

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Üç Farklı Toprak Tekstüründe Toprakların Hidrolik İletkenlik
ve Toprak-Su Karakteristik Eğrisinin Matematiksel Eşitlikler
Kullanılarak Belirlenmesi

Ebru YAVUZ

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, Anabilim Dalı

Kasım, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

Üç Farklı Toprak Tekstüründe Toprakların Hidrolik İletkenlik
ve Toprak-Su Karakteristik Eğrisinin Matematiksel Eşitlikler
Kullanılarak Belirlenmesi

Ebru YAVUZ

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi/../.... Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Alkhan SARIYEV (Danışman)

: Doç. Dr. Yakup Kenan KOCA

: Doç. Dr. Sertan SESVEREN

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı*nda
Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak
gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Toprak rutubet karakteristik eğrisi	7
2.1.1. Toprak rutubet karakteristik eğrisi (TRKE) için geliştirilmiş bazı modeller.....	8
2.2. Tarla Kapasitesi (TK)	10
2.3. Daimî Solma Noktası (DSN).....	11
2.4. Yarayışlı Su	12
2.5. Hidrolik İletkenlik	14
2.5.1. Hidrolik iletkenlik için geliştirilmiş bazı modeller.....	16
3. MATERYAL VE METOT	19
3.1. Materyal.....	19
3.2. Metot.....	21
3.2.1. Toprak örnekleme.....	21
3.2.2. Toprak serilerinde kullanılan model parametreleri.....	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı Serilerinde Tanımlayıcı Özellikler	29
4.2. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı Serilerinde TSKE Model Sonuçları.....	32
4.2.1. Arpacı Serisinde TSKE verileri ile uyumlu model parametreleri	32
4.2.2. Çanakçı serisinde TSKE verileri ile uyumlu model parametreleri.....	34
4.2.3. Baharlı Serisinde TSKE verileri ile uyumlu model parametreleri.....	37
4.3. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı Serilerinde Hidrolik İletkenlik Tahmin Modelleri	40
4.3.1. Arpacı Serisinde Hidrolik İletkenlik Tahmin Modelleri.....	40
4.3.2. Çanakçı Serisinde Hidrolik İletkenlik Tahmin Modelleri	43
4.3.3. Baharlı Serisinde Hidrolik İletkenlik Tahmin Modelleri.....	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	59

Üç Farklı Toprak Tekstüründe Toprakların Hidrolik İletkenlik ve Toprak-Su Karakteristik Eğrisinin Matematiksel Eşitlikler Kullanılarak Belirlenmesi

Ebru YAVUZ

Danışman: Prof. Dr. Alkhan SARIYEV

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

ÖZ

Bu çalışmada, literatür ve önceki çalışmalar doğrultusunda tarımda modelleme çalışmaları incelenmiş, üç farklı tekstüre sahip toprakta hidrolik iletkenlik ve toprak su karakteristik eğrilerinin matematiksel modellemeler-eşitliklerin kullanımı ile belirlenmesi test edilmiştir. Adana ili Arpacı, Çanakçı ve Baharlı toprak serilerinden 0-20 cm derinlikte 12 adet bozulmamış ve 1 adet bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır. Örneklerde hacim ağırlığı, gözeneklilik, pH, elektriksel iletkenlik, kireç, organik madde, hidrolik iletkenlik ve pF eğrisinin belirlenmiştir. Arpacı serisi için ve K(P) modeli (0,007453) için en iyi model Terleev ve Sarıyev 'in modeli ($s=0.015594$), K(W) modeli için Genuchten modeli ($RMSE=0,041119$) belirlenmiştir. Çanakçı serisi için en iyi model Curry ve Chen modeli ($RMSE=0.003780$), K(P) modeli ($RMSE=0,146915$) olarak en uygun Terleev ve Sarıyev 'in önerdiği model ve K(W) modeli için ise Genuchten modeli ($RMSE=0,293829$) seçilmiştir. Baharlı serisi için Brooks ve Correy modeli ($RMSE=0.013715$), en iyi uyum gösteren K(P) modeli Michurin modeli ($RMSE=0.000014$) ve K(W) modeli için Avern ($RMSE=0.482353$) modeli en uygun sonucu vermiştir. Seçilen ilgili modellerle topraklarda sulama suyu zamanı ve miktarının daha doğru ve sistemli yapılması sağlanabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Matematiksel modelleme, Hidrolik iletkenlik, Toprak suyu karakteristik eğrisi

**Determination of Hydraulic Conductivity and Soil-Water
Characteristic Curve of Soils in Three Different Soil Textures
Using Mathematical Equations**

Ebru YAVUZ

Advisor: Prof. Dr. Alkan SARIYE

Department of Soil Science and Plant Nutrition

ABSTRACT

In this study, modeling studies in agriculture were examined in line with the literature and previous studies, and the determination of hydraulic conductivity and soil water characteristic curves in soils with three different textures using mathematical models-equations was tested. 12 undisturbed and 1 disturbed soil samples were taken from the Adana province Arpacı, Çanakçı and Baharlı soil series at 0-20 cm depth. Bulk density, porosity, pH, electrical conductivity, lime, organic matter, hydraulic conductivity and pF curve were determined in the samples. The best model for the Arpacı series and for the K(P) model (0.007453) was Terleev and Sarıyev's model ($s=0.015594$), and for the K(W) model, the Genuchten model (RMSE=0.041119) was determined. For the Çanakçı series, the best model was the Curry and Chen model (RMSE=0.003780), the K(P) model (RMSE=0.146915) was the most suitable model suggested by Terleev and Sarıyev, and for the K(W) model, the Genuchten model (RMSE=0.293829) was selected. For the Baharlı series, the Brooks and Correy model (RMSE=0.013715), the best-fitting K(P) model was the Michurin model (RMSE=0.000014), and for the K(W) model, the Avern model (RMSE=0.482353) gave the most suitable result. With the selected relevant models, it will be possible to make irrigation water timing and amount in soils more accurately and systematically.

Keywords: Mathematical modeling, Hydraulic conductivity, Soil water characteristic curve

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın bütün aşamalarında bana bilgisi ve tecrübesiyle yol gösteren, bilimsel destek ve teşvikleriyle beni yönlendiren değerli hocalarım Prof. Dr. Alkhan SARIYEV'e, Arş. Gör. Dr. Mert ACAR'a ve Doç. Dr. Gülay KARAHAN'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan ve varlıklarıyla bana güç veren aileme teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda bu tezin herhangi bir aşamasında bana destek sağlayan herkese teşekkür ederim.



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Toprak rutubet karakteristik eğrisi için geliştirilmiş bazı modeller (Poluektov,1991; Breinstein ve ark., 1988).....	10
Çizelge 2.2. Hidrolik iletkenlik değerinin matematiksel hesaplanması adına geliştirilmiş bazı modeller (Poluektov, 1991; Zaslavski ve ark.,1988).	16
Çizelge 3.1. Arpacı serisinin temel özellikleri	20
Çizelge 3.2. Çanakçı serisinin temel özellikleri.....	20
Çizelge 3.3. Baharlı serisinin temel özellikleri	20
Çizelge 3.4. pF eğrisi için geliştirilmiş bazı modeller (Poluektov, 1991; Breinstein ve ark., 1988).	24
Çizelge 3.5. Hidrolik iletkenlik değerinin matematiksel hesaplanması adına geliştirilmiş bazı modeller (Poluektov , 1991; Zaslavski ve ark.,1988).	25
Çizelge 4.1. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı serilerinin bazı fiziksel ve kimyasal verileri.....	29
Çizelge 4.2. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı serilerinde pF verileri	29
Çizelge 4.3. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 1. model parametreleri ve sonucu.....	32
Çizelge 4.4. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 2. model parametreleri ve sonucu.....	32
Çizelge 4.5. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 3. model parametreleri ve sonucu.....	32
Çizelge 4.6. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 5. model parametreleri ve sonucu.....	32
Çizelge 4.7. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 6. model parametreleri ve sonucu.....	33
Çizelge 4.8. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 7. model parametreleri ve sonucu.....	33
Çizelge 4.9. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 8. model parametreleri ve sonucu.....	33
Çizelge 4.10. Arpacı serisinde TSKE verileri ile en uyumlu model parametreleri ve sonucu.....	34
Çizelge 4.11. Arpacı serisinde elde edilen TSKE verileri ile modelleme sonucu ölçülen veriler arasındaki fark.....	34
Çizelge 4.12. Arpacı serisinde elde edilen modellerin RMSE (Kök ortalama kare hatası) değerleri	34
Çizelge 4.13. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 1. model parametreleri ve sonucu	34
Çizelge 4.14. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 3. model parametreleri ve sonucu	35
Çizelge 4.15. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 4. model parametreleri ve sonucu	35
Çizelge 4.16. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 5. model parametreleri ve sonucu	35
Çizelge 4.17. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 6. model parametreleri ve sonucu	35
Çizelge 4.18. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 7. model parametreleri ve sonucu	36
Çizelge 4.19. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 8. model parametreleri ve sonucu	36
Çizelge 4.20. Çanakçı serisinde TSKE verileri ile en uyumlu model parametreleri ve sonucu.....	36
Çizelge 4.21. Çanakçı serisinde elde edilen TSKE verileri ile modelleme sonucu ölçülen veriler arasındaki fark.....	37

Çizelge 4.22. Çanakçı serisinde elde edilen modellerin RMSE (Kök ortalama kare hatası) değerleri	37
Çizelge 4.23. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 1. model parametreleri ve sonucu.....	37
Çizelge 4.24. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 2. model parametreleri ve sonucu.....	37
Çizelge 4.25. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 3. model parametreleri ve sonucu.....	38
Çizelge 4.26. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 4. model parametreleri ve sonucu.....	38
Çizelge 4.27. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 5. model parametreleri ve sonucu.....	38
Çizelge 4.28. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 7. model parametreleri ve sonucu.....	38
Çizelge 4.29. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 8. model parametreleri ve sonucu.....	39
Çizelge 4.30. Baharlı serisinde TSKE verileri ile en uyumlu model parametreleri ve sonucu	39
Çizelge 4.31. Baharlı serisinde elde edilen TSKE verileri ile modelleme sonucu ölçülen veriler arasındaki fark.....	39
Çizelge 4.32. Baharlı serisinde elde edilen modellerin RMSE değerleri	40
Çizelge 4.33. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı serilerinde pF verileri ile en uyumlu modeller	40
Çizelge 4.34. Arpacı serisinde en iyi uyum gösteren K(P) model parametreleri.....	41
Çizelge 4.35. Arpacı serisinde K(P) model bankasında yer alan 1. model parametreleri.....	41
Çizelge 4.36. Arpacı serisinde K(P) model bankasında yer alan 2. model parametreleri.....	41
Çizelge 4.37. Arpacı serisinde K(P) model bankasında yer alan 3. model parametreleri.....	41
Çizelge 4.38. Arpacı serisinde en iyi uyum gösteren K(W) model parametreleri	42
Çizelge 4.39. Arpacı serisinde K(W) model bankasında yer alan 1. model parametreleri	42
Çizelge 4.40. Arpacı serisinde K(W) model bankasında yer alan 2. model parametreleri	42
Çizelge 4.41. Arpacı serisinde K(W) model bankasında yer alan 3. model parametreleri	42
Çizelge 4.42. Çanakçı serisinde en iyi uyum gösteren K(P) model parametreleri.....	43
Çizelge 4.43. Çanakçı serisinde K(P) model bankasında yer alan 1. model parametreleri.....	43
Çizelge 4.44. Çanakçı serisinde K(P) model bankasında yer alan 2. model parametreleri.....	44
Çizelge 4.45. Çanakçı serisinde K(P) model bankasında yer alan 3. model parametreleri.....	44
Çizelge 4.46. Çanakçı serisinde en iyi uyum gösteren K(W) model parametreleri	44
Çizelge 4.47. Çanakçı serisinde K(W) model bankasında yer alan 1. model parametreleri	44
Çizelge 4.48. Çanakçı serisinde K(W) model bankasında yer alan 2. model parametreleri	45
Çizelge 4.49. Çanakçı serisinde K(W) model bankasında yer alan 3. model parametreleri	45
Çizelge 4.50. Baharlı serisinde en iyi uyum gösteren K(P) model parametreleri	46
Çizelge 4.51. Baharlı serisinde K(P) model bankasında yer alan 2. model parametreleri	46
Çizelge 4.52. Baharlı serisinde K(P) model bankasında yer alan 3. model parametreleri	46
Çizelge 4.53. Baharlı serisinde K(P) model bankasında yer alan 4. model parametreleri	46
Çizelge 4.54. Baharlı serisinde en iyi uyum gösteren K(W) model parametreleri.....	47
Çizelge 4.55. Baharlı serisinde K(W) model bankasında yer alan 1. model parametreleri	47
Çizelge 4.56. Baharlı serisinde K(W) model bankasında yer alan 2. model parametreleri	47

Çizelge 4.57. Baharlı serisinde K(W) model bankasında yer alan 4. model parametreleri	47
Çizelge 4.58. Serilerde K(P) ve K(W) verileri ile en uyumlu modeller.....	48



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çeşitli tekstüre sahip toprakların pF eğrisi	8
Şekil 2.2. Toprak suyunun sınıflandırılması	11
Şekil 2.3. Toprak suyunun sınıflandırılması	12
Şekil 2.4. Üç farklı tekstüre sahip toprakta suyun %50 yarıyışlılık düzeyleri ve tansiyon ilişkileri.	13
Şekil 3.1. Çalışma alanı lokasyon haritası	19
Şekil 3.2. Toprak örnekleme ve bozulmamış örnekler	21
Şekil 3.3. Toprak örneklerinin analize hazırlanması ve solma noktası analizi	21
Şekil 3.4. Organik madde analizi	22



1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfusa paralel olarak gelişen sorunlara çözüm bulabilmek ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakabilmek amacıyla yapılan teknolojik ve bilimsel çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Yapılan çalışmalar doğrultusunda bilim insanları dünyayı daha iyi anlayabilmek ve oluşabilecek teknik sorunlara çözüm bulabilmek amacıyla her durumu matematiksel terimlerle ifade etmeye çalışmışlardır. Matematiği, günlük yaşama transfer etmenin en etkili yollarından biri de matematiksel modellemedir (Tutak ve Güder, 2014).

Model kavramı; bir sistemin değişen koşullar altındaki davranışlarının incelenmesi, kontrol edilmesi ve geleceği hakkında varsayımlarda bulunulması amacıyla elemanları arasındaki bağlantıların kelimeler veya matematiksel terimler ile belirlenmesidir (Özden, 2015). Bir diğer ifadeyle sistemin temel bileşenlerinin matematiksel ya da istatistiksel formüller ile açıklanabilir olmasıdır (Kocabaş, 1995). Modelleme matematiğin bilimsel bilgi üretme yöntemidir. Matematiksel modelleme sürecinde matematiğin dışında bir konu ele alınır ve bu konu matematiksel olarak ifade edilir, böylece matematiksel teknikler ana konuya ışık tutmak için kullanılabilir. Bu anlamda modelleme, çok yönlü bir problem çözme süreci olarak tanımlanabilir (Blum ve Niss, 1991). Bilimsel bir problemin çözümünde model kullanımının amacı problemi daha yalın hale getirmek ve kolay anlaşılmasını sağlamaktır, bütün bilimler için ortak bir yön olan bu durumda bilinenleri kullanarak basit ve anlaşılır hale getirmek için modelleme çalışmaları yapılmaktadır (Terzi ve ark., 2019).

Modellerin mühendislik, doğa bilimleri ve sosyal bilimler temelli olmak üzere birçok alanda kullanım imkânı bulunmaktadır. Bu alanlardan birisi de insanoğlunun vazgeçilmez unsuru olan tarımdır. Etkilendiği faktörler ve kullanılan materyaller nedeniyle tarım sistemlerinin yönetilmesi oldukça zor ve karmaşık bir yapıya sahiptir. Çünkü tarım sadece topraktan veya bitkiden oluşan sade bir yapıya sahip olmayıp, ışık, sıcaklık ve nem gibi tarımsal üretimi etkileyen birçok komplike faktörden etkilenmektedir. Bu karmaşık yapının göstereceği tepkileri önceden öngörebiliyor olmak hem kaynakların daha verimli ve etkin kullanımı hem de üretici açısından büyük öneme sahiptir. Bu nedenle son yıllarda modelleme üzerine yapılan çalışmalar artmış ve tarım sektörü açısından önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan modeller de gelişen teknolojik alt yapılarla desteklenmesi, geliştirilmesi, yeni veriler elde edilmesi, ortaya çıkan verilerin karşılaştırılması amacıyla bilgisayar programları da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu programlar, modelleri daha da geliştirerek güncel kalmalarını sağlamakta ve dolayısıyla bitki bilimi için temel oluşturmaktadır. Hipotezlerin test edilmesini sağlayarak uzun zaman alan ve maliyetli olan arazi denemelerinde bitki büyüme süreçleri için veya toprak parametrelerinin özellikleri için kısaca hangi amaçla modelleme kullanılacaksa karar vericilere/kullanıcılara konu hakkında sanal deneyler yapılmasına imkân sağlamaktadırlar.

Tarımsal araştırmalara yönelik olarak kurulan arazi denemelerinde çeşitli güçlüklerle karşılaşilmektedir. Bu denemeler uzun zaman almakta, masraflı olmakta ve farklı uygulamaların aynı bitki örtüsü üzerinde aynı zamanda denenmesine imkân vermemektedir. Bu amaçla, bitkilerin gelişmeleri için ihtiyaç duydukları çevre koşullarını matematiksel olarak formüle eden simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Simülasyon modeli terimi, ampirik olarak bir ekosistem ortamına benzer bir yapı oluşturmaktadır. Bu yapay sistemin farklı çevresel etmenlere, gerçek bir bitki sistemi gibi karşılık vereceği varsayımı yapılmaktadır. Bu modellemeler ile toprakların istenilen özelliklerinin belirlenmesi daha kolay ve hızlı hale gelmiştir.

Toprak araştırmalarında ve matematiksel modellemelerde en önemli noktalardan biri toprak suyudur. Bu sebeple toprak ve su arasındaki ilişkinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Toprak ve su ilişkisi incelenirken genellikle topraktaki suyun miktarı (toprak ıslaklığı) ve toprak suyunun enerji durumu (toprak su emişi) olmak üzere 2 tip bilgiye ihtiyaç duyulur. Bu iki veri ayrı ayrı ölçülmesine rağmen birbirine işlevsel – fonksiyonel olarak bağlıdır. Bu bağlantıya toprak rutubet karakteristik eğrisi (pF) denir. Kumar ve ark., (2020)’e göre pF eğrisi nem içeriği ile emme yüksekliği ve hidrolik iletkenlik ile emme yüksekliği arasındaki grafiksel bir sunumdur. Toprak rutubet karakteristik eğrisi, toprak su potansiyeli (veya emme) ile su içeriği (veya su doymunluğu) arasındaki ilişkiyi temsil eder. Toprak dokusu, yapısı ve kimyasal bileşimi gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (Farooq ve ark., 2024), ve histerezise tabidir, yani belirli bir toprak için kuruma koşulları altında emme (ıslatma) koşullarıyla karşılaştırıldığında farklı bir şekle sahiptir (Likos ve ark., 2014). Toprak su karakteristik eğrisi, toprak neminin ve su hareketinin dağılımını tanımlamak için önemli bir girdi parametresidir. Kısmen doymuş topraklardaki su içeriği ile matris emme arasındaki ilişkiyi gösteren toprak-su karakteristik eğrisi, temel olarak doymamış toprağın hidrolik özelliklerini temsil eder (Hou, 2023).

Toprak hidrolik iletkenliği, toprak içindeki su ve kimyasal hareketi etkileyen en önemli toprak özelliklerinden biridir ve drenaj, sulama, erozyon kontrolü ve sel koruması gibi çeşitli yönetim uygulamalarında hayati bir faktördür. Bu nedenle, toprak izleme ve yönetim uygulamalarında önemli bir bileşendir (Mozaffari ve ark., 2024). Hidrolik iletkenlik, drenaj ve sulama sistemlerinin tasarlanması ve izlenmesinde ve sulama, akifer dolumu, yağış ve yüzey akışının sızması, besin taşınması, kirleticiler ve pestisitler ve su dengesi gibi doymamış topraklardaki su akışının birçok yönünü karakterize etmede önemli bir özelliktir (Rahmati ve ark., 2018).

