



ANKARA ÜNİVERSİTESİ

**FEN
BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ**

ANKARA

EROZYON TAHMİN MODELLERİ

Şenay ÖZDEN

SEMİNER

Toprak Anabilim Dalı

2000

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EROZYON TAHMİN MODELLERİ

Şenay ÖZDEN
Ziraat Yüksek Mühendisi

Prof. Dr. Nuri MUNSUZ
Ziraat Yüksek Mühendisi

TOPRAK ANABİLİM DALI
(Doktora Semineri)
19.Ocak 2000
ANKARA

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
2. MODELLERİN TİPLERİ	3
3. DENEYSEL MODELLER	5
4. FİZİKSEL TEMELLERE DAYALI MODELLER	7
5. MODELLEMEDE CBS VE UA’NIN ROLÜ	14
6. KABUL EDİLEBİLİR MODEL SEÇİMİ	17
7. KAYNAKLAR	17

1. GİRİŞ

Dünyanın nüfusu hızla artarken, gıda üretimi için daha fazla arazi kullanılmakta ve değerli araziler erozyondan etkilenmektedir. Toprak erozyonu toprak oluşumunun çok yavaş olması nedeniyle büyük endişeler oluşturmaktadır. 2.5 cm toprağın oluşması için yaklaşık 500 yıl (koşullara bağlı olarak 200-1000 yıl) gereklidir. Yapılan bir araştırmaya göre, tarımın başlamasından itibaren Amerika'da yaklaşık 8 cm üst toprak kaybedilmiştir (Lal ve Pierce 1991). Erozyon oranı, farklı iklim, topoğrafya ve tarımsal uygulamalara göre farklılık göstermektedir. Örneğin, Amerika yılda 18 t/ha toprak kaybederken Çin'de bu oran 40 t/ha kadardır. Erozyon ve diğer faktörlerin etkisi ile arazilerin bozulması sonucu tahmini olarak yıllık 6 milyon hektar kadar yerine bir daha konulamayan kayıplar meydana gelmektedir. Azalan toprak derinliği önemli derecede problem yaratırken, erozyon sonucu meydana gelen toprağın su tutma kapasitesindeki azalma, hızlı yüzey akış, organik madde ve bitki besin elementleri kaybı, arazi toprağının verim kaybına neden olarak daha ciddi sorunlar oluşturmakta ve degradasyonu hızlandırmaktadır (Lal ve Pierce 1991). Erozyon bütün dünyada ciddi bir çevresel problem durumundadır. Larson (1991) erozyonun, çevre ve insan yaşamını (artan nüfusa bağlı olarak gıda ihtiyacında oluşan artış nedeniyle) tehdit eden bir olay olması yanında, meydana gelebilecek toprak kaybını azaltabilmek için erozyonun boyutlarını belirlemenin ayrıca zorluğuna işaret etmiştir.

Dünyada erozyon belirleme çalışmaları 1930'larda başlamış olup, 1960'lı yıllarda ampirik metotlar erozyon belirleme çalışmalarında çok iyi bir şekilde kullanılır hale gelmiştir. Daha sonra bilgisayar teknolojisinin gelişimi ile erozyon çalışmalarında yeni teknolojiler kullanılarak yeni metodolojiler oluşturulmuştur (Elliot et al. 1991).

Toprak erozyonunun modellenmesi için yapılan veri toplama çalışmaları, erozyonun önlenmesinde kullanılabilecek metotlar ve metotlarla birlikte en iyi arazi kullanımının belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu bazen erozyon derecesinin tanımlanması, bazen de erozyonu kontrol eden faktörlerin kuramsal olarak toplanıp havza üzerinde model oluşturulması biçiminde olmaktadır. Yüksek çözünürlüğe sahip uzaktan algılama

verileri ve gelişmiş veri işleme teknolojileri, parçalı verilerin toplanıp değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Günümüzde bir çok bilim dalında, bilgisayar çağının gereği olarak model çalışmaları deneysel metotların yerine tercih edilmektedir. Bütün dünyayı tehdit eden erozyon problemine ilişkin istatistiksel sonuçlar, cevaplanması gereken soruları da beraberinde getirmektedir. Bu sorulardan en önemlileri veri kaynakları, veri toplama metotları ve extrapolasyon (bilinen veriler ile gelecektekini tahmin), verilerin doğruluğu, güvenilirliği şeklinde sıralanabilir. Güvenilmeyen veriler üzerine yapılan arazi kullanım planları, geri dönüşümü olmayabilecek büyük yanlışlara ve kayıplara neden olabilir. Bu yüzden acil olarak toprak erozyonuna ait verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için standart haline getirilmiş metodolojilere ihtiyaç vardır (Lal 1993).

