

Günebakan (Erzincan) Seli Örneği ile Esence Dağları'nın Güney-Güneybatı Aklanında Oluşan Moloz Yüklü Eski ve Yeni Selleri Denetleyen Morfometrik Faktörler

Pınar Polat^{1,*}, İbrahim Kopar², Fatih Yalçın¹

¹Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 24000, Erzincan.

²Atatürk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 25000, Erzurum.

Özet

Çalışma alanı Erzincan Ovası'nı kuzeyden, kuzeybatı (KB)-güneydoğu (GD) doğrultusunda sınırlayan Keşiş (Esence) Dağları'nın (Keşiş Tepe, 3549 m) ovaya bakan güney-güneybatı aklanında yer alan, birbirinden subölümü hatları ile ayrılmış, paralel drenajlı çok sayıda akarsu havzasını temsil eden Günebakan Dere, Allahmedet Dere ve Çadırtepe Dere havzalarını kapsamaktadır. Bu çalışmada ilk olarak Günebakan Dere Havzası'nda 17/07/2011, diğeri ise 03/07/2020 tarihinde olmak üzere iki kez afet boyutunda meydana gelen ve önemli mal kayıplarıyla sonuçlanan sel-taşkın olayının oluşum ve gelişim süreciyle doğal ve beşeri çevre üzerindeki etkileri incelenmiştir. İkinci olarak Erzincan Ovası'nı kuzeyden kuşatan Esence Dağları'nın güney-güneybatı aklanında birbirine komşu olan Günebakan, Çadırtepe ve Allahmedet Dere havzalarının morfometrik özellikleri ortaya konularak sel-taşkın üretme potansiyelleri araştırılmıştır. Bu kapsamda Günebakan Dere Havzası'nda oluşan sel-taşkın olayını önceleyen bir yaklaşımla mevcut akarsular üzerinde oluşan/oluşması muhtemel olan sel-taşkın olaylarında havza morfometrisinin etki düzeylerini belirlemek amacıyla alansal, çizgisel ve relief morfometrik indislerden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan analizlerde havzaların uzunluğu, genişliği, şekli, engebelilik derecesi, drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı ve uzunluğu, akarsuyun çatallanma oranı, yüzeysel akış uzunluğu ve akım toplanma zamanı gibi parametreler değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre havzaların morfometrik yapısıyla moloz akmaları arasında yakın bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre aynı akladaki Günebakan Dere Havzası'nın gerek yatak eğimi ve genişliği, gerekse çatallanma oranı ve uzunluk değerleri gibi parametreler ölçüğünde komşu havzalara göre sel ve taşkın üretme potansiyeli daha yüksek olan havza olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Havza Morfometrisi, Erzincan Ovası, Günebakan Dere Havzası, Günebakan Sel-Taşkın Olayı

Morphometric Factors Controlling the Old and New Debris-Laden Floods in the South-Southwest Catchment Area of the Esence Mountains with the Example of Günebakan (Erzincan) Flood

Abstract

The research area is Günebakan, which represents a large number of parallel drained river basins located in the south-southwest part of the Keşiş (Esence) Mountains (Keşiş Tepe, 3549 m) that border the Erzincan Plain from the north in the northwest (NW)-southeast (SE) direction. The stream includes the Allahmedet Stream and Çadırtepe Stream basins. In this study, the formation and development processes of two flood-overflow events that occurred in Günebakan Stream Basin, the first on 17/07/2011 and the second on 03/07/2020, in the size of a natural disaster and resulted in significant property losses, and their effects on the natural and human environment were examined. In addition, the morphometric characteristics of the Günebakan, Çadırtepe, and Allahmedet stream basins, which are adjacent to each other in the south-southwest catchment area of the Esence Mountains, which surround the Erzincan Plain from the north, were revealed and their flood-overflow potentials were investigated. In this context, with an approach that prioritizes the flood-overflow events occurring in the Günebakan Stream basin, areal, linear, and relief morphometric indices were used to determine the effect levels of the basin morphometry in the flood-overflow events that occur or are likely to occur on the existing running waters. In the analyzes carried out, it was observed that there was a close relationship between the morphometric structure of the relevant basins and the debris-laden floods. In addition, it was concluded that the Günebakan Stream basin in the same catchment area has a higher flood and overflow potential compared to the neighboring basins.

Keywords:

Basin Morphometry, Erzincan Plain, Günebakan Stream Basin, Günebakan Flash Flood-Flood Event

1. Giriş

Yeryüzündeki pek çok ekosistemin direnci dünya çapında iklim değişikliği, buna bağlı gelişen doğal afetler (sel-taşkın, kuraklık, orman yangını, böcek istilası, okyanus asitlenmesi) ve global değişimin diğer güçleri (arazi kullanımı değişikliği, çevre kirliliği, doğal kaynakların tüketilmesi gibi) tarafından kırılmaktadır (Wetherald ve Manabe 2002; IPCC 2007). İklim değişikliği bağlamında sıcaklık ve yağış dönemlerindeki salınımları ve özellikle yağış değişimlerinin olumsuz etkilerinin gelecekte daha da artacağı tahmin edilmektedir (Trenberth vd. 2003). Bu durum aniden gelişen sağanak türde yağışların sel ve taşkın oluşturma sıklığını ve risk düzeyini arttıracaktır. Meteorolojik kökenli afetlerden olan sel ve taşkınlar, diğer tektonik ve atmosferik kaynaklı olaylar gibi can ve mal kaybına yol açarlar. Ancak sel ve taşkınlar ile diğer doğal afetler oluşum biçimleri ve etki süreleri bakımından birbirlerinden farklıdır (Kopar vd. 2005). Önemli maddi ve manevi zararlara yol açabilen sel olayları, dik eğimli yukarı havzalarda şiddetli ve sürekli yağışlarla birlikte oluşan ve taşkın sularına oranla çok daha büyük hız ve kinetik enerji ile dere mecralarında akarak beraberinde taş, çakıl ve büyük kayaları da sürükleyen akımlardır. Taşkın olayları ise, bir akarsu yatağındaki yükün hızla artması ve bu artış sonucunda yatak çevresinde bulunan arazilere, yerleşim alanlarına ve bu bölgede yaşayan insanlara zarar verebilir bir duruma gelmesidir (Balci ve Öztan 1987; Korkanç ve Korkanç 2006).

Atmosferik kökenli doğal afetler içinde gittikçe daha fazla öne çıkan sel ve taşkınların meydana gelmesinde birim alana düşen yağış miktarı kadar yüzeysel akışı denetleyen faktörlerin de etkisi büyüktür. Bu konuda litoloji, jeomorfolojik özellikler, bitki örtüsünün niteliği ve arazi kullanış şekli (Özdemir 2011) gibi özellikler sel karakterli yüzeysel akışların oluşumunu etkileyen temel faktörlerdir. Yüzeysel akış, erozyon veya tortu sürüklenmesi, moloz akması (debris flow) için önemli mekanizmalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna rağmen moloz nakleden akışlar üzerinde çok fazla durulmamaktadır (Jeffrey vd. 2008). Hâlbuki moloz yüklenmiş seller hızlı hareket ederek büyük zararlara yol açabilmektedir. Çünkü moloz önemli oranda kum, kil ve boyutları değişen çakılların yer yer homojen yer yer de heterojen karışımından oluşan tutturulmamış ya da gevşek tutturulmuş yüzeysel örtüdür. Bu örtü suyla karışık çamur akıntısına dönüştüğünde yereyin şekillenmesinde yüksek enerjili bir materyal haline dönüşmektedir. Akışla birlikte bir anda vadiler derinleşebilmekte ve yeni akış kanalları açılmakta ya da moloz materyali eğim durumuna göre geniş yaygılar oluşturabilmektedir.

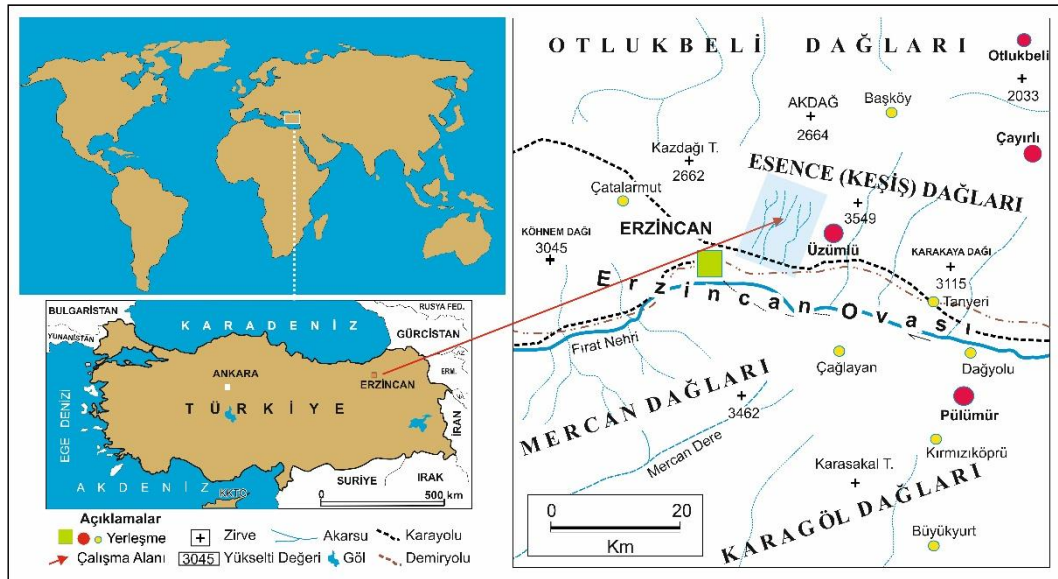
Dağlık ve sarp yamaçlara sahip alanlarda çeşitli tip ve büyüklükte moloz akıntıları oluşmaktadır. Bunda vadi yamaçları boyunca kütle taşınma süreçleriyle taşınmış materyalin değişen kalınlıklarda kolüvyal istifler oluşturmuş olmasının etkisi büyüktür. Bu akıntılar belli bir yatağa bağlı gelişebildiği gibi bir yüzeye bağlı da gelişebilmektedir. Bu tip hızlı kütle hareketlerinin oluşabilmesi için engebeli arazide hazırlayıcı ve tetikleyici faktörlerin olması gerekmektedir. Aksi durumda kütle hareketleri içinde özel bir olay olarak nitelenen bu durum gerçekleşmez. Moloz akmaları, materyalin ve suyun toplandığı kaynak alanı, molozun taşındığı akarsu kanalı ve malzemenin biriktiği yelpaze morfolojisine sahip bir çökme alanı arasında şekillenmektedir (Calligaris ve Zini 2012). Aniden ve büyük tutarlar oluşturan yağışlar, hızlı kar erimelerinden yüzeysel akışa katılan sular, toprak malzemesinin direnci, su ile doygunluk, vadi yamaçlarında çok fazla ayrılmış malzemenin bulunması, zayıf bitki örtüsü, yüksek eğim, doğal ve insan kaynaklı yer sarsıntıları gibi değişkenler çeşitli tip ve büyüklükte çamur akmaları, sel ve taşkın olaylarının meydana gelmesinde farklı seviyelerde roller üstlenebilmektedir. Çok fazla yağmur yağdığı ve zeminin suya doygun kaldığı dik yamaçlarda zemin sıvılaşmasına bağlı gelişen yüzeysel akma-kaymalar yavaştan yüksek hızlara çıkarak, yollarındaki molozu da yüklenerek sulu çamurdan, içinde yer yer iri bloklar bulunduran çamura kadar değişen farklı akışlara sahne olmaktadır. Çamur-moloz karışımı seller genellikle değişken su miktarına sahip ince (kil, silt ve kum) ve kaba (çakıl, parke taşları ve kayalar) malzemelerin karışımından oluşmaktadır (Winter vd. 2005). Drenaj ağının şekline bağlı olarak belli ölçüde yatağa bağlı gerçekleşen sel tipi akışlarda nakledilen yük miktarı ve artan hız değeri diğer vadilerden gelen yük-su bileşenlerinin de etkisiyle yıkım gücü daha yüksek selleri oluşturmaktadır. Akışlar daha düz bir zemine ulaştığında taşınan moloz geniş bir yelpaze yaparak çevreye yayılmakta ve üst üste biriken moloz kalın çökeller meydana getirmektedir. Moloz akıntıları yapıları zarar vermekte ve insan hayatını tehlikeye atan bir etken haline gelmektedir (Iverson 1997; De Graff 2014). Türkiye'de özellikle 2000'li yıllardan sonra afete yol açabilecek meteorolojik olayların frekansında belirgin bir artış görülmektedir. Ülkemizde meteorolojik kökenli doğal olaylar içerisinde en fazla meydana gelen olay, şiddetli yağış/sel olayıdır (Avcı 2023).

