



Çokal Barajı (Çanakkale) çökme modeli ve taşkın risk analizi¹

Hasan Özdemir², Cengiz Akbulak³, Hasan Özcan⁴

Özet

Afetlerin oluşmasında önemli etkiye sahip tehlikeler, doğa kaynaklı olabildikleri gibi insan kaynaklı da olabilmektedir. Bunlar genelde birbirinden bağımsız tehlike türleri iken bazen taşkınlar gibi kaynağını hem doğadan hem insandan alan tehlikeler olarak da karşımıza çıkmaktadır. Şüphesiz ki ülkemizdeki ve dünyadaki örneklerin tamamı ortaya koymuştur ki, insan kaynaklı olarak akarsular üzerine inşa edilen yapıların (baraj, set vb.) bir şekilde zarar görmesiyle sonuçları normal taşkınlardan da fazla olmuştur. Bu çalışmada, 16 Kasım 2007'de Kavak Deresi (Çanakkale) üzerindeki Çokal Barajı memba batardosunda meydana gelen çökmenin oluşturduğu taşkına bağlı olarak, günümüz itibarıyla halen yapımına devam edilen Çokal Barajı'nın sahanın tektonik özellikleri de göz önünde tutularak, olası çökmesinin tek boyutlu (1D) hidrolik modellemesi yapılmış ve buna bağlı taşkın risk analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada altlık verileri, 1:25000 ölçekli topografik eşyüksele eğrisi ve saha GPS verileriyle üretilmiş Sayısal Yükselti Modeli (SYM), yüksek ve orta çözünürlüklü uydu görüntüleri, hidrolojik toprak verileri, 30 yıllık yağış ve akım verileri, Kavak Dere üzerindeki yapılara ait teknik özellikler ve arazi ölçümleri oluşturmaktadır. Bütün bu altlık veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Hec-GeoRAS ve HECRAS hidrolik modelleri ve hidrolojik modellerde kullanılmış ve analiz edilmiştir. Sonuç olarak, memba batardosu çökme modeli temelinde oluşturulan Çokal Barajı çökme modeli göstermiştir ki, olası baraj çökmesi sonucunda oluşacak taşkın, Evreşe Ovası ve buradan geçimini sağlayan insanlar için büyük zararlar ortaya çıkartacaktır. Sadece tarım ürünleri üzerindeki genel tahmini kayıplar 12 milyon TL yi bulmaktadır. Böylelikle insanın doğaya yapmış olduğu müdahale sonucunda yine insanın kendisi büyük zararlar görecektir.

Anahtar Kelimeler: Taşkın; baraj çökmesi; taşkın risk analizi; hidrolik modelleme; Çokal Barajı.

¹ Katkı Belirtme: Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimince desteklenmiştir. Proje no: YADOP 4400.

² Yrd. Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, ozdemirh@istanbul.edu.tr

³ Yrd. Doç. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, cakbulak@comu.edu.tr

⁴ Prof. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, hozcan@comu.edu.tr

Çokal Dam-break model and flood risk analysis (Çanakkale)

Abstract

The source of the hazard which is the main factor of disasters can be made by naturally or man. These are generally independent sources, but sometimes reason of one hazard such as flood can be both naturally and man-made. Certainly, all examples in our country and the world show that, the fail of constructed structures on the rivers (e.g. dam, embankment) produce a very large amount of water and damage more than the normal river floods. In this study, based on cofferdam of Çokal Dam breaching which occurred in 16 November 2007 on the Kavak River (Çanakkale), 1D modeling of probable Çokal Dam break take in the account tectonic properties of the area and analyzing of the flood risk have been done. For these purposes, Digital Elevation Model (DEM) gathered contours from 1:25000 scaled topographic maps and GPS points, high and medium resolution satellite images, hydrological soil data gathered from soil maps scaled 1:25000, precipitation and discharge data in 30 years, technical properties of structures on the Kavak River and field measurement have been used as a database. All these data is processed and analyzed using Geographic Information System (GIS), Hec-GeoRAS and HEC-RAS hydraulic models and hydrologic model. Hence, Çokal Dam break modeling based on cofferdam breach modeling reveals that probable flood after the dam-break will affect Evreşe Plain and the people which get livelihood from the plain. General probable lost in agricultural product after probable flood reaches TL 12 million. Thus, as a result of human interventions to the nature will cause great harm to himself again.

Keywords: Flood; dam-break; flood risk analysis; hydraulic model; Çokal Dam.

Giriş

Afetlerin oluşmasında önemli etkiye sahip tehlikeler, doğa kaynaklı olabildikleri gibi insan kaynaklı da olabilmektedir. Bunlar genelde birbirinden bağımsız tehlike türleri iken bazen taşkınlar gibi kaynağını hem doğadan hem insandan alan tehlikeler olarak da karşımıza çıkmaktadır. Barajlar akarsular üzerinde içme suyu sağlama, tarım alanlarını sulama, taşkın kontrolü, elektrik üretme, endüstri suyu sağlama, su kalitesinin arttırılması, rekreasyonel faaliyetler, akarsu ve iç su yolu ulaşımı, akarsu deltalarında tuzluluğun giderilmesi, katı maddenin tutulması ve kontrolü, balıkçılığın geliştirilmesi ve korunması gibi değişik amaçlarla inşa edilirler. Dünya genelinde, bu amaçlarla yapılmış baraj sayısı bakımından en fazla olan ülkelerin başında Çin, ABD, Hindistan, Japonya ve İspanya gelmektedir. Ülkemiz ise Brezilya, Fransa, İtalya ve İngiltere ile birlikte baraj sayısı 500-600 arası değişen ülkeler arasında yer almaktadır (Ağralıoğlu, 2007a). 2006 verilerine göre ülkemizde inşa edilmiş toplam baraj sayısı 591 olup, 188 tanesi de yapım aşamasındadır (Dinçergök, 2009).

Barajlar, inşaa edildikleri alanlar için birçok ekonomik fayda sağlarken, yıkılmalarıyla da o derece ekonomik zararların oluşmasına neden olurlar. Özellikle baraj gövdesi arkasında birikmiş olan su hacminin fazla olduğu alanlarda baraj gövdesindeki ani yıkılmayla, normal taşkınlardan çok daha fazla derecede etkiye sahip taşkınlar meydana getirirler. Barajların yıkılmasına neden olan faktörleri; depremler, sızmalar, fazla yağışlara bağlı olarak gövde üzerinden aşmalar, baraj yapısında bozulma, şev kaymaları, kötü inşaa teknikleri ve sabotaj olarak sıralayabiliriz (Rico vd., 2008a; Rico vd. 2008b). Dünya üzerinde meydana gelmiş baraj yıkılmalarının %38'i dolu savak kapasitesi yetersiz olduğu için suyun baraj üzerinden aşması nedeniyle yada dolu savağın şiddetli yağışlarla gelen aşırı su karşısında yıkılmasıyla, %33'ü baraj gövdesinde oluşan borulanma yada sızmadan ve %23'lük bir kısmı da şev kaymaları, deprem kaynaklı zemin sıvılaşması yada rezervuarlardaki toprak kaymaları gibi nedenlerden dolayı gerçekleşmiştir (ICOLD, 1973; Fread, 1991). Barajların yıkılma şekilleri ve bunların ortaya çıkaracağı maksimum akımlar için birçok araştırmacı, gövde ana malzemesi farklılığını dikkate alarak rezervuar hacmi, suyun derinliği, gediklenme yüksekliği, barajın yüksekliği veya bunlardan bazılarının ortak değerlendirilmesiyle, meydana gelmiş baraj yıkılmalarında gözlenen maksimum akımlar arasında regresyon ilişkisine bağlı metotlar geliştirmiştir (Kirkpatrick, 1977; SCS, 1981; Hagen, 1982; USBR, 1982; 1988; Sing ve Snorrason, 1984; MacDonald ve Landridge-Monopolis, 1984; Costa, 1985; Evans, 1986; Von

Thun ve Gillette, 1990; Froehlich, 1995a,b). Bu parametreler barajdan baraja değişebileceği gibi, aynı baraj içerisinde de farklı zamanlarda farklılıklar gösterebilir. Bundan dolayı, değişken olan bu parametreler için ampirik formüller üretilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1: Değişik araştırmacılar tarafından geliştirilen formüller.

Parametre	Metot	Formül
Ortalama Gediklenme Genişliği (\bar{B})	USBR (1988)	$\bar{B} = 3 (h_w)$
	Mc Donald ve Landgridge-Monopolis (1984)	$V_{er} = 0.026 (V_w * h_w)^{0.769}$ (Toprak Dolgu) $V_{er} = 0.00348 (V_w * h_w)^{0.852}$ (Kaya dolgu, vb.)
	Von Thun ve Gillette (1990)	$\bar{B} = 2.5h_w + C_b$
	Froehlich (1995b)	$\bar{B} = 0.1803 K_o V_w^{0.32} h_b^{0.19}$
Çökme Zamanı (t_f)	USBR (1988)	$t_f = 0.011 (\bar{B})$
	Mc Donald ve Landgridge-Monopolis (1984)	$t_f = 0.0179 (V_{er})^{0.364}$
	Von Thun ve Gillette (1990)	$t_f = 0.015 (h_w)$ (aşınımı yüksek) $t_f = 0.0179 (h_w) + 0.25$ (erozyona dayanıklı)
	Von Thun ve Gillette (1990)	$t_f = \bar{B}/(4h_w + 61)$ (aşınımı yüksek) $t_f = \bar{B}/(4h_w)$ (erozyona dayanıklı)
	Froehlich (1995b)	$t_f = 0.00254 (V_w)^{0.53} h_b^{-0.9}$
Maksimum Akım Hesaplaması (Q_p)	Kirkpatrick (1977)	$Q_p = 1.268(h_w + 0.3)^{2.5}$
	SCS (1981)	$Q_p = 16.6(h_w)^{1.85}$
	Hagen (1982)	$Q_p = 0.54(S * h_d)^{0.5}$
	USBR (1982)	$Q_p = 19.1(h_w)^{1.85}$
	Singh ve Snorrason (1984)	$Q_p = 13.4(h_d)^{1.89}$ $Q_p = 1.776(S)^{0.47}$
	MacDonald ve Langridge-Monopolis (1984)	$Q_p = 1.154(V_w * h_w)^{0.412}$ $Q_p = 3.85(V_w * h_w)^{0.411}$
	Costa (1985)	$Q_p = 1.122(S)^{0.57}$ $Q_p = 0.981(S * h_d)^{0.42}$ $Q_p = 2.634(S * h_d)^{0.44}$
	Evans (1986)	$Q_p = 0.72(V_w)^{0.53}$
	Froehlich (1995a)	$Q_p = 0.607(V_w^{0.295} * h_w^{1.24})$

Tablo 1 deki formüllerde yeralan sembollere ait açıklamalar;

\bar{B} = Ortalama gediklenme genişliği, metre

h_w = Gediklenme üstündeki su derinliği, metre

V_w = Gediklenme üstündeki su hacmi, m^3

V_{er} = Gövdede erozyona uğramış materyal hacmi, m^3

h_b = Gediklenme yüksekliği, metre

h_d = Baraj yüksekliği, metre

S = Rezervuar hacmi, m^3

t_f = Çökme zamanı, saat

Q_p = Gedikteki maksimum akım, m^3/s

K_o = Froehlich gediklenme genişliği formülündeki çarpan, aşma türü için 1.4, borunlanma için 1.0

C_b = Rezervuar genişliğine bağlı olarak belirlenmiş değer (Tablo 2), metre

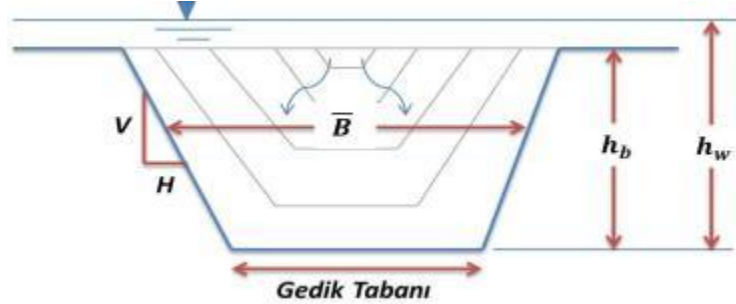
Tablo 2: Rezervuar büyüklüğüne bağlı değişen C_b değerleri (Wahl, 1998).

Rezervuar büyüklüğü (m^3)	C_b (m)	Rezervuar büyüklüğü (m^3)	C_b (m)
$< 1.23*10^6$	6.1	$6.17*10^6 - 1.23*10^7$	42.7
$1.23*10^6 - 6.17*10^6$	18.3	$> 1.23*10^7$	54.9

Üretilen bu formüller genel olarak 13 – 63 arasında değişen sayıdaki gerçek baraj yıkılmaları göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Örneğin bunlardan Kirkpatrick (1977) 13 toprak setten oluşan baraj çökmesi ve buna ilaveten 6 hayali baraj yıkılmasını kullanarak, yıkılma anında ortaya çıkan maksimum akımı baraj arkasındaki biriken suyun yüksekliğine bağlı olarak hesaplamış ve en iyi uyumu bulmuştur. Soil Conservation Service (SCS) (1981), Kirkpatrick'ın 13 baraj çökmesini kullanarak çökme anındaki maksimum akım ile su derinliğini ilişkilendirerek formül üretmiştir. MacDonald ve Landridge-Monopolis (1984) 42 baraj yıkılması örneği verisine bağlı olarak (barajlar, toprak dolgu ve kaya dolgudan oluşmuştur) gediklenme şekil faktörünü ortaya koymuştur. Gediklenme şekil faktörü için, baraj gerisinde toplanan ve gedikten akan suyun hacmini ve baraj üzerindeki suyun yüksekliğini kullanmıştır. Sonrada bunu baraj gövdesinden kopartılan materyalin hacmiyle ilişkilendirmiştir. Çalışmalarında gediklenme şeklini de 0.5H:1V şeklinde trapezoidal olarak ele almışlardır. Von Thun ve Gillette (1990) ise 57 baraj yıkılmasını kullanarak formül geliştirmiştir. Gediklenme yamaç eğimini 1 H: 1V şeklinde almışlardır. Kohesiv toprağa sahip barajlarda ise bu değerler farklılık göstermektedir. Froehlich (1995a, 1995b) ise 63 toprak ve kaya dolgulu baraj için ortalama gediklenme genişliği, çökme zamanı, maksimum akım hesaplaması gibi parametrelere ait formüller geliştirmiştir. Bunlarda gediklenme barajın en tepesinde zemine kadar gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Baraj yıkılmalarına bağlı olarak ortaya çıkan akımların potansiyel etki alanlarının haritalanabilmesi için hidrolojik senaryo, olası baraj çökmesi ve buna bağlı gediklenme parametreleri, akım hidrografına bağlı olarak suyun yayılışı ve haritalanması gibi elementlere ihtiyaç vardır. HEC-RAS, gediklenmeye bağlı olarak (baraj üstünden aşma ve/ya borunlanma tipi) oluşan baraj çökmelerinin simülasyonu için uygun olanaklar sunmaktadır (HEC, 2008). HEC-RAS veya buna benzer NWS-DAMBRK (Fread, 1991), NWS-FLDWAV (Fread, 2000) ve diğer modelleme yazılımlarında, meydana gelmiş veya olması muhtemel gediklenme parametreleri (Şekil 1) model dışında belirlenir. Baraj gediklenme büyüklüğü ve gediklenmenin gelişim zamanı için kabul edilebilir değerlere ihtiyaç vardır. Çünkü, bu

değerleri kullanarak, akım hidrografının üretilmesi, buna bağlı olarak taşkın yayılım alanı, ulaşım zamanı, su hızı gibi özelliklerin belirlenmesi gerçekleştirilir.



