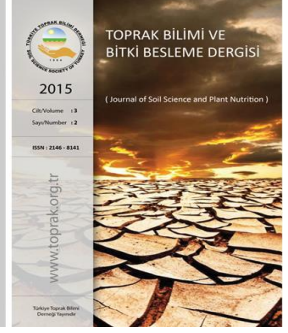




TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

www.toprak.org.tr



Çanakkale – Lapseki (Güney Marmara, Türkiye) karayolu kenar eğimlerdeki erozyonun belirlenmesi

Mehmet Parlak *

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lapseki Meslek Yüksekokulu Lapseki, Çanakkale

Özet

Karayolları, ekosistem üzerinde olumsuz etkiler yapar. Bu olumsuz etkiler habitat kaybından gürültüye ve araçların gaz salınımından toprak erozyonuna kadar çok değişik çeşitlerde kendini gösterebilir. Bu araştırma Çanakkale-Lapseki karayolu kenar eğimlerdeki yüzey akış ile erozyonu belirlemek ve yüzey akış ile erozyonu etkileyen faktörler (eğim, bitki örtüsü ve toprak özellikleri) arasındaki ilişkileri saptamak için yapılmıştır. Bu amaçla farklı eğimlere sahip vejetasyonsuz ve vejetasyonlu karayolu şevlerinde toplamda 40 tane yağış simülasyonu yapılmıştır. Her yağış simülasyonunda yüzey akışın başlaması için geçen süre, ortalama yüzey akış, maksimum yüzey akış, yüzey akış katsayısı, sediment konsantrasyonu, sediment piki ve toplam toprak kaybı belirlenmiştir. Karayolu şevlerinden toprak örnekleri alınarak bu toprak örneklerinde bazı fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Vejetasyonsuz karayolu şevlerinde eğimin artmasıyla yüzey akış başlama süresi, maksimum yüzey akış, yüzey akış katsayısı ve toplam toprak kaybı değerleri istatistik birbirinden farklılık gösterirken vejetasyonlu şevlerde ise eğimin artmasıyla sadece yüzey akış başlama süresi değerleri istatistik olarak birbirinden farklılık göstermiştir. Vejetasyonsuz şevlerde yüzey akış ve eğim arasında; vejetasyonlu şevlerde ise yüzey akış ve nem arasında pozitif korelasyon saptanmıştır. Vejetasyonsuz şevlerde toprak kaybı ve eğim arasında pozitif; vejetasyonlu şevlerde ise toprak kaybı ve eğim, toprak kaybı ve kil arasında pozitif korelasyon; silt ve kum arasında negatif korelasyon saptanmıştır. Vejetasyonsuz ve vejetasyonlu karayolu şevlerindeki çoklu regresyon sonuçları yüzey akışın sırasıyla 0.989 ve 0.963; toprak kaybının ise sırasıyla 0.998 ve 0.946 tahmin edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak kaybı, yüzey akış, karayolu şev eğimi, toprak özellikleri, yapay yağmurlama

Determination of Erosion over Çanakkale-Lapseki (Southern Marmara, Turkey) highway slopes

Abstract

Highways have various negative impacts on ecosystems ranging from loss of habitat to soil erosion, from irritating noise to vehicle exhaust emissions. The present study was carried out to determine the amount of runoff and erosion over the side slopes of Canakkale-Lapseki highway and to determine the relationships between the factors affecting runoff and erosion (slope, plant cover and soil characteristics). A total of 40 rainfall simulations were performed over vegetated and unvegetated highway slopes with different sloping angles. In each simulation, time to runoff, average runoff, maximum runoff, runoff coefficient, sediment concentration, sediment peak, and total soil loss were measured. Soil samples were taken from the highway road slopes and physical and chemical analyses were performed over them. While significant differences were observed in time to runoff start, runoff, maximum runoff, runoff coefficient and total soil loss values of unvegetated slopes with increasing sloping angles, significant differences were observed only in time to runoff start values of vegetated slopes with increasing angles. Positive correlations were observed between runoff and slope angles of unvegetated slopes and between runoff and moisture content of vegetated slopes. Positive correlations were also observed between soil loss and slope angle of unvegetated slopes; between soil loss and slope angle, between soil loss and clay content of vegetated slopes; negative correlations were observed between silt and sand contents of vegetated slopes. Multiple regression results on vegetated and unvegetated slopes revealed that runoff can respectively be estimated as 0.989 and 0.963; soil loss respectively as 0.998 and 0.946.

Keywords: Soil loss, runoff, highway side slopes, soil properties, rainfall simulation.

© 2015 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lapseki Meslek Yüksekokulu Lapseki, Çanakkale

Tel.: 0(286) 522 61 04

e-ISSN: 2146-8141

E-posta: mehmetparlak06@hotmail.com

Giriş

Karayolları uygarlığın kritik bir bileşenidir. Karayolları olmaksızın ekonomik canlılığın geliştirilmesi ve sürdürülmesi çok zordur. Karayollarının doğal çevre ve sosyal yapı üzerinde çeşitli olumsuz etkileri olabilmektedir. Karayollarının toprak erozyonu, heyelanlar, yüzey ve yer altı sularında kalite değişimleri, hava kirliliği ve bundan kaynaklanan diğer alıcı ortam kirlilikleri doğal çevre üzerindeki etkilerden bir kısmıdır. Karayolu çevreyi ve insan aktivitesini değiştirdiğinden sosyal yapı, yerleşim ve üretim biçimleri üzerinde olumlu ve olumsuz etkiler ortaya çıkarabilmektedir (Eker ve ark. 2010; Ertekin ve Çorbacı 2010; İyınam ve ark. 1999).

