5.

ÜNİVERSAL TOPRAK KAYIPLARI TAHMİNİ EŞİTLİĞİ

Üniversal toprak kayıpları tahmini denklemi (USLE) erozyonla kaybolan toprak miktarının tahmin edilebilmesi amacıyla en çok kullanılan matematiksel modellerden biridir. Denklem 1957'de Wischmeier ve arkadaşları tarafından tarım arazilerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş ve daha sonra 1971 de inşaat sahaları ve 1972'de de mera ve orman sahaları için kullanımları ilave edilmiştir. 1978 yılında yayınlanan Agricultural Handbook 578 den sonrada çalışmalar durmamış ve 1985 yılında Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığının ve diğer erozyon ile ilgili araştırıcıların yapmış olduğu toplantı sonucunda USLE nin ilave araştırma sonuçları ve gelişen teknolojiye bağlı olarak yeniden gözden geçirilmesine (revize edilmesine) karar verilmiştir. Revizyon çalışmaları 1987 de başlamış ve yeni teknoloji RUSLE olarak adlandırılmıştır (LAL,1994).

RUSLE esas itibariyle USLE nin temel yapısına sahip olup USLE den farklı olarak birtakım yeni düzenlemeler getirmektedir. Ancak henüz Türkiye'de RUSLE ye uygun veri üretimi yoktur bu bakımdan RUSLE ile ilgili bilgiler ileri ki çalışmalarda verilecek olup bu bölümde halihazırda ülkemizde kullanılmakta olan USLE detayıyla açıklanacaktır.

USLE denklemi esas itibariyle Kuzey Amerika için geliştirilmiş olup, diğer yerlerde özellikle yağış faktörü (R) ve ürün amenajman faktörü(C) için kontroller yapılmalıdır. Bunun yanında özellikle % 20 nin üstündeki eğimler ve 150 metreden daha fazla eğim uzunlukları için dikkat etmek gerekir. Çünkü bu sınırların üzerindeki çözüm için deneyimler fazla değildir.

Bu bölümde esas itibariyle Wischmeier ve Smith (1978) ve Anonymous (1986) dan yararlanılmıştır.

4.1. Denklemin Açıklanması ve Faktörlerin Değerlendirilmesi

4.1.1. Denklem

Denklem aşağıda belirtilen faktörlerin çarpımından ibarettir.

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

Burada;

A: Faktör değerlerinin çarpımından ibaret olan birim sahadan toprak kaybıdır (ton ha^{-1}).

R: Yağış faktörü; hesaplama yapılan dönem için erozyon indeksi (EI) sayısıdır. Erozyon indeksi belirli yağışların erozif kuvvetlerinin bir ölçüsüdür.

K: Toprak erozyon duyarlılığı faktörü; 22,l metre uzunlukta ve % 9 eğimli devamlı nadas yapılan bir araziden birim erozyon indeksine karşılık erozyon oranıdır.

L: Eğim uzunluğu faktörü; herhangi uzunluktaki bir araziden oluşan toprak kaybının, aynı toprak tipi ve eğimde 22,1 m uzunluktaki araziden oluşan toprak kaybına oranıdır.

S: Eğim dikliği faktörü; herhangi bir eğim dikliğine sahip bir araziden oluşan toprak kaybının, % 9 eğim dikliği ve aynı toprak tipi ile eğim uzunluğuna sahip bir araziden oluşan toprak kaybına oranıdır.

C: Ürün amenajman faktörü; belirli bir ürün yetiştirme ve amenajmana sahip bir araziden oluşan toprak kaybının K faktörünün değerlendirildiği nadas koşullarındaki araziden oluşan toprak kaybına oranıdır.

P: Erozyon kontrol uygulamaları faktörü; düzeç eğrilerine paralel tarım, şeritvari ekim veya teraslama yapılan bir araziden oluşan toprak kaybının, eğim aşağı sürüm yapılan arazideki toprak kaybına oranıdır.

4.1.2. Yağış faktörü (R)

Yağış faktörü Wischmeier'in erozyon indeksi (EI) dir ve bir yağışın toplam kinetik enerjisi (E) ile bu yağışın 30 dakikalık maksimum intensitesinin (I) çarpımının l00 e bölünmesi ile elde edilir.

Erozyon indeksi hesaplamaları için hangi yağışların değerlendirmeye alınacağında şu yol izlenir;

1-Öncelikle bireysel yağışların belirlenmesi gereklidir. Bunun için 6 saat veya daha fazla yağışsız bir süre ile birbirinden ayrılan veya bu süre içerisinde birbirinden 1,27 mm den az yağışla ayrılan iki yağış müstakil yağışlar olarak değerlendirilir ve ayrı ayrı hesaplanır.

2-Yağış miktarı 12,7 mm den daha az olan yağışlar 15 dakikalık maksimum intensitesi 24 mm h^{-1} i aşmadığı takdirde değerlendirmeye alınmazlar (diğer yağışlardan 6 saat veya daha fazla bir zaman için ayrılanlar yani bir yağış esnasında 6 saat veya daha fazla bir zaman diliminde 12,7 mm den daha az yağışın düştüğü kısım intensitesi yukarıda belirtilen oranı aşmadığı sürece değerlendirilmez).

Araştırma sonuçlarına göre 7,6 cm h^{-1} den daha fazla yağış yoğunluklarında yağmurun medyan damla büyüklüğü artmamakta ve buna bağlı olarak birim kinetik enerjisinde de artış olmamaktadır. Bu yüzden daha yüksek yağış yoğunlukları için 7,6 cm h^{-1} nin birim kinetik enerjisi kullanılmaktadır.

Toplam kinetik enerjinin bulunabilmesi amacıyla yağış yaklaşık olarak eşit

intensiteye sahip dönemlere bölünür. Her bir dönem için kinetik enerji aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

Kinetik enerjinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hazırlanmış **Çizelge 4.2.** de kullanılabilinir.

$$E = 210,1 + 89 \log I$$

Burada,

E: Yağmurun beher cm sinin kinetik enerjisi (ton-m ha^{-1}).

I: Hesaplama yapılan dönemdeki ortalama yağış intensitesi (cm sa^{-1}) dir.

Herhangi bir yağışın toplam kinetik enerjisinin bulunabilmesi için her bir dönem için hesaplanan kinetik enerjilerin, her dönemde düşen yağışın cm si ile çarpılması gerekir. Sonunda her dönemin kinetik enerjisi toplanarak yağışın toplam kinetik enerjisi bulunmaktadır.

R değerinin sağlanması için toplam kinetik enerji değeri ile maksimum ortalama 30 dakikalık intensitenin (I_{30}) iki katının çarpımının 100 e bölünmesi gerekmektedir. I_{30} değeri 1 saatlik intensitenin bulunabilmesi amacıyla 2 ile çarpılmaktadır. Maksimum ortalama 30 dakikalık intensite **Şekil 4.1** de görülen pluviyograf diyagramlarından veya hesaplama ile bulunabilmektedir.

Farklı yağış intensitesine sahip olan bir buçuk saatlik bir yağışın analizine ait örnek aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1. Plüviyograf diyagramından bir yağışın analiz edilmesi Wischmeier ve Smith (1978).