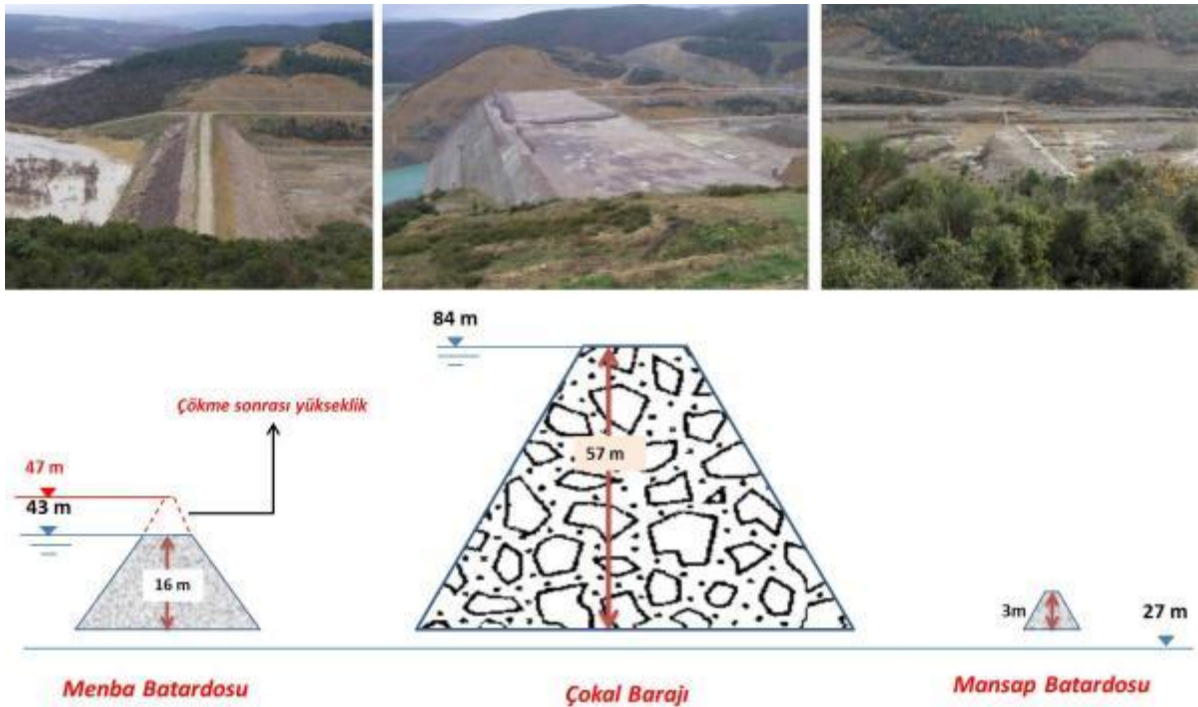
Şekil 1: Modellemlerde kullanılan gediklenme parametreleri.

Risk analizi; riski oluşturan faktörlere ait sonuçların ve meydana gelme olasılıklarının değerlendirilmesini içerir. Akarsular üzerinde fazla yağışlara bağlı olarak taşkınların meydana gelmesi doğal bir süreç olarak karşımıza çıkarken, akarsu taşkın yatakları üzerinde yerleşme, sanayi ve tarımsal faaliyetlerin olması ve bunların taşkın tehlikesi altında olması risk unsurunun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Barajlar için ise, taşkın tehlikesi olmayan alanlar, büyük barajların inşaa edilmesi, barajlardaki bazı hesaplama yanlışlıkları, beklenmedik uzun ve yoğun süren yağışlar ve/ya sahanın depremselliği gibi değişik nedenlere bağlı olarak baraj gövdesinin zarar görmesiyle ortaya çıkan maksimum düzeydeki akımlarla bütün alt havzalardaki alanlar risk altında kalabilmektedir. Bu nedenle, baraj inşaa edilen akarsular üzerinde, değişik senaryolarla oluşabilecek taşkınlar ve etkileri üzerine çalışılmalı ve risk yönetimi oluşturulmalıdır. Bu kapsamda risk analizi, risk yönetimi kavramı içinde yer alan en önemli öge olup risk yönetiminin temelini oluşturmaktadır. Risk analizleri iki ana başlıktan oluşur. Bunlar doğal faktörlerin analizi ve beşeri faktörlerin analizidir. Doğal faktörlerde, alan için tehlike unsurları olan doğal olayların büyüklük, sıklık ve değişik senaryoları gerçekleştirilir. Beşeri faktörlerde ise risk altındaki unsurlar ve bunların zarar görübilirlikleri incelenir. Bu iki alt başlığın birlikte değerlendirilmesiyle de risk analizleri gerçekleştirilir (Özdemir, 2007a). Risk analizi çalışmaları, yapıldığı dönemin özelliklerini yansıtır ve değişen yer ve sosyal sistemlere bağlı olarak tekrarlanmalıdır.

Bu çalışmanın amacı, 16 Kasım 2007'de meydana gelen Çokal Barajı'nın menba batardosu çökme modeli temeline bağlı olarak, olası Çokal Barajı çökmesine ait 1 boyutlu (1D)

itibariyle bu yapıların kapasiteleri, beton barajlar için 25 veya 50 yıllık, dolgu barajlar için 100 yıllık taşkın debileri esas alınır (Pataki ve Cahill, 1989; Ağırlioğlu, 2007b). Buna bağlı olarak da derivasyon tüneli boyutları belirlenir. En nihayetinde değişen iklim özelliklerine bağlı olarak yapım için belirlenen bu maksimum taşkın debilerinden fazla suyun gelmesi durumunda, batardodan suyun taşması ve batardoyu aşındırarak yıkması beklenen bir sonuçtur. Böylelikle, batardo olmaması durumunda taşkın süresi ve yayılış alanı daha sınırlı olabileceken, batardo bir baraj görevi yaparak fazla miktarda suyun aniden boşalmasına neden olur, taşkın boyutunu dolayısıyla zararın boyutunu artırır. Ülkemizde Atikhisar, Alakır, Kartalkaya ve diğer bazı barajlar yapılırken bu tür problemlerle karşılaşmıştır (Ağırlioğlu, 2007b).

Çokal Barajı yapımı için inşa edilen menba batardosunun yüksekliği 16 metre olup talveg hattından itibaren 43 m yüksekliğine kadarki seviyede maksimum su tutma kapasitesine sahiptir (Şekil 3). 16 Kasım 2007 tarihinde bölgede meydana gelen aşırı ve sağnak yağışlara bağlı olarak oluşan akım için batardo yüksekliği yetersiz kalmış, sular üzerinden aşarak batardonun tahrip olmasına neden olmuştur. Batardo gerisinde biriken 12.30 hm³ (10 m grid tabanlı raster veriden hesaplanmıştır) su tamamen Kavak-Evreşe ovasına akmıştır (Foto 1).



Şekil 3: Menba, Çokal Barajı ve mansap batardoları şematik ve gerçek görünümü.



Foto 1: 16 -17 Kasım 2007 tarihli menba batardosundaki çökme.

Menba batardosunun yıkılmasıyla ortaya çıkan büyük miktarda su, Kavak-Evreşe ovasında geniş alanlara yayılmış, can kaybı olmazken bir çok tarım alanı ve bazı yerleşmeler zarar görmüştür. Bu tarihten sonra menba batardosu tekrar inşaa edilmiş, seviyesi ise 43 m den 47 metreye çıkartılmıştır (Şekil 3).

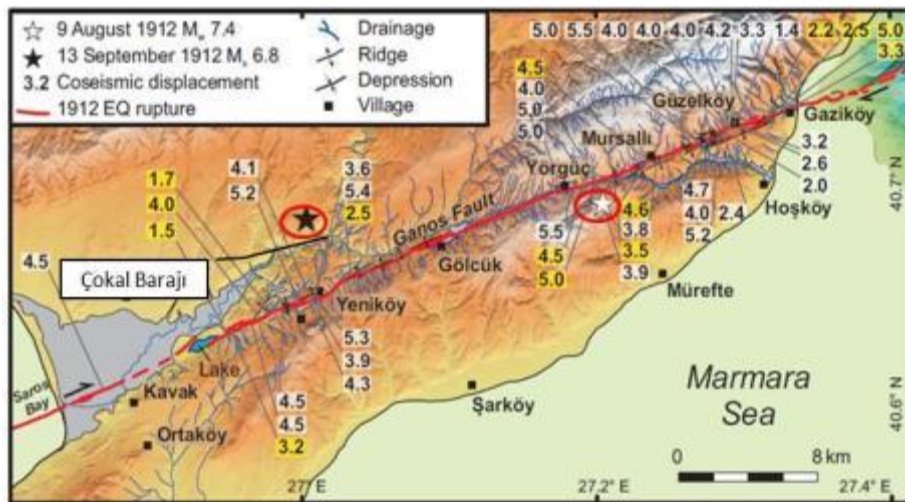
Bölgenin ihtiyacı olan sulama ve içme suyu temini için 1996'da yapımına başlanmış olan Çokal Barajı, 567.67 km²'lik bir su toplama havzasına sahiptir. Talvegten yüksekliği 57 m olarak planlanan baraj gövdesinin dolgu tipi ön yüzü beton kaplı kaya dolgudur. 2013 yılı itibariyle tamamlanması hedeflenen Çokal Barajı ile 8770 ha alanın sulaması yapılması planlanmış ve yılda 13.56 hm³ içme suyu üretimi hedeflenmiştir (<http://www.dsi.gov.tr>) (Tablo 3, Şekil 3).

Tablo 3: Çokal Barajı ile ilgili genel bilgiler.

Barajın Adı	Çokal Barajı
Akarsuyu	Kavak Çayı (Koca Dere)
Amacı	Sulama + İçme suyu
İnşaatın başlama ve bitiş yılı	1996 – 2013
Göve dolgu tipi	Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu
Gövde hacmi	2.98 hm ³
Yükseklik (Talvegden)	57.00 m
Yükseklik (Temelden)	80.50 m
Kret Genişliği	8 m
Dolusavak Kapasitesi	1500 m ³ /s
Normal su kotundaki (80 m.) göl hacmi	204.00 hm ³
Normal su kotundaki (80 m.) göl alanı	8.96 km ²
Sulama alanı + İçme suyu	8770 – 13.56 hm ³ /yıl

Kavak Dere havzası genel jeolojik özellikler olarak, Kretase-Kuaterner arası birimlerin yayılış gösterdiği bir saha özelliği taşır. Havzanın güney sınırında Kuzey Anadolu Fay'ının (KAF) batı uzantılarından birisi olan Ganos Fayı bulunmaktadır. Bu fay havzanın güney sınırının oluşmasında ve şekillenmesinde önemlidir. Saroz Körfezi ve çevresinde Orta Eosen'den günümüze havza gelişimi belirli aşamalarla gerçekleşmiştir. Bunlar; Orta Eosen-Pliosen Trakya havzasının oluşumu, Orta Miosen-Pliosen Enez havzasının oluşumu ve Pliosen son-günümüz ise Saroz havzası oluşumudur (Tüysüz vd., 1998).

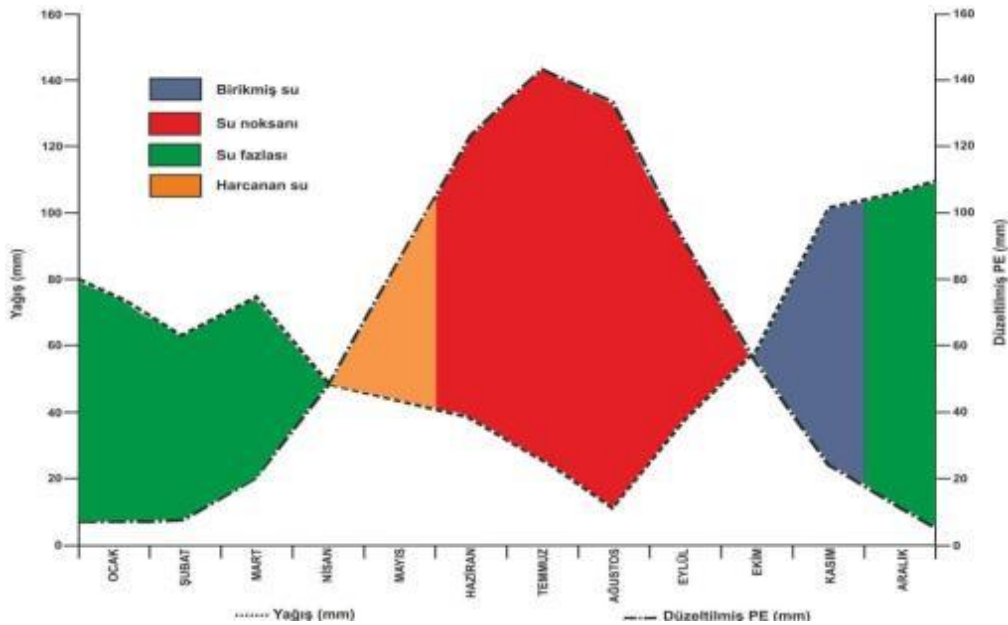
Sahanın sahip olduğu tektonik aktiviteye bağlı olarak meydana gelmiş depremler ve bunların yüzeyde meydana getirdiği deformasyon değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Sahada 9 Ağustos 1912 yılında Mürefte yakınlarında meydana gelen depremde (M_w : 7.3) arazi üzerinde büyük deformasyonlar ve heyelanlar meydana gelmiştir. Bu yüzeysel hareketlilik özellikle baraj bölgesinde 3-5 metre arasında değişmektedir ki bu da oldukça büyük bir orandır. 13 Eylül 1912 de meydana gelen depremde ise (M_w : 6.8) Gelibolu yarımadası ve Ganos bölgesinde yeni heyelanlar, Saroz bölgesinde de büyük oranda sıvılaşmalar meydana gelmiştir (Hecker, 1920; Ambrasey ve Finkel, 1987; Aksoy vd., 2010). Ündül (2001) yapmış olduğu çalışmada, sahada $M_w > 6$ depremlerin tekrarlama periyodunu 18 yıl olarak bulmuştur. Yapı ömrü 50 yıl olan bir barajın büyüklüğü 6 olan depreme maruz kalma olasılığını ise % 92 olarak vermiştir. Yine bu çalışmada, baraj bölgesinde sismik aktivitenin fazla olduğu, baraj gövdesinin oturacağı alanda sıvılaşma zonlarının bulunduğunu, dolayısıyla baraj yapımının durdurulması gerektiğini vurgulanmıştır.



Şekil 4: Ganos Fayı'nın karadaki uzantısı ve 1912 depremlerinde meydana gelen yüzeysel değişimler (metre) (Aksoy vd. 2010'dan değiştirilerek).

Sahanın iklimi Malkara meteoroloji istasyonu'nun 1980-2009 yılları arasındaki 30 yıllık ölçüm değerlerine bağlı olarak, ekstrem değerlerden ortalama sıcaklık değerleri 3.5 °C (Ocak) ile 23.3 °C (Temmuz) arasında, minimum sıcaklık değerleri -14.4 °C (Şubat) ile 10 °C (Temmuz) değerleri arasında, maksimum sıcaklık değerleri ise 18.7 °C (Ocak) ile 40.5 °C (Temmuz) arasında değişmektedir. Sahadaki toplam yağış ortalamaları en düşük 2.5 mm ile Ağustos ayında en fazla ise 106.3 mm ile Aralık ayındadır. Maksimum yağış değerleri de 33.8 mm ile Ağustos ayı 115.1 mm ile Aralık ayıdır.

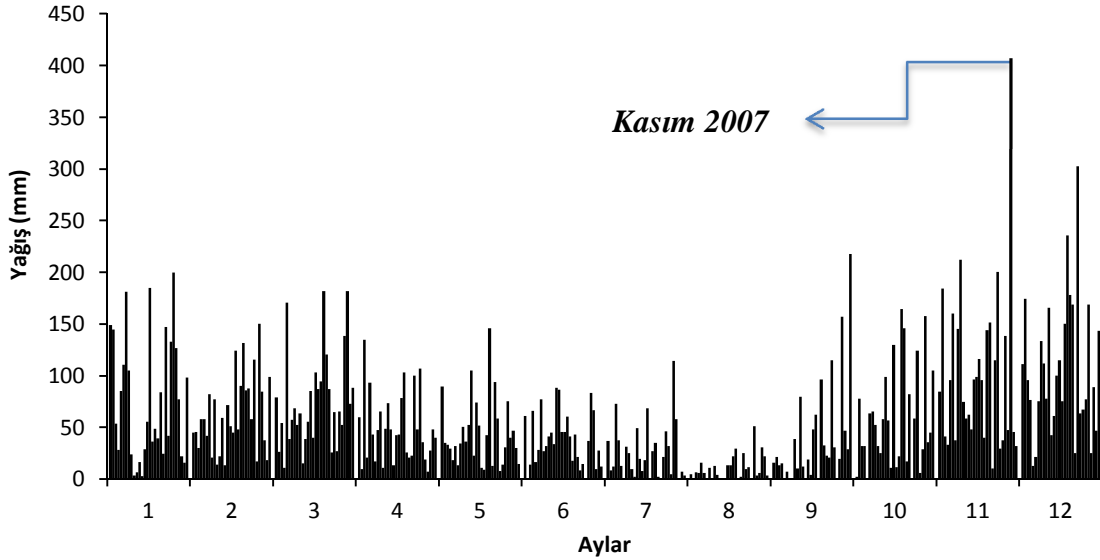
Malkara meteoroloji istasyonunun yağış ve düzeltilmiş PE (potansiyel evapotranspirasyon) değerlerini kullanarak oluşturulan su bilançosu diyagramına göre, su fazlası ayların yağışın evapotranspirasyondan fazla olması nedeniyle Aralık-Nisan arasında olduğu, bunun tam tersi olarak su noksanı ayların ise evapotranspirasyonun yağıştan fazla olduğu Haziran-Ekim ayları arasında olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu iki ekstrem değerler arasında Ekim ortalarından Kasım sonuna kadar, yaz döneminde su noksanı olan toprakta suyun birikmeye başlaması, Nisan ortalarından Mayıs sonuna kadar ise kış döneminde topraktaki su fazlasının harçlanması söz konusu olmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5: Thornthwaite göre Malkara su bilançosu.

