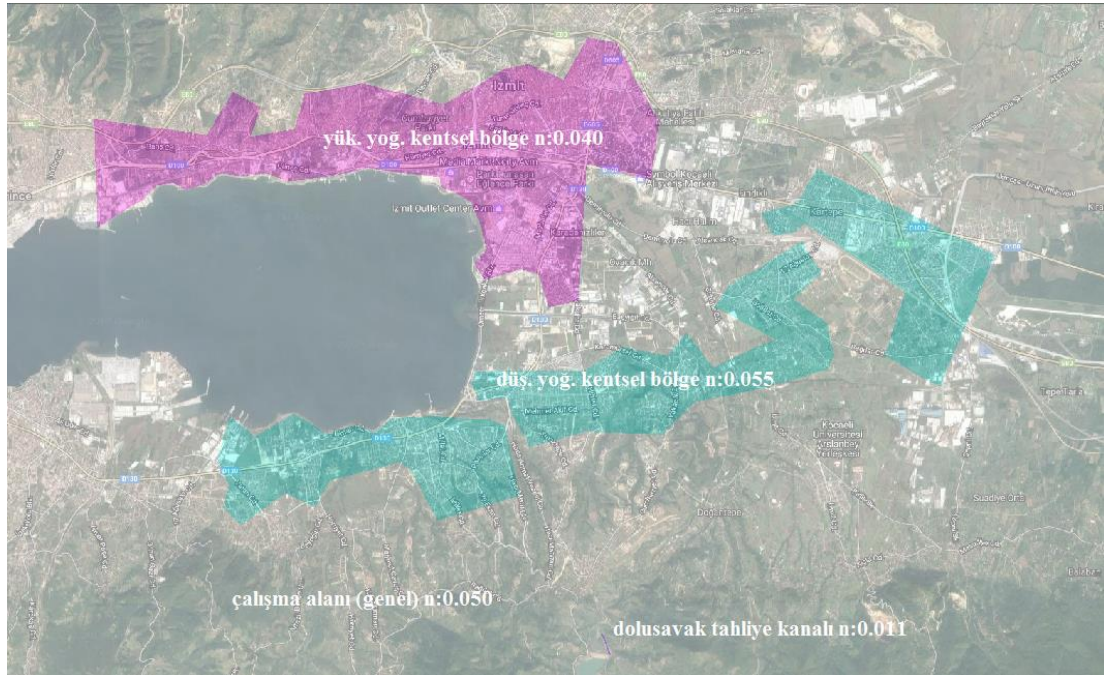
Şekil 5.4. Bütünleşik topoğrafik veri seti

5.2. Pürüzlülük

Baraj yıkılması taşkınlarında doğal taşkınlarla nazaran daha büyük debilerle karşılaşmaktadır. BYT dalgası çok geniş bir kesitte ilerleyerek yayılmaktadır. Taşkın yayılımının belirlenmesinde hidrolik modelin bir bileşeni olarak n manning pürüzlülük değerinin gerçekçi olarak belirlenmesi daha doğru sonuçlara ulaşılması açısından önemlidir. Çalışma alanının pürüzlülük açısından, tarımsal, kırsal, kentsel alanlar ile tüm bu alanların içiçe geçtiği alanların bulunduğu bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma alanı için Arcement ve Schneider'de [22] verilen bağıntı ile belirlenen Manning n pürüzlülük değerleri Tablo 5.1.'de, HECRAS yazılımından yararlanılarak hazırlanan ve analizde kullanılan Manning n pürüzlülük haritası Şekil 5.5.'de görülmektedir.

Tablo 5.1. Çalışma alanı Manning n pürüzlülük değerleri.

Arazi Tanımı	Manning n
Çalışma Alanı (Genel)	0.050
Yüksek Yoğunluklu Kentsel Bölge	0.040
Düşük Yoğunluklu Kentsel Bölge	0.055
Dolusavak Tahliye Kanalı	0.011



Şekil 5.5. Çalışma alanı pürüzlülük (Manning n değerleri) haritası

5.3. Senaryo

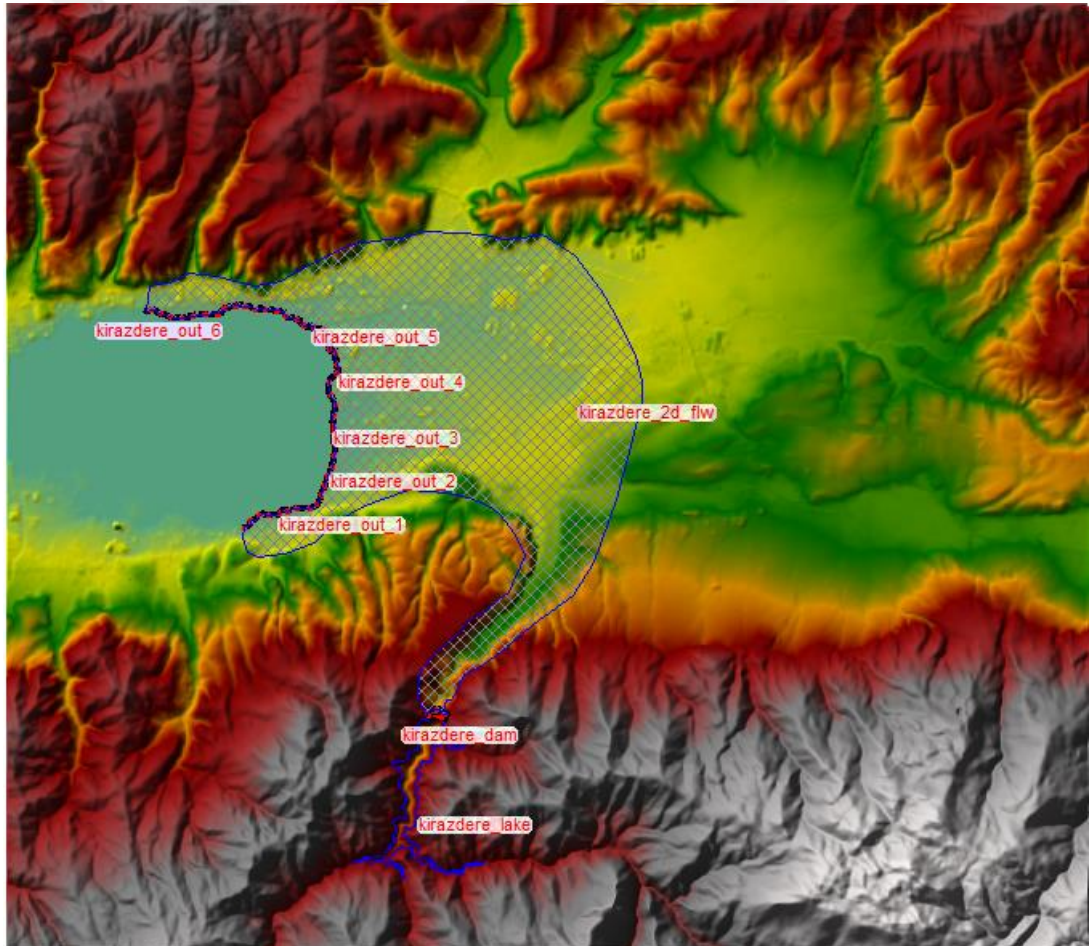
Kirazdere Barajı için BYT analizinde literatürde güneşli gün yıkılması olarak adlandırılan herhangi bir dış etki olmaksızın baraj gövdesinde meydana gelen borulanma neticesinde oluşacak baraj yıkılması senaryosu kullanılacaktır. Senaryoda kullanılacak baraj gediklenmesine ait sayısal parametreler Tablo 5.2.'de verilmektedir.

Tablo 5.2. Baraj gediklenme senaryosu parametreleri

Borulanma Başlangıç Rezervuar Su Kotu	166.14 m
Gediklenme Başlangıç Kotu	140 m
Gedik Taban Kotu	130 m

BÖLÜM 6. UYGULAMA

Kirazdere Barajına önceki bölümde belirtilen yıkılma senaryosu uygulanarak BYT modellenmesinde HEC-RAS yazılımının Unsteady Flow Analysis işlem modülü kullanılmıştır. Topoğrafik veri seti üzerinde; 2 boyutlu BYT yayılım alanı, Kirazdere Barajı Rezervuarı, Kirazdere Barajı, BYT dalgası (akım) çıkış sınırları Şekil 6.1.'de görüldüğü şekilde tanımlanmıştır.



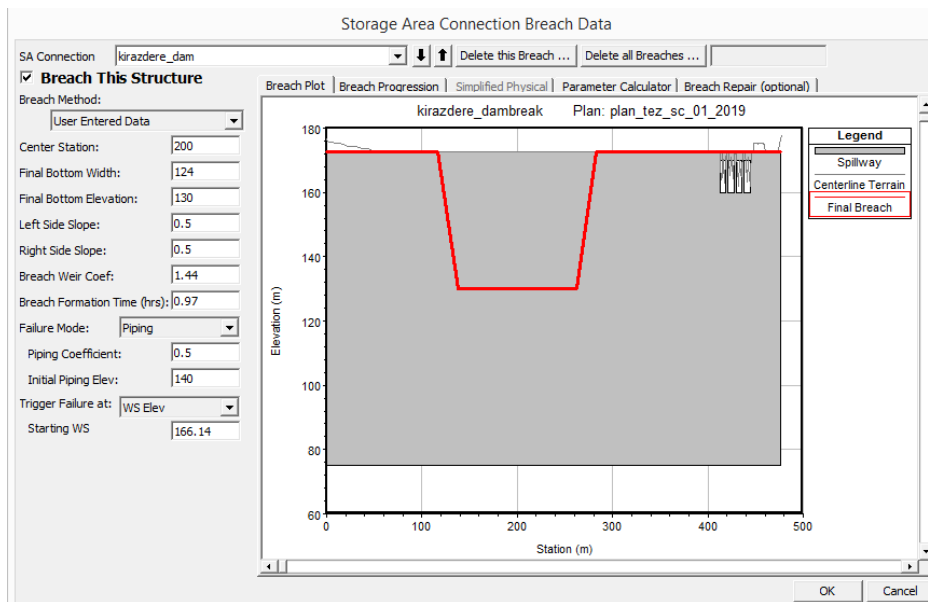
Şekil 6.1. 2b taşkın yayılım alanı, baraj haznesi, kirazdere barajı, taşkın dalgası çıkış sınırları genel görünümü.

Analizde kullanılacak gediklenme parametreleri için, yazılım tarafından kullanılan diğer metodlara nazaran daha büyük gedik taban genişliği tanımlayan Von-Thun ve Gillette (1990) bağıntısından elde edilen değerler seçilmiştir. Gedik oluşumuna ait parametreler Şekil 6.2.'de, tamamlanmış gedik geometrisi Şekil 6.3.'de, gedik oluşumunun zamana bağlı parametreleri ise Şekil 6.4.'de gösterilmektedir.

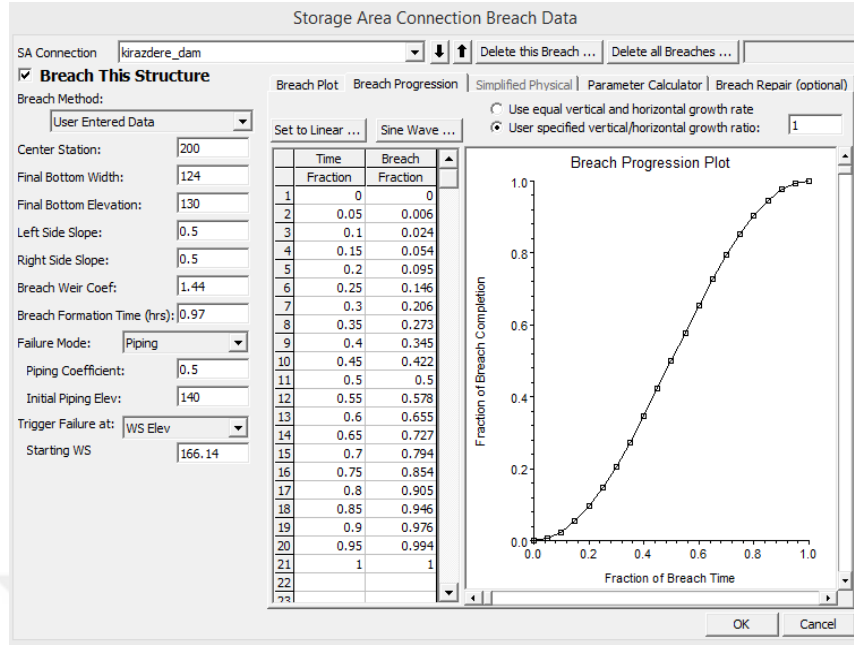
Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	36	0.5	1.69	Select
Froehlich (1995)	68	0.9	1.04	Select
Froehlich (2008)	61	0.7	0.93	Select
Von Thun & Gillette	124	0.5	0.97	Select
Xu & Zhang	55	0.64	2.80 *	Select

* Note: the breach development time from the Xu Zhang equation includes more of the initial erosion period and post erosion than what is used in the HEC-RAS breach formation time.