Toprakların hidrolik iletkenlik özelliğinin bilinmesi kil tipi, toprak sıkışması, toplam gözeneklilik, gözenek büyüklük dağılımı, gözenek geometrisi, bünye ve strüktür gibi toprak özellikleri hakkında fikirler vermekte ve çıkarımlar yapılmasına olanak sağlamaktadır (Öztekin ve ark., 2007; Rahimi ve ark., 2011). Hidrolik iletkenlik değerleri, büyük ölçüde bu değerlerin belirlenmesinde kullanılan yöntemlere bağlıdır (Verbist ve ark., 2013), ya laboratuvar ortamında toprak örnekleri üzerinde ya da arazide yerinde yapılan denemelerle belirlenir. Her iki durumda da toprak kitlesinde belirli akış koşulları oluşturulmakta ve daha sonra ölçülen boşalım miktarının hidrolik iletkenlik değeri ile akış koşulları ve boşalım arasındaki ilişkiyi veren eşitlikte yerine

konmasıyla hidrolik iletkenlik değeri hesaplanmaktadır (Gemalmaz, 1992). Ancak, hem sahada (çift halkalar, gerilim diski infiltrometresi veya Guelph permeametri ile) hem de laboratuvar (sabit ve düşen kafa yaklaşımları kullanılarak) ölçümü zahmetli, zorlu ve maliyetli bir işlemdir (Vereecken ve ark., 2010). Bu nedenle, doymuş veya doymamış hidrolik iletkenliği dolaylı olarak belirlemek için çeşitli çabalar sarf edilmiştir (Mozaffari ve ark., 2024).

Toprak rutubet karakteristik eğrisi ve hidrolik iletkenlik değerleri toprak fiziğinde çok önemli kavramlardır. Toprak rutubet karakteristik eğrisi ve hidrolik iletkenlik değerlerinin bulunabilmesi için yapılan çalışmalarda araştırmacılar, laboratuvar ölçümlerinin tarla koşullarındakine göre daha açık ve doğru olduğu kanısına varmışlardır (Zhuang ve ark., 2001). Ancak, laboratuvar koşullarında sabit veya geçiş durumundaki akış koşullarının sağlanması oldukça zor olmakla birlikte yöntem tarla koşullarını tamamen temsil etmeyebilir (Nandagiri ve Prasad, 1996). Laboratuvar ve tarla yöntemlerinde değinilen problemler ise teorik yaklaşımların kullanılmasını yaygın hale getirmiştir. Bu yaklaşımlar; idealleştirilmiş sınır koşulları altında topraktaki suyun durumu ve hareketi ile ilgili matematiksel kuramlarla çalışmaktadır. Son zamanlarda benzer olmayan bu matematiksel kuramlar için yapılan yaklaşımlar üzerine durulmuştur (Comegna ve ark., 2000; Rahimi ve ark., 2011; Ahmadi ve Sepaskhah, 2012). Toprak-su içeriğine bağlı olarak hidrolik iletkenliğin doymuş koşullardaki değeri, toprak yapısı ve gözenek özelliklerini kullanan tekniklerle (fiziksel esaslı, ampirik esaslı ya da analitik) modelleme yapılabilmektedir. Analitik metotların daha güvenilir olduğu ve aynı zamanda geniş alanlarda gerçek koşulları daha iyi yansıttığı söylenebilir (Ahuja ve Williams 1991). Diğer taraftan, Tyler ve Wheatcraft (1989) bu teknikleri kullanmış ve çok yüksek su içeriklerinde gözlem değerleri ile hesaplanmış doymuş olmayan toprak hidrolik iletkenlik değerleri arasında oldukça başarılı bir eşleşme sağlandığını, çok düşük su içeriklerinde ise uygun veri kümelerinin oldukça sınırlı kaldığını bildirmişlerdir.

Ayrıca, doymuş olmayan toprak hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde farklı ölçeklerde ve yerinde ölçmek amacıyla uygulanabilir modeller vardır. Bunlar, doymuş toprak hidrolik iletkenlik esaslı, toprak su içeriği karakteristik eğrisi temeline (Mualem, 1976; van Genuchten, 1980), ve gözenek büyüklük dağılımı ile gözenek geometrisine dayanarak (Zhuang ve ark., 2000; Ahmadi ve Sepaskhah, 2012; Ahmadi ve ark., 2015) geliştirilmiş ve denenmiştir. Az sayıda olmak üzere, pedotransfer eşitlikler, hidrolik iletkenliğin doymuş olmayan (Zhuang ve ark., 2001; Mermoud ve Xu, 2006) ve doymuş koşullardaki değerlerinin tahminlenmesinde de (Yakupoglu ve ark., 2013; Gülser ve Candemir, 2014; Karahan ve Erşahin, 2016) kullanılmıştır.

Bu çalışma ile toprak hidrolik özellikleri ölçümleri ile ilgili konular için teorik ve pratik bir temel sağlayabilmek ve toprak ve su kaynaklarının yönetimi ve korunması için faydalı olabilecek bilgilerin sunulması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, literatür bilgileri ve önceki yapılan çalışmalar doğrultusunda temel olarak tarımda modelleme çalışmalarının önemi vurgulanarak, üç farklı tekstüre sahip topraklarda hidrolik iletkenlik ve toprak su karakteristik eğrilerinin matematiksel modellemeler-eşitliklerin kullanımı ile belirlenmesi test edilmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tarımsal üretim modellemeleri günden güne değişen bilimsel ve teknolojik gelişmeleri öğrenmek ve bunlara ayak uydurmak için araştırmacılara birçok imkân sağlamaktadır. Tarım sektöründe gelişim bu tarımsal model ve metotların gelişimi ile gerçekleşmiştir. Bu modellemeler insan hayatında önemli yeri olan karmaşık sistemlerin anlaşılabilmesi için bilim insanlarına daha basit halde çalışma imkânı sağlayan uygulamalar sunmuştur. Bu uygulamalar bilgisayar ortamlarında sistemlerin elde edilmesi zor olan deneylerin ve sonuçların tahminlerine imkân sağlamaktadır. Bitkisel ve hayvansal üretim, hassas tarım uygulamaları ve benzeri tarımsal teknolojilerin genelinde bu modellemelerin kullanımı yaygın olmakla birlikte model kullanımı bitki yetiştirme planlarının oluşturulmasında yetiştiricilere birçok avantaj ve dezavantaj sağlamaktadır.

Bitki yetiştirme planlarının oluşturulmasında model kullanımının, yetiştiricilere sağladığı avantajlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Uygulanan matematiksel modellemeler, elde edilen bitki büyüme verilerinin uygun bir şekilde anlatılmasına yardım eder (Kandemir, 2005).
- Elimizde bulunan verilere uygulanan logaritmik fonksiyonlar nispi gelişme fonksiyonları elde etmek amacıyla farklı şekillerde uygulanabilir (Uzun, 1997; Demirsoy ve ark., 2004).
- Uygulanan fonksiyon, biyolojik anlamı bulunan bazı modellere dayandırılırsa, fonksiyonların parametreleri faydalı bilgiler elde edilmesine olanak sağlar (Balkaya, 2004).
- Yapılan birçok çalışma emek, iş gücü, zaman ve para gerektirdiğinden modeller sayesinde bu çalışmalarda kaynaklardan tasarruf etme imkânı sağlanmış olur (Yazgan ve Tatar, 2003).
- Modeller yardımıyla sera işletmeciliğinde ekonomik optimizasyon ve genel karar desteklemesine olanak sağlamaktadır (Topçu ve Baytorun, 1999).
- Modelleme ile çok uzun zaman gerektiren çalışmaların sonuçlarının, daha kısa zamanda elde edilmesi sağlanır (Uzun, 1997).
- Modeller, tarımsal üretim sistemlerinin, ilaçlama, gübreleme, sulama gibi üretim yönetimi stratejilerinde kullanılmaktadır (Wit ve Keulen, 1975).
- Modeller, tarımsal üretim sırasında karşılaşılabilecek risklerin saptanmasını ve gelecekte oluşacak iklim değişikliklerinin bitki verimi üzerindeki etkilerinin tespit edilmesini sağlamaktadır (Pamuk ve Özgürel, 2005).

- Modeller ekonomik performans, kaynak kullanımı, fizibilite, farklı iklim senaryoları ve yönetim uygulamaları gibi çevresel etkilerin sistem üzerindeki duyarlılığını incelememize olanak sağlamaktadır (Cros ve ark., 2006).
- Modeller, hedeflenen ekonomik amaçlara ulaşmak ve çeşitli kısıtlamaların (kaynak kısıtlılığı, çevre ile ilgili yönetmelikler vb.) karşılanması amacıyla iklim değişkenliklerine uyum göstermemizi sağlayan en uygun yönetim ilkelerinin belirlenmesinde kullanılabilir (Cros ve ark., 2006).
- Modeller, satışı garanti olan ürünlerin yetiştiriciliğinin imkânını sunmaktadır. Böylece ürün daha yetiştirilmeden önce, hasat sonrası üretici tarafından ürününün satılıp satılmayacağı kaygısını da ortadan kaldırmaktadır (Özkaplan, 2019).

Tarımda model kullanımının avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır:

- Model kullanımı ile ilgili en büyük dezavantaj ülkemiz koşullarında üretilmiş yeterli sayıda çalışmanın ve araştırmacıların olmayışıdır. Dünyada çok sayıda bitki modeli bulunmaktadır ancak bu modeller kullanılırken, geliştirildiği koşullardaki katsayıların, ülkemiz koşullarına uygulanabilirliğinin tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir (Pamuk ve Özgürel, 2005). Dolayısıyla oluşturulan modeller bölgeye özgüdür.
- Model oluşturmak amacıyla toplanan girdiler, dikkatli ve özenli bir şekilde toplanamaz, deneysel verilerin koşulları net ortaya konulamaz ise üretilen model gerçek bir sistemi yansıtmayacaktır.
- Modeldeki varsayımlar yeterince net oluşturulamaz ise bu belirsizlikler modelin yapısını değiştirebilir.
- Test edilmeden kullanılan modeller, gerçek bir sistemi temsil etmeyebilir.

Toprağın su içeriği ile porların büyüklük ve dağılımları arasındaki farklılıklar, farklı tekstür ve strüktüre sahip topraklarda hidrolik iletkenlik ve su içeriği arasındaki ilişkide önemli değişikliklere neden olmaktadır. Bu sebeple bir topraktaki suyun miktarını bilmek birçok mühendislik çalışmasının kilit noktası olacaktır. Topraklar incelenirken ve matematiksel modellemeler kullanılırken topraktaki suyun miktarına ve toprak suyunun enerji durumuna ihtiyaç duyulduğundan ve bu iki veri birbirine fonksiyonel olarak bağlıdır. Bu iki veri toprakların pF eğrisi denilen toprak rutubet karakteristik eğrisi olarak adlandırılmıştır. Bahsi geçen toprak rutubet karakteristik eğrisi ve hidrolik iletkenlik değerleri birçok çalışma ve matematiksel modellemede önemli olup, modellemelerin oluşturulabilmesi adına araştırmacılara toprak tekstürü, toprak strüktürü, gözenekliliği, gözenek büyüklük dağılımı ve toprak suyunun adsorbe edilme durumları gibi birçok

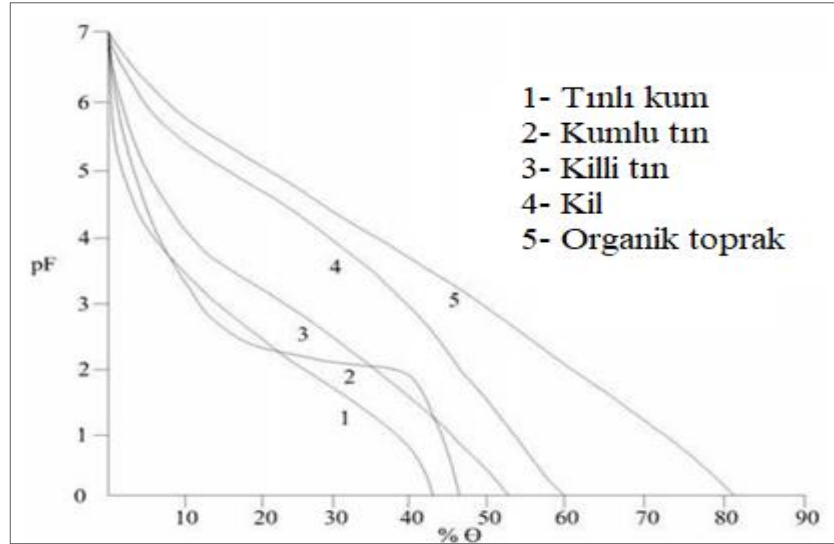
toprak parametresi hakkında bilgi sağlamaktadır. Aşağıda model çalışmalarında kullanılan toprak parametreleri detaylı bir şekilde verilmiştir.

2.1. Toprak rutubet karakteristik eğrisi

Toprak-su ilişkilerine ait çalışmalarda genellikle iki tip bilgiye gereksinim vardır. Bunlar, topraktaki suyun miktarı ve toprak suyunun enerji durumu; yani toprağın ıslaklığı ve toprak rutubet emişidir. Bunların ikisi ayrı ayrı ölçüldükleri halde birbirine işlevsel-fonksiyonel olarak bağlıdır. Bu bağlantıya “toprak rutubet karakteristik eğrisi” denir (Anonim, 2024a).

Toprak su tutma eğrisi, topraklardaki çok fazlı akışı modellemek için önemli bir toprak hidrolik özelliğidir ve genellikle hacimsel su içeriği (θ_w) ile toprak emme kuvveti (u_a-u_w) arasındaki ilişkinin bir temsili olarak önerilmiştir (Fredlund ve Rahardjo, 1993; Zhai ve ark., 2019; Liu ve ark., 2020).

Toprak rutubet karakteristik eğrisi, toprak fizikinde çok önemli bir kavramdır. Çünkü bu eğri toprak tekstürü, toprak strüktürü, gözeneklilik, gözenek büyüklük dağılımı ve toprak suyunun adsorbe edilme durumlarını yansıtır. Başlangıçta doymuş olan bir toprağa artan değerlerde basınç uygulanırsa, önce en geniş sonra gittikçe küçülen gözenekler sırası ile boşalacaklardır. Denge halinde toprakta tutulan suyun miktarı, su ile dolu gözeneklerin hacim ve büyüklüğünün, yani matrik emişin bir işlevidir. Şekil 2.1’de pF olarak gösterilen değer, cm su sütunu cinsinden verilen basınç potansiyelinin logaritmasıdır ($pF = \log \text{ cm su sütunu}$; $1 \text{ bar} \cong 1000 \text{ cm su sütunu}$). Matrik emişin göreceli düşük değerlerinde tutulan suyun niceliği, (örneğin, 0 ile 1 bar emiş arasında) özellikle kılcallık olayına ve gözenek büyüklüğü dağılımına bağlı olup toprağın strüktürü tarafından kuvvetle etkilenir. Buna karşın, daha yüksek emişlerde suyun tutulması adsorpsiyon mekanizması ile gerçekleştiğinden, toprak strüktüründen ziyade tekstür ve toprak materyalinin özgül yüzeyi tarafından etkilenir. Toprak rutubet karakteristik eğrisinde bazı pF değerlerine karşılık gelen suyun miktarı özel bir önem taşır. Bu özel noktalar, tarla kapasitesi (TK) ve solma noktasıdır (SN) (Anonim, 2024a).



Şekil 2.1. Çeşitli tekstüre sahip toprakların pF eğrisi (Anonim, 2024a)

2.1.1. Toprak rutubet karakteristik eğrisi (TRKE) için geliştirilmiş bazı modeller

Toprak rutubet karakteristik eğrisi, toprakta su sızması ve erozyon gibi konuların daha iyi anlaşılması için üzerinde çok sayıda çalışma yürütülen bir toprak özelliğidir (Chen ve Wei, 2023). Toprağın bazı temel özellikleri, matris emme ve su içeriği arasındaki karmaşık ilişkiyi tanımlayan toprak-su rutubet karakteristik eğrisi (pF) ile temsil edilebilir (Leong ve ark., 1997; Rudiyanto ve ark., 2015). TRKE toprak yapı dağılımını da (gözenek ve parçacık) dolaylı olarak yansıtabilir.

Geleneksel olarak, toprak hidrolik özellikleri doğrudan toprak rutubet karakteristik eğrisi ile ifade edilebilir, ancak toprağın su tutma kapasitesi ve hidrolik parametreleri, farklı dokulara sahip topraklar için farklı olabileceği gibi bunun belirlenmesi de zaman alıcıdır. Bu nedenle, toprak rutubet karakteristik eğrisi uzun yıllar içinde birçok deneysel yöntemler, matematiksel modeller ve denklemlerle (Gardner, 1958; Brooks ve Corey, 1964; van Genuchten, 1980; Fredlund ve Xing, 1994; Kosugi, 1997; Gitirana ve Fredlund, 2004; Castellini ve ark., 2018; Gao ve ark., 2021) temsil edilmiştir (Yang, 2023; Satyagana ve ark., 2024). Ancak, Fredlund ve Xing (1994) denklemi, deneysel verilere çok iyi uyum sağlasa da bu denklemin parametreleri TRKE'nin şekil özellikleriyle ayrı ayrı ilişkili değildir. TRKE parametrelerinin benzersiz bir değerini bulmak zordur, denklemin uyum parametrelerinin fiziksel bir anlamı da yoktur. Bu nedenle, Kosugi (1997) yeni bir TRKE denklemi oluşturmak için hem toprak gözenek boyutu dağılım fonksiyonuna hem de TRKE fonksiyonuna üç parametrelili lognormal dağılım kurallarını uygulamıştır. Bununla birlikte bu denklem, farklı topraklar için en uygun eşleşmeyi sağlama yeteneğine sahip olmamıştır. Satyanaga ve ark. (2017), lognormal dağılıma dayalı TRKE modellemesi için bir denklem geliştirmişlerdir. Denklemlerindeki parametreler TRKE parametreleriyle ilişkilidir. Bu nedenle, bu çalışmada tek modlu TRKE modellemesi için lognormal dağılım fonksiyonu kullanılmıştır.

Matlan ve ark. (2016), kum, kil ve silt değerlerinin pF eğrilerini tahmin etmek için dört ampirik modelin (Van Genuchten, Kosugi, Brooks ve Corey ve Değiştirilmiş Gardner modelleri)

performansını değerlendirmiştir. Soltani ve ark. (2019), hava giriş değeri ve artık matris emme dâhil olmak üzere farklı dokulardaki toprakları kullanarak pF eğrilerindeki değişiklikleri tanımlayan iki parametreyi belirlemek için yeni bir yöntem geliştirmiştir. Tao ve ark. (2021), toprak suyunun buharlaşmasını dikkate alarak farklı kuru yoğunluklara sahip kumlu tın için pF eğrilerinin iki tahmin yöntemini optimize etmiş ve pF eğrilerini ölçme iş yükünü azaltmışlardır.

Literatürde toprak rutubet karakteristik eğrisini tahmin etmeye yönelik benzer modeller önerilmiştir. Ancak, denklemler Kosugi (1997) denkleminde olduğu gibi çok çeşitli topraklara uygulanamamaktadır (Satyanaga ve ark., 2024) ve deneysel modeller fiziksel anlamları belirsiz olan toprak parametreleri içermektedir (Yang, 2023). Geliştirilen farklı modellerde, morfolojik özellikler nicel olarak tanımlanmıştır (Karahan ve Erşahin, 2016; Zolfaghari ve ark., 2016; Qi ve ark., 2018; Wang ve ark., 2019; Zhu, 2020; Dai ve ark., 2021; Echogdali ve ark., 2023).

Bu çalışmalara ek olarak yeni modellerde toprak yapısı gibi nicel olarak tanımlanabilen toprak özellikler ile toprak rutubet karakteristik eğrisi arasında da bağlantı kuran çalışmalar (Russell ve Buzzi, 2012; Niu ve ark., 2015) yapılmış ve bu çalışmalarla zaman alıcı ve zahmetli olan toprak rutubet karakteristik eğrisi ölçümleri için daha kullanışlı yöntemler sağlanmıştır (Yang, 2023). Tao ve ark., (2018), toprak rutubet karakteristik eğrisi fraktal modeli ile toprak kil içeriğinin ve ilk gözenekliliğin toprağın hidrolik özellikleri üzerindeki etkileri üzerine bir çalışma yürütmüş ve kil içeriği ve gözenekliliğin toprak rutubet karakteristik eğrisi üzerindeki etkilerine dair teorik bir açıklama sunmuştur. Zhang ve ark., (2019) ise bu teoriyi lős topraklara uygulamış ve lős toprakların hidrolik özelliklerini açıklamak için toprak parçacıklarının fraktal boyutunun toprak su dağılımına bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Toprak rutubet karakteristik eğrisi için geliştirilmiş bazı modeller Çizelge 2.1’de verilmiştir.

