



Ekoloji
17, 65, 11-20
2007

Tuzla Çayı Havzasında (Biga Yarımadası) CBS-Tabanlı RUSLE Modeli Kullanarak Arazi Degradasyonu Risk Değerlendirmesi

Şermin TAĞIL

Balıkesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü,

BALIKESİR

Özet

Bu çalışmanın amacı, Batı Anadolu'nun KB sındaki Biga Yarımadası'ndaki Tuzla Çayı havzasının uzaktan algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknikleri kullanarak arazi degradasyonunu ve erozyon riskini ortaya koymak ve erozyon riski üzerine arazi kullanımı-azali örtüsü (AKAÖ) değişikliklerinin etkisini araştırmaktır. Bu çalışmada, havzadaki toprak kaybının tespitinde toprak kaybı modeli (Revised Universal Soil Loss Equation -RUSLE) kullanılmıştır. Modeldeki dinamik arazi örtüsü parametresi, Landsat TM 1987 ve Landsat ETM+ 2000 çok bantlı sensor sitemlerinden elde edilen uzaktan algılama verileri kullanılarak yapılmıştır. Erozyon modeli, yüksek toprak erozyon risk gruplarında arazi örtüsündeki değişime bağlı olarak 1987 yılından 2000 yılına kadar artış olduğunu göstermektedir. Tuzla Çayı havzasında arazi degradasyonunda artış eğilimi olduğu belirlenmiştir. şimdiki arazi yönetimi ve kullanımı devam ettiği sürece arazi degradasyonunun kritik seviyeyi aşması muhtemeldir. Bu çalışma, toprak erozyon risk tahminlerinde CBS ve UA tekniklerinin kullanılmasının önemli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Arazi degradasyonu, CBS, RUSLE, toprak kaybı, Tuzla havzası.*

Land Degradation Risk Assessment for Tuzla Creek Basin (Biga Peninsula) Using a GIS- Based RUSLE Model

Abstract

The objectives of this study are to identify land degradation and erosion risk by using Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques, and to investigate impacts of land-use and land-cover (LULC) change on erosion risk in the Tuzla Creek Basin in the Biga Peninsula which is located NW part of Western Anatolia. In this paper, the soil loss model (Revised Universal Soil Loss Equation-RUSLE) was used to quantify soil loss in the basin. The dynamic landcover parameter in the model is carried out by using remotely sensed data from Landsat TM 1987 and Landsat ETM+ 2000 multi-spectral sensor systems. The erosion model predicts an increase in the amount of severe soil loss risk categories in the study area from 1987 to 2000, as a result of land cover changes. An increasing trend in land degradation has been observed along the Tuzla Creek Basin. If present landuse and land management practices continue, the land degradation will probably surpass critical level. This study shows that GIS and RS techniques are important for soil erosion risk studies.

Keywords: *GIS, land degradation, RUSLE, soil loss, Tuzla basin.*

GİRİş

Arazi degradasyonu farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Arazi degradasyonunu, Wasson (1987) arazinin insanlar için daha az kullanışlı hale gelmesi; De Kimpe ve Warkentin (1998) ise daha özel olarak ekosistemlerdeki toprağın uygun değer işlevini yerine getirememesi olarak tanımlamıştır. Arazi degradasyonu arazinin sürdürülebilir kullanımı dikkate alınmadan kullanılmasının bir sonucu olup en önemli nedeni, bütün dünyada üretimi artırmak yönünde olan tarımsal aktivitelere bağlı olarak yanlış veya aşırı insan etkinlikleri sonucu arazideki doğal dengelerin bozulmasıdır (Williams 1991). Gelişen dünyada insanların taleplerinin artmasına paralel olarak arazi degradasyonu önemli sorunlardan biri

olmuştur. Uzun zaman sürecinde gerçeğeşen bu arazi degradasyonu, günümüzde hem tarımı hem de doğal çevreyi tehdit eder duruma gelmiştir.

Arazi degradasyonunda toprak, su ya da rüzgâr ile uzaklaştırılmakta diğer bir deyişle erozyona uğramaktadır. Tabii ki erozyonu kolaylaştıran toprağın yapısal (fiziksel, kimyasal ve biyolojik) bozulmalarıdır. Bu bozulmalar da arazi degradasyonu olarak bilinmektedir. Sonuçta gerekeşen arazi degradasyonu, başlangıç evresinde ise geri döndürülebilir ancak ilerleyen zaman diliminde geri döndürülemez hale gelebilmektedir. Van Lynden (2000)'a göre arazi degradasyonunun şimdiki durumunun, bozulma oranının ve riskinin tespiti önemlidir. Bozulma oranının tespiti, son 5-10 yıllık

dönemde artan ya da azalan durum tespiti ile ortaya konulabilmektedir. Risk ise arazinin kullanımı ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak arazi degradasyonu riskini ortaya koymaktadır. Bozulma ve bunun sonucunda erozyonun nedenleri, ormanların yok edilmesi, aşırı otlatma, endüstrileşme, kentleşme ve yanlış tarım sistemlerinin uygulanmasıdır.

Akdeniz Bölgesi, yağışlı bir dönemin izlediği uzun kurak dönemin ve erozyona neden olan dik eğimli yamaçların olması nedeniyle arazi degradasyonuna ve dolayısı ile erozyona hassas bir bölgedir. Bu bölgede yılda hektara 1 tondan fazla olan çok yavaş bir toprak erozyonu olması durumunda dahi toprak, binlerce yıllık bir zaman diliminde geri dönüşü olmaz duruma gelmektedir (Grimm ve ark. 2002). Atalay (2002) tarafından da bir Akdeniz ülkesi olan Türkiye'de orman örtüsünün üçte ikisinin ortadan kaldırıldığı belirtilmiştir. Bunun bir sonucu olarak yılda 500 milyon ton kil ve mil boyutundaki malzeme deniz, göl ve barajlara taşınmaktadır (Atalay 2002).

Toprak kaybını ve dolayısıyla arazi degradasyonunu tespit ederken manüel metotları kullanarak analizler ve manipülasyonlar yapmak pahalı olup zaman kaybına neden olmakta; pratik olarak mümkün olmamaktadır (Aronoff 1989). 1970'lerin ortalarından beri arazi kullanımını ve değişimini belirlemede Landsat Multi-Spectral Scanner verileri kullanılmaya başlanmıştır (Anderson ve ark. 1976). Son on yıldır ise kaynak yönetiminde CBS'nin önemli bir araç olarak kullanıldığı görülmektedir (Hinton 1996).

