



SULAMA İÇİN İNFİLTASYON HIZI VE DENKLEMLERİNİN

BELİRLENMESİ

YAKUP BEYHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Prof. Dr. Hüseyin ŞİMŞEK

Temmuz - 2019

Her hakkı saklıdır

**T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SULAMA İÇİN İNFİLTASYON HIZI VE DENKLEMLERİNİN
BELİRLENMESİ**

YAKUP BEYHAN

**TOKAT
Temmuz - 2019**

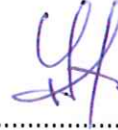
Her hakkı saklıdır

Yakup BEYHAN tarafından hazırlanan “Sulama İçin İnfiltrasyon Hızı ve Denklemlerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 29 TEMMUZ 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza


Danışman
Prof. Dr. Hüseyin ŞİMŞEK
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Üye
Prof. Dr. Tekin ÖZTEKİN
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Üye
Doç. Dr. Ali ÜNLÜKARA
Erciyes Üniversitesi



Prof. Dr. Çetin ÇEKİÇ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

06-/07/2019

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

YAKUP BEYHAN

29 Temmuz 2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SULAMA İÇİN İNFİLTASYON HIZI VE DENKLEMLERİNİN BELİRLENMESİ

YAKUP BEYHAN

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HÜSEYİN ŞİMŞEK)

İnfiltrasyon hızının ve denklemlerinin belirlenmesi sulama ve drenaj çalışmalarında gerekli bir bilgidir. İnfiltrasyon oldukça basit görünür ama infiltrasyonun yer yer değişkenlik göstermesinden dolayı belli bir alan için bir infiltrasyon değeri ve denkleminin kesin olarak belirlenmesi söz konusu olamaz. Bu çalışmada killi bünyeye sahip Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezine ait arazide Kostiakov ve Philip eşitlik parametreleri ve infiltrasyon hızı belirlenmiştir. İnfiltrasyon hızını belirlemek için çift silindir infiltrometre yöntemi kullanılmıştır. Kostiakov'un eklemeli infiltrasyon denklemindeki K ve n sabitleri bulunmuştur. K için değerler sırasıyla 2.48, 8.92, 14.74, 57.29 ve n için 0.74, 0.88, 0.70, 0.40 olarak elde edilmiştir. Philip eşitliğinin eklemeli su alma denklemine ait S (sorptivite katsayısı) değerleri ise 12.58, 125.79, 188.53, 331.68 olarak bulunmuştur. İnfiltrasyon değerleri yer yer farklılık göstermiştir. Yaklaşık olarak infiltrasyon hızları 18 mm/saat, 202 mm/saat, 74 mm/saat ve 20 mm/saat olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar literatürde killi toprak bünyesi için tanımlanan ortalama infiltrasyon hızından fazla çıkmıştır. Çalışma alanında projelenecek bir sulama sisteminin tasarımında infiltrasyon hızı 18 mm/saat olarak alınabilir.

2019, 34 SAYFA

ANAHTAR KELİMELELER: Çift silindir infiltrometre, İnfiltrasyon hızı, İnfiltrasyon eşitlikleri, Toprak nemi.

ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINATION OF INFILTRATION RATE AND EQUATIONS FOR IRRIGATION

YAKUP BEYHAN

TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF BIOSYSTEMS ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. HÜSEYİN ŞİMŞEK)

Determining the infiltration rate and equations is necessary for irrigation and drainage studies. Although infiltration is counted as very simple, we cannot say that infiltration value and equation for a specific area is exact due to the fact that infiltration varies from place to place. In this study, Kostiakov and Philip equation parameters and infiltration rate was determined on the land that belongs to Tokat Gaziosmanpaşa University Agricultural Applications and Research Center that has a clayey form. In order to determine the infiltration rate double ring infiltrometer was used. The K and n constants in Kostiakov cumulative infiltration equation were found. The K value K was found as 2.48, 8.92, 14.74 and 57.29, respectively; and the n value was found as 0.74, 0.88, 0.70 and 0.40, respectively. The S (sorptivity coefficient) values of the Philip cumulative infiltration equation were found as 12.85, 125.79, 188.53 and 331.68. Infiltration values varied from place to place. Infiltration rates were approximately 18 mm/h, 202 mm/h, 74 mm/h and 20 mm/h. These result were higher than the average result defined for clayey soil in the literature. Infiltration rate in the designing of an irrigation system project in the study area can be used as 18 mm/h.

2019, 34 PAGE

KEYWORDS: Double ring infiltrometer, Infiltration equations, Infiltration rate, Soil moisture

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlama sürecinde maddi ve manevi desteklerinden dolayı değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin ŞİMŞEK'e ve anlamadığım konularda bilgilerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Tekin ÖZTEKİN ve Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ'ye; bu süreçte izlenmesi gereken yolları gösteren değerli hocalarım Prof. Dr. Ebubekir ALTUNTAŞ'a, Prof. Dr. Sedat KARAMAN'a, Öğr. Gör. Mehmet Murat CÖMERT hocalarıma, yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Muhammed TAŞOVA'ya, Arş. Gör. Serkan YAZAREL'e, Arş. Gör. Mustafa GÜZEL'e, ve tüm ziraat fakültesi değerli hocalarıma teşekkür ederim. Tez hazırlama sürecinde yaptığı rehberliğinden dolayı Pey. Yük. Mim. Muhammet İslam BEYHAN'a, dualarını esirgemeyen anneme, bana güven duyan babama desteklerinden dolayı kardeşlerime ve aile büyüklerime teşekkür ederim.

Yakup BEYHAN

29 Temmuz 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM	9
3.1. Materyal	9
3.1.1. Araştırma alanı	9
3.1.2. İklim özellikleri.....	10
3.1.3. Sulama sistemi	10
3.1.4. Toprak özellikleri.....	11
3.2. Yöntem	12
3.2.1. Arazi çalışmaları	12
3.2.2. Çift silindir infiltrometre testleri.....	13
3.2.3. Laboratuvar çalışmaları.....	14
3.2.4. İnfiltrasyon testlerinin değerlendirilmesi	17
4. BULGULAR	19
4.1. İnfiltrasyon Eşitliklerinin Elde Edilmesi	19
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	29
6. KAYNAKLAR	31
7. ÖZGEÇMİŞ	34

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Çalışma alanından genel bir görünüm	9
Şekil 3.1. Çalışma alanından genel bir görünüm	12
Şekil 3.2. Çalışma alanında açılan toprak profilinin görünümü	13
Şekil 3.3. Çalışma alanında yapılan infiltrasyon testinden bir görünüm.....	13
Şekil 3.4. İnfiltrasyon testinde su seviyesinin ölçümü	14
Şekil 4.1. Ölçüm No. Ia'da infiltrasyon testinin grafikleri	19
Şekil 4.2. Ölçüm No. Ib'de infiltrasyon testinin grafikleri.....	20
Şekil 4.3. Ölçüm No. Ic'de infiltrasyon testinin grafikleri	20
Şekil 4.4. Ölçüm No. II' de infiltrasyon testinin grafikleri	21
Şekil 4.5. Ölçüm No. Ia'da İnfiltrasyon testinin Kostiakov modeline göre grafikleri.....	21
Şekil 4.6. Ölçüm No. Ia'da İnfiltrasyon testinin Philip'in infiltrasyon hızı eşitliğine ilişkin denklemi	22
Şekil 4.7. Ölçüm No. Ib'de infiltrasyon testinin Kostiakov modeline göre grafikleri.....	22
Şekil 4.8. Ölçüm No. Ib'de infiltrasyon testinin Philip'in infiltrasyon hızı eşitliğine ilişkin denklemi.....	23
Şekil 4.9. Ölçüm No. Ic'de infiltrasyon testinin Kostiakov modeline göre grafikleri	23
Şekil 4.10. Ölçüm No. Ic'de infiltrasyon testinin Philip'in infiltrasyon hızı eşitliğine ilişkin denklemi.....	24
Şekil 4.11. Ölçüm No. II'de infiltrasyon testinin Kostiakov modeline göre grafikleri	24
Şekil 4.12. Ölçüm No. II'de infiltrasyon testinin Philip eşitliğine ilişkin denklemi	25

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Tokat-Merkez ilçe uzun yıllar meteorolojik verileri	10
Çizelge 3.2. Deneme alanına ilişkin toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	11
Çizelge 3.3. İnfiltrasyon testinin yapıldığı yerde başlangıç nem düzeyi	16
Çizelge 4.1. Eklemeli su alma değerlerine ilişkin RMSE değerleri.....	25
Çizelge 4.2. Deneme alanına ilişkin infiltrasyon hızı ve su alma derinliği eşitlikleri.....	26
Çizelge 4.3. Testte ölçülen eklemeli su alma değerleri ile eşitliklerden bulunan eklemeli su alma değerleri.....	27
Çizelge 4.4. İnfiltrasyon hızları.....	28

1. GİRİŞ

Toprak, besin ve su kaynağı olması özelliğinden dolayı bitkiler için bir yetişme ortamı sağlar ve doğal durumu ile üç boyutlu incelendiğinde; katı, sıvı ve gaz fazlarına sahip, içinde birçok canlıyı barındıran bir karışım olduğu gözlemlenir.

Toprakların fiziksel özellikleri ile topraklardan yararlanma amaçları arasında sıkı bir ilişki vardır. Temel (zemin) olarak toprağın taşıma yeteneği, toprağın su tutma kapasitesi, havalanması ve drenaj durumu, bitki köklerinin gelişmesine toprağın gösterdiği direnç, bitki besin elementlerinin toprakta tutulması ve bitkiye sunulması gibi durumlar toprağın fiziksel özelliklerine bağlı ve ilişkilidir. Bu nedenle toprakla uğraşan herkesin toprak fiziksel özelliklerini bilmesi zorunludur (Aydın ve Kılıç, 2010).

Toprağın gerek suyu tutarak depoladığı su miktarı, gerekse depolanan sudan bitkilerin kullanabildiği miktar; toprak bünyesi (tekstür), toprak yapısı (strüktür), hacim ağırlığı, özgül ağırlık, boşluk hacmi oranı (porozite), su geçirgenliği, su alma hızı (infiltrasyon) gibi toprak fiziksel özellikleri ile değişebilir sodyum oranı ve buna bağlı olarak toprak reaksiyonu (pH) gibi toprak kimsayal özelliklerince değişir (Kara, 2011).

Toprak yüzeyine gelmiş olan suyun toprak içine girme hareketine veya olayına infiltrasyon denir. Fakat bu sözcük, her zaman için aynı anlamda kullanılmamaktadır. Bazen, suyun toprak yüzeyinden içeriye girme olayını, bazan da suyun toprağa girmesini etkileyen tüm süreçleri belirtmek için kullanılmaktadır. Özellikle ikinci anlam sözkonusu olduğunda, suyun toprak içinde tutulması ve hareketi gibi süreçler de bu kavramın kapsamına girmektedir (Çepel, 1985). Herhangi bir yağış sırasında başlangıçta infiltrasyon yüksektir. Kısa bir zaman sonra bu oran üst toprağın strüktüründeki değişme sebebiyle düşer ve daha sonra da sabit bir minimuma erişir. Su hızının zamanla azalarak sabit değere erişmesi sonucu kazandığı değere kararlı infiltrasyon adı verilir. Su hızının düşerek sabit değere erişmesine, matrik potansiyelin neden olduğu ileri sürülmektedir.

Zemin ısladıkça matrik potansiyel (tansiyon, kapilar veya kılcal potansiyel) azalır. Ayrıca zeminde suyun ilerlemesini sağlayan hidrodinamik su girişinin öğelerini oluşturan gravitasyonel potansiyel ile basınç potansiyelin belli bir değere erişmesi, sabit seviyeli ve kararlı infiltrasyon hızının doğmasına neden olur (Kanber, 1999).

Toprakta infiltrasyon, suyun toprak yüzeyinden girerek toprak içindeki hareketini ifade eder. Suyun toprak yüzeyinden toprak içine sızma kapasitesine "İnfiltrasyon oranı" denir. İnfiltrasyon oranı kök ve bitki gelişimini etkilediğinden dolayı toprak kalite kriterleri arasında önemli bir yere sahiptir. İnfiltrasyon kapasitesi, hidrologlar tarafından ortaya atılmış bir terimdir. Sonradan toprak fizikçileri, bunun yerine infiltrasyon hızı terimini önermişlerdir. Anılan terim sulama açısından çok daha uygun ve gerçekçi bir tanımlamadır (Kanber ve ark., 2003).