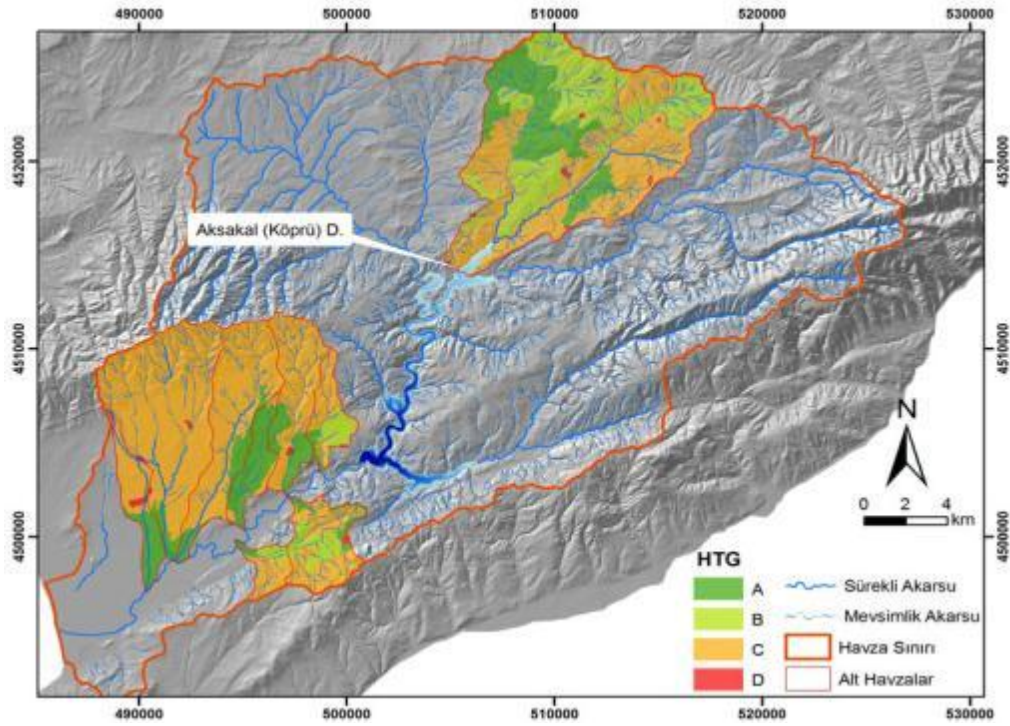
Yağışın aylar arasındaki 30 yıllık dağılımına bakıldığında Kasım-Aralık ayının diğer aylara nispetle daha fazla yağışa sahip olduğu, söz konusu olan batardo yıkılmasının meydana

geldiği 2007'nin Kasım ayının, son 30 yılın toplamda en fazla yağış alan ayı olduğu (406.4 mm) ortaya çıkmaktadır. Ağustos ayı ise minimum yağış değerlerine sahiptir (Şekil 6).



Şekil 6: Malkara istasyonu 1980-2009 yılları arası aylık toplam yağış değerleri grafiği.

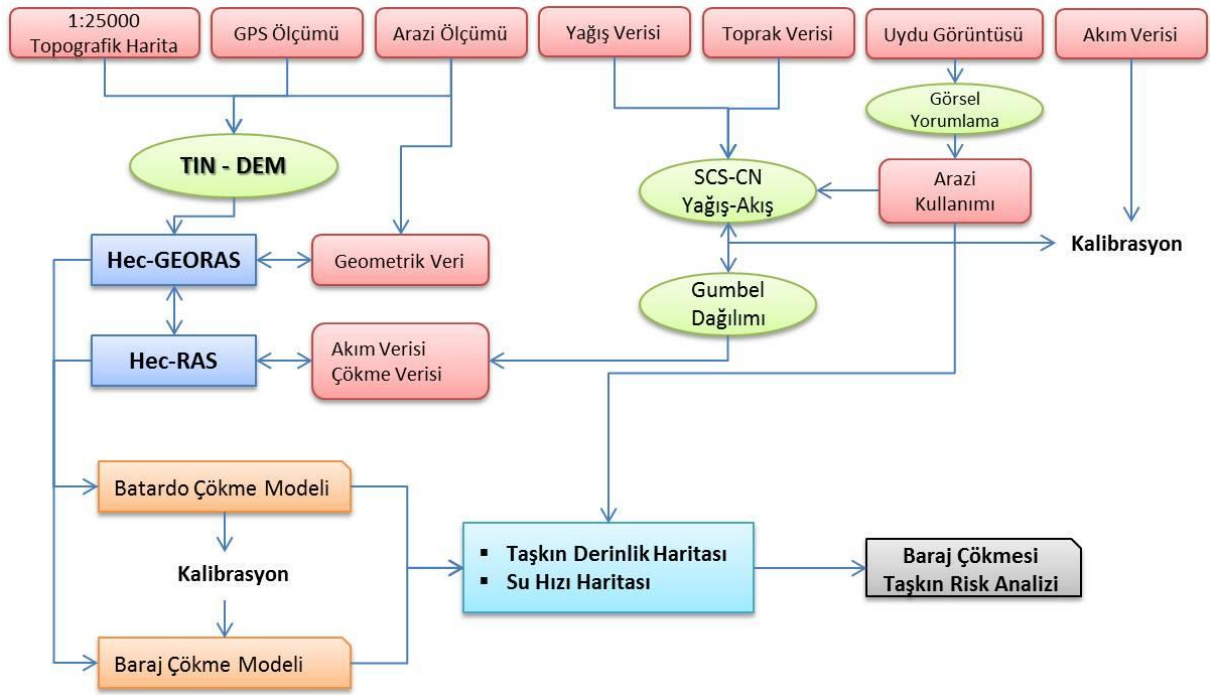
Sahanın özellikle yağış-akışların hesaplanması açısından baraj sonrası alt havzaların toprak türleri, kahverengi orman toprakları (M), kireçsiz kahverengi orman toprakları (N), kireçsiz kahverengi topraklar (U) ve alüvyon topraklardan (A) oluşmaktadır. Bu toprak türlerinin Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan eğim, derinlik, bünye özelliklerine bağlı olarak hidrolojik analizde ve alt havzalara ait yağış akış modellemelerinde kullanılmak üzere, hidrolojik toprak grupları (HTG) çıkartılmıştır (Şekil 7). A, B, C ve D gruplarından oluşan HTG, arazi örtüsünden bağımsız, hidrolojik içeriklerine bağlı olarak oluşturulmuştur (USDA, 1985; Wanielista vd., 1997). Burada A grubu topraklar nemli olsalar bile kum veya çakıl içeriklerinden dolayı yüksek derecede geçirgen ve dolayısıyla düşük akım potansiyeline sahiptir. D grubu topraklar çok düşük geçirgenlik özelliklerine sahiptir. Yüksek kil içeriğine sahip bu topraklar yüzeydeki kil tabakasından dolayı su iletkenliği çok yavaştır ve dolayısıyla akım potansiyeli yüksektir. Bu iki değer arasındaki B ve C gruplarından B, A grubuna ve C de D grubuna yakın özellikler gösteren ara değerlerdir. Sahada özellikle baraj sonrası havzalarda C grubu topraklar daha fazla yayılım göstermektedir. Baraj havzasındaki Aksakal Dere havzasına ait HTG verisi de yağış-akış model kalibrasyonu için kullanılmıştır.



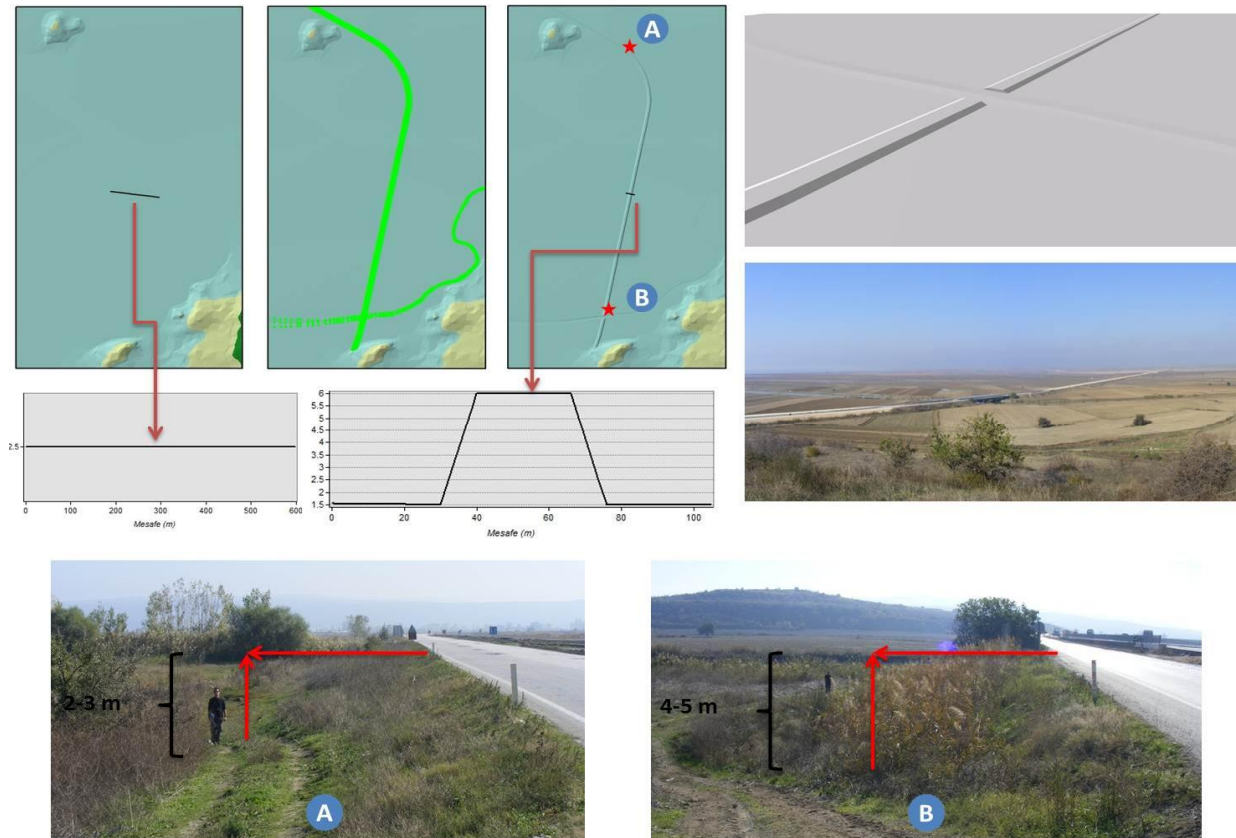
Şekil 7: Havza içinde değerlendirmeye alınan alt havzalar ve HTG dağılışı.

Veri ve Yöntem

Çalışmada veri kaynakları olarak, 1:25000 ölçekli topografya haritaları, 1:25000 ölçekli toprak haritaları, Ikonos uydu görüntüleri (2007), Malkara Meteoroloji İstasyonu verileri (1980-2009), Işıklar (Emirali) 2-32 nolu AGİ verileri (1980-2004), GPS verileri, Çokal Barajı verileri, batardo çökme ve suyun yayılış görüntüleri ve arazi ölçüm verileri kullanılmıştır. Bu veri kaynakları kullanılarak oluşturulan çalışmanın genel akış grafiği Şekil 8’de gösterilmiştir. Hidrolik modellemede önemli olan sayısal arazi modeli için topografik haritalardan elde edilen vadi tabanında 2.5 m, yüksek alanlarda 10 m’lik eşyüksele eğrileri ve arazide yapılan GPS ve arazi ölçümleriyle toplanan noktasal verilerin birlikte değerlendirildiği TIN (Triangular Irregular Network) ve DEM (Digital Elevation Model) verisi üretilmiştir. Böylece Evreşe Ovası’nı kateden karayolunun yükseltisi mevcut TIN verisi üzerine eklenmiştir (Şekil 9). Karayoluna ait platformun yüksekliği Kavak Dere yakınında 4-5 m arasındaki değişirken kuzey kısmına doğru bu değer azalmakta 2-3 m arasına düşmektedir. Topografyada 2.5 m olarak gözükken yükseltiye platform yükseklikleri de ilave edilerek yeni TIN modeli üretilmiştir (Şekil 9).



Şekil 8: Çalışmanın genel akış şeması.



Şekil 9: TIN verisinin hidrolik model için modifiye edilmesi.

Çokal Barajı menba batardosuna ait çökme ve olası baraj çökmesi modeli için, batardo ve baraj gövdesi tepe kotlarına ait (batardo için 43 m, baraj için 84 m) DEM verisi kullanılarak, olası gövde gerisinden birikebilecek su miktarları (m^3) hesaplanmıştır. Ortaya çıkan su hacimlerine batardo ve baraja ait teknik özellikler de eklenerek Tablo 2'deki ampirik formüllerden parametresi birden fazla olan formüller uygulanmıştır. Batardo ve baraj suyunun gövde üstünden aşmasıyla oluşacak gediklenmeye ait maksimum akım (Q_p) ve çökme zamanı (t_f) hesaplanmıştır. Burada olası baraj çökmesine ait modelin oluşturulması, batardo çökme modelinin kalibrasyon sonuçlarına göre gerçekleştirilmiştir. Bunun için batardo çökme modelinde hem düzenli hem düzensiz akım modelleri kullanılmıştır. Düzenli akım modelinde düzensizden farklı olarak, baraj sonrasındaki alt havzaların akım verileri modele dahil edilmiştir. Baraj sonrası Kavak Dere'sine katılan alt kolların akım verileri, akarsular üzerinde AGİ olmamasından dolayı SCS-CN (Soil Conservation Service- Curve Number) yağış-akış modeli uygulanarak hesaplanmıştır. SCS-CN modeli, dünya genelinde küçük alt havzaların yağış-akış modellerinde kullanılan yaygın bir modeldir (Beven, 2001; Das ve Paul, 2006; Özdemir, 2007b). Ampirik olarak üretilen maksimum akım verilerine Gumbel dağılımı uygulanmış ve alt havzaların 200 yıllık taşkın tekraralama sıklıklarına ait akımları modele eklenmiştir.

Hidrolik modelleme için gerekli olan Kavak Dere yatağı geometrik verileri Hec-GeoRAS yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmış ve yatak üzerindeki akarsu, kıyı çizgisi, akış yolları, enkesitler, yatak içi enine yapıların (köprüler, batardo ve baraj) veri girişleri gerçekleştirilmiştir. HEC-RAS hidrolik yazılıma aktarılan altlık geometrik verilerin ek düzenleme ve veri girişleri tamamlanmış ve akarsuya ait sınır özellikleri (akım verileri) girilmiştir. 1 Boyutlu (1D) Saint Venant formülü baz alınarak düzenli (steady) ve düzensiz (unsteady) açık kanal akımlarına bağlı olarak model çalıştırılmıştır. 1D Saint Venant formülünde Süreklilik için;

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

Momentüm için;

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

formülleri kullanılmaktadır (USACE, 2010; Dutta vd., 2006). Formüllerde yer alan t zaman, x suyun boyuna uzunluğu, A enkesit alanı, Q enkesit alanından (A) geçen akım miktarı, q çizgisel su girdi/çıktısı, g çekim kuvveti, z datum referanslı su yüzeyi seviyesi ve S_f ise eğim değeridir. Batardo çökmesi akım modeli ve 16 Kasım 2007 tarihli gerçek taşkın yayılım alanıyla karşılaştırılarak kalibre edilmiş elde edilen en iyi uyuma bağlı olarak olası baraj çökme modeli çalıştırılmıştır. Bunun için kullanılan formül (Horritt ve Bates, 2002);

$$F = \frac{Num(S_{mod} \cap S_{obs})}{Num(S_{mod} \cup S_{obs})} \times 100$$

şeklinde. Formülde yer alan S_{mod} modellenen taşkına ait pikseller, S_{obs} ise gözlemlenen taşkın yayılımına ait piksellerdir. Num ise bu piksellere ait sayıları ifade eder. Sonuç olarak F (Fit) değeri 0 ile 100 arasında değişmektedir. 0 ve sıfıra yakın değerler modellenen ve gözlemlenen taşkın örtüşmediğini gösterirken, 100 ise bu iki sonucun maksimum örtüşüğünü gösterir. Elde edilen model sonuçlarının risk analizinde kullanılması amacıyla herbir senaryoya ait taşkın derinlik ve hız haritaları Hec-GeoRAS'ta üretilmiştir. Üretilen taşkın tehlike zonlarıyla, sahanın Ikonos uydu görüntülerinden görsel yorumlama ve arazi çalışmalarıyla oluşturulan arazi kullanım verileri birlikte değerlendirilerek yıl içinde aylara göre risk analizleri yapılmıştır.

