



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



Frekans oranı yönteminin erozyon duyarlılık analizinde kullanımı: Selendi Çayı Havzası (Manisa) örneği

Yıldız Güney *

Uşak Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Uşak

Özet

Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımları ile yapılan erozyon duyarlılık analizleri hazır ya da bağımsız erozyon modelleri kullanılarak yapılmaktadır. Parametre sayısının ve analiz yönteminin kullanıcılar tarafından özgürce belirlenebildiği bağımsız erozyon modelleri ile yapılan erozyon duyarlılık analizleri özellikle son yıllarda oldukça artmıştır. Bağımsız erozyon modeli oluşturmada kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bağımsız erozyon modeli oluşturmada kullanılacak yöntemlerinden biri de frekans oranıdır. Frekans oranı tamamen istatistiksel bir yöntem olup genellikle heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılmaktadır. Heyelan olayı arazide veya uydu görüntülerinden hatta topografya haritalarından tespit edilerek bununla ilgili bir envanter oluşturulması nispeten daha kolay olduğu için frekans oranı yöntemiyle heyelan duyarlılık analizi yapmak mümkündür. Bu çalışmada arazide ölçmesi ve tespit edilmesi heyelana göre nispeten zor bir süreç olan erozyon olayını frekans oranı yöntemiyle analiz ederek tamamen istatistiksel analize dayalı objektif bir erozyon duyarlılık analizi yapmak hedeflenmiştir. Bunun için arazide erozyonun şiddetli olduğunu gösteren işaretler kullanılarak bir envanter hazırlanmıştır. Araştırma alanında erozyonu etkilediği düşünülen topografik, jeolojik, hidrografik, çevresel ve iklimle ilgili parametreler kullanılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Sonuçta erozyon yüzeyleri envanteri ile araştırma alanında erozyonu etkilediği düşünülen parametreler birlikte değerlendirilerek, frekans oranı yöntemiyle Selendi Çayı Havzası için bir erozyon duyarlılık analizi yapılmıştır. Frekans oranı gibi tamamen istatistiksel bir yöntemin erozyon duyarlılığında kullanılması araştırmacıların objektif bir değerlendirme yapmasına imkan sağladığı ve uzman görüşüne dayalı subjektif parametre ağırlıklandırma yöntemlerinin aksine kullanıcı kaynaklı hataları engelleyebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Frekans oranı, Erozyon duyarlılığı, Selendi Çayı Havzası.

The use of frequency ratio method in erosion susceptibility analysis: the case of Selendi River Basin (Manisa)

Abstract

Erosion susceptibility analysis done by Geographic Information Systems are made using prepared or independent erosion models. Recently, erosion susceptibility analyses made by independent erosion models in which parameter numbers and analysis methods can be freely selected by users, have raised. There are various methods used in creating independent erosion model. One of them is frequency ratio. Frequency ratio is totally statistical method and is usually used in landslide susceptibility studies. It is possible to make landslide susceptibility analysis because it is easier to create an inventory by defining landslide on area or via satellite imaging, even by topographic map. In this study, it is aimed to make an erosion susceptibility analysis which is totally statistical, by using frequency ratio. This measurement and defining process is much harder than landslide. Therefore, an inventory is prepared by using signs that show erosion is severe in the land. In research area, a database is created by using topographic, geologic, hydrographical, environmental and climatic parameters which are thought to be effecting erosion. Finally, an erosion susceptibility analysis for Selendi River Basin through the frequency ratio method. In this method, the parameters that is thought to be effecting the erosion in the area and the erosion surfaces inventory are assessed together. Using of a completely statistical method such as frequency ratio enables users to make an assessment which is objective. Also, using these methods may inhibit errors originating from users, on the contrary of subjective parameter weighting which is based on specialist opinion.

Keywords: Frequency ratio, Erosion susceptibility, Selendi River Basin.

© 2018 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Literatürde Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak yapılan erozyon duyarlılık analizi ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu konuda kullanılan modelleri hazır ve bağımsız erozyon modelleri olarak iki ana grupta

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 276 2212164

E-posta : yildiz.guney@usak.edu.tr

Geliş Tarihi : 26 Temmuz 2018

Kabul Tarihi : 17 Eylül 2018

e-ISSN : 2146-8141

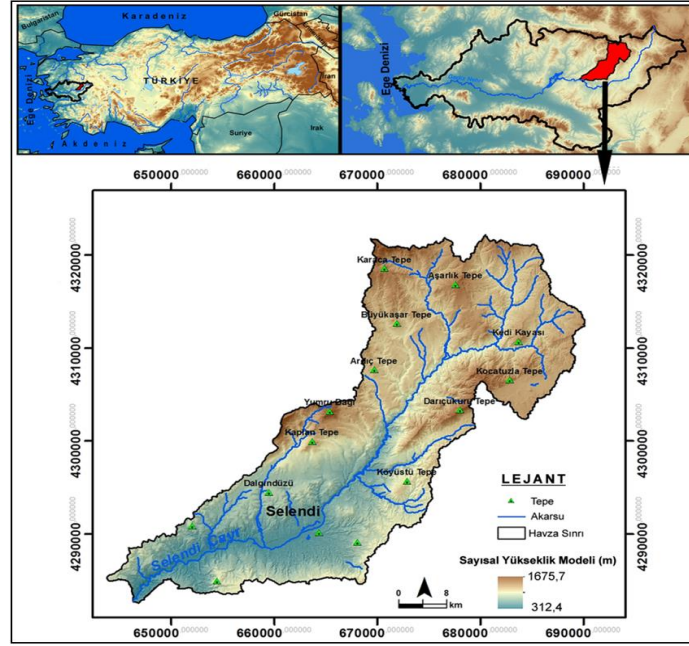
değerlendirmek mümkündür. RUSLE, USLE, CORINE, CREAMS, ANSWERS, WEPP, EUROSEM, PESERA gibi literatürde adına sıklıkla rastlanılan hazır erozyon modellerinde uygulayıcıların analizde kullanacakları parametreler önceden belirlenmiştir. Bunları kullanarak yapılan çalışmalarda yöntem farklı ölçeklerdeki ve özelliklerdeki alanlara aynı standartlarda uygulanır. Hazır erozyon modellerinde parametrelerin analizi sonucunda elde edilen sonuç değerleri sınıflandırmada kullanılan standart skalalar da vardır. Analiz sonucu elde edilen değerler bu standart skalalar doğrultusunda sınıflandırılarak haritalanır (Özden ve Özden, 1997; Bayramin, 2003; Bayramin ve ark., 2003; Bayramin ve ark., 2006; Cürebal ve Ekinci, 2006; Tağıl, 2007; Çilek ve Berberoğlu, 2013; Dindaroğlu ve Canpolat, 2013; Çilek ve ark., 2014; Kanar ve Dengiz, 2015; Pektezel, 2015; Başayığıt ve ark., 2016; Erdem, 2017).

Son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin erozyon duyarlılığını haritalamak için kullanıldığı bağımsız modeller de literatürde ön plana çıkmaktadır. Bağımsız erozyon modellerinde ise hazır erozyon modellerinin aksine parametre sayıları, parametrelerin alt sınıfları, parametrelerin ağırlıkları kullanıcılar tarafından özgürce belirlenir. Bağımsız erozyon modellerinde analiz sonucunda elde edilen değerleri sınıflandırmada kullanılan hazır bir skala da yoktur (Akgün, 2007; Akgün ve Türk, 2010; Zhang ve ark., 2012; De Lollo ve Sena, 2013; Sunkar ve Avcı, 2015; Yüksel ve Avcı, 2015). Örneğin lojistik regresyon yöntemiyle oluşturulan modeller erozyon duyarlılığını haritalamada sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir (Campling ve ark., 2002; Kravchenko ve ark., 2002; Mueller ve ark., 2005; Begueria, 2006; Lesschen ve ark., 2008). Araştırmacıların lojistik regresyon yöntemini tercih etme sebebi bu yöntemin kendilerine parametreleri sınıflandırma ve seçme özgürlüğü sağladığı için eski haritalarda olabilecek sınıflandırma ve içerik hatalarına karşı duyarsız olmasıdır. Bu yöntem sayesinde araştırmacılar litolojik ve topografik verilerden parametre oluşturarak erozyon indisleri geliştirebilirler (Muller ve ark., 2005). Yine bağımsız erozyon modelleri oluşturmada literatürde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri de çok ölçütlü karar analizidir. Bu yöntemde de analizlerde kullanılacak parametreler ve ağırlıkları uzmanlar tarafından belirlenir (Bathrellos ve Skilodimo, 2007; Conoscenti, 2008; Agnesi ve ark., 2011; Raissouni ve ark., 2012; Ronghua ve ark., 2013; Moayeri ve ark., 2013).

Bu çalışmada bağımsız erozyon modelleri oluşturmak için kullanılabilir bir yöntem olan frekans oranı ile bir erozyon duyarlılık analizi uygulaması yapılmıştır. Frekans oranı yöntemi tamamen istatistiksel bir yöntem olup genellikle heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılmaktadır (Jadda ve ark., 2009; Yılmaz, 2009; Avcı, 2016). Yöntemin kullanılacağı doğal olayla ilgili öncelikle bir envanter verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Heyelan olayı arazide veya uydu görüntülerinden, hatta topografya haritalarından tespit edilerek bununla ilgili bir envanter oluşturulması nispeten daha kolay olduğu için frekans oranı yöntemiyle heyelan duyarlılık analizi yapmak mümkündür. Bu çalışmada arazide ölçmesi ve tespit edilmesi heyelana göre nispeten zor bir süreç olan erozyon olayını frekans oranı yöntemiyle analiz edilerek tamamen istatistiksel analize dayalı objektif bir erozyon duyarlılık analizi yapmak hedeflenmiştir.

