

Alakır Çayı Havzasında (Antalya) Toprak Kaybının Mekânsal Dağılışı ve Etkili Faktörler

Emre Özşahin

Namık Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Tekirdağ, Türkiye

E-mail: eozshahin@nku.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 27.01.2015

Kabul Tarihi (Accepted): 29.02.2016

Suyun neden olduğu toprak erozyonu Türkiye'nin en önemli çevresel problemlerinden biridir. Özellikle her geçen gün bu sorun insanların yaptığı bilinçsiz faaliyetler nedeniyle daha da artmaktadır. Bu çalışmada Alakır Çayı havzasındaki toprak kaybının ortaya konması ve toprak kaybındaki mekânsal farklılıklar üzerinde etkili olan faktörlerin vurgulanması amaçlanmıştır. CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı RUSLE (Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi) yönteminin kullanıldığı çalışmada, çeşitli kaynaklardan toplanan çok farklı malzemelerden istifade edilmiştir. Elde edilen bulgular, tek yönlü varyans analizi ve basit ikili korelasyon kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçta havzada yıllık ortalama toprak kaybı, $5.26 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Belirlenen bu toprak kaybı değeri, Türkiye ortalamasının ($6.14 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) altında olduğu için oldukça olumlu bir durumdur. Buna mukabil havza alanında yaygın bir şekilde (% 61.9) çok hafif (Risk 1) erozyon riskinin etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca istatistiksel analiz sonuçlarına göre havzadaki erozyon riski ile değişkenler arasında hem anlamlı bir fark hem de pozitif (+) yönlü bir ilişki hâkimdir. Havza genelinde erozyonu önlemek veya asgari düzeye indirmek amacıyla bazı tedbirlere gereksinim duyulmaktadır. Bu bağlamda öncelikle, hâlihazırdaki erozyon alanları erozyon kontrol sahaları olarak ilan edilip, denetim altına alınmalıdır. Bu çalışma CBS ve istatistiksel analizlerle desteklenmiş erozyon uygulamalarının daha sağlıklı sonuçlar sunduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak erozyonu, RUSLE (Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi) yöntemi, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), İstatistiksel analiz.

The Spatial Distribution of Soil Loss in Alakır Creek Basin (Antalya) and Factors Influential on It

Soil erosion, which is caused by water, is one of the most important environmental problems of Turkey. It increases every day as a result of the unconscious activities of people. This study aims to reveal soil loss in Alakır Creek basin and highlight the factors influential on differences between areas in terms of soil loss. GIS (Geographic Information Systems) based RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) method was employed in the study. Various materials obtained from different resources were used. The obtained findings were evaluated via one-way analysis of variance and simple binary correlation. It was concluded that the basin has an average annual soil loss of $5.26 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$. This is a significant finding because this value is below Turkey's average ($6.14 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$). On the other hand, it was found that very low (Risk 1) erosion risk is effective in most of the basin area (61.9%). Also, the statistical analysis results indicated that a significant difference and a positive (+) relationship exist between the erosion risk in the basin and the variables. Certain measures should be taken to prevent or minimize erosion across the basin. In this context, firstly the current erosion areas should be announced as erosion control areas and taken under control. This study showed that erosion practices supported by GIS and statistical analyses yield sounder results.

Keywords: Soil erosion, RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) method, Geographic Information Systems (GIS), Statistical analysis

Giriş

Hızlı nüfus artışından sonra ikinci en büyük sorun olarak görülen toprak erozyonu (Pimentel, 2006; Pradhan ve ark., 2011), dünyada olduğu gibi Türkiye'nin de en önemli çevresel problemlerinden biridir (Efe ve ark., 2008a; 2008b; Kefi ve ark., 2010; Panagos ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2014). Bu nedenle gerek dünyada gerekse Türkiye'de toprak erozyonunun önlenmesi

amacıyla çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Günümüze yakın dönemde bu yöntemlerden en fazla tercih edileni, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı RUSLE (Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi) yöntemidir (Ekinci, 2007; Özşahin, 2014).

Türkiye akarsu havzalarında; Ekinci (2005) Kozlu Deresi havzası, Yılmaz (2006) Çamlıdere barajı havzası, Ekinci (2007) Durusu gölü havzası, Tağil (2007) Tuzla Çayı havzası, Cürebal ve Ekinci (2006)

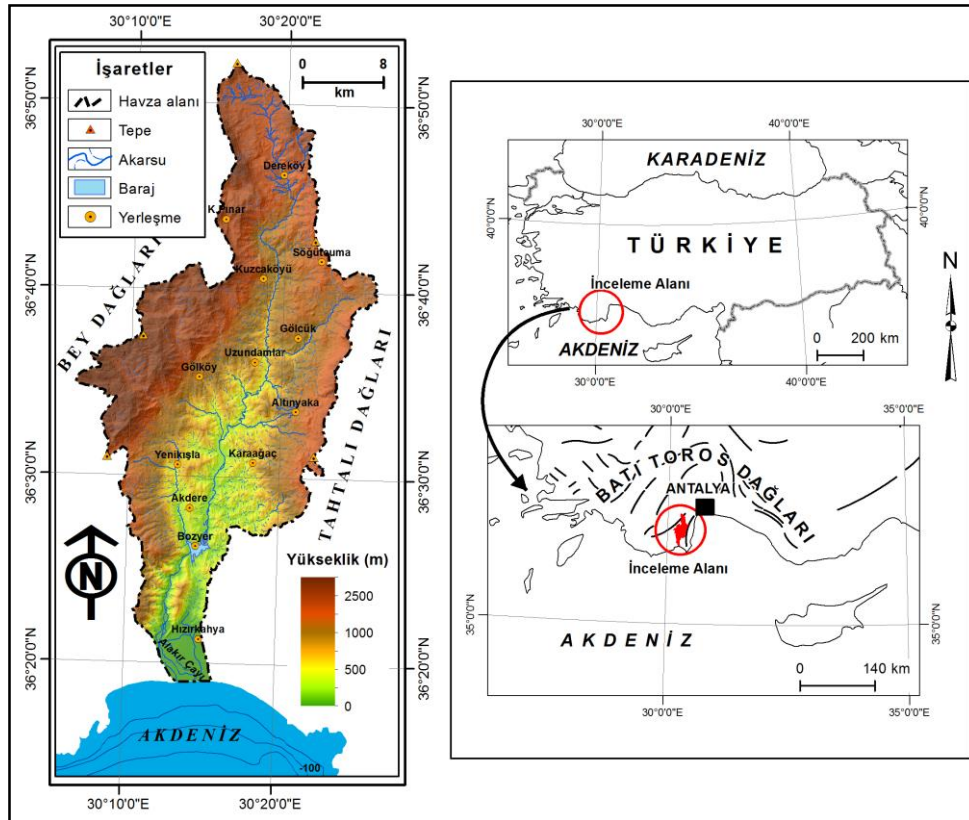
Kızılkeçili Deresi havzası, İrvem ve ark. (2007) Seyhan Nehri havzası, Efe ve ark. (2008a) Şahin Dere havzası, Efe ve ark. (2008b) Fındıklı Dere havzası, Karabulut ve Küçükönder (2008) Kahramanmaraş Ovası ve çevresi, Tağlı (2009) Çakırdere ve Yahu Dere havzaları, Yıldırım ve Erkal (2011) Şuhut Çayı Havzası, Yıldırım (2011) Değirmen Çayı havzası, Özşahin (2011) Zeytinli Çayı havzası, Erkal (2012) Çobanlar Çayı havzası, Erkal ve Yıldırım (2012) Akarçay havzası, Yıldırım ve Erkal (2013) İhsaniye Çayı Havzası, Özşahin ve Atasoy (2013; 2014) Aşağı Asi Nehri havzası, Kızılelma ve Karabulut (2014) Mut havzası örneklerinde çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Bu çalışmada CBS tabanlı RUSLE yöntemi kullanılarak Alakır Çayı havzasındaki toprak kaybının ortaya konması ve toprak kaybındaki mekânsal farklılıklar üzerinde etkili olan faktörlerin (litoloji, yağış, eğim, toprak ve zemin örtüsü) vurgulanması amaçlanmıştır. Çünkü havza alanında beşeri kullanımlardan kaynaklanan çeşitli sorunlar yaşanmaktadır. Esasında bu sorunların hemen hepsi birbiriyle bağlantılı olup,

