



Estimation of potential flash flood risk in a basin using morphometric parameters: A case study of Akçay Basin

Müsteyde Baduna Koçyiğit^{ID}, Hüseyin Akay*^{ID}

Department of Civil Engineering, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

Highlights:

- Computation of morphometric parameters of sub basins of Akçay Basin
- Evaluation of flood potential of sub basins of Akçay Basin
- Evaluation of the location of Yunuslar HEPP

Keywords:

- Akçay Basin
- Flash flood potential
- Basin prioritization
- Morphometric parameters
- Yunuslar HEPP

Graphical/Tabular Abstract

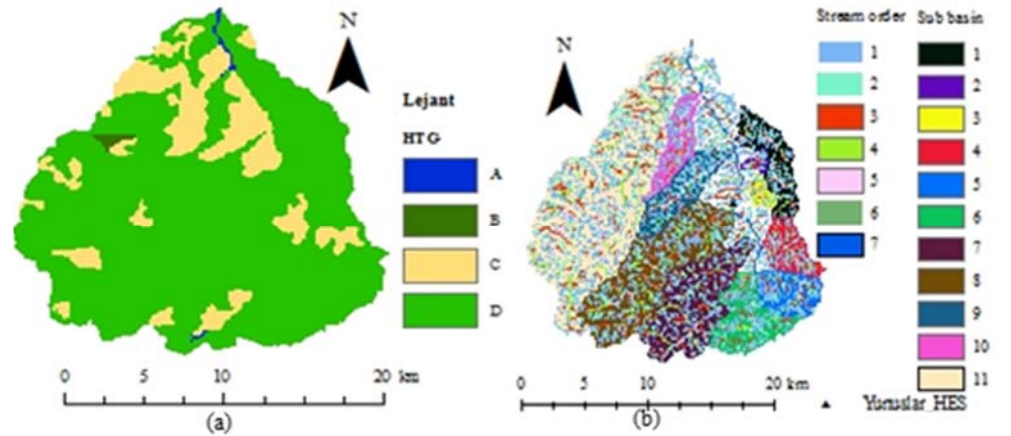


Figure A. (a) Hydrologic soil groups, (b) sub-basins and stream orders of Akçay Basin

Article Info:

Received: 03.03.2017

Accepted: 18.04.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416429

Acknowledgement:

This study is a production of the 114M292 Project sponsored by TUBITAK.

Correspondence:

Author: Hüseyin Akay
e-mail: hakay@gazi.edu.tr
phone: +903125823240

Purpose:

In this study, the Akçay Basin located in Western Black Sea Region is divided into 11 sub basins and a prioritization method is employed to evaluate the flash flood potential of those sub basins with the usage of the morphometric parameters computed from geometrical parameters of those sub basins, the drainage network and the stream orders.

Theory and Methods:

The Akçay Basin was divided into sub basins and the geometrical parameters of those sub basins, the drainage network and the stream orders specified by the Strahler method were determined by using ArcGIS 10.1. Thus, the morphometric parameters of each sub basin were computed, sub basins were ranked by using those values according to their flash flood potentials and then prioritized. Moreover, a graphical method was used to investigate the flash flood potentials of the sub basins.

Results:

It was found out that less than half of the sub basins had high flash flood potential so check dams could be constructed at the outlets of those sub basins to mitigate flooding in the area. Furthermore, existing river bridge at the outlet of one of the sub basins with medium flash flood potential should be protected against excessive scouring at the piers due to those flash floods.

Conclusion:

According to the prioritization of the sub basins, it was found out that the locations of the Yunuslar HEPP was appropriate to collect water from sub basins with high and medium flash flood potentials. Graphical method showed that all sub basins had medium flash flood potential.



Morfometrik parametreler yardımıyla havzada muhtemel taşkın riskinin tahmin edilmesi: Akçay Havzası örneği

Müsteyde Baduna Koçyiğit^{ID}, Hüseyin Akay*^{ID}

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eti Mah. Yükseliş Sok. No.5, Maltepe, Ankara, 06570, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Akçay havzası alt havzalarının morfometrik parametrelerinin hesaplanması
- Akçay havzası alt havzalarının taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi
- Yunuslar HES konumunun değerlendirilmesi

Makale Bilgileri

Geliş: 03.03.2017

Kabul: 18.04.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416429

Anahtar Kelimeler:

Akçay havzası,
taşkın potansiyeli,
havza önceliklendirilmesi,
morfometrik parametreler,
Yunuslar Hidroelektrik
Santrali

ÖZET

Bu çalışmada Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Akçay havzası ArcGIS 10.1 kullanılarak alt havzalara ayrılmış, alt havzaların geometrik özellikleri, drenaj ağı ve Strahler yaklaşımına göre drenaj ağının mertebeleri belirlenmiştir. Böylece her bir alt havzaya ait morfometrik parametreler hesaplanmıştır. Daha sonra alt havzaların taşkın potansiyeli açısından değerlendirilebilmesi için literatürde bulunan önceliklendirme yöntemi uyarlanarak morfometrik parametrelerin kullanılmasıyla alt havzalar taşkın potansiyellerine göre sıralanmışlardır. Yapılan alt havza önceliklendirilmesine göre Akçay havzasında bulunan Yunuslar HES rezervuarının, yüksek taşkın potansiyeline sahip ve toplam drenaj alanının yaklaşık yarısını oluşturan alt havzayı kapsadığı tespit edilmiştir. Ayrıca çıkış noktasında bir akarsu köprüsü bulunan ve en büyük drenaj alanına sahip alt havzada bir önlem yapısı yapılmasının, gerek köprüünün gerekse havzanın taşkından etkilenme olasılığını azaltacağı öngörülmüştür. Daha az sayıda morfometrik büyüklük kullanılarak alt havzalarda meydana gelebilecek ani taşkın potansiyeli literatürde bulunan grafiksel yöntemle göre de incelenmiş ve tüm alt havzaların taşkın potansiyeli orta olarak belirlenmiştir.

Estimation of potential flash flood risk in a basin using morphometric parameters: A case study of Akçay Basin

H I G H L I G H T S

- Computation of morphometric parameters of sub basins of Akçay basin
- Evaluation of flood potential of sub basins of Akçay basin
- Evaluation of the location of Yunuslar HEPP

Article Info

Received: 03.03.2017

Accepted: 18.04.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416429

Keywords:

Akçay basin,
flood potential,
basin prioritization,
morphometric parameters,
Yunuslar Hydroelectric
Power Plant

ABSTRACT

In this study, the Akçay basin located in Western Black Sea Region was divided into sub basins and the geometrical parameters of those sub basins, the drainage network and the stream orders specified by the Strahler method were determined by using ArcGIS 10.1. Thus, the morphometric parameters of each sub basin were computed. Then, in order to be able to evaluate the sub basins in terms of flood potential, a prioritization method in the literature was adapted and with the usage of the morphometric parameters the sub basins were graded according to their flood potentials. According to the sub basin prioritization carried out, it was determined that the reservoir of the Yunuslar HEPP located in the Akçay basin enclosed the sub basin which had a high flood potential and constituted approximately half of the total drainage area of the basin. Furthermore, it was suggested that construction of a check dam in the sub basin which has the largest drainage area and a river bridge located at its outlet point would reduce the potential effect of the flash flood for both the river bridge and the whole basin. The flash flood potential of all sub basins was also investigated by using lesser number of morphometric parameters according to a graphical method in the literature and the flash flood potential of all sub basins was found to be moderate according to this method.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: hakay@gazi.edu.tr / Tel: +90 312 582 3240

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tüm dünyada değişen iklim koşullarıyla birlikte sıcaklıklarda, yağışların şiddetinde ve meydana geldiği mevsimde farklılıklar gözlemlenmektedir. Sıcaklıklar mevsimsel olarak artış gösterirken yağışlar bazı mevsimlerde azalabilmekte bazıları ise artabilmektedir [1]. Bu durum dönemsel olarak kuraklıklara veya ani taşkınların meydana gelmesine neden olabilmektedir. Değişen iklim koşullarıyla birlikte havzada meydana gelen fiziksel veya coğrafik değişimler de taşkın şiddetini ve etkisini önemli derecede artırabilmektedir. Örneğin artan nüfus ve yeni kentleşme alanları nedeniyle havzadaki arazi kullanımı ve bitki örtüsünde meydana gelebilecek ciddi değişimlerle yüzeysel akış ile yeraltına sızan su miktarı etkilenebilmektedir. Dolayısıyla yüzeye düşen yağış şiddeti ve miktarı kadar daha sonra bu suyun hareketini etkileyen havza özellikleri de etkili olmaktadır.