Araştırma alanı olarak Gediz Nehri'nin kollarından birisi olan Selendi Çayı'nın su toplama havzası seçilmiştir. Yaklaşık 716.12 km² alana sahip Selendi Çayı Havzası, kabaca 38°39' 41"-39°00' 47" kuzey enlemleri ile 28°39' 14"-29°11' 41" doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1).

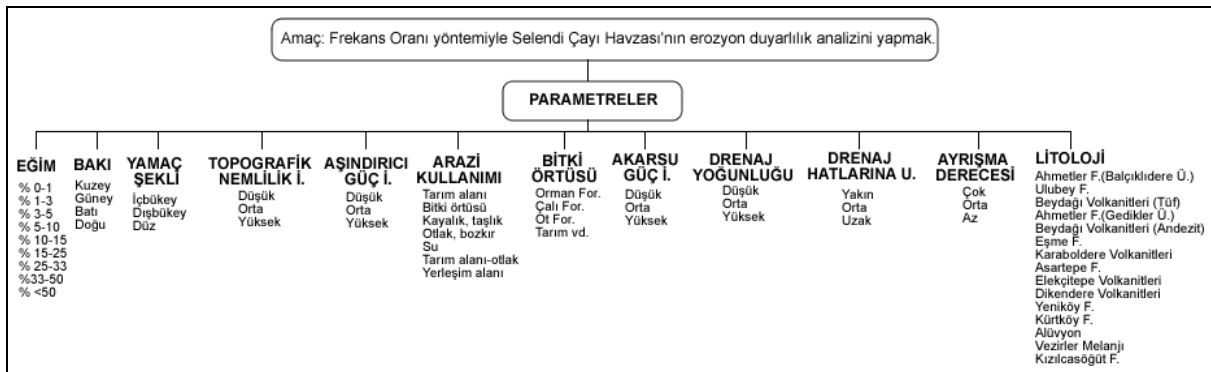
Doğal olaylarla ilgili duyarlılık çalışmalarında, doğal olayları tahmin etmek için çoğunlukla kabul edilen varsayım şudur; "Güncel veya gelecekteki doğal olaylar, geçmişte meydana gelen doğal olaylarla ilişkili aynı faktörler nedeniyle oluşacaktır." (Chung ve Fabbri, 1996; Lee ve ark., 2004; Akgün, 2007; Jadda ve ark., 2009; Yılmaz, 2009; Akgün ve Türk, 2010). Bu varsayımdan yola çıkarak, geçmiş doğal olay konumları ile doğal olayı etkileyen her bir etken arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak ortaya koymak için frekans oranı yöntemi kullanılmaktadır (Lee ve Min, 2001). Tamamen istatistiksel bir yöntem olan frekans oranı parametrelerin ağırlıklandırılması sırasında kullanıcıların tercihlerinden kaynaklanabilecek subjektifliği engellemektedir (Avcı, 2016). Erozyon olayı ile erozyonu etkileyen coğrafi parametreler arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak ortaya koyup, objektif bir değerlendirme yapabilmek için bu makale kapsamında frekans oranı yönteminin erozyon duyarlılık analizinde kullanımıyla ilgili bir uygulama yapılmıştır.



Şekil 1. Araştırma alanının lokasyon haritası.

Materyal ve Yöntem

Araştırma alanının litoloji parametresi için sahada önceden yapılmış çalışmalardan yararlanılmış olup, farklı amaçlarla hazırlanmış raporlar ve bunların eklerindeki haritalar incelenmiştir (Ercan ve ark., 1983; Ozaner, 1984; Crawford, 1985; Ozaner, 1988). 1/25000 ölçeğinde haritalanan litolojik birimler ArcGIS 10.2 yazılımı ile sayısallaştırılmış ve 15 birim ayırt edilerek stratigrafik istifi takip edecek şekilde düzenlenmiştir. Sayısallaştırılmış litoloji haritası üzerindeki birimler, önceki çalışmalarda kullanılan formasyon adları kullanılarak isimlendirilmiş ve sayısal formatta litoloji haritasına ait bir veritabanı elde edilmiştir. Kuaterner bazaltları, Elekçitepe volkanitleri; Pliokuaterner tarihli konglomera, kumtaşı ardanması Asartepe formasyonu; Üst Miosen konglomera, tüfit, kiltası, marn, kalker ardanması Ahmetler formasyonu (Balçıklidere üyesi); Üst Miosen kiltası, siltaşı, tüfit ardanması Ahmetler formasyonu (Gedikler üyesi); Üst Miosen andezitik lavları ve tüfleri Beydağı volkanitleri; Üst Miosen riolit, trakiandezit, andezit, tuf, aglomera Karaboldere volkanitleri; Üst Miosen gösel kalkerleri Ulubey formasyonu; Orta Miosen riolit, riyodasit, tuf Dikendere volkanitleri; Orta Miosen konglomera, kumtaşı, kiltası, siltaşı, kalker ardanması Yeniköy formasyonu; Alt Miosen tarihli konglomera, kumtaşı Kürtköy formasyonu; Kretase melanji Vezirler melanji; Jura tarihli dolomitler Kızılcaşöğüt formasyonu; Paleozoik gnays ve şistleri ise Eşme formasyonu olarak isimlendirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametreler

Araştırma alanında litoloji parametresinin yanısıra, kayaların ayrışma derecesi de ikinci jeolojik parametre olarak kullanılmıştır. Bunun için araştırma alanında yüzeylenen alüvyonlar hariç geriye kalan 14 litolojik birimden 200 m aralıklarla 6 yükselti basamağından (312-512, 512-712, 712-912, 912-1112, 1112-1312, 1312-1675 metre) 4 ana yönden (kuzey, güney, doğu, batı) örnek alanlar belirlenerek, Schmidt çekici ile

ölçüm yapılmış ve kayaçların erozyon duyarlılığını ilgilendiren fiziksel özelliklerinin analizi için kayaç numunesi alınmıştır. Araştırma alanında yüzeylenen kayaçlardan alınan numuneler kullanılarak Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Kaya Mekaniği Laboratuvarları'nda nokta yük direnci ve suda dağılmaya karşı hassasiyet indeksi testleri yapılmıştır. Araştırma alanının farklı noktalarından yapılan Schmidt çekici ölçümleri ve alınan numunelerin laboratuvar analizi sonuçları toplanmış ve IDW enterpolasyon ile haritalanmıştır. Daha sonra bu harita Natural Breaks (Jenks) sınıflama yöntemi ile yeniden sınıflandırılarak, az, orta ve çok ayrılmış olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır (Şekil 2).

Bu çalışmada eğim haritası 10 metre çözünürlüklü SYM'den (Sayısal Yükseklik Modeli) 9 sınıfa ayrılarak elde edilmiştir. Eğim değerleri yüzde cinsinden olup, eğim sınıflaması USDA'nın (United States Department of Agriculture) Toprak Etüt Kitapçığındaki eğim sınıflaması ve tanımları göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Şekil 2). Araştırma alanının bakı haritası 10 m çözünürlüklü SYM'den batı, doğu, kuzey ve güney olmak üzere 4 sınıflı olarak hazırlanmıştır (Şekil 2).

Yamaç eğriselliği parametresi için 10 m çözünürlüklü SYM'den üretilen profil yamaç eğriselliği haritasında 0'dan büyük değerler dışbükey, 0 düz, 0'dan küçük değerler ise içbükey olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 2).

Araştırmada kullanılan topografik nemlilik indeksi 10 metre çözünürlüklü SYM'den oluşturulup Natural Breaks (Jenks) sınıflama yöntemi ile düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır.

Araştırma alanının bitki örtüsü haritası için 1/100000 ölçekli orman amenajman haritası kullanılarak formasyon sınırları çıkarılmıştır. Araştırma alanının orman amenajman haritasından ve arazi gözlemlerinden yararlanarak orman formasyonu, ot formasyonu, çalı formasyonu ve diğer (tarım alanları, kayalık ve boş alanlar) olmak üzere dört sınıftan oluşan bir bitki örtüsü parametresi oluşturulmuştur (Şekil 2).

Araştırma alanının arazi kullanımı/örtüsü haritası için 2014 yılına ait Landsat 8 uydu görüntüsü, Google Earth Pro yazılımı, 1/100000 ölçekli orman amenajman verisi ve arazi gözlemlerinden faydalanılmıştır. Arazi kullanımı/örtüsü sınıfları 7 grupta toplanmıştır. Bu arazi kullanımı/örtüsü sınıflarından havzadaki göl ve göletleri temsil eden su sınıfı hariç diğer 6 sınıf erozyon sürecine direkt etkileyebilecek arazi kullanım sınıflarıdır (Şekil 2).

10 metre çözünürlüklü SYM verisinden üretilen drenaj hatları, araştırma alanında km²'ye düşen drenaj hattı yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılmıştır. Vektör formatındaki drenaj hatları verisi ArcGIS yazılımında Spatial Analyst modülü altındaki araçlardan biri olan Line Density aracı ile analiz edilerek drenaj yoğunluk haritası elde edilmiştir. Daha sonra raster formatındaki bu harita düşük, orta ve yüksek olmak üzere yeniden sınıflandırılarak üç sınıflı bir drenaj yoğunluğu parametresi oluşturulmuştur (Şekil 2).

