Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 11 (2):1-10, 2016
ISSN 1304-9984, *Araştırma Makalesi*

CBS ve LANDSAT Uydu Görüntüsü İle Beyşehir Gölü Havzası Toprak Kayıplarının RUSLE Metoduna Göre Tahmini

Levent BAŞAYİĞİT[1] Gizem UÇAR[1*] Mert DEDEOĞLU[2]

Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta
Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Konya
Sorumlu yazar: leventbasayigit@sdu.edu.tr

Geliş tarihi: 05.08.2015, Yayına kabul tarihi: 25.10.2016

Özet: Bu çalışmada, Beyşehir Gölü Havzası'nda oluşan toprak kayıplarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri kullanarak RUSLE metoduna göre tahmini ve haritalanması yer almaktadır. Çalışmada havza alanı için hazırlanmış haritalar, çeşitli araştırma sonuçları, raporlar, meteorolojik veriler, istatistiki bilgiler, Landsat-5 TM uydu görüntüsü ve arazi çalışmaları sonucu elde edilen veriler kullanılmıştır. RUSLE metodu için gerekli olan parametreler ArcGIS yazılımı kullanılarak tematik katmanlar halinde raster veriler olarak hazırlanmış ve metot gereği ilişkilendirilmiştir. Çalışma sonucunda Beyşehir Gölü Havzası'nın yaklaşık % 85'inde erozyonun tehlikeli bir durum gösterdiği sonucuna varılmıştır. Oluşturulan erozyon haritasına göre Beyşehir Gölü Havzasında potansiyel yıllık toprak kaybı toplamı 36.049.081 ton.yıl-1 ortalaması ise 83,97 ton.ha-1 olarak tahmin edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Erozyon Riski, Beyşehir, Landsat 5, RUSLE

Prediction Soil Loses of Beyşehir Lake Watershed According To RUSSLE Method Using GIS and LANDSAT

Abstract: In this study, soil losses were estimated according to RUSLE Method using by Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing Techniques and mapping for the Beyşehir Lake Watershed. In this research, the basin area maps, a variety of research results, the reports, meteorological data, statistical information, Landsat - 5 TM satellite image and the data as a result of field studies were used. The necessary parameters for the method RUSLE was prepared as a raster data into thematic layers using ArcGIS software and it was interacted due to method. As a result, erosion was seen as a dangerous level approximately 85% of Beyşehir Lake Watershed. According to erosion map, potential of annual total soil loss from Beyşehir Lake Watershed was estimated as 360,490,81 tons.year-1, the annual average soil loss was also estimated 83.97 tons.ha-1.

Key words: Geographical Information System, Erosion Risk, Beyşehir, Landsat 5, RUSLE

Giriş

Erozyonun oluşum derecesi ve etki alanı; erozyon oluşumunu kontrol eden yağış, toprak özellikleri, topoğrafik özellikler, bitki örtüsü ve insanların toprak yönetimine ait uygulamaları gibi faktörlerin birbirleri ile olan ilişkisine göre şekillenmektedir. Toprak kayıplarının belirlenmesi amacıyla bu güne kadar laboratuar ya da arazi koşullarında birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda değişkenler kaydedilmiş, en uygun ilişkiler korelasyon ve regresyon analizlerini içeren istatistik metotlarıyla araştırılmıştır. Ancak bu çalışmalarda ortak sonuçlardan çok birbirinden farklı olan ilişkiler ortaya konulmuştur (Morgan, 1991).

Erozyonla oluşan toprak kayıpları, arazi ölçümleri ya da laboratuar koşullarında yapılan deneyler ile desteklenen matematiksel denklemlerle belirlenmektedir. Elde edilen bu sonuç noktasal verileri oluşturmaktadır. Bu aşamadan sonra verileri anlamlı kılmanın yolu yayılım alanlarının

*Bu calısma vüksek lisans tez calısmasından üretilmistir.

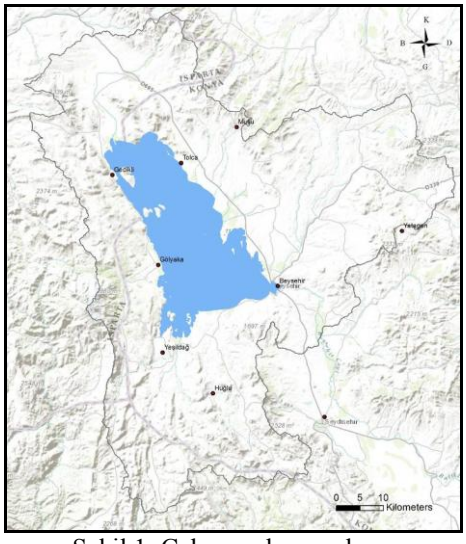
belirlenmesi, bir başka deyişle noktasal verilerle elde edilen sonuçların kapladığı alanların belirlenmesidir. Bu amaçla çeşitli yöntemler üzerinde durulmuştur. Böylece erozyon oluşan alanların ya da erozyon riski bulunan alanların belirlenmesi ve sınırlarının çizilmesi mümkün olmaktadır. Haritalama çalışmalarında matematiksel denklemlerin kullanımının yanı sıra derecelendirme ve modelleme çalışmaları önemli yer tutmaktadır. Bu çalışmalarda özellikle erozyonun mekanizmasını oluşturan parçalanma ve sürüklenme olaylarının modellenmesi; bu olayları kontrol eden iklim, toprak özellikleri, topoğrafik karakteristikler ve bitki örtüsünün durumu üzerine temellendirilmektedir. Araştırmacıların bu uygulamalara yönelmesinin temel nedeni; arazi koşullarında toprak kaybının ölçülmesi için harcanan sürenin ve parasal kaynağın yüksek olması, doğru sonuçların belirlenmesi için ölçüm işlerinin süreklilik gerektirmesi ve laboratuar koşullarında yapılan simülasyon çalışmalarının doğal koşulları yansıtamamasıdır.