Üniversal denklem parametrelerinin arazi denemeleri ile tespiti, hem zaman alıcı hem de pahalıdır. Günümüzde bir çok bilim dalında bilgisayar çağının gereği olarak, model çalışmaları deneysel metotların yerine tercih edilmektedir. Bu nedenlerden dolayı toprak muhafaza konularında da özellikle 1980 yılından sonra simülasyon çalışmalarına ağırlık verilmeye başlanmıştır. Son yıllarda erozyonun matematiksel modellenmesi güncel ve önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bilgisayarların artan kapasitesi ile çoğu araştırmacılar sediment verimi ve erozyon içinde yer alan kompleks sistemleri çalışmaya başlamışlardır. Bir çok araştırmacı genel ve özel havza ve arazi koşulları için erozyon modelleri geliştirmişlerdir (Foster et al. 1983). Bu çalışmaların temelinde yine USLE, MUSLE, RUSLE yöntemleri esas alınmıştır. Modeller geliştirildikleri ülkelerin iklim, toprak, topoğrafya koşulları dikkate alınarak yazılmaktadır.

Modeller gerçeğin basitleştirilmesinin gereğidir. Kararlar, soruna bağlı olarak basitleştirilerek yada karmaşıklığın seviyesine uygun olarak alınmak zorundadır. Bütün modeller için başlama noktası problemin açık ve net bir şekilde belirlenmesi veya açıklanması olmalıdır. Potansiyel kullanıcılar farklı amaca, hedefe sahip olabilirler. Yöneticiler, planlayıcılar, politikacılar karmaşık sistemler yerine karar vermeye yardımcı olacak basit belirleyici araçlara ihtiyaç duyarlar. Araştırmacılar sistem fonksiyonlarını tarif eden modelleri ararlar. Bu modeller de sistemin anlaşılmasına

ışık tutar, sistemin nasıl değişeceğini cevaplamak üzere spekülasyonlardaki belirsizliğin derecesini vurgular. Erozyon tespit edilirken, belirlemenin bir yıl, bir gün, bir sağanak için yada kısa bir zaman periyodu içinde oluşan bir sağanak için ve bir homojen arazide, arızalı arazide (yamaç eğimli) ya da bir drenaj havzasına uygulanıp uygulanamayacağını tespit edilmesi gerekir. Modeller geliştirildikleri ülkelerde yapılan koruma planlamalarında önemli bir role sahip olup; arazi kullanımları ve formları, farklı topraklar ve farklı coğrafik bölgeler arasında oransal toprak kaybını belirlemede kullanılmaktadır (Rosewell 1993).

2. MODELLERİN TIPLERİ

tipi	tanımı
------	--------

Fiziksel: scaled-down bilgisayar donanım modelleri genellikle laboratuarda maket halinde inşa edilir ve bu modeller gerçek dünya ve model arasındaki dinamiği varsayarlar.

Analog: mekaniksel ve elektriksel analog sistemlerin kullanımı örneğin:suyun akışını simule etmek için elektriğin akışının kullanılması.

Dijital: üzerine dayalı geniş miktarda verileri proses etmek için dijital bilgisayarların kullanımı.

a) fiziksel temelli: model içine konulan prosesi tanımlamak için matematiksel denklemlere dayalı enerjinin ve maddenin korunumu yasasını dikkate alan modeller.

b) ihtimal kurallarına bağlı: mevcut örnek verilerin istatistiksel özelliklerinden yapay olarak veriler oluşturmaya dayalı modeller: sadece kısa periyotlardaki gözlemler sonucu elde bulunan veriler için fiziksel ve olasılık kurallarına bağlı modeller için kullanışlıdır.

Deneyisel: uygun veri tabanı mevcut olduğunda tahmin edilen değişkenler arasında istatistiksel olarak önemli ilişkileri bilinen durumlara uygun modeller. Analizlerin üç tipi vardır:

Siyah- kutu: sadece ana girdi ve çıktıların çalışıldığı yerde

Gri-kutu: sistemin nasıl çalıştığına ait bazı detaylarının bilindiği yerde

Beyaz-kutu: sistemin nasıl çalıştığına ait tüm detaylarının bilindiği yerde

<u>Deneyisel modeller</u>	<u>Fiziksel Kurallara Dayalı Modeller</u>
---------------------------	---

Usle	CREAMS	ANSWERS
Rusle	WEEP	AGNPS
Slemsa	GUESS	SEDIMOT II
Morgan, Morgan ve Finney Methodu		EUROSEM
Rüzgar Erozyonu Belirleme Denklemi		WEPS

Modelleme için, amaçların tanımı, sınır şartlarını ayarlama, akış şeması yada kavramsal diyagramın formulasyonu, duyarlılık analizi ve geçerlilik testi yapılmalıdır. Modellemede iyi bir matematik ve süreci ifade eden formüller tam olarak olayı tanımlar tarzda olması esastır. Model işlevinin iyi anlaşılması ile bilimsel olguların ışığında geliştirilmelidir (Morgan 1995).

