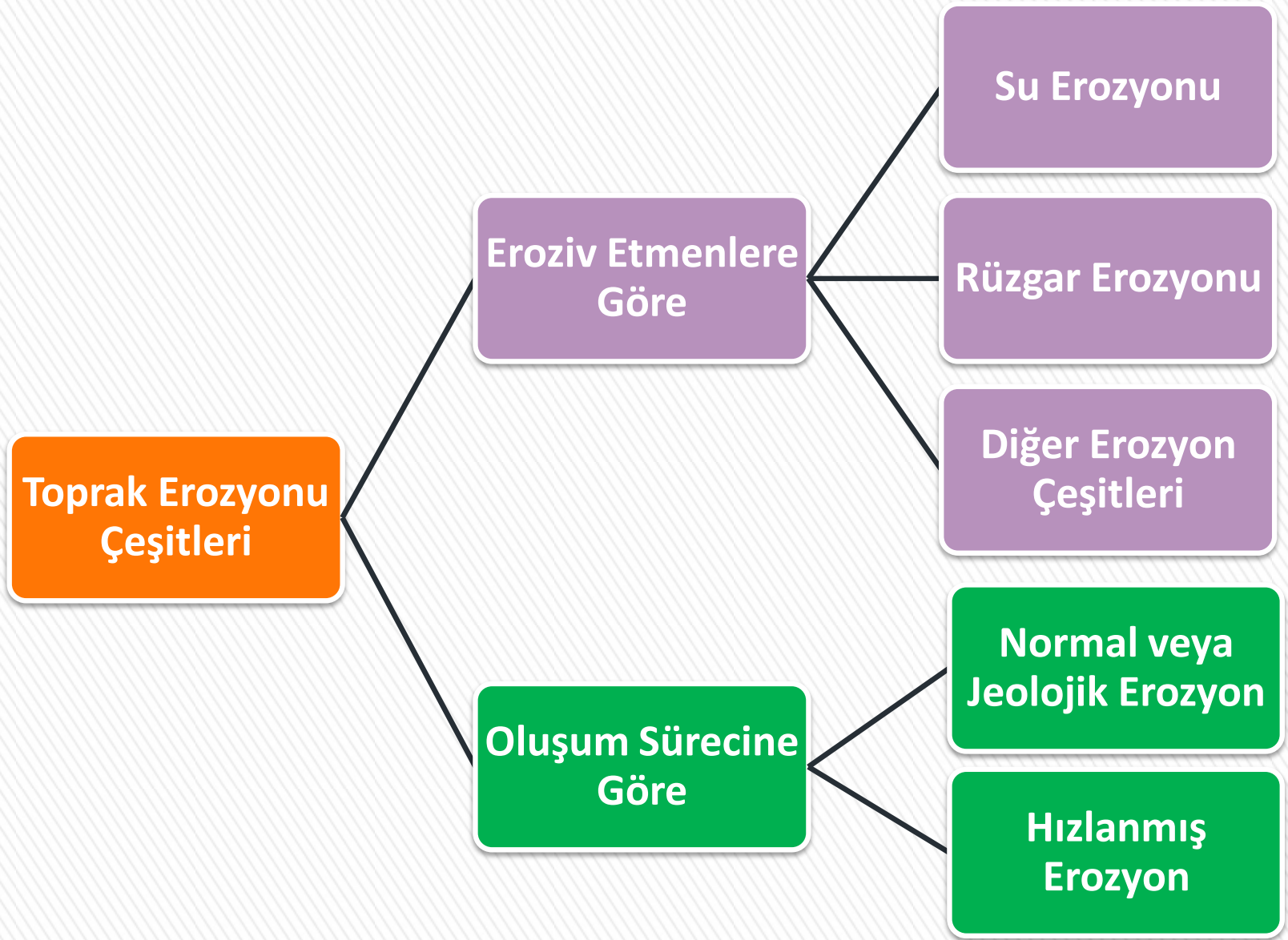




TOPRAK EROZYONU ÇEŞİTLERİ

SU EROZYONUNU OLUŞTURAN ETMENLER

Su erozyonu, hareket halinde bulunan sıvı fazdaki suyun kinetik enerjisinin etkisi ile toprağın aşınması ve taşınmasıdır. Sıvı fazdaki suyun toprak erozyonuna neden olabilmesi için hareket halinde olması, diğer bir deyimle bir hız ve dolayısıyla bir kinetik enerji kazanması lazımdır. Toprak erozyonu oluşturan bu niteliklerdeki su tabiatta;

- ☐ Yağmur
- ☐ Yüzeysel akış
- ☐ Dere akımı

Toprak erozyonunun oluşumunda etkili olan etmenler iki ana grupta toplanabilir;

1) Erozyona uğrayan materyali yani toprağı çözen, agregatları parçalayıp dağıtan ve bu toprak parçacıklarını bir yerden bir yere taşıyan **hareket halindeki eroziv su kuvvetleri;**

- ✓ **Yağmur damlası**
- ✓ **Yüzeysel akış**
- ✓ **Dere akımı**

2) Bu eroziv kuvvetlere karşı direnç gösteren ve erozyonu yavaşlatan nitelikler ve kuvvetler. Bunlar toprak agregatlarının su ile dispersleşmesine ve taşınmasına direnç gösteren topraktaki;

- Kohezyon kuvvetleri,
- Toprak gözenek hacmi,
- İnfiltrasyon,
- Permeabilite gibi bazı toprak özellikleridir.
veya kısaca **toprağın erodibilite eğilimidir.**

Toprak erozyonu; yağmurun veya genel olarak suyun **'erozivite'** si ile toprağın **'erodibilitesi'** nin bir fonksiyonudur.

$$\text{EROZYON} = f(\text{Erozivite})(\text{Erodibilite})$$

Su Erozyonunu Etkileyen etmenler

$$E = f(C, T, V, S, H)$$

C= iklim

T= topoğrafya

V= vejetasyon

S= toprak

H= insan

SU EROZYONU

Suyun Dispersleştirme Etkisi ve Taşıma Kuvveti

Yağmur damlalarının
dispersleştirme etkisi, Yüzeysel
akışın miktarı ve hızı

Toprağın dispersleşme
ve taşınmaya karşı
direnci

Yağış
Karakteristikleri

Arazinin
Boyu ve
Eğimi

Toprağın suyu
emme ve iletme
kabiliyeti

Toprak Nitelikleri

Bitki örtüsünün etkisi

İKLİM

Yağışın yıl içindeki dağılışı:

Yağış yağmur, kar, dolu, kırağı çığ vb. şekilde görülmektedir.

Yağmur erozyon olayında en etkili bir yağış şeklidir.

Yağmurun miktar, şiddet ve yıl içindeki dağılışı gibi özellikler

- Yağmur damlasının kinetik enerjisi
- Toprağı dispersleştirme etkisi
- Yüzeysel akışın miktarı ve hızı