bunların temelinde insanın doğaya yanlış müdahalesi yatmaktadır. Doğal ortam şartlarının uygun olmayan, mekânın taşıma kapasitesinin üzerine çıkan arazi kullanımları, mekân üzerindeki baskıyı arttırmakta ve beraberinde bazı sorunları getirmektedir. Bu sorunlar bazen geriye dönüşü mümkün olmayan doğal kaynak kayıplarına sebep olmaktadır (Yaman Kocadağlı, 2012). Bunların başında havza alanının toprak kaynakları gelmektedir (Foto 1). Çalışma bu toprak kaynaklarının korunmasının önemini ifade etmesi bakımından önemlidir.

İnceleme Alanının Konumu ve Genel Özellikleri

İnceleme alanı, Türkiye'nin güneybatı kesiminde, Antalya İli sınırları içerisinde yer alan Alakır Çayı havzasıdır (Şekil 1). Havza alanı, K-G doğrultusunda uzanmakta olup (Şekil 1), yüzölçümü 780.64 km²'dir. Ana akarsu kolunun uzunluğu 75 km'dir. Havzadaki yükselti seviyesi ise 0-3040 m'ler arasında değişmektedir (Şekil 1; 2).



Şekil 1. Alakır Çayı havzasının lokasyon haritası
Figure 1. Location map of Alakır Creek basin



Şekil 2. Alakır Çayı havzasında görülen toprak erozyonu
Figure 2. Soil erosion observed in the Alakır Creek basin

Alakır Çayı ve kollarının meydana getirdiği drenaj havzası, Jura-Kretase platform tipi çökellerden oluşan Beydağları otoktonu ile okyanusal kabuk

kökenli kayalar içeren Antalya napları üzerine kurulmuştur. Ayrıca bu birimler arasında küçük boyutta tektonik dilimler halinde Tersiyer'e ait

kireçtaşları gözlenir. Kuvaterner formasyonlar ise havzadaki en genç kaya birimlerini oluşturur (Şenel, 1997a; 1997b). Tektonik anlamda Orta Miyosen sonrası meydana gelmiş faylanmalara ve kırılmalara bağlı olarak şekillenen bu havzada, en önemli tektonik kırık Beydağları Fayı'dır (Şenel, 1997a; 1997b).

İnceleme alanında, yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı karakteristik Akdeniz iklimi egemendir (Koçman, 1993). Sahanın yıllık sıcaklık ortalaması 18.8 °C, yıllık ortalama toplam yağış miktarı ise 944.2 mm'dir.

İklim özelliklerine paralel olarak yöre akarsuları "Yağmurlu Akdeniz Rejimi" karakterindedir. Ayrıca havza alanı ve çevresinde kireçtaşlarından meydana gelmiş dağlık araziler karst kaynakları bakımından zengindir (Kantarci, 2011)

İnceleme alanındaki toprak nem rejimi Xeric, sıcaklık rejimi de Thermic'tir. Sahada, eski sınıflandırma sistemine göre Alüvyal, Kolüvyal, Kırmızı Kahverengi Akdeniz, Kırmızı Akdeniz, Kahverengi Orman, Kireçsiz Kahverengi Orman ve Regosoller olmak üzere çeşitli türde büyük toprak grupları yayılış göstermektedir (Aydınalp ve Arslan, 2003).

Doğal bitki örtüsü bakımından Akdeniz Bölgesi sınırları içerisinde kalan (Atalay, 1994) sahada, doğal faktörlerde yaşanan değişimlere bağlı olarak bitki örtüsü de farklılık sunar. Bu alanda genellikle kızılçam, karaçam ve sedir ormanları yaygındır. Havzanın Akdeniz kıyı kesimi ise tarım alanı (seracılık) olarak değerlendirilmektedir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada USLE (Evrensel Toprak Kaybı Denklemi)'nin geliştirilmesi ile meydana getirilmiş olan RUSLE yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem aşağıdaki formül içeriği doğrultusunda uygulanmıştır.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Burada; A= Ortalama toprak kaybı ($t \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$), R= Yağış erozyon faktörü ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$), K= Toprak erozyon faktörü ($t \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), LS= Eğim uzunluk ve eğim dikliği faktörü, C= Arazi örtüsü ve yönetimi faktörü, P= Erozyon kontrol faktörüdür.

