



**İĞDIR ÜNİVERSİTESİ DENEME ARAZİSİ
TOPRAKLARININ İSİSAL ÖZELLİKLERİNİN
PEDOTRANSFER FONKSİYONLARLA BELİRLENMESİ**

Rıdvan TİK
Yüksek Lisans Tezi

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM
DALI**

- 1. Danışman: Prof. Dr. Fariz MİKALSOY**
- 2. Danışman: Doç. Dr. Kenan BARİK**

2019

**T.C.
IĞDIR ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**IĞDIR ÜNİVERSİTESİ DENEME ARAZİSİ TOPRAKLARININ İSİSAL
ÖZELLİKLERİNİN PEDOTRANSFER FONKSİYONLARLA BELİRLENMESİ**

Rıdvan TİK

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

IĞDIR

2019

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Fariz MİKAİLSOY ve Doç. Dr. Kenan BARİK danışmanlığında Rıdvan TİK tarafından hazırlanan bu çalışma tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Mustafa Yıldırım CANBOLATİmza:

Üye: Prof. Dr. Fariz MİKAİLSOYİmza:

Üye: Doç. Dr. Kenan BARİKİmza:

Üye: Dr.Öğr. Üyesi Mücahit KARAOĞLUİmza:

Üye: Dr.Öğr. Üyesi Serdar SARIİmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun / /2019 tarih ve 2019/ sayılı kararı ile onaylanmıştır.

(imza)

.....

Doç. Dr. Süleyman TEMEL

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Rıdvan TİK

Bu çalışma Iğdır Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 2017-FBE-L19

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

ÖZET

İĞDIR ÜNİVERSİTESİ DENEME ARAZİSİ TOPRAKLARININ İSİSAL ÖZELLİKLERİNİN PEDOTRANSFER FONKSİYONLARLA BELİRLENMESİ

TİK, Rıdvan

Yüksek Lisans Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

1. Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fariz MİKAILSOY

2. Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kenan BARİK

Temmuz 2019, 88 sayfa

Toprakta oluşan çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler, toprak sıcaklığından direk ya da dolaylı olarak etkilenmektedir. Bitkisel üretimdeki verimlilik, toprak sıcaklığı ile yakından ilişkilidir. Toprak sıcaklığının, çimlenme hızı ve süresi, kök oluşumu ve bitki gelişimi, suyun ve bitki besin elementlerinin bitki kökleri tarafından alınımı, topraktaki biyolojik ve mikrobiyal aktiviteler, organik maddenin parçalanması, bitki hastalıkları ve zararlı populasyonu, toprağın havalanması, toprak nemi ve buharlaşma gibi süreçler üzerindeki etkisi önemlidir. Bu araştırmada, Iğdır Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama merkezine bağlı deneme arazisinde bazı pedotransfer fonksiyonların değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Araştırmada deneme arazisi toprağında fiziksel analizler (toprak bünyesi, agregat stabilitesi, hidrolik iletkenlik, toprak nemi, toprak yoğunluğu, özgül ve hacimsel ısı tutumu) ve kimyasal analizler (toprak organik maddesi, toprak reaksiyonu, elektriksel iletkenlik) yapılmıştır. Bu veriler, diğer önemli pedotransfer fonksiyonlardan toprağın termal özelliklerinin incelenmesi, değerlendirilmesi ve teorik yöntemlerle hesaplanması için kullanılmıştır. Profil derinliği boyunca sıcaklık dinamiğini belirlemek için, termal özelliklerin, matematiksel model yardımıyla ısı hareketi modelinin analitik çözümlerinden elde edilmiş klasik ve yeni hesaplama yöntemlerini kullanarak hesaplanmıştır. Bu amaçla, arazide bir adet toprak profilinde farklı derinliklerde ($x = -5, 0, 2, 10, 20, 30, 40$ cm) toprak sıcaklıklarının zaman ve derinliğe bağlı olarak ölçülmesi için termal sensörler yerleştirilmiştir. Sıcaklık ölçüm değerleri kullanılarak hesaplanmış toprak yüzeyi havasının termal özellik (T_0, T_a, ϕ) değerleri hesaplanmıştır. Araştırma alanı toprağın termal yayılım (κ) ve iletim (λ) parametrelerinin değerleri farklı yöntemlerle hesaplanmış ve bu yöntemlerden noktasal yöntemlerin profildeki ısı hareketini en iyi yansıtan yöntem olduğu tesbit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Pedotransfer Fonksiyonlar, Toprak Sıcaklığı, Toprakta Isı Hareketi Modeli, Termal İletkenlik, Isı Yayılımı.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THERMAL PROPERTIES OF IĞDIR UNIVERSITY TRIAL LAND WITH PEDOTRANSFER FUNCTIONS