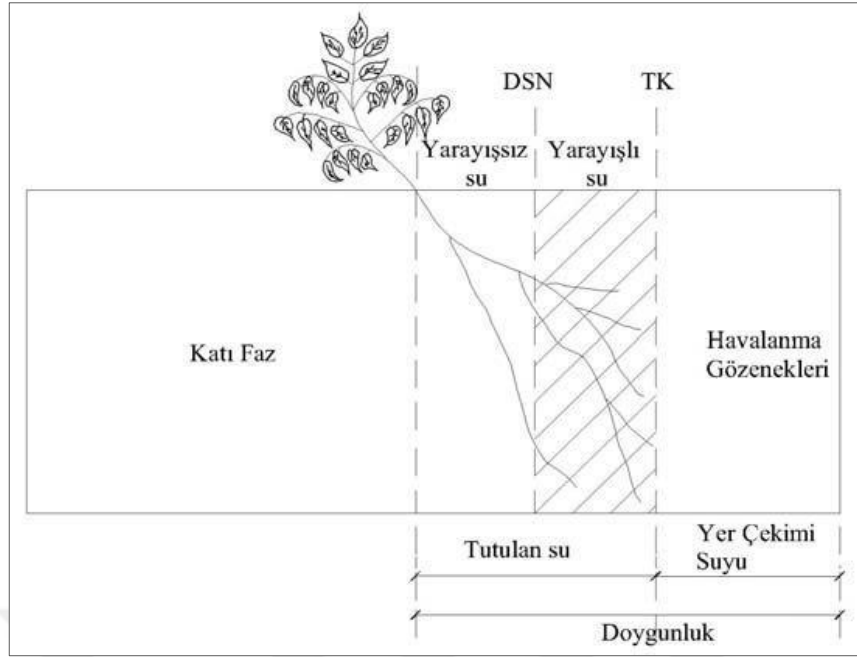
Çizelge 2.1. Toprak rutubet karakteristik eğrisi için geliştirilmiş bazı modeller (Poluektov,1991; Breinstein ve ark., 1988).

Model Eşitlikleri	Modeli Bulan Araştırmacı/Araştırmacılar
$\theta = -\frac{1}{B} \ln \frac{P}{A}$	W.C. Visser
$\theta = \frac{\theta_s}{(1 + (p/A)^B)}$	R.R. Curry, L.H. Chen
$\theta = \frac{\theta_s}{(1 + (p/A)^B)}$	Y.A. Pachepsky
$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \exp(-A \ln(\frac{P}{B})^2)$	V.V. Terleev, A.L. Sarıyev
$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{B} \ln \frac{P}{A}$	D.A. Farrel, W.E. Larsen
$\theta = \theta_s$, eğer $p \geq p_s$ $\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = (\frac{P_s}{p})^A$, eğer $p \leq p_s$	R.R. Brooks, A.T. Correy
$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{A}{A + (P ^B)}$	R. Haverkamp
$p = A \exp(-B \frac{\theta - WP}{FC - WP})$	K.K. Pavlova, I.L. Kaluzhny

θ : Toprağın ortalama hacimsel su içeriği, P: Toprağın ilgili matris emiş değeri, θ_s : Toprağın satürasyon düzeyi, θ_r : Toprağın higroskopik nem düzeyi, p_s : Toprağın doygunluk dilimindeki su potansiyeli, FC: Tarla kapasitesi, WP: Solma noktasındaki nem içeriği, A ve B model parametreleri

2.2. Tarla Kapasitesi (TK)

Toprağın yerçekimine karşı derine sızdırmadan tutabildiği maksimum su miktarı hem toprak hem de bitki için büyük önem taşır. Genellikle bu suya toprağın su tutma kapasitesi veya tarla kapasitesi denir. Tarla kapasitesinde en zayıf şekilde tutulan suyun tutulma (emilme) gücü genellikle 343 cm su sütunu 1/3 atmosfer (pF 2.54) şeklinde ifade edilir. Bazı ağır killi topraklarda tarla kapasitesi pF 1,8 civarında da olabilir (Şekil 2.2). Çünkü killi topraklarda büyük gözenekler az olduğundan normal bekleme süresi içinde süzülen suyun topraktan sızıp gitmesi sağlanamaz. Kumlu ve tınlı topraklarda 1-2 gün içerisinde bu mümkün olduğu halde ağır killi topraklarda daha uzun süre beklemek gerekmektedir. Bu bakımdan tam anlamıyla sabit su düzeyine ulaşmadan tarla kapasitesi tayini yapılırsa sızan sudan da bir miktar beraber tayin edilebilir; bu durumlarda tarla kapasitesi pF 1,8 civarında olur. Toprakta özellikle kil ve organik madde miktarı arttıkça tarla kapasitesinde tutulan su miktarı artmaktadır. Tarla kapasitesinin değeri daha çok kapilar su miktarına bağlı olduğundan, kapilar boşluklar çoğaldıkça tarla kapasitesinde tutulan suyun miktarı artar. Bu da toprağın strüktürü ile ilgilidir. Toprakta granüler yapı ne kadar çok gelişirse o kadar fazla kapilar boşluklar oluşacaktır. Ancak toprağın pürüzlülüğü, yani gevşekliği çok fazla olursa kapasitede yeniden bir düşme olabilir (Anonim, 2024a).

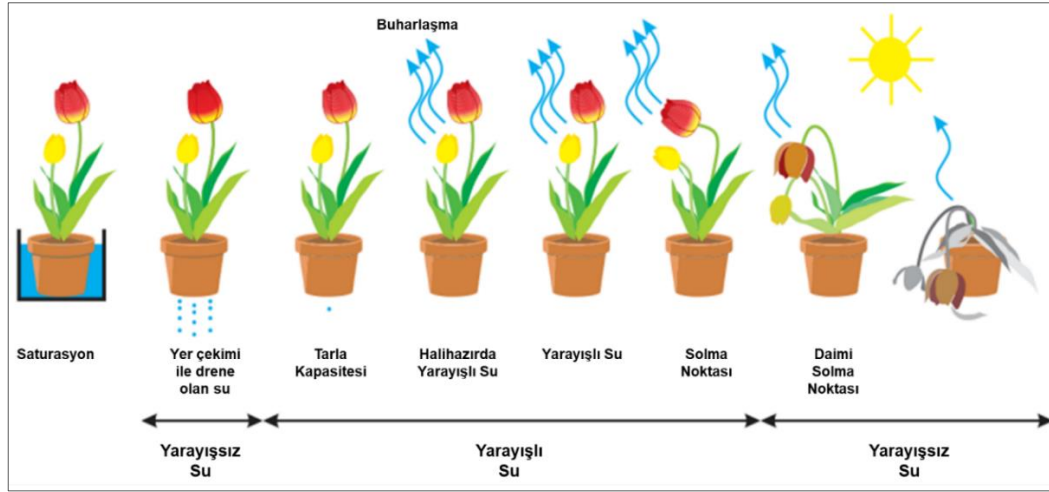


Şekil 2.2. Toprak suyunun sınıflandırılması (Anonim, 2024a)

Kumlu topraklarda tarla kapasitesinin düşük olması nedeniyle tutulan suyun miktarı az olmakta ve besin maddeleri kolayca yıkanıp gitmektedir. Bu da toprağın üretkenliği üzerine olumsuz bir etki yapmaktadır. Kil veya organik madde karıştırılmak suretiyle kumlu toprakların tarla kapasiteleri yükseltilebilir.

2.3. Daimî Solma Noktası (DSN)

Daimî solma noktası (DSN), o toprakta büyüyen gösterge bitkilerinin nemli bir odaya yerleştirildiğinde solup toparlanamadığı toprağın en büyük su içeriği olarak tanımlanır. Genellikle 2 1,5 MPa toprak matris potansiyelindeki su içeriği ile tahmin edilir (SSSA, 1997). Su içeriği tipik olarak ağırlık (g m^{-3}) veya hacim ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) bazında ifade edilir (Tolk, 2003). Toprakta bulunan su, belirli bir anda bitkinin artık yararlanamayacağı ve turgor olayının meydana gelmeyeceği bir miktarda olabilir. Bu andaki su miktarına solma noktasındaki su ve bu noktaya da solma noktası denir (Şekil 2.3). Daimî solma noktasında en zayıf tutulan toprak suyu 15 atmosfer ile (4.2 pF) tutulmaktadır. Ayrıca pF eğrisinden de bu noktayı tayin etmek mümkündür (Anonim, 2024a). Kalıcı solma noktasındaki toprak tamamen kuru değildir, çünkü hala biraz su vardır; ancak miktar o kadar azdır ki bitkiler tarafından erişilemez. Islak bir bezi artık su damlatmayacak noktaya kadar sıkamak gibidir; ne kadar sıkarsanız sıkın, hala ıslak olduğu hissedilir (Anonymous, 2024). Tarla kapasitesi öncelikle toprak özelliklerinin bir fonksiyonudur, oysa DSN bitki, toprak ve atmosfer faktörlerinin bir kombinasyonunun ürünüdür.



Şekil 2.3. Toprak suyunun sınıflandırılması (Anonyoumus, 2024)

2.4. Yarayışlı Su

Toprakta bulunan su, belirli bir anda bitkinin artık yararlanamayacağı ve turgor olayının meydana gelmeyeceği bir miktarda olabilir. İşte bu andaki su miktarına daimî solma noktasındaki su ve bu noktaya da daimî solma noktası veya kısaca solma noktası denir. Bitki köklerinin emiş gücü suyun toprakta bağlanma gücünden büyük olduğu takdirde bitki suyu alabilir. Bitkinin alabileceği maksimum su miktarı, solma noktasında toprakta mevcut su ile tarla kapasitesinde tutulan su miktarı arasındaki farktır. Yani tarla kapasitesinde toprağın içerdiği su ne kadar fazla ve solma noktasında da ne kadar az olursa aradaki fark o kadar büyük olacak, dolayısıyla bitkinin yararlanabileceği su miktarı da çok olacaktır. Bitkinin yararlanabildiği su, zayıf bağlanmış adsorpsiyon suyundan ve büyük oranda kapilar sudan ibarettir. Bir toprağın bitki tarafından alınabilecek maksimum su miktarı toprağın tekstürü, strüktürü ve organik madde içeriği ile yakından ilgilidir. Kil miktarı arttıkça yararlanılan su miktarı da başlangıçta artmakta; ancak, bir noktadan sonra azalmaktadır. Çünkü fazla kil bulunduğu takdirde suyun tutulma gücü de büyümektedir. Organik madde yararlanılan suyun miktarını artırır.

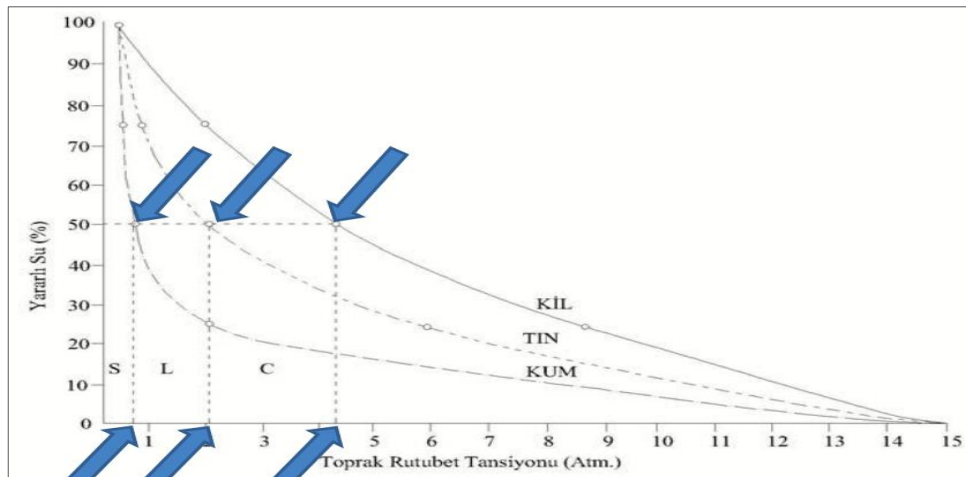
Toprakların özellikle bitki kök bölgesinde suyu biriktirme (depolama) özelliği çok önemlidir. Kışın düşen yağışlar bu bölgede biriktirildiği takdirde vejetasyon devresinde meydana gelebilecek kuraklıklar bitkiye zarar vermez. Çünkü bitki depolanan bu sudan yararlanır. Kök bölgesinde bitkilerin yararlanabileceği suyu en çok biriktiren topraklar tınlı topraklardır. Killi topraklarda tarla kapasitesi büyük olduğu halde, solma noktasında tutulan su miktarının da fazla olması ve köklerin iyi işlememesi nedeniyle, bitkilere yarayışlı su da az birikmektedir. Toprağın su biriktirme özelliği ne kadar iyi ise ürün de o derece güvence altına alınmış olur.

Suyun pF 2.54 ile 4.2 sınırları arasında yararlanılma derecesi özellikle sulama zamanının belirlenmesinde önemlidir. Sulamanın solma noktasına yakın yerde mi, yoksa çok daha önce mi yapılması gerektiğini saptamak lazımdır. Suyu topraktan almak için bitki tarafından harcanan enerji, topraktaki su miktarı azaldıkça, yani suyun tutulma gücü büyüdükçe, artar. Toprağın kurumması çok

abuk oluyorsa (rneğin, bitkinin fazla su tknetmesi veya hızlı buharlaşma) veya kök gelişimi iyi değilse, daha solma noktasına varmadan su alımı o kadar kötü ve yavaş olur ki, bitkide bir depresyon başlar. Buna karşılık iyi strüktüre sahip derin topraklarda bu tehlike daha azdır.

Sulama araştırmalarında toprak rutubet karakteristik eğrisinden yararlanılabilir. şekil 2.3't e üç toprağa ait, 15 atm. ile 1/3 atm. arasında tutulan faydalı suyun yüzde olarak ifadesi ile rutubet tansiyonu arasındaki ilişkiyi gösteren eğriler verilmiştir (Anonim, 2024a).

şekilde faydalı su %50'ye geldiği zaman  toprakta bu rutubetin tutulma enerjilerine bakıldığında, killi toprakta bu değerin 4.5 atm, tınlı toprakta 2 atm, kumlu toprakta 0.75 atm olduğu görülür. şekil 2.3'den görüldüğü gibi, sulama araştırmalarında, uygulamaların yarayışlı su yüzdelerinin düzeylerine göre değil de izin verilecek belli tansiyon seviyelerine göre yapılması gereği ortaya çıkar. Bu nedenle tansiyometrelerden geniş biçimde yararlanılmaktadır. Örneğin, eğer sulama, faydalı su %50 civarına düşünce yapılırsa yukarıdaki üç farklı tekstürde olan topraklarda çok değişik ürün alınır. Buna karşın sulama, toprak rutubeti 2 atm'e geldiği zaman yapılsa, bu üç toprakta karşılaştırma olanağı daha fazla olan ürün alınabilir. Çünkü bu durumda her üç toprakta da bitkiler, topraktan suyu almak için aynı düzeyde emiş yani enerji uygulayacaklardır. Buna rağmen her üç toprakta toprak suyunun aynı tansiyona gelme hızı farklı olacağından ortalama tansiyon aynı olmaz. Bu nedenle, ürün aynı olmayabilir. Yine de bir yerde elde edilen araştırma sonuçlarının diğer yörede uygulanması için bu yolla daha iyi bilgiler elde edilir. Eğer sulama, toprak rutubet tansiyonu 2 atm'e gelince yapılsa şekillerden görüleceği üzere, killi toprakta faydalı suyun %25'i, tınlı da %50'si, kumlu da %75'i harcanınca sulama yapılmış olacaktır. Sulamada verilecek su miktarı, rutubet karakteristik eğrisinden yararlanılarak ve hacim ağırlığı değerleri kullanılarak hesaplanabilir. Burada ilginç olan durum, yukarıda verilen örnekteki gibi, eğer 2 atm'de sulama yapılsa her üç toprağa bir defada aynı miktar su verilmiş olacaktır. Fakat bu değer her zaman aynı olmayabilir. Toprağın su tutma eğrisine bağlıdır. Toprak suyunun tansiyon veya gözenek büyüklüğüne göre sınıflandırılması oldukça geniş bir şekilde kullanılmaktadır (Anonim, 2024a).



şekil 2.4. Üç farklı tekstüre sahip toprakta suyun %50 yarayışlılık düzeyleri ve tansiyon ilişkileri (Anonim, 2024a).

2.5. Hidrolik İletkenlik

Toprak hidrolik özelliklerini anlamak, özellikle yeraltı suyu yönetimi ve izleme olmak üzere, topraktaki su ve çözünen maddelerin hareketini doğru bir şekilde tanımlamak için toprak biliminde önemlidir. Hidrolik iletkenlik, toprakta suyun ve kimyasalların taşınmasını önemli ölçüde etkileyen temel bir toprak özelliğidir. Ayrıca, sızma, yüzey akışı ve yeraltı suyu akışı gibi hidrolojik döngüdeki çok sayıda süreçte ve drenaj, sulama, erozyon önleme ve taşkın yönetimi dahil olmak üzere çeşitli yönetim uygulamalarında hayati öneme sahiptir (Granata ve ark. 2022).

Hidrolik iletkenlik birim zamanda birim alandan geçen su miktarı ile ifade edilmekte olup, büyük ölçüde toprağın su içeriğine bağlı bir özelliktir ve toprağın su içeriği doymuluktan solma noktasına doğru azaldıkça farklı oranlarda azalmalar göstermektedir. Toprağın su içeriği ile porların büyüklük ve dağılımları arasındaki farklılıklar farklı tekstür ve strüktüre sahip topraklarda hidrolik iletkenlik ve su içeriği arasındaki ilişkide önemli değişikliklere neden olmaktadır (Anonim, 2024b).

Hidrolik iletkenlik laboratuvarında veya arazide yerinde yapılan denemelerle saptanabilir. Her iki durumda da toprak kütlesinde belirli akış koşulları oluşturulmakta ve ölçülen boşalım miktarının hidrolik iletkenlik değeri ile akış koşulları ve boşalım arasındaki ilişkiyi veren eşitlikte yerine konmasıyla hidrolik iletkenlik değeri hesaplanmaktadır (Eşitlik 1) (Gemalmaz, 1987; Wang vd., 2020). Toprakların hidrolik iletkenlik özelliğinin bilinmesi kil tipi, toprak sıkışması, toplam porozite, por büyüklük dağılımı, por geometrisi, bünye ve strüktür gibi toprak fiziksel özellikleri hakkında fikirler vermekte ve çıkarımlar yapılmasına olanak sağlamaktadır (Öztekin ve ark., 2007; Rahimi ve ark., 2011). Bu nedenle toprağın hidrolik iletkenlik özelliği, çeşitli çevresel, hidrolojik ve su yönetimi uygulamalarına dahil edilen, aynı olmayabilen toprak suyu ve çözünen madde hareketi modellerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Araya ve Ghezzehei, 2019; Tuffour ve ark. 2019).

$$K_s = \frac{Q}{i \cdot A} \quad (\text{Eş. 1})$$

K_s , numunenin doymuş hidrolik iletkenlik (m/s), Q , numunedeki akış hızı (m^3/s), i , hidrolik eğim (m/m), A , numunenin kesit alanıdır (m^2). Darcy denklemi ile, K_s , doymuş toprağın (A) birim kesitindeki su akışının (Q) hidrolik eğime (i) oranı olarak tanımlanır. K_s , doymuş bir ortamdaki su akışıyla ilgili denklemlerin çoğunda mevcuttur, ancak zamansal ve mekânsal belirsizlikler nedeniyle hem laboratuvarında hem de sahada belirlenmesi zor olabilir (Suleiman ve Ritchie, 2001).

Doymuş hidrolik iletkenlik (K_s), yüzey suyu akışı, toprak erozyonu, drenaj ve çözünen madde taşınması gibi çeşitli alanlarda uygulamaları olan ve doymuş topraklardaki su akışını etkileyen bir parametredir (Nikghalb Ashouri ve ark., 2024). Doymuş hidrolik iletkenlik, su kaynakları yönetimi, toprak koruma, sulama tasarımı, kirletici göçü, toprak besin dinamikleri ve ekosistemlerin koordineli ve sürdürülebilir gelişiminin teşvik edilmesi gibi çok çeşitli alanları kapsayan uygulamalarda önemli rol oynar (Ferreira ve ark., 2023, He ve ark., 2023, Liu ve ark., 2023,

Yang ve ark., 2022, Ghanbarian, 2021). Toprakta sızma ve yüzey suyunun yeniden dağıtım süreçlerini önemli ölçeklerde anlamak, geniş alanlar üzerinde doymuş hidrolik iletkenliğin değerlendirilmesini gerektirdiği için (Verbist vd., 2013), Ks ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiyi anlamak, mühendislerce daha verimli sulama ve drenaj sistemlerinin tasarlanmasını, su israfının azaltılmasını ve tarım ve çevre uygulamalarında su kullanım verimliliğinin artırılmasını sağlayabilir (Gao ve ark., 2024).