Toprak kaybını belirlemede Universal Soil Loss Equation-USLE (Wischmeier 1978) ve bunun daha sonraki sürümü Revised Universal Soil Loss Equation-RUSLE (Renard ve ark. 1997) en çok kullanılan modellerdir. Bu yenilenmiş haliyle RUSLE sadece ekili alanlara değil, kentsel kullanım alanlarına, otlak alanlarına, otoyol setlerine ve hatta kömür yığınlarına da uygulanabilmektedir (Renard ve ark. 1991). Raster tabanlı CBS nin temel olduğu RUSLE, erozyon potansiyelini hücre temelli analiz etmektedir. Hem USLE hem de RUSLE faktör temelli modellerdir (Lafren ve ark. 1991). Bunun anlamı toprak kaybının miktarını belirleyen birden çok faktör analiz edilmekte ve birbirleri ile ilişkisi incelenmektedir. Bu çalışmada suya bağlı toprak kaybını belirlemede CBS tabanlı RUSLE (Wischmeier 1978, Renard ve ark. 1991) kullanılmıştır. RUSLE'nin toprak kaybı ile ilgili fikir verdiği

mutlak toprak kaybını vermediği bilinmesi gereken bir gerçektir. Diğer bir deyişle RUSLE, uzun dönemlik ortalama durumu vermektedir. Çalışmalar RUSLE'nin havzalardaki erozyon sınıflarını belirlemede başarılı bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır (Millward ve Mersey 1999). USLE ve RUSLE nin dışında CORINE (Coordination of Information on the Environment) toprak erozyon metodu da yaygın olarak kullanılmaktadır (Briggs ve ark. 1992).

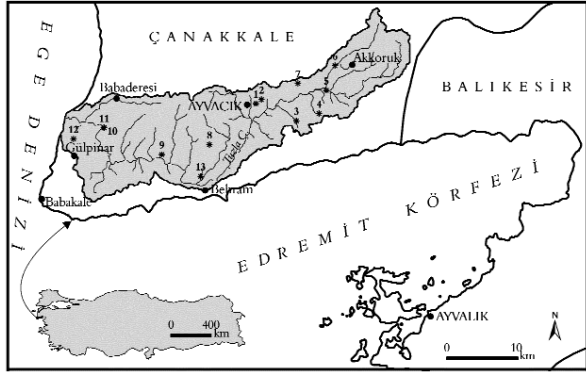
Erozyonun gözlenebilmesi için önemli bir zaman sürecinin geçmesi gerekmektedir. Ancak şu bir gerçektir ki, erozyonun şiddeti fark edildiğinde geri dönmek için çok geç olabilir. Bu nedenle toprakta erozyonun önlenmesi çalışmalarına daha erken dönemlerde başlanmalıdır. Bu çalışmanın amacı, Tuzla Çayı havzasında uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanarak arazi degradasyonu ve erozyon riskini ortaya koymak; erozyon riski üzerine arazi kullanımı değişikliklerinin etkisini araştırmaktır. Bu amaca ulaşılırken Coğrafi Bilgi Sistemlerinin uygulanabilirliğine, uydu görüntülerinin rolü ve uygulanabilirliğine; toprak koruma planlamalarında kritik alanların belirlenmesine ilişkin sorgulamalar yapılmıştır. Bu çalışmada vurgulanmak istenen, toprak parçalarının yüzeyinden akış, kanalcık (riller) ve kanallar aracılığı ile aşınması, taşınması ve depolanması sürecini kapsayan su ile olan toprak erozyonudur. Bu kapsamda erozyona uğrayan toprak akarsular ile havza dışına taşındığı için havzalar toprak kaybını belirlemede önemli birimlerdir (Millward ve Mersey 1999). Bu nedenle toprak erozyonunun analiz edildiği bu çalışmada öncelikle Tuzla Çayı havzasının sınırının belirlenmesi yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Batı Anadolu'nun kuzeybatısında Biga Yarımadası'ndaki Tuzla Çayı (Kocaçay) havzasını kapsamaktadır. Havza, Çanakkale ilinin sınırları içinde Edremit Körfezi'nin kuzey batısında yer almaktadır. Tuzla Çayı havzası, yaklaşık 507km² dir (Şekil 1). Bu çay, Gülpınar kuzeyinden küçük bir delta oluşturarak Ege Denizi'ne dökülmektedir. Tuzla Çayı havzasında yükselti farkı yaklaşık 900m'dir. Havzada DSİ'nin "Ayvacı" meteoroloji istasyonuna göre yıllık ortalama sıcaklık 13,0°C. (1976-1992); yıllık ortalama yağış miktarı 800 mm (1976-1992) kadardır.

Çalışma alanının doğal bitki örtüsünü meşe



Şekil 1. Tuzla Çayı havzasının konumu.

toplulukları ve *Pinus brutia* Ten (Kızılçam) oluşturmaktadır. Meşe topluluklarından *Quercus coccifera* L. (kermes meşesi), *Quercus ithaburensis* Decne. subsp. *macrolepis* (Kotschy) Hedge et Yalt. (palamut meşesi) ve *Quercus Infectoria* Oliv. (mazı meşesi) yaygın olarak gözlenmektedir. Maki örtüsünün tahrip edildiği yerlerde garig (frigana) formasyonu yaygınlaşmıştır.

Havzada en çok gözlenen toprak türleri İnseptisollardır. Bunu Entisollar ve Mollisollar izlemektedir (Tablo 1). Bu da havza genelinde toprakların gelişmekte olduğunu ve horizonlarının gelişmediğini göstermektedir (Efe 1999). A horizonunun altında doğrudan C horizonuna geçilmektedir. Bu nedenle de A horizonunun erozyonla uzaklaştırılması durumunda direk C horizonu açığa çıkmaktadır.

Havzamanın ana materyalini genel olarak Üst Miosen sedimanter formasyonlar (konglomera, kumtaşı ve kireçtaşı) ve Tersiyer volkanikleri (andezitler, dazit ve tüf) meydana getirmektedir (Soykan ve Atalay 2004). Akarsu ve kolları buzul döneminde deniz seviyesi değişmelerinin etkisiyle Ayvacık-Baba Burun arasındaki volkanik plato yüzeyine derin gömülmüştür (Bilgin 1969).