3. DENEYSEL MODELLER

Mevcut erozyon modellerini bilmek araştırıcılar, uygulamacılar ve danışmanlar için bir modeli nasıl kullanacakları açısından önemlidir. Bir çok bölgelerden araştırıcılar genel ve özel kılınan havza koşulları için erozyon modelleri geliştirmişlerdir (Foster et al. 1985).

Toprak işlemeli tarım arazileri için en uygun olan toprak, bitki ve arazi yönetimlerinin seçiminde, bütün modellerin temelini teşkil eden USLE - (Universal Soil Loss Equation) üniversal toprak kayıp denkleminde yararlanılmaktadır.

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

RUSLE - USLE'nin yeniden düzenlenmesi ile bilgisayar programı halinde geliştirilmiş olan bu model eğim uzunluğu, eğim dikliği faktörleri üzerinde değışiklikleri içermektedir.

Ayrıca toprak işleme, bitki çeşidi ve verimi, yağış erosivite dağılımıyla ilgili verilere dayandırılan C ve P faktörlerini tahmin etmek için bazı alt faktörler kullanılmaktadır.

SLEMSA

Güney Afrika için toprak kayıpların tahmin eden bir model olup farklı uygulamalar altında erozyon sonuçlarını değerlendirmek amacı ile geliştirilmiştir. Denklem;

$$Z = K.X.C \text{ şeklindedir.}$$

$$Z = \text{yıllık toprak kaybı, t/ha}$$

$K = 30$ m uzunluğunda, 10 m genişliğinde 2.5 derece eğimde, çıplak bir parseldeki erodibilite koşullarına sahip bir parselden meydana gelen toprak kaybı, t/ha

X = topoğrafik faktör

C = bitki yönetim faktörü

THE MORGAN, MORGAN AND FINNEY METHOD

Yamaç eğimlerdeki erozyonu tarla boyutundaki alanlardan tahmin etmek amacı ile geliştirilmiştir. Toprak erozyon işlemini, su fazı ve sediment fazı olmak üzere iki bölümde ele almaktadır. Gerekli parametreler; toprak tarla kapasitesindeki nem içeriği, üst toprağın hacim ağırlığı, üst toprak köklenme derinliği, toplam toprak derinliği ana kaya - toprak kesişim düzeyindeki ayrışmaya bağlı olarak toprak derinliğindeki artış hızı, toprağın parçalanabilme indeksi, üst toprakta köklenme artış oranı, eğim derecesi yıllık yağış, yıl içindeki yağışlı gün sayısı, erosiv yağışın intensitesi için değer, et/eo , C, modeli çalıştırmak için yıl sayısı şeklindedir.

RÜZGAR EROZYONU BELİRLEME DENKLEMİ

$$WE = f(I, C, K, L, V)$$

WE = Rüzgar Erozyonu Ton/ha

I = aşınıma duyarlılık

C = Rüzgar enerjisi

K = yüzey pürüzlülüğü

L = rüzgar altındaki arazi uzunluğu

V=vejetasyon örtü

4. FİZİKSEL TEMELLERE DAYALI MODELLER

CREAMS - Chemicals, Runoff and Erosion From Agricultural Management Systems

Tarla bazında çalışan bir model olup Amerika'da geliştirilmiş ve farklı tarımsal uygulamaların çevresel sonuçları ile kaynağı belli olmayan kirliliğin kantitatif olarak tahmininde kullanılmaktadır. Model üç bölümden oluşmaktadır: hidroloji, erozyon ve kimya. CREAMS (tarımsal yönetim sistemlerinden kimyasallar, yüzey akış ve erozyon) bir arazi ölçekli model olup Amerika' da geliştirilmiş ve farklı tarımsal uygulamaların çevresel sonuçları ile kaynağı belli olmayan kirliliğin kantitatif olarak tahmininde kullanılmaktadır. Model üç bölümden oluşmaktadır: hidroloji, erozyon ve kimya. Hidroloji, günlük olarak perkolasyonu, toprak su içeriğini, buharlaşmayı, infiltrasyonu, yüzey akış miktarını ve pik yüzey akış oranını tahmin etmektedir.

Erozyon, günlük olarak bir arazinin kenarlarında erode olan materyalin partikül boyutlarıyla beraber sediment verimini ve erozyon tahminini vermektedir. Kimyevi unsuru ise bitki besin elementleri, pestisitleri yüzey akış, sediment ve perkole olan suda tutulan ve çözülmeyen kimyasalların ortalama konsantrasyonlarını ve yağışların taşıdığı kimyasalların tahminini verir.