Doymuş hidrolik iletkenlik toprak dokusuna ve yapısına bağlıdır ve büyük iletken gözeneklere sahip topraklarda daha yüksektir (Dexter, 2004). Ks değerleri, belirlenmesinde kullanılan yöntemlere de büyük ölçüde bağlıdır (Verbist vd., 2013). Ancak, toprağın doymuş hidrolik iletkenliği uzayda son derece değişkendir ve bireysel ölçümler yalnızca sınırlı bir alanı temsil edebilir (Urowicz ve Lipiec, 2021) ve zamansal ve mekânsal belirsizlikler nedeniyle de Ks'nin doğru bir şekilde belirlenmesi zordur (Nikghalb Ashouri ve ark., 2024). Hem sahada (çift halkalar, gerilim diski infiltrometresi veya Guelph permeametri ile) hem de laboratuvarında (sabit ve düşen kafa yaklaşımları kullanılarak) ölçümü zahmetli, zorlu ve maliyetli bir işlemdir (Vereecken vd., 2010).

Hidrolik iletkenlik ile ilgili bilgiler dikkate alınmadan geliştirilecek olan toprak yönetim planlamaları gerçeklikten uzak ve başarısız sonuçlar vermektedir. Herhangi bir toprak yönetiminin toprak özelliklerinde ya da üründe meydana getireceği değişimi tahmin etmek için modeller geliştirmek ziraat bilimlerinde sık başvurulan bir yoldur. Toprak biliminde bir modele girdi olacak veriler çoğunlukla etüt çalışmalarından elde edilir, ancak bu çalışmalar tarla morfolojisi, tekstür, strüktür ve pH gibi temel toprak özelliklerini içerdiğinden (Minasny, 2007) temel toprak özelliklerini daha zor ölçülen fonksiyonel özelliklere bağlayan eşitliklerin geliştirilmesi, toprak bilimi tahminleme mühendisliğinde esas teşkil etmektedir. Ayrıca, toprak-su dinamiklerinin yerel su dengelerini nasıl etkilediğini karakterize etmek ve tahmin etmek için doğru Ks tahminlerine ihtiyaç vardır (Vereecken vd., 2016; Montzka vd., 2017; Zhang ve Schaap, 2019). Sonuç olarak, doymuş ve daha az ölçüde doymamış veya doymaya yakın hidrolik iletkenliği dolaylı olarak belirlemek için çeşitli çabalar sarf edilmiştir.

Hidrolik iletkenlik fonksiyonu, hidrolik iletkenlik ile toprak emişi arasında işlevsel bir ilişki sağlar ve toprak rutubet karakteristik eğrisi (TRKE) ile doymamış topraklardaki sızıntı sürecini kontrol eder (Crescenzo vd., 2024).

2.5.1. Hidrolik iletkenlik için geliştirilmiş bazı modeller

Hidrolik iletkenlik için geliştirilmiş bazı modeller Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Hidrolik iletkenlik değerinin matematiksel hesaplanması adına geliştirilmiş bazı modeller (Poluektov, 1991; Zaslavski ve ark.,1988).

Model Eşitlikleri	Modeli Bulan Araştırmacı/Araştırmacılar
$k = A \left(\frac{p}{B} \right)^B$	B.N. Michurin
$k = A(B + (-p)^n)$	W.R. Gardner
$k = \left[\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right] \left[\frac{\int_0^\theta \frac{d\theta}{p(\theta)}}{\int_0^{\theta_s} \frac{d\theta}{p(\theta)}} \right]^2$	Y. Mualem
$k = \left[\frac{\theta}{\theta_s} \right] \left[\frac{\int_0^\theta \frac{d\theta}{p^2(\theta)}}{\int_0^{\theta_s} \frac{d\theta}{p^2(\theta)}} \right]$	R.E. Green, A.T. Correy

θ : Toprağın ortalama hacimsel su içeriği, P: Toprağın ilgili matris emiş değeri, θ_s : Toprağın satürasyon düzeyi, θ_r : Toprağın higroskopik nem düzeyi, k: Toprağın hidrolik iletkenlik değeri (cm gün⁻¹). A ve B model parametreleri.

Sarıyev ve ark. (1995), toprak karakteristik eğrilerinin model bankasından ilgili modelin seçilmesi algoritmasını Çukurova koşulları için yeniden revize ederek bir çalışma yürütmüşlerdir. Aynı çalışmada Hidrolik iletkenlik ilişkileri veri bankası ve seçilmesi konusunda geliştirilen yöntemler ayrı ayrı irdelenerek, toprakta su bütçesinin saptanması için kullanım olanaklarını çalışmışlardır.

Aksoy ve Sarıyev (1997), Çukurova koşullarında Diyarbakır–81 buğday çeşidinde potansiyel verimlilik ve aktif transpirasyon değerlerini belirlemek amacıyla, Stockle ve Campbell tarafından 1991-1992 yıllarında geliştirilen Cropsyst bitki gelişim modelini kullanmışlardır. Çalışmayı, Arıklı ve Menzilat toprak serilerinde, 1995-1996 yıllarında, 1993-1994 yıllarına ait iklim verilerini kullanarak yapmışlardır. Modelde toprağın Hidrolik iletkenlik ve pF eğrisi verilerinin yanı sıra bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, önemli iklim faktörleri, bitkinin termal rejimi, maksimum yeşil alan indeksi ve yaprak alan indeksi, hasat indeksi, maksimum kök derinliği, bitkinin önemli gelişme devrelerindeki azot içeriği gibi parametreler ile toprak işleme, sulama, gübreleme vb. amenajman uygulamaları veri olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, modelde belirlenen potansiyel verimlilik, bitkideki yaprak alan indeksi (YAI), spesifik yaprak alanı, sap-yaprak oranı, solar radyasyondan yararlanma katsayısı gibi parametrelerde Cropsyst modeli hassas bulunmuştur. Bu değerlerin fizyolojik sınırlar içerisinde değiştirilmesi potansiyel verim tahminini önemli derecede etkilemiştir. Ayrıca modelde, bitki tarafından tüketilen su miktarı değerleri düşük bulunmuştur.

Canbolat ve Sarıyev (1997), Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanları olan Arıklı ve Menzilat serilerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini incelemişlerdir. Bu

serilerin, hidrolik iletkenlik ve toprak rutubet karakteristikleri için, en uygun modeli bilgisayar destekli programla belirlemişlerdir. Ayrıca bu serilerdeki toprak sisteminde su dinamiğinin zamana ve derinliğe göre matematiksel modelini yapmışlardır.

Polat (2000), Toprak su dinamiğini sonlu farklar yöntemiyle sayısal çözümünü irdelemiş ve bilgisayar programı yapmıştır. Söz konusu çalışmada toprakta su dinamiği, toprak sıcaklığı gibi önemli dinamik toprak fiziksel parametrelerinin sayısal modellenmesi yapılmıştır. Bu çalışmada toprak suyunun tahmini için toprağın Hidrolik iletkenlik ve pF eğrisi verileri kullanılmıştır. Araştırmada deneysel ve model sonuçları uyumlu neticeler vermiştir.

Shepherd ve ark. (2002), toprak-bitki atmosfer sisteminde sınırlayıcı faktör olarak toprak suyunu, miktar olarak modellemişlerdir. Tek kaynaklı toprak su modeli geliştirmişler ve SODCOM olarak bilinen ürün gelişiminin güneş enerjisince yürütülen hesap modeline bağlamışlardır. Toprak su modeli, farklı topraklar üzerindeki tarla ölçümleri ile söz konusu modelin tahminlerini kıyaslamak suretiyle test edilmiştir. Modelde günlük zaman aralığını kullanmışlardır. Model, potansiyel evapotranspirasyon ve toprak su tutunması parametreleri esasına dayandırılmıştır. Bu parametreler yağış, akış ve evapotranspirasyonun kök bölgesi su dengesi ile bağlantılı hale konmuştur. Model, potansiyel gelişim hızını geliştirmek için kullanılan su gelişim faktörünü tahmin etmektedir.

Müjdecı (2003), Toprak-Bitki-Atmosfer sisteminde enerji-kütle akımlarının korunması yasaları ve denge prensiplerinden yararlanarak, çeşitli fiziksel ve biofiziksel (biyotik-abiyotik) prosesleri ayrı bloklar şeklinde ele alıp, olayları etkileyen önemli parametrelerle matematiksel sistem denklemleri ile kuramsal terimler kurulmaktadır. Söz konusu denklemlerin matematiksel yaklaşımlarla çözümlenmesi ve bloklar halinde programlanması ile modelin ortaya konulması, onun test edilerek uygulanabilirliği çalışmaları sistemli bir şekilde yürütülmektedir. İlgili çalışmada temel toprak fiziksel parametrelerden Hidrolik iletkenlik ve pF eğrisi verileri ile toprakta su dinamiği çalışılmış, biofiziksel parametreler de araştırılmış ve Buğday için biomass, fotosentez, LAI ve bitki verimi gibi 3 yıllık deneme sonuçları ile ölçüm değerleri uyumlu bulunmuştur.

Merdun ve ark. (2006), parçacık boyutu dağılımı, hacim yoğunluğu ve üç farklı gözenek boyutu gibi temel toprak özelliklerinden toprak hidrolik parametrelerinin nokta ve parametrik (van Genuchten'in parametreleri) tahmini için PTF'ler geliştirmiş ve yapay sinir ağı (YSA) ve çoklu doğrusal regresyon yöntemleri kullanarak iki yöntemin tahmin yeteneklerini bazı değerlendirme kriterleri ile karşılaştırmışlardır. Toplam 195 toprak örneğinde, nokta tahminlerine göre parametrik tahminlerin daha düşük doğruluğa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Tahminlerin doğruluğunu, R^2 ve ölçülen ve tahmin edilen parametre değerleri arasındaki ortalama karekök hatası (RMSE) ile değerlendirmişler ve regresyonun YSA'ndan önemsiz derecede daha iyi performans gösterdiğini, ancak YSA'nın umut verici sonuçlarla yeni algoritmalar geliştirilerek değerlendirilebileceğini kaydetmişlerdir.

Daha sonraki yıllarda, fraktal bir yaklaşım kullanan Guarracino (2007) ve Ks'yi TSKE'nin bir fonksiyonu olarak tahmin etmek için kılcal demet modelleri kullanan Mishra ve Parker (1990) ve

Nasta ve ark. (2013) tarafından doymuş hidrolik iletkenliği (K_s) toprak su karakteristik eğrisinden (TSKE) tahmin etmeye yönelik kavramlar türetilmiştir. Geniş gözenek boyutu dağılımına sahip topraklar için, Mualem'in modeli (tüm kılcal demet modelleri gibi) doymunluğa kademeli olarak yaklaşan su tutma modelleriyle birlikte, doymunluğa yakın hidrolik iletkenlikte fiziksel olmayan keskin bir düşüş üretebilir (Vogel ve ark. 2000; Ippisch ve ark. 2006).

Wang ve ark. (2022), Vogel ve ark. (2000) ve Ippisch ve ark. (2006) tarafından sağlanan basit yöntemi, küçük n değerlerine sahip topraklar için kullanılan FXW (Fredlund and Xing, 1994) modeliyle hidrolik iletkenliğin tahminini iyileştirmek için uygulamışlar, toprak su tutma eğrisinden ek bir parametre gerekmeden hidrolik iletkenlik eğrisini tahmin etmek için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Toplam 159 toprak numunesi ile yaptıkları testlerde, yeni modelin, R^2 yi 0,48'den 0,76'ya yükselttiğini ve RMSE değerini 1,60'tan 0,81 cm d^{-1} 'e düşürerek doymuş hidrolik iletkenlik girdisi içeren modelle karşılaştırıldığında hidrolik iletkenlik eğrisi tahminini önemli ölçüde iyileştirdiğini kaydetmişlerdir. Toprak suyu karakteristik eğrisinin şekillendirilmesinde kullanılan bir parametre olan n değeri 1,0'a yakın küçük topraklarda hidrolik iletkenlik modelinin doymunluğa yakın ani düşüşünü de, su içeriği -1 cm sabit potansiyelin üzerinde doymun hale getirerek gidermişlerdir.

Peters ve ark. (2023), su tutma fonksiyonu için çok fazla veri mevcut olsa da hidrolik iletkenlik fonksiyonunun genellikle tahmin edilmesi gerektiğini ve klasik yaklaşımın, su tutma fonksiyonundan bağıl iletkenliği tahmin etmek ve ölçülen doymuş iletkenlik ile ölçeklendirmek olduğunu belirtmiştir. Çalışmalarında bu yaklaşımın eksikliklerini, yani ölçülen K_s değerlerinin genellikle oldukça belirsiz ve önyargılı olduğunu ve bunun da doymamış iletkenlik fonksiyonunun zayıf tahminlerine yol açtığını vurgulamışlardır. K_s 'yi genel olarak uygulanabilir etkili doymuş kıvrımlılık parametresi τ_s ile değiştirerek ve yalnızca su tutma eğrisini kullanarak toplam iletkenliği tahmin etmişlerdir. τ_s için topraktan bağımsız bir genel değer elde etmiş ve yaklaşık 0,1 olarak kaydetmişlerdir. Tahmin edilen iletkenlik fonksiyonları ile ölçülen veriler arasında büyüklüğün yarısından daha az bir ortalama hata bulmuşlardır. Modelin aynı zamanda tek başına toprak matrisinin doymuş iletkenliğini tahmin etmeye ve böylece makro gözenek iletkenliği ile toprak matris iletkenliği arasında ayırım yapmaya yardımcı olduğu bildirilmiştir.

Crescenzo ve ark. (2024), fiziksel model testlerinin sonlu eleman sızıntı modellemesi yoluyla toprak-su karakteristik eğrisini ve hidrolik iletkenlik fonksiyonunu değerlendirmek için bir metodoloji önermiştir. Küçük ölçekli bir eğim modeli ile, Mualem-van Genuchten model parametrelerinin eğim tepkisi üzerindeki etkisini değerlendirmek için duyarlılık analizi ve deneme yanılma kalibrasyon aşaması gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmanın sürekli ve uzun süreli yağış infiltrasyonuna maruz kalan bir yamaçta ve toprak suyu karakteristik eğrisi ve hidrolik iletkenlik fonksiyonunun toprak tepkisini kontrol etmedeki önemli etkisini açıkça vurguladığını kaydetmişlerdir.

Çizelge 3.1. Arpacı serisinin temel özellikleri

Horizon	Derinlik (cm)	pH	Total tuz (%)	KDK (Meq/100g)	Kireç (%)	OM (%)	Tane Dağılımı			Bünye
							Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	
Ap	0-21	7.6	0.053	18.4	16.0	2.01	9	40	51	Siltli Kil
A ₁₂	21-36	7.7	0.063	18.3	16.0	1.41	12	35	53	Kil
A ₁₃	36-61	7.8	0.117	18.2	20.6	1.27	11	41	48	Siltli Kil
C ₁	61-84	7.8	0.170	18.0	26.0	1.13	6	42	52	Siltli Kil
C ₂	84-110	7.6	0.190	18.4	26.3	1.07	4	32	64	Kil

pH: Toprak reaksiyonu, KDK: Katyon değişim kapasitesi, OM: Organik madde

Çizelge 3.2. Çanakçı serisinin temel özellikleri

Horizon	Derinlik (cm)	pH	Total tuz (%)	KDK (Meq/100g)	Kireç (%)	OM (%)	Tane Dağılımı			Bünye
							Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	
Ap	0-10	7.4	0.055	22.0	20.9	1.37	25	47	28	Killi Tın
A ₁₂	10-39	7.5	0.075	20.4	21.5	1.17	21	55	24	Siltli Tın
IIA ₁	36-60	7.5	0.358	21.1	14.6	1.50	29	39	32	Killi Tın
IIC ₁	60-73	7.6	0.435	19.0	19.3	0.39	35	43	22	Tın
IIC ₂	73-94	7.3	0.430	13.6	20.6	0.46	28	49	23	Tın
IIC ₃	94-112	7.5	0.500	19.5	22.6	0.63	13	52	35	Siltli Killi Tın
IIC ₃	112-150	7.5	0.500	17.8	20.1	0.36	22	48	30	Killi Tın

pH: Toprak reaksiyonu, KDK: Katyon değişim kapasitesi, OM: Organik madde

Çizelge 3.3. Baharlı serisinin temel özellikleri

Horizon	Derinlik (cm)	pH	Total tuz (%)	KDK (Meq/100g)	Kireç (%)	OM (%)	Tane Dağılımı			Bünye
							Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	
Ap	0-14	7.8	0.032	11.4	15.1	0.93	75	12	13	Kumlu Tın
A ₁₂	14-32	7.8	0.010	12.3	14.2	0.67	75	12	13	Kumlu Tın
A ₁₃	32-57	8.3	0.010	11.1	18.6	0.53	79	10	11	Kumlu Tın
C	57-150	8.3	0.010	9.1	20.0	0.53	81	8	11	Kumlu Tın

pH: Toprak reaksiyonu, KDK: Katyon değişim kapasitesi, OM: Organik madde

3.2. Metot

3.2.1. Toprak rnekleme

Toprak rneklemesi 5 Aralık 2023 tarihinde yapılmıştır. Toprak rneklemesi, her bir seride profil çukurlarının açıldığı yere yakın olacak şekilde 0-20 cm derinlikte yapılmıştır (şekil 3.2). Yüzey toprağı iyice temizlendikten sonra 0-20 cm derinlikten 12 adet bozulmamış toprak rneği ve 1 adet bozulmuş toprak rneği alınmıştır.



şekil 3.2. Toprak rneklemesi ve bozulmamış rnekler

Alınan bozulmamış toprak örneklere hacim ağırlığı, gözeneklilik, hidrolik iletkenlik ve pF eğrisi elde etmek için kullanılmıştır. Bozulmuş toprak örneklere ise öncelikle laboratuvar koşullarında hava kurusu olacak şekilde kurutulmuş ve 2 mm 'lik elekten geirilmıştır (şekil 3.3). Bu rnekler, pF eğrisinde özellikle yüksek başın dilimlerinde (5 atm ve 15 atm) kullanılmıştır.



şekil 3.3. Toprak örneklere analiz hazırlanması ve solma noktası analizi

Hacim ağırlığı Blake ve Hartge (1986)'ye göre belirlenmiştir. Gözeneklilik, Danielson ve Sutherland (1986)'e; hidrolik iletkenlik ise düşen yk yöntemine göre belirlenmiştir (Klute ve Dirksen, 1986). pF eğrisi ise başınlı plakalar sistemi kullanılarak Klute (1986)'a göre belirlenmiştir.

pF eğrisi 0 atm, 0.1 atm, 0.2 atm, 0.33 atm, 0.5 atm, 1 atm, 5 atm ve 15 atm kullanılarak oluşturulmuştur. 0 atm, 0.1 atm, 0.2 atm, 0.33 atm, 0.5 atm ve 1 atm için bozulmamış topraklar kullanılırken, 5 atm ve 15 atm için bozulmuş topraklar kullanılmıştır. Ayrıca alınan örneklerde pH, elektriksel iletkenlik, kireç ve organik madde gibi tanımlayıcı analizler de yapılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Organik madde analizi

3.2.2. Toprak serilerinde kullanılan model parametreleri

Toprak-su ilişkilerine ait çalışmalarda genellikle iki tip bilgiye gereksinim vardır. Bunlar, topraktaki suyun miktarı ve toprak suyunun enerji durumu, bir başka deyişle, toprağın ıslaklığı ve toprak rutubet emişidir. Bu iki önemli hidrofiziksel parametrelerin ayrı ayrı ölçüldükleri halde birbirine fonksiyonel olarak işlevsellikle bağlıdırlar. Bu bağlantıya Toprak-su karakteristik eğrisi denir ve toprak fizğinde toprağın hidrolik iletkenlik parametresi de dikkate alındığında su dinamiğinin derinliğe ve zamana bağlı olarak belirlenmesinde çok önemlidir. Çünkü bu eğri toprak tekstürü, toprak strüktürü, gözeneklilik ve gözenek büyüklük dağılımı ve toprak suyunun adsorbe edilme durumlarını yansıtır. Bu ilişkilerin teorik temelleri Darcy yasasına dayanmakta ve ilgili yasaya göre aşağıdaki gibi yazılmaktadır (Bondarenko ve ark.,1982):

$$v = -k \frac{\Delta H}{\Delta x} \quad (1)$$

Burada; k, toprağın hidrolik iletkenliği (cm gün⁻¹); Δx, (x₂ - x₁), iki toprak katmanı arasındaki mesafe (cm); ΔH, (H(x₂) - H(x₁)), katmanlar arasındaki su yükü farkıdır (cm). Diğer potansiyelleri ihmal edersek, topraktaki su yükü, yerçekimi yükü (z) ile basınç (matrik) yükünün (p) toplamına eşittir:

$$H = p - z \quad (2)$$

Eşitlik (1) ve (2) birleştirilirse, şu ilişki bulunur:

$$v = -k \left(\frac{\Delta p}{\Delta x} - 1 \right) \quad (3)$$

Burada, $\Delta z = \Delta x$ olarak alınmıştır.