Diyagram okumaları		Yağış bölümleri			Enerji	
Zaman	Derinlik (mm)	Süre (dak.)	Miktar (cm)	İntensite (cm/h)	Her cm için	Her dilim için
4,00	0					
4,20	1,2	20	0,12	0,36	175	21
4,27	3,0	7	0,18	1,54	226	41
4,36	8,8	9	0,58	3,87	263	153
4,50	26,6	14	1,78	7,68	289	514
4,57	30,4	7	0,38	3,26	256	97
5,05	31,7	8	0,13	0,98	210	29
5,15	31,7	10	0	0	0	0
5,30	33,7	15	0,13	0,52	184	24
TOPLAM		**90**	**3,30**			**879**
Yağışın Kinetik Enerjisi: 879 x 10^{-2} = 8,79 (mton-m/ha)						

Bu yağış boyunca yağış intensitesinin en yüksek oluğu herhangi bir 30 dakikadaki yağış miktarı saat 4,27'den 4,57'ye kadar olan yağış olup 2,74 cm dir. Bu nedenle I_{30}=2x2,74=5,48 cm/h dir ve EI=8,79x5,48=48,17 dir.

Yıllık ortalama toprak kayıplarının yağışlar ve buna bağlı olan yüzey akıştan tahmininde R değeri EI (erozyon indeksi) değerine eşittir ancak kar erimesi

ve sulamadan doğan bir yüzey akış varsa bu takdirde EI değerine R_5 faktörü ilave edilmektedir. Bu duruma ülkemizde Erzurum koşullarında rastlanmakta olup kar erimesinin yağış analizinde bu yöre için mutlaka değerlendirmeye alınması gerekmektedir.

Ürün amenajman faktörünün hesaplanabilmesi için aynı zamanda yıl içindeki erozyon indeksinin (EI) dağılımını gösteren eklemeli erozyon indeksi eğrilerinin **(Şekil 4.3)** hazırlanması gereklidir.

Çizelge 4.2. Yağışların beher cm sinin kinetik enerjileri (ton-m/ha/cm**)**

İntensite cm/saat	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0	121	148	163	175	184	191	197	202	206
1	210	214	217	220	223	226	228	231	233	235
2	237	239	241	242	244	246	247	249	250	251
3	253	254	255	256	258	259	260	261	262	263
4	264	265	266	267	268	268	269	270	271	272
5	273	273	274	275	275	276	277	278	278	279
6	280	280	281	281	282	283	283	284	284	285
7	286	286	287	287	288	288	289			

1- 7,6 cm sa-1 den daha yüksek intensiteler için 289 değeri kullanılır.
2- Çizelge değerlerinin 9,81 ile çarpımı enerjinin kilojoules cinsinden değerini verir.

Uzun dönemler için R faktörünün bulunmasında her bir bağımsız yağışın EI değeri hesaplanır ve yıl boyunca değerlendirmeye alınacak olan yağışların (erozif olanların) EI değerlerinin toplanması ile yıllık değer bulunur. Ülkemiz 66 meteoroloji istasyonunun plüviograf diyagramları bu şekilde incelenmiş ve eş R değerine sahip istasyonlar birleştirilerek iso-erodent haritası elde edilmiştir **(Şekil 4.2)**.

Plüviyograf diyagramlarının bulunmadığı yerler için EI değerinin bulunmasına yönelik yapılan çalışmalar, yıllık ortalama EI indeksi ile yıllık ortalama yağışın 2 yılda bir düşmesi beklenen 1 saatlik yağışın ve 2 yılda bir düşmesi beklenen 24 saatlik yağışın çarpımı arasında iyi bir korelasyon olduğunu göstermiştir (Wischmeier 1962).

$$EI_{30} = f(P.\ I_1^{2yıl}\ .\ I_{24}^{2yıl})$$

Burada,

P: Yıllık yağış

$I_1^{2yıl}$: 2 yılda bir düşmesi beklenen 1 saatlik yağış.

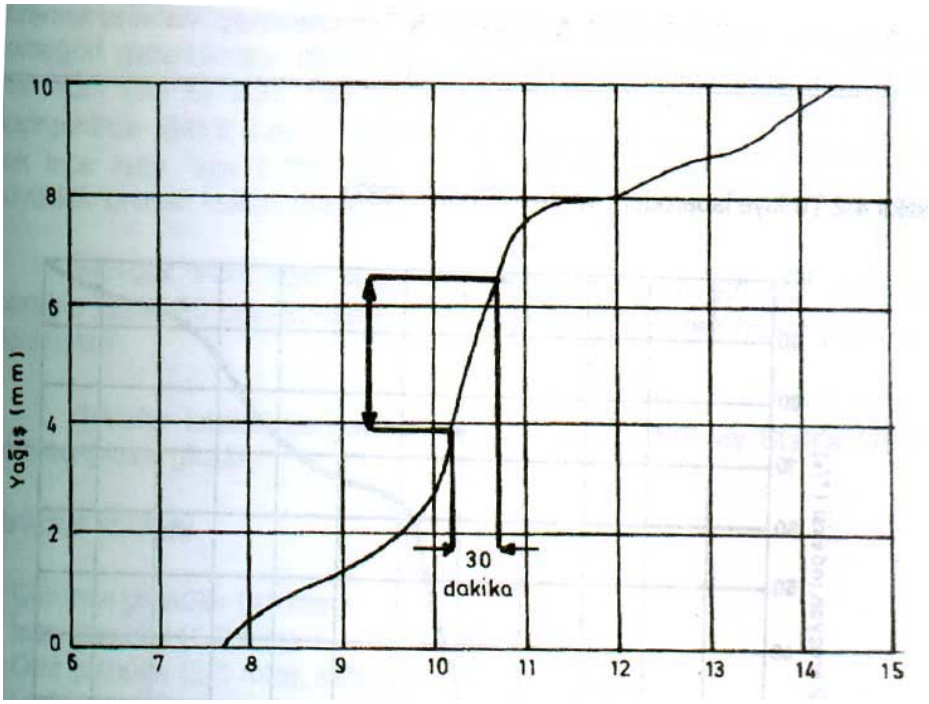
I_{24}2yıl : 2 yılda bir düşmesi beklenen 24 saatlik yağışdır.

İki yılda bir düşmesi muhtemel 6 saatlik yağış değerlerinin temin edilebildiği yerler için yerel erozyon indeksi değerlerinin daha hassas bir şekilde sağlanabilmesi amacıyla aşağıdaki formülde kullanılabilinir (Wischmeier ve Smith 1978).

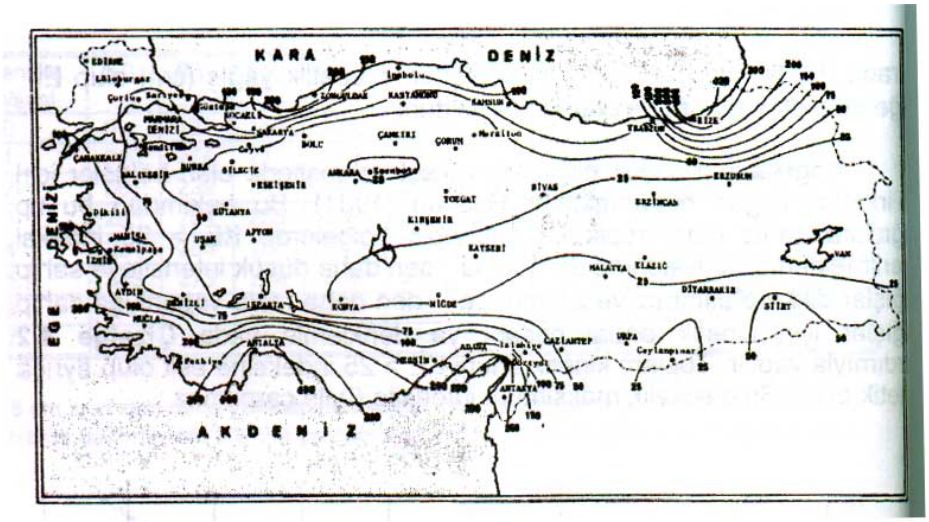
$$EI_{30} = 6{,}28\ .\ P^{2{,}17}$$

Burada, P İki yılda bir yağması beklenen 6 saatlik yağış (cm) olup EI_{30} değerini metrik ton- m/ha olarak vermektedir.