Şekil 6.2. Gediklenme parametreleri



Şekil 6.3. Tamamlanmış gedik geometrisi görünümü

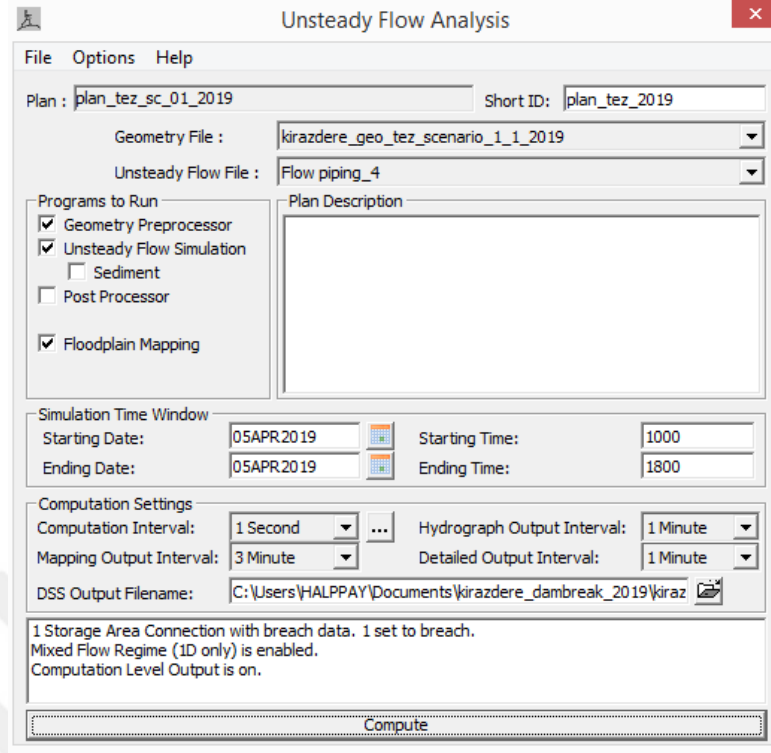


Şekil 6.4. Zaman-gedik gelişim parametreleri

BYT yayılımının tayininde, yazılımının kullandığı sıg su denklemlerine dayanan difüzyon dalgası yaklaşımı denklemi ile çözüm yönteminin kullanılması bu tezin amacına uygun sonuçlara ulaşılabilirliği açısından yeterli görülmüştür. BYT yayılımının takip edilmesi açısından 8 saatlik simülasyon uygulanmıştır. Analiz opsiyonları Şekil 6.5.'de, analiz menüsü Şekil 6.6.'da, simülasyon sonuç menüsü Şekil 6.7.'de görülmektedir.

Parameter	(Default)	kirazdere_2d_flow
1 Theta (0.6-1.0):	1	1
2 Theta Warmup (0.6-1.0):	1	1
3 Water Surface Tolerance [max=0.05](m)	0.003	0.01
4 Volume Tolerance (m)	0.003	0.01
5 Maximum Iterations	20	40
6 Equation Set	Diffusion Wave	Diffusion Wave
7 Initial Conditions Time (hrs)		
8 Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)	0.1	0.1
9 Number of Time Slices (Integer Value)	1	1
10 Eddy Viscosity Transverse Mixing Coefficient		4
11 Boundary Condition Volume Check	☐	☐
12 Latitude for Coriolis (-90 to 90)		41

Şekil 6.5. Analizde kullanılan parametreler



Unsteady Flow Analysis

File Options Help

Plan : Short ID:

Geometry File :

Unsteady Flow File :

Programs to Run

- ☒ Geometry Preprocessor
- ☒ Unsteady Flow Simulation
 - ☐ Sediment
- ☐ Post Processor
- ☒ Floodplain Mapping

Plan Description

Simulation Time Window

Starting Date: Starting Time:

Ending Date: Ending Time:

Computation Settings

Computation Interval: Hydrograph Output Interval:

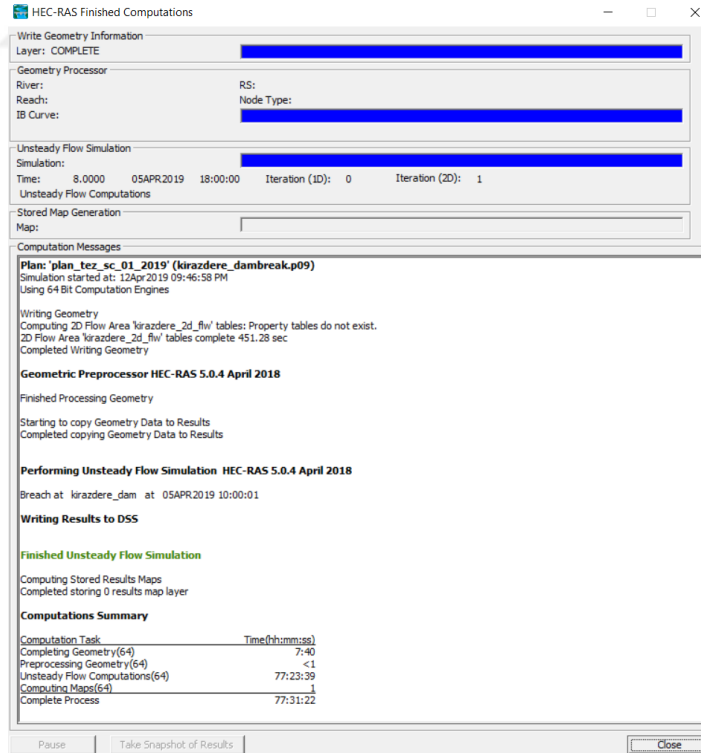
Mapping Output Interval: Detailed Output Interval:

DSS Output Filename:

1 Storage Area Connection with breach data. 1 set to breach.
Mixed Flow Regime (1D only) is enabled.
Computation Level Output is on.

Compute

Şekil 6.6. Analiz menüsü



HEC-RAS Finished Computations

Write Geometry Information
Layer: COMPLETE

Geometry Processor
River: RS:
Reach: Node Type:
IB Curve:

Unsteady Flow Simulation
Simulation:
Time: 8.0000 05APR.2019 18:00:00 Iteration (1D): 0 Iteration (2D): 1
Unsteady Flow Computations

Stored Map Generation
Map:

Computation Messages

Plan: 'plan_tez_sc_01_2019' (kirazdere_dambreak.p09)
Simulation started at: 12Apr2019 09:46:58 PM
Using 64 Bit Computation Engines

Writing Geometry
Computing 2D Flow Area 'kirazdere_2d_flow' tables: Property tables do not exist.
2D Flow Area 'kirazdere_2d_flow' tables complete 451.28 sec
Completed Writing Geometry

Geometric Preprocessor HEC-RAS 5.0.4 April 2018
Finished Processing Geometry
Starting to copy Geometry Data to Results
Completed copying Geometry Data to Results

Performing Unsteady Flow Simulation HEC-RAS 5.0.4 April 2018
Breach at kirazdere_dam at 05APR.2019 10:00:01

Writing Results to DSS

Finished Unsteady Flow Simulation
Computing Stored Results Maps
Completed storing 0 results map layer

Computations Summary

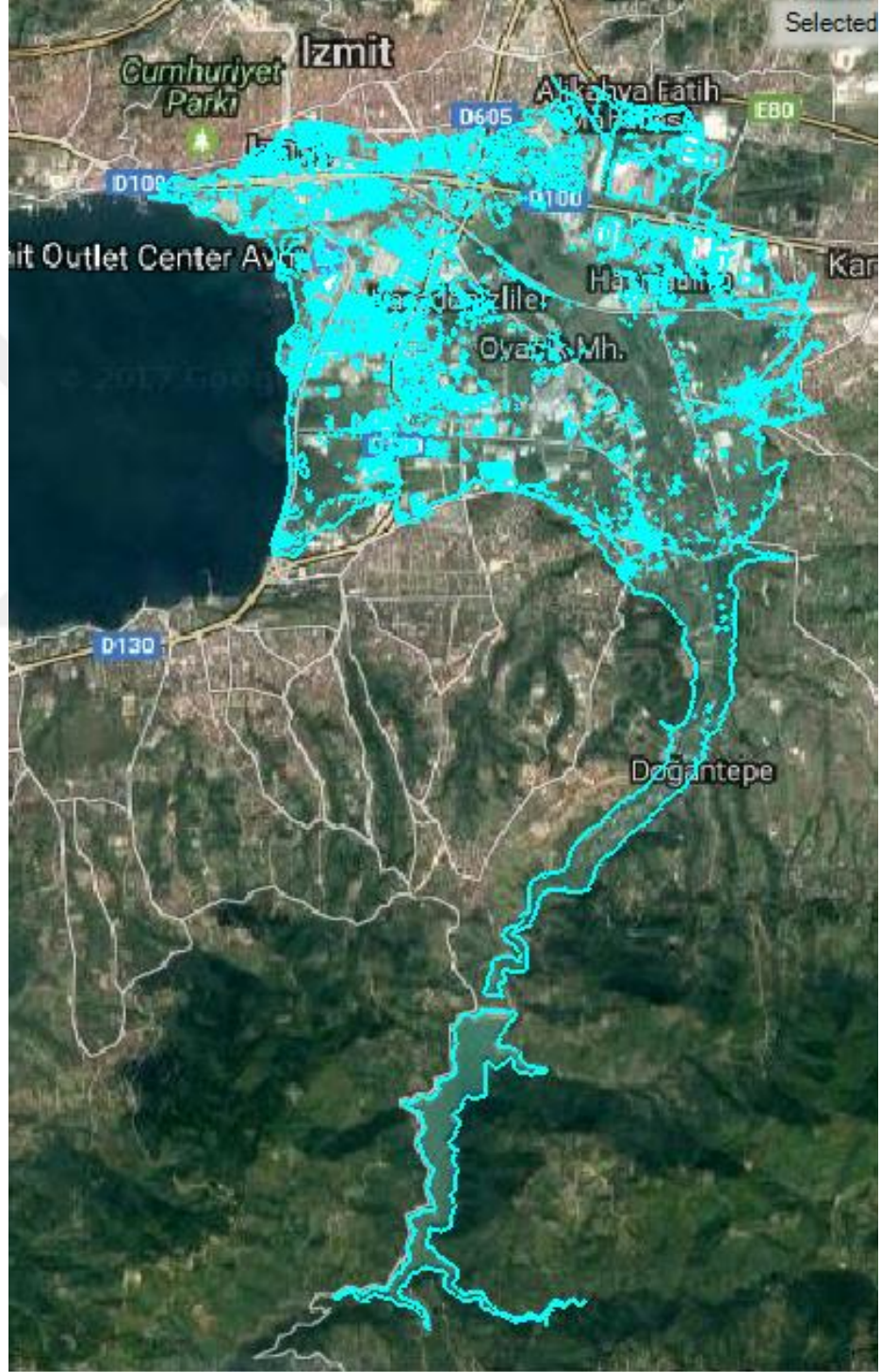
Computation Task	Time(hh:mm:ss)
Completing Geometry(64)	7:40
Preprocessing Geometry(64)	<1
Unsteady Flow Computations(64)	77:23:39
Computing Maps(64)	1
Complete Process	77:31:22