Toprağın su içeriğinin ($\theta = \text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) zamana göre ($t=\text{gün}$) değişimi şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial v}{\partial x} - f \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitlikte; f , kök tarafından alınan suyun miktarını belirleyen fonksiyonel bir ifadedir. Eşitlik (3)'te gösterilen " v " değişkeni eşitlik (4)'de yerine yazılırsa ve toprağın özgül (diferansiyel) su kapasitesi de ($\mu(p)=d\theta/dp$) kullanılırsa, şu ilişki elde edilir:

$$\mu(p) \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} [k(p) \left(\frac{\partial p}{\partial x} - 1 \right)] - f \quad (5)$$

Görüldüğü gibi, rutubet karakteristik eğrisinden (pF eğrisi) yararlanılarak eşitlik (5), yalnız p değişkenine bağlı, doğrusal olmayan diferansiyel bir denklem haline dönüştürülmüştür. Eşitlik (5) için toprak yüzeyindeki sınır koşulu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$v \left|_{x=0} = -k(p) \left(\frac{\partial p}{\partial x} - 1 \right) \right|_{x=0} = \begin{cases} E_s, & \text{koşul: } Pr=0 \\ -\min(Pr, kf), & \text{koşul: } Pr > 0 \end{cases} \quad (6)$$

Burada; E_s , toprak yüzeyinden buharlaşma ile kaybolan su; Pr , yağış miktarı; k_f ise infiltrasyon hızıdır. Yukarıdaki tanımlamaya göre, $Pr = 0$ ise, akı, buharlaşmaya (E_s) eşittir. $0 < Pr \leq k_f$ ise, yağışın şiddeti, infiltrasyon hızından (akı yoğunluğundan) küçük veya ona eşit olmaktadır. $Pr > k_f$ olması durumunda toprak yüzeyinde göllenme meydana gelir ve h_w ile gösterilen biriken su derinliği bütçe esasına dayanılarak hesaplanabilir (Poluektov, 1991):

$$\frac{dh_w}{dt} = (Pr - k_f - E_s) \text{sign } h_w - c_w h_w \quad (7)$$

Burada; c_w , yüzey depolama katsayısı olarak tanımlanmaktadır. $\text{sign } h_w$ ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{sign } h_w = \begin{cases} 0, & \text{koşul: } h_w \leq 0 \\ 1, & \text{koşul: } h_w > 0 \end{cases} \quad (8)$$

Diğer taraftan, alt sınır koşulu, seçilen NR derinliğinde şu şekilde tanımlanabilir:

$$p \left|_{x=NR} = \text{Sabit} \quad (9)$$

Ayrıca, başlangıçta toprak katmanlarındaki potansiyellerin bilinmesiyle de eşitlik (5)'in çözümü olanaklı hale gelir:

$$P_i(x,0) = g_i(x) \quad (10)$$

Eşitlik (10)'da; $p_i(x,0)$, katmanlardaki başlangıç potansiyelini; $g_i(x)$ ise ilgili potansiyelin gerçek değerini gösterir. Şayet, $p = p(0)$ ve $k = k(p)$ (veya $k = k(\theta)$) ifadeleri arasında geçerli ilişkiler olmasaydı, matematiksel fizikle ilgili parabolik tip kısmi diferansiyel nitelikteki eşitliklerin (5-10) çözümü mümkün olmazdı (Poluektov ve ark., 1989). Bu bakımdan her bir toprak için belli pF eğrisi modeli oluşturulup kullanılması son derece önem taşımaktadır. Dolayısıyla $p(\theta)$ ve $k(p)$ ilişkisini saptayan uygun modellerin belirlenmesi önemli bir husus olarak ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla, birçok araştırmacı (Breinstein ve ark., 1988; Zaslavski ve ark., 1988) tarafından yürütülen çalışmalarda da belirtildiği gibi, oluşturulan $k = k(p)$ ve $p = p(\theta)$ modeller bankasından değişik topraklar için deneme sonuçlarına bağlı olarak iki veya üç parametrelili uygun modelleri bulmak ve istatistiksel açıdan kıyaslamak mümkün olabilir. Bu nedenle, Çizelge 3.4 ve 3.5'te önemli bazı modeller sunulmuştur (verilen modeller bankasına her zaman geliştirilecek yeni modeller eklenebilir).

Çizelge 3.4. pF eğrisi için geliştirilmiş bazı modeller (Poluektov, 1991; Breinstein ve ark., 1988).

Model Eşitlikleri	Modeli Bulan Araştırmacı/Araştırmacılar
$\theta = -\frac{1}{B} \ln \frac{P}{A}$	W.C. Visser
$\theta = \frac{\theta_s}{(1 + (p/A)^B)}$	R.R. Curry, L.H. Chen
$\theta = \frac{\theta_s}{(1 + (p/A)^B)}$	Ya. A. Pachepsky
$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \exp(-A \ln(\frac{P}{B})^2)$	V.V. Terleev, A.L. Saryyev
$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{B} \ln \frac{P}{A}$	D.A. Farrel, W.E. Larsen
$\theta = \theta_s$, eğer $p \geq p_s$ $\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = (\frac{p_s}{p})^A$, eğer $p \leq p_s$	R.R. Brooks, A.T. Correy
$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{A}{A + (P ^B)}$	R. Haverkamp
$p = A \exp(-B \frac{\theta - WP}{FC - WP})$	K.K. Pavlova, I.L. Kaluzhny

ps: toprağın doygunluk dilimindeki su potansiyeli; θ_s : doymuş toprağın su içeriği; θ_r : en yüksek higroskopik nem içeriği; FC: tarla kapasitesi; WP: solma noktasındaki nem içeriği; A ve B katsayı

Çizelge 3.5. Hidrolik iletkenlik değerinin matematiksel hesaplanması adına geliştirilmiş bazı modeller (Poluektov , 1991; Zaslavski ve ark.,1988).

Model Eşitlikleri	Modeli Bulan Araştırmacı/Araştırmacılar
$k = A \left(\frac{p}{B} \right)^B$	B.N. Michurin
$k = A(B + (-p)^n)$	W.R. Gardner
$k = \left[\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right] \left[\frac{\int_0^\theta \frac{d\theta}{p(\theta)}}{\int_0^{\theta_s} \frac{d\theta}{p(\theta)}} \right]^2$	Y. Mualem
$k = \left[\frac{\theta}{\theta_s} \right] \left[\frac{\int_0^\theta \frac{d\theta}{p^2(\theta)}}{\int_0^{\theta_s} \frac{d\theta}{p^2(\theta)}} \right]$	R.E. Green, A.T. Correy

ps: toprağın doygunluk dilimindeki su potansiyeli; θ_s : doymuş toprağın su içeriği; θ_r : en yüksek higroskopik nem içeriği; A ve B katsayı

Geliştirilmiş modeller bankasından deneme sonuçlarının en iyi interpolasyonunu veren modeli belirlemek için bazı araştırmacılar (Breinstein ve ark., 1988; Zaslavski ve ark., 1988) tarafından aşağıdaki algoritmaya uygun bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu programın işleyişi şu şekildedir:

- Sisteme deneme sonuçları kaydedilerek, her bir model için en küçük kareler yöntemiyle belli olmayan parametrelerin hesabı yapılmakta;
- Bulunan parametreler ilgili formülde yerine yazılarak, her bir modelin sonuçlarıyla deneysel veriler arasındaki sapmalar istatistiksel olarak değerlendirilmekte ve analitik ifade seçilmekte;
- Sapmaların mutlak değerlerinin rastgele (tesadüfi) olduğu varsayılarak, her bir modeldeki sapmalar için ortalamalar hesaplanmakta. Modelin tahminleme doğruluğu, kök ortalama kare hatası, deneysel verilerle modelin noktadaki hata farklarının karelerinin toplamı olarak bilinmektedir. (RMSE) temel alınarak değerlendirilmektedir. Modelde kök ortalama kare hatası (RMSE), aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} (K_{göz} - K_{mod})^2}{N}}$$

RMSE, değerlendirilen modelin genel hatasının bir göstergesidir ve en iyi model performansı için sıfıra yaklaşmalıdır (Lu ve ark. 2008).

- En uygun model için Student formülü kullanılarak güvenilirlik olasılığına (ihtimaline) göre güven aralığı belirlenmekte;

- Modeller için bulunan ortalama değerler, en uygun model için belirlenmiş güven aralığı içerisinde kalırsa, bu grupta yer alan modellerle de hesaplamalar yürütülebilmektedir.
- Her bir tahmin yine SIMONA'nın pFK model bankası içerisinde yer alan ve gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki değişkenliğin önemli olup olmadığını gösteren "kök ortalama kare hatası, RMSE" ile analiz edilmiştir. Bu değer "+" ise değişkenlik önemli, "-" ise değişkenlik önemli değildir.
- Bahsi geçen SIMONA (Simulation of Organism Metabolism and Activity) modeli, özellikle bitki büyüme dinamiklerini anlamak ve simüle etmek amacıyla geliştirilmiş bir bitki büyüme modelidir. Bitkilerin fizyolojik süreçlerini detaylı şekilde ele alarak, bitki büyüme, gelişim ve verimliliği üzerine etkili olan çeşitli çevresel ve genetik faktörleri incelemeye olanak tanır. SIMONA, bitkilerin fotosentez, solunum, besin ve su alımı gibi süreçlerini modelleyerek bitkinin büyüme hızını, biyokütlesini ve ürün verimliliğini tahmin eder.

SIMONA modelinin temel özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Fotosentez ve Solunum: Bitkinin karbon asimilasyonu ve enerji üretimi süreçlerini simüle eder.
- Büyüme ve Gelişim: Bitkinin çeşitli organlarının (yaprak, kök, gövde, meyve vb.) büyüme ve gelişim dinamiklerini izler.
- Çevresel Etkiler: Işık, sıcaklık, su ve besin gibi çevresel faktörlerin bitki büyümesi üzerindeki etkilerini modelleyebilir.
- Su ve Besin Alımı: Topraktaki su ve besin elementlerinin kökler tarafından alınmasını ve bunun bitki metabolizması üzerindeki etkisini simüle eder.
- rn Verimliliği: Tarımsal retimde ürün verimliliğini etkileyen süreçleri analiz eder ve optimize edilmesine katkı sağlar.

Modelin kullanım alanları aşağıda verilmiştir.

- Tarımsal Planlama: Farklı iklim koşullarında bitki verimliliğini artırmak için kullanılır.
- Bitki Fizyolojisi Araştırmaları: Bitkilerin evresel streslere tepkilerini anlamada yardımcı olur.
- Verim Tahmini: Çiftçiler ve araştırmacılar için verim tahmininde bulunmak ve tarımsal süreçleri optimize etmek için kullanılabilir.
- SIMONA gibi modeller, bitkisel üretimin daha sürdürülebilir ve verimli hale getirilmesinde önemli bir rol oynar ve tarımsal teknolojilerin gelişimine katkı sağlar.

Toprak-su dinamiğinin numerik hesaplamalarının yapılması ve özellikle toprakların pF ve k(p) modellerinin sınıflandırılması amacıyla yapılacak araştırmalara katkı sağlaması beklenen bu çalışmanın ileri bir aşamada deneysel sonuçlarla desteklenmesi sağlanacaktır. Nitekim Yeşilsoy ve ark. (1991a, b) Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan yaygın toprak serilerinin yukarıda konu edilen özellikleri için çeşitli ampirik ilişkiler elde etmişlerdir. Bu şekilde, gerekli p(0), k(0) ve k(p) ilişkilerini veren uygun modelin belirlenmesinden sonra, toprak-kök sisteminde suyun dinamiği çalışılabilir. Bitki kökleri tarafından alınan suyun miktarı aşağıdaki gibi formüle edilebilir (Poluektov, 1991):

$$f_i(x,t) = \xi(T_s) w(x,t) (p_i(x,t) - p_r) \quad (11)$$

Eşitlikte; ξ , toprak sıcaklığının (T_s) bir fonksiyonu olarak kökün su iletkenliği; p_r kökün su potansiyeli; $w = w(x,t)$, kökün alan yoğunluğudur ($\text{cm}^2 \text{ cm}^{-3}$). Buna göre, kök bölgesinin dışında $w(x,t) = 0$ alınabilir. Bu değişkeni istenen toprak katmanlarında hesaplamak amacıyla NERPİN yaklaşımı (Bondarenko ve ark., 1982) kullanılabilir. Toprak fiziksel parametreleri elde edildikten sonra ilgili parametreler kullanılarak SIMONA programının pF eğrisi ve hidrolik iletkenlik seçiminde kullandığı pFK model bankasının aracılığıyla ilgili toprakların tahmininde kullanılan modellerin seçimi yapılmıştır. Her bir tahmin yine SIMONA'nın pFK model bankası içerisinde yer alan ve gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki değişkenliğin önemli olup olmadığını gösteren “kök ortalama kare hatası, RMSE” ile analiz edilmiştir. Bu değer “+” ise değişkenlik önemli, “-” ise değişkenlik önemli değildir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı Serilerinde Tanımlayıcı Özellikler

Üç farklı tekstüre sahip toprakların pF ve hidrolik iletkenlik tahmin modelleri ayrı ayrı incelenmiş olup, sunulan modeller bankasından ilgili kriterlere göre en uygun TSKE ve Hidrolik iletkenlik modelleri seçilmiştir. Bu değerlendirmenin yapılması adına analizin yapılmış olduğu toprak serilerinin pF verileri ve bazı fiziksel – kimyasal verileri verilmiştir (Çizelge 4.1- 4.2).

Çizelge 4.1. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı serilerinin bazı fiziksel ve kimyasal verileri

	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Tekstür	pH	EC (dS m ⁻¹)	Kireç (%)	Organik Madde (%)	Hidrolik iletkenlik (cm/dk)
Arpacı	3.1	30.7	66.2	Kil	8.26	0.110	17.8	2.15	0.369
Çanakçı	18.8	47.6	33.6	Siltli Killi Tın	7.82	0.399	20.2	1.81	2.679
Baharlı	82.5	5.1	12.4	Tınlı Kum	8.19	0.143	20.6	1.49	1.124

pH: Toprak reaksiyonu, EC: Elektriksel iletkenlik

Çizelge 4.2. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı serilerinde pF verileri

	0 atm	0.1 atm	0.2 atm	0.33 atm	0.5 atm	1 atm	5 atm	15 atm
	(Hacimsel, %)							
Arpacı	58.31	46.37	45.20	43.93	42.50	41.44	29.80	28.98
Çanakçı	50.17	33.18	30.96	29.62	28.62	26.74	22.27	20.40
Baharlı	46.66	14.71	13.45	12.90	12.17	11.38	8.64	5.18

Arpacı serisinde örnekleme noktasında toprağın kum, silt ve kil içeriği sırasıyla %3,1, %30,7 ve %66,2 ile kil tekstürlü olarak belirlenmiştir. Çanakçı serisinde kum, silt ve kil içeriği sırasıyla %18,8, %47,6 ve %33,6 ile siltli killi tın olarak belirlenmiştir. Baharlı serisinde ise kum, silt ve kil içeriği sırasıyla %82,5, %5,1 ve %12,4 ile tınlı kum olarak belirlenmiştir. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı serilerinde Dinç ve ark. (1995)'nin belirttiği üzere profil açılan noktalardan alınan örneklerde elde edilen tekstürler, Dinç ve ark. (1995)'nin tekstür değerleriyle uyumludur.

Toprak pH'ı Arpacı, Çanakçı ve Baharlı serilerinde sırasıyla 8.26, 7.82 ve 8.19'dur. Bu değerler Çukurova Bölgesinde beklenen değerler olup (Dinç ve ark. 1995), Arpacı ve Baharlı serisi orta alkalın, Çanakçı ise hafif alkalındır (TÜBİTAK, 2017). Arpacı, Çanakçı ve Baharlı serilerinde toprak tuzluluğunun göstergesi olan EC sırasıyla 0.110, 0.399 ve 0.143 dS m⁻¹ değerleri ile tuzluluk probleminin uzak olarak belirlenmiştir.

Kireç içeriği bölge topraklarına benzer olarak Arpacı, Çanakçı ve Baharlı serilerinde sırasıyla %17,8, %20,2 ve %20,6 ile çok kireçlidir. Lindsay (1984)'e göre kireçli topraklarda pH, CaCO₃'ün çözünürlüğü ve CO₂'nin kısmi basıncı tarafından belirlendiğinden kireçli topraklarda pH'ın 7.3-8.35 arasında değerler aldığı rapor edilmiştir. Ayrıca, kirecin topraklarda agregatlaşmayı

artırdığı bilinmektedir. Organik madde %2,15 ile en yüksek olarak kil içeriği yüksek olarak Arpacı serisinde elde edilmiştir. Çanakçı ve Baharlı serilerinde ise %1,81 ve %1,49 organik madde değerleri ile Arpacı serisini izlemiştir. Toprakta kil içeriğinin azalması ile organik madde içeriğinin de azaldığı görülmüştür. Bilindiği üzere, kil mineralleri toprakta, kum parçacıklarına kıyasla organik maddeyi tutma eğilimindedir (Oades, 1988).

Kil mineralleri aynı zamanda toprakta suyun tutulmasından sorumludur (Oades, 1988). Bundan dolayı suyun hareketi kil içeriği yüksek topraklarda daha düşüktür. Hidrolik iletkenlik tahminleri toprak parçacık boyutlarına dayalı olma eğilimindedir, çünkü parçacık boyutları gözenekleri yönetir. Dolayısıyla Ks değerlerinin toprakta kıvrımlılık ve gözenek şekli gibi çeşitli mikro yapısal özelliklerden etkilendiğini belirtmek (McDowell ve Bono, 2021) önemli olduğundan, özellikle killi topraklar için bu faktörlerin iyi değerlendirilmesi gerekir. Nitekim, Tan ve ark. (2023), boşluk oranı ve kil içeriği gibi özelliklerin toprak hidrolik iletkenliğini tahmin etmek için en kritik faktörlerden olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, kil içeriği yüksek olan Arpacı serisinde hidrolik iletkenlik en düşük değerleri (0.369 cm/dak) olarak beklentiler dahilinde belirlenmiştir.

Lehmann ve ark. (2021) tarafından çoğunlukla kil minerallerinin hâkim olduğu toprakların doymun olduklarında çok düşük hidrolik iletkenliğe sahip oldukları bildirilmiştir. Doymun toprak koşullarında kil parçacıklarının iletkenliği zorlaştırdığı da bildirilmiştir (Hu et al., 2008). Canpolat and Anapalıcı (2011) tarafından Erzurum’da yapılan bir çalışmada farklı tekstürde toprak doymun hidrolik iletkenlik ölçümü yapılmış, toprak tekstürü incelidikçe doymun hidrolik iletkenliğin azaldığı kaydedilmiştir. Gülser and Candemir (2008), otuz farklı toprakla Samsun’da yapılan çalışmada sabit yük yöntemi ile doymun hidrolik iletkenliği ölçmüşler, hidrolik iletkenliğin silt ve kum içeriği ile doğru, kil içeriği ile ters orantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Kumlu topraklar ise yüksek geçirgenlikleri nedeniyle sığ akiferlerin yeniden beslenmesinde hayati bir rol oynarlar (Gumuła-Kawęcka ve ark., 2022, 2023), ancak kirleticilerin toprak yüzeyinden yeraltı suyuna hızlı bir şekilde hareket etmesine de izin verirler. Bu nedenle, sürdürülebilir yeraltı suyu yönetimi, yamaç stabilitesi, taşkın setlerinden sızma ve diğer uygulamalarla ilgili birçok çalışmada kumların hidrolik parametreleri hakkında doğru bilgi elde edilmesi önemlidir (Wang ve ark., 2017). Ayrıca, kumlu topraklar killi toprakların aksine toprağın havalanması ve suyun hareketinden sorumludur.

Bu çalışmada hidrolik iletkenlik tınlı kum tekstürlü Baharlı serisinde (1.24 cm/dk), kil tekstürlü Arpacı serisine (0.369 cm/dak.) kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Kum oranı yüksek tekstürlerin Ks üzerindeki pozitif etkisi önceki çalışmaların bulguları ile de örtüşmektedir (Lehmann ve ark., 2021; Saxton ve ark., 1986; Tomasella ve ark., 2003). Nispeten büyük gözeneklere sahip kaba dokulu toprakların, genellikle daha küçük gözeneklere sahip kil topraklarına göre daha yüksek doymun hidrolik iletkenliğe sahip oldukları Ferré ve Warrik (2004) ve Saxton ve ark. (1986) tarafından da kaydedilmiştir. Bargués-Tobella ve ark. (2024) ise, Afrika Sahra altı topraklarında yaptıkları çalışmada doymuş hidrolik iletkenliği en iyi belirleyen özellikleri araştırmışlar,

modellerinden elde edilen sonuçlarda, toprak kum içeriği ile Ks arasında pozitif bir ilişki bulunduğunu vurgulamışlardır. Orta bünyeli toprağa sahip olan Çanakçı serisinde ise en yüksek hidrolik iletkenlik değerleri (2.679 cm/dak.) elde edilmiştir. Zhu ve ark. (2020) tarafından siltli tortularda hidrolik iletkenliğin değişimini analiz edilmiş, hidrolik iletkenliğin boşluk oranı ve parçacık çapı ile yakından ilişkili olduğu bulunmuştur.