Havzada 33 yerleşmelerin en büyükleri Gülpınar ve Ayvacık'tır. Çalışma alanında Ayvacık, Paşaköy ve Tuzla ovaları başlıca düzlükleri oluşturur. Bu ovalardan Ayvacık ve Paşaköy'de tarım ve hayvancılık; Tuzla'da ise tarım halkın başlıca gelir kaynağını oluşturmaktadır. Hayvancılık faaliyetlerin yaygın ekonomik faaliyet olması nedeniyle otlama ve buna bağlı olarak bitki örtüsünün tahribi görülen en büyük sorunlardan biridir (Şekil 2). Hayvanlar büyüme aşamasındaki filizleri yediğinden doğal bitki örtüsünü maki oluşturan çalışma alanında, makilerin bodur çalılıklara dönüştüğü tespit edilmiştir. Çalışma alanında *Phillyrea latifolia* L.

(Akçakesme) ve meşeler aşırı otlamaya bağlı olarak otlama konilerine dönüşmüştür. Bu otlama konilerinde hayvanların ulaşmadığı yerlerde filizler büyümekte ve boyu birkaç metreyi bulan ağaççıklar ortaya çıkmaktadır (Şekil 2). Kısaca çalışma alanı otlama ve buna bağlı olarak toprak erozyon probleminin olduğu bir alandır (Şekil 3).

Materyal

Bu çalışmada 1:25000 ölçekli topografya haritaları temel harita olarak kullanılmıştır. Bu ölçek kapsamında çalışma alanını kapsayan J16b1, J16b2, J16a1, J16a2, J17d1, J17d2, J17d3, J17d4, J16d2, J16d3, J16d4, J16c1, J16c2, J16c3 ve J16c4 paftalar sayısallaştırılmış ve 10m çözünürlükte Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (Mitasova ve ark. 1996) oluşturulmuştur. Arazi kullanımı ve arazi örtüsünü belirleyebilmek amacıyla, güneş açısına ve bitki örtüsündeki farklılığına bağlı hataları ortadan kaldırmak için aynı döneme (yaz) ait 16 Haziran 2000 tarihli Landsat Enhanced Thematic Mapper

Tablo 1. Tuzla Çayı havzasında toprak tipleri.

Eski sınıflandırmaya göre büyük toprak grubu	Yeni toprak taksonomisine göre toprak grubu (Efe 1999, Atalay 2006)	Alan (km ²)	Alan (%)
N- Kireçsiz kahverengi orman toprakları	İnseptisollar	417	82,4
M- Kahverengi orman toprakları	İnseptisollar	42	8,2
R- Rendzinalar	Mollisollar	11	2,2
K- Kolüvyal topraklar	Entisollar	20	3,9
A- Alüvyal topraklar	Entisollar	12	2,4
Diğer alanlar (tırnak taşkın yatakları, kıyı kumulları vb.)		5	0,9
Toplam		507	100,0



Şekil 2. Tuzla Çayı havzasında aşırı keçi otlaması sonucu oluşmuş otlama konileri.



Şekil 3. Tuzla Çayı havzasında gerçekleşen erozyondan görüntüler.

Plus (ETM+) ve 5 Haziran 1987 tarihli Landsat Thematic Mapper (TM) uydu görüntüleri kullanılmıştır (Çözünürlük: 30 m). Landsat görüntüleriyle ilgili ayrıntılı bilgi Lauer ve ark. (1997) dan elde edilebilir. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan yağış verileri, yağışın erozyon üzerine etkisini ortaya koyabilmek amacıyla kullanılmıştır. GPS ile 43 farklı noktadan yersel veriler toplanmış ve arazi kullanımı sınıflandırması yapılırken dikkate alınmıştır. 2006 yılı nisan-haziran aylarında arazi gezilmiş; arazi kullanımının farklı olduğu alanlardan toplam 13 farklı noktadan 25 cm derinlikte profil açılmış ve toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 1, Tablo 2). Alınan örneklerle ilgili laboratuvar analizleri, Balıkesir Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünde yapılmıştır (Tablo 2).

Metot

Yıllık toplam toprak erozyon miktarını bulabilmek için RUSLE kullanılmıştır. RUSLE ile ilgili ayrıntılı bilgi Wischmeier (1978), Desmet ve Govers (1996), Renard ve ark. (1997) ve Okalp (2005)'ten elde edilebilir.

Havza Belirleme

SYM hidrolojik problemlerin çözümünde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle Tuzla Çayı havzası, 1:25000 ölçekli topografya haritalarından oluşturulan grid SYM ve ArcHydro (Anonymous 2005) yardımıyla tespit edilmiştir.

Modelin Yapısı

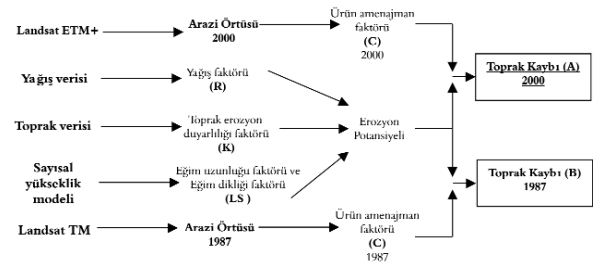
RUSLE aşağıdaki denklemi kullanmaktadır (Jabbar ve ark. 2005). Bu denklemde, "A" yıllık toprak kaybını ($t \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$), "R" yağış faktörünü ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) "K" toprak erozyon duyarlılığı faktörünü ($t \text{ ha} \text{ h} \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), "L" eğim uzunluğu faktörünü, "S" eğim dikliği faktörünü, "C" ürün amenajman faktörünü ve "P" Erozyon kontrol faktörünü ifade etmektedir. Çalışmanın akış şeması Şekil 4'te verilmiştir.

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Faktörlerin Oluşturulması

R faktörü, erozyon indeksi (EI30) sayıdır (Renard ve ark. 1997). Tuzla Çayı havzasındaki Meteoroloji istasyonlarında yağışın yoğunluğuna ilişkin veri toplanmadığından yağış erozyon faktörü Ayvacık meteoroloji istasyonunun 40 yıllık yağışları dikkate alınarak hesaplanmıştır (Yıllık ortalama: 800mm). Bu kapsamda R faktörü hesaplanırken aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Arnoldus 1977).

Bu formülde pi aylık ortalama, p yıllık yağış



Şekil 4. RUSLE analiz şeması.

Tablo 2. 13 farklı noktadan alınan toprak örneklerinin kimyasal ve fiziki özellikleri.