Erozyon, eğim yönünde sediment taşınmasının belirlenmesinde süreklilik eşitliğini dikkate almaktadır.

$$dQ_s/dx = D_i + D_r$$

Formülde belirtilen öğelerden Q_s , birim zaman sürecinde birim genişlikte oluşan sediment yükünü,

X = eğim uzunluğu

D_i = parmak erozyonu sonucu koparılan partikül dağılımının parmak akışa oranı

D_r = partikül ayrılma (koparılma) oranı veya parmak akışı ile oluşan birikimdir.

Formülde ifade edilen ilişki partikül ayrılma ve sediment yükü arasındaki etkileşimi dikkate almadığından, söz konusu interaksiyonun hesaba katılması için aşağıdaki eşitliğin kullanılması önerilmektedir.

$$(D_r/D_c) + (Q_s/T_c) = 1$$

D_c ve T_c sırasıyla parmak akışının ayırma (koparma) ve taşıma kapasitesini göstermektedir. Bunun anlamı eğer bir akış, taşıma kapasitesinden daha az materyal taşıyorsa, akış bu kapasiteyi tamamlamak için daha fazla partikül koparacaktır. Başka bir deyişle sediment yükü taşıma kapasitesinden büyükse birikim meydana gelecektir. Birikim oranı aşağıdaki formülle gösterilmektedir.

$$D_p = \alpha (T_c - Q_s)$$

α = Birincil reaksiyon katsayısı, $\Sigma V_s/QW$ ile belirlenir.

V_s = partikül düşme hızı

QW = birim genişlikteki yüzey akış oranı

Birikim prosesi üç ayrı partikül ve sekiz agreagat büyüklük grubu için ayrı ayrı modellenmektedir.

Modelde kullanılan başlangıçtaki girdi partikül, orijinal topraktaki sediment büyüklük dağılımıdır.

Koparıma prosesinde seçicilik dikkate alınmadığında bu koparılan materyalin partikül büyüklük dağılımını yansıtır. Birikim oluştuğunda sediment yüküne ait yeni bir dane büyüklük dağılımı hesaplanır.

CREAMS erozyon kavramı, parmaklar arası (oyuntu) ve parmak erozyonunda dahil olduğu arazi yüzeyinden oluşan akışı; otlı su yolları veya teras kanallarındaki kanal akışı; ve yol güzergahlarındaki su arkları veya teras çıkışlarında suyun tutulduğu yerlerdeki sediment birikimi gibi olayları dikkate almaktadır.

Arazi yüzeyinden oluşan akış unsuru; erozyon ve birikim oranlarının belirlenmesi amacı ile meydana gelen koparılan tahmin edilmesi ve koparılan parça miktarının sediment taşıma kapasitesi ile mukayesesi suretiyle belirlenir. Bu, parmaklar arası alanda koparılan bütün parçaların parmaklara dağıtıldığı anlamına gelmektedir.

Hidrolojik ve erozyon sistemlerinin gerçekçi bir sunumunu yapmak ve farklı yönetim stratejileri sonucunda ortaya çıkan etkilerin kalitatif değerlendirilmesini mümkün kılan CREAMS modeli, araştırılan ilgili verilere karşı herhangi bir kalibrasyona gerek duyulmadan kullanılabilir. Yani bu model kesin anlamda bir niceliksel tahmin modeli değildir. Model günlük tahminlerin bir araya getirilmesi suretiyle uzun dönemde erozyon tahminini mümkün kılabilir.

Yağış ve yüzey akış ile ilgili elde edilen verilerin veya hidrolojik detayların kullanılması veya hidrolojik verilerden yararlanılarak EI_{30} , yüzey akış hacmi ve elde edilen yağışa ait verilerden yüzey akış pik değerlerinin kullanılması şeklinde modelde iki türlü erozyon tahmini yapılmaktadır. Hidroloji ögesi, yağışa karşı gerçek responstan ziyade ortalama değeri dikkate aldığından, yukarıda belirtilen birinci şekil kullanıldığında gerçek yağış erozyonu tahmin edilememektedir.

WEPP - Water Erosion Prediction Project

Bu model çok fazla sayıda parametreden oluşmuş ve erozyon tahmini yanında sürekli simulasyon özelliği olan bir model niteliğindedir.

Parametrelerden bazıları yağış miktarı ve intensitesi, tekstürel özellikler, bitki büyüme parametreleri, kalıntı çürüme parametreleri, kalıntı miktarına ve toprak özelliklerine etkili toprak işleme etkileri, topoğrafya, ve aşınabilirlik parametreleridir.