Toprağın su alma hızında birçok faktör etkili olmaktadır. Bunların en önemlileri, toprak bünyesi, toprağın yapısı, toprakta bulunan nem miktarı, toprağın işlenme ve sıkışma durumu, toprak yüzeyindeki su yüksekliği ve topraktaki tuzların cinsi ve miktarıdır (Güngör ve ark., 2012). İnfiltrasyon teorisinin pratik problemlere uygulanabilmesi için uygun infiltrasyon parametrelerinin niceliği belirlenmelidir. Bu parametreleri ortaya çıkaracak ölçümler yapabilmek için, uygun ölçümlerin yapılabileceği şekilde arazide basitçe veya en azından sınırları belli akış koşulları oluşturulmalıdır (Smith ve ark., 1941).

Su alma hızı sulama yönteminin seçiminde, yüzey sulama yöntemlerinde uygun tava ve karık boyutlarının seçiminde, yağmurlama sulama yönteminde başlıkların aralıklarında ve yağmurlama hızının belirlenmesinde dikkate alınması gereken önemli bir etkidir. Genellikle düşük infiltrasyon hızı, yüzey sulama yöntemlerinde daha büyük tava ve karık boyutlarına imkan sağlar. Yüksek infiltrasyon hızında ise derine sızma kayıpları yüksek olur ve boyutları küçültmek gerekir. Ayrıca meyilli arazilerde eğer su alma hızı çok düşük ise yüzey akışlarla kayıplar artar. Toprağın su alma hızı 75.0 mm/h'in üzerinde ise (kumlu topraklar) basınçlı sulama yöntemleri seçilir.

Su alma hızı 12.5 mm/h'den az ise oldukça fazla akış uzunlukları elde edilebileceğinden, genellikle yüzey sulama yöntemleri daha uygun olur. Bu değer 12.5-75.0 mm/h arasında ise sulama yönteminin seçiminde diğer faktörler etkilidir (Yenikale ve Yenikale, 2012). Tarımsal uygulamalarda infiltrasyon hızının bilinmesi büyük bir önem taşımaktadır. İnfiltrasyon hızının kullanıldığı alanları şu şekilde özetlemek mümkündür. Sulama süresinin hesaplanması, uygun karık ve tava boylarının belirlenmesi, yağmurlama sistemlerinin planlanması, yüzey akışın saptanması, erozyon kontrol çalışmaları, tuzlu ve alkali toprakların ıslahı çalışmaları (Aydın ve Kılıç, 2010).

Sulu tarımda beklenen yararı sağlamak için yeterli suyun zamanında ve etkin bir şekilde bitki kök bölgesinde depolanması gerekmektedir. Sulama sistemlerinin projelenmesi ve işletilmesi sırasında kullanılacak temel bilgilerin biri de toprağın infiltrasyon hızının bilinmesidir.

Bu çalışmada, proje alanında gerçekleşen infiltrasyon sonuçlarından infiltrasyon hızını tahmin etmek amacıyla kullanılan Kostiakov ve Philip eşitliklerine ait parametrelerin saptanması ve sulamada toprağa uygulanan su miktarının toprağa infiltrasyonu için gerekli olan süresin belirlenmesi hedeflenmiştir. Araştırma Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezine ait Turhal yolu üzerinde bulunan arazide yürütülmüştür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İnfiltrasyonun tarla koşullarında doğru olarak belirlenmesi ve özellikle yersel ve zamansal değişiminin kestirimi, çok zor olan bir hidrolik ölçüttür. İnfiltrasyon hızı, cm/saat veya mm/saat birimleri ile ifade edilir (Kanber ve ark., 2003). Sulama sistemlerinde toprak içerisinde depo edilen su miktarı kadar, suyun yüzeyde ilerleme ve çekilme hızları da infiltrasyon ile kontrol edilebilir (Hakgören, 1996).

Zeminler küçük alanlarda dahi büyük yerel değişim gösterebilirler. Bu yerel değişiklik sonucunda ve zamanla zemin özelliklerinde olan değişim, zemin su içeriğinin değişmesine neden olur. Tüm bu olaylar gözönüne alınırsa infiltrasyon olayı, oldukça karışık olan bir olaydır. Bu nedenle matematiksel denklemler ile ancak yaklaşık olarak ifade edilebilmektedir (Tekinsoy, 2013).

Gözenekli ortam akışı içinde özellikle düşey infiltrasyonun tarif edilmesinde çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu konudaki infiltrasyon eşitlikleri; genel gözenekli ortam akış ilişkileri temeline oturtulan modeller, toprağın kabul edilen basitleştirilmiş fiziksel özellikleri üzerine oturtulan modeller ve ampirik eşitlikler şeklinde genellikle üç grupta açıklanmaktadır. Suyun toprakta hareketi ile ilgili çalışmalarda infiltrasyon hızıyla toplam infiltrasyon arasındaki ilişkilerin matematiksel eşitliklerle ifade edileceğini Philip, Gardner-Widston, Horton ve Kostikov gibi araştırmacılar ortaya koymuşlardır. Bunlardan Kostikov'un geliştirildiği eşitlik günümüzde sulama uygulamalarında yaygın kullanım alanı bulmuştur. Kostikov eklemeli su alma için Eşitlik 1'i önermiştir (Hakgören, 1996).

$$D = KT^n \quad (1)$$

Eşitlik 1'in zamana göre türevi alınmasıyla infiltrasyon hızı eşitliği bulunur (Eşitlik 2);

$$I = \frac{dD}{dT} = nKT^{n-1} \quad (2)$$

Ortalama infiltrasyon hızı eşitliği ise toplam infiltrasyon denklemini zamana bölerek elde edilebilir (Eşitlik 3);

$$I_{ort} = \frac{D}{T} = \frac{KT^n}{T} = KT^{n-1} \quad (3)$$

Eşitliklerde, D yığışımli infiltrasyon (cm, mm), T infiltrasyon için gerekli zaman (saat dakika), I infiltrasyon hızı (cm/saat, mm/saat), n ve K sabitelerdir.

Kostiakov infiltrasyon eşitliğindeki K parametresinin büyük değere sahip olması başlangıçtaki infiltrasyon hızının yüksekliğini gösterir. Zamanın üssü olan n parametresinin büyük olması ise infiltrasyon hızındaki düşüşün yavaş olduğunu belirtir (Alıcı, 1980).

Horton (1940) tarafından bildirildiğine göre; yağış intensitesinin toprağın infiltrasyon hızından büyük olması durumunda, yağış süresince infiltrasyon hızındaki azalma Eşitlik 4 ile açıklanır (Sönmez, 1980).

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (4)$$

Bu denklemde yağışın başlamasından sonra t anındaki sızma kapasitesi f, yağışın başlangıcındaki sızma kapasitesi f_0 , yağış ilerledikçe (1-3 saat içinde) sızma kapasitesinin erişeceği limit değeri f_c ile gösterilmiştir. f_0 , k ve f_c zemin cinsine ve bitki örtüsüne bağlı değerlerdir. Yağışın başlangıcındaki f_0 değeri bundan önceki yağışlardan beri geçen süreye de bağlıdır. f_c zemin arazi kapasitesine eriştiğinde sızma kapasitesinin alacağı değeri, yani perkolasyon hızını göstermektedir (Bayazit, 2011).

Philip (1954)'e göre; Kostiakov ve Horton eşitliklerindeki parametrelere önem verilmemeli, ortamın fiziksel özelliklerini temel alan eşitliklerin geliştirilmesi gereklidir. Philip eklemeli su alma için Eşitlik 5'i, türetmiş; infiltrasyon hızı için ise Eşitlik 6'yı önermiştir (Sönmez, 1980).

$$I = S t^{1/2} + C t \quad (5)$$

$$i = S t^{(-1/2)} + C \quad (6)$$

Bu eşitliklerdeki terimler ve boyutları; I , t süresindeki kümülatif infiltrasyon (L); S , toprağın başlangıç ve yüzey nem kapsamının ve toprak su difüzyonunun bir fonksiyonu olan katsayı, sorptivite katsayısı ($L/T^{1/2}$); C , toprağın başlangıç ve yüzey nem kapsamının ve toprak su difüzyonunun bir fonksiyonu olan katsayı, iletme katsayısı (L/T); i , infiltrasyon hızıdır (L/T) (Sönmez, 1980).

Kaya (2016), Erzurum Ovası tarla şartlarında gerçekleştirilen infiltrasyon ölçümlerin sonuçlarının farklı infiltrasyon modelleri ile değerlendirilerek ölçüm sonuçlarını en iyi tahmin eden model ve model parametrelerini belirleyerek modeller arası kıyaslama yapmıştır. Bu kıyaslamada birinci sırada Horton eşitliği (bkz. Eşitlik 4) en son sırada ise Philip eşitliğinin (bkz. Eşitlik 5) yer aldığını belirtmiştir.

Toebe (1962), Yeni Zelanda'da bazı havzalarda yaptığı araştırmada yağış ve yüzey akışlarını analiz ederek infiltrasyon eğrilerini çıkardı ve Kostiaikov, Horton ve Philip infiltrasyon eşitliklerinin eğrilerini ölçülen infiltrasyon eğrisi ile karşılaştırarak analiz etti sonuç olarak Horton eşitliğinin en iyi uyumu gösterdiğini belirtmiştir.

Toprakların infiltrasyon kapasitelerini belirlemek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. infiltrasyon kapasitesini yağış ve yüzey akış hızı arasındaki fark olarak kabul eden teknikler ve yüzey akışının önlenmediği yerdeki araştırma şartları altında toprağa dahil olan su miktarını infiltrasyon olarak kabul eden teknikler olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır (Akalan, 1973). Horton (1933, 1935)'a göre yağışın şiddeti azaldıktan sonra zemin tarafından tutulan suyun toprağa infiltre olacağı düşünülerek, infiltrasyon kapasitesi, su toplama havzasına ait yağış ve yüzey akış rakamlarından hesap edilmektedir (Akalan, 1973). Basit, hızlı ve doğru infiltrasyon davranışı ölçümlerini yapmak için temel olarak üç ana yaklaşım vardır. Yağmurlama yöntemleri, silindirik infiltrometre yöntemleri ve permametre yöntemi. Damla sulama infiltrometreleri veya yağmurlama sistemi; başlangıçta yüzey akışını ve toprak erozyonunu incelemek isteyen hidrologlar ve ziraat mühendisleri tarafından geliştirilmiştir (Smith ve ark., 1941).

İnfiltrasyon hızının ölçülmesinde tüm koşullarda uygulanabilecek genel bir yöntem yoktur. Bu nedenle, yöntem seçiminde büyük deneyim ve bilgi birikimine gerek vardır. Bununla birlikte, infiltrasyon hızını saptamada kullanılan belli başlı yöntemler (tek silindir infiltrometre yöntemi, çift silindir infiltrometre yöntemi, karık yöntemi, karık-infiltrometre yöntemi, tava yöntemi, yağmurlama yöntemi, laboratuvar yöntemi) vardır. (Aydın ve Kılıç, 2010).

Ertuğrul ve Hakgören (1973), sabit seviyeli çift silindir infiltrometre ve sabit seviyeli karık infiltrometre ile çok tekerrürlü infiltrasyon ölçmeleri yapmıştır. Sabit seviyeli karık infiltrometreler ile yapılan ölçümler sonunda bulunan infiltrasyon hızlarının sabit seviyeli çift silindir infiltrometrelerle ölçülenlerden daha yüksek olduğunu bulmuştur. İstatistiki analizler her iki metod arasında önemli ve pozitif bir korelasyonun varlığını ortaya koyduğunu, İnfiltrasyon hızı sabitleşinceye kadar geçen zamanın sabit seviyeli karık infiltrometrelerinde çift silindirli infiltrometrelerden biraz daha fazla olduğunu tesbit etmişlerdir.

