

---

SERİ

B

CİLT

38

SAYI

2

1988

---

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
**ORMAN FAKÜLTESİ**  
D E R G İ S İ



# EVRENSEL TOPRAK KAYBI EŞİTLİĞİ VE BUNUN YÜZEY VE ÇİZGİ EROZYONUNA BAĞLI TOPRAK KAYIPLARININ HESAPLANMASINDA KULLANILMASI

Prof. Dr. Ertuğrul GÖRCELİOĞLU<sup>1)</sup>

## Kı s a Ö z e t

Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği -ETKE- (Universal Soil Loss Equation -US-LE-), belli alanlarda meydana gelebilecek toprak kaybının miktarını tahmin amacıyla A.B.D.'de 30 yılı aşkın bir süredir kullanılmakta, diğer ülkelerde de kullanılabilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir.

Bu eşitliğin lokal koşullara adapte edilebilmesi, güvenilir verilere, uzun ve titiz çalışmalara bağlı bulunmaktadır.

## 1. GİRİŞ

Wischmeier ve arkadaşları tarafından geliştirilen Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği, yüzey ve çizgi erozyonu nedeniyle meydana gelen ya da gelecek olan toprak kaybının hesap ve tahmininde günümüzde en sık kullanılan matematik modeldir. Özellikle A.B.D.'de bu eşitlik Toprak Koruma Servisi tarafından benimsenmiş bulunmakta, 1957 yılından bu yana tarım alanlarında, 1971 yılından bu yana inşaat alanlarında, 1972 yılından bu yana da otlak ve orman alanlarında kullanılmaktadır (ARNOLDUS, 1977).

Bu eşitlik büyük bir duyarlığa sahip olduğu gibi, evrensel olarak kullanılma olanakları da vermektedir. Bir yıl içinde beklenen şiddetli yağışların erozyon doğurma kapasitesinin tayini, evrensel eşitliğin belkemiğini oluşturmakta ve onun geniş alanlarda kullanılmasını mümkün kılmaktadır (AKALAN, 1974).

Ancak, bu eşitliğin kullanılmasında dikkat edilmesi gereken çok önemli bir husus vardır: Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği, deneme parsellerindeki erozyon ölçümlerinin istatistiksel analize tabi tutulması yoluyla A.B.D.'de geliştirilmiş olduğundan, korelasyonlar Kuzey Amerika'daki koşullar

1) İ.Ü. Orman Fakültesi Öğretim Üyesi

için çok iyidir. Bu eşitlik A.B.D. dışında uygulanmak istendiğinde ise, eşitlikte kullanılan bazı ilişkilerin farklı çevrelere her zaman uymaması nedeniyle, çok dikkatli davranılması zorunludur. Örneğin yağış (yağmur) faktörü (R) ile toprak kaybı arasında bazı ülke ve bölgelerde yüksek bir korelasyon bulunmayabilir. Bu bakımdan, söz konusu eşitliğin lokal koşullara adapte edilmesi, özellikle yağmur faktörünün (R) ve tarımsal üretim amenajmanı faktörünün (C) toprak kaybı ile korelasyon düzeylerinin (önemlilik derecelerinin) kontrolü gerekir. Aynı zamanda, Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği oldukça basit bir model olmasına rağmen, yağış, vejetasyon ve toprak koşulları bakımından oldukça güvenilir verilere ihtiyaç vardır. Özellikle yağış için, en azından birkaç yıllık günlük yağış ölçümleri gereklidir. Eğer bu veriler elde yoksa, Evrensel Toprak Kaybı Eşitliğini kullanmaya çalışmanın anlamı yoktur. Böyle yer ve durumlarda toprak kaybının hesaplanması amacıyla daha basit olan başka tekniklerin kullanılması uygun olur.

Elde yeterli ve güvenilir verilerin bulunması durumunda da bu eşitliğin kullanılmasında dikkatli davranmak zorunluluğu vardır. Çünkü eğim açısı 20°'nin (eğimi % 36.4'ün) üzerinde olan yerlerde ve uzunluğu 150 m'yi aşan yamaçlarda bu eşitliğin gerçek durumu ne ölçüde bağdaştığı konusunda henüz yeterli deneyim kazanılmış değildir (ARNOLDUS, 1977).

Bu eşitliğin Türkiye koşullarında kullanılabilmesi için gerekli araştırmalar yapılmış, ihtiyaç duyulan veriler elde edilmiştir (GÜÇER, 1972; DOĞAN/GÜÇER, 1976). Ormancılık (Havza Amenajmanı) çalışmalarında bu eşitlikten yararlanma uygulaması da yapılmıştır (HIZAL, 1984).

Bu yazı, yurdumuzda da kullanılmakta olan Evrensel Toprak Kaybı Eşitliğinin tanıtılması ve kullanılış biçiminin örneklerle açıklanması amacıyla kaleme alınmış, tanıtım ve örnekler Arnoldus (1977)'den aktarılmıştır.

## 2. EŞİTLİĞİN VE FAKTÖRLERİN TANITIMI

### 2.1 Temel Eşitlik

Temel eşitlik,

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

şekindedir. Bu eşitlikte;

- A = birim alandan toprak kaybı; diğer faktörlerin çarpılmasıyla elde edilmektedir.
- R = yağmur faktörü; esas alınan süre içerisindeki erozyon indeksi (EI) birimlerinin sayısıdır. Erozyon indeksi, belli bir yağmurun erozif gücünün bir ölçüsüdür.
- K = toprak erodibilitesi faktörü; % 9 eğimli ve 22,1 m uzunluğundaki bir yamaçta, sürekli nadaslı tarım yapılan belirli bir toprak için erozyon indeksi birimi başına erozyon şiddetidir.
- L = yamaç uzunluğu faktörü; tarım alanında eğim doğrultusu boyunca toprak kaybının aynı toprak tipi ve aynı eğimdeki 22,1 m uzunluğunda yamaçın toprak kaybına oranıdır.
- S = yamaç eğimi faktörü; tarım alanı eğimindeki toprak kaybının, aynı toprak tipi ve aynı yamaç uzunluğundaki % 9 eğimli bir yamaçın toprak kaybına oranıdır.
- C = bitkisel üretim amenajmanı faktörü; belirli bir bitkisel üretim ve amenajman uygulanan bir tarladaki toprak kaybının, nadasta olan ve K faktörü hesaplanabilen bir tarlanın toprak kaybına oranıdır.
- P = erozyon kontrol pratiği faktörü; eşyükselti tarımı, şerit tarımı ya da teraslama uygulanması durumundaki toprak kaybının, eğim doğrultusunda (yukarıdan aşağıya) düz çizgi halinde toprak işlemeyle tarım uygulaması halindeki toprak kaybına oranıdır.

## 2.2 Faktörlerin Elde Edilmesi

Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği, birimler bakımından pfs (pound-foot-second) sistemine göre geliştirilmiştir. Burada ise, bizde kullanılmayan bu sistem yerine birimler ve ilgili değerler metrik sisteme dönüştürülerek verilmiştir.

### 2.2.1 Yağış Faktörü: R

Yağış (yağmur) faktörü (R), Wischmeier'in erozyon indeksi (EI<sub>30</sub> indeksi)dir. Yani belli bir yağışın toplam kinetik enerjisi (E) ile bu yağışın 30 dakikalık maksimum şiddeti (I<sub>30</sub>) çarpımının 100'e bölünmesiyle elde edilir.

Toplam kinetik enerjinin hesaplanabilmesi için yağış, yaklaşık aynı yağış şiddetine sahip olan periyotlara ayrılır. Her bir periyot için kinetik enerji,

$$E = 210,2 + 89 \log I \quad (2)$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

E = kinetik enerji (yağışın cm'si başına Jül/m<sup>2</sup>)

I = esas alınan periyotta ortalama yağış şiddeti (cm/saat)

tır.

Kinetik enerjinin doğrudan doğruya okunabileceği tablolar da geliştirilmiştir. Bunların metrik sisteme göre olanı Tablo 1'de verilmiştir. Burada gözden kaçırılmaması gereken bir nokta şudur: (2) numaralı formül ve Tablo 1, sadece orografik olmayan yağmurlar için geçerlidir.

Bir yağışın toplam kinetik enerjisinin bulunması için, her bir periyot için hesaplanan kinetik enerji, o periyotta düşen yağmurun (cm) cinsinden miktarı ile çarpılır. Sonra her bir periyot için hesaplanan bu değerler toplanarak, yağışın tümü için toplam kinetik enerji elde edilir.

Yağış faktörünü (R değerini) elde etmek için, toplam kinetik enerji, 30 dakika süreli maksimum ortalama yağış şiddetinin (I<sub>30</sub> 'un) iki katı<sup>1)</sup> ile çarpılır ve 100'e bölünür. 30 dakika süreli maksimum ortalama yağış şiddeti, bir yağışölçer kaydından (pluviyografıtan) Şekil 1'deki gibi elde edilebilir.

Daha uzun bir periyot için yağış faktörü (R) değerine ulaşmak için, ayrı ayrı yağışların EI indislerinin toplanması gerekir. Ortalama yıllık R değerlerini hesaplamaya yeterli veri mevcut olduğu takdirde bir eş-aşımın (iso-erodent) haritası hazırlanabilir. Aynı zamanda yıl içerisinde aynı erozyon indislerine sahip alanlar için Erozyon İndeksi Dağılımı eğrileri de çizilebilir (Şekil 2). Bu dağılım eğrileri, tarım bitkilerinin yıl boyunca koruyucu etkisinin tam olarak değerlendirilebilmesi için gereklidir.