Karayolları bitki ve hayvan populasyon dinamiklerini değiştirerek, peyzajdaki materyalin akışını düzenleyerek, su, ışık, bitki besin maddeleri gibi yarıyışlı kaynakların düzeyini değiştirerek hem biyotik hem de abiyotik bileşenleri etkiler (Bakr ve ark. 2012). Yapımı devam etmekte olan çıplak ve dik eğimli karayolu şevleri doğrudan yağışa maruz kalırlar ve sonuçta böyle yerlerde daha fazla su erozyonu görülür. Karayolu şevlerindeki sediment hacmi sediment teminine ve taşıma kapasitesine bağlıdır. Sediment verimi; karayolu şevlerinin geometrisine, eğimine, uzunluğuna, genişliğine, yüzey özelliklerine, toprak özelliklerine, vejetatif örtüye ve karayolu şevlerinin bakımına göre değişir (Forman ve Alexander, 1998). Xu ve ark. (2009) Tuotuo Nehri yakınındaki Qinghai-Tibet karayolu boyunca doğal yüzey akış parsellerinde yaptıkları araştırmada, eğim uzunluğu arttıkça sediment konsantrasyonu ve toprak kaybının azaldığını bildirmişlerdir. Bochet ve Garcia-Fayos (2004) Valencia'da (İspanya) karayolu şevlerinde yaptıkları araştırmada eğim açısı, eğim tipi ve bakımın vejetasyona, toprak özelliklerine ve su erozyonuna etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre eğim tipi ve bakı bazı toprak özelliklerini etkilemiştir. Karayolu kenarlarındaki vejetasyon; eğim açısı, eğim tipi ve bakı tarafından etkilenmiştir. Parmak erozyonu, oyuntu erozyonu ve toprak kaymalarının karayolu dolgularına göre karayolu yarmalarında daha fazla olduğu belirtilmiştir. Farklı ülkelerde karayolu kenar eğimlerinde yapılan araştırmalar, karayolu şevlerinde toprak erozyonunun yüksek olduğunu göstermiştir (Cerda, 2007; Riley 1990; Zhang ve ark. 2009). Bakr ve ark. (2012) eğim ve çıplak toprağın etkisi nedeniyle yol kenarlarındaki toprak kayıplarının farklı arazi kullanımlarındaki toprak kayıplarına göre çok fazla olduğunu bildirmişlerdir.

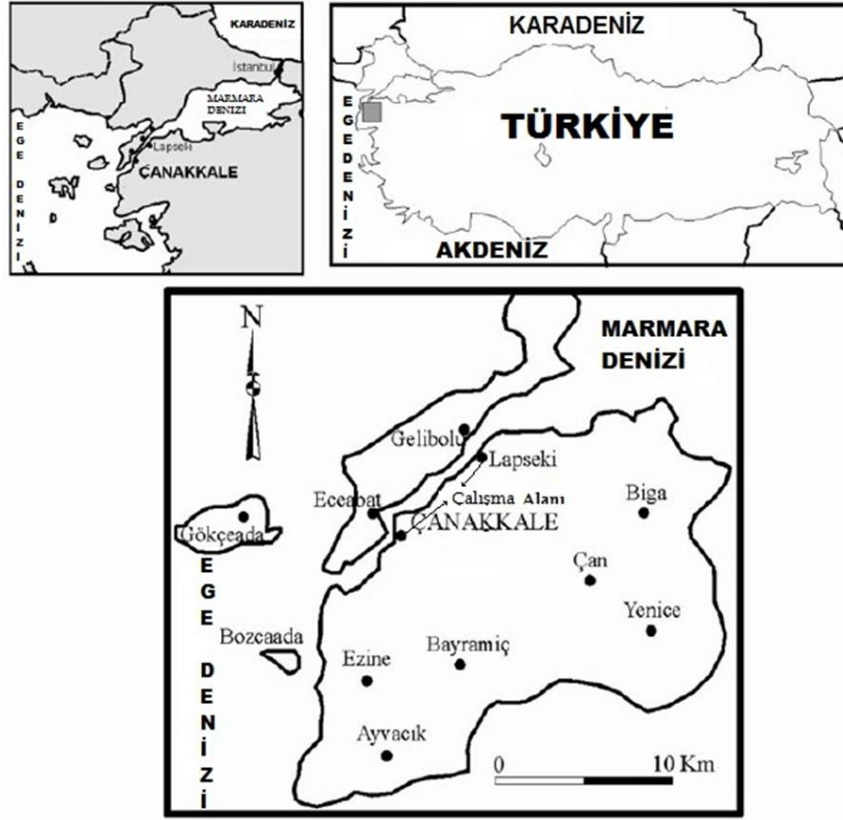
Ulaşım sektörü ülkelerin ekonomik göstergelerinde ve ulusların sosyal kültürel aktivitelerinde büyük ağırlığı olan bir sektördür. Bu nedenle, karayolu projeleri çağımızda ulaşım sektöründe en fazla payı kapsar durumdadır. Türkiye'de karayolu trafiğinin yük ve yolcu taşıma payının çok büyük olması dikkat çekicidir. Avrupa Birliği ülkelerinde karayollarının yük taşıma payı %45, yolcu taşıma payı %79 olmasına karşılık, ülkemizde yük taşıma payı %90, yolcu taşıma payı ise %97 civarındadır. Karayollarımızın ve ulaşım standartlarımızın Avrupa Birliği standartlarının çok altında ve yetersiz oluşu da dikkate alındığında konu ve sorunun önemi daha çok anlaşılmaktadır. Türkiye'de 2012 yılı itibarıyla toplam karayolu uzunluğu 65 049 km'dir. Otoyol uzunluğu 2 119 km (%3.25), devlet yolu uzunluğu 31 372 km (%48.23) ve il yolu uzunluğu da 31 558 km (%48.52)'dir (Şengün ve Engin, 2012).

Ülkemizde yapay yağmurlayıcı kullanarak karayolu kenar şevlerinde erozyonla ilgili yapılmış bir araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu araştırma farklı eğime sahip olan vejetasyonsuz ve vejetasyonlu karayolu kenar şevlerindeki yüzey akış ve erozyon ile şevlerdeki erozyonu etkileyen faktörler (bitki örtüsü, eğim, toprak özellikleri) arasındaki ilişkileri saptamak için yapılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma Çanakkale- Lapseki karayolu kenarlarındaki eğimli şevlerde yapılmıştır. 35 km'lik yol boyunca doğu yönünde 10 farklı karayolu şev eğimi (5 tanesi vejetasyonsuz alan ve 5 tanesi ise vejetasyonlu alan) seçilmiştir (Şekil 1).

Lapseki, Marmara Bölgesinin Güney Marmara bölümünde yer almaktadır. Doğusunda Biga ilçesi, kuzeyinde Çan ilçesi, batısında Çanakkale ili, güneyinde ise Çanakkale Boğazı ile çevrilmiştir. Boğazın karşı kıyısında Gelibolu ilçesi bulunmaktadır. Lapseki ilçe arazileri çeşitli vadilerle yarılmış çokça tepelik alanlardan oluşmuştur. Jeolojik yapı genellikle denizel ve volkanik kökenli olup alüviyal arazi miktarı oldukça azdır. Gnays, şistler, kuvarsit, mermer ve yarı kristalize kireç taşları ve konglomeralar Lapseki yöresindeki başlıca metamorfik kayalardır. Bunun yanında andezit, riyolit, spilit, bazalt ve volkan tüfleri ve aglomeralar da magmatik kayalar olarak yer almaktadır (Ekinci ve Yiğini, 2007).