Taşkın riski, taşkın olma olasılığı ile taşkın olması durumunda ortaya çıkan etki ve sonuçların çarpımı şeklinde ifade edilebilir [2]. Risk analizi ise belirli bir süre içerisinde bir taşkın hiç olmama ya da en az bir, iki veya daha fazla sayıda meydana gelebilmesi ile ilgilidir [3]. Bir havzada meydana gelebilecek taşkın riskinin belirlenmesi ile ilgili literatürde çeşitli istatistiksel çalışmalar bulunmaktadır [4]. Bunların bir kısmı noktasal debi ölçümlerinin frekans analizlerine dayanmakta ve taşkın büyüklüğü ile meydana gelebilme ihtimalini incelemektedir. Tüm bu noktasal frekans analizleri, ölçüm noktasında nicel bir büyüklük vermekte olup alt havzaların davranışları ile ilgili herhangi bir fikir vermemektedir. Taşkın riskinin belirli bir olasılığa göre değerlendirildiği frekans analizlerinden farklı olarak alt havzaların taşkın üretme potansiyellerinin incelendiği çeşitli ampirik yöntemler de mevcuttur.

Çalışma kapsamında ampirik yöntemlerden başlıca iki ana yöntem kullanılmıştır. Bunlardan ilki havzaya ait çeşitli fiziksel parametrelerle bunların kümülatif etkilerinin dikkate alındığı yöntem, ikincisi ise havzaların bazı fiziksel özelliklerinden yararlanılarak elde edilmiş grafiksel sınıflamanın yapıldığı yöntemdir [5, 6]. Ayrıca havzaların geometrik büyüklükleri incelenerek havzanın drenaj özellikleri ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır [7-9]. Genel olarak kullanılmakta olan yöntemlerde havzaya ait morfometrik parametreler belirlenerek havzanın morfometrik analizi yapılmakta, böylece hidrolik parametreler ile jeomorfolojik özellikler arasındaki ilişki [10] anlaşılmasına çalışılmaktadır [11-13]. Havzanın detaylı morfometrik analizi sayesinde havzanın drenaj ağı ve bu drenaj ağının arazi şekli ve diğer özellikleri üzerindeki etkisinin anlaşılmasında ciddi katkı sağlanmaktadır [13, 14]. Akarsu ağlarının analizi ile drenaj alanının coğrafik ve morfolojik değerlendirilmesi çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır [15]. Morfometrik bağıntıların kullanıldığı alanlardan bazıları akarsu hidroliği, taşkın tahmini, akarsularda sediment ve kirleticilerin taşınım [16, 17] ve birikiminin modellenmesi [18-20], yeraltı suyu

potansiyelinin değerlendirilmesi [21], ani taşkın risk tahmini [5, 6] ve havza önceliklendirilmesi [22-24] sayılabilir [15]. Morfometrik büyüklüklerin temsil ettiği havzanın hidrolojik parametreleriyle de doğrudan ilişkisi bulunmaktadır [15]. Örneğin Magesh vd. [25] havzaya ait morfometrik bağıntıları kullanarak pik taşkın debisi, sediment verimi ve erozyon oranlarının tahminini gerçekleştirmişlerdir. Taşkınlar arazi karakteristikleri veya drenaj ağları karakteristikleriyle yakından etkilenmektedir. Hudson ve Colditz [26] akarsu mertebesi, drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı, eğimi, relief oranı, yüzey akış uzunluğu gibi morfometrik parametrelerle benzer diğer jeomorfolojik büyüklüklere bağlı olarak havza sistemlerinin daha iyi anlaşılabilceğini ifade etmişlerdir.

Ani taşkın meydana gelme olasılığının belirlenmesi için kullanılan grafiksel sınıflamaya dayalı yöntem ise El-Shamy [5] tarafından geliştirilmiştir. El-Shamy [5], alt havzalarda akarsuların dallanma oranı – akarsu sıklığı ile dallanma oranı–drenaj yoğunluğu arasındaki ilişkiye göre ampirik bir diyagram oluşturmuş ve ilgili büyüklüklerin grafikte kesiştikleri bölgeye göre alt havzaların taşkın oluşma potansiyelini az, orta ve yüksek olmak üzere 3 gruba ayırmıştır. Mısır'da bulunan havzalar için geliştirilmiş olan bu yaklaşım günümüzde birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarda da kullanılmaktadır [6, 13]. Javed vd. [22] ve Patel vd. [24] yaptıkları çalışmalarda çalıştıkları havzaları sırasıyla 7 ve 10 adet alt havzaya ayırarak her bir alt havzaya ait morfometrik değerleri hesapladılar. Çalışılan havzada alt havzaların çıkış noktasında meydana gelebilecek taşkın potansiyelini belirlemek için her bir alt havzanın morfometrik değerleri çalışılan parametre değerine göre potansiyeli en yüksek alt havzaya 1 verilmek üzere en az potansiyeli olan alt havzaya da alt havza sayısına eşitleyerek notlandırma yapılmıştır. Her bir alt havzanın her bir morfometrik değerden aldıkları notlar toplanarak alt havzalar kendi aralarında riskli durumlara göre önceliklendirilmiştir. Özdemir ve Bird [19], Havran Havzası'nı 8 alt havzaya ayırarak Javed vd. [22] ve Patel vd. [24] çalışmalarına benzer olarak havzanın taşkın potansiyeli için yaptıkları notlandırmada en az taşkın potansiyeline sahip durumu 1'den başlatıp en fazla potansiyelli durumu alt havza sayısı kadar notlandırıp alt havzaların oluşturacağı taşkın potansiyelini değerlendirmişlerdir. Bu önceliklendirme sonuçlarına göre çıkış noktasını potansiyel taşkın etkisinden koruyabilmek için önlem alınması gereken alt havzaları kendi aralarında sıralamışlardır. Youssef vd. [6], oluşturdukları alt havzalara ait morfometrik büyüklükleri taşkın potansiyeli en küçük ve en büyük değerlerinin açıklığını 5 eşit gruba ayırarak not artırım aralığı belirleyip ((En büyük–En küçük)/5), her bir alt havzaya ait her bir morfometrik değeri notlandırmışlardır. Böylece her bir alt havzanın morfometrik değerleri için aldıkları toplam nota göre alt havzalar kendi aralarında taşkın potansiyel gruplarına göre önceliklendirilmiştir. Bir havzada drenaj ağları saha gözlemleri ve topografik haritalar gibi geleneksel yöntemler ya da buna alternatif olarak uzaktan algılama ve sayısal yükseklik modeli (SYM) gibi gelişmiş yöntemler

[19] kullanılarak tanımlanabilir [27-29]. Özdemir ve Bird [19] çalışma alanında topografik harita ve SYM kullanarak morfometrik büyüklükleri hesaplamış ve alt havzaları ani taşkın potansiyellerine göre önceliklendirmişlerdir.

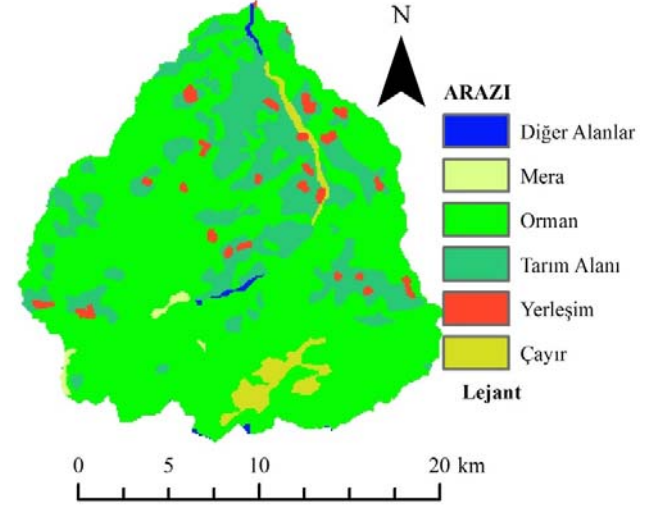
Bu çalışma kapsamında Batı Karadeniz’de bulunan Akçay drenaj alanında morfometrik büyüklükler kullanılarak alt havzaların taşkın potansiyellerine göre önceliklendirilmesi Youssef vd. [6] ve Patel vd. [24] yöntemlerine benzer bir yöntemle yapılmıştır. Ayrıca El Shamy [5] tarafından önerilen diyagram kullanılarak alt havzaların ani taşkın potansiyelleri grafiksel olarak incelenmiştir. Böylece Yunuslar Regülatörü’nün muhtemel taşkını öteleyebilme kabiliyeti bakımından konumlandığı yer hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI (STUDY AREA)