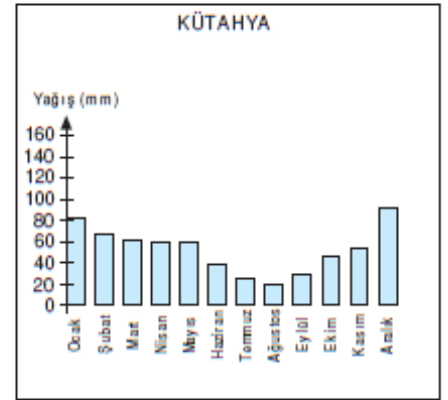
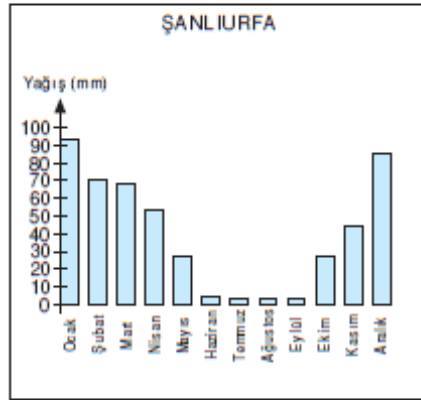
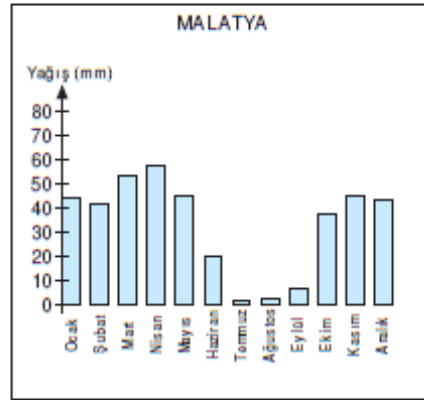
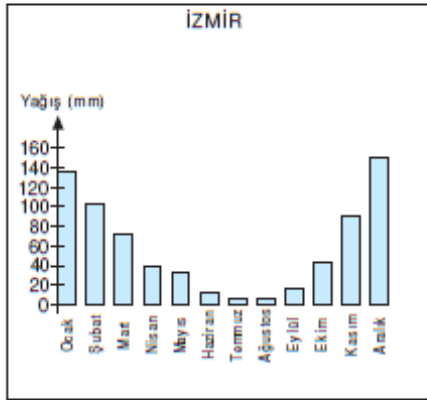
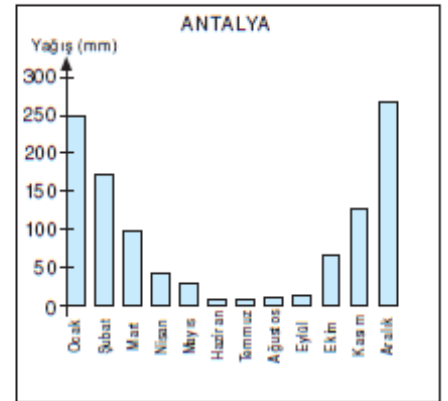
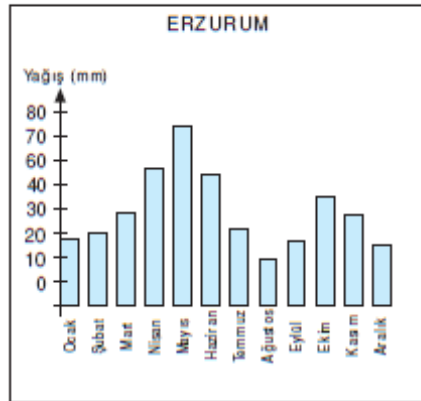
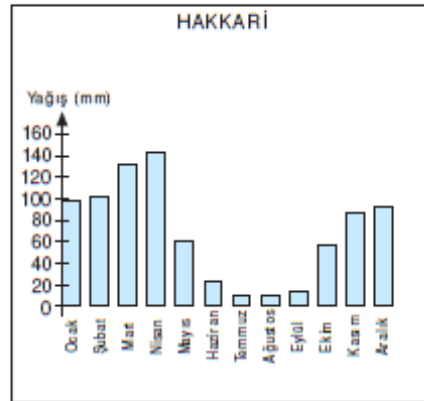
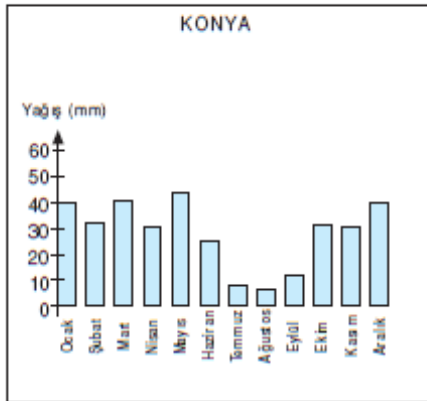
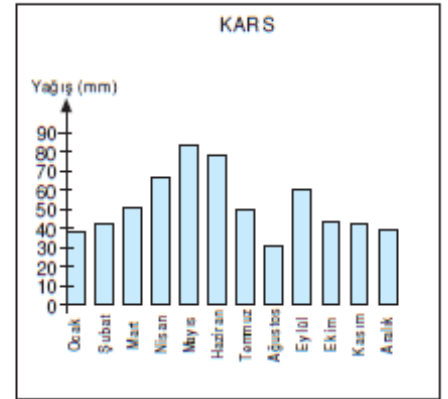
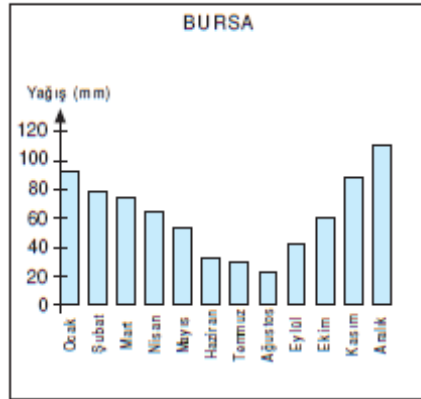
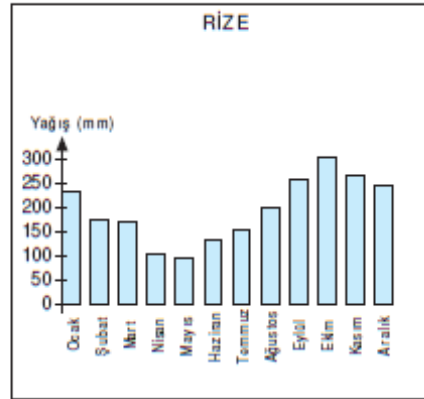
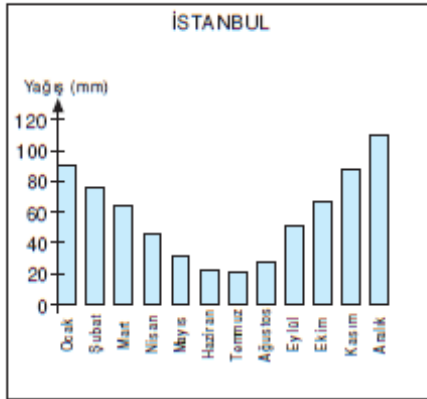
...üzerinde etkili olmakta ve taşınan toprak miktarını değiştirmektedir.



Ilıman iklimlerde yağışların yıl içinde düzenli bir dağılışı göstermesi, yani her mevsimde benzer miktar ve niteliklerde yağış düşmesi, genellikle daha az toprak erozyonuna neden olmaktadır. Doğu Karadeniz nispeten böyle bir yağış dağılımına sahiptir.

Buna karşılık eroziv yağmurların belli mevsimlerde yoğunlaşması ve özellikle tarım alanlarında toprağın işlendiği veya henüz koruyucu bir ürün örtüsünün bulunmadığı dönemlere rastlaması erozyon zararlarını artırmaktadır. İç Anadolu, Ege ve Akdeniz öyle bir dağılışa sahiptir.

Şiddeti az fakat uzun süre yağan ve miktarı fazla olan yağmurlar genellikle önemli bir erozyona neden olmamaktadır. Aynı şekilde şiddetli fakat kısa süreli yağmur da yeteri kadar yüzeysel akış oluşturmadığı için fazla toprak kaybı oluşturmamaktadır.



Türkiye'de Bazı Merkezlerin Yağış Rejimleri

Yağmur Şiddeti ve Damla Büyüklüğü

Yağışların büyük bir kısım yağmur şeklinde oluştuğu ve erozyonu doğrudan etkileyen bir unsur olduğu için yağmur damlaları üzerinde çok çalışmalar yapılmıştır.

Yağmur damlalarının büyüklükleri yağışın yoğunluğu ile yakından ilgilidir. Ancak yüksek yoğunluklarda sadece iri taneler olmaz aynı zamanda çok geniş bir büyüklük dağılımı da olur. Yani yüksek yoğunlukta çok farklı büyüklükte damlalar vardır.

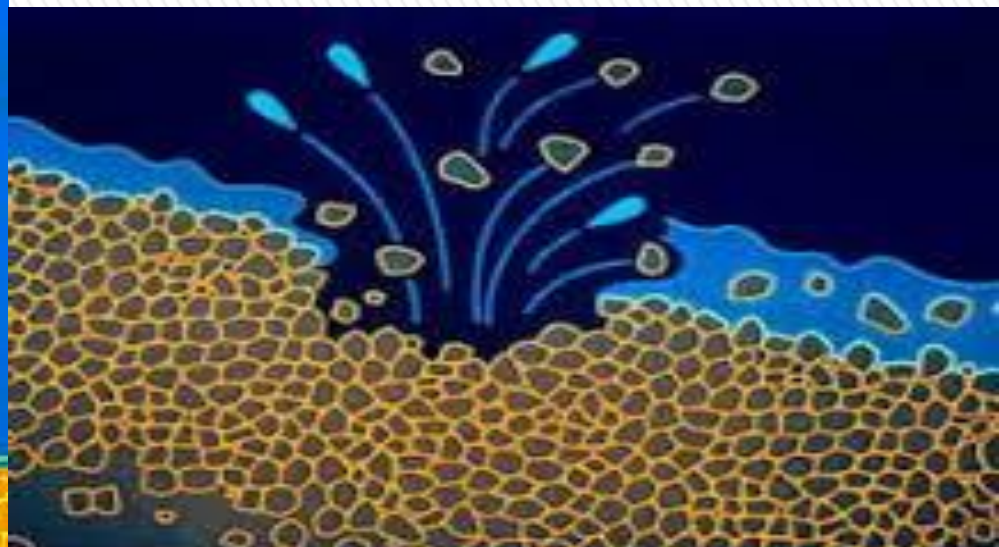
5 mm den daha büyük çapa sahip damlalar genellikle dayanıklı değildirler. Büyük damlalar havada parçalanırlar.

Yağmur damlalarının düşme hızı damla büyüklüğüne bağlıdır ve büyük damlalar daha hızlı düşerler.