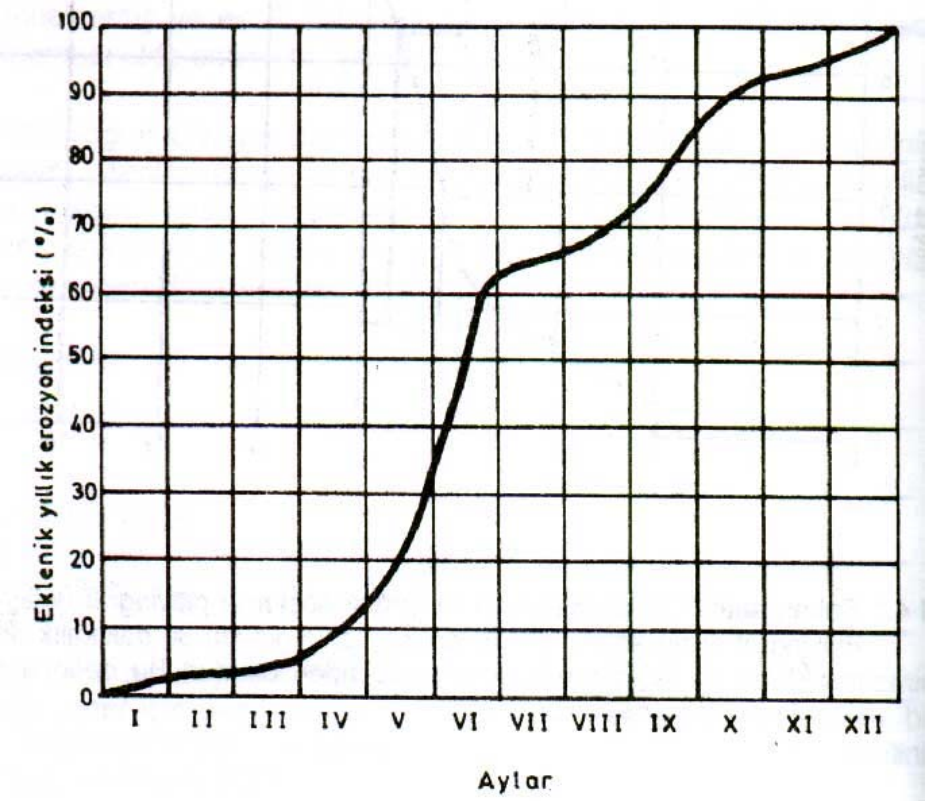
Yağışlarının büyük bir kısmı yüksek intensitede olan bölgeler için EI indeksi uygun olmamaktadır Hudson (1981). Bu bakımdan bu tip yağışlara sahip olan tropik ve subtropik bölgelerde KE > 25 indeksi önerilmektedir. Bu sistemde 25 mm sa^{-1} den daha düşük intensiteye sahip yağışlar dikkate alınmaz ve 25 mm sa^{-1} den daha fazla yoğunluğa sahip yağışlar için kinetik enerji hesabı ya denklemle yada **Çizelge 4.2** yardımıyla yapılır. Toplam kinetik enerji KE > 25 indeksine eşit olup ayrıca kinetik enerji 30 dakikalık maksimum intensite (I) ile çarpılmaz.



Şekil 4.1 Sabah saat 7.30 da başlayan bir yağışı gösteren plüviograf diyagramı. Plüviograf diyagramının en dik eğime sahip olduğu 30 dakikalık dönem işaretlenir ve yağış miktarı dikey eksenden okunur. Bu değerin iki ile çarpılmasıyla I_{30} değeri bulunur.



Şekil 4.2 Türkiye isoerodent haritası (Doğan 1987)



Şekil 4.3 Ankara için hazırlanmış olan eklenik yıllık erozyon indeksi eğrisi (Doğan 1987)

4.1. 3. Toprak erozyon duyarlılığı faktörü (K)

Toprak erozyon duyarlılığı faktörü (K) deneme parsellerinden aşağıdaki eşitliğin çözümü ile bulunabilir.

a- Standart olmayan koşullar için, K= A/RLSCP
b- Standart koşullar için , K= A/R dir.

Standart koşullar; Eğim dikliği % 9, eğim uzunluğu 22,1 m, devamlı nadas işlemesi ve eğim aşağı pullukla sürümdür. Bu koşullarda L=S=C=P=1 dir.

Wischmeier ve ark. (1971) tarafından beş basit toprak parametresinden yararlanarak K değerinin bulunmasına yarayan bir nomoğraf geliştirilmiştir **(Şekil**

4.4). Bu toprak parametreleri; a) silt+çok ince kum (%) b) kum (%) c) organik madde (%) d) strüktür ve e) geçirgenliktir **(Şekil 4.4)**. K faktörünün değerlendirilmesinde "yüzde silt+ çok ince kum "için 0,002-0,l0 mm ve "yüzde kum" için 0,l0-2,0 mm büyüklük sınırları kullanılmaktadır.

Silt+çok ince kum, kum, organik madde ve strüktür değerleri toprağın üst l5-20 cm lik kısmı ve geçirgenlik değeri ise bütün profil için ölçülmelidir.

Strüktür kodları ve geçirgenlik sınıfları Anonymous (1951) e göre aşağıdaki gibidir;

Strüktür kodları:

1. Çok ince granüler (<1 mm)
2. İnce granüler (1-2 mm)
3. Orta granüler (2-5 mm), kaba granüler (5-10 mm)
4. Levhalı, prizmatik, kolumnar, blok ve çok kaba granüler.

Geçirgenlik sınıfları:

Sınıfı	Geçirgenlik (cm/h)
1. Hızlı-çok hızlı	> 12,5
2. Orta hızlı	6,5 - 12,5
3. Orta	2,0 - 6,5
4. Orta yavaş	0,5 - 2,0
5. Yavaş	0,125 - 0,5
6. Çok yavaş	< 0,125

Ayrıca 4,5 ve 6. sınıflar için aşağıdaki ilaveler yapılmıştır.

- Fragipan topraklar için 6. sınıf,
- Alt katmanı masif kil veya siltli kil olan ve yüzeyi daha geçirgen olan topraklar için 5. sınıf,
- Yüzeyi orta geçirgen ve alt kısmı yarı köşeli veya köşeli blok strüktüre sahip topraklar 4. sınıf,
- Eğer alt toprak strüktür derecesi orta veya kuvvetli kalırsa veya tekstür siltli killi tın dan daha kaba olursa 3. sınıf kullanılır.