Batardo ve olası baraj çökmesi akım hesaplaması

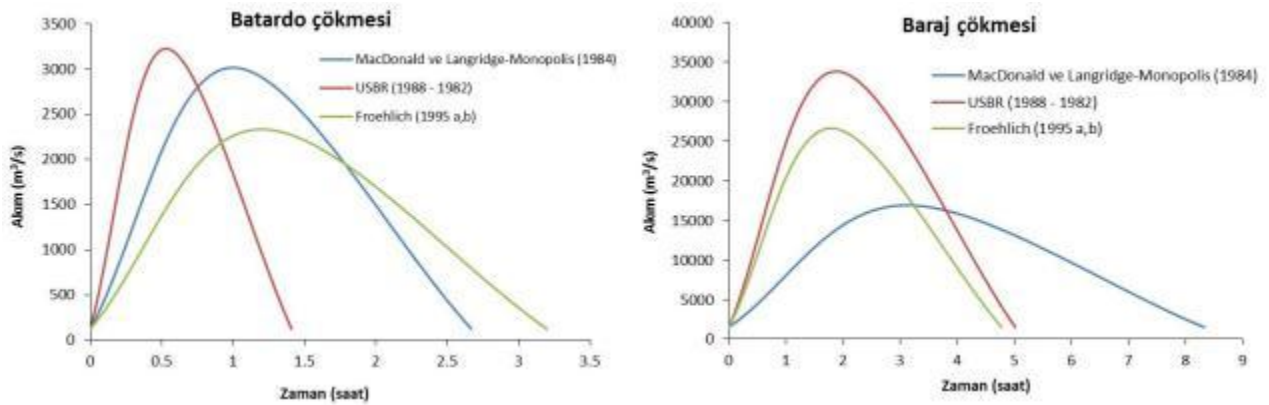
Olası baraj çökme modellemesi için menba batardosundaki 16 Kasım 2007 tarihinde meydana gelen çökmenin modelleme sonuçları kullanılacağından dolayı her iki çökmenin akım hidrografları üretilmiştir. Buradaki hesaplamalarda kullanılan ampirik formüller Tablo 1 de yer alan değişik araştırmacılar tarafından geliştirilen formüllerden, sahip olduğu parametre zenginliğine bağlı olarak sadece MacDonald ve Langridge-Monopolis (1984), USBR (1988-1982) ve Froehlich (1995 a,b) formülleri kullanılmıştır. Bu hesaplamalarda batardo için 43 m tepe kotuna kadar (Şekil 3) biriken su hacmi (V_w) olarak $12.307.513 \text{ m}^3$, su yüksekliği (h_w) 16 m ve gediklenme yüksekliği (h_b) olarak da 16 m alınmıştır. Baraj için ise tepe kotu olan 84 m yüksekliğine kadar biriken su hacmi (V_w) olarak $227.457.604 \text{ m}^3$, su yüksekliği (h_w) 57 m ve gediklenme yüksekliği (h_b) olarak da 57 m alınmıştır. Parametrelere bağlı olarak elde edilen t_f ve Q_p değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Buna göre batardo çökme (gediklenme) zamanı (t_f) ve pik akım değeri (Q_p) için en iyimser değerler, Froehlich (1995a,b) formüllerine göre elde

edilirken, en kötümser değerler USBR (1988-1982) formüllerine göre elde edilmektedir. Baraj çökmesinde ise MacDonald ve Landridge-Monopolis (1984) formüllerine göre elde edilen t_f ve Q_p değerleri en iyimser model olurken, en kötümser model t_f de Froehlich (1995b) formülüyle, Q_p te ise USBR (1982) formülüyle elde edilmektedir. Bundan dolayı, batardo çökme modelinde Froehlich (1995a,b) formülleri, baraj çökmesinde de MacDonald ve Landridge-Monopolis (1984) formülleri kullanılmıştır.

Tablo 4: Çokal Barajı olası gediklenme parametrelerine ait değerler (saat, m^3/s).

Modeller	Batardo		Baraj	
	t_f	Q_p	t_f	Q_p
MacDonald ve Langridge-Monopolis (1984)	1.00	3016.15	3.12	16930.48
USBR (1988 - 1982)	0.53	3225.93	1.88	33837.78
Froehlich (1995 a,b)	1.20	2332.91	1.79	26653.80

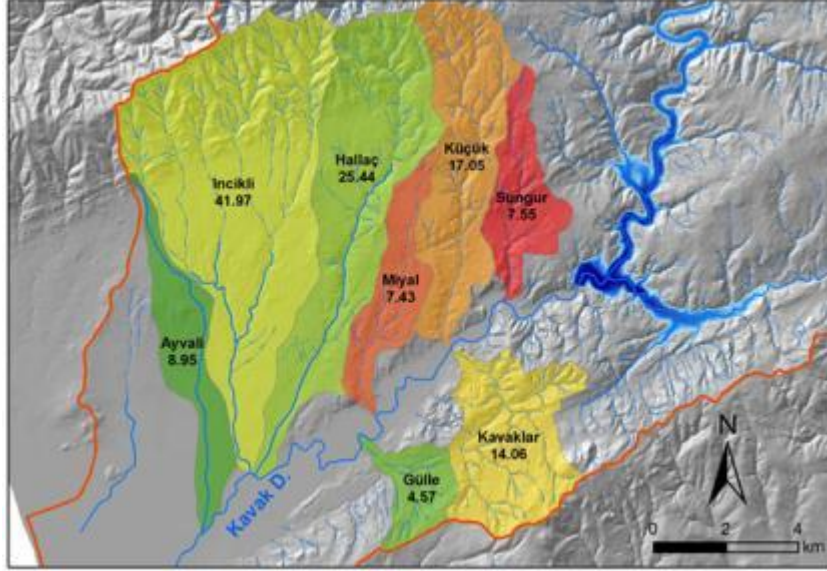
Batardo çökmesi için iyimser senaryoya ait modelde (Froehlich) 1.20 saatte pik akım değerine ($2332.91 m^3/s$) ulaşılırken, toplam akım zamanı bu modelde 3.20 saat olarak hesaplanmıştır. Olası baraj çökmesi için iyimser senaryoya ait modelde (MacDonald ve Landridge-Monopolis) 3.12 saatte pik akım değeriyle $16930.48 m^3/s$ ye ulaşılırken, toplam akım zamanı 8.33 saat olarak hesaplanmıştır (Şekil 10).



Şekil 10: Çökmelere ait akım hidrografları.

Çokal Barajı havzasından sonra Kavak Dere'sine $1 km^2$ 'den küçük havzalar dahil edilmezse 8 alt kol katılmaktadır. Bu derelerin toplam havzası $127.02 km^2$ 'dir (Şekil 11). Bu değer $567.67 km^2$ olan baraj havasının yaklaşık $1/5$ dir. Özellikle aşırı yağışlara bağlı olarak oluşan ve muhtemel oluşacak barajla ilgili taşkınlarda ve bunların modellenmesinde baraj sonrası ana

kola katılan derelere ait akım verilerine ihtiyaç vardır. Çalışma alanında yer alan alt dereler üzerinde herhangi bir akım ölçüm istasyonu bulunmamasından dolayı tahmini akım değerleri SCS-CN yağış-akış modeliyle üretilmiştir.



Şekil 11: Baraj alanı sonrası Kavak Dere'sine katılan alt kollar ve havza alanları (km²).

SCS-CN yağış-akış modelini saha için kullanılabilirliğini test etmek amacıyla, Çokal Baraj havzası içinde yer alan ve akım değerinin ölçüldüğü Aksakal Dere havzasına uygulanmıştır. Havzanın arazi kullanımı ve HTG verilerine bağlı olarak oluşturulan eğri numarasına (CN) göre geliştirilen SCS akış modeli için kullanılan ampirik formül (SCS, 1964; 1972);

$$Q = \frac{(P - la)^2}{\{(P - la) + S\}}$$

şeklindedir. Formülde yer alan;

Q : Akış (mm),

P : Yağış (mm),

S : Toprak tarafından tutulan sudur (mm),

la : Bu değer için gene olarak kullanılan 0.2S yerine konulduğunda yeni formül ($P \geq 0.2S$ durumunda),

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

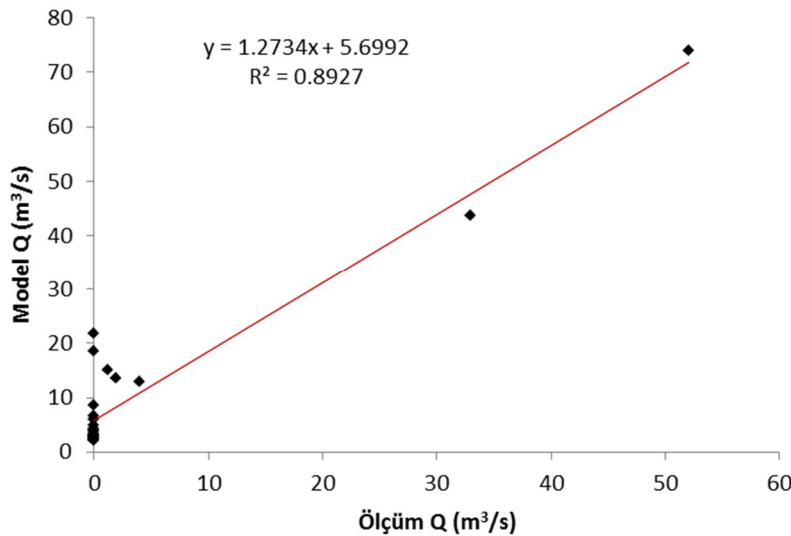
şeklindedir. Toprak tarafından tutulan S değeri;

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

formülünden elde edilir. Formülde yer alan CN değeri, havzaların HTG, arazi kullanımı/örtüsü ve AMC (Antecedent Moisture Condition) değerlerinin bir fonksiyonudur (Johnson, 1998). Bunun için gerekli arazi kullanımı verisi Ikonos uydu görüntülerinden görsel yorumlama ile oluşturulmuş, AMC verileride günlük yağış verilerine bağlı olarak 5 gün önceki toplam yağışlar bazı alınarak hesaplanmıştır (Özdemir vd. 2011). Elde edilen Q (mm) akış değerlerini kullanarak havza alan özellikleri ve pik akım zamanı ilişkisine bağlı maksimum akımlar (Q: m³/s) üretilebilmektedir. Akım miktarını belirlemenin ampirik formüllerinden birisi SCS Boyutsuz Birim Hidrografi metodudur. Bu metot, aşırı yağışların süresini akım toplanma zamanının 0.133 katından az veya eşit olması ve yağış süresinin aşırı yağışların süresinin 0.2 katından az olması esaslarına dayanır. Bu koşulların uygun olduğu alt havzalarda yıllık maksimum akım verilerini bulmak için kullanılan

$$Q_{peak} = 2.8 \frac{RO \times A}{t_{peak}}$$

Formülü, SCS-CN metoduyla üretilen akış verilerine uygulanmıştır (Schwab vd., 1993, ITC, 2006; Özdemir vd., 2011). Formülde yer alan; RO= akış miktarı (cm), A= havza alanı (km²) ve t_{peak}= maksimum akım zamanıdır (saat). Aksakal Dere için modellenen akım miktarı, Işıklar AGİ verileri ile korele edildiğinde elde edilen r² değeri 0.89 olarak bulunmuştur (Şekil 12). Bu da havza için öngörülen yağış-akış modelinin kullanılabilirliğini göstermektedir.



Şekil 12: Aksakal Dere'nin ölçülen ve modellenen akım verilerinin bir aya ait korelasyonu.

SCS-CN yağış-akış modeli ve SCS boyutsuz birim hidrografi üretim tekniği baraj sonrası bütün alt havzalara 1980-2009 yılları için (30 yıl) uygulanmıştır. Havzalar için elde edilen yıllık maksimum akım değerlerinden en kötü senaryo olarak 200 yıllık taşkın yenileme sıklığı ve akım değeri için Gumbel dağılımı kullanılmıştır. Bunun için kullanılan formül (Gumbel, 1958; IACWD, 1982; USACE, 1993);

$$X_T = \bar{X} + K \times \sigma$$

şeklindedir. Formülde yer alan;

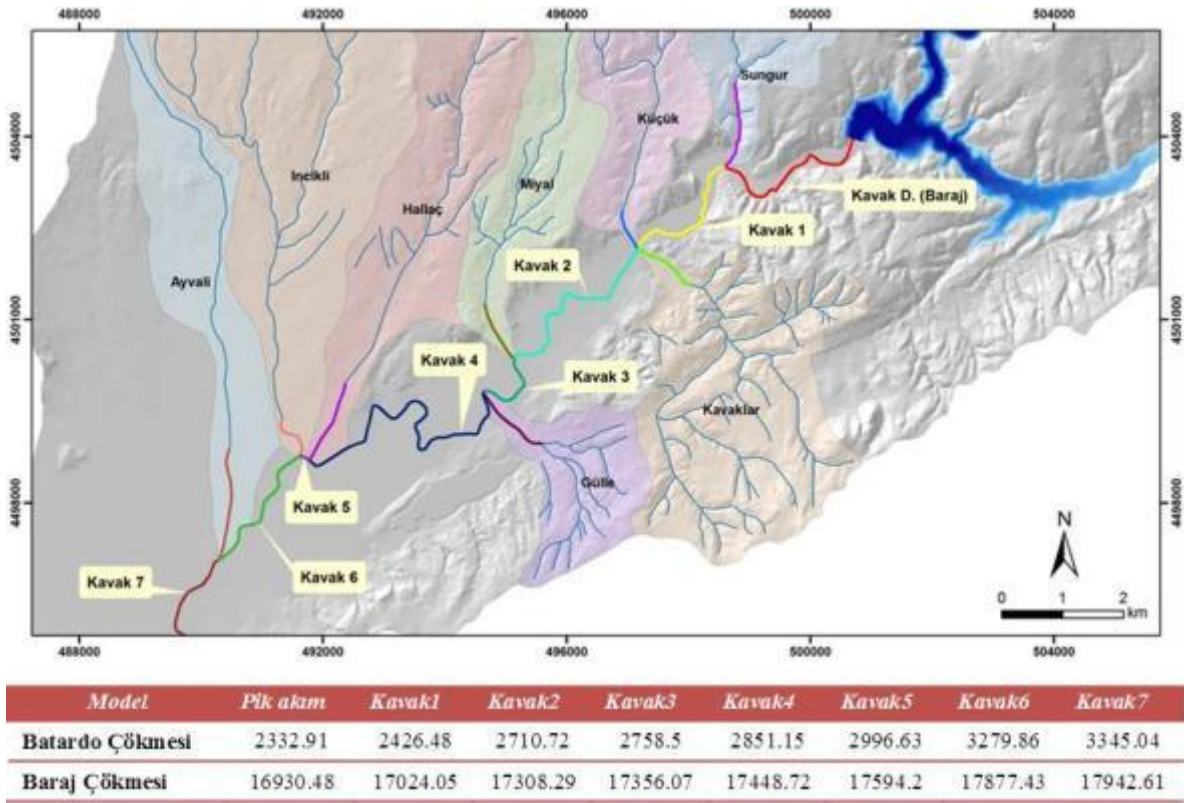
- X_T = T tekrarlama sıklığındaki değişim değeri,
 \bar{X} = Değişimin ortalama değeri,
 K = Sıklık faktörü katsayısı,
 σ = Örneklerin standart sapması'dır.

Alt havzalar için elde edilen 200 yıllık taşkın yenileme sıklığına ait akım verilerine göre en fazla akım İncikli Dere havzasından, en az akım ise Miyal Dere havzasından Kavak Deresi'ne katılmaktadır (Tablo 5).

Tablo 5: Baraj sonrası alt havzalara ait taşkın yenileme sıklıklarına ait akım değerleri (m³/s).

T	y_T	y_n	S_n	K	Q_{Sungur}	$Q_{Küçük}$	Q_{Miyal}	$Q_{Hallaç}$	$Q_{İncikli}$	$Q_{Ayvalı}$	$Q_{Kavaklar}$	$Q_{Gülle}$
200	5.30	0.5362	1.1124	4.28	93.57	111.74	47.78	145.48	283.23	65.18	172.50	92.65

Elde edilen akım verileri taşkın modellemelerinde düzensiz ve düzenli akım simülasyonları olmak üzere iki şekilde kullanılmıştır. Batardo çökme modelinde öncelikle test edilen bu yöntemde, düzensiz akım simülasyonu için batardo çökmesi akım hidrografi verileri kullanılmıştır. Daha sonra ise gerek batardo gerekse baraj çökme modelleri için kullanılan düzenli akım simülasyonunda, çökme hidrograflarının pik akım değerleri ile baraj sonrası Kavak Dere'sine katılan alt kolların 200 yıllık taşkın tekrarlama akım verileri birlikte değerlendirilerek modelde kullanılmıştır. Buna göre oluşturulan akım verileri Şekil 13'te verilmiştir.