Şekil 1. Çalışma alanının yeri

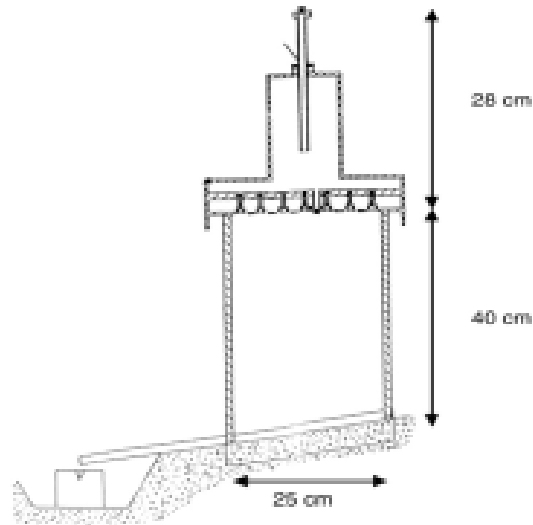
Genel olarak, Türkiye'nin batı ve güney bölgelerinde, subtropikal karaların batı bölümlerinde oluşan, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı büyük Akdeniz iklimi egemendir. Coğrafi olarak gerçek mevsimsel Akdeniz iklimi ile nemli-ılıman Karadeniz iklimi arasında bir geçiş özelliği taşıyan Çanakkale yöresinin iklimi, geleneksel sınıflandırma sistemine göre "yarı nemli Marmara geçiş iklimine" girer (Türkes ve ark. 2011). Uzun yıllar (1982-2011) meteorolojik gözlemlere göre Çanakkale'de yıllık ortalama sıcaklık 14.9 °C, maksimum sıcaklık 38.8 °C, minimum sıcaklık 3.3 °C olarak ölçülmüştür. Çanakkale'de uzun dönem yıllık ortalama yağış 615.8 mm'dir. Yapay yağmurlama denemelerinin yapıldığı Mart 2012'de toplamda 25.4 mm yağmur yağmıştır (Anonim, 2012). Çanakkale-Lapseki karayolu şev eğimlerindeki ana materyal denizel çökeltilerden, vejetasyon ise otsu türlerden oluşmaktadır. Şev eğimlerindeki vejetatif örtü (%) 1mx1m quadrat çerçeveler kullanılarak belirlenmiştir. Vejetasyon olmayan karayolu kenar eğimlerinde yüzey erozyonu, parmak erozyonu, oyuntu erozyonu ve toprak kaymaları görülmektedir (Şekil 2). Araştırma yapılan vejetasyonlu şev eğimleri %4-20, vejetasyonsuz olanlarda ise eğim %8-25 arasında değişmektedir.

Yapay yağmurlama; özellikle yağışın yersel ve zamansal olarak değiştiği alanlarda doğal yağışla yapılan araştırmalara göre daha hızlı, daha etkili, daha kontrollü ve daha uygulanabilir olması nedeniyle seçilmiştir (Meyer, 1994). Eijkelkamp (Hollanda) firmasından satın alınan mini yağmurlayıcı (Eijkelkamp marka, ürün kodu 09.06) toprak erozyon çalışmaları için tasarlanmış ve standardize edilmiştir (Kamphorst, 1987). Her farklı eğime sahip karayolu şevinde 4 yapay yağmurlama olmak üzere toplamda $4 \times 10 = 40$ yağmurlama (5 eğim \times 4 tekerrür = 20 tanesi vejetasyonsuz şevlerde, 5 eğim \times 4 tekerrür = 20 tanesi ise vejetasyonlu şevlerde) yapılmıştır. Mini yağmurlayıcının yüzey akış parseli 0.0625 m² alan kaplamakta ve yüzey akışın dışarıya gitmesini önlemek için metal çerçeveye çevrelenmiştir. Yağmur damlaları toprak yüzeyine 0.4 m yükseklikten düşmektedir (Şekil 3). Yağış intensitesi 1.2 mm dak⁻¹'a ayarlanmıştır. Yağışın kinetik enerjisi 0.78 J m⁻² mm⁻¹'dir (Kamphorst, 1987). Araştırmada kullanılan yağış intensitesi Çanakkale'nin 5 yıllık yağış periyoduna karşılık gelmektedir. Her bir yağmurlama 6 dakika süreyle yapılmıştır. Yüzey akış ve sediment örnekleri her 60 saniyede bir toplanmıştır. Yapay yağmurlama sırasında yüzey akış örnekleri plastik kovalarda toplanmıştır. Bu örnekler daha sonra sediment konsantrasyonunu belirlemek için 105 °C' de kurutulmuştur. Her parselde yüzey akışın başlaması için gerekli zaman, ortalama yüzey akış, maksimum yüzey akış oranı, yüzey akış katsayısı, sediment konsantrasyonu, maksimum sediment konsantrasyonu ve toplam toprak kaybı birçok literatürde belirlendiği şekilde belirlenmiştir (Geren ve Yönter 2007; Cerda ve ark. 2009; Özaslan Parlak ve ark. 2015).



Şekil 2. Çanakkale-Lapseki karayolu kenar şevlerinde görülen erozyon tipleri a) Yüzey ve parmak erozyonu b) Kanalda erozyon sonucu sediment birikimi c) Oyuntu erozyonu d) Parmak erozyonu

Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için 0-10 cm derinlikten yüzey örnekleri (5 tane vejetasyon olmayan alandan 5 tane ise vejetasyonlu alandan) alınmıştır. Toprak örnekleri havada kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten geçirilmiştir. Tane büyüklüğü dağılımı Bouyoucos hidrometre metoduyla (Gee ve Bauder, 1986), pH ve elektriksel iletkenlik (EC) McLean (1982) ve Rhoades (1982) tarafından önerilen yöntemlerle, toprak organik maddesi Smith-Weldon metoduyla (Nelson ve Sommers, 1982) yapılmıştır. Toprağın kireç içeriği Nelson (1982) tarafından tanımlandığı şekilde "Scheibler kalsimetresi" kullanılarak yapılmıştır. Hacim ağırlığı Blake ve Hartge (1986)'nin bildirdiği şekilde belirlenmiştir.