Çalışma kapsamında Batı Karadeniz Havzası sınırları içerisinde 588.770–612.453 X ve 4.620.904–4.645.334 Y koordinatları arasında (UTM ED50, Zone 36 N) yer alan, 372,4 km² drenaj alanına ve 112,4 km çevre uzunluğuna sahip Akçay Havzası 11 adet alt havzaya ayrılmış ve bu alt havzaların bağıl olarak taşkın potansiyelleri incelenmiştir. Akçay’ın drenaj alanı Kastamonu İli Çatalzeytin ve Bozkurt İlçeleri (%76,5) ile Sinop İli Türkeli İlçesi (%23,5) sınırları içerisinde yer almaktadır. Havza yaklaşık 2000 m kotlardan suyu toplayıp Karadeniz’e deşarj etmektedir. Havza oldukça dik eğime sahip olup ortalama eğimi yaklaşık %45’tir. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Toprak Reformu Genel Müdürlüğü’nden temin edilen toprak türü ve arazi kullanım haritalarına göre arazi dağlık bölgelerden ve ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Ormanlık alanlara kurulmuş köyler, köylülerin tarım ve hayvancılık aktiviteleri için tarımsal alanlar, çayır ve mera alanları bulunmaktadır (Şekil 1). Havzada taş ocağı haricinde herhangi bir sanayi tesisi bulunmamaktadır. Akçay Çay’ının membaında 117,8 km² drenaj alanına sahip yan akarsu kolu üzerinde 2015 yılında ölçüm almaya başlamış olan Çatalzeytin akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Havzanın yukarı kısımlarında Akçay üzerinde kurulu elektrik üretim amaçlı Yunuslar Regülatörü ve Hidroelektrik Santrali (HES) bulunmaktadır (Şekil 1). 2015 yılında faaliyete geçen bu HES’in kurulu gücü 8 MW’tır.

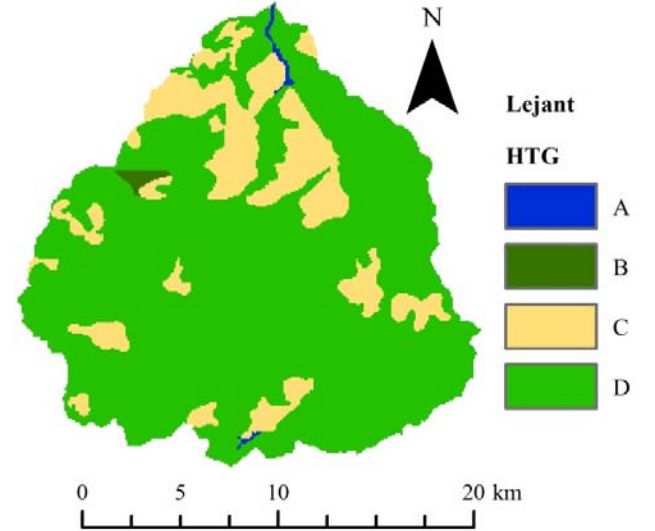
Havza içerisinde büyük toprak gruplarına göre sınıflandırma yapıldığında büyük bir kısmı kahverengi orman toprakları olup geri kalan kısmı ise alüvyonlu topraklardan oluşmaktadır. Havzanın hidrolojik toprak grupları (HTG) ABD Tarım Bakanlığı Doğal Kaynakları Koruma Servisi’nin çalışmasına göre Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre Grup A, düşük akış potansiyeline sahip derin kum, derin kül rengi toprak, kümelenmiş siltten, Grup B, kısmen düşük akış potansiyeline sahip sığ kül rengi toprak, kum balçık tipi zeminlerden oluşmaktadır. Grup C, kısmen yüksek akış potansiyeline sahip killi balçık, sığ kumlu balçık, düşük organik içeriğe sahip zeminler ve genellikle yüksek kil içeriğine sahip zeminlerden oluşurken Grup D ise yüksek akış potansiyeline sahip, yaş olduğunda önemli miktarda

şişen ağır plastik killer ve belirli miktarda tuzlu zeminlerden oluşmaktadır. Buna göre havzanın çoğunluğunun Grup D, oldukça az oranda Grup C ve çok küçük alanlarda Grup A ve Grup B HTG’lerden oluştuğu görülmektedir. Toprak özellikleri göz önüne alındığında havzada meydana gelebilecek olası bir fırtınanın akışa dönüşmesi kuvvetle muhtemeldir.



Şekil 1. Akçay drenaj alanının arazi kullanımı ve Yunuslar HES’in konumu

(Landuse of Akçay drainage basin and location of Yunuslar HEPP)



Şekil 2. Akçay drenaj alanında hidrolojik toprak grupları

(Hydrologic soil groups in Akçay drainage basin)

Havzanın genel olarak jeolojik yapısı akgöl ve çağlayan formasyonları ile çangal graniti ve alüvyon tabakasından oluşmaktadır. Akgöl formasyonunun alt seviyeleri metavolkanit, metapelit, fillat, siyah şeyl ar dalanması ile başlamakta, üst seviyelere doğru şeyllerle birlikte ince taneli kumtaşı ve silttaşı ara katkıları görülmektedir. Birim üstü doğru kumtaşı, silttaşı ve şeyl ar dalanmasına dönüşmektedir. Akgöl formasyonunun üst kısımları kilden kireçtaşına kadar

değişiklik gösteren litolojileri içermekte; yer yer ince tabakalanmalı killi kireçtaşı ve mikritik kireçtaşı tabakalanmaları görülmektedir. Çağlayan formasyonu genel olarak sarı, kahverengi, gri, orta-kalın tabakalı kumtaşı ile gri renkli, ince tabakalı silttaşı-şeyl ardalanması şeklindedir. Şeyllerde ise gri, siyahımsı renkli, ince tabakalı, tabaka aralarında kaba kumtaşı ve çakıl taşı mercekleri görülür. Çangal graniti genelde sarp bir topoğrafya oluşturur; ancak aşırı değişime uğradığı yerlerde oldukça yumuşak bir topoğrafyaya sahiptir. Birim beyazımsı, pembemsi, kırmızımsı, yeşilimsi renklindedir; ince-orta taneli, porfirik-granit dokulu olup som görünüşlüdür. Alüvyon tabakada blok ve çakılların %70'i granit, %30'u metavolkanit kayalardan türemiştir [30].

Akçay Havzası gerek toprak yapısı gerekse eğimli topoğrafyası nedeniyle çeşitli büyüklükte taşkınlar maruz kalabilmektedir. Akçay Çay'ında meydana gelen taşkınların tarım alanlarına, köy yolu ve menfez gibi alt yapı elemanlarına zarar verdiği görülmüştür. Ayrıca Karadeniz Bölgesi genelinde olduğu gibi bu havzada da HES yapılarak enerji üretim kapasitesinin artırılması amaçlanmaktadır. Bu nedenlerle gerek havzada HES için en uygun bölge seçimi ve gerekse taşkın riskinin belirlenebilmesi için detaylı çalışma yapılması gerekmektedir.

Akçay Çay'ı üzerinde Çatalzeytin ve komşu ilçelerin birbirleriyle ulaşımını sağlayan ve sahil şeridine paralel olan Çatalzeytin Köprüsü bulunmaktadır. Çatalzeytin Köprüsü'nün ağır hasar alması ya da yıkılması halinde ise ulaşımın sağlanacağı alternatif bir güzergâh henüz bulunmamaktadır. Çatalzeytin Köprüsü yerinde incelendiğinde köprü ayak temellerinin açığa çıktığı ve köprü üzerinde araç geçişleri sırasında ciddi şekilde hissedilen titreşimlerin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3).

