

Çok Ölçütlü Karar Analizi İle Erozyon Duyarlılık Çalışmalarında Erozyon Yüzeyleri Envanter Verisinin Kullanımı: Selendi Çayı Havzası Örneği*

The use of erosion features inventory data in erosion susceptibility studies with multi-criteria decision analysis: the case of Selendi River Basin

Yıldız Güney^{1†}, Hüseyin Turoğlu²

¹Uşak Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Uşak

²İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul

Öz: Literatürde çok ölçütlü karar analizi kullanılarak yapılan erozyon duyarlılık analizleri ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Fakat bu tip analizlerin en önemli aşaması olan parametrelerin ağırlıklandırılması konusunda masa başında yapılan sübjektif değerlendirmeler çalışmaların objektifliği ve bilimselliği konusunda tartışmalara neden olmaktadır. Bu çalışmada yukarıda belirtilen sorunun çözümüne yönelik olarak, herhangi bir yerde erozyonun varlığı ve şiddetinin göstergesi olan "Erozyon Yüzeyleri Envanteri" yönteminin uygulanması amaçlanmış, uygulama alanı olarak Selendi Çayı Havzası seçilmiştir. Erozyon duyarlılık analizi için araştırma alanında erozyonu etkilediği düşünülen coğrafi parametrelerle ilgili bir veri tabanı hazırlanmıştır. Erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin her biri ile arazide kayıt altına alınan erozyon yüzeyleri karşılaştırılmış, araştırma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeylerinin erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametre sınıfları sayısal ve oransal dağılımı belirlenmiştir. Bunlarla ilgili standart sapma ve varyans hesaplamaları yapılmıştır. Böylece parametrelerin alt sınıfları ile erozyon yüzeyleri arasındaki mekânsal ve istatistiksel ilişkiler ortaya konulmuştur. Sonuçta; arazi tespitlerine dayandırılan istatistiksel analiz sonuçları kullanılarak parametreler ve alt sınıfların ağırlıklandırılması gerçekleştirilip, çok ölçütlü karar analizi yöntemiyle erozyon duyarlılık analizi tamamlanmıştır. Erozyon yüzeyleri envanterinin çok ölçütlü karar analizi ile erozyon duyarlılık analizinde araştırmacıların araziye dayanan bir değerlendirme yapmasında etkili bir araç olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: çok ölçütlü karar analizi, erozyon duyarlılığı, erozyon yüzeyleri, CBS, Selendi Çayı Havzası.

Abstract: There are numerous studies in the literature regarding Erosion Susceptibility Analysis using a multi-criteria decision analysis method. However the subjective assessments, during the weighting of the parameters, are always likely to incur questions about the objectivity and scientificity of a given study. To avoid this problem in our work we have used an "Erosion Features Inventory" methodology and applied it to the Selendi River Basin. For the erosion susceptibility analysis, a database of geographical measurements, thought to be effecting erosion, were prepared for the area under observation. Each of the parameters used in erosion susceptibility analysis were aligned with erosion features recorded in the research area. Based on that we determined the parameters in the Erosion Susceptibility Analysis. Subsequently we applied variance and standard deviation analysis to our results. Using the statistical analysis results we determined parameters and sub-classes based on the actual surface measurements. As a result the "Erosion Susceptibility Analysis" was completed by using a the multi-criteria decision based method largely avoiding all subjectivity in the outcome. Erosion features inventory

*Bu araştırma, birinci yazarın "Selendi Çayı Havzası (Manisa) Erozyon Duyarlılık Analizi ve İklim Değişikliğinin Erozyon Duyarlılığına Etkilerinin Modellenmesi" isimli doktora tezinden üretilmiştir.

† İletişim yazarı: Y.Güney, e-posta: yildiz.guney@usak.edu.tr

Makale Geliş Tarihi: 20.02.2018

Makale Basıma Uygun Tarihi: 09.04.2018

have been found to be an effective tool for researchers to make a land-based assessment erosion susceptibility analysis with multi-criteria analysis.

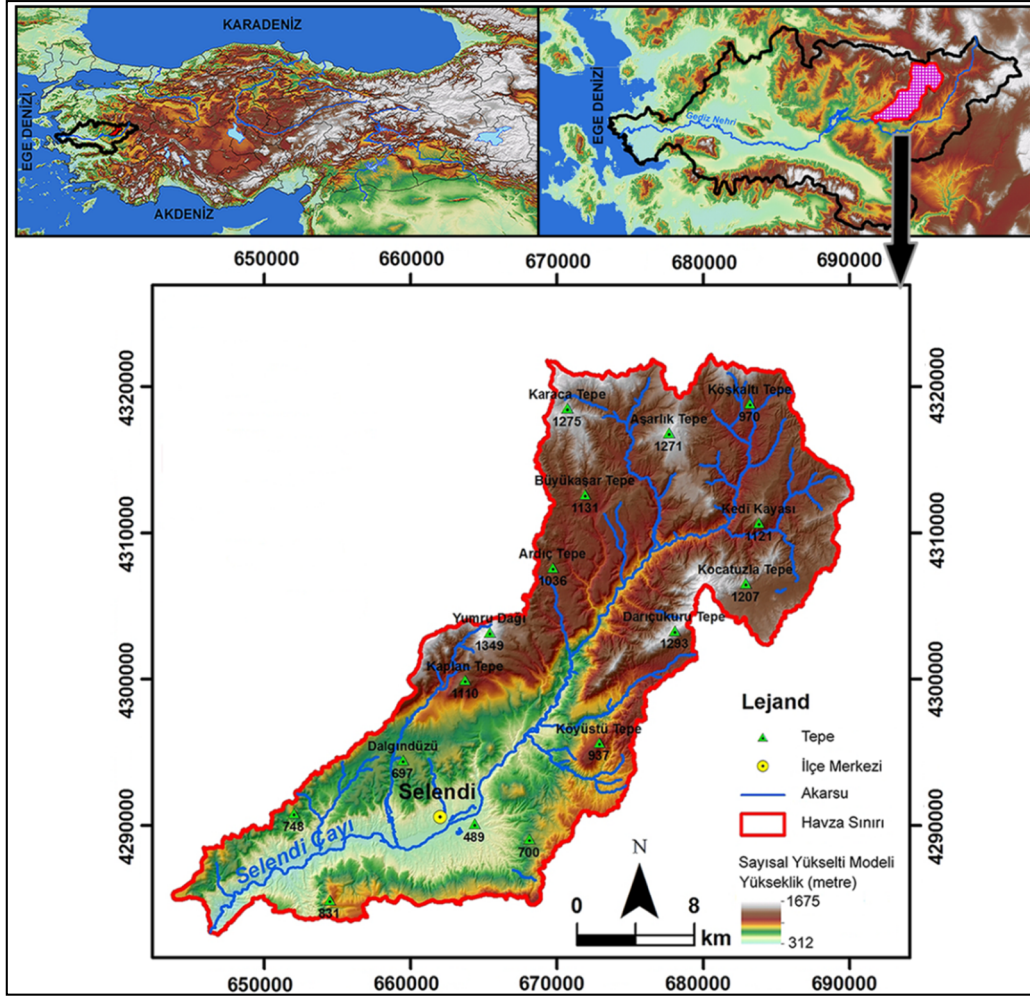
Keywords: *multi-criteria decision analysis, erosion susceptibility, erosion features, GIS, Selendi River Basin.*