Son yıllarda sel ve taşkın olayları farklı açılardan ele alınarak çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Özellikle morfometrik açıdan drenaj havzalarının incelenmesi sel ve taşkınların oluşum nedenlerini ve mekanizmasını ortaya koyabilmek adına önem taşımaktadır. Bu nedenle literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların doğrudan çalışma sahası ve yakın çevresi ile ilgili olanları; Yalçın ve Polat (2021), Uysal ve Sunkar (2022), Bekar ve Akpınar (2022) tarafından kaleme alınmıştır. Konu ile ilgili olan diğer çalışmalar ise Strahler (1952, 1957, 1964), Verstappen (1983), Turoğlu (1997), Bottino ve Crivellari (1998), Biswas vd. (1999), Kumar vd. (2000), Ritter vd. (2002), Reddy vd. (2004), Senadeera vd. (2004), Kopar vd. (2005), Özdemir ve Bayrakdar (2008), Manu ve Anirudhan (2008), Özdemir ve Bird (2009), Özşahin (2010), Sing ve Awasthi (2011), Özdemir (2011), Chitra vd. (2011), Magesh vd. (2013), Sayhan (2014), Avcı ve Günek (2015), Avcı ve Sunkar (2015), Fural vd. (2019) şeklinde örneklendirilebilir.

Bu çalışmada Erzincan Ovası'nı kuzeyden sınırlandıran Esence (Keşiş) Dağları (3518 m)'nin güney aklanında yer alan ve paralel drenajla havza tabanına inen geçici akarsulardan biri durumundaki Günebakan Dere Havzası'nda iki farklı dönemde (17/07/2011 ve 03/07/2020) meydana gelmiş moloz akmalarını denetleyen doğal faktörler, arazi etütleri ve drenaj havzalarının morfometrik özellikleri yardımıyla analiz edilerek değerlendirilmiştir. Drenaj havzası analizi yeraltı suyu/yüzey suyu potansiyelini ve yönetimini, havza yönetimini değerlendirmek ve toprak erozyonunu tahmin etmek için kullanılır (Najar ve Pandey 2018). Topografya, iklim ve jeoloji, drenajı kontrol eden üç ana unsurdur. Drenaj havzalarının büyüklük, alan, çevre, uzunluk, genişlik, şekil, yükseklik, eğim (minimum, maksimum ve ortalama), drenaj alanının boyutu ve uzunluğu, çatallanma oranı gibi özellikleri belirlenerek doğrudan drenaj havzasından çizgisel, alansal ve morfometrik analizler yapılabilir (Gregory ve Walling 1976; Rastogi ve Sharma 1976) ve havzaların oluşumu ve yeryüzü şekilleri hakkında kapsamlı bilgiler elde edilebilir. Drenaj havzalarının jeolojik ve jeomorfolojik geçmişi morfometrik analizlerle ortaya çıkarılabilir (Strahler 1964) ve elde edilen sonuçlar ana ve alt havza dinamiklerini anlamak için çok önemli araçlardır. Sel ve taşkın olaylarına neden olan dinamikler drenaj havzalarındaki morfolojik değişiklikler belirlenerek havza morfometrisi ile ortaya çıkarılabilir (Thomas vd. 2011; Najar ve Pandey 2018). Bu çalışmalar, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı için oldukça önemlidir. Kantitatif morfometrik analiz, drenaj ağının doğrusal özelliklerinin ölçülmesine dayanır (Miller 1953; Schumm 1956; Melton 1957; Strahler 1964; Avcı ve Sunkar 2015). Taşkın duyarlılığı düşük olan havzaların drenaj yoğunluğu, taşkın duyarlılığının yüksek olduğu havzalara göre daha küçüktür. Şekil parametrelerinin havza ve alt havzaların uzamasını da ortaya koyduğunu, uzunlamasına havzanın, dairesel bir havzaya kıyasla daha küçük taşkın pik noktasına sahip olduğu ancak daha uzun süreli akışlara sahip olma eğiliminde olduğu söylenebilir (Avcı ve Sunkar 2015-2018).

1.1. Çalışma Alanı ve Genel Özellikleri

Çalışma alanı Erzincan Ovası'nı kuzeyden, kuzeybatı (KB)-güneydoğu (GD) doğrultusunda sınırlayan Keşiş (Esence) Dağları'nın (Keşiş Tepe, 3549 m) ovaya bakan güney-güneybatı aklanında yer alan çok sayıda paralel drenajlı akarsu havzalarını temsil eden Günebakan Dere, Allahmedet Dere ve Çadırtepe Dere havzalarını kapsamaktadır (Şekil 1).



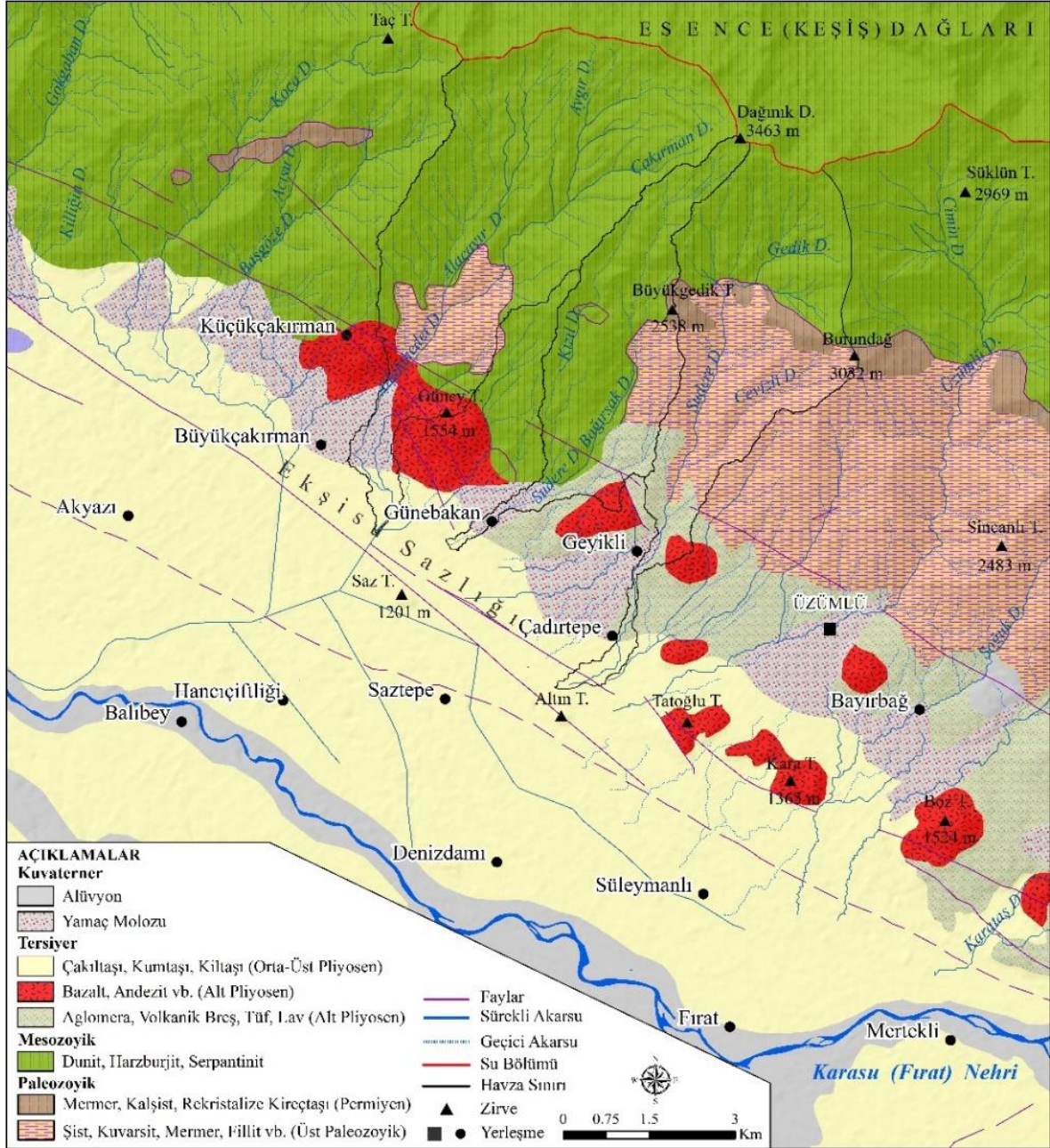
Şekil 1: Çalışma alanının lokasyon haritası

Havzalar toplamda 51,4 km² yüzölçüme sahiptir (Günebakan D.: 11,2 km²; Allahmedet D.: 24,4 km²; Çadırtepe D.: 15,8 km²). Havzaların toplam çevre uzunlukları ise farklılık göstermektedir (Günebakan D.: 29,5 km; Allahmedet D.: 36,4 km; Çadırtepe D.: 35,7 km). Kabaca 39°42'-39°47' kuzey enlemleri ile 39°35'-39°40' doğu boylamları arasında yer alan saha, Erzincan şehir merkezine yaklaşık 13 km mesafededir. Sahanın kuzey sınırı Esence Dağları'nın su bölümü hattından geçen güneyinde Ekşisu Sulak Alanı ve Erzincan Ovası'nın kuzey bölümü yer almaktadır. Havzanın en yüksek yeri Dağınık Dağı'nın zirvesiyle (4363 m) en alçak yeri olan Ekşisu Sazlığı (1380 m) arasında 2980 m'lik yükselti farkı bulunmaktadır.

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAF) doğusunda yer alan Erzincan Havzası jeomorfolojik bakımdan dağ arası havza özelliği göstermektedir. Jeolojik bakımdan ise, Neotektonik evrede son şeklini alan havza, çek-ayır (pull-apart) tipi (Allen 1982; Barka ve Gülen 1989; Tüysüz 1993; Bozkurt 2001) havza formuna sahiptir. Havzada çok farklı kayaç tipleri görülmektedir. Havzanın hem kuzeyinde hem de güneyinde Miyosen öncesi temel araziler yer almaktadır (Kopar ve Polat 2020). Serpantinlerin geniş yer tuttuğu ve çalışma alanının da içinde yer aldığı Keşiş Dağları'nın yapısında metamorfik kalkerler de bulunmaktadır (Stchepinsky 1941; Nebert 1959; Akkan 1964).

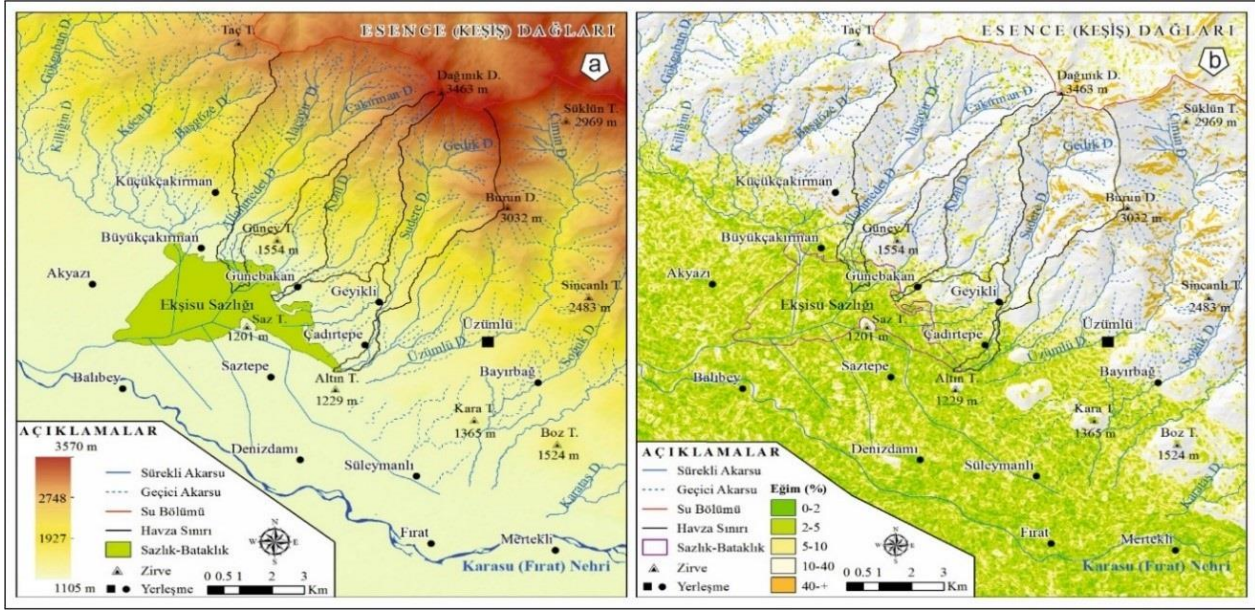
Kütlenin litolojisinde Permo-Triyas yaşta metamorfik kökenli klorit, mika, biyotit, şist, gnayslar, Liyas-Dogger yaşlı volkano-sedimanter birimler ve Üst Jura-Kretase yaşlı verilen kalkerler egemen birimler olarak yer almaktadır. İfade edilen temel kayalar Alt Miyosen-Kuvaterner yaşta tortul ve volkanik kayalar üzerlemektedir (Şengör ve Yılmaz 1981; Aktimur vd. 1995; Okay ve Şahintürk 1997).