Yılmaz (2003), tez çalışmasında %22.00, %24.80, %29.50, %34.50 ve %34.70 seviyelerinde beş farklı toprak nem düzeyi oluşturmuş ve gravimetrik yöntemle belirlediği bu nem düzeylerine karşılık gelen infiltrasyon eşitliklerini bulmuştur. İnfiltrasyon ölçümlerinde tıkalı karık infiltrometre yöntemi kullanmıştır. Elde ettiği infiltrasyon eşitliklerini istatistiksel analiz yaparak gruplandırmıştır. Toprak başlangıç nem içeriğinin infiltrasyon hızına etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu belirtmiştir. Ayrıca elverişli kapasitenin %50.00 dolaylarında sulama yapılması planlandığını ve bu değere yakın olan %29.50 nem içeriğindeki infiltrasyon eşitliğinin çalışmanın yapıldığı yerdeki sulama planlamalarında kullanılabilirliğini tespit etmiştir.

Şafak (1991), Harran serisi topraklar için infiltrasyon hızlarını karıklara giren-çıkan suyun ölçülmesi yöntemi, tava yöntemi, sabit su seviyeli çift silindir infiltrometre yöntemi ve yağmurlama yöntemi ile belirlemiş ve bu yöntemlerle Lewis-Kostiakov eşitliğine göre bulduğu gerçek infiltrasyon hızları arasında büyük bir fark olmadığını ve en yüksek infiltrasyon hızının karık yönteminde bulunduğunu bildirmiştir. Birçok faktör infiltrasyon oranını etkiler. İnfiltrasyon sedimentlerin kimyasal-fiziksel şartlarına,

sediment içindeki suyun kimyasal hidrolik karakterlerine bağılı olarak zamanla değişir. İnfiltrasyon hızı toprak tekstürü ve strüktürü özelliklerince etkilenir toprağın yüzey şartları, toprağın nem dağılımı veya toprak-nem tansiyonu, suyun kimyasal ve fiziksel özellikleri, uygulanan su yükü, taban suyu derinliği, suyun uygulama süresi, biyolojik aktivite, suyun sıcaklığı ve sedimentler içerisindeki sıkışmış hava oranı, atmosferik basınç, infiltrasyon hızını saptamada kullanılan yöntemler ekipmanlar, infiltrasyonu etkileyen etmenlerdendir (Johnson, 1991).

Suyun infiltrasyonla, toprağa girişı topraktaki hidrofobik maddelerin varlığı ile önemli ölçüde etkilenmektedir. Normal ıslanabilen toprakların tipik infiltrasyon eğrileri incelendiğinde, başlangıç koşullarında infiltrasyon hızının yüksek ve zamanla biraz azalma göstererek devam ettiği görülebilir. İnfiltrasyon, toprağın hidrolik iletkenliğine bağılı olarak sabit bir hıza ulaşır ve bu hızda devam eder.

Bunun aksine başlangıç koşullarında, güç ıslanan topraklarda, infiltrasyon hızı düşük ve zamanla bir artma gösterir. Bu farklılık güç ıslanan toprakların büyük ıslanma açalarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. İnfiltrasyonun zamanla bir artma göstermesi ise, başlangıçta engellenen suyun gittikçe büyüyen bir su yükü meydana getirmesi ve bunun sonucunda meydana gelen basınç etkisi ile güç ıslanan toprak tanecikleri yüzeylerinde zamanla ıslak yüzeyin artması ile açıklanabilmektedir. Bazı durumlarda ise yüzeye yakın bir güç ıslanan veya ıslanmayan tabaka infiltrasyonu daha başlangıçta büyük oranda azaltmakta veya tamamen durdurmaktadır (Şengönül, 1986). Çalışma alanında yapılan iki infiltrasyon testinde sözü edilen iki durum gözlemlenmiş ve sonuçlar bu çalışmada elde edilmek istenen veriyi hedeflemediği için iki test sonucu dikkate alınmamıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma alanı

Denemenin yürütüldüğü Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezine ait arazide asma (*Vitis vinifera*), kara lahana ve yem bitkisi bulunmaktadır. Arazinin rakımı 591-592 m arasında değişmektedir. Şekil 3.1'de görülen infiltrasyon testlerinin yapıldığı çalışma alanının coğrafi konumu $40^{\circ} 19' 53.5''$ K $36^{\circ} 28' 03.2''$ D şeklindedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanından genel bir görünüm (Anonim, 2018)

3.1.2. İklim özellikleri

Araştırma alanının yıllık sıcaklık ortalaması 12.6°C'dir. En sıcak ay, ortalama 22.5°C ile temmuz ayı; en soğuk ay ise ortalama 1.8°C ile ocak ayıdır. Yıllık yağış 431.7 mm'dir. Uzun yıllar itibariyle en fazla yağış 59.3 mm ile mayıs ayında en az yağış ise 5.5 mm ile ağustos ayında görülmüştür. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinden alınan Tokat Merkez'e ait uzun yıllar (1929-2017) iklim verileri Çizelge 3.1'de verilmiştir (Anonim, 2017).

Çizelge 3.1. Tokat-Merkez ilçe uzun yıllar meteorolojik verileri (Anonim, 2017)

Meteorolojik veriler	Aylar												Yıllık
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ortalama Sıcaklık (°C)	1.8	3.5	7.5	12.5	16.5	19.9	22.4	22.5	18.9	13.7	7.9	3.8	12.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.1	8.2	13.1	19.0	23.5	26.9	29.0	29.7	26.5	20.6	13.6	7.8	18.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1.7	-0.6	2.4	6.6	10.0	13.0	15.4	15.6	12.1	8.1	3.3	0.2	7.0
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.7	3.7	4.8	6.1	7.3	8.2	8.7	9.3	8.4	5.8	4.2	2.5	71.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.7	10.4	12.1	12.5	13.6	8.7	2.8	2.3	4.8	7.9	9.3	11.3	106.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	41.0	33.3	40.5	54.1	59.3	38.9	11.0	5.5	17.9	39.2	43.9	47.1	431.7

3.1.3. Sulama sistemi

Araştırma alanında sulama için gerekli olan su, kuyudan depoya basılmakta ve damla sulama sistemiyle sulama yapılmaktadır. Damla sulamada temel prensip, bitki sıraları boyunca döşenen lateral boru hattı boyunca, toprak içerisinde kabul edilebilir düzeyde eş nem dağılımı sağlayan ıslak bir şerit elde etmektir. Bunu sağlamak için, her bir damlatıcıya ilişkin ıslak hacminin birbirini belirli oranda örtmesi gerekir. Uygulamada, bu örtmenin damlatıcı ıslatma çapının 1/5- 1/3'ü kadar olması istenir ve sistem debisi ile maliyetini artırmamak için 1/5 değeri çoğunlukla tercih edilir. Buna bağlı olarak, lateral boru hattı üzerindeki damlatıcı aralığı, ıslatma çapının %80'i kadar alınır. Eğer, ıslatma çapı arazi testleri ile belirlenmemişse, damlatıcı aralığının Eşitlik 7 ile hesaplanması önerilmektedir (Gül, 2006).

$$S_d = \sqrt{q/I} \quad (7)$$

Burada; S_d damlatıcı aralığını (m), q damlatıcı debisini (l/saat), I toprağın su alma hızı, (mm/saat)'tır. Bağ alanında bulunan damla sulama sisteminde bir lateral içerisindeki 196 adet damlatıcının oluşturduğu ıslatma çapı ortalama olarak 0.73 m olarak bulunmuştur.

3.1.4. Toprak özellikleri

Araştırma alanında açılan profilin katmanlar boyunca hacim ağırlıkları $1.10-1.46 \text{ g/cm}^3$ aralığında değişmektedir. Hacim ağırlığı kullanılarak hesaplanan porozite değerleri %43.54 ile %54.81 arasında değişiklik göstermektedir. Organik madde miktarı bakımından ise orta düzeydedir. Toprak analiz çalışmalarında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Toprak Analiz Laboratuvarından yararlanılmıştır. Deneme alanın toprak özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneme alanına ilişkin toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

Derinlik (cm)	Kum (%)	Silt(%)	Kil(%)	Tekstür Sınıfı	Tarla Kapasitesi (%)	Solma Noktası (%)	Hacim Ağırlığı (g/cm^3)	Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi (mm)	Porozite (%)	Kaba Materyal (%)	Organik Madde (%)	pH 1:1	Kireç (%) CaCO_3	P_2O_5 (kg/da)
0-30	10	20	70	C	22.77	11.90	1.27	41.41	51.01	24.41	2.89	7.43	24.13	2.04
30-60	16	24	60	C	23.03	11.62	1.37	46.90	47.51	20.80	2.01	7.51	28.13	0.41
60-90	18	22	60	C	23.22	9.52	1.32	54.25	49.35	15.10	2.20	7.56	25.46	0.87
90-120	14	26	60	C	22.65	10.08	1.17	44.12	54.81	20.18	3.04	7.63	27.96	0.95
120-150	12	28	60	C	23.37	11.13	1.46	53.61	43.54	11.84	3.21	7.59	28.98	2.44

3.2. Yöntem

3.2.1. Arazi çalışmaları

Araştırma sahasında, 150 cm derinlikte profil açılmıştır (Şekil 3.2). Açılan profilden her 30 cm'lik katından 3 adet bozulmamış toprak örneği alınmıştır. Hacim ağırlığı ve tarla kapasitesinin belirlenmesi amacıyla bozulmamış toprak örnekleri alınırken 5 cm çapında ve 100 cm³ hacminde paslanmaz çelikten yapılmış örnek alma silindirleri kullanılmıştır

Bozulmuş toprak örnekleri, açılan profilden bel küreği ile ortalama 3 kg alınarak plastik torbalar içerisinde laboratuvara taşınmıştır.



Şekil 3.2. Çalışma alanında açılan toprak profilinin görünümü

3.2.2. Çift silindir infiltrometre testleri

Çift silindir infiltrometre testinde; metal silindirler, çakma tablası, çakma aleti, su deposu veya kovası, su seviyesini ölçmeye yarayan ölçme düzeneği, kronometre veya saniye bölümlendirilmesi içeren saat ve kayıt formu gibi ekipmanlar kullanılır. Ölçmelerde kullanılacak silindirlerden içteki silindirin en az 25 cm olması, dıştaki silindirin ise 40 cm ve yüksekliğin 30 cm olması salık verilmektedir. Silindirler, zemine 15 cm derinliğine kadar çakılırlar (Tekinsoy, 2013). Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de çift silindir infiltrometre ve infiltrasyon testinde su seviyesinin ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışma alanında yapılan infiltrasyon testinden bir görünüm



Şekil 3.4. İnfiltrasyon testinde su seviyesinin ölçümü

3.2.3. Laboratuvar çalışmaları

Araştırma alanında açılan toprak profilinin 0-30, 30-60, 60-90, 90-120 cm derinliklerinden alınan bozulmuş toprak örneği ayrı ayrı sergiler üzerinde kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten elenmiş, ardından 1 kilogram ayrılarak plastik torbalar içerisinde toprak analiz laboratuvarına gönderilmiştir. Arta kalan toprak örneğinden kaba materyal ayrılarak toprakların kaba materyal oranı belirlenmiştir. Bünye analizi sonunda belirlenen kum, kil ve silt yüzdeleri göz önüne alınarak bünyenin tanımlanmasında tekstür üçgeni kullanılmış, profilin her 30 cm derinlikteki katmanının killi bünyeye sahip olduğu görülmüştür. Araştırma alanında açılan örnek alma çukuru profil boyunca homojen bir tekstür sergileyip ağır bünyeli toprak sınıfına girmektedir. Topraktaki taşlılık ve çakıllılık miktarını bulmak için her katmanın toprak örneği havada kurutulur ve hava kurusu haline gelen örnek tartılır. Kayıp vermeksizin tokmakla ezilir. 2 mm'lik elekten geçirilir.

Elek üzerinde kalan kısım yıkama suyu berraklaşmaya kadar yıkanır, tekrar hava kurusu haline getirilir (Akıllıoğlu ve Direnç, 2002). Tartılıp bunların miktarını

oranlayarak yüzde olarak taşlılık ve çakıllılık (kaba materyal) miktarı bulunur. Deneme alanı topraklarına ait tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri (bkz. Çizelge 3.2) dikkate alındığında 120 cm toprak derinliği için kullanılabilir su tutma kapasitesi 155.60 mm'dir (Temizel ve ark., 2011). Toprak yüzeyine yakın nem; yüzey akışının, infiltrasyonun, aşağı ve yukarı dağılımın, depolama ve drenajın belirlenmesinde temel faktördür. Toprak nemi ekosistemlerin işleyişinde hayati bir rol oynamaktadır. Yüzeysel toprak nemi, meteorolojik döngülerin temel bir bileşenidir (Behari, 2005).