Teknolojideki gelişmeler erozyonu belirlemede kullanılan modeller için gerekli olan parametrelerin sayısal katmanlar halinde depolanarak matematiksel ilişkiler yardımıyla tahmin edilmesine yardım etmektedir. Bugün ilk erozyon tahmin modellerinden olan RUSLE için gerekli parametrelerin büyük çoğunluğu bu yolla, yüksek bir doğruluk derecesi ile tahmin edilebilmektedir. Erozyon oluşumunu kontrol eden faktörlerin belirlenmesinde ve özellikle birbirleri ile ilişkilendirilmesinde de teknolojik yeniliklerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bunların başında Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Metodları yer almaktadır. Bilgisayar ortamına aktarılan verilerin harita katmanları halinde depolanmasına ve bu katmanların birbirleri ile ilişkilendirilmesine olanak sağlayan coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı erozyonla oluşan toprak kayıplarının tahmin edilmesinde, erozyon riski taşıyan alanların belirlenmesinde ve haritalanmasında yerini almıştır. Ayrıca bu sistemler erozyon oluşumunu kontrol eden faktörlerin sanal ortamda modellenmesine olanak sağlamıştır. Büyük havzalarda bile binlerce veriyi birbirleri ile ilişkilendirebilen, matematiksel denklemleri, derecelendirme tablolarını ve modelleme işlemini çok kısa sürede gerçekleştirebilen grafik tabanlı bu sistemler için verilerin bir bölümünün uzaktan algılama metodolojisi ile elde edilmesi, araştırmacıların erozyon çalışmalarını bu yöntemleri kullanarak yapmasına ve kontrolleri test alanları için gerçekleştirmesine yöneltmiştir (Başayiğit, 2002; Başayiğit ve Dinç, 2003; Başayiğit ve Dinç, 2010; Başayiğit ve ark., 2015).

Bu çalışmada Beyşehir Baraj Gölü havzasının RUSLE yöntemine göre erozyon tahmini yer almaktadır. Çalışmada veri katmanlarının oluşturulmasında uydu görüntülerinden de faydalanılmış, modelleme CBS ile kurgulanmıştır.

Materyal ve Metot

Beyşehir Gölü Havzası, Isparta ve Konya il sınırları içerisinde kalan arazilerden oluşmaktadır. Beyşehir Gölü havzasında göl alanları dışında kalan toplam alan yaklaşık 430 bin hektardır. Havza 38˚08'-37˚19' kuzey enlemleri ile 31˚06'-32˚07' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Alanın deniz seviyesinden yüksekliği 1050-2980 m'ler arasında değişmektedir. Şekil 1'de çalışma alanının konumu yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu
Figure 1.Location of study area

Çalışmada toprak kayıplarını tahmin etmek için RUSLE metodolojisi kullanılmıştır. Metoda göre yıllık toprak kaybı ton.ha^{-1}yıl^{-1} olarak aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır (Wischmeier ve Smith 1965, 1978, Renard ve ark. 1997) :

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Eşitlikte; A: Birim alandan gerçekleşen ortalama yıllık toprak kaybı miktarı (ton.ha^{-1}yıl^{-1}), R: Yağışın oluşturduğu akışın aşındırıcı etkisi (MJ.h.yıl^{-1} ×mm.h^{-1}), K: Toprağın erozyona duyarlılık faktörü (ton.ha^{-1} × ha.MJ^{-1} × h.mm^{-1}), L: Eğim uzunluğu faktörü (birimsiz), S: Eğim dikliği faktörü (birimsiz), C: Bitkisel örtü ve ürün faktörü (0-1 arasında birimsiz bir değer), P: Toprak ve su koruma önlemleri faktörü (0-1 arasında birimsiz bir değer) olarak verilmiştir.

Yağışın oluşturduğu akışın aşındırıcı etkisi (R) çalışmada aylık yağış ortalamaları ve yıllık yağış ortalamaları kullanılarak hesaplanmıştır (Arnoldus et. all., 1998):

$$MIF = \sum_{i=1}^{12} \frac{Pi^2}{P} \quad (2)$$

Burada, MFI: Her bir meteoroloji istasyonunu için belirlenmektedir. Pi: i ayına ait ortalama yağış miktarı (mm), P: Yıllık ortalama düşen yağış miktarı (mm) olarak ifade edilmiştir. Bu yaklaşımda, her bir istasyonda uzun yıllar ortalamalarına göre MFI değerleri tespit edilmiştir. Her bir istasyon için aşağıdaki eşitlik ile R-faktörü hesaplanmıştır:

$$R = (4{,}17\ MFI) - 152 \quad (3)$$

Formülde; R: Yağışın erozyon yaratma faktörü (MJ.ha^{-1}yıl^{-1}× mm.h^{-1}), MFI: Meteoroloji istasyonuna ait hesaplanan değer olarak verilmiştir. Yağışın aşındırıcı etkisini (R) belirlemek amacıyla Beyşehir Gölü havzasında Gedikli, Gölyaka, Yalvaç, Huğlu, Beyşehir, Tolca, Yeşildağ ve Yatağan meteoroloji istasyonlarından alınan yağış verileri kullanılmıştır. MFI değerleri kullanılarak her bir istasyon için elde edilen noktasal R değerleri ArcGIS yazılımında alansal değerlere dönüştürülmüştür. Dönüşümde Konumsal Analiz aracı kullanılmıştır. Linear semivarogram modelinde Kriging interpolasyon işlemi yapılmıştır.

Toprağın aşınabilirlik faktörünün (K) belirlenmesinde Toprak Su tarafından üretilen Havza raporları ve raporların 1:100.000 ölçekli haritaları, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM) tarafından üretilen 1:25.000 ölçekli sayısal İl arazi varlığı haritaları ve raporları kullanılmıştır. Toprağın aşınabilirlik faktörünün (K) hesaplanmasında kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$100 \times K = (2.1 \times 10\text{-}4) \times (12\text{-}OM) \times M1.14 + 3.25 \times (S\text{-}2) + 2.5 \times (P\text{-}3) * 0.1317 \quad (4)$$

Eşitlikte; K: Toprağın aşınabilirlik faktörü, OM: % organik madde, S: Toprak strüktür sınıfı (1-6), P: Toprak su geçirgenliği kodu (permeabilite), M: Zerre irilik parametresini ifade etmektedir.