Profil No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Arazi kullanımı	O	T	Ç	O	Ç	O	Ç	Ç	Ç	Ç	Tr	Z	Z
Profil alındığı ytk. (m)	261	266	370	410	305	370	380	410	140	14	11	40	128
Ana materyal	Nk	Nk	Tv	Nk	Nk	M	Nk	Tv	Tv	A	A	Nk	Tv
Büyük toprak grubu	M	M	M	N	N	N	N	N	N	A	A	R	K
Kum (%)	55,9	47,3	45,3	53,7	47,4	60,9	58,8	68,7	86,5	30,3	58,0	61,4	48,4
Kil (%)	1,6	0,6	16,2	1,6	28,1	9,9	7,8	8,0	5,5	3,7	1,6	1,7	1,7
Silt (%)	42,5	52,1	38,5	44,7	24,5	29,2	35,4	23,4	8,0	65,9	40,4	36,9	49,9
Tecrübi/Bünye (%)	SL	Sil	L	SL	s.c.	SL	SL	SL	SL	Sil	SL	SL	SL
İşbu (%)	57,0	83,0	66,0	59,0	68,0	61,0	55,0	59,0	57,0	44,0	66,0	64,0	63,0
pH	7,8	8,1	6,7	7,0	7,6	7,4	6,7	5,5	6,2	7,6	7,6	7,9	7,6
Tuz (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2
Fosfor-P2O5 (Kg/dekar)	3,7	4,1	3,7	5,0	5,0	6,4	6,4	6,9	6,9	11,1	8,9	7,3	5,5
Potasyum-K2O (Kg/dekar)	32,2	64,4	29,8	25,3	27,6	27,6	41,4	16,1	27,6	13,8	75,9	58,6	52,9
Organik mad. (%)	1,7	1,6	1,3	1,6	0,6	0,9	1,6	1,1	1,6	0,6	1,3	2,6	2,9

O: Orman, Ç: Çalılış, Çı: Çıplak toprak ile taş yüzeyi, Tr: Tarım arazisi, Z: Zeytinlik
A: Allüvyon, Nk: Ust Miesen (konglomera, kumtaşı ve kireçtaşı), Tv: Terziyer volkanikler (anlazı, dası ve üf), M:Melanj
M: Kahverengi orman toprakları N: Kireçsiz kahverengi orman toprakları R: Rendzinalar
K: Kollüvyal topraklar A: Alüvyal topraklar
I: Tuz, Sil: Siltli toz, SL: Kumlu toz, SCL: Kumlu killi toz, LS: Tuzlu kum

göstermektedir.

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{1.5 \text{Log} p_i^2 / p - 0.8188}$$

K faktörü, Wischmeier (1978) tarafından geliştirilen toprağın silt+çok ince kum (%), kum (%), organik madde (%), strüktür ve geçirgenlik parametresini dikkate alan bir nomograf kullanılarak bulunmaktadı. Bunun dışında aşağıdaki eşitlik de K faktörünü vermektedir (Williams ve Renard 1972). Bu çalışmada K değeri için aşağıdaki eşitlik kullanılmış ve nomograf sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda farklılık gözlenmemiş ve aşağıdaki eşitliğin sonuçları analizlere dâhil edilmiştir.

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256Sd(1 - Si/100)]\} \times [Si/(Cl + Si)]^{0.3} \times \{1.0 - 0.25C/[C + \exp(3.72 - 2.95C)]\} \times [1.0 - 0.7(1 - Sd/100)] / \{1 - Sd/100 + \exp[-5.51 + 22.9(1 - Sd/100)]\}$$

Bu denklemde K, toprak erozyon duyarlılığı faktörü, Sd kum (%), Si Silt (%), Cl kil (%) ve C karbon-organik madde (%) dir. Williams ve Berndt (1972) e göre geçirgenlik için laboratuvar tayinleri gerekmemektedir. Geçirgenlik belirlenirken Williams ve Berndt (1972) dikkate alınmıştır.

$$LS(r) = (m + 1) [A(r) / a_0]^m [Sinb(r) / b_0]^n$$

LS faktörü, SYM kullanılarak hesaplanmıştır. LS faktörünü hesaplayabilmek amacıyla SYM den eğim (egim) ve ArcHydro ile akım yığılımı-flow accumulation (Fac) hesaplaması yapılmış ve aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Desmet ve Govers 1996, Mitasova ve ark. 1996).

Bu denklemde A(r) her bir eşyükselti eğrisi genişliğine katkı yapan üst eğim; b(r) derece olarak eğim; m ve n parametreler (Deneyssel olarak sırasıyla 0,6 ve 1,3 olarak belirlenmiştir); a₀ (22,1 m = 72,6 ft) uzunluk; b₀ (0,09 = %9 = 5,16 derece) standart USLE pilotunun eğimi. Bu denklem raster tabanlı olarak CBS ortamında aşağıdaki şekliyle kullanılmıştır.

$$1.6 * Pow\left(\frac{[Fac] * \text{çözünürlük}}{22.1, 0.6}\right) * Pow\left(\frac{[egim] * 0.01745}{0.09, 1.3}\right)$$

C faktörünün tespiti için arazi kullanımı ve arazi örtüsü, 1987 Landsat TM ve 2000 Landsat ETM+ uydu görüntüleri kullanılmıştır. Görüntü değerlendirilmesi "Hybrid supervised-unsupervised classification" tekniği ile yapılmıştır (Tağil 2006). Sınıfların değerlendirilmesinde tayf özelliklerinden, mevcut GPS verilerinden, arazi gözlemlerinden, halihazır arazi kullanımı haritalarından ve Orman Genel Müdürlüğü'nden elde edilen hava fotoğraflarından yararlanılmıştır. Sonuç olarak 8 farklı arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıfı elde edilmiştir. Bu sınıflar su yüzeyleri (kanallar, akarsular, tarım amaçlı su rezervleri), orman alanları, çalılık ve fundalıklar, zeytinlikler, otlaklar (meralar), yerleşme alanları (köy, kent, sanayi vb.), ekili-dikili tarım arazileri ve çıplak toprak ile taş yüzeyleridir. Bu kapsamda belirlenen arazi örtüsü ve arazi kullanımları için C faktörleri farklı literatür taranarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak C faktörü orman alanları, çalılık ve fundalık, zeytinlik, otlaklar, ekili-dikili tarım arazileri, yerleşme alanları, çıplak toprak ile taş yüzeyleri ve su yüzeyleri için sırasıyla, .002, .040, .090, .100, .300, .002, .500 ve .000 alınmıştır (Wischmeier 1978, Morgan 1996, Renard ve ark. 1997, Lee ve Lee 2006).

P faktörü, hâkim olan tarım sisteminin tanımlanmasıdır. Bu faktör tespit edilmediği durumlarda 1 kullanılmaktadır (Renard ve ark. 1991). Tuzla Çayı havzası için de bu faktör 1 alınarak denklemde göz ardı edilmiştir.

