

## SUNİ YAĞMUR APEREYİ İLE TOPRAK ERODİBİLİTESİ TAYİNİ (METODOLOJİ)

Yazan :

Doç. Dr. Nihat BALCI

Toprak erozyonu bir çok faktörler kompleksi tarafından etkilenen tatli bir olaydır. İklim, vejetasyon ve topoğrafik faktörler bir yana bırakılırsa, çeşitli özellikleri ile «toprak faktörü» erozyon olayında başlı başına etkileyici bir unsur olarak kendisini belli eder. Nitekim, toprakları: 1) erozyona müsait (erodible soils veya erosive soils) ve 2) erozyona dayanıklı (nonerodible soils veya nonerosive soils) şeklindeki ayırmada da toprak özellikleri bir kriteriyum olarak kabul edilir.

Bu itibarladır ki toprakların fiziksel ve bazı kimyasal özellikleri ile alakalı bulunan erodibilitiyi, laboratuvar bulgularına dayanarak ifade edebilmek için bazı araştırmacılar tarafından çeşitli erodibilite indeksleri teklif edilmiştir. Bunlardan bazıları bugün bu maksatla kullanılmaktadır. Nitekim, Middleton tarafından ileri sürülen «dispersiyon oranı\*» «Kolloid - Rutubet Ekiyalanı oranı» «erozyon oranı» (Baver, 1956), ve Anderson tarafından teklif edilen «yüzey agregatlaşma oranı» (Andre and Anderson, 1961) ve yine Yoder tarafından geliştirilen «suda eleme» metodu ile bulunan, «suya dayanıklı agregatlar miktarı» veya kısaca

- \*) a) **Dispersiyon oranı:** Toprak numunesi saf suda bir süre çalkalandıktan sonra tayin edilen (toz + kil) miktarının, aynı toprakta usulüne göre tayin edilen (toz + kil) in toplam miktarına oranıdır.
- b) **Erozyon oranı:** Dispersiyon oranının, kolloid-rutubet ekiyalanı tarafından bölünmesine eşittir.
- c) **Kolloid - Rutubet Ekiyalanı oranı:** Toprakta mevcut kil ve daha küçük fraksiyonların toplam miktarının, rutubet ekiyalanına bölünmesi ile elde olunur.
- d) **Yüzey - Agregatlaşma Oranı:** Toprakta toz fraksiyonundan daha büyük daneciklerin  $\text{cm}^2/\text{gr}$ . şeklinde ifade edilen yüzey miktarının agregatlar halinde bulunan (toz + kil) miktarına oranıdır. Agregatlaşmış (toz + kil) miktarı ise aynı topraktaki total (kil + toz) miktarından, dispersleştirme yapılmadan tayin edilen (toz + kil) miktarını çıkarmakla elde olunur.

agregatlaşma gibi indexler ile, toprakların arazide müşahade edilen erodibilite eğilimleri arasında bağıntılar olduğu kabul edilmektedir.

Aralarında iklim farkları veya yağış ve sıcaklık farkları bulunan iki rejyonda, aynı jeolojik formasyon üstünde ve benzeri vejetasyon örtüsü altında teşekkül etmiş bulunan toprakların özellikleri ve bilhassa erodibilite karakteristikleri arasında istatistik önemde farkların mevcut olup olmadığını anlamak ve erodibilitayı etkileyen toprak özelliklerini tespit edip aralarındaki ilişkiyi kantitatif olarak bir denklem veya denklemler halinde geliştirmek maksadıyla eksperimental bir araştırma yapmış bulunuyoruz. Ancak burada erodibilitayı tayin etmek için yukarıda adı geçen indekslerin kullanılması yerine, plânlayıp geliştirdiğimiz ve inşa ettiğimiz bir sun'i yağmur apereyi ile, strüktürü bozulmamış toprak blokları üzerinde erozyon testleri yapılmıştır. İşte, bu tebliğde, araştırma sonuçlarının takdiri ve irdelenmesinden ziyade, araştırmanın metodu ve bilhassa yağmur apereyinin inşası, çalışma şekli ve bu metodla erodibilite tayinin nasıl yapıldığı anlatılacaktır.

### 1. Erozyon Testi İçin Sun'i Yağmur Apereyinin Planlanması ve Tesis

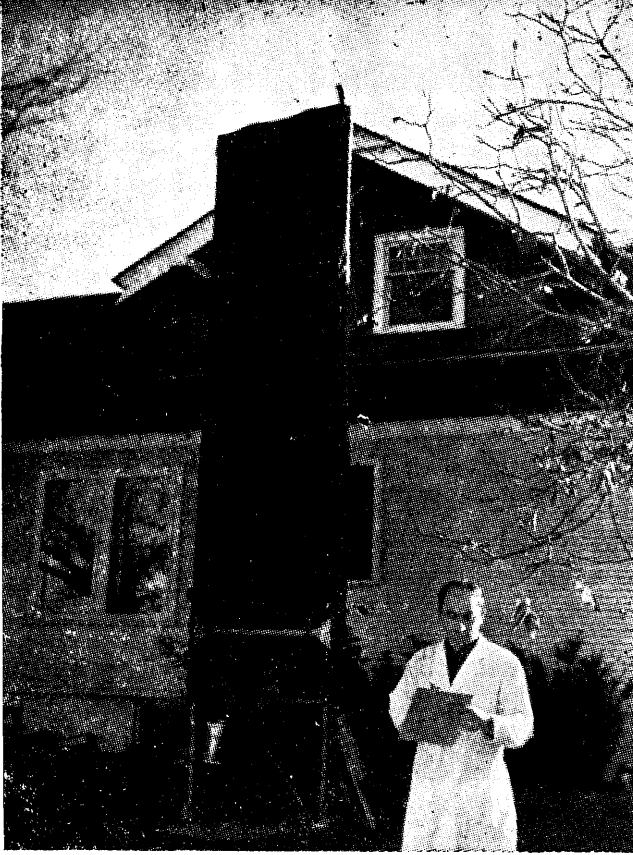
Farklı özelliklere sahip toprakları mukayese edebilmek ve aralarındaki varyasyonu inceleyebilmek için, bu toprakların benzer şartlar altında testlere tabi tutulması gerekmiştir. Zaten, bir populasyon içerisinde alınmış ve o populasyonu muayyen şartlar ve ihtimaller dahilinde temsil ettiği kabul edilen numuneler arasındaki varyasyonu ölçebilmek ve individüel numuneler arasında mukayeseler yapabilmek için bütün bu numunelerin aynı metodlarla teste tabi tutulmaları gerekir.