Eğim uzunluğu ve eğim derecesi faktörü (LS) RUSLE modelinde eğim faktörü (LS), eğim derecesi ve eğim uzunluğunun erozyon oluşumundaki etkisini modellemek üzere hesaplanmıştır. Havzada LS faktörünün hesaplanmasında Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilmiş olan 1:25.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalar kullanılarak hazırlanan veriler kullanılmıştır. Sayısal veriler ile 30x30 m çözünürlükte Sayısal Yükseklik Modeli hazırlanmıştır. LS değerini belirlemek amacıyla ArcGIS yazılımının hidroloji modülü kullanılmıştır. LS faktörünün hesabında aşağıdaki işlem uygulanmıştır.

$$LS = \left[\text{Flow accumulation} * \frac{Cell\ size}{22.13}\right]^{0.4} * \left[\frac{Sin\ slope}{0.0896}\right]^{1.3} \quad (5)$$

Bitki Örtü ve Ürün Faktörü (C) bir standart sapma kavramına dayanmaktadır. Çalışma alanının güncel durumun tespit edilmesi amacıyla Ağustos 2009 ve Nisan 2011 tarihli Landsat–5 TM uydu verileri

kullanılmıştır. Uydu görüntülerinin işlenmesinde ERDAS yazılımından faydalanılmıştır. Oluşturulan görüntüden NDVI işlemi ile bitki yoğunluğu belirlenmiştir. NDVI işleminde Landsat 7 verisinin kırmızı ve kızılötesi bantları kullanılarak; NDVI=(Bant 4)-(Bant 3)/(Bant 4)+(Bant 3) formülü ile hesaplanmıştır. Toprak koruma önlemleri faktörü (P) hesabında toprak koruma faktörüne yönelik bir uygulama bulunmaması nedeniyle 1.0 olarak alınmıştır (Wischmeier 1978, Wischmeier and Smith 1978).

Bulgular

Yağışın aşındırıcı etkisi (R)

Hesaplanan MFI değerleri ve R faktörleri Tablo 1'de yer almaktadır. Göl havzası için oluşturulan MFI değerleri erozyon oluşturma gücünü belirtmek üzere sınıflandırılmış ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Beyşehir gölü havzası yağış verileri ve R faktörü

Table 1 .Precipitation data and R factor of Beyşehir lake watershed

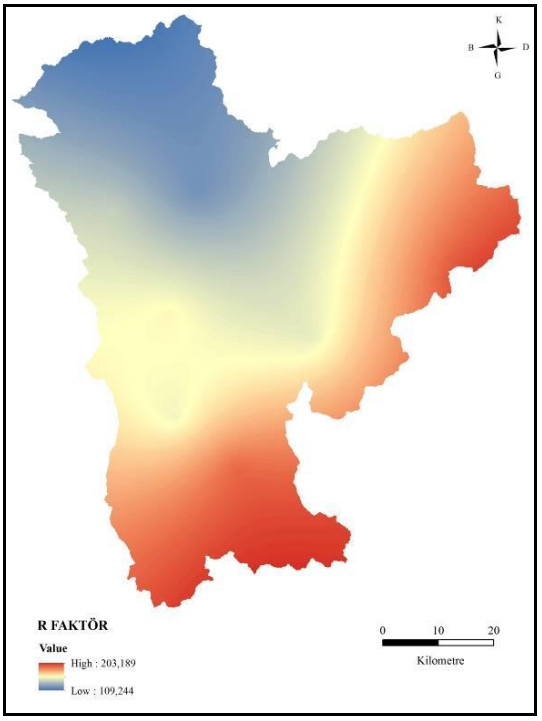
	Gedikli	Gölyaka	Yalvaç	Huğlu	Beyşehir	Tolca	Yeşildağ
MFI	74.43	81.06	53.78	90.13	64.88	57.67	62.29
R	158.37	186.03	72.26	223.85	118.54	88.46	107.75

Tablo 2. MFI Sınıfları ve erozyon oluşturma gücü

Table 2. MFI classes and erodibility

Sınıf (Classes)	Tanım (Definition)	Erozyon oluşturma gücü (Erodibility)
<60	Çok düşük (Very slight)	Yok (Non)
60-90	Düşük (Slight	Hafif (Little)
90-120	Orta (Moderate)	Orta (Medium)
120-160	Yüksek (Severe)	Şiddetli (Much)
160<	Çok yüksek (Very severe)	Çok şiddetli (Over)

Buna göre Beyşehir Gölü Havzası düşük-orta sınıflarında bulunmuştur. Beyşehir gölü havzasına düşen yağış aşındırıcı etkiye sahiptir. Oluşturulan R faktör haritası aşağıdaki şekilde verilmiştir. Beyşehir Gölü Havzasında R değeri 109.24-203.19 arasında değişmiş göstermektedir (Şekil 2).