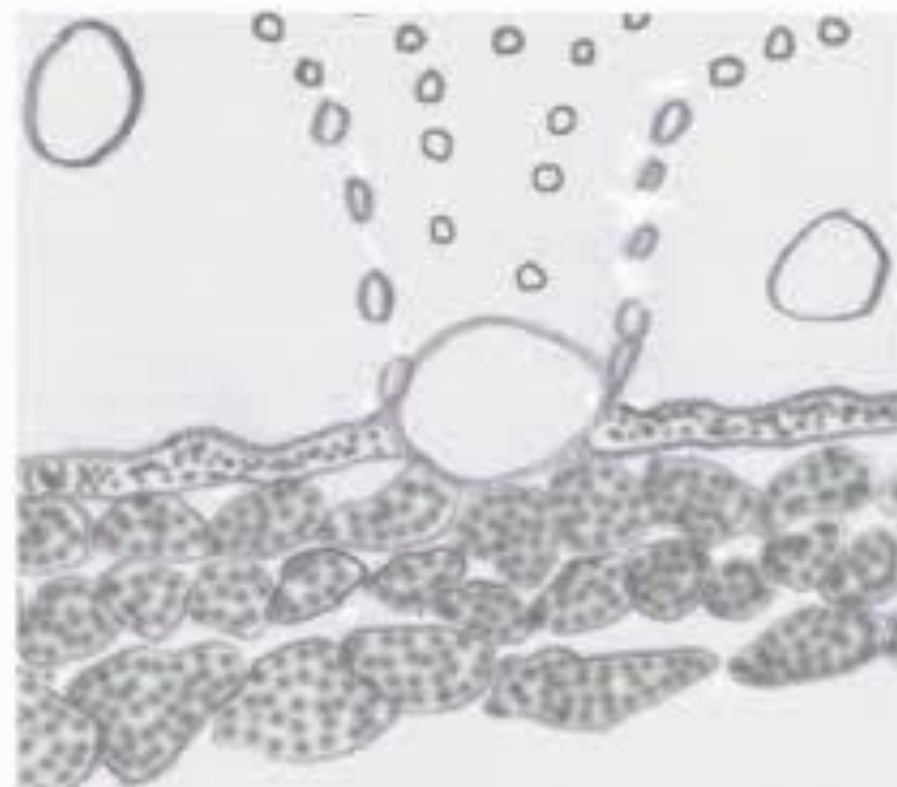
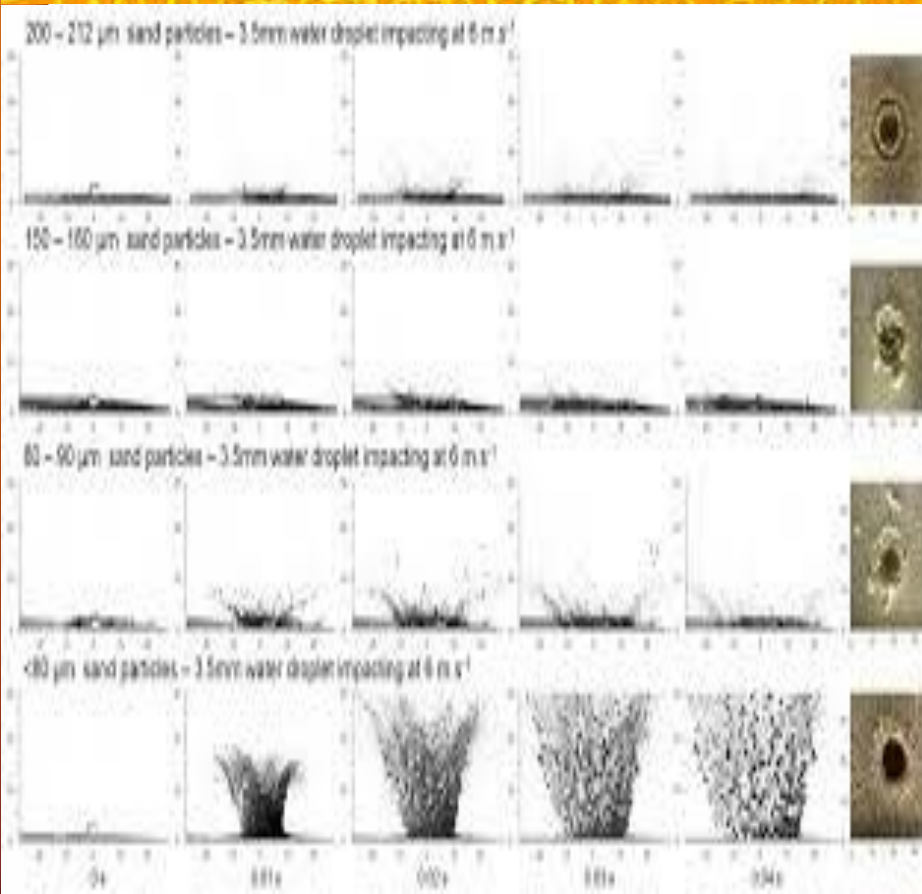
Yağmur damlaları çıplak toprak yüzeyine düşerken oldukça fazla bir kinetik enerji ile toprak yüzeyini döverler ve toprak agregatlarını çözerek parçalarlar ve kendileri de parçalanarak daha küçük damlacıklar halinde etrafa sıçrarlar. Böylece parçalanan agregatlardan bünyelerine aldıkları toprak zerrecelerini sıçradıkları noktalara beraberlerinde taşırlar. Binlerce ve yüzbinlerce yağmur damlasının herbiri yağış sırasında aynı işlevi yapar.



Çapları 6mm ve ortalama düşme hızları 9,3m/sn olan damlalardan oluşan 10mm.lik bir yağışta **1m²** lik bir toprak yüzeyi 1 saat süre ile 117924 adet yağmur damlası tarafından bombardıman edilmektedir.



RAINDROP SPLASH ON BARE SOILS



Böylece yüzeysel akışa göre çok daha yüksek bir kinetik enerjiyle toprağı döven yağmur damlaları, bir alan üzerindeki toplam erozyon miktarının büyük bir kısmına neden olmaktadır.

	Yağmur	Yüzeysel Akış
Kitle (M) (gr)	Düşen yağışın kütlesi = M	1) Yüzeysel akış, akışın %50'si Yüzeysel akış kütlesi = $M/2$ 2) Yüzeysel akış, akışın %25'i Yüzeysel akış kütlesi = $M/4$
Hız (V) (m/sn)	Yağmur damlasının son hızı $V = 8 \text{ m/sn}$	Yüzeysel akış hızı $V = 1 \text{ m/sn}$
Kinetik Enerji $KE = 1/2 MV^2$	$KE = 1/2 M(8)^2 = 32M$	1) $KE = 1/2 (M/2) (1)^2 = M/4$ 2) $KE = 1/2 (M/4) (1)^2 = M/8$

Yüzeysel akış yağmurun %50'si olduğu zaman, yağmurun kinetik enerjisi yüzeysel akışın 128 katı olmaktadır. Yüzeysel akış yağmurun %25'i olduğu zaman, yağmurun kinetik enerjisi yüzeysel akışın 256 katı olmaktadır. Burada yağmurun sahip olduğu yüksek kinetik enerji ile erozyon olayında en büyük rolü oynadığı görülmektedir.

Yağmurların yoğunluklarına göre sınıflandırılması

Yağmur yoğunluğu (mm/sa)	Sınıfı
<6.2	Hafif
6.2-12,5	Orta
12.5-50,0	Şiddetli
>50.0	Çok şiddetli

Düşme yüksekliği düşme hızında etkilidir ve 11 metre yüksekliğe kadar düşme yüksekliği arttıkça düşme hızı da artar. 11 metreden sonra damla düşüş hızında bir artış olmaz. Bu hıza **son (terminal) hız** denir.

Son hızlar damla çapına bağlı olarak değişmekte olup 1 mm çapa sahip damlalar için 4 m/sn ve 5 mm çaplı damlalar için ise 9 m/sn dir.

s_y versus s_x

$$|v|=0.0 \text{ m/s}$$
$$F_G = -9.8 \text{ N}$$



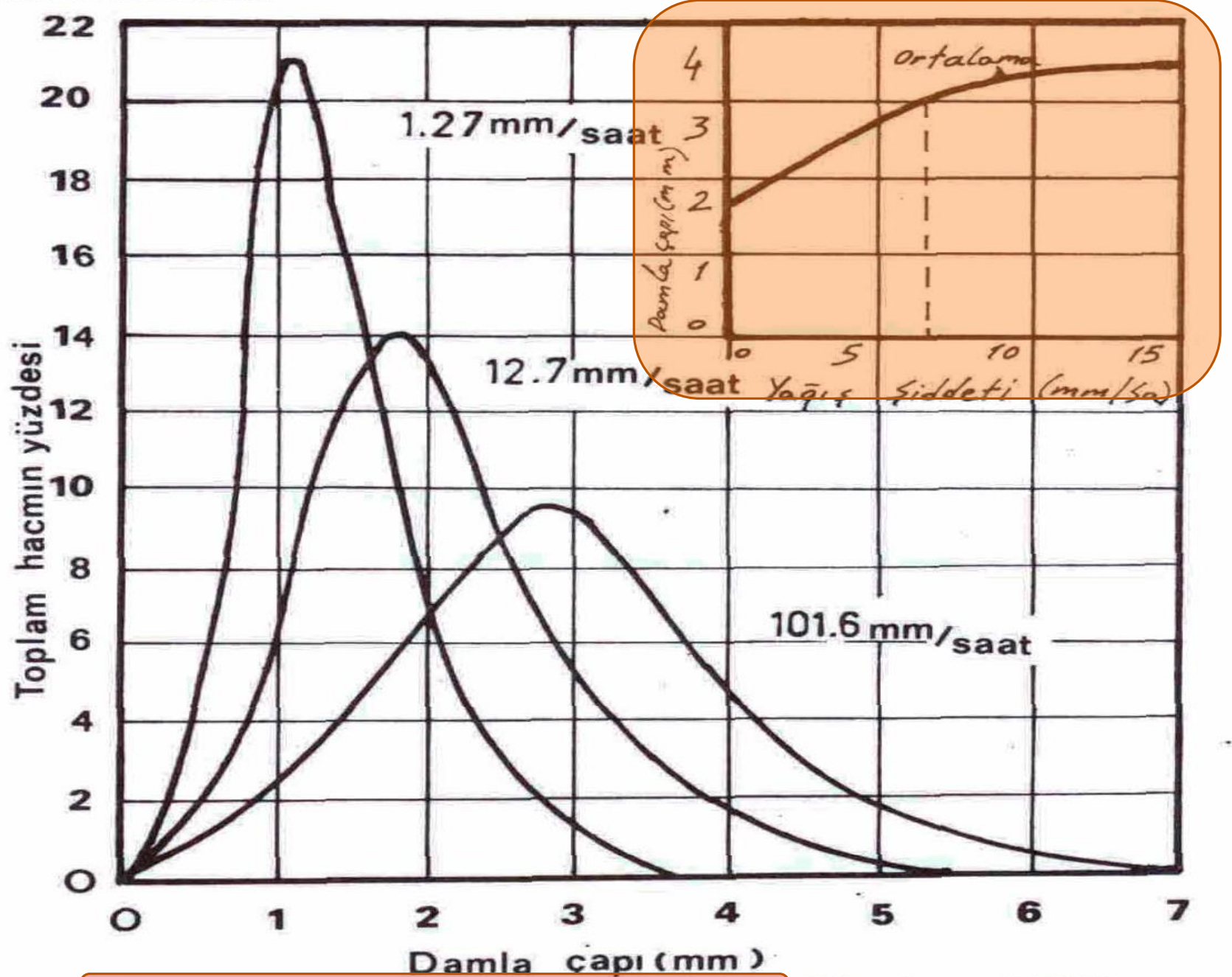
Yoğunlaşma ve Yağış Süreçlerinde Farklı Boyuttaki Damlaların Terminal Hızları