Araştırma probleminde de doğu ve batı Washington toprak populasyonlarını temsil eden toprak numunelerini birbirleri ile erodibilite bakımından mukayesesi için bu toprakları aynı şartlar altında teste tabi tutabilmek maksadı ile bir aperey geliştirmek gerekmiştir. Erozyon testi için geliştirdiğimiz bu apereyin sağlayacağı yağmur özelliklerinin bütün numuneler için aynı veya hiç değilse tekerrür eden testler arasındaki varyasyon emsali, (Coefficient of Variation) kabil-i ihmal olacak kadar küçük bulunması sağlanmıştır.

Bu sun'i yağmur apereyinde aranan vasıflar şunlar olmuştur: (1) mümkün olduğu kadar tabiattaki yağmur özelliklerine yakın yağmur meydana getirebilmesi, (2) meydana getireceği yağmur şiddetinin istenildiği şekilde ayarlanabilmesi, (3) apereyin meydana getireceği damla-

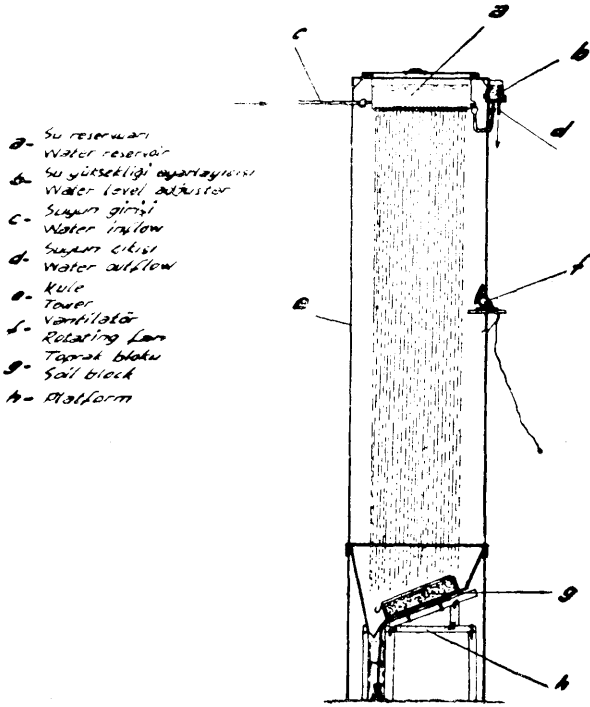
ların, tabii yağmurun yaratacağı kinetik enerjiye yakın olmasını sağlayacak şekilde bir limit hıza (terminal velocity) sahip olması, (4) damla büyüklüklerinin zamana veya denemelere bağlı olarak değişmemesi, (5) aperey muayyen bir yağmur şiddetine ayarlandığı takdirde, zamana ve denemelere bağlı olarak bu şiddetin değişmemesi, (6) apereyin kolay kullanılır, pratik ve ucuz olması.

Aperey genel olarak üç kısımdan meydana gelmiştir: (1) yağmur damlalarını meydana getiren nerezervuar kısmı, (2) yağmur damlalarına gerekli limit hızı verecek olan düşüşü sağlayan yükseklikteki kule ve (3) erozyon testine tabi tutulacak toprak bloklarının tesbit edileceği platform kısmı (Resim. 1) ve (Şekil. 1).



Resim : 1 Sun'î Yağmur Apereyinin Genel Görünüşü.

Photo : 1 A General View of the Rainfall Simulator



Şekil: Süni Yağmur Aparayının Genel Görünüşü.

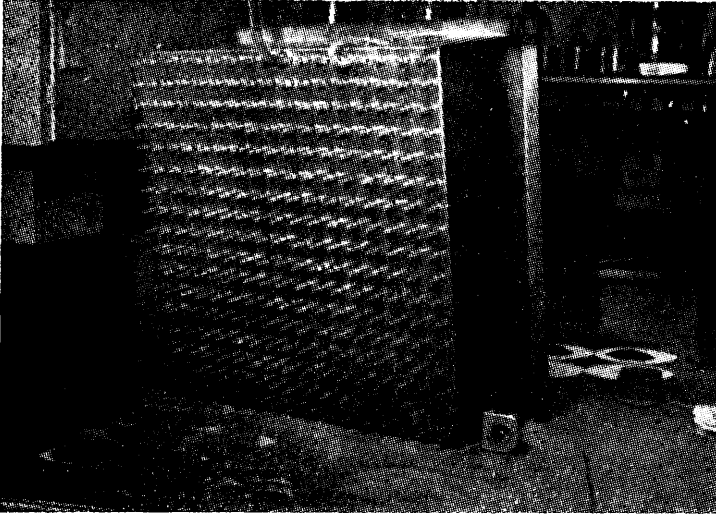
Figure: A general view of the Rainfall Simulator.

Şekil : 1

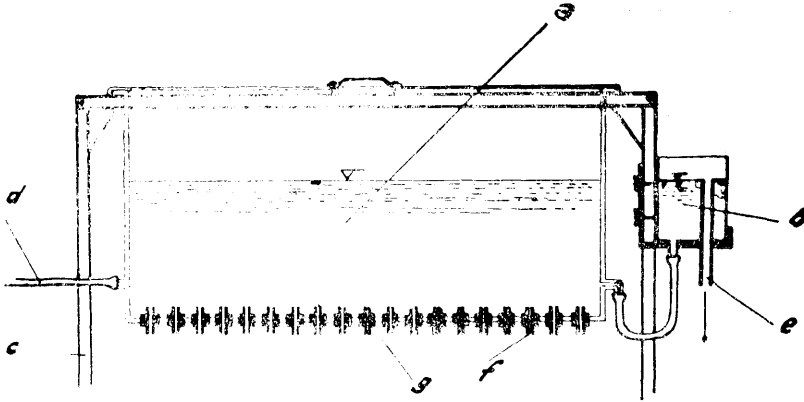
#### a) Yağmur apareyinin rezervuar kısmı :

Yağmur damlalarını meydana getiren rezervuar, apareyinin temel kısmını teşkil etmektedir. Bu rezervuar (75 × 75 × 40 cm.) boyutların da paslanmaz çelikten yapılmıştır (Resim. 2) (Şekil. 2).