Pause Take Snapshot of Results Close

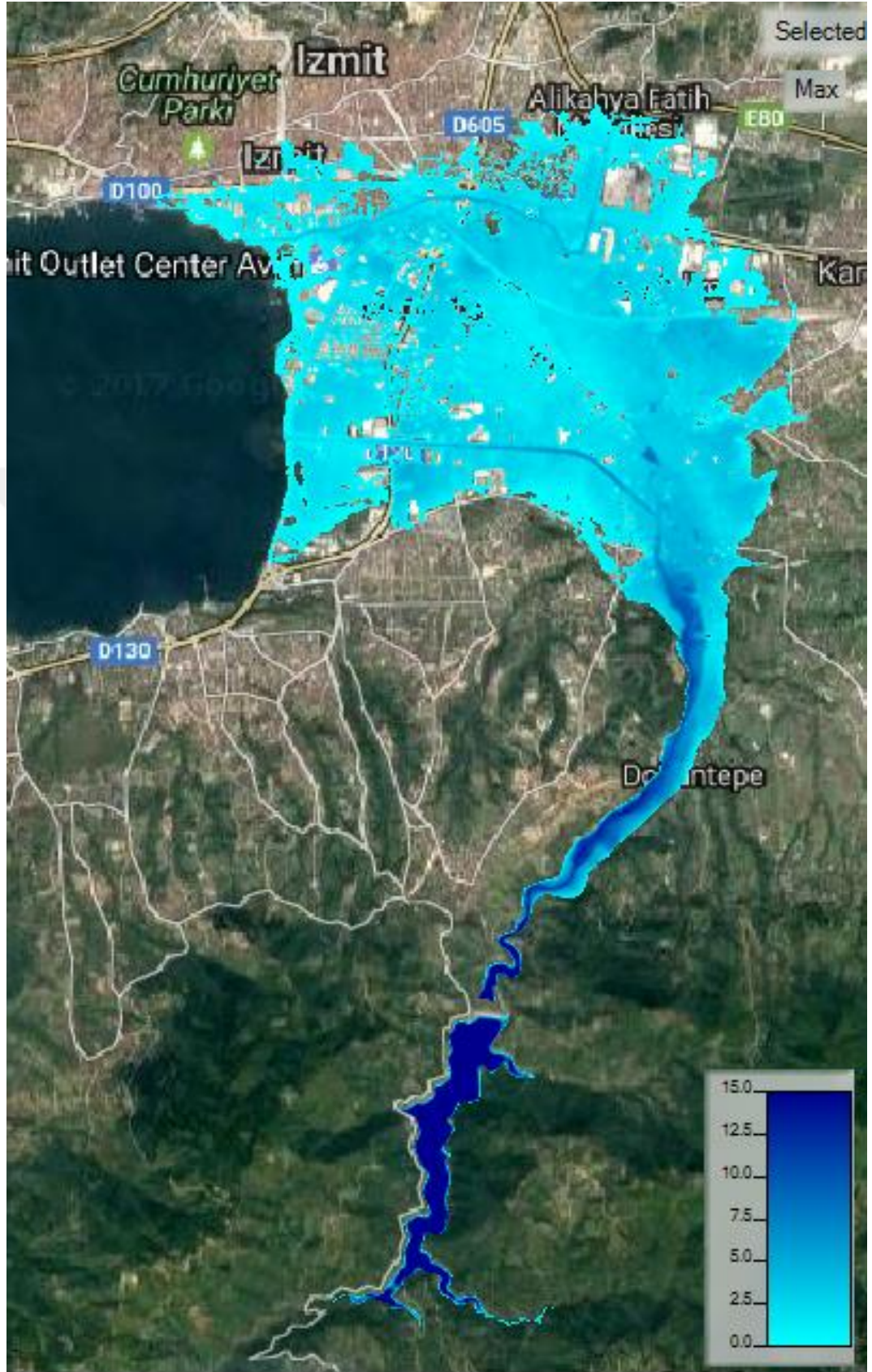
Şekil 6.7. Simülasyon sonuç menüsü

6.1. Kirazdere Barajı BYT yayılım, derinlik, hız haritaları

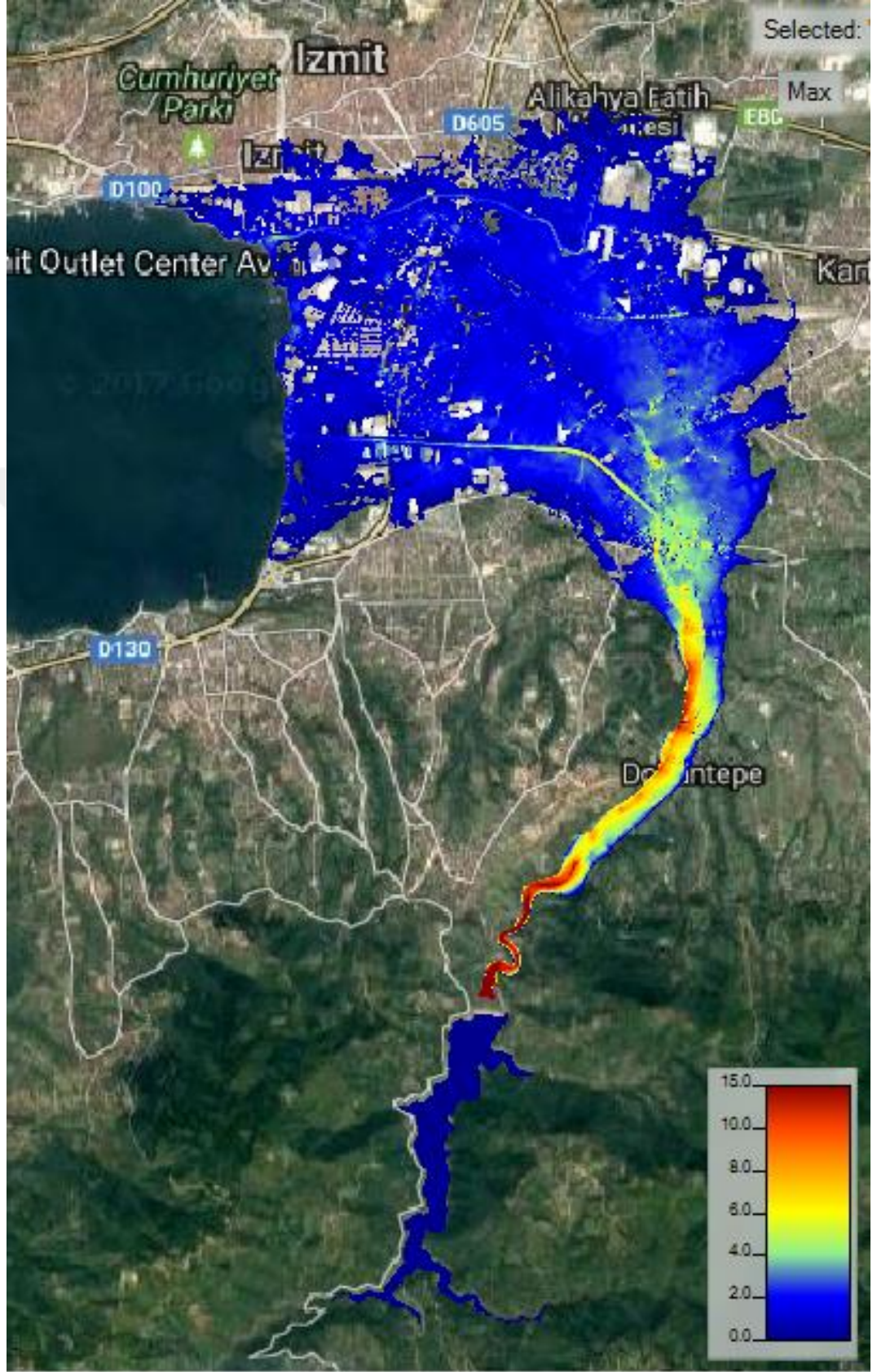
Analizden elde edilen BYT yayılım alanı haritası Şekil 6.8.'de, BYT yayılım-derinlik haritası Şekil 6.9.'da ve BYT yayılım-hız haritası Şekil 6.10.'da görülmektedir.



Şekil 6.8. Kirazdere Barajı BYT yayılım alanı haritası



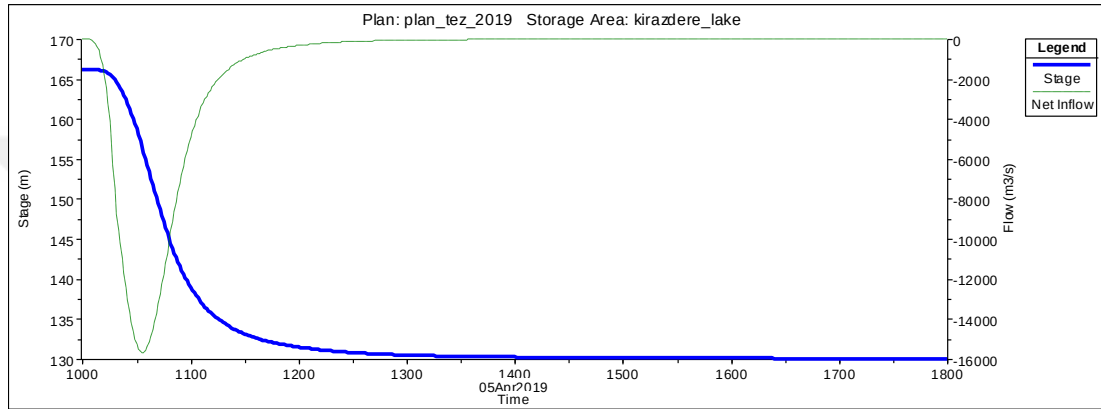
Şekil 6.9. Kirazdere Barajı BYT yayılım-derinlik (m) haritası



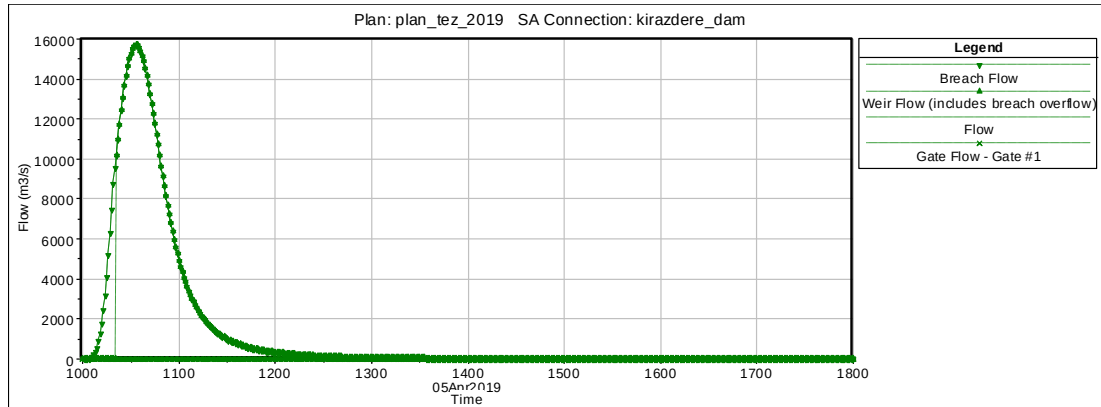
Şekil 6.10. Kirazdere Barajı BYT yayılım-hız (m/sn) haritası

6.2. Kirazdere Barajı BYT Hidroğrafları

Yıkılma başlangıcındaki 166,14 m olan su kotu 8 saatlik simülasyon sonucunda 130,05 m'ye düşmüştür. Çıkış debisinin maksimum değeri saat 10:33'de ulaşılan 15.690,89 m³/sn'lik debi olarak gözlenmiştir. Rezervuardan çıkan toplam su miktarı 36.868.290,00 m³ olarak gözlenmiştir. Şekil 6.11.'de baraj rezervuarına, Şekil 6.12.'de baraj gövdesine ait hidroğraflar görülmektedir.

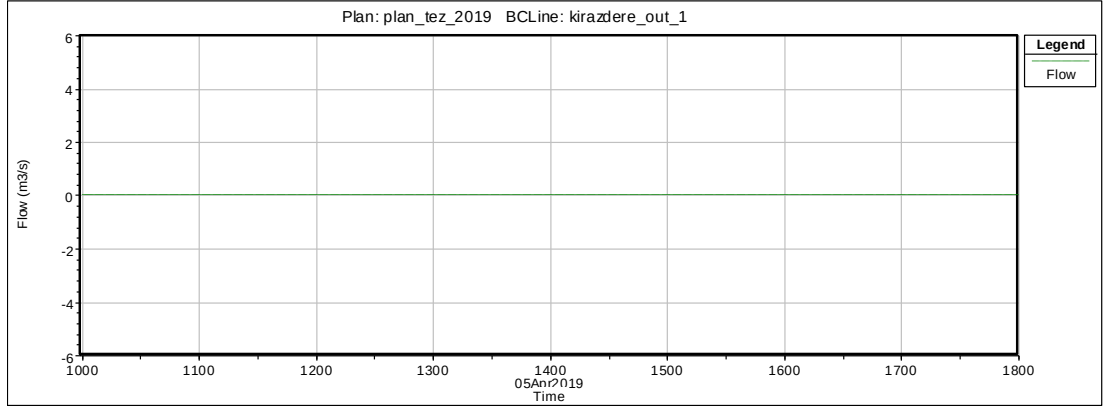


Şekil 6.11. Kirazdere baraj rezervuarı hidroğrafı



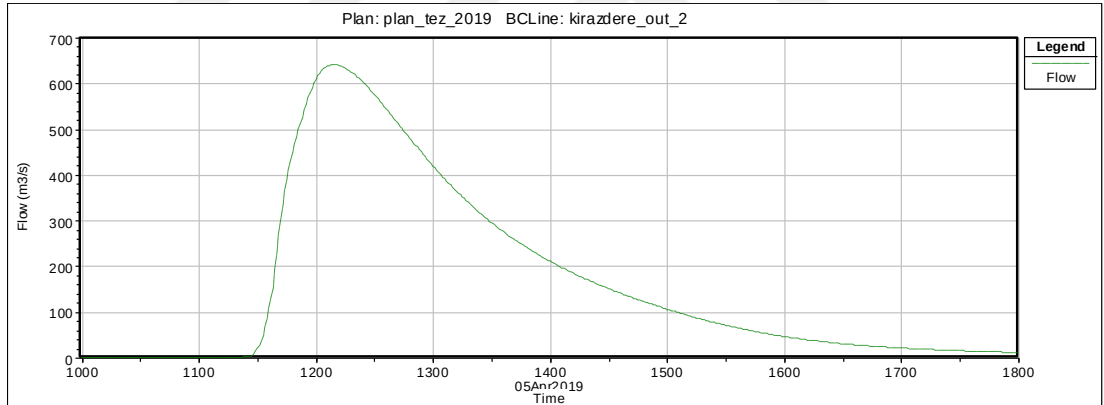
Şekil 6.12. Kirazdere Baraj gövdesi hidroğrafı

BYT dalgası çıkış sınırı olarak belirlenen 1 numaralı sınırdan herhangi bir akım çıkışı gözlemlenmemiştir. Sınıra ait hidrograf Şekil 6.13.'de görülmektedir.