Yukarıda kısaca açıklanan faktörlerin ışığında $A = R * K * L * S * C * P$ formülü kullanılarak hem 1987 hem de 2000 yılı için ayrı ayrı toprak kaybı

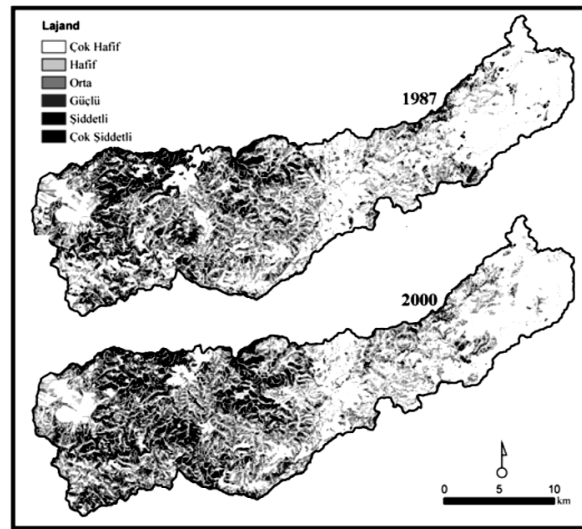
hesaplanmıştır. Bu çalışmada Bergsma ve ark. (1996) göre yapılmış olan erozyon potansiyeli risk kategorileri kullanılmıştır. Bunlar: çok hafif (Risk1 <5 t ha⁻¹ yıl⁻¹), hafif (Risk2, 5-12 t ha⁻¹ yıl⁻¹), orta (Risk3, 12-35 t ha⁻¹ yıl⁻¹), güçlü (Risk4, 35-60 t ha⁻¹ yıl⁻¹), şiddetli (Risk5, 60-150 t ha⁻¹ yıl⁻¹) ve çok şiddetli (Risk6 >150 t ha⁻¹ yıl⁻¹) dir. Analiz sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir.

BULGULAR

İnsanın doğayı kötü kullanmaya başlamasıyla yüzeysel akışın ve buna bağlı olarak erozyonun da arttığı bilinen bir gerçektir. Bu değişimi ortaya koyabilmek amacıyla 1987 ve 2000 yılları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Bu kapsamda çalışma alanında erozyon 0-98 528 (1987) ve 0-52 228 (2000) t ha⁻¹ yıl⁻¹ arasında değişmektedir. Ancak hem 1987 yılına ait hem de 2000 yılına ait maksimum değerler sırasıyla 98 528 t ha⁻¹ yıl⁻¹ ve 52 228 t ha⁻¹ yıl⁻¹ sadece 1 pikselde vardır; bu da 0,09 ha'dır. Daha genel olarak, her iki yılda 20 000 t ha⁻¹ yıl⁻¹ üzerinde ise 1987 yılında 45 piksel (4 ha); 2000 yılında 33 piksel (3 ha) bulunmaktadır. Yılda 10 000 t ha⁻¹ üzerinde ise 1987 yılında 135; 2000 yılında 131 piksel tespit edilmiştir. Bu da sadece 12 ha'dır. Bu uç değerler LS faktöründeki uç değerlerden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni de DEM'deki eğim kırıklıklarında ortaya çıkan problemin bir sonucu olmalıdır. Bu nedenle göz ardı edilebilir değerlerdir.

Tuzla Çayı havzasında 1987 ve 2000 yılları arasında toprak erozyon potansiyelinin erozyon risk kategorilerine dağılışı incelendiğinde, erozyon



Şekil 5. 1987 ve 2000 yıllarında Rusle yöntemine göre toprak erozyonu potansiyeli risk kategorileri.

riskinin araştırma dönemi boyunca arttığı görülmektedir (Tablo 3). Şöyle ki, söz konusu dönem içinde çok az ve az risk sınıfından normalin üstündeki sınıflara doğru kayma gerçekleşmiştir.

Erozyon oranındaki bu artış, aşırı otlatmanın neden olduğu arazi degradasyonunun bir sonucudur. Tuzla Çayı havzasında arazi kullanımı ve arazi örtüsünde meydana gelen değişimi ortaya koyan 1987 ve 2000 yıllarına ait Landsat verilerinin değerlendirilmesinde orman, çalılık ve fundalıklarda azalma; zeytinliklerde ve otlak alanlarında ise artış gözlenmektedir (Tablo 4, 5). Bu sonuç ve arazide yapılan çalışmalar, bir kısım arazinin zeytinliklere ve temel ekonomik faaliyet olan hayvancılık için önemli olan otlaklara çevrildiğini göstermektedir. Bununla birlikte arazinin bir kısmında çalılık ve fundalıklarda yapılan iyileştirme faaliyetleri sonucu meşe ormanlarının oluşturulması yönünde olumlu çalışmalar da bulunmaktadır. Ancak diğer yandan otlatmanın orman altında dahi devam etmesi ve ormandan otlatma ve tarım amaçlı yer açılması, olumsuz arazi kullanımı örnekleridir (Şekil 6).

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü bakımından havza iki kısma ayrılmaktadır. Tuzla Çayı'nın yukarı çığırında özellikle kollarından Kocaçay ve Akbaş Dere havzalarında ormanların iyileştirilmesi ve kısmen yeni politikalarla meşe ormanlarının oluşturulması faaliyetleri süregelmektedir. Ancak havzanın bu kısmında da maden ocakları ve mıcır işletmeleri araziye büyük zarar vermektedir. Tuzla Çayı'nın aşağı çığırında aşırı otlatmaya bağlı olarak arazinin açılması daha fazla ilerlemiştir. Toprak açısından toprağı işleme kadar aşırı otlatma da toprağın yapısını değiştirmektedir. Otlaklardaki aşırı otlatma toprağın fiziki, kimyasal ve biyolojik kalitesini etkilemektedir. Genel olarak değerlendirilecek olursa uydu görüntüleri ile tespiti zor olmakla birlikte otlak ekosisteminin kalitesinde bozulma olması da söz konusudur. Kısaca, araştırma dönemi boyunca genel olarak arazide açılım meydana gelmiştir (Tablo 4, 5).

Arazi kullanımı veya C faktörü erozyonun tespitinde önemli olduğu için hem 1987 hem de 2000 yılı için erozyon risk kategorilerinin arazi kullanımı ile ilişkisi kurulmaya çalışılmıştır (Tablo 4 ve 5). Erozyonun azaltılmasında taş yapısının durumu yağışın tutulmasında etkili rol oynadığından önemlidir. Bu nedenledir ki orman ve çalılıklarında erozyon riski daha düşüktür. Otlak ve çalılıklarda ise risk artmaktadır. Yukarıda

Tablo 3. 1987 ve 2000 yılları arasında toprak erozyon potansiyelinin erozyon risk kategorilerine (Bergsma ve ark. 1996) göre değişimi.