Drenaj hatlarına uzaklık parametresi için SYM'den üretilen akarsu ağı kullanılarak ArcGIS yazılımındaki Spatial Analyst araçlarından "Eucliden Distance" komutuyla analiz yapılmıştır. Bu uygulama, SYM'den üretilen drenaj hatlarına, ilgili her bir pikselin sahip olduğu mesafenin miktarını ifade eder (Akgün, 2007). Piksellerin drenaj hatlarına uzaklığı 0 m ile 457 m arasında değişmekle birlikte elde edilen raster harita Natural Breaks (Jenks) sınıflama yöntemi ile yakın, orta ve uzak olmak üzere 3 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 2).

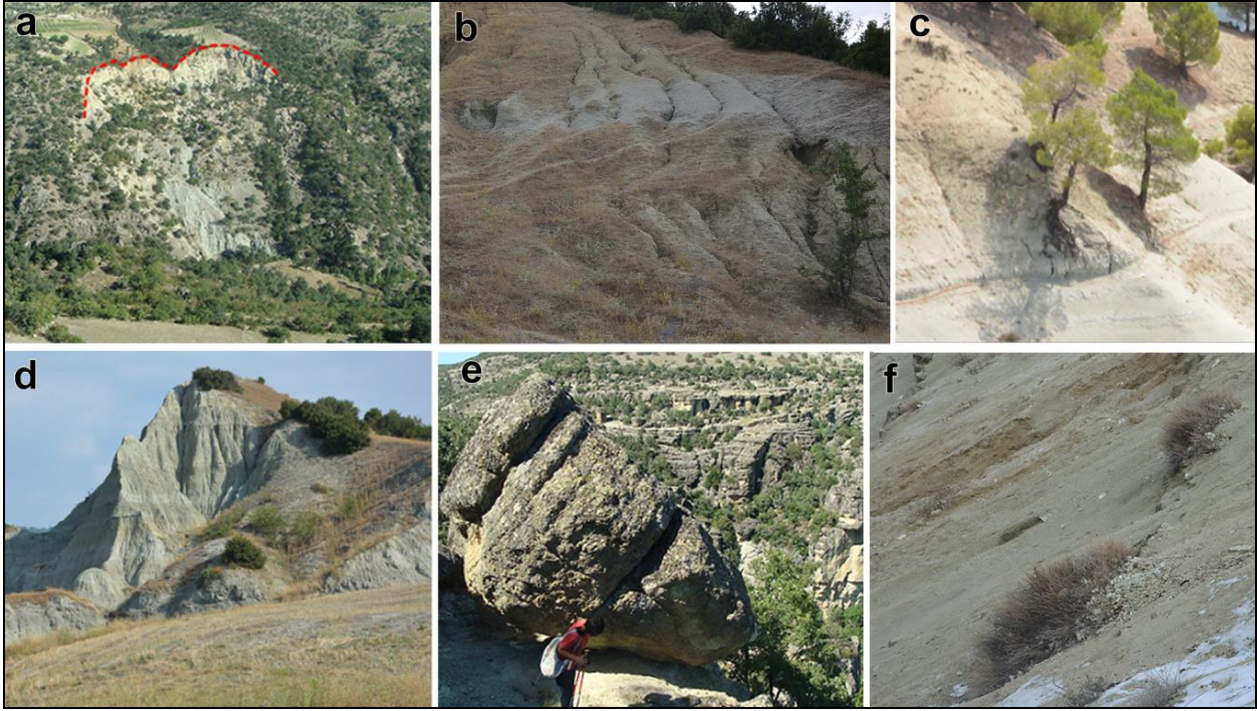
Akarsu aşındırma gücü indeksi (Stream Power Index), su deşarjının spesifik akaçlama alanı (As) ile orantılı olduğu varsayımına dayanarak akış halindeki suyun eroziv etkisinin bir ölçüsüdür. $SPI = (AS \cdot \tan \beta)$ eşitliği ile hesaplanır. "AS" değeri spesifik havza alanını (m²/m), " β " derece olarak eğim değerini temsil etmektedir (Moore ve ark., 1991). Bu indis araştırma alanının 10 metre çözünürlüklü SYM verisinin SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis) GIS yazılımında analizi sonucu elde edilmiştir. Natural Breaks (Jenks) sınıflama yöntemi ile düşük, orta, yüksek olmak üzere üç sınıflı olarak sınıflandırılmıştır.

İklimin erozyona etkisini ortaya koymak için iklim ve erozyon arasındaki etkileşimi en iyi kuran hazır erozyon modellerinden biri olan CORINE metodolojisinden yararlanılmıştır. Erozyona iklimin aşındırıcı güç etkisini belirlemek amacıyla öncelikle araştırmada kullanılan istasyonların aylık ortalama yağış ve sıcaklık dağılım haritaları yapılmıştır. Bu veriler kullanılarak yağışın erozivitesi için Modified Fournier Index (MFI), kuraklık için ise Bagnouls-Gausson Aridity Index (BGI) hesaplanarak haritalanmıştır. MFI ve BGI iklimik göstergeleri CORINE metodolojisinde kullanıldığı gibi sınıflandırılıp birleştirilerek düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 sınıflı bir erozivite indeksi oluşturulmuştur.

Yukarıda saydığımız bu veri yapıları tek bir veri tabanında toplanarak sahaya ait bir veri tabanı oluşturulmuştur. Böylece bu veri tabanı içinde yapılacak değerlendirmeler üçüncü aşama ve dördüncü aşama olan istatistiksel analizler için altlık teşkil edecek niteliğe dönüştürülmüştür.

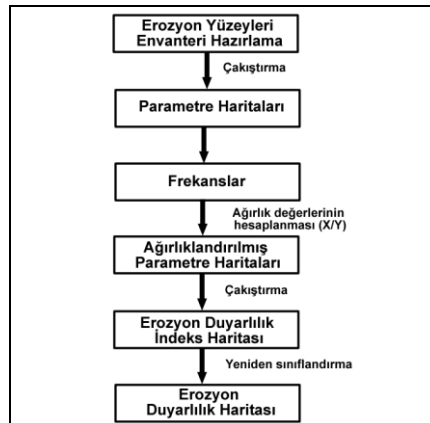
Literatürde erozyonun şiddetli olduğunu gösteren erozyon yüzeylerini kullanarak arazi tabanlı erozyon değerlendirmesi yapan pek çok araştırma bulunmaktadır (Clark, 1980; Hudson, 1995; Herweg, 1996; De Bie, 2005; Vigiak ve ark., 2005; Nasri ve ark., 2008; Stocking ve Murnaghan, 2001). Araştırma alanında gelişen erozyon yüzeylerinin erozyon duyarlılık analizinde envanter verisi olarak kullanılması hedeflenmiştir. Bu

amaçla araştırma alanındaki erozyon yüzeyleri ayrıntılı arazi gözlemleri ve uydu görüntüsü yardımıyla haritalanmıştır. Envanter haritalaması yapılırken Clark (1980) tarafından önerilen erozyon yüzeyleri sınıflaması kullanılmıştır. Clark (1980), arazide erozyonu değerlendirmek için farklı erozyon yüzeyleri tanımlamıştır. Buna göre arazide erozyonun kanıtı olarak gösterilen özellikler şunlardır: toprak hareketi, yüzey döküntüsünün yer değiştirmesi, köklerin açığa çıkmasının ölçüsü, anakayanın açığa çıkmasının ölçüsü, yüzeyel akış şekillerinin oluşumu, rill erozyonu oluşumu, gully erozyonu oluşumu, heyelanlar ya da kütle hareketleri oluşumudur. Bu doğrultuda araştırma alanında 434 tane lokasyonda erozyon yüzeyleri tespit edilmiştir (Şekil 3). Bu erozyon yüzeylerinin koordinat bilgileri Garmin Etrex 10 el tipi GPS ile kaydedilmiştir. Daha sonra erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin hangi sınıflarına tekabül ettikleri belirlenerek analizler için frekans oranı tablosuna tespitler işlenmiştir.



Şekil 3. Araştırma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeyi örnekleri **a)** Heyelan **b)** Rill **c)** Erozyonla açığa çıkmış ağaç kökleri **d)** Gully **e)** Kaya düşmesi **f)** Yamaç döküntüsünün yer değiştirmesi

Literatürde doğal afetlerle ilgili duyarlılık değerlendirmesinde oldukça sık tercih edilen bir yöntem olan frekans oranı, geçmişte meydana gelmiş bir doğal olaya etki eden faktörlerden yola çıkarak bir olayın gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranı olarak tanımlanır (Bonham Carter, 1994; Dai ve Lee, 2002). Bu araştırma kapsamında ele alınan doğal olay erozyon olduğu için arazide şiddetli erozyonun kanıtı olarak kabul edilen, erozyon yüzeyleri ile erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametreler ilişkilendirilmiştir. Frekans oranı sayesinde araştırma alanında hem erozyonun şiddetli olduğu alanlar hem de kullanılan parametrelerin araştırma alanında kapladığı alanların büyüklüğü hesaba katılmıştır. Frekans oranı yönteminde izlenen işlem adımlarına ilişkin bir iş akış şeması Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Frekans oranı yönteminde izlenen iş akış şeması.