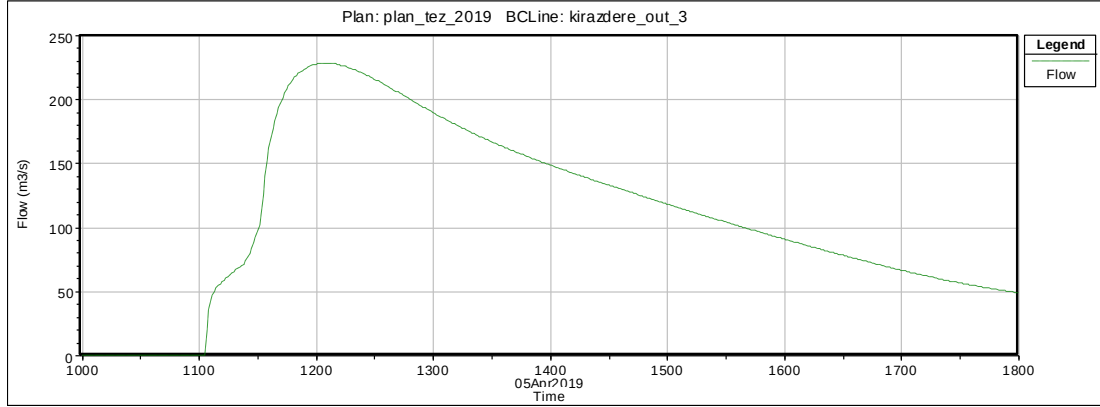
Şekil 6.13. kirazdere_out_1 sınırı BYT çıkış hidroğrafi

BYT dalgası çıkış sınırı olarak belirlenen 2 numaralı sınırdan akım çıkışının saat 11:05 itibariyle başladığı ve maksimum çıkış debisinin $640,73 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak saat 12:09'da oluştuğu, toplam çıkan akım miktarının $4.696.040,00 \text{ m}^3$ olduğu gözlemlenmiştir. Sınıra ait hidrograf Şekil 6.14.'de görülmektedir.



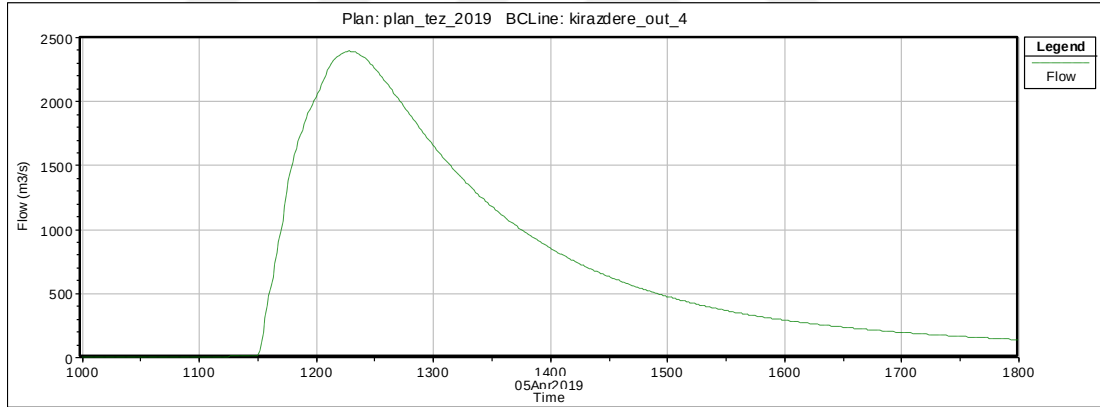
Şekil 6.14. kirazdere_out_2 sınırı BYT çıkış hidroğrafi

BYT dalgası çıkış sınırı olarak belirlenen 3 numaralı sınırdan akım çıkışının saat 11:04 itibariyle başladığı ve maksimum çıkış debisinin $228,31 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak saat 12:05'de oluştuğu, toplam çıkan akım miktarının $3.158.800,00 \text{ m}^3$ olduğu gözlemlenmiştir. Sınıra ait hidrograf Şekil 6.15.'de görülmektedir.



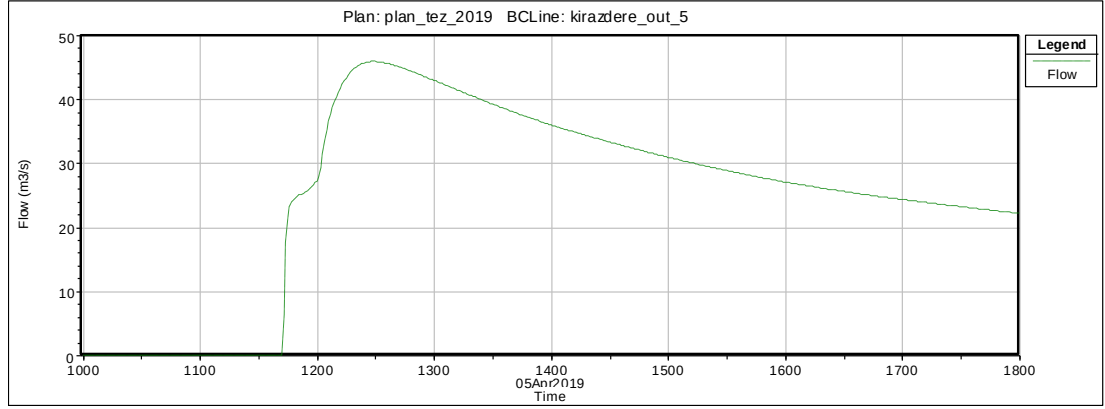
Şekil 6.15. kirazdere_out_3 sınırı BYT çıkış hidroğrafi

BYT dalgası çıkış sınırı olarak belirlenen 4 numaralı sınırdan akım çıkışının saat 11:05 itibariyle başladığı ve maksimum çıkış debisinin $2.389,90 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak saat 12:17'de olduğu, toplam çıkan akım miktarının $19.169.060,00 \text{ m}^3$ olduğu gözlemlenmiştir. Sınıra ait hidroğraf Şekil 6.16.'da görülmektedir.



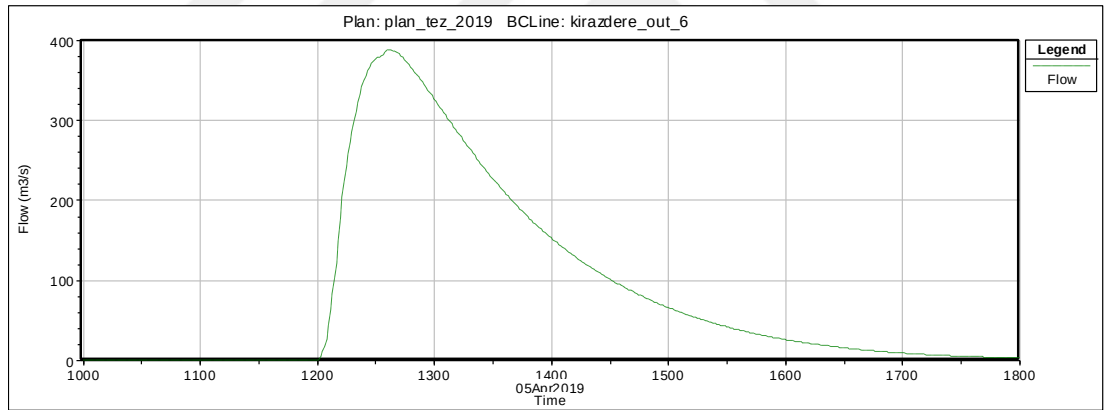
Şekil 6.16. kirazdere_out_4 sınırı BYT çıkış hidroğrafi

BYT dalgası çıkış sınırı olarak belirlenen 5 numaralı sınırdan akım çıkışının saat 11:43 itibariyle başladığı ve maksimum çıkış debisinin $45,90 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak saat 12:29'da olduğu, toplam çıkan akım miktarının $722.450,00 \text{ m}^3$ olduğu gözlemlenmiştir. Sınıra ait hidroğraf Şekil 6.17.'de görülmektedir.

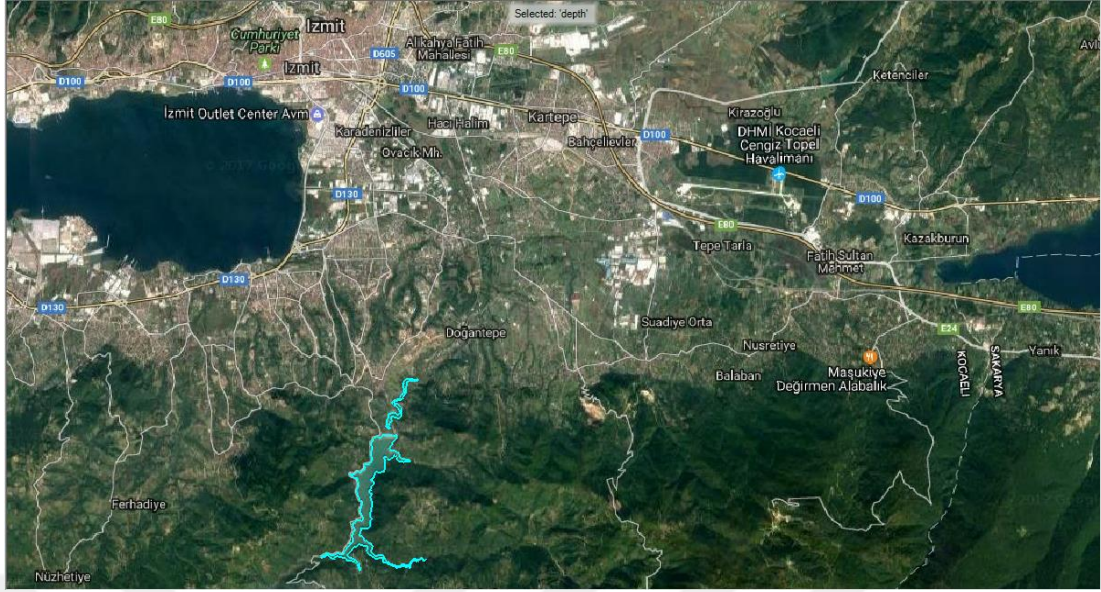


Şekil 6.17. kirazdere_out_5 sınırı BYT çıkış hidroğrafi

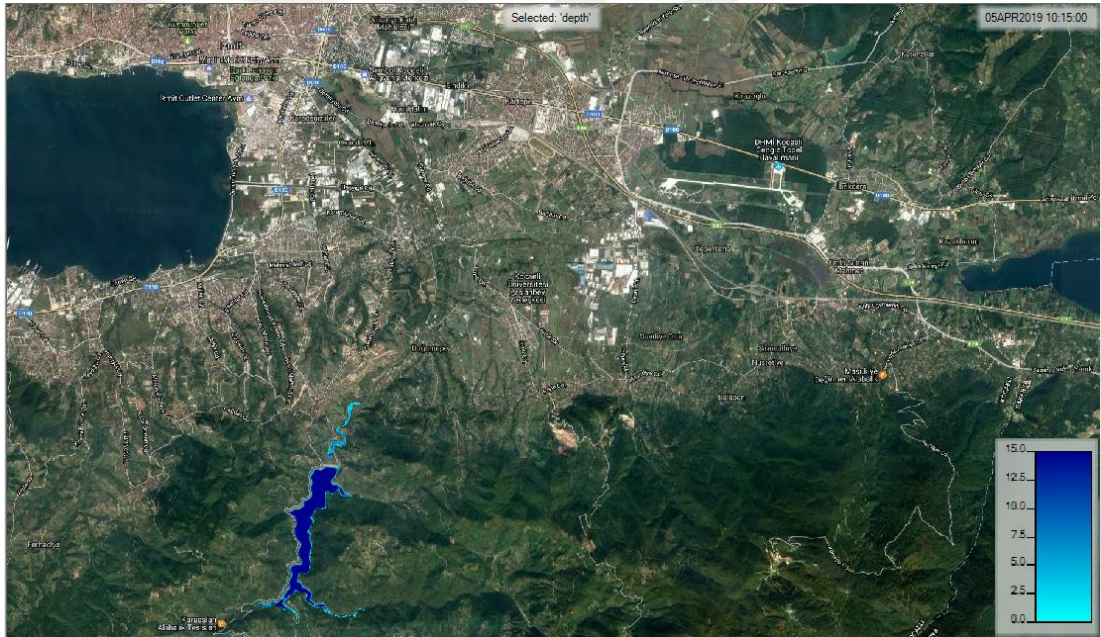
BYT dalgası çıkış sınırı olarak belirlenen 6 numaralı sınırdan akım çıkışının saat 12:01 itibariyle başladığı ve maksimum çıkış debisinin $387,50 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak saat 12:41'de olduğu, toplam çıkan akım miktarının $2.474.580,00 \text{ m}^3$ olduğu gözlemlenmiştir. Sınıra ait hidroğraf Şekil 6.18.'de görülmektedir.