Toprakta bulunan su değişik biçimde ifade edilebilmektedir. Ağırlık cinsinden toprak suyu; toprakta bulunan su kütleinin, kuru toprak ağırlığına oranıdır. Bu gravimetrik su miktarı ya da ağırlıklı cinsinden su olarak adlandırılır. Kuru toprak ağırlığı 105°C'de sabit ağırlığa kadar kurutularak dengeye gelmiş topraktır (Çetin, 2003). Silindirlerle alınan toprak örnekleri etüvde 105°C'de kurutularak nem düzeyi belirlenmiştir. İnfiltrasyon miktarı ve hızları, zeminin başlangıç su içeriğine bağlıdır. Bu nedenle zeminin içerdiği başlangıç su içeriğine göre infiltrasyon eğrilerinin çıkarılması gerekir. Ayrıca zemin yüzeyinden itibaren ilk 30 cm'lik derinliğine kadar olan zemin özellikleri, zemine suyun sızması bakımından önem taşır (Tekinsoy, 2013).

İnfiltrasyon testinin yapıldığı alanda oluklu burgu kullanılarak alınan toprak örneklerinden mevcut başlangıç nem miktarı ağırlık yüzdesi su içeriği ve hacim yüzdesi su içeriği değerleri hesaplanmış ve Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Testlerde, profil boyunca her 30 cm'den 120 cm derinliğe kadar olmak üzere bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır. Kuru ağırlık esasına göre hesap edilen nem kapsamı değerleri, hacim ağırlığı değerleriyle çarpılarak her 30 cm derinlik için hacim esasına göre nem kapsamı bulunmuştur. Daha sonra, 0-30 cm ile 30-60 cm derinlikler için bulunan değerlerin ortalaması alınarak, 0-60 cm derinlik için ve 60-90 , 90-120 cm derinlikler için bulunan değerlerin ortalaması alınarak 60-120 cm derinlik için ortalama nem kapsamı bulunmuştur. Ayrıca bu iki derinlik için bulunan ortalama nem kapsamının da ortalaması alınarak 0-120 cm derinlik için ortalama nem kapsamı bulunmuştur (Sönmez, 1980).

Çizelge 3.3. İnfiltrasyon testinin yapıldığı yerde başlangıç nem düzeyi

Ölçüm Noktası	Toprak Derinliği (cm)	Nem Yüzdesi (% P _w)	Nem Yüzdesi (%P _v)	Ortalama Nem Yüzdesi (%P _v)
Bağ Alanı Yanı (I)	0-30	16.17	20.54	20.52
	30-60	14.33	19.63	
	60-90	15.94	21.04	
	90-120	17.83	20.86	
Bağ Evinin Yanı (II)	0-30	14.58	18.51	18.42
	30-60	10.08	13.81	
	60-90	15.21	20.01	
	90-120	18.27	21.38	

3.2.4. İnfiltrasyon testlerinin değerlendirilmesi

İnfiltrasyon testlerine, su alma hızı sabitleninceye kadar devam etmek gerekir. Ancak özellikle orta ve ağır bünyeli topraklarda bu süre çok uzun olur. Bu nedenle yağmurlama ve damla sulama sistemlerinde kullanılacak su alma hızı, Excel paket programı aracılığıyla, sadece 5 saatlik test ile belirlenebilir. Böylece, zaman ve emekten önemli düzeyde tasarruf sağlanır. Çözüm aşamaları verildiği gibidir (Orta, 2017);

- Standart zaman aralıklarında olmak üzere, 3 kez 10 dakika, ikişer kez 15 ve 30 dakika, birer kez 60 ve 120 dakika ara ile su düzeyleri ölçmeleri yapılarak test 300 dakikada bitirilir.
- Excel'de birinci kolona "Eklemeli Zaman" ve ikinci kolona "Eklemeli Su Alma" değerleri yazılarak hepsi seçilir."Ekle" sekmesindeki "Dağıtım Grafikleri" arasından "Yalnızca İşaretçileri Olan Dağılım" seçeneği tıklanır.
- Oluşturulan grafikte, noktalardan biri üzerine sağ tıklanarak "Eğilim Çizgisi Ekle" seçeneği tıklanır. Açılan pencerede, eğilim türü "Üs", "Grafik Üzerinde Denklemi Görüntüle" ve "Grafik Üzerinde R-kare Değerini Görüntüle" seçenekleri işaretlenip kapatılır.

- Bilindiği gibi, gerçek infiltrasyon hızı değerlerine, ağır bünyeli topraklarda 20 saat, orta bünyeli topraklarda 15 saat, hafif bünyeli topraklarda 10 saat civarında süren infiltrasyon testleri sonunda ulaşılabilmektedir. Bu nedenle, ağır bünyeli topraklarda 20. saat ve 19. saat, orta bünyeli topraklarda 15. ve 14. saat, hafif bünyeli topraklarda da 10. ve 9. saat değerleri dikkate alınarak eklemeli su alma (D, mm) hesaplanır.

Kostiakov infiltrasyon eşitliklerine ait parametrelerinin elde edilmesi yukarıda sunulmuştur. Deneme alanında infiltrasyon hızı çok fazla olduğundan dolayı yukarıda çözüm aşamasında verilen zaman aralığı takip edilememiştir.

Eşitlik 8'de verilen denklem sistemi denemede gözlenmiş olan çeşitli t, I değerleri için çözümlenerek Philip'in kümülatif infiltrasyon için türetmiş olduğu eşitliğe ait S ve C parametreleri grafik yöntemi ile çözümlenmiştir.

$$S\sum t + C\sum(t\sqrt{t}) = \sum(\sqrt{t} I); S\sum(t\sqrt{t}) + C\sum t^2 = \sum(t I) \quad (8)$$

Bu eşitlikte; I, t süresindeki kümülatif infiltrasyon (L); S, toprağın başlangıç ve yüzey nem kapsamının ve toprak su difüzyivitesinin bir fonksiyonu olan katsayı, sorptivite katsayısı ($L/T^{1/2}$); C, toprağın başlangıç ve yüzey nem kapsamının ve toprak su difüzyivitesinin bir fonksiyonu olan katsayı, iletme katsayısı (L/T); i, infiltrasyon hızıdır (L/T).

Bu çalışmada deneme alanında eklemeli su alma değerleri Philip ve Kostiakov'un eklemeli infiltrasyon için önerdikleri eşitlikler yardımıyla değerlendirilmiştir. Bu iki eşitlikteki parametreler yukarıda sunulduğu gibi en küçük kareler yönteminin uygulanmasıyla bulunmuşlardır (Sönmez, 1980).

Philip'in infiltrasyon hızına ilişkin eşitliğinin parametreleri eğri uydurma yöntemiyle elde edilmiştir. Kostiakov ve Philip eşitliklerinden elde edilen değerler ile çift silindir infiltrometre yöntemiyle gerçekleştirilen infiltrasyon testinde ölçülen değerler karşılaştırılarak determinasyon katsayısı olarak modellerin tahmini ile ölçülen değerlere

uyum derecesi belirlenmiştir (Rajasekhar ve ark., 2018). Eşitliklerin benzeşimlerinin karşılaştırılmasında hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ve determinasyon katsayısı (R^2) hesaplanarak belirlenmiştir. RMSE ve R^2 'in hesaplanmasında kullanılan formüller Eşitlik 9 ve Eşitlik 10 'da verildiği gibidir (Temizyürek, 2015).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2} \quad (9)$$

Bu eşitlikte; n veri sayısını, y_j ölçülen değeri \hat{y}_j tahmin edilen değeri ifade etmektedir.

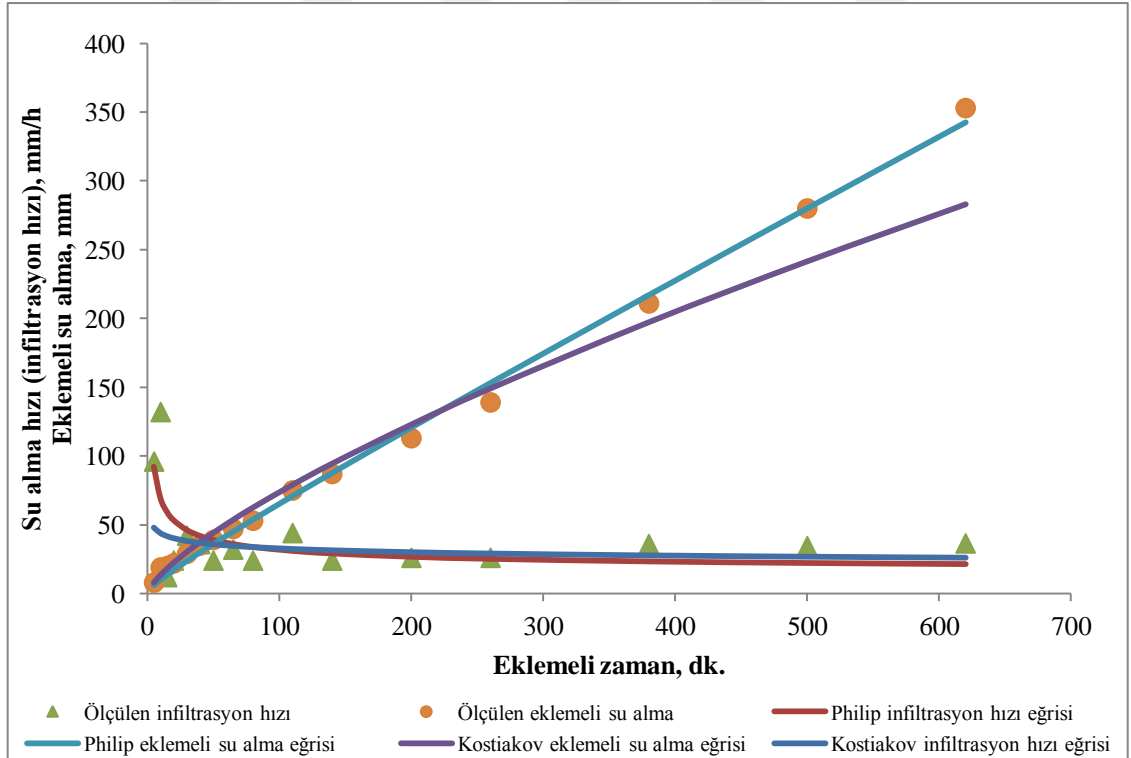
$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2} \quad (10)$$

Burada; R^2 determinasyon katsayısı, \hat{Y} tahminlenen değer, \bar{Y} ölçülen değerlerin ortalaması, Y ölçülen değerleri ifade etmektedir. Bu çalışmada infiltrasyon eşitliklerinin (modellerinin) karşılaştırılmasında R^2 ve RMSE istatistiği dikkate alınmıştır.