Frekans oranı hesabı için "FO=X/Y" formülü uygulanmıştır. Burada X, erozyonu etkileyen bir parametrenin her bir alt sınıfı içindeki erozyon yüzeyi varlığının yüzdesi, Y ise erozyonu etkileyen bir parametrenin her bir alt sınıfının o parametre içerisindeki yüzdesidir. Frekans oranı hesap tablosunda X, (A/B)*100 ve Y ise (C/D)*100 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1). Bu bağıntıdaki B, araştırma alanındaki envanter verisi olarak kayıt altına alınan toplam erozyon yüzeyli piksel sayısını, D ise araştırma alanındaki toplam piksel sayısını ifade etmektedir (Erener ve Lacasse, 2007). Hesaplanan frekans oranı değeri 1'den ne kadar büyük olursa, erozyon ve erozyona neden olan parametre arasındaki ilişki o kadar yüksek; tersine 1'den ne kadar düşük olursa bu ilişki o kadar düşük olacaktır. Diğer bir deyişle frekans oranı değeri 1'den büyük olanlar yüksek korelasyonu, 1'den düşük olanlar düşük korelasyonu ifade etmektedir (Akgün, 2007).

Çizelge 1. Erozyon duyarlılık analizinde kullanılacak parametrelerin frekans oranı değerleri.

B=434		D=7161305		Erozyon Yüzeysel Piksel Sayısı		Alandaki Piksel Sayısı		Frekans Oranı (X/Y)
Parametreler	Parametrelerin Alt Sınıfları	A	X (%)	C	Y (%)			
Litoloji	Eşme Formasyonu: Gnays, şist	25	5.76	880981	12.41	0.47		
	Kızılcaşöğüt Formasyonu: Dolomit	0	0.00	1805	0.03	0.00		
	Vezişler Melanjı: Melanj	0	0.00	109880	1.55	0.00		
	Kürtköy Formasyonu: Konglomera, kumtaşı	0	0.00	27603	0.39	0.00		
	Yeniköy For.: Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kalker	0	0.00	1395733	19.66	0.00		
	Dikendere Volkanitleri: Riyolit, riyodasit, tuf	3	0.69	65958	0.93	0.75		
	Ulubey Formasyonu: Gösel kalker	87	20.00	803930	11.33	1.77		
	Karaboldere V.:Riyolit, trakiandezit, andezit, tuf, aglomera	16	3.69	414815	5.84	0.63		
	Beydağı Volkanitleri: Andezitik Tuf	44	10.14	857851	12.09	0.84		
	Beydağı Volkanitleri: Andezit	33	7.60	536772	7.56	1.00		
	Ahmetler F. (Gedikler Üyesi): Kiltası, silttaşı, tufit	41	9.45	304971	4.30	2.21		
	Ahmetler F.(Balçıklıdere Ü.):Konglomera, tufit, kiltası, marn, kalker	168	38.71	1240592	17.48	2.21		
	Asartepe Formasyonu: Konglomera, kumtaşı	12	2.76	96922	1.37	2.05		
	Elektepe Volkanitleri: Bazalt	5	1.15	84514	1.19	1.00		
Alüvyon	0	0.00	275309	3.88	0.00			
Ayrışma Derecesi	Çok ayrılmış	77	17.74	1379872	19.27	0.92		
	Orta derecede ayrılmış	268	61.75	3913819	54.65	1.13		
	Az ayrılmış	89	20.51	1867611	26.08	0.79		
Eğim (%)	0-1	0	0.00	34372	0.48	0.00		
	1-3	2	0.46	226998	3.17	0.16		
	3-5	4	0.92	334553	4.67	0.19		
	5-10	10	2.30	984424	13.75	0.17		
	10-15	24	5.53	997960	13.94	0.39		
	15-25	52	11.98	1695456	23.68	0.51		
	25-33	65	14.98	1063003	14.84	1.01		
	33-50	149	34.33	1365182	19.06	1.80		
<50	128	29.49	459357	6.41	4.60			
Bakı	Kuzey, Kuzeydoğu, Kuzeybatı	50	11.52	1470923	20.54	0.56		
	Güney, Güneydoğu, Güneybatı	148	34.10	1938184	27.06	1.26		
	Doğu	85	19.59	1855978	25.92	0.76		
	Batı	151	34.79	1896220	26.48	1.31		
Yamaç Şekli	İçbükey	33	7.60	3525924	49.24	0.15		
	Dışbükey	266	61.29	2578843	36.01	1.70		
	Düz	135	31.10	1056536	14.75	2.11		
Topografik Nemlilik İndeksi	Düşük	4	85.02	3906599	54.55	1.56		
	Orta	61	14.06	2784207	38.88	0.36		
	Yüksek	369	0.92	470498	6.57	0.14		
Bitki Örtüsü	Diğer (Tarım alanı, kayalık, boş)	326	75.12	2768837	50.8	1.48		
	Çalı Formasyonu	24	5.53	1908480	20.2	0.27		
	Ot Formasyonu	62	14.29	664143	9.3	1.54		
	Orman Formasyonu	22	5.07	1818835	19.7	0.26		
Arazi Örtüsü	Tarım alanı	329	75.81	2875903	40.16	1.89		
	Otlak, çayır, bozkır	62	14.29	664143	9.28	1.54		
	Bitki örtüsü	36	8.29	3085518	43.09	0.19		
	Tarım alanı-Otlak	1	0.23	386573	5.40	0.04		
	Yerleşim alanı	1	0.23	101150	1.41	0.14		
	Kayalık, taşlık	5	1.15	14164	0.20	6.07		
Su	0	0.00	32844	0.46	0.00			
Drenaj Yoğunluğu	Düşük	235	54.15	1540604	21.51	2.51		
	Orta	93	21.43	3389804	47.34	0.45		
	Yüksek	106	24.42	2230896	31.15	0.78		
Akarsu Güç İndeksi	Düşük	64	14.75	4474588	62.48	0.22		
	Orta	354	81.57	2346426	32.77	2.49		
	Yüksek	16	3.69	340291	4.75	0.78		
Aşındırıcı Güç (Erozivite) İndeksi	Düşük	25	5.76	2373074	33.14	0.18		
	Orta	48	11.06	968922	13.53	0.82		
	Yüksek	361	83.18	3819309	53.33	1.56		
Drenaj Hatlarına Uzaklık	Yakın	174	40.09	3352867	46.82	0.86		
	Orta	204	47.00	2621337	36.60	1.28		
	Uzak	56	12.90	1187101	16.58	0.78		

Bulgular ve Tartışma

Litoloji

Jeolojik parametreler içerisinde yer alan litoloji, erozyon duyarlılığı çalışmalarında duyarlılığı etkileyen önemli bir parametre olarak bir çok çalışmada kullanılmıştır (Conoscenti, 2008; Kheir ve ark., 2007; Agnesi ve ark., 2011; Akgün ve Türk, 2011; Conforti ve ark., 2011; Ogbonna ve ark., 2011; Moayeri ve ark., 2013; Raissouni ve ark., 2012). Araştırma alanının % 20'sini kaplayan konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kalker ardalılarından oluşan Yeniköy formasyonu havzada en geniş yayılım alanına sahip birimdir. Ahmetler formasyonu (Balçıklıdere üyesi) % 17, Eşme formasyonu % 12, Beydağı volkanitleri (tüf) % 12, Ulubey formasyonu % 11, Beydağı volkanitleri (andezit) % 8, Karaboldere volkanitleri % 6, Ahmetler formasyonu (Gedikler üyesi) % 4, alüvyon % 4, Vezirler melanjı % 2, Elekçitepe volkanitleri % 1, Dikendere volkanitleri % 1, Kürtköy ve Kızılcaşöğüt formasyonları ise % 1'in altında alan kaplamaktadır. Erozyon yüzeylerinin litolojik birimlere dağılımında ise birimler arasında büyük dengesizlik söz konusudur.

Araştırma alanında erozyonel süreçlerin yoğun yaşandığı alanlar özellikle sedimanter birimlerin bulunduğu alanlardır. Ahmetler formasyonu araştırma alanının % 21'ini kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin yaklaşık yarısı (%48'i) bu birime özellikle de Balçıklıdere üyesine tekabül etmektedir. Ahmetler formasyonunun araştırma alanındaki badlands oluşumları, heyelanlar ve yamaç süreçleri konusundaki duyarlılığı Ozaner (1988) tarafından da vurgulanmıştır. Ozaner (1988)'in arazi gözlemlerine dayandırdığı bu değerlendirme bu çalışma ile istatistiksel olarak ortaya konulmuştur. Yeniköy formasyonu araştırma alanında en geniş alanı kaplayan birim olmasına rağmen hiç erozyon yüzeyi tekabül etmemiştir (Çizelge 1). Bunun sebebi olarak bu birimin daha çok havzanın bitki örtüsünün yoğun olduğu, kuzeydeki ormanlık kesimlerinde yayılım göstermesi olduğu düşünülmektedir.

Ayrışma Derecesi

Erozyon yüzeylerinin en çok tekabül ettiği sınıf %61.7 ile orta derecede ayrılmış sınıftır. Bu sınıfın araştırma alanının % 54.7'sini kapladığı da göz önünde bulundurulursa erozyon yüzeylerinin daha çok bu sınıfa tekabül etmesi normal olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte erozyon yüzeylerinin %20.5'i araştırma alanının % 26.1'ini kaplayan az ayrılmış sınıfa tekabül etmiştir. Son olarak araştırma alanının % 19.3'ünü kaplayan çok ayrılmış sınıfa ise erozyon yüzeylerinin sadece %17.7'si tekabül etmiştir (Çizelge 1).