Ortalama yıllık EI<sub>30</sub> indeksi ile ortalama yıllık yağışın, 2 yıl tekerrür aralıklı 1 saat süreli yağış miktarının ve 2 yıl tekerrür aralıklı 24 saat süreli yağış miktarının çarpımı arasında iyi bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bu durum;

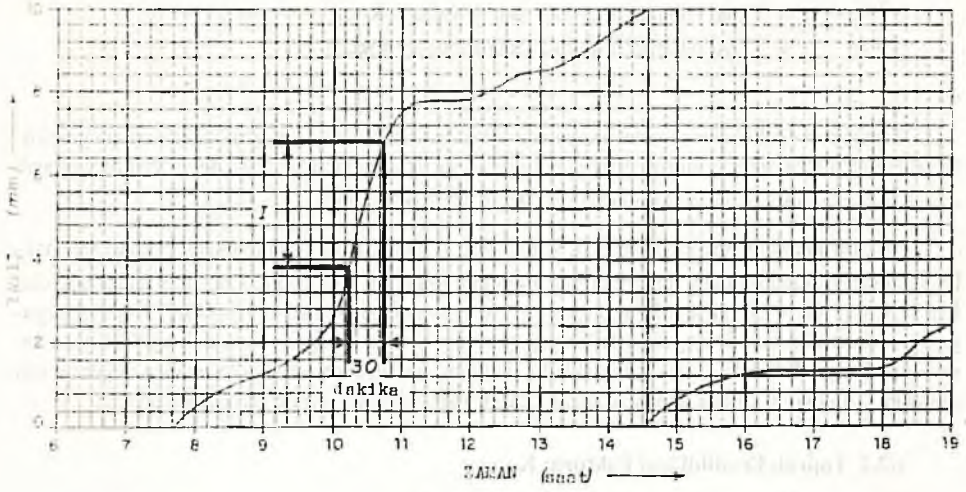
$$EI_{30} = f (P \times I_1^{2\text{yıl}} \times I_{24}^{2\text{yıl}}) \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada;

1) 30 dakika süreli yağış şiddeti 2 ile çarpılmak suretiyle saatteki yağış şiddetine dönüştürülmektedir.

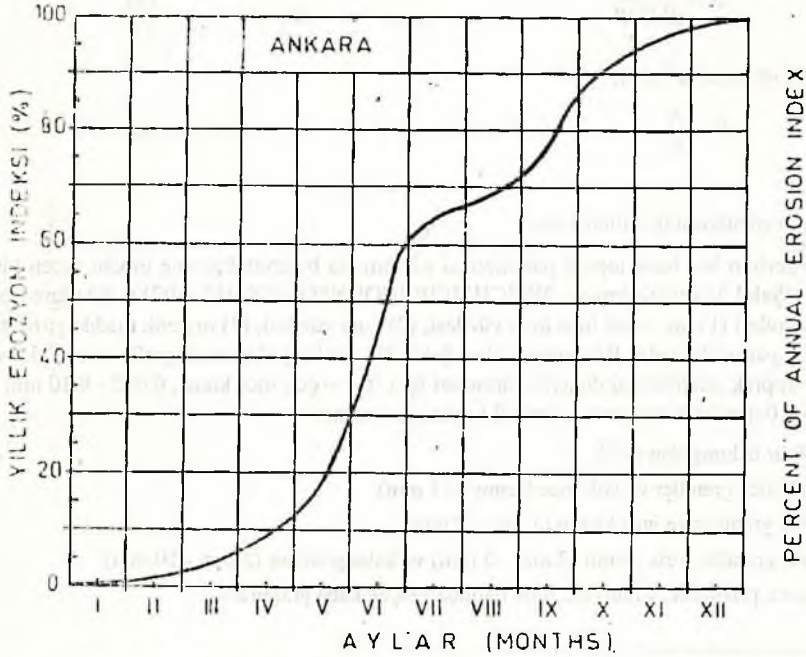
Tablo 1 - Orografik Olmayan Yağmurun Kinetik Enerjisi  
(Yağmurun cm'si başına Jül/m<sup>2</sup>)

Yağış şiddeti										
cm / saat	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.0	0.00	32.3	59.09	74.76	85.88	94.51	101.56	107.51	112.68	117.23
0.1	121.30	124.98	128.35	131.44	134.31	136.97	139.47	141.81	144.02	146.11
0.2	148.09	149.98	151.78	153.49	155.14	156.72	158.23	159.69	161.10	162.45
0.3	163.76	165.03	166.26	167.45	168.60	169.72	170.81	171.87	172.90	173.91
0.4	174.88	175.84	176.77	177.68	178.57	179.44	180.29	181.12	181.93	182.73
0.5	183.51	184.27	185.02	185.76	186.48	187.19	187.89	188.57	189.25	189.91
0.6	190.56	191.19	191.82	192.44	193.05	193.65	194.24	194.82	195.39	195.96
0.7	196.51	197.06	197.60	198.14	198.66	199.18	199.69	200.20	200.70	201.19
0.8	201.68	202.16	202.63	203.10	203.56	204.02	204.47	204.92	205.36	205.80
0.9	206.23	206.66	207.08	207.50	207.91	208.32	208.72	208.12	209.52	209.91
1.0	210.30	210.69	211.07	211.44	211.82	212.19	212.55	212.92	213.28	213.63
1.1	213.98	214.33	214.68	215.02	215.37	215.70	216.04	216.37	216.70	217.02
1.2	217.35	217.67	217.99	218.30	218.62	218.93	219.23	219.54	219.84	220.14
1.3	220.44	220.74	221.03	221.32	221.61	221.90	222.19	222.47	222.75	223.03
1.4	223.31	223.58	223.85	224.13	224.39	224.66	224.93	225.19	225.45	225.71
1.5	225.97	226.23	226.48	226.74	226.99	227.24	227.49	227.74	227.98	228.22
1.6	228.47	228.71	228.95	229.19	229.42	229.66	229.89	230.12	230.35	230.58
1.7	230.81	231.04	231.26	231.49	231.71	231.93	232.15	232.37	232.59	232.80
1.8	233.02	233.23	233.45	233.66	233.87	234.08	234.29	234.49	234.70	234.91
1.9	235.11	235.31	235.51	235.72	235.91	236.11	236.31	236.51	236.70	236.90
2.0	237.09	237.28	237.48	237.67	237.86	238.05	238.23	238.42	238.61	238.79
2.1	238.98	239.16	239.34	239.53	239.71	239.89	240.07	240.25	240.42	240.60
2.2	240.78	240.95	241.13	241.30	241.47	241.64	241.82	241.99	242.16	242.33
2.3	242.49	242.66	242.83	243.00	243.16	243.33	243.49	243.65	243.82	243.98
2.4	244.14	244.30	244.46	244.62	244.78	244.94	245.09	245.25	245.41	245.56
2.5	245.72	245.87	246.02	246.18	246.33	246.48	246.63	246.78	246.93	247.08
2.6	247.23	247.38	247.53	247.68	247.82	247.97	248.12	248.26	248.40	248.55
2.7	248.69	248.83	248.98	249.12	249.26	249.40	249.54	249.68	249.82	249.96
2.8	250.10	250.24	250.37	250.51	250.65	250.78	250.92	251.05	251.19	251.32
2.9	251.45	251.59	251.72	251.85	251.98	252.11	252.25	252.38	252.51	252.64
3.0	252.76	254.03	255.26	256.45	257.60	258.72	259.81	260.87	261.90	262.91
4.0	263.88	264.84	265.77	266.68	267.57	268.44	269.29	270.12	270.93	271.73
5.0	272.51	273.27	274.02	274.76	275.48	276.19	276.89	277.57	278.25	278.91
6.0	279.56	280.19	280.82	281.44	282.05	282.65	283.24	283.82	284.39	284.96
7.0	285.51	286.06	286.60	287.14	287.66	288.18	288.69	289.20	289.70	290.19
8.0	290.68	291.16	291.63	292.10	292.56	293.02	293.47	293.92	294.36	294.80
9.0	295.23	295.66	296.08	296.50	296.91	297.32	297.72	298.12	298.52	298.91
10.0	299.30	299.69	300.07	300.44	300.82	301.19	301.55	301.92	302.28	302.63
11.0	302.98	303.33	303.68	304.02	304.37	304.70	305.04	305.37	305.70	306.02
12.0	306.35	306.67	306.99	307.30	307.62	307.93	308.23	308.54	308.84	309.14
13.0	309.44	309.74	310.03	310.32	310.61	310.90	311.19	311.47	311.75	312.03
14.0	312.31	312.58	312.85	313.13	313.39	313.66	313.93	314.19	314.45	314.71
15.0	314.97	315.23	315.48	315.74	315.99	316.24	316.49	316.74	316.98	317.22
16.0	317.47	317.71	317.95	318.19	318.42	318.66	318.89	319.12	319.35	319.58
17.0	319.81	320.04	320.26	320.49	320.71	320.93	321.15	321.37	321.59	321.80
18.0	322.02	322.23	322.45	322.66	322.87	323.08	323.29	323.49	323.70	323.91
19.0	324.11	324.31	324.51	324.72	324.91	325.11	325.31	325.51	325.70	325.90
20.0	326.09	326.28	326.48	326.67	326.86	327.05	327.23	327.42	327.61	327.79
21.0	327.98	328.16	328.34	328.53	328.71	328.89	329.07	329.25	329.42	329.60
22.0	329.78	329.95	330.13	330.30	330.47	330.64	330.82	330.99	331.16	331.33
23.0	331.49	331.66	331.83	332.00	332.16	332.23	332.49	332.65	332.82	332.98
24.0	333.14	333.30	333.46	333.62	333.78	333.94	334.09	334.25	334.41	334.56



Şekil No: 1

Pluviyografın en dik eğimli 30 dakikalık periyodu belirlenir; yağış miktarı (I) düşey eksende okunur.  $I_{30}$  değeri, yarım saatteki yağış miktarının cm cinsinden ifadesidir.