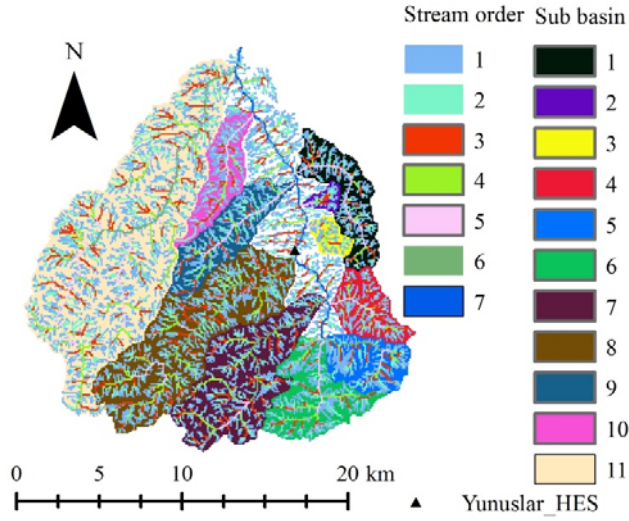
Yapılan araştırmalarda akarsu köprülerinin hasar görme ya da yıkılma nedenlerinin başında taşkınların köprü ayakları etrafında meydana getirdikleri aşırı oyulmaların neden olduğu görülmüştür [31-33]. Dolayısıyla söz konusu böyle bir felaket durumunda Çatalzeytin Köprüsü'nün alternatif güzergâhının olmayışı nedeniyle yerel halk gereksinimlerini karşılamakta güçlük çekecek, başta lojistik, ekonomik ve sosyal yönden olmak üzere büyük kayıplar yaşanabilecektir. Bu nedenlerle Akçay havzası alt havzalara bölünerek bunlara ait morfolometrik büyüklükler incelenmiş ve taşkın oluşumuna önemli katkı sağlayacak muhtemel alt havzalar belirlenmiştir.

3. YÖNTEM (METHOD)

Havzanın drenaj ağı, 1/25.000 ölçekli haritalardan ArcGIS 10.1 yardımıyla 10 m aralıklarla oluşturulmuş SYM'den yararlanılarak elde edilmiştir. SYM ve akım yönü kullanılarak akım toplanma miktarları belirlenmiştir. Akarsuyun oluşabilmesi için gerekli olan akım toplanma miktarlarının eşik değerini Özdemir ve Bird [19] 75 olarak belirlerken, bu çalışmada 100 olarak belirlenmiştir [6, 34]. Havza ve drenaj ağı vb. katmanlar HecGeo-HMS'e aktarılmış, drenaj ağının mertebeleri Strahler [35] yaklaşımına göre ArcGIS yardımıyla belirlenmiş ve bu mertebeler manuel olarak öz nitelik tablosuna eklenmiştir. İşlemler sonucunda ana kanalın mertebesi 7 olup, bu kanalı oluşturan ve mertebeleri 6 olan alt havzalar ile ana kanala bağlanan mertebeleri 5 ve 6 olan drenaj ağlarının toplandığı 11 adet alt havza oluşturulmuş ve aralarında korelasyon kurulmuştur. 11 adet alt havzanın morfolometrik değerleri hesaplanmış ve ana kanal üzerindeki taşkın potansiyelleri iki farklı yöntemle incelenmiştir. Şekil 4'te Akçay Havzası'ndaki alt havzalar, akarsu ağı ile mertebeleri görülmektedir.



Şekil 3. Çatalzeytin köprü ayaklarında aşırı oyulma nedeniyle temel pabuçlarının açığa çıkması
(Disclosure of footing of Çatalzeytin bridge pier due to the excess scouring)



Şekil 4. Akarsu ağı ve mertebeleri ile alt havzalar (Stream network and their orders and sub basins)

Youssef vd. [6] havzaların taşkın potansiyeli açısından değerlendirilmesinde havzaların drenaj alanı, çevresi, eğimi gibi temel geometrik özelliklerin de aralarında olduğu çok sayıda parametre kullanarak, Patel vd. [24] ise alt havzaların temel geometrik özelliklerini kullanarak daha az sayıda morfometrik büyüklük belirlemiş, bu değerlerden yararlanarak alt havzaların taşkın potansiyellerini değerlendirmişlerdir. Youssef vd. [6] tarafından önerilen değerlendirmede taşkın potansiyel grubu sayısı alt havza sayısına eşit alındığında havzaların önceliklendirilmesi doğrudan yapılabileceğinden, bu durumda Youssef vd. [6] ile Patel vd. [24] çalışmaları arasında bir benzerlik görülmektedir. Bu çalışmada öncelikle Patel vd. [24] tarafından önerilen parametrelere ek olarak ro katsayısı ve genişlik uzunluk oranı gibi taşkın potansiyelinin incelenmesinde önemli olduğu düşünülen iki morfometrik parametre daha eklenerek değerlendirmeye alınmıştır. Daha sonra Youssef vd. [6] tarafından önerilen taşkın potansiyel grupları alt havza sayısı kadar alınmış ve alt havzalar arası ani taşkın oluşturabilme potansiyeli yönünden bir önceliklendirme yapılmıştır.

Alt havzalarda taşkın potansiyelinin değerlendirilmesinde drenaj ağının ve havza şeklinin önemi oldukça fazladır. Çalışma kapsamında kullanılmış olan morfometrik parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Dallenma oranı (R_b), ArcGIS yardımıyla Strahler [35] yaklaşımına göre belirlenen akarsu mertebeleri kullanılarak belirlenmiştir. Her bir alt havzaya ait R_b akarsu mertebelerinin ağırlıklı ortalamalarına göre hesaplanmıştır. R_b değeri genellikle 3 ve 5 arasında değişmekte ve jeolojik yapıların drenaj ağı üzerindeki etkisi hakkında belirleyici olmaktadır [9]. Küçük R_b değerleri drenaj ağı üzerinde az rahatsızlık oluştururken, büyük R_b değerleri drenaj ağı üzerinde önemli rahatsızlıklar oluşturmaktadır [22, 24]. Drenaj yoğunluğu (D_d), havzadaki akış potansiyeli, sızma kapasitesi, iklim şartları ve bitki örtüsü hakkında fikir vermektedir [19]. Büyük D_d değerleri, akarsuların oldukça yoğun olduğunu ve fırtınada suyun çok

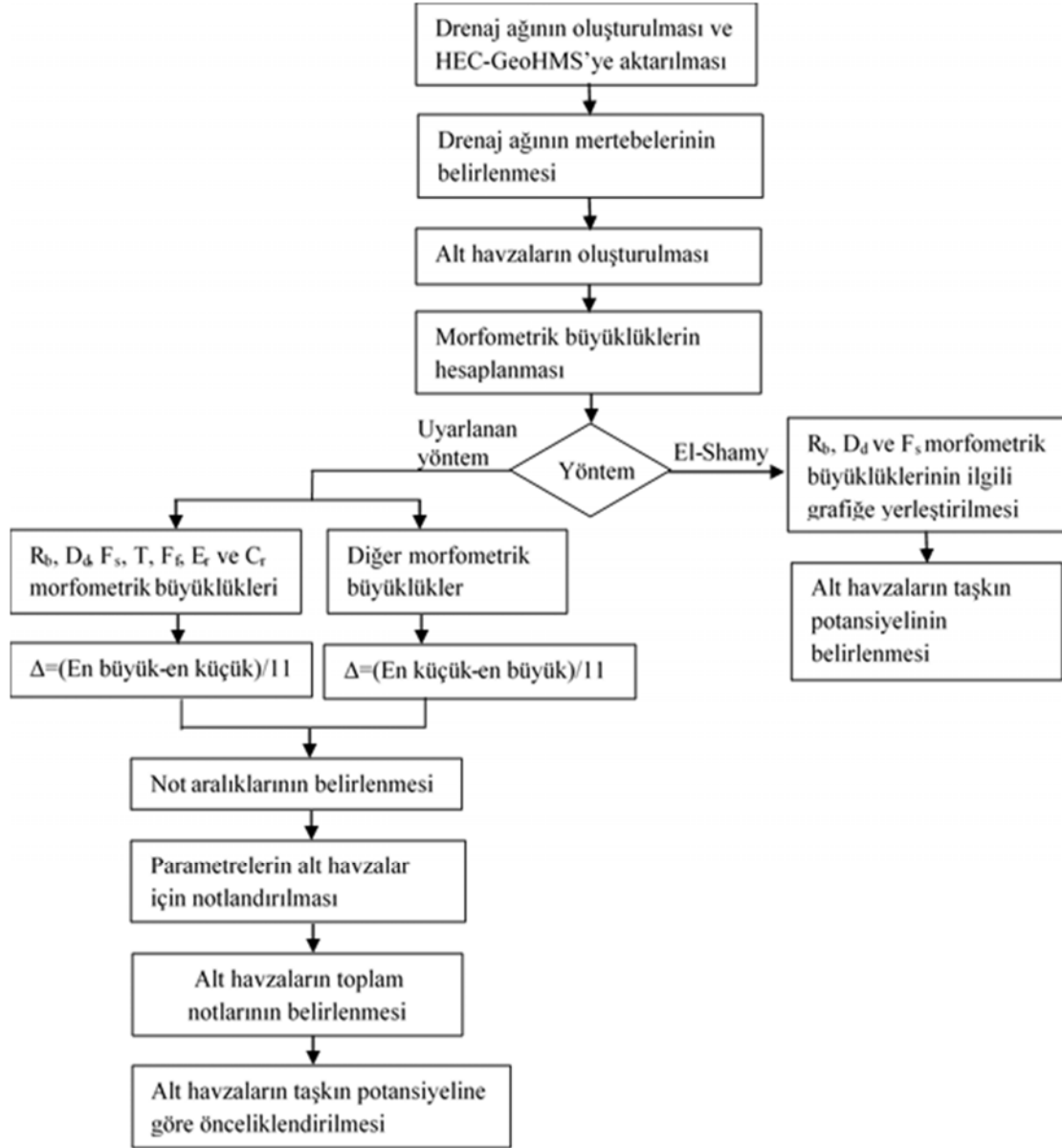
hızlı akışa geçeceğini ifade etmektedir [24, 39]. Akarsu sıklığı (F_s) değerinin büyük olması havzada geçirimsiz yüzey altı malzemesi, seyrek bitki örtüsü, yüksek relief şartları ve düşük sızma kapasitesine sahip toprak örtüsünün olduğunu göstermektedir [19]. Küçük F_s değerleri de küçük akışı ifade etmektedir [24]. Tekstür oranı (T) değeri, jeolojik yapı, ana kayanın sızma kapasitesi, relief yönü gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir [19].