1. Giriş

Erozyonla ilgili sorunlar pek çok araştırmacının bu konuya ilgi duymasına ve geniş bir literatür oluşmasına sebep olmuştur. Literatürde erozyon duyarlılığını haritalamak için farklı yöntem ve yaklaşımların kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur (Meyer ve Martinez-Casasnovas, 1999; Mueller vd., 2005; Haboudane vd., 2007; Conoscenti vd., 2008; Akgün ve Türk, 2010; Agnesi vd., 2011; Angileri, 2012). Erozyon duyarlılığı ile ilgili özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda; hazır erozyon modellerinin yanı sıra, parametre guruplarının ve analiz yöntemlerinin araştırmacılar tarafından belirlendiği, bağımsız modellerin kullanıldığı araştırmalardaki artış dikkat çekicidir. Literatürde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri kullanılarak yapılan erozyon duyarlılık analizi ile ilgili son yıllardaki çalışmalara bakıldığında; büyük bir çoğunluğunda istatistiksel modeller kullanıldığı görülür (Kheir vd., 2007; Akgün ve Türk, 2010; Conforti vd., 2011; Ogbonna vd., 2011). Çok ölçütlü karar analizi (ÇÖKA) de en çok kullanılan çok değişkenli istatistik yöntemlerin başında gelmektedir (Bathrellos ve Skilodimo, 2007; Conoscenti, 2008; Agnesi vd., 2011; Raissouni vd., 2012; Ronghua vd., 2013; Moayeri vd., 2013). Erozyon duyarlılık analizi yaparken hangi bağımsız model kullanılırsa kullanılsın parametrelerin ağırlıkları kullanıcılar tarafından belirlenmektedir. Kullanıcılar ise parametre ağırlıklandırmasını ya literatürde konuyla ilgili mevcut çalışmalara atıf yaparak ya da kısmen arazi gözlemleri ile desteklenen uzman görüşüne göre yapmaktadırlar (Sönmez vd., 2013; Sunkar ve Avcı, 2015; Avcı, 2016; Avcı vd., 2017). Bu ise parametreleri ağırlıklandıran araştırmacı konusunun ne kadar uzmanı olsa da subjektif bir değerlendirmeye yol açmaktadır. Erozyon duyarlılığı analizi için kullanılan parametrelerin sadece literatüre veya uzman görüşüne dayalı olarak ağırlıklandırılmaması gerektiği düşünüldüğünden parametrelerin ağırlıklandırılmasında araziden toplanan verilere dayanan daha objektif bir değerlendirme sağlayacak bir yöntem arayışı içerisine girilmiştir.

Erozyon duyarlılık analizlerinde parametrelerin ağırlıklandırılması konusunda araziye dayalı bir değerlendirme yapılmak isteniyorsa, arazide; erozyonun problem olduğu sahaların bir şekilde tespit edilerek envanter oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada; bir yerde erozyonun şiddetli olduğunun işaretleri olarak kabul edilen ve Clark (1980) tarafından ortaya konulan erozyon yüzeyleri referans alınarak, araziden toplanan verilerle envanter oluşturulması, parametrelerin ağırlıklandırılması konusunda çalışma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeyleri ve bunlarla ilgili oluşturulan istatistiksel analizlerin kullanılması, parametre ağırlıklandırma işinin daha objektif ve bilimsel temellere dayandırılması, elde edilen sonuçlara göre önerilerde bulunulması hedeflenmiştir.

Araştırma alanı olarak seçilen Selendi Çayı Havzası, Batı Anadolu'da Gediz Havzası içerisinde yer alan alt havzalardan biridir ve kabaca 38°39' 41"-39°00' 47" kuzey enlemleri ile 28°39' 14"-29°11' 41" doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Selendi Çayı'nın su toplama havzasından oluşan araştırma alanı yaklaşık 716 km² alana sahiptir (Şekil 1). Selendi Çayı Havzası, özellikle litolojik ve jeomorfolojik özellikleri nedeniyle çok şiddetli erozyona maruz kalmaktadır. Drenaj yoğunluğunun fazla olması, yüzey erozyonu ile ortaya çıkan badlands topografyasının yaygınlığı, havzanın birçok yerinde farklı şekillerde derin (gully) ve sığ yarıntılarla (rill) bunları birbirinden ayıran keskin sırtlar havzada erozyonun şiddetli olduğunun önde gelen kanıtları olarak kabul edilebilir. Havzada erozyonun şiddetli olduğunun kanıtı olan bu indikatörler envanter verisi hazırlamada kullanılmaya uygun olduğu için uygulama alanı olarak Selendi Çayı Havzası seçilmiştir.



Şekil 1. Araştırma alanının lokasyon haritası.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada; topografik, jeolojik, hidrografik, çevresel ve iklimik olmak üzere beş temel veri grubu kullanılmıştır. Ayrıca detaylı arazi çalışmaları sonucunda araştırma alanı için bir erozyon yüzeyleri envanteri hazırlanmıştır.

Topografik veri grubunda yer alan eğim, bakı, yamaç şekli, topografik nemlilik indeksi parametrelerini üretmek için Harita Genel Komutanlığı'nın 2000 yılına ait 1/25000 ölçekli 14 adet topografya haritası (K22-a3, K22-a1, K22-a2, K22-a4, K21-a3, K21-c2, K21-d2, K21-c1, K21-b4, K21-b3, K21-b2, J21-c3, J22-d3, J22-d4) kullanılarak 10 m yükselti çözünürlüğünde topografik veri tabanı oluşturulmuştur.

Jeoloji veri grubu; sahaya ait litoloji ve kayaların ayrışma derecesi verilerinden oluşturulmuştur. litoloji parametresine ait bilgiler araştırma alanında daha önce yapılmış olan çalışmalar, haritalar ve farklı amaçlar için hazırlanmış raporlar derlenerek hazırlanmıştır. Litolojiyle ilgili veri oluşturmak için Ercan vd. (1980), Crawford (1975), Ozaner (1984), Ozaner (1988) tarafından yapılan yayınlardan ve eklerindeki jeoloji haritalarından faydalanılmıştır. Ayrışma derecesi parametresi için araştırma alanı içerisinde 200 m aralıklarla 6 yükselti basamağından 4 ana yönden 14 litolojik birimden numune alınmış ve aynı lokasyonlardan Schmidt çekici ile ölçüm yapılmıştır.

Çalışmada, yükselti basamakları; 312-512 m, 512-712 m, 712-912 m, 912-1112 m, 1112-1312 m, 1312-1675 m olarak 200 m aralıklı, 6 gurup şeklinde belirlenmiştir. Bakımın sınıflandırılmasında; kuzey, güney, doğu ve batı olmak üzere 4 ana yön esas alınmıştır. Araştırma alanındaki 14 litolojik birimden, belirtilen yükselti aralıklarından, 4 ana yönde 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 üzerinde, Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Kaya Mekaniği Laboratuvarları'nda "suda dağılmaya karşı hassasiyet indeksi" ve "nokta yük dayanım direnci" testleri yapılmıştır. Kayaçların erozyon duyarlılığını ilgilendiren fiziksel özellikleri bu yöntemler ile belirlenerek, elde edilen sonuçlar IDW (Inverse Distance Weighting) enterpolasyon yöntemiyle haritalanmıştır.

Çevresel parametrelerden bitki örtüsü veri tabanı; Denizli Orman Genel Müdürlüğü'nden sayısal olarak temin edilen 1/100000 ölçekli orman amenajman haritasından ve arazi gözlemlerinden yararlanarak üretilmiştir. Sonuçta; orman formasyonu, ot formasyonu, çalı formasyonu ve diğer (tarım alanları, kayalık ve boş alanlar) olmak üzere dört sınıftan oluşan bir bitki örtüsü parametresi oluşturulmuştur.