Aralık (t ha ⁻¹ yl ⁻¹)	Erozyon potansiyeli risk kategorileri	(%Alan)	
		1987	2000
0-5	Çok hafif (Risk1)	54,0	49,4
5-12	Hafif (Risk2)	11,5	11,3
12-35	Orta (Risk3)	14,1	16,2
35-60	Güçlü (Risk4)	5,4	6,6
60-150	Şiddetli (Risk5)	7,8	9,0
>150	Çok şiddetli (Risk6)	7,2	7,5

Tablo 4. 1987 yılında erozyon risk kategorilerinin arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ) sınıflarına göre değişimi (%).

1987	Risk1	Risk2	Risk3	Risk4	Risk5	Risk6	Toplam AKAÖ
Orman alanları	47,7	3,4	1,1	0,8	0,4	0,1	26,4
Çalılık ve fundalıklar	28,5	67,2	47,6	20,3	9,4	6,2	32,1
Zeytinlikler	1,3	1,2	1,5	1,1	0,4	0,1	1,1
Otlaklar	8,0	16,4	28,5	29,5	14,5	5,7	13,4
Yerleşme alanları	2,6	3,4	3,6	4,9	4,3	2,4	3,0
Ekili-dikili tarım arazileri	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Çıplak toprak ile taş yüzeyleri	11,7	8,4	17,7	43,5	71,1	85,6	23,8
Su yüzeyleri	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Toplam	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
% (Risk kat. /Toplam alan)	54,0	11,5	14,1	5,4	7,8	7,2	100,0

Tablo 5. 2000 yılında erozyon risk kategorilerinin arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ) sınıflarına göre değişimi (%).

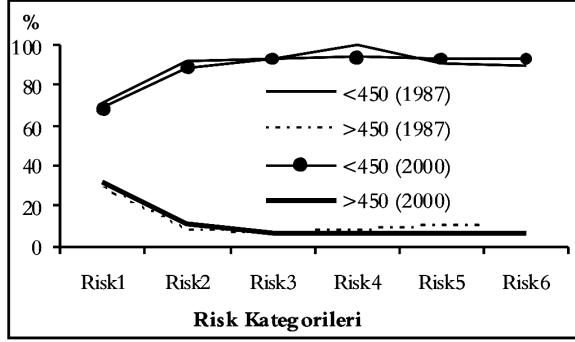
2000	Risk1	Risk2	Risk3	Risk4	Risk5	Risk6	Toplam AKAÖ
Orman alanları	41,1	2,7	0,6	0,3	0,2	0,1	20,8
Çalılık ve fundalıklar	25,6	57,0	37,2	15,5	7,6	4,9	27,2
Zeytinlikler	3,3	4,7	4,8	3,3	1,7	0,7	3,3
Otlaklar	11,7	22,6	36,8	37,1	20,3	10,3	19,3
Yerleşme alanları	6,2	6,5	6,0	8,3	8,2	5,3	6,5
Ekili-dikili tarım arazileri	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Çıplak toprak ile taş yüzeyleri	11,0	6,4	14,6	35,4	62,1	78,7	22,4
Su yüzeyleri	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Toplam	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
% (Risk kat. /Toplam alan)	49,4	11,3	16,2	6,6	9,0	7,5	100,0



Şekil 6. Orman örtüsünde meydana gelen açılım ve orman içinde otlatma (2006).

belirtildiği gibi araştırma dönemi boyunca otlakların yaygınlaştırılması nedeniyle olmalı ki bu arazi örtüsünde risk oranı 1987 yılından 2000 yılına geçildiğinde artmıştır.

İnsan aktivitelerinin kolay ulaşılabilen yerlerde yoğunlaşması nedeniyle yüksek alanlarda bitki yoğunluğu alçak alanlardan daha çoktur. Bu genelleme ile incelendiğinde yaklaşık olarak 450 m nin üstünde erozyon oranı 450 m nin altından daha azdır (Şekil 7). 450 m bölgede iklimik olarak bir zon ayrımı yüksekliğidir. Bu yükseltinin üzeri, daha gücür bitki toplulukları için yaşam alanıdır. Kısaca C



Şekil 7. 450 m yükselti sınırının altında ve üstünde erozyon risk oranı (%).

faktörü havzanın aşağı kısmında yukarı kısmından daha yüksektir. Yükselti ile erozyon riski arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için arazinin yükseltisi 450m nin üstündeki ve altındaki alanlar olmak üzere ikiye ayrılmış ve hem 1987 hem de 2000 yılına ait risk sınıfları ile karşılaştırılmıştır. Bu iki yükselti sınıfı dikkate alınarak yapılan analizde yükselti arttıkça riskin azaldığı ve yükselti azaldıkça arttığı belirlenmiştir (Şekil 7).

Erozyon normal olarak eğim dikliği ve uzunluğu arttıkça, yüzey akış yoğunluğunun ve hızının artması nedeniyle artmaktadır (Morgan 1996). Bu nedenle eğim açısı, beş sınıfa ayrılmış ve erozyon riski ile karşılaştırılmıştır (Tablo 6, 7). Bu karşılaştırmada hem 1987 hem de 2000 yılında toprak erozyon risk sınıflarında eğimle birlikte belirgin bir artış tespit edilememiştir. Bu, arazi örtüsünün ve arazi kullanımının erozyonu birinci derecede kontrol etmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte Risk6 15°'nin üzerinde %40'a varan değerlere ulaşmaktadır. Ancak bu, çok eğimli yüzeylerin bitki örtüsünden yoksun olması nedeniyle C faktörünün yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

LS faktörü ve beraberinde R faktörü, özellikle akarsuyun aşağı çığırındaki tepelik arazide etkisini daha fazla göstermektedir. Çünkü bu kesimler, daha önce de belirtildiği gibi, bitki örtüsünün en çok tahrip edildiği alanlardır. Ayrıca bu kesimde Tuzla Çayı ve kollarının volkanik plato yüzeyine derin gömülmesi (Bilgin 1969), akarsuların aşındırma gücünü artırmıştır. LS ve R faktörlerinin etkisiyle bu kesimde risk oranı gerçek durumu yansıtmamaktadır. Çünkü bu kesimde geçmişte gerçekleşen bitki örtüsü kaybı erozyon artışına ve üretim dışı araziye dönüşmesine neden olmuştur. Arazi çalışmaları sırasında da topraktan yoksun, ana materyalin ortaya çıktığı alanlar gözlenmiştir.