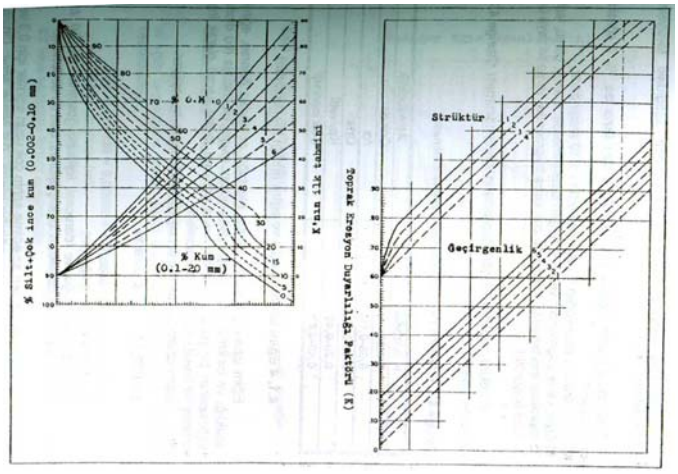
K faktörünün nomoğraftan **(Şekil 4.4)** bulunmasında aşağıdaki yöntem takip edilir:

1. Nomoğrafın sol kısmındaki dikey eksende toprağın yüzde silt+çok ince kum (0,002 mm - 0,10 mm) miktarından giriniz.
2. Toprağın kum miktarı (0,10 mm - 2,0 mm) ne karşılık gelecek eğriye doğru yatay olarak ilerleyiniz (kum miktarı kurve değerlerinden farklı bulunmuşsa interpolasyon yapınız).
3. Dikey olarak toprağın organik madde kapsamına göre seçtiğiniz kurveye ilerleyiniz.
4. Organik madde kurvesini kestiği yerden sağa doğru ilerleyiniz.
5. Çok ince granüler ve orta geçirgen topraklar için K değeri Nomoğrafın ilk kısmının sağ köşesinden direk olarak ilk tahmin olarak okunabilir.

6. Diğer topraklar için, yatay olarak devam ediniz ve uygun strüktür eğrisini kesiniz.

7. Dikey olarak uygun geçirgenlik eğrisine devam ediniz.

8. K değerini okumak için nomoğrafın ikinci kısmının sol köşesindeki toprak erozyon duyarlılığı ıskalasına kadar devam ediniz.



Şekil 4.4 Toprak erozyon duyarlılığı nomoğrafı

A.B.D'de yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki tavsiyeler yapılmaktadır.

1. Eğer toprağınızın organik maddesi % 4 den fazla ise, % 4 eğrisini kullanınız.
2. Nomoğraftan elde edilen K değerleri 0,03 - 1,10 arasındadır.
3. Eğer kaba fragmentler varsa K değeri düzeltilmelidir. Çakıllı, çörtlü, taşlı topraklar için bir veya iki sınıf ve çok kaba fragmentler varsa iki veya üç sınıf düşürülür.

K faktör değerlerine göre toprakların sınıflandırılması **Çizelge 4.3** de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. K faktörlerine göre toprakların sınıflandırılması

K faktörleri	Aşınabilirlik
0-0,05	**Çok az**
0,05-0,10	**Az**
0,10-0,20	**Orta**
0,20-0,40	**Kuvvetli**
0,40-0,60	**Çok kuvvetli**

4.1. 4 Eğim uzunluğu (L) ve eğim dikliği (S) faktörleri

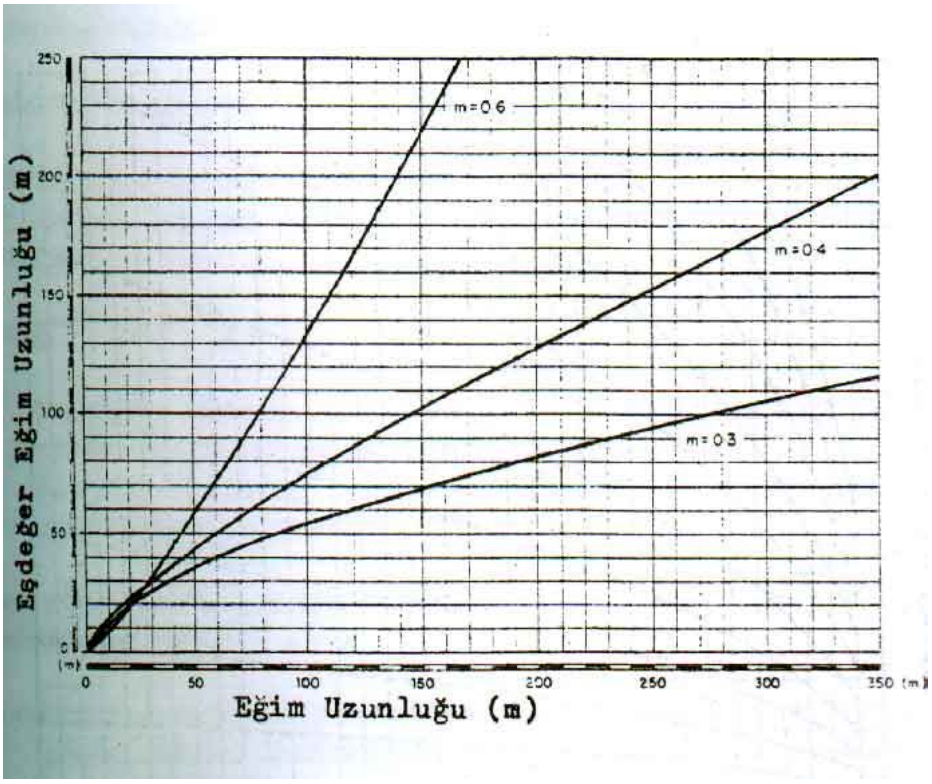
Eğim uzunluğu, yüzey akışın oluştuğu noktadan itibaren, eğimin azaldığı ve birikmenin başladığı veya yüzey akışın bir kanala (bu drenaj şebekesinin bir parçası olabilir) veya çevirme terası kanalı olarak inşa edilmiş bir kanala kadar olan mesafedir.

Eğim uzunluğu faktörü (L) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$L=(l/22,1)^m$ olup burada,

L: Eğim uzunluğu faktörü,
l: Arazi eğim uzunluğu (m),
m: Eğim uzunluğu ve derecesi ilişkisini gösteren üs, bu aynı zamanda toprak özellikleri, bitki çeşidi vs. den de etkilenir.

m değeri % 0,5 den az eğime sahip çok uzun eğimler için 0,3 ve % 10 un üzerinde eğime sahip eğimler içinde 0,6 olarak alınır. Ortalama değer 0,5 dir. Eğim uzunluğu ve dikliğinin birlikte etkisinin değerlendirildiği **Şekil 4.6** da m = 0,5 kullanılmıştır. m değerinin 0,5 den farklı olduğu yerler için **Şekil 4.5** kullanılmaktadır.



Şekil 4.5. Eğim uzunluk üssü m 0,5 ten farklı olduğu zaman eşdeğer eğim uzunluğunu bulmada kullanılan kart

Eğim dikliği faktörü S aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$S=0,43 + 0,30\ s + 0,043\ s^2 / 6,613$$

Burada; s, eğim derecesi (%) dir.