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; tarım alanı, otlak-çayır-bozkır, bitki örtüsü, tarım alanı-otlak, yerleşim alanı, kayalık-taşlık ve su olmak üzere 7 sınıflı olarak düzenlenmiştir. Bu sınıflardan havzadaki göl ve göletleri temsil eden, su sınıfı hariç diğer 6 sınıf erozyon sürecine direkt katkıda bulunabilecek arazi kullanım sınıflarıdır.

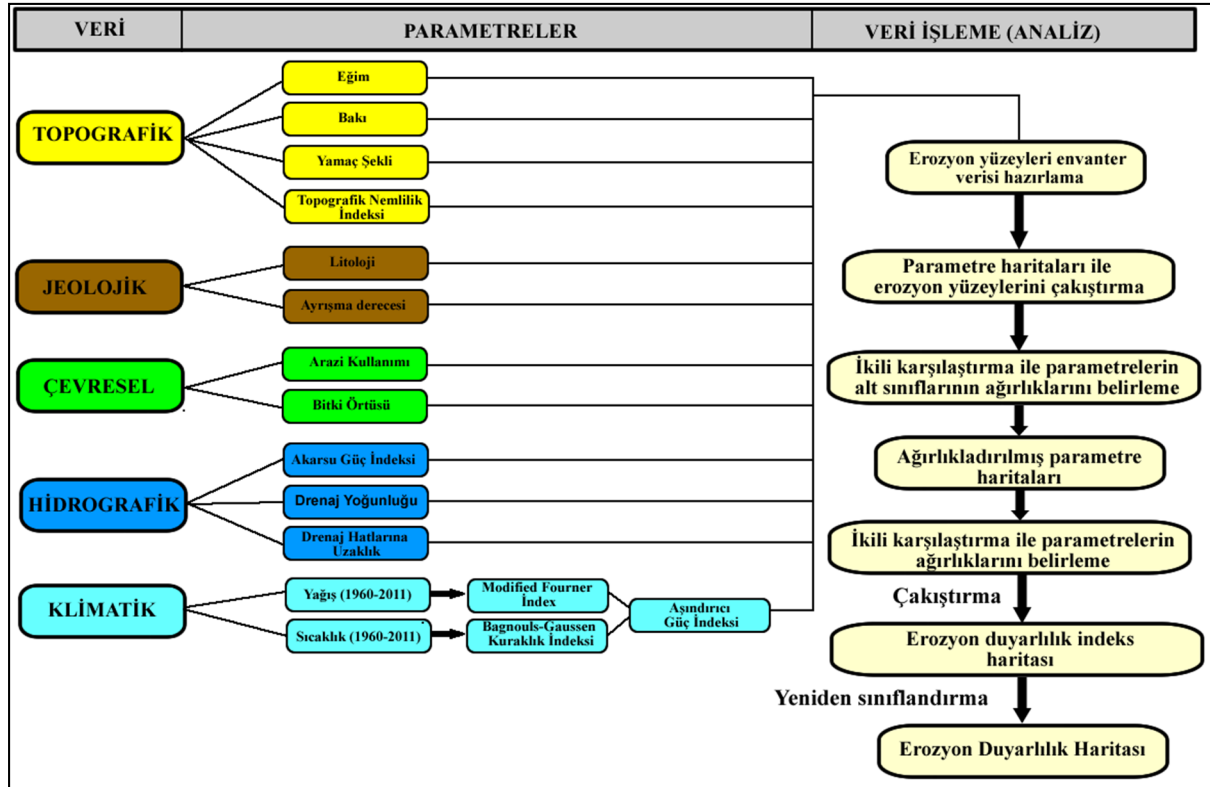
Hidrografik parametreler olarak, erozyonun gelişmesinde etkin rol oynadığı düşünülen drenaj yoğunluğu, drenaj hatlarına uzaklık ve akarsu güç indeksi verileri üretilmiştir. 10 metre çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) verisinden üretilen drenaj hatları, araştırma alanında km^2 'ye düşen drenaj 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. Drenaj hatlarına uzaklık verisi; yamaç-drenaj hattı ve erozyon arasındaki ilişkiyi ortaya koyabileceği düşünüldüğü için üretilmiştir. SYM'den üretilen akarsu ağı kullanılarak ArcGIS yazılımındaki Spatial Analyst araçlarından "Eucliden Distance" komutuyla yapılmıştır. Bu uygulama, SYM'den üretilen drenaj hatlarına, ilgili her bir pikselin sahip olduğu mesafenin miktarını ifade eder (Akgün, 2007). Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi (Stream Power Index, SPI), su deşarjının spesifik akaçlama alanı (AS) ile orantılı olduğu varsayımına dayanarak akış halindeki suyun erozif etkisinin bir ölçüsüdür. $\text{SPI}=(\text{AS} \cdot \tan \beta)$ eşitliği ile hesaplanır. "AS" değeri spesifik havza alanını (m^2/m), " β " derece olarak eğim değerini temsil etmektedir (Moore vd., 1991). Bu indis araştırma alanının 10 metre çözünürlüklü SYM verisinin SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis) GIS yazılımında analizi sonucu elde edilmiştir.

Klimatik veri gurubu için iklim ve erozyon arasındaki etkileşimi en iyi kuran hazır erozyon modellerinden biri olan CORINE'in aşındırıcı güç indeksi parametresinden yararlanılmıştır. Erozyona iklimin aşındırıcı güç etkisini belirlemek amacıyla, öncelikle araştırmada kullanılan Uşak, Gediz, Simav, Eşme, Demirci Meteoroloji İstasyonları'nın verilerinden yararlanarak, aylık ortalama yağış ve sıcaklık dağılım haritaları yapılmıştır. Bu veriler kullanılarak yağışın erozivitesi için Modified Fournier Index (MFI), kuraklık için ise Bagnouls-Gaussen Aridity Index (BGI) hesaplanarak haritalanmıştır. MFI ve BGI iklimik göstergeleri CORINE modelinde kullanıldığı gibi sınıflandırılıp birleştirilerek; düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 sınıflı bir erozivite indeksi oluşturulmuştur.

Üretilen tüm parametrelerin birlikte analiz edilebilmesi için parametreler aynı koordinat ve projeksiyon sisteminde olacak şekilde, 10 metre çözünürlüklü raster veri olarak kaydedilmiştir.

Böylece standart hale getirilen bu veriler, tek bir veri tabanında toplanarak analizler için altlık teşkil edecek niteliğe dönüştürülmüştür.

Araştırma alanında, erozyonun şiddetli olduğunun kanıtı olan erozyon yüzeyleri, arazide tespit edilerek GARMIN Etrex 10 GPS ile koordinatları alınmıştır. Arazide tespit edilen 434 adet erozyon yüzeyi ile bir erozyon yüzeyleri envanter verisi hazırlanmıştır. Bu envanter verisi ile erozyon duyarlılık analizinde kullanılacak olan parametreler çakıştırılmış, erozyon yüzeylerinin parametre sınıflarına dağılışıyla ilgili istatistiksel analizler yapılmıştır. İkili karşılaştırma ile parametrelerin alt sınıflarının ve parametrelerin ağırlıklandırılması sırasında gerek erozyon yüzeylerinin parametre alt sınıflarına dağılışlarından gerekse bunların istatistiksel analizlerinden yararlanılmıştır. Böylece araziden toplanan verilere ve bunların istatistiksel analizine dayalı daha objektif bir parametre ağırlıklandırması yapılarak hesaplanan ağırlık değerleri parametre sınıflarına atanmıştır. ArcGIS 10.2 yazılımının “Spatial Analyst Tools” modülündeki analiz araçlarından biri olan Raster Calculator ile ağırlık değerleri atanmış parametreler toplanarak erozyon duyarlılık indeks haritası oluşturulmuştur. Bu indeks haritanın eşit aralık yöntemiyle 5 sınıflı olarak yeniden sınıflandırılması sonucunda da erozyon duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 2).