Şekil 3. Mini yağmurlayıcının şeması ve boyutları

İstatistiksel Değerlendirme

Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Verilerin istatistiksel analizlerinde Minitab 16 paket programı kullanılmıştır. Veri grupları arasındaki farkın önemli olup olmadığı 2 farklı koşulda t testi, 5 farklı koşulda ise tek yönlü varyans analiziyle (one way ANOVA) belirlenmiştir. Farkın önemli olması durumunda farklı çıkan gruplar Duncan testi ile saptanmıştır. Özellikler arası ilişkileri belirlemek amacıyla korelasyon (Pearson) ve çoklu regresyon analizleri yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanındaki toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1’ de verilmiştir. Vejetasyonsuz ve vejetasyonlu şevlerde toprakların kil, kum, hacim ağırlığı, nem, pH, elektriksel iletkenlik (EC), kireç (CaCO_3) ve organik madde kapsamları istatistiksel olarak önemsiz çıkarken, silt içerikleri istatistiksel olarak önemli çıkmıştır (Çizelge 1). 0-10 cm den alınan toprak örneklerinde nem gravimetrik yöntemle yapılmış ve vejetasyonlu eğimlerde %33.48, vejetasyonsuz eğimlerde ise %24.21 olarak belirlenmiştir. Toprak bünyesi vejetasyonsuz alanlarda killi ve siltli kil iken vejetasyonlu alanlarda kil olarak saptanmıştır. Vejetasyon olmayan ve olan şevlerdeki siltin birbirinden farklılık göstermesinin nedeni erozyon olabilir. Erozyon vejetasyonun kaybolması, üst toprağın tahrip olması veya sıkışması, dik eğimlerin oluşmasıyla hızlanabilen doğal bir süreçtir (Hyman ve Vary, 1999).

Çizelge 1. Toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri (Ortalama±standart sapma)*

Toprak özellikleri	Vejetasyonsuz alan	Vejetasyonlu alan	p
Kil (%)	47.37±5.63	54.09±8.83	0.936
Silt (%)	39.95±3.95 a	32.60±5.40 b	0.040*
Kum (%)	12.68±9.34	13.31±3.86	0.257
Hacim ağırlığı (g cm^{-3})	1.22±0.19	1.13±0.11	0.426
Nem (%)	24.21±8.04	33.48±8.56	0.115
pH (1:2.5)	7.34±0.39	7.44±0.31	0.652
EC (1:2.5) (dS m^{-1})	0.31±0.06	0.32±0.03	0.874
CaCO_3 (%)	8.62±1.65	8.82±1.25	0.838
Organik madde (%)	1.13±0.36	1.38±0.25	0.238

*Satırlarda farklı küçük harflerle gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistik olarak 0.05 seviyesinde önemlidir.

Vejetasyonsuz şevlerde yüzey akışın başlaması için gerekli zaman 80.63 s iken vejetasyonlu şevlerde ise bu parametre 116.7 s olarak saptanmıştır (Çizelge 2). Vejetasyon olmayan eğimlerde yüzey akış (ml s^{-1}), maksimum yüzey akış (ml s^{-1}) ve yüzey akış (%) parametreleri sırasıyla 2.1, 3.06 ve 13 bulunmuşken vejetasyonlu eğimlerde bu parametreler sırasıyla 1.29, 1.71 ve 8.27 olarak bulunmuştur. Vejetasyonsuz alanlarda sediment konsantrasyonu (g lt^{-1}) ve sediment piki (g lt^{-1}) ortalama değerleri sırasıyla 115.03, 164.6 iken vejetasyonlu alanlarda bu değerler 16.94 ve 29.27 olarak saptanmıştır. Yürütülen bu çalışmada vejetasyonsuz karayolu şev eğimlerindeki toprak kaybı vejetasyonlu olanlara göre 14 kat daha fazla bulunmuştur (vejetasyonsuz şevlerde toprak kaybı 1398 g m^{-2} iken vejetasyonlu şevlerde 98 g m^{-2} dir). Bu bulgular, bitki örtüsünün erozyon nedeniyle oluşan sediment kaybını azalttığını belirten araştırmacıların (Geren ve Yöner 2007; Garcia-Estringana ve ark. 2010; Huang ve ark. 2013; Osterkamp ve ark. 2012) sonuçlarıyla uyum içerisindedir. Yüksek erozyon oranları sediment, bitki besin maddesi, tohum, fide, bitki organları ve hatta tüm bitki kayıplarına neden olur ki bu kayıpların yıllar sonra bile doğal olarak yerine gelmesi çok zaman almaktadır (Cerda ve Garcia-Fayos, 2002; Dongli ve ark. 2013; Engelbrecht ve ark. 2014; Jiao ve ark. 2011; Wang ve ark. 2013).

Çizelge 2. Vejetasyonsuz ve vejetasyonlu karayolu şevlerindeki yüzey akış, sediment ve toplam toprak kaybı değerleri (Ortalama±standart sapma)*

	Vejetasyonsuz şev	Vejetasyonlu şev	p
Yüzey akış başlama süresi(sn)	80.6±28.3 b	116.7±35.7 a	0.020*
Yüzey akış (ml sn^{-1})	2.09±0.46 a	1.29±0.46 b	0.017*
Maksimum yüzey akış(ml sn^{-1})	3.06±0.30 a	1.7±0.32 b	0.002*
Yüzey akış katsayısı(%)	13±2.8 a	8.27±2.76 b	0.019*
Sediment konsantrasyonu (g l^{-1})	115.03±16.63 a	16.94±5.36 b	0.000*
Sediment piki (g l^{-1})	164.6±29.6 a	29.3±7.4 b	0.000*
Toplam toprak kaybı (g m^{-2})	1398±237 a	98±20 b	0.000*

*Satırlarda farklı küçük harflerle gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistik olarak 0.05 seviyesinde önemlidir.

Vejetasyonlu karayolu şevlerinde bitki örtüsü yüzdesinin ortalama (minimum-maksimum) değerleri 61.75 (10-99) olarak belirlenmiştir. Vejetasyonun erozyonu kontrol etmedeki etkisi bilinmektedir. [Gyssels ve ark. \(2005\)](#) yarı kurak koşullarda etkili erozyon kontrolünün sağlanabilmesi için bitki örtüsünün % 50' yi geçmesi gerektiğini belirtmişlerdir. [Wang ve ark. \(2012\)](#) Çin'in Fujian ilindeki büyük ölçekli yapım projelerinin yüzey akış ve sediment taşınımına etkisini incelemişlerdir. Doğal vejetatif örtünün kontrolle (çıplak) karşılaştırıldığında yüzey akışı 36 kez, erozyonu ise 7457 kez azalttığı belirtilmiştir. Araştırmacılar 6 yıllık sürede (1999-2004) 1.76×10^7 ton üst toprağın kaybolduğunu ve 3.04×10^8 m³ yüzey akışın oluştuğunu tahmin etmişlerdir.

Çizelge 3 incelendiğinde, vejetasyonsuz alanlarda eğimin artmasıyla yüzey akış başlama süresi, yüzey akış, maksimum yüzey akış, yüzey akış katsayısı ve toplam toprak kaybı değerlerinin (sırasıyla *P* değerleri 0.000, 0.003, 0.048, 0.012 ve 0.032) istatistiksel olarak önemli çıktığı, sediment konsantrasyonu ve sediment pikinin ise istatistiksel bakımdan önemsiz (sırasıyla *P* değerleri 0.155 ve 0.123) olduğu anlaşılmaktadır. Vejetasyonlu alanlarda eğimin artmasıyla sadece yüzey akış başlama süresi istatistiksel olarak önemli çıkarken diğer parametreler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır (Çizelge 3). Bu sonuçlar eğimin yüzey akış ve toprak kaybına etkisinin önemli olduğunu belirten [Kateb ve ark. \(2013\)](#)'ın sonuçlarıyla uyum içerisinde dir.

