

Toprak Erozyon Çalışmaları İçin Bir Yapay Yağmurlama Aletinin Tasarım Prensipleri ve Yapay Yağış Karakteristikleri

Günay ERPUL¹

Mustafa R. ÇANGA¹

Geliş Tarihi: 30.11.2000

Özet: Bu araştırmanın amacı, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Araştırma Laboratuvarında kurulan bir yapay yağmurlama aletinin tasarım prensipleri ve teknik özelliklerini tanımlamak ve oluşturulan yapay yağışların karakteristiklerini incelemektir.

Yapay yağmurlama aletinin ana parçaları açıklanmış olup damla oluşturuçularının detayı ve uniform bir yağış elde edebilmek amacıyla damla oluşturuçuların uygulama tankı içerisindeki yerleşim planı verilmiştir.

Yağış karakteristikleri olarak intensite, damla büyüklüğü, damla düşme hızı ve kinetik enerji incelenmiştir. Yağmurlama havzasındaki yağış intensitesinin dağılımı uniformite katsayısı (Cv) ile değerlendirilmiştir. Cv değerleri çoğunlukla %80'nin üzerinde bulunmuş ve yağmurlama havzasında yağış dağılımının uniform olduğu saptanmıştır. Farklı su yüklerinde, 3 mm ve 5 mm'lik uç çapına sahip damla oluşturuçularla damla büyüklükleri ölçülmüştür. 5 mm'lik damla oluşturuçularla daha büyük damlalar elde edilmiştir ve su yükünün artırılmasıyla her iki uç çapında damlaların büyüklüklerinde azalma olmuştur. Bu koşullar altında yapay yağmurlama aletinin damla büyüklükleri 4,38 mm ile 5,25 mm arasında değişmektedir. Damla çapı ve düşme yüksekliğinden yararlanılarak damla düşme hızları hesaplanmıştır. Damla büyüklükleri ve ilişkili damla düşme hızları çok fazla bir değişim aralığı göstermediği için, yağış kinetik enerjisindeki değişimlerin doğrudan yağış intensitesine bağlı olduğu görülmüştür. Yağış intensitesi ve kinetik enerjisi arasında doğrusal bir bağlantı kurulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yapay yağmurlama aleti, damla oluşturuçusu, intensite, damla büyüklüğü ve düşme hızı, kinetik enerji

Design Principles of a Rainfall Simulator and Characteristics of Simulated Rainfalls for Soil Erosion Studies

Abstract: The objectives of this research are both to describe design principles and technical properties of a rainfall simulator constructed at the Research Laboratory of Soil Science Department, Agricultural Faculty of Ankara University, and to examine characteristics of simulated rainfalls.

Main elements of the simulator were explained. Details of drop formers and a plan of drop formers within the application tank at which a uniform distribution of simulated rainfall was well attained were given.

As rainfall characteristics, intensity, drop size, drop fall velocity and kinetic energy were investigated. Uniform intensity distributions of rainfalls in the catchment basin were evaluated by the uniformity coefficient (Cv). Cv values were mostly found more than 80%, and uniform rainfall distribution was determined in the catchment basin. At different water height in the application tank, drop sizes were measured with drop formers having 3 mm and 5 mm tip diameter. Bigger drops were obtained with 5 mm drop formers, and drop sizes at either tip diameters were getting smaller with increasing water height. Under these conditions, drop sizes of the simulator were between 4.38 mm and 5.25 mm. Using drop diameters and fall heights of drops, drop fall velocities were estimated. Since drop sizes and related fall velocities did not significantly change, it is observed that changes in kinetic energies of rainfalls were directly dependent upon the changes in rainfall intensities. A linear relationship was established between rainfall intensity and kinetic energy.

Key Words: Rainfall simulator, drop former, intensity, drop size and fall velocity, kinetic energy

Giriş

Araştırmacıları farklı özelliklerde yapay yağmurlama aletlerini tasarlama ve kullanmaya iten güç, erozyon, infiltrasyon, yüzey akış ve sediment taşınımı üzerine veri toplama işlemini hızlandırmasıdır. Meyer (1965), yapay yağmurlama aletlerinin yararlarını ve doğal yağışları betimlemedeki eksikliklerini detaylı bir biçimde açıklamıştır. Kontrol edilebilen koşullar altında çalışabilirlik ve kısa zaman dilimlerinde denemelerin tekrarlanabilirliği sağlanan kazançlar arasındadır, yapay yağmurlama

aletlerinin ana çıkmazları ise, damla büyüklüğü dağılımı damla düşme hızları gibi doğal yağış karakteristiklerinin yapay olarak oluşturulması güçlükleri ve elde edilen sonuçların gerçek arazi koşullarını tahmin etmedeki sınırlılıklarıdır.

Damla düşme hızları (Laws 1940) ve damla büyüklük dağılımları (Laws 1943) üzerine yapılan klasik çalışmalardan sonra, gerek laboratuvar tipi ve gerekse arazi tipi yapay yağmurlama aletlerinin yapımı ivme

¹ Ankara Üniv. Ziraat Fak. Toprak Bölümü- Ankara

* Ankara Üniv. Araştırma Fonu (92.25.00.09) ve TÜBİTAK (TOAG 906) tarafından desteklenmiştir.

kazanmıştır. Doğal yağışların erozyon oluşturma gücünü temsil edebilmek amacıyla, yapay yağmurlama aletlerinin damla büyüklüğü ve damla düşme hızı üzerine birçok girişim Meyer ve McCune (1957a, 1957b) ve Meyer (1958, 1960) tarafından yapılmıştır. Gabriels ve De Boodt (1975), farklı uç çapına sahip damla oluşturuçuların yağışların oluşturulmasında kullanıldığı laboratuvar tipi bir yapay yağmurlama aleti geliştirmişlerdir; Uygun yapay yağmurlama aletinin seçiminin yapılabilmesi için, yağmurlayıcıların çeşitleri detaylı bir şekilde Taysun (1985) tarafından açıklanmıştır.