Şekil 6.18. kirazdere_out_6 sınırı BYT çıkış hidroğrafi

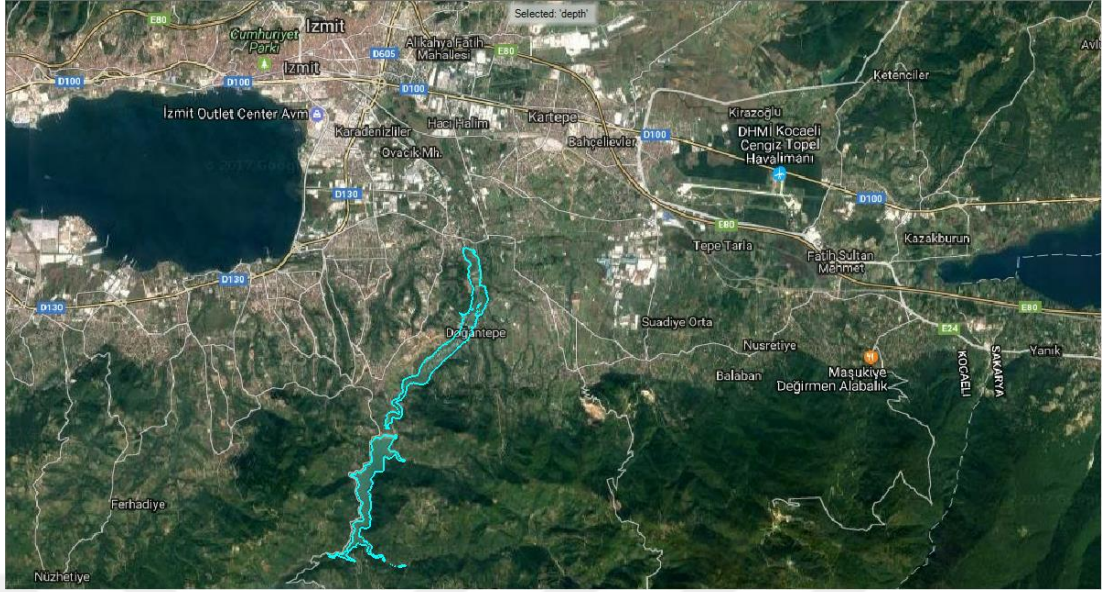


Şekil 7.2. 15'inci dk. BYT yayılım alanı 1,697 km²



Şekil 7.3. 15'inci dk. BYT derinlik (m) görünümü

21'inci dakikadan itibaren Başiskele İlçesi Doğantepe Mahallesi Kırzdere sahilinde bulunan tesis ve yerleşim birimlerinin taşkın dalgasından etkilendiği, taşkın dalgasının Kırzdere yatağında genişleyerek ilerlediği gözlemlenmiştir.

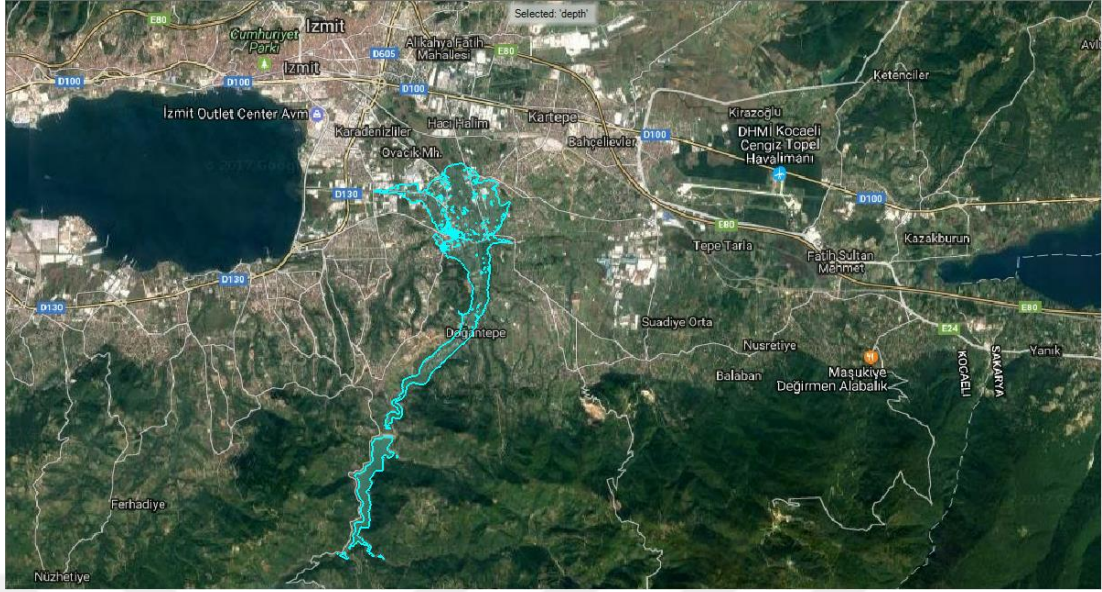


Şekil 7.4. 30'uncu dk. BYT yayılım alanı 2,990 km²



Şekil 7.5. 30'uncu dk. BYT derinlik (m) görünümü

30'uncu dakikadan itibaren BYT dalgasının nüfus yoğun bölge sınırlarına ulaştığı, 33'üncü dakika itibariyle Başiskele İlçesi Tepecik Mahallesi Karamürsel Caddesinin ve bu bölgede bulunan yerleşim birimlerinin taşkın dalgasından etkilendiği gözlemlenmiştir.

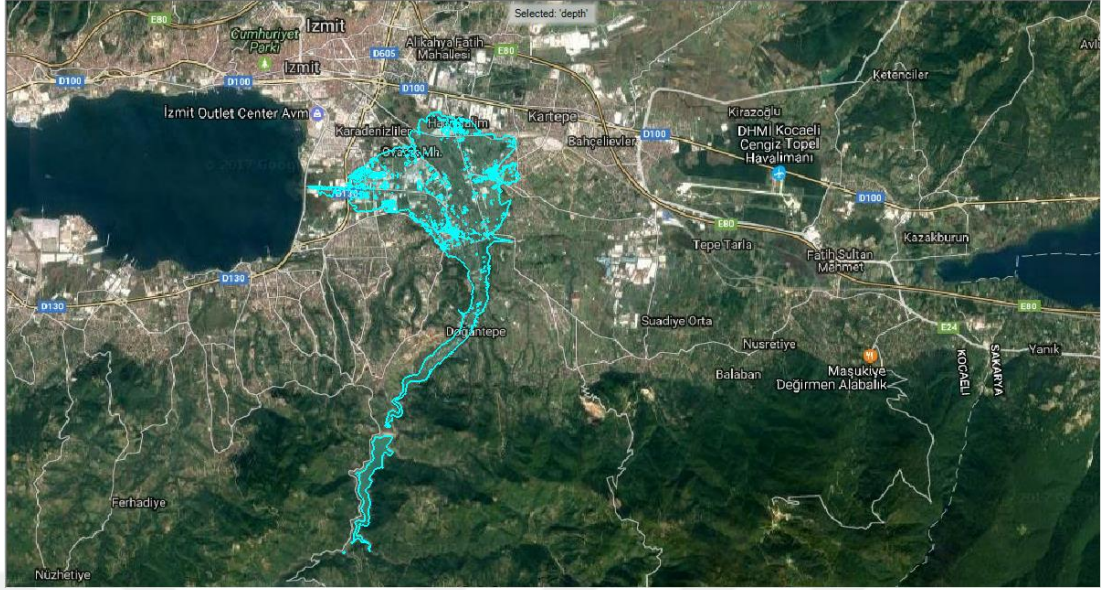


Şekil 7.6. 45'inci dk. BYT yayılım alanı 7,217 km²



Şekil 7.7. 45'inci dk. BYT derinlik (m) görünümü

45'inci dakika itibariyle BYT dalgasının Başiskele İlçesi Tepecik ve Ovacık Mahalleleri ile Kartepe İlçesi Köseköy Mahallesinde yer alan yerleşim birimlerini ve sanayi tesislerini etkilediği gözlemlenmiştir.

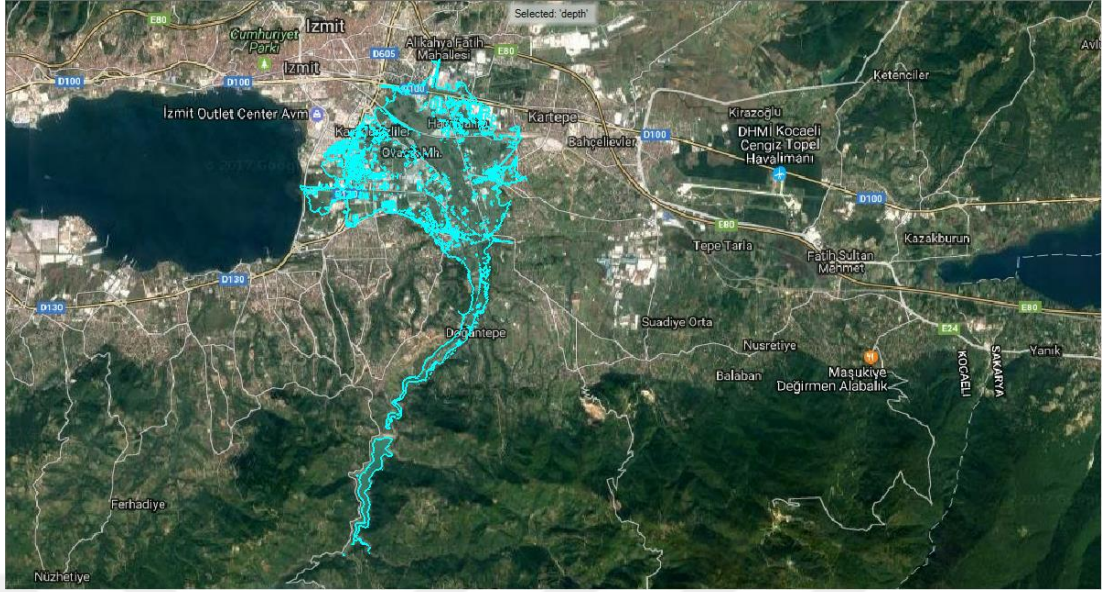


Şekil 7.8. 60'ıncı dk. BYT yayılım alanı 13,175 km²



Şekil 7.9. 60'ıncı dk. BYT derinlik (m) görünümü

60 dakika içinde BYT dalgasının, Başiskele İlçesi Ovacık Mahallesi'nin büyük bölümünü, Karadenizliler ve Yaylacık Mahallesi'nin Kirazdere sahilleri ile Kartepe İlçesi Köseköy Mahallesi yerleşim birimlerini etkilediği, kuzeyde Demiryolu Caddesi ve ulusal demiryolunu etkilediği batıda ise D130 karayoluna ulaştığı gözlemlenmiştir.