WEPS-Wind Erosion Prediction System

Rüzgar erozyon denklemi WEQ'in yerine geliştirilmiş olan rüzgar erozyonunu belirleme sistemleri modeli olup hava, tarla koşullarını ve erozyonu simule eder. WEPS içinde hidroloji, toprak, ürün, dekompozisyon ve erozyon alt modelleri bulunmaktadır. Karmaşık topoğrafyaları simule etme özelliğine sahiptir. Saltasyon, süspansiyon ve erode olan materyalin diğer şekillerdeki hareketlerini ayrı ayrı vermektedir.

EUROSEM –EUROPEAN SOIL EROSION MODEL

Bireysel olaya dayalı model olup sağnak yağışlarla sediment taşınım, erozyon ve arazi yüzeyindeki birikimi belirlemek için kullanılır. Küçük arazilere ve küçük havzalarda uygulanabilir. Gerekli parametreler; kanal altı uzunluğu, havzanın uzunluk karakteristikleri, toprak - kök matriksinin kohezyonu, örtünün gölge etkisi, toprağın partikül çapının ortalaması, hesaplamalarda kullanılan zaman artış sayısı, düzlük genişliğini kesen akış yollarının ortalama sayısı, yağmur damlası etkisi tarafından toprak partiküllerinin ayrılması (koparılması), erode olan horizonun maksimum derinliği maksimum engelleme (durdurma) kapasitesi, sature koşullarda hidrolik kondaktivite, etkili net kapillar hareket, parmaklar arasında manning değeri, toprak porozitesi, infiltrasyon tutulma faktörü, oluk eğimi, oluklar arası eğim, etkili örtü yüksekliği,

toprağın başlangıç volumetrik nem değeri, toprağın maksimum volumetrik nem değeri, yağış anında sıcaklık değeri, model simulasyon zamanı, sediment çapının standart sapması şeklindedir.

AGNPS –AGRICULTURAL NON-POINT SOURCE

Olay bazını temel alan bir model olup havzalardan yüzey akışı, sedimenti, bitki besin elementlerinin taşınım olaylarını simule eder. Model yüzey suyu kirliliğine başlıca katkıda bulunan ve bitki için gerekli bitki besin elementlerinden N ve P ' u dikkate alır.

Ayrıca model galilerden gelen sedimentin nokta kaynağını ve suyun girdilerini, hayvan besi yerlerinden, su kaynaklarından ve diğer nokta kaynaklarından gelen kimyasal oksijen isteğini göz önünde bulundurmaktadır. Model havzada oluşturulan grid sistemi dayalı çalışır. Havzayı uniform olarak karelere bölerek havza içinde herhangi bir noktada analize imkan verir. Bütün havza karakteristikleri ve girdiler, grid seviyesinde ifade edilir. Sonuçların doğruluğu grid boyutları azaltılarak artırılabilir, fakat bu zaman ve gereken çalışmaları artırır.

Hidroloji: Yüzey akış miktarı ve pik akış oranı bu bölümde hesaplanır. Yüzey akış miktarının hesaplanması SCS curve metoduna dayanır. Temel denklem:

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S}$$

Burada: Q yüzey akış miktarıdır. P, yağış miktarı, S tutan parametre olarak ifade edilmektedir.

$$S = 1,000 / CN - 10$$

CN , curve numarası arazi kullanımına toprak tipine ve hidroloji koşullara göre değişir.

Pik yüzey akış oranı CREAMS modelinde olduğu gibi Smith ve Williamsa göre değişir.

$$Q_p = 3.79^{0.7} CS^{0.16} (RO/25.4)^{(0.903A^{0.017})} LW^{-0.19}$$

Q_p = pik akış oranı, m^3 / sn , A , drenaj alanı km^2 , CS , kanal eğimi, RO , yüzey akış miktarı, mm , LW havzanın uzunluğunun genişliğine oranı, L^2 / A tarafından hesaplanan L , havza uzunluğudur. Katsayı değerlerinin arazi ölçümleri ile belirlenir.

Erozyon ve sediment taşınımı, havzanın yukarı kesimlerindeki bireysel sağınak yağışlar için Modifiye USLE kullanılmaktadır.

$$SL = (EI)KLSCP (SSF)$$

SL = toprak kaybı, EI = toplam kinetik enerji ve 30 dakikalık intensite, K , aşınım faktörü, LS , topoğrafik faktör, C , bitki yönetim faktörü ve P , toprak yönetim faktörü ve SSF , grid içinde eğimin şeklini ayarlama faktörüdür. Toprak kaybı havzanın her grid için ayrı ayrı hesaplanır. Yüzey akış ve yukarı araziler için erozyon hesaplamaları yapıldıktan sonra taşınan sediment gridler yolu havzayı terkeder.