Çalışmada temel materyal olarak Türkiye Topoğrafya Haritalarının 1:25.000 ölçekli ilgili paftaları kullanılmıştır. Faktör haritalarının oluşturulmasında ise çok farklı kaynaklardan temin edilen verilerden istifade edilmiştir. Çalışma

yöntemine ait tematik haritalar ise çeşitli kaynaklardan elde edilen materyaller sayesinde oluşturulmuştur. R faktörü, Finike Meteoroloji İstasyonunun (3 m) uzun yıllara ait (1975-2012) iklim verilerine dayalı olarak tespit edilmiştir. K faktörü, T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının elde edilen 1:100.000 ölçekli sayısal toprak haritalarından tedarik edilmiştir. LS faktörü; METI (Japonya Ekonomi, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı), ERSDAC (Dünya Uzaktan Algılama Veri Analiz Merkezi) ve NASA (Amerika Ulusal Havacılık ve Uzak Dairesi) tarafından üretilen 30x30 m çözünürlüğündeki SYM-GDEM (Sayısal Yükseklik Modeli-Global Digital Elevation Model) verisi kullanılarak oluşturulmuştur. C faktörüne ait veriler T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından paylaşımına sunulan 1:25.000 ölçekli Ulusal Arazi Örtüsü Sınıflandırma sisteminden (2013) alınmıştır.

Çalışmanın analiz safhasında yukarıda sayılan bütün veriler, erozyona etki dereceleri ölçüsünde sınıflandırılmış ve duyarlılık sınıfları oluşturulmuştur. Bunun sonucunda etkili bütün faktörlerin grid temelli metot çerçevesinde 10x10 m çözünürlüğünde grid haritaları üretilmiştir. Bu grid haritalar formül içeriği doğrultusunda birleştirilerek, havza alanının erozyon risk haritası oluşturulmuştur. Bu haritada benzer çalışmalarda olduğu şekilde erozyon potansiyeli risk derecelendirmesi; çok hafif (Risk1 $<5 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$), hafif (Risk 2, $5-12 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$), orta (Risk 3, $12-35 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$), güçlü (Risk 4, $35-60 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$), şiddetli (Risk 5, $60-150 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) ve çok şiddetli (Risk 6, $150-> \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) şeklinde altı sınıfta gruplandırılmıştır (Tağıl, 2007; Özşahin, 2014). Böylece havzadaki erozyon risk sınıflarının kapladığı alanlar ile dağılımları ortaya çıkarılmış ve yıllık toplam ortalama toprak kayıp miktarı bulunmuştur.

Ayrıca havzadaki toprak kaybı ve toprak kaybındaki mekânsal farklılıklar üzerinde etkili olan faktörler (litoloji, yağış, eğim, toprak ve zemin örtüsü) arasındaki ilişkinin açıklanması amacıyla istatistiksel analiz yapılmıştır. Söz konusu analize göre erozyon riski bağımlı değişken, erozyonu etkileyen faktörler ise bağımsız değişkenlerdir. Bu bağlamda havza içinden rastgele 100 örnek noktası belirlenmiştir. Her örnek noktasında, bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait bilgiler "ilişkili tablolama yöntemi" ile tespit edilmiştir. Daha sonra bu ilişkiyi anlamlı kılmak amacıyla tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) yapılmıştır. Analiz

sonuçları 0.05 anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, dereceli olarak farklılaşan değişkenler arasındaki istatistikî ilişki ise basit ikili korelasyon (Bivariate correlation) analizlerinden Pearson korelasyon katsayısı tekniği ile çözümlenmiştir. Çalışmanın görüntü analizleri ArcGIS 10.3, istatistikî analizleri ise IBM SPSS Statistics 22 yazılımlarıyla yapılmıştır.