Çalışma alanının morfoetektonik evriminde iki dönem öne çıkmaktadır. Bu dönemlerden ilki durumundaki Paleotektonik evrede etkili orojenik stildeki tektonik hareketlerle kıvrımlı dağ sistemleri oluşmuş ve şekillenme süreci Oligosen Peneleninin oluşumundan parçalanmasına kadar sürmüştür (Erinç 1953; Şaroğlu ve Güner 1981). İkinci dönemi temsil eden Neotektonik evrede (Erken Miyosen) saha güçlü bir transgresyona uğramış ve şimdiki Munzur ve Esence (Keşiş) dağlarının bulunduğu kesim ve çevresi deniz haline gelmiştir. Geç Miyosen'de kuzey-güney yönlü sıkışma tektonik rejimi etkisinde temeldeki blokların kırılmasıyla (Okay ve Tüysüz 1999). KAF açılımı ve fay hattı üzerinde Erzincan Havzası gelişmeye başlamıştır (Aktimur vd. 1990). Bu süreçte yüksek dağlık sahalardan taşınan alüvyonlarla Erzincan Havzası doldurularak ovayı meydana getirmiştir (Akkan 1961), (Şekil 2).



Şekil 2: Çalışma alanının jeoloji haritası (MTA 1:100 000 ölçekli İ43-İ42 paftalarından (Tarhan 2007-2008) düzenlenmiştir)

Çalışma alanı jeomorfolojik bakımdan bir fay dikliği şeklinde gelişmiş yamaçlara karşılık gelmektedir. Ovadan keskin bir dirsekle dağlık sahaya geçilmektedir (Şekil 3a). Dağlık kesimle ova arasındaki saha yüzölçümünün %70'den fazlasında yamaç eğimleri %20 ve üzerinde bir değerle Erzincan Ovası'na alçalmakta ve akarsuların hemen hemen tamamı paralel drenajla ova tabanındaki düzlükler ve bataklıklara ulaşmaktadır (Şekil 3b).



Şekil 3: Çalışma alanının yükseklik (a) ve eğim (b) haritası

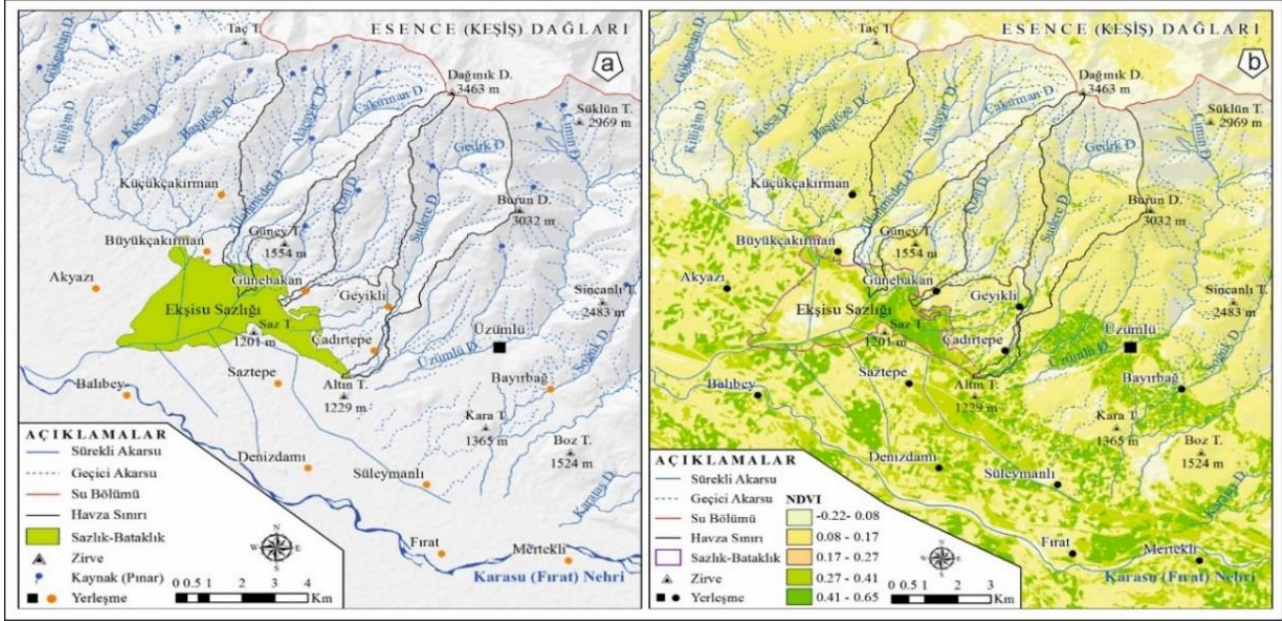
Meteoroloji Genel Müdürlüğü Erzincan Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre (1930-2020); karasal iklim koşullarının hüküm sürdüğü sahada yıllık sıcaklık ortalaması 10,9°C, en soğuk ay olan ocak ayı ortalama sıcaklık değeri -3,0°C, en sıcak ay olan temmuz ayı ortalaması ise 23,8°C'dir (MGM, 2020). Sahanın uzun yıllık ortalama toplam yağış tutarı 367,2 mm'dir. En yağışlı mevsim ilkbahardır (146,4 mm: %39). Bunu kış mevsimi takip etmektedir (88.0 mm: %24).

Çalışma alanının toplamda %32'lik kısmı güney, %37'lik kısmı güneybatı, %14'lük kısmı batı bakıda yer alırken diğer bakıları % 17'lik oranla diğer yönler paylaşmaktadır. Sahada egemen toprak sınıfı zonal toprak grubunda yer alan kahverengi topraklardan oluşmaktadır. Bu toprak dışında sahada yamaç molozları, alüvyal ve kolüvyal topraklar yüzeylenmektedir.

Erzincan Ovası'nı geçen en büyük akarsu Karasu (Fırat) Nehri'dir. Erzincan Ovası'nda Karasu Nehri'nden başka, çevredeki yüksek dağlardan ovaya inen sentripetal karakterde çok sayıda geçici akarsu yer almaktadır. Bu çalışmada ele alınan Günebakan, Allahmedet ve Çadırtepe dereleri de aynı drenaj sisteminin üyeleridir (Şekil 4a).

Sahanın arazi örtü deseninde doğal meralar en büyük paya sahiptir. Mera dışında kalan sahalar genelde çıplak kayalık ve seyrek bitki örtüsü görünümlü alanlardan oluşmaktadır. Nitekim Günebakan Dere Havzası'nın bitki örtüsü yoğunluğunu ortaya koymak üzere yapılan NDVI (Normalised Difference Vegetation Index-*Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi*) analizinde sahanın bitki örtüsünün % 67,6'lık değerle çok zayıf, % 24,5'lik değerle de zayıf yoğunlukta olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4b). Özellikle havzaların bitki yoğunluğunun oldukça düşük olduğu yukarı kesimlerinde, yüksek eğim ve çıplak yüzeyler sellenmeyi desteklerken ana yataкта su toplanma zamanını da kısaltmıştır. NDVI analizinde USGS Earth Explorer sitesinden elde edilen 30/07/2019 tarihli Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda bitki yoğunluk indeks değerleri gruplandırılmıştır. Bu işlemlerin devamında ArcGIS 10.5 programında eğim gruplarının ve NDVI indeks gruplarının alanları km² cinsinden hesaplanmış ve haritalandırılmıştır (Şekil 4b).

Esence Dağları'nın ovaya bakan güney yamaçları erozyon olayının şiddetli görüldüğü yerlerdendir. Burada yamaç eğiminin fazla olması, bitki örtüsünün zayıf olması, serpantinlerin ise bünyeleri itibarıyla çok çabuk ve kolaylıkla parçalanabilmesi erozyon ve heyelan olaylarının aktif olmasına neden olmaktadır (Akkan 1964; Mortan 1991). Parçalanmış kayaçlar aynı zamanda yamaçta depolanarak molozları meydana getirmektedir.



Şekil 4: Çalışma alanının hidrografi (a) ve NDVI (b) haritaları

1.2. Veri ve Yöntem

Bu makalenin hazırlanma süreci ofis ve arazi çalışmaları olmak üzere iki aşamayı kapsamaktadır. Ofis aşamasında konu ile ilgili kaynaklar araştırılmış ve çeşitli veriler derlenmiştir. Çalışmada ele alınan havzaların DEM görüntüleri ve 1/25.000 ölçekli topoğrafya haritaları ArcGIS 10.5 programında işlenerek akarsu ağları üretilmiş, ana ve alt havzaların sınırları belirlenmiştir. Akarsu ağlarının mevcut durumunu ortaya koyan havza temelli bu çalışmada kullanılan morfometrik parametrelerle ilgili indisler, bu indislerle ait sembol/formül/yöntemlerle referanslar ve ilgili açıklamalar Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1: Çalışma alanındaki akarsu havzalarında uygulanan morfometrik indisler

No	İNDİS	SEMBOL	FORMÜL/YÖNTEM	REFERANS
ALANSAL MORFOMETRİK İNDİSLER				
1	Havza Alanı (km ²)	A	Alan Ölçümü	Bu çalışma
2	Havza Çevresi (km)	P	Çevre Ölçümü	Bu çalışma
3	Uzunluk Oranı	R _e	$R_e = (2/L_b) \times (A/\pi)^{0.5}$	(Schumm 1956)
4	Havza Şekli	R _f	$R_f = A/L_b^2$	(Horton 1932; 1945)
5	Drenaj Yoğunluğu	D _d	$D_d = \Sigma L_u/A$	(Horton 1932; 1945)
6	Akarsu Sıklığı	F _s	$F_s = N_u/A$	(Reddy vd. 2004; Strahler 1964)
ÇİZGİSEL MORFOMETRİK İNDİSLER				
1	Havza Uzunluğu (km)	L _b	Uzunluk Ölçümü	Bu çalışma
2	Havza Genişliği (km)	W	Uzunluk Ölçümü	Bu çalışma
3	Akarsu Uzunluğu (km)	L _u	Uzunluk Ölçümü	Bu çalışma
4	Çatallanma Oranı	R _b	$R_b = N_u/N_u+1$	(Schumm 1956; Strahler 1964)
5	Uzunluk Oranı	R _L	$R_L = L_u / L_u+1$	(Horton 1945; Strahler 1964)
6	Tekstür Oranı	T	$T = N_u/P$	(Kirpich 1940)
7	Yüzeysel Akış Uzunluğu	L _o	$L_o = (1/D_d) \times 0,5$	(Horton 1945)
RELİEF MORFOMETRİK İNDİSLER				
1	Havza Reliifi	B _h	$B_h = H_{max} - H_{min}$	(Schumm 1956)
2	Relief Oranı	R _h	$R_h = H/L_b$	(Schumm 1956)
3	Engbelilik Değeri	R _n	$R_n = B_h \times D_d$	(Strahler 1954; Melton 1957)
4	Bağlı Relief	R _{hp}	$R_{hp} = H \times 100 / P$	(Melton 1957)
5	Hipsometrik İntegral	H _i	$H_i = (H_{ort} - H_{min})(H_{mak} - H_{min})$	(Strahler 1952)
6	Akım Toplanma Z.	T _c	$T_c = 0.0195 * L^{0.77}/S^{0.385}$	(Kirpich 1940)

Bu indisler yardımıyla Tablo 1'de sunulan morfometrik analizler ve sel-taşkın olayları ile bitki örtüsü arasındaki ilişkiyi izah etmek için bitki örtüsünün kapalılık derecesini ortaya koymak üzere Landsat-8 uydu görüntüleri kullanılarak NDVI analizleri yapılmıştır. NDVI, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemleri ile uydu görüntülerinden elde edilen, bitki yoğunluğunun durumunu ortaya koyan bir indekstir (Bozkurt vd. 2018).