Bargués-Tobella ve ark.(2024) ayrıca toprak pH'ı ve Ks arasında negatif bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, daha kuru bölgelerdeki toprakların daha yüksek pH değerlerine sahip olma eğiliminde olduğu ve bunun daha aktif ve dağıtıcı killerin baskınlığını ve daha yüksek konsantrasyonda monovalent baz katyonları (Rengasamy ve ark., 2016) yansıttığı, dolayısıyla daha düşük Ks değeri ölçüldüğü kaydedilmiştir. Bu çalışmada da pH ve Ks arasında negatif bir ilişki olduğu, en yüksek pH değerine sahip olan Arpacı serisinde en düşük Ks değeri, pH değeri en düşük olan Çanakçı serisinde ise en yüksek Ks değerinin ölçülmesi ile gösterilmiştir.

Farklı serilerden alınan toprak örneklerinin 0 atmosferden 15 atmosfere kadar farklı basınç dilimleri altında tuttuğu su içerikleri basınç arttıkça azalmıştır. Bununla birlikte kil içeriği yüksek olan Arpacı serisinde su tutma kapasitesi diğer iki seriye kıyasla daha yüksektir. Çanakçı serisi ise Arpacı serisine kıyasla daha az kil içeriğine sahip olup, Arpacı serisine kıyasla bütün basınç dilimlerinde daha az nem içeriğine sahiptir. Buna karşın bütün basınç dilimleri altında kum içeriği daha yüksek olan Baharlı serisinde ise diğer serilere kıyasla daha düşük su tutulmuştur. Baharlı serisinde başlangıçta (0 atm) nem içeriği yüksek iken, sonra gelen basınç noktasında ciddi bir düşüş olmuş ve giderek de düzenli bir şekilde azalmıştır.

Likos ve Jaafar (2013), toprağın TRKE'sinin gözenek boşluğunun geometrisi ve boyutundan etkilendiğini belirtmişlerdir. Tan ve ark. (2016) Önceki çalışmalar, PSD'nin SWRC'nin şeklini kontrol etmede önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Chen ve diğerleri (2020), yaptıkları çalışma ile toprak yüksek oranda kaba parçacık içeriyorsa suyun toprak gözenekleri içinde daha hızlı aktığını belirtmiştir. Bu nedenle su tutma kapasitesi düşük olacağından, kum içeriğinin yüksek olduğu topraklarda TRKE'nin daha dik bir eğime sahip olduğu da söylenebilir. Benson ve ark. (2014) ve Wang ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmalarda kumlu toprakların farklı TRKE'lere sahip olabileceği ve bunun toprak tanelerinin ortalama boyutu ve tekdüzeliğindeki farklılıkları yansıttığı rapor edilmiştir.

4.2. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı Serilerinde TSKE Model Sonuçları

4.2.1. Arpacı Serisinde TSKE verileri ile uyumlu model parametreleri

Arpacı serisinde ilgili model ve parametre sonuçları Çizelge (4.3-4.10)'da verilmiştir.

Çizelge 4.3. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 1. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 1	Visser modeli
		$WW = \left(-\frac{1}{B}\right) * \ln\left(\frac{P}{A}\right)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), A: Ampirik katsayı ve A=-0.226968E+09, B: Ampirik katsayı ve B= 31.7382, RMSE=0.022675

Çizelge 4.4. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 2. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 2	Curry ve Chen'in önerdiği model
		$WW = A * P^{-B}$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), A: Ampirik katsayı ve A=0.639984, B: Ampirik katsayı ve B=0.751340E-01, RMSE=0.034131

Çizelge 4.5. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 3. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 3	Pachepsky modeli
		$WW = WW_{max} / \left(1 + \left(\frac{P}{A}\right)^B\right)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), WW_{max}, toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.59, P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), A: Ampirik katsayı ve A=-4989.97, B: Ampirik katsayı ve B= 0.465723, RMSE=0.034848

Çizelge 4.6. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 5. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 5	Farrel ve Larsen'in önerdiği model
		$WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * \left(1 - \ln\left(\frac{P}{A}\right)/B\right)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.59, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=-1.67332, B: Ampirik katsayı ve B= 18.7234, RMSE=0.022675

Çizelge 4.7. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 6. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 6	Brooks ve Correy' in önerdiği model
		$WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * \left(\frac{P}{A}\right)^{-B}$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WWmax: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WWmax=0.59, WWmin: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WWmin=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=-2.95163, B: Ampirik katsayı ve B= 0.751377E-01, RMSE=0.034131

Çizelge 4.8. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 7. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 7	Haverkamp modeli
		$WW = A * \frac{(WW_{max} - WW_{min})}{A + (-P)^B} + WW_{min}$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WWmax: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WWmax=0.59, WWmin: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WWmin=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=52.7430, B: Ampirik katsayı ve B= 0.465759, RMSE=0.034835

Çizelge 4.9. Arpacı serisinde model bankasında yer alan 8. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 8	Pavlova ve Kaluzhny' in önerdiği model
		$WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * \ln\left(\frac{P}{A}\right)/B$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WWmax: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WWmax=0.59, WWmin: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WWmin=0.001, A: Ampirik katsayı ve A= -0.225532E+09, B: Ampirik katsayı ve B= -18.7192, RMSE=0.022675

TSKE verileri ile uyumlu model sonuçları sistem tarafından koyulmuş kritere göre (standart sapma, s) karşılaştırılmıştır. Killi toprak tekstürüne sahip olan Arpacı serisi için en iyi model olarak (Model 4) Terleev ve Sarıyev' in modeli (RMSE=0.015594) seçilmiştir (Çizelge 4.10). Arpacı serisinde elde edilen TSKE verileri ile modelleme sonucu ölçülen veriler arasındaki fark Çizelge 4.11'de, modellerin RMSE değerleri ise Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Arpacı serisinde TSKE verileri ile en uyumlu model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
pF eğrisine en iyi uyum gösteren model parametreleri	Model No: 4	Terleev ve Sarıyev' in önerdiği model $WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * EXP(-A * (LN(-P) - LN(-B))^2)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.59, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=0.607860E-02, B: Ampirik katsayı ve B= -0.267657, RMSE)=0.015594

Çizelge 4.11. Arpacı serisinde elde edilen TSKE verileri ile modelleme sonucu ölçülen veriler arasındaki fark

No	Toprak neminin matrik emişi (cm)	Ölçülen hacimsel toprak nem verileri (cm ³ cm ⁻³) (A)	Modellenen hacimsel toprak nem verileri (cm ³ cm ⁻³) (B)	Ölçülen ve modellenen veri arasındaki farkı (A-B)/A*100
1	1.02	0.58310	0.58362	-0.0889
2	101.97	0.46370	0.47602	-2.6567
3	203.94	0.45200	0.45145	0.1220
4	336.51	0.43930	0.43291	1.4536
5	509.86	0.42500	0.41715	1.8475
6	1019.72	0.41440	0.39029	5.8186
7	5098.58	0.29800	0.32695	-9.7160
8	15295.74	0.28980	0.28454	1.8154

Çizelge 4.12. Arpacı serisinde elde edilen modellerin RMSE (Kök ortalama kare hatası) değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8
RMSE	0.0227	0.0341	0.0348	0.0156	0.0227	0.0341	0.0348	0.0227
	+	-	-	+	+	-	-	+

4.2.2. Çanakçı serisinde TSKE verileri ile uyumlu model parametreleri

Çanakçı serisinde ilgili model (1-8) ve parametre sonuçları Çizelge (4.13-4.19)'da sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 4.13. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 1. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 1	Visser modeli $WW = \left(-\frac{1}{B}\right) * LN\left(\frac{P}{A}\right)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), A: Ampirik katsayı ve A=-0.575917E+07, B: Ampirik katsayı ve B= 31.9955, RMSE=0.011539

Çizelge 4.14. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 3. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tım)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 3	Pachepsky modeli
		$WW = WW_{max} / (1 + (\frac{P}{A})^B)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.51, P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), A: Ampirik katsayı ve A=-1457.42, B: Ampirik katsayı ve B= 0.462980, RMSE=0.049235

Çizelge 4.15. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 4. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tım)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 4	Terleev ve Sarıyev' in önerdiği model
		$WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * \exp(-A * (\ln(-P) - \ln(-B))^2)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.51, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=0.744094E-02, B: Ampirik katsayı ve B= -0.989960E-01, RMSE=0.018597

Çizelge 4.16. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 5. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tım)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 5	Farrel ve Larsen'in önerdiği model
		$WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * (1 - \ln(\frac{P}{A})/B)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.51, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=-0.471711, B: Ampirik katsayı ve B= 16.3142, RMSE=0.011539

Çizelge 4.17. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 6. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tım)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 6	Brooks ve Correy'in önerdiği model
		$WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * (\frac{P}{A})^{-B}$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.51, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=-0.985500, B: Ampirik katsayı ve B= 0.943724E-01, RMSE=0.003781

Çizelge 4.18. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 7. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 7	Haverkamp modeli
		$WW = A * \frac{(WW_{max} - WW_{min})}{A + (-P)^B} + WW_{min}$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.51, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=29.1422, B: Ampirik katsayı ve B= 0.463040, RMSE=0.049212

Çizelge 4.19. Çanakçı serisinde model bankasında yer alan 8. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 8	Pavlova ve Kaluzhny'in önerdiği model
		$WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * \ln\left(\frac{P}{A}\right)/B$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.51, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=-0.574723E+07, B: Ampirik katsayı ve B=-16.3156, RMSE=0.011539

TSKE verileri ile uyumlu model sonuçları sistem tarafından koyulmuş kritere göre (ortalama kuadratik sapma, h) karşılaştırılmıştır. Siltli killi tın tekstürü olan Çanakçı serisine en uyumlu Curry ve Chen'in modeli (RMSE=0.003780) seçilmiş (Çizelge 4.20), TSKE verileri ile modelleme ile ölçülen verilerin farkı (Çizelge 4.21) ve RMSE değerleri (Çizelge 4.22) verilmiştir.

Çizelge 4.20. Çanakçı serisinde TSKE verileri ile en uyumlu model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
pF eğrisine en iyi uyum gösteren model parametreleri	Model No: 2	Curry ve Chen'in önerdiği model
		$WW = A * P^{-B}$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), A: Ampirik katsayı ve A=0.509296, B: Ampirik katsayı ve B= 0.943665E-01, RMSE=0.003780

Çizelge 4.21. Çanakçı serisinde elde edilen TSKE verileri ile modelleme sonucu ölçülen veriler arasındaki fark

No	Toprak neminin matrik emişi (cm)	Ölçülen hacimsel toprak nem verileri (cm ³ cm ⁻³) (A)	Modellenen hacimsel toprak nem verileri (cm ³ cm ⁻³) (B)	Ölçülen ve modellenen veri arasındaki farkı (A-B)/A*100
1	1.02	0.50170	0.50836	-1.3271
2	101.97	0.33180	0.32918	0.7889
3	203.94	0.30960	0.30834	0.4070
4	336.51	0.29620	0.29411	0.7064
5	509.86	0.28620	0.28280	1.1884
6	1019.72	0.26740	0.26489	0.9376
7	5098.58	0.22270	0.22757	-2.1859
8	15295.74	0.20400	0.20516	-0.5673

Çizelge 4.22. Çanakçı serisinde elde edilen modellerin RMSE (Kök ortalama kare hatası) değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8
RMSE	0.0115	0.0038	0.0492	0.0186	0.0115	0.0038	0.0492	0.0115
	-	+	-	-	-	+	-	-

4.2.3. Baharlı Serisinde TSKE verileri ile uyumlu model parametreleri

Baharlı serisi için ilgili model ve parametre sonuçları Çizelge (4.23-4.29)'da verilmiştir.

Çizelge 4.23. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 1. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 1	Visser modeli $WW = \left(-\frac{1}{B}\right) * \ln\left(\frac{P}{A}\right)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), A: Ampirik katsayı ve A=-15751.3, B: Ampirik katsayı ve B= 24.1452, RMSE=0.047578

Çizelge 4.24. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 2. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 2	Curry ve Chen'in önerdiği model $WW = A * P^{-B}$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), A: Ampirik katsayı ve A=0.444660, B: Ampirik katsayı ve B= 0.210937, RMSE=0.014260

Çizelge 4.25. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 3. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 3	Pachepsky modeli
		$WW = WW_{max} / (1 + (\frac{P}{A})^B)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.47, A: Ampirik katsayı ve A=-191.300, B: Ampirik katsayı ve B= 0.692922, RMSE=0.071735

Çizelge 4.26. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 4. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 4	Terleev ve Sariyev'in önerdiği model
		$WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * EXP(-A * (LN(-P) - LN(-B))^2)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.47, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=0.192072E-01, B: Ampirik katsayı ve B= -0.154138, RMSE=0.033823

Çizelge 4.27. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 5. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 5	Farrel ve Larsen'in önerdiği model
		$WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * (1 - LN(\frac{P}{A})/B)$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.47, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=-0.185707, B: Ampirik katsayı ve B= 11.3108, RMSE=0.047578

Çizelge 4.28. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 7. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 7	Haverkamp modeli
		$WW = A * \frac{(WW_{max} - WW_{min})}{A + (-P)^B} + WW_{min}$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.47, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=38.1117, B: Ampirik katsayı ve B= 0.696017, RMSE=0.071048

Çizelge 4.29. Baharlı serisinde model bankasında yer alan 8. model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
pF eğrisi tahmin model parametreleri	Model No: 8	Pavlova ve Kaluzhny'in önerdiği model
		$WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * LN\left(\frac{P}{A}\right)/B$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.47, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=-15008.7, B: Ampirik katsayı ve B= -11.30, RMSE=0.047578

TSKE verileri ile uyumlu model sonuçları sistem tarafından koyulmuş kritere göre (ortalama kuadratik sapma, h) karşılaştırılmıştır. Tınlı kum toprak tekstürüne sahip olan Baharlı serisine en uyumlu model olarak Brooks ve Correy' in modeli (RMSE=0.013715) seçilmiştir (Çizelge 4.30). Baharlı serisinde elde edilen TSKE verileri ile modelleme sonucu ölçülen veriler arasındaki fark Çizelge (4.31)'de ve modellerin RMSE değerleri Çizelge (4.32)'de verilmiştir. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı serilerinde pF verileri ile en uyumlu modeller ise Çizelge (4.33)'de verilmiştir.

Çizelge 4.30. Baharlı serisinde TSKE verileri ile en uyumlu model parametreleri ve sonucu

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
pF eğrisine en iyi uyum gösteren model parametreleri	Model No: 6	Brooks ve Correy'in önerdiği model
		$WW = WW_{min} + (WW_{max} - WW_{min}) * \left(\frac{P}{A}\right)^{-B}$

WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), P: Toprak suyunun matrik emişi (atm), WW_{max}: Toprak suyu doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.47, WW_{min}: Toprağın higroskopik su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.001, A: Ampirik katsayı ve A=-0.787454, B: Ampirik katsayı ve B= 0,214032, RMSE=0.047578

Çizelge 4.31. Baharlı serisinde elde edilen TSKE verileri ile modelleme sonucu ölçülen veriler arasındaki fark

No	Toprak neminin matrik emişi (cm)	Ölçülen hacimsel toprak nem verileri (cm ³ cm ⁻³) (A)	Modellenen hacimsel toprak nem verileri (cm ³ cm ⁻³) (B)	Ölçülen ve modellenen veri arasındaki farkı (A-B)/A*100
1	1.02	0.46660	0.44481	4.6694
2	101.97	0.14710	0.16726	-13.7017
3	203.94	0.13450	0.14447	-7.4130
4	336.51	0.12900	0.12999	-0.7675
5	509.86	0.12170	0.11910	2.1373
6	1019.72	0.11380	0.10295	9.5309
7	5098.58	0.08640	0.07354	14.8897
8	15295.74	0.05180	0.05855	-13.0230

Çizelge 4.32. Baharlı serisinde elde edilen modellerin RMSE değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8
RMSE	0.0476	0.0143	0.0717	0.0338	0.0476	0.0137	0.0710	0.0476
	-	+	-	-	-	+	-	-

Çizelge 4.33. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı serilerinde pF verileri ile en uyumlu modeller

Toprak Serisi	Toprak Tekstürü	pF eğrisine en iyi uyum gösteren model
Arpacı	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	Model No: 4 Terleev ve Sarıyev'in önerdiği model RMSE:0.015594
Çanakçı	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	Model No: 2 Curry ve Chen'in önerdiği model RMSE: 0.003780
Baharlı	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	Model No: 6 Brooks ve Correy'in önerdiği model RMSE: 0.013715

4.3. Arpacı, Çanakçı ve Baharlı Serilerinde Hidrolik İletkenlik Tahmin Modelleri

4.3.1. Arpacı Serisinde Hidrolik İletkenlik Tahmin Modelleri

Arpacı serisi toprağının tekstür değerleri ile doymunluktaki hidrolik iletkenlik verisi kullanılarak, SIMONA Bitki Büyüme Modelinin alt modeli olan pFK model bankasından uyumlu model sonuçları sistem tarafından koyulmuş kritere göre karşılaştırılarak, ilgili kil tekstürüne sahip olan Arpacı serisi için en uygun model parametreleri ve sonuçları tespit edilmiştir.

Modelde hidrolik iletkenlik çalışması 2 yöntemle geliştirilmiştir. İlk olarak model bankasında 4 model K(P) ilişkisini ortaya koymakta ve daha sonra da 4 model de model bankasında K(W) ilişkisi ile saptanmaktadır. Böylece, K(P) modeli ile çalışma söz konusu olursa, toprakta farklı matrik emiş değerlerinde doymamış hidrolik iletkenlik saptanmış olmaktadır.

Diğer taraftan eğer toprağın farklı hacimsel nem içeriği belli ise, K(W) modeli devreye girmekte ve farkı toprak hacimsel nem değerlerine karşılık gelen doymamış hidrolik iletkenlik verisine ulaşılmaktadır.

Arpacı serisi toprağının tekstür değeri ve ölçülen doymunluktaki hidrolik iletkenlik verisi kullanılarak ilk önce k(P) ilişkisi çalışılmıştır. Daha sonra aynı yaklaşımla K(W) modellenmesi yapılmıştır.

Arpacı serisi toprakları için en iyi uyum gösteren K(P) modeli

Arpacı serisi toprakları için en iyi uyum gösteren K(P) modeli ve parametreleri Çizelge (4.34)'de sunulmuştur (RMSE=0.007453). K(P) model bankasında mevcut olan diğer modellerin sonuçları ise aşağıda sırasıyla Çizelge (4.35-4.37)'de verilmiştir.

Çizelge 4.34. Arpacı serisinde en iyi uyum gösteren K(P) model parametreleri

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
K(P) ilişkisi için en iyi uyum gösteren model parametreleri	Model No: 4	Terleev ve Saryev'in önerdiği model
		$WK = A * EXP(-B * (ALOG(-\frac{WP}{S}))^2)$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=2.23992, B: Ampirik katsayı ve B= 0.100858, S: Ampirik katsayı ve S= 0.65600

Çizelge 4.35. Arpacı serisinde K(P) model bankasında yer alan 1. model parametreleri

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
K(P) tahmin model parametreleri	Model No: 1	Michurin modeli
		$WK = A * (-WP)^{-B}$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=179.864, B: Ampirik katsayı ve B= 1.45132, RMSE=0.034746

Çizelge 4.36. Arpacı serisinde K(P) model bankasında yer alan 2. model parametreleri

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
K(P) tahmin model parametreleri	Model No: 2	Wind modeli
		$WK = A * EXP((-B) * (-WP))$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=0.522974E-01, B: Ampirik katsayı ve B= 0.587219E-03, RMSE=0.056306

Çizelge 4.37. Arpacı serisinde K(P) model bankasında yer alan 3. model parametreleri

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
K(P) tahmin model parametreleri	Model No: 3	Gardner modeli
		$WK = A/(B + (-WP)^S)$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=0.914150E-03, B: Ampirik katsayı ve B=-3.64395, S: Ampirik katsayı ve S=0.22400, RMSE=0.087004

Arpacı serisi toprakları için en iyi uyum gösteren K(W) modeli

Daha önce bahsedildiği gibi, eğer farklı toprak su içeriğinde toprak suyunun dinamik süreci derinliğe ve zamana göre çalışıldığında, doymamış hidrolik iletkenlik ilişkisi (WK) toprak hacimsel nemi ile (WW) ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Arpacı serisi toprağının K(W) ilişkisinin modellenmesinde en iyi ilişki gösteren (RMSE=0.041119) model Çizelge (4.38)'de sunulmuştur.