Eğim

Eğim miktarı, yüzeysel akışı, drenaj yoğunluğunu, erozyonu vs. etkilediği için arazi evrimini yöneten süreçlerin dinamiğinde en önemli faktördür (Dramis ve Gentili, 1977). Bu nedenle eğimin fazla olması yüksek yüzeysel akış hızını destekler ve bunun sonucunda rill ve gully oluşumunun başlamasına sebep olur. Dolayısıyla erozyonel süreçlerin duyarlılık haritalamasında eğim değeri çok önemli bir yere sahiptir (Valentin ve ark., 2005). Selendi Çayı Havzası'nda erozyon yüzeylerinin yarısından fazlası eğimin % 33'ten fazla olduğu çok sarp yamaçlar ile aşırı derecede dik yamaçlara tekabül etmektedir. En düşük eğim sınıfını temsil eden % 0-1 eğim değerine sahip düze yakın yamaçlara hiç erozyon yüzeyi tekabül etmezken eğim değeri arttıkça erozyon yüzeylerinin sayısı artmaktadır. Literatürde pek çok çalışmada eğim ve erozyon duyarlılığı arasında kurulan doğru orantı göz önünde bulundurulduğunda araştırma alanı için çıkan bu tablo şaşırtıcı değildir. Erozyon yüzeyli piksel oranı ile toplam piksel oranlarına bakıldığında eğim değeri % 33'ten fazla olan çok sarp yamaçlar ile aşırı derecede dik yamaçlar araştırma alanının % 25.5'ini kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin % 63.8'i bu eğim sınıflarına tekabül etmektedir. Özellikle eğimin % 50'den fazla olduğu aşırı derecede dik yamaçlar araştırma alanının sadece % 6.4'ünü kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin % 29.5'inin bu sınıfta toplanması araştırma alanında bu nitelikteki yamaçların yoğun bir aşınımına maruz kaldığını göstermektedir (Çizelge 1).

Bakı

Bakı da erozyonel süreçlerin duyarlılık çalışmalarında önemli bir faktör olarak değerlendirilir (Carrara ve ark., 1991; Maharaj, 1993; Guzzetti ve ark., 1999; Nagarajan ve ark., 2000). Bakı kuzeyden saat yönünde 0'dan 360 dereceye kadar değişen değerlerle ifade edilir. -1 değeri taşkın ovaları, alüvyal teraslar gibi düz yüzeyleri tanımlamak için kullanılır. Bir yamacın bakışı bir çok iklimik koşulu (Güneş ışığını alma süresi, yağış yoğunluğu, nem tutma vs.) ve bitki örtüsünü kontrol ettiği için erozyonel süreçleri dolaylı olarak etkilemektedir (Dai ve ark. 2001; Çevik ve Topal, 2003; Pulice ve ark., 2009). Selendi Çayı Havzası'nda bu bakı sınıflarının kapladıkları alanların oranı arasında çok büyük fark yoktur. Araştırma alanının % 27'sini kaplayan güney yamaçlar biraz hakimken, araştırma alanının % 20'sini kaplayan kuzey yamaçlar ise göreceli

olarak daha az alan kaplamaktadır. Araştırma alanında tespit edilen erozyon yüzeylerinin %34.79'u batı sektörlü yamaçlara rastlarken onu %34.10 ile güney sektörlü yamaçlar takip etmektedir (Çizelge 1). Kuzey Yarımkürede bulunan araştırma alanında güney ve batı yamaçlarının ayrışma süreçleri ve erozyonal süreçler açısından daha uygun koşullarda olduğu düşünülürse erozyon yüzeylerinin daha çok güney ve batı yamaçlara rastlaması normaldir. Çünkü Kuzey Yarımkürede bulunan araştırma alanının güney yamaçları gerek güneşlenme süresi, gerek zeminin nem tutma kapasitesi gerekse vejetasyon örtüsü açısından ayrışma ve erozyona daha elverişli koşullardadır. Ayrıca araştırma alanının Batı Anadolu'da bulunması ve bu alana yağış getiren hava kütlelerinin batıdan gelmesi sebebiyle batı sektörlü yamaçlar yine erozyonal süreçler açısından daha elverişli şartlara sahiptir.

Yamaç Şekli (Yamaç Eğriselliği)

Yamaç eğriselliği, genel olarak belli bir doğrultuda eğim derecesinin değişim oranı olarak tanımlanır ve plan yamaç eğriselliği, profil yamaç eğriselliği, diferansiyel yamaç eğriselliği gibi türleri vardır (Huggett ve Cheesman, 2002). Yamaç eğriselliği türlerinden yamaç boyunca gelişen erozyonu en iyi ifade eden ve dolayısıyla çalışmanın amacına en uygun olan, profil yamaç eğriselliği erozyon duyarlılık değerlendirmesinde parametre olarak kullanılmıştır. Profil yamaç eğriselliği, dikey düzlemde eğim yönüne paralel yamaç boyunca olan eğim değişimini yansıtır ve bu durum suyun yüzeydeki akış hızını kontrol etmek yoluyla yamaç boyunca sediment taşınımını ve erozyonu etkiler. Dışbükey yamaç profillerinde akış hızının arttığı, içbükey profillerde ise akış hızının azaldığı ortaya konulmuştur (Wilson ve Gallant, 2000; Jordan, 2007). Profil yamaç eğriselliği suyun yüzeyde akışının hızlanmasını ve yavaşlamasını etkilediği için erozyon ve sedimantasyonda önemlidir (Web 1). Su akışının daha hızlı olduğu dış bükey yamaçlar iç bükey yamaçlara oranla erozyona daha duyarlıdır. Yamaç aşağı içbükey şekle sahip alanlar ise yüzeysel akışın daha yavaş olduğu ve dolayısıyla erozyon duyarlılığının daha düşük olduğu alanlar olarak değerlendirilebilir. Nitekim arazi gözlemlerimiz ve erozyon yüzeylerinin yamaç eğriselliği sınıflarına dağılımı da bunu doğrular niteliktedir. Erozyon yüzeylerine ait frekans Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'den anlaşılacağı üzere yamaç şekli sınıflarına göre erozyon yüzeylerinin dağılımı konusunda dışbükey yamaçlar dikkati çekmektedir. Yamaç şekli parametresinin erozyon yüzeyleri açısından anlamlılığı yamaç şekli sınıflarının kapladıkları alanlar ile bu sınıflara tekabül eden erozyon yüzeylerini ilişkilendirince daha net olarak ortaya çıkmaktadır. Dışbükey yamaçlar araştırma alanında içbükey yamaçlara oranla az alan kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin yarısından fazlası (% 61.3) dışbükey yamaçlara tekabül etmiştir. İçbükey yamaçlar ise araştırma alanının hemen hemen yarısını kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin sadece % 7.6'sı gibi az bir kısmı içbükey yamaçlara tekabül etmiştir. Sonuç olarak Selendi Çayı Havzası'nda erozyon yüzeyleri ile profil yamaç eğriselliği arasındaki ilişki erozyon yüzeylerinin dışbükey yamaçlarda daha sık görüldüğünü, dolayısıyla da dışbükey yamaçların erozyon duyarlılığının daha fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca erozyon yüzeylerinin özellikle dışbükey yamaçlarda toplanması yamaç eğriselliği parametresinin erozyon duyarlılık değerlendirmesindeki önemini de ortaya koymaktadır (Çizelge 1).

Topografik Nemlilik İndeksi

Topografik nemlilik indeksi (Topographic Wetness Index), genel olarak topografyanın suyun yüzeysel akışa geçeceği alanların konumu ve büyüklüğü üzerindeki etkisi olarak tanımlanır. Topografyaya bağlı olarak zeminin suya doygunluk derecesiyle ilgili veya suyun zemindeki hareketiyle ilgili ipucu verir. Topografik nemlilik indeksinin erozyon süreçleriyle ilişkisi kanıtlandığı için bu indeks çalışmada bir parametre olarak kullanılmıştır. Zeminin nemliliği, suyun yüzeydeki akış hızını, sızmasını, göllenmesini etkileyeceğinden erozyon duyarlılığında kullanılmak üzere bir parametre olarak üretilmiştir (Conforti ve ark., 2011). Araştırma alanında topografik nemlilik indeksi değerlerinin 4.2 ile 20.5 arasında değiştiği görülmektedir. Topografik nemlilik indeksi değerlerinin araştırma alanında en düşük olduğu yerler sırt, dış bükey eğimler ve dik yamaçlar gibi suyun yüzeyde oyalanmasının az olduğu yerlerdir. Değerlerin yüksek olduğu yerler ise daha çok vadi tabaları, düzlük ve az eğimli yerlerdir. Dolayısıyla erozyon yüzeylerinin % 85 gibi büyük bir bölümü topografik nemlilik indeksinin düşük olduğu alanlarda toplanmıştır. Onu % 14.1 ile orta ve % 0.9 gibi önemsiz bir değerle topografik nemlilik indeksinin yüksek olduğu yerler izlemektedir (Çizelge 1).