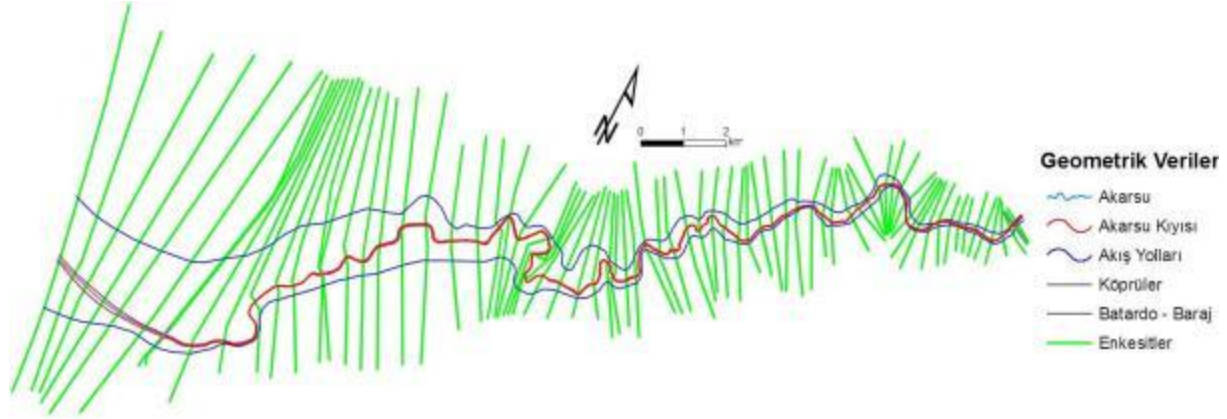


Şekil 13: Düzenli akım simülasyonunda kullanılan kollara ait akım verileri (m^3/s).

Batardo ve olası baraj çökmesi taşkın haritaları

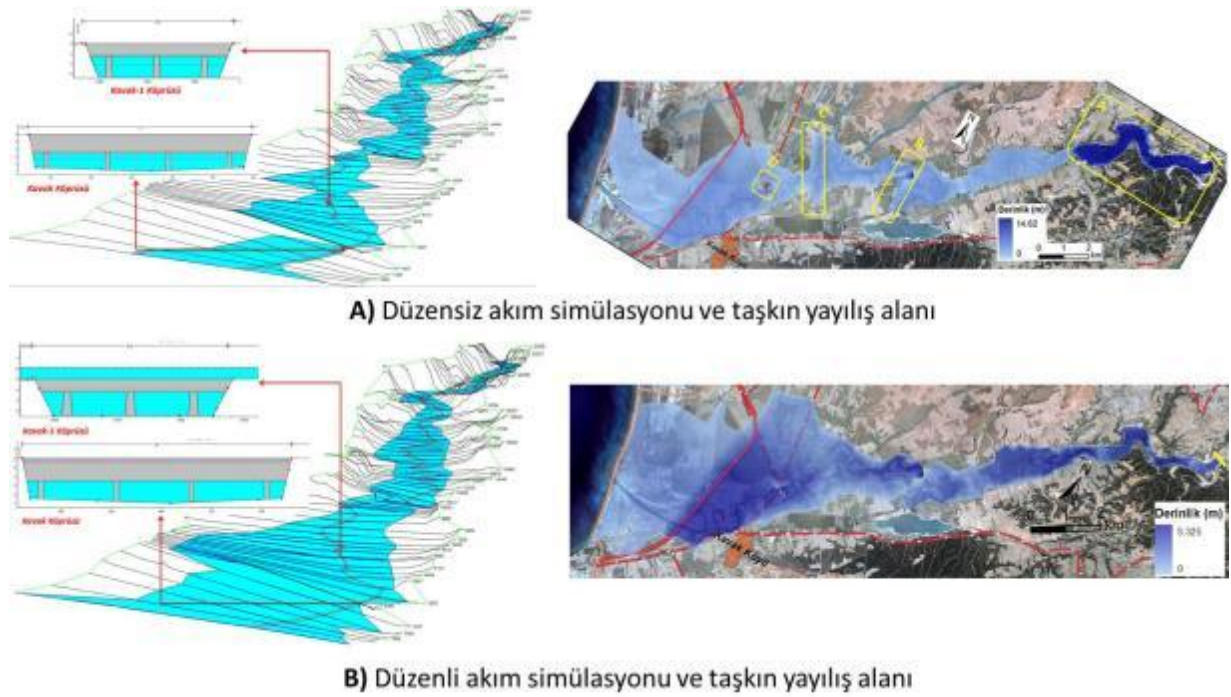
Üretilen akım verilerini, 1 boyutlu (1D) hidrolik modellemede değerlendirebilmek için modelleme yapılacak alanla ilgili olarak bazı geometrik verilere ihtiyaç vardır. Çalışmada hidrolik model yazılımı olarak kullanılan HEC-RAS'a altlık veri sağlayan Hec-GeoRAS için 3 ana katman gereklidir. Bunlar; arazinin topografyasını en iyi şekilde gösterir TIN (Triangulated Irregular Networks) modeli, akarsu ve akarsu yatağı enine profilleridir. Bunların yanında modellemenin daha iyi yapılabilmesi için akarsu kıyısı, akış yolları, köprüler, yatak içi yapılar (batardo ve baraj) ve arazi kullanımı gibi veri giriş işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 14). Bu katmanlardan sayısal arazi modelini temsil eden TIN verisinin çözünürlüğü yüksek çözünürlükte olması yatak enkesitleri ve diğer geometrik verilerin yükselti bilgilerinin belirlenmesinde kullanılması açısından önemlidir. Modellemenin yapılacağı alanla ilgili TIN verisinin oluşturulması aşaması veri ve yöntem başlığı altında verilmiştir (Şekil 9). Böylece üretilen TIN modeline Evreşe ovasını kateden karayoluna ait platform da eklenmiştir. TIN üretiminden sonra modellemesi yapılacak alan içindeki diğer geometrik verilerin sayısallaştırılması ve veri giriş işlemleri yapılmıştır (Şekil

26). Bu verilerin sayısallaştırılmasında TIN modeli, Ikonos uydu görüntüsü ve arazi gözlemlerinden faydalanılmıştır.



Şekil 14: Modelleme için oluşturulan temel geometrik veriler.

Geometrik verilerin HEC-RAS hidrolik modelleme yazılımında eksik verilerinin tamamlanmasından sonra 16 Kasım 2007 tarihli menba batardosunda meydana gelen çökmenin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Burada simülasyon düzensiz ve düzenli akım verileri üzerinden gerçekleştirilmiş ve gerçekteki taşkın yayılış alanlarıyla kontrolleri yapılmıştır. Bunlardan çökme akım hidrografının düzensiz akım simülasyonunda batardonun çökmesi Froehlich (1995a,b) formülüne göre 3.20 saat kullanılmıştır (Şekil 15). HEC-RAS 1D hidrolik modelde suyun maksimum yüksekliğine bağlı olarak oluşan taşkın yayılış alanı CBS ortamında çalışan HEC-GeoRAS yazılımına aktarılmış suyun derinlik ve yayılış alanına ait haritalamalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 15 A). Batardo çökmesine ait oluşturulan gerçek taşkın yayılışıyla (Şekil 16) karşılaştırıldığında, suyun özellikle Kavak Dere'sinin kuzey kesimlerindeki yayılışında hatalar olmakla birlikte, Kavak 1 ve Kavak köprülerini taşkın sularının aşmadığı görülmektedir. Ayrıca modelde bazı alanlarda düzensizlikler göze çarpmaktadır (Şekil 15A). Sayısal ifade ile gerçek ve düzensiz akım simülasyonu arasındaki uyumluluk Horritt ve Bates (2002) formülüne göre % 55.49 gibi oldukça düşük bir değer ortaya çıkmıştır. İki harita arasındaki uyumluluk değerinin bu kadar az olmasında özellikle aşırı yağışlarla ortaya çıkan batardo çökmesi yanında batardodan sonra Kavak Deresi'ne katılan alt kolların modele dahil edilmemesinde büyük pay vardır. Ayrıca SYM veri tabanının 1:25000 ölçekli topografik harita olması da bunda etkili olmaktadır.



Şekil 15: A) Menba batardosunun düzensiz akımlı çökme modellemesi, model içindeki düzensizlikler (A-B-C-D), B) Menba batardosunun düzenli akımlı çökme modellemesi.

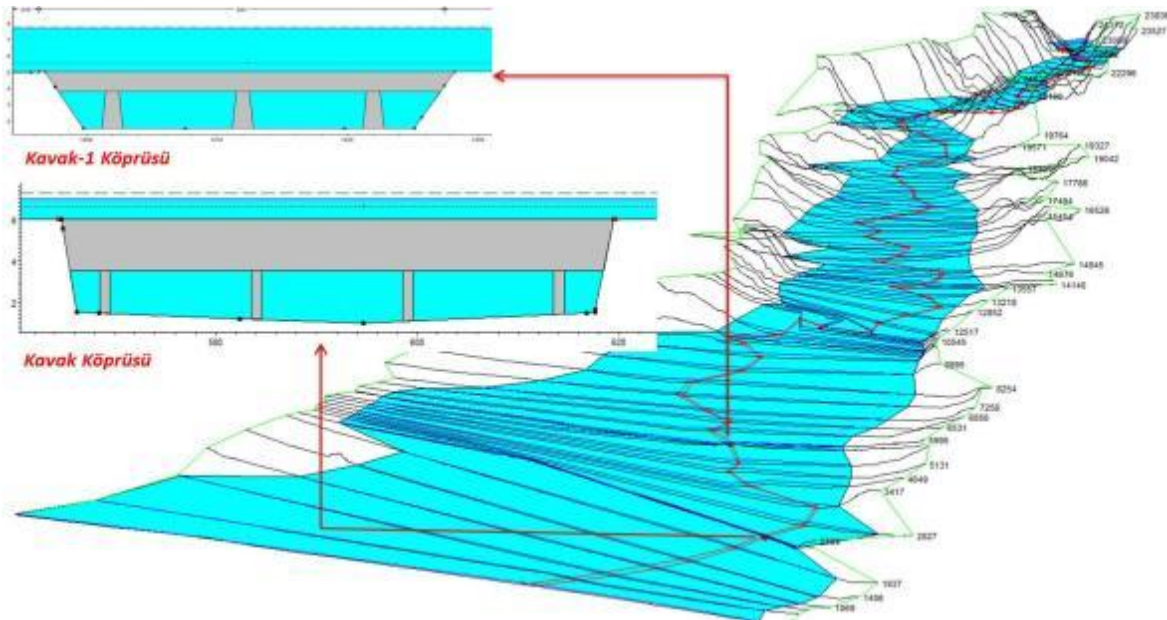


Şekil 16: 16 Kasım 2007 batardo çökmesi sonrası taşkın yayılış alanları (Özdemir vd., 2011).

Düzensiz akımla ortaya çıkan bu eksikliği gidermek için batardo sonrası Kavak Deresi'ne katılan alt kolların 200 yıllık taşkın yenileme akım verileri batardo çökmesi pik akım verisine ($2332.91 \text{ m}^3/\text{s}$) eklenmiştir. Bu model sonucunda taşkın sularının Evreşe ovası üzerinde oldukça geniş alana yayıldığını görülmüştür (Şekil 15B). Ayrıca 16 Kasım 2007 tarihli meydana gelen taşkında olduğu gibi Kavak 1 köprüsü üzerinden taşkın suları aşmakta, Kavak köprüsü üzerinden ise aşmamaktadır (Şekil 15B). Gerçekteki batardo çökmesine ait taşkın yayılışı ile uyumluluk analizine tabi tutulduğunda sonuç % 86.56 gibi yüksek bir değer ortaya çıkmaktadır.

$$F = \frac{Num(S_{mod} \cap S_{obs})}{Num(S_{mod} \cup S_{obs})} \times 100 = \frac{282459}{326321} \times 100 = 86.56$$

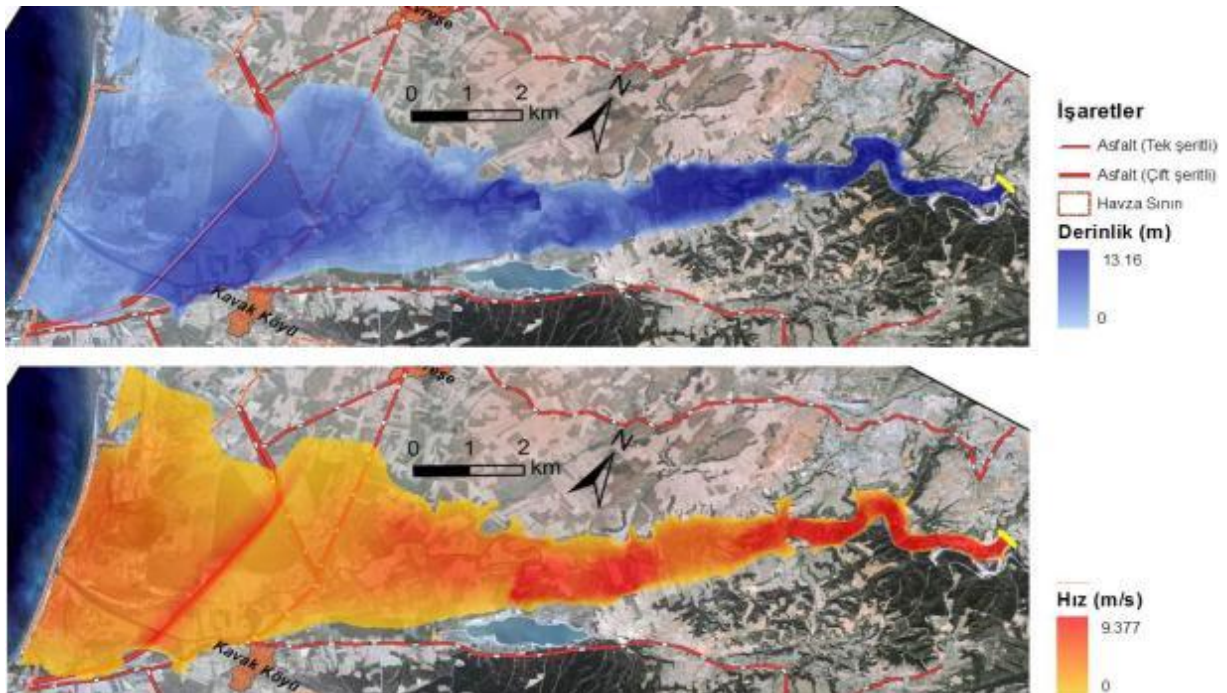
İki modelde ortaya çıkan uyumluluk analizi sonuçlarına bağlı olarak çalışmada düzenli akım simülasyonu ile üretilen taşkın haritaları risk analizi çalışmasında kullanılmıştır. Dolayısıyla suyun derinlik ve su hızı haritaları bu model üzerinden üretilmiştir. Olası baraj çökmesi ile ilgili olan model için baraj gövde yapısına bağlı olarak, suların gövdeden taşması ve akarsu kotuna kadar aşındırılması esasına dayanmaktadır. Bu modelde, batardo çökme modelinde kullanılan düzenli akım simülasyonu uygulanmış olup maksimum akım verisi olarak MacDonald ve Landridge-Monopolis (1984) formülüne göre üretilen akım hidrografının maksimum akım değeri kullanılmıştır (16930.48 m³/s). Baraj sonrası alt kollardan Kavak Deresi'ne katılan dereler için 200 yıllık taşkın yenileme akım değerleri alınmıştır. Buna göre oluşturulan düzenli akım simülasyonunda, baraj sonrası özellikle Kavak Deresi vadisi ve Evreşe Ovası tamamen sular altında kalmaktadır. Kavak-1 köprüsü üzerinden 2.70 m derinlikte sular geçiş yaparken, Kavak Köprüsü üzerinde bu değer 1 m olarak ölçülmüştür (Şekil 17).



Şekil 17: Olası baraj çökme modeli (düzenli akım) ve taşkın yayılımı.

Üretilen modelin, CBS ortamında Hec-GeoRAS'ta haritalanmasıyla elde edilen sonuçlar şu şekildedir; baraj çökmesiyle taşkın suyunun maksimum derinliği 13.16 m'ye ulaşmaktadır (Şekil 18). Derinlik daha çok Evreşe Ovasını kateden karayolu platformunun gerisinde

toplanmaktadır. Kavak Deresi üzerindeki iki köprüde sular altında kalmış ve muhtemelen suyun hızına bağlı olarak yıkılacaktır. Hız haritası incelendiğinde ise taşkın suyunun maksimum hızı 9.377 m/sn dir (Şekil 18). Bu hızın sahadaki dağılışına bakıldığında özellikle baraj sonrası, Kavak Deresi'nin vadi oluşturduğu ve eğim değerinin arttığı alanda artış göstermektedir. Yol platformu gerisinde göllenmeye bağlı olarak su hızı azalırken, yol platformunun aşıldığı noktada suyun hızının arttığı görülmektedir. Bu da yol platformunun taşkın suları tarafından tahrip edilebileceğinin bir göstergesidir.