Toprak parçalanması, sıçrama, kesme dayanıklılığı ve yüzey akış derinliği arasındaki zamansal bağıntılar yapay yağışlar altında geliştirilmiş (Shultz ve ark. 1985) ve araştırmalarda damla oluşturuçulu bir yapay yağmurlama aleti kullanılmıştır (Onstad ve ark. 1981, Brakensiek ve ark. 1979, Hamon 1979). Agregat parçalanması üzerine nem içeriği, agregat büyüklüğü ve yağış intensitesi ve uygulama zamanının etkisini araştıran Truman ve ark. (1990), Mutchler ve Moldenhauer (1963) tarafından tanımlanan yapay yağmurlama aletini kullanmışlardır. Yapay yağışlar altında, büyük toprak tavalan oluşumu üzerine üst toprağın hidrolik duyarlılıkları ve toprak yüzeyine değişik konumlarda yerleştirilen kaya parçacıklarının etkisi incelenmiştir (Poosen ve Mucher 1990). Eğim şekli, yağış enerjisi ve intensitesinin yüzey akış ve toprak kayıplarına olan etkisi, yapay yağmurlama aleti kullanılarak çalışılmıştır (Meyer ve Harmon 1992). Slattery ve Bryan (1994), büyük toprak tavalan ile yapay yağışlar altında bir seri kontrollü laboratuvar deneyleri yürüterek kabuk oluşumu ile erozyon ve sediment depolanmasını incelemişlerdir. Erpul ve ark. (1998), rüzgar tüneli içerisinde kurulan bir yapay yağmurlama aleti kullanarak, rüzgarın yapay yağışların damla büyüklük dağılımları üzerine etkisini araştırmışlardır. Ardıl yapay yağışların yüzey akış ve toprak kayıpları üzerine etkisi Erpul ve Çanga (1999) tarafından incelenmiştir.

Yapay yağmurlama aletleri veri elde etmede sayısız kolaylık ve olanaklar sunabilmekte olup buna bağlı olarak erozyonun değişik yönleri hızlı bir şekilde araştırılabilir. Özellikle son yirmi yıl içerisinde, bireysel yağmur damlası çalışmaları ile toprak sıçrama erozyonunun işleyişi daha iyi anlaşılmıştır (Epema ve Riezebos 1983, Ghadiri ve Payne 1981, Nearing ve ark. 1986, Gilev ve Finkner 1985). Ayrıca, toprağın erozyona karşı içsel dayanımı büyük oranda tanımlanmıştır (Cruse ve Larson 1977, Ghadiri ve Payne 1977, Al-Durrah ve Bradford 1982, Nearing ve Bradford 1985, Sharma ve ark. 1991). Bu çalışmalar, erozyon çalışmalarında yapay yağmurlama aletleri kullanımının kaçınılmazlığı ve gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu araştırmada, laboratuvar koşullarında kullanılabilen bir yapay yağmurlama aletinin tasarım prensipleri ve teknik özellikleri tanımlanmıştır. Oluşturulan yağışların damla büyüklükleri, damla düşme hızları, intensite ve kinetik enerjileri gibi erozyon çalışmalarında önemli olan karakteristikleri belirlenmiştir.

Materyal ve Yöntem

1. Yapay yağmurlama aleti tasarım prensipleri ve teknik özellikleri

Yapılan yapay yağmurlama aletinin tasarımı Şekil 1'de görülmektedir. Alet üç ana kısımdan oluşmuştur. Bunlar bireysel damla oluşturuçular içeren ve su yüksekliğinin ayarlanabildiği uygulama tankı, toprak tavalanın yerleştirildiği yağmurlama havzası ve su deposudur. Yağışların havzada uygun ve üniform dağılımını sağlamak amacıyla iki adet hava üfleme vantilatör yardımcı ünite olarak kullanılmaktadır.

Uygulama tankı, 1 m çapında ve 15 cm yüksekliğinde üstü açık, dairesel bir kaptır ve yerden 3 m yükseklikte bulunmaktadır. Bir motor / mil sistemi ile 1 devir dakika⁻¹ hızla dönmektedir. Böylelikle, yağmur damlalarının istenilen açısal dağılıma erişmesi amaçlanmıştır (Gabriels ve De Boodt 1975). Uygulama tankındaki su yükü, yan yüzeyine farklı yüksekliklerle yerleştirilen kontrol başlıkları ile ayarlanmak suretiyle sağlanan 2.5, 4.5, 6.5 ve 8.5 cm'lik su yükseklikleri ile elde edilebilmektedir. Su yükü ayarlamalarına bağlı olarak, gelen fazla su bir akaç sistemi yardımıyla yeniden su deposuna alınmaktadır.