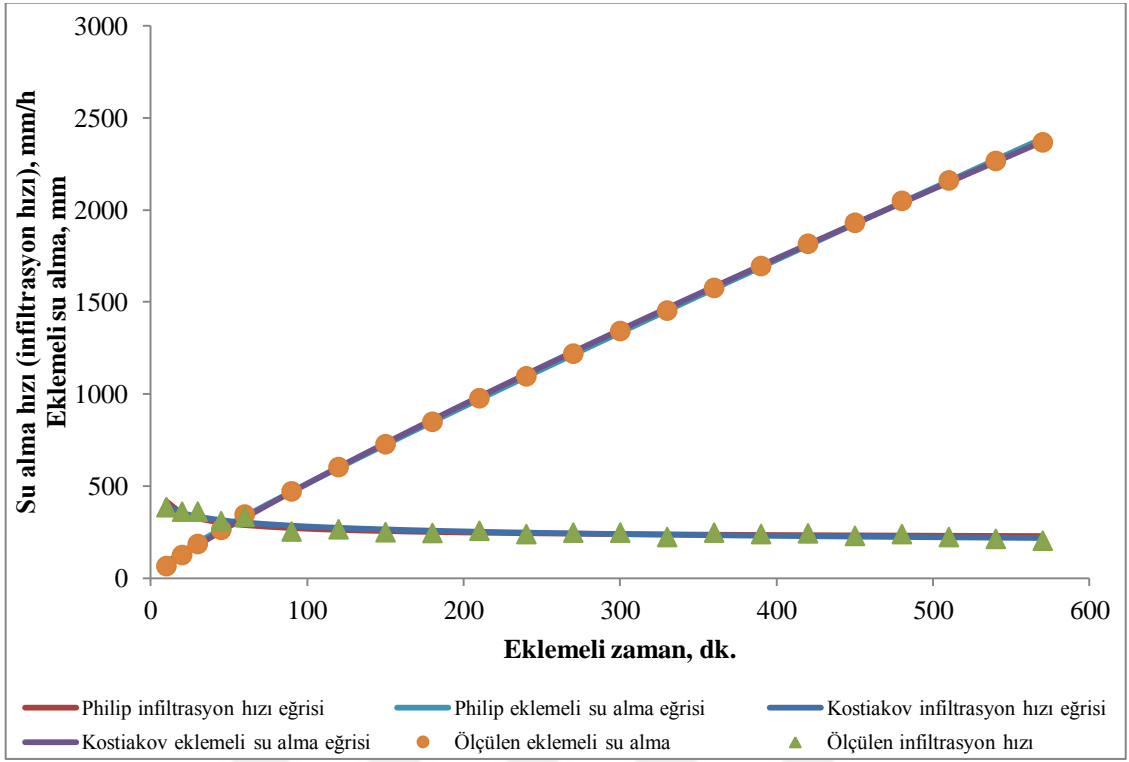
4. BULGULAR

4.1. İnfiltrasyon Eşitliklerinin Elde Edilmesi

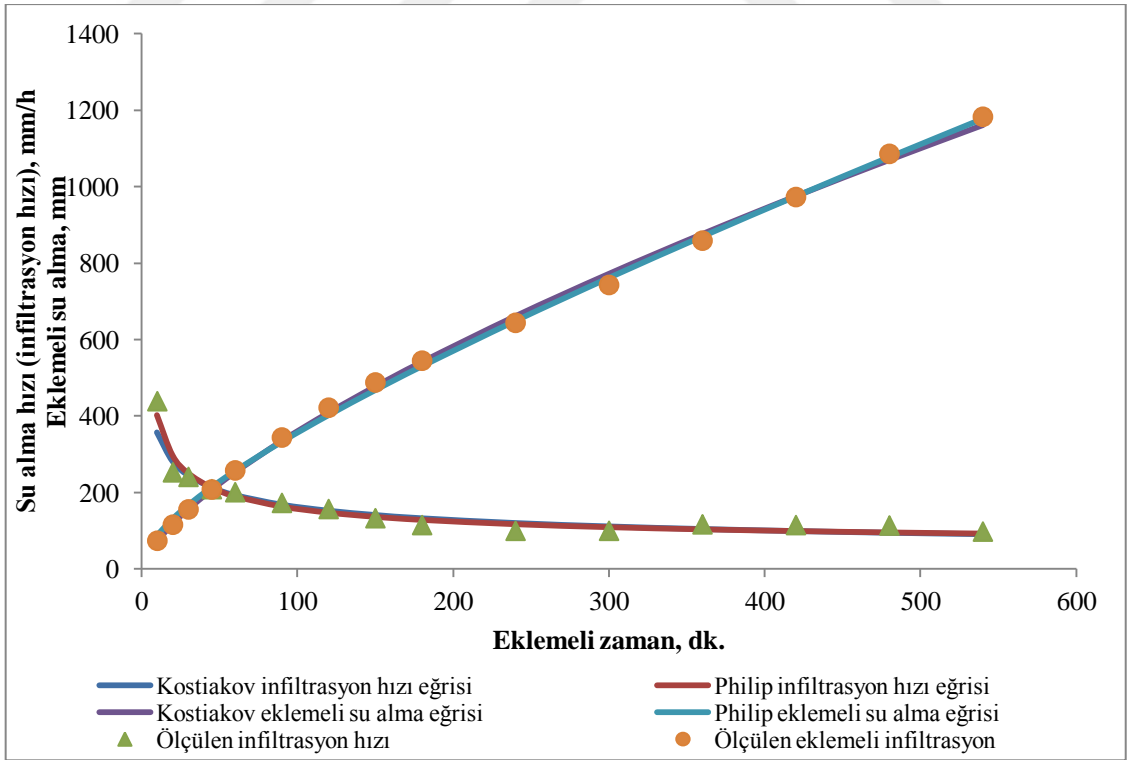
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi alanında değişken seviyeli çift silindir infiltrometre ile yapılan infiltrasyon testlerinden ölçülen su alma değerlerinden yararlanarak, toprağın su alma hızı, eklemeli su alma ve eklemeli zaman arasındaki ilişkileri modelleyen Kostiakov ve Philip eşitlikleri Microsoft Excel programıyla grafiklendirilmiştir. Bahsedilen ilişkilerin aritmetik ölçekte grafiklendirilmesi Şekil 4.1., Şekil 4.2., Şekil 4.3., Şekil 4.4'de gösterildiği gibidir. Eklemeli su alma, infiltrasyon hızı ve zaman arasındaki ilişkinin Kostiakov'un önerdiği eşitliğe göre logaritmik ölçekte grafiklendirilmesi Şekil 4.5, Şekil 4.7, Şekil 4.9 ve Şekil 4.11'de; infiltrasyon hızı ve zaman arasındaki ilişkinin Philip eşitliğine göre grafiklendirilmesi Şekil 4.6, Şekil 4.8, Şekil 4.10 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



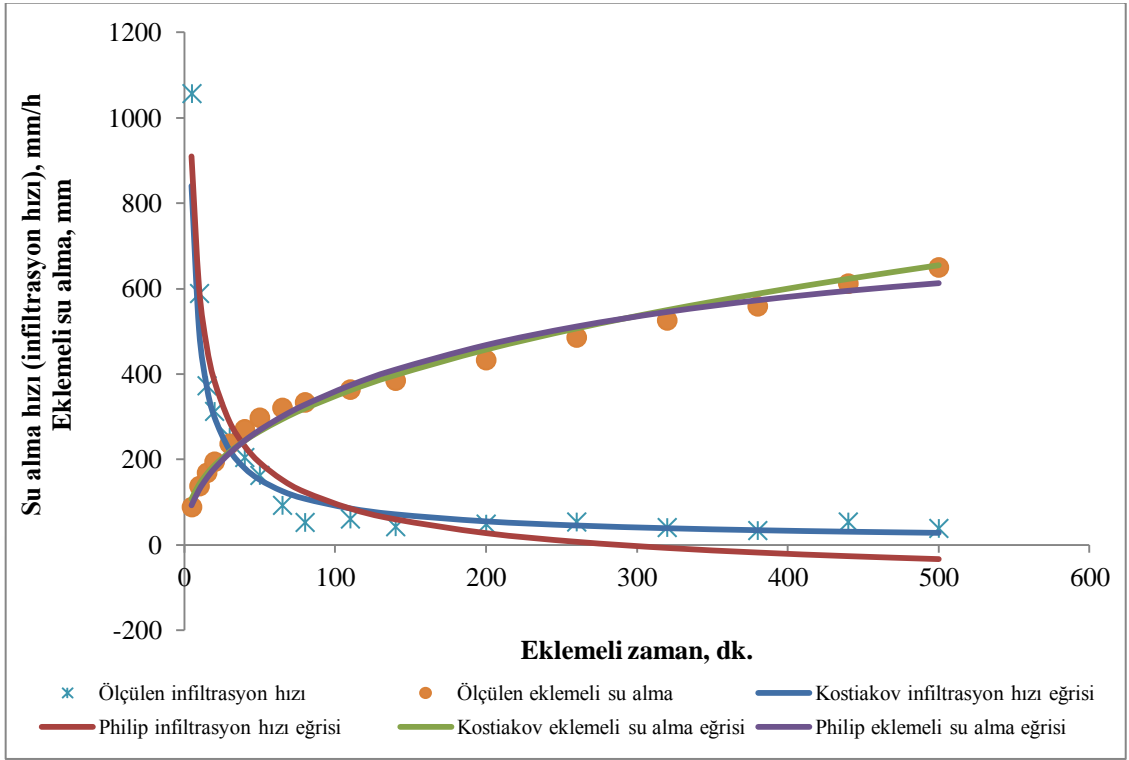
Şekil 4.1. Ölçüm No. Ia'da infiltrasyon testinin grafikleri



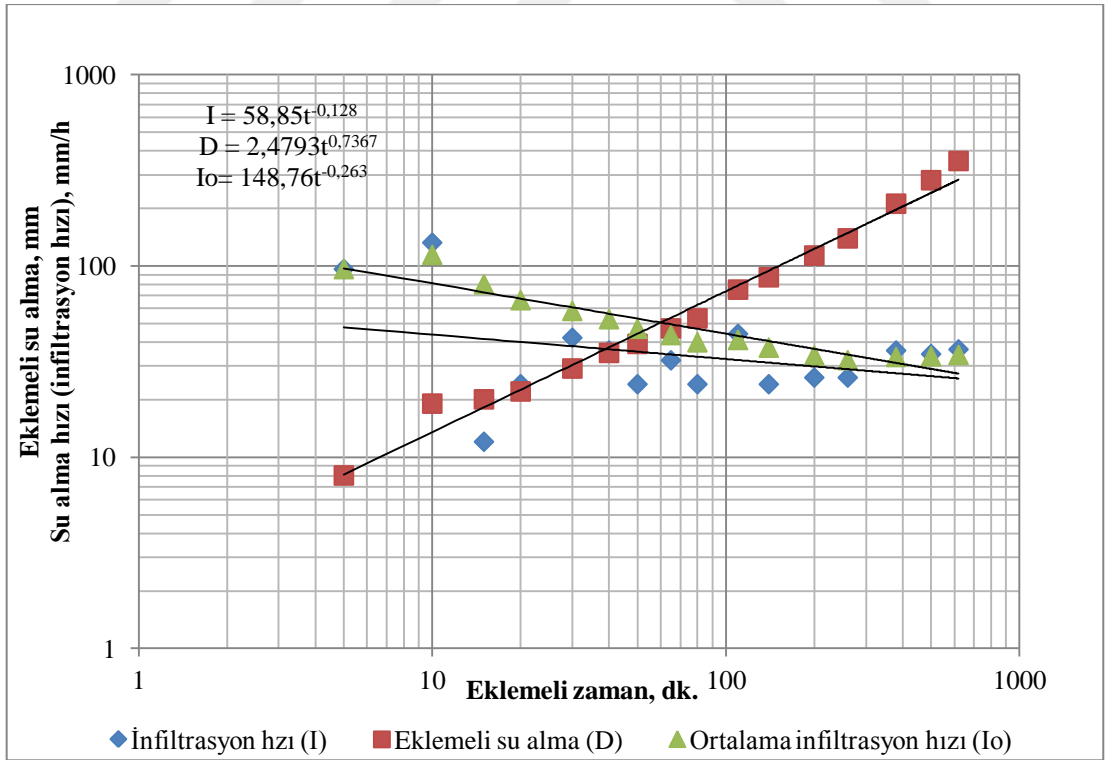
Şekil.4.2. Ölçüm No. Ib’de infiltrasyon testinin grafikleri