TİK, Rıdvan

Master Thesis, Department of Soil Science and Plant Nutrition

1st Thesis Adviser: Prof. Dr. Fariz MİKAİLSOY

1nd Thesis Adviser: Doç. Dr. Kenan BARİK

July 2019, 88 pages

A variety of physical, chemical and biological processes that occur in soil are directly or indirectly affected by soil temperature. Efficiency in crop production, is closely related to soil temperature. Soil temperature, germination rate and duration, root formation and plant development, water and plant nutrients taken by the plant roots, biological and microbial activities in the soil, the breakdown of organic matter, plant diseases and harmful population, soil ventilation, soil moisture and evaporation, such as the effect on processes are important. In this research, it was aimed to calculate the values of some pedotransfer functions in the trial area connected to Iğdir University Agricultural Research and Application Center. Physical analyses (soil structure, aggregate stability, hydraulic conductivity, soil moisture, soil density, specific and volumetric heat attitude) and chemical analyses (soil organic matter, soil reaction, electrical conductivity) were conducted in the soil of the trial land. These data have been used for the study, evaluation and calculation of thermal properties of soil from other important pedotransfer functions by theoretical methods. To determine the temperature dynamics along the profile depth, thermal properties were calculated using classical and new computational methods derived from analytical solutions of the heat motion model with the help of mathematical model. For this purpose, one soil profile in the land at different depths ($x = -5, 0, 2, 10, 20, 30, 40$ cm) thermal sensors have been installed to measure soil temperatures depending on time and depth. Thermal properties of soil surface air (T_0, T_a, ϕ) were calculated using temperature measurement values. The values of thermal emission (κ) and transmission (λ) parameters of the soil were calculated by different methods and it was determined that the point methods were the best reflecting method of heat movement in the profile.

Key words: Pedotransfer Functions, Soil Temperature, Heat Movement Model In Soil, Thermal Conductivity, Heat Transfer.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Tarımsal yönetim uygulamalarında pedotransfer fonksiyonlarının bilinmesi, modern tarım yöntemlerinin seçimine temel oluşturmaktadır. Bu fonksiyonlardan biri de toprak sıcaklığıdır. Toprağın sıcaklığı, toprakta nemin tutulmasını ve hareketini, toprak yüzey suyunu, toprak agregasyonunu, toprak havalanmasını, toprakta yer alan kimyasal reaksiyonları, topraktaki bitki besin elementlerinin elverişlilik durumunu, tohumun çimlenmesini, bitki kök gelişimini ve mikrobiyolojik aktiviteyi etkileyen önemli bir faktördür.

Toprak sıcaklığı; toprakta termal iletkenliği, su ve hava dengesini sağlamaktadır. Aynı zamanda mikroorganizma faaliyetlerini ve besin elementlerinin bitkilerce alınabilirliğini artırması ile büyük öneme sahiptir. Dolayısıyla toprak sıcaklığının düzenlenmesi, ekim ve sulama zamanının belirlenmesi ve böylece verimliliğin artırılması ve bitkinin çimlenmesi ve gelişmesi için gereklidir. Ayrıca ağaçlandırma çalışmalarında başarılı sonuçlar alınabilmesi için yüzey üstü sıcaklığı kadar yüzey altı sıcaklığının da aylık ve yıllık olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, toprağın ısısal iletkenlik, ısı kapasitesi ve ısısal yayılım gibi özelliklerinin belirlenerek matematiksel modellerle en uygun ısı iletim modelinin seçilmesi önem arz etmektedir. Toprağın ısısal özelliklerinin bilinmesine, toprak biliminde, tarımda, zirai meteorolojide ve ziraat mühendisliğinin birçok alanında gereksinim duyulmaktadır.