Yağış, damla oluşturuçularla elde edilmektedir. Damla oluşturuçular, dış çapı 8 mm ve uzunluğu 30 mm olan küçük bakır tüplerden yapılmıştır (Şekil 2a) (Mutchler ve Hemsmeler 1965). İçerisinde, 12 mm uzunluğunda 0.4 mm çaplı bir boru ile 18 mm uzunluğunda 2 mm çaplı diğer bir boru bulunmaktadır. Geniş çaplı boru, uygulama tankında yükselen suyun damla oluşturuçuya girmesini kolaylaştırmak içindir. Bu çalışmada, 3 mm ve 5 mm uç çapına sahip iki damla oluşturuçusu kullanılmıştır. Uygulama tankının tabanına, ya 3 mm uç çaplı ya da 5 mm uç çaplı, 96 adet damla oluşturuçusu merkezden dışarıya doğru açılan (radyal) bir dağılım oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir (Gabriels ve De Boodt 1975, Mutchler ve Moldenhauer 1963). Uygulama tankında damla oluşturuçuların yerleştirilme planı Şekil 2b'de gösterilmiştir. Tank dairesel ayası 8 eşit parçaya bölünmüş ve her parçaya 96 : 8 = 12 damla oluşturuçusu düşmüştür. Burada Mutchler ve Moldenhauer (1963) tarafından önerilen eşitlikler kullanılmıştır.

$$\pi (r_{H+1}^2 - r_{Hi}^2) = 654.16 \text{ cm}^2 \quad [1]$$

Burada;

r: uygulama tankının merkezinden damla oluşturuçunun merkezine olan uzaklık, cm.

i: damla oluşturuçusu no, i = 1, ..., 12.

Dışa doğru bir dağılımda her bir bölmeye yerleştirilecek ilk damla oluşturuçular, uygulama tankının merkezinden farklı uzaklıklarda olacaktır. 7850 cm² 'lik tank alanında bir damla oluşturuçuya düşen yüzey alanı 7850 : 96 = 81.77 cm² ve ilk ve son bölmeye yerleştirilen iki damla oluşturuçusu arasındaki maksimum alan 8 x 81.77 = 654.16 cm² dir. Eşitlik [1]'in çözülmesi en azından bir uzaklığın

bilinmesi ile olanaklı olacaktır. Bu bir damla oluşturucunun yerleştirilebileceği maksimum uzaklıktır:

$$r_{H12} = 50 \text{ cm} \quad [2]$$

H bölümündeki 12 adet damla oluşturucunun yeri eşitlik [1] ve [2] kullanılarak bulunur. Diğer bölmelerdeki yerleşim planı aşağıdaki eşitliklerle saptanır (Mutchler ve Moldenhauer 1963) (Çizelge 1).

$$\begin{aligned} r_{Ai} &= r_{Hi} + [n_A (r_{Hi+1} - r_{Hi}) / 8]; \\ r_{Ai} &= r_{Hi} - [(n_H - n_A) (r_{Hi+1} - r_{Hi}) / 8] \end{aligned} \quad [3]$$

Burada;

n: bölme no, $n_A = 1, \dots, n_H = 8$ dir.

Yağmurlama havzası 1680 cm çapında ve 33.5 cm yüksekliğinde üstü açık, dairesel bir kaptır (Şekil 1). Havza, değişik boyutlu toprak tavaları ile çalışmaya uygundur. Buna bir örnek olarak 20 x 29.5 x 30 cm (derinlik x genişlik x uzunluk) lik boyut verilebilir. Tavaların önünde üçgen şeklinde yüzey akış toplayıcısı bulunur (Moldenhauer ve Long 1964). Tava içerisine yerleştirilebilen delikli sehba infiltrasyon ölçümlerine olanak sağlar (Gabriels ve De Boodt 1975). Sıçrama erozyonu, tava iki kenarına yerleştirilen toplama levhaları ile ölçülebilmektedir (Moldenhauer ve Koswara 1968).

Su deposu ünitesi, şehir şebekesinden gelen suyun bir saf su cihazından geçirilerek depolandığı yerdir ve suyun 3 m yükseklikteki uygulama tankına çıkartılması için ek bir pompa içerir.

Çizelge 1. Uygulama tankında damla oluşturucuların yerleşim planı (uygulama tankının merkezinden damla oluşturucunun merkezine olan uzaklık, cm)

| Damla oluşturucu no | Bölme | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A 1* | B 2 | C 3 | D 4 | E 5 | F 6 | G 7 | H 8 |
| 1 | 9,21 | 9,96 | 10,71 | 11,46 | 12,21 | 12,96 | 13,71 | 14,46 |
| 2 | 16,44 | 17,01 | 17,58 | 18,15 | 18,72 | 19,29 | 19,86 | 20,43 |
| 3 | 21,65 | 22,13 | 22,61 | 23,09 | 23,57 | 24,05 | 24,53 | 25,01 |
| 4 | 25,87 | 26,30 | 26,73 | 27,16 | 27,59 | 28,02 | 28,46 | 28,88 |
| 5 | 29,55 | 29,94 | 30,33 | 30,72 | 31,11 | 31,50 | 31,89 | 32,28 |
| 6 | 32,11 | 32,26 | 33,61 | 33,96 | 34,31 | 34,66 | 35,01 | 35,36 |
| 7 | 35,88 | 36,21 | 36,54 | 36,87 | 37,20 | 37,53 | 37,86 | 38,19 |
| 8 | 38,66 | 38,97 | 39,28 | 39,59 | 39,90 | 40,21 | 40,52 | 40,83 |
| 9 | 41,27 | 41,56 | 41,85 | 42,14 | 42,43 | 42,72 | 43,01 | 43,30 |
| 10 | 43,68 | 43,96 | 44,24 | 44,52 | 44,80 | 45,08 | 45,36 | 45,64 |
| 11 | 45,98 | 46,25 | 46,52 | 46,79 | 47,06 | 47,33 | 47,60 | 47,87 |
| 12 | 48,14 | 48,41 | 48,68 | 48,95 | 49,22 | 49,49 | 49,76 | 50,00 |

* bölme no

2.Yapay yağış karakteristikleri

Yapay yağışların intensitesi, ortalama damla çapları, damla düşme hızları ve kinetik enerjileri belirlenmiştir. Alet yağış intensiteleri farklı su yüklerinde, farklı damla oluşturucu etkinliği - çalışmakta olan damla oluşturucu yüzdesi - ve uç çaplarında incelenmiştir. Intensite ölçümleri EL502 - 02 tipi yağmur ölçer ile yapılmıştır. Sonuçta, yağmurlama havzası intensite dağılımı üniformite katsayısı (Cv) ile değerlendirilmiştir:

$$Cv = 1 - s/x \quad [4]$$

Bu eşitlikte;

x: ortalama intensite (mm sa^{-1}) ve s: standart sapma (mm sa^{-1}) dir.