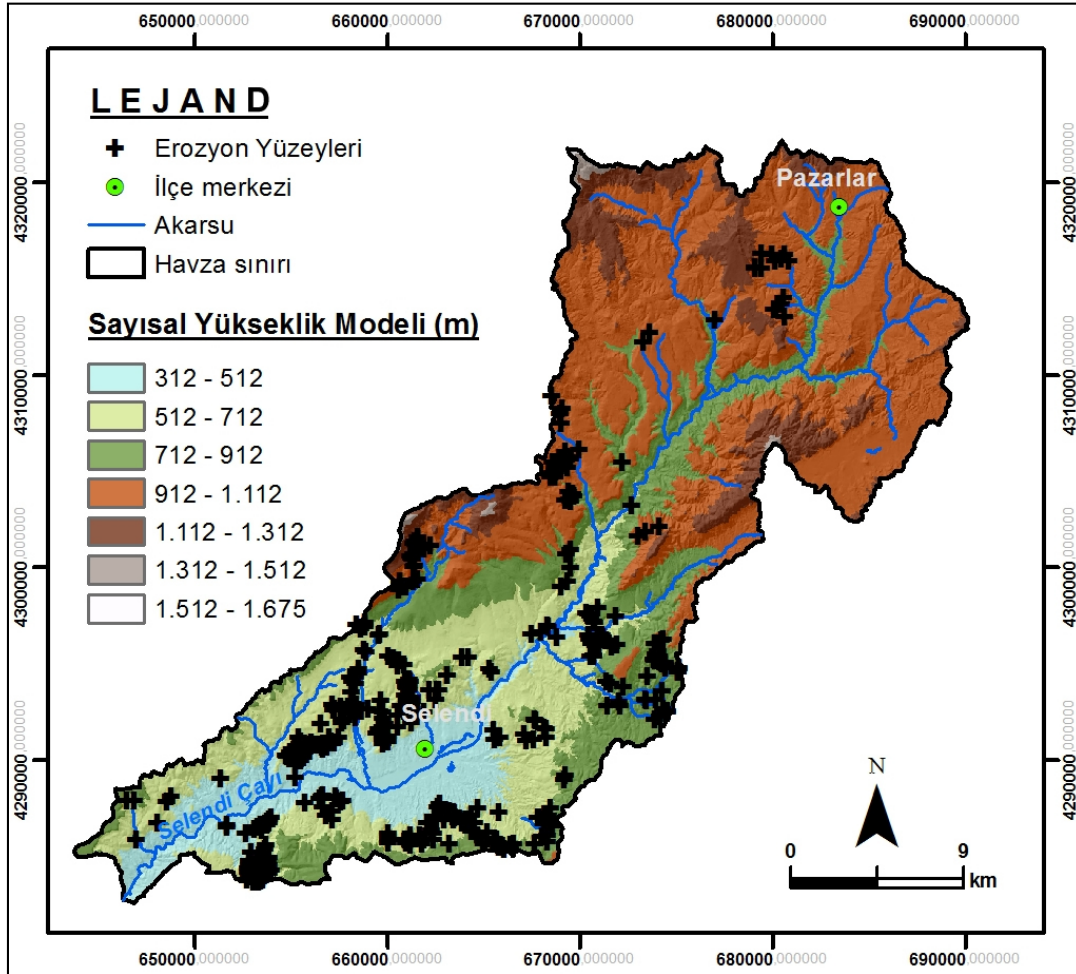
Şekil 2. Çok ölçütlü karar analizi yönteminde izlenen iş akış şeması.

3. Analiz ve Bulgular

Araştırma alanında gelişen erozyon yüzeylerinin, erozyon duyarlılık analizinde envanter verisi olarak kullanılması amacıyla; erozyon yüzeyleri, ayrıntılı arazi gözlemleri ve uydu görüntüsü yardımıyla tespit edilmiştir. Envanter verisi oluşturulmasında Clark (1980) tarafından önerilen erozyon yüzeyleri sınıflaması kullanılmıştır. Clark (1980), arazide erozyonu değerlendirmek için farklı erozyon yüzeyleri tanımlamıştır. Clark (1980) tarafından, arazide erozyonun kanıtı olarak gösterilen özellikler şunlardır: toprak hareketi, yüzey döküntüsünün yer değiştirmesi, köklerin açığa çıkmasının

ölçüsü, ana kayanın açığa çıkmasının ölçüsü, yüzeysel akış şekillerinin oluşumu, rill erozyonu oluşumu, gully erozyonu oluşumu, farklı kütle hareketi türlerinin oluşumudur. Bu doğrultuda, araştırma alanında 434 tane lokasyonda erozyon yüzeyleri tespit edilerek, koordinatları alınmıştır (Şekil 3, Foto 1).

Araştırma alanında en çok kayıt altına alınan erozyon yüzeyi 119 ile rill erozyonudur. 105 adet lokasyonda gully erozyonu, 97 adet erozyonla açığa çıkmış bitki kökü, 40 adet yüzey döküntüsünün yer değiştirmesi, 32 adet heyelan ya da kütle hareketi, 19 adet ana kayanın açığa çıktığı lokasyon, 16 adet yüzeysel akış şekillerinin oluşumu ve 6 adet toprak hareketi tespit edilmiştir.



Şekil 3. Araştırma alanında tespit edilen erozyon yüzeylerinin lokasyonu.

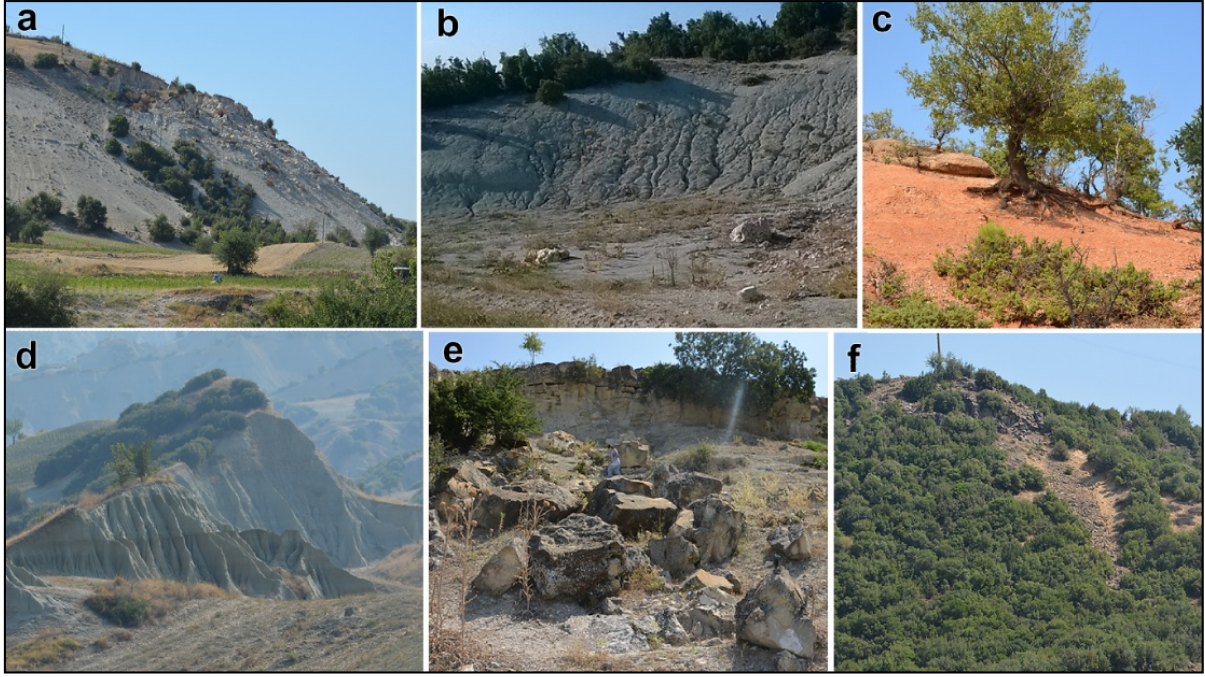


Foto1. Araştırma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeylerine bazı örnekler **a)** Heyelan **b)** Rill **c)** Erozyonla açığa çıkmış ağaç kökleri **d)** Gully **e)** Kaya düşmesi **f)** Taş akmaları

Erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin her biri ile arazide kayıt altına alınan erozyon yüzeyleri karşılaştırılmış, erozyon yüzeylerinin parametrelerin hangi alt sınıflarına tekabül ettikleri belirlenmiştir. Böylece, her bir parametrenin alt sınıfları ile erozyon yüzeyleri arasındaki mekânsal ve istatistiksel ilişkiler ortaya konulmuştur. Araştırma alanında, kayıt altına alınan erozyon yüzeylerinin, erozyon duyarlılık analizinde kullanılacak parametre sınıflarına sayısal ve oransal dağılımı Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'de verilen her bir parametredeki erozyon yüzeylerinin oluşum sıklığı, bunlarla ilgili istatistiksel analizler ve arazi gözlemleri dikkate alınarak, analitik hiyerarşi süreci uygulanmıştır. Diğer bir deyişle, sadece uzman görüşüne dayalı bir önem derecelendirmesi yapılmamış parametrelerin alt sınıflarının ve kendi aralarındaki ağırlıklandırma araziden toplanan veriler ile bunların istatistiksel analizlerinin sonuçları doğrultusunda yapılmıştır.

Çizelge 1. Erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametreler ve araştırma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeylerinin bu parametre sınıflarına dağılımı.

Parametreler	Parametrelerin Alt Sınıfları	Erozyon Yüzeyle Pksel Sayısı		Alandaki Pksel Sayısı	
		Sayı	%	Sayı	%
Litoloji	Eşme Formasyonu: Gnays, şist	25	5.76	880981	12.41
	Kızılcasöğüt Formasyonu: Dolomit	0	0.00	1805	0.03
	Vezirler Melanjı: Melanj	0	0.00	109880	1.55
	Kürtköy Formasyonu: Konglomera, kumtaşı	0	0.00	27603	0.39
	Yeniköy For.: Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kalker	0	0.00	1395733	19.66
	Dikendere Volkanitleri: Riyolit, riyodasit, tüf	3	0.69	65958	0.93
	Ulubey Formasyonu: Gölsel kalker	87	20.00	803930	11.33
	Karaboldere V.:Riyolit, trakiandezit, andezit, tüf, aglomera	16	3.69	414815	5.84
	Beydağı Volkanitleri: Andezitik Tüf	44	10.14	857851	12.09
	Beydağı Volkanitleri: Andezit	33	7.60	536772	7.56
	Ahmetler F. (Gedikler Üyesi): Kiltası, silttaşı, tüfit	41	9.45	304971	4.30
	Ahmetler F.(Balçıklıdere Ü.):Konglomera, tüfit, kiltası, marn, kalker	168	38.71	1240592	17.48
	Asartepe Formasyonu: Konglomera, kumtaşı	12	2.76	96922	1.37

	Elektepe Volkanitleri: Bazalt	5	1.15	84514	1.19
	Alüvyon	0	0.00	275309	3.88
Ayrışma Derecesi	Çok ayrılmış	77	17.74	1379872	19.27
	Orta derecede ayrılmış	268	61.75	3913819	54.65
	Az ayrılmış	89	20.51	1867611	26.08
Eğim (%)	0-1	0	0.00	34372	0.48
	1-3	2	0.46	226998	3.17
	3-5	4	0.92	334553	4.67
	5-10	10	2.30	984424	13.75
	10-15	24	5.53	997960	13.94
	15-25	52	11.98	1695456	23.68
	25-33	65	14.98	1063003	14.84
	33-50	149	34.33	1365182	19.06
	<50	128	29.49	459357	6.41
Bakı	Kuzey, Kuzeydoğu, Kuzeybatı	50	11.52	1470923	20.54
	Güney, Güneydoğu, Güneybatı	148	34.10	1938184	27.06
	Doğu	85	19.59	1855978	25.92
	Batı	151	34.79	1896220	26.48
Yamaç Şekli	İçbükey	33	7.60	3525924	49.24
	Dışbükey	266	61.29	2578843	36.01
	Düz	135	31.10	1056536	14.75
Topografik Nemlilik İndeksi	Düşük	4	85.02	3906599	54.55
	Orta	61	14.06	2784207	38.88
	Yüksek	369	0.92	470498	6.57
Bitki Örtüsü	Diğer (Tarım alanı, kayalık, boş)	326	75.12	2768837	50.8
	Çalı Formasyonu	24	5.53	1908480	20.2
	Ot Formasyonu	62	14.29	664143	9.3
	Orman Formasyonu	22	5.07	1818835	19.7
Arazi Örtüsü	Tarım alanı	329	75.81	2875903	40.16
	Otlak, çayır, bozkır	62	14.29	664143	9.28
	Bitki örtüsü	36	8.29	3085518	43.09
	Tarım alanı-Otlak	1	0.23	386573	5.40
	Yerleşim alanı	1	0.23	101150	1.41
	Kayalık, taşlık	5	1.15	14164	0.20
	Su	0	0.00	32844	0.46
Drenaj Yoğunluğu	Düşük	235	54.15	1540604	21.51
	Orta	93	21.43	3389804	47.34
	Yüksek	106	24.42	2230896	31.15
Akarsu Güç İndeksi	Düşük	64	14.75	4474588	62.48
	Orta	354	81.57	2346426	32.77
	Yüksek	16	3.69	340291	4.75
Aşındırıcı Güç İndeksi	Düşük	25	5.76	2373074	33.14
	Orta	48	11.06	968922	13.53
	Yüksek	361	83.18	3819309	53.33
Drenaj Hatlarına Uzaklık	Yakın	174	40.09	3352867	46.82
	Orta	204	47.00	2621337	36.60
	Uzak	56	12.90	1187101	16.58

Araştırma alanında tespit edilen 434 tane erozyon yüzeyinin erozyon duyarlılık analizlerinde kullanılan parametrelerin sınıflarına dağılımı ile ilgili standart sapma ve varyansları hesaplanarak Çizelge 2'de sunulmuştur. Standart sapmanın düşük olması erozyon yüzeylerinin ilgili parametrenin sınıflarına nispeten daha homojen dağıldığı, dolayısıyla o parametrenin erozyon duyarlılığı konusunda diğerlerine göre öneminin düşük olduğunu gösterir. Standart sapmanın yüksek olması ise tam tersine erozyon yüzeylerinin söz konusu parametrenin sınıflarına homojen dağılmadığını, özellikle belli sınıflarda toplandıklarını, dolayısıyla o parametrenin erozyon duyarlılığı konusunda diğerlerine göre daha önemli olduğuna işaret eder. Örneğin standart sapma değeri en yüksek çıkan parametre Topografik Nemlilik İndeksidir (TNI) (Çizelge 3). Çizelge 1'den anlaşılacağı üzere erozyon yüzeylerinin 369 tanesi yani % 85 gibi büyük bir kısmı TNI'nin düşük sınıfına tekabül etmiştir.