Bitki Örtüsü

Bitki örtüsü temelde iklim tarafından yönetilen aşındırma etmen ve süreçlerinin etkinlik dereceleri ve hızları üzerinde rol oynar. Zeminin çıplak ya da vejetasyonla kaplı olması da aşındırmanın şiddeti üzerine büyük etkiler yapar. Çıplak arazilerde aşındırma, vejetasyonla kaplı sahalara oranla karşılaştırılamayacak kadar fazladır. Bitki örtüsünün aşındırmaya karşı koruyucu etkisi, bütün vejetasyon formasyonlarında şüphesiz ki aynı değildir. Bir halı gibi yeri kaplayan formasyonlar zemini daha iyi korur. Bitki örtüsünün bu etkileri çok

değişik yollardan meydana gelir. Bitkiler damla erozyonuna karşı zemini koruyarak, yağışın bir kısmını alıkoyarak zeminde depo edilen suyu arttırarak, sürtünmeyi kuvvetlendirmek yoluyla hızı azaltıp sızmayı kolaylaştırarak ve akış düzenini bozmak yoluyla suyun belirli kanallarda toplanmasına engel olarak aşınmayı büyük ölçüde azaltır. Örneğin, bitki örtüsü kapalılığı fazla olan alanlarda, eğim, litoloji, toprak gibi diğer şartlar da uygunsa, damla erozyonu, fiziksel parçalanma, kütle hareketleri, sel ve seyelân aşındırması gibi süreçlerin etkisi önemsizdir. Buna karşın az kapalı veya bitki örtüsünden yoksun sahalarda, diğer şartlar da uygunsa, bu süreçlerin etkisi büyük önem kazanır ve sahanın aşındırılması hızlanır (Erinç, 1982; Hoşgören, 1983). Araştırma alanında erozyon yüzeylerinin en çok tekabül ettiği sınıf % 75.1 ile diğer kategorisinde toplanan tarım alanları, kayalık ve boş alanlardır. Onu % 14.3 ile ot formasyonu, % 5.5 ile çalı formasyonu ve % 5.1 ile orman formasyonu sınıfı takip etmektedir. Bitki formasyonu sınıflarından araştırma alanı içerisinde en az alanı ot formasyonu kaplamasına rağmen en fazla erozyon yüzeyi ot formasyonuna tekabül etmiştir (Çizelge 1).

Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü

Arazi örtüsü ve arazi kullanım şekli yamaçlardaki jeomorfolojik süreçler üzerinde önemli etkiye sahiptir. Genel olarak, bitki örtüsünün çıplak ya da seyrek olduğu alanlar erozyondan ve kütle hareketlerinden orman alanlarına göre daha çok etkilenirler. Bitki örtüsünün varlığı yüzeysel akışın aşındırıcı etkisini azaltması sebebiyle erozyon duyarlılığını azaltıcı etkiye sahiptir. Ayrıca tarım yapılan alanlarla yapılmayan alanlar arasında erozyon açısından farklılıklar olması kaçınılmazdır. Özellikle eğim değerleri yüksek yamaçlarda yapılan tarımsal faaliyetler erozyon duyarlılığını arttırıcı niteliktedir (Anabalagan, 1992; Dai ve ark., 2001; Çevik ve Topal, 2003; Conforti ve ark., 2011). Bu sebeple havzanın arazi kullanımı ve arazi örtüsünün de erozyon duyarlılığına etki eden coğrafi faktörlerden birisi olarak üzerinde durulmuştur. Tarımsal faaliyetlerin oldukça geniş alan kapladığı sahada erozyon yüzeylerinin de % 75.81 gibi büyük bir oranı tarım alanlarına tekabül etmektedir. Erozyon yüzeylerinin % 14.3'ü otlak-çayır-bozkır alanlarına, % 8.3'ü bitki örtüsü alanlarına, % 1.2'si kayalık ve taşlık alanlara, % 0.2'si yerleşim alanlarına tekabül etmiştir (Çizelge 1).

Drenaj Yoğunluğu

Jeomorfolojik ve hidrolojik bir unsur olarak drenaj yoğunluğunun önemi daha önceki yıllarda Horton (1945) tarafından da ifade edilmiştir. Drenaj yoğunluğu, yüzeysel akışı kontrol eden faktörlerin ortak bir sonucudur ve aynı zamanda infiltrasyon, toprağın suya doyması, yüzey erozyonu, yüzeysel akış ve bunların bir sonucu olan sediment üretimi ile de yakından ilişkilidir (Gleen ve ark., 1998; Macka, 2001). Bu yakın ilişkiden yola çıkarak araştırma alanının drenaj yoğunluğu verisi üretilmiştir. Araştırma alanında drenaj yoğunluğunun düşük olduğu kesimler eğim değerlerinin fazla olduğu dik yamaçlara tekabül etmektedir. Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu sahalara ise akarsu şebekesinin daha iyi geliştiği Selendi Çayı anakolu boyunca ve havzanın güneyinde alçak düzlüklerde rastlanır. Araştırma alanındaki erozyon yüzeylerinin drenaj yoğunluğu sınıflarına göre dağılımına bakıldığında ise erozyon yüzeylerinin yarısından fazlasının drenaj yoğunluğunun düşük olduğu alanlara tekabül ettiği görülmektedir. Havzanın sadece % 21.5'ini kaplayan düşük drenaj yoğunluğuna sahip sahaların erozyon yüzeylerinin yarısından fazlasına sahip olması bu sahaların erozyon duyarlılığı konusundaki önemini ortaya koymaktadır (Çizelge 1).

Drenaj Hatlarına Uzaklık

Drenaj hatlarına uzaklık verisi, yamaç-drenaj hattı ve erozyon arasındaki ilişkiyi ortaya koyabileceği düşünüldüğü için üretilmiştir. Erozyon yüzeylerinin % 47'lik bir kısmı drenaj hatlarına uzaklık parametresinin orta sınıfında toplanmıştır. Onu % 40.09 ile yakın ve % 12.90 ile uzak sınıfı izlemektedir. Bu da araştırma alanında drenaj hatlarına orta derecede uzak alanların erozyon duyarlılığı açısından daha önemli olduğunu göstermektedir (Çizelge 1).

Akarsu Aşındırma Güç İndeksi

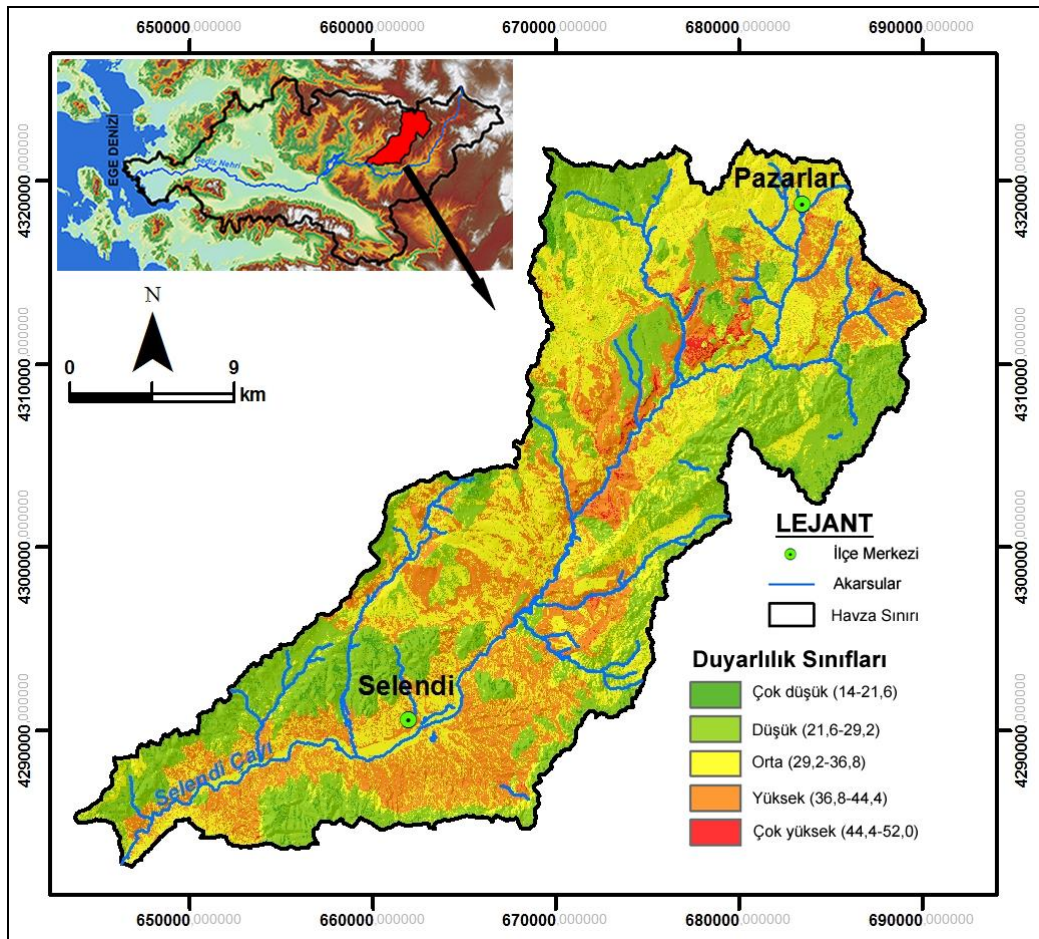
Yamaçtan akan suyun gücü erozyonu doğrudan etkilediği için akarsu güç indeksi yamaçlardaki erozyonal süreçleri kontrol eden temel faktörlerden biridir (Nefeslioğlu ve ark., 2008). Ayrıca yüksek akarsu güç indeksi değerlerinin görüldüğü alanlar büyük bir erozyon potansiyeline sahip olduğu için sedimentleri alıp götürecek potansiyel enerjiyi diğer bir deyişle sediment kaynağı olabilecek yerleri de göstermektedir (Kakembo ve ark., 2009). Bu sebeple erozyon duyarlılığında bir parametre olarak kullanılmak üzere Selendi Çayı Havzası'nın akarsu güç indeksi haritası oluşturulmuştur. Araştırma alanında yüksek akarsu aşındırma gücü indeks değerleri genel itibariyle eğimin fazla olduğu yerlerde dikkat çekmektedir. Eğim değerleri arttıkça akarsu aşındırma gücü indeksi değerleri yükselmektedir.