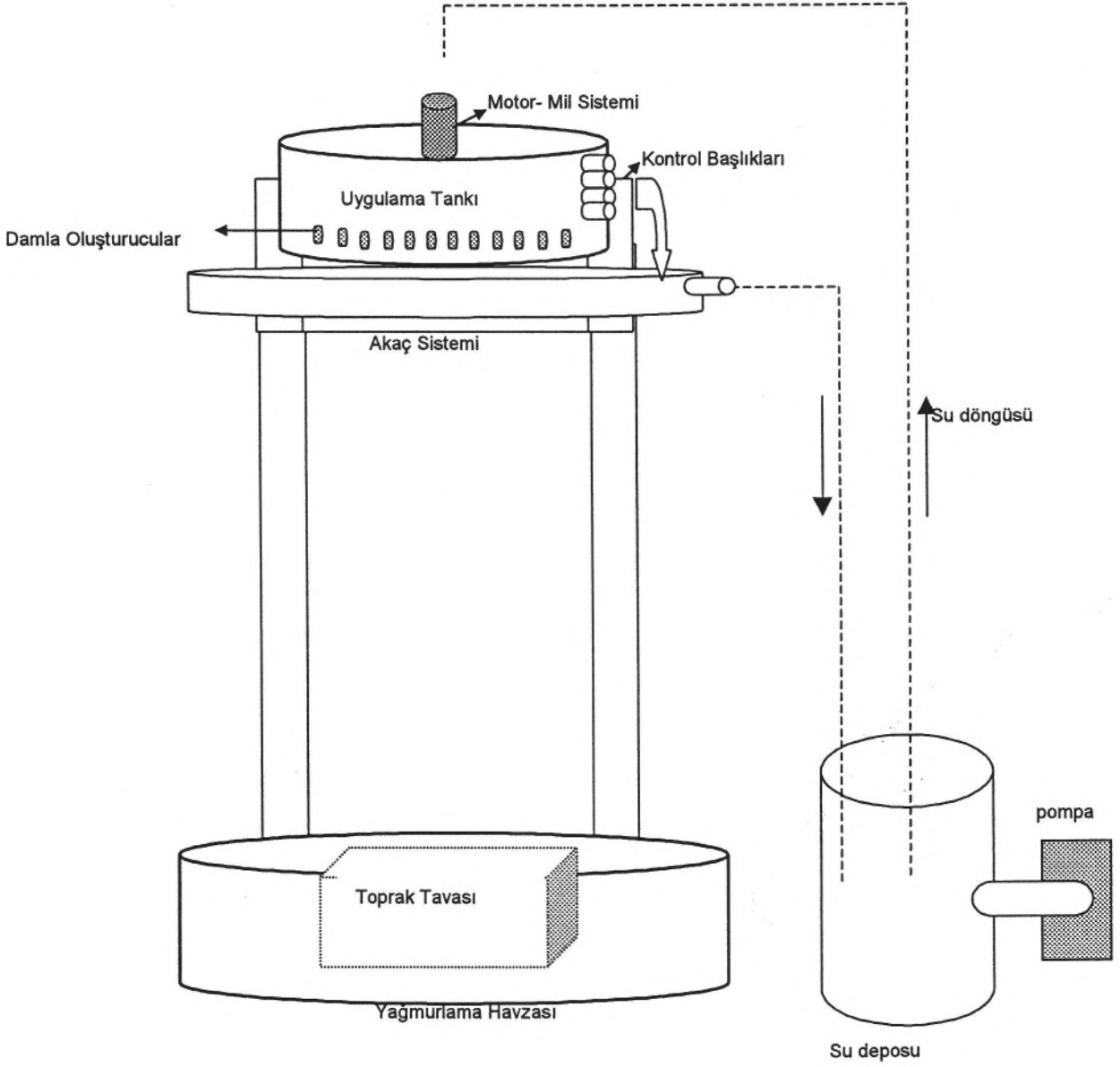
Farklı su yükleri altında iki farklı uç çapına sahip damla oluşturucularla damla büyüklük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 96 damla oluşturucudan rastgele 10 tanesi seçilmiş ve her birinden 100 damla toplanmıştır. Damlalar toplam hacminden damla çapları hesaplanmıştır (Giley ve Finkner 1985):