TERMİNAL HIZ

Çap (mm)	Hız (m/sn)	Damla Tipi
0.0002	0.0000001	Yoğunlaşma çekirdeği
0.02	0.01	Ortalama Bulut Damlası
0.1	0.27	Büyük Bulut Damlası
0.2	0.70	Büyük Bulut Damlası veya Çisenti
1	4.0	Küçük yağmur damlası
2	6.5	Ortalama yağmur damlası
5	9.0	Büyük yağmur damlası

4.1.1.3. Yağmurun Eroziv Karakteristikleri

Yağmurun erozivitesini ifade etmek için kullanılan en uygun indeks yağmurun kinetik enerjisini esas alan indekstir. Bir sağanak yağışın erozivitesi, yağmurun **şiddeti**, **süresi**, **kütlesi**, **damla çapı** ve **damlaların düşme hızının** bir fonksiyonudur. Bu nedenle, eroziviteyi hesaplayabilmek için önce kinetik enerjinin bir ögesi olan kitleyi etkileyen yağmurun damla çapı dağılımını analiz etmek gerekir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi damla çapı yağmurun şiddeti ile artmaktadır. Nitekim, 1.3 mm/sa şiddetindeki bir yağmurda ortalanca damla çapı (D_{50}) 1.2 mm. iken, 13 mm/sa'ta 1.8 mm ye, 100 mm/sa'ta ise 2.8 mm. ye ulaşmaktadır. Özellikle tropikal bölgelerde yağmur şiddetinin 10-50 mm/sa'a ulaşması halinde damla çapı eğrisi asimtota ulaşmakta yani yatay eksene paralel bir değerde seyretmektedir.



Şekil 4.1 :

Yağmur şiddetine göre damla büyüklüğü dağılışı. (Schwab, et, al, 1966).

Yağmurun Eroziv Karakteristikleri

- Yağışların erozyon oluşturma güçlerini en iyi ifade eden gösterge; yağışın kinetik enerjisini temel alandır.
- Bir yağmurun erozyon oluşturma gücü; yağmur damlalarının hızı, çapı ve kütlesi ile yağmur süresi ve yoğunluğunun bir fonksiyonudur.
- Bu bakımdan bir yağmurun aşındırabilirliğinin hesaplanması için damla büyüklüğü dağılımının analiz edilmesi gereklidir.



El₃₀ Erozivite İndeksi

- Bir sağanak yağmur serisinde herhangi yarım saatlik bir süre içerisindeki en yüksek yağışın (cm/sa) şiddeti (I₃₀), yağmurun toplam enerjisi (E) ile çarpılarak El₃₀ indeksi elde edilir.
- Bu indeks ile toprak erozyonu miktarı arasında yüksek bir korelasyon bulunmaktadır.
- El₃₀ değeri erozyon olayında etkili olan bir erozivite indeksi olarak kabul edilmektedir.



$$EI_{30} = E \times I_{30}$$

EI_{30} = Erozivite indeksi

E = Yağmurun kinetik enerjisi (jul/m²)

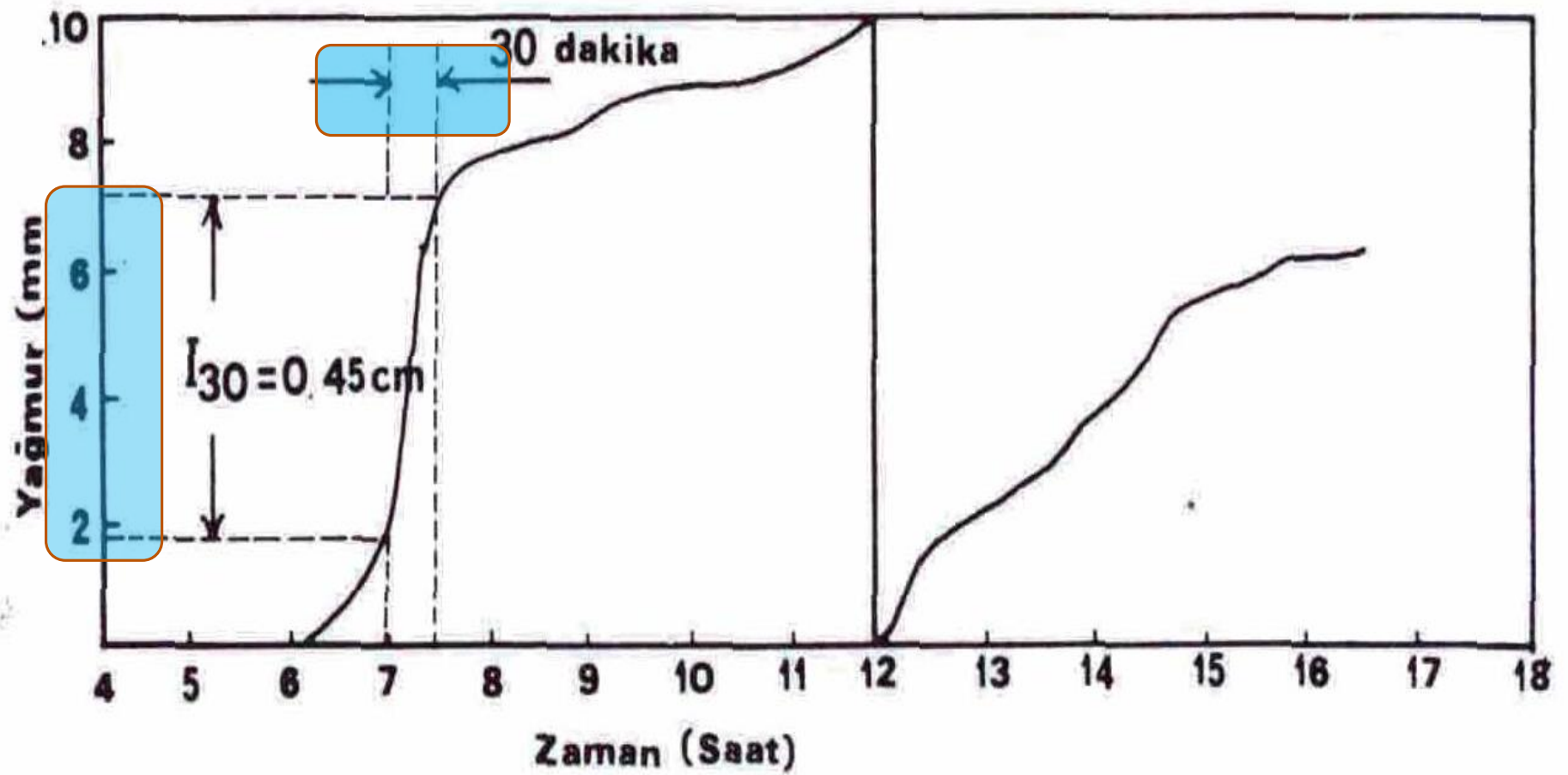
I_{30} = 30 dakikalık yağmur şiddeti (cm/sa)

Kinetik enerji (E) deneysel olarak geliştirilen aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır.

$$E = 210.3 + 80 \log I$$

E = 1cm. lik yağmurun kinetik enerjisi (jul/m²) ➤

I = Yağış şiddeti (cm/sa)



Şekil 4.2 : Kaydedici bir yağış ölçerin grafik kağıdında 30 dakikalık en şiddetli yağışın saptanması.

$$I_{30} = R \times 2$$



Pluviyograf diyagramından bir yağmurun analiz edilmesi (Wischmeier ve Smith 1978)

Diyagram okumaları		Yağmur bölümleri			Enerji	
Zaman	Derinlik (mm)	Süre (dak.)	Miktar (cm)	Yoğunluk (cm/saat)	Her cm için	Her dilim için
4,00	0				$E = 210.3 + 80 \log I$ (jul/m ²)	
4,20	1,2	20	0,12	0,36	175	(175x0.12) = 21
4,27	3,0	7	0,18	1,54	225	(225x0.18) = 41
4,36	8,8	9	0,58	3,87	257	(257x0.58) = 149
4,50	26,6	14	1,78	7,68	281	(281x1.78)= 500
4,57	30,4	7	0,38	3,26	251	(251x0.38)= 95
5,05	31,7	8	0,13	0,98	210	(210x0.13)= 27
5,15	31,7	10	0	0	0	0
5,30	33,7	15	0,13	0,52	188	(188x0.13)= 24
Toplam		90	3,30			857
Yağmurun Kinetik Enerjisi: $857 \times 10^{-2} = 8,57$ (jul/cm ²)						

Erozyon göstergesi (EI_{30}) : $E = 210.3 + 80 \log I$

30 dakikalık en fazla yağmur

= 2.92 cm (saat 4.27 – 4.57 arası)

En yüksek yoğunluk (Saat)