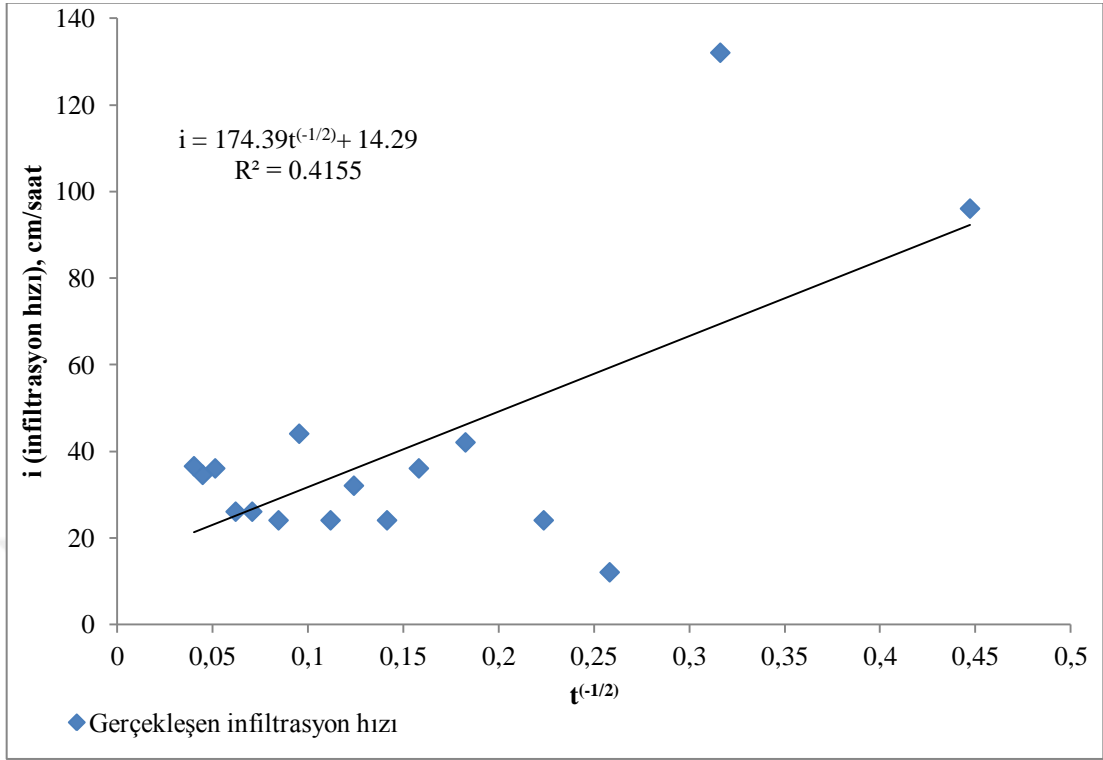
Şekil 4.3. Ölçüm No. Ic’de infiltrasyon testinin grafikleri



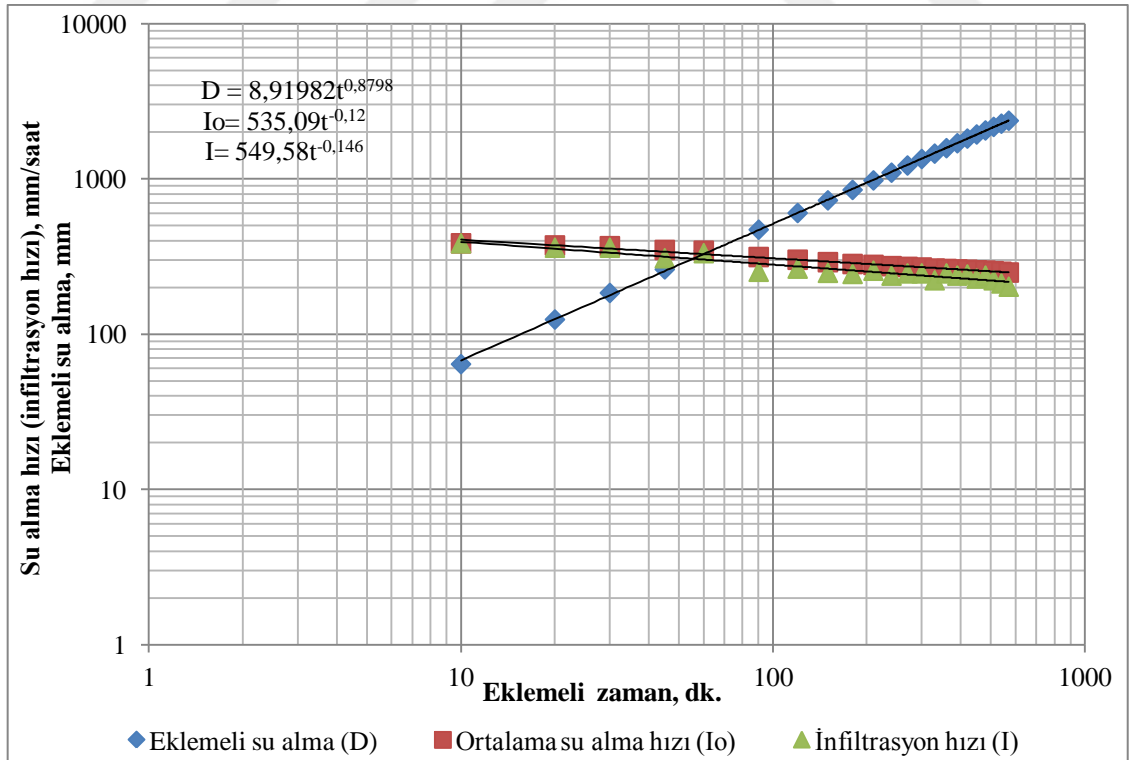
Şekil 4.4. Ölçüm No. II'de infiltrasyon testinin grafikleri



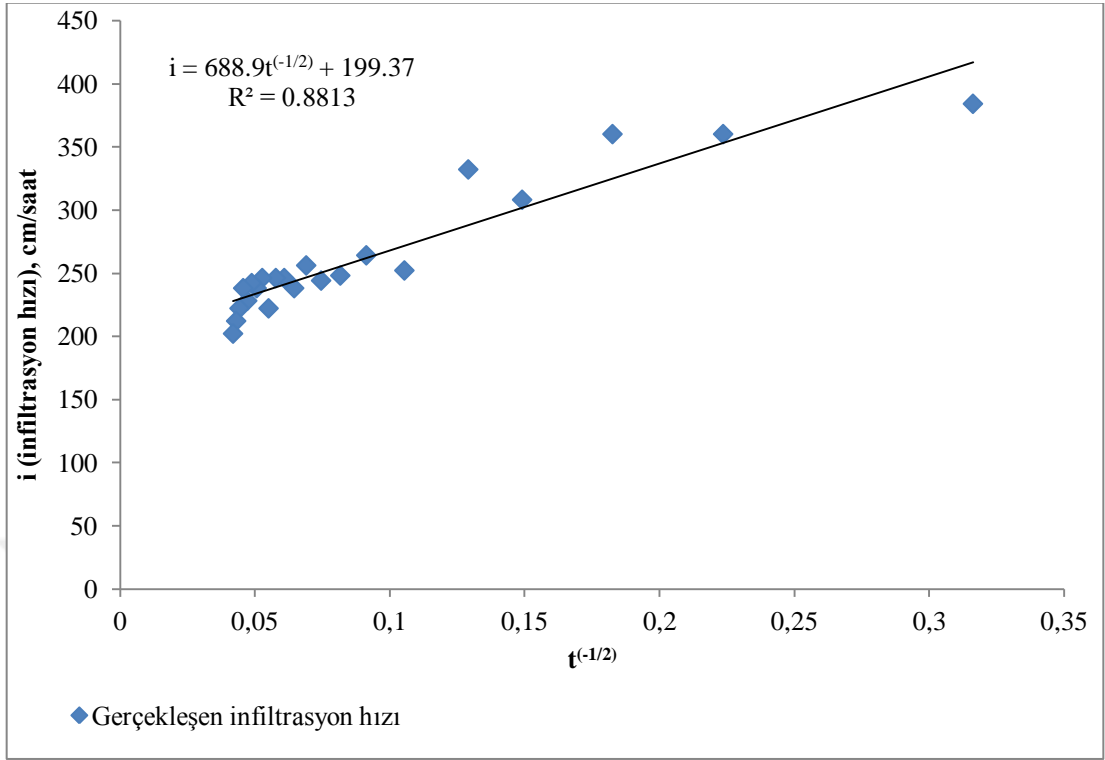
Şekil 4.5. Ölçüm No. Ia'da infiltrasyon testinin Kostiakov modeline göre grafikleri



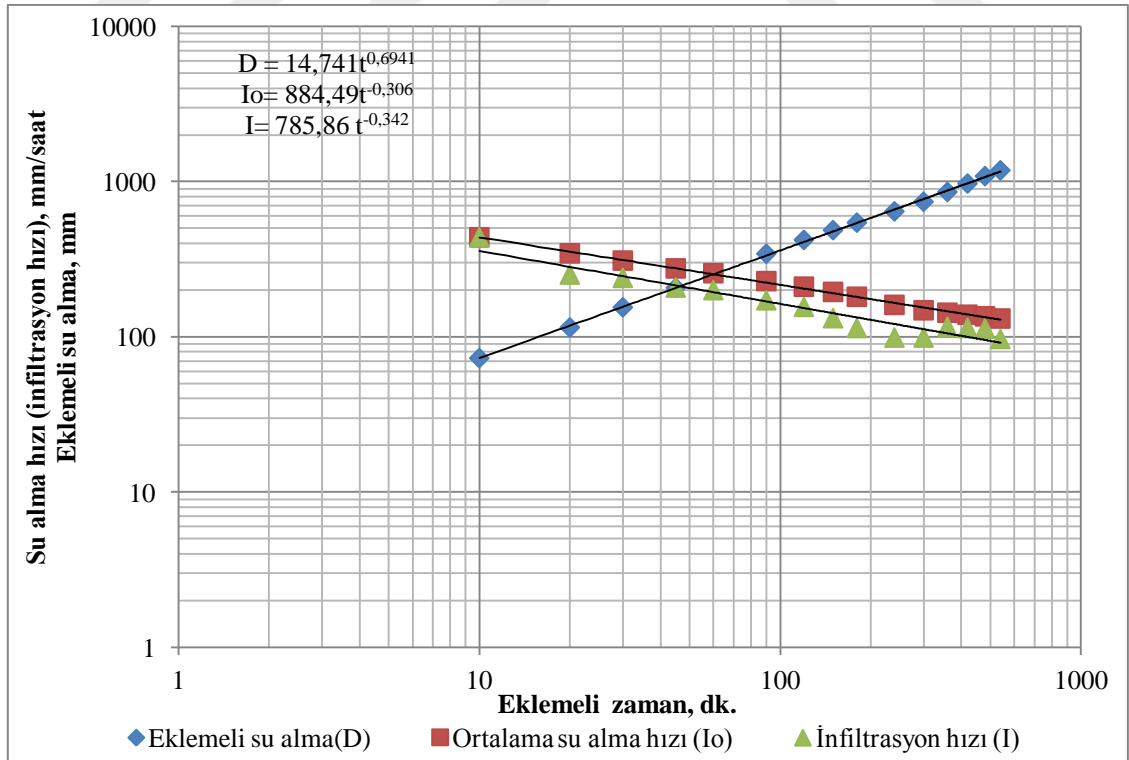
Şekil 4.6. Ölçüm No. Ia'da infiltrasyon testinin Philip'in infiltrasyon hızı eşitliğine ilişkin denklemi