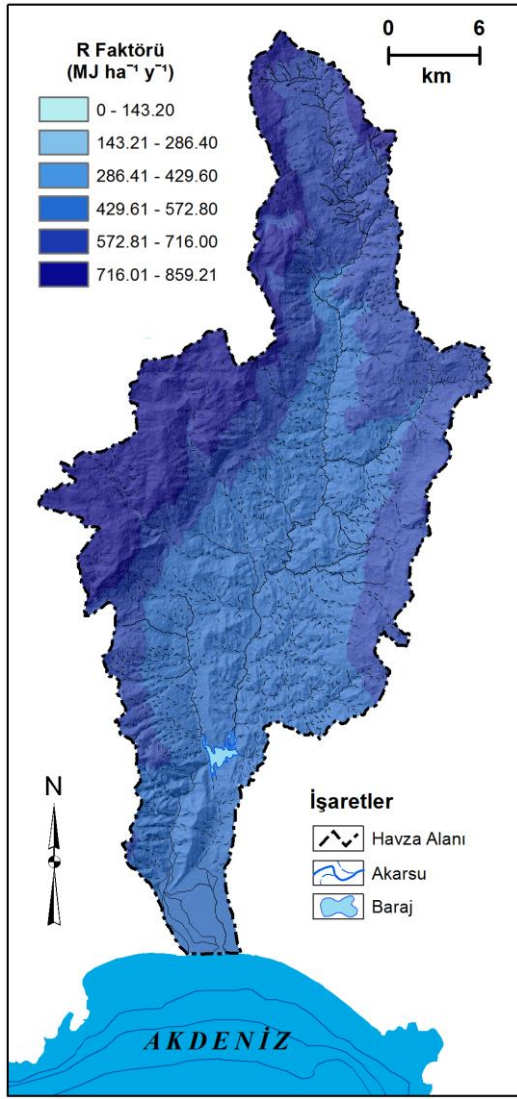
Bulgular ve Tartışma

RUSLE Denklem Faktörleri

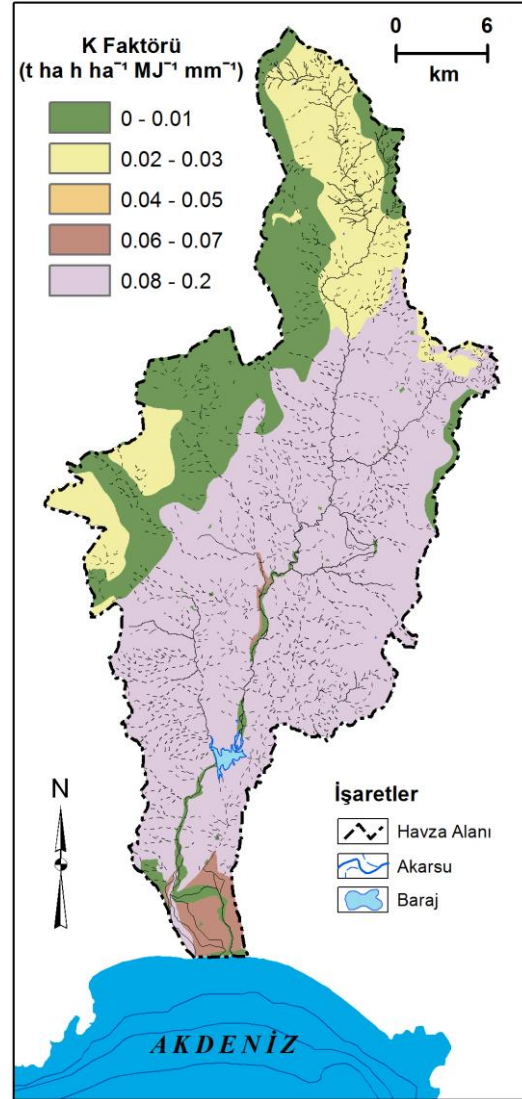
R (Yağış Erozyon) Faktörü: İklim özelliklerine bağlı olarak karakter kazanan yağış koşulları, bilhassa topoğrafya yüzeyine düşen yağmur şeklinde yağışlar, toprak erozyonunun artışında önemli rol oynar (Cürebal ve Ekinci, 2006). Alakır Çayı havzası için yağış erozyon faktörü, yıllık ve aylık yağış ortalamalarının hesaplandığı “Modified Fournier Index (MFI)” (Arnoldous, 1977; Bayramin ve ark., 2006) esas alınarak saptanmıştır. $MFI = \sum p_i^2 / P_j$ şeklinde olan bu eşitliğe göre; p_i aylık yağışları (mm), P_j ise yıllık yağışların ortalamasını (mm) ifade eder. Burada “Yağış Erozyon Faktörü = $(4.17 MFI) - 152$ ” eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır.

Alakır Çayı havzasının yağış erozyon faktörü, yağış verilerinin Schreiber tarafından önerilen her 100 m’de 54 mm yağışın artması ilkesi göz önünde bulundurularak geliştirilen $Ph = Po + 4.5xh$ (Ardel ve ark., 1969; Dönmez, 1979) formülü yardımıyla hesaplanmıştır (Cürebal ve Ekinci, 2006). Bu formüle göre, “Ph” ortalama aylık yağış miktarı (mm) ve “Po” yükseltisi bilinen noktanın ortalama aylık yağış miktarı (mm)’ni ifade etmektedir. Formül sonucuna göre Alakır Çayı havzasında yükseltiye göre R faktörü değerleri tespit edilmiştir (Şekil 3).

K (Toprak Direnç) Faktörü: Toprak, hem erozyon olayının gerçekleşmesi için gerekli materyali sağlaması hem de erozyona neden olan yağış sularını bünyesine almak suretiyle farklı şekillerde erozyonla etkileşimlidir (Özşahin, 2014). Bu nedenle erozyon çalışmalarında toprağın erozyona karşı direncinin tespit edilmesi önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır (Ekinci, 2007; Cürebal ve Ekinci, 2006; Erkal ve Yıldırım, 2012). Havza alanındaki toprakların K faktör değerleri benzer çalışmalarda bildirilen (Doğan ve ark., 2000; İrvem ve Tülücü, 2004; Karabulut ve Küçükönder, 2008) katsayılar ışığında tespit edilmiştir (Şekil 4; Çizelge 1).



Şekil 3. R faktörünün dağılış haritası
Figure 3. Distribution map of R factor



Şekil 4. K faktörünün dağılış haritası
Figure 4. Distribution map of K factor

Çizelge 1. Havza alanının K faktörü değerleri

Table 1. Basin area of K factor values

Büyük Toprak Grubu	RUSLE Duyarlılık Değeri
Kolüvyal Topraklar	0.18
Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları	0.15
Kahverengi Orman Toprakları	0.20
Kırmızı Akdeniz Toprakları	0.011
Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklar	0.15
Regosoller	0.18
Çıplak kayalık	0.001

LS (Eğim Uzunluk ve Eğim Dikliği) Faktörü: Topoğrafya özelliklerinden eğim uzunluk ve eğim dikliği değişkenleri erozyonun ortaya çıkmasını tetikleyen diğer önemli faktörlerdendir. Ortalama

eğimin % 36 olduğu havza alanında eğim değerleri, özellikle havzanın dağlık kesimlerinde artış gösterirken, vadi tabanları ve ovalık sahalarda ise belirgin bir azalış eğilimi sergiler. Bu

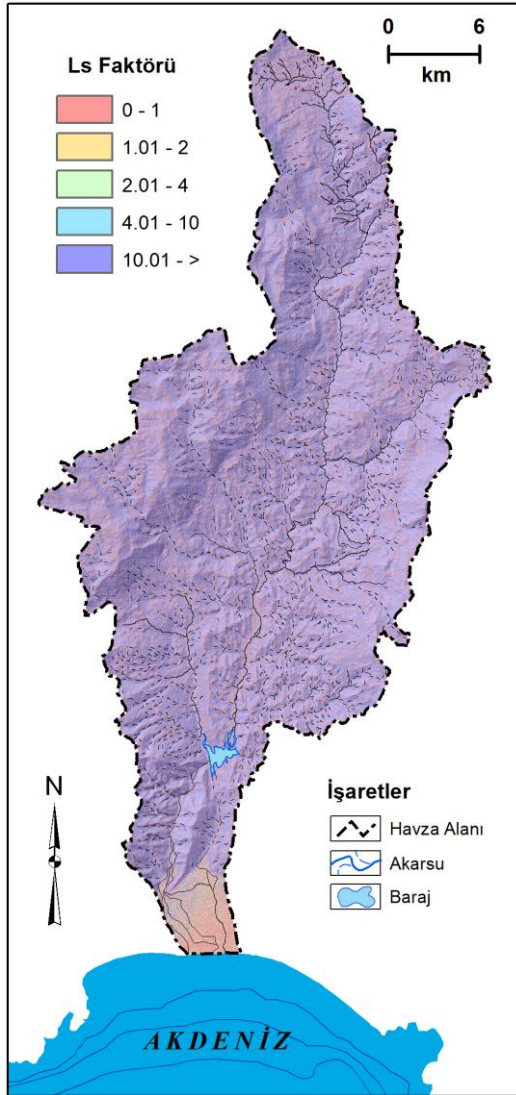
bakımdan havza alanı için LS faktörü, SYM kullanılarak oluşturulmuştur. Bu amaçla SYM'den eğim (derece) haritası ve ArcHydro ile akım yığılımı ve akım yönü analizi yapılmıştır. Havzaya ait LS faktörü, aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır (Mitasova ve ark., 1996; Desmet ve Govers, 1996; Tağil, 2007).