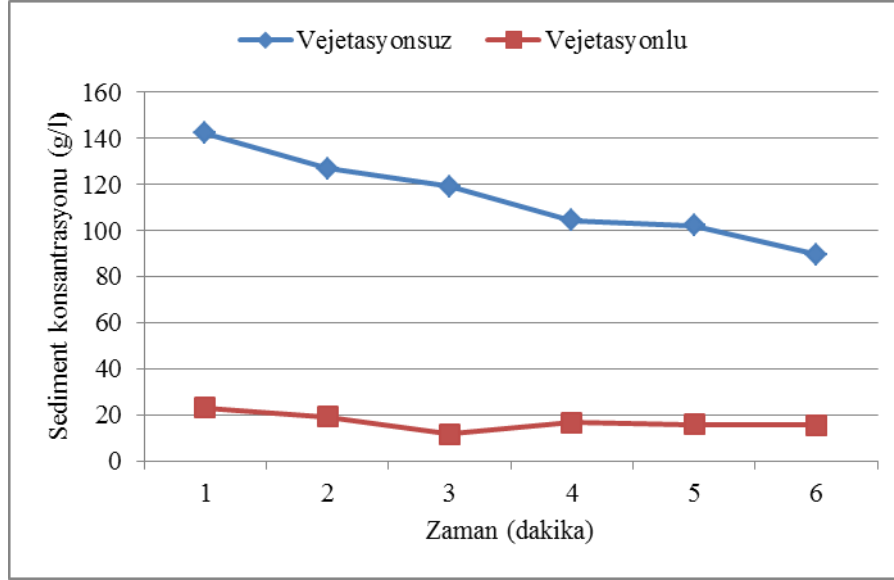
Çizelge 3. Vejetasyonsuz ve vejetasyonlu alanlarda eğimin yüzey akış, sediment ve toplam toprak kaybına etkisi*

	Vejetasyonsuz					
	Eğim(%)					
	8	13	16	20	25	p
Yüzey akış başlama süresi (sn)	177.50±28.56 a	82.50±10.41 b	51±10.54 b	38.50±13.92 b	53.50±12.14 b	0.000
Yüzey akış (ml sn ⁻¹)	1.25±0.18 c	2.01±0.20 b	2.04±0.35 b	2.32±0.42 ab	2.85±0.23 a	0.003
Maksimum yüzey akış (ml sn ⁻¹)	2.32±0.32 b	3.13±0.46 ab	2.74±0.59 b	3.24±0.58 ab	3.90±0.23 a	0.048
Yüzey akış katsayısı (%)	8.06±1.46 b	12.85±1.94 a	13.05±3.55 a	14.80±2.99 a	16.22±1.56 a	0.012
Sediment konsantrasyonu (g l ⁻¹)	83.67±21.96	96.54±27.45	129.24±8.44	129.95±28.52	135.72±30.18	0.155
Sediment piki (g l ⁻¹)	116.8±20.94	134.32±45.33	183.51±22.56	215.01±59.94	173.51±29.94	0.123
Toplam toprak kaybı (g m ⁻²)	651.4±193.5 c	1132.7±244.6 bc	1425.4±195.1 abc	1626±324.8 ab	2154.8±402.9 b	0.032
	Vejetasyonlu					
	Eğim(%)					
	4	6	8	10	20	p
Yüzey akış başlama süresi (sn)	224.25±58.26 a	86±23.11 bc	23±4.39 c	152±19.57 ab	98±19.36 bc	0.002
Yüzey akış (ml sn ⁻¹)	0.95±0.38	0.85±0.31	2.44±0.58	1.13±0.31	1.09±0.25	0.194
Maksimum yüzey akış (ml sn ⁻¹)	1.1±0.46	1.12±0.37	2.93±0.89	1.61±0.38	1.75±0.58	0.290
Yüzey akış katsayısı (%)	6.08±2.73	5.4±1.27	15.57±4.1	7.27±3.43	7.02±2.54	0.193
Sediment konsantrasyonu (g l ⁻¹)	10.25±3.77	11.9±4.29	7.63±1.62	32.11±15.33	22.80±8.65	0.301
Sediment piki (g l ⁻¹)	23.13±6.28	19.82±5.78	11.92±4.11	52.83±16.17	38.64±12.46	0.185
Toplam toprak kaybı (g m ⁻²)	54.38±10.05	59.1±12.57	92.87±33.8	132.94±30.86	150.47±31.4	0.493

*Satırlarda farklı küçük harflerle gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistik olarak 0.05 seviyesinde önemlidir.

Şekil 4 vejetasyonsuz ve vejetasyonlu kenar eğimlerinde yüzey akıştaki sediment konsantrasyonunun değişimini göstermektedir. Yağışın başlangıcında özellikle vejetasyonsuz alanlarda sediment konsantrasyonu yüksektir. Vejetasyonsuz alanlarda sediment konsantrasyonu daha sonra zamanla azalmıştır (1. dakikada 142.2 g l⁻¹ iken 6. dakikada 89.74 g l⁻¹'e düşmüştür). Vejetasyonlu alanlarda ise sediment konsantrasyonu vejetasyonsuz olanlara benzer şekilde zamanla (1. dakikada 23.2 g l⁻¹ iken 6.

dakikada 15.63 g l^{-1}) azalmıştır. Bu sonuçlar Akdeniz'deki bağ alanlarında yüzey akıştaki sediment konsantrasyonunun zamanla azaldığını belirten [Arnaez ve ark. \(2007\)](#)'ın sonuçlarıyla uyum içerisindedir. Merada yüzey akıştaki sediment konsantrasyonunun zamanla sürekli olarak arttığını bildiren [Wainwright ve ark. \(2000\)](#)'nın sonuçlarıyla bu araştırmadaki sonuçlar uyumsuzluk göstermektedir. [Jordan-Lopez ve ark. \(2009\)](#) orman yollarının farklı kesimlerinde yüzey akıştaki sediment konsantrasyonunun yağışın başlangıcında doğrusal olarak arttığını daha sonra düzenli olarak azaldığını bildirmişlerdir. Sediment konsantrasyonu ile ilgili çelişkili sonuçlar; çalışmalar arasındaki toprak tekstürü, parsel büyüklüğü, yağış intensitesi ve vejetasyondaki farklılıklardan kaynaklanmış olabilir.