NDVI analizi, multispektral uzaktan algılama verilerinin işlenmesiyle bitki örtülü alanları hızlı bir şekilde tanımlamak için kullanılır (Akkartal vd. 2005; Zaitunah vd. 2018). Bu analizden elde edilen sonuçlar -1 ile 1 değerleri arasında değişir. Analiz sonucundan elde edilen değerler içerisinde -0.1-0.1 arasında olanlar kayalık, kumluk alanlara, 0.2-0.4 arası olanlar ise çalılık, otlak ve çimenlik alanlara karşılık gelmektedir. Yeşil alanlar ise 0.6 oranından başlamakta ve 1'e doğru yoğunluk oranına göre artmaktadır. Bitki örtüsünün en canlı ve yoğun olduğu alanlar ise 1 değerine karşılık gelmektedir (Günek 2016). NDVI Formülü Hesaplanmasını basitçe ifade etmek gerekirse, aşağıda gösterildiği gibi Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), formülünde yakın kızılötesi (NIR) ve kırmızı (RED) bantları kullanılır (URL-1 2023).

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \quad (1)$$

1/25.000 ölçekli topografya haritaları, ArcGIS 10.5 yazılımında işlenerek çalışmanın tematik haritaları hazırlanmıştır. Jeoloji haritaları ve açınama metinlerinde verilen bilgiler araziyle denetlenmiş ve jeoloji haritası altlık olarak kullanılarak vektörel tabanlı CoreDRAW X7 grafik tasarım programında yeniden çizilmiştir. Google Earth tabanlı uydu görüntüleri üzerinden çeşitli inceleme ve analizler yapılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü veri tabanından temin edilen meteorolojik veriler konuyla ilişkilendirilmiştir. Çeşitli tarihlerde gözlemler, ölçüm ve fotoğraf çekimleri yapılmıştır.

2. Bulgular

Erzincan Havzası'nı kuşatan dağlardan havza tabanına inen paralel şekilde dizilmiş çok sayıda geçici akarsu bulunmaktadır. Bu akarsulardan bazılarının adı sık sık sel ve taşkınla gündeme gelmekte ve meydana gelen her sel-taşkın olayında pek çok yerleşme ve araziler zarar görmektedir (Tablo 2). "Yaz mevsiminde zeminin kuruması ve oluşan boşluklara havanın dolması inceleme alanı genelinde sızma kapasitesini düşürmektedir. Bu mevsimde, özellikle temmuz ayına denk gelen dönemlerde şiddetli sağanak yağışlardan sonra yüzeysel akışa geçen sular kısa sürede toplanarak Günebakan yelpazesi üzerinde sel ve taşkına neden olmaktadır (Uysal ve Sunkar 2022)".

Tablo 2: Erzincan ilinde meydana gelen belli başlı sel-taşkın olayları (AFAD 2021)

Sıra No	Taşkın Yılı	Başlangıç Tarihi	Taşkın Yeri	Taşkın Yaşanan Akarsu
1	1962	03.07.1962	Erzincan-Doğandere, Dişbudak	Doğan D.
2	1963	28.05.1963	Erzincan-Kabuşu Köyü	Kağırdüğün D.
3	1963	28.05.1963	Erzincan-Kabuşu Köyü	Kabuşu K. Deresi
4	1963	05.07.1963	Erzincan Civarı	Vasgirt (Yoğurt) D.
5	1964	24.04.1964	Erzincan-Vasgirt Köyü	Vasgirt D.
6	2005	25.04.2005	Erzincan	Yamaç Dere
7	2014	21.07.2014	Çayırılı-Büyükgeleğec K.	Köydere
8	2011-2020	17.07.2011; 02.07.2020	Merkez Günebakan Köyü	Günebakan

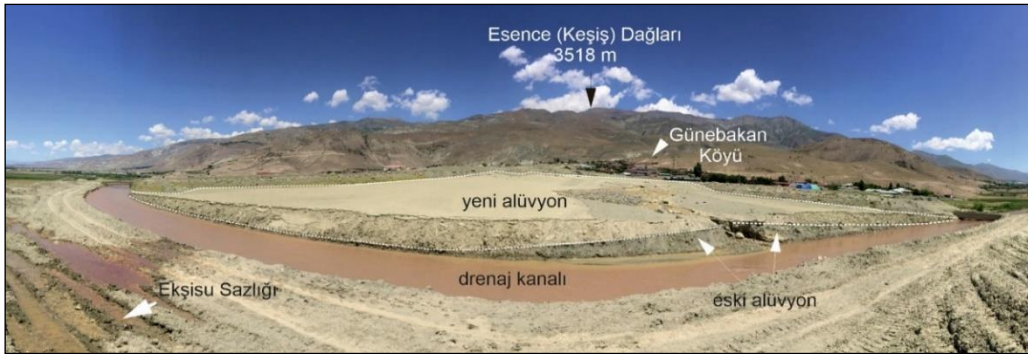
Havzadaki sel ve taşkın olaylarıyla gündeme gelen akarsulardan biri de Günebakan Dere'dir. Sel kabul havzası Dağınık Dağı'nın (3463 m) zirvesine kadar uzan akarsu, biri 17/07/2011 ve diğeri 03/07/2020 tarihlerinde olmak üzere moloz yüklü sel-taşkın olayına sahne olmuştur. 17/07/2011 tarihinde meydana gelen ve yaklaşık 2 saat süren sağanak karakterli yağışın ardından oluşan selde köy okulu, cami, köy konağı ile bazı meskenler zarar görmüştür. Bundan başka 31 konut ile 23 ahır su baskımından etkilenmiştir (AFAD 2013). İkincisi 03/07/2020 tarihinde meydana gelen sel-taşkın olayı ilkine göre daha büyük çaplı gerçekleşmiş ancak daha az hasara neden olmuştur. Sel olayında bu defa 3 konut, 9 ahır, iki köprü zarar görmüş ve bazı elektrik direkleri yıkılmıştır (Şekil 5). Günebakan Dere Havzası'ndaki sel-taşkın olayının oluşumunda Esence Dağları'nın zirveler nahiyesine ve güney yamaçlarına yağın çok şiddetli sağanak türde yağmur etkili olmuştur (Erzincan Meteoroloji İstasyonu tarafından sağanak yağışla ilgili herhangi bir yağış kaydı tutulmadığı için yüksek yağışın tutarı hakkında veri temin edilememiştir). Yağışla birlikte su bölümü çizgisinin güneyindeki aklanda yer alan ve zirveye en yakın sel kabul havzasına sahip Günebakan Dere en fazla suyu toplamış ve yüzeysel akıştan kısa sürede çizgisel akışa dönüşerek ana yatakta toplanan sular sel şeklinde akışa geçmiştir. Dağınık Dağı mevkiinde akarsu yatakları boyunca yapılan incelemelerde yukarı havza boyunca suyun çok güçlü akıma sahip olduğunu, orta mecrada birbirine paralel akan Kara Dere ve Su Dere'nin birleşmesiyle akarsuyun daha da güçlü akımla tek yatakta birleşik aktığı ve tam bu süreçte yatak içinde yüksekliği artan suyun şevlerde birikmiş molozları süpürerek yoğun bir çamur seline dönüştüğü anlaşılmıştır.

Yatak dışına taşarak çevreye yayılmış malzemenin büyüklüğü, moloz yüklü selin gücünü ortaya koymaktadır. Moloz akıntısının %50'den fazlasının kaba kum (2.0-02 mm) – çakıl (20-2.0 mm) iri çakıl (200-20 mm) ve blok (≥ 200 mm) boyutlu olduğu belirlenmiştir. Daha önce tecrübe edilmiş sel nedeniyle aşağı mecrada DSİ tarafından açılmış kanalın bu sel olayında yetersiz kalması ve taşkın materyalinin bir yandan kanal setlerini aşarak çevredeki meskûn alana yayılmasıyla köy konutları ve hayvan barınakları büyük zarar görmüştür. Moloz akması son noktada Ekşisu Sazlığı'na kadar ulaşmış ve eğimin azalmasıyla bütün malzeme bu alanda birikmiştir.



Şekil 5: Günebakan sel-taşkın olayında çok sayıda konut ve ahır büyük zarar görmüştür (a, b, c, d, e). Günebakan Dere üzerindeki beton köprü'nün demir korkulukları eğilmiş, bağlantıları kopmuştur (f).

Günebakan taşkınıyla ilgili, taşkından 12 gün sonra (15/07/2020) Günebakan Dere Havzası'nda yapılan incelemelerde akarsu bükümlerinde zaman zaman yatak dışına çıkmış çamur yayılımı, malzeme boyutları ve içeriği itibarıyla incelendiğinde akımın hem hızlı olduğunu hem de moloz yükünün çok fazla olduğunu ortaya koymaktadır. Aşağı mecrada yatak içinde blok boyutlu materyallerin fazlalığı dikkat çekmektedir. Ova tabanında Ekşisu Sazlığı'na (Çakırman Sazlığı) ulaşan malzemede de yer yer blok boyutuna ulaşan kayaçların yer aldığı görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6: Günebakan seli büyük bir yelpaze yaparak Ekşisu Sazlığı ile birleşmiştir. Yelpazenin asıl kütlesi ile sazlık arasında yer alan su kanalı yelpazeyi kesmektedir.

2.1. Morfometrik Analizler

Günebakan (Erzincan) seli örneğiyle Esence Dağları'nın güney-güneybatı aklarında oluşan moloz yüklü eski ve yeni selleri denetleyen flüviyal etkenlerin açık bir şekilde ortaya konulabilmesi amacıyla; Günebakan, Allahmedet ve Çadırtepe havzaları esas alınarak alansal, çizgisel ve yüzeysel (relief) parametreler olmak üzere üç grup morfometrik indis uygulanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: Çalışma alanındaki akarsu havzalarında uygulanan morfometrik indisler ve elde edilen değerler

NO	İNDİS	BULGULAR		
		Akarsular		
ALANSAL MORFOMETRİK PARAMETRELER		Günebakan D.	Allahmedet D.	Çadırtepe D.
1	Havza Alanı (km ²)	11.2 km ²	24.4 km ²	15.8 km ²
2	Havza Çevresi (km)	29.5 km	36.4 km	35.7 km
3	Havza Uzunluk Oranı	0.43	0.56	0.43
4	Havza Şekli	0.14	0.24	0.14
5	Drenaj Yoğunluğu	6.73	5.96	6.00
6	Akarsu Sıklığı	21.51	18.85	17.84
ÇİZGİSEL MORFOMETRİK PARAMETRELER				
1	Havza Uzunluğu (km)	8.7 km	9.9 km	10.3 km
2	Havza Genişliği (km)	2.5 km	5.2 km	3.2 km
3	Çatallanma Oranı	3.91	3.36	3.83
4	Uzunluk Oranı	3.23	1.78	1.98
5	Tekstür Oranı	6.33	9.47	5.77
6	Yüzeysel Akış Uzunluğu	0.074	0.083	0.083
RELİEF MORFOMETRİK ÖZELLİKLER				
1	Havza Reliefi	2312 m	2309 m	2344 m
2	Relief Oranı	0.26	0.23	0.22
3	Engebelilik Değeri	15.55	13.76	14.06
4	Akım Toplanma Zamanı	33.6 dk	39.2 dk	40.6 dk
5	Hipsometrik İntegral	0.49	0.49	0.49

2.1.1. Alansal Analizler

Havzanın morfometrik özellikleri, havzanın jeomorfolojik yapısını yansıtmaları bakımından oldukça önemli bir parametredir. Çünkü havzanın şekli, akış kurallarını denetlemekte ve akarsu alansal morfometriye uygun bir akış şekli oluşturmaktadır. Bu doğrultuda sahanın morfometrik özelliklerini ortaya koymak için; Havza Alanı (km²), Havza Çevresi (km), Havza Uzunluk Oranı (R_c), Şekil Faktörü (R_f), Drenaj Yoğunluğu (D_d), Akarsu Sıklığı (F_s) gibi parametreler kullanılmıştır.

Havza Uzunluk Oranı (R_c): Bir akarsu havzası için uzunluk oranı, havza alanı ile aynı alana sahip dairenin çapının havzanın maksimum uzunluğuna (L_m) oranıdır (Schumm 1956). Uzunluk oranının elde edilmesindeki temel konu akarsuyun erozyon gücünü ortaya koymaktır. Nitekim R_c değeri yüksek olduğu takdirde moloz taşınma nispetinin fazla olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır (Reddy vd. 2004). Uzunluk oranında bulunan değer 1'e yaklaşıyorsa havzanın şekli dairesel kabul edilmektedir (Biswas vd. 1999). Çalışma sahasında Günebakan Dere Havzası için 0.43, komşu havzalar için 0.56 (Allahmedet Dere) ve 0.43 (Çadırtepe Dere) değerleri bulunmuştur. Buna göre havzaların uzun ekseninin belirgin oval şekilli bir havza biçimi gösterdiği anlaşılmıştır. Bu türden havzalarda yan kolların ana kola paralel ve kısa oluşu ile sel kabul havzalarının küçük olması şiddetli yağışlarda ana akarsuya katılma hızını artırmakta ve ana kolda toplanan suyun daha kısa süreli ancak güçlü akımlı olmasına olanak vermektedir. Akımın hızı ve dolayısıyla hacmi taşkın tehlikeli hale getirmektedir (King 2018). Günebakan selinin oluşum ve gelişim sürecinde bu durum açıkça test edilmiştir.