Eğim uzunluğu ve dikliğinin birlikte etkileri % 20 eğim dikliği ve 350 m eğim uzunluğuna kadar **Şekil 4.6** dan veya aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

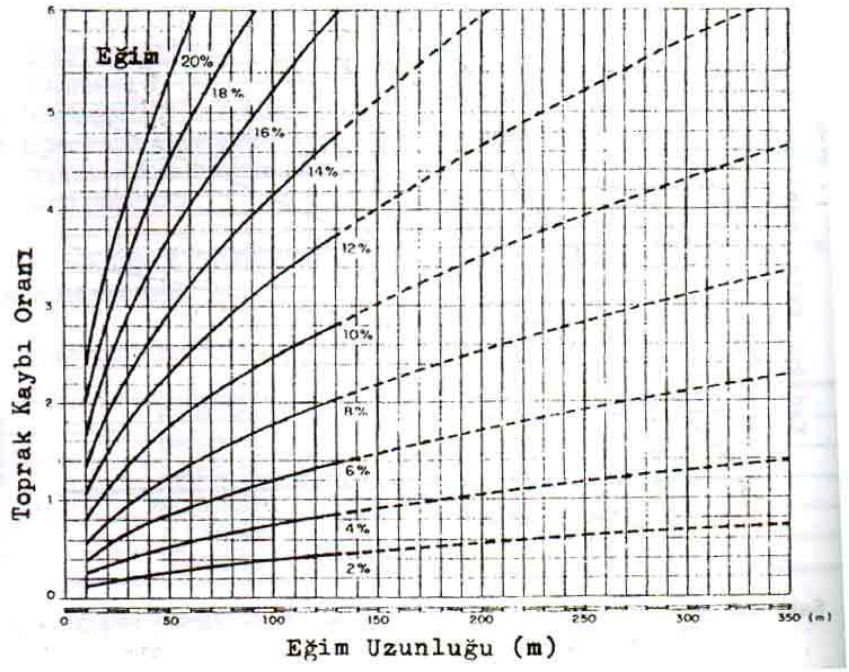
$$LS= \sqrt{l}\ (0,0138 + 0,00965\ s + 0,00138 s^2)$$

l:Eğim uzunluğu (m)

S: Eğim Dikliği (%)

Eğimi % 10-50 ve eğim uzunluğu 800 m ye kadar olan araziler için **Şekil 4.7** veya aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$LS = (l/22,1)^{0,6} . (s/9)^{1,4}$$



Şekil 4.6 Eğim uzunluğu (l) ve eğim dikliğine (s) göre LS faktörünün bulunmasında kullanılan kart

Herhangi bir arazide eğim dikliği, eğim şekli (dışbükey, düz, içbükey gibi), toprak tipi veya toprak örtüsünde önemli değişimler oluyorsa düzeltmelerin yapılması gereklidir. Aşağıda eğim derecesindeki değişimle ilgili olarak yapılacak düzenlemeye ilişkin iki yöntem açıklanmıştır. Bu yöntemler yukarıda sayılan değişiklikler içinde uygulanabilir. Düzenlemenin kolaylaşması için iki ön kabul yapılmalıdır. Bunlar, eğimdeki değişim eğimin üst kısmında birikim oluşturacak düzeyde değildir ve düzensiz eğimler eşit uzunluktaki segmentlere bölünebilir şeklinde ise düzeltme yöntemi aşağıdaki gibidir.

1. Eğimi gerekli sayıda eşit uzunlukta segmentlere bölünüz ve her bir segment için denkleme göre eğim dikliği (s) faktörünü hesaplayınız.
2. Bulunan s faktörünü, toplam eğim uzunluğunu kullanarak denkleme göre bulduğunuz eğim uzunluğu faktörü (L) ile çarpınız.
3. Bulunan her bir LS faktörünü düzeltme faktörü olan a ile çarpınız.

Düzeltme faktörü a **Çizelge 4.4** den m= 0,5 olan eğimler için bulunabilir. Eğer m değeri 0,5 ten farklı ise aşağıdaki denklemle a faktörü hesaplanabilir.

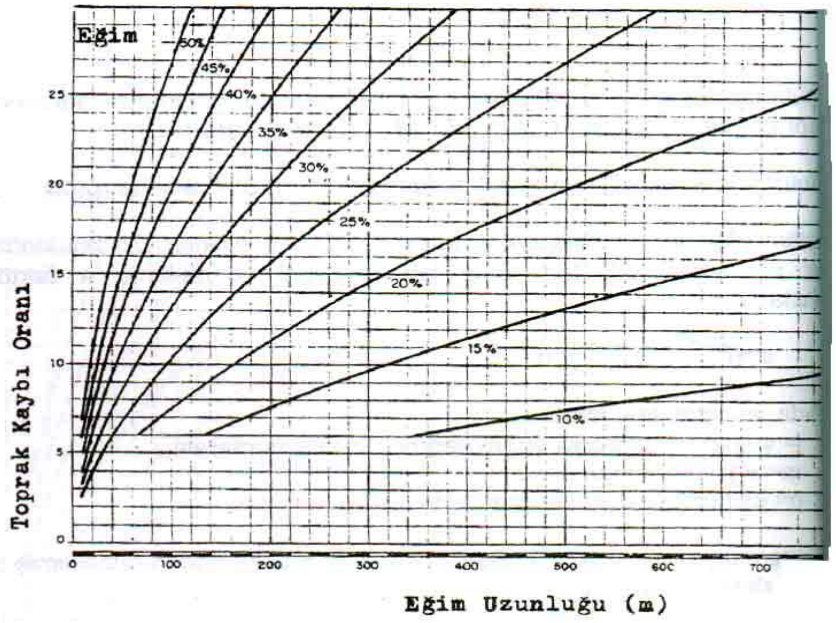
$$a=[j^{m+1} -(j-1)^{m+1}]/ n^{m}$$

Burada, a= düzeltme faktörü,
j= yukarıdan aşağıya doğru segmentin sıra numarası,
m= eğim uzunluğu üssü,
n= eşit uzunluktaki segmentlerin toplam sayısıdır.

4. Toplam eğim için etkili LS değerini saptamak bakımından düzeltilmiş LS değerlerinin ortalamasını alınız.

Çizelge 4.4 Eğim uzunluğu üssü m nin 0,5 olduğu yerlerde eğim segmentlerinin şekilden bulunan LS değerlerinin düzeltilmesi için kullanılan a değerleri

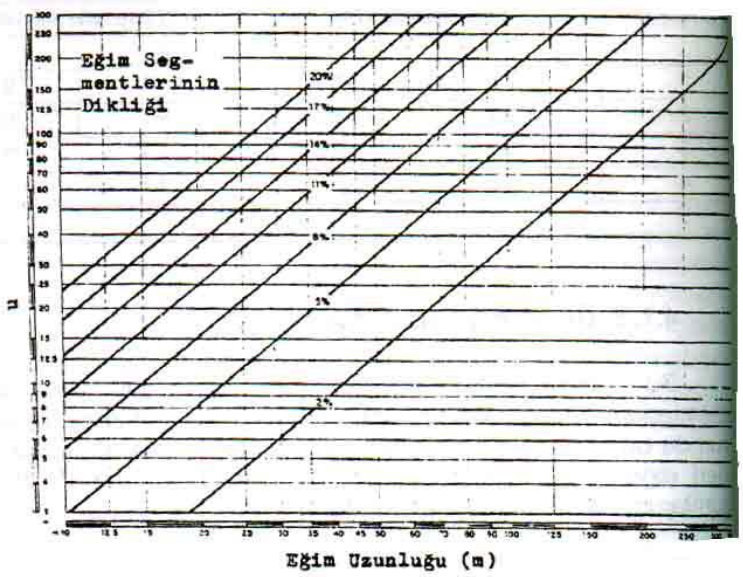
Segmen No	Eşit uzunluktaki segmentlerin toplam sayısı			
	2	3	4	5
1	0,71	0,58	0,50	0,45
2	1,29	1,06	0,91	0,82
3		1,37	1,18	1,06
4			1,40	1,25
5				1,42



Şekil 4.7 Eğim uzunluğu (l) ve eğim dikliğinin (s) Şekil 4.6 daki değerleri aştığı zaman LS faktörünün bulunmasında kullanılan kart

4.1. 5. Ürün amenajman faktörü (C)

Bu faktör bitki örtüsü, bitki kalıntıları ve amenajman yöntemlerinin toprak kaybı üzerindeki toplam etkisini açıklar. Birçok durumda bu faktör bütün bir yıl boyunca sabit kalmaz. Faktörün gerçek değeri diğer bütün faktörlere bağlıdır. Bu bakımdan C faktörü çoğu durumlar için deneysel olarak saptanmalıdır.