Şekil 4. Vejetasyonsuz ve vejetasyonlu kenar eğimlerinde yüzey akıştaki sediment konsantrasyonunun değişimi.

Çizelge 4 yüzey akış ve toprak kaybıyla eğim şevlerinin özellikleri arasındaki korelasyonu göstermektedir. Çizelge 4 incelendiğinde vejetasyonsuz karayolu şevlerinde yüzey akış ve eğim (0.975) arasında %5 seviyesinde pozitif bir ilişki, vejetasyonlu şevlerde yüzey akış ve nem (0.942) arasında %5 seviyesinde pozitif bir ilişki bulunmuştur. Toprakta mevcut olan nem, toprak yüzeyindeki strüktürün tahrip edilmesi ve ardından kabuk oluşmasında agregat parçalanmasına neden olan kuvvetlerin büyüklüğünü belirler. Bazı araştırmacılar toprak neminin erozyonun artmasında etkili bir faktör olduğunu belirtmişlerdir ([Römken ve ark. 2001](#); [Truman ve ark. 2011](#); [Wei ve ark. 2007](#)). Vejetasyonsuz karayolu şevlerinde toprak kaybı ve eğim (0.995) arasında %5 seviyesinde pozitif bir ilişki, vejetasyonlu karayolu şevlerinde ise toprak kaybı ile eğim (0.910), kil (0.972), silt (-0.883), kum (-0.987) arasında %5 düzeyinde ilişkiler belirlenmiştir. [Dong ve ark. \(2012\)](#) karayolu yapımından çıkan depo malzemelerinde yaptıkları yapay yağmurlama çalışmaları sonucunda; toprak kaybı ve eğim arasında pozitif bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Eğim dikliğinin toprak kaybına etkisi karmaşıktır ([Ziadat ve Taimeh, 2013](#)). Toprak kaybı genellikle eğim dikleştikçe artar. [Quansah \(1981\)](#), eğim yüzdesinin koparılan ve taşınan toprak miktarındaki değişimin %90'ını açıkladığını bildirmiştir. Fakat eğimin toprak kaybına etkisi, toprak özellikleri ve yüzey koşulları arasındaki etkileşimden de etkilenir ([Mah, 1992](#)). [Mohammadkhan ve ark. \(2011\)](#) hava fotoğrafları ve coğrafi bilgi sistemleri teknolojisini kullanarak Latian havzasında (İran) yaptıkları araştırmada; eğim ve ana materyalin yol kenarlarındaki erozyonu etkileyen unsurlar olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada bulunan eğim ve toprak kaybı arasındaki ilişki [Quansah \(1981\)](#) ve [Dong ve ark. \(2012\)](#)'nın sonuçlarıyla uyum içerisindedir. [Abdinejad ve ark. \(2011\)](#) eğim yüzdesi ve silt kapsamının sediment verimiyle önemli düzeyde korelasyon katsayısı (sırasıyla 0.689 ve -0.233) gösterdiğini saptamışlardır. [Xu ve ark. \(2009\)](#), Çin' deki Qinghai-Tibet karayolunun eğimli alanlarında yaptığı arazi çalışmasına dayanarak sediment veriminin (kg km^{-2}) logaritması ile yüzey akış derinliğinin (mm) logaritması arasında pozitif doğrusal ilişki olduğunu belirtmişlerdir. [Kavian ve ark. \(2014\)](#) basit bir yapay yağış aleti kullanarak vejetasyonsuz alanlarda yaptıkları araştırmada yüzey akışın toprak nemi, hacim ağırlığı, silt ve kil ile pozitif korelasyonlu; organik karbon, toplam azot ve kum ile negatif korelasyonlu olduğunu bildirmişlerdir. Toprakların silt içerikleri kaymak tabakasına duyarlılığı artırır, böylece yüzey akış fazlaşır ve erozyon artar ([Mills ve Fey, 2004](#)). [Parsakhoo ve ark. \(2014\)](#) yağmurlayıcı kullanarak orman yollarının farklı kısımlarında yaptıkları

araştırmada silt ve kil kapsamının yüksek olduğu topraklarda yüzey akış ve toprak kaybını daha fazla bulmuşlardır.

Çizelge 4. Yüzey akış ve toprak kaybıyla bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları

	Değişken	Vejetasyonsuz		Vejetasyonlu	
		R	p	R	p
Yüzey akış	Eğim	0.975	0.005*	0.023	0.971
	Bitki örtüsü	-0.208	0.737	-0.620	0.265
	Kil	0.001	0.999	-0.026	0.967
	Silt	0.623	0.262	0.205	0.741
	Kum	-0.287	0.640	-0.229	0.711
	Nem	0.471	0.423	0.942	0.017*
Toprak kaybı	Eğim	0.995	0.000*	0.910	0.032*
	Bitki örtüsü	-0.155	0.803	0.195	0.754
	Kil	-0.172	0.782	0.972	0.006*
	Silt	0.739	0.154	-0.883	0.047*
	Kum	-0.195	0.753	-0.987	0.002*
	Nem	0.317	0.604	0.070	0.911

*: 0.05 seviyesinde önemlidir.

Çizelge 5 karayolu şevlerindeki yüzey akış ve toplam toprak kaybını tahmin etmede kullanılan eşitlikleri göstermektedir. Vejetasyonsuz şevlerde yüzey akıştaki değişimin %98.9'u ve vejetasyonlu şevlerde ise değişimin %96.3'ü toprağın silt içeriği, nem içeriği, bitki örtüsü yüzdesi ve eğimle açıklanabilir. Vejetasyonsuz şevlerde toplam toprak kaybının %99.8'i, vejetasyonlu şevlerde ise %94.6'sı toprağın kil, silt, kum kapsamı ve şevin eğimiyle açıklanabilir. [Ziadat ve Taimah \(2013\)](#) yüzey akıştaki değişimin %89'unun, toprak kaybındaki değişimin %66'sının yağış intensitesi, eğim ve toprak kaybıyla açıklanabildiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 5. Vejetasyonsuz ve vejetasyonlu karayolu şevlerinde bazı erozyon parametrelerini tahmin etmek için hesaplanmış eşitlikler

Karayolu şevi	Erozyon parametresi	Hesaplanan eşitlikler ^a	R ²
Vejetasyonsuz	Yüzey akış (ml sn ⁻¹)	2.43-0.0458Si-0.0365B.Ö+0.107E-0.0014N	0.989
	Toplam toprak kaybı (g m ⁻²)	-6422+66.7C+71.5Si+37.2Sa+74.7E	0.998
Vejetasyonlu	Yüzey akış (ml sn ⁻¹)	190-2.63Si-1.21B.Ö-1.51E-0.44N	0.963
	Toplam toprak kaybı (g m ⁻²)	-232532+2328C+2329Si+2313Sa-2.12E	0.946

^aSi, silt(%); B.Ö, bitki örtüsü(%); E, eğim(%); N, toprağın nem içeriği(%); C, kil(%); Sa, kum(%); tüm eşitlikler 0.05 düzeyinde önemlidir.