Araştırma alanında akarsu aşındırma gücü indeksi sınıflarının kapladığı alanlara ve bu sınıflara düşen erozyon yüzeylerine bakıldığında düşük akarsu güç indeksi sınıfını sahanın % 62.5'i gibi bir alan kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin sadece % 14.7'i bu sınıfa tekabül etmiştir. Bu da düşük akarsu aşındırma güç indeksi sınıfının erozyon duyarlılığı açısından diğer sınıflara göre önemsiz olduğunu göstermektedir. Akarsu aşındırma gücünün orta olduğu alanlar toplam araştırma alanının % 32.8'ini kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin % 81.6'ı gibi oldukça önemli bir kısmı bu sınıfta toplanmıştır (Çizelge 1).

Aşındırıcı Güç İndeksi

Aşındırıcı güç haritası arazide kayıt altına alınan erozyon yüzeyleri ile karşılaştırılmış ve erozyon yüzeylerinin % 83.2'si gibi çok büyük bir kısmının aşındırıcı güç indisinin yüksek olduğu yerlere tekabül ettiği tespit edilmiştir. Onu % 11.1 ile aşındırıcı güç indisinin orta olduğu sınıf takip etmektedir. Aşındırıcı güç indisinin düşük olduğu sınıf ise araştırma alanını toplamının % 33.1'ini kaplamasına rağmen erozyon yüzeylerinin sadece % 5.8 gibi diğerlerine göre önemsiz bir kısmı bu sınıfa tekabül etmiştir. Buna göre araştırma alanında erozyonun daha çok aşındırıcı güç indisinin yüksek olduğu yerlerde görüldüğü sonucuna varılmıştır. Ayrıca sınıflar arasındaki bu dengesiz dağılım, diğer bir deyişle erozyon yüzeylerinin çok büyük bir kısmının aşındırıcı güç indisinin yüksek olduğu yerlerde toplanması iklimin aşındırıcı gücü ile erozyon duyarlılığı arasındaki kuvvetli ilişkiyi de ortaya koymaktadır (Çizelge 1).

Frekans oranı yöntemi ile erozyon duyarlılık haritalarının üretilmesinde, erozyonu etkileyen her bir faktörün alt kategorileri için hesaplanan frekans oranları dikkate alınmaktadır (Erener ve Düzgün, 2007; Erener ve Lacasse, 2007; Reis, ve ark., 2009). Bu sebeple her bir parametre için hesaplanan ve Tablo 1'de verilen frekans oranı değeri ArcGIS 10.2'de reclass işlemi ile ilgili katmana atanarak puanlandırılmış parametre haritaları elde edilmiştir. Daha sonra Raster Calculator ile puanlandırılmış parametre haritaları toplanarak bir frekans oranı indeks (erozyon duyarlılık indeksi) haritası elde edilmiştir. Araştırma alanında bu indeks değeri 14-52 arasında değişmektedir. Toplam frekans oranı değerini gösteren bu harita, erozyon duyarlılık durumunun yorumlanabilmesi için eşit aralık yöntemiyle yeniden sınıflandırılmış ve sonuçta "çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek" olmak üzere 5 erozyon duyarlılık sınıfı ayırt edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Frekans oranı yöntemi ile üretilen erozyon duyarlılık analizi

Sonuç

Erozyon yüzeyleri envanteri sayesinde literatürde daha çok heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan ve tamamen istatistiksel tabanlı bir yöntem olan frekans oranı yöntemi erozyon duyarlılık analizlerinde uygulanabilmiştir. Frekans oranı yöntemi tamamen istatistiksel analizlerle elde edilen sonuçlara göre erozyon duyarlılık değerlendirmesi yapmaktadır. Dolayısıyla çok ölçütlü karar analizi gibi yöntemlere göre daha objektif bir yöntemdir. Frekans oranı gibi tamamen istatistiksel bir yöntemin erozyon duyarlılığında kullanılması araştırmacıların objektif bir değerlendirme yapmasına imkan sağladığı ve uzman görüşüne dayalı subjektif parametre ağırlıklandırma yöntemlerinin aksine kullanıcı kaynaklı hataları engelleyebileceği görülmüştür. Yeterli derecede arazi çalışması yapılmasına ve arazide kayıt altına alınan erozyon yüzeyleri sahanın tamamını temsil edebilecek nitelikte olmasına önem verilmelidir.

Araştırmada kullanılan yöntem ve yaklaşımlar ülkemizde özellikle tarımsal açıdan önemli ve baraj bulunan havzalara uygulanabilir. Fakat bu araştırma ile sunulan koşul ve sonuçların diğer alanlardan bağımsız olduğu unutulmamalıdır. Oluşturulan model başka bir bölgeye uygulanacağı zaman parametrelerin ve parametrelerin alt sınıflarının ilgili bölgenin durumuna göre mutlaka yeniden düzenlenmesi, ağırlıklandırılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu makale 19.05.2017-20.05.2017 tarihlerinde gerçekleşen Fiziki Coğrafya Araştırmaları Lisansüstü Öğrenci Sempozyumu-2017'de sözlü bildiri olarak sunulmuştur. Makale "Selendi Çayı Havzası (Manisa) Erozyon Duyarlılık Analizi ve İklim Değişikliğinin Erozyon Duyarlılığına Etkilerinin Modellenmesi" isimli doktora tezinin bulgularını içerir. 52039 numaralı proje kapsamında doktora tez çalışmamı destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim. Ayrıca katkı ve desteklerinden dolayı tez danışmanım Prof.Dr. Hüseyin TUROĞLU'na teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Agnesi V, Angileri S, Cappadonia C, Conoscenti C, Rotigilano E, 2011. Multi-parametric GIS analysis to assess gully erosion susceptibility: a test in Southern Sicily, Italy. *Landform Analysis* 17: 15-20.
- Akgün A, 2007. Ayvalık ve yakın çevresinin erozyon ve heyelan duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı incelenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üni. Fen Bilimleri Ens., İzmir.
- Akgün A, Türk N, 2010. Mapping erosion susceptibility by a multivariate statistical method: a case study from the Ayvalık Region, NW Turkey. *Computers & Geosciences* 37 (9): 1515-1524.
- Anabalagan R, 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology* 32 (4): 269-277.
- Avcı V, 2016. Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl Güneybatısı) frekans oranı metoduna göre heyelan duyarlılık analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi* 34: 160-177.
- Başayığıt L, Uçar G, Dedeoğlu M, 2016. CBS ve LANDSAT uydu görüntüsü ile Beyşehir Gölü Havzası toprak kayıplarının RUSLE metoduna göre tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 11(2): 1-10.
- Bathrellos G, Skilodimou H, 2007. Using the analytic hierarchy process to create an erosion risk map, a case study in Malakasiotiko Stream, Trikala Prefecture. *Bulletin of the Geological Society of Greece* 40(4): 1904-1915.
- Bayramin İ, 2003. Soil erosion risk assessment with LEAM model; case study: Beypazarı Area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 23: 105-116.
- Bayramin İ, Dengiz O, Başkan O, Parlak M, 2003. Soil erosion risk assessment with ICONA model; case study: Beypazarı Area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 27 (2): 105-116
- Bayramin İ, Erpul G, Erdoğan EH, 2006. Use of CORINE methodology to assess soil erosion risk in the semi-arid area of Beypazarı-Ankara, Turkey. *Turkish Journal of Agricultural and Forestry* 30: 81-100.
- Begueria S, 2006. Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management. *Natural Hazards* 37: 315-329.
- Bonham-Carter GF, 1994. Geographic Information Systems for geoscientists, Modeling with GIS. Pergamon Press, Oxford.
- Campling P, Gobin A, Feyen J, 2002. Logistic modelling to spatially predict the probability of soil drainage class. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1390-1401.
- Carrara A, Cardinali M, Detti R, Guzzetti F, Pasqui V, Reichenbach P, 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surf Processes and Landforms* 16 (5): 427-445.
- Conforti M, Pietro P, Aucelli PPC, Robustelli G, Scarciglia F, 2011. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo Stream Catchment (Northern Calabria, Italy). *Natural Hazards* 56: 881-898.
- Conoscenti C, Di Maggio C, Rotigliano E, 2008. Soil erosion susceptibility assessment and validation using a geostatistical multivariate approach: a test in Southern Sicily. *Natural Hazards* 46: 287-305.