$$m = \rho V_i \quad [5]$$

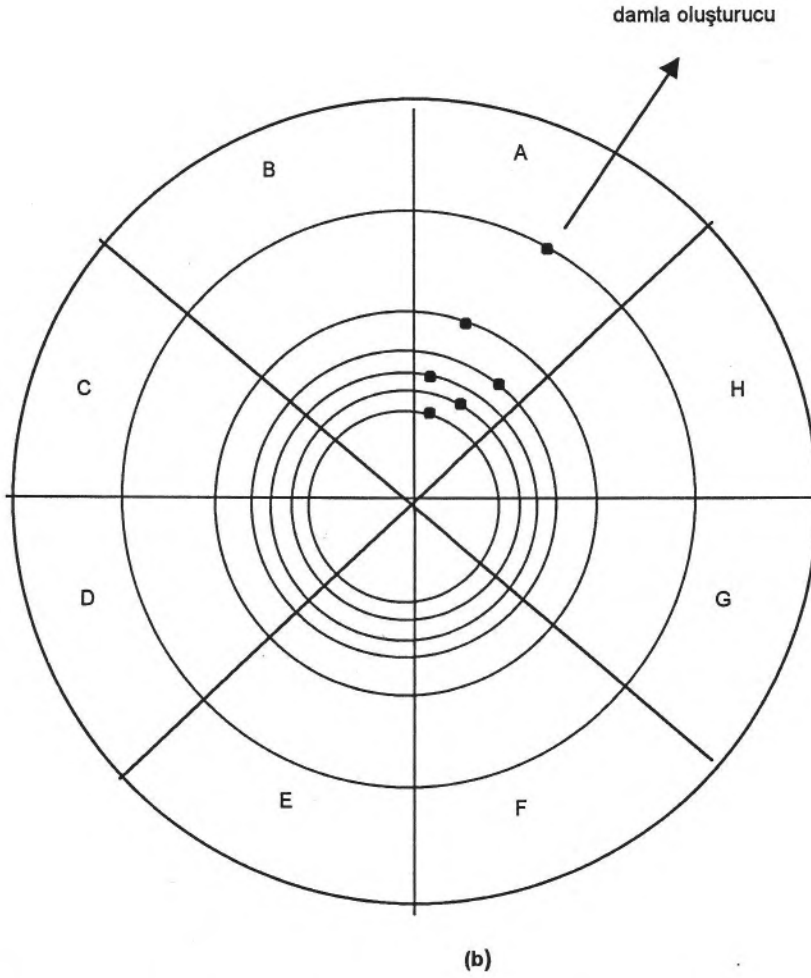
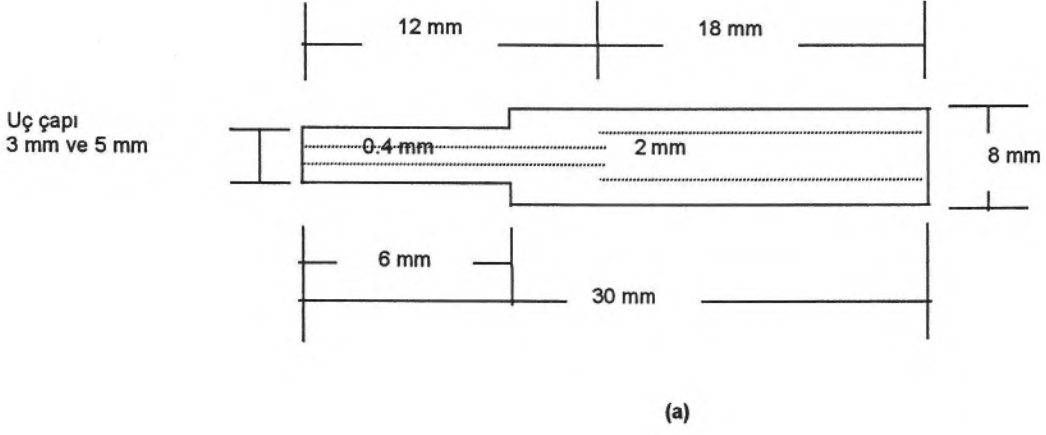
m: damla kütlesi (mg), ρ : damla yoğunluğu (mg mm^{-3}) ve V_i : damla hacmi (mm^3) dir.

Ayrıca,

$$V_i = 1/6 \pi d^3 \text{ yazılabilir.} \quad [6]$$



Şekil 1: Yapay yağmurlama aletinin genel görünüşü



Şekil 2. a) Damla oluşturuçunun detayı, b) Uygulama tankında damla oluşturuçuların yerleştirilme planı

Burada;

d: eşdeğer damla çapıdır (mm).

Ortalama damla çapı ve 2.75 m'lik damla düşme yüksekliği göz önünde bulundurularak her bir damlanın serbest düşme hızı hesaplanmıştır (Laws 1941, Gunn ve Kinzer 1949). Yağışların kinetik enerjisi (KE, $J m^{-2} sa^{-1}$), ortalama intensite değerleri (I , $mm sa^{-1}$) ve damla düşme hızlarından (V , $m sn^{-1}$) elde edilmiştir (Rose 1960):

$$KE = \frac{1}{2} I V^2 \quad [7]$$

Bulgular ve Tartışma

Yapay yağmurlama aleti kullanılarak; farklı damla oluşturuvcu etkinliğinde, farklı su yükleri ve damla oluşturuvcu uç çaplarında elde edilen yağış intensiteleri Çizelge 2'de verilmiştir. Uygulama tankına yerleştirilen 96 adet damla oluşturuvcunun hepsinin çalışıyor olması %100 etkinliği vermektedir. İki damla oluşturuvcu ile etkinlik ve su yükü arttırıldığında, yağış intensitesi artmıştır. 5 mm'lik damla oluşturuvcularla, her bir su yükü ve etkinlikte, elde edilen intensiteler 3 mm'liklerden daha fazla olmuştur.

İki farklı uç çapına sahip damla oluşturuvcudan farklı su yüklerinde ölçülen damla çapları Çizelge 3'te gösterilmiştir. Damla çapı, damla oluşturuvcu içerisindeki akış oranı - ki bu doğrudan su yüküne bağlıdır- kapillar boru tabanının dairesel çevresi, damla oluşturuvcu uç çapı ve yüzey geriliminin fonksiyonudur. Genel olarak, su yükünün artması ile damla çaplarında düşüş eğilimi gözlenmiştir.