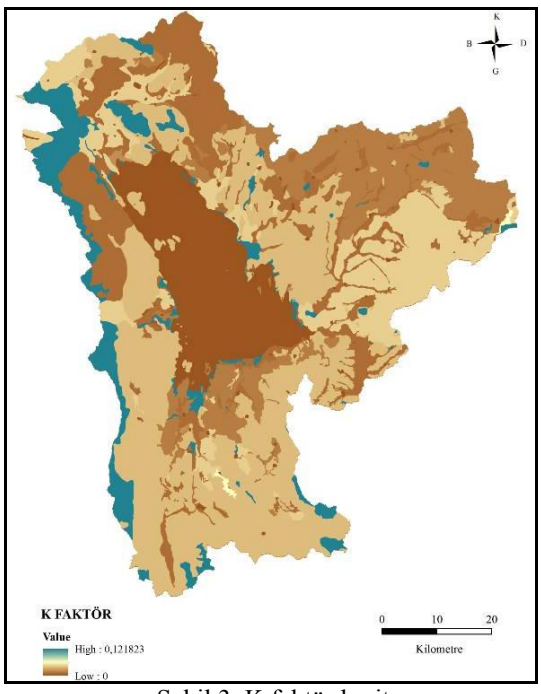
Şekil 2. R faktör haritası

Figure 2.R factor map

Toprağın aşınabilirlik faktörü (K)

Toprağın aşınmaya karşı gösterdiği hassasiyet K faktörü ile ifade edilmiştir. K faktörü, nadas altındaki parsellerde (22.13 m uzunluğunda ve % 9 eğime sahip) toprağın doğal aşınımının ölçülmesi ile modellenmiştir (Renard ve ark. 1997). K faktörü yağışın uygunluğunu kontrol eden süreçlerin ve toprağın zerre dağılmasına ve daha sonra taşınması karşısında gösterdiği direncin bütününü gösterir. Beyşehir Gölü havzasının en yaygın büyük toprak grubunu % 13.99'luk oranla Kırmızımsı Kestanerengi Topraklar (688.80 km^2), % 13.45'lik bir oranla Kırmızı Akdeniz Toprakları (586.47 km^2) ve % 9.59'luk bir oranla Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları (471.98) oluşturmaktadır. Bunlar dışında Alüvyal Topraklar, Kahverengi Topraklar, Kestanerengi Topraklar, Hidromorfik Alüvyal Topraklar, Kolüvyal Topraklar, Kahverengi Orman Toprakları, Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları, Kırmızı Sarı Podzolik Topraklar ile Sazlık Bataklıklar, Kıyı Kumulları, Çıplak Kayalık, Irmak Taşkın Yataklarından oluşan çeşitli arazi tipleri bulunmaktadır.

Organik madde miktarları uydu verileri kullanılarak hazırlanan güncel Arazi Kullanım Türleri haritasından yorumlanmış, kuru tarım yapılan alanlarda % 1.5, işlenmeyen alanlarda % 2, sulu tarım alanlarında % 2.5, maki ve meralarda % 3, iğne yapraklı ormanlarda % 3.5, iğne yapraklı ormanlarda % 4 ve çayır alanlarında % 4.5 olmak üzere havza raporları ve bölgede yapılan çalışmalara göre bölge ortalamalarına uygun olacak şekilde alınmıştır. Toprak tekstürü İl Arazi Varlığı Haritası'ndaki çok kaba, kaba, orta, ince ve karışık bünye sınıfları olarak kullanılmış, geçirgenlik bu bünye grupları için 20, 10, 5, 2 ve 15 $cm.h^{-1}$ şeklinde literatürlere uygun değerler atanmıştır. Toprak strüktürü havza raporlarında bulunan profil kayıtları ve çalışma alanında yapılan araştırmalara dayanarak büyük toprak grupları esas alınarak belirlenmiş, granüler, orta blok, kuvvetli blok ve masif sınıfları için sıra ile 1, 2, 3 ve 4 sınıf olarak kullanılmıştır. Bu hesaplamaya göre K faktörü Beyşehir Gölü havzasında 0.0001 ile 0.0660 arasında bulunmuştur. Havzalarda yer alan göllerde K faktörü 0 (sıfır) atanmıştır. Şekil 3'de elde edilen K haritası verilmiştir.



Şekil 3. K faktör haritası
Figure 3. K factor map

K faktör dağılım haritasına göre, toprakların dağılımda havza genelinde farklılıklar göstermektedir (Tablo 3).

Tablo 3. K faktör sınıflaması
Table 3.Classification of K factor

Sınıf (Classes)	Metrik Sistemde (Metric systems)	Tanım (Definition)
<0.05	0.0066	Çok Az Aşınabilir (Very low erodable)
0.1	0.0132	Az Aşınabilir (Low erodable)
0.2	0.0264	Orta Derecede Aşınabilir (Moderate erodable
0.4	0.0527	Kuvvetli Derecede Aşınabilir (Highly erodable)
0.6	0.0791	Çok Kuvvetli Aşınabilir (Very highly erodable)

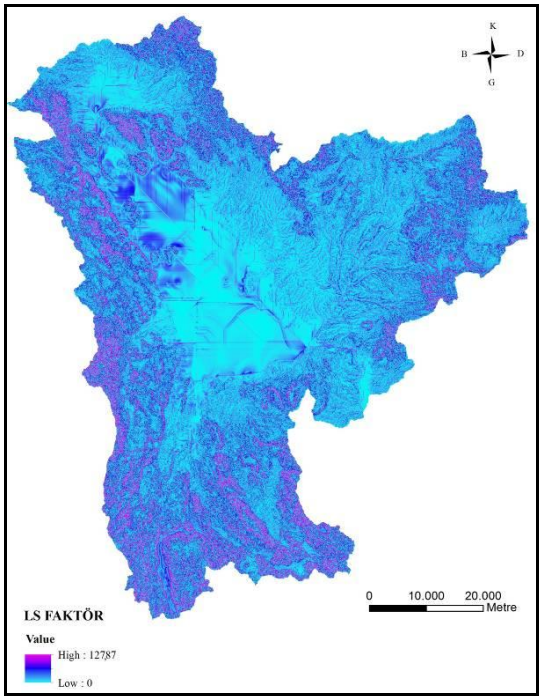
Eğim uzunluğu ve eğim derecesi faktörü (LS)

Havzada LS faktörünün hesaplanmasında Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen bölgeye ait 1:25.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalardan üretilen yükseklik verilerinden oluşturulan Sayısal Yükseklik Modelinden faydalanılmıştır. LS faktörünü hesaplamak amacıyla 30x30 m çözünürlükte oluşturulmuş Sayısal Yükseklik Modeli kullanılmıştır. LS değerini belirlemek amacıyla ArcGIS yazılımının hidroloji modülü kullanılmıştır.