- Chung CF, Fabbri AG, 1999. Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 65 (12): 1388-1399.
- Clark R, 1980. Erosion condition classification system. U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, Technical Note No: 346, Denver Service Center, Colorado.
- Crawford AR, 1975. 1/25000'lık J21-c1, c3-c4; K21-b1, b2, b3, b4 paftaları kapsamına giren Demirci, Simav, Selendi arasında kalan sahanın jeolojisi hakkında rapor, MTA Raporu, No: 6892, Ankara.
- Cürebal İ, Ekinci D, 2006. Kızılkeçili Deresi Havzasında CBS tabanlı RUSLE yöntemiyle erozyon analizi. *Türk Coğrafya Dergisi* 47: 15-30.
- Çevik E, Topal T, 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology* 44 (8): 949-962.
- Çilek A, Berberoğlu S, 2013. Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla Seyhan Havzasında PESERA ve RUSLE erozyon modellerinin kıyaslanması. TMMOB 2013 Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi. 11-13 Kasım 2013. Ankara.
- Çilek A, Berberoğlu S, Erdoğan MA, Dönmez C, 2014. PESERA ve RUSLE erozyon modellerinin Akdeniz ve Ege havzalarındaki sonuçlarının karşılaştırılması. UZAL-CBS 2014. 14-17 Kasım 2014. İstanbul.
- Dai FC, Lee CF, Li J, Xu ZW, 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology* 40 (3): 381-391.
- Dai FC, Lee CF, 2002. Landslide characteristics and slope instability modelling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology* 42: 213-228.
- De Bie, CAJM, 2005. Assessment of soil erosion indicators for maize-based agro-ecosystems in Kenya. *Catena* 59: 231-251.
- De Lollo JA, Sena JN, 2013. Establishing erosion susceptibility: analytical hierarchical process and traditional approaches. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 72: 589-600.
- Dindaroğlu T, Canpolat MY, 2013. Erzurum ili Kuzgun Baraj Gölü Havzasında gerçek ve potansiyel erozyon risk alanlarının CORINE yöntemiyle belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*. 16 (3): 1-8.
- Dramis F, Gentili B, 1977. Contributo allo studio delle acclività dei versanti nell'appennino umbro-marchigiano. *Studi Geologici Camerti* 3: 153-164.
- Ercan E, Türkecan A, Dinçel A, Günay E, 1983. Kula-Selendi (Manisa) dolaylarının jeolojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 17: 3-28.
- Erdem M, 2017. Erozyon tahmin modelleri ile toprak kaybının hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üni. Fen Bilimleri Ens., Ordu.
- Erener A, Düzgün HSB, 2007. Heyelan analizlerinde coğrafi ağırlıklandırılmış regresyon (CAR) metodu. 11. Türkiye Bilimsel Harita ve Teknik Kurultayı, 02-06 Nisan 2007, Ankara.
- Erener A, Lacasse S, 2007. Heyelan duyarlılık haritalamasında CBS kullanımı. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim-02 Kasım 2007, Trabzon.
- Eriñç S, 1982. Jeomorfoloji I. Genişletilmiş 3.Baskı. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yay. İstanbul.
- Gleen EM, Elfatih AB, Eltahir Rafael LB, 1998. On the sensitivity of drainage density to climate change. *Water Resources Research* 34 (4): 855-862.
- Guzzetti F, Carrara, A, Cardinali M, Reichenbach P, 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31 (1-4): 181-216.
- Herweg K, 1996. Assessment of current erosion damage. Lang Druck AG, Liebefeld, Switzerland.
- Horton RE, 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative geomorphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56: 275-370.
- Hoşgören Y, 1983. Akhisar Havzası. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, No: 3088, İstanbul.
- Hudson N, 1995. Runoff, erosion and sedimentation: prediction and measurement. FAO (Ed.), In: Land and Water Integration and River Basin Management (ed. FAO) FAO Land and Water Bulletin, 1-85.
- Huggett RJ, Cheesman J, 2002. Topography and the environment. Prentice Hall Press, New Jersey.
- Jadda M, Shafri HZM, Mansor SB, Sharifikia M, Pirasteh S, 2009. Landslide susceptibility evaluation and factor effect analysis using probabilistic- frequency ratio model. *European Journal of Scientific Research* 33 (4): 654-668.
- Jordan G, 2007. Digital terrain analysis in a GIS environment, concepts and development. In: Digital Terrain Modelling (eds: Peckham RJ, Jordan, G) Springer, New York, 1-39.
- Kakembo V, Xanga WW, Rowntree K, 2009. Topographic thresholds in gully development on the hillslopes of communal areas in Ngqushwa Local Municipality, Eastern Cape, South Africa. *Geomorphology* 110: 188-195.
- Kanar E, Dengiz O, 2015. Madendere Havzasında potansiyel erozyon risk durumunun iki farklı parametrik model kullanarak belirlenmesi ve risk haritalarının oluşturulması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi* 2: 123-134.
- Kheir RB, Wilson J, Deng J, 2007. Use of terrain variables for mapping gully erosion susceptibility in Lebanon. *Earth Surface Processes and Landforms* 32: 1770-1782.
- Kravchenko AN, Bollero GA, Omonode RA, Bullock DG, 2002. Quantitative mapping of soil drainage classes using topographical data and soil electrical conductivity. *Soil Science Society of America Journal* 66: 235-243.
- Lee, S., Min, K, 2001. Statistical Analyses of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology* 40 (9), 1095-1113.

- Lee S, Choi J, Min K, 2004. Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and Remote Sensing data at Boun, Korea. *International Journal of Remote Sensing* 25 (11): 2037-2052.
- Lesschen JP, Cammeraat LH, Nieman T, 2008. Erosion and terrace failure due to agricultural land abandonment in a semi-arid environment. *Earth Surface Processes and Landforms* 33(10): 1574-1584.
- Macka Z, 2001. Determination of texture of topography from Large Scalecon tour maps. *Geografskivestnik* 73 (2): 53-62.
- Maharaj RJ, 1993. Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an Upland Watershed: a case study from St Andrew, Jamaica, West Indies. *Engineeing Geology* 34 (1-2): 53-79.
- Moayeri M, Maleki A, Entezari M, Moradi K, Olfati S, 2013. Simulation of possibility of gully erosion in catchment of Dyreh by analytical hierarchy process (AHP). *Journal of Basic and Applied Scientific Research* 3 (7): 1-9.
- Moore ID, Grayson RB, Ladson AR, 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes* 5: 3-30.
- Mueller TG, Cetin H, Fleming RA, Dillon CR, Katathanasis AD, Shearer SA, 2005. Erosion probability maps: calibrating precision agriculture data with soil surveys using logistic regression. *Journal of Soil and Water Conservation* 60 (6): 462-468.
- Nagarajan R, Roy A, Vinod Kumar R, Mukherjee A, Khire MV, 2000. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bulletin Engineering Geology and the Environment* 58 (4): 275-287.
- Nasri M, Feiznia S, Jafari M, Ahmadi H, 2008. Using field Indices of rill and gully in order to erosion estimating and sediment analysis (case study: Menderjan Watershed in Isfahan Province, Iran). *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering* 2 (7): 69-75.
- Nefeslioglu HA, Duman TY, Durmaz S, 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology* 94: 401-408.
- Ogbonna JU, Alozie M, Nkemdirim V, Eze MU, 2011. GIS analysis for mapping gully erosion impacts on the geofomation of the Old Imo State, Nigeria. *ABSU Journal of Environment Science and Technology* 1: 48-61.
- Ozener S, 1984. Kula-Selendi yörelerinin jeomorfolojisi ve morfo-tektoniği. MTA Raporu, No: 7599, Ankara.
- Ozener S, 1988. Kula ve Selendi yörelerinin jeomorfolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, Jeomorfoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özden Ş, Özden M, 1997. Türkiye toprak erozyon tahmin modeli TURTEM. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Pektezel H, 2015. Gelibolu Yarımadası'nda CBS tabanlı RUSLE (3D) yöntemiyle erozyon duyarlılık analizi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi* 17: 131-151.
- Pulice I, Scarciglia, F, Leonardi L, Robustelli G, Conforti M, Cuscino M, Lupiano, V, Critelli S, 2009. Studio multidisciplinare di forme e processi denudazionali Nell'area di Vrica (Calabria Orientale). *Bollettino della Società Geografica Italiana*. 87 (I-II): 399-414.
- Raissouni A, Issa LK, El Arrim A, Maâtouk, M, Passalacqua R, 2012. GIS-based model to assess erosion sensitivity in Northern Morocco, Laou Watershed case study. *International Journal of Geosciences* 3: 610-626.
- Reis S, Yalçın A, Atasoy M, Nişancı R, Bayrak T, Sancar C, Ekercin S, 2009. CBS ve uzaktan algılama teknikleri ile heyelan duyarlılık haritalarının üretimi: Rize ili örneği. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu, 4-6 Şubat, Ankara.
- Ronghua Z, Liu X, Heathman GC, Yao X, Hu X, Zhang G, 2013. Assessment of soil erosion sensitivity and analysis of sensitivity factors in the Tongbai-Dabie mountainous area of China. *Catena* 101: 92-98.
- Stocking MA, Murnaghan N, 2001. Handbook for the field assessment of land degradation, Arthscan Publications Ltd, London.
- Sunkar M, Avcı V, 2015. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) ile Hasret Dağı ve çevresinin (Elazığ) erozyon duyarlılık analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi* 13 (1): 17-40.
- Tağıl Ş, 2007. Tuzla Çayı Havzasında (Biga Yarımadası) CBS-tabanlı RUSLE modeli kullanarak arazi degradasyonu risk değerlendirmesi. *Ekoloji* 17 (65): 11-20.
- USDA, 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture Handbook 18, USA.
- Valentin C, Poesen J, Li Y, 2005. Gully erosion: impacts, factors and control. *Catena* 63: 132-153.
- Vigiak O, Okoba Barrack O, Sterk G, Stroosnijder L, 2005. Water erosion assessment using farmers' indicators in the West Usambara Mountains, Tanzania. *Catena* 64: 307-320.
- Wilson JP, Gallant JC, 2000. Terrain analysis principles and applications. John Wiley and Sons, Canada.
- Yılmaz I, 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers & Geosciences* 35 (6): 1125-1138.
- Yüksel A, Avcı V, 2015. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama ile Yamaç Havzası'nın (Bingöl) erozyon duyarlılık analizi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 32 (2): 116-128.
- Zhang R, Liu X, Heathman GC, Yao X, Hu X, Zhang G, 2012. Assessment of soil erosion sensitivity and analysis of sensitivity factors in the Tongbai-Dabie mountainous area of China. *Catena* 101: 92-98.
- Web 1, <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/10/27/understanding-curvature-rasters/> (Son erişim: 02.05.2015)