Şekil No: 2

Ankara için erozyon indeksi dağılım eğrisi

(Güçer 1972'den).

P	=	yıllık yağış
$I_1^{2 \text{ yıl}}$	=	2 yıl tekerrür aralıklı 1 saatlik yağış miktarı
$I_{24}^{2 \text{ yıl}}$	=	2 yıl tekerrür aralıklı 24 saatlik yağış miktarı

dır.

Regresyon eşitliklerinin, incelemeye esas olan her bölge için ayrı ayrı hesaplanması gerekir. Bu ilişkiler, otomatik yağmurölçerlerin bulunmadığı istasyonlar için  $EI_{30}$  değerlerinin yaklaşık olarak elde edilmesi amacıyla kullanılabilir (WISCHMEIER, 1962).

Hudson'a (1971) göre  $EI_{30}$  indeksi, yıllık yağışın büyük bölümünün yüksek şiddetli sağanaklar şeklinde düştüğü bölgeler için yeterince uygun değildir. Bu gibi tropikal ve subtropikal bölgeler için Hudson,  $KE > 25$  indeksini önermektedir. Bu sistemde, şiddeti 25 mm/saat'in altında olan yağışlar dikkate alınmamakta, geriye kalan yağışlar için kinetik enerji (2) numaralı eşitliğe göre hesaplanmakta ya da Tablo 1'den okunmaktadır. Toplam kinetik enerji,  $KE > 25$  indeksi değerine eşit olmakta, dolayısıyla kinetik enerji 30 dakika süreli yağış şiddeti ( $I_{30}$ ) ile çarpılmamaktadır.

### 2.2.2 Toprak Erodibilitesi Faktörü: K

Toprak erodibilitesi faktörü (K)- deneme parsellerinde:

- Standart olmayan koşullar için;

$$K = \frac{A}{RLSCP} \quad (4)$$

-Standart koşullar<sup>1)</sup> için;

$$K = \frac{A}{R} \quad (5)$$

eşitliklerinin çözülmesi ile bulunabilir.

K değerinin beş basit toprak parametresi yardımıyla bulunabilmesine imkân veren bir nomograf da (Şekil 3) geliştirilmiştir (WISCHMEIER/JOHNSON/CROSS, 1971). Söz konusu toprak parametreleri (1) toz + çok ince kum yüzdesi, (2) kum yüzdesi, (3) organik madde yüzdesi, (4) strüktür, (5) permeabilitedir. Bu parametreler, Şekil 3'te verilmiş olan nomografda bu sırayla yer almaktadır. Toprak erodibilitesi değerlendirmeleri için "toz + çok ince kum", 0.002 - 0.10 mm (toz) ve 0.120 - 2.0 mm (çok ince kum) partikül boyutu esas alınır.

Strüktür bakımından ise<sup>2)</sup>;

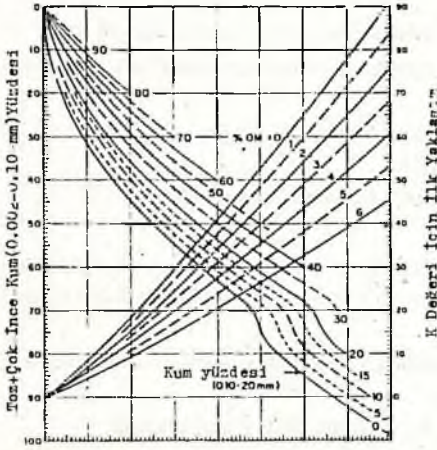
- 1- çok ince granüler ve çok ince kırıntı (< 1 mm)
- 2- ince granüler ve ince kırıntı (1 mm - 2 mm)
- 3- orta granüler, orta kırıntı (2 mm - 5 mm) ve kaba granüler (5 mm - 10 mm)
- 4- yassı, prizmatik, sütunvari, blok halinde ve çok kaba granüler

dır.

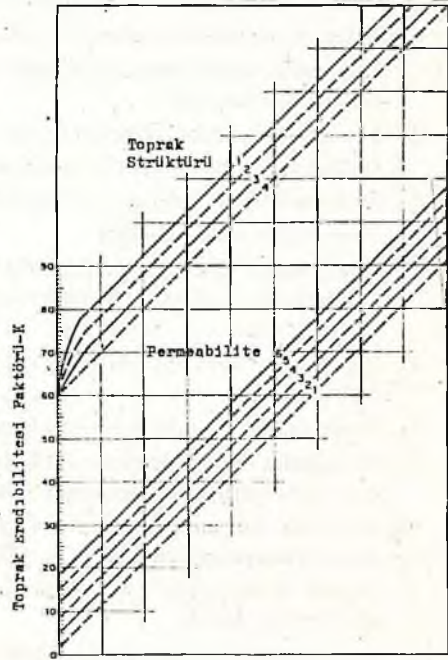
1) Standart koşullar şöyledir: yamaç eğiimi = % 9; yamaç uzunluğu = 22.1 m; sürekli nadaslı kühivasyon, yamaç eğimi doğrultusunda toprak işleme. Standart koşullar altında  $L=S=C=P=1$ 'dir.

2) Burada verilen sınıflandırma, Wischmeier ve arkadaşları (1971) tarafından verileden biraz farklıdır ve USDA Soil Survey Manual (1951)'den alınmıştır.

Toz + çok ince kum yüzdesi, organik madde yüzdesi ve strüktür için değerler, toprak profilinin üstteki 15-20 cm'si için ortalama değerlerdir. Permeabilite değeri ise profilin tümüne aittir.



TOPRAK ERODİBİLİTESİ NOMOGRAFI  
(Metrik Sistem)



Şekil No: 3

Toprak erodibilitesi nomogramı (abağı).

Permeabilite için şu sınıflandırma kullanılır<sup>1)</sup>:

- 1- hızlıdan çok hızlıya
- 2- orta derecede hızlı
- 3- orta derecede
- 4- orta derecede yavaş
- 5- yavaş
- 6- çok yavaş.

Genel permeabilite sınıflandırması rehberleri USDA Soil Survey Manual'da verilmiştir, fakat Wischmeier ve arkadaşlarına göre genel olarak bu sınıflandırmanın laboratuvarında yapılması gerekmez. Bu araştırmacılara göre, yukarıdaki 4, 5 ve 6'ncı permeabilite sınıfları için kabaca şu kurallar uygulanabilir:

- gevrek sert tabakalı (fragipan) topraklar 6.;
- masif kil ya da tozlu kil üzerindeki daha geçirgen yüzey toprakları 5.;

1) Burada verilen sınıflandırma, Wischmeier ve arkadaşları (1971) tarafından verileden biraz farklıdır ve USDA Soil Survey Manual (1951)'den alınmıştır.



- zayıf bir subangular ya da angular bloklu strüktüre sahip bir tozlu kil balçığı üzerinde yer alan orta derecede geçirgen yüzey toprakları 4.;
- alt toprak strüktür derecesi ortadan kuvvetliye, ya da tekstür tozlu kil balçığından daha kaba olduğu takdirde, permeabilite sınıfı 3'tür.

Şekil 3'teki nomograftan yararlanılarak K faktörünün elde edilmesinde izlenen yol şudur:

- 1) Nomografa, soldaki düşey ölçek üzerinde uygun toz + çok ince kum (0.002 mm - 0.10 mm) yüzdesi ile girilir.
- 2) Bu nokta, kum yüzdesi eğrisi (0.10 mm - 2.0 mm) üzerindeki doğru yüzde değeri (en yakın yüzdeye yuvarlanmış değer) ile birleştirilir.
- 3) Bu noktadan, düşey olarak doğru organik madde içeriğine ilerlenir.
- 4) Yatay doğrultuda sağa gidilir.
- 5) **İnce granüler ya da ince kırıntı strüktürlü ve orta derecede geçirgen topraklar için** K değeri, nomografin sağ bölümünün sağ kenarı üzerindeki K ölçeğinden doğrudan doğruya okunabilir.
- 6) **Diğer bütün topraklar için**, yatay doğrultuda devam edilerek doğru strüktür eğrisi kestirilir.
- 7) Buradan düşey doğrultuda devam edilerek doğru permeabilite eğrisi kestirilir.
- 8) Nomografin ikinci bölümünün sol kenarı üzerindeki toprak erodibilitesi ölçeğine yatay doğrultuda ilerlenerek K'nın değeri buradan okunur.