Havza Şekli (R_f): Havza şekli faktörü; havza alanının (A) maksimum havza uzunluğunun karesine (L_b²) oranı şeklinde hesaplanmaktadır (Horton 1932-1945). Çalışma sahasındaki akarsularda havza şeklinin uzunluk oranı faktöründe belirlendiği biçimiyle uzun eksenli belirgin, oval şekilli bir havza sunumu göstermesi akarsuyun yan kolların ana akarsuya katılımının kısa sürede gerçekleştiğini ve ana akarsuyun bu katılımla daha yüksek debiyle aşındırma ve moloz taşıma işlevine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Günebakan Dere Havzası'nda R_f değeri 0.14 iken komşu havzalarda bu değer 0.24'e kadar çıkmaktadır. Buna göre bu kesimdeki akarsu havzalarının tümünde kısa sürede sel karakterli akıma ulaşılma potansiyeli olabileceği anlaşılmaktadır.

Drenaj Yoğunluğu (D_d): Bir akarsu havzasında drenaj yoğunluğu, tüm mertebelerdeki akarsuların toplam uzunluğunun (Lu) havza alanına (A) oranı şeklinde ifade edilen bir parametredir. Drenaj yoğunluğu hesaplanırken bir akarsu havzasında maksimum yağışlarda yatağa ulaşan suyu taşıyan bütün vadilerin toplam uzunluğu hesaba alınmaktadır (Özdemir 2011). Bu bakımdan düşük D_d değeri gösteren havzalara nispetle yüksek D_d değeri gösteren havzaların yüzeysel akışlara maruz kalarak aşınım yarılması söz konusudur (Patton 1988). Sel oluşturma potansiyeline sahip sahalarda genelde sızma kapasitesi düşük, nispeten kısa ancak dik eğimde ve zayıf bitki örtüsüne sahiptir. Düşük sel oluşturma yeteneği gösteren sahalarda ise bu durumun tersi özelliklere sahip sahalarda olarak düşünülse de sahanın yerel jeolojik özellikleri ve eski drenaj sistemine sahip olması bu genellemeyi karmaşık hale getirebilmektedir (Patton ve Baker 1976). Drenaj yoğunluğunun artması durumunda akarsuyun kol sayısında belirgin bir artış dikkati çekmekte ve bu gibi sahalarda yamaç eğimleri yüksek değerlere ulaşırken yüzeysel akış uzunluğu (L_o) azalmaktadır (Schumm 1956). Buna göre Çalışma alanında değerlendirmeye alınan akarsuların aktıkları yatağın hem litolojik hem de morfolojik karakteri sebebiyle D_d değerleri yüksektir. Nitekim bu değer Günebakan Dere'de 6.73, Allahmedet Dere'de 5.96, Çadırtepe Dere'de 6.00 olarak hesaplanmıştır.

Bu bakımdan Günebakan Dere yatağına maksimum yağışlar sırasında ulaşan su miktarı ve yatağın taşıdığı su miktarı komşu havzalara göre daha yüksektir. Bu durum aynı zamanda moloz sürüklenme potansiyeli bakımından Günebakan Dere'nin daha yetenekli olduğunu ortaya koymaktadır.

Akarsu Sıklığı (F_s): Akarsu sıklığı, akarsu havzasında drenaj ağındaki tüm akarsu sayısının (N_u) havza alanına (A) oranı şeklinde ifade edilen parametredir. Bir sahadaki akarsu sıklığı, zeminin geçirimli kayalardan oluşup oluşmaması, reliefin niteliği, iklimsel özellikler ve sahadaki bitki örtüsünün niteliğine göre değişebilmektedir (Horton 1932-1945). İnceleme alanında F_s değeri oldukça yüksek çıkmıştır. Bunda ana kola bağlanan kısa kolların sayısının havza alanına göre sıklık derecesinin yüksek olması etkili olmuştur. Nitekim Günebakan Dere'de F_s değeri 21.51 iken komşu havza Allahmedet'in havza alanı daha büyük olmasına rağmen F_s değeri 18.85 bulunmuştur. Dolayısıyla alan-akarsu sayısı dengesi havza bazında farklılıklar gösterebilmektedir. Bu durum havzaya düşen şiddetli yağışlarda yüzeysel ve ardından çizgisel akışa geçen suyun tahliye şekline de yansımaktadır. Ana akarsuya kısa yan kollardan kısa sürede aktarılan su yüzünden taşıma kapasitesi yetersiz olan ana akarsu mecrası boyunca taşkın kaçınılmaz hale gelmiştir.

2.1.2. Çizgisel Analizler

Çalışma alanındaki sel ve taşkın olaylarının oluşum ve gelişimlerini denetleyen faktörlerin belirlenmesinde çizgisel morfometrik analizlerin önemli yeri vardır. Bu bağlamda akarsu ağını oluşturan dizinlerin sayısal özellikleri öne çıkmaktadır. Çizgisel morfometrik analizler bağlamında Havza Uzunluğu (km), Havza Genişliği (km) Çatallanma Oranı (R_b), Uzunluk Oranı (R_L), Tekstür Oranı (T) ve Yüzeysel Akış Uzunluğu (L_o) parametreleri değerlendirilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4: Çalışma alanındaki akarsu havzalarında çizgisel morfometrik indislere ait parametreler

Akarsu	Akarsu Sayısı ve Sırası	Havza Uzunluğu (L_n)	Çatallanma Oranı (R_b)		Akarsu Uzunluk Oranı (R_L)		Ana Akarsu Uzunluğu (L_m)	Tekstür Oranı (T)	Max.Havza Yüksekliği	Min.Havza Yüksekliği	Ort.Havza Yüksekliği	Yüzeysel Akış	Havza Uzun.	Havza Geniş.
Günebakan (Su) Dere	N_{u1} : 187 N_{u2} : 41 N_{u3} : 10 N_{u4} : 2 N_{u5} : 1 Toplam: 241 adet	N_{u1} :43.04 N_{u2} :12.88 N_{u3} : 8.36 N_{u4} : 9.78 N_{u5} : 1.36 Toplam: 75.42km	N_{u1} :187 N_{u2} : 41 N_{u3} : 10 N_{u4} : 2 N_{u5} : 1.0	R_{b1} : 4.56 R_{b2} : 4.10 R_{b3} : 5.00 R_{b4} : 2.0 R_{bOrt} :3.91	N_{u1} :43.04 N_{u2} :12.88 N_{u3} : 8.36 N_{u4} : 9.78 N_{u5} : 1.36	R_{L1} : 3.34 R_{L2} : 1.54 R_{L3} : 0.85 R_{L4} : 7.19 R_{LOrt} : 3.23	8.15 km	N_{u1} : 187: 6.33	3486 m	1174 m	8.7 m	2.5 km	8.7 km	2.5 km
Allahmedet (B.Çakarman) Dere	N_{u1} : 345 N_{u2} : 85 N_{u3} : 22 N_{u4} : 5 N_{u5} : 2 N_{u6} : 1 Toplam: 460 adet	N_{u1} :75.17 N_{u2} :33.88 N_{u3} :16.94 N_{u4} : 9.80 N_{u5} : 5.16 N_{u6} : 4.59 Toplam: 145.54km	N_{u1} :345 N_{u2} : 85 N_{u3} : 22 N_{u4} : 5 N_{u5} : 2 N_{u6} : 1	R_{b1} : 4.05 R_{b2} : 3.86 R_{b3} : 4.40 R_{b4} : 2.50 R_{b5} : 2.0 R_{bOrt} :3.36	N_{u1} :75.17 N_{u2} :33.88 N_{u3} :16.94 N_{u4} : 9.80 N_{u5} : 5.16 N_{u6} : 4.59	R_{L1} : 2.21 R_{L2} : 2.0 R_{L3} : 1.72 R_{L4} : 1.89 R_{L5} :1.12 R_{LOrt} : 1.78	9.36 km	N_{u1} : 345: 9.47	3482 m	1173 m	9.9 m	5.2 km	9.9 km	5.2 km
Çadırtepe (Su) Dere	N_{u1} : 206 N_{u2} : 59 N_{u3} : 13 N_{u4} : 3 N_{u5} : 1 Toplam: 282 adet	N_{u1} :53,27 N_{u2} :20.80 N_{u3} : 7.87 N_{u4} : 3.29 N_{u5} : 9.59 Toplam: 94.82 km	N_{u1} :206 N_{u2} : 59 N_{u3} : 13 N_{u4} : 3 N_{u5} : 1	R_{b1} : 3.49 R_{b2} : 4.53 R_{b3} : 4.33 R_{b4} : 3.0 R_{bOrt} :3.83	N_{u1} : 53.27 N_{u2} : 20.80 N_{u3} : 7.87 N_{u4} : 3.29 N_{u5} : 9.59	R_{L1} : 2.56 R_{L2} : 2.64 R_{L3} : 2.39 R_{L4} : 0.34 R_{LOrt} : 1.98	9.59 km	N_{u1} : 206: 5.77	3541 m	1197 m	10.3 m	3.2 km	10.3 km	3.2 km

Havza Uzunluğu ve Genişliği (km): Çizgisel morfometrik özelliklere göre Günebakan Dere Havzası'nın uzunluğu 8.7 km, genişliği ise 2.5 km'dir. Havzanın uzun eksenini genişliğinin iki katından fazladır. Uzunluk-genişlik ilişkisinde komşu havzalarda da durum farklı değildir. Nitekim Allahmedet Dere Havzası'nda uzunluk: 9.9 km iken genişlik 5.2 km, yine Çadırtepe Dere Havzası'nda uzunluk: 10.3 km iken genişlik 3.2 km olarak tespit edilmiştir. Aynı aklarda yer alan birbirine komşu diğer akarsular da uzun eksenini belirgin havza karakteri göstermektedir. Bu tür havzalarda akarsular ana akarsuya bir süre paralel ya da sub-paralel aktıktan hemen sonra ana akıma katılmaktadır.

Bu durum ana yataktaki debinin hızla yükselmesini desteklemektedir. Dolayısıyla uzun eksenli belirgin çok fazla dallı-budaklı drenaj ağına sahip olmayan havzaların sel-taşkın oluşturma eğilimi yüksek olmaktadır.

Çatallanma Oranı (R_b): Çatallanma oranı, bir akarsu havzasındaki drenaja katılan akarsu kollarının sayısının bir sonraki dizideki kolların sayısına oranı şeklinde ifade edilmektedir (Horton 1932-1945). Günebakan Dere Havzası ve komşu akarsu havzaları birbirine paralel şekilde uzanış göstermektedir. Bu havzalardaki akarsuların çatallanma oranları düşük değerdedir (Günebakan D.: 3.91; Allahmedet D.: 3.36; Çadırtepe D.: 3.83). Mevcut oranlar havzaların homojen yapıları olduklarını göstermektedir. Bu yapıdaki havzalarda R_b değerinin düşük çıkması zayıf geçirimsizlik kapasitesine uyumlu yüksek düzeyli yüzeysel akışa geçiş sürecini desteklemektedir. Havzanın yapısal karakteri de dikkate alındığında güçlü yağışların ardından toplanan suların hemen yüzeysel akışa ve ardından da çizgisel akışa geçebilme gücü olduğu için sel ve taşkın oluşturma potansiyeli olduğunu ortaya koymaktadır.

Uzunluk Oranı (R_L): Uzunluk oranı, herhangi bir ortalama akarsu uzunluğunun (L_u) bir diğer akarsu uzunluğuna (L_{u-1}) oranı şeklinde ifade edilmektedir (Horton 1945). Çalışma sahasında bu kapsamda değerlendirilen akarsuların boyları 3.23 km (Günebakan D.), 1.98 km (Çadırtepe-Su D.) ve 1.78 km (Allahmedet D.) olarak tespit edilmiştir. Akarsu uzunluğu ve kollarından ana yatağa intikal edecek suyun tutarı, vadi şekli ve yatağın pürüzlülük durumu suyun hızını denetlemesi bakımından önemlidir (Patton 1988; Özdemir 2011). Yamaç eğimleri oldukça yüksek olan sahanın relief enerjisi dikkate alındığında, birim alana belirli bir zaman diliminde düşen yağış tutarının fazla olması, akarsuların kısa boylu olması, alt havzalardan gelen suyun çok kısa sürede ana vadiye intikaliyle ana kolun taşıdığı suyun hızla büyümesi moloz sürüklenme-taşıma kapasitesini artırmaktadır. Nitekim Günebakan selinin oluşum ve gelişimi bu durumu doğrular niteliktedir.