= 2.92 x 2 = 5.84 cm/sa

Toplam kinetik enerji

= 8.57 jul/cm²

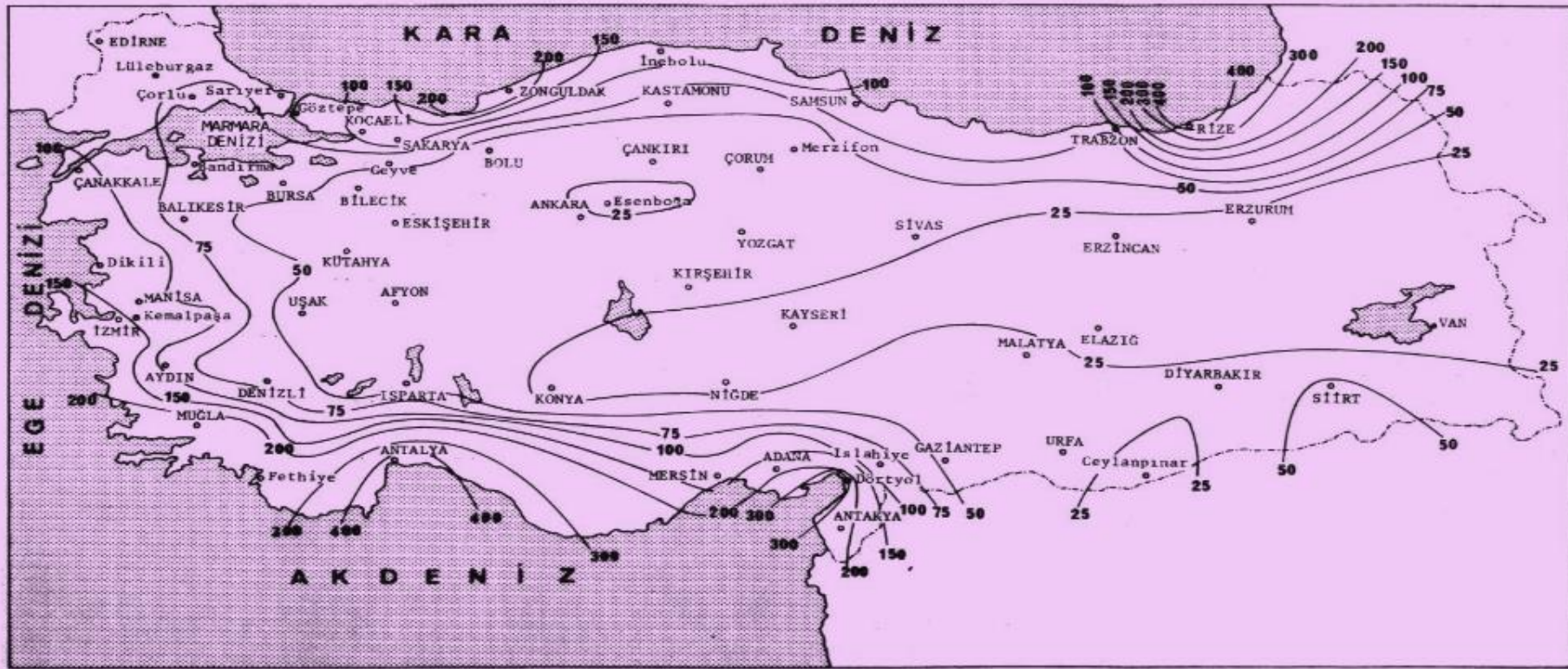
EI_{30}

= 8.57 x 5.84 = **50.04**



- ✓ Herhangi bir potansiyel erozyon göstergesinin geçerli olabilmesi için göstergenin **toprak kayıpları ile doğrulanması gereklidir.**
- ✓ Wischmeier ve Smith (1958) sıçrama, yüzey akışı ve parmak erozyonu ile **kaybolan toprak miktarı ile yağmurun kinetik enerjisinin 30 dakikalık en yüksek yoğunluğun çarpımından elde edilen EI_{30} göstergesi arasında çok yakın bir ilişki bulmuşlardır.** 30 dakikalık en yüksek yoğunluğun alınması düşük yoğunluklu yağmurların meydana getireceği erozyonun daha yüksek tahmin edilmesi içindir.
- ✓ Stocking ve Elwell (1973) I_{30} un sadece **çıplak toprak için kullanıldığının ve yoğun bitki örtüsü ile kaplı topraklar için maksimum 5 dakika, seyrek bitki örtüsünün olduğu yerler içinde maksimum 15 dakikalık yoğunlukların kullanımının daha yüksek ilişki verdiğini bildirmektedir.**
- ✓ Bireysel yağmurların 20-25 yıllık bir dönemdeki aşındırabilirlik hesaplamaları sonucunda aylık ve yıllık ortalama değerler elde edilebilir.

Uzun dönemler için R faktörünün bulunmasında her bir bağımsız yağışın El değeri hesaplanır ve yıl boyunca değerlendirmeye alınacak olan yağışların (eroziv olanların) El değerlerinin toplanması ile yıllık değer bulunur. Ülkemiz için 66 meteoroloji istasyonunun 25 yıllık plüviograf diyagramları bu şekilde incelenmiş ve eş R değerine sahip istasyonlar birleştirilerek iso-erodent haritası elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Türkiye'de Ortalama Yıllık Erozyon İndeksleri Dağılımı (Doğan, 1987)

Fournier İndeksi (Yağış erozivite indeksi)

$$C = \sum_{i=1}^{12} (P_i^2 / P)$$

C: Fournier indeksi

P_i: (i) ayındaki toplam yağış miktarı (mm)

P: Yıllık ortalama toplam yağış miktarı (mm)

Fournier İndeks Sınıflaması

Fournier indeksi dağılımı	Sınıfı	Anlamı
<60	1	Çok az
60-90	2	Az
91-120	3	Orta
121-160	4	Yüksek
>160	5	Çok Yüksek

Aylık yağışların karesinin toplam yağışa bölünmesi ve bunların toplanması sonucu elde edilen sayı akarsu havzalarında erozyon indeksi olarak kullanılmaktadır.

TRABZON

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	TOPLAM
Yağış	74.0	60.7	58.8	58.8	50.9	49.2	37.3	46.5	78.4	119.5	100.2	85.3	819.6
p ² /P	6.68	4.49	4.21	4.21	3.16	2.95	1.69	2.63	7.49	17.42	12.24	8.87	76.04
C: Fournier indeksi													AZ

SİVAS

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	TOPLAM
Yağış	40.1	38.3	46.0	65.7	60.3	33.9	11.2	7.6	18.3	37.8	41.6	43.9	444.7
p ² /P	3.61	3.29	4.75	9.70	8.17	2.58	0.28	0.12	0.75	3.21	3.89	4.33	44.68
C: Fournier indeksi													ÇOK AZ

ANTALYA

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	TOPLAM
Yağış	219.6	161.8	97.0	56.8	30.1	8.5	5.7	3.5	23.8	80.8	160.9	152.5	1001.0
p ² /P	48.17	26.15	9.39	3.22	0.90	0.07	0.03	0.01	0.56	6.52	25.86	23.23	144.11
C: Fournier indeksi													YÜKSEK

Fournier İndeksi (Yağış erozivite indeksi)

Fournier indeksi taşınan materyal, iklim verileri ve topoğrafik özellikler arasındaki ilişkiyi ele alan bir indeks olup, **“yağış erozivite indeksi”** olarak adlandırılmaktadır (Lal, 1988).

Toprakların erozyon oluşturma gücü ve yağış özellikleri dikkate alındığında erozyon tehlikesi taşıyan alanlarda Fournier indeksinin toprak ve su koruma önlemlerinin alınmasında yol gösterici olarak kullanılmaktadır.

Bu indeksin kullanılmasıyla, yağışın erozyon risk sınıfı değerleri elde edilebilmektedir.

KE > 25 Erozivite indeksi

Hudson'a (1973) göre, erozyonun meydana gelebilmesi için yağmur şiddetinin belli bir sınır seviyesinin üstünde olması gerekir. Zimbabwe'deki çalışmalarının sonucunda 25 mm/saat yoğunluk değerini ortaya atmış ve bu değer aynı zamanda Tanzania ve Malezya için de uygun bulunmuştur.

Fakat tropik bölgeler için uygun olan bu rakam Batı Avrupa Ülkeleri için çok yüksek olup zaten bu değer nadiren aşılmaktadır. Bu nedenle; İngiltere, Almanya ve Belçika'da 10, 6 ve 11 mm/saat değerleri herhangi bir ölçüte bağlı olmaksızın eşik değerler olarak kullanılmıştır.

iklim faktörü veya yağış faktörünün (R) bazı sakıncaları vardır;

R değeri çalışmanın yapıldığı yerdeki deneme istasyonunu temsil eder. Yani noktasal bir değerdir. Bu açıdan araştırma alanında kullanılacak olan R değerinin belirlenmesinde birçok sorun ortaya çıkmaktadır.

❖ Bunlardan ilki istasyon azlığı ve/veya istasyon yokluğudur. Çünkü her alanı karakterize edecek istasyon yoktur. Yakında bir istasyon bulunsa bile, bu istasyon verilerinin araştırma alanında kullanılması bazen uygun olmayabilir.



❖ Bir diğ er sorun alanda bulunan istasyonların gerekli verilere sahip olmamasıdır.        Türkiye’de DM GM’ne ait istasyonların sadece B y  k Klima istasyonlarında yağı  diyagramları kullanılmaktadır ki USLE eşitliğindeki R değ erinin hesaplanması için bu diyagramlara ihtiyaç vardır. K    k Klima istasyonlarında yağı   l    rken pl viyometre kullanılmakta ve bu veriler R değ erinin hesaplanması için uygun olmamaktadır.

*Bu zorlukların ortadan kaldırılması amacıyla **Fornuier indeksi** geliştirilmiştir. Bu indeks akarsu havzaları için erozyon indeksi olarak kullanılmaktadır.*



Sonuç olarak denebilir ki, bazı soru işaretlerine rağmen yağmurun kinetik enerjisi ile eroziv potansiyeli ve dolayısıyla damla erozyonu arasında güvenilir bir korrelasyon mevcuttur ve her iki yaklaşım da güvenle kullanılabilir. Ancak $KE > 25$ indeksi daha çok tropikal koşullara uygulanabilir bir yöntemdir.

Diğer yağış şekillerinden kar, doğrudan bir toprak erozyonuna neden ol-
maz. Ancak toprak üzerinde biriken kar tabakalarının, ilkbahar ve yaz başlarında
hızla erimesiyle oluşan yüzeysel akış, toprak üzerindeki oluk ve oyuntularda yo-
ğunlaşarak önemli derecede erozyon, sel ve taşkınlar yaratır.

YÜZEYSEL AKIŞIN EROZİV KARAKTERİSTİKLERİ

Eğimli bir yamaç üzerinde yüzeysel akış genellikle aşağıdaki durumlarda oluşabilmektedir;

1. Sağnak bir yağmur süresince “**yüzeysel depresyon depolanması**” yani arazi yüzeyindeki çukurlukların dolması,
2. Uzun süreli bir yağışla birlikte toprağın **su tutma kapasitesinin dolması**,
3. Bir sağnak yağmur şiddetinin, toprağın **infiltrasyon kapasitesini aşması**.