Tablo 6. 1987 yılında erozyon risk kategorilerinin eğim sınıflarına göre değişimi (%).

1987 Eğim sınıfları	Risk1	Risk2	Risk3	Risk4	Risk5	Risk6	Toplam Eğim
<5	30,8	26,6	22,5	22,2	15,3	11,7	26,3
5-10	23,9	33,0	25,7	34,0	35,4	21,5	26,5
10-15	20,0	24,1	23,0	20,4	27,7	25,8	21,9
15-20	14,1	11,9	17,1	14,0	14,3	22,0	14,8
20-25	7,4	3,6	8,2	6,5	5,7	12,2	7,2
>25	3,8	0,7	3,3	2,9	1,6	6,6	3,4
Toplam	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tablo 7. 2000 yılında erozyon risk kategorilerinin eğim sınıflarına göre değişimi (%).

2000 eğim sınıfları	Risk1	Risk2	Risk3	Risk4	Risk5	Risk6	Toplam Eğim
<5	31,9	28,9	21,7	19,7	14,0	12,5	26,3
5-10	23,8	31,0	26,2	32,5	34,5	23,5	26,5
10-15	20,0	22,8	22,9	20,1	27,2	26,8	21,9
15-20	13,8	12,4	16,8	15,1	14,5	21,3	14,8
20-25	6,9	4,1	8,7	8,5	6,8	10,7	7,2
>25	3,6	0,8	3,6	4,1	3,0	5,3	3,4
Toplam	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

TARTIŞMA VE SONUÇ

Tuzla Çayı havzasında yapılan bu toprak erozyonu çalışması, CBS ve UA tekniklerinin geçmişten günümüze erozyon riskini ve dolayısıyla arazi degradasyonunu tespit etmede önemli olduğunu göstermektedir. Analizlerle havzada toprak erozyonunun hala önemli bir problem olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan RUSLE analizleri ile araştırma dönemi boyunca Tuzla Çayı havzasında arazi degradasyonunun artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Arazi kullanımının ormansızlaştırma yönünde değişmesi ise arazi degradasyonu riskinin gelecek dönem için yüksek olacağı fikrini güçlendirmektedir (Van Lynden 2000).

Havza yukarı ve aşağı kısmı olmak üzere yaklaşık İzmir-Çanakkale yolu yakınlarından ikiye ayrılmaktadır. Aşağı kısmında erozyon riski, bitki örtüsü tahribinin ve yerleşme yoğunluğunun daha fazla olması ve akarsuların volkanik plato yüzeyine derine yarılmış olması nedeniyle daha fazladır. Çünkü C faktörünün yüksek olması nedeniyle LS faktörünün ve R faktörünün etkisi artmaktadır. Gerçekte DSİ tarafından gerçekleştirilen Ayvacık-Babadere Yukarı Havzası Islahı Planlama Raporu (Anonymous 2000)'nda da Tuzla Çayı'nın Ege Denizi'ne dökülmeden önceki kolu olan Babadere havzasında yapılan çalışmalarda çok şiddetli erozyonun gerçekleştiği belgelenmiştir. Ancak gerekli koruma önlemleri alınmamıştır. Şimdiki arazi yönetimi ve kullanımıyla toprak erozyonun ve arazi degradasyonun kritik seviyeyi aşması

muhtemeledir.

Havza genelinde 1987 yılından 2000 yılına kadar olan dönemde düşük risk sınıflarının aksine yüksek risk sınıflarında oransal bir artış gözlenmiştir. Bu da havzada erozyon önlemeye yönelik etkin bir uygulamanın yapılmadığının bir diğer kanıtıdır. C faktörünün akarsuyun yukarı çığırında düşük olması nedeniyle erozyon riskinin düşük olması, ağaçlandırma ve benzeri faaliyetlerin erozyonu önlemede etkili olacağına bir göstergesidir.

Havzada arazi degradasyonunun ve buna bağlı olarak erozyon riskinin en önemli nedeninin hayvancılık ve dolayısı ile aşırı otlatma olduğunu, otlak alanlarının arttırılması ve erozyon riskinin artması ilişkisi ortaya koymaktadır. Bu nedenle havzada etkin bir arazi yönetimi gerçekleştirilmek isteniyorsa ve erozyonun önlenmesi bekleniyorsa, ağaçlandırma yanı sıra serbest otlatmayı önleyici tedbirler de alınmalıdır.

Havzada yaygın olan andazitler ile kumlu Neojen formasyonların ayrışmasıyla kumlu topraklar oluşmuştur (Atalay 2006). Bu kumlu topraklar üzerinde bitki örtüsünün tahribi, özellikle eğimli sahalarda kumlu malzemenin kolaylıkla yüzeysel akışa geçen sularla taşınmasına neden olmakta ve erozyonu kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle ana materyalin etkisiyle de yüzeysel parmak erozyonu gelişmektedir. Çalışma alanının bazı kesimlerinde toprak erozyonu çok ilerlemiş düzeydedir. Bu nedenle toprak erozyonunun yerini birçok yerde ve özellikle aşağı çığırda ana materyal aşınımı almıştır. Bu da Tuzla Çayı havzasında tehlike boyutunda toprak kaybının olduğunu göstermektedir. Atalay (2002) tarafından da Türkiye genelinde toprak aşınımından daha çok ana materyal aşınımının süregeldiği belirtilmiştir.

Aşırı otlatmanın neden olduğu arazi degradasyonu sorunu, bölgeye kısmen güney batıdan komşuluk eden bir Yunanistan ve Akdeniz adası olan Midilli'de de yaşanmaktadır (Giourga 1999, Marathianou ve ark. 2000). Midilli'de Marathianou ve ark. (2000) tarafından yapılan bir çalışmaya göre, yörede toprağı işleme ve dolayısı ile ormanın yok edilmesi, MÖ 3300'den önce başlamış ve 18. yüzyılda da yoğunlaşmıştır. Roma döneminde hayvancılık ve kerestecilik, Bizans döneminde otlatma ve bağcılık ve Osmanlı döneminde zeytin yetiştiriciliği ve otlatma arazi degradasyonunun başlıca nedenleridir. Bu yörede birçok alan, çok fazla arazi degradasyonu nedeniyle ne tarım için ne de orman için kullanılabilir. Benzer sonuçlar aynı tarihi gelişime sahip Tuzla Çayı havzası için de geçerlidir. Kayan (1994) tarafından da Tuzla Çayı havzası ve yakın çevresinin tarih öncesi çağlardan beri farklı uygarlıklar tarafından kullanıldığı belirlenmiştir. Yine aynı araştırmacıya göre Troia savaşları gibi büyük savaşlara da sahne olan Tuzla Çayı havzası, başkenti Troia (Truva) olan Troad bölgesinin içinde olup burada ilk yerleşim tarihi günümüzden 6800-6500 yıl önceye kadar inmektedir (Kayan 1994). Havzada yerleşim tarihinin çok eski olması nedeniyle, arazi degradasyonunun günümüzden çok önceden başlaması muhtemeldir.