Tez çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, değerli danışman hocam Prof. Dr. Fariz MİKAİLSOY'a, laboratuvar aşamasında desteklerini hiç esirgemeyen Erhan ERDEL'e ve diğer hocalarıma, maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen aileme özellikle de kardeşim Yaşam'a sonsuz teşekkürler.

Rıdvan TİK

Temmuz, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL ve METOT	25
3.1. Materyal	25
3.1.1. Toprak örneklerinin alındığı alanların toprak özellikleri	25
3.1.2. Toprak örneğinin alındığı Iğdır ovasının iklim özellikleri	25
3.2. Metot	27
3.2.1. Toprak örnekleme	27
3.2.2. Toprak sıcaklıklarının belirlenmesi	28
3.2.2.a. Thermochron İbutton DS1921G termal sensörleri	29
3.2.3. Fiziksel analizler	30
3.2.3.a. Toprak tekstürü	30
3.2.3.b. Agregat stabilitesi	30
3.2.3.c. Hidrolik iletkenlik	31
3.2.3.ç. Toprak nemi	32
3.2.3.d. Toprağın hacim ağırlığı	33
3.2.4. Kimyasal analizler	34
3.2.4.a. Toprak organik maddesi	34
3.2.4.b. Toprak reaksiyonu	34

3.2.4.c. Elektriksel iletkenlik	35
3.2.4.ç. CaCO ₃	35
3.2.5. Toprağın ısısal özelliklerini hesaplama metotları	36
3.2.5.a. Hacimsel ısı kapasitesinin belirlenmesi	36
3.2.5.b. Toprağın yüzey bölgesi havasının parametrelerinin belirlenmesi	37
3.2.5.c. Toprağın termal yayılımının belirlenmesi	37
3.2.5.ç. Toprağın termal iletkenliğinin belirlenmesi	38
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	39
4.1. Araştırma Alanının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	39
4.2. Ölçümler ve Grafikler	39
4.3. Toprağın Isısal Özelliklerinin Değerleri	40
4.3.1. Hacimsel ve özgül ısı kapasitesinin değerleri	40
4.3.2. Toprağın yüzey bölgesi havasının parametrelerinin değerleri	44
4.3.3. Termal yayılım parametresinin değeri	45
4.3.3.a. Birinci tür $T(\infty,t)=T_0$ sınır koşuluna göre geliştirilmiş klasik metotlara göre hesaplanmış değerler	45
4.3.3.b. Birinci tür $T(\infty,t)=T_0$ ve ikinci tür $\partial T(L,t)/\partial z=0$ sınır koşuluna göre geliştirilmiş yeni metotlara göre hesaplanmış değerler	57
4.3.4. Termal iletkenliği parametrelerinin değerleri	58
4.3.5. Sıcaklık dalgasının sönme derinliğinin değerleri	59
4.3.6. Toprağın ısı adsorbe etme kapasitesinin değerleri	59
4.3.7. Deneme arazisi toprağının önemli PTF değerleri	59
4.3.8. Termal yayılım modellerinin seçilmesi	60
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR	64
EKLER	75
ÖZGEÇMİŞ	89