Rezervuarın tabanındaki 75 × 75 cm. lik yüzey üzerinde her 2 × 2 cm. lik birim alana bir delik açılmış ve bu deliklere kılcal cam borular yerleştirilmiştir. Bu boruların boyları 4 cm. olup dış çapları 5 mm. ve deliklerinin iç çapları ise 0.3 mm. dir. Kılcal cam boruların bu deliklere su sızdırmayacak kadar sıkı bir şekilde tesbit edilmesini sağlamak maksadı ile, cam boruların bu deliklere temas edecek kısımlarına 1 cm uzunluğunda Tygan plastik tüpler (gömlekler) geçirilmiştir. Plâstik gömlekler geçirilmiş kılcal borular zorlanmak sureti ile bu deliklere



Resim : 2 Sun'i Yağmur Aperiinin Rezervuar Kısmı.  
Photo : 2 The Reservoir of the Rainfall Simulator.



Şekil:  
Figure:

Sun'i yağmur aperiinin rezervuar kısmı.  
The reservoir of the rainfall simulator.

- a. Su rezervuarı  
Water reservoir
- b. Su seviyesini ayarlayan  
float valve
- c. Kapa  
Tap

- d. Su girişi  
Water inlet
- e. Farklı suyun çıkışı  
Water outlet
- f. Kılcal cam boru  
Capillary tube

- h. T-jonksiyonu  
T-junction

Şekil: 2

yerleştirilmiştir. (Şekil. 2) ve (Resim. 2). Bütün cam borular rezervuar tabanının iç kısmında birer buçuk santimetre çapacak şekilde hepsi aynı seviyede tutulmuştur. Yazar tarafından planlanmış, geliştirilmiş ve

bizzat inşa edilmiş olan apereyin dayanmış olduğu esas prensip; bir kılcal boru ucundan elde olunacak damlaların bir zaman birimi içerisinde ki miktarının, bu boru içerisinde veya üzerinde bulunan su sütununun yüksekliğine yani hidrostatik basıncına bağlı olmasıdır. Bu böyle olunca, tabanına kılcal borular monte edilmiş olan rezervuar içerisindeki suyun yüksekliği, bu borular serisi tarafından meydana getirilen damlaların miktarı ve dolayısı ile bir yüzeye düşen sun'i yağmurun şiddetini tayin eden bir faktör olmaktadır. Böylece, rezervuarda bulunan suyun derinliğindeki bir değişme sun'i yağmurun şiddetindeki bir değişmeyi inşa etmektedir. Bu noktadan gidilerek su sütununun yüksekliği ile yağmur şiddeti arasındaki münasebet kalibrasyona tabi tutulmuş ve bu da rezervuar üzerindeki su yüksekliği göstergesinde bir iskala halinde gösterilmiştir. Böylece, bu apereyle ile 2.5 cm./sa. (0.4 mm/dak) ile 20 cm./sa. (3.3 mm/dak) şiddetleri arasında yağmur elde etmek mümkün olabilmektedir.

Bu apereyle çalışmada diğer bir husus da erozyon testi süresinde yağış şiddetini sabit tutmak yani su sütunu derinliğinin değişmezliğini sağlamaktır. Bunun için de suyun derinliğini sabit tutabilecek bir sistem düşünülmüştür. Su yüksekliği ayarlayıcısı diyebileceğimiz bu sistem basit bir konstrüksiyona sahiptir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, 8 - 10 cm. çapında ve 15 cm. yüksekliğinde plaxyglass bir silindirin tabanına iki adet 1.5 cm. çaplarında borular tesbit edilmiştir. Bunlardan bir tanesi silindir içerisinde 8 cm. kadar bir yüksekliğe sahip olup diğeri alttan bir tygan plâstik boru ile rezervuarın zemini ile irtibatlıdır (Şekil 2). Bu küçük silindir bir yuva içerisinde aşağı yukarı hareket edebilecek durumda olup, istenilen bir seviyeye ayarlanması mümkündür. Rezervuara alttan irtibatlı olan borudan gelen su yükselmeye başlayınca irtibatlı bulunduğu yükseklik ayarlayıcı silindir içerisindeki 8 cm. lik dışarı atım borusu seviyesine erişince, fazla olan su bu boru vasıtası ile dışarı atılır. Böylece, rezervuara gelen suyun bir kısmı rezervuar tabanındaki kılcal borulardan geçecek yağış haline dönüşürken fazla su da rezervuarda birikmeyip küçük silindirdeki dışarı atım borusu ile taşınır gider. Bu suretle rezervuardaki suyun seviyesi yükseklik ayarlayıcı silindirdeki dışarı atım borusu seviyesinde sabit tutulur.

Bu apereyle elde edilmiş sun'i yağmurun bilinen nitelikleri şunlardır: (1) yağmurun şiddeti, (2) yağmurun süresi, (3) yağmur danesinin çapı yani büyüklüğü, Yağmurun şiddeti ve süresi istenildiği şekilde kontrol edilebilmektedir. Yağmur damlalarının çapı ise kılcal borunun boyuna, dış ve iç çapına ve su sütununun yüksekliğine bağlı kalmakta-

dır. Nitekim, rezervuara monte edilen kılcal cam borunun uzunluğu artınca içinde geçecek olan suya karşı direnç yüzeyi de artmaktadır. Bu itibarla elde olunacak yağmur şiddetleri gözönünde tutularak her borunun kendi boyu ve muhtelif su sütunu derinlikleri yani hidrostatik basınçlar altındaki damla verimleri incelenmiştir. Böylece her bir borunun damla verimi yani bir birim zaman içerisindeki damla adedi belli olduktan sonra bu boruların rezervuar tabanındaki dağılışı miktarı kolaylıkla hesaplanmıştır.

Muayyen şiddetlerdeki yağmur damlalarının büyüklükleri de deneylerle tesbit edilmiştir. Yağmur damlalarının büyüklüğü 3 mm. ile 5 mm. arasında değişmektedir. Bu da damlaların ağırlıklarından hacme geçmek suretiyle bulunmuştur. Çeşitli literatürde belirtildiği gibi tabii yağmur damlalarının çapları 0.01 mm. ile 7.0 mm. arasında değişmektedir (Blair, 1957), (Kittridge, 1948) ve (Laws, 1940).