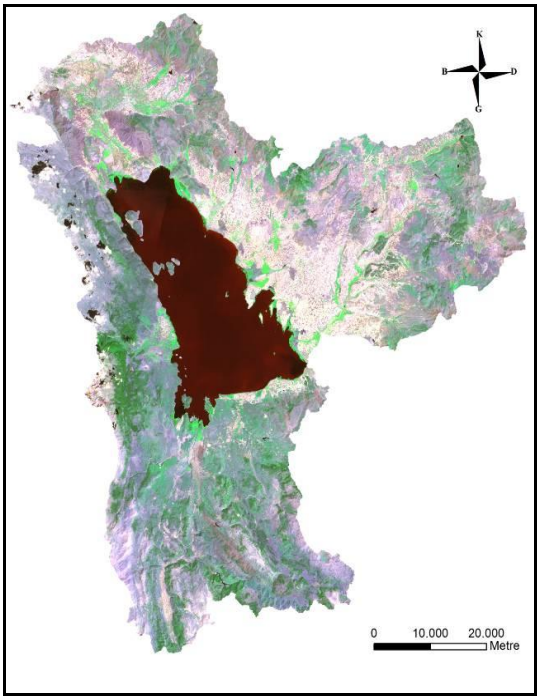
RUSLE modelinde eğim faktörü (LS), eğim derecesi ve eğim uzunluğunun erozyon oluşumundaki etkisini modellemek üzere hesaplanmıştır. Elde edilen LS haritası Şekil 4'te verilmiştir. LS faktörü Beyşehir gölü havzasında 0.000 ile 127.87 arasında değişmiştir. Eğim uzunluğu (L), yüzey akışın oluştuğu noktadan itibaren, eğimin azaldığı ve dolayısıyla birikmenin başladığı veya yüzey akışın bir kanala veya çevirme terası kanalı olarak tesis edilmiş bir kanala kadar olan yatay mesafesi olarak tanımlanır. LS faktörü, diğer faktörlerin aynı olduğu koşullarda, 22.13 m uzunluğa ve % 9 eğime sahip bir arazideki toprak kaybına karşılık gelmektedir (Wischmeier ve Smith,1978).

Bitki örtüsü ve ürün faktörü (C)

Bitki örtüsü ve yetiştirilen ürünün, toprakları yağışın parçalayıcı etkisinden koruma özelliğini değerlendirmek için uygulanmıştır.



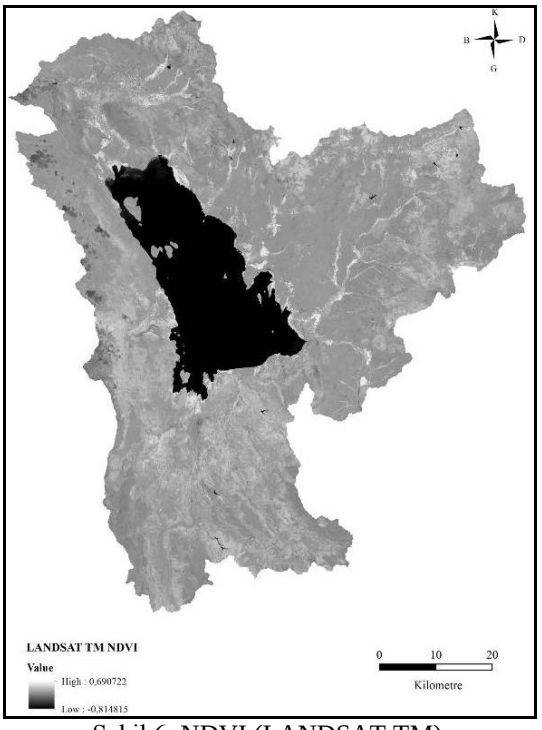
Şekil 4. LS faktörü haritası
Figure 4. LS factor map



Şekil 5. LANDSAT TM görüntüsü (3.4.5 bant)
Figure 5. LANDSAT TM image (3., 4., 5. Band)

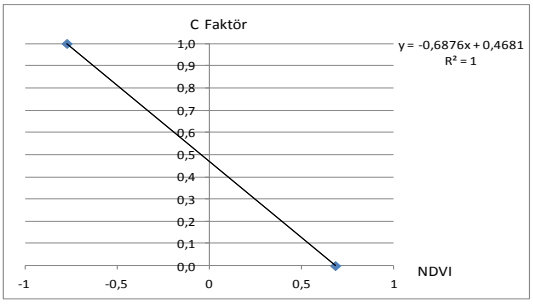
Bu faktör toprak koruma planının ortalama yıllık toprak kaybını nasıl etkileyeceğini ve toprak kaybı potansiyelinin yapılaşma faaliyetleri, ürün münavebeleri veya diğer amenajman programları sırasında zaman içinde nasıl bozulup dağılacağını gösterir (Renard ve ark., 1997). RUSLE modeli içerisindeki çoğu faktörde olduğu gibi C faktörü de bir standart sapma kavramına dayanmaktadır. Buradaki standart iyi işlenmiş sürekli nadas koşullarıdır. Bitki örtüsü ve arazi kullanımı arazi yüzeyinin erozyondan korunmasında erozyonu kontrol eden başlıca etkenlerden birisidir. Bu nedenle erozyonun şiddetinin konumsal dağılımın belirlenmesinde arazi yüzeyi örtü durumunun belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Kullanılan uydu verilerine ait görünüm Şekil 5'de verilmiştir.

Oluşturulan görüntüden NDVI işlemi ile bitki yoğunluğu belirlenmiştir (Şekil 6). Landsat-5 TM kullanılarak elde edilen NDVI haritasında Beyşehir gölü havzası -0.815 ile 0.691 arasında değişmiştir. Bu değerleri 0 ile 1 arasında değişen C faktörüne dönüştürmek için en düşük değer 0 en yüksek değer 1 olacak şekilde doğrusal regresyon analizi yapılmıştır.