Damla oluşturuvcu dairesel alt tabanı üzerindeki su ağırlığının artması, damla oluşturuvcu kapillar borucuklarındaki akış oranını da artırmıştır. Buna paralel olarak, oluşan bireysel damlaların damla oluşturuvcu ucunda kalma süresi ve yüzey gerilimine maruz kalması azalmıştır. 5 mm'lik damla oluşturuvcularla daha büyük damlalar elde edilmiştir. Doğal olarak, damla uç çapının büyümesi kapillar borudan gelen damlanın yayılım alanını genişletmiş ve daha büyük damlalar oluşmuştur.

Burada dikkat edilmesi gereken iki konu vardır. Birincisi, her bir su yükünde damla çapları yağış intensitesine bağlı değildir. Intensite ne olursa olsun, birboyutlu damlalar elde edilmektedir. Halbuki, doğal yağışlar damla çapları büyük oranda yağış intensitesine bağlı olarak değişmektedir (Hudson 1971). Ayrıca, yapay yağmurlama aleti ile elde edilen ortalama damla çaplarının, benzer intensiteli yağışlarda elde edilen damla orta değerlerinden çok büyük olduğu da açıkça görülmektedir. Örneğin, 100 $mm sa^{-1}$ lik bir doğal yağış için bu değer 2.5 mm'dir (Hudson 1971). İkinci olarak, her ne kadar su yükü ve damla oluşturuvcu uç çapı değiştirilerek farklı damla büyüklükleri elde edilmek istense de, damla büyüklüklerinin önemli ölçüde değişmediği görülmüştür. Damla çapı değişim aralığı çok dar olup 4.38 - 5.25 mm'dir.

Damla düşme hızları Çizelge 3'te verilmiştir. Damla çapları ve damla düşme yüksekliği (2.75 m) göz önüne bulundurularak, damla düşme hızları Laws (1941) nomoğrafından hesaplanmıştır. Düşme yüksekliği tüm damlalar için sabit olduğundan, düşme hızları damla

Çizelge 2. Yapay yağmurlama aleti kullanılarak elde edilen yağışların intensite ölçümleri (su sıcaklığı 15 - 20 °C)

| | | Damla oluşturuvcu etkinliği % | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------|-------------------------------|-----------|------|-----------|-----------|------|-----------|-----------|------|-----------|-----------|------|
| | | 25 | | | 50 | | | 75 | | | 100 | | |
| Kontrol başlığı no | Su yükü cm | \bar{x} | \bar{s} | Cv | \bar{x} | \bar{s} | Cv | \bar{x} | \bar{s} | Cv | \bar{x} | \bar{s} | Cv |
| Damla oluşturuvcu uç çapı: 3 mm | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | 6,60 | 0,60 | 0,91 | 17,00 | 2,20 | 0,87 | 27,00 | 3,00 | 0,89 | 34,80 | 7,20 | 0,79 |
| 2 | 4,5 | 8,30 | 0,80 | 0,90 | 22,80 | 4,20 | 0,82 | 35,10 | 3,90 | 0,89 | 41,40 | 6,00 | 0,86 |
| 3 | 6,5 | 10,50 | 0,90 | 0,91 | 32,30 | 7,40 | 0,77 | 45,30 | 5,70 | 0,87 | 51,30 | 5,70 | 0,89 |
| 4 | 8,5 | 13,10 | 1,90 | 0,85 | 40,10 | 2,70 | 0,93 | 56,40 | 9,60 | 0,83 | 70,80 | 4,80 | 0,93 |
| Damla oluşturuvcu uç çapı: 5 mm | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | 9,60 | 2,00 | 0,79 | 25,00 | 4,50 | 0,82 | 30,60 | 5,40 | 0,82 | 48,60 | 11,40 | 0,77 |
| 2 | 4,5 | 15,00 | 3,00 | 0,80 | 34,30 | 3,70 | 0,89 | 48,00 | 9,00 | 0,81 | 74,40 | 9,00 | 0,88 |
| 3 | 6,5 | 21,30 | 2,70 | 0,87 | 46,40 | 8,60 | 0,81 | 57,90 | 6,90 | 0,88 | 91,50 | 16,50 | 0,82 |
| 4 | 8,5 | 25,50 | 2,70 | 0,89 | 74,90 | 8,60 | 0,89 | 83,00 | 10,00 | 0,88 | 105,30 | 12,30 | 0,88 |

\bar{x} : ortalama intensite ($mm sa^{-1}$); \bar{s} : standart sapma ($mm sa^{-1}$); Cv : uniformite katsayısı

çapına bağlı olarak değişmiştir; damla çaplarındaki hafif değişim damla hızlarına da yansımıştır. Fakat, hız değişim aralığı damla çaplarındakine oranla daha dar olmuştur ($6.40 - 6.71 \text{ m sn}^{-1}$) (Çizelge 3).