Bu nomografin kullanılmasından A.B.D.'de kazanılan deneyimlere dayanılarak, aşağıdaki öneri ve tavsiyeler ortaya konulmuştur (SCS, 1973):

- 1) Organik madde içeriği % 4'ten fazla olan topraklar için ekstrapolasyon yapılmamalı, % 4 eğrisi kullanılmalıdır.
- 2) Nomograftan elde edilen K değerleri 0.03 ile 1.10 arasında değişmektedir. Pratik amaçlar için şu K değeri sınıflarını kullanmak yeterlidir: 0.13; 0.19; 0.22; 0.26; 0.31; 0.41; 0.48; 0.56; 0.63, 0.71; 0.83.
- 3) İri parçaların mevcut olması halinde, K değerlerinin buna uydurulması gerekir. İri parçalar bakımından zengin (çakıllı, taşlı) topraklar için K değerleri, bir ya da iki sınıf geriye çekilir (azalır). İri parçalar bakımından çok zengin olan topraklar için ise K değerinde iki veya üç sınıf azaltma yapılır.

### 2.2.3 Yamaç Uzunluğu Faktörü (L) ve Yamaç Eğimi Faktörü (S)

Yamaç uzunluğu, "yüzeysel akışın başlangıç noktasından, eğimin akışı durduracak ve birikmeyi başlatacak kadar azaldığı noktaya, ya da yüzeysel akışın belirli bir kanala (bir dere yatağına ya da bir sapırma terasına) girdiği noktaya kadar olan mesafe" şeklinde tanımlanmaktadır.

Yamaç uzunluğu faktörü (L);

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.1} \right)^m \quad (6)$$

şeklinde hesaplanır. Burada:

$\lambda$  = arazideki yamaç uzunluğu (m);

m = yamaç uzunluğu, eğim, toprak özellikleri, vejetasyon tipi vb tarafından etkilenen bir değerdir.

Bu üstel (m) değeri, (eğimi % 0.5'ten az olan çok uzun yamaçlar için) 0.3'ten, (eğimi % 10'dan fazla olan yamaçlar için) 0.6'ya kadar değişmektedir. Çoğu durumlarda kullanılabilecek ortalama (m) değeri 0.5'tir ve bu değer, yamaç etkisini belirlemede kullanılan Şekil 5'teki grafiğin hazırlanmasında da kullanılmıştır. Yamaç etkisi grafiği, yamaç uzunluğu ile yamaç eğiminin kombinasyonunu ifade eden bir değer bulunmasına (okunmasına) imkân verir. Şekil 4 ise, yukarıdaki (m) üstel değerinin 0.5'ten farklı olduğu (ortalama değer dışında değerlerin kullanılmasının daha uygun olduğu) yer ve durumlarda Şekil 5'teki grafiğin kullanılmasını sağlar. Bu grafikten (m) üstel değeri 0.3, 0.4 ve 0.5 olan yamaç uzunluklarının m = 0.5 için tekabül ettiği yamaç uzunlukları bulunur ve buna göre Şekil 5 kullanılır.

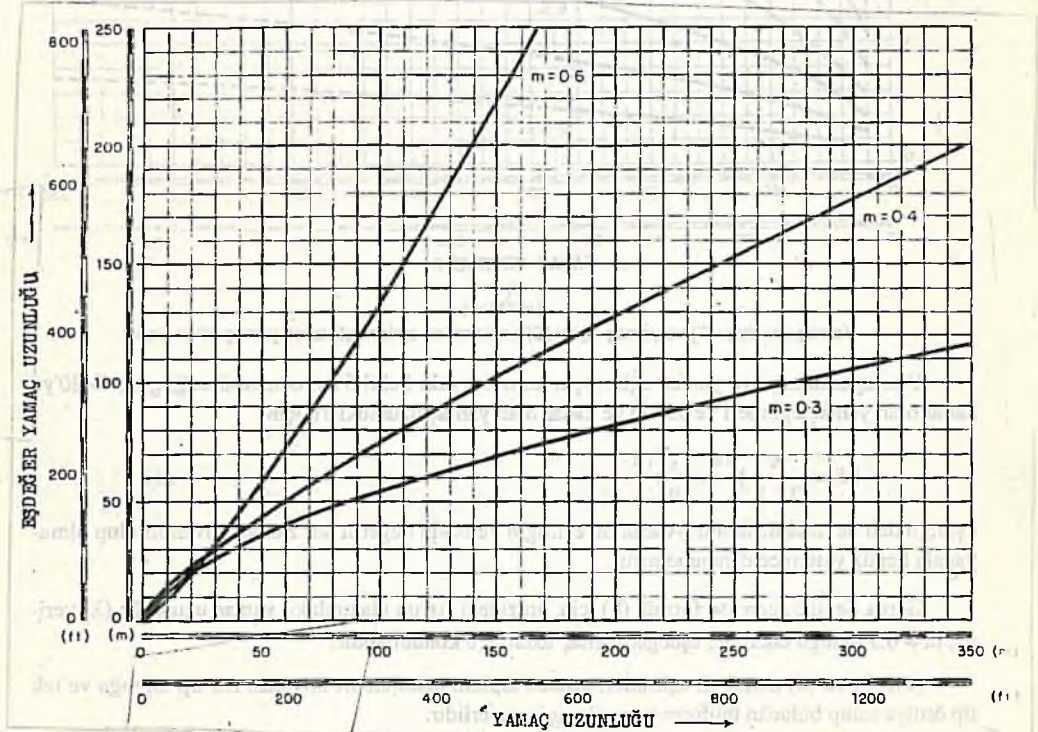
Yamaç eğimi faktörü (S);

$$S = \frac{0.43 + 0.30 s + 0.043 s^2}{6.613} \quad (7)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada;

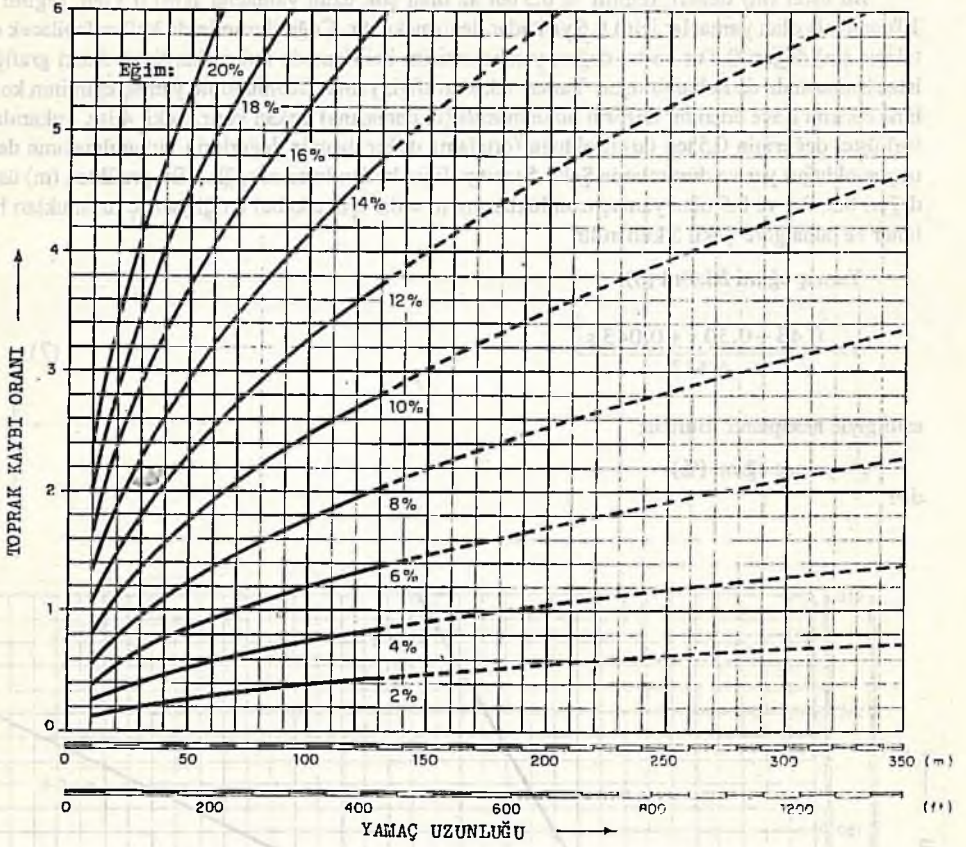
s = yamaç eğimi (%)

dir.



Şekil No: 4

İlgili yamaç uzunluğu üssü değerinin m = 0.5 olduğu durumlarda yamaç etkisi grafiğinin (Şekil 5) kullanılabileceği için eşdeğer yamaç uzunlukları. (Metinde λ = yamaç uzunluğu, yani arazideki gerçek uzunluk olduğu gözden kaçırılmamalıdır.)



Şekil No: 5

Yamaç uzunluğu ( $\lambda$ ) ve yamaç eğimi ( $S$ )'nin kombine etkisini gösteren yamaç etkisi grafiği.