$$"LS = 1.6 * Pow ([Flow\ accumulation] * \frac{\text{çözünürlük}}{22.1,0.6}) * Pow (Sin([eğim\ (derece)]) * 0.01745) / 0.09,1.3)"$$

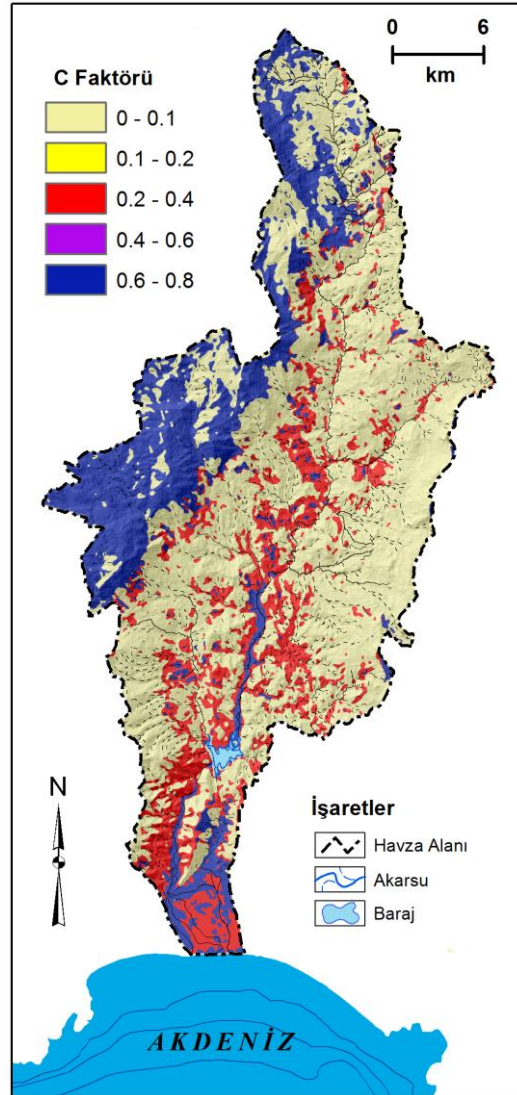
Burada; Pow= Üs, Flow accumulation= Akım yığılımı, Sin= Sinüs'tür. Buna göre; LS değerleri

havza alanında akarsu vadilerine karşılık gelen sahalarda ve eğim değerlerinin yüksek olduğu dağlık alanlarda artmaktadır. Havza tabanında eğim değerlerinin düşük olduğu sahalarda ise bu değerler azalmaktadır (Şekil 5).

C (Zemin Örtüsü) Faktörü: Bilindiği gibi zemin örtüsü ve bu örtünün neden olduğu zemin kapallık derecesi, toprak erozyonunun şiddetini ve boyutunu etkilemektedir (Cürebal ve Ekinci, 2006). Bu bağlamda havza alanındaki C faktör değerleri Efe ve ark. (2008a) tarafından izlenen yöntemle göre belirlenmiştir (Şekil 6; Çizelge 2).



Şekil 5. LS faktörünün dağılış haritası
Figure 5. Distribution map of LS factor



Şekil 6. C faktörünün dağılış haritası
Figure 6. Distribution map of C factor

Çizelge 2. Havza alanında C faktörü değerleri
Table 2. Basin area of C factor values

Zemin Örtüsü	RUSLE Duyarlılık Değeri
Yerleşme	0.0000
Tarım alanı	0.3800
Orman (Kapalılık % < 40)	0.0006
Orman (Kapalılık % > 40)	0.0002
Su yüzeyleri	0.0000
Açık Alan	0.8000

P (Erozyon Önleyici) Faktörü: Erozyonla meydana gelen toprak kaybı arasında ters bir orantının hâkim olduğu P faktörü, erozyonun oluşumuna neden olan su etkisini gidermeye yönelik çalışmaları içine alan erozyon kontrol tekniklerini kapsar (Morgan, 2005). Havza alanında bu faktörün etkisi belirlenememiştir. Ancak Türkiye koşullarında bu etkinin zaten tespitinin pek mümkün olmadığı kaydıyla yola çıkarak (Özşahin ve Atasoy, 2014) ve bu faktörün belirlenemediği durumlarda 1 olduğu varsayılmıştır (Renard ve ark., 1991; Tağil, 2007). İlgili nedenden dolayı bu faktör 1 alınarak, değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