Bu çalışma her ne kadar Biga Yarımadası'nın batısındaki Tuzla Çayı havzasında yapılmış olsa da havzada sosyo-ekonomik nedenlere bağlı gerçekleşen değişim, Kuzey Akdeniz ile paralellik göstermektedir (Giourga 1999, Marathianou ve ark. 2000). Bu da yörenin yakın çevresinde aynı iklim ve topografya koşullarına sahip alanlarda benzer sonuçların elde edilebileceğinin bir kanıtıdır.

KAYNAKLAR

- Anonymous (2000) Ayvacık-Babadere Yukarı Havzası Islahı Planlama Raporu. DSİ XXV. Bölge Müdürlüğü, Balıkesir.
- Anonymous (2005) Arc Hydro Tools - Tutorial. Version 1.1, ESRI 380 Redlands, New York.
- Anderson JR, Hardy EE, Roach JT, Witmer RE (1976) A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. U.S. Geological Survey Professional Paper 964, Washington, DC.
- Arnoldus HMJ (1977) Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Soils Bulletin 34, 39-44.
- Aronoff S (1989) Geographic Information Systems: a Management Perspective. WLD Publications, Ottawa.

- Atalay İ (2002) Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri. Orman Bakanlığı Yayınları no: 163, Meta Basımevi, İzmir.
- Atalay İ (2006) Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası. Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.
- Bergsma E, Charman P, Gibbons F, Hurni H, Moldenhauer WC, Panichapong S (1996) Terminology for Soil Erosion and Conservation. International Society of Soil Science, Grafisch Service Centrom, Wageningen.
- Bilgin T (1969) Biga Yarımadası ve Güneybatı Kısmının Jeomorfolojisi. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yay. No 55, İstanbul.
- Briggs D, Giordano A, Cornaert MH, Peter D, Maes J (1992) CORINE - Soil Erosion Risk and Important Land Resources in the Southern Regions of the European Community. Office for Official Publications of the European Communities, Brussels, Luxembourg.
- De Kimpe CR, Warkentin BP (1998) Soil function and the future of natural resources. *Advances in GeoEcology* 31, 3-10.
- Desmet PJJ, Govers G (1996) A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation* 51, 427-433.
- Efe R (1999) Güney Marmara Bölümü batısında toprak oluşumunu etkileyen coğrafi faktörler ve toprakların özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi* 34, 193-209.
- Giourga C (1999) The Pasturelands of Lesvos. Sheep Breeding in Northern Aegean: Problems and Prospects. In: The Conference of in Sheep Breeding in Northern Aegean: Problems and Prospects, National Agricultural Research Foundation, Geotechnical Chambers of Greece, Lesvos, 58- 67.
- Grimm M, Jones R, Montanarella L (2002) Soil Erosion Risk in Europe. Institute for Environment and Sustainability European Soil Bureau, Luxemburg.
- Hinton JC (1996) GIS and remote sensing integration for environmental applications. *International Journal of Geographical Information Systems* 10, 877-890.
- Jabbar MT, Chong-Fa CAI, Zhi-Hua SHI, Tian-Wei WANG (2005) Application of geo-information technology in the study of soil and nutrients loss by water erosion for three different land cover. *American Journal of Applied Sciences* 2, 6, 1065-1072.
- Kayan İ (1994) Tuzla Ovasının (Ayvacık-Çanakale) Alüvyal Jeomorfolojisi ve Holosen'deki Kıyı Çizgisi Değişimleri. Ege Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Fonu, Proje No: EDF 1988-027, İzmir.
- Laflen JM, Lane LJ, Foster GR, (1991) WEPP: a new generation of erosion prediction technology. *Journal of Soil and Water Conservation* 46, 34-38.
- Lauer D, Morain S, Salomonson V (1997) The Landsat program: its origins, evolution and impacts. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 63, 831-838.
- Lee GS, Lee KH (2006) Scaling effect for estimating soil loss in the RUSLE model using remotely sensed geospatial data in Korea. *The Journal Hydrology and Earth System Sciences* 3, 135-157.
- Marathianou M, Kosmas C, Gerontidis St, Detsis V (2000) Land-use evolution and degradation in Lesvos (Greece): a historical approach. *Land Degradation Development* 11, 63 - 73.
- Millward AA, Mersey JE (1999) Adapting the RUSLE to model soil erosion in a mountainous tropical watershed. *Catena* 38, 109-129.
- Mitasova H, Hofierka J, Zlocha M, Iverson RL (1996) Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 10, 629-641.
- Morgan RPC (1996) *Soil Erosion and Conservation*. 2nd Edition, Longman Group, England.
- Okalp K (2005) Soil erosion risk mapping using geographic information systems: a case study on Kocadere creek watershed, Izmir. MSc thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University (METU), Ankara.
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Porter JP (1991) RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 46, 30-33.
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC (1997) *Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle)*. U.S. Department of Agriculture Handbook No: 703, Washington, D.C.
- Soykan A, Atalay İ (2004) Landscape Ecology of Biga Peninsula. In: *Proceeding of the Third Turkish-Romanian Geographical Academic Seminar*, 15-24 September 2004, Zeytinli, Balıkesir, 3-24.

Tağıl Ş (2006) Peyzaj patern metrikleriyle Balıkesir ovası ve yakınında habitat parçalılığında ve kalitesinde meydana gelen değişim (1975-2000). Ekoloji 60, 24-36.

Van Lynden GWJ (2000) Guidelines for the Assessment of Soil Degradation in Central and Eastern Europe. Food and Agriculture Organisation and International Soil and Reference Informational Centre, Report no: 97/08b, Rome.

Wasson R (1987) Detection And Measurement of Land Degradation Processes. In Chisholm A, Dumsday R (eds), Land Degradation: Problems and Policies, Cambridge University Press, Melbourne, 49-69.

Williams JR, Berndt HD (1972) Sediment yield computed with universal equation. Journal of Hydraulic Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers 98, 2087-2098.

Williams JR (1991) Search for sustainability: agriculture and its place in the natural ecosystem. Agricultural Science 4, 32-39.

Wischmeier WH (1978) Use and misuse of the universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation 31, 5-9.