T değeri büyük olan havzalarda meydana gelecek akış değeri de büyük olmaktadır. Yüzey akış uzunluğu (L_o), suyun belirli bir akarsuya bağlanmadan önceki uzunluğunu ifade eder. Havzanın hem hidrolojik hem de fizyografik gelişimini etkiler. Drenaj ağının gelişiminde hidrolojik ve morfolojik faktörlerin en baskındır ve akarsu ara mesafesi ile akarsuyun parçalara ayrılıp incelenme derecesinin bir ölçüsüdür [13].

Ro katsayısı (ρ), drenaj ağının depolama kapasitesinin değerlendirilmesinde katkı sağlar. ρ değerinin büyük olması durumunda taşkınlar sırasında akarsuyun daha fazla depolama yaptığını ve artan debiyle sönümlenme etkisinin de fazla olacağını göstermektedir [7].

Biçim faktörünün (F_f) büyük olması halinde pik debi daha çabuk meydana gelirken, küçük F_f değerlerinde daha küçük pik debi daha geç meydana gelecektir. Şekil faktörü (S_f), F_f ile ters orantılıdır [7]. Uzunluk oranı (E_r) değerinin, $0,90^\circ$ dan büyük olması durumunda havza dairesel, $0,80-0,90$ arasında olması halinde havza oval olarak tanımlanmakta, $0,70^\circ$ den küçük ise uzunluk oranı az olarak sınıflandırılmaktadır. Uzunluk oranı az olan havzalarda pik debi daha küçük değerlerde ve daha geç meydana gelmektedir. Sıklık katsayısının (C_c) küçük değerlerinde havza daha uzun, büyük değerlerde havza daha az uzundur. Dairesellik oranının (C_r), küçük olması halinde akım daha yavaş ve erozyon ihtimali daha az olmaktadır [24].

Genişlik uzunluk oranının (WL_r), az olması durumunda ise havzanın uzunluk oranı da artmaktadır [38]. Uyarlanan yöntemle göre, havzaların lineer özelliklerinin yanı sıra şekil, alansal, relief, drenaj yapısı gibi özellikleri de dikkate alınarak kümülatif bir değerlendirme yapılmıştır. Morfometrik büyüklükler taşkın potansiyelini tetikleyecek parametrelerden seçilmiş ve havzalar arasında bağıl bir değerlendirme yapılarak alt havzalar kendi aralarında önceliklendirilmiştir. Daha sonra her bir alt havzaya ait R_b ve D_d ile R_b ve F_s değerleri arasında El-Shamy'nin önerdiği grafiksel bağıntı kullanılarak alt havzaların genel olarak taşkın potansiyelleri değerlendirilmiştir. Bu diyagramlarda alt havzalar morfometrik büyüklüklerine göre taşkın potansiyeli yüksek, orta ve zayıf olmak üzere 3 bölgeye ayrılmıştır. Çalışmada kullanılan bu yöntemlerden ilki alt havzaların birbirlerine kıyasla taşkın potansiyellerinin daha fazla morfometrik parametreyle değerlendirmesini yaparken, El-Shamy yönteminde sadece üç morfometrik parametre kullanılarak drenaj özellikleri ile daha genel bir değerlendirme yapılarak alt havzaların taşkın potansiyelleri değerlendirilmiştir. Çalışmada izlenen işlem adımları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Alt havzaların taşkın potansiyelinin değerlendirilmesinde uygulanan akış seması
(Flow chart for the assessment of flood potential of the sub basins)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Her bir alt havzaya ait yukarıda bahsi geçen morfometrik büyüklüklerin değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Morfometrik büyüklüklerin değerleri, taşkın potansiyellerine göre iki ana gruba ayrılmıştır. Grup 1, taşkın potansiyeli ile doğru orantılı olan parametreleri kapsamaktadır. Bu grupta morfometrik parametre değeri büyüdükçe taşkın potansiyeli de büyümektedir. R_b , D_d , F_s , T , F_f , E_r ve C_r parametreleri bu grup içerisinde değerlendirilebilir. Grup 2 taşkın potansiyeli ile ters orantılı olan parametreleri içermektedir. Bu gruptaki parametre değerleri büyüdükçe taşkın potansiyeli de ters orantılı olarak küçülmektedir. L_o , ρ , S_f , C_c ve WL_r parametreleri bu grup içerisinde yer almaktadır. Her bir parametre için ani taşkın potansiyeli yüksek ise 1, az ise alt

havza sayısı olan 11 olarak notlandırılmıştır. Grup 1 parametreleri için taşkın potansiyel aralık değerleri $\Delta=(\text{En küçük değer}-\text{en büyük değer})/11$ artırım aralığıyla, Grup 2 parametreleri için $\Delta=(\text{En büyük değer}-\text{en küçük değer})/11$ artırım aralığıyla belirlenir. Örneğin, Grup 1 parametreleri için en büyük morfometrik değer ile $(\text{En büyük} - \Delta)$ morfometrik değerleri arasında alt havza 1 notunu alırken, morfometrik değer $(\text{En büyük} - 4\Delta)$ ile $(\text{En büyük} - 5\Delta)$ arasında olması halinde, alt havza ilgili morfometrik parametreden 5 notunu alacaktır. Bu yöntemle aynı değeri birden fazla havza alabilirken, bazı değerleri de hiçbir havza almayabilir. Her bir alt havzanın her bir morfometrik değerden aldığı notlar toplanarak ilgili alt havzanın toplam notu elde edilir. Toplam değer ne kadar büyükse taşkın potansiyeli o kadar küçük olmakta, toplam değer küçüldükçe de taşkın potansiyeli artmaktadır. Böylece her

Tablo 1. Morfometrik parametreler, formülleri ve tanımları (Morphometric parameters, formulae and descriptions)