Çizelge 4.38. Arpacı serisinde en iyi uyum gösteren K(W) model parametreleri

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
K(W) ilişkisi için en iyi uyum gösteren model parametreleri	Model No: 4	Genuchten modeli
		$WK = A * (S^{0.5}) * (1 - (1 - S^{(\frac{1}{B})}))^2,$ $S = (WW - WW_{min}) / (WW_{max} - WW_{min})$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı, WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), WW_{max}: Toprağın doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.6301 cm³/cm³, WW_{min}: Toprağın solma noktasındaki su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.3699 cm³/cm³, A: Ampirik katsayı ve A=0.665404, B: Ampirik katsayı ve B= 0.336600

K(W) model bankasında mevcut olan diğer modellerin parametreleri ve sonuçları da aşağıda Çizelge (4.39-4.41)'de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 4.39. Arpacı serisinde K(W) model bankasında yer alan 1. model parametreleri

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
K(W) tahmin model parametreleri	Model No: 1	Hillel modeli
		$WK = A * EXP(B * WW)$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=0.491071E-11, B: Ampirik katsayı ve B= 41.9128, RMSE=0.071523

Çizelge 4.40. Arpacı serisinde K(W) model bankasında yer alan 2. model parametreleri

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
K(W) tahmin model parametreleri	Model No: 2	Campbell modeli
		$WK = A * \left(\frac{WW}{WW_{max}} \right)^{(2*B+3)}$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), WW_{max}: Toprağın doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.6301 cm³/cm³, A: Ampirik katsayı ve A=0.665404, B: Ampirik katsayı ve B= 1.72089, RMSE=0.136970

Çizelge 4.41. Arpacı serisinde K(W) model bankasında yer alan 3. model parametreleri

Toprak Serisi	Arpacı	
Toprak Tekstürü	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	
K(W) tahmin model parametreleri	Model No: 3	Averyanova, Lalibert ve Bruksa-Kori'nin önerdiği model
		$WK = A * \left(\frac{WW - WW_{min}}{WW_{max} - WW_{min}} \right)^{(2*B+3)}$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), WW_{max}: Toprağın doygunluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.6301 cm³/cm³, WW_{min}: Toprağın solma noktasındaki su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.3699 cm³/cm³, A: Ampirik katsayı ve A=1.11539, B: Ampirik katsayı ve B= 9.63085, RMSE=0.644997

4.3.2. Çanakçı Serisinde Hidrolik İletkenlik Tahmin Modelleri

Çanakçı serisi toprağının tekstür değerleri ile doygunluktaki hidrolik iletkenlik verisi kullanılarak, SIMONA Bitki Büyüme Modelinin alt modeli olan PFK model bankasından uyumlu model sonuçları sistem tarafından koyulmuş kritere göre karşılaştırılarak, ilgili siltli killi tın tekstürüne sahip olan Çanakçı serisi için en uygun model parametreleri ve sonuçları tespit edilmiştir. Modelde hidrolik iletkenlik çalışması 2 yöntemle geliştirilmiştir. İlk olarak model bankasında 4 model K(P) ilişkisini ortaya koymakta ve daha sonra da 4 model de model bankasında K(W) ilişkisi ile saptanmaktadır. Böylece, K(P) modeli ile çalışma söz konusu olursa, toprakta farklı matrik emiş değerlerinde doymamış hidrolik iletkenlik saptanmış olmaktadır. Diğer taraftan ise eğer toprağın farklı hacimsel nem içeriği belli ise, K(W) modeli devreye girerek, farklı toprak hacimsel nem değerlerine karşılık gelen doymamış hidrolik iletkenlik verisine ulaşılmaktadır. Çanakçı serisi toprağının tekstür değeri ve ölçülen doygunluktaki hidrolik iletkenlik verisi kullanılarak ilk önce k(P) ilişkisi çalışılmıştır. Daha sonra aynı yaklaşımla K(W) modellenmesi yapılmıştır.

Çanakçı serisi toprakları için en iyi uyum gösteren K(W) modeli

Çanakçı serisi toprakları için en iyi uyum gösteren K(P) modeli ve parametreleri aşağıda Çizelge (4.42)'de sunulmuştur (RMSE=0.146915). K(P) model bankasında mevcut olan diğer modellerin sonuçları da aşağıda Çizelge (4.43-4.45)'de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 4.42. Çanakçı serisinde en iyi uyum gösteren K(P) model parametreleri

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
K(P) ilişkisi için en iyi uyum gösteren model parametreleri	Model No: 4	Terleev ve Sarıyev'in önerdiği model
		$WK = A * \exp(-B * (\text{ALOG}(-\frac{WP}{S}))^2)$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=22.1635, B: ampirik katsayı ve B= 0.110490, S: ampirik katsayı ve S= 0.65600

Çizelge 4.43. Çanakçı serisinde K(P) model bankasında yer alan 1. model parametreleri

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
K(P) tahmin model parametreleri	Model No: 1	Michurin modeli
		$WK = A * (-WP)^{-B}$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=2239.47, B: Ampirik katsayı ve B= 1.56808, RMSE=0.550042

Çizelge 4.44. Çanakçı serisinde K(P) model bankasında yer alan 2. model parametreleri

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
K(P) tahmin model parametreleri	Model No: 2	Wind Modeli
		$WK = A * EXP((-B) * (-WP))$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=0.452362, B: Ampirik katsayı ve B= 0.598109E-03, RMSE=0.576976

Çizelge 4.45. Çanakçı serisinde K(P) model bankasında yer alan 3. model parametreleri

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
K(P) tahmin model parametreleri	Model No: 3	Gardner modeli
		$WK = A/(B + (-WP)^S)$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=0.262860E-02, B: Ampirik katsayı ve B= -3.49857, S: Ampirik katsayı ve S=0.22400, RMSE=0.840503

Çanakçı serisi için en iyi uyum gösteren K(W) modeli

Çanakçı serisi toprağının K(W) ilişkisinin modellenmesinde ilk olarak en iyi ilişki gösteren (RMSE=0.293829) model Çizelge (4.46)'da sunulmuştur. K(W) model bankasında mevcut olan diğer modellerin parametreleri ve sonuçları da aşağıda Çizelge (4.47-4.49)'da sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 4.46. Çanakçı serisinde en iyi uyum gösteren K(W) model parametreleri

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
K(W) ilişkisi için en iyi uyum gösteren model parametreleri	Model No: 4	Genuchten modeli
		$WK = A * (S^{0.5}) * (1 - (1 - S^{(\frac{1}{B})}))^2$, $S = (WW - WWmin)/(WWmax - WWmin)$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), WWmax: Toprağın doyumluk düzeyi (cm³/cm³) ve WWmax=0.5309 cm³/cm³, WWmin: Toprağın solma noktasındaki su içeriği (cm³/cm³) ve WWmin=0.2348 cm³/cm³, A: Ampirik katsayı ve A=4.40522, B: Ampirik katsayı ve B= 0.485175

Çizelge 4.47. Çanakçı serisinde K(W) model bankasında yer alan 1. model parametreleri

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
K(W) tahmin model parametreleri	Model No: 1	Hillel modeli
		$WK = A * EXP(B * WW)$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=0.772151E-06, B: Ampirik katsayı ve B= 30.9092, RMSE=0.967020

Çizelge 4.48. Çanakçı serisinde K(W) model bankasında yer alan 2. model parametreleri

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
K(W) tahmin model parametreleri	Model No: 2	Campbell modeli
		$WK = A * \left(\frac{WW}{WW_{max}} \right)^{(2*B+3)}$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), WW_{max}: Toprağın doymamluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.5309 cm³/cm³, A: Ampirik katsayı ve A=7.26551, B: Ampirik katsayı ve B= 4.68753, RMSE=2.991234

Çizelge 4.49. Çanakçı serisinde K(W) model bankasında yer alan 3. model parametreleri

Toprak Serisi	Çanakçı	
Toprak Tekstürü	Kum =%18,8, Silt =%47,6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	
K(W) tahmin model parametreleri	Model No: 3	Averyanova, Lalibert ve Bruksa-Kori'nin önerdiği model
		$WK = A * \left(\frac{WW - WW_{min}}{WW_{max} - WW_{min}} \right)^{(2*B+3)}$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), WW_{max}: Toprağın doymamluk düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.5309 cm³/cm³, WW_{min}: Toprağın solma noktasındaki su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.2348 cm³/cm³, A: Ampirik katsayı ve A=4.40522, B: Ampirik katsayı ve B= 0.811111, RMSE=0.622496

4.3.3. Baharlı Serisinde Hidrolik İletkenlik Tahmin Modelleri

Baharlı serisi toprağının tekstür değerleri ile doymamluktaki hidrolik iletkenlik verisi kullanılarak, SIMONA Bitki Büyüme Modelinin alt modeli olan PFK model bankasından uyumlu model sonuçları sistem tarafından koyulmuş kritere göre karşılaştırılarak, ilgili tınlı kum tekstürüne sahip olan Baharlı serisi için en uygun model parametreleri ve sonuçları tespit edilmiştir. Modelde hidrolik iletkenlik çalışması 2 yöntemle geliştirilmiştir. İlk olarak model bankasında 4 model K(P) ilişkisini ortaya koymakta ve daha sonra da 4 model de model bankasında K(W) ilişkisi ile saptanmaktadır. Böylece, K(P) modeli ile çalışma söz konusu olursa, toprakta farklı matrik emiş değerlerinde doymamış hidrolik iletkenlik saptanmış olmaktadır. Diğer taraftan ise eğer toprağın farklı hacimsel nem içeriği belli ise, K(W) modeli devreye girerek, farkı toprak hacimsel nem değerlerine karşılık gelen doymamış hidrolik iletkenlik verisine ulaşılmaktadır. Baharlı serisi toprağının tekstür değeri ve ölçülen doymamluktaki hidrolik iletkenlik verisi kullanılarak ilk önce k(P) ilişkisi çalışılmıştır. Daha sonra aynı yaklaşımla K(W) modellenmesi yapılmıştır.

Baharlı serisi toprakları için en iyi uyum gösteren K(P) modeli

Baharlı serisi toprakları için en iyi uyum gösteren K(P) modeli ve parametreleri Çizelge (4.50)'de (RMSE=0.000014), K(P) model bankasında mevcut olan diğer model sonuçları Çizelge (4.51-4.53)'de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 4.50. Baharlı serisinde en iyi uyum gösteren K(P) model parametreleri

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
K(P) ilişkisi için en iyi uyum gösteren model parametreleri	Model No: 1	Michurin modeli
		$WK = A * (-WP)^{-B}$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=314.251, B: Ampirik katsayı ve B= 1.09484

Çizelge 4.51. Baharlı serisinde K(P) model bankasında yer alan 2. model parametreleri

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
K(P) tahmin model parametreleri	Model No: 2	Wind modeli
		$WK = A * EXP((-B) * (-WP))$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=1.28585, B: Ampirik katsayı ve B= 0.390253E-03, RMSE=2.332687

Çizelge 4.52. Baharlı serisinde K(P) model bankasında yer alan 3. model parametreleri

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
K(P) tahmin model parametreleri	Model No: 3	Gardner modeli
		$WK = A/(B + (-WP)^S)$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=0.643773E-01, B: Ampirik katsayı ve B= -3.02165, S: Ampirik katsayı ve S=0.22400, s=3.154210

Çizelge 4.53. Baharlı serisinde K(P) model bankasında yer alan 4. model parametreleri

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
K(P) tahmin model parametreleri	Model No: 4	Terleev ve Saryev'in önerdiği model
		$WK = A * EXP(-B * (ALOG(-\frac{WP}{S}))^2)$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=45.9070, B: Ampirik katsayı ve B= 0.607393E-0, S: Ampirik katsayı ve S= 0.800000E-01, RMSE=0.646062

Baharlı serisi toprakları için en iyi uyum gösteren K(W) modeli

Baharlı serisi toprağının K(W) ilişkisinin modellenmesi yapılmış olup, en iyi ilişki gösteren (RMSE=0.482353) model Çizelge (4.54)' de sunulmuştur. K(W) model bankasında mevcut olan diğer modellerin parametreleri ve sonuçları da Çizelge (4.55-4.57)'de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 4.54. Baharlı serisinde en iyi uyum gösteren K(W) model parametreleri

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
K(W) ilişkisi için en iyi uyum gösteren model parametreleri	Model No: 3	Averyanova, Lalibert ve Bruksa-Kori'nin önerdiği model
		$WK = A * \left(\frac{WW - WW_{min}}{WW_{max} - WW_{min}} \right)^{(2*B+3)}$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), WW_{max}: Toprağın doymamlık düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.3001 cm³/cm³, WW_{min}: Toprağın solma noktasındaki su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.0732 cm³/cm³, A: Ampirik katsayı ve A=10.0156, B: Ampirik katsayı ve B= 0.524481

Çizelge 4.55. Baharlı serisinde K(W) model bankasında yer alan 1. model parametreleri

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
K(W) tahmin model parametreleri	Model No: 1	Hillel modeli
		$WK = A * EXP(B * WW)$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), A: Ampirik katsayı ve A=0.453858E-03, B: Ampirik katsayı ve B= 35.9904, RMSE=2.168529

Çizelge 4.56. Baharlı serisinde K(W) model bankasında yer alan 2. model parametreleri

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
K(W) tahmin model parametreleri	Model No: 2	Campbell modeli
		$WK = A * \left(\frac{WW}{WW_{max}} \right)^{(2*B+3)}$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WP: Toprak suyunun matrik emişi (cm H₂O), WW_{max}: Toprağın doymamlık düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.3001 cm³/cm³, A: Ampirik katsayı ve A=13.6892, B: Ampirik katsayı ve B= 2.00258, RMSE=3.110918

Çizelge 4.57. Baharlı serisinde K(W) model bankasında yer alan 4. model parametreleri

Toprak Serisi	Baharlı	
Toprak Tekstürü	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	
K(W) tahmin model parametreleri	Model No: 4	Genuchten modeli
		$WK = A * (S^{0.5}) * \left(1 - \left(1 - S^{\left(\frac{1}{B} \right)} \right)^2 \right),$ $S = (WW - WW_{min}) / (WW_{max} - WW_{min})$

WK: Toprağın toprak suyunun matrik emişine (WP) bağımlı olan doymamış hidrolik iletkenlik değeri (cm/gün), WW: Hacimsel toprak su içeriği (cm³/cm³), WW_{max}: Toprağın doymamlık düzeyi (cm³/cm³) ve WW_{max}=0.3001 cm³/cm³, WW_{min}: Toprağın solma noktasındaki su içeriği (cm³/cm³) ve WW_{min}=0.0937 cm³/cm³, A: Ampirik katsayı ve A=8.01395, B: Ampirik katsayı ve B= 0.780451, RMSE=0.859907

Çizelge 4.58. Serilerde K(P) ve K(W) verileri ile en uyumlu modeller

Toprak Serisi	Toprak Tekstürü	K(P)	K(W)
Arpacı	Kum =%3.1, Silt =%30.7, Kil=%66.2 (Tekstür sınıfı: Kil)	Model No: 4 Terleev ve Sarıyev'in önerdiği model RMSE:0.007453	Model No: 4 Genuchten modeli RMSE:0.041119
Çanakçı	Kum =%18.8, Silt =%47.6, Kil=%33.6 (Tekstür sınıfı: Siltli Killi Tın)	Model No: 4 Terleev ve Sarıyev'in önerdiği model RMSE: 0.146915	Model No: 4 Genuchten modeli RMSE: 0.293829
Baharlı	Kum =%82.5, Silt =%5.1, Kil=%12.4 (Tekstür sınıfı: Tınlı Kum)	Model No: 1 Michurin modeli RMSE: 0.000014	Model No: 3 Averyanova, Lalibert ve Bruksa- Kori'nin önerdiği model RMSE : 0.482353

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında üç farklı toprak tekstüründe toprakların hidrolik iletkenlik ve toprak-su karakteristik eğrileri bazı matematiksel eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada üç farklı tekstüre sahip olan toprakların pF ve hidrolik iletkenlik tahmin modelleri ayrı ayrı incelenmiş olup, sunulan modeller bankasından ilgili kriterlere göre en uygun pF ve hidrolik iletkenlik modelleri seçilmiştir. Killi toprak tekstürüne sahip olan Arpacı serisi için en iyi model olarak Terleev ve Sarıyev 'in modeli ($s=0.015594$) seçilmiştir. K(P) modeli (0,007453) için de en uygun model Terleev ve Sarıyev olmuştur. K(W) modeli için ise Genuchten modeli ($RMSE=0,041119$) belirlenmiştir. Siltli killi tın toprak tekstürüne sahip olan Çanakçı serisi için en iyi model olarak Curry ve Chen'in modeli ($RMSE=0.003780$) seçilmiştir. K(P) modeli ($RMSE=0,146915$) olarak en uygun model Terleev ve Sarıyev 'in önerdiği model ve K(W) modeli için ise Genuchten modeli ($RMSE=0,293829$) seçilmiştir. Tınlı kum toprak tekstürüne sahip olan Baharlı serisi için en iyi model olarak Brooks ve Correy 'in modeli ($RMSE=0.013715$) seçilmiştir. Baharlı serisi toprakları için en iyi uyum gösteren K(P) modeli Michurin modeli ($RMSE=0.000014$) iken, K(W) modeli için ise Avern ($RMSE=0.482353$) modeli en uygun sonucu vermiştir. Elde edilen veriler göz önüne alındığında toprakların bazı özelliklerinin belirli matematiksel modellemeler kullanılarak da bulunabileceği ve bu modellemelerin geliştirilip çeşitlendirilerek günümüz koşullarına ve ilerleyen teknolojiye daha uygun bir şekilde sunulabileceği görülmektedir. Söz konusu verilerin toprakta su dinamiğinin hesaplanması için bazen ölçümü zor veya yapılmamış olması durumunda her üç tekstürlü topraklar için ilgili matematiksel modeller (ilişkiler) kullanılarak, genel su bütçesi hesabı yapılabilir. Her üç toprak tekstürü için seçilen ilgili modeller kullanılarak, topraklarda sulama suyunun zamanı ve miktarı söz konusu ilişkilerin katkısı ile daha doğru ve sistemli yapılmasına olanak sağlayacaktır. Ayrıca söz konusu toprak tekstürleri için belirlenen ilgili hidro-fiziksel parametreler çeşitli modeller için girdi verileri sunabilir.



KAYNAKLAR

- Ahmadi, S. H., ve Sepaskhah, A. R. (2012). Prediction of saturated hydraulic conductivity of compacted soils using empirical scaling factors. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58, 1303-1316.
- Ahmadi, S. H., Sepaskhah, A. R., Fooladmand, H. R. (2015). A simple approach to predicting unsaturated hydraulic conductivity based on empirically scaled microscopic characteristic length. *Hydrological Sciences Journal*, 60(2), 326-335.
- Ahuja, L. R., Naney, J. W., Nielsen, D. R. (1991). Scaling soil water properties and infiltration modeling. *Soil Science Society of America Journal*, 48, 970-973.
- Aksoy, H., ve Sariyev, A. (1997). Çukurova Bölgesinde arık ve menzilat toprak serilerinde cropsyst modeli aracılığıyla Diyarbakır-81 buğday çeşidinde potansiyel verimliliğin hesaplanması. *Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(8), 151-158. Adana. Yüksek Lisans Tezi.
- Anonim. (2024). OMÜ bölüm 2 toprakların fiziksel özellikleri. Erişim tarihi: 07.10.2024, file:///C:/Users/PC/Downloads/7.%20Toprak%20Bilgisi%20(Toprak%20SuyuToprak%20Suyunun%20Hareketi)-1.pdf.
- Anonyoumus. (2024). Soil moisture's blog. <https://soilmoisture.wordpress.com/2019/08/16/soil-water-status-saturation-field-capacity-and-wilting-point/>.
- Anonim, 2024b. <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=22531>
- Araya, S. N., & Ghezzehei, T. A. (2019). Using machine learning for prediction of saturated hydraulic conductivity and its sensitivity to soil structural perturbations. *Water Resources Research*, 55(7), 5715–5737. <https://doi.org/10.1029/2018wr024357>.
- Bargués-Tobella, A., Winowiecki, L. A., Sheil, D., & Vågen, T. G. (2024). Determinants of Field-Saturated Soil Hydraulic Conductivity Across Sub-Saharan Africa: Texture and Beyond. *Water Resources Research*, 60(1), e2023WR035510.
- Benson, C. H., Chiang, I., Chalermyanont, T., & Sawangsuriya, A. (2014). Estimating van Genuchten parameters α and n for clean sands from particle size distribution data. In M. Iskander, J. E. Garlanger, & M. H. Hussein (Eds.), *From soil behavior fundamentals to innovations in geotechnical engineering: Honoring Roy E. Olson* (pp. 410–427). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784413265.033>.
- Breinstein, G., Zaslavski, B., Sariyev, A., & Terleev, V. (1988). Toprak neminin dinamik hesaplanması için model ve veri teminatı. *Sbornik naučnix trudov SXI, Omsk*, 101-107.
- Brooks, R. H., ve Corey, A. T. (1964). Hydraulic properties of porous medium and their relation to drainage design. *Trans. ASAE*, 7, 26-28.