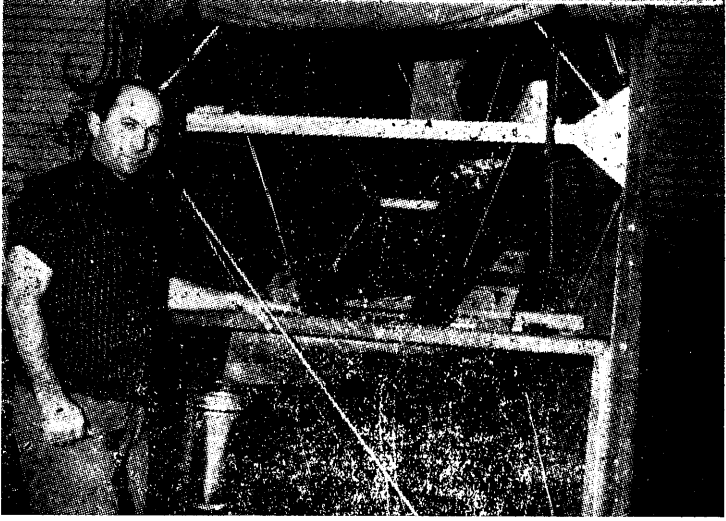
Erozyon testlerinde kullanılan 15 mm/10 dak. şiddetindeki yağmurda damlaların ortalama çapı ise 4 mm. olarak bulunmuştur. Bunun bulunması da kurutma kâğıdı metodu ile yapılmıştır. Yağış esnasında büyük bir tabaka kurutma kâğıdı pek kısa aralıkla yağmur altında tutulmuş ve sonra kâğıt tarafından absorbe edilmiş damlaların daire şeklindeki izlerinin çapları ölçülmüştür (Laws, 1940). Daha önce yapılmış deneylerle tesbit edilmiş olan, damla büyüklüğü ile izler arasındaki münasebetten faydalanarak yağmurdaki damlaların büyüklüğü hesaplanmıştır.

Yağmur şiddetleri ile rezervuardaki su sütununun yüksekliği (hidrostatik basınç) arasındaki münasebetler de incelenerek aralarındaki korrelasyon ve regrasyon ilişkileri Şekil. 3'de ve Tablo. 1'de verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi suyun derinliği yani hidrostatik basınç arttığı zaman buna bağlı olarak yağmur şiddeti de artmaktadır. Bu iki değişken arasında pozitif bir korrelasyon münasebeti vardır. Korrelasyon emsali  $r = 0.981$  olup, yüksek bir asosiyasyonu ifade eder. Nitekim, korrelasyon emsalinin (correlation coefficient) önemlilik (significant) derecelerini veren istatistik tablosuna bakıldığında, bunun 0.001'ine de üstünde olduğu görülür. Bu da gösterirki,

$$(15 \text{ mm}/10 \text{ dak}) = (1.5 \text{ mm} / \text{dak})$$

bu iki değişken arasındaki münasebet ancak 0.001'den daha az ihtimalle tesadüfen olmuştur. Korrelasyon emsalinin karesi olan  $r^2 = 0.962$  arasındaki münasebeti daha güzel izah etmektedir. Bu değer göstermektedir ki yağmur şiddetinde ki değişimin (variation) % 96'sı, su sütununda

meydan gelecek bir değişimle etkilenmekte veya meydana gelmektedir (Finney, 1953). Gerçi korrelasyon bir «sebeb ve netice» münasebetinden ziyade değişgenler arasında «ilişkilik'i» gösterir. Fakat burada, yağmur şiddetinin su sütünü yüksekliğine bağlı olarak değiştirdiğini yani bir sebeb - netice münasebetinin bulunduğunu deneylerle biliyoruz. Bu itibarla bu ilişkiyi daha iyi gösteren bir regrasyon denkleminin irdelenmesi ve manası üzerinde durulacaktır.



Resim : 3 Yağmur Apereyinin Platform kısmı ve Toprak Blok'u (Test'den Önce)  
Photo : 3. The Platform of the Rainfall Simulator and the Soil Block (Before the Test).

Şekil. 3'de görüldüğü gib hidrostatik basınç\* ) ile yağmur şiddeti arasında, bir doğru münasebetini gösteren regrasyon denklemi :

$$Y = 0.95 + 0.62 X$$

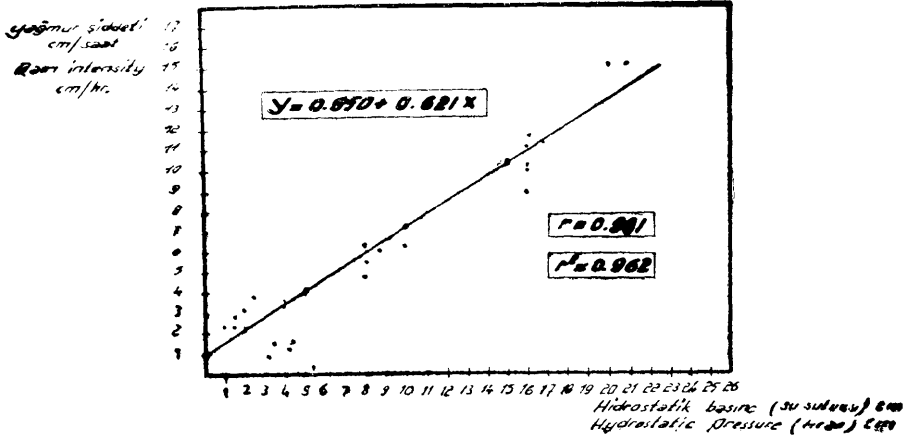
aynı zamanda bir prediksyon denklemi mahiyetindedir. Bu denkleme göre X'in değerinde meydana gelecek bir birim değerindeki değişme, Y nin değerinde 0.62 kadar bir değişme husule getirecektir. Bu demektirki su sütununun yüksekliğinde vuku bulacak 1 cm. lik bir değişme, yağmur şiddetinde 0.62 cm/sa. kadar bir değişikliğe sebeb olacaktır. Buna rağmen, her erozyon testinde önce yağış şiddeti kontrolü yarabaz ve bazı gerektiği hallerde, su seviyesi düzeltilmesine gidilmiştir.