Morfometrik Parametreler	Formül	Birim	Tanım	Referans
Dallanma Oranı (R _b)	N_u/N_{u+1}	-	Herhangi bir mertebedeki akarsu sayısının o merteye sonrasındaki akarsu sayısına oranıdır	[35]
Drenaj Yoğunluğu (D _d)	$\Sigma L_u/A$	1/km	Birim drenaj alanındaki toplam akarsu uzunluğudur	[36]
Akarsu Sıklığı (F _s)	$\Sigma N_u/A$	1/km ²	Birim drenaj alanındaki toplam akarsu sayısıdır	[36]
Tekstür Oranı (T)	N_1/P	1/km	Birim çevre uzunluğundaki birinci merteye akarsu uzunluğudur	[37]
Yüzey Akış Uzunluğu (L ₀)	$A/2L_u$	km	Drenaj yoğunluğunun tersinin yarısıdır	[7]
Ro Katsayısı (ρ)	L_{ur}/R_b	km	Akarsu uzunluk oranının dallanma oranına oranıdır	[7]
Biçim Faktörü (F _f)	A/L^2	-	Havza drenaj alanının havza uzunluğunun karesine oranıdır	[7]
Şekil Faktörü (S _f)	L^2/A	-	Havza uzunluğunun karesinin havza drenaj alanına oranıdır	[7]
Uzunluk Oranı (E _r)	$1.128A^{0.5}/L$	-	Havza ile aynı drenaj alanına sahip dairenin çapının havzanın uzunluğuna oranıdır	[37]
Sıklık Katsayısı (C _c)	$0.282P/A^{0.5}$	-	Havzanın çevresinin havzanın drenaj alanı ile aynı alana sahip dairenin çevresine oranıdır	[24]
Dairesellik Oranı (C _r)	$12.566A/P^2$	-	Havzanın alanının havzanın çevresi ile aynı çevreye dairenin alanına oranıdır	[24]
Genişlik Uzunluk Oranı (WL _r)	W/L	-	Havzanın genişliğinin uzunluğuna oranıdır	[38]

Tablo 2. Alt havzalara ait morfometrik parametre değerleri (Values of morphometric parameters of sub basins)

Alt havza	Morfometrik parametreler											
	R _b	D _d	F _s	T	L ₀	ρ	F _f	S _f	E _r	C _c	C _r	WL _r
1	4,76	6,02	33,05	14,68	0,083	0,58	0,14	6,97	0,43	2,16	0,21	0,25
2	4,35	7,01	37,78	7,54	0,071	0,44	0,25	4,04	0,56	1,69	0,35	0,29
3	4,40	6,33	34,11	9,70	0,079	0,34	0,24	4,10	0,56	1,57	0,41	0,32
4	4,30	6,94	35,00	16,59	0,072	0,48	0,27	3,69	0,59	1,66	0,36	0,36
5	4,55	8,41	37,38	20,94	0,059	0,39	0,22	4,61	0,53	1,50	0,44	0,64
6	5,21	7,14	36,33	20,11	0,070	0,37	0,27	3,67	0,59	1,99	0,25	0,38
7	4,73	5,74	33,57	24,16	0,087	0,47	0,15	6,85	0,43	1,97	0,26	0,21
8	4,65	6,45	34,41	29,29	0,077	0,45	0,16	6,43	0,45	1,95	0,26	0,21
9	4,83	6,31	33,37	15,94	0,079	0,55	0,12	8,11	0,40	2,07	0,23	0,15
10	4,85	6,43	33,32	13,76	0,078	0,48	0,11	8,91	0,38	2,09	0,23	0,14
11	4,79	6,04	31,98	38,29	0,083	0,47	0,11	9,03	0,38	2,02	0,24	0,17
Akçay	4,74	6,38	33,46	87,50	0,078	0,43	0,29	3,42	0,61	1,64	0,37	0,45

bir alt havza aldığı toplam nota göre kendi aralarında taşkın potansiyellerine göre önceliklendirilmiş olur. Uygulanan bu empirik yöntem sadece havza içerisindeki alt havzaların birbirlerine göre kıyaslanmaları olup kesin bir kriteri içermemektedir [24]. Alt havzaların her bir morfometrik parametreden aldığı değerler, toplam notları ile öncelik sıraları Tablo 3'te verilmiştir. Alt havzaların kendi aralarında önceliklendirilmesi, taşkın potansiyeli haritalama çalışmalarına ve taşkına karşı alınabilecek önlemlerin de önceliklendirilmesi anlamına gelmektedir. Bu analiz sayesinde alt havzaların taşkın karakteristiğine göre önlemin hangi alt havzalarda alınması gerektiği hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Uyarlanan yöntemin dezavantajı aynı

önceliklendirme notuna sahip alt havzaların da olabilmesidir. Tablo 3'te görüldüğü gibi aynı toplam nota sahip 9 ve 10 no'lu alt havzalardan drenaj alanı daha büyük olan alt havza 9 ana kanala daha fazla debi taşıyabileceğinden daha öncelikli olarak değerlendirilmiştir. Bu yöntemde morfometrik parametrelerin ağırlıkları eşit kabul edilerek öncelikleri belirlenmiştir.

Uygulanan bu yöntemde göre önceliklendirilen alt havzalar düşük, orta ve yüksek taşkın potansiyellerine göre gruplandırılacak olursa; 5, 6, 2 ve 4 no'lu alt havzalar yüksek potansiyelli; 3, 8, 7 ve 11 no'lu alt havzalar orta potansiyelle sahipken 9, 10 ve 1 no'lu alt havzalar da düşük potansiyelli

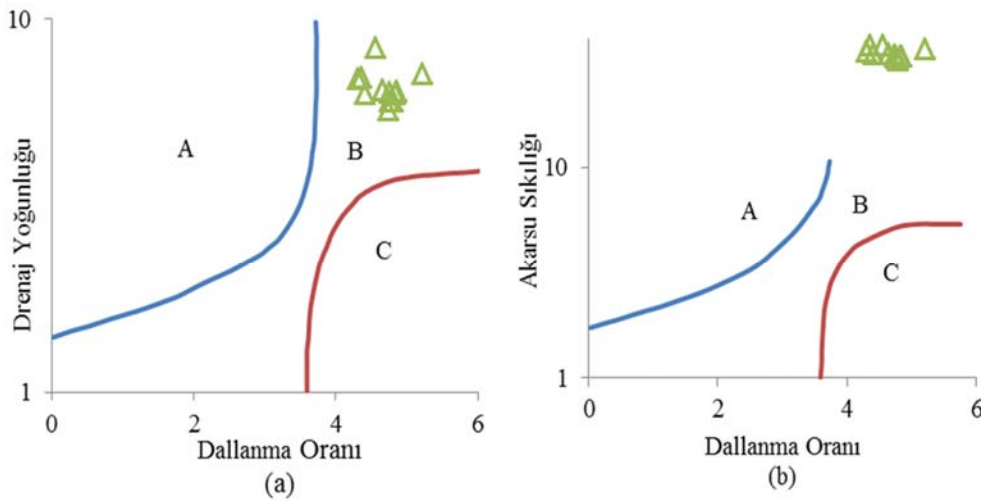
olarak değerlendirilebilir. Yüksek potansiyele sahip olan havzaların çıkış noktasına yakın yerlerde ıslah yapılarının yapılmasının tüm havza genelinde meydana gelebilecek bir felaketin önlenmesine de katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Yunuslar HES'in konumu incelendiğinde 4, 5, 6, 7 ve 8 no'lu alt havzalarından su depolaması yaptığı görülmektedir (Şekil 4). Depolamanın yapıldığı alt havzaların genel olarak drenaj yoğunlukları fazla fakat kanalların ro katsayısı düşük ve orta olarak sınıflandırılabilir. Daha düşük depolama katsayısına sahip alt havzalar daha fazla miktarda pik debi oluşturma imkânına sahiptir. Daha fazla suyun rezervuara gelmesi bakımından HES'in havzada doğru konumda olduğu söylenebilir. Depolama alanında taşkın potansiyeli yüksek ve orta olan havzalardan su toplandığı görülmektedir. Yunuslar HES rezervuarının, yüksek ve orta düzeyde taşkın potansiyeline sahip alt havzaları drene etmesi, o alt havzaların oluşması muhtemel taşkın etkisinin azaltılabilmesi açısından da fayda sağlayacağı düşünülebilir. Ancak yüksek taşkın potansiyeline sahip, drenaj alanı küçük olan 2 no'lu alt havzada ve orta düzeyde taşkın potansiyeline sahip, drenaj

alanı büyük ve çıkış noktasında bir akarsu köprüsü bulunan 11 no'lu alt havzada bir taşkın önlem yapısı yapılması, gerek köprüünün gerekse havzanın taşkından etkilenme olasılığının azaltılmasında etkili olabilecektir.