%14.1'i orta sınıfına tekabül ederken, yüksek sınıfına tekabül eden erozyon yüzeyi oranı % 1'i bile bulamamıştır. Erozyon yüzeylerinin TNI'nın düşük sınıfında bu derece yoğun olması bu parametrenin araştırma alanının erozyon duyarlılığında diğer parametrelere nispeten daha önemli olduğuna işaret etmektedir. Eğer TNI'nın üç sınıfında da hemen hemen benzer miktarlarda erozyon yüzeyleri olsaydı, bu araştırma alanında erozyon yüzeylerinin TNI'nın bütün sınıflarında görülebileceği dolayısıyla erozyon duyarlılığı konusunda çok da önemli bir parametre olmadığı şeklinde yorumlanabilirdi.

Çizelge 2. Erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametreler ve araştırma alanında kayıt altına alınan erozyon yüzeylerinin standart sapma ve varyans değerleri.

Parametre	Sınıf Sayısı	Sayı		%	
		Standart Sapma	Varyans	Standart Sapma	Varyans
Baki	4	49.47	2447.00	11.40	130.09
Litoloji	15	44.56	1985.72	10.27	105.44
Ayrışma Derecesi	3	106.98	11444.33	24.69	609.72
Drenaj Hatlarına Uzaklık	3	78.24	6121.33	18.03	325.04
Aşındırıcı Güç İndeksi	3	187.70	35232.33	43.24	1869.54
Akarsu Güç İndeksi	3	182.87	33441.33	42.16	1777.50
Drenaj Yoğunluğu	3	78.50	6162.33	18.08	326.73
Arazi Kullanımı	7	120.07	14416.67	27.66	765.33
Bitki Formasyonu	4	147.26	21685.67	33.92	1150.90
Topografik Nemlilik İndeksi	3	196.36	38556.33	45.23	2045.64
Profil Yamaç Eğriselliği	3	116.80	13642.33	26.92	724.66
Eğim	9	56.22	3160.19	12.95	167.65

Çok ölçütlü karar analizi (ÇÖKA), yapısı gereği karmaşık olan ve çok disiplinli veritabanları üzerine kurulan çevresel sorunları daha anlaşılabilir daha küçük parçalara bölmeyi, her bir parçayı kendi içinde analiz etmeyi ve bu parçaları anlamlı bir çözüm üretebilmek için mantıksal bir çerçevede bir araya getirmeyi kapsamaktadır (Malczewski, 1999; Huang vd., 2011). ÇÖKA yönteminin en önemli aşaması kriter ağırlıklarını belirlemektir. Çünkü analiz sonucunda elde edilecek sonuç harita bu ağırlıklara göre oluşturulmaktadır. Parametre ağırlıklarında yapılan ufak değişiklikler bile sonucun farklılaşmasına yol açmaktadır. Ağırlık değeri, analize girecek bir parametreye atanan ve diğer parametrelere göre göreceli önemi ifade eden bir değerdir (Malczewski, 1999). Derecelendirme (ranking), puanlama (rating), ikili karşılaştırma (pair-wise comparison) ve ödün verme analizi (trade of analysis) olmak üzere dört farklı ağırlık belirleme yöntemi bulunmaktadır (Akgün, 2007). Yöntemin en önemli aşaması olan her bir parametreye ve parametrelerin alt sınıflarına ait ağırlık değerlerinin bulunmasında ikili karşılaştırma yöntemi (analitik hiyerarşi süreci) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında parametrelerin ağırlıklarını belirlemek için ikili karşılaştırma yöntemi tercih edilmesinin sebebi; literatürdeki eğilimlerin yanı sıra, parametreleri ağırlıklandırma işleminde erozyon yüzeyleri ile bu yöntemin entegrasyonundaki avantajları olmuştur. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak parametrelerin ve parametrelerin alt sınıflarının ağırlıklandırılması işlemi; erozyon yüzeyleri verisine (Çizelge 1, Çizelge 2) dayandırılmıştır.

Analitik hiyerarşi süreci ile bir problemin çözülmesi, ikili karşılaştırmaları yapılan parametrelerin ağırlıkları ya da öncelikleri kullanılarak yapılır. Ağırlık veya önceliklerin belirlenmesi karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bunun için matrisin her bir sütun elemanı ait olduğu sütun toplamına bölünerek normalize edilir. Elde edilen matristeki satır elemanları toplanır ve toplam değer satırdaki eleman sayısına bölünür. Böylelikle öncelik vektörü ya

da ağırlık vektörü elde edilmiş olur (Tombuş, 2005). Araştırmada, parametre ağırlıklarının ve tutarlılık oranlarının hesaplanması sürecindeki yoğun hesaplamaları kolaylaştırmak için internetten ücretsiz olarak temin edilebilen “Analytic Hierarchy Template” uygulaması kullanılmıştır. 1'den 9'a kadar değişen değerlere sahip bir önem ölçeği vasıtasıyla ikili karşılaştırmalar yapılmıştır (Çizelge 3). Bu yöntem ile elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri ve bu matrislerden elde edilen ağırlık değerleri Çizelge 4'de sunulmuştur. Yöntemin en önemli aşaması olan ikili karşılaştırmalar yapılırken, Çizelge 1'de verilen erozyon yüzeylerinin oluşum sıklığı değerleri, Çizelge 2'deki standart sapma ve varyans değerleri ve ayrıntılı arazi gözlemleri göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 3. İkili karşılaştırmada kullanılan önem ölçeği.

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit derece önemli
2	Eşit-orta derece önemli
3	Orta derece önemli
4	Orta-yüksek derece önemli
5	Yüksek derece önemli
6	Yüksek-çok yüksek derece önemli
7	Çok yüksek derecede önemli
8	Çok yüksek-aşırı yüksek derecede önemli
9	Aşırı yüksek derecede önemli

Kaynak: Saaty, 1980

Her bir parametreye ait ağırlıklar (öncelikler), ikili karşılaştırma matrisine bağlı olarak hesaplanmıştır. Ağırlık hesaplamaları için kullanılan matris oluşturulurken, yapılan karşılaştırmaların tutarlılığı test edilir. Bu amaç için Saaty (1980) tarafından aşağıdaki formülle hesaplanan bir “Tutarlılık Oranı (TO)” kullanılır ve 0.1'den (% 10'dan) büyük olmamasına dikkat edilir. Sınır değerinden büyük çıkması durumunda ise yeniden ağırlıklandırma yapılması gerekmektedir (Tombuş, 2005).

$$T.O.=T.İ/R.İ$$

$$T.İ.=(\lambda_{\max}-n)/n-1$$

Burada:

T.O.: Tutarlılık oranı T.İ.: Tutarlılık indeksi

R.İ.: Rastgele indeksi göstermektedir.

λ_{\max} : ikili karar matrisinin en büyük özdeğerine karşılık gelen özvektördür.

Çizelge 4. Çok ölçütlü karar analizinde kullanılan parametrelerin alt sınıflarının yüzde önem ağırlıkları ve tutarlılık oranları.