Tekstür Oranı (T): Sızma (infiltrasyon) ve yüzeysel akışa katılan suyun tutarı arasındaki bağıntıyı göstermesi bakımından tekstür oranı (T) önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir (Horton 1945). Çalışma alanında egemen şekilde metamorfizmaya uğramış kayalar (mikaşist, serisit-klorit-kalk şist, metaçakıtaşı, fillat, mermer, rekristalize kireçtaşı), dolomitik mermerler, metabazitler, yer yer ofiyolit ve kireçtaşı olistolitleriyle kalın rekristalize kireçtaşı, mermer ve dolomitik-mermer ara katkılı ve seviyelerini kapsayan birimler yüzeylemektedir (Aktimur vd. 1995). Bu birimlerin özelliklerinden hareket edildiğinde mekanik yoldan kolay parçalanma ve sel sularına sediman verme oranlarının yüksek olduğu bilinmektedir. Birimlerin içeriğinde yüksek oranda kil bulunması da geçirimsizlik düzeyini azaltmakta ve suyun erken yüzeysel akışa katılmasına olanak tanımaktadır. Dolayısıyla yüzeysel akışa geçerek hızla ana vadiye kanalize olan akarsu yatak kenarı ve yatak içi molozu yüklenerek hareket etme yeteneğine sahip bir akış biçimine sahip olmaktadır.

Yüzeysel Akış Uzunluğu (L_o): Bir akarsu havzasında yüzeysel akışa sahip suyun belirli akarsu kanallarında yoğunlaşmadan önce yer üzerindeki akışının uzunluğu olarak (Horton 1932-1945) ele alındığında havza akarsularında bu uzunluk 0.074 km (Günebakan D.)-0.083 km arasında değerler göstermektedir. Bu değerlere göre yüzeysel akıştan hemen çizgisel akışa geçildiği ve suyun kanallarda toplanmasının ani geliştiği sonucu çıkarılmıştır. Bu durum akarsuyun erken sürede yıkıcı bir güç olmasına, aşındırma ve taşıma gücünün artmasına olanak sağlaması bakımından son derece önemli bir husustur.

2.1.3. Relief Analizleri

Relief morfolojik analizler için Havza Reliefi (B_h), Relief Oranı (R_h), Engebelilik Değeri (R_n), Akım Toplanma Zamanı (T_c), Hipsometrik İntegral (H_i) parametrelerinden istifade edilmiş ve önemli tespitlere ulaşılmıştır.

Havza Reliefi (B_h): Bir akarsu havzasında akım yönünü belirleyen en yüksek ve en alçak kesim arasındaki maksimum dikey mesafe havza reliefi olarak ifade edilmektedir (Schumm 1956; Strahler 1957). Araştırmacılar hidrolojik bir parametre olarak havza reliefi faktörünü önemli bulmuşlardır (Sherman 1932; Horton 1945; Strahler 1957). Gerçekten hidrolojik bakımdan ele alındığında havza reliefi (B_h) faktörü, akarsu ağının kuruluşu ve gelişmesi, yüzeysel akış, akım toplanma süresi ve taşkın pik değerlerinin ortaya konulması bakımından önem arz etmektedir (Özdemir 2011; Elbaşı ve Özdemir 2018). Nitekim yüksek relief, dik yamaçlar, yüksek akarsu gradyanları yüzey akışının konsantrasyon süresini artırmakta ve taşkın oluşturma risklerini yükseltmektedir. Bu nedenle, diğer tüm koşullar eşit olduğunda havza relief değeri ne kadar büyük olursa, hidrograf yükselme hızı o kadar büyük olmaktadır (Patton ve Baker 1976). Bu açıklamalar ışığında Çalışma alanındaki havzaların en yüksek noktaları Esence Dağları'nın (3463 m) su bölümü çizgisine ulaşırken en alçak noktaları Erzincan Ovası'na bağlanmaktadır. Dolayısıyla iki nokta arasındaki yükselti farkı oldukça fazladır. Nitekim Günebakan Dere'de B_h değeri 2312 m iken komşu havzalardan Allahmedet Dere Havzası'nda B_h değeri 2309 m ve Çadırtepe Dere'de B_h değeri 2344 m'ye çıkmaktadır. Bu durum hidrolojik bakımdan değerlendirildiğinde sahanın oldukça yüksek eğimle Erzincan Ovası'na alçaldığı ve aynı akları paylaşan tüm akarsuların buna uyan yüksek bir hızla ovaya yöneldiği ve dolayısıyla ani sel-taşkın oluşturma potansiyeli bakımından oldukça elverişli koşullara sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Relief Oranı (R_h): Havza reliefinin havza uzunluğuna oranıdır (Schumm 1956). Relief oranıyla drenaj ağının maksimum eğim açıları, akarsu yatak eğim değeri, drenaj-havza şekli, birim alan başına yıllık sediman kaybı, sızma hızı, drenaj deseni ve hatta alanın morfolojik evrimi gibi diğer özellikler arasında yakın bir ilişki olduğu vurgulanmış ve bu bakımdan topografik birimde veya farklı fakat homojen litolojiye sahip alanlar arasında relief oranı parametresinin jeomorfolojik özellikleri karşılaştırmak için önemli bir araç olduğu belirtilmiştir (Schumm 1956).

İnceleme alanındaki havzaların R_h değerleri incelendiğinde değerlerin birbirine oldukça yakın özelliklere sahip olduğu görülmektedir (Günebakan D.: 0,26; Allahmedet D.: 0,23; Çadırtepe D.: 0,22). Bu durum akarsuların yer aldığı aklarda hemen hemen aynı topografik koşullara sahip olmasından ileri gelmektedir. Nitekim havzaların drenaj yoğunluğu, relief oranı özellikleri ve uzunluk oranı bakımından benzer özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Erzincan Havzası'nı kabaca kuzeyden sınırlandıran Esence Dağları'nın havza tabanına dönük yamacı boyunca birbirine kısa mesafelerle paralel bir drenaj şekli gösteren hemen bütün akarsuların birbiriyle yakın özellikler göstermesi taşkın potansiyeli bakımından da benzer riskler taşıdığına ortaya koymaktadır.

Engebelilik Değeri (R_n): Bu değer havza reliefi ve drenaj yoğunluğu değerlerinin çarpımıyla elde edilmektedir (Melton 1957). Engebelilik değeri bir arazinin yükselti farklarını ortaya koymaktadır (Reddy vd. 2004). Dik ve uzun yamaçlara sahip çalışma sahasındaki akarsu havzalarının hemen hepsi engebeli bir relief yapısına sahiptir. Nispeten derin yarılmış, birbirine paralel, yan yana sıralanmış vadiler, üst kısımları törpülenmiş sırtlar ve düzgün eğimle alçalan yamaçlar sahada hemen dikkat çeken morfolojik özelliklerdir. Bu gibi sahalarda akım toplanma süresinin beklenenden kısa olması doğal olarak sel ve taşkın üretme potansiyelini artırmaktadır. Sahada engebeli reliefi ortaya koyan yüksek R_n değerleri bulunmuştur (Günebakan D.: 15.55; Allahmedet D.: 13.76; Çadırtepe D.: 14.06). Nitekim resmi kayıtlara göre bu akarsular üzerinde sık sık sel ve taşkın olayları gerçekleşmiştir (Tablo 2) (AFAD 2021).

Akım Toplanma Zamanı (T_c): Bu parametre yağış olayından sonra yüzeysel akışın, havzanın en uzak noktasından havzanın çıkış noktasına varana kadar geçen süreyi ortaya koymaktadır. Akımın süre itibarıyla erken ya da geç toplanmasını denetleyen pek çok faktör vardır. Bu faktörler arasında zeminin geçirimsizlik derecesi, akarsuyun beslenme şekli ve sürekliliği, akarsu yatak şekli, yatak eğim derecesi, yüzeyin bitki örtüsüyle kapalılık derecesi gibi faktörler gösterilebilir. Bu faktörler akım toplanma süresini bir dereceye kadar azaltıp artırabilme gücü gösterebilmektedir (Kirpich 1940). Çalışma alanındaki akarsu havzaları hemen aynı tip litoloji, morfolojik yapı ve eğim gibi faktörlere sahiptir. Bu nedenle araştırmaya dahil edilen her üç akarsu havzasında da akım toplanma süreleri az çok birbirine yakın zaman dilimlerini içermektedir (Günebakan D.: 33.6 dk; Allahmedet D.: 39.2 dk; Çadırtepe D.: 40.6 dk). Akarsu havzasının genişliği ve yan kolların uzunluğu nedeniyle Çadırtepe Dere ve Allahmedet Dere havzalarında akım toplanma zamanları arasında 5-6 dk'lık bir fark ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte bu havzalarda akım toplanma sürelerinin düşük olması yüksek taşkın piklerinin oluşmasına zemin hazırlamıştır. Yine Esence Dağları'nın güneye dönük aklarında yer alan akarsuların önemli bir bölümünde akım toplanma sürelerinin de oldukça kısa olduğu şeklinde bir genelleme yapmanın yerinde olacağı ve bu kesimde gelişen sellerin ani, hızlı, yüksek akımlarla ve yüksek taşkın pikleriyle gerçekleşeceği söylenebilir.

Hipsometrik İntegral (H_i): Hipsometrik integral hipsometrik eğri altında kalan toplam sahadır (Özdemir 2011). Hipsometrik eğri ise nispi yükseltinin nispi alana oranından yararlanılarak çizilmektedir (Strahler 1952; Pike ve Wilson 1971). İntegral hesaplanmasında havzanın maksimum, minimum ve ortalama yükseklik değerleri kullanılmaktadır (Mayer 1990). Çalışma sahasındaki H_i değerleri bütün akarsular için 0.49 olarak bulunmuştur. Bu değer çalışma sahasını olgunluk aşamasında değerlendirmek gerektiğini ortaya koymuştur. Havzaların tamamının aynı aklar üzerinde yer alması dolayısıyla havza yapısının aşınım devresinin olgunluk safhasında olduğunu kestirmek zor olmamıştır.

2.2. Tartışma

Günebakan Dere Havzası'nda oluşan sel-taşkın olayının anlaşılabilmesi bakımından havza morfometrisi ve geçmiş dönem sel-taşkın olayları arasındaki bağlantı araştırılmıştır. Yapılan analizlerde havzanın morfometrik yapısıyla moloz akmaları arasında yakın bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte sellenmeye neden olan faktörler içinde havzaların salt morfolojik özelliklerinin sellenmeye neden olduğu söylenemez. Havza yapısının aşırı yağışlarla birlikte sel olayına zemin hazırladığı üzerinde durmak gerekir. Yüksek eğim faktörü ve eğimin akım hızı ve akış gücüne olumlu katkısı, akarsu yatağının eğim yönünde girinti-çıkıntı düzeyi düşük kanal özellikleri göstermesi, yatak kenarındaki şevlerin moloz birikmesine müsait olması akım ve yük türü ilişkisi bakımından da anlaşılır değerlendirmeler yapılmasına olanak vermiştir.

Havzaların çizgisel morfometrik özellikleriyle sellenme arasındaki ilişkilerde dikkate değer sonuçlara ulaşılmıştır. Bu doğrultuda çatallanma oranı bakımından R_b değeri tüm havzalarda düşük çıkmıştır. Bu durum özellikle zeminin geçirimsiz kayaçlardan oluşmasına bağlı olarak güçlü yüzeysel akışa olanak tanımış olmalıdır. Dolayısıyla suyun yüzeysel akıştan çizgisel akışa geçişi hızlı gerçekleşmiştir. Birim alana belirli bir zaman diliminde düşen yağış tutarı ve akarsu uzunluk faktörü dikkate alındığında yan kollardan ana akarsuya katılan kısa boylu akarsuların varlığı suyun erken sürede yüksek debiye ulaşmasını sağlayarak bir ölçüde moloz taşıma kapasitesini artırmıştır. Tekstür oranı itibarıyla birimlerin içeriğinde yüksek oranda kil bulunması da geçirimsizlik düzeyini azaltarak suyun erken yüzeysel akışa katılmasına olanak tanımıştır. Metamorfik ve ofiyolitik kayaçlardan mekanik yollarla türeyen kırıntılı materyaller eğim yönünde ana yatak ve çevresinde birikerek asıl sel yükünü oluşturmuştur. Yüzeysel akış uzunluğu tüm kollar için yeterli uzunlukta olmadığından, sellenmeye etkisi bakımından yüzeysel akıştan hemen çizgisel akışa geçilmesine zemin hazırlamış görünmekte ve suyun kanallarda toplanmasının ani geliştiği sonucu çıkmaktadır. Çalışma alanındaki tüm havzalar uzun eksenli belirgin, uzunlamasına ve oval havza şekli sunmaktadır.