Yamaç uzunluğu ve yamaç eğimi için kombine etki Şekil 5'ten okunabileceği gibi, % 20'ye kadar olan yamaç eğimleri ve 350 m'ye kadar olan yamaç uzunlukları için;

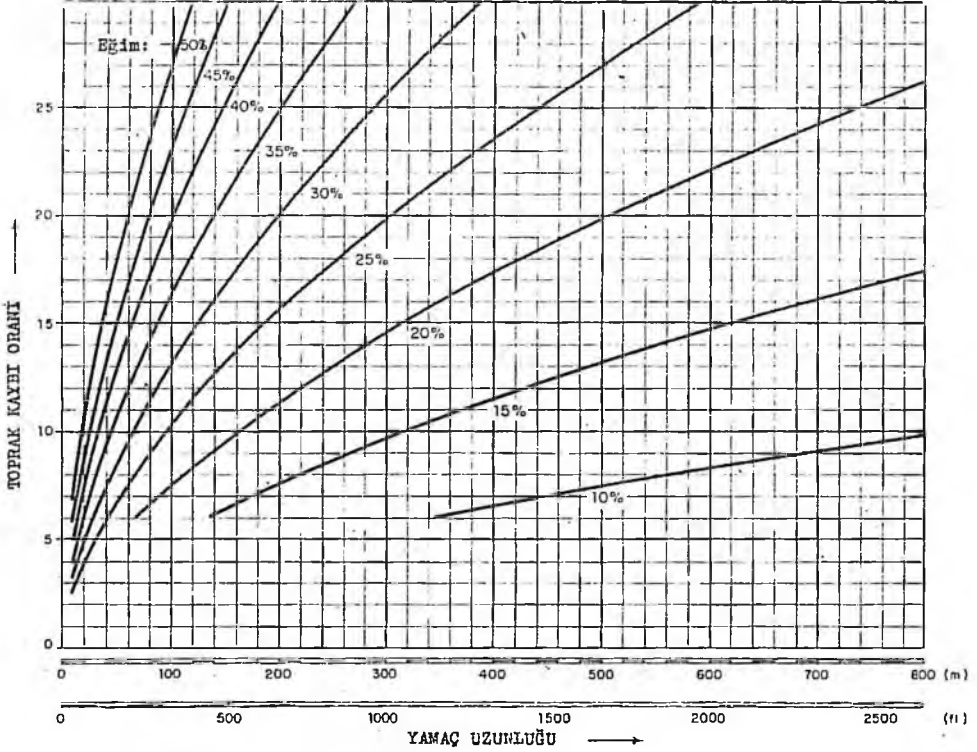
$$LS = \left( \frac{\lambda}{22.1} \right)^{0.6} \times \left( \frac{S}{9} \right)^{1.4} \quad (8)$$

eşitliğinden de hesaplanabilir. Ancak bu eşitliğin vereceği değer her zaman güvenilir olup olmayacağı henüz yeterince denenmemiştir.

Gerek Şekil 5, gerekse formül (8) için, arazideki (tarım alanındaki) yamaç uzunluğu ( $\lambda$ ) yerine,  $m \neq 0.5$  olduğu takdirde, eşdeğer yamaç uzunluğu konulmalıdır.

(6), (7) ve (8) numaralı eşitlikler, sadece toplam uzunlukları boyunca tek tip toprağa ve tek tip örtüye sahip bulunan üniform yamaçlar için geçerlidir.

Yamaç eğiminde, yamaç formunda (konveks, düz, konkav), toprak tipinde ya da toprak örtüsünde önemli değişiklikler söz konusu ise, bu takdirde düzeltmeler yapılması zorunluluğu vardır (WISCHMEIER, 1974).



Şekil No: 6

Şekil 5'tekini aşan yamaç uzunlukları ( $\lambda$ ) ve yamaç eğimleri için yamaç etkisi grafiği (Ekstrapolasyon nedeniyle, sadece kaba hesaplar için kullanılır).

Durumun karmaşıklığına göre, toplam yamaç (yamacın tümü) için uygun ortalama değerlerin elde edilmesinde iki yol izlenebilir. Yapılacak işlerin bir örneği aşağıda verilmiş, bu örnekte sadece yamaç eğimindeki değişiklik dikkate alınmıştır. Bununla birlikte, aynı işlemler yapılarak toprak tipindeki ya da toprak örtüsündeki değişikliklerin de değerlendirilmesi mümkündür.

### Düzeltilme İşlemleri

İki basitleştirici varsayımda bulunulduğu takdirde, bu düzeltme işlemleri oldukça kolaylaşır. Bu varsayımlar; (1) eğim değişikliğinin, yamaç üzerinde birlemeye yol açmayacak ölçüde olduğu, (2) eğim bakımından düzensiz olan yamacın, eşit uzunluklarda birkaç parçaya ayrılabilceğidir.

Bu iki varsayım uygun bulunduktan sonra, düzeltme (ayarlama) işlemi şöyle yapılır (WISCHMEIER, 1974).

- 1) Yamaç, eşit uzunlukta ve gerekli sayıda parçalara bölünür ve her bir parça için (7) numaralı eşitliğe göre yamaç eğimi faktörünün değeri (S) hesaplanır.
- 2) Elde edilen S değeri, (6) numaralı eşitliğe göre ve toplam yamaç uzunluğu kullanılarak bulunan yamaç uzunluğu faktörünün değeri (L) ile çarpılır.

- 3) Elde edilen LS değerlerinin her biri, bir düzeltme faktörü (a) ile çarpılır. Bu (a) düzeltme faktörü, yamaç uzunluğu üstel değeri  $m = 0.5$  olan yamaçlar için Tablo 2'den alınır.  $m \neq 0.5$  olan yamaçlar için ise:

$$a = \left[ j^{(m+1)} - (j-1)^{m+1} \right] / n^m \quad (9)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Burada;

a = düzeltme faktörü

j = parçanın sıra numarası (yukarıdan aşağıya doğru)

m = yamaç uzunluğu üstü (eksponent)

n = eşit uzunlukta parçaların toplam sayısı

dir.

- 4) Düzeltilmiş LS değerlerinin ortalaması alınarak, yamacın tümü için efektif LS değeri elde edilir.

Tablo 2 - Yamaç Uzunluğu Üst Değerinin ( $m=0.5$ ) Olduğu Durumlarda Bir Yamacın Birbirini İzleyen Parçaları İçin Grafikten Bulunan LS Değerlerinin Düzeltilmesi Amacıyla Kullanılacak Düzeltme Faktörü (a) (WISCHMEIER, 1974).

Parça No. (Yukarıdan Aşağıya)	Eşit Uzunlukta Parçaların 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

Eğer yamacı eşit uzunluklarda parçalara ayırmak mümkün değilse, aşağıdaki gibi farklı bir prosedür uygulanır:

- 1) Önce (u) teriminin değeri belirlenir. Yamaç uzunluğu üstel değeri  $m = 0.5$  olan yamaçlar için (u)'nun değeri, Forster ve Wischmeier (1974) tarafından geliştirilen ve Şekil 7'de verilen nomograftan okunabilir. Yamaç uzunluğu üstü  $m \neq 0.5$  olan yamaçlar için ise (u)'nun değeri;

$$u = S \lambda^{(m+1)} / 22.1^m \quad (10)$$

eşitliğine göre hesaplanabilir. Burada;

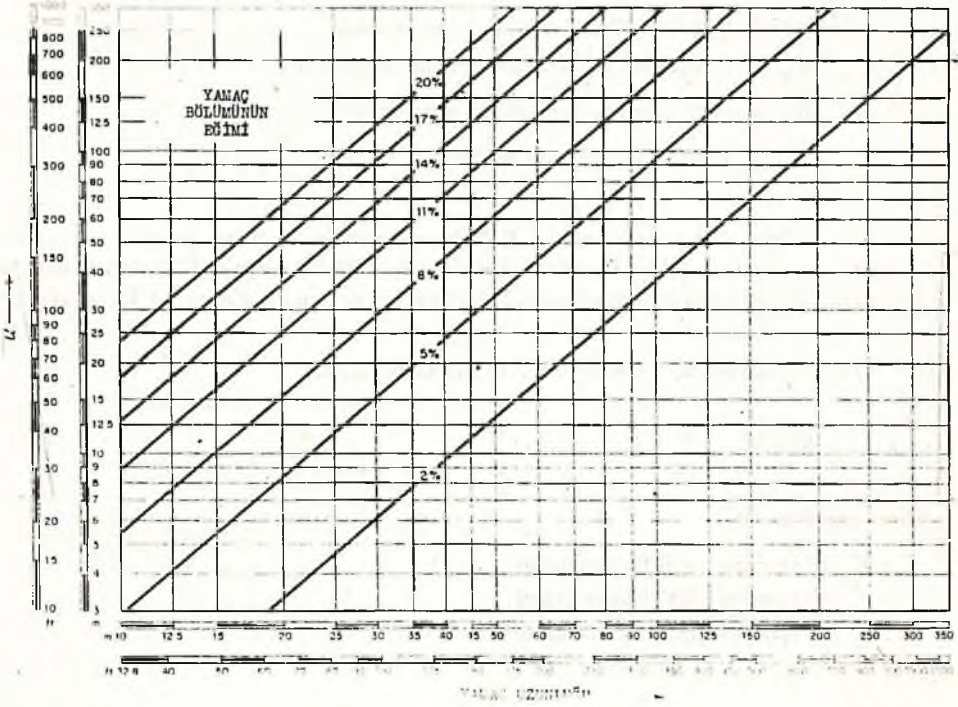
u = (11) numaralı eşitlikle belirlenen terim

S = yamaç eğimi faktörü değeri (7 numaralı eşitliğe göre hesaplanan değer)

$\lambda$  = yamaç uzunluğu (metre)

m = yamaç uzunluğu üstü (eksponent)

dir.



Şekil No: 7

$u = S^{1.5} / 22.10^5$  değerinin bulunmasına yarayan grafik (S = eğim faktörü,  $\lambda$  = yamaç yukarısından parçanın -bölümün- aşağı ucuna kadar olan mesafedir).

(1) numaralı nomograf kullanılarak:

a) nomografa yatay eksende  $\lambda_{(j-1)}$  değeri ile girilir<sup>1)</sup>;

b) yukarıya doğru j parçasının eğim yüzdesi için eğriye ulaşılır;

c) düşey ölçek üzerinde  $u_{1j}$ 'nin değeri okunur;

d) nomografa yatay eksende  $\lambda_j$ 'nin değeri ile girilerek, buna tekabül eden  $u_{2j}$ 'nin değeri elde edilir.