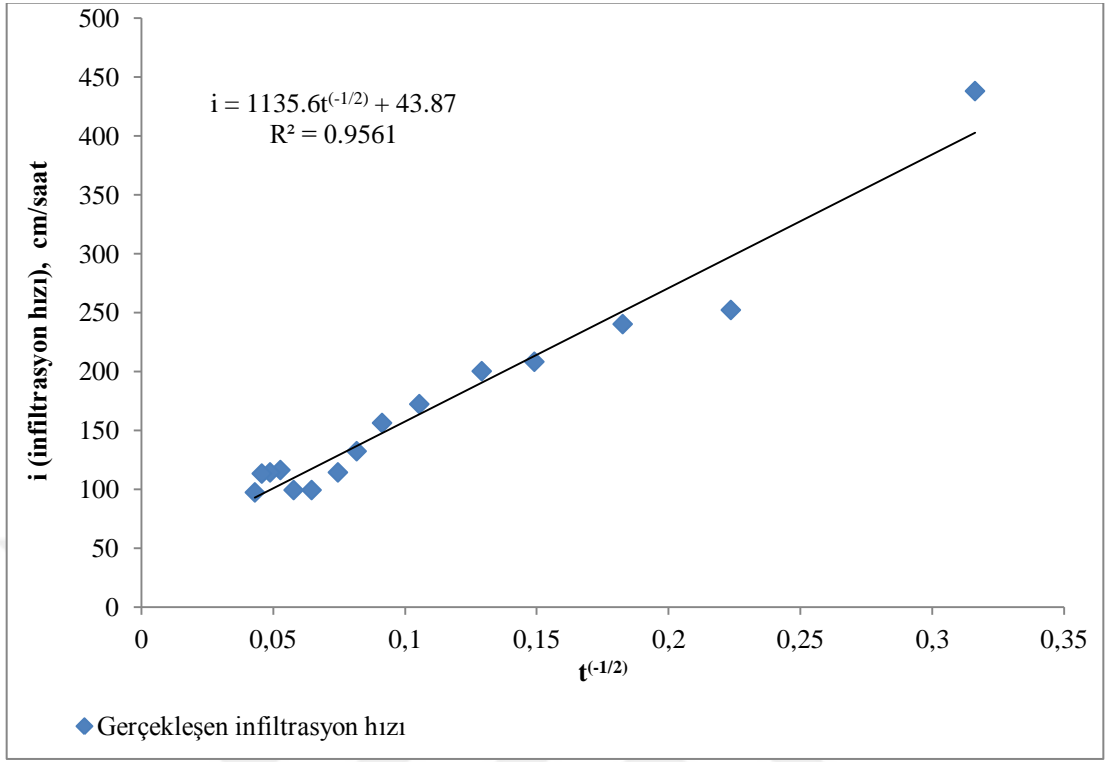
Şekil 4.7. Ölçüm No. Ib'de infiltrasyon testinin Kostiakov modeline göre grafikleri



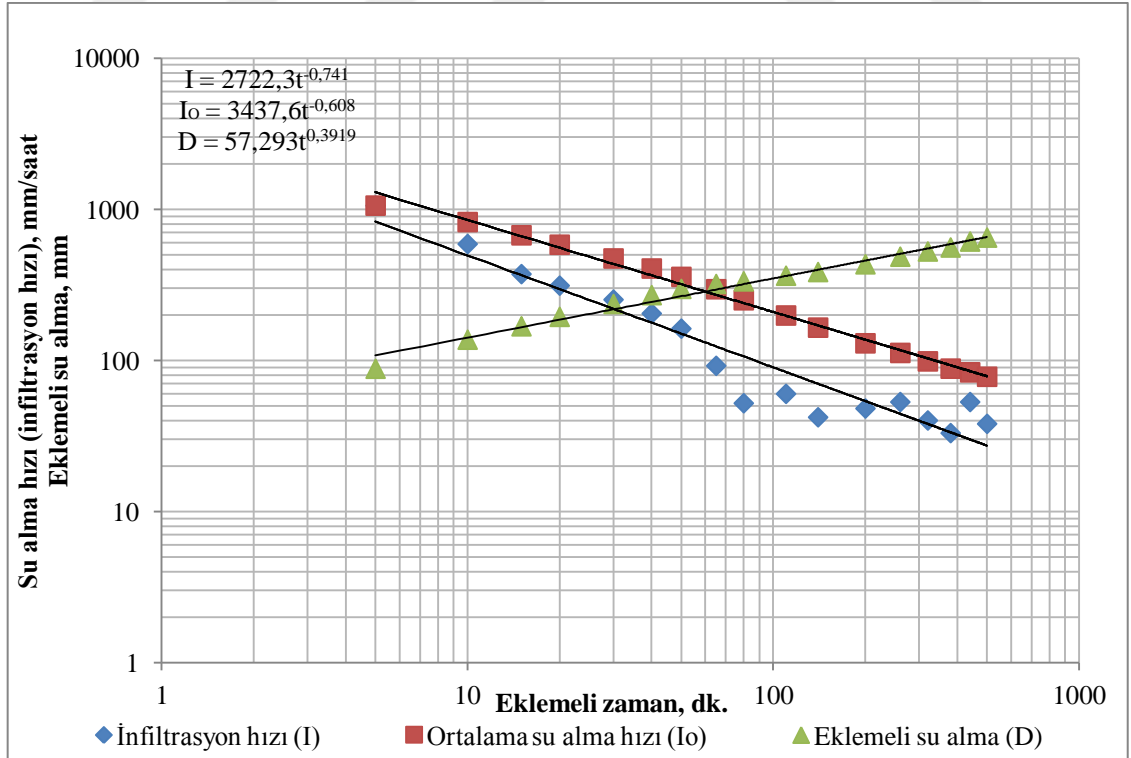
Şekil 4.8. Ölçüm No. Ib'de infiltrasyon testinin Philip'in infiltrasyon hızı eşitliğine ilişkin denklemi



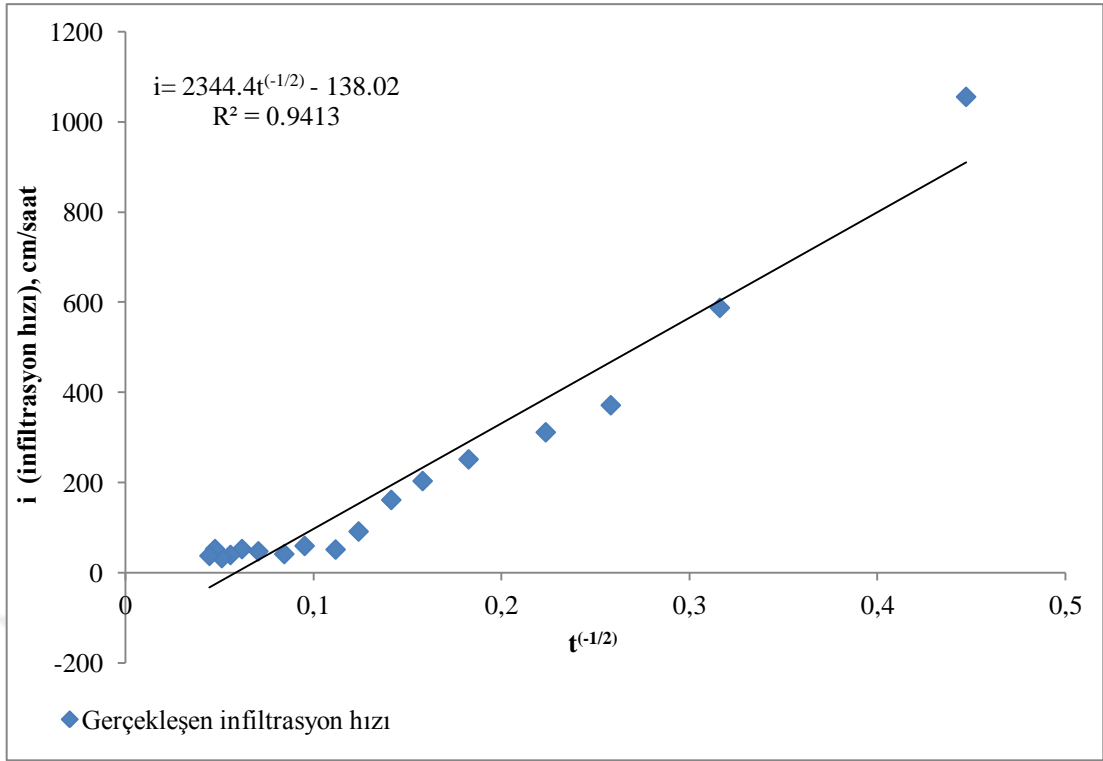
Şekil 4.9. Ölçüm No. Ic'de infiltrasyon testinin Kostikov modeline göre grafikleri



Şekil 4.10. Ölçüm No. Ic'de infiltrasyon testinin Philip'in infiltrasyon hızı eşitliğine ilişkin denklemi



Şekil 4.11. Ölçüm No. II'de infiltrasyon testinin Kostiakov modeline göre grafikleri



Şekil 4.12. Ölçüm No. II'de infiltrasyon testinin Philip eşitliğine ilişkin denklemi

Ölçülen eklemeli su alma değerleri ile infiltrasyon eşitliklerinden elde edilen değerlerin uyumlarını değerlendirmek için kullanılan hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) istatistiği Çizelge 4.1'de verildiği gibidir. Determinasyon katsayısı ve infiltrasyon eşitlikleri Çizelge 4.2'de, Kostiakov ve Philip eşitliklerinden elde edilen eklemeli su alma değerleri ile ölçülen su alma değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.3'te görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.1. Eklemeli su alma değerlerine ilişkin RMSE değerleri

İnfiltrasyon Eşitlikleri	Ia . infiltrasyon testi	Ib. infiltrasyon testi	Ic. infiltrasyon testi	II. infiltrasyon testi
Kostiakov	19.35	8.70	13.16	19.02
Philip	6.30	9.25	12.52	21.56

Çizelge 4.2. Deneme alanına ilişkin infiltrasyon hızı ve eklemeli su alma eşitlikleri

EŞİTLİKLER	Ölçüm No	İnfiltrasyon Hızı Eşitlikleri I	R ²	Ortalama İnfiltrasyon Hızı Eşitlikleri I _o	Eklemeli Su Alma Eşitlikleri D	R ²
KOSTIAKOV	Ia. İnfiltrasyon testi	$I = 58.85 T^{-0.13}$	0.295	$I_o = 148.76 T^{-0.26}$	$D = 2.48 T^{0.74}$	0.981
	Ib. İnfiltrasyon testi	$I = 549.58 T^{-0.15}$	0.916	$I_o = 535.09 T^{-0.12}$	$D = 8.92 T^{0.88}$	0.999
	Ic. İnfiltrasyon testi	$I = 785.86 T^{-0.34}$	0.932	$I_o = 888.49 T^{-0.31}$	$D = 14.74 T^{0.70}$	0.999
	II. İnfiltrasyon testi	$I = 2722.30 T^{-0.74}$	0.986	$I_o = 3437.60 T^{-0.61}$	$D = 57.29 T^{0.40}$	0.990
PHİLİP	Ia. İnfiltrasyon testi	$i = 174.39t^{(-1/2)} + 14.27$	0.415	-	$I = 1.66t^{1/2} + 0.49t$	0.996
	Ib. İnfiltrasyon testi	$i = 688.99t^{(-1/2)} + 199.37$	0.881	-	$I = 16.24t^{1/2} + 3.51t$	0.999
	Ic. İnfiltrasyon testi	$i = 1135.60t^{(-1/2)} + 43.87$	0.956	-	$I = 24.34t^{1/2} + 1.13t$	0.999
	II. İnfiltrasyon testi	$i = 2344.40t^{(-1/2)} - 138.02$	0.941	-	$I = 42.81t^{1/2} - 0.69t$	0.985

İnfiltrasyon testleri ile basınçlı sulama yöntemlerinin uygulanacağı proje alanlarında yalnızca su alma hızının ölçülmesi yeterlidir. Yüzey sulama yöntemleri söz konusu olduğunda ise su alma hızının yanında, eklemeli su alma eşitliklerinin de belirlenmesi gerekir. Çift silindir infiltrometre ölçmeleri ile elde edilecek eklemeli su alma eşitlikleri ancak, tava ve uzun tava sulama yöntemlerinde kullanılabilir. Karık sulama yönteminin uygulanacağı alanlarda, çift silindir infiltrometre yanında, karıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesi yoluyla infiltrasyon testlerinin yapılması ve bu testler sonucunda elde edilecek eklemeli su alma eşitliklerinin kullanılması gerekir (Yıldırım, 2013).

Deneme alanına ilişkin kararlı infiltrasyon hızı değerleri Çizelge 4.4'te elde edildiği gibidir.

Çizelge 4.4. İnfiltrasyon hızları

Çift silindir infiltrometrelerin konumu	İnfiltrasyon hızı (mm/saat)
Ia. İnfiltrasyon testi	17.50
Ib. İnfiltrasyon testi	201.80
Ic. İnfiltrasyon testi	74.40
II. İnfiltrasyon testi	19.80

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Toprağın su alma hızının ölçülmesinde ve su alma özelliklerinin belirlenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır ayrıca birçok eşitlik geliştirilmiştir. Bu çalışmada, toprağın su alma hızını karşılayabilecek miktarda su debisi, arazi şartları, suya ulaşabilirlik, araştırma alanında mevcut sulama sistemi, alet ekipman varlığı gibi etmenler göz önüne alındığı zaman sulama yöntemleri için çift silindir infiltrometre yöntemi kullanılarak araştırma alanına ilişkin infiltrasyon hızı ve eşitlikleri elde edilmiştir. Yapılan infiltrasyon testi sonuçları literatürde belirtilen değerlerden fazla çıkmıştır; bu nedenle çalışma alanında uygulanması gereken en uygun sulama yöntemi basınçlı sulama yöntemleridir.