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
C_m	Özgül ısı Kapasitesi
C_v	Hacimsel ısı kapasitesi
d	Sönme derinliği
e	Toprağın sıcaklık adsorbesi
g	Gram
kg	Kilogram
κ	Termal yayınım
$K(\Theta)$	Hidrolik iletkenlik
mmhos	Millimhos
m^2	Metrekare
MgCO ₂	Magnezyum karbondioksit
N	Azot
°C	Santigrat derece
ρ_b	Hacim ağırlığı
pH	Toprak reaksiyonu
R^2	Determinasyon katsayısı
λ	Termal iletkenlik
T_0	Toprak yüzey sıcaklığı
V	Hacim
θ	Nemlik
ϕ	Faz kayma değerleri
$\sigma_{T/t}$	Ortalamanın standart sapması

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AIC	Akaike Bilgi Ölçütü
BIC	Bayeşçi Bilgi Ölçütü
CART	Sınıflama ve Regresyon Ağaçları
EC	Elektriksel İletkenlik
ESS	Tahmini Kareler Toplamı
IME	İntegral Ortalama Hata
IRMSE	İntegral Hata Kareleri Ortalaması
MAPE	Bağıl Yüzde Hatası
PRESS	Prediction Error Sum of Square
PTF	Pedotransfer Function
RMSE	Root Mean Squared Error
RSS	Kalıntı Kareler Toplamı
TSS	Toplam Ortalamalar Karesi
WRC	Su Tutma Eğrisi (Water retention curve)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. PTF gelişimi ve uygulamalarında ölçekler arası ilişki	3
Şekil 2.2. Modellerin genel tasnifi	15
Şekil 3.1. Iğdır il haritası	26
Şekil 3.2. Toprak örneklerinin alındığı sahadan bir görüntü	27
Şekil 3.3. Profillerin açılması ve termal algılayıcı sensörlerin yerleştirilmesi	28
Şekil 3.4. Termal algılayıcı öğeler	29
Şekil 3.5. Yoder tipi ıslak eleme aleti	31
Şekil 3.6. Hidrolik iletkenliğin ölçülmesi	32
Şekil 3.7. Toprak organik maddesinin ölçülmesi	34
Şekil 3.8. Ph değerlerinin ölçülmesi	35
Şekil 3.9. Kireç(CaCO ₃) değerlerinin ölçülmesi	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1: Toprak ögelerinin hacim ağırlığı, özgül ve hacimsel ısı kapasiteleri	7
Çizelge 2.2: Toprak bileşenlerinin termal özellikleri	8
Çizelge 2.3: Bazı maddelerin özgül ısıları	9
Çizelge 2.4: Toprak rengi ile sıcaklık arasındaki ilişkiler	10
Çizelge 3.1: Iğdır ilinin uzun yıllar (1941 – 2017) aylık yağış ve sıcaklık ortalamaları	26
Çizelge 3.2: Hacim ağırlığı sınıflama değerleri	33
Çizelge 4.1: Araştırma toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri	39
Çizelge 4.2: Deneme sahası toprağının ısısal - fiziksel özelliklerinin değerleri	43
Çizelge 4.3: Yüzey sıcaklıklarının parametrelerinin (T_0 , T_{a1} , ε_1) bulunması için (3.4) ve (3.7) nolu formüllerin uygulanması	43
Çizelge 4.4: Toprak yüzey hava bölgesinin (20.09.2018) parametreleri	45
Çizelge 4.5: Zamana ve derinliklere göre topraktaki sıcaklık dağılımları (20.09.2018)	46
Çizelge 4.6: Derinliklere göre arazi denemesi toprağının minimum, maksimum sıcaklıkları, sıcaklık dalgalarının genlikleri ve termal yayılım (κ) değerleri	47
Çizelge 4.7: Toprağın $z=0$, 0.02 , 0.1 , 0.2 , 0.3 ve 0.4 m derinliklerine göre hesaplanmış faz kaymalarının ε_i değerleri, $[z_i; z_{i+1}]$ katmanlarındaki ve $[0; 0,4m]$ profildeki termal yayılım parametresinin değerlerinin metot-2 ile bulunması	50
Çizelge 4.8: $z_1=0,02$ m ve $z_2=0,10$ m derinliklerinde sıcaklık dağılımının parametrelerinin (T_{01} , T_{a1} , ε_1) ve (T_0 , T_{a2} , ε_2) bulunması	51
Çizelge 4.9: Derinliklere göre toprağın 5, 11, 17 ve 23 saat anlarındaki sıcaklık değerleri	52
Çizelge 4.10: Toprağın $[z_i; z_{i+1}]$ katmanlarındaki ve $[0; 0,4m]$ profildeki termal yayılım parametresinin değerlerinin metot-3 ile bulunması	53
Çizelge 4.11: Toprağın $[z_i; z_{i+1}]$ katmanlarındaki ve $[0; 0,4m]$ profildeki termal yayılım parametresinin değerlerinin metot-4 ile bulunması	55
Çizelge 4.12: Termal yayılım parametresinin değerlerinin noktasal metotlarla	