Bir akımın hidrolik karakteristikleri, onun Reynoulds sayısı (Re) ve Froude sayısı (F) ile karakterize edilir.

Burada;

R_e = Reynoulds sayısı (CGS sisteminde)

F = Froude sayısı (CGS sisteminde)

r = Yüzeysel akış için hidrolik yarıçap. Akım derinliği olarak da alınabilir.

v = Akım hızı (cm/sn)

μ = Suyun kinematik viskozitesi (stoke) (cm^2/sn)

g = yerçekimi ivmesi (cm/sn^2)

(1) **Reynoulds sayısı** $R_e = \frac{D \cdot V}{\mu}$ formülü ile tanımlanan dimenzionsuz bir orandır. Bura-

da D = Bir kesitin çapı (m), V = Çıkış kesitinde suyun hızı (m/sn), μ = suyun kinematik viskozitesi (m^2/sn).

(2) **Froude sayısı:** $F = \frac{V^2}{Lg}$ formülü ile tanımlanan dimenzionsuz bir orandır. burada V = akım hızı (m/sn), L = uzunluk (m), g = yerçekimi ivmesi (m/sn^2).

Burada akışın türbülans indeksi olan Reynoulds sayısının büyümesi yani

türbülansın yükselmesi ile, akışın eroziv gücü de artmaktadır. Dolayısıyla de

toprak kaybı Reynoulds sayısına göre değişmektedir. Yapılan deneylere göre

Reynoulds indeksi 500'den küçük olan akımlar laminar (tabakalı), 2000'in üstün-

dekiler ise tamamen türbülant akımlardır. Bu iki değerin arasındaki sayılar da

her iki akım karakteristiklerinin karışımı özellikler gösterir. Genellikle yağmur

damlalarının darbe etkisi ile laminar akımların kendi özellikleri değişir ve karma

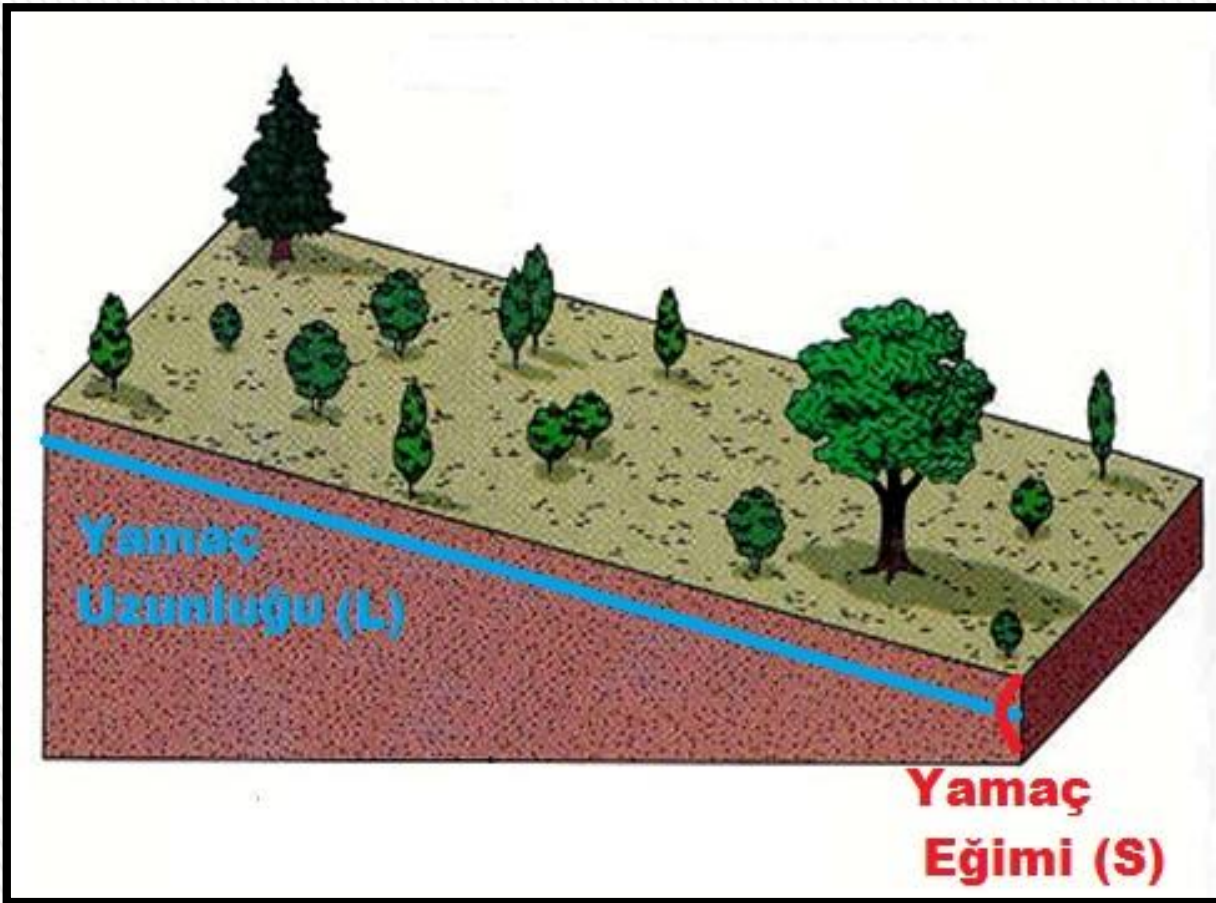
karakteristiklere sahip olurlar.

Diğer taraftan Froude sayısı birden küçük ($F < 1$) olan akımlar "Subkritik", büyük olan ($F > 1$) akımlar ise "süperkritik" veya "Hızlı akımlar" olarak nitelendirilirler. Laboratuvar gözlemlerine göre yüzeysel akımların çoğu subkritik olmakla beraber Froude sayıları 15 değerine kadar ulaşır. Arazideki gözlemlere göre ise yüzeysel akımın Reynoulds sayısı 75'ten küçük ($Re < 75$), Froude sayısı ise 0.5'ten küçük ($F < 0.5$) olarak saptanmıştır. Bununla beraber bu değerler, arazi koşullarına ve farklı araştırmacılara göre değişiklik göstermektedir.

Bu hidrolik ilişkilerde önemli olan faktör, akımın hızıdır. Nitekim, her toprağın direncine göre (erodibilite) erozyonun meydana gelebilmesi için yüzeysel akışın belli bir eşik hızına ulaşması gerekir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi, hızı

Topoğrafya

Yamacın **eğimi ve uzunluğu** yüzeysel akış ve toprak erozyonunda önemli olan topoğrafik öğelerdir.



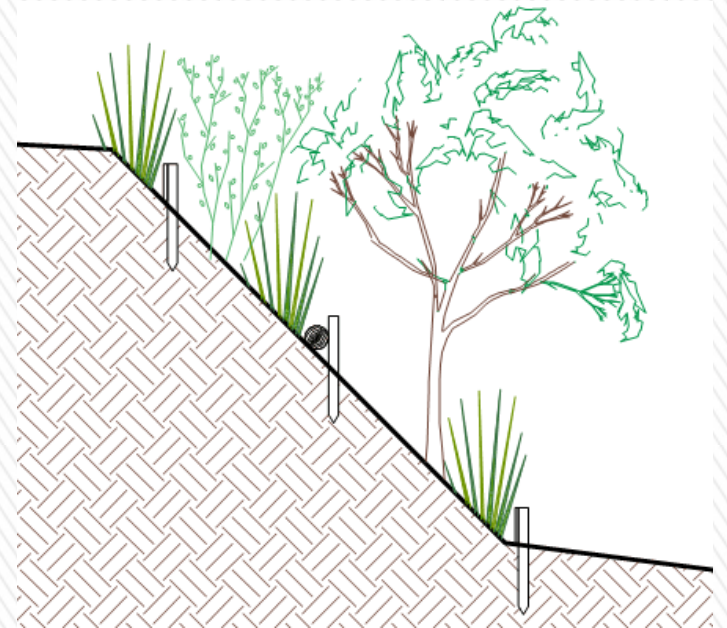
Erozyon şiddeti bakımından eğim daha etkin bir faktördür.