Bu prosedür sediment taşınım ve birikim ilişkilerini Foster ve arkadaşları ve Lane tarafından açıklandığı şekli ile ifade edilmektedir.

$$Q_s(x) = Q_s(0) + Q_{s1} (x/L_r) - \int_0^x (x) w dx$$

Burada $Q_s(x)$ = kanal sonundaki aşağı akışta sediment boşalımı

$Q_s(0)$ = kanalın ulaştığı yukarı akış içine sediment boşalımı

Q_{s1} = lateral sediment iç akış oranı,

X = ulaşım uzunluğu, w kanal genişliği, (Dx) birikim oranı.

Model için girdiler; Havza parametreleri, havzanın tanımı, grid alanı (acre), toplam grid sayısı, yağış (inch), enerji intensite değeri, grid parametreleri, grid sayısı, içine drene olduğu grid sayısı, SCS kürve numarası, ortalama arazi eğimi, eğim şekil faktörü (uniform, konveks, konkav), arazinin ortalama eğim uzunluğu, ortalama kanal eğimi, ortalama kanal kesit eğimi, kanal için manning pürüzlülük katsayısı, erodibility faktör, C, P, yüzey şart sabiti, yöney, tekstür, gübreleme seviyesi, toprağın 1 cm üzerinde kalan gübre % si, nokta kaynak faktörü, gali kaynak seviyesi, kimyasal oksijen isteği, kanal faktörü olup herhangi bir grid için havza çıktı parametreleri ise; hidroloji çıktıları, yüzey akış, pik yüzey akış oranı, grid içinde oluşan yüzey akışın fraksiyonu, sediment çıktıları, sediment verimi, sediment konsantrasyonu, sediment partikül büyüklük dağılımı, yukarı arazi erozyonu, birikim miktarı, grid içinde oluşan sediment, partikül büyüklüğü tarafından zenginleştirme oranı, partikül büyüklüğü tarafından ulaşım oranıdır. Kimyasal Çıktılar; N, sedimentteki N miktarı, çözünen materyaldeki konsantrasyon, çözünen materyaldeki miktarı, P, sedimentteki P miktarı, çözünen materyaldeki konsantrasyon, çözünen materyaldeki kütlesi, kimyasal oksijen ihtiyacı, konsantrasyonu ve miktarıdır.

ANSWERS (ALANSAL NOKTASIZ KAYNAK HAVZA ÇEVRE RESPONS MODELİ)

Bir yağış süresinde hemen sonrasında ve süresinde küçük havzaların erozyon ve hidrolojik olaylara karşı davranışlarını simule eder. Raster temelli GIS'e bağlanma avantajlarına sahiptir. ANSWERS, yağmurun şiddetinin değiştiği noktaları ve sağanak yağış erozyon index değerlerini Wischmeier tarafından tanımlandığı gibi erozyonu belirlemek için kullanmıştır. ANSWERS, grid model olup ve bir araziye her birinin kendi parametreleri olan çok sayıda kareden oluşmuş bir ızgara olarak tanımlar.

GUESS (Griffith üniversitesi erozyon sedimentasyon sistemleri)

Bir matematiksel modeldir. Sarp (yamaç) eğimler boyunca birikimi ve erozyon prosesini esas alır. Model, çiftçilere, bilim adamlarına ve yayımcılara bir kılavuz niteliğinde tasarlanmıştır. Sağanak yağış süresince herhangi bir noktada ve eğim

üzerinde herhangi bir pozisyonda oluşan erozyon, hidrolojik koşullara bağlı olarak sediment akışı ile ilgilidir.

KINEROS - KINEMATIC CRUNOFF AND EROSION MODEL

Küçük tarımsal havzalarda ve kent havzalarında yüzey akış ve erozyonu tahmin etmek amacı ile geliştirilen model olup olay bazını esas alır. Başlangıç nem koşulları verildiğinde, bir tek olay bazında yüzey akış ve erozyonu hesaplamaktadır. Modelin genel yaklaşımı havzayı kanal elementlerine ve ovalara göre bölmektir.

Türkiye Toprak Erozyon Tahmin Modeli – TURTEM

Bilgisayar programı TURTEM, yağmur tarafından oluşturulan toprak erozyonunu belirlemeye olanak sağlamak için geliştirilmiştir. Program RUSLE’de yer alan LS topoğrafik faktör esaslarını kullanmakta ve bitki yönetim faktörü C içerisinde bulunan arazi kullanım, bitkinin kapladığı alan, yüzey örtüsü, yüzey pürüzlülük alt faktörlerini içermektedir.