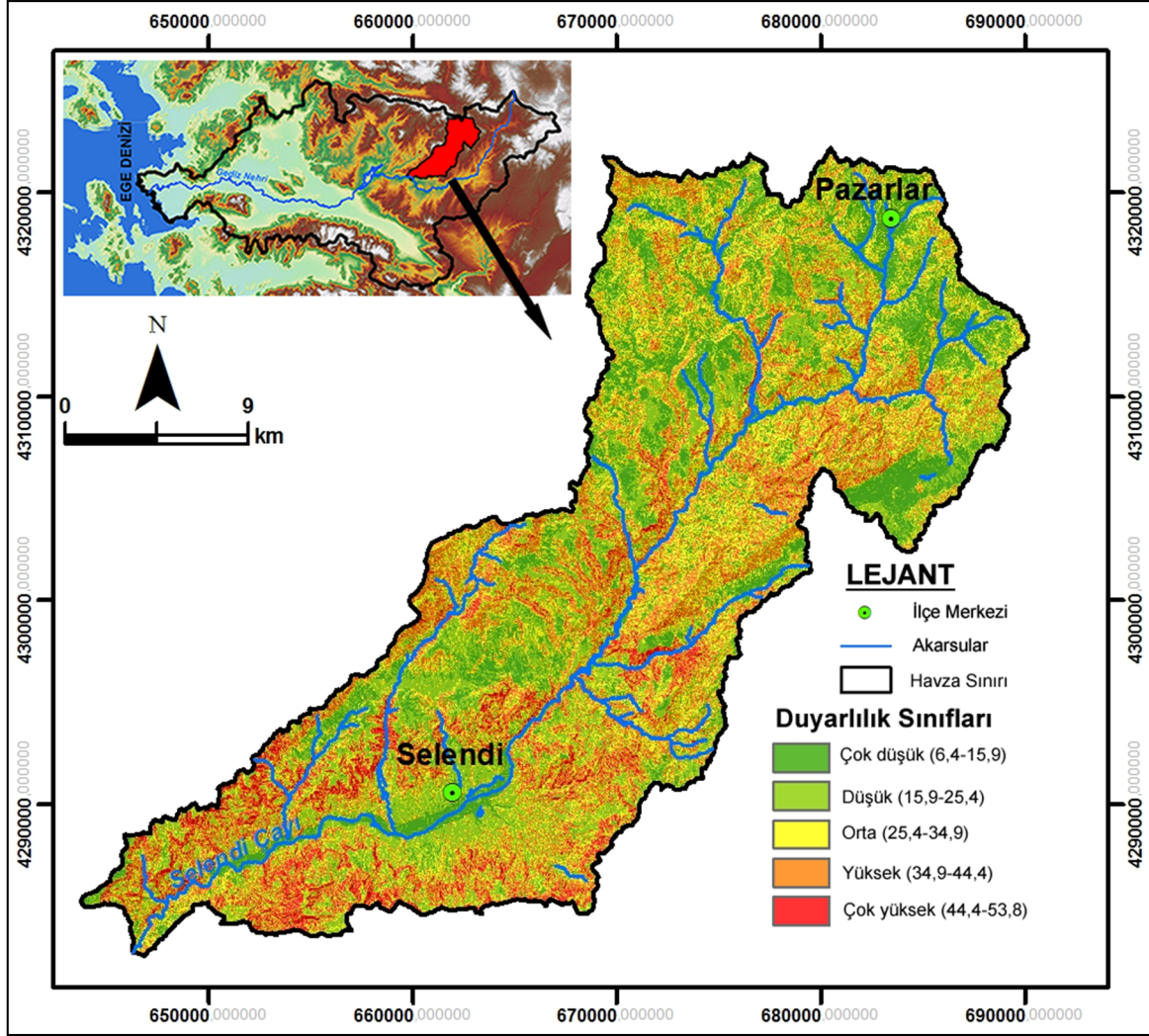
PARAMETRELER	ALT PARAMETRELER	AĞIRLIK (%)
Litoloji	Gnays, şist (Paleozoik)	2.5
	Dolomit (Jura)	1.9
	Melanj (Kretase)	1.9
	Konglomera, kumtaşı (Alt Miosen)	1.9
	Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kalker (Orta Miosen)	1.9
	Riyolit, riyodasit, tuf (Orta Miosen)	2.9
	Gösel kalker (Üst Miosen)	9.2
	Riyolit, trakiandezit, andezit, tuf, aglomera (Üst Miosen)	3.7
	Andezitik Tuf (Üst Miosen)	6.5
	Andezit (Üst Miosen)	4.9
	Kiltası, silttaşı, tüfit (Üst Miosen)	22.6
	Konglomera, tüfit, kiltası, marn, kalker (Üst Miosen)	22.6
	Konglomera, kumtaşı (Pliokuaterner)	13.7
	Bazalt (Kuaterner)	2.0
	Alüvyon (Kuaterner)	1.9
	Tutarlılık Oranı	6
Ayrışma Derecesi	Çok ayrılmış	23.2
	Orta derecede ayrılmış	66.6
	Az ayrılmış	10.2
	Tutarlılık Oranı	2
Eğim	0-1	2.6
	1-3	3.1
	3-5	3.8
	5-10	4.9
	10-15	6.5
	15-25	9.1
	25-33	13.4
	33-50	21.2
	<50	35.4
	Tutarlılık Oranı	5
Bakı	Kuzey, Kuzeydoğu, Kuzeybatı	5.4
	Güney, Güneydoğu, Güneybatı	30.1
	Doğu	8.3
	Batı	56.2
	Tutarlılık Oranı	3
Yamaç Şekli	İç Bükey	6.7
	Dış Bükey	62.1
	Düz	31.3
	Tutarlılık Oranı	0
Topografik Nemlilik İndeksi	Yüksek	80.9
	Orta	10.0
	Düşük	9.1
	Tutarlılık Oranı	0
Bitki Örtüsü	Diğer (Tarım alanı, kayalık, boş)	54.0
	Çalı Formasyonu	11.4
	Ot Formasyonu	28.4
	Orman Formasyonu	6.1
	Tutarlılık Oranı	8
Arazi Örtüsü	Tarım alanı	20.6
	Otlak, çayır, bozkır	12.4
	Bitki örtüsü	8.8
	Tarım alanı-Otlak	5.2
	Yerleşim alanı	3.8

	Kayalık, taşlık	45.8
	Su	3.5
	Tutarlılık Oranı	8
Drenaj Yoğunluğu	Düşük	50.0
	Orta	20.8
	Yüksek	29.2
	Tutarlılık Oranı	5
Akarsu Güç İndeksi	Az	18.8
	Orta	73.4
	Çok	7.8
	Tutarlılık Oranı	1
Aşındırıcı Güç (Erozivite) İndeksi	Düşük	8.2
	Orta	12.4
	Yüksek	79.4
	Tutarlılık Oranı	8
Drenaj Hatlarına Uzaklık	Yakın	24.3
	Orta	69.0
	Uzak	6.7
	Tutarlılık Oranı	7

Analitik Hiyerarşi Yöntemi; Topografik nemlilik indeksi, Aşındırıcı güç indeksi, Akarsu güç indeksi, Bitki örtüsü, Arazi kullanımı, Yamaç şekli, Ayrışma derecesi, Drenaj hatlarına uzaklık, Drenaj yoğunluğu, Eğim, Bakı, Litoloji parametreleri dikkate alınarak uygulanmıştır. Yöntem kapsamında uygulanan ikili karşılaştırmalar yoluyla parametreler birbirleriyle karşılaştırılarak ağırlık değerleri (katsayılar) atanmıştır. Bunun sonucunda her bir parametre için elde edilen ağırlıklar ve tutarlılık oranı Çizelge 5'de verilmiştir. Bu ağırlık değerleri ArcGIS 10.2 yazılımının “Spatial Analyst Tools” modülündeki analiz araçlarından biri olan Raster Calculator yardımıyla analiz edilerek araştırma alanın erozyon duyarlılık indeks haritası elde edilmiştir. Son olarak elde edilen harita eşit aralık yöntemiyle çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere sınıflandırılmıştır (Şekil 4).