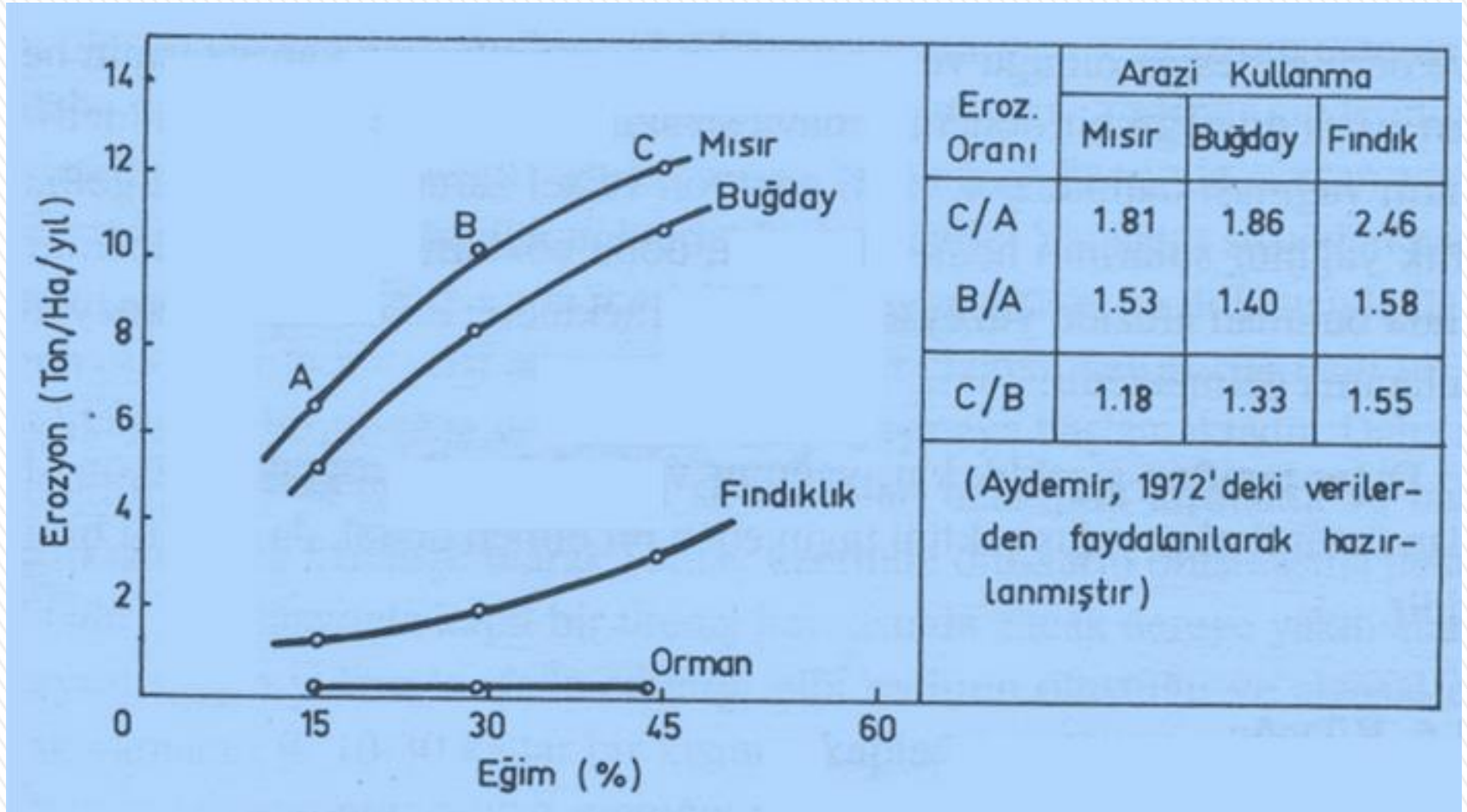
✓ Araştırmalara göre, %10'un altında eğimi olan bir yamaç üzerinde eğimin %100 yükselmesi toprak erozyonunu %100 artırmaktadır.

✓ Erozyon şiddeti ile eğim arasındaki ilişki, değişik yağış karakteristikleri ve arazi kullanım şartları altında farklı olmaktadır.

✓ Diğer araştırmalara göre; yamaç eğiminin %5 den %10 çıkması halinde erozyonda 3 kat artış, %15' çıkması halinde ise 5 kat artış olduğu ifade edilmektedir.



✓ Eğimin %15'den %28'e çıkması halinde mısır, buğday ve fındık ürünü altında oluşan erozyonda yaklaşık 1.5 kat bir artma olmaktadır. Eğim artışı %15'den %45'e çıktığında erozyon yaklaşık olarak mısır ve buğdayda 1.8 kat, fındıkta ise 2.5 kat olmaktadır.



Normal olarak erozyon, artan yamaç eğimi ve uzunluğuna bağlı olarak yüzey akışın hızı ve hacminin artışına paralel bir şekilde artar.

Düz bir yüzeyde yağmur damlaları toprak parçalarını tesadüfî olarak her yöne sıçratırlar ancak eğimli bir yüzeyde eğim aşağı sıçrayan taneler eğim yukarı olanlardan daha fazladır. Bunun oranı eğim artışına bağlıdır. Eğim ve erozyon arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle açıklanabilir:

$$E = 0.16 S^{1.49}$$

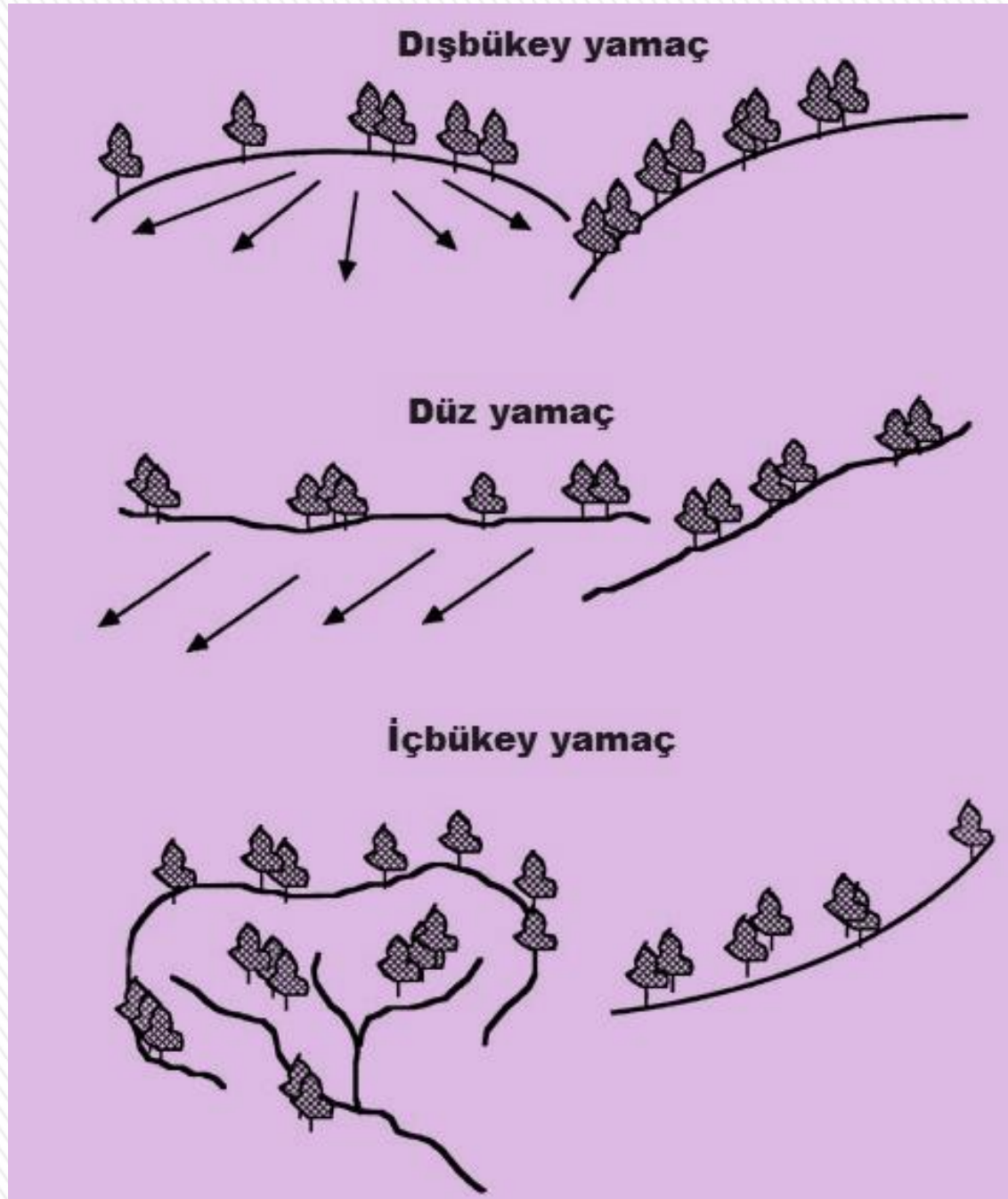
Burada; E, birim alandan oluşan toprak kaybı (ton/ha), S eğim (%)dir.

Yamaç uzunluğunun erozyon üzerindeki etkisi toprak ve yağış özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Nitekim, toz balçığı ve balçık toprağında yamaç uzunluğu ile erozyon artmış, kil toprağında ise azalmıştır. Musgrave ise şiddetli yağışlarda yüzeysel akış ve erozyonun yamaç uzunluğu ile arttığını, düşük şiddetli yağışlarda ise azaldığını bulmuştur.

✓ Yamacın eğimi ve uzunluğunun yanı sıra yamaç şekli de erozyon üzerinde etkilidir.

✓ Dışbükey (konveks), düz (üniform), içbükey (konkav) ve karma olmak üzere 4 yamaç şekli söz konusudur.

✓ Yamaç şekline bağlı olarak yüzeysel akış ve toprak erozyonu değişmektedir.