Yıldırım ve Korukçu (1999) damla sulama yöntemi için, etkili kök derinliğinde toprağın kullanılabilir su tutma kapasitesinin %60-70'i kadar nem bulunduğunda infiltrasyon testlerinin yapılması gerektiğini daha kuru ya da daha ıslak toprak nem koşullarında yapılacak ölçmelerin yanıltıcı olacağını belirtmişlerdir. Tekinsoy (2013) başlangıç nem düzeyinin infiltrasyon üzerine önemli bir etkisinin olduğunu, ancak kararlı infiltrasyon hızının bir zemin için daima aynı değere sahip olduğunu belirtmiştir. Deneme alanında 2017 yılı Temmuz ayında yapılan infiltrasyon hızı değerleri 47.70 mm/h, 39.10 mm/h, 11.50 mm/h ve 91.30 mm/h bulunmuştur. Aynı bölgede 2018 yılı Mayıs ayında yapılan son yapılan testlerde infiltrasyon hızları 17.50 mm/h, 201.80 mm/h, 74.40 mm/h ve 19.80 mm/h bulunmuştur. Bu bulunan değerler Şahin (1994)'in Daphan Ovası toprakları için yaptığı birçok infiltrasyon testleri sonuçları gibi çeşitlilik arz etmiş ve söz konusu toprak bünyesi için literatürde verilen ortalama infiltrasyon hızlarından oldukça yüksek çıkmıştır. Grafikleri verilen infiltrasyon hızları Kohke (1968)'e göre sınıflandırıldığında sırasıyla oldukça yavaş, hızlı, oldukça hızlı ve oldukça yavaş sınıfına girmektedir (Hanay, 1990).

En küçük kareler yöntemiyle elde edilen infiltrasyon eşitliklerinin ölçülen infiltrasyon değerlerine benzeşimi yüksek çıkması bu eşitliklerin parametrelerinin kullanılabilirliğini ifade etmektedir. Ia infiltrasyon testi için Kostiakov ve Philip eşitliklerinin R^2 değerleri incelendiğinde Philip eşitliğinin ölçülen eklemeli su alma değerlerine daha iyi uyduğu görülür. Ib infiltrasyon testi için ise R^2 değerleri aynı olup RMSE değerlerinin daha

küçük olması nedeniyle Kostiakov eşitliğinin daha başarılı; Ic infiltrasyon testi için ise R^2 değerleri yine aynı olup Philip eşitliğinin RMSE değerleri küçük olduğu için daha başarılı; II infiltrasyon testi için ise R^2 değerinin daha büyük olmasından dolayı Kostiakov eşitliğinin daha başarılı olduğunu belirtebiliriz. Aynı zamanda Şekil 4.4'te görüldüğü gibi Philip'in infiltrasyon hızı için önerdiği denklemden elde edilen infiltrasyon hızı değerleri negatif değerler almıştır. Bu da Philip eşitliğinin geniş zaman aralıkları için başarısız olduğunu göstermektedir (Jaynes ve Gifford, 1981). Philip eşitliğine göre Kostiakov eşitliğini Excel paket programı aracılığıyla elde etmek daha kolay olduğundan ve sağladığı uyumdan dolayı söz konusu çalışma alanında infiltrasyon hızını ve denklemlerini bulmak için Kostiakov eşitliği önerilebilir.

Genellikle yüzey sulamada kullanılabilir su kapasitesinin yarısı tükendiği zaman sulama yapılır. İnfiltrasyon eşitliklerinin Kostiakov eşitliklerine göre kullanılabilir su kapasitesinin yarısı oranındaki su miktarının net infiltrasyon süreleri hesaplandığında sırasıyla yaklaşık yüz beş dakika, on iki dakika, on bir dakika, iki dakika olarak belirlenmiştir. Bu sürelerle dikkat edildiği zaman proje alanı için yüz beş dakikanın makul olduğu görülür bu süreye ilişkin infiltrasyon hızı ise yaklaşık 18 mm/h'tir. Bulunan bu infiltrasyon hızı değeri, çalışma alanı için bir sulama sisteminin tasarımında kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Anonim, 2017. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler_istatistik.aspx?m=TOKAT (08/09/2018)
- Anonim, 2018. <https://earth.app.goo.gl/QqJ8TG>. (13/12/2018)
- Akalan, İ., 1973. Toprak Fiziği. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fak. Yayınları No: 527, Ders Kitabı No: 172, 506 s, Ankara.
- Akıllıoğlu, A. ve Direnç, N., 2002. Toprak Bitki Sulama Suyu ve Turba Analizleri. Orman Bakanlığı Yayın No: 165 İzmir Orman Toprak Laboratuvarı Yayın No: 13, İzmir.
- Alıcı, Ü., 1980. Tava ve Karıklarda Su İlerlemesi Hesaplama Yöntemlerinin Tarla Koşullarına Uygulanabilirliği Üzerine Bir Araştırma. (Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kültürteknik Anabilim Dalı, Erzurum.
- Aydın, M. ve Kılıç, Ş., 2010. Toprak Bilimi. Nobel Yayın No: 1568, 130 s, Antakya
- Bayazıt, M., 2011. Hidroloji. Birsen Yayınevi, 219 s, İstanbul
- Behari, J., 2005. Microwave Dielectric Behavior Of Wet Soil. Anamaya Publishers 164 p, New Delhi India.
- Çepel, N., 1985. Toprak Fiziği. İst. Üniv. Yayınları No:3313, Orman Fakültesi No: 374, 288 s, İstanbul.
- Çetin, Ö., 2003. Toprak- Su İlişkileri ve Toprak Suyu Ölçüm Yöntemleri. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Genel Yayın No: 258, Teknik Yayın No: 25, Eskişehir.
- Ertuğrul, H. ve Hakgören, F., 1973. İnfiltrasyon Hızının Tesbitinde Kullanılan Sabit Seviyeli Çift Silindirli İnfiltrometre ile Sabit Seviyeli Karık İnfiltrometre Metodlarının Mukayesesi Üzerinde Bir Araştırma. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergisi, 4(2), 97-113, Erzurum.
- Gül, S., 2006. Tokat Şartlarında Damla Sulamada Toprakta Nem Dağılımı ve Damlatıcı Aralıklarının Belirlenmesi. (Y. Lisans Tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Tokat.
- Güngör, Y., Erözel, A.Z. ve Yıldırım, O., 2012. Sulama. Ankara Üniv. Zir. Fak. Yayınları No: 1592, Ankara.
- Hakgören, F., 1996. Sulama (Planlama ve Projeleme İlkeleri). Akdeniz Üniversitesi, Yayın No: 67, 239 s, Antalya.
- Hanay, A., 1990. Çöp Kompostunun Toprakların Bazı Yapısal Özellikleri ve Toprak-Su İlişkilerine Olan Etkilerinin Ahır Gübresiyle Karşılaştırılması Üzerine Bir Araştırma. (Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Kültürteknik Anabilim Dalı, Erzurum.
- Horton, R.E., 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle Trans 14th Ann. Meeting Am. Geophys Union, pp.44 b.460.
- Horton, R.E., 1935. Surface runoff phenomena. Part I, Analysis of the hydrograph. Horton lab., Voorbeesville N.Y. Publ 101.
- Horton, R.E., 1940. Approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 5: 399-417.

- Jaynes, Richard A. ve Gifford, Greal F., 1981. An in-Dept Examination of the Philip Equation for Cataloging Infiltration Environments. *Journal of Range Management*, vol. 34, No.4 (Jul., 1981), pp. 285-296. https://www.jstor.org/stable/3897853?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents (04/08/2019).
- Johnson, A. I., 1991. A Field Method for Measurement of Infiltration, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1544-F, pp. 27. Washington.
- Kanber, R., 1999. Sulama. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 174, Ders Kitapları Yayın No: 52, Çukurova Üniversitesi Yayınları No: 187, Adana.
- Kanber, R., Çakır, R. ve Tarı, A.F., 2003. Sulama ve Drenaj mühendisliği. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayın No: 122, 531 s, Ankara.
- Kara, M., 2011. Sulama ve Sulama Tesisleri. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 268 s, Konya.
- Kaya, S., 2016. Arazide elde edilmiş infiltrasyon sonuçlarının farklı infiltrasyon modelleri kullanılarak değerlendirilmesi. 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri Akdeniz Üniv. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 12-15 Nisan 2016, Antalya, 310-317.
- Kohke, H., 1968. Soil Physics. Mc Physics Hill Book Company.
- Orta, A.H., 2017. Rekreasyon Alanlarında Sulama. Nobel Yayınları, Yayın No: 1857 Teknik Mühendislik No: 162, 171 s, Ankara.
- Philip, J. R., 1954. An infiltration equation with physical significance. *Soil Sci.* 77:153-157
- Rajasekhar, M., D. Umabai, K. Krupavathi, I. Navyasai and Gopi, R., 2018. Development and Comparison of Infiltration Models and Their Field Validation. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7(10): 26912701. doi:<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.313>. (05/02/2019)
- Smith, Roger E., Smettem, Keith R. J., Broadbridge, P., Woolhis D.A., 1941. Infiltration Theory For Hydrologic Application. American Geophysical Union, 212 p, Washington.
- Sönmez, K., 1980. Horton, Kostyakov ve Philip İnfiltrasyon Eşitliklerinin Tarla Koşullarında Denenmesi. Atatürk Üniv. Yayınları No 530 Zir. Fak.Yayın No: 242, Araştırma serisi No: 159, 54 s, Erzurum.
- Şafak, S., 1991. Urfâ Harran Serisi Toprakların İnfiltrasyon Özelliklerini Belirlemede Kullanılabilecek Yöntemler Üzerinde Bir Araştırma. (Y.Lisans Tezi), Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Kültürteknik Anabilim Dalı, Adana.
- Şahin, Ü., 1994. Kuzgun Barajı Daphan Ovası Sulama Sahası Topraklarının Sulama Yönünden İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma. (Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Erzurum.
- Şengönül, K., 1986. Toprakların ıslanabilirliği ve güç ıslanan topraklar. İst. Üniv. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 35(3), 60-76.
- Tekinsoy, M. A., 2013. Doymamış Zeminlerin İndeks ve Hidrolik Özellikleri. Süleyman Demirel Üniv. Yayın No 22, 797 s, Isparta.
- Temizel, K. E., Kara, T., Apan, M., 2011. Bafra Ovası Arazi Koşullarında Uzun Tava Boyutlarının Belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilim. Dergisi*, 26(2), 145-148.

- Temizyürek, M., 2015. Nehirsuyu Sıcaklık Değişimlerinin Meteorolojik Faktörlerle İlişkilerinin Analizi Ve Modellenmesi. (Y.Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Toebe, C., 1962. A note on the use of infiltration equations in infiltration analysis. Journal of hydrology (New Zealand), 1(2), 36-44.
- Yenikale, A., Yenikale, A., 2012. Sulama ve Sulama Yöntemlerinin Projelendirilmesi. GAP BKİ, 96 s, Şanlıurfa.
- Yıldırım, O., 2013. Sulama Sistemlerinin Tasarımı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fak. Yayın No: 1594, Ders Kitabı: 546, 367 s, Ankara.
- Yıldırım, O., Korukçu A., 1999. Damla Sulama Sistemlerinin Projelenmesi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, 272 s, Ankara.
- Yılmaz, Ö., 2003. Toprak Başlangıç Nem İçeriğinin İnfiltrasyon Hızı ve Eşitlikleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. (Y.Lisans Tezi), Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Antakya.

7. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Yakup BEYHAN
Doğum tarihi, yeri : 1988, Malatya
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
Telefon : 0539 281 70 80
e-mail : yakubeyhan@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı	2019
Lisans	Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü	2013
Lise	İzzet Ünver Lisesi (Fen Bilimleri), İstanbul	2005