Damla düşme hızları ve yağış intensitelerinden yararlanarak ve eşitlik [7] kullanılarak yapay yağışların

kinetik enerjisi hesaplanmıştır (Çizelge 4). Su yükü ve damla uç çapına bağlı olarak damla düşme hızları değişimi çok az olduğundan, kinetik enerji önemli ölçüde yağış intensitesinden etkilenmiştir. Bu iki parametre arasındaki doğrusal bağıntı Şekil 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Farklı su yükleri altında iki farklı uç çapına sahip damla oluşturuclardan elde edilen ortalama damla çapları ve damla düşme hızları (su sıcaklığı $15 - 20^\circ\text{C}$)

| Kontrol başlığı no | Su yükü cm | Ortalama damla çapı D, mm | Damla düşme hızı* V, m sn^{-1} |
|-----------------------------------|------------|---------------------------|---|
| Damla oluşturucları uç çapı: 3 mm | | | |
| 1 | 2,5 | 4,62 (0,00)** | 6,58 |
| 2 | 4,5 | 4,56 (0,05) | 6,50 |
| 3 | 6,5 | 4,47 (0,05) | 6,45 |
| 4 | 8,5 | 4,38 (0,04) | 6,40 |
| Damla oluşturucları uç çapı: 5 mm | | | |
| 1 | 2,5 | 5,25 (0,02) | 6,71 |
| 2 | 4,5 | 5,16 (0,05) | 6,69 |
| 3 | 6,5 | 5,07 (0,04) | 6,65 |
| 4 | 8,5 | 4,92 (0,02) | 6,62 |

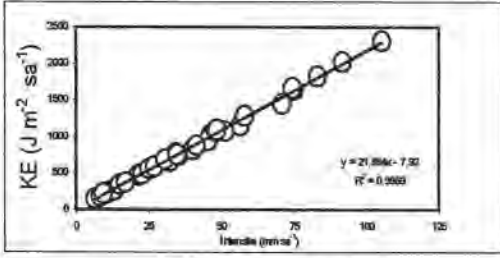
* düşme hızları Laws (33) nomogramından hesaplanmıştır ve 2,75 m düşme yüksekliği göz önünde bulundurulmuştur.

** parantez içerisindeki değer, her bir su yükünde 100'er damlanın toplandığı 10 örnekleminin standart sapmasıdır.

Çizelge 4. Yapay yağışların kinetik enerjileri

| Kontrol başlığı no | Su yükü cm | Damla oluşturucları etkinliği % | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------|---------------------------------|------|--------|-------|------|---------|-------|------|---------|--------|------|---------|
| | | 25 | | | 50 | | | 75 | | | 100 | | |
| | | x* | V** | KE*** | x | V | KE | x | V | KE | x | V | KE |
| Damla oluşturucları uç çapı: 3 mm | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | 6,60 | 6,58 | 142,88 | 17,00 | 6,58 | 368,02 | 27,00 | 6,58 | 584,50 | 34,80 | 6,58 | 753,36 |
| 2 | 4,5 | 8,30 | 6,50 | 175,34 | 22,80 | 6,50 | 481,65 | 35,10 | 6,50 | 741,49 | 41,40 | 6,50 | 874,58 |
| 3 | 6,5 | 10,50 | 6,45 | 218,41 | 32,30 | 6,45 | 671,88 | 45,30 | 6,45 | 942,30 | 51,30 | 6,45 | 1067,10 |
| 4 | 8,5 | 13,10 | 6,40 | 268,29 | 40,10 | 6,40 | 821,25 | 56,40 | 6,40 | 1155,07 | 70,80 | 6,40 | 1449,98 |
| Damla oluşturucları uç çapı: 5 mm | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | 9,60 | 6,71 | 216,12 | 25,00 | 6,71 | 562,80 | 30,60 | 6,71 | 688,87 | 48,60 | 6,71 | 1094,09 |
| 2 | 4,5 | 15,00 | 6,69 | 335,67 | 34,30 | 6,69 | 767,57 | 48,00 | 6,69 | 1074,15 | 74,40 | 6,69 | 1664,93 |
| 3 | 6,5 | 21,30 | 6,65 | 470,97 | 46,40 | 6,65 | 1025,96 | 57,90 | 6,65 | 1280,24 | 91,50 | 6,65 | 2023,18 |
| 4 | 8,5 | 25,50 | 6,62 | 558,76 | 74,90 | 6,62 | 1641,22 | 83,00 | 6,62 | 1818,71 | 105,30 | 6,62 | 2307,35 |

*x: ortalama intensite (mm sa^{-1}); **V: damla düşme hızı (m sn^{-1}); ***KE: kinetik enerji ($\text{J m}^{-2} \text{sa}^{-1}$)



Şekil 3. Yapay yağışların intensiteleri ve kinetik enerjileri arasındaki bağıntı.

Sonuç

Laboratuvar koşullarında istenilen zaman ve yerde yapay yağışların elde edilebilmesi ve kontrol edilebilen koşullar altında oldukça kısa zaman dilimlerinde, yüzey akış ve erozyon verilerinin toplanmasını olanaklı kılacak bir yapay yağmurlama aleti ve yağış karakteristikleri tanımlanmıştır.

Bir boyutlu damla üreten bu tip yapay yağışlarla elde edilen sonuçların doğal koşullara taşınması özen ve dikkat ile yapılmalıdır. Bilindiği üzere, elde edilen yapay yağışlar karakteristikleri doğal yağışlardakileri iyi betimlemelidir. Aksi takdirde, elde edilen sonuçların daha büyük alanlara uyarlanması ve daha büyük boyutlu tahminlerin yapılmasının başarılı olacağı beklenemez. Elde edilen yağışların, doğal yağışları ne kadar betimleyeceği diğer bir yayına konu edildiğinden burada tartışılmamıştır.