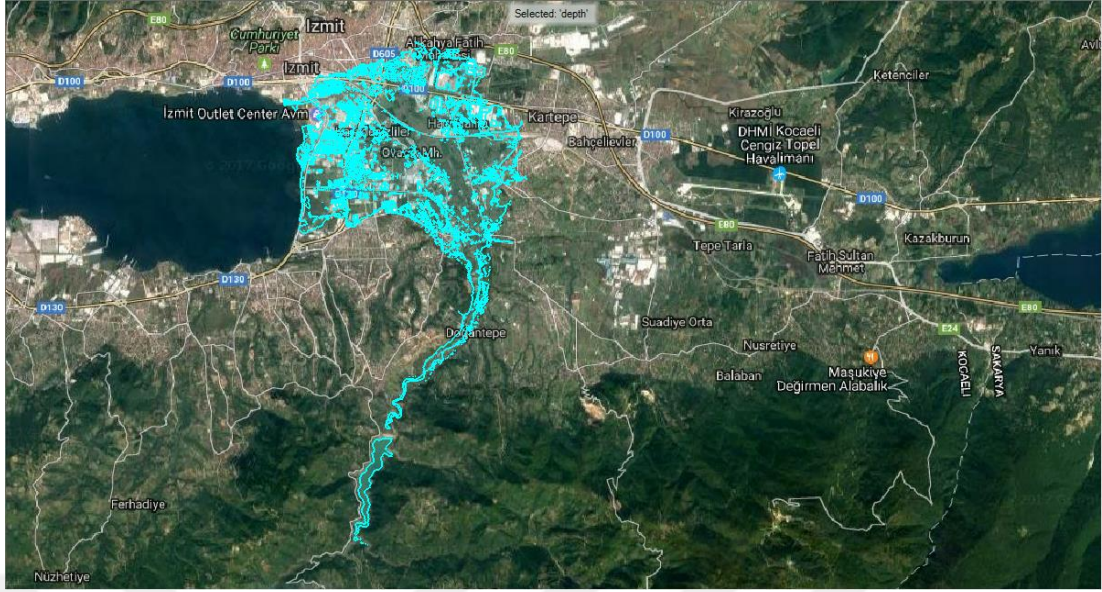


Şekil 7.10. 75'inci dk. BYT yayılım alanı 17,693 km²

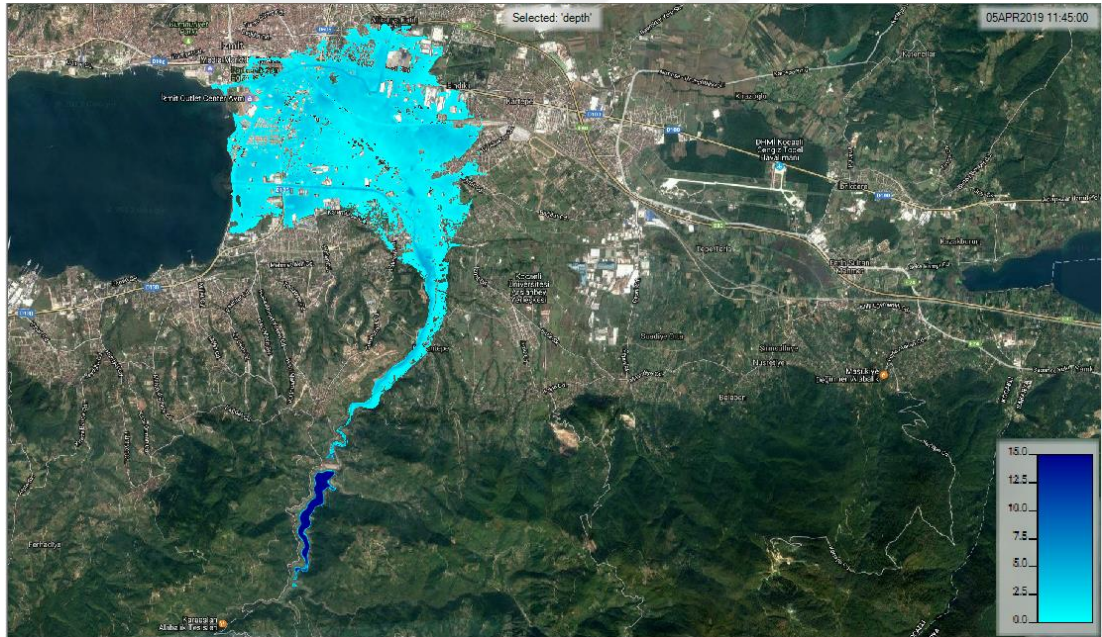


Şekil 7.11. 75'inci dk. BYT derinlik (m) görünümü

75 dakika içinde Yaylacık Mahallesi Karamürsel Caddesinin kuzeyi ile Ovacık, Karadenizliler, Vezirçiftliği Mahalleleri tamamen, Kartepe İlçesi Köseköy Mahallesi'nin tamamına yakınının BYT dalgasından etkilendiği, taşkın dalgasının kuzeyde İzmit İlçesi Yahya Kaptan Mahallesi'ne, batıda Sanayi Mahallesi'ne ulaştığı, D100 ve D130 karayollarının taşkın dalgasının altında kaldığı gözlemlenmiştir.

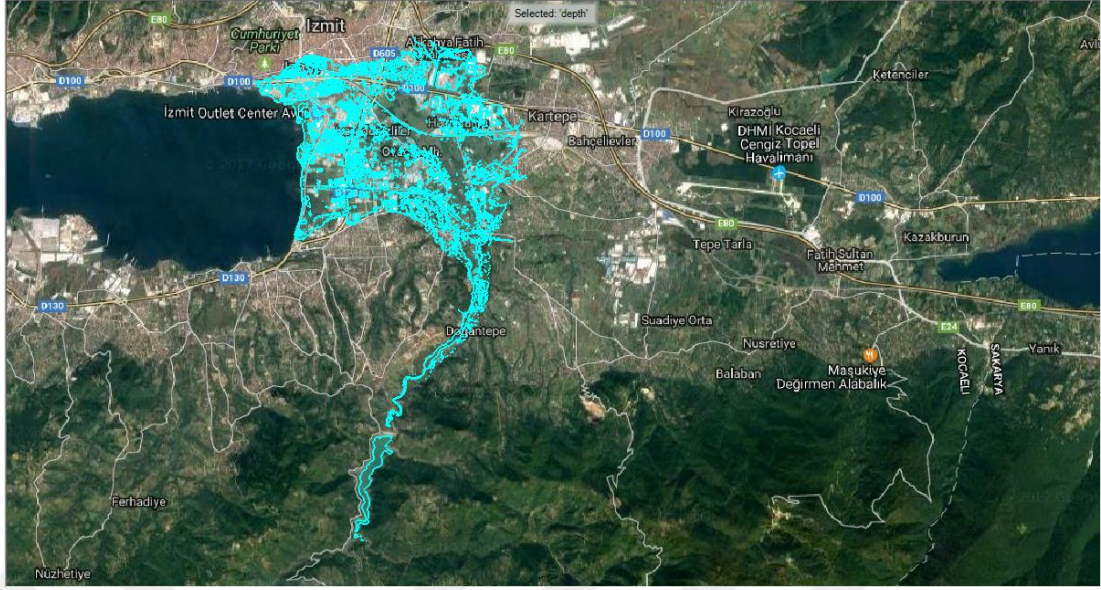


Şekil 7.14. 105'inci dk. BYT yayılım alanı 22,665 km²

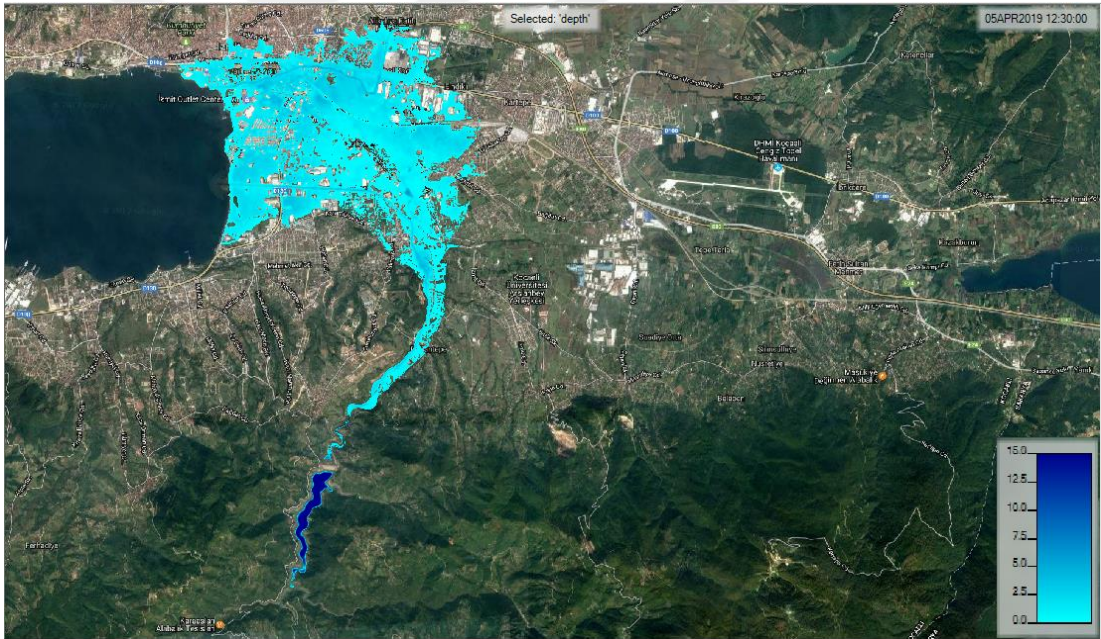


Şekil 7.15. 105'inci dk. BYT derinlik (m) görünümü

105 dakika itibariyle BYT dalgasının Marmara Denizine deşarjının genişleyerek İzmit Körfezi doğu sahilinin büyük kısmını kapladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.18. 150'nci dk. BYT yayılım alanı 22,274 km²

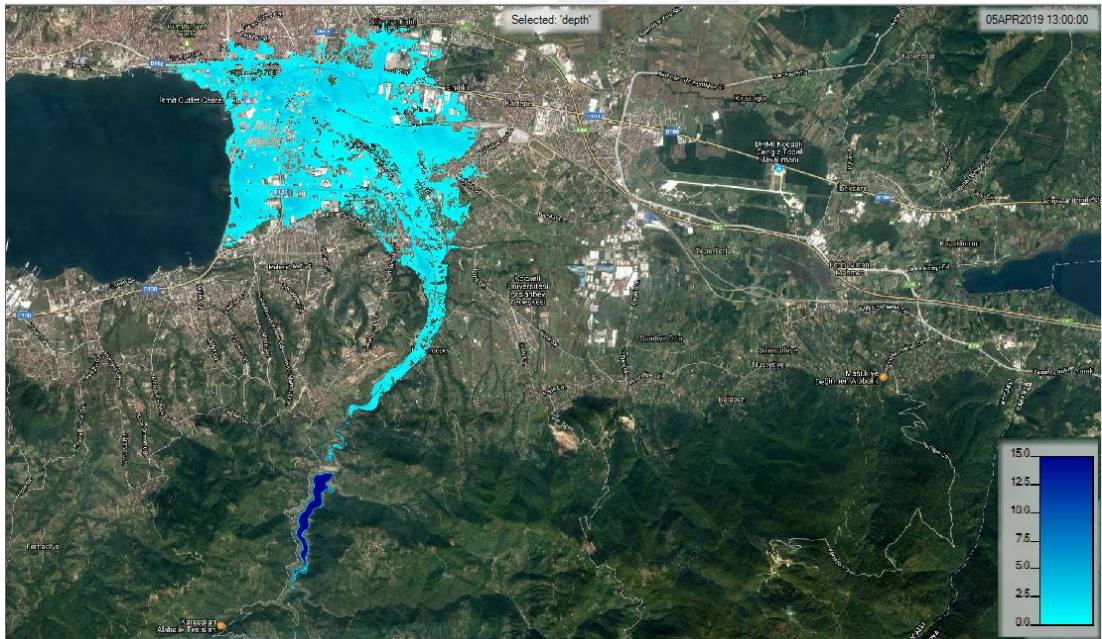


Şekil 7.19. 150'nci dk. BYT derinlik (m) görünümü

150 dakika itibariyle M.Ali Paşa Mahallesi güney kesimlerinin ve Kadıköy Mahallesi Bağdat Caddesi güneyinin BYT dalgasından etkilendiği gözlemlenmiştir.

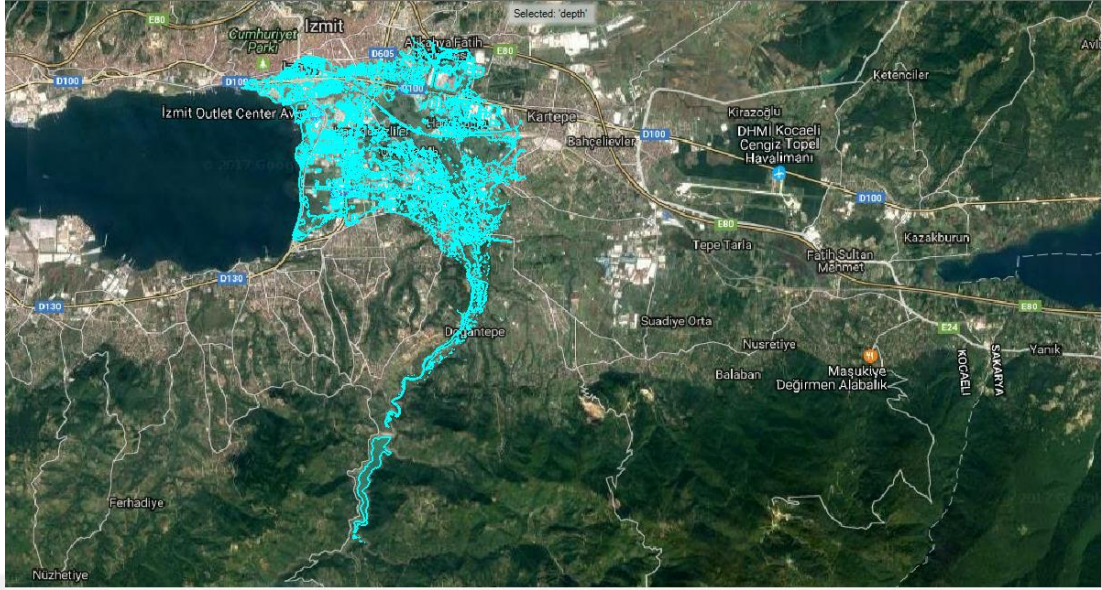


Şekil 7.20. 180'inci dakika BYT yayılım alanı 20,917 km²

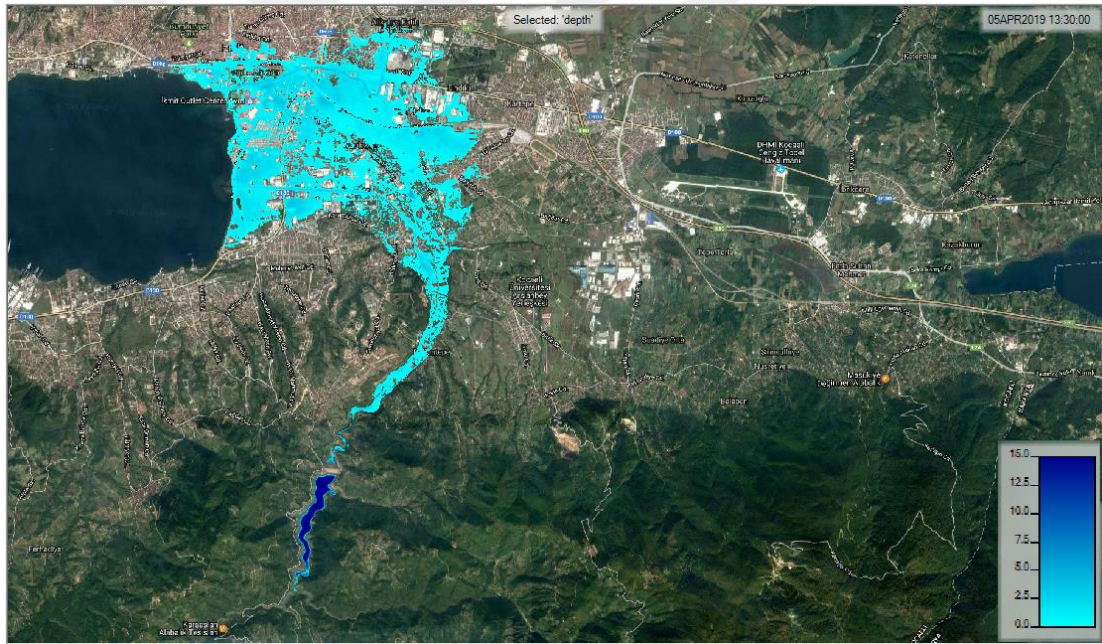


Şekil 7.21. 180'inci dk. BYT derinlik (m) görünümü

180 dakika itibariyle BYT dalgasının kuzeybatıda D100 karayolu ile sahil kesimi arasından Kemalpaşa Mahallesi İzmit Halk Eğitim Merkezi mevkiine ulaştığı gözlemlenmiştir.