2) Efektif LS değeri;

$$LS = \left[ \sum_{j=1}^n (u_{2j} - u_{1j}) \right] / \lambda_e \quad (11)$$

eşitliğine göre hesaplanır. Burada;

1)  $\lambda_{j-1}$ , (j-1) parçasının en üst noktasından en alt noktasına kadar olan mesafedir; dolayısıyla  $\lambda_{(j-1)}$ ,  $\lambda_e$ 'ye eşit olur.

- $j$  = parçanın (yukarıdan aşağıya doğru) sıra numarası  
 $n$  = parçaların toplam sayısı  
 $u_{1j}$  =  $j$  parçasının yukarı limiti için  $u$ 'nun değeri ( $m$ )  
 $u_{2j}$  =  $j$  parçasının aşağı limiti için  $u$ 'nun değeri ( $m$ )  
 $\lambda_c$  = yamacın toplam uzunluğu ( $m$ )

dur.

Toprak tipi ve/veya toprak örtüsü değişiklikler gösteriyorsa ve birinci prosedür izlenmişse, 3. aşamanın tamamlanmasından sonra elde edilen değerler, her bir parçaya ait  $K$  ve/veya  $C$  ve/veya  $P$  faktörü ile çarpılır, sonra da düzeltilmiş değerler ortalanarak yamacın tümüne ait değer elde edilir.

İkinci prosedürün izlenmesi halinde, (11) numaralı eşitlik:

$$KLSCP = \left[ \sum_{j=1}^n K_j C_j P_j (u_{2j} - u_{1j}) \right] / \lambda_c \quad (12)$$

şekline girer. Burada;

- $K_j$  =  $j$  parçası için  $K$  faktörü değeri  
 $C_j$  =  $j$  parçası için  $C$  faktörü değeri  
 $P_j$  =  $j$  parçası için  $P$  faktörü değeri

dir.

#### 2.2.4 Bitkisel Üretim Amenajmanı Faktörü: C

Bu faktör, vejetasyonun, bitkisel artıkların, toprak yüzeyinin ve amenajmanın toprak kaybı üzerindeki toplam etkisini ifade eder. Bu faktörün değeri çoğu durumlarda yıl boyunca sabit kalmaz. Eşitlikte (Evrensel Toprak Kaybı Eşitliğinde) bağımsız bir değişken olarak yer almasına rağmen bu faktörün "gerçek" değeri belki de diğer bütün faktörlere bağlı bulunmaktadır. Bu nedenle,  $C$  faktörünün değerinin birçok yer ve durumda deneylerle belirlenmesine ihtiyaç vardır.

Tarım ürünleri için  $C$  değerleri, aşağıdaki aşamaların her biri için ve rotasyona dahil bütün ürünler için belirlenmek zorundadır:

Peryot F: kaba nadas (toprağın sürülmesinden ekime kadar)

Peryot 1: ekim (tohum yatağının hazırlanmasından ekim-dikimin 1 ay sonrasına kadar)

Peryot 2: tesis (gelişme) (ilkbahar ya da yaz ekiminden 1-2 ay sonrasına kadar; sonbahar-da ekilen tahıl için bu periyot kış aylarını da kapsar);

Peryot 3: ürünlerin büyüme ve olgunlaşması (Peryot 2'nin bitiminden ürün hasadına kadar);

Peryot 4: hasat artığı veya arız.

**Burada dikkat edilmesi gereken husus şudur:** Rotasyon içerisindeki bir  $F$  periyodu için bulunan değer, o rotasyon içerisindeki diğer nadas periyotlarından herhangi birine ekstrapole edilemez; çünkü bu değer toprağın işlenip ürüne tahsisine ilişkin tarihten, toprağın işlenip devrilmesiyle ters çevrilen hasat artığının tabiatı ile miktarından ve diğer faktörlerden etkilenir.

Bir ürün rotasyonu için uygun bir değere ulaşmak üzere toprak kaybı oranı (yani belirli bir ürün ve amenajman altında tarladan meydana gelen toprak kaybının, çıplak topraktan meydana gelen toprak kaybına oranı)nın, her bir periyot için erozyon indeksinin dağılımına göre düzeltilmesi gerekir; çünkü yağmur olmadığı zaman tarla koşulları önemsiz, fakat yağmur çok olduğu zaman fevkalade önemlidir. Bu nedenle, her bir periyot için toprak kaybı oranı, o periyoda uygulanabilecek  $EI_{30}$  indeksi yüzdesi ile çarpılır.  $EI_{30}$  indeksinin bu yüzdesi, bir erozyon indeksi dağılımı eğrisinden (Şekil 2) kolayca okunabilir. A.B.D.'nin, Kayalık Dağların doğusundaki bölgesi için tablolar geliştirilmiş bulunmaktadır ve bunlardan, yaygın biçimde uygulanan rotasyonların çeşitli periyotları için toprak kaybı oranları okunabilmektedir. Uygun erozyon indeksi dağılımı eğrisi ile kombine edilerek, belli bir rotasyonun herhangi bir parçası için C değeri de bulunabilir.

Dünyanın, tarım ürünleri için C değerlerinin saptanmasına yeterli veri bulunmayan bölgelerinde bu amaçla izlenebilecek en kolay yol, toprak kaybı oranı ile birim alan başına kuru organik madde miktarının, ya da zeminin örtülme (toprak örtüsü) yüzdesinin bağlantıya getirilmesi ve aralarındaki korelasyonun denenmesidir.

Sürekli çayırlar, otlak alanları, boş araziler ya da ağaçlık alanlar için ortalama yıllık C değerlerini veren tablolardan (Tablo 3 ve Tablo 4) yararlanılabilir.

Ancak, A.B.D. dışında uygulanmak istendiğinde Tablo 3 ve Tablo 4'teki bu değerlerin de lokal koşullara uydurulması ve lokal olarak test edilmesi gerekir.

### 2.2.5 Erozyon Kontrol Pratiği Faktörü: P

Erozyon kontrol önlemlerinin etkisi bağımsız bir değişken olarak düşünüldüğü için, ürün yetiştirme amenajmanı faktörü içerisine sokulmamıştır. Erozyon kontrol pratikleri için toprak kaybı oranları, yamaç eğimine göre değişir. Eşyükselti tarımı, şerit tarımı ve teras uygulaması için toprak kaybı oranları Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'te teraslama için iki değer vardır; (a)'daki değer tarladan (araziden) meydana gelen toprak kaybını, (b)'deki değer sediment verimi üzerindeki etkiyi ifade eder ve bu ikisi arasındaki fark, tarladan kaybolan, fakat teras kanalında alıkonan (tuzaklanan) sediment miktarı olmaktadır.

## 3. EVRENSEL TOPRAK KAYBI EŞİTLİĞİNİN ÇEŞİTLİ AMAÇLARLA KULLANILIŞI

### 3.1 Tarım Alanından Yıllık ya da Rotasyon Süresince Toprak Kaybının Tahmin Edilmesi

Toprak kaybının tahmini için yıllık (ya da rotasyonel)  $EI_{30}$  değeri, K değeri, LS değeri, yıllık (ya da rotasyonel) C değeri ve P değeri elde edilir. Bu değerler (1) numaralı eşitlikte yerlerini konularak eşitlik çözülür.

### 3.2 Tarım Alanından X-Yıllık Dönüş Periyodu İle Toprak Kaybının Tahmin Edilmesi

İzlenecek yol esas itibarıyla ortalama yıllık toprak kaybının tahminindeki ile aynıdır. Yalnız, burada yıllık  $EI_{30}$  değeri yerine, X-yıllık bir dönüş periyodu için  $EI_{30}$  değerinin hesaplanması gerekir.



Tablo: 3<sup>1)</sup>-  
Daimi Çayır, Otlak ve Boş Araziler İçin "C" Değerleri<sup>a)</sup>

Yüksek Bitkisel Örtü		Toprakla Temasta Olan Bitkisel Örtü							
Yüksek Bitkisel Örtünün Tipi ve Yüksekliği <sup>b)</sup>	Yüksek Örtü <sup>c)</sup> (%)	Tip <sup>d)</sup>	Zemin Örtüsü Yüzdesi						
			0	20	40	60	80	95-100	
Sütun No.:	2	3	4	5	6	7	8	9	
Önemli bir yüksek örtü yok		G	.45	.20	.10	.042	.013	.003	
		W	.45	.24	.15	.090	.043	.011	
Boylu otlar veya kısa çalılar (düşüş yüksekliği 0.5 m)	25	G	.36	.17	.09	.038	.012	.003	
		W	.36	.20	.13	.082	.041	.011	
	50	G	.26	.13	.07	.035	.012	.003	
		W	.26	.16	.11	.075	.039	.011	
	75	G	.17	.10	.06	.031	.011	.003	
		W	.17	.12	.09	.067	.038	.011	
Önemli miktarda çalı ve ağaççıklar (düşüş yüksekliği 2 m)	25	G	.40	.18	.09	.040	.013	.003	
		W	.40	.22	.14	.085	.042	.011	
	50	G	.34	.16	.085	.038	.012	.003	
		W	.34	.19	.13	.081	.041	.011	
	75	G	.28	.14	.08	.036	.012	.003	
		W	.28	.17	.12	.077	.040	.011	
Ağaçlar var, fakat alçak çalılar yok (düşüş yüksekliği 4 m)	25	G	.42	.19	.10	.041	.013	.003	
		W	.42	.23	.14	.087	.042	.011	
	50	G	.39	.18	.09	.040	.013	.003	
		W	.39	.21	.14	.085	.042	.011	
	75	G	.36	.17	.09	.039	.012	.003	
		W	.36	.20	.13	.083	.041	.011	

- a) Verilen bütün değerler, (1) malç ya da vejetasyonun tesadüfi dağılıma uyduğu, (2) mevcut olduğu yerde malç derinliğinin önemli (yeterli) olduğu varsayımına göreler.  
b) Yağmur damlalarının tepe çatısından toprak yüzeyine ortalama düşüş yüksekliği (metre).  
c) Bir düşey izdüşümde (kuş bakışı görünüşte) tepe çatısı tarafından gözden saklanan toplam alan yüzeyinin oranı.  
d) G: Yüzeydeki örtü çayır, çayıra benzer otsu bitkiler, çürümekte olan sıkışmış ölü örtü, ya da en az 5 cm kalınlıkta ayrışmamış ölü örtüdür. W: Yüzeydeki örtü çoğunlukla geniş yapraklı otsu bitkilerdir; bunların toprak yüzeyi yakınında lateral kök ağı zayıf ve/veya ayrışmamış artıkları azdır.