Bu geometriye sahip havzalarda yan kollardan gelen suların ana akarsuya katılım süresi oldukça kısa sürmektedir. Uzunlamasına gelişmiş havzalar, kısa yan kolların ana kola bağlandığı akarsu ağıyla temsil edilmektedir. Bu tür drenaj ağlarının sel-taşkın üretme eğilimi yüksek olmaktadır.

Alansal morfolometrik özelliklerle sel karakterli akış arasındaki ilişkiyi ortaya koymak bakımından havza uzunluk oranı, havza şekli, drenaj yoğunluğu ve akarsu sıklığı faktörleri dikkate alınarak önemli bulgulara ulaşılmıştır. Nitekim havzaların boylarının uzun fakat enlerinin dar olması ve yan kolların çok yerde ana kola paralel ve kısa oluşu ile yukarı havzayı temsil eden sel kabul havzalarının küçük olması şiddetli yağışlarda ana akarsuya katılma hızını adeta körüklemiştir. Ana yatakta biriken suyun yüksek debiye ulaşma hızına olumlu katkı veren bu durum selin gelişiminde önemli bir dizi etken olarak öne çıkmıştır. Havzaların şekli, kısa sürede sel karakterli akıma ulaşma potansiyeli olabileceğini göstermiştir. Havzalarda litolojik ve morfolojik yapı, drenaj yoğunluğu (D_d) değerlerinin yüksek çıkmasına yol açmıştır. Bu durum yüzeysel akışla oluşan yüzeysel yarılmayı artırmıştır. Buna bağlı olarak sahada akarsu sıklığı (F_s) değeri oldukça yüksek çıkmıştır. Nitekim tüm havzalarda artan dizin sayılarının havza alanına göre sıklık derecesinin yüksek oluşu akarsu sıklığının da yüksek çıkmasında etkili olmuştur.

Sel karakterli akışların anlaşılabilmesinde havzaların relief morfolometrik özelliklerinin iyi tahlil edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda havza reliefi, relief oranı, engebellik değeri ve hipsometrik integral özellikleri araştırılmıştır. Esence Dağları'nın Erzincan Ovası'na dönük aklanında uzun yamaçlara sahip yüksek eğimdeki fay dikliğine kurulmuş akarsuların yüksek bir hızla ovaya yöneldiği ve dolayısıyla ani sel-taşkın oluşturma potansiyeli bakımından oldukça elverişli koşullara sahip olduğu belirlenmiştir. Sahadaki akarsularda akım toplanma süresinin çok kısa olduğu anlaşılmıştır. Özellikle Esence Dağları güney aklanında gelişen sellerin ani, hızlı, yüksek akımlarla ve yüksek taşkın pikleriyle gerçekleştiği ve gelecekte de benzer sel ve taşkın olaylarının olacağı söylenebilir.

3. Sonuç ve Öneriler

Günebakan Dere Havzası'nda oluşan sel-taşkın olayının anlaşılabilmesi için arazi çalışmaları yanında çeşitli morfolometrik analiz yöntemleri kullanılmıştır. Analizlerde havzanın uzunluğu, genişliği, şekli, engebellik derecesi, drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı ve uzunluğu, akarsuyun çatallanma oranı, yüzeysel akış uzunluğu ve akım toplanma zamanı gibi parametreler değerlendirilerek alansal, çizgisel ve şekilsel anlamda morfolometrik verilere ulaşılmış ve meydana gelen moloz yüklü sellerle havzaların jeolojik ve jeomorfolojik yapısı arasında yakın bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Araştırmaya konu olan havzaların çizgisel morfolometrik özellikleriyle sellenme arasındaki ilişkilerde dikkate değer sonuçlara ulaşılmıştır. Nitekim yüzeysel akış uzunluğu, tüm kollar için yeterli uzunlukta olmadığından, bu durum yüzeysel akıştan hemen çizgisel akışa geçilmesine zemin hazırladığı ve suyun kanallarda toplanmasının oldukça hızlı geliştiği sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda havzaların jeolojik, jeomorfolojik, iklimik, hidrografik, edafik ve bitki örtüsü özellikleri açısından sel-taşkın olayına en uygun ortamı sunacak özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Litolojik bakımdan sahanın egemen kayacı olan ofiyolitler fiziksel parçalanmayla bolca moloz üretilmesine olanak vermekte, şevlerde ve yatakta biriken molozlar sel olayı sırasında suyun moloz yüklenecek akmasına yol açmaktadır. Öyle ki Günebakan sel-taşkın olayının oluşumunda Esence Dağları'nın zirve kesimine yağın çok şiddetli sağanak yağmur etkili olmuştur. Ana yatakta toplanan yağış suları zaten dar olan yatağa sığmamış ve beraberinde getirdiği moloz yükü ile bir çamur seline dönüşmüştür. Arazinin yüksek eğime sahip olması taşkın suyunun hızını artırarak aşındırma ve tahrip gücünü katlamıştır. Eğimli yamaçlarda yer alan birbirine paralel havzalarda su toplama sahalarının dar olması ve diğer etkenler, ekstrem yağışlar sonrası ana yatağa intikal eden suların yatak kapasitesinden fazla olması nedeniyle taşkın oluşmaktadır. Taşarak yatak dışına çıkan aşırı moloz yüklü sular sel gibi davranarak çevreye yayılırken yerleşim yerlerine zarar vermektedir.

Saha gözlemleri doğrultusunda hem inceleme alanı hem de yakın çevresindeki sel-taşkın riski taşıyan akarsu havzalarında taşkına yönelik yeterli tedbirlerin alınmadığı görülmüştür. Gelecekte meydana gelebilecek olası sel-taşkın olayları için alınabilecek tedbirler konusuna değinmek yerinde olacaktır.

- Günebakan selinin hemen ardından Günebakan köyü ve yakın çevresi yapı ve ikamete yasaklı afet bölgesi ilan edilmiş ve yeni konut, işyeri ve resmi bina gibi yapıların inşası yasaklanmıştır. Mevcut binalarda ise oturma, tadilat, alt yapı hizmetleri yapmak gibi tüm faaliyetler durdurulmuştur. Bu noktada alınan tedbirlerin önleyici olabilmesi için zaman zaman denetim yapılması önemlidir.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) yetkililerinden alınan bilgilere göre, afet sahasına Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) tarafından yapılacak olan yeni toplu konut inşa projesi gündemdedir. Bu projenin sağlıklı yürütülebilmesi ve konutların geleceği açısından yer seçiminin doğru yapılması gerekmektedir. Olası sel-taşkın olaylarında yeni kayıpların yaşanmaması için konutların vadi tabanına veya kıyısına değil, eski taşkın yatağı sınırları dışında kalan yamaçlara ve sırtlara inşa edilmesi uygun olacaktır.
- Çalışma alanında sel ve taşkın için alınabilecek önemli ve en etkili yöntemlerden biri de ağaçlandırmadır. Sahanın coğrafi yapısına uygun ağaç türleri belirlenerek sel kabul havzası ve çevresi ağaçlandırılmalıdır. Böylece bitki kök ve yaprakları sayesinde fazla su emilebilir, yüzeysel akışa geçen sel sularının hızı yavaşlatılabilir ve selin yıkım gücü en aza indirilebilir.
- Taşkın koruma yapılarından en yaygın olanı akarsu yatak eğimini azaltmak için yapılan vadi içi taşkın seddeleri ve duvarlarıdır. Erzincan Havzası'nda taşkın riski yüksek olan bazı akarsularda bu yöntem hâlihazırda

uygulanmaktadır. Günebakan Dere ve komşu akarsular üzerinde de uygulanması taşkın etkilerinin azaltılması hususunda faydalı olacaktır.

- Günebakan Dere ana yatağı ve taşkın yatağı üzerinde sel kapanları, taşkın kanalları, bent ve derivasyon kanalı gibi yapılardan uygun olanlarının yapılması sahanın sel-taşkın riskinin en aza indirgenmesinde önemli rol üstlenecektir.
- Sel ve taşkın etkisinde kalan sahanın bakım-onarım işlemleri periyodik olarak yapılmalı, kurumlarca fizibilite ve ar-ge çalışmaları taşkın riski taşıyan tüm sahalar için uygulanmalıdır. Geçmiş sel-taşkın afetleri sebep ve sonuçları ile ayrıntılı olarak raporlanmalı, elde edilen verilere dayanarak eksiklikler giderilmelidir.
- İnceleme alanında taşkın riski taşıyan akarsuların akım-debi ölçümleri düzenli şekilde yapılmalı ve anlık yağışların ölçümünü yapabilecek otomatik meteoroloji istasyonları kurulmalıdır.
- İnceleme alanında ve il genelinde dünyadaki örneklerinden hareketle meteoroloji ağı güçlendirilerek” afet erken uyarı sistemleri” kurulmalıdır.
- Günebakan köyü ve yakın köylerin tamamını içine alacak merkezi bir drenaj sistemi kurulmalı, mevcut alt yapı tesislerinin bakımları her yıl düzenli olarak yapılmalıdır.
- Arazi çalışmalarına dayalı ayrıntılı projelerle sel-taşkın riski taşıyan sahalar ve özellikle yerleşme alanları tespit edilmeli, panel ve konferans gibi çeşitli eğitim etkinlikleri ile özellikle risk bölgelerindeki insanlar konu hakkında bilgilendirilmelidir.

Kaynaklar

- AFAD (2013), 25/06/2013 tarihli jeolojik etüt raporu, Erzincan Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Erzincan.
- AFAD (2021), *İl Afet Risk Azaltma Planı (IRAP)*, Erzincan Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Erzincan, 182ss.
- Akkan E., (1961), *Erzincan Ovası'nda son tektonik hareketler ve bunların morfolojideki tesiri*, Türk Coğrafya Dergisi, 21, 123–139.
- Akkan E., (1964), *Erzincan Ovası ve çevresinin jeomorfolojisi*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Akkartal A., Türüdü O., Erbek S.F., (2005), *Çok zamanlı uydu görüntüleri ile bitki örtüsü değişim analizi*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart-1 Nisan, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara.
- Aktimur H.T., Sariaslan M., Yurdakul M.E., Keçer M., Mutlu G., Turşucu A., Aktimur S., Ölçer S., Yıldırım Y., (1995), *Erzincan dolayının jeolojisi*, MTA Raporu, No: 9792, Ankara, 61ss.
- Aktimur H.T., Tekirli M.E., Yurkadul M.D., (1990), *Geology of the Sivas, Erzincan Tertiary Basin*, MTA Bulletin, 111, 25–36.
- Allen C.R., (1982), *Comparisons between the North Anatolian Fault of Turkey and the San Andreas Fault of California*, Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction'in İçinde, (Işıkara A.M., Vogel A., Ed.), Vieweg+Teubner Verlag Wiesbaden, Wiesbaden, 67–85.
- Avcı V., Günek H., (2015), *Uludere Havzası'nın (Bingöl) jeomorfolojik özelliklerinin belirlenmesinde morfometrik analizlerin kullanımı*, Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 21, 745–770.
- Avcı V., Sunkar M., (2015), *Giresun'da sel ve taşkın oluşumuna neden olan Aksu Çayı ve Batlama Deresi havzalarının morfometrik analizleri*, Coğrafya Dergisi, 30, 91–119.
- Avcı V., Sunkar M., (2018), *Bulancak'ta (Giresun) sel ve taşkın olaylarına neden olan Pazarsuyu, İncüvez, Kara ve Bulancak derelerinin morfometrik analizleri*, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 28(2), 15–41.
- Avcı V., (2023), *Esmahanım Deresi Havzası'nın (Akçakoca-Düzce) morfometrik özellikleri ve taşkınlara etkisi*, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 25(1), 96–118.
- Balçı A.N., Öztan Y., (1987), *Sel kontrolü*, Karadeniz Üniversitesi Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 113, Fakülte Yayın No: 12, Karadeniz Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 466ss.
- Barka A.A., Gülen L., (1989), *Complex evolution of the Erzincan Basin (eastern Turkey)*, Journal of Structural Geology, 11(3), 275–283.
- Bekar Ö.A., Akpınar E., (2022), *9 Haziran 2022 Erzincan seli*, Erzincan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 15(2), 119–136.
- Biswas S., Sudhakar S., Desai V.R., (1999), *Prioritisation of Subwatersheds Based on Morphometric Analysis of Drainage Basin: A Remote Sensing and GIS Approach*, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 27(3), 155–166.
- Bottino G., Crivellari R., (1998), *Analisi di collate detritiche connesse con l'evento alluvionale del 5–6 Novembre 1994 nell'anfiteatro morenico de Ivrea*. Hydrogeological Risk, Countermeasures and Use of the Canavese Territory: Proceedings National Conference, Ivrea, Italy, ss.36–46.
- Bozkurt E., (2001), *Neotectonics of Turkey – a synthesis*, Geodinamica Acta, 14(1–3), 3–30.
- Bozkurt N.E., Zontul M., Aslan Z., (2018), *Uydu verilerine dayalı olarak bitki örtüsü analizi*, Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, 2(1), 75–82.
- Calligaris C., Zini L., (2012), *Debris flow phenomena: a short overview?*, Earth Sciences'in İçinde, (Dar I.A., Ed.), IntechOpen Limited, Croatia, ss.71–90.
- Chitra C., Alaguraja P., Ganeshkumari K., Yuvaraj D., Manivel M., (2011), *Watershed characteristics of Kundah subbasin using remote sensing and GIS techniques*, International Journal of Geomatics and Geosciences, 2(1), 311–335.
- De Graff J.V., (2014), *Improvement in quantifying debris flow risk for post-wildfire emergency response*, Geoenvironmental Disasters, 1, 5, doi: 10.1186/s40677-014-0005-2.
- Elbaşı E., Özdemir H., (2018), *Marmara Denizi akarsu havzalarının morfometrik analizi*, Coğrafya Dergisi, 36, 63–84.
- Erinç S., (1953), *Doğu Anadolu coğrafyası*, İstanbul Üniversitesi Yayınları No: 572, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Enstitüsü Yayını, No: 15, İstanbul, 124ss.
- Fural Ş., Cürebal İ., İnan F., (2019), *Elmalı'da (Antalya) yağışın tetiklediği sel, taşkın ve çamur akıntısı afetlerinin jeomorfolojik analizi*, Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 3, 49–61.