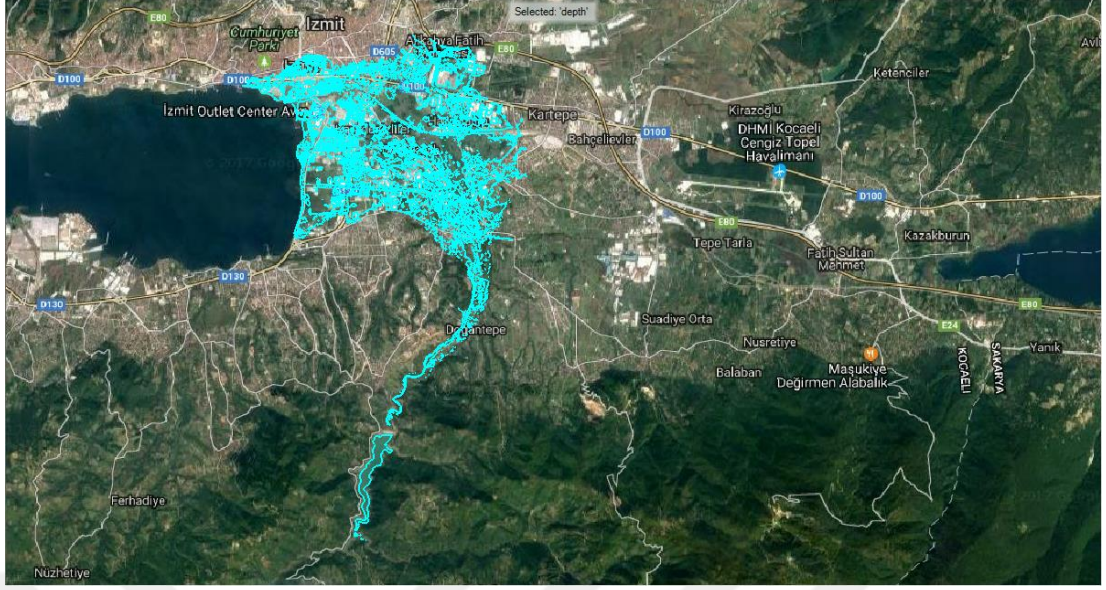


Şekil 7.22. 210'uncu dk. BYT yayılım alanı 19,404 km²

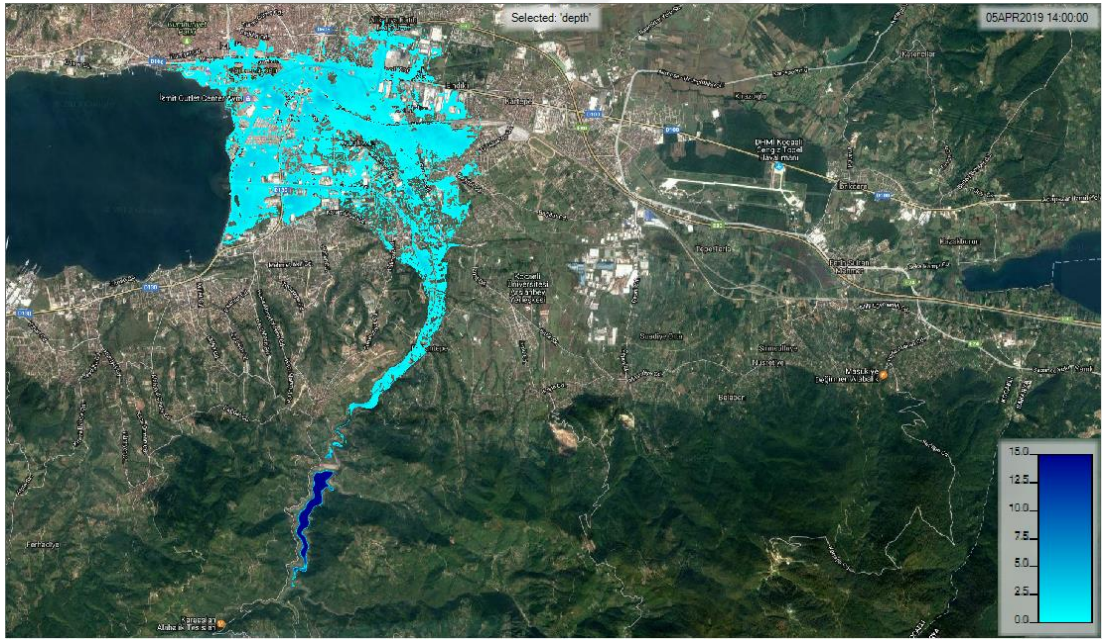


Şekil 7.23. 210'uncu dk. BYT derinlik (m) görünümü

210 dakika itibariyle BYT yayılım alanının belirgin olarak küçüldüğü ve küçülme yönünde hareketine devam ettiği gözlemlenmiştir.

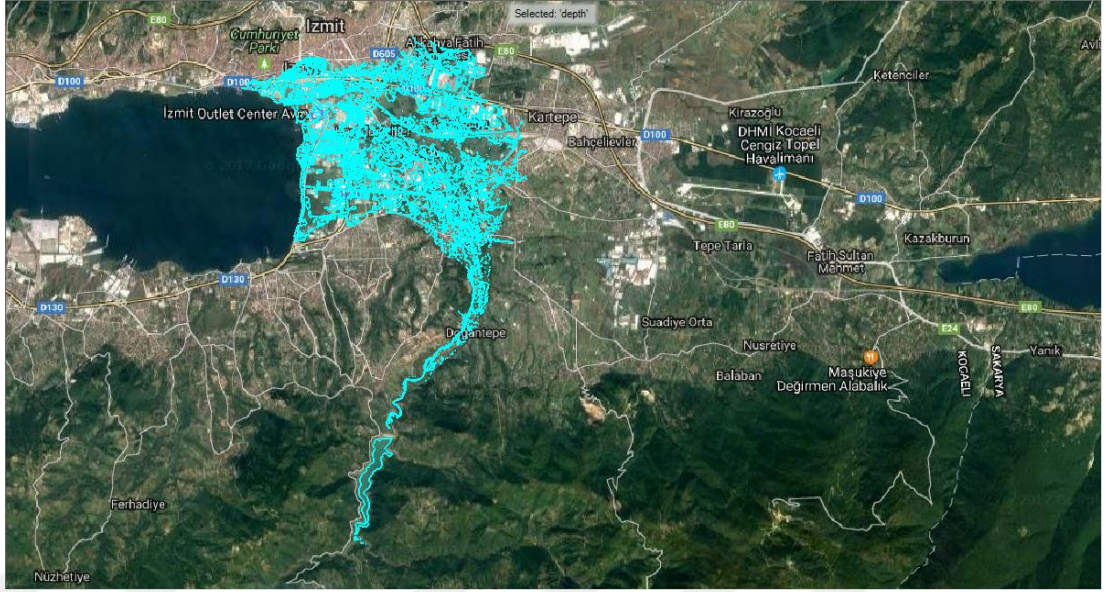


Şekil 7.24. 240'ıncı dk. BYT yayılım alanı 17,971 km²

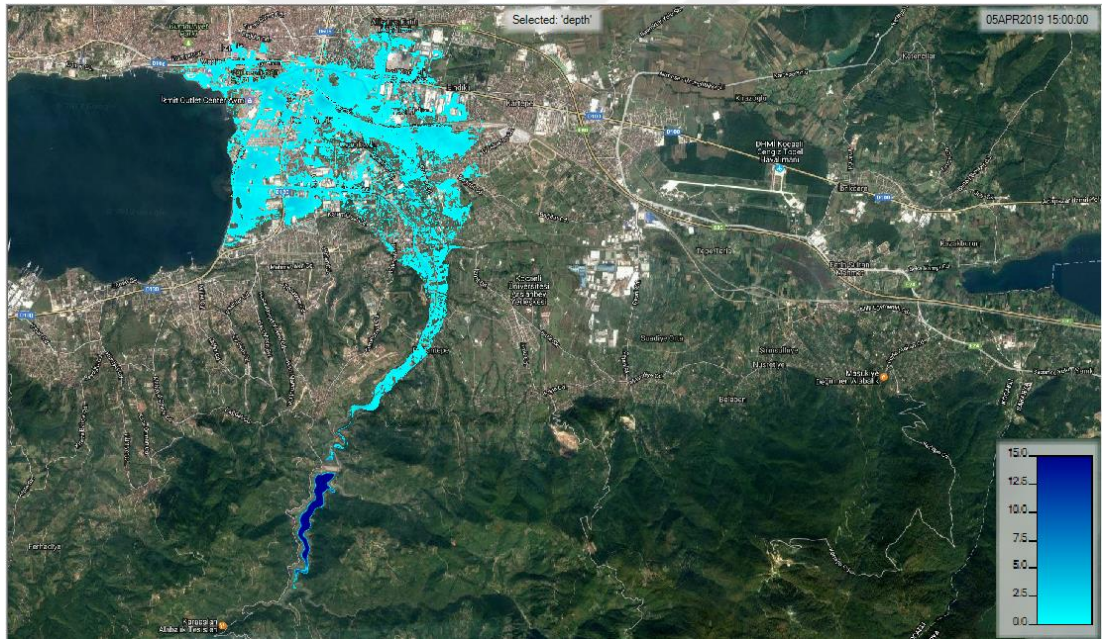


Şekil 7.25. 240'ıncı dk. BYT derinlik (m) görünümü

240'ıncı dakika itibariyle BYT yayılım alanının küçülmeye devam ettiği gözlemlenmiştir.