### 3.3 Tarım Alanından Bir Tek Sağanak Yağışa Bağlı Toprak Kaybının Tahmin Edilmesi

Evrensel Toprak Kaybı Eşitliğinde kullanılan ilişkilerin istatistiksel ortalamaları temsil etmeleri nedeniyle, münferit (tek tek) sağanak yağışlar sonucunda meydana gelecek toprak kayıpla-

1) SCS (1972)'den alınmıştır.

Tablo: 4  
Ağaçlık Alanlar İçin "C" Faktörleri<sup>1)</sup>

Meşcerenin Durumu	Ağaç Örtüsü <sup>a)</sup> (Alanın %'si)	Orman Ölü Örtüsü <sup>b)</sup> (Alanın %'si)	Alt Tabaka <sup>c)</sup>	"C" Faktörü
Sık	100 - 75	100 - 90	Kontrollü <sup>d)</sup>	.001
			Kontrolsüz <sup>d)</sup>	.003 - .011
Orta Sıklakta	70 - 40	85 - 75	Kontrollü	.002 - .004
			Kontrolsüz	.01 - .04
Seyrek	35 - 20	70 - 40	Kontrollü	.003 - .009
			Kontrolsüz	.02 - .09 <sup>e)</sup>

- a) Ağaç örtüsü (tepe çatısının izdüşümü)nün oranı % 20'den az ise, bu alan, toprak kaybı hesabında, çayır ya da tarım alanı olarak düşünülecektir (Tablo 3'e bakınız).
- b) Orman ölü örtüsünün kapladığı alandaki kalınlığın en az 5 cm olduğu kabul edilmiştir.
- c) Alt tabaka, orman ölü örtüsü tarafından korunmamış olan toprak yüzeyindeki çalılar, yabancı otlar, çayır otları, sarmaşık ve benzerleridir. Genellikle ağaçların tepe çatılarının örtmediği açıklıklarda bulunur.
- d) Kontrollü - Otlama ve yangın kontrol altında.  
Kontrolsüz - Aşırı otlama var ve sık sık yangına maruz.
- e) Ölü örtü ile kaplı alan yüzdesi % 40'tan az olan kontrolsüz ağaçlık araziler için, C değerleri Tablo 3'ten alınmalıdır.

Tablo: 5  
Eşyükselti Tarımı, Eşyükseltili Şerit Tarımı ve Teraslama İçin "P" Faktörleri<sup>2)</sup>

Arazi Eğimi %	"P" Değerleri			
	Eşyükselti Tarımı	Eşyükseltili Şerit Tarımı	Teraslama	
			a)	b)
2 - 7	0.50	0.25	0.50	0.10
8 - 12	0.60	0.30	0.60	0.12
13 - 18	0.80	0.40	0.80	0.16
19 - 24	0.90	0.45	0.90	0.18

- a) Tarım alanında erozyon kontrolü planlaması için.
- b) Tarım alanı dışındaki sediment yüküne katkının belirlenmesi için.

rına ilişkin tahminlerin doğruluk derecesi daha düşük olur. Bununla birlikte, tek sağanak yağışın El<sub>30</sub> değeri bilindiği ve bu yağış sırasındaki aktüel tarla koşulları için C değeri doğru olarak elde edilebildiği takdirde, değer taşıyan bir tahmine ulaşmak mümkün olabilir.

### 3.4 Eşitliği Toprak Koruma Planlamasına Yardımcı Olarak Kullanılması

Toprak koruma planlamasının yapılabilmesi için toprak kaybı toleransı (T)'nin, yani tole-

1) SCS (1972)'den alınmıştır.  
2) SCS (1972)'den alınmıştır.

ransla karşılanabilecek (caiz görülebilecek) maksimum toprak kaybının belirlenmesi gerekir. Bu amaçla A.B.D.'de, aşağıdaki genel esaslardan yararlanılmaktadır (SCS, 1973):

Toprak kaybı toleransı (T) (soil loss tolerance; permissible soil loss), yüksek düzeyde bir ürün veriminin ekonomik ölçüde ve sonsuza kadar sürdürülmesine engel olmayacak toprak erozyonunun maksimum şiddetidir.

Kullanılmakta olan toprak kaybı toleransı (T) değerleri, 2.2 ile 11.2 arasında değişmektedir. Bu değerler, yiyecek, hayvan yemi ve lif bitkilerinin yetiştirileceği alanlardan yılda hektar başına kaç ton (ton/ha/yıl) toprak kaybına izin verilebileceğini ifade eden rakamlardır. "T" değerleri inşaat alanlarına ya da erozyon eşitliğinin kullanıldığı diğer tarım dışı kullanım alanlarına uygulanmaz.

Normal olarak her bir toprak serisi için bir tek T değeri kabul edilir. Erozyonun efektif kök zonunun kalınlığını önemli derecede azalttığı ve böylece uzun vadede toprağın bitkisel üretim potansiyelini zayıflatığı belirli toprak çeşitlerine ise ikinci bir T değeri daha verilebilir. Örneğin, kökleri engelleyen bir toprak tabakası üzerindeki sığdan orta derine kadar toprak serilerinin erozyona uğramış fazlarına, genel olarak aynı toprağın erozyona uğramamış fazından bir sınıf aşağıda bir T değeri takdir edilmektedir. Toprak serilerine verilecek toprak kaybı tolerans değerlerinin belirlenmesinde toprak uzmanları ve diğer uzmanlar tarafından şu kriterler esas alınmaktadır:

- 1) Toprak içinde, bitkilerin büyümesine yeterli bir köklenme derinliği korunmalıdır. Özellikle sert kaya üzerindeki ya da köklenmeyi kısıtlayıcı daha başka tabakalar üzerindeki sığ toprakların korunması çok önemlidir; dolayısıyla böyle topraklarda fazla toprak kaybı toleransı söz konusu olamaz. Geçirimsiz tabakalar üzerindeki sığ topraklarda toprak kaybı toleransı, derin topraklar için, ya da altındaki toprak materyalleri amenajman pratikleriyle yenilenebilecek nitelikteki topraklar için sözkonusu olandan daha düşük olmalıdır.
- 2) Üst (yüzey) tabakası erozyonla taşındığı takdirde önemli verim azalmasına yol açacak topraklara, erozyonun verimi çok az etkilediği topraklara göre daha küçük toprak kaybı toleransı değerleri verilir.

Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği ile kullanılmak üzere maksimum değer olarak 11.2 ton/ha/yıllık toprak kaybı seçilmiştir. Bu maksimum değerın kullanılmasının nedenleri şöyle sıralanabilir:

- 1) 11.2 ton/ha/yıl'ın üzerindeki toprak kayıpları, sedimentten etkilenen açık hendekler, göletler ve benzerleri gibi su kontrol yapılarının bakımını, maliyetini ve etkinliğini olumsuz yönde etkiler.
- 2) Aşırı ölçüdeki yüzeysel erozyon (tabaka erozyonu), çoğu yerlerde oyuntu oluşumunu da birlikte getirir, toprak işlemlerini güçleştirir ve hendeklerin, dere yataklarının ve su yollarının sedimentle dolmasına neden olur.
- 3) Topraktaki bitki besin maddelerinin de toprakla birlikte kaybı söz konusudur. Toprağın 1 tonundaki azot ve fosforun ortalama değeri, -1973 yılındaki hesaplamalara göre- yaklaşık 2-3 A.B.D. dolandır. -Yine 1973 değerlerine göre-, hektar başına yılda 25 doları aşan bitki besin maddesi kayıpları, aşırı ölçüde kayıp kabul edilmektedir.
- 4) Toprak kayıplarının 12.5 ton/ha/yıl'ın altında tutmak amacıyla başarılı şekilde kullanılabilir çok sayıda yöntem ve uygulama vardır.