- Gregory K.J., Walling D.E., (1976), *Drainage basin form and process: A geomorphological approach*, Halsted Press, New York, NW, USA, 456ss.
- Günek H., (2016), *Hidrografiya araştırmaları ve analizler*, Fiziki Coğrafiyada Araştırma Yöntemleri ve Teknikleri'nin İçinde, (Özgen N., Karadoğın S., Ed.), Pegem Akademi Yayınları, ss.313–336.
- Horton R.E., (1945), *Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology*, Bulletin of the Geological Society of America, 56, 275–370.
- Horton R.E., (1932), *Drainage-basin characteristics*, EOS, Transactions American Geophysical Union, 13(1), 350–361.
- IPCC, (2007), *Climate Change 2007: Synthesis Report*, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf, [Erişim 11 Ağustos 2022].
- Iverson R.M., (1997), *The physics of debris flows*, Reviews of Geophysics, 35(3), 245–296.
- Jeffrey A., David A., Jonathan W., (2008), *Initiation conditions for debris flows generated by runoff at Chalk Cliffs, Central Colorado*, Geomorphology, 96, 270–297.
- King H.M., (2018), *What is a debris flow?*, <https://geology.com/articles/debris-flow/>, [Erişim 11 Ağustos 2022].
- Kirpich Z. P., (1940), *Time of concentration of small agricultural watersheds*, Civil Engineering, 10(6), 362–368.
- Kopar İ., Polat S., Hadimli H., Özdemir M., (2005), *4-6 Mart 2004 Pulur Çayı (Ilıca-Erzurum) sel-taşkın afeti*, Doğu Coğrafiya Dergisi, 10(13), 187–218.
- Kopar İ., Polat P., (2020), *Molla Tepe (Mollaköy-Erzincan) perlitik volkan konisi'nin jeolojik-jeomorfolojik özellikleri ve Molla Tepe perlitinin endüstriyel madde olarak değerlendirilmesi*, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 24(3), 1529–1554.
- Korkanç S.Y., Korkanç M., (2006), *Sel ve taşkınların insan hayatı üzerindeki etkileri*, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 8(9), 42–50.
- Kumar R., Kumar S., Lohani A.K., Nema R.K., Singh R.D., (2000), *Evaluation of geomorphological characteristics of a catchment using GIS*, GIS India, 9(3), 13–17.
- Magesh N.S., Jitheshlal K.V., Chandrasekar N., Jini K.V., (2013), *Geographical information system based morphometric analysis of Bharathapuzha River Basin, Kerala, India*, Applied Water Sciences, 3, 467–477.
- Manu M.S., Anirudhan S., (2008), *Drainage cahercteristics of Achankovil River Basin, Kerala*, Journal of Geological Society of India, 71(6), 841–850.
- Mayer L., (1990), *Introduction to quantitative geomorphology: an exercise manual*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 380ss.
- Melton M.A., (1957), *An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology*, Department of Geology, Columbia University, Technical Report, 11, Project NR 389-042. Office of Navy Research, New York, 118ss.
- MGM, (2020), *Erzincan meteoroloji istasyonu, uzun yıllar tüm parametreler bülteni*, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Miller V.C., (1953), *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the clinch mountain area, Virginia and Tennessee*, Department of Geology Columbia University, New York, ss.389–402.
- Mortan K., (1991), *Erzincan stratejik planı (1991-2006)*, Erzincan Valiliği, Erzincan, 84ss.
- Najar Gh. N., Pandey P., (2018), *Drainage morphometric analysis of watershed basin of river beas at harike pattan, punjab-using remote sensing and GIS approach*, International Journal of Advance Research in Science and Engineering, 7(4), 641–653.
- Nebert K., (1959), *Munzur Dağı bölgesinin jeolojisi*, MTA Dergisi, 52, 35–44.
- Okay A.I., Şahintürk O., (1997), *Geology of the Eastern Pontides*, Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region'in İçinde, (Robinson A.G., Ed.), AAPG Memoir 68, ss.291–311.
- Okay A.I., Tüysüz O., (1999), *Tethyan sutures of northern Turkey*, The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine Orogen'in İçinde, (Durand B., Jolivet L., Horváth F., Séranne M., Ed.), Geological Society, London, Special Publication 156, ss.475–515.
- Özdemir H., (2011), *Havza morfometrisi ve taşkınlar*, Fiziki Coğrafiya Araştırmaları; Sistemik ve Bölgesel, Türk Coğrafiya Kurumu Yayınları, No:5, ss.507–526.
- Özdemir H., Bayrakdar C., (2008), *16 Kasım 2007 Tuzla Deresi taşkınının nedenleri üzerine bir araştırma (Silivri-İstanbul)*, Türk Coğrafiya Dergisi, 49, 123–139.
- Özdemir H., Bird D., (2008), *Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods*, Environmental Geology 56, 1405–1415.
- Özşahin E., (2010), *Komşu akarsu havzalarının morfolojik analizi: Sarıköy ve Kocakıran dereleri üzerine temel bir çalışma (Gönen Havzası, Güney Marmara)*, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 20(1), 139–154.
- Patton P.C., (1988), *Drainage basin morphometry and floods*, Flood Geomorphology'nin İçinde, (Baker V.R., Kochel R.C., Patton P.C., Ed.), John Wiley & Sons Inc, USA, ss.51–65.
- Patton P.C., Baker V.R., (1976), *Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls*, Water Resources Research, 12(5), 941–952.
- Pike R.J., Wilson S.E., (1971), *Elevation-Relief ratio hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis*. Geological Society of America Bulletin, 82(4), 1079–1084.
- Rastogi R.A., Sharma T.C., (1976), *Quantitative analysis of drainage basin characteristics*, Journal Soil and Water Conservation in India, 26(1-4), 18–25.
- Reddy G.P.O., Maji A.K., Gajbhiye K.S., (2004), *Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in basaltic terrain, Central India—a remote sensing and GIS approach*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 6(1), 1–16.
- Ritter D. F., Kochel R. C., Miller J. R., (2002), *Process geomorphology*, Fourth Edition, McGraw-Hill, Boston, USA, 560ss.
- Sayhan H., (2014), *Yarıkkurak bölgelerdeki çamur akıntısı olayına Oltu Çayı havzasından bir örnek*, Türk Coğrafiya Dergisi, 33, 237–259.
- Schumm S.A., (1956), *Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey*, Geological Society of American Bulletin, 67(5), 597–646.
- Senadeera K.P.G.V., Piyasiri S., Nandalal K.D.W., (2004), *The evaluation of morphometric characteristics of kotmale reservoir catchment using GIS as a tool, Sri Lanka*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX, ss.1-6.

- Sherman L.K., (1932), *Streamflow from Rainfall by Unit-Graph Method*, Engineering News Record, 108, 501–505.
- Singh D.S., Awasthi A., (2011), *Implication of drainage basin parameters of Chhotti, Gandak River, Ganga plain, India*, Journal of the Geological Society of India, 78, 370–378.
- Stchepinsky V., (1941), *Erzincan muntikasunun jeolojisi ve maden zenginlikleri*, Maden Teknik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Seri C, No. 2, Ankara, 101ss.
- Strahler A.N., (1952), *Hypsometric (area-altitude curve) analysis of erosional topography*, Geological Society of America Bulletin, 63, 1117-1141.
- Strahler A.N., (1957), *Quantitative analysis of watershed geomorphology*, Transactions, American Geophysical Union, 38, 913-920.
- Strahler A.N., (1964), *Handbook of applied hydrology*, Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks'in İçinde, (Chow V., Ed.), McGraw-Hill, New York, NY, ss.439-476.
- Şaroğlu F., Güner Y., (1981), *Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler; jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri*, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 39-50.
- Şengör A.M.C., Yılmaz, Y., (1981), *Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach*, Tectonophysics, 75, 181-241.
- Tarhan N., (2007), *1:100.000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları*, No: 68, Erzincan I43 paftası izahnamesi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Tarhan N., (2008), *1:100.000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları*, No: 84, Erzincan I42 paftası izahnamesi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Thomas J., Joseph S., Thirivikramji K. P., Abe G., (2011), *Morphometric analysis of the drainage system and its hydrological implications in the rain shadow regions, Kerala, India*, Journal of Geographical Sciences, 21(6), 1077- 1088.
- Trenberth K., Dai A., Rasmussen R., Parsons D., (2003), *The changing character of precipitation*, Bulletin of the American Meteorological Society, 84(9), 1205-1217.
- Turoğlu H., (1997), *İyidere Havzası'nın hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım*, Türk Coğrafya Dergisi, 32, 355-364.
- Tüysüz O., (1993), *Erzincan çevresinin jeolojisi ve tektonik evrimi*, II. Ulusal Deprem Sempozyumu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Deprem Müh. Türkiye Milli Komitesi, İTÜ Yapı ve Deprem Uyg-Araştırma Merkezi, 10-13 Mart, Ankara, ss.271-280.
- URL-1, (2023), *NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) Nedir?*, <https://esular.com/nedir/ndvi-normallestirilmis-fark-bitki-ortusu-indeksi-nedir/>, [Erişim 25 Şubat 2023].
- Uysal A., Sunkar M., (2022), *Erzincan Ovası kuzeyindeki yerleşmelerin yer değiştirmesine neden olan afetler: sel, taşkın ve çamur akmaları*, Afet ve Risk Dergisi, 5(2), 693-714.
- Verstappen H.Th., (1983), *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*, Elsevier, Amsterdam, 442ss.
- Wetherald R.T., Manabe S., (2002), *Simulation of hydrologic changes associated with global warming*, Journal of Geophysical Research, 107(D19), 4379, doi:10.1029/2001JD001195.
- Winter M.G; Shackman L., Macgregor F., Nettleton I.M., (2005), *Background to Scottish landslides and debris flows*, Scottish Road Network Landslide Study: Implementation'in İçinde, (Winter M.G., Macgregor F., Shackman L., Ed.), Transport Scotland, Edinburgh, UK, ss.12-24.
- Yalçın F., Polat P., (2021), *Erzincan Ovası'nda yer alan birikinti koni ve yelpazelerinin genel özellikleri, sınıflandırılması ve antropojenik degradasyonu*. Gaziantep University Journal of Social Sciences, 20(3), 1043-1068.
- Zaitunah A., Samsuri Ahmad A. G., Safitri R. A., (2018), *Normalized difference vegetation index (NDVI) analysis for land cover types using landsat 8 oli in besitang watershed, Indonesia*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 126, 012112, doi:10.1088/1755-1315/126/1/012112.