Model R faktörü dışındaki gerekli tüm faktör hesaplamalarını bir arazinin topoğrafya, toprak tipi, arazi kullanım ve bitki yönetim bilgileri ışığında yapabilmektedir.

TURTEM, toprak kayıp tolerans sınırları ile belirlenen yıllık toprak kaybını karşılaştırarak arazi ve bitki yönetim değişimlerini önermektedir. Windows altında çalışan program Visual Basic dilinde yazılmıştır (Özden ve Özden 1998).

5. MODELLEMEDE CBS ve UA’NIN ROLÜ

Ülkeler gelişme düzeyleri arttıkça kendi öz kaynakları hakkında daha geniş bilgileri kapsayan yeni teknolojik girdilere gereksinim duymaktadırlar. Doğal çevre içerisinde ilişkilerin önemli bir bölümünün dinamik nitelikte olması, bunların davranışlarını gözleyebilmek için sürekli olarak yeni bilgiler ve verilerin elde edilmesi konusuna

büyük önem kazandırmaktadır. Havacılık ve uzay teknolojisindeki gelişmeler bu sorunların çözümü için yeni ufuklar açmış “Uzaktan Algılama (*Remote Sensing*)” adı verilen yöntemle havadan ve uzaydan elde edilen görüntülerin yorumlanması sonucu yeni ve sürekli bilgi üretimi olanak içerisine girmiştir.

Uzaktan algılama sözcüğü, objelerle fiziksel değinimde bulunmaksızın, herhangi bir uzaklıktan yapılan ölçümlerle objeler hakkında bilgi edinme bilim ve sanatı olarak tanımlanmaktadır. Bu ölçümler, özellikle objelerin elektromanyetik spektrum içerisindeki davranışlarına, konumsal ve yıl içinde özelliklerindeki değişimlere dayanmaktadır.

Uzaktan algılamanın ayrılmaz bir parçası olan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), doğal kaynakların doğrulukla etüt edilmesinde, haritalanmasında ve bu verilerin kullanıcılara ve planlayıcılara aktarılmasında günümüzde en ideal metot olarak karşımıza çıkmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri, araştırma ve karar vermeye yardımcı olma ya da yönetim süreçleri ile ilgili olabilen, coğrafi olarak oluşturulmuş çok farklı ve kapsamlı bilgilerin elde edilmesi, işlenmesi ve hizmete sunulması için tasarımıdır. İlk CBS uygulamaları 1960’lı yıllarda başlamış, veri sağlanmasında, depolanmasında, işlenmesinde ve yayımlanmasında sağladığı kolaylıklar nedeniyle son 10-15 yıl içinde hızla geliştirilmiş ve kullanıcıların hizmetine sunulmuştur (Dinç 1997).

Coğrafi bilgi sistemleri kısaca; coğrafi verilerin, kullanıcının ve bilgisayar sistemlerinin bir plan içerisinde organize edilip, verilerin etkin bir şekilde algılanması, işlenmesi, sentez edilmesi ve veri tabanı oluşturulması olayıdır. Hemen hemen tüm bilim dallarında kullanılması gereken CBS, özellikle uygulamalı bilim dallarında (ormancılık, başta toprak ilmi olmak üzere ziraat, jeoloji, çevre kirliliği, ulaşım, inşaat, şehir planlaması vs.) yerini çoktan almıştır.

Zamanımızda karar alma sorumluluğunda bulunanlar, en doğru kararları almak için bilgiye ihtiyaç duymaktadırlar. Bilgi sistemleri karar verme sürecinin objektif, bilimsel ve etkin olmasına hizmet etmektedir. CBS sosyal, fiziksel ve çevresel olayların düzenlenmesi, birbiri ile etkili olarak birleştirilmesi, grafik olarak etkili bir şekilde

gösterilmesi ve aynı zamanda bu olayların doğadaki zamana bağlı olarak değişimlerini değerlendirmek için geliştirilmiştir (Öztürk 1989). Toprak erozyonunu belirlemek içinde bu teknolojiler son yıllarda erozyon modelleme çalışmalarında kullanılmaya başlamıştır. CBS ve UA sistemleri içinde uygulanan modellerden bazıları;

CORINE

SEMMED

ICONA

USLE

RUSLE

KARTOĞRAFİK MODELLER olarak sayılabilir.

CORINE yöntemi, genelde dört önemli indisin bileşeni olarak oluşturulmuş bir erozyon risk değerlendirmesidir. Bu indisler erodibilite, erosivite, meyil ve bitki örtüsüdür. CORINE, gerçek ve potansiyel erozyon riskini ayrı ayrı ele almaktadır. Potansiyel toprak erozyon indisi için toprak erodibilite indisi, erosivite indisi ve meyil indisi değerlerinin çarpımı ile belirlenir. Gerçek (aktüel) toprak erozyon riskinin belirlenmesinde; arazi kullanım verileri ile potansiyel erozyon riski değerlerinden yararlanılmaktadır.