Toprak kaybı toleransı (T) değerlerinin belirlenmesinde yol gösteren esaslar, Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo: 6  
Farklı Köklenme Derinliklerine Sahip Topraklar İçin Toprak Kaybı Tolerans Değeri (T)'nin Takdir Edilmesinde Rehber Olacak Aşınım Miktarları<sup>1)</sup>

Köklenme Derinliği (cm)	Toprak Kaybı Toleransı Değeri (Yıllık Toprak Kaybı - ton/ha)	
	Yenilenebilir Toprak <sup>a)</sup>	Yenilenemeyen Toprak <sup>b)</sup>
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

- a) Derin sürme, gübreleme, organik madde takviyesi ve daha başka işlemlerle yenilenmeye elverişli alt tabakalara sahip bulunan topraklar.  
b) Sert ya da yumuşak kaya gibi, ekonomik ölçüler içinde yenilenmeye elverişli olmayan alt tabakalara sahip bulunan topraklar.

Toprak kaybı toleransını belirledikten sonra, (1) numaralı eşitliği:

$$CP = T / RKLS \quad (13)$$

şeklinde yeniden yazabiliriz.

Doğru olan ürün yetiştirme amenajman sistemini ve uygun olan koruyucu pratikleri seçmek suretiyle, C ve P'nin kombine etkisi için, (13) numaralı eşitliğe uyan bir değer kararlaştırılabilir. Bunu yaparken, o bölgenin erozyon indeksi dağılım eğrisine dayanarak, yağışın en zararlı olduğu kritik aşamaları buradan belirlemek yararlı olur; çünkü bu aşamalar, iyileştirici önlem ve uygulamaların, C değerinde en çok azalmaya yol açtığı aşamalardır.

### 3.5 Erozyonun Azaltılması İçin Havza Amenajmanı Planlaması (Bir Örnek)<sup>2)</sup>

Yapılması düşünülen bir sel kapanının (floodwater retarding structure) yukarıda kalan bir havza düşünelim. Havzanın yüzölçümü 243 ha olsun. Halihazır koşullar için ve havzanın tamamında tavsiye edilen arazi iyileştirme önlemleri alındıktan sonraki koşullar için, havzadaki yüzeysel erozyondan (tabaka erozyonundan) kaynaklanan ortalama yıllık toprak kaybını hesaplayalım.

#### Mevcut Koşullar

Tarım arazisi - 113.3 ha

Sürekli mısır tarımı yapılıyor ve hasat artığı tarlada bırakılmıyor. Ortalama verim 4.4 ton/ha

Sürüm ve tarım eğim doğrultusunda

1) SCS (1973)'ten alınmıştır.

2) Bu örnek, SCS (1972)'den alınmıştır.

Toprak - toz balçığı (Fayette)

Eğim - % 8

Yamaç uzunluğu - 61.0 m

R = 321

K = .48

LS = 1.4

C = .43

P = 1.00

$A = 321 \times .48 \times 1.4 \times .43 \times 1.0 = 92.8$  ton/ha/yıl toprak kaybı.

Çayırılık arazi - 68.8 ha

Tepe örtüsü veya kısa çalı-düşüş yüksekliği 0.5 m

Tepe çalısının sağladığı örtü oranı - % 50

Yüzey (zemin) örtüsü - çayır ve buna benzer bitkiler

Yüzey (zemin) örtüsü yüzdesi - % 80

Toprak - toz balçığı (Fayette)

Eğim - % 8

Yamaç uzunluğu - 61.0 m

R = 321

K = .48

LS = 1.4

C = .012

$A = 321 \times .48 \times 1.4 \times .012 = 2.6$  ton/ha/yıl toprak kaybı.

Orman - 60.7 ha

Ağaçların tepe çatılarının örttüğü alan yüzdesi - % 30

Ölü örtü ile kaplı alanın yüzdesi - % 50

Alt tabaka - kontrolsüz

Toprak - toz balçığı (Bates)

Eğim - % 12

Yamaç uzunluğu - 30.5 m

R = 321

K = .41

LS = 1.8

C = .05

$A = 321 \times .41 \times 1.8 \times .05 = 11.5$  ton/ha/yıl toprak kaybı.

### Gelecekteki Koşullar

Tarım arazisi - 113.3 ha

Buğday, yemlik ot, mısır rotasyonu

(mısır sapları tarlada bırakılıyor)

Eşyükseltili şerit tarımı

Toprak - toz balçığı (Fayette)

Eğim - % 8

Yamaç uzunluğu - 61.0 m

R = 321

K = .48

LS = 1.4

C = .119

P = .3

A = 321 x .48 x 1.4 x .119 x .3 = 7.7 ton/ha/yıl toprak kaybı.

Otlak alanı - 68.8 ha

(iyileştirme çalışmaları yapılmış)

Tepe örtüsü % 25'e, düşüş yüksekliği 4 m'ye indirilmiş.

Yer (toprak; zemin) örtüsü (tepe çatısı tarafından korunmayan alan için) % 95'e çıkarılmış.

Toprak - toz balçığı (Fayette)

Eğim - % 8

Yamaç uzunluğu - 61.0 m

R = 321

K = .48

LS = 1.4

C = .003

A = 321 x .48 x 1.4 x .003 = 0.65 ton/ha/yıl toprak kaybı.

Orman - 60.7 ha

(iyileştirme çalışmaları yapılmış)

Tepe örtüsü % 60'a indirilmiş

Ölü örtü alanı % 80'e çıkarılmış

Alt tabaka - kontrolsüz (İşletilmiyor)

Toprak - toz balçığı (Bates)

Eğim - % 12

Yamaç uzunluğu - 30.5 m

R = 321

K = .41

LS = 1.8

C = .003

A = 321 x .41 x 1.8 x .003 = 0.71 ton/ha/yıl toprak kaybı.

**Ortalama Yıllık Kayıpların Özeti****Mevcut Koşullarda**

Tarım arazisi	- 113.3 ha x 92.8 ton/ha	= 10 514 ton/yıl
Otlak (çayır) alanı	- 66.8 ha x 2.6 ton/ha	= 179 ton/yıl
Orman	- 60.7 ha x 11.9 ton/ha	= 722 ton/yıl

**Gelecekteki Koşullarda**

Tarım arazisi	-	113.3	ha	x	7.7	ton/ha	=	872	ton/yıl
Otlak (çayır) alanı	-	66.8	ha	x	.65	ton/ha	=	45	ton/yıl
Orman	-	60.7	ha	x	.71	ton/ha	=	43	ton/yıl

**Not:** Bir havzadan (erozyon sonucu) taşınan toprak miktarı ile akarsu üzerindeki rezervuarlarda meydana gelen sedimentasyonun miktarı aynı değildir. Buradaki örnekte hesaplanan ortalama yıllık toprak kaybı, meydana gelen gross erozyonu ifade eder. Bu materyalin akarsular tarafından taşınan miktarı sediment iletim oranı (katsayısı)na (yani bir rezervuara ulaşan sediment miktarının, havzada meydana gelen toplam erozyon miktarına oranına) bağlıdır. Başka bir deyişle, taşınan bu sedimentin sadece bir kısmı bir rezervuar tarafından alıkonabilir ve bunun miktarı da, o rezervuarın tuzaklama etkinliğine (trap efficiency) bağlıdır.

**KAYNAKLAR**

- AKALAN, I. 1974: *Toprak ve Su Muhafazası*. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 532, Ders Kitabı: 177, Ankara.
- ARNOLDUS, H.M.J. 1977: *Predicting Soil Losses Due to Sheet and Rill Erosion*. FAO Conservation Guide 1, Rome.
- DOĞAN, O.; GÜÇER, C. 1976: *Su Erozyonunun Nedenleri - Oluşumu ve Ünlversal Denklem İle Toprak Kayıplarının Saptanması*, Topraksu Genel Md. Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü Mdl. Yayınları, Genel Yayın No: 41, Teknik Yayın No: 24, Ankara.
- FOSTER, G.R.; WISCHMEIER, W.H. 1974: *Evaluating Irregular Slopes for Soil Loss Prediction*. Trans. ASAE. Vol, 17 (s. 305-309).
- GÜÇER, C. 1972: *Yağışların Erosiv Potansiyellerinin Hesaplanması ve Türkiye Yağışlarının Erosiv Potansiyelleri*, Topraksu Genel Müdürlüğü Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü Mdl. Yayını G. 14/1T. 11, Ankara.
- HIIZAL, A. 1984: *Hava Fotoğrafları Yorumlamasının Havza Amenajmanı Çalışmalarında Uygulanma Olanaklarının Araştırılması*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 1.Ü. Yayın No: 3144, O.F. Yayın No: 341, İstanbul.
- HUDSON, N. 1971: *Soil Conservation*, Cornell University Press, Ithaca, New York.
- S.C.S. 1972: *Geology; Procedure for Computing Sheet and Rill Erosion on Project Areas*. Technical Release No. 51, USDA-SCS Engineering Division, Washington, D.C.
- S.C.S. 1973: *Advisory Soils - 6; Soil Erodibility and Soil Loss Tolerance Factors in the Universal Soil Loss Equation*, USDA-SCS, Washington D.C.

US.D.A. 1951: *Soil Survey Manual; Agriculture Handbook No. 18. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.*

WISCHMEIER, W.H. 1962: *Rainfall Erosion Potential. Agric. Eng., Vol. 43, 225.*

WISCHMEIER, W.H. 1974: *Erosion and Sedimentation. Proc. 29th Annual Meeting-SCSA (s. 179-186).*

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. 1971: *A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites. Journ. Soil and Water Conservation, Vol. 26 (s. 189-193).*

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. 1965: *Predicting Rainfall - Erosion Losses from Cropland East of Rocky Mountains; Guide for the Selection of Practices for Soil and Water Conservation. Agriculture Handbook No. 282. U.S. Dept. of Agric., Washington, D.C.*