Şekil 6. NDVI (LANDSAT TM)
Figure 6. NDVI (LANDSAT TM)

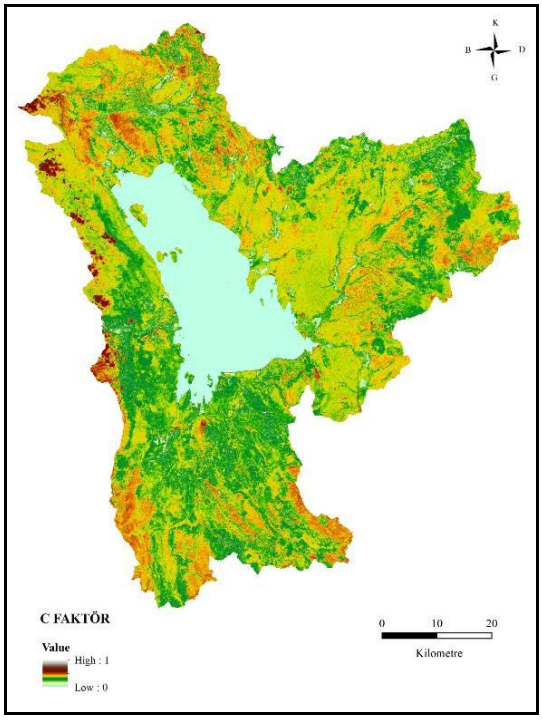
Regresyon analizinde R^2=1 olan denklem kullanılarak C faktörü elde edilmiştir. Beyşehir gölleri havzaları için kullanılan denklem aşağıda yer almaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. NDVI değerinden C faktörü elde etmede kullanılan denklem

Figure 7. Model for C factor obtained from NDVI

NDVI değerleri ve R^2=1 olan denklem kullanılarak elde edilen C faktör haritası aşağıda verilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. C faktör haritası

Figure 8. C factor map

Toprak koruma önlemleri faktörü (P)

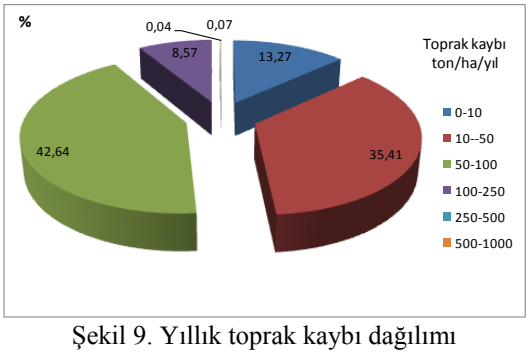
RUSLE modelindeki toprak koruma önlemleri faktörü (P) toprakların korunmasına yönelik olarak yapılan uygulamalar ile toprak kaybının eğim doğrultusunda toprak işleme ile oluşan toprak kaybına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu oranla, koruma uygulamasının yüzeyde oluşan akışın şeklini, şiddetini veya yönünü değiştirerek veya yüzeyde oluşan akışın miktar ve hızının azaltması ve dolayısıyla erozyonu etkilemesi modellenmiştir (Renard et all., 1997).

Sonuç ve Tartışma

Beyşehir Gölü Havzasının toplam alanı göl yatağı hariç yaklaşık 430 bin hektardır. RUSLE modeli ile tahmin edilen toprak kayıp miktarları göz önünde bulundurularak üretilen haritaya göre havza alanın % 13.27'inde 0-10 ton.ha^{-1}yıl^{-1}, % 35.41'inde 10-50 ton.ha^{-1}yıl^{-1}ve % 42.64'ünde 50-100 ton.ha^{-1}yıl^{-1} erozyon oluşmaktadır. Tablo 4'de havzanın toprak kayıpları tahminine ait değerler ve arazi kullanım türlerine göre dağılımı verilmiştir.