Şekil 18: Olası Çokal Barajı çökmesinin düzenli akımlı modeline ait suyun derinlik ve hız haritaları.

Olası Çokal Barajı çökmesine ait taşkın risk analizi

Taşkınlarda riskin kaynağı taşkın suyunun kendisidir. Risk ise taşkın suyunun taşkın esnasında ve sonrasında ortaya çıkaracağı ölüm, yaralanma, yapısal ve yapısal olmayan zararlarının meydana gelme olasılığıdır. Dolayısıyla risk; taşkın karakteri, risk altındaki unsurlar ve bunların zarar görülebilirliklerinin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkar. Bu da aşağıdaki formüldeki gibi ifade edilmektedir.

$$R = f(F, E, V)$$

Burada;

R: Risk

F: (Flood) Taşkın karakterleri (Derinlik , hız vb.),

E: (Element at Risk) risk altındaki elemanlar (nüfus, yapılar, tarım alanları gibi),

V: (Vulnerability) risk altındaki elemanların zarar görebilirlikleridir.

Taşkın suyunun derinlik (m) ve hız (m/sn) özellikleri insan hayatına zarar vermede, büyük yapısal hasarlar ortaya çıkarmada ve tarım alanlarını zarar vermede büyük etkiye sahiptir. Bu etkiler taşkınların büyüklüğü, akarsuların ve taşkın ovasının hidrolik karakterlerine bağlılık göstermektedir. Taşkın risk çalışmalarında su derinliği (m) ve hızının (m/sn) genellikle birlikte değerlendirilmesiyle etkileri hakkında daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu etkiler de daha çok insan ve binalar üzerindeki etkilerinin araştırılması şeklinde olmuştur (Reiter, 2000). Bu iki taşkın faktörünün insan ve binalar üzerindeki etkileri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Taşkın sularının zarar potansiyeli için sınırlar (Reiter, 2000).

Zarar	Zarar Parametresi Derinlik x Hız (m ² /sn)		
	Az	Orta	Yüksek
Çocuklar	< 0.1	0.1 - 0.25	> 0.25
Yetişkinler	< 0.3	0.3 - 0.70	> 0.70
Şahsi Araçlar	< 0.9	0.9 - 1.50	> 1.50
Hafif Yapılı Evler	1.3	1.3 – 2.50	> 2.50
İyi Yapılı Ahşap Binalar	<2.0; h > 2.0 m/sn	2.0 – 5.0; h > 2.0 m/sn	> 5.00
Tuğla Binalar	< 3.0; h > 2.0 m/sn	3.0 – 7.0; h > 2.0 m/sn	> 7.00

Ramsbottom vd. (2003) göre taşkınların insanlar üzerindeki etkisine ait tehlike derecelendirmesi taşkın derinlik (d) ve hızının (v) bir fonksiyonu olarak ortaya çıkar. Ancak, hızı olmayan ve derinliği olan taşkın suları tehlikeli olarak sınıflandırılmasına karşın, derinliği olmayanlar bu sınıflandırmaya alınmazlar. Bu analize bağlı olarak tehlike derecesini $(v + 1.5) \times d$ fonksiyonuna bağlı olarak oluşturmuşlardır. Buna ayrıca taşkın sırasında taşınan malzemeyi de ekleyerek tehlike derecesindeki artışı ortaya koymuşlardır. Bu formülü daha sonra Wallingford (2006 a,b) geliştirerek;

$$FHR = d \times (v + 0.5) + DF$$

formülünü kullanmıştır. Formülde yer alan;

FHR : Taşkın tehlike değeri,
d : Derinlik (m),
v : Hız (m/sn),
DF : Debris faktörü dür.

Taşkın suyunun akışı esnasında içinde taşıdığı enkaz (debris) faktörü su derinliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Buna göre oluşturulan DF değerleri Tablo 7’de verilmiştir. Böylelikle taşkın derinlik ve hızına bağlı olarak taşkın tehlike sınıfları oluşturulmuştur (Tablo 08).

Tablo 7: Derinlik, hız ve genel arazi kullanımlarına göre DF değerleri (Wallingford, 2006a).

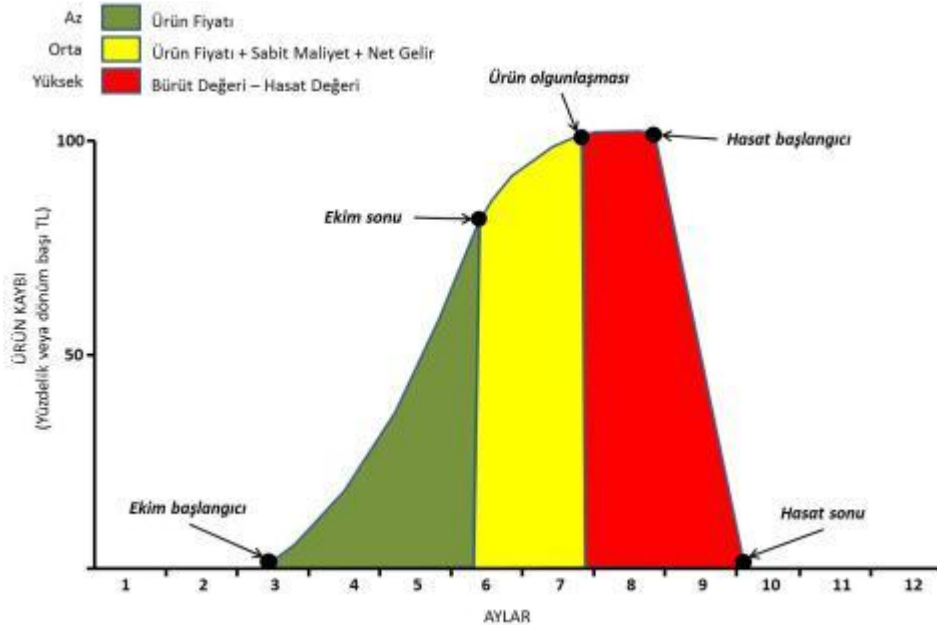
Derinlik (m)	Çayır/Tarım	Orman/Ağaçlık	Şehir
0 - 0.25	0	0	0
0.25 – 0.75	0	0.5	1
d > 0.75 ve/ya h > 2	0.5	1	1

Tablo 8: Taşkın derinlik ve hız kombinasyonuna bağlı taşkın tehlike sınıfları.

$d \times (v + 0.5) + 0.5$	Tehlike Derecesi	Açıklama
< 1.25	Az	Bazı insanlar için tehlikeli (örn. Çocuk, yaşlı vb.)
1.25 – 2.50	Orta	Birçok insan için tehlikeli
2.50 - <	Yüksek	Bütün insanlar ve yapılar için tehlikeli

Taşkın suyunun derinlik ve hız faktörleri yanında taşkın yayılım alanı, suyun taşkın ovasındaki kalma süresi, meydana gelme zamanı gibi faktörler de taşkınların zarar vermesinde önemli olan parametreler olarak karşımıza çıkar. Burada taşkın yayılım alanı, basit olmakla birlikte önemli bir taşkın parametresidir. Bu özellikle, basit olarak taşkın alanları içindeki arazi kullanım türleri belirlenebilir ve taşkından etkilenen arazilerin alanları hakkında genel bir bilgi sahibi olunabilir. Taşkın suyunun ovadaki kalma süresi de özellikle kayıpların tahmini ve hesaplanması için önemlidir. Özellikle binaların tahribatı konusunda çok önemlidir (USACE, 1996). Penning-Rowse vd. (2003) taşkın suyunun kalma süresi uzadıkça zararın arttığını ve bu zaman sürecini de 12 saatten az (kısa süreli) ve çok (uzun süreli) olmak üzere iki kısımda ele alınabileceğini ortaya koymuştur. Taşkınların meydana gelme zamanı ise özellikle tarımsal zararın ortaya konması bakımından önemlidir. Eğer üretilen tarımsal ürünlerin hasat zamanı öncesinde taşkınlar meydana gelirse zarar çok fazla olurken, kış döneminde meydana gelmesi zararın daha az olmasına neden olmaktadır. Satrapa vd. (2005)

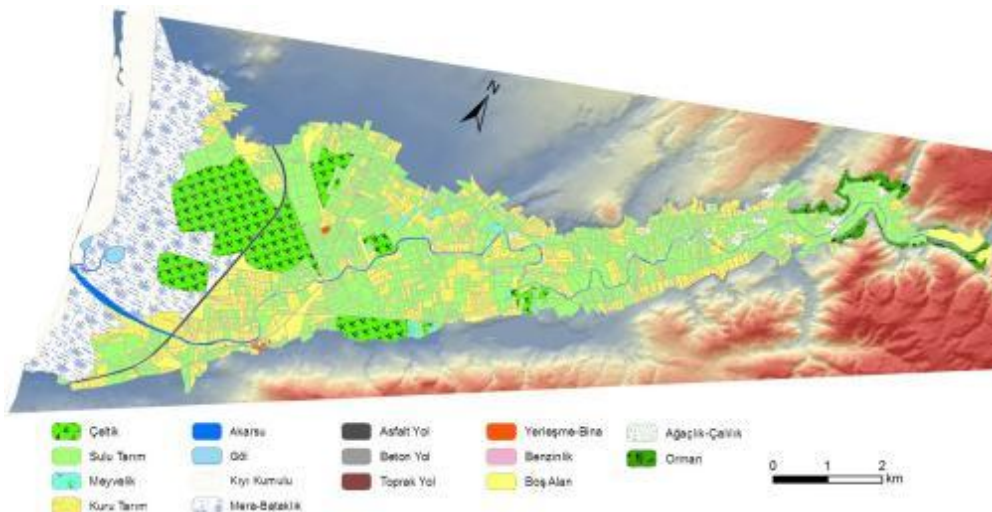
Çek Cumhuriyeti'nde meydana gelen taşkınların derinlikleri yanında mevsimsel olarak meydana gelme olasılığına bağlı olarak ürünlerin zarar görmeleri üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma alanımızda modellenmesi yapılan taşkın senaryosunun, insan ve binadan çok tarımsal alanlar üzerindeki etkisi, sahadaki arazi kullanım özelliklerine bağlı olarak daha fazladır. Taşkınların tarım üzerindeki etkileri, taşkınların meydana gelme zamanı ve süresi, su derinliği ve hız parameterlerine bağlılık gösterir. Bunlardan taşkınların meydana gelme zamanı ve süresi, ürünler üzerinde taşkınların zararının belirlenmesinde kritik bir parametredir. Özellikle tarımsal ürünlerin ekim, yetiştirme ve hasat periyotlarındaki etkisi farklıdır. Örneğin, ürünlerin yeni büyüme aşamasında birkaç gün süren bir taşkın fazla bir etkiye sahip olmazken, ürünlerin olgunlaştığı dönemde birkaç saatlik bir taşkın tüm ürünlerin zarar görmesine neden olabilir. Bir ürüne ait yıl içindeki değişik yetiştirme aşamalarındaki direkt olarak ürün kaybı ve hesaplama şekilleri Şekil 19'da gösterilmiştir. Buna göre; ürünün ekilmeye başlamasından ekiminin bitimine kadarki dönemde meydana gelecek taşkın, sadece ürünün fiyatı kadar zarar verecektir. Ürün ekim işleminin bitiminden ürünün olgunlaşmasına kadarki geçen sürede meydana gelecek bir taşkında, ürün fiyatı yanında sabit maliyet ve net gelir hesaplamalarına bağlı bir zarar ortaya çıkartacaktır. Ürünün olgunlaşma döneminden hasat sonuna kadarki dönem içinde meydana gelebilecek bir taşkın maksimum düzeyde tarım ürünlerine ve üreticiye zarar verecektir.



Şekil 19: Örnek ürün kaybı fonksiyonu ve risk grupları (CEIWR-HEC, 1985 den değiştirilerek).

Taşkın suyunun derinliği özellikle büyümüş ürünlerin mahsül vermesini engellemesi bakımından etkisi vardır. Dolayısıyla bu etki hasat zamanı meydana gelen taşkınlarda daha fazladır. Burada taşkınlar ürünleri a) su altında kalan ürünlerin kayba uğraması, b) kök sistemlerinde oksijen azalması ve c) ürünün kalitesinin ve pazar değerini düşürmesi gibi birkaç yolla zarar verir. Bütün bunlar, ürün bitkilerinin yüksekliği ile de ilgili olarak değişiklik gösterir. Taşkın suyunun hızı ve hıza bağlı olarak meydana gelen erozyon ve bunun sonucu sedimentasyon da ürünler üzerinde etkilidir. Bu etki özellikle ovalık alanlarda akış gösteren akarsuların meydana getirdiği taşkınlarda daha fazladır.

Çalışma sahası içinde özellikle Kavak Deresi taşkın alanı içindeki arazi kullanım türleri 19 Temmuz 2007 İkonos uydu görüntüsünden görsel yorumlama ve arazi çalışmalarıyla sayısallaştırılarak oluşturulmuştur. Buna göre, arazi kullanımı haritasında tarımsal alanlar sulu tarım ve kuru tarım olarak iki ana grupta toplanırsa sulu tarımda çeltik, mısır, ayçiçeği, fasulye ve meyve (elma, şeftali, kiraz) yetiştiriciliği yaygındır (Şekil 20). Kuru tarımda ise buğday, arpa, fiğ ve pancar yetiştiriciliği ön plana çıkmaktadır. Arazi kullanım haritasında sulu tarım içinde çeltik ve meyvecilik alanları net bir şekilde belirlenebildiği için ayrımı yapılmış fakat diğer sulu tarım ürünlerin bir bütün olarak ayrı sınıfta toplanmıştır. Kuru tarımda da tür ayrımına gidilmemiş bütün türler tek bir sınıfta toplanmıştır (Şekil 21). Tarım alanları haricinde özellikle Çanakkale-İstanbul karayolunun batı kesiminde mera-bataklık alanlar ve körfez kıyısında da kıyı kumulları yayılış gösterir. Çokal Barajı'nın olduğu kesimde vadi içlerinde ve çevre yamaçlarda da ağaçlık-çalılık ve ormanlık alanların yayılış gösterdiği görülmektedir (Şekil 20).



Şekil 20: Kavak Deresi taşkın alanında 19 Temmuz 2007 tarihli arazi kullanımı.

Risk analizi çalışmasında taşkın ovası arazi kullanım haritasında görüldüğü gibi yerleşmeler çok fazla yer kaplamamakta ve tarım alanları oranı daha fazla olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada yetiştirilen tarım ürünlerinin Tarım Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu tarım takvimi esas alınarak (<http://www.tarim.gov.tr/>) ürünlerin ekim, büyüme, olgunluk ve hasat zamanlarına bağlı bir tahmini risk tablosu oluşturulmuştur (Tablo 9). Buna göre mavi ile ve 1 risk derecesi ile gösterilen alanlar ürünün ekim zamanı ve hemen sonrasındaki ayı, sarı ve 2 risk derecesi ile gösterilen alanlar ürünün yetiştirme ve olgunlaşma zamanlarını, kırmızı ve 3 risk derecesi ile gösterilen alanlar olgunluk ve hasat dönemini temsil etmektedir. Meyve ağaçları için ürünün ekimi söz konusu olmadığı için çiçeklenme ve hasat sonuna kadarki dönem baz alınmıştır. Çiçeklenme öncesi dönem, ağaç gövdesinden dolayı az riskli olarak sınıflandırılmıştır. Bu tablo, taşkınların ürünler üzerindeki direkt zararına bağlı olarak oluşturulmuştur. Buna göre, Temmuz ve Haziran ayları en riskli aylar olarak karşımıza çıkarken, yaz mevsimi de en riskli mevsim olmaktadır.

Tablo 9: Ovadaki genel tarım türlerinin aylara ve mesimlere göre tahmini risk sınıfları.