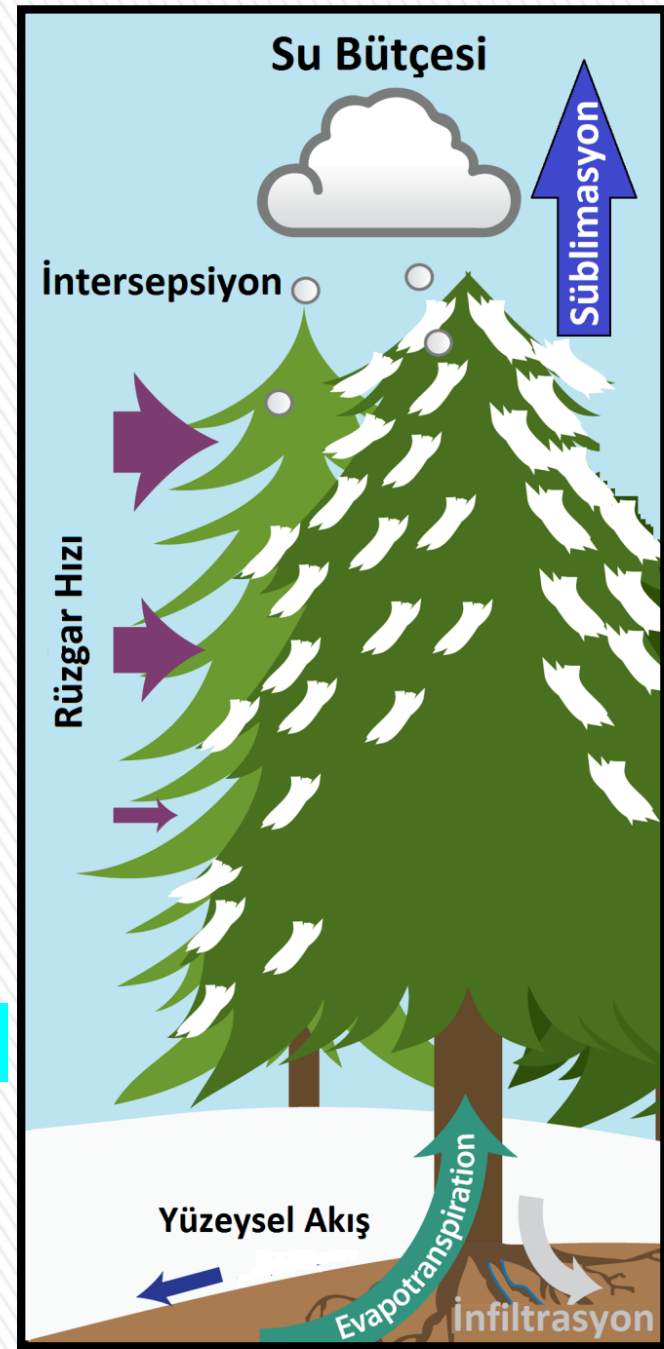


Bitki Örtüsü

Bitki örtüsü erozyon olayında en etkili faktördür. Sık ve kapalı bir toprak örtüsü oluşturan ağaç, çalı veya otsu bitkiler iklim, topoğrafya ve toprak gibi faktörlerin toprak erozyonu üzerindeki etkilerini değiştirecek veya büyük ölçüde azaltacak bir etkiye sahiptir.

Bitki örtüsünün erozyon üzerindeki etkileri;

1- Bitki örtüsü **intersepsiyonla** (a) toprağa ulaşan yağış miktarını, (b) şiddetini, (c) mekanik etkisini azaltmakta, gidermekte ve dolayısıyla (d) erozyonu önlemektedir.

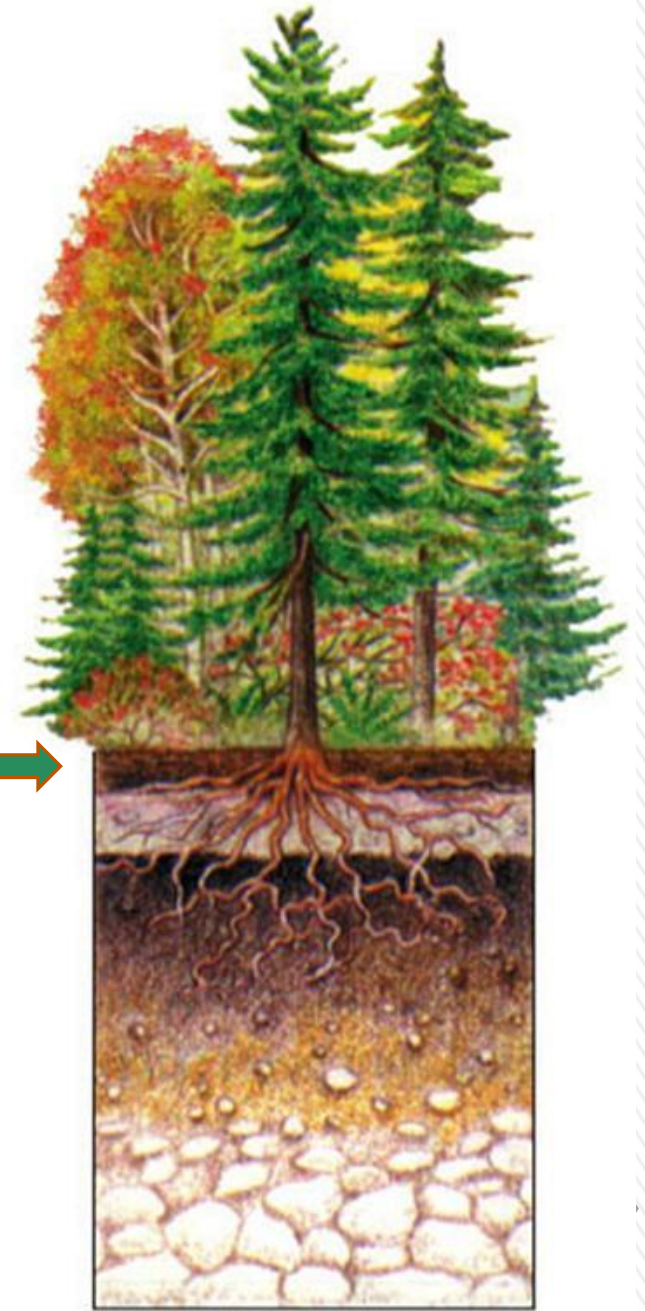


2- Özellikle doğal bitki örtüsünün toprak yüzeyinde biriktirdiği **ölü örtü** ile toprağı hem yağmur damlasının hem de orman tepe çatısından süzülen iri damlaların dövme etkisinden korumaktadır.



Ölü örtü en şiddetli yağmurları dahi toprağı tehlikesiz bir şekilde düşey olarak geçirebilmekte ve toprağın iletme kapasitesinin üstündeki fazla suyu yanlamasına kendi içinde ve arazi eğimi yönünde zararsızca iletmekte ve derelere ulaştırmaktadır.

➤ Ölü örtü en şiddetli yağışları kolaylıkla geçirebilecek permeabilite kapasitesine sahiptir. Örneğin çürüntülü mul veya mor tipi humus içeren bir iğne yapraklı orman ölü örtü tabakası 150mm/saat şiddetindeki yağışı kolaylıkla süzerek toprağa geçirmektedir.



➤ Ölü örtü **derelerdeki sel akımları frenlemekte**, dere hidrografındaki maksimum akımın yani tepe noktasının oluşma zamanının geciktirilmesinde ve buna bağlı olarak dere suyundaki **sediment yükü miktarında çok önemli azaltıcı etkiye sahiptir.**

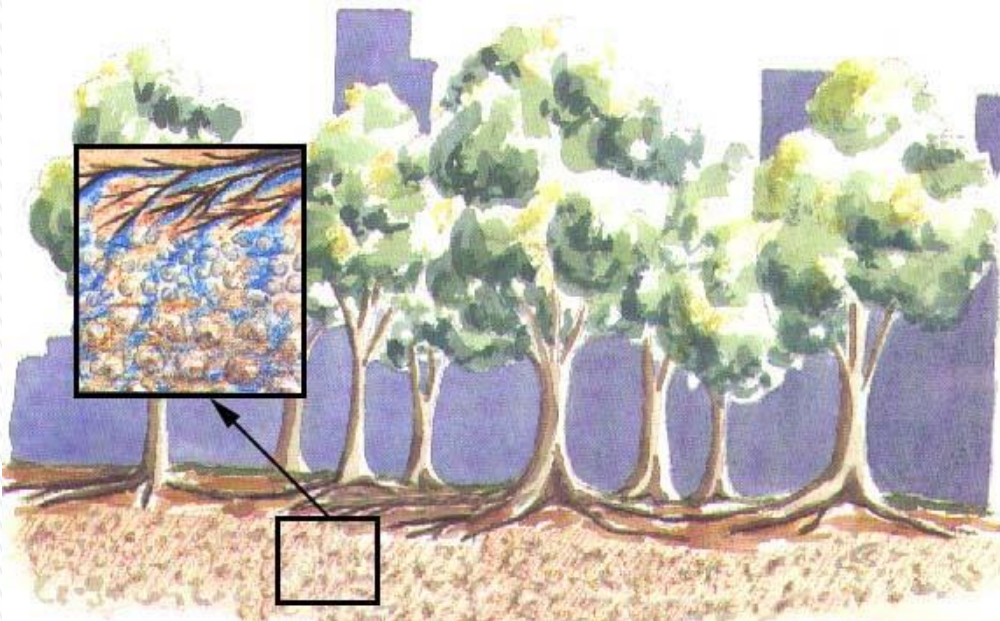
23mm/saat şiddetindeki bir yağışın aynı şiddet düzeyinde alttaki toprağa ulaşmasında;

➡ **6.5 cm kalınlığındaki ölü örtü 32 dakikalık gecikmeye**

➡ **24 cm kalınlığındaki ölü örtü 55 dakikalık gecikmeye neden olmaktadır.**



3- Kökleri, ölü örtü ve diğer organik artıklar ile toprağın strüktürünü iyileştirmekte ve böylece su tutma, infiltrasyon ve permeabilite kapasitesini artırmakta ve yüzeysel akış ile erozyonu azaltmaktadır.



4- Bitki örtüsü sıklık, kapalılık, boy ve diğer morfolojik özelliklerine bağlı olarak yüzeysel akışın önünde mekanik bir engel oluşturmaktadır.

5- Bitki örtüsü transpirasyonla toprak nemini azaltıcı, su depolama kapasitesini ve infiltrasyonu artırıcı, yüzeysel akış ve erozyonu azaltıcı bir etkiye sahiptir.

Tablo 4.4 : Arazi kullanma ve vejetasyonun toprak taşınması, yüzeysel akış ve infiltrasyona etkisi (Balcı, 1958).

Arazi Kullanma	Yağış mm	İnfiltrasyon		Yüzeysel Akış		Erozyon Ton/Ha	15 cm.lik bir toprağın taşınma süresi
		mm	%	mm	%		Yıl
Nadas	1336.2	591.7	44	744.5	56	16.014	122
Çayır	1336.2	855.6	64	480.6	36	1.360	1434
Orman	1336.2	1094.8	82	241.4	18	---	---

(İstanbul Elmalı Barajı havzasında % 15 eğimli bir arazide değişik arazi kullanma biçimlerinin yüzeysel akış, infiltrasyon ve erozyon üzerine olan etkileri isimli araştırma sonuçlarından (Balcı, 1958).