Kaynaklar

- Al-Durrah, M. M. and J. M. Bradford, 1982. The mechanism of raindrop splash on soil surfaces. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1086-1090.
- Brakensiek, D. L., W. J. Rawls and W. R. Hamon, 1979. Application of an infiltrometer systems for describing infiltration into soil. *Trans. of the ASAE*, 22(1): 320-325.
- Cruse, R. M. and W. E. Larson, 1977. Effect of soil shear strength on soil detachment due to drop impact. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 41:777-781.
- Epema, G. F. and H. Th. Riezebos, 1983. Fall velocity of water drops at different heights as a factor influencing erosivity of simulated rain. p.1-7, In" Ed. J. de Ploey. *Rainfall simulation, runoff and soil erosion*". *Catena Suppl.*, 4.
- Erpul, G., D. Gabriels, and D. Janssens, 1998. Assessing the drop size distribution of simulated rainfall in a wind tunnel. *Soil and Tillage Research*, 45:403-409.
- Erpul, G. and M. R. Çanga, 1999. Effects of subsequent simulated rainfalls on runoff and erosion. *Tr.J. of Agriculture and Forestry* 23:659-665.
- Gabriels, D. and M. De Boodt, 1975. A rainfall simulator for erosion studies in the laboratory. *Pedologie*, 2:80-86.
- Ghadiri, H. and D. Payne, 1977. Raindrop impact stress and breakdown of soil crumbs. *J. Soil Sci.*, 28:247-258.
- Ghadiri, H. and D. Payne, 1981. Raindrop impact stress. *J. Soil Sci.*, 32:41-49.
- Giley, J. E. and S. C. Finkner, 1985. Estimating soil detachment caused by raindrop impact. *Trans. of the ASAE*, 28:140-146.
- Gunn, R. and G. D. Kinzer, 1949. The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air. *J. Meteorol.*, 6:243-248.
- Hamon, W. R. 1979. Infiltrometer using simulated rainfall for infiltration research. *Infiltration Research Planning Workshops, Part I, State of the Art Reports, USDA-SEA, ARM-NC-4:54-60.*
- Hudson, N. W. 1971. *Soil conservation*. B.T. Batsford Limited, London.
- Laws, J. O. 1940. Recent studies in raindrops and erosion. *Agric. Engineering*, 21(11):431-433.
- Laws, J. O. 1941. Measurements of the fall velocity of waterdrops and raindrops. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 24:452-460.
- Laws, J. O. and D. A. Parsons, 1943. The relation of raindrop size to intensity. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 24:452-460.
- Meyer, L. D. and D. L. McCune, 1957a. Development of rainfall simulator for run-off plots. Paper to Amer. Soc. Agr. Eng., Dec. 15-18th, Journal series paper 1197, Purdue Agric. Expt. Sta.
- Meyer, L. D. and D. L. McCune, 1957b. Rainfall simulator for run-off plots. *Agric. Engineering*, 39:644-648.
- Meyer, L. D. 1958. An investigation of methods for simulating rainfall on standard run-off plots, and a study of the drop size, velocity and kinetic energy of selected spray nozzles. USDA-ARS Div. E.S. and W. Man. Branch, Special Report No. 81.
- Meyer, L. D. 1960. Use of the rainulator for soil erosion research. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24(4):319-322.
- Meyer, L. D. 1965. Symposium on simulation of rainfall for soil erosion research. *Trans. of the ASAE*, 8(1):66-67.
- Meyer, L. D. and W. C. Harmon, 1992. Interrill runoff and erosion: Effects of row-side slope shape, rain energy and rain intensity. *Trans. of the ASAE*, 35(4):1199-1203.
- Moldenhauer, W. C. and D.C. Long, 1964. Influence of rainfall energy on soil loss and infiltration rates: 1). Effect over a range of texture. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:813-817.
- Moldenhauer, W. C. and J. Koswara, 1968. Effects of initial clod size on characteristics of splash and wash erosion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32(6):875-879.
- Mutchler, C. K. and W. C. Moldenhauer, 1963. Applicator for laboratory rainfall simulator. *Trans. of the ASAE*, 6:220-222.
- Mutchler, C. K. and L. F. Hermsmeier, 1965. A review of rainfall simulators. *Trans. of the ASAE*, Vol. 8, No.1.
- Nearing, M. A. and J. M. Bradford, 1985. Single waterdrop splash detachment and mechanical properties of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:547-552.

- Nearing, M. A., J. M. Bradford, and R. D. Holtz, 1986. Measurement of force vs. time relationship for waterdrop impact. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1532-1536.
- Onstad, C. A., J. K. Radke, and R. A. Young, 1981. An outer portable rainfall erosion laboratory. *Proceedings of Florence Symposium: Erosion and sediment transport measurement*, June 1981, International Association of Hydrological Sciences (IAHS) Publ., No.133:415-4220.
- Poosen, J. and H. Mucher, 1990. The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments on the top layer. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15:653-671.
- Rose, C. W. 1960. Soil detachment caused by rainfall. *Soil Sci.* 89:28-35.
- Sharma, P.P., S.C. Gupta, and W.J. Rawls, 1991. Soil detachment by single raindrops of varying kinetic energy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:301-307.
- Shultz, J. P., A. R. Jarrett, and J. R. Hoover, 1985. Detachment and splash of a cohesive soil by rainfall. *Trans.of the ASAE*, 28(6):1878-1884.
- Slattery, M. C. and R. B. Bryan, 1994. Surface seal development under simulated rainfall on an actively eroding surface. *Catena*, 22:17-34.
- Taysun, A. 1985. Doğal ve yapma yağışın karşılaştırılması, yağış benzeticiler ve damla düşme hızı tayin aletleri. T.C. Tarım Orman ve Köyleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Gen. Md. Menemen Bölge TOPRAKSU Araş. Ens. Md. Yayınları, Gen. Yay. No:13.
- Truman, C. C., Bradford, J. M. and Ferris, J. E. 1990. Antecedent water content and rainfall energy influence on soil aggregate breakdown. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1385-1392.