Ürünler		O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
Sulu Tarım	Çeltik	0	0	0	0	1	2	2	2	3	3	0	0	
	Diğer	Mısır	0	0	0	1	1	2	2	3	3	0	0	0
		Ayçiçeği	0	0	0	1	1	2	2	3	3	0	0	0
		Fasulye	0	0	0	1	1	2	2	3	3	0	0	0
	Meyv	Elma	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	1	1
		Şeftali	1	1	1	2	2	2	3	3	1	1	1	1
Kiraz		1	1	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1	
Kuru Tarım	Buğday	2	2	2	2	3	3	3	0	0	1	1	1	
	Arpa	2	2	2	2	3	3	3	0	0	0	1	1	
	Fiğ	2	2	3	3	3	0	0	0	0	1	1	1	
	Pancar	0	0	0	0	1	2	2	2	3	3	3	0	
Ay Toplam		9	9	10	16	20	23	24	20	20	13	9	6	
Ay Toplamına Oranı		0.27	0.27	0.30	0.48	0.60	0.69	0.72	0.60	0.60	0.39	0.27	0.18	
Mevsim Toplam		0.24		0.46			0.67			0.42				

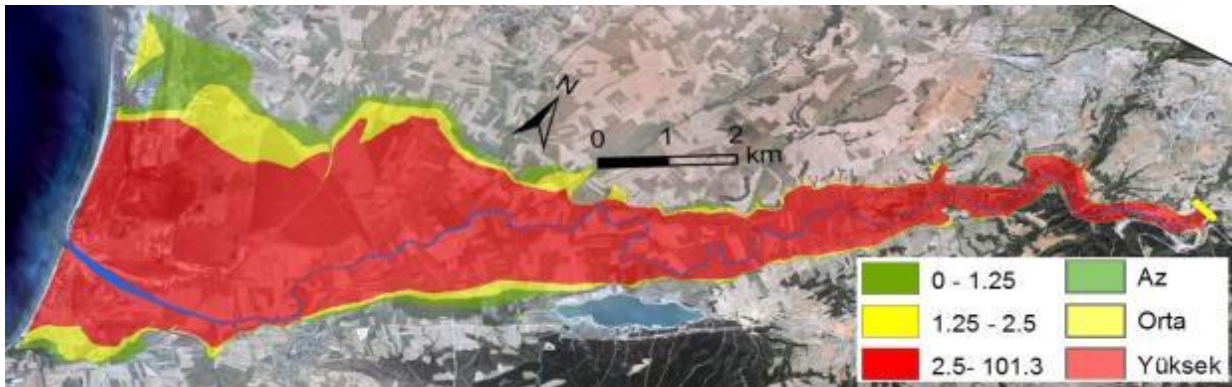
Çalışmada tahmini ekonomik kayıpların hesaplanması, yukarıda belirtilen tarım ürünleri üzerinden yapılmıştır. Bunun için kullanılan parametreler Gelibolu ilçesine ait tarımsal alan, verim değerleri ve birim fiyatları ile sahada taşkın altında kalan değişik risk gruplarındaki tarım ürünlerinin karşılaştırılması şeklindedir (Tablo 10). Bu ürünlerden sulu tarım altında diğer grupta ele alınan mısır, ayçiçeği, fasulye ve kuru tarım ürünlerinin sahadaki dağılışı tam bilinmediği için ortalama fiyatları kullanılmıştır. Değerlendirmeye alınan ürünlerin farklı risk

grupları altındaki miktarları toplanmış ve Tablo 9'a göre ayların olası toplam risklerine oranları ile değerlendirmeye sokularak sonuç toplam kayıp hesaplanmıştır.

Tablo 10: Ovadaki genel tarım türlerinin ilçe genelindeki değerleri.

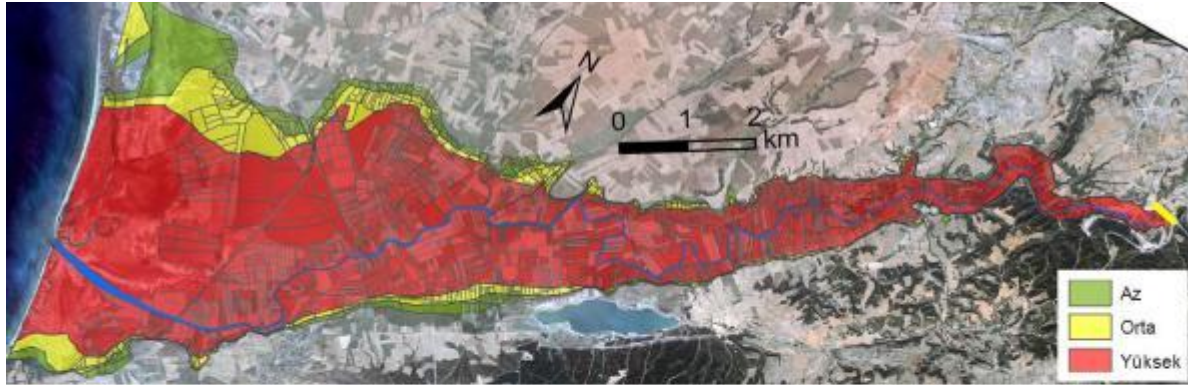
Ürünler		Gelibolu İlçesi Geneli (2009)					
		Alan (Da)	Üretim (Ton)	Verim (Kg/Da)	Fiyat (Kg/TL)		
Sulu Tarım	Çeltik	3.900	3.510	900	1,25	1,25	
	Diğer	Mısır	900	982	1.180	0,44	1,10
		Ayçiçeği	105.000	31.500	300	1,41	
		Fasülye	3.950	1.108	1.030	1,47	
Meyve	2.500	1.375	106	1,52	1,52		
Kuru Tarım	Buğday	164.000	82.000	500	0,54	0,52	
	Arpa	15.000	6.750	450	0,41		
	Fiğ	2.280	786	550	0,84		
	Hayvan Pancarı	60	600	10.000	0,28		

Çalışmada en kötü senaryoya bağlı olarak baraj gövdesindeki çökmenin akarsu vadi tabanına kadar meydana gelebileceği ve bu olayında yağışların fazla olduğu bir dönemde oluşacağı ihtimaline bağlı olarak, taşkın sularının dağılımı simüle edilmiştir. Bu senaryoya göre oluşturulan taşkın derinlik ve hız dağılışı birlikte değerlendirildiğinde ortaya çıkan taşkın risk sınıfları Şekil 21'de gösterilmiştir. Buna göre yüksek riske sahip alanların baraj sonrası Kavak Dere vadisi ve Evreşe ovasındaki dağılışı oldukça fazladır. Yüksek riskli alanların çevresinde orta riskli ve az riskli alanlar da sınırlı olarak kalmıştır. Bu da baraj gövdesi gerisinde birikecek suyun fazlalığı ve bu suyun baraj sonrası 5 km'ye yakın dar bir vadiden sonra Evreşe Ovası'na yayılmasıyla ilgilidir.

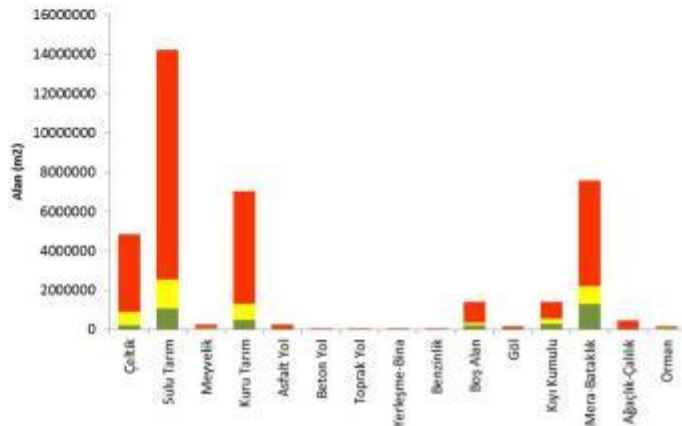


Şekil 21: Olası baraj çökme modeline ait taşkın derinlik ve hızına bağlı tehlike sınıfları.

Baraj çökmesi taşkın risk grupları içinde kalan arazi kullanım özellikleri de sahadaki arazi kullanımlarının dağılımına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu türler içinde yüksek taşkın riski altında en fazla alana sahip arazi kullanım türü sulcu tarım alanları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunu kuru tarım, mera-bataklık ve çeltik tarım alanları takip etmektedir (Şekil 22).



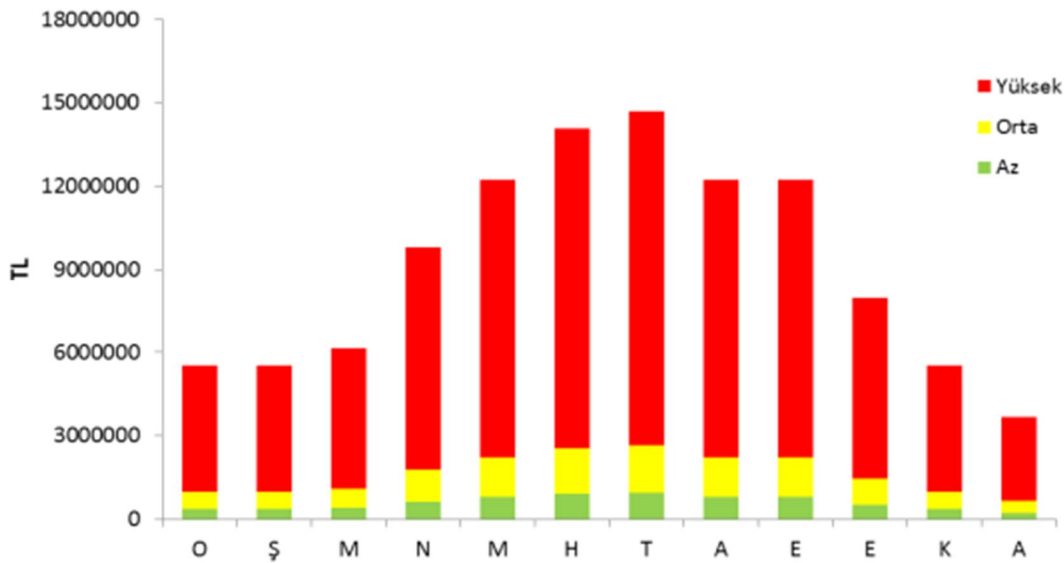
Arazi Türü	Az (m ²)	Orta (m ²)	Yüksek (m ²)
Çeltik	203611.72	702754.08	3925569.84
Sulu Tarım	1056776.19	1471430.72	11695222.21
Meyvelik	51742.61	25665.05	167238.9
Kuru Tarım	494468.2	807067.23	5742699.67
Asfalt Yol	32282.26	31197.89	174163.69
Beton Yol	2280.02	1491.56	32567.8
Toprak Yol	8144.71	4538.05	47976.83
Yerleşme-Bina	5646.9	2675.97	27876.18
Benzinlik	0	0	6200.03
Boş Alan	216581.52	145486.26	1050261.85
Göl	0	0	144018.26
Kıyı Kumulu	291016.56	270681.96	839510.25
Mera-Bataklık	1307650.31	885780.85	5372584.31
Ağaçlık-Çalılık	8217.81	21401.14	421925.97
Orman	18381.75	13934.76	105362.47



Şekil 22: Olası baraj çökme modelinde taşkın risklerine göre etkilenen arazi kullanımları ve alansal dağılımı.

Yukarıda belirtilen arazi kullanımları dışında da Kavak Deresi üzerindeki iki köprünün yıkılma olasılığı suyun bu alanlardaki derinliklerine bağlı olarak fazladır. Ayrıca Kavak köprüsünün üzerinde bulunduğu ve Çanakkale-İstanbul karayolunun geçtiği Evreşe Ovasını kateden yol platformunun da zarar görmesi kuvvetle muhtemeldir. Kavak köyü yerleşmesinin dağılışı güneydeki yamaçlara doğru olduğu için bu yerleşme açısından çok fazla bir risk söz konusu olmazken ova tabanındaki bazı müstakil binalar tamamen sular altında kalacağı için büyük risk altındadır.

Sadece tarım ürünleri üzerindeki tahmini kayıplar, ürünlerin ilçe genelindeki dekar başına verim değerleri, kg başına fiyat verisi ve ayrıca tarım ürünlerinin aylara göre toplamdaki risk oranı çarpanları kullanılarak aylara göre hesaplandığında, en fazla kayıplar 15 milyon TL ile temmuz ayında ortaya çıkmaktadır. Bu değer büyük bir bölümü yüksek taşkın riski altındaki tarım alanlarındaki ürün kaybıdır ki bu değer 12 milyon TL olarak ortaya çıkmaktadır. En az kayıp ise aralık ayında yaklaşık 4 milyon TL dir (Şekil 23). Bunun da 3 milyon TL ise yüksek taşkın riski altındaki ürünlerdedir. Az, orta ve yüksek risk grupları altında kalan miktarlara bakıldığında yüksek risk grupları altında daha fazla tarımsal alan kaldığı için ortaya çıkan tabloda da yüksek risk altındaki miktarlar daha fazladır. Bu hesaplamalar sadece tarım ürünleri üzerinden yapılmış olup diğer köprü, yol, yerleşme vb. gibi türler üzerinde hesaplama yapılmamıştır. Tarım ürünleri dışındaki diğer yapılar ve bunlara ait zararlar aylara göre çıkartılan bu tarımsal ürün zararlarına eklemeye yapılarak zarar kolay bir şekilde hesaplanabilir. Değişken olanlar sadece tarım ürünleridir. Bu türlerdeki kayıplar da hesaplandığında bu miktarlar daha da artacaktır.



Şekil 23: Olası baraj çökme modelinde tarım ürünlerindeki aylara göre tahmini ekonomik kayıplar.

Sonuç ve Öneriler

Taşkınlar, değişik sebeplere bağlı olarak meydana gelselerde bazen yanlış arazi kullanımları, hatalı mühendislik yapıları gibi nedenlere bağlı olarak da afet boyutuna ulaşmakta büyük can

ve mal kayıplarına neden olabilmektedir. Taşkınlar, depremler gibi ne zaman meydana gelebileceği, nerelere kadar etkisinin olacağı gibi konularda ön görülemeyen doğal olaylar olmayıp, akarsuların sahip oldukları havza kapasitesi ve yağış özellikleri, akış gösterdiği yatak özellikleri, havzanın sahip olduğu arazi kullanım özellikleri ve detaylı SAM verileri ile meydana gelen ve gelmesi muhtemel taşkınlar modellenenilmekte, taşkın suyunun arazideki yayılışı ve sınırları belirlenebilmekte, bu sınırlar içinde taşkınım değişik fiziki karakterlerine bağlı olarak (derinlik, hız vb.) olası taşkın zararları tahmin edilebilmektedir. Bütün bu nedenlere bağlı olarak depremlere göre taşkınlar daha az meydana gelen bir afet türü olarak karşımıza çıkması gerekirken, uygulamalardaki yanlışlıklar ve eksiklikler, havza yönetim planlamalarındaki eksiklikler bu tür afetlerin sıklıkla meydana gelmesine neden olmaktadır.

Çalışmada belirtildiği gibi, taşkın üretme potansiyeli olmayan veya daha az olan akarsular üzerinde barajların inşaa edilmesi ve bununda yılda yaklaşık 2 cm hareket kabiliyeti olan bir fay zonunun üzerinde konumlandırılması, artık baraj sonrasındaki havzanın aşağı kesimleri için normal akarsu taşkınlarının yanında küçük bir ihtimal de olsa baraj kaynaklı, insanın neden olduğu risklerin de düşünülmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Nitekim bunun küçükte olsa bir örneği 16 Kasım 2007 de batardo çökmesiyle sahada yaşanmıştır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçları şu şekilde sıralayabiliriz;

- ✓ Çokal Barajı sahanın sahip olduğu deprensellik ve ikincil etki olan kütle hareketlerine bağlı olarak büyük bir risk altındadır. Bu risk baraj sonrasındaki yerleşmeler, ulaşım ağı ve özellikle tarımsal alanlar için büyük tehdit oluşturmaktadır.
- ✓ Saha için beklenmedik yağış değerlerine bağlı olarak birtakım önlemlerin (batardo gibi) yetersiz kalacağı ve yıkılmalarıyla da büyük etki yapacağı 16 Kasım 2007 tarihli olayla ispatlanmıştır.
- ✓ Saha için ve özelliklede baraj yeri sonrasında ana akarsu koluna katılan tali kolların fazla olduğu ve bu havzaların toplamının baraj havzasına göre büyük bir orana sahip olduğu alanlarda, baraj kaynaklı su akımlarına paralel olarak bu alt kolların akım verileri de dikkate alınmalıdır. Nitekim çalışmada da görüldüğü gibi Çokal Barajı sonrasında Kavak Deresi'ne katılan kolların 200 yıllık taşkın tekrarlamaya sıklıklarına ait akım verileri ile batardo çökme akım verisi birlikte değerlendirildiğinde 2007 taşkın yayılış alanıyla örtüşme oranı daha fazla olmuştur.