(\*) Hidrostatik basınç P : (Weber, White and Mannig, 1952)  
 $P = W/A$      $W = gm$      $A = cm^2$   
 $W = h A D$      $h = cm$      $D = gm/cm^3$  o halde  $P = h D$   
 Fakat burada su için  $D = 1$  dir. O halde  $P = h$



**TABLO: 1 HİDROSTATİK BASINÇ (SU SÜTUNU) İLE YAĞMUR ŞİDDETİ ARASINDAKİ MÜNASEBET**  
**TABLE RELATION BETWEEN HYDROSTATIC PRESSURE AND RAIN INTENSITY**

Su Sütunu cm. Had	Yağmur Şiddeti cm./sa. Rain Intensity	Su Sütunu cm. Had	Yağmur Şiddeti cm./s. Rain Intensity
1.0	2.3	8.0	6.1
1.4	2.3	8.0	5.6
1.5	2.8	8.0	4.9
2.0	2.1	8.0	6.3
2.0	2.3	8.7	6.1
2.0	2.3	10.0	1.3
2.0	2.4	10.0	7.2
2.0	2.4	16.0	11.1
2.0	3.1	16.0	10.0
4.0	3.3	16.0	10.0
4.0	3.5	16.0	8.8
4.0	3.7	20.0	15.0
5.0	3.9	20.0	15.0
5.0	3.9	20.8	15.0
8.0	5.6		



**Şekil** Hidrostatik Basınç (su sütunu) ile yağmur şiddeti arasındaki münasebetler.  
**Figure** Relation between Hydrostatic Pressure and rain intensity.

### b) Yağmur apareyinin kule kısmı :

Apareyin ikinci kısmı 10 m. yüksekliğindeki bir meteoroloji kulesi-  
sidir. Meydana getirilecek yağmur damlalarının tabiatta vuku bulan  
yağmurun sahip olduğu kinetik enerjiye erişmesi için gerekli bir düş-  
me yüksekliğine ihtiyaç vardır. Daha önce yapılmış tecrübelerle göre,  
yağmur daneleri limit hızlarının % 95'ine erişebilmeleri için en az 8 m.  
lik bir serbest düşüğe sahip olmaları gerekmektedir (Laws, 1941).

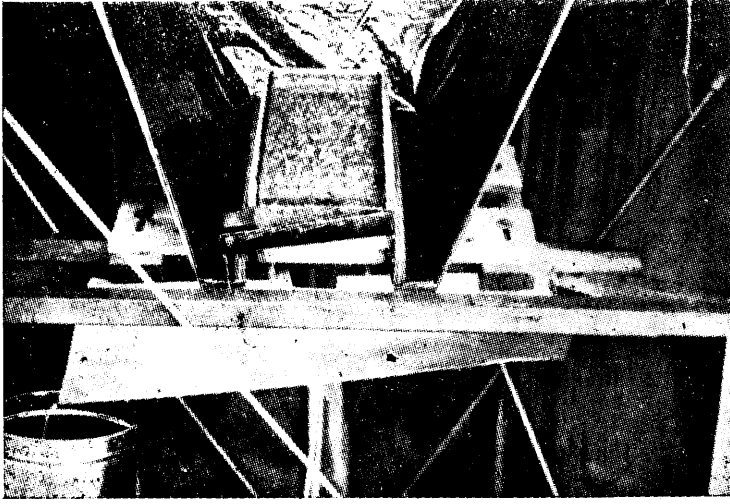
Resim. 1 ve Şekil 1'de görüldüğü gibi rezervuar kulenin üst tarafı-  
na monte edilmiştir. Deneyle sırasında yaki olacak rüzgâr ve diğer ha-  
va akımlarından yağmurun etkilenmemesi için kulenin etrafı kalın  
bir çadır bezi ile sarılmıştır. Böylece yağmur damlaları dış etkilerden  
uzak ve turbulent olmayan bir atmosferde vertikal düşüşlerini yapabili-  
mektedir. Ancak, ilk nazarda bir problem gibi görünen ve her bir kılcal  
buğunun meydana getirdiği damlaların teste tabi tutulan toprak yüze-  
yinde hep aynı noktayı dövmesi keyfiyeti de önlenmiştir. Kulenin içe-  
sinde yarı yüksekliğindeki bir seviyeye bir vantilatör yerleştirilmiştir.  
Vantilatör test süresince 170° - 180° lik bir açı içersinde sağa ve sola  
doğru otomatikman hareket edebilmektedir. Bu suretlede önünde düş-  
mekte olan yağmur damlaları gurubunu kendi rotasyonun zamanı ve de-  
recesi nisbetinde hareket ettirmektedir. Yağmur damlalarına verilen  
bu hareket sayesinde toprak yüzeyi sabit noktalarda dövülmemektedir.

### c) Yağmur apareyinin platform kısmı :

Apareyin üçüncü kısmı kulenin alt tarafında bulunan ve yerden  
bir metre yükseklikteki platformdur. Resim 3, 4 ve Şekil. 4, 5'de görü-  
ldüğü gibi, toprak bloklarının içinde buldukları sandıkların yan ke-  
narları ile birlikte uyabilecek şekilde oturtulacakları 30° meyili bir kı-  
sım yapılmıştır. Bu kısmın etrafı ve yanları plastik bir tabak ile çevril-  
miştir. Bu suretle toprak yüzeyine çarpan yağmur damlalarının darbe  
tesiri ile parçalanıp ve etrafa saçılan toprak parçacıkları yıkanarak  
esas toplanma kabına gitmektedir.

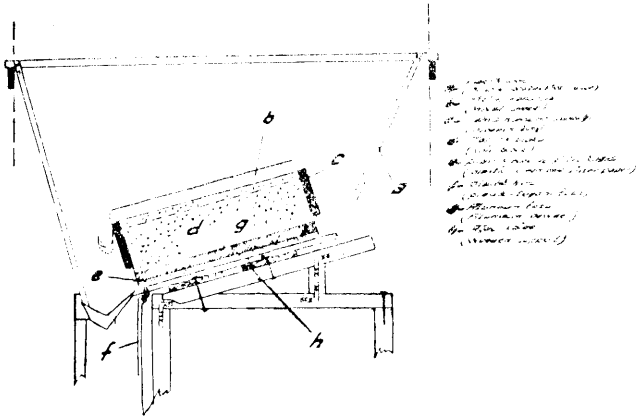
Toprak blokunun etrafını çeviren plastik örtünün ön tarafa gelen  
kısmı çıkarılıp takılabilir şekilde yapılmış olup, böylece toprak blokla-  
rının platforma konulup alınması mümkün olabilmektedir. Ayrıca top-  
rak blokunun ön tarafına monte edilebilen bir oluk da yüzey akışını ve  
taşınan toprağı alt oluğa ve dolayısı ile toplama kabına iletmektedir.