Sonuç

Karayolu kenar eğimlerinde vejetasyonlu alanlara göre vejetasyonsuz alanlardaki erozyon çok daha fazla saptanmıştır. Vejetasyonsuz alanlarda yüzey akış ve sediment konsantrasyonu vejetasyonlu olanlara göre 1.6 ve 7 kat daha fazla saptanmıştır. Vejetasyonsuz şevlerdeki toplam toprak kaybı 1398.06 g m⁻² iken vejetasyonlu şevlerde 97.95 g m⁻² olarak bulunmuştur.

Vejetasyonsuz şevlerde eğimin artmasıyla yüzey akış ve toprak kaybında artma görülmüştür. Vejetasyonsuz karayolu şevlerinde %8 eğimdekine göre %25 eğimde yüzey akış ve toprak kaybı sırasıyla 2.3 ve 3.3 kat daha fazla saptanmıştır. Vejetasyonsuz karayolu şevlerinde eğimin artışı sadece yüzey akış başlangıç süresini istatistik olarak önemli düzeyde etkilemişken yüzey akış, maksimum yüzey akış, yüzey akış katsayısı, sediment konsantrasyonu, sediment piki ve toplam toprak kaybı değerlerini istatistik olarak önemli düzeyde etkilememiştir.

Vejetasyonsuz karayolu şevlerinde yüzey akış ve eğim(0.975) arasında pozitif korelasyon, toprak kaybı ile eğim arasında pozitif korelasyon bulunmuştur. Vejetasyonlu şevlerde yüzey akış ve nem(0.942) arasında pozitif korelasyon; toprak kaybı ve eğim (0.995) arasında pozitif korelasyon; vejetasyonsuz şevlerde toprak kaybı ile eğim(0.910), ve kil (0.972) arasında pozitif korelasyon; toprak kaybı ile silt (-0.883) ve kum (-0.987) arasında negatif korelasyon saptanmıştır.

Vejetasyonlu alanlara göre vejetasyonsuz karayolu şevlerinde eğimin etkisiyle fazla miktarda toprak kaybolur ve arazi bozulma süreci hızlanır. Karayolları şevlerindeki arazi bozulma sürecini azaltmak için erozyon uygun metotlarla önlenmelidir. Çanakkale-Lapseki karayolu şevlerindeki toprak kaymalarını

önlemek için genellikle betondan istinat duvarları yapılmıştır. Fakat genellikle istinat duvarları erozyonu tam olarak önleyememiştir. Karayolu kenar eğimindeki erozyonu önlemek için kökleri derine inen ağaç, çalı ve ot türleri (ya da yer örtücü bitkiler) kullanılmalıdır. Toprak içine dağılan bitki kökleri bir taraftan toprağın kopmasına ve kaymasına engel olurken bir taraftan da toprağın organik madde bütçesine katkı yaparak agregasyonun gelişmesini teşvik eder. Bitki türlerinin seçiminde doğal vejetasyona uygun olanlar tercih edilmelidir.

Kaynaklar

- Abdinejad P, Feiznia S, Pyrowan HR, Fayazi FO, Shabani AAT, 2011. Assessing the effect of soil texture and slope on sediment yield of marl units using a portable rainfall simulator. *J. Am. Sci.* 7 (10): 617-624.
- Anonim, 2012. Çanakkale Meteoroloji Müdürlüğü İklim Verileri (yayınlanmamış).
- Arnaez J, Lasanta T, Ruiz-Flano P, Ortigosa L, 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil Till. Res.* 93: 324-334.
- Bakr N, Weindorf DC, Zhu Y, Arceneaux AE, Selim HM, 2012. Evaluation of compost/mulch as highway embankment erosion control in Louisiana at the plot-scale. *J. Hydrol.* 468-469 : 257-267.
- Blake GR, Hartge KH, 1986. Bulk density. *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods* (ed. Klute A), ASA, SSSA, Agronomy No: 9. Madison, Wisconsin, USA, pp. 363-375.
- Bochet E, Garcia Fayos P, 2004. Factors controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, Spain. *Restor. Ecol.* 12: 166-174.
- Cerda A, Morera AG, Bodi MB, 2009. Soil and water losses from new citrus orchards growing on sloped soils in the western Mediterranean basin. *Earth Surf. Proc. Land.* 34: 1822-1830.
- Cerda A, 2007. Soil water erosion on road embankments in eastern Spain. *Sci. Total Environ.* 378: 151-155.
- Cerda A, Garcia-Fayos P, 2002. The influence of seed size and shape on their removal by water erosion. *Catena*, 48: 293-301.
- Dong J, Zhang K, Guo Z, 2012. Runoff and soil erosion from highway construction spoil deposits: a rainfall simulation study. *Transport. Res. D*, 17: 8-14.
- Dongli W, Juying J, Dong L, Ning W, Huadong D, Yanfeng J, 2013. Effects of seed morphology on seed removal and plant distribution in the Chinese hill-gully Loess Plateau region. *Catena*, 104: 144-152.
- Eker M, Acar HH, Çoban HO, 2010. Orman yollarının potansiyel ekolojik etkileri. *SDÜ Orman Fakültesi Derg.* 1: 109-125.
- Ekinci H, Yiğini Y, 2007. Lapseki ilçesi arazi kaynaklarının sürdürülebilir tarım bakımından değerlendirilmesi. *Lapseki Sempozyumu*, 16-21. 23-24 Haziran, Çanakkale.
- Engelbrecht M, Bochet E, Garcia-Fayos P, 2014. Mucilage secretion: an adaptive mechanism to reduce seed removal by soil erosion? *Biol. J. Linn. Soc.* 111(2): 241-255.
- Ertekin M, Çorbacı ÖL, 2010. Karayollarında peyzaj planlama ve bitkilendirme çalışmaları. *Ecolog. Life Sci.* 5(2): 105-125.
- Forman RTT, Alexander LE, 1998. Roads and their major ecological effects. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29: 207-231
- Garcia- Estringana P, Alonso-Blazquez N, Marques MJ, Bienes R, Alegre J, 2010. Direct and indirect effects of Mediterranean vegetation on runoff and soil loss. *Eur. J. Soil Sci.* 61: 174-185.
- Gee GW, Bauder JW, 1986. Particle-size analysis, *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods* (ed. Klute A), ASA, SSSA, Agronomy No: 9. Madison, Wisconsin, USA, pp. 383-441.
- Geren H, Yönter G, 2007. Bazı serin iklim çim buğdaygillerinin laboratuvar koşullarında su erozyonuna etkisi üzerinde araştırmalar. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Derg.* 44 (2): 1-15.
- Gyssels G, Poesen J, Bochet E, Li Y, 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Prog. Phys. Geog.* 29: 1-28.
- Huang I, Zhao X, Wu P, 2013. Surface runoff volumes from vegetated slopes during simulated rainfall events. *J. Soil Water Conserv.* 68(4): 283-295.
- Hyman WA, Vary D, 1999. Best Management Practices for Environmental Issues related to Highway and Street Maintenance. National Academy Press (Washington D.C), USA, p.103.
- İyınam Ş, Ergün M, İyınam AF, 1999. Karayolu ve karayolu trafiğinin insan ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri. 2. Ulaşım ve Trafik Kongresi, 239-250. 29 Eylül-2 Ekim, Ankara.
- Jiao J, Han L, Jia Y, Wang N, Lei D, Li L, 2011. Can seed removal through soil erosion explain the scarcity of vegetation in the Chinese Loess Plateau? *Geomorphology*, 132: 35-40.
- Jordan-Lopez A, Martinez- Zavala L, Bellinfante N, 2009. Impact of different parts of unpaved forest roads on runoff and sediment yield in a Mediterranean area. *Sci. Total Environ.* 407: 937-944.
- Kamphorst A, 1987. A small rainfall simulator for the determination of soil erodibility. *Neth. J. Agr. Sci.* 35: 407-415.
- Kateb HA, Zhang H, Zhang P, Mosandl R, 2013. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradient: a field experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena*, 105: 1-10.
- Kavian A, Azmoodeh A, Solaimani K, 2014. Deforestation effects on soil properties, runoff and erosion in northern Iran. *Arab. J. Geosci.* 7: 1941-1950.
- Mah MGC, Douglas LA, Ringrose-Voase AJ, 1992. Effects of crust development and surface slope on erosion by rainfall. *Soil Sci.* 154: 37-43.
- McLean EO, 1982. Soil pH and lime requirement. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties* (ed. Page AL), ASA, SSSA, Agronomy No: 9. Madison, Wisconsin, USA, pp. 199-224.
- Meyer LD, 1994. Rainfall simulators for soil erosion research. *Soil Erosion Research Methods* (ed. Lal R), Soil and Water Conservation Society and St. Lucie Press, USA, pp. 83-103.