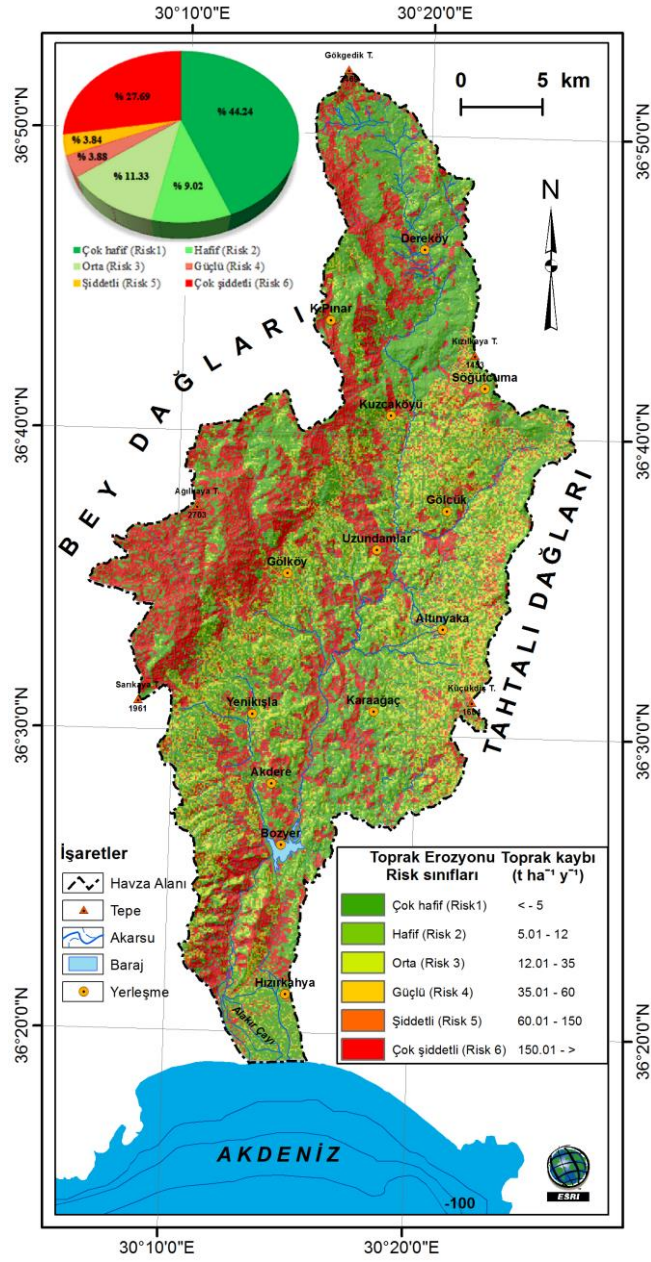
Erozyon Analizi

Çalışmanın analiz sonuçları, havza alanında Türkiye ortalamasının ($6.14 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) (Çakal ve ark., 1997) altında bir toprak kaybının ($5.51 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) hakim olduğunu göstermiştir. Bu olumlu bir bulgudur. Nitekim havza alanında çok hafif (Risk1) erozyon riskinin alansal olarak (% 44.24) en baskın olması da bu bulguyu teyit etmektedir. Buna karşın havza alanında ikinci en yaygın erozyon risk sınıfı ise (%27.69) çok şiddetli (Risk 6) erozyon riski kategorisidir. Bu sahalar daha çok havzanın Bey Dağları'na doğru olan kesimlerine tekabül etmektedir (Şekil 7). Zira bu yörede yağış ve eğim değerleri fazla, zemin örtüsü ise zayıftır. Söz konusu durum erozyonu şiddetlendirmektedir. Diğer risk sınıflarının durumları ise şekil 7 ve çizelge 3'te sunulmuştur (Şekil 7; Çizelge 3). Bu

sonuçlar havza alanında erozyon riskinin yağış etkinliğinin fazla, zemin örtüsünden yoksun eğimli yamaç arazilerde vuku bulduğuna işaret etmektedir. Zira benzer yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiş çalışmalarda da söz konusu doğal etkenlerin toprak erozyonu riskini arttırdığı zikredilmiştir (Özşahin, 2014).

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, Türkiye için aynı yöntem kullanılarak yapılan havza kapsamlı diğer çalışmalarla örtüşmektedir. Ancak her akarsu havzasında ulaşılan değerlerin değişiklik göstermesinin; topoğrafik karakteristikler, yağış koşulları ve zemin örtüsünün farklı olmasından kaynaklanmakta olduğu açıklanmıştır (Erkal ve Yıldırım, 2012). Bunun yanında havzalara göre toprak kaybının farklılık göstermesinde ise yağış değerlerinin yanı sıra eski çalışmalarda R faktörüne ilişkin değerlerin RUSLE formülüne uygulanmasında Doğan (1987; 2002)'nin esas alınması ile ilgili olduğu da ileri sürülmüştür (Erkal, 2012).

Çalışma sonucunda elde edilen bulguları daha anlamlı kılmak amacıyla istatistiksel analiz yapılmıştır. Bu bağlamda öncelikle gerçekleştirilen tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) sonuçlarına göre havza alanında erozyon riski ile bağımsız değişkenler arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir ($p < 0.005$) (Çizelge 4).



Şekil 7. Havza alanında erozyon risk sınıflarının dağılım haritası
Figure 7. Map of spatial distribution of erosion risk classes in the basin area

Çizelge 3. Toprak kayıp miktarı (t ha⁻¹ y⁻¹) ve risk sınıfları

Table 3. The amount of soil loss (t ha⁻¹ per year) and erosion risk classes

Toprak Erozyonu Risk sınıfları	Toprak kaybı (t ha ⁻¹ y ⁻¹)	Alan (ha)	Oran (%)
Çok hafif (Risk1)	< - 5	345.38	44.24
Hafif (Risk 2)	5 - 12	70.39	9.02
Orta (Risk 3)	12 - 35	88.44	11.33
Güçlü (Risk 4)	35 - 60	30.29	3.88
Şiddetli (Risk 5)	60 - 150	30.01	3.84
Çok şiddetli (Risk 6)	150 - >	216.13	27.69
TOPLAM		780.64	100.00

Çizelge 4. ANOVA analizinin sonuçları

Table 4. Results of ANOVA analysis

Değişkenler	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı (KT)	Serbestlik Derecesi (Sd)	Kareler Ortalaması (KO)	F	p
Litoloji	Grup içi	19.229	5	3.846	1.413	0.227
	Gruplar arası	255.771	94	2.721		
	Toplam	275.000	99			
Yağış	Grup içi	92.332	5	18.466	3.047	0.014
	Gruplar arası	569.778	94	6.061		
	Toplam	662.110	99			
Eğim	Grup içi	91.244	5	18.249	3.227	0.010
	Gruplar arası	531.506	94	5.654		
	Toplam	622.750	99			
Toprak	Grup içi	26.752	5	5.350	3.837	0.003
	Gruplar arası	131.088	94	1.395		
	Toplam	157.840	99			
Zemin Örtüsü	Grup içi	20.889	5	4.178	2.119	0.070
	Gruplar arası	185.301	94	1.971		
	Toplam	206.190	99			

Yine havza alanında toprak kaybı ile değişkenler arasındaki Pearson korelasyon katsayısı ise sırasıyla $r = 0.133$, $r = 0.312$, $r = 0.212$, $r = 0.309$ ve $r = 0.207$ 'dir (Çizelge 5). Buna göre toprak kaybı ve değişkenler arasında pozitif (+) yönlü bir ilişki söz konusudur (Çizelge 5). Ancak bu ilişki, yağış ve toprak değişkenlerinde $p < 0.01$, eğim ve zemin örtüsü değişkenlerinde $p < 0.05$ seviyelerinde olmasına rağmen, litoloji değişkeninde ise herhangi bir seviye tespit edilememiştir (Çizelge 5). Bu bakımdan genel olarak havza alanındaki değişkenlerin erozyona karşı hassasiyetlerinin duyarlılıkları nispetinde arttığı anlaşılmıştır. Yani yağışın ve eğimin artmasına buna karşın, toprak ve zemin örtüsü duyarlılığının ise azalmasına bağlı olarak toprak kaybı büyümektedir. Toprak ve zemin örtüsü duyarlılığının azalması, yağış ve eğimin artması toprak kaybını artırmaktadır. Benzer değerlendirme Tağıl (2009) tarafından Çakırdere ve Yahu Dere havzalarında da yapılmıştır.