Bunlardan ayrı olarak da bir toprak profilindeki drenaj şartlarını  
temsil eden ve hiç değilse testlerde aynı drenaj şartlarını sağlayan bir



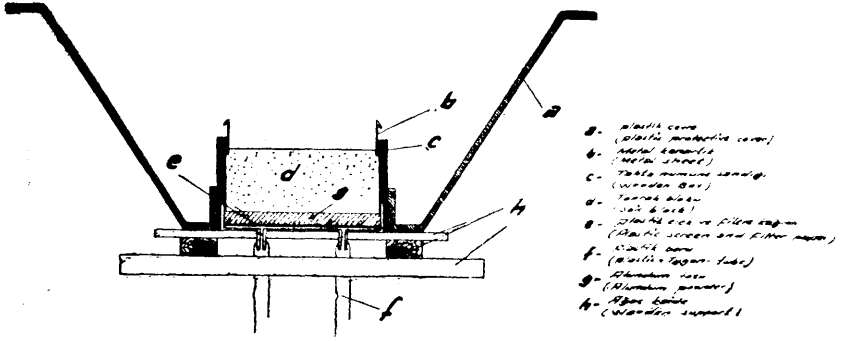
Resim : 4 Yağmur Apereyinin Platform Kısmı ve Toprak Blok'u (Test'den Sonra).

Photo : 4 The Platform of the Rainfall Simulator and the Soil Block (After the Test).



Sekil-8 Suni yağmur aletinin platformu ve toprak blokünü yandan görünüşü.  
Figure-8 The longitudinal section of soil block on the platform of the rainfall simulator.

gerilim lizimetresi de toprak blokunun altına yerleştirilmiştir (Şekil. 4, 5) (Cole, 1963) ve (Cole, Gassel and Held, 1961). Bu lizimetre (Tension Lysimeter) toprak blokunun boyutlarına göre özel olarak inşa edilmiştir.



**Şekil 5** Suni yağmur aletinin platformu ve toprak blokunun üstten görünüşü.  
**Figure 5** The cross sectional view of soil block on the platform of the rainfall simulator.

Şekil : 5

Suyun toprak içerisindeki hareketini incelemek üzere yapılan çalışmalarda daha ziyade klasik tip lizimetreler kullanılmakta idi. Fakat bu çalışmalarda toprak - hava birleşim (temas) yüzeyi (Soil - air interface) bakımından bazı mahzurlar ortaya çıkmıştır. Meselâ, bu klâsik lizimetrelerde toprak - hava temas yüzeyi tesiri ile normal drenaj azalmaktadır (Cole, Gassel and Held, 1961). Çünkü lizimetrenin çıkış yerine yakın olan toprak sütununun alt tarafı tamamen doymuş hale geldiği zaman ancak normal drenaj vuku bulabilmektedir. Bu da gösteriyor ki lizimetre içerisindeki toprak sütununun altında devam eden bir profil olduğu hale nazaran daha az bir drenaj vuku bulmaktadır. (Cole, Gassel and Held, 1961).

Cole (1957) tarafından geliştirilmiş olan bu gerilim lizimetresi de yukarıdaki sebepler dolayısı ile bu araştırmada kullanılmıştır. Bu lizimetre poröz alundum (alüminyum oksit) tozundan yapılmış olup su ile doyurulduğu zaman 200 cm. lik bir su sütununun emmesini tutabilmektedir. Yani bu lizimetrenin hava kaçırma değeri (air - entryvalue) 0.2 atmosfer civarındadır (Cole, 1957). Böylece, tarla kapasitesinde bulunan bir topraktaki kapilar kuvvetlere karşı lizimetre tarafından negatif bir gerilim yani emme tatbik edilmektedir. Eğer yağmurdan sonra suyun

artması ile toprak içerisindeki gerilim azalırsa, toprakta tarla kapasitesi şartları teessüs edinceye kadar lizimetre sızmakta olan suyu almaktadır (Cole, Gessel and Held, 1961). Yazarlar tarafından da belirtildiği gibi lizimetre tarafından toprağa devamlı şekilde ve aynı seviyede bir negatif gerilim tatbik edilmesi, drenaj devresinin ilk safhasında vaki olabilecek bir sızmanın emilmesine yol açacağı için mahzurlu görülebilmektedir. Fakat bu mahzur ağır topraklar için varid olabilirse de, drenajı iyi olan hafif topraklarda bu hata dikkate değer değildir.

Araştırmalarımıza konu olan topraklar da kum taşından oluşmuş hafif topraklar olduklarından böyle bir hata da varid değildir. Halbuki bu sistem vasıtası ile bütün topraklar aynı iç gerilim şartları altında erozyon testine tabi tutulmuşlardır.

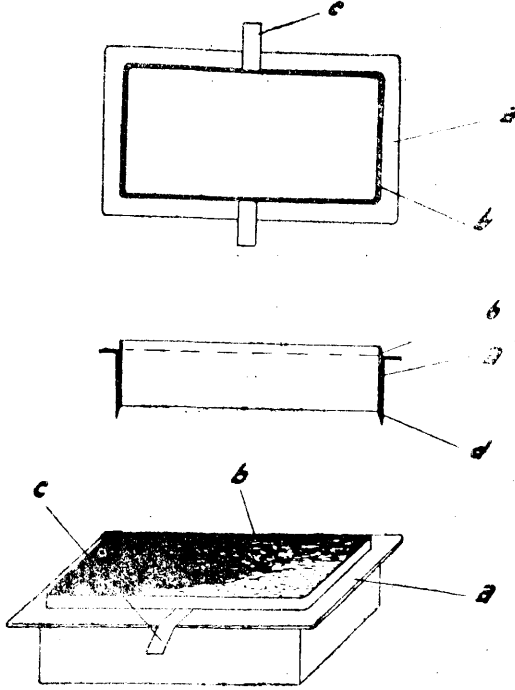
#### 3) Erozyon testi için toprak bloklarının alınması :

Doğu ve Batı Washington'un benzer ana kaya üzerinde oluşmuş ve aynı ağaç türü ve meşçere özelliklerinin tesir altında gelişmiş topraklarını erodibilite karakteristikleri bakımından eksperimental olarak mukayese edebilmek için bu toprakları aynı şartlar altında test'e tabi tutmak gerekmiştir. Öyleki, bütün numunelerin tabi tutulduğu test'de diğer şartlar aynı olduğu halde, test'in objesi olan toprak faktörü değişgen olarak kalmıştır. Bu yönde plânlanmış olan araştırmada sun'i yağmur apereyi ile  $40 \times 20$  cm. boyutlarında bir toprak yüzeyinin erozyon testine tabi tutulması kararlaştırılmıştır.