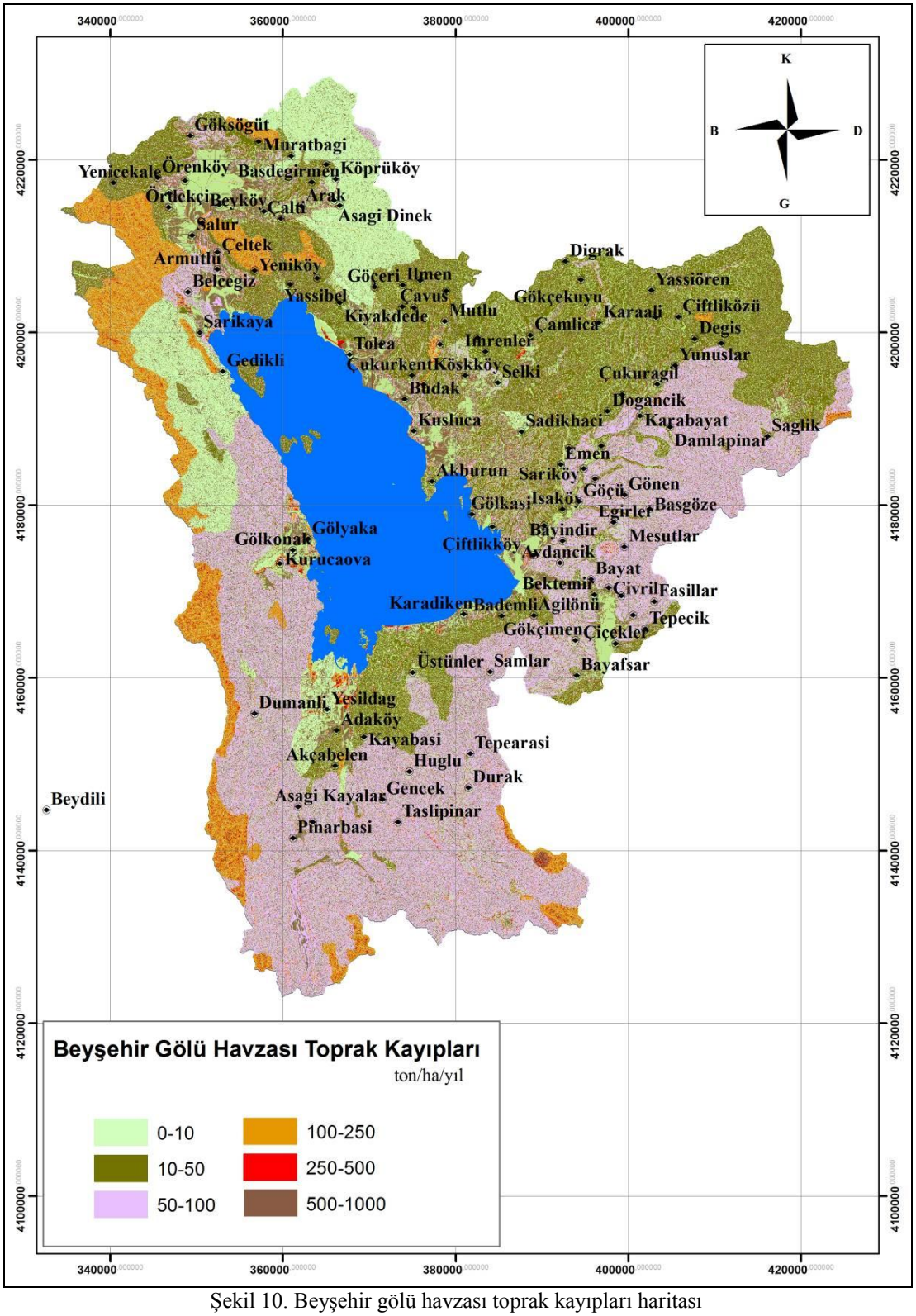
Tarımsal üretim için kabul edilebilir toprak kaybı 10 ton.ha^{-1}yıl^{-1}'dır. Beyşehir Gölü Havzası'nın yaklaşık % 85'inde erozyon tehlikeli bir durum göstermektedir. Ancak bu alanların büyük bölümü özellikle havzada tarım yapılmayan yüksek eğimdeki sarp alanlara karşılık gelmektedir.

Modele göre hesaplanarak oluşturulan erozyon haritasına göre Beyşehir gölü havzasında potansiyel yıllık toprak kaybı toplamı 36.049.081 ton.yıl^{-1}, ortalaması ise 83.97 ton.ha^{-1} olarak belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre havzada etkin derecede erozyonla mücadele gerekmektedir. Şekil 9'da toprak kayıpları dağılımı yer almaktadır. Beyşehir gölü havzası için oluşturulan toprak kayıpları haritası Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Yıllık toprak kaybı dağılımı

Figure 9. Annual soil loss



Şekil 10. Beyşehir gölü havzası toprak kayıpları haritası
Figure 10. Soil loses map of Beyşehir lake watershed

Tablo 4. Farklı potansiyel erozyon riskine sahip arazilerin kullanım türlerine göre dağılımı
Table 4. The land use separation of lands with different potential erosion risk

	0-10 ton.ha^{-1}yıl^{-1}		10-50 ton.ha^{-1}yıl^{-1}		50-100 ton.ha^{-1}yıl		100-250 ton.ha^{-1}yıl^{-1}		250-500 ton.ha^{-1}yıl^{-1}	
Arazi Kullanım Türü	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Çapa Bitkileri	3149.9	5.53	16592.8	10.92	6171.3	3.37	669.2	1.82	7.1	3.83
Çayır	1760.8	3.09	2647.5	1.74	1265.0	0.69	623.6	1.69		
Geniş yapraklı orman	537.1	0.94	2230.6	1.47	810.4	0.44	671.4	1.82	5.6	3.04
Göl kenarı gel git alanları			249.1	0.17	123.8	0.09	149.9	0.41	8.4	4.55
İğne yapraklı orman	413.9	0.73	509.1	0.33	4913.6	2.68	23.6	0.06		
Kuru tarım	6653.6	11.68	41240.2	27.13	16187.7	8.84	1199.8	3.26	15.0	8.11
Maki	12921.1	22.68	40181.5	26.44	70837.6	38.70	6929.6	18.83	26.4	14.28
Meyve	3142.0	5.52	4000.4	2.63	2073.4	1.13	251.8	0.68	16.8	9.12
Sazlık	1406.2	2.47	295.3	0.19	80.8	0.04	133.3	0.36		
Yerleşim alanları	281.0	0.49	631.6	0.42	346.5	0.19	38.8	0.11		
Zayıf mera	26698.5	46.87	43414.6	28.56	80236.8	43.83	26115.0	70.96	105.4	57.07
Toplam	56964.1	100.00	151992.7	100.00	183046.9	100.00	36804.9	100.00	184.7	100.00

Toprak kaybı 0-10 ton.ha^{-1}yıl^{-1} olarak belirlenen bölgelerde tarım amaçlı kullanılan arazilerin toplamı % 17'dir. Yaklaşık 13 bin hektara karşılık gelmektedir. Burada tanımlanan arazilerin % 47'sinin de zayıf mera olarak kullanıldığı görülmektedir. Toprak kaybı 10-50 ton.ha^{-1}yıl^{-1} arasında olan alanlarda tarım amaçlı kullanılan arazilerin toplamı % 40.68, zayıf mera olarak kullanılan arazilerin oranı ise % 28.56 olarak belirlenmiştir. Havzada toprak kaybı 10-50 ton/ha/yıl arasında olan arazilerin % 13.34'ü tarım amaçlı kullanılmaktadır. Bu sınıfta yer alan arazilerin % 42.64'ü zayıf mera olarak kullanıldığı görülmektedir. Toprak kaybı 100-250 ton/ha/yıl olarak belirlenen bölgelerde tarım amaçlı kullanılan arazilerin toplamı % 5.76'dır. Burada tanımlanan arazilerin % 70.96'sı zayıf mera olarak kullanıldığı belirlenmiştir. Havzada 250-500 ton.ha^{-1}yıl^{-1} toprak kaybı gösteren araziler havza toplamının % 0.04'üne karşılık gelmektedir. En yaygın olarak Fakılar ve Görünmez Köyleri civarlarında yayılım göstermektedir. Bu sınıf içerisinde yer alan arazilerin % 57.07'sı zayıf mera olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda 38.9 ha tarım alanı bulunmaktadır. Havzada 500-1000 ton.ha^{-1}yıl^{-1} toprak kaybı gösteren araziler yerleşim alanlarından uzak bölgelerde ve havzanın sınırını oluşturan sırtlarda yer almaktadır.