Akçay Havzası alt havzaları ani taşkın potansiyelleri, her bir alt havzaya ait akarsu sıklığı, dallanma oranı ve drenaj yoğunluğu büyüklükleri dikkate alınarak El-Shamy'nin bu parametreler arasındaki ilişkiye göre önerdiği zarf eğrisindeki konumlarına göre birbirlerinden bağımsız olarak belirlenmiştir (Şekil 6). Bu diyagramlarda alt havzaların morfometrik büyüklüklerinin arasındaki ilişkiye göre taşkın potansiyeli 3 bölgeye ayrılmıştır. A bölgesi yüksek taşkın potansiyelini temsil ederken, B bölgesi orta ve C bölgesi de düşük taşkın potansiyelini temsil etmektedir. Akçay Havzası'ndaki tüm alt havzaların ilgili morfometrik büyüklüklerine göre taşkın potansiyelleri orta olarak belirlenmiştir. SYM'den elde edilen drenaj ağlarının oluşumundaki değişim alt havzaların taşkın potansiyel grubunu da doğrudan etkileyecek, daha sık ya da daha seyrek drenaj ağının oluşmasına neden olarak taşkın potansiyel

Tablo 3. Alt havzalara ait morfometrik parametrelerin notlandırılması (Grading of the morphometric parameters of sub basins)

Alt havza	Morfometrik parametreler												Toplam	Öncelik
	R _b	D _d	F _s	T	L _o	ρ	F _f	S _f	E _r	C _c	C _r	WL _r		
1	6	10	9	9	10	11	9	7	9	11	11	3	105	11
2	11	6	1	11	5	5	2	1	2	4	5	4	57	3
3	10	9	7	11	8	1	2	1	2	2	2	5	60	5
4	11	7	6	8	5	7	1	1	1	3	4	5	59	4
5	9	1	1	7	1	3	4	2	4	1	1	11	45	1
6	1	6	3	7	5	2	1	1	1	9	10	6	52	2
7	6	11	8	6	11	6	9	7	9	8	9	2	92	7
8	7	9	7	4	8	6	8	6	8	8	9	2	82	6
9	5	9	9	8	8	10	11	10	10	10	11	1	102	9
10	5	9	9	9	8	7	11	11	11	10	11	1	102	10
11	6	10	11	1	10	6	11	11	11	9	10	1	97	8



Şekil 6. Akçay alt havzalarının dallanma oranı ile (a) drenaj yoğunluğu, (b) akarsu sıklığı arasındaki ilişki ve taşkın oluşturma potansiyelleri
(Relation between bifurcation ratio of the sub basins of Akçay basin with (a) drainage density, (b) stream frequency, and potential of flash flood risk)

gruplarını da değiştirebilecektir. El-Shamy yönteminin önerdiği morfometrik büyüklüklere göre sınıflandırma yapıldığında, tüm alt havzaların taşkın potansiyeli orta olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışma ile uyarlanan yöntemde göre ise daha fazla morfometrik parametre kullanılarak alt havzalar kendi aralarında önceliklendirilmiştir. Ayrıca, El-Shamy tarafından önerilen taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi yaklaşımında aynı grupta değerlendirilen alt havzalar, bu çalışma ile uyarlanan yöntemde göre de bir önceliklendirmeye tabii tutulabilir.

5. SİMGELER (SYMBOLS)

A	: Drenaj alanı
C_c	: Sıklık katsayısı
C_r	: Dairesellik oranı
D_d	: Drenaj yoğunluğu
Δ	: Ara risk grubu artırım aralığı
E_r	: Uzunluk oranı
F_s	: Akarsu sıklığı
F_f	: Biçim faktörü
HES	: Hidroelektrik Santral
HTG	: Hidrolojik toprak grubu
L_o	: Yüzey akış uzunluğu
L_u	: Bir mertebedeki akarsu uzunluğu
L_{ur}	: Akarsu uzunluk oranı
N_u	: Akarsu mertebesi
P	: Havzanın çevre uzunluğu
R_b	: Dallanma oranı
S_f	: Şekil faktörü
SYM	: Sayısal yükseklik modeli
T	: Tekstür oranı
ρ	: Ro katsayısı
W	: Havzanın genişliği
WL_r	: Genişlik uzunluk oranı

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bir havzaya ait morfometrik parametreler kullanılarak o havzada meydana gelebilecek ani taşkın potansiyelinin belirlenebilmesi için belirli olasılıkla nicel büyüklük veren frekans analizlerinin yanı sıra ampirik ve grafik çalışmalar yapılmaktadır [40, 41]. Bu çalışma kapsamında Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Akçay Havzası içerisinde alt havzaların taşkın sırasında davranışlarının ve potansiyellerinin değerlendirilmesi için havza 11 alt havzaya ayrılarak bu alt havzaların morfometrik büyüklükleri belirlenmiştir. Havzanın çıkış noktasında havzanın bütünü temsil edecek herhangi bir akım gözlemi bulunmadığından, frekans analizi yapılamamış, fakat alt havzaların taşkınlar sırasında davranışlarının incelenerek potansiyelleri tahmin edilmiş ve önlemlerin alınacağı alt havzaların da sıralanması hedeflenmiştir. Youssef vd. [6] ve Patel vd. [24] tarafından uygulanmış olan yaklaşımlar modifiye edilmiş ve alt havzalar notlandırılarak önceliklendirilmiştir. Bu yaklaşımın yanı sıra havzaların taşkın potansiyelini genel olarak değerlendirmeyi amaçlayan bir grafik yöntem de kullanılmıştır. Grafik yöntemde alt havzaların taşkın potansiyeli orta olarak sınıflandırılmıştır. Uyarlanan bu

yöntemde alt havzalar kendi aralarında taşkın potansiyeline göre önceliklendirilmiştir. Her bir alt havzada gözlem yapılabilmesi ekonomik olarak mümkün olmadığından frekans analizi sonuçlarından ziyade alt havzanın da davranışının bilinmesi önemlidir. Ayrıca bu yöntem, grafik yöntemde göre aynı grupta taşkın potansiyeline sahip alt havzaların da önceliklendirilmesinde kullanılabilir. Taşkın potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılan morfometrik parametreler kendi aralarında belirli bir ağırlık belirlenip bu ağırlığa göre değerlendirilmesi daha gerçekçi sonuçlar ortaya koyabilir.

Havza içerisinde bulunan Yunuslar HES'in su depolayabilme ve taşkın potansiyellerine göre değerlendirilmesi yapılmıştır. HES'in planlamasında debiler havzanın doğusunda bulunan Ayancık Çayı verileri drenaj alanları oranında indirgenerek tahmin edilmiş ve bu değerlere göre frekans analizi yapılmıştır. Bu basit ve kaba yaklaşım genel olarak doğru sonuçları verdiği söylenemez. Literatürde hidrolojik modellerde kullanılan parametrelerin havzanın geometrik büyüklükleriyle orantılı olarak değiştiği bilinmektedir. Bu büyüklüklerin havzanın ilgili morfometrik büyüklükleri ile doğrudan ifade edilebileceği gözden kaçırılmamalıdır. Birbirinden farklı hidrolojik özelliklere sahip havzalarda hidrolojik parametrelerin ölçüm alınan havzalardan ölçüm alınmayan havzalara doğrudan transferi, büyüklükler arasında bazı benzerlikler kurularak [42, 43] daha iyi tahmin edilebilir [44, 45]. Benzerlik oranı, havzaların drenaj alanlarının yanı sıra uzunluk, genişlik, drenaj ağı, relief ve eğim vb. büyüklükleri de içerecek şekilde morfometrik büyüklüklerle de ifade edilebilir. Alt havzaların taşkın potansiyelinin belirlenmesinde ve inşa edilecek hidrolik yapının tasarım ve pik debi gibi tahminlerinde komşu havzalardan transfer edilecek büyüklüklerin ilgili morfometrik büyüklükler göz önüne alınarak bu oranda yapılması, havzanın hidrolojik, hidrolik ve sedimentolojik olarak daha etkili bir şekilde planlanmasını ve işletilmesini sağlayacaktır. Bu çalışmanın hedeflerine ulaşılabilmesi için ölçüm alınan havza üzerinde çalışmalar yapılarak ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması yerinde olacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, çalışmaya 114M292 no'lu proje ile mali destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Özdemir H., Havza morfometrisi ve taşkınlar, Fiziki Coğrafya Araştırmaları; Sistemik ve Bölgesel, Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, 457-474, 2011.
- Kron W., Keynote lecture: flood risk= hazardxexposurexvulnerability, Second International Symposium on Flood Defence, Beijing, Çin, 82-97, 10-13 Eylül, 2002.
- Uzul N., Engineering Hydrology, Metu Press, Ankara, Türkiye, 2013.