Sonuç

Çalışmanın sonuçları, havza alanında Türkiye ortalamasının ($6.14 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) altında bir toprak

kaybının ($5.51 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) hâkim olduğunu göstermiştir. Havza alanında çok hafif (Risk1) erozyon riski egemendir. Diğer taraftan havza alanında ikinci en yaygın erozyon risk sınıfı ise çok şiddetli (Risk 6) erozyondur. Genel olarak havzada yağış ve eğimin düşük ve zemin örtüsünün yoğun olduğu sahalarda erozyon riski azalırken, söz konusu faktörlerin zıt yönde değiştiği sahalarda (Bey Dağları'nın yamaçları gibi) erozyon riski artmaktadır.

Tek yönlü varyans analizi sonucunda, havza alanında erozyon riski ile bağımsız değişkenler arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir ($p < 0.005$). Pearson korelasyon katsayısı analizine göre havzada, toprak kaybı ve değişkenler arasında pozitif (+) yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Yağış ve toprak değişkenlerinde $p < 0.01$, eğim ve zemin örtüsü değişkenlerinde $p < 0.05$ seviyelerinde olan bu ilişki, litoloji değişkeninde ise saptanamamıştır.

Sonuç olarak havza alanında erozyonun önlenmesi için bir takım tedbirler alınmalıdır.

Çizelge 5. Değişkenler ve toprak kaybı arasındaki ilişki

Table 5. The relationships between variables and soil loss

Pearson Korelasyon Katsayısı	Litoloji	Yağış	Eğim	Toprak	Zemin Örtüsü
Korelasyon Katsayısı	0.133	0.312**	0.212*	0.309**	0.207*
Sig. (2-kuyruklu)	0.186	0.002	0.034	0.002	0.039

**Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlıdır (2-kuyruklu); *Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır (2-kuyruklu)

Bu bağlamda öncelikle, hâlihazırdaki erozyon alanları erozyon kontrol sahaları olarak ilan edilip, denetim altına alınmalıdır. Bir yandan mevcut bitki örtüsü korunurken, diğer yandan da bitki örtüsünün olmadığı sahalara ağaçlandırılmalıdır. Ayrıca havzada bilhassa zemin örtüsünü etkileyen insan faaliyetleri kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Zira bahsi geçen önlemler alınmazsa veya ertelenirse, havzadaki erozyon önlenemeyecek bir boyut kazanabilir. Bu çalışma CBS ve istatistiksel analizlerle desteklenmiş erozyon uygulamalarının daha sağlıklı sonuçlar sunduğunu göstermiştir.

Teşekkür

Arazi çalışmaları esnasında değerli katkıları için Kemal KELEŞ'e teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Ardel, A., Kurter, A., Dönmez, Y. 1969. Klimatoloji Tatbikatı. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Arnoldous, H. M. J. 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin* 34: 39-51.
- Atalay, İ. 1994. Türkiye Vegetasyon Coğrafyası. Ege Üniversitesi Basımevi. İzmir.
- Aydınalp, C., Arslan, Y. 2003. Antalya Havzasındaki Büyük Toprak Gruplarının FAO/UNESCO (1990), FitzPatrick (1988) ve Toprak Taksonomisi (USDA Soil Taxonomy, 1998) Sistemlerine Göre Sınıflandırılması. *ANADOLU J. of AARI* 13 (2): 117 - 139.
- Bayramın, İ., Erpul, G., Erdogan, H. E. 2006. Use of CORINE methodology to assess soil erosion risk in the semi-arid area of Beypazarı, Ankara. *Turkish J. Agric For.* 30: 81-100.
- Cürebal, İ., Ekinci, D. 2006. Kızılköçü Deresi Havzasında CBS Tabanlı RUSLE (3D) Yöntemiyle Erozyon Analizi. *Türk Coğrafya Dergisi* 47: 115-130.
- Çakal, M. A., Özlü, A., Birhan, H., Bakır, H., Gültepe, N. Z., Ayday, C. 1997. Tortum gölü havzasının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemiyle erozyon risk haritasının hazırlanması. Türkiye'nin Erozyon Sorunu ve Adana'nın Yeri Kongresi, Çağrılı Bildiriler, Proje Tasarımları, Önlem ve Öneriler Kitabı, 5-6 Aralık 1997, Adana.
- Desmet, P. J. J., 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 (5): 427-433.
- Doğan, O. 1987. Türkiye Yağışlarının Erosiv Potansiyelleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Doğan, O. 2002. Türkiye Yağışlarının Erozyon Oluşturma Gücü ve Ünsel Toprak Kaybı Eşitliğinin Yağış Erozyon İndeks Değerleri. Köy Hizmetleri Genel