- Canbolat, R., ve Sariyev, A. (1997). Ziraat fakóltesi deneme alanlarında yaygın bazı toprak serilerinin fiziksel parametrelerinin belirlenmesi ve hidrolik özelliklerinin matematiksel modellenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(8), 159-167. Adana. Yüksek Lisans Tezi.
- Castellini, M., Prima, S. D., ve Iovino, M. (2018). An assessment of the best procedure to estimate the soil water retention curve. *Geoderma*, 320, 82–94.
- Chen, P., ve Wei, C. (2016). Numerical procedure for simulating the two-phase flow in unsaturated soils with hydraulic hysteresis. *Int. J. Geomech.*, 16, 04015030.
- Chen Y, Sun X, Yan T, Yao D, Duan R (2020) Experimental study on micron-sized sand particles transport in the water flow path of hydrates production wellbore. *J Nat Gas Sci Eng* 73:103088
- Crescenzo, L., Peranić, J., Arbanas, Ž., & Calvello, M. (2024). An approach to calibrate the unsaturated hydraulic properties of a soil through numerical modelling of a small-scale slope model exposed to rainfall. *Acta Geotechnica*, 1-20.
- Cros, M. J., Garcia, F., Martin-Clouarie, R., ve Rellier, J. P. (2006). Modeling and simulation, 3 methods, algorithms, and software.
- Dai, L., Wang, G., ve He, Y. (2021). Assessing soil fractal and sorting characteristics based on geostatistics and modeling approaches in a typical basin of North China plain. *Earth Sci. Inform.*, 14, 819–829.
- Demirsoy, H., Demirsoy, L., Uzun, S., ve Ersoy, B. (2004). Non-destructive leaf area estimation in peach. *Europ. J. Hort. Sci.*, 69(4), 144-146.
- Dexter, A. R. (2004). Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120(3), 201–214.
- Dinç, U., Sarı, M., Şenol, S., Kapur, S., Sayın, M., Derici, R., Çavuşgil, V., Gök, M., Aydın, M., Ekinci, H., ve Ağca, N. (1995). Çukurova Bölgesi Toprakları. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakóltesi, Yardımcı Ders Kitabı No:26, 172 s.
- Echogdali, F. Z., et al. (2023). Spatial mapping of groundwater potentiality applying geometric average and fractal models: a sustainable approach. *Water*, 15, 336.
- Farooq, U., Górczewska-Langner, W., & Szymkiewicz, A. (2024). Water retention curves of sandy soils obtained from direct measurements, particle size distribution, and infiltration experiments. *Vadose Zone Journal*, 23(4), e20364.
- Ferré, T. P. A. ve Warrik, A. W. (2004). Infiltration. In D. Hillel (Ed.), *Encyclopedia of soils in the environment* (Vol. 4, pp. 254–260). Elsevier Ltd.
- Ferreira, T. R., Archilha, N. L., Cássaro, F. A., & Pires, L. F. (2023). How can pore characteristics of soil aggregates from contrasting tillage systems affect their intrinsic permeability and hydraulic conductivity?. *Soil and Tillage Research*, 230, 105704.

- Fredlund, D. G., & Xing, A. (1994). Equations for the soil-water characteristic curve. *Canadian Geotechnical Journal*, 31(4), 521–532. <https://doi.org/10.1139/t94-061>.
- Gardner, W. R. (1958). Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Sci.*, 85, 228–232.
- Gao, Y., Li, Z., Sun, D., ve Yu, H. (2021). A simple method for predicting the hydraulic properties of unsaturated soils with different void ratios. *Soil Till. Res.*, 209, 104913.
- Gao, Y., Sun, K., Wang, S., Li, J., Sun, D., & Fu, Y. (2024). A practical equation for predicting saturated hydraulic conductivity of fine-grained soils. *Journal of Hydrology*, 131431.
- Gemalmaz, E. (1992). Örneklenen toprak hacmi ile arazide ölçülen hidrolik iletkenlik değerlerinin varyansı arasındaki ilişki. IV. Ulusal Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Bildirileri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tanımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Erzurum.
- Ghanbarian, B. (2021). Unsaturated hydraulic conductivity in dual-porosity soils: percolation theory. *Soil and Tillage Research*, 212, 105061.
- Guarracino, L.(2007). Estimation of saturated hydraulic conductivity K_s from the van Genuchten shape parameter α , *Water Resour. Res.*, 43, W11502, <https://doi.org/10.1029/2006WR005766>.
- Gumuła-Kawęcka, A., Jaworska-Szulc, B., Szymkiewicz, A., Gorczewska-Langner, W., Pruszkowska-Caceres, M., Angulo-Jaramillo, R., & Šimůnek, J. (2022). Estimation of groundwater recharge in a shallow sandy aquifer using unsaturated zone modeling and water table fluctuation method. *Journal of Hydrology*, 605,127283.
- Gumuła-Kawęcka, A., Jaworska-Szulc, B., Szymkiewicz, A., Gorczewska-Langner, W., Angulo-Jaramillo, R., & Šimůnek, J. (2023). Impact of climate change on groundwater recharge in shallow young glacial aquifers in northern Poland. *Science of the Total Environment*, 877, 162904.
- Gülser, C., ve Candemir, F. (2008). Prediction of saturated hydraulic conductivity using some moisture constants and soil physical properties. *Proceedings of the BALWOIS. Macedonia*: 1-5.
- Gülser, C., ve Candemir, F. (2014). Using soil moisture constants and physical properties to predict saturated hydraulic conductivity. *Eurasian Journal of Soil Science*, 3(1), 77-81.
- Granata, F., Di Nunno F., Modoni G. (2022). Hybrid machine learning models for soil saturated conductivity prediction. *Water* .,14,1729.
- He, Y., Gao, Y., Li, X., Chen, J., Yang, J., Chen, J., & Cai, C. (2023). Influence of gully erosion on hydraulic properties of black soil-based farmland. *Catena*, 232, 107372.
- Hou, X. (2023). Prediction of the Soil–Water Retention Curve of Loess Using the Pore Data from the Mercury Intrusion Technique. *Water*, 15(18), 3273.

- Hu, Wei, Ming An Shao, Quan Jiu Wang, Jun Fan and Klaus Reichardt 2008. Spatial variability of soil hydraulic properties on a steep slope in the Loess Plateau of China. *Scientia Agricola* 65: 268-276.
- Ippisch, O., Vogel, H. J., & Bastian, P. (2006). Validity limits for the van Genuchten–Mualem model and implications for parameter estimation and numerical simulation. *Advances in Water Resources*, 29(12), 1780–1789. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.12.011>.
- Kandemir, D. (2005). Sera şartlarında sıcaklık ve ışığın biberde (*Capsicum annuum* L.) Büyüme, Gelişme Ve Verim Üzerine Kantitatif Etkileri. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 198760.
- Karahan, G., ve Erşahin, S. (2016). Predicting saturated hydraulic conductivity using soil morphological properties. *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(1), 30-38.
- Kosugi, K. I. (1997). A new model to analyze water retention characteristics of forest soils based on soil pore radius distribution. *Journal of forest research*, 2, 1-8.
- Kumar, A., Prasad, R. K., ve Rastogi, A. K. (2020). Hydrological response of a small agricultural watershed to changing climatic conditions. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 30, 100683.
- Lehmann, P., Leshchinsky, B., Gupta, S., Mirus, B. B., Bickel, S., Lu, N., & Or, D. (2021). Clays are not created equal: How clay mineral type affects soil parameterization. *Geophysical Research Letters*, 48(20), e2021GL095311. <https://doi.org/10.1029/2021GL095311>
- Leong, E. C., ve Rahardjo, H. (1997). Review of soil-water characteristic curve equations. *Geotech. Geol. Eng.*, 123, 1106–1117.
- Likos WJ, Jaafar R (2013) Pore-scale model for water retention and fluid partitioning of partially saturated granular soil. *J. Geotech Geoenviron Eng* 139(5):724–737
- Likos, W. J., Lu, N., & Godt, J. W. (2014). Hysteresis and uncertainty in soil water-retention curve parameters. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 140(4), 04013050.
- Lindsay, W.L. (1984). Soil and plant relationships associated with iron deficiency with emphasis on nutrient interactions. *Journal of Plant Nutrition* 7: 489-500.
- Liu, C., Tong, F., Li, B., ve Zhao, Y. (2020). A water retention curve model describing the effect of temperature. *European Journal of Soil Science*, 71(1), 44-54.
- Liu, C., Liu, F., Zhao, G., Tian, Z., Cai, J., Zhu, J., & Sun, X. (2023). Using multiple methods to better constrain the depositional age of a meta-sedimentary succession: An example of the Laoling Group from the northeastern North China Craton. *Precambrian Research*, 392, 107058.
- Lu, S., Ren, T., Gong, Y., & Horton, R. (2008). Evaluation of three models that describe soil water retention curves from saturation to oven dryness. *Soil Science Society of America Journal*, 72, 1542– 1546. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0307N>.

- Matlan, S. J., Taha, M. R., ve Mukhlisin, M. (2016). Assessment of model consistency for determination of soil-water characteristic curves. *Arab. J. Sci. Eng.*, 41, 1233–1240.
- McDowell, G., & de Bono, J. (2021). Relating hydraulic conductivity to particle size using DEM. *International Journal of Geomechanics*, 21(1), 06020034.
- Merdun, H., Çınar, Ö., Meral, R., & Apan, M. (2006). Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*, 90(1-2), 108-116.
- Mermoud, A., & Xu, D. (2006). Comparative analysis of three methods to generate soil hydraulic functions. *Soil and Tillage Research*, 87(1), 89-100.
- Mishra, S. and Parker, J.C. (1990). On the relation between saturated conductivity and capillary retention characteristics, *Groundwater*, 28, 775–777.
- Montzka, C., Herbst, M., Weihermüller, L., Verhoef, A., Vereecken, H. (2017). A global data set of soil hydraulic properties and sub-grid variability of soil water retention and hydraulic conductivity curves. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.*, 1–25.
- Mozaffari, H., Moosavi, A. A., ve Nematollahi, M. A. (2024). Predicting saturated and near-saturated hydraulic conductivity using artificial neural networks and multiple linear regression in calcareous soils. *Plos One*, 19(1), e0296933.
- Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, 12, 513-520.
- Nandagiri, L., ve Prasad, R. (1996). Field evaluation of unsaturated hydraulic conductivity models and parameter estimation from retention data. *Journal of Hydrology*, 179, 197-205.
- Nasta, P., Vrugt, J. A., and Romano, N. (2013). Prediction of the saturated hydraulic conductivity from Brooks and Corey's water retention parameters, *Water Resour. Res.*, 49, 2918–2925.
- Nikhalb Ashouri, S., Pittari, A., Moon, V., & Shokri, A. (2024). Examining the mid to long-term variability in saturated hydraulic conductivity of sandy soils and its influencing factors under constant head test in the laboratory. *Water Resources Research*, 60(10), e2023WR036164.
- Niu, X., Gao, P., Wang, B., ve Liu, Y. (2015). Fractal characteristics of soil retention curve and particle size distribution with different vegetation types in mountain areas of northern China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12, 15379–15389.
- Oades, J. M. (1988). The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, 5, 35-70.
- Özkaplan, M. (2018). Serada topraksız domates yetiştiriciliğinde büyüme, gelişme ve verim üzerine ışık ve sıcaklığın kantitatif etkilerinin modellenmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 238 s, Samsun.
- Öztekin, T., Cemek, B., ve Brown, L. (2007). Pedotransfer functions for the hydraulic properties of layered soils. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2), 77-86.
- Pamuk, G., ve Özgürel, M. (2005). Bitki büyüme modelleri: CERES-MAİZE örneği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(1), 107-118.

- Polat, V. (2000). Toprak-bitki-atmosfer devamlılığında enerji ve kütle akımlarının matematiksel modellenmesi ve sayısal hesaplaması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 85 sayfa, Adana.
- Poluektov, R. A. (1991). Agroecosystem Dynamics simulations. Leningrad, Gidrometeoizdat, 312 s.
- Rahimi, A., Sepaskhah, A. R., ve Ahmadi, S. H. (2011). Evaluation of different methods for prediction of saturated hydraulic conductivity of tilled and untilled soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57, 899-914.
- Rahmati, M., Weihermüller, L., Vanderborght, J., Pachepsky, Y. A., Mao, L., Sadeghi, S. H., ve diğerleri. (2018). Development and analysis of the Soil Water Infiltration Global database. *Earth Syst Sci Data*, 10, 1237–1263.
- Reddy, K. R. K., ve Singh, V. (2024). Development of soil water characteristic equations for various soil texture classes. *Arid Land Research and Management*, 38(4), 489-506. doi:10.1080/15324982.2024.2317971.
- Rengasamy, P., Tavakkoli, E., & McDonald, G. K. (2016). Exchangeable cations and clay dispersion: Net dispersive charge, a new concept for dispersive soil. *European Journal of Soil Science*, 67(5), 659–665. <https://doi.org/10.1111/ejss.12369>
- Rudiyanto, Sakai, M., van Genuchten, M. T., Alazba, A. A., Setiawan, B. I., ve Minasny, B. (2015). A complete soil hydraulic model accounting for capillary and adsorptive water retention, capillary and film conductivity, and hysteresis. *Water Resour. Res.*, 51, 8757–8772.
- Russell, A. R., ve Buzzi, O. (2012). A fractal basis for soil-water characteristics curves with hydraulic hysteresis. *Géotechnique*, 62, 269–274.
- Sarıyev, L. A., Aydın, M., Polat, V., ve Tuli, A. (1995). Toprak rutubet karakteristik eğrisi ve toprak-kök sisteminde su akımının matematiksel modellenmesi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi 25. Kuruluş Yılı Özel Sayısı, 257-268.
- Satyanaga, A., Rahardjo, H., Zhai, Q., Moon, S. W., ve Kim, J. (2024). Modeling particle-size distribution and estimation of soil–water characteristic curve utilizing modified lognormal distribution function. *Geotechnical and Geological Engineering*, 42(3), 1639-1657.
- Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S., & Papendick, R. I. (1986). Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of America Journal*, 50(4), 1031–1036. <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000040054x>
- Soltani, A., Azimi, M., Deng, A., ve Taheri, A. (2019). A simplified method for determination of the soil–water characteristic curve variables. *Int. J. Geotech. Eng.*, 13, 316–325.
- Suleiman, A. A., & Ritchie, J. T. (2001). Estimating saturated hydraulic conductivity from soil porosity. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. <https://doi.org/10.13031/2013.4683>.

- Tan, F., Zhou, W. H., & Yuen, K. V. (2016). Modeling the soil water retention properties of same-textured soils with different initial void ratios. *Journal of hydrology*, 542, 731-743.
- Tan, Y., Zhang, P., Chen, J., Shamet, R., Nam, B. H., & Pu, H. (2023). Predicting the hydraulic conductivity of compacted soil barriers in landfills using machine learning techniques. *Waste Management*, 157, 357-366.
- Tomasella, J., Pachepsky, Y., Crestana, S., & Rawls, W. J. (2003). Comparison of two techniques to develop pedotransfer functions for water retention. *Soil Science Society of America Journal*, 67(4), 1085–1092. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1085>
- Tao, G., Lei, D., Liu, L., ve Li, Y. (2021). Prediction of soil water characteristic curve based on soil water evaporation. *Adv. Civ. Eng.*, 2021, 6686442.
- Tao, G., Chen, Y., Kong, L., Xiao, H., Chen, Q., ve Xia, Y. (2018). A simple fractal-based model for soil-water characteristic curves incorporating effects of initial void ratios. *Energies*, 11, 1419.
- Terzi, İ., ve Özguven, M. M., ve Altaş, Z. (2019). Tarımda modelleme ve simülasyon kullanımı. *International Erciyes Agriculture, Animal ve Food Sciences Conference*, 24-27 April 2019, Kayseri/Türkiye.
- Topçu, S., ve Baytorun, A. N. (1999). "TOMGRO" Sera domates büyüme modelinin çukurova örtüaltı yetiştiriciliği koşullarında test edilmesi. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 23(Ek sayı 3), 749-755. TÜBİTAK.
- Tolk, J. A. (2003). Soils, permanent wilting points. *Encyclopedia of Water Science*, 120010337, 92.
- Tuffour, H. O., Abubakari, A., Agbeshie, A. A., Khalid, A. A., Tetteh, E. N., Keshavarzi, A., ... & Danso, L. (2019). Pedotransfer functions for estimating saturated hydraulic conductivity of selected benchmark soils in Ghana. *Asian Soil Research Journal*, 2(2), 1-11.
- TÜBİTAK, 2017. Türkiye Çölleşme Modeli Teknik Özet http://www.cem.gov.tr/erozyon/Libraries/su/TEKNİK_OZET_TR.sflb.ashx [Son Erişim Tarihi 14. 06. 2018]
- Tyler, S. W., ve Wheatcraft, S. W. (1989). Application of fractal mathematics to soil water retention estimation. *Soil Science Society of America*, 53, 987-996.
- Urowicz, B., & Lipiec, J. (2021). Spatial variability of saturated hydraulic conductivity and its links with other soil properties at the regional scale. *Scientific Reports*, 11(1), 8293. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86862-3>.
- Verbist, K. M. J., Cornelis, W. M., Torfs, S., ve Gabriels, D. (2013). Comparing methods to determine hydraulic conductivities on stony soils. *Soil Sci Soc Am J.*, 77, 25–42.
- Vereecken, H., Weynants, M., Javaux, M., Pachepsky, Y., Schaap, M. G., ve van Genuchten, M. Th. (2010). Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten-Mualem soil hydraulic properties: A review. *Vadose Zone J.*, 9, 795–820.

- Vereecken, H.; Schnepf, A., Hopmans, J.W., Javaux, M., Or, D., Roose, T., Vanderborght, J., Young, M.H., Amelung, W., Aitkenhead, M. et al. (2016). Modeling Soil Processes: Review, Key Challenges, and New Perspectives. *Vadose Zone J.*, 15, vzj2015.09.0131.
- Vogel, T., Van Genuchten, M. T., & Cislerova, M. (2000). Effect of the shape of the soil hydraulic functions near saturation on variably-saturated flow predictions. *Advances in Water Resources*, 24(2), 133–144. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(00\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(00)00037-3).
- Wang, J.-P., Hu, N., François, B., & Lambert, P. (2017). Estimating water retention curves and strength properties of unsaturated sandy soils from basic soil gradation parameters. *Water Resources Research*, 53(7), 6069–6088.
- Wang, L., Yang, R., Zhang, S., ve Zhang, G. (2019). Fractal features and infiltration characteristics of the soil from different land uses in a small watershed in a rocky, mountainous area in Shandong Province. *J. For. Res.*, 31, 1017–1024.
- Wang, Y., Ma, R., & Zhu, G. (2022). Improved prediction of hydraulic conductivity with a soil water retention curve that accounts for both capillary and adsorption forces. *Water Resources Research*, 58(4), e2021WR031297.
- Wit, C. T., ve Keulen, H. (1975). Simulation of transport processes in soil. Center for Agricultural Publication and Documentation, 89-101.
- Yang, Y., Wu, X., He, T., Wang, Y., Wendroth, O., Chen, X., ... & Zhang, G. (2022). Factors controlling saturated hydraulic conductivity along a typical black soil slope. *Soil and Tillage Research*, 220, 105391.
- Zaslavskiy, B. G., Oparina, I. V., Terleev V. V., ve Sariyev, A. L. (1988). Interactive system for generating a bank of hydrophysical characteristics of soils. *Doklad VASXNIL*, 11, 40-42.
- Zhang, Y., Schaap, M.G. (2019). Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: A review. *J. Hydrol.*, 575, 1011–1030.
- Zhuang, J., Nakayama, K., Yu, G. R., ve Miyazaki, T. (2000). Scaling of saturated hydraulic conductivity: A comparison of models. *Soil Science*, 165, 718-727. doi:10.1097/00010694-200009000-00005.
- Zhuang, J., Nakayama, K., Yu, G. R., ve Miyazaki, T. (2001). Predicting unsaturated hydraulic conductivity of soil based on some basic soil properties. *Soil and Tillage Research*, 59, 143–154. doi:10.1016/S0167-1987(01)00160-X.
- Zolfaghari, A. A., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Asadzadeh, F., ve Hajabbasi, M. A. (2016). Soil structure changes due to different land-use practices in the central Zagros region, Iran. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 62, 163–175.
- Zhu, W., Zhang, M., Sun, H., & Yu, G. (2020). Experimental study on hydraulic conductivity and resistance in silty sediments. *Water*, 13(1), 75.

ÖZGEÇMİŞ

Ebru Yavuz, lise eğitimini Antalya Akdeniz Anadolu Lisesinde 2014 yılında tamamladı. 2015 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda mühendisliği Bölümünde Lisans eğitimine başladı. 2017 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümüne geçiş yaptı. Ziraat Mühendisi olarak mezun oldu. Yüksek Lisans eğitimini 2024 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme ABD’da tamamladı.