Şekil 4.8 $U=S^{1,5}/22,1^{0,5}$ değerinin bulunmasında kullanılan kart (S, eğim dikliği faktörü ve l, eğimin başından segmentin alt kısmına kadar olan mesafedir)

C Faktörünün hesaplanabilmesi için bitki ekim nöbetine giren bütün bitkiler için ayrı ayrı olmak üzere aşağıdaki dönemlerin kurulması gerekir.

F dönemi: Kara nadas. Hasattan sonraki sürümden ekime kadar geçen süredir.

1. dönem: Tohum yatağı. Tohum yatağı hazırlığından, ekimden sonraki birinci aya kadar olan süredir.

2. dönem: Çıkış ve ilk gelişme. Yaz veya bahar ekimi yapılan yerler için ekimden sonraki 1-2 aylık süredir, kışlık ekim yapılan yerlerde kış aylarını da içine alır.

3. dönem: Ürünün gelişmesi ve olgunlaşması. 2 dönemin sonundan

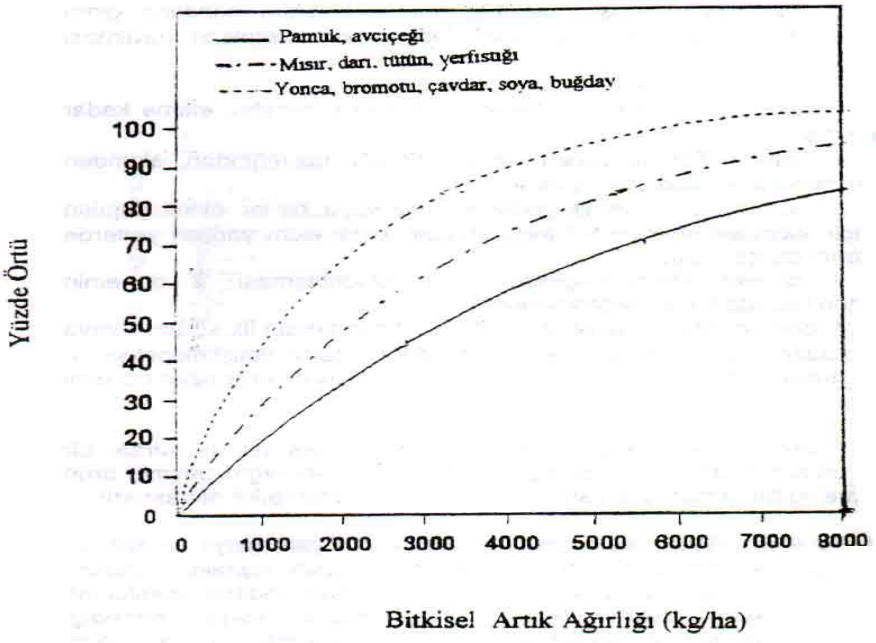
hasada kadar geçen süredir.

4. dönem: Artıklar veya anız. Ürünün hasadından ilk sürüm veya ekime kadar geçen süredir. Tahıllardan sonra çayır yetiştirilecekse 4. dönem hasattan itibaren 2 aydır. Bundan sonra tesis edilmiş çayır dönemi başlar.

F dönemi ekim nöbeti içerisinde eğer nadas yılı da varsa, bir önceki ürünün F dönemi ile birleştirilemez. Çünkü toprağın geçmiş ürün yetiştirme ve buna bağlı olan artıkların tabiatı ve miktarı etkili olmaktadır.

Bir ekim nöbeti için toprak kaybı oranının yani belirli bir bitkinin yetiştirildiği araziden oluşan toprak kaybının, çıplak topraktan oluşan toprak kaybına oranının her bir dönemdeki erozyon indeksi dağılımına göre düzenlenmesi gereklidir. Çünkü, arazi koşulları, yağışın olmadığı zamanlarda önemsiz ve yağışın çok olduğu zamanlarda da çok önemli olmaktadır. Bu nedenle her bir dönemdeki toprak kaybı oranı o döneme ait EI30 indeksinin yüzdesi ile çarpılmaktadır. EI30 un her döneme ait yüzdeleri eklemeli erozyon indeksi eğrilerinden kolaylıkla okunabilir (**Şekil 4.3**).

Belirli bitkiler için her bir dönemdeki toprak kaybı oranları çeşitli çizelgelerden tahmin edilebilmektedir. Ülkemiz için bu toprak kaybı oranları da Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Araştırma Enstitülerince belirlenmektedir. Toprak kaybı oranlarının arazi denemeleri ile ülkemizin karakteristik yöreleri için ölçümleri yapılıncaya kadar birim sahadaki kuru organik madde miktarı veya yüzey kaplama yüzdeleri yardımıyla düzenlenmesi mümkündür. Bu amaçla arazi yüzeyinden toplanan bitki artıkları miktarından yüzey kaplanma yüzdelerinin bulunmasında **Şekil 4.9** kullanılabilinir.



Şekil 4.9. Farklı ürünler için yüzeydeki kuru artık miktarı ile yüzey kaplanma oranı arasındaki ilişki

Çeşitli bitkiler ve devamlı çayır, mera ve ağaçlık sahalar için çizelgeler geliştirilmiş olup C değerleri bu çizelgelerden bulunabilir **(Çizelge 4.5 ve 4.6)**. Şüphesiz bu değerlerin ülkemiz koşullarına arazi denemeleri yapılmak suretiyle adapte edilmesi gereklidir

Çizelge 4.5. Üniversal toprak kaybı denklemi için C faktörü değerleri

Uygulama	Ortalama Yıllık C Faktörü
Çıplak toprak	1,00
Orman veya yoğun çalılık, yüksek malçlı ürünler	0,001
İyi koşullarda savan veya yüksek çayır otları (praire)	0,01
Aşırı otlatılmış savan veya çayır	0,10
Mısır, darı; yüksek verimlilikte geleneksel sürüm	0,20-0,55
Mısır, darı; düşük verimllilikte, geleneksel sürüm	0,20-0,10
Mısır, darı; yüksek verimlilikte, artıkta çizel pulluğu	0,12-0,20
Mısır, darı; düşük verimlilikte, artıkta çizel pulluğu	0,30-0,45
Pamuk	0,40-0,70
Çayır otları	0,01-0,025
Soya	0,20-0,50
Buğday	0,10-0,40
Pirinç	0,10-0,20
Yer fıstığı	0,30-0,80
Patates; eğim aşağı sıralı	0,20-0,50
Patates; eğime dik sıralı	0,10-0,40
Börülce	0,30-0,40
Çilek; yabancı ot örtüsü ile	0,27
Şeker kamışı	0,13-0,40
Güvercin bezelyesi	0,60-0,70

Çizelge 4.6. Devamlı çayır , mera ve ağaçlık sahalar için C değerleri [(1)]