Çizelge 5. Erozyon duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin analitik hiyerarşi yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı.

PARAMETRELER	Topografik Nemlilik İ.	Aşındırıcı Güç İ.	Akarsu Güç İ.	Bitki örtüsü	Arazi kullanımı	Yamaç şekli	Ayrışma derecesi	Drenaj hat Uzaklık	Drenaj yoğunluğu	Eğim	Bakı	Litoloji	Ağırlık değeri (%)
Topografik Nemlilik İ.	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	18.7
Aşındırıcı Güç İ.	1	1	2	2	2	3	4	5	6	7	8	9	21.0
Akarsu Güç İ.	1	1/2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	8	15.3
Bitki örtüsü	1/2	1/2	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	11.1
Arazi kullanımı	1/2	1/2	1/2	1	1	1	2	3	4	5	6	7	9.5
Yamaç şekli	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1	1	2	3	4	5	6	6.6
Ayrışma derecesi	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	1	1	1	2	3	4	5	5.0
Drenaj hat Uzaklık	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/2	1	1	1	2	3	4	3.7
Drenaj yoğunluğu	1/6	1/6	1/6	1/4	1/4	1/3	1/2	1	1	1	2	3	2.9
Eğim	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1	1	2	2.4
Bakı	1/8	1/8	1/8	1/6	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1	2	2.0
Litoloji	1/9	1/9	1/9	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1/2	1	1.7
Tutarlılık Oranı													% 2



Şekil 4. Erozyon duyarlılık analizi.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada; erozyon duyarlılık analizlerinde yaygın olarak tercih edilen “çok ölçütlü karar analizi” yönteminin uygulanmasında daha güvenilir sonuçların elde edilmesi için “erozyon yüzeyleri envanteri” yönteminin Selendi Çayı Havzası’nda örnekleme yapılmıştır. Erozyon yüzeyleri yöntemi; parametrelerin araştırmacılar tarafından ağırlıklandırılmasını gerektiren her türlü duyarlılık analizi uygulamalarında kullanılabilir.

Erozyon yüzeyleri yöntemi; erozyon duyarlılık analizi için kullanılan parametrelerin, önceki çalışmalara atıf yaparak veya sadece uzman görüşüne dayalı olarak masa başında ağırlıklandırılmasına dayanan sübjektif ve tartışılabilir olmasını engelleyerek, parametrelerin ağırlıklandırılmasının arazi çalışmaları ile toplanan verilere ve bunların istatistiksel analizi ile elde edilen güvenilir ve objektif kriterler olmasına imkân vermektedir. Dolayısıyla yöntem konuyla ilgili çalışmalara ek arazi çalışmaları, maliyet, istatistiksel analizler gibi fazladan işler çıkarmasına rağmen erozyon duyarlılık çalışmalarına objektiflik ve bilimsellik kattığı için kullanılması önemlidir.

Çalışmalarda kullanılacak minimum erozyon yüzeyi sayısı araştırma alanının boyutlarına göre değişebilmekle birlikte araştırma alanının bütünü temsil edebilecek sayıda ve nitelikte olmasına özen gösterilmesi gerekmektedir. Bu açıdan araştırmacıların araziye çıkmadan evvel çalışma alanlarının genelini hava fotoğrafları, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile tarayarak erozyon yüzeylerinin muhtemel alanları tespit etmeleri, araştırma alanını temsil edebilecek sayıda ve araştırma alanının geneline dağılmış şekilde erozyon yüzeyi kayıt altına almaları bunları kullanarak yapacakları analizlerin daha doğru sonuçlar vermesini sağlayacaktır.

Teşekkür

52039 nolu doktora tez projesi kapsamında desteğini gördüğümüz İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

Referanslar

- Agnesi, V.; Angileri, S.; Cappadonia, C.; Conoscenti, C.; Rotigliano, 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 İncelenmesi*, Basılmamış Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi 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.
- Angileri, S.E. (2012) *Water Erosion Prediction by Stochastic and Empirical Models in the Mediterranean: A Case Study in Northern Sicily (Italy)*, Unpublished PhD Thesis, der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät Tübingen zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften, Tübingen.
- Avcı, V. (2016) "Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl) erozyon duyarlılık analizi", *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 26, 170-193.
- Avcı, V.; Sunkar, M.; Toprak, A. (2017) "Malatya kuzeydoğusunda Ballı ve Memikhan Dereleri arasındaki sahanın erozyon duyarlılık analizi", *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27, 769-799.
- 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*, XXXX, 1904-1915.
- Crawford, A.R. (1975) *1/25000'lik 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.
- 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.
- Conforti, M.; Pietro, P.; Aucelli, P.P.C.; 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.
- Ercan, T., Günay, E., Dinçel, A., Türkecan, A., Küçükayman, A. (1980) *Kula-Selendi Yörelerinin Jeolojisi ve Volkanitlerin Jeolojisi*, MTA Raporu, No: 6801, Ankara.
- Haboudane, D.; Bonn, F.; Royer, A. (2007) "Evaluation and predictability of terrain susceptibility to hillslope erosion at the regional scale using DEM-derived indices and remotely sensed information", *Téledétection*, 7, 373-391.
- Huang, I.B., Keisler, J., Linkov, I. (2011) "Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten Years of applications and trends", *Science of the Total Environment*, 409 (2011), 3578-3594.
- Kheir, R.B.; Wilson, J.; Deng, J. (2007) "Use of Terrain Variables for Mapping Gully Erosion Susceptibility in Lebanon", *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 1770-1782.
- Malczewski, J. (1999) *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley & Sons, USA.
- Meyer, A.; Martinez-Casasnovas, J.A. (1999) "Prediction of existing gully erosion in vineyard parcels of the NE Spain: A logistic modelling approach", *Soil and Tillage Research*, 50, 319-331.
- 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, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R. (1991) "Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications", *Hydrological Processes*, 5, 3-30.
- Mueller, T.G.; Çetin, H.; Fleming, R.A.; Dillon, C.R.; Katathanasis, A.D.; Shearer, S.A. (2005) "Erosion probability maps: Calibrating precision agriculture data with soil surveys using logistic regression", *Journal of Soil and Water Conservation*, 60 (6), 462-468.
- Ogbonna, J.U.; Alozie, M.; Nkemdirim, V.; Eze, M.U. (2011) "GIS Analysis for Mapping Gully Erosion Impacts on the Geoformation of the Old Imo State, Nigeria", *ABSU Journal of Environment Science and Technology*, 1, 48-61.
- Ozoner, S. (1984) *Kula-Selendi Yörelerinin Jeomorfolojisi ve Morfo-tektoniği*, MTA Raporu, No: 7599, Ankara.
- Ozoner, S. (1988) *Kula ve Selendi Yörelerinin Jeomorfolojisi*, Basılmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, Jeomorfoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
- Raissouni, A.; Issa, L.K.; 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.
- Ronghua, Z.; Liu, X.; Heathman, G.C.; 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.
- Saaty, T.L. (1980) *The Analytical Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York.
- Sönmez, M.E.; Çelik, M.A.; Seven, M. (2013) "Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama yardımıyla Kilis Merkez İlçesinin erozyon risk alanlarının belirlenmesi", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10 (1), 1-21.
- 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.
- Tombuş, F.E. (2005) *Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Risk Belirlemesine Yeni Bir Yaklaşım, Çorum İli Örneği*, Anadolu Üniversitesi, Basılmamış YL Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Eskişehir.