ICONA metodolojisi, temel olarak kalitatif bir karaktere sahiptir. Haritalama sistematğinde özellikle hava fotoğraflarından, uydu görüntülerinden, arazi etüdlerinden ve haritalardan (topoğrafik, jeolojik vb.) gidilerek bilgilere ulaşılmaktadır.

ICONA yaklaşımında, “Erozyon Durum Haritası”, 8 aşamada gerçekleştirilmektedir. Bunlar; rölyef özellikleri, arazi kullanım haritası, bitki örtüsü yoğunluğu haritası, toprak koruma düzeyleri haritası, meyil haritası, Lithopedolojik harita, erodibilite haritası ve sekizinci aşama olarak erozyon durum haritasıdır. Erozyon durum haritası toprak koruma düzeyleri haritası ile erodibilite haritalarının birleştirilmesi ile gerçekleşir.

Akdeniz Çevresindeki Alanlar İçin Toprak Erozyon Modeli - **SEMMED** yıllık toprak kaybını tahmin etmede Morgan, Morgan-Finney metodunu kullanmakta olup model için gerekli bilgiler, vejetasyon örtüsünün kuramsal ve gerçek değişiminin

belirlenmesiyle ilişkili olarak vejetatif değerlerinin saptanması için çok bantlı Landsat TM görüntülerinin kullanımı şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Model iki faza ayrılmaktadır. Bunlardan biri su fazı diğeri sediment fazıdır. Model yağmur damlasının çarpma etkisi ile toprak zerreciklerinin parçalanmasından kaynaklanan toprak erozyonunu dikkate almaktadır.

KARTOĞRAFİK MODELLER

Bir arazi parçasının veya havzanın farklı tarihlere ait hava fotoğrafları sayısallaştırılarak sayısal arazi modelleri elde edilmekte ve bunlar GIS ortamında karşılaştırılarak erozyon dolayısı ile meydana gelen yükseklik farkları hesaplanarak elde edilen fark değerlerinden erozyon volumü hesaplanmakta, yıllar itibariyle havzadaki toprak kaybı kantitatif olarak tesbit edilmektedir.

6. KABUL EDİLEBİLİR MODEL SEÇİMİ

Modeller hazırlanma amaçlarını ve gereksinimleri karşılayabildikleri ölçüde kabul görürler. İyi bir model güvenilir sonuçlar vermeli, universal olmalı, minimum veri ile çalışabilmeli ve kolay olmalı, faktörler ve erozyon prosesi anlaşılabilir olmalı, arazi kullanımı ve koruma tedbirlerine göre çalışabilme özelliğinde olmalıdır. Ayrıca erozyon prosesini uygun olarak gerçeğe yakın bir şekilde simule etmelidir. Çıplak alanlar, ekili tarım alanları, bozulmuş arazi yüzeyleri, eğimin aşağı kısımlarında olduğu kadar tüm toprak yüzeyleri için erozyon olayını değerlendirebilmelidir.

7. KAYNAKLAR

Dinç, U. 1997. Arazi kullanım planlamasında uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılması eğitim programı danışman raporu. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.

Elliot, W. J., Foster, G. R. and Elliot, A. Z. 1991. Soil erosion: Processes impacts and prediction. Soil Management for Sustainability. Soil And Water Conservation Society.

- Foster, G. R. and Highfill, R. E., 1983. Effect of terrace on soil loss: USLE P factor values for terraces, *Journal of Soil and Water Conservation*, 38.
- Lal, R. and Pierce, F. J. 1993. The vanishing resource. *Soil Management for Sustainability*. Soil And Water Conservation Society.
- Lal, R. 1993. Soil erosion research methods.
- Larson, D. 1993. Natural resource assesment and policy. *Soil Management for Sustainability*. Soil And Water Conservation Society.
- Morgan, R. P. C. 1995. *Soil Erosion and Conservation*. Longman Group UK.
- Özden, Ş. ve Özden, D. M. 1998. Erosion estimation model of Turkey - TURTEM. *International Symposium on Arid Region Soil*. 154-160. İzmir.
- Öztürk, N. 1989. Landsat-5 TM sayısal uydu verileri yardımıyla Ceylanpınar Ovası topraklarının sınıflandırılmasında supervised ve unsupervised metotlarının uygulanması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. (master tezi). Adana.
- Rosewell, C. J. 1993. SOILOSS – A program to assist in the selection of management practices to reduces erosion. Department of Conservation and Land Management, Soil Conservation Research Centre, Gunnedah, NSW, Avustralia