Erozyon, oluşumunda etkili olan iklim, toprak ve topoğrafik özellikler pratikte değiştirilmesi mümkün olmayan faktörlerdendir. Ancak arazi kullanım türü, yüzey bitki örtüsü ve toprak işleme yöntemleri kontrol edilebilen faktörleri oluşturmaktadır. Özellikle insanların arazi kullanımdaki tercihleri erozyon kontrolünde önemli bir aşamayı oluşturmaktadır. Ağaçlandırma, yamaç arazilerde yapılan tarımsal faaliyetlerde eğime dik yönde toprak işleme gibi uygulamalar bu parametrelerin katsayılarının küçülmesini ve buna bağlı olarak sediment yükünün azalmasını sağlayacaktır. Doğal nedenler ile oluşan erozyonu insan kaynaklı faaliyetler de etkilemektedir. Doğal bitki örtüsü olan ormanların tahrip edilmesi, tarım ve yerleşime açılması, eğimli alanlarda yapılan tarımsal uygulamalar, yoğun otlatma sonucu havzada yer alan çayır mer'aların bozularak giderek kalitesinin ve ot veriminin düşmesi olarak sayılabilir. Arazi kullanım türü ise şimdiki erozyon durumunun belirlenmesinde kullanılan ve tamamen insanların kontrolünde olan özelliktir. Yapılan öneriler de daha çok arazi kullanım türüyle ilişkili olmaktadır. Ayrıca arazi kullanım türünün erozyonu önlemede en etkili yöntem olması çalışmada önerilerin bu yönde yapılması gerekliliğini getirmiştir. Eğimi % 8'den fazla, arazi kullanım türü kuru tarım olan arazilerin tarım alanı yerine ağaçlandırma alanları olarak değerlendirilmesi, eğer bu alanlar şahıslara ait ise mera tarımının yapılması yada en azından agroforest sistemleriyle toprakların korunması, aynı eğimde yer alan, arazi kullanım türü maki-orman örtüsü olan arazilerin doğal bitki

örtüsünün korunması önerilebilir. Yıllık toprak kayıpları 50 ton.ha^{-1}'dan daha büyük olan alanlarda orman örtüsünde gençleştirme uygulamalarından kaçınılması, toprak üstünde kalan artık materyallerin korunmasına yönelik uygulamaların yapılması ve bu alanlarda özellikle hayvan otlatmadan uzak durulması zorunlu görülmektedir. Mera alanlarında toprak yüzeyini kaplayan bitki örtüsünün güçlendirilmesi, mera bitkilerinin ekilerek bitki gelişimi için toprakların korunmasına destek sağlanması uygun görünmektedir. Yıllık toprak kaybı 250 ton.ha^{-1}'dan daha büyük olan alanlarda doğal hayata terk edilmesi, bu alanlardan gelen su hatlarının ve su yollarının çeşitli fiziksel önlemlerle kontrol edilmesi uygun görünmektedir. Ayrıca yüzey akış haritasına göre tahmin edilen su akışının tarım arazilerine zarar vermeden sulama amaçlı kullanımı ya da bir tahliye kanalı ile toprak aşınmasına neden olmadan göl rezervuarına boşaltılması önerilebilir. Burada getirilen öneriler erozyon modelini oluşturan arazi kullanım türleri üzerine temellendirilmiştir. Multidisipliner bir çalışma ile tarımsal üretim ya da orman yönetimi konularında uygun bitki çeşitlerinin seçilmesi, erozyon planlayıcılarıyla kültürel yada fiziksel önlemlerin geliştirilmesi toprakların korunmasında daha uygun sonuçların üretilmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R. S., Williams J. R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part 1. Model development. J. Amer. Water Resources Assoc., 34 (1) (1998), pp. 73–89

Başayiğit, L., Uçar, G. ve Dedeoğlu, M., 2015. Karacaören Gölü Havzası Erozyon Durumunun UA-CBS Kullanılarak RUSLE Metoduna Göre Belirlenmesi, *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, s 155-161.

Basayigit, L., Dinc, U. 2010. Prediction of Soil Loss in Lake Watershed Using GIS: A Case Study of Egirdir Lake, Turkey, *Journal of Natural and Environmental Sciences* 1 (1), 1-11.

Başayiğit, L., 2002. Eğirdir Gölü Havzasında Erozyon Riskinin Saptanması Üzerine Araştırmalar. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Adana.

Başayiğit, L., Dinç, U., 2003. Eğirdir Gölü Su Toplama Havzasında Oluşan Toprak Kayıplarını Tahmin Etmeye Yönelik Bir Çalışma. *Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (2) 51-60.

Morgan, R.P.C., 1991. Soil Erosion and Conservation. Longman Scientific and Technical, John Wiley and Sons Inc., New York, P 255.

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.

Renard, K. G., Foster, G, R., Weesies, G. A., Mccool, D. K., Yoder, D. C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the RUSLE. Handbook No:703. USDA, 404pp.

Wischmeier, W. H., 1978. Use and Misuse of the Universal Soil Loss Equation's, J. Soil and Water Conservation. 31, 5-9.

Wischmeier, W. H., Smith, D. D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses, USDA Agr. Res. Serv. Handbook, 537.