Bitki örtüsü			Yüzeyle temas eden örtü					
Örtünün tipi ve yüksekliği(2)	Örtü kaplanması (3) %	Çeşidi (4)	Yüzey kaplanması %					
			0	20	40	60	80	95-100
Kabul edilebilir bir örtü yoktur		O	0,45	0,20	0,10	0,042	0,013	0,003
		Y	0,45	0,24	0,15	0,090	0,043	0,011
Uzun yabani otlar	25	O	0,36	0,17	0,09	0,038	0,012	0,003
		Y	0,36	0,20	0,13	0,082	0,041	0,011
Kısa çalılar (0,5 m)	50	O	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003
		Y	0,26	0,16	0,11	0,075	0,039	0,011
	75	O	0,17	0,10	0,06	0,031	0,011	0,003
		Y	0,17	0,12	0,09	0,067	0,038	0,011
Çalı ve fundalık	25	O	0,40	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
		Y	0,40	0,22	0,14	0,085	0,042	0,011
	50	O	0,34	0,16	0,080	0,038	0,012	0,003
		Y	0,34	0,19	,13	0,081	0,041	0,011
	75	O	0,28	0,14	0,08	0,036	0,012	0,003
		Y	0,28	0,17	0,12	0,077	0,040	0,011
Ağaçlar (4m yükseklik), Kısa boylu çalılar kabul edilmez.	25	O	0,42	0,19	0,10	0,041	0,013	0,003
		Y	0,42	0,23	0,14	0,087	0,042	0,011
	50	O	0,39	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
		Y	0,39	0,21	0,14	0,085	0,042	0,011
	75	O	0,36	0,17	0,09	0,039	0,012	0,003
		Y	0,36	0,20	0,13	0,083	0,041	0,011

1-Malç veya bitki örtüsünün tesadüfi olarak dağıldığı ve kabul edilebilir derinlikte malçın varlığı kabul edilmiştir.

2-Yağmur damlalarının örtüden toprak yüzeyine ortalama düşme mesafesi metre olarak verilmiştir.
3-Örtünün yukardan bakıldığında toplam yüzeyde kapladığı kısımdır.
4- O: Yüzeydeki ot, ot tipi bitkiler,yüzeyde çürüyen sıkışmış en az 5 cm derinlikteki yüzey örtüsüdür.
Y: Çürümemiş bitki artıkları veya kökleri yüzeye yakın olan geniş yapraklı bitkiler tarafından oluşturulmuş yüzey örtüsüdür.

4.1. 6 Erozyon kontrol işlemleri faktörü (P)

Erozyon kontrol işlemleri faktörü bağımsız bir faktör olarak değerlendirildiğinden ürün amenajman faktöründe içerilmez. Değişik erozyon kontrol uygulamalarının toprak kaybı oranları eğim derecesine bağlı olarak değişmektedir. Düzeç eğrilerine paralel tarım, şeritvari ekim ve teraslama için toprak kaybı oranları **Çizelge 4.7** de verilmiştir. Burada teraslama için iki değer vardır, yüksek olanı araziden olan toprak kaybını ve düşük olanı da sediment verimi ile ilgilidir. Farklılık araziden kaybolan sedimentin bir kısmının teras kanalları vs. de tutulmasından ileri gelmektedir.

Çizelge 4.7 Teraslama, şeritvari ekim ve düzeç eğrilerine paralel tarım için kullanılan P faktörleri

Arazi eğimi (%)	Düzeç eğrilerine paralel tarım	Şeritvari ekim	Teraslama	
			a	b
2-7	0,50	0,25	0,50	0,10
8-12	0,60	0,30	0,60	0,10
13-18	0,80	0,40	0,80	0,16
19-24	0,90	0,45	0,90	0,18

a. Tarım arazilerinde erozyon kontrol planlamaları içindir.
b. Sediment veriminin tahmini içindir.

Bitki köklerinin erişebildiği toprak derinliğine bağlı olarak toprak oluşum koşullarına göre alınacak izin verilebilir toprak kaybı miktarları **Çizelge 4.8** de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 Değişik köklenme derinliğine sahip olan topraklar için toprak kaybı toleransı (t) değerleri

Köklenme derinliği (cm)	Toprak kaybı toleransı (t ha yıl^{-1})	
	Yenilenebilir toprak[1]	Yenilenemez toprak[2]
0-25	2,2	2,2
25-50	4,5	2,2
50-100	6,7	4,5
100-150	9,0	6,7
>150	11,2	11,2

1-Sürüm, gübreleme, organik madde ilavesi ve diğer amanejman uygulamaları ile yenilenebilen, uygun alt toprak koşullarına sahip topraklardır.
2-Sert veya yumuşak kaya gibi ekonomik olarak yenilenemeyen alt toprak koşullarına sahip topraklardır.

4.2. Toprak Kaybı Denkleminin Kullanımları

4.2.1. Yıllık veya ekim nöbeti için araziden oluşan toprak kaybının tahmini

Yıllık veya ekim nöbeti için yıllık toprak kaybı; EI_{30} K,LS; yıllık C değeri ve P değerlerinin değerlendirilmesi ve denklemin çözümü ile tahmin edilir.

4.2.2 Müstakil yağışlar için toprak kaybının tahmini

Üniversal toprak kayıpları tahmini denklemindeki kullanılan ilişkiler istatistiksel ortalamaları temsil ettiğinden bireysel yağışların neden olduğu kayıpların tahmini daha az doğruluktadır ve normal olarak bu denklem ile böyle bir tahminin yapılması tavsiye edilemez. Bununla birlikte bireysel yağışın EI_{30} değeri ve arazinin yağış esnasındaki C faktörünün gerçek durumu bilinebilirse gerçeğe oldukça yakın değerler elde edilebilir.

4.2.3 Toprak koruma planlaması amacıyla kullanımı

Koruma planlaması amacıyla denklemin kullanılabilmesi için önce maksimum toprak kaybı toleransının belirlenmesi gereklidir. Toprak kaybı toleransı, toprak kayıplarının sınırsız bir zaman için ürün verimini düşürmeyecek toprak kaybı miktarıdır. Toprak kaybı toleransı sınırları 2,2-11,2 t ha^{-1} arasında **(Çizelge 4.8)** olup bu tarım sahaları için geçerlidir. Eşitlik tarım dışı alanlar ve inşaat sahaları için uygulanamaz.

Toprak kaybı tolerans değerleri her bir toprak serisi için belirlenir. Erozyon nedeniyle toprak kalınlığı çok azalmış seriler için ikinci bir tolerans değeri belirlenir. Aynı serinin içerisinde erozyon fazı varsa, bu takdirde tolerans sınıfı 1 sınıf aşağıya indirilir. Toprak serileri için toprak kaybı toleransının belirlenmesinde aşağıdaki kriterler kullanılmaktadır.

1. Bitki yetişmesine uygun toprak derinliğinin sürdürülmesi gereklidir. Sert kayalar üzerindeki az derin topraklar veya sınırlayıcı katmanların varlığında tolerans değeri düşürülür.
2. Erozyon sonucu yüzey toprağı uzaklaştırılmış ve bu yüzden verim miktarı düşmüş olan topraklara daha az tolerans tanınır.
3. Toprak kaybı toleransında en fazla 11,2 ton ha^{-1} lık kayıp miktarı kullanılmaktadır. Nedenleri şunlardır;

a. Toprak kayıplarının 11,2 ton ha^{-1} ı aşması durumunda açık kanallar, göletler ve sedimentten etkilenen diğer yapıların etkinlikleri azalmakta ve bakım masrafları artmaktadır.
b. Yüzey erozyonunun fazla olmasına oyuntu erozyonu eşlik etmekte ve ayrıca gerek toprak işlemede gerekse kanal, akarsu ve su yollarının sedimantasyonu gibi problemlerin çıkmasına neden olmaktadır.

c. Önemli ölçüde bitki besin maddesi kayıpları meydana gelmektedir.

d. Toprak kayıplarını 11,2 t ha^{-1} ın altında tutabilmek amacıyla çok sayıda koruma uygulaması başarı ile uygulanabilmektedir.