- Mills AJ, Fey MV, 2004. Effects of vegetation cover on the tendency of soil to crust in South Africa. *Soil Use Manage.* 20: 308–317.
- Mohammadkhan S, Ahmadi H, Jafari M, 2011. Relationship between soil erosion, slope, parent material, and distance to road (Case study: Latian Watershed, Iran). *Arab. J. Geosci.* 4: 331–338.
- Nelson DW, Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties* (ed. Page AL), ASA, SSSA, Agronomy No: 9. Madison, Wisconsin, USA, pp. 539–579.
- Nelson RE, 1982. Carbonate and gypsum, *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties* (ed. Page AL), ASA, SSSA, Agronomy No: 9. Madison, Wisconsin, USA, pp. 181–197.
- Osterkamp WR, Hupp CR, Stoffel M, 2012. The interactions between vegetation and erosion: new directions for research at the interface of ecology and geomorphology. *Earth Surf. Proc. Land.* 37: 23–36.
- Özaslan Parlak A, Parlak M, Blanco-Canqui H, Schacht WH, Guretzky JA, Mamo M, 2015. Patch burning: implications on water erosion and soil properties. *J. Environ. Qual.* 44(3): 903-909.
- Parsakhoo A, Lotfalian M, Jalilvand H, 2014. The effects of soil properties and vegetation cover on the sedimentation of forest roads. *J. Soil Sci. Environ. Manage.* 5(2): 20-27.
- Quansah C, 1981. The effect of soil type, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport. *J. Soil Sci.* 32: 215–224.
- Rhoades JD, 1982. Soluble salts. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties* (ed. Page AL), ASA, SSSA, Agronomy No: 9. Madison, Wisconsin, USA, pp. 167–179.
- Riley SC, 1990. Monitoring the erosion of an expressway during its construction: problems and lessons. *Hydrolog. Sci. J.* 35: 365-381.
- Römkens MJM, K Helming, SN Prasad, 2001. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena*, 46: 103–123.
- Şengün MT, Engin F, 2012. Karayolu yapımında jeomorfolojik birimlere müdahale ve ortaya çıkacak sorunlar: Elazığ-Keban karayolu örneği. 3. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu, 556-567. 4-6 Ekim, Hatay.
- Truman CC, Potter TL, Nuti RC, Franklin DH, Bosch DD, 2011. Antecedent water content effects on runoff and sediment yields from two Coastal Plain Ultisols. *Agr. Water Manage.* 98: 1189–1196.
- Türkeş M, Savaş T, Baytekin H, Uğur K, 2011. Çanakkale’ de olası iklim değişimleri ve tarımsal üretime etkileri. Çanakkale Tarım Sempozyumu (Dünü, Bugünü ve Geleceği), 257-270. 10-11 Ocak, Çanakkale.
- Wainwright J, Parsons AJ, Abrahams AD, 2000. Plot-scale studies of vegetation, overland flow and erosion interactions: case studies from Arizona and New Mexico. *Hydrol. Proces.* 14(5): 2921–2943.
- Wang D, Jiao J, Lei D, Wang N, Du H, Jia Y, 2013. Effects of seed morphology on seed removal and plant distribution in the Chinese hill-gully Loess Plateau region. *Catena*, 104: 144–152.
- Wang G, Innes J, Yusheng Y, Shanmu C, Krzyzanowski J, Jingsheng X, Wenlian L, 2012. Extent of soil erosion and surface runoff associated with large-scale infrastructure development in Fujian Province, China. *Catena*, 89: 22–30.
- Wei LH, Zhang B, Wang MZ, 2007. Effects of antecedent soil moisture on runoff and soil erosion in alley cropping systems. *Agr. Water Manage.* 94 (1-3): 54-62.
- Xu XL, Liu W, Kong YP, Zhang KL, Yu B, Chen JD, 2009. Runoff and water erosion on road side-slopes: effects of rainfall characteristics and slope length. *Transport. Res. D*, 14: 497-501.
- Zhang Z, Liu S, Dong S, Fu W, Cui B, 2009. Spatio-temporal analysis of different levels of road expansion on soil erosion distribution: a case study of Fengqing county, Southwest China. *Front. Earth Sci. China*, 3: 389-396.
- Ziadat FM, Taimah AY, 2013. Effect of rainfall intensity, slope, land use and antecedent soil moisture on soil erosion in an arid environment. *Land Degrad. Dev.* 24: 582–590.