Bu maksatla,  $40 \times 20 \times 10$  cm. boyutlarında strüktürü bozulmamış toprak bloklarının alınmasını sağlayacak bir çelik çerçeveye inşa edilmiştir. Şekil. 6da görüldüğü gibi 1.5 mm. lik paslanmaz çelikten yapılmış olan çerçevenin üst tarafı 2 cm. eninde dışarıya doğru yan kenarlara dik durumda kıvrılmıştır. Çerçevenin alt kenarı ise bir bıçak ağzı gibi keskinleştirilmiştir. Bu numune alma çerçevesinin iç kısmına uyabilen ve çerçevenin iç alt kenarındaki küçük bir eşiğe oturan ince bir metal gömlek vardır (Şekil. 6).

*Pseudotsuga menziesii* türleri ile kaplı ve ana taşı kumtaşı olan kuzey maalelerde açılmış toprak profillerinin yerleri tesadüfi (random) metodla tayin edilmiştir. Burada daha profil kazılmadan önce içinde, metal gömleği olan çelik çerçeve uzun eksenini meyil istikametinde olduğu halde keskin kenarı zemine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu durumda iken çerçevenin üst tarafına kenarları taşarak intibak eden kalın tahtası konmuş ve bir ağaç tokmakla vurulmak suretiyle çok sars-

madan çerçeve toprağa gömülmüştür. Çelik çerçeve daha yüksekliğinin yarısına kadar toprağa gömülü iken, çerçeve alanı içerisinde kalan orman ölü örtüsü itina ile alınmış ve torbalara yerleştirilmiştir. Böylece ölü örtü altında kalan mineral toprak tamamen meydana çıkarılmıştır. Bu durumda çelik çerçeve, üst kenarı mineral toprakla beraber olunca ya kadar aşağıya doğru gömülmüş ve daha sonrada etrafı kazılmak



Şekil: Toprak bloklarını almak için kullanılan çelik çerçeve.

Figure: Stainless steel frame for testing soil blocks.

- |   |  |
|---|--|
| a- Çelik çerçeve<br>stainless steel frame | c- Blok çıkarma için<br>Hızlıca kırılarak blok çıkarılır |
| b- Metal gömlek<br>metal lining           | d- Blok gömleği oturduğu çukur<br>a small groove         |

Şekil: 6

suretile toprak bloku içerisinde olduğu halde çıkarılmıştır. Çerçeve içerisindeki toprak bloğunun alt tarafı bir büyük bıçak ile düzeltildikten sonra özel olarak imal edilmiş aynı boyutlardaki bir sandığa metal gömlek etrafında olduğu halde yavaşça yerleştirilmiştir. Böylece çelik çerçeve içerisindeki metal gömlek toprak bloğunun etrafında kaldığı

için blok'un bozulmadan sandık içerisinde nakli sağlanmıştır. Sandığın özel kapağı, üzerine vidalanmış ve bütün nünuneler bu şekilde tabii strüktürü mümkün olduğu kadar bozulmadan lâboratuvara getirilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi her profilin üst toprağından izah edildiği şekilde iki adet blok nünune alınmıştır. Lâboratuvara getirilen sandıkların kapakları açılmak suretile toprak blokları hava kurusu hale getirilmiştir.

## 2. Toprak Bloklarının Sun'i Yağmur Altında Erozyon Testine Tabi Tutulması :

Toprak nünuneleri lâboratuvara getirildikten sonra özel sandıklarının üst kapakları açılmak sureti ile küflenmemeleri temin edilmiş ve hava rutubeti ile denge haline getirilmiştir. Ancak, bütün toprak bloklarının aynı veya hiç değilse benzer şartlar altında teste tabi tutulmalarını sağlayabilmek için toprak içi rutubet gerilimlerini de benzer hale getirmek gerekmiştir. Zira toprağın rutubet miktarı ve bunun toprak tarafından tutulma gerilimi toprak erozyonu ve satini akış olaylarında önemli faktörlerdir (Baver, 1956).

Bu itibarla toprak blokları önce su ile doymuş hale getirilmiştir. Daha sonra doymuş halde bulunan toprak bloku 0.1 atmosferik bir gerilim tatbik edilmiş olan özel şekilde yapılmış gerilim lizimetresine konmuştur. Bu suretle gravitasyonel suyun drenejı sağlanmış ve lizimetrenin çıkışında su verimi sona erdiği zaman toprak suyunun vertikal akışı da durmuş ve bir denge meydana gelmiştir. Bu suretle bütün nünuneler aynı işleme tabi tutulduğu için erozyon testine maruz kalmadan önce nünunelerin rutubet gerilimi hep aynı olmuştur.

Nünune böylece teste hazır duruma getirilirken diğer taraftan da yağmur apereyi gerekli yağışı sağlaması için harekete geçilip, rezervuardaki su seviyesi 15 mm/10 dak. lık yağmur için ayarlandıktan sonra, ayrıca da platform üzerinde yağış şiddeti ölçülmüştür. Böylece, günlük sıcaklık değişmelerinin suyun viskositesinde yaratacağı fark sebebiyle yağmurun şiddetinde olacak muhtemel değişmeler dikkate alınmıştır. Bu nokta da ayrıca incelenmiş ve böyle bir değişimin istatistiki bakımdan önemi irdelenmiştir. Zira, bu apereyden beklenen özelliklerden birisi de yağmur şiddetinin bütün nünunelere değişmeden tatbikidir. Aperey, 15 mm/10 dak. şiddetindeki yağmura ayarlanmış iken başka başka zamanlarda yapılan yağmur ölçmeleri arasındaki varyasyon tesbit edilmiştir.  $N = 21$  ölçmede varyasyon emsali % 0.8 gibi çok küçük bir değer bulunmuştur.