Toprak kaybı toleransı belirlendikten sonra, CP=T/RKLS yazılabilir. Uygun ürün amenajman ve toprak koruma uygulamaları faktörünün seçimi ile toprak kaybının tolerans değeri kadar olması sağlanabilir. Bunun yapılmasında erozyon-indeksi dağılımı eğrisinden yağışların en kritik olduğu zaman bulunup bu dönemdeki C değerinde azaltmanın yapılması çok yararlı olacaktır.

4.2.4.Erozyonu azaltmak amacıyla yapılan havza yönetimi planlamalarındaki kullanımı

243 hektarlık bir havzadan şimdiki ve önerilen arazi uygulamaları için yüzey ve parmak erozyonu ile oluşan yıllık ortalama toprak kayıplarını hesaplayınız (Bu kısımdaki örnek Anonymous 1986 dan alınmıştır).

A-Mevcut koşullar.

Ürün sahası : 113,3 ha
Devamlı mısır-artıklar alınmaktadır
Ortalama verim 4,4 t ha^{-1}
Eğim aşağı ve yukarı sürüm
Toprak-Fayette silt tın
Eğim - % 8
Eğim uzunluğu - 61,0 m

Bu koşullardaki faktör değerleri,
R:321,K:0,48, LS:1,4, C:0,43 ve P:1,00 dır.
Meydana gelen toprak kaybı,
A=321 x 0,48 x 1,4 x 0,43 x 1,0 = 92,8 ton/ha/yıl.

Mera : 68,8 ha
Kısa çalılar-0,5 m yükseklikte

Yüzde kaplanma oranı % 50
Yüzey örtüsü - ot ve otsu bitkiler
Yüzey yüzey kaplanma oranı % 80
Toprak - Fayette siltli tın
Eğim - % 8
Eğim uzunluğu - % 61,0 m

Bu koşullardaki faktör değerleri,
R:321,K:0,48, LS:1,4 ve C:0,012 dir.
Meydana gelen toprak kaybı;
A= 321 x 0,48 x 1,4 x 0,012 = 2,6 t/ha/yıl .

Orman : 60,7 ha
Ağaç örtüsü ile kaplanma oranı - % 30
Ağaç döküntüleriyle kaplanma oranı - % 50
Ağaç altları - işlenmemiş
Toprak - Bates sitli tını
Eğim - % 12
Eğim uzunluğu - 30,5 m

Bu koşullardaki faktör değerleri,
R:321,K:0,41,LS:1,8, C:0,05 dir.
Meydana gelen toprak kaybı;
A= 321 x 0,41 x 1,8 x 0,05 = 11,9 t/ha/yıl dır.

B-Havzada için önerilen arazi kullanımlarının uygulanmasından sonraki koşullar

Ürün sahası: 113,3 ha
Buğday-çayır, mısır, mısır (artıklar arazide bırakılarak)
Şeritvari ekim
Toprak - Fayatte siltli tın

Eğim - % 8
Eğim uzunluğu - 61,0 m

Bu koşullardaki faktör değerleri,
R:321,K:0,48, LS:1,4, C:0,119, P:0,3 dür.
Meydana gelen toprak kaybı,
A= 321 x 0,48 x 1,4 x 0,119 x 0,3 = 7,7 t/ha/yıl dır.

Mera : 68,8 ha
Islah edilmiş uygulamalarla:
Örtü kaplaması % 25 e düşürülmüş (4 m yükseklikteki bitkilerle)
Yüzey kaplanma oranı % 95(örtü ile korunmayan sahalar için)
Toprak - Fayatte siltli tın
Eğim - % 8
Eğim uzunluğu - 61 m

Bu koşullardaki faktör değerleri,
R:321,K:0,48, LS:1,4, C:0,003 dür.

Meydana gelen toprak kaybı:
A= 321 x 0,48 x 1,4 x 0,003 = 0,65 t/ha/yıl dır.

Orman : 60,7 ha
Islah uygulamaları ile
Örtü kaplanması % 60 a çıkarılmış
Örtü bitkilerinin kalıntıları % 80 e çıkarılmış
Örtü altı-işlenmiş

Toprak - Bates sitli tın
Eğim - % 12
Eğim uzunluğu - 30,5 m

Bu koşullardaki faktör değerleri,
R:321,K:0,48, LS:1,8, C:0,003 dür.
Meydana gelen toprak kaybı:

A= 321 x 0,41 x 1,88 x 0,003 = 0,71 t/ha/yıl

Havza toplamı olarak ortalama yıllık toprak kayıpları

A-Mevcut koşullarda:

Ürün sahası= 113,3 ha x 92,8 t/yıl = 10514 t/yıl
Mera = 68,8 ha x 2,6 t/yıl = 179 t/yıl
Orman = 60,7 ha x 11,9 t/yıl = 722 t/ yıl

B-Geliştirilmiş koşullarda:

Ürün sahası= 113,3 ha x 7,7 t/ha = 872 t/yıl
Mera = 68,8 ha x 0,65 t/ha = 45 t/yıl
Orman = 60,7 ha x 0,71 t/ha = 43 t/yıl

Herhangi bir havzadan oluşan erozyonun miktarı doğrudan rezervuarlardaki sedimantasyonun miktarı ile mukayese edilemez. Yukarıda hesaplanan yıllık ortalama toprak kaybı sadece yüzey ve parmak erozyonunu göstermekte olup **gros erozyon olarak** adlandırılan ve bir havza içerisindeki bütün kaynaklardan oluşan erozyonun toplamını içeren miktarla karıştırılmamalıdır. Gros erozyon; işlemeli tarım alanları, meralar, otlaklar, ağaçlık alanlar, yapım alanları ve açık maden işletmelerinden oluşan yüzey ve parmak erozyonunu ve her türlü kaynaktan oluşan oyuntu erozyonu ile akarsuların yatak ve kenar erozyonundan oluşur. Her bir kaynağın nispi önemi havzadan havzaya değişmektedir.

Erozyona uğrayan materyalin miktarı ile akarsularla taşınan materyalin miktarı arasındaki ilişki sediment iletim oranına bağlıdır. Bir akarsu sistemine dahil olan sediment miktarının dahil olduğu yerin üst kısmındaki drenaj alanından oluşan gros erozyona olan oranı bu drenaj alanının sediment iletim oranı olarak adlandırılmaktadır. Sediment iletim oranını hesaplamaya yarayan genel bir eşitlik yoktur ve bu değerler ancak yerel verilerin kullanılmasıyla elde edilebilmektedir. Bu konu ile ilgili olarak daha geniş bilgi Anonymous (1971) Bölüm 3'de bulunabilinir.

KAYNAKLAR

ANONYMOUS, 1951. Soil survey manual. Agriculture Handbook 18. U.S. Dept. Agric. Washington D.C. pp 503.

ANONYMOUS, 1971. Sediment sources, yields and delivery ratios. In National Engineering Handbook. Section 3, Sedimentation. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service.

ANONYMOUS, 1986. Guidelines for watershed management. Conservation Guide 1. FAO. Rome.

ANONYMOUS, 1986. Guidelines for watershed management. Conservation Guide 1. FAO. Rome.

DOĞAN, O. 1987. Türkiye Yağışlarının Eroziv Potansiyelleri. Köy Hiz.Gn.Md. Yayınları. Ankara

HUDSON, N.W. 1981. Non technical constraints on soil conservation in T. Tingsanchali and H. Eggers (eds.). Southeast Asian regional symposium on problems of soil erosion and sedimentation, Asian Ins. of Tech. 15-26.

LAL, R. 1994. Soil Erosion Research Methods (ed.) . St Lucie Press. Delray Beach FL 33483 USA.

WISCHMEIER, W.H. and D.D. SMITH, 1978. Predicting rainfall erosion losses -a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.