- Müdürlüğü Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları Genel Yayın No: 220, Rapor Yayın No: R-120, Ankara.
- Doğan, O., Küçükçakar, N., Cebel, H., Akgül, S. 2000. Türkiye Büyük Toprakları "K" Faktörleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Dönmez, Y. 1979. Umumi Klimatoloji ve İklim Çalışmaları. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları No: 2506, İstanbul.
- Efe, R., Ekinci, D., Cürebal, İ. 2008a. Erosion Analysis of Şahin Creek Watershed (NW of Turkey) Using GIS Based on RUSLE (3D) Method. *Journal of Applied Science* 8 (1): 49-58.
- Efe, R., Ekinci, D., Cürebal, İ. 2008b. Erosion Analysis of Fındıklı Creek Catchment (NW of Turkey) Using GIS Based on RUSLE (3D) Method. *Fresenius Environmental Bulletin* 17 (5): 568-576.
- Ekinci, D. 2005. CBS Tabanlı Uyarlanmış RUSLE Yöntemi İle Kozlu Deresi Havzası'nda Erozyon Analizi. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi 13: 109-119.
- Ekinci, D. 2007. Estimating of Soil Erosion in Lake Durusu Basin Using Revised USLE 3D with GIS. Çantay Press, İstanbul.
- Erkal, T. 2012. Çobanlar Havzası'nda (Afyonkarahisar) Toprak Erozyonun Değerlendirmesi. *The Journal of Academic Social Science Studies* 5 (8): 543-562.
- Erkal, T., Yıldırım, Ü. 2012. Soil Erosion Risk Assessment in the Sincanlı Sub-Watershed of the Akarçay Basin (Afyonkarahisar, Turkey) Using the Universal Soil Loss Equation (USLE). *Ekoloji* 21 (84): 18-29.
- Erkal, T., Yıldırım, Ü. 2012. Soil Erosion Risk Assessment in the Sincanlı Sub-Watershed of the Akarçay Basin (Afyonkarahisar, Turkey) Using the Universal Soil Loss Equation (USLE). *Ekoloji* 21 (84): 18-29.
- İrvem, A., Topaloğlu, F., Uygur, V. 2007. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. *Journal of Hydrology* 336: 30-37.
- İrvem, A., Tülücü, K. 2004. Coğrafi Bilgi Sistemi ile Toprak Kaybı ve Sediment Verimi Tahmin Modelinin (EST) Oluşturulması ve Seyhan-Körkün Alt Havzasına Uygulanması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi No: 13, <http://fbc.cukurova.edu.tr/makale/cografibilgisistemi.pdf>, Son Erişim Tarihi: 09.02.2012.
- Kantarci, M. D. 2011. Alakır Çayı Havzasında Nehir Tipi Hidroelektrik Santralleri (HES) Kurulması Girişimlerinin Ekolojik Bakımdan İrdelenmesi. Erişim Adresi: http://www.cem.gov.tr/erozyon/Files/resimliHaber/2012_corum_egitimi/Alakir_Cayi_Havzasi_2011_Kitap.pdf, Son Erişim Tarihi: 26.01.2015.
- Karabulut, M., Küçükönder, M. 2008. Kahramanmaraş Ovası ve Çevresinde CBS Kullanılarak Erozyon Alanlarının Tespiti. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi* 11 (2): 14-22.
- Kefi, M., Yoshino, K., Setiawan, Y., Zayani, K., Boufaroua, M. 2010. Assessment of the effects of vegetation on soil erosion risk by water: a case of study of the Batta watershed in Tunisia. *Environmental Earth Sciences* 64 (3): 707-719.

- Kızılelma, Y., Karabulut, M. 2014. Mut Havzasında Erozyona Duyarlı Alanların Belirlenmesi. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi 7 (31): 439-456.
- Koçman, A. 1993. Türkiye İklimi. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü. İzmir.
- Mitasova, H., Hofieka, J., Zlocha, M., Iverson, L. R. 1996. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. International Journal of Geographic Information Systems 10: 629-641.
- Morgan, R. P. C. 2005. Soil Erosion & Conservation. Blackwell Publishing, USA.
- Özşahin E., Atasoy, A. 2014. Aşağı Asi Nehri Havzası'nın Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) Teknikleriyle Erozyon Analizi. ISBN: 978-975-7989-46-2, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları No: 48, Hatay.
- Özşahin, E. 2011. Zeytinli Çayı Havzasının (Balıkesir) Erozyon Analizi. E-Journal of New World Sciences Academy 6 (1): 42-56.
- Özşahin, E. 2014. Tekirdağ İlinde CBS Tabanlı RUSLE Modeli Kullanarak Erozyon Risk Değerlendirmesi. JOTAF / Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 11 (3): 45-56.
- Özşahin, E., Atasoy, A. 2013. Soil Erosion Estimation in Lower Asi River Catchment Using GIS. Procedia - Social and Behavioral Sciences 120: 730-739.
- Panagos, P., Christos, K., Cristiano, B., Ioannis, G. 2014. Seasonal monitoring of soil erosion at regional scale: An application of the G2 model in Crete focusing on agricultural land uses. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 27: 147-155.
- Pimentel, D. 2006. Food and environmental threat of soil erosion. Journal of the Environment, Development and Sustainability 8: 119-137.
- Pradhan, B., Chaudhari, A., Adinarayana, J., Buchroithner, M. F. 2011. Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: a case study at Penang Island, Malaysia. Environmental Monitoring and Assessment 184 (2): 80-85.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., Porter, J. P. 1991. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Journal Soil Water Conservation 46: 30-33.
- Şenel, M. 1997a. 1: 250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Fethiye paftası. No: 2, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şenel, M. 1997b. 1: 250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Antalya paftası. No: 3, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Tağıl, Ş. 2007. Tuzla Çayı Havzasında (Biga Yarımadası) CBS-Tabanlı RUSLE Modeli Kullanarak Arazi Degradasyonu Risk Değerlendirmesi. Ekoloji 17: 11-20.
- Tağıl, Ş. 2009. Çakırdere ve Yahu Dere Havzalarında (Balıkesir) Toprak Kaybının Mekânsal Dağılışı ve Etkileyen Faktörler. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 12 (22): 23-39.
- Yaman Kocadağlı, A. 2012. Kalkan - Kumluca Arasında Kıyı Alanları Kullanımı ve Sorunları. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 530 s.
- Yıldırım, Ü. 2011. Assessment of soil erosion at the Değirmen Creek watershed area, Afyonkarahisar, Turkey. In: Ayvaz M (ed), Proceedings of the International Symposium on Environmental Protection and Planning: Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) Applications (ISEPP), pp.: 73-80, 28-29 June 2011, İzmir.
- Yıldırım, Ü., Erkal, T. 2011. Prediction of soil erosion risk using a GIS-based USLE model: a case study from the Şuhut watershed area, Afyonkarahisar, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin 20 (4): 953-961.
- Yıldırım, Ü., Erkal, T. 2013. Assessment of soil erosion in the İhsaniye watershed area, Afyonkarahisar, Turkey. Scientific Research and Essays 8 (10): 388-397.
- Yılmaz, E. 2006. Çamlıdere Barajı Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 100 s.
- Zhang, S., Liu, Y., Wang, T. 2014. How land use change contributes to reducing soil erosion in the Jialing River Basin, China. Agricultural Water Management 133: 65-73.