Teste hazır bir duruma gelmiş olan toprak bloku, lizimetre üzerine oturtulmuş olarak kulinin dizindeki özel platforma yerleştirilmiştir. Bu durumda iken kronometreye bakılarak üstte bulunan ve platformu yağmurdan koruyan tahta levha çekilmek suretiyle toprak bloku yağışa arz edilmiştir. Böylece nümune 15 mm/10 dak. (1.5 mm/dak) lık yağmura 10 dakika süre ile maruz bırakılmıştır. Meydana gelen sathi akış suyu ve taşınan toprak materyali aşağıdaki toplama kabında toplanmıştır. On dakikalık müddet sonunda yine aynı usulle yağmurun toprağı döğmesi kesilmiş ve nümune çıkarılarak ikinci bir deneye hazırlık başlamıştır.

Bu testlerde lizimetrenin kullanılmasındaki ikinci sebep de, infiltrasyonla toprağı intikal edebilecek suyun lizimetre çıkışında ölçülebilmesidir. Ancak, bütün testlerde de toprağı sızan suyun miktarı ihmal edilecek kadar az olmuştur. Bu itibarla da sadece taşınan toprak miktarı ölçülmüş ve her toprak için bir erodibilite indeksi olarak kabul edilmiştir.



**Evaluation of Soil Erodibility  
by Using Rainfall Simulator  
(Metodology)**

**by**

**Ali Nihat Balcı<sup>1)</sup>**

Soil erosion as a natural phenomenon is influenced by a complex of several factors. Soil formation among the others is of course a primary factor. Since, erodibility of a soil is dependent upon its properties, soils may be classified as ; (1) erodible soils which are susceptible to erosion and (2) nonerodible soils which are said to be resistant to erosion.

It is also widely known that various investigators have suggested various erodibility indexes which are related to physical and some chemical soil properties based on laboratory determinations. Some of these are presently being used. However, Middleton's Dispersion Ratio Erosion Ratio, and the Ratio of Colloid Content to Moisture Equivalent Anderson's Surface-Aggregation Ratio, and amount of Water Stable Aggregates were found to be related to the erosional behavior of soils observed in the field.

In order to study and compare the soils of Eastern and Western Washington, in terms of their properties and erodibility, and to investigate the relationships between the soil properties and erodibility and to develop a prediction equation for erodibility this study encompassing soils from both Eastern and Western Washington was initiated.

In this study however, a rainfall simulator technique developed and constructed by the author was employed to determine the soil erodibility, instead of using aforementioned erodibility indexes. Therefore,

---

<sup>1)</sup> Doctor of Forestry Sciences, University of Istanbul, Ph. D., University of Washington, U.S.A.

Associate Professor of Watershed Management University of Istanbul.

the selected topic in this paper is confined to the presentation of the rainfall simulator, its design, construction characteristics and the basic principles, rather than the discussion of the research results.

Duplicate undisturbed soil blocks ( $40 \times 20 \times 10$  cm.) were also taken from the surface soil by means of a stainless steel cutting frame which included a soft metal lining designed by the author. After the removal of forest floor, the frame was inserted into the mineral soil. The soil block then was excavated, and the sample in the metal lining was placed into a special box and brought to the laboratory. These samples were later used for erosion tests (Figure 6).

A rainfall simulator was designed and constructed to produce various intensities of rainfall ranging from 2.5 cm/hr. to 20 cm/hr (Figure 1,2 and Photo. 1,2). The apparatus comprises a water reservoir ( $75 \times 75 \times 40$  cm.) made of stainless steel with small capillary tubes mounted on the bottom as the source of water drops. The water drop delivery rate or intensity of rain varied with the hydrostatic pressure in the reservoir. This was controlled by adjusting the head of water in the reservoir. (Photo. 2, Figure. 2).

The rainfall simulator was placed at the top of a 10-meter weather tower. This height was used to obtain a kinetic energy sufficient for the waterdrops to approach the energy level of rain drops. It is believed that, an 8-meter fall allows each drop to attain nearly 95 per cent of its terminal velocity (Laws, 1941). The sides of the tower were covered with a heavy canvas to protect the falling rate and pattern of waterdrops from wind and air convection. A rotating fan was installed at the mid-point of the tower to move the fallign drops in a controlled manner and prevent them from striking the same spots on the soil surface.

Soil blocks were saturated and placed on a specially constructed tension lysimeter maintained at 0.1 atmosphere. After attaining the equilibrium between moisture tension in the soil block and the tension of the lysimeter, the sample on the lysimeter was set on a 30° platform at the bottom of the tower and a catchment basin was constructed around the block in order to collect the splashed soil particles (Photo. 3 and 4, Figures 8 and 9). All samples then were tested under 15 mm 10 min. rainfall for a 10-minute period. The eroded soil particles were collected in a container, oven dried and weights used as a measure of erodibility.

## BIBLIOGRAFYA

**Andre, J. E., and Anderson 1961**

Variation of Soil Erodibility with Geology ,  
Geographic Zone, Elevation, and Vegetation Type in Northern California  
Wildlands

Journal of Geophysical Research Volume 66, No. 10.

**Baver, L. D., 1956**

Soil Physics. John Wiley and Sons, Inc. New -York.

**Blair, T., Revised by C. Fite, 1957**

Weather Elements.

4th edition, Englewood Cliffs, N. J. 414 pp.

**Cole, D. W., 1963**

Release of Elements from the Forest Floor and Migration Through  
Associated Soil Profiles (A Lysimeter Study).

Ph. D. Thesis, University of Washington, Seattle, Washington, U.S.A.

**Cole, D. W., 1957**

Alundum Tension Lysimeter.

Soil Science, Vol. 85, No. 6

**Cole, D. W., Gessel, S. P. and Held, E. E., 1961**

Tension Lysimeter Studies of Ion and Moisture Movement in  
Glacial Till and Carol Atoll Soils.

Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 25, No. 4. pages. 321 - 325.

**Finney, D. J., 1953**

An Introduction to Statistical Science in Agriculture.

Ejnar Munksgaard - Copenhagen, John Wiley and Sons, Inc. New York.

**Kittredge, J., 1948**

Forest Influences.

McGraw - Hill Book Company, New York, 394 pp.

**Laws, Otis, S., 1940**

Recent Studies in Raindrops and Erosion.  
Agricultural Engineering Vol. 21, No. 11. p. 431-433.

**Laws, T. V., 1941**

Measurements of the Fall-Velocity of Waterdrops and  
Raindrops. Trans. American Geophysical Union, 22, 704-721.

**Middleton, H. E. 1930**

Properties of Soils Which Influence Erosion.  
U.S.D. A. Tech. Bul. 178; 1-16.