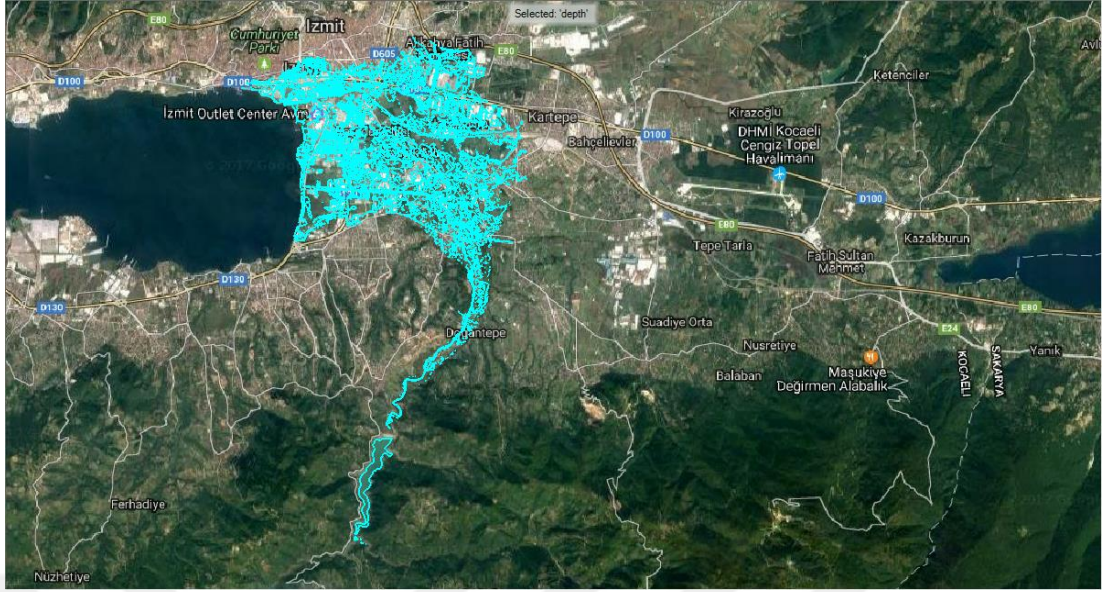


Şekil 7.26. 300'üncü dk. BYT yayılım alanı 15,796 km²

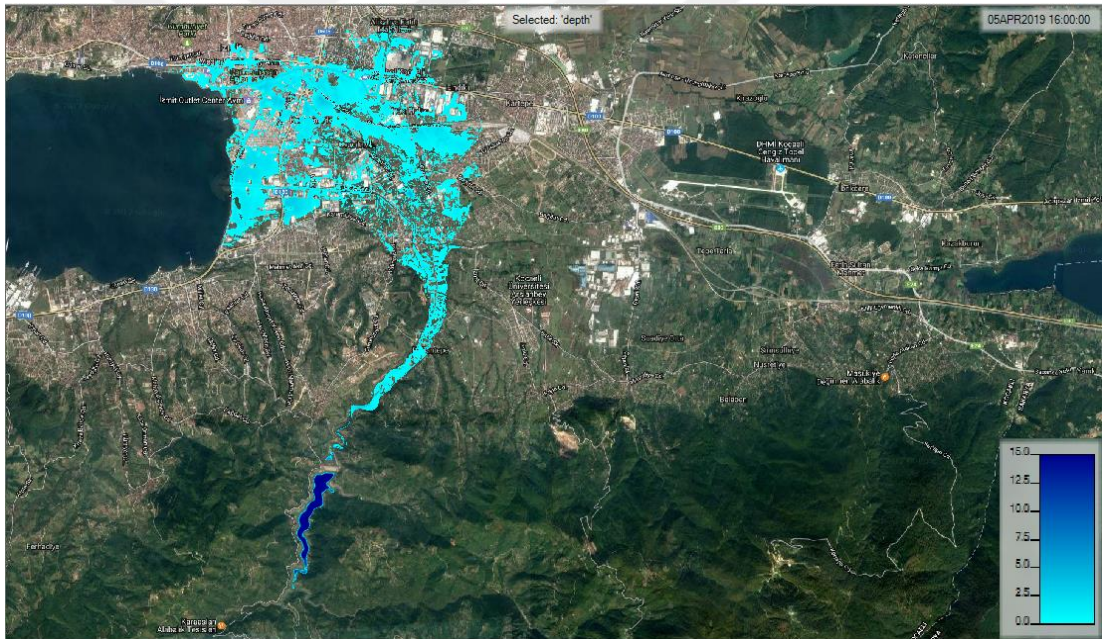


Şekil 7.27. 300'üncü dk. BYT derinlik (m) görünümü

300'üncü dakika itibariyle BYT yayılım alanının küçülmeye devam ettiği gözlemlenmiştir.

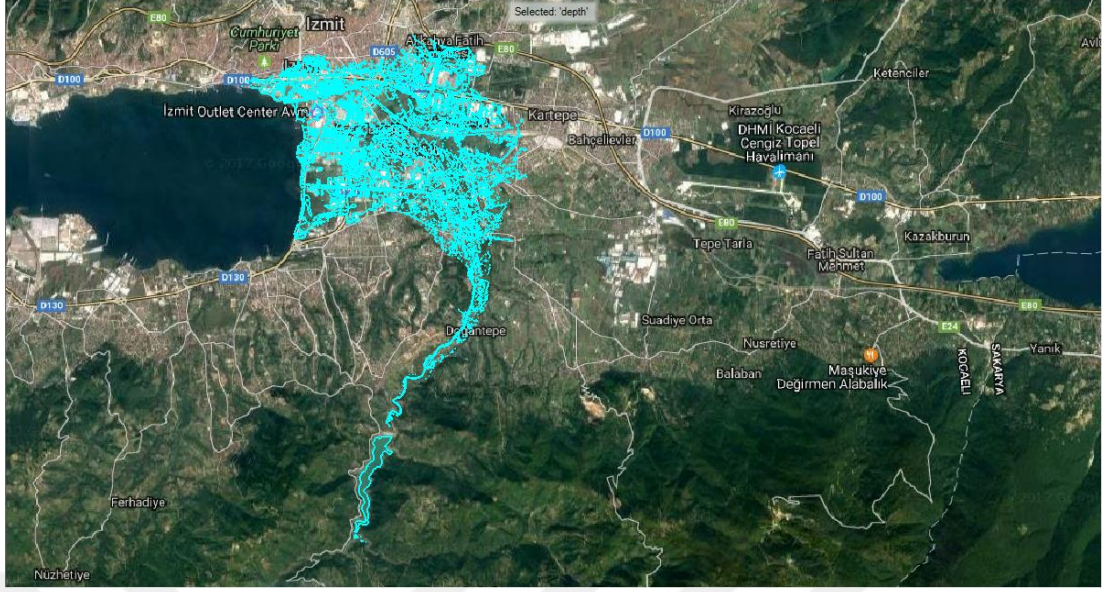


Şekil 7.28. 360'uncü dk. BYT yayılım alanı 14,292 km²

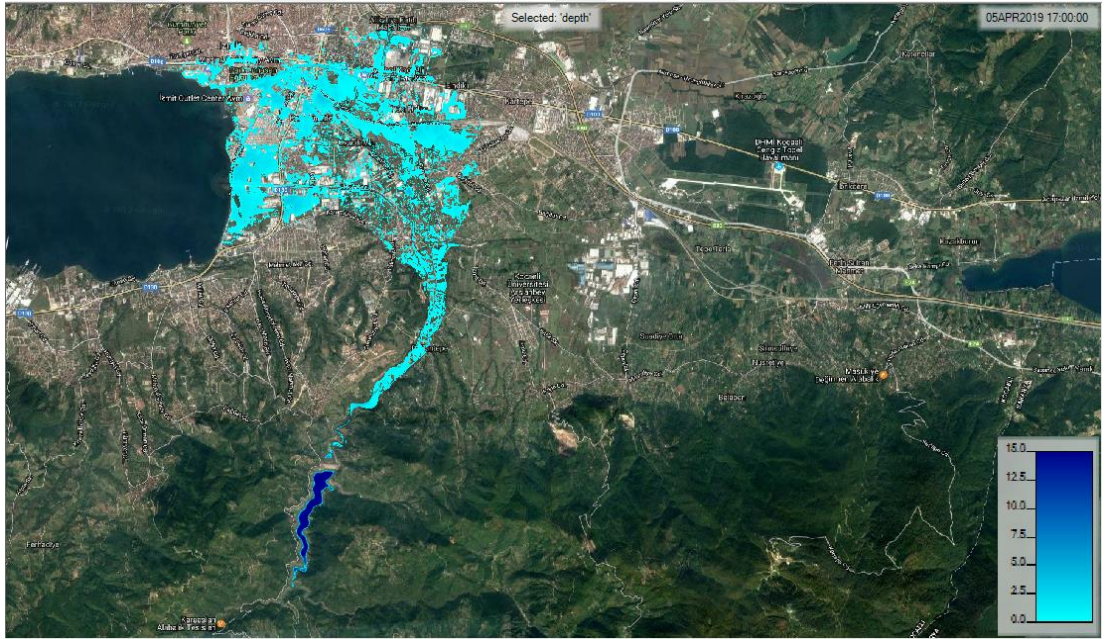


Şekil 7.29. 360'uncü dk. BYT derinlik (m) görünümü

360'uncü dakika itibariyle BYT yayılım alanının küçülmeye devam ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.30. 420'nci dk. BYT yayılım alanı 13,199 km²



Şekil 7.31. 420'nci dk. BYT derinlik (m) görünümü

420'nci dakika itibariyle BYT yayılım alanının küçülmeye devam ettiği gözlemlenmiştir.

Senaryo BYT dalgası, nüfus yoğun bölgeleri gediklenme başlangıcından itibaren 30 dakikada etkilemeye başlayacaktır. Senaryo BYT nedeniyle yüksek miktarda mal kaybının meydana geleceği, bu kayıplara sanayi sektörü üretim kayıpları ve ticari kayıpların da ekleneceği öngörülmektedir. Senaryo BYT sonrasında bölgede ani işsizlik artışı, fert başına düşen gelirden azalma yaşanacak çözümü uzun vadeye yayılacak sosyal sorunlar ortaya çıkacaktır.

Kirazdere Barajında meydana gelmesi muhtemel baraj yıkılmasına karşı alınacak önlemler kapsamında öncelikli olarak erken uyarı sistemi kurulmalıdır. BYT'den etkilenecek bölgelere yönelik olarak ilgili ve görevli kuruluşlarca acil durum tahliye planları ile afet durumu yönetim ve müdahale planları hazırlanmalıdır.

Günümüz teknolojilerinin sağladığı avantajlar kullanılarak tüm mevcut barajlar için BYT risk değerlendirilmesi yapılmalıdır. Baraj planlamalarında BYT risk değerlendirmesinin yapılması yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmelidir. BYT risk seviyesi yüksek barajların risk seviyesini düşürmek için alınması gerekli önlemlerin planlama aşamasında yer alması yönetmeliklerle sağlanmalıdır. Baraj tipi ve kapasite seçiminde BYT risk değerlendirmesi göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Abay, O., Baykan, N.,O., Baykan, N., 2015 Tarih Boyunca Barajların Elden Çıkma Nedenleri, 4. Su Yapıları Sempozyumu 19-20-21 Kasım 2015 Sempozyum Bildiriler Kitabı, Antalya 2015.
- [2] Zhang, L. M., Xu, Y., & Jia, J. S. (2009). Analysis of earth dam failures: A database approach. *Georisk*, 3(3), 184-189.
- [3] Ağırlioğlu, N., Baraj Güvenliği, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş. 2429-147 2011.
- [4] USACE. (2016). HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Version 5.0.
- [5] Wahl, T. L. (1998). Prediction of embankment dam breach parameters: a literature review and needs assessment. U.S Department Of The Interior Bureau Of Reclamation Dam Safety Office DSO-98-004.
- [6] Zagonjoli, M. (2007). Dam break modelling, risk assessment and uncertainty analysis for flood mitigation (Doctoral dissertation, UNESCO-IHE, Institute for Water Education).
- [7] Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS river analysis system 2D modeling user's manual. US Army Corps of Engineers—Hydrologic Engineering Center, 1-171.
- [8] Elçi, Ş., Tayfur, G., Haltaş, İ., Kocaman, B., 2017 Baraj Yıkılması Sonrası İki Boyutlu Taşkın Yayılımının Yerleşim Bölgeleri İçin Modellenmesi İMO Teknik Dergi 2017 7955-7975 Yazı 482.
- [9] Seker, D. Z., Kabdasli, S., & Rudvan, B. (2003). Risk assessment of a dam-break using GIS technology. *Water Science & Technology*, 48(10), 89-95.
- [10] Fan, X., Tang, C. X., Van Westen, C. J., & Alkema, D. (2012). Simulating dam-breach flood scenarios of the Tangjiashan landslide dam induced by the Wenchuan Earthquake. *Natural hazards and earth system sciences*, 12(10), 3031.
- [11] Natale, E. (2009). Dam Break Risk Assessment in Baker Valley (Chilean Patagonia) (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

- [12] Álvarez, M., Puertas, J., Peña, E., & Bermúdez, M. (2017). Two-dimensional dam-break flood analysis in data-scarce regions: The case study of Chipembe dam, Mozambique. *Water*, 9(6), 432.
- [13] Changzhi, L., Hong, W., Zhixue, C., Yongfeng, Y., Zhengfu, R., & Mike, C. (2014). Dam break flood risk assessment for Laiyang City. *Journal of Geological Resource and Engineering*, 4, 189-199.
- [14] <https://earth.google.com/web> Erişim Tarihi: 05.04.2018.
- [15] İzmit-Kirazdere Projesi Planlama Raporu (1983) DSI, Bursa.
- [16] Bakanlığı, Ç., V., O., İzmit Yuvacık Barajı Su Toplama Havzasının Yenilenebilir Doğal Kaynaklarının Su Üretimi (Kalite, Miktar ve Rejim) Amacıyla Planlanması. 2004 İzmit.
- [17] www.tuik.gov.tr Erişim Tarihi: 01.03.2019.
- [18] www.kocaeli.gov.tr Erişim Tarihi: 30.03.2019.
- [19] Kocaeli (2017), T.C. Kocaeli Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Kocaeli İli 2016 Yılı Çevre Durum Raporu, Kocaeli, Türkiye, 2017.
- [20] www.izmitsu.com.tr Erişim Tarihi: 15.02.2019.
- [21] Yuvacık Barajı Batimetri ve Sediman Dağılımı Araştırması (2005), Derinsu Underwater Engineering 2005, Kocaeli.
- [22] Arcement, G. J., & Schneider, V. R. (1989). Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin ALPPAY, 1973 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kırıkkalede'de tamamladı, 1995 yılında İstanbul Teknik Üniversitesinden İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Halen Milli Savunma Bakanlığında inşaat mühendisi olarak görev yapmaktadır.