- ✓ Baraj çökmesiyle ortaya çıkacak taşkın etkisi beklendiği gibi fazla olacaktır. Bu olayda suyun pik akıma ulaşması en iyimser senaryoya göre 3 saat 12 dk, tamamının boşalması ise 8 saat 33 dk gerçekleşmektedir. Bu süre, ova tabanındaki ve Kavak Köyü beldesindeki Kavak Deresi'ne yakın yerleşmelerde bulunan insanların tahliyesi için yeterli bir süredir. Etki alanı yerleşmeler açısından az olduğu için insan faktörü olarak etkisi daha az olacaktır. Tabii burada önemli bir durumda, baraj çökme zamanının gündüz ve tarımsal faaliyetlerle uğraşıldığı bir dönemde olması tarlalarda çalışan nüfusun da alandan tahliyesinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
- ✓ Baraj çökme senaryosuna göre Kavak Dere üzerindeki iki köprünün de zarar görmesi kuvvetle muhtemeldir. Bu da beraberinde Kavak Deresi'ni kuzey ve güneyindeki yerleşmelerin birbiriyle ulaşımının sağlanmasını zorlaştıracaktır. Özellikle Kavak Köprüsü'nün ve üzerinde bulunduğu yol platformunun zarar görmesi Çanakkale-İstanbul yolunu da trafiğe kapatacak ve ulaşımı engelleyecektir.
- ✓ Baraj çökmesi sonucu en fazla etkiye sahanın arazi kullanım özelliklerine bağlı olarak tarım alanları sahip olacaktır. Bu türler içinde de uydu görüntülerinden elde edilen arazi kullanım haritasına göre sulu tarım, kuru tarım ve çeltik tarımı etkilenme fazlalağına göre sıralanmaktadır. Ürünlerin ekilme, olgunluk ve hasat zamanlarına bağlı olarak yapılan sınıflamada, saha için temmuz ve haziran ayları tarım ürünleri bakımından en fazla riskli olan aylardır. Ayrıca bu aylar yağış değişkenliğinin en fazla olduğu yaz mevsimi içinde yer alır. Dolayısıyla bu dönemde meydana gelebilecek deprem ve yağışlı bir dönem sahadaki maksimum riskin oluşmasında etkili olacaktır. Bunun tam tersi bir durum ise aralık ayı için geçerlidir. Ürünler için toplam ekonomik kayıp en fazla temmuz ayında 15 milyon TL olurken, en az aralık ayında yaklaşık 4 milyon TL olmaktadır.
- ✓ Evreşe ovasını kateden Çanakkale-İstanbul karayolu platformu (1 – 5 m yükseklikte) baraj sonrası ikinci bir set gibi çalışacak olup taşkın sularını gerisinde toplayacak ve tarım alanları üzerinde daha uzun süreli göllenme oluşacaktır. Bu da olayın meydana geldiği aya da bağlı olarak tarım ürünleri üzerindeki etkisini arttıracaktır.
- ✓ Baraj taşkın senaryosunda ortaya konan bu ekonomik kayıplar sadece tarım ürünleri üzerinden yapılmış olup bunlara köprü, yol, yerleşim vb. diğer türlere ait kayıplar dahil edilmemiştir. Bunlarında eklenmesi ile kayıpların daha fazla olması beklenen bir sonuçtur.

Yukarıda belirtilen genel sonuçlara ek olarak kullanılan veri ve yöntemle ait bir takım sonuçları ise şu şekilde özetleyebiliriz;

- ✓ Çalışmada kullanılan baraj gediklenme parametreleri saha için uygun sonuçlar vermiştir.
- ✓ Çalışmadaki bütün modellemeler 1:25000 ölçekli topografik haritalardaki 2.5, 5 ve 10 m aralıklı eşyüksekti eğrileri ve platform çevresinde alınan GPS noktaları temelli oluşturulan TIN modeline bağlı olarak yapılmıştır. Dolayısıyla altlık olarak alınan TIN modelinin yüzeyi temsil kabiliyeti orta ölçek düzeyindedir. Sadece yol platformu topografik haritaya eklenmiş olup Kavak Deresi'nin barajdan Kavak 1 köprüsüne kadarki yatak özellikleri modelde tam olarak yansıtılamamıştır.
- ✓ Baraj sonrası Kavak Deresi'ne katılan alt kolların üzerinde AGİ'nin olmaması yağış-akış modellerinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bunda çalışmada kullanılan SCS-CN yağış-akış modeliyle üretilen akım değerleri özellikle tarımsal havzalarda ölçülen akım değerlerine büyük oranda yakınlık göstermiştir. Burada tek problem, havza içinde havza karakterlerini tam yansıtabilecek yağış istasyonunun bulunmamasıdır. Bu da havzaya en yakın meteoroloji istasyonu verilerinin kullanılmasıyla aşılmaya çalışılmıştır.
- ✓ Modellemenin yapıldığı Hec-GeoRAS yazılımı ve hidrolik yazılım olan HEC-RAS yazılımları tek boyutlu (1D) hidrolik modellemelerinin kolay bir şekilde yapılabildiği ve yoğun geometrik değişkenlerin işlenebildiği yazılımlardır. Burada özellikle Hec-GeoRAS, HEC-RAS'ta üretilen değişik akımlara ait (düzenli-düzensiz) dağılışı, derinlik, hız ve akarsu etki gücü değerlerinin raster tabanda haritalanmasında olanaklar sağlamakta, bunlarda CBS ortamındaki risk çalışmalarında önemli altlıklar olmaktadır.
- ✓ CBS ise hidrolojik, hidrolik ve risk çalışmalarına ait verilerin kolay bir şekilde işlenebildiği, haritalanabildiği bir sistemler bütünü özelliğine sahiptir. CBS veri yapısına sahip bu özellikler, zamanın değişkenliğine bağlı olarak güncellenebilir ve planlamalara yön verebilir.

Bütün bu sonuçlara karşın sahaya ve bu tür çalışmalarla ilgili yapılabilecek önerileri şu şekilde sıralayabiliriz;

- ❖ Ülkemizin sahip olduğu tektonik özelliklere bağlı olarak barajların konumlandırılacağı akarsu havzaları üzerinde havza yönetim planlamaları eğer varsa baraja göre tekrardan revize edilmeli, yoksa da artık havzanın içerisinde büyük değişikliğe sahip olacak baraja

göre oluşturulmalıdır. Bu yönetimin içeriği sadece baraj gölünün dolup dolmamasına yönelik olmamalı, baraj sonrasındaki alanlar için baraj kaynaklı olası tehlikelere karşıda olmalıdır.

- ❖ Üzerinde baraj yapılan akarsulara baraj sonrası ana kola katılan alt kolların özellikle yağışlı dönemlerdeki akım verilerinin gözlenmesi açısından AGİ'lerin kurulmasının büyük önemi vardır. Çünkü alt havzalardan gelebilecek akımlar, baraj kaynaklı akımlarla da birleşince, tahminlerin üzerinde akım verileri ortaya çıkabilmekte ve zararın boyutu da buna bağlı olarak artabilmektedir.
- ❖ Yapılacak baraj kaynaklı olası taşkınların modelleme işlemleri, en azından 1:25000 ölçekli eğer mümkünse 1:5000 hatta 1:1000 ölçekli olarak yapılmalıdır. Bunun için de yüksek çözünürlüklü SAM verileri (LIDAR gibi) arazi yüzeyini daha iyi yansıtabilmesi ve suyun hareketini daha doğru yön vermesi bakımından bu modellemelerde kullanılmalıdır.
- ❖ Senaryolara ait modellemeler tek boyutlu (1D), iki boyutlu (2D) veya ikisinin birlikte değerlendirildiği (1D&2D) modellerle test edilmeli, buna göre baraj sonrası akarsu yatak özelliklerine bağlı olarak en iyi model seçimiyle daha gerçekçi sonuçlara ulaşılmalıdır.
- ❖ Evreşe Ovası'ndaki olası taşkınlarla ilgili olarak özellikle yol platformunun gerisinde oluşabilecek taşkın suyunun göllenmesi probleminin, suyun bir şekilde sadece köprü alanından değil, platform altında birikmesine izin vermeden birden fazla açılacak menfez ile iletilmesinin sağlanması gerekmektedir.
- ❖ Olası taşkın senaryoları daha yüksek çözünürlükte ve değişik modeller kullanılarak tekrarlanmalı en iyi sonucun elde edildiği taşkın haritalarına bağlı olarak olası dolu savak ve baraj çökmesi modellerine bağlı yüksek riskli alanlar içinde kalan tarım alanlarına ait sigorta işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- ❖ Böylelikle can kayıplarının ortadan kaldırılabileceği bu tür olaylara karşı, mal kayıpları da minimize edilebilir ve bir insan kaynaklı olacak bu tür bir tehlike yine insan ve onun faaliyetine zarar vermeden önlenebilecektir.

Kaynaklar

- Ağırlioğlu, N. (2007a). Baraj Planlama ve Tasarımı, Cilt 1, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Ağırlioğlu, N. (2007b). Baraj Planlama ve Tasarımı, Cilt 3, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Aksoy, M.E., Meghraoui, M., Vallee, M., and Çakır, Z. (2010). Rupture characteristics of the A.D. 1912 Mürefte (Ganos) earthquake segment of the North Anatolian fault (western Turkey), *GSA, Geology*, v. 38, no. 11, p-991-994.
- Ambraseys, N.N., and Finkel, C.F. (1987) The Saros- Marmara earthquake of 9 August 1912: *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, v. 15, p. 189–211, doi: 10.1002/eqe.4290150204.
- Beven, K.J. (2001). *Rainfall-Runoff Modelling*, John Wiley & Sons, LTD, England.
- CEIWR-HEC. (1985). *AGDAM Agricultural Flood Damage Analysis-User's Manuel*, US Army Corp Engineers, USA.
- Costa, J.E. (1985). *Floods from Dam Failures*, US Geological Survey, Open-File Report 85–560, Denver, Colorado, 54.
- Das, S., and Paul, P.K. (2006). “Selection of site for small hydel using GIS in the Himalayan region of India”, *Journal of Spatial Hydrology*, Vol. 6, No.1.
- Dinçergök, T. (2009). The Role of Dam Safety in Dam-Break Induced Flood Management, *River Basin Flood Management, Proceedings Book*, p 682-697.
- Dutta, D., Herath, S., ve Musiaka, K. (2006). An application of a flood risk analysis system for impact analysis of a flood control plan in a river basin, *hydrological processes* 20, 1365-1348.
- Evans, S.G. (1986). The Maximum Discharge of Outburst Floods Caused by the Breaching of Man-made and Natural Dams, *Canadian Geotechnical Journal*, 23(3), 385–387.
- Fread, D.L. (1991). *The News Dambrk Model: Theoretical Background/User Documentation*, National Weather Services, NOAA, Maryland, USA.
- Fread, D.L. (2000). “NWS FLDWAV Model: Theoretical Description,” Hydrologic Research Laboratory, Office of Hydrology, National Weather Service, NOAA, March 6 2000.
- Froehlich, D.C. (1995a). Embankment Dam Breach Parameters Revisited, *Proceedings of the 1995 ASCE Conference on Water Resources Engineering*, San Antonio, Texas. August. p. 887-891.
- Froehlich, D.C. (1995b). Peak Outflow from Breached Embankment Dam, *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 121, no. 1, p. 90-97.
- Gumbel, E.J. (1958). *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York.
- Hagen, V.K. (1982) Re-evaluation of Design Floods and Dam Safety, *Proceedings of the 14th International Commission on Large Dams Conference*, Rio de Janeiro, Brazil.
- Hecker, O. (1920). *Mitteilungen über Erdbeben im Jahre 1912: Jena, A. Sieberg, Hauptstation für Erdbebenforschung*, 26 p.
- Horritt, M.S. and Bates, PD. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation, *Journal of Hydrology*, 268, 87-99.
- Hydrologic Engineering Center (HEC) (2008). *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Ver. 4.0*, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
- IACWD (Interagency Asvisory Committee on Water Data). (1982). *Guidelines for Determining Flood Frequency*, Bulletin#17B of Hydrology Subcommittee, Office of Water Data Coordination, US Geolohisal Survey, Reston, V.A.
- ICOLD. (1973). *Lessons from Dam Icidents, Abridged Edition*. USCOLD, Boston, Massachusetth,.
- ITC. (2006). “Determination of peak runoff”, www.itc.nl/ilwis/applications/application11.asp

- Johnson, R.R. (1998). "An investigation of curve number applicability to the watersheds in excess of 2500 hectares (250 km²)", *Jornal of Environmental Hydrology*, Volume 6.
- Kirkpatrick, G.W. (1977). *Guidelines for Evaluating Spillways Capacity*, Water Power and Dam Construction, 29(8), 29–33.
- McDonald, Thomas C., and Monopolis, J.L. (1984). Breaching Characteristics of Dam Failures, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 110, No. 5, p. 567-586.
- Özdemir, H. (2007a). Farklı Senaryolara Göre Taşkın Risk Analizi: Havran Çayı Örneği (Balıkesir), *TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, sy. 155-166, Ankara
- Özdemir, H. (2007b). SCS CN Yağış-Akış Modelinin CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Uygulanması: Havran Çayı Havzası Örneği (Balıkesir). *Ankara Üniversitesi Coğrafi Bilimler Dergisi*, Cilt 5, Sayı 2, 1-12, Ankara.
- Özdemir, H., Akbulak, C., ve Özcan, H. (2011). Çokal Barajının (Çanakkale) Çökme Modellemesi ve Taşkın Risk Analizi, *İ.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri, YADOP 4400*, İstanbul.
- Pataki, G.E and Cahill, C.H. (1989). *Guidelines for Design of Dams*, New York State Department Of Environmental Conservatin Division Of Water Bureau Of Flood Protection Dam Safety Section, USA.
- Penning-Rowell, E.C., Johnson, C., Tunstall, S., Tapsell, S., Morris, J., Chatterton, J., Coker, A., Green, C. (2003). *The Benefits of flood and coastal defence: techniques and data for 2003*, Flood Hazard Research Centre, Middlesex University.
- Ramsbottom, D., Floyd, P., and Penning-Rowell, E. (2003). *Flood Risks to People Phase 1, R&D Technical Report FD2317*. UK.
- Reiter, P. (2000). *International methods of Risk Analysis, Damage Evaluation and Social Impact Studies concerning Dam-Break Accidents*, Helsinki: PR Water Consulting.
- Rico, M.; Benito, G.; Diez-Herrero, A. (2008a). Flood from tailing dam failures. *J. Hazard. Mater.*, 154 (1-3), 79-87.
- Rico, M., Benito, G., Salgueiro, A. R., Diez-Herrero, A. (2008b). Reported tailing dam failures: A review of the european incidents in the worldwide context. *J. Hazard. Mater.*, 152 (2), 846-852.
- Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J., and Freveret, R.K. (1993). *Soil and Water Conservation Engineering*, J. Wiley and Sons, NewYork, 507 pp.
- SCS. (1964, 1972). *Hydrology – National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10*, Soil Conservation Service, USDA, Washington, D.C.
- SCS. (1981). *Simplified Dam-Breach Routing Procedure*, Technical Release No.66 (Rev.1), December 1981, p39.
- Singh, K.P., and Snorrason, A. (1984). "Sensitivity of Outflow Peaks and Flood Stages to the Selection of Dam Breach Parameters and Simulation Models," *Journal of Hydrology*, vol. 68, p. 295-310.
- Satrapa, L., Fosumpaur, P., Horsky, M. (2005). *Methods of flood damage evaluation*, MSPowerPoint Presentation.
- Tüysüz, O., Barka, A. and Yiğitbaş, E. (1998). Geology of Saroz Graben and its implications for the evolution of the North Anatolian fault in the Ganos-Saroz region, northwestern Turkey, *Tectonophysics*, 293, 105-126.
- USACE (US Army Corps of Engineers). (1993). *Engineering and Desing Hidrologic Frequency Analysis*, Department of Army, EM-1110-2-1415, USA.
- USACE (US Army Corps of Engineers). (1996). *Engineering Manual . EM 1110-2-1619. Engineering and Design . Risk based analysis for flood damage reduction studies*.
- USACE (US Army Corps of Engineers). (2010). *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manuel*, USA.

Özdemir, H., Akbulak, C., Özcan, H. (2011). Çokal Barajı (Çanakkale) çökme modeli ve taşkın risk analizi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi* [Bağlantıda]. 8:2. Erişim: <http://www.insanbilimleri.com>

- U.S. Bureau of Reclamation. (1982). Guidelines for Defining Inundated Areas Downstream from Bureau of Reclamation Dams, Reclamation Planning Instruction No. 82-11, June 15, 1982.
- U. S. Bureau of Reclamation. (1988). "Downstream Hazard Classification Guidelines," ACER Technical Memorandum No. 11, Denver, Colorado, December 1988, 57 p.
- USDA. (1985). National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Ündül, Ö. (2001). Çokal Baraj Yeri ve Göl Alanının (Gelibolu) Jeomühendislik İncelemesi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Von Thun, J.L., and Gillette, D.R. (1990). Guidance on Breach Parameters, Unpublished Internal Document, US. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 17 pp.
- Wahl, T.L. (1998). Prediction of Embankment Dam Breach Parameters, A literature Rivew and Needs Assessment, Dam Safety Research Report, USA.
- Wallingford, H.R. (2006a). Flood Risk to People Phase 2, FD2321/TR1 Guidance Document, Defra/Environmental Agency, UK.
- Wallingford, H.R. (2006b). Flood Risk to People Phase 2, FD2321/TR2 Guidance Document, Defra/Environmental Agency, UK.
- www.dsi.gov.tr/bolge/dsi11/tekirdag Erişim tarihi 10 Aralık 2010.
- www.tarim.gov.tr/TurkiyedeTarim,Tarim_Takvim.html Erişim tarihi 15 Mart 2011.
- Wanielista, M., Kersten, R., and Eaglin, R. (1997). Hydrology: Water Quantity and Quality Control, John Wiley & Sons, Ltd.