bulunması	58
Çizelge 4.13: Deneme toprağının [0; 0,4m] katmanındaki ortalama termal yayılım (κ_{ort}), ısı iletim (λ_{ort}), sönme derinliği (d_{ort}) ve toprağın ısı adsorbe (e_{ort}) parametrelerinin farklı katmansal metotlarla bulunmuş değerleri	60
Çizelge 4.14: Sıcaklıkların ölçüm ve modellere göre hesaplanmış değerler arasındaki korelasyon ($r, \%$) değerleri	61



1. GİRİŞ

Bitkilerin yaşamsal evrelerinin tamamını etkileyen ekolojik faktörlerin başında iklim gelmektedir. Toprakta oluşan biyo-fiziksel ve biyo-kimyasal süreçlerin tamamı toprak sıcaklığından doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenmektedir. Bitkisel üretimdeki verimlilik, toprak sıcaklığı ile yakından ilişkilidir. Çimlenme hızı ve süresi, kök oluşumu ve bitki gelişimi, suyun ve bitki besin elementlerinin bitki kökleri tarafından alınımı, topraktaki biyolojik ve mikrobiyal aktiviteler, organik maddenin parçalanması, bitki hastalıkları ve zararlı populasyonu, toprağın havalanması, toprak nemi ve buharlaşma gibi olaylara en büyük etkiyi toprak sıcaklığı yapmaktadır.

Toprak sıcaklığı, toprakta gerçekleşen fiziksel, kimyasal ve biyolojik birçok olayın oluşum mekanizmasında etkili bir faktördür. Bitki besin elementlerinin bitkiler tarafından alınımının yanısıra, organik madde oluşum miktarı ve hızına da etkisi olan toprak sıcaklığı, dolayısıyla toprağın yapısını ve topraktaki su hareketini de etkiler. Toprak sıcaklığı optimum seviyeye ulaştığında iyi bir çimlenme ve fide oluşumu, devamında da hızlı bir bitki gelişimi meydana gelir. Bitki köklerinin işlevlerini yerine getirebilmesi, yani topraktan su ve bitki besin elementlerini en iyi şekilde alabilmesi uygun toprak sıcaklığına bağlıdır. En yüksek tarımsal verimliliğin sağlanması için yetiştiriciliği planlanan bitkiler için gerekli maksimum ve minimum toprak sıcaklığı istekleri göz önünde bulundurulmalıdır (Tenge *et al.*, 1998).

Toprak sıcaklığı bitkilerin en önemli gelişim faktörlerinden biridir. Toprakların sıcaklık rejimleri hakkında bilgi, bitki gelişimini etkileyen ekolojik şartların bir kısmını açıklar. Diğer taraftan bütün toprak horizonlarındaki sıcaklık o horizonların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkilediğinden toprak oluşumunda da önemli bir faktördür (Özbek, 1990).

Toprağın pedotransfer verilerini kullanarak toprağın termal iletkenlik, ısı kapasitesi ve termal yayılım, sıcaklık dalgasının sönme derinliği gibi özelliklerini matematiksel modeller kullanılarak en uygun termal özelliklerin bulunması algoritmalarını seçilmesi önem

arz etmektedir. Bu nedenlerden pedotransfer fonksiyonlarının bilinmesi, toprak biliminde, tarımda ve ziraat mühendisliğinin birçok alanında gereksinim duyulmaktadır.

Toprağın ısı iletkenliği, ısı kapasitesi ve termal yayılım gibi özellikleri ile toprağın kalıcı durağan (statik) özellikleri arasında son derece yakın ilişkiler vardır ve bu ilişkiler kullanılarak toprak termal iletkenliği ve termal yayılım kolayca tahmin edilebilir. Bu bağlamda geliştirilmiş birçok model vardır. Ancak her bir modelin geliştirilmesinde yapılan varsayımlar ve modeli geliştiren kişilerin konuya yaklaşım farklılıkları nedeniyle sınırlamaları vardır. Dolayısıyla farklı alanlarda farklı kişiler tarafından geliştirilmiş olan modellerin kullanılmasında temkinli olunmalıdır (Yeşilsoy, 1975).

Toprak termal özellikleri, toprak verimliliğini doğrudan etkileyen özelliklerdendir. Toprak termal özellikleri; toprak tekstürü, yoğunluk, organik madde içeriği ve toprak su içeriği tarafından önemli oranda etkilenir. Toprak termal özelliklerinin tahmin edilmesine yönelik geliştirilmiş olan eşitliklerin büyük bir kısmı, toprak yüzeyinin çıplak olduğu varsayımında bulunurlar. Çünkü bitki örtüsü altındaki toprak profillerinde toprak termal özelliklerinin tahmin edilmesi çok daha karmaşık ilişkilerin hesaba katılmasını gerektirmektedir.

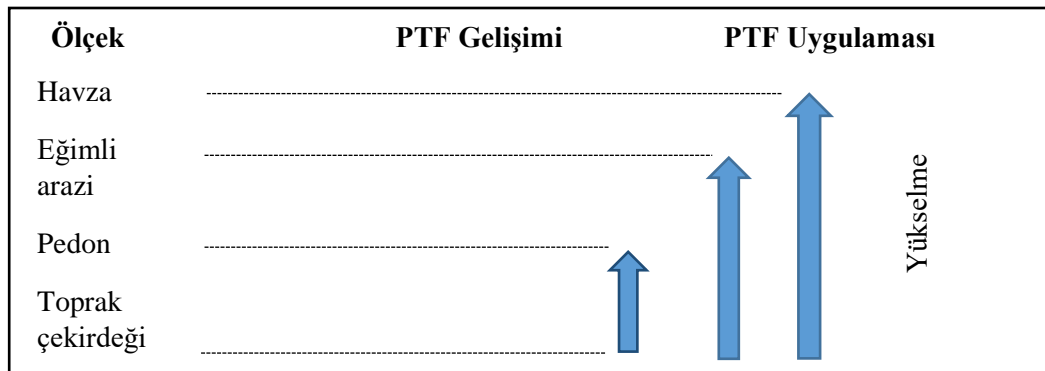
Bu araştırmanın amacı; Iğdır Üniversitesi deneme arazisi topraklarının ısısal özelliklerinin pedotransfer fonksiyonlarla belirlemektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

PTF'ler simülasyon modelleri gibi çalışır. Bir PTF, fonksiyonel ilişkilerin ampirik regresyonları ile toprak araştırmalarında bulunan temel bilgilerin daha geniş uygulamaları için gerekli temel bilgilerin çevirisini sunar (Aimrun ve Amin, 2009).

PTF'ler, var olan toprak veri bankalarından tekstür, yoğunluk, organik madde içeriği gibi temel toprak etüt verilerini kullanarak su tutma eğrisinden, hidrolik iletkenliğe kadar birçok toprak hidrolik özelliklerini başka toprak özellikleri ile bağıntısını bulmak için geliştirilmiştir (Wösten and van Genuchten 1988, Vereecken *et al.*, 1990, Schaap *et al.*, 1998, Wösten *et al.*, 1999, Schap and Leij 2000).

Pedotransfer fonksiyonlarının kullanımı büyük ölçekli projeler için veya pilot çalışmalar için modelleme yapıldığında gereklidir. Bununla birlikte, veri gelişimi dışında PTF'lerin doğruluğu bilinmediği için PTF sonuçları her zaman belirsizdir (Guber and Pachepsky, 2010). Hidrolik özelliklerin ölçeğe dayalı oldukları bilinmektedir, çekirdek ve daha kaba ölçeklerde ise aynı model kullanılırsa değerler değişir. Mevcut PTF'ler toprak çekirdek ölçeğinde geliştirilmektedir ve hala pedon, eğimli tepe veya havzaların kaba ölçeğinde kullanımları kastedilmektedir. Bu nedenle, kaba ölçeklerde kullanılabilir tahmin edici PTF'ler yapmak için yükseltme işlemi gerekmektedir (Pachepsky *et al.*, 2006, Karahan, 2014) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. PTF gelişimi ve uygulamalarında ölçekler arası ilişki (Pachepsky *et al.*, 2006)

Toprak hidrolik iletkenliğinin modellenmesinde morfolojik özelliklerin kullanılarak su akışının niteliksel olarak açıklanması fikri Soil Conservation Survey için yapılmıştır (Norton, 1939)

Pachepsky *et al.* (2006) toprak yapısı ve hidrolik parametreleri ile bir PTF örneği geliştirmek için -33 kPa su içeriğine sahip, yapı sınıfı, derece, şekil ve büyüklük olarak ve tekstür sınıfı arazi ve laboratuvarında belirlenen 2149 toprak örneğini gruplamak için regresyon ağaçları sınıflamasını kullanmışlardır. Çalışmada, kil sınıfı en iyi grup oluşturan parametre olmuş, yapısal parametreler önemli gruplama değişkenleri olarak yer almıştır. Değişik ölçeklerdeki toprak yapısı tanımları ve miktarlarının ilgili PTF'ler için katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

İlk kez Almanya'da Lamp and Kneib (1981) tarafından pedofonksiyonları terimi kullanılmış, daha sonra Bauma and Lanen (1986) tarafından transfer fonksiyonları terimi kullanılmıştır. Bauma and Lanen (1987) tarafından ise tekstür, yoğunluk, organik madde gibi temel toprak özelliklerinden, toprak hidrolik özelliğinin çıkarılması için bazı fonksiyonlar kullanılmıştır. Bauma (1989)'da toprak fiziği dışında kullanılan terimler ile olabilecek karışıklığı önlemek için bu fonksiyonları pedotransfer fonksiyonları olarak adlandırmıştır. Daha sonra, hidrolik PTF'lerin gelişimi çoğunlukla ABD ve Avrupa'da patlayan bir teknoloji haline gelmiştir. Hidrolojik analizler için genel olarak kullanılan eşitlikler Hillel (1982) and Rawls *et al.* (1991) çalışmalarında özetlenmiştir.

Oosterbaan and Nijland (1994)'a göre optimum bir ölçüm tekniği henüz mevcut olmayıp ve ölçümlerin çoğu araştırmacıların becerisine bağlı kalmıştır. Ingelmo *et al.* (2011) ise bu tarihten günümüze kadar hidrolik iletkenliğe daha kolay izin veren toprakların niteliksel olarak sınıflandırılması için çeşitli modeller geliştirildiğini bildirmiştir. Ayrıca toprak hidrolik parametrelerinin hem düşey hem yatay yönde güçlü bir değişkenlik ile karakterize edilebilmesi en fazla 10 farklı alanda yapılabilir. Bu nedenle bir alanın hidrolik özelliklerini uygun bir şekilde tanımlamak için çok sayıda veri gereklidir. Bu gerçeklerden dolayı, son 10 yıldır toprak hidrolik parametrelerini tahmin etmek için yöntemler geliştiren

birçok çalışma yapılmıştır (Baroni *et al.*, 2009). Genel olarak bu yöntemler iki kategoriye ayrılabilir;

1- Ölçüm Teknikleri

2-Tahmin Yöntemleri (Haverkamp *et al.*, 2006)

Krogh (2000), tarafından katyon değişim kapasitesindeki değişkenlik için kil ve organik madde içeriği kullanılmıştır. Wagner *et al.* (2001)'de geliştirilen PTF'ler ile toprak nem içeriği %93'lük bir determinasyon katsayısı ile tahmin edilmiştir. Tomessla *et al.* (2000), Brezilya topraklarının nem eğrisini tahmin etmek için PTF'leri kullanmışlar ve diğer genel fonksiyonlarla karşılaştırıldığında, geliştirilen fonksiyonların minimum hata verdiğini göstermişlerdir.

Dashtaki *et al.* (2010), İran'da Karaj ve Naghade ovalarında farklı parçacık büyüklüğüne sahip 234 toprak örneği ile toprak parçacık büyüklüğü dağılımı yerine parçacık yarıçaplarının geometrik ortalama ve standart sapma değerlerini kullanarak bir PTF türetme olasılığını araştırmışlardır. Belirleyici değişkenler iki gruba ayrılmıştır.

Dashtaki *et al.* (2004) çalışmalarında su tutma eğrisi üzerinde altı nokta ve van Genuchten modeli parametreleri tahmini için stepwise regresyon metodu kullanılarak iki nokta PTF ve iki parametrelili PTF formu geliştirmişlerdir. Türetilen PTF ile Rosetta paketi (Schaap *et al.*, 2001) karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ikinci setteki değişkenlerin van Genuchten α ve Θ_s parametrelerindeki değişimin sırasıyla %65 ve %90'ını sağladığını göstermiştir. Ayrıca, su tutma eğrisinden parçacık yarıçapı geometrik ortalama ve standart sapma değerlerinin su içeriğini yoğunlukndan daha iyi tahmin ettiği sonucuna varılmıştır.

Yakupoğlu ve ark. (2013) toprağın fiziksel özellikleri ve nem sabitelerini kullanarak PTF yardımıyla toprakta doymun ortamdaki dikey hidrolik iletkenlik değerini (K_s) tahmin etmişlerdir. Böylece, arazinin K_s değerlerinin tahmin edilmesinde geliştirilen PTF modellerinin kullanılabileceği belirtilmiştir.

İdeal olarak, toprak hidrolik parametrelerini laboratuvarında veya arazide ölçmek en iyisidir, böylece uzaysal ve zamansal değişkenlik başarılı bir şekilde karakterize edilebilir.

Ancak bu zor bir iştir ve nadiren gerçekleştirilir, çünkü bu gibi ölçümler için önemli finansal yatırımlar ve zaman gerektirir. Buna ek olarak, toprak hidrolik özelliklerinin uzaysal değişkenliği, ölçeğe bağımlılık ve muhtemel büyük modelleme alanları bu nitelendirmeleri zorlaştırabilir (Twarakavi *et al.*, 2008).

PTF'ler eşitlikteki katsayılar için geliştirildiğinde ve literatürde kullanılan formülden eşitlik seçimi yapıldığında doğruluk tahmini önemlidir (Wösten *et al.*, 2001). El-Kadi (1985), çeşitli basınç yüklerindeki su içeriğinin ortalama kareler hatasını kullanarak birkaç eşitliği karşılaştırmış ve en doğru eşitlik olarak Brutsaert eşitliğini bulmuştur.

(Van Wijk and Vries, 1966). Toprak işlemesi, işleme derinliğinde toprak suyunun azalmasına, yoğunluğun azalıp gözenek miktarının artmasına sebep olduğu için toprağın termal zellini değiştirerek, ısının toprağın derin katmanlarına hareketini azaltır. Dolayısıyla alt toprak katmanlarında sıcaklığın artmasına sebep olacak ısı akımı azalmış