4. Şarlak N., Tiğrek Ş., Flood frequency analysis: Case study of Göksu River and Kayraktepe Dam, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (4), 1095–1103, 2016.
5. El-Shamy I.Z., New approach for hydrological assessment of hydrographic basins of recent recharge and flooding possibilities, 10th Symp. Quaternary and Development, Mansoura Univ.–Mısır, 15, 18 Nisan, 1992.
6. Youssef A.M., Pradhan B., Hassan A.M., Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery, *Environ. Earth Sci.*, 62 (3), 611–623, 2011.
7. Horton R., Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geology Society of America Bulletin*, 56, 275–370, 1945.
8. Miller V.C., A quantitative geomorphic study of drainage basin characterize lies in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee, Columbia Univ., Department of Geology, A.B.D., 1953.
9. Strahler A.N., Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, *Handbook of applied hydrology*, Editör: Chow, V.T., McGraw-Hill, New York-A.B.D., 439–476, 1964.
10. Yadav S.K., Singh S.K., Gupta M., Srivastava P.K., Morphometric analysis of Upper Tons basin from Northern Foreland of Peninsular India using CARTOSAT satellite and GIS, *Geocarto International*, 29 (8), 895–914, 2014.
11. Aher P.D., Adinarayana J., Gorantiwar S.D., Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: a remote sensing and GIS approach, *J. Hydrol.*, 511, 850–860, 2014.
12. Abdul Rahaman S., Abdul Ajeez S., Aruchamy S, Jegankumar D., Prioritization of sub watershed based on morphometric characteristics using fuzzy analytical hierarchy process and geographical information system- a study of Kallar Watershed, Tamil Nadu, *Aquatic Procedia*, 4, 1322–1330, 2015.
13. Asode A.N., Sreenivasa A., Lakkundi T.K., Quantitative morphometric analysis in the hard rock Hirehalli sub-basin, Bellary and Davanagere Districts, Karnataka, India using RS and GIS, *Arabian J. Geosci.*, 9 (5), 381, 1–14, 2016.
14. Leopold L.B. ve Miller J.P., *Ephemeral streams: hydraulic factors and their relation to the drainage net*, U.S. Geological Survey, prof. pa 282-A, US Government Printing Office, Washington, A.B.D., 1956.
15. Markose V.J., Dinesh A.C., Jayappa K.S., Quantitative analysis of morphometric parameters of Kali River basin, southern India, using bearing azimuth and drainage (bAd) calculator and GIS, *Environ. Earth Sci.*, 72 (8), 2887–2903, 2014.
16. Jolly J.P., A proposed method for accurately calculating sediment yields from reservoir deposition volumes, Exeter Symposium, Exeter, Birleşik Krallık, IAHS Publication, 153–161, 19–30 Temmuz, 1982.
17. Ogunkoya O.O., Adejuwon J.O., Jeje L.K., Runoff response to basin parameters in south-western Nigeria, *J. Hydrol.*, 72 (1–2), 67–84, 1984.
18. Pitlick J., Relation between peak flows, precipitation, and physiography of five mountainous regions in the western USA, *J. Hydrol.*, 158 (3–4), 219–240, 1994.
19. Ozdemir H., Bird D., Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods, *Environ. Geol.*, 56 (7), 1405–1415, 2009.
20. Shi Z.H., Huang, X.D., Ai L., Fang, N.F., Wu G.L., Quantitative analysis of factors controlling sediment yield in mountainous watersheds, *Geomorphology*, 226, 193–201, 2014.
21. Sreedevi P.D., Subrahmanyam K., Ahmed S., The significance morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in structurally controlled terrain, *Environ. Geol.* 47 (3), 412–420, 2005.
22. Javed A., Khanday M.Y., Ahmed R., Prioritization of Sub-watersheds based on Morphometric and Land Use Analysis using Remote Sensing and GIS Techniques, *J. Indian Soc. Remote Sens.*, 37 (2), 261–274, 2009.
23. Deepika B., Avinah K., Jayappa K.S., Integration of hydrological factors and demarcation of groundwater prospect zones: insights from remote sensing and GIS techniques, *Environ. Earth Sci.* 70 (3), 1319–1338, 2013.
24. Patel D.P., Gajjar C.A., Srivastava P.K., Prioritization of Malesari mini-watersheds through morphometric analysis: a remote sensing and GIS perspective, *Environ. Earth Sci.*, 69 (8), 2643–2656, 2013.
25. Magesh N.S., Chandrasekar N., Soundranayagam J.P., Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: a GIS approach, *Environ. Earth Sci.*, 64 (2), 373–381, 2011.
26. Hudson P.F., Colditz R.R., Flood delineation in a large and complex alluvial valley, lower Panuco basin, Mexico, *J. Hydrol.*, 280, 229–245, 2003.
27. Macka Z., Determination of texture of topography from large scale contour maps, *Geografski Vestnik*, 73 (2), 53–62, 2001.
28. O’Callaghan J., Mark D.M., The extraction of drainage networks from digital elevation data, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28 (3), 323–344, 1984.
29. Maidment D.R., *ArcHydro GIS for water resources*, Esri Press, California-A.B.D., 2002.
30. Kütük Enerji Elektrik Dağıtım San. ve Tic. A.Ş., Kuzköy Regülatörü ve HES Kastamonu İli, Çatalzeytin İlçesi, Karacakaya Deresi Üzeri ÇED Raporu, AKTEL Mühendislik Ltd. Şti., Ankara–Türkiye, 2013.
31. Yanmaz A.M., Apaydin M., Bridge scour risk assessment and countermeasure design, *J. Perform. Constr. Facil.*, 26 (4), 499–506, 2012.
32. Akay H., Baduna Koçyiğit M., Akarsu Köprülerinde Gözle Muayene ve Güvenlik Değerlendirme

- Çalışmaları, 4. Su Yapıları Sempozyumu, Antalya–Türkiye, 205–214, 19–21 Kasım, 2015.
33. Baduna Koçyiğit M., Akay H., Yanmaz A.M., Flooding and its effects on river bridges in Western Black Sea Region, *Disaster Science and Engineering*, 2 (1), 29–35, 2016.
 34. Gabr S., El Bastawesy M., Estimating the flash flood quantitative parameters affecting the oil-fields infrastructures in Ras Sudr, Sinai, Egypt, during the January 2010 event, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 18 (2), 137–149, 2015.
 35. Strahler A.N., Quantitative analysis of watershed geomorphology, *Trans. Am. Geophys. Union*, 38, 913–920, 1957.
 36. Horton R.E., Drainage basin characteristics, *Trans. Am. Geophys. Union* 13, 350–361, 1932.
 37. Schumm S.A., The evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Preth Amboy, New Jersey, *Geology Society of America Bulletin*, 67, 597–646, 1956.
 38. Al-Saif H., Assessing flood vulnerability of Wadi Hanifa Basin and surrounding area, Central Saudi Arabia, *Journal of Environmental Hydrology*, 18, 1–12, 2010.
 39. Srivastava P.K., Mukherjee S., Gupta M., Groundwater quality assessment and its relation to land use/land cover using remote sensing and GIS, *International groundwater conference on groundwater dynamics and global change, Jaipur–Hindistan*, 19–22, 18–22 Mart, 2008.
 40. Saka F., Yüksek Ö., Regionalisation of discharges having certain exceedance probabilities and Eastern Black Sea Basin sample, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (2), 335-342, 2017.
 41. Seçkin N., Topçu E., Regional frequency analysis of annual peak rainfall of Adana and the vicinity, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(4), 1049-1062, 2016.
 42. Begou J.C., Jomaa S., Benabdallah S., Bazie P., Afouda A., Rode M., Multi-site validation of the SWAT model on the Bani Catchment: Model performance and predictive uncertainty, *Water*, 8, 1–23, 2016.
 43. Baduna Koçyiğit M., Akay H., Yanmaz A.M., Effect of watershed partitioning on hydrologic parameters and estimation of hydrograph of an ungauged basin: a case study in Gökırmak and Kocanaz, Turkey, *Arab. J. Geosci.*, 10 (15), 331, 2017.
 44. Akay H., Baduna Koçyiğit M., Yanmaz A.M., Effect of using multiple stream gauging stations on calibration of hydrologic parameters and estimation of hydrograph of ungauged neighboring basin, *Arab. J. Geosci.*, 11 (11), 282, 2018.
 45. Baduna Koçyiğit M., Akay H., Yanmaz A.M., Estimation of hydrologic parameters of Kocanaz Watershed by a hydrologic model, *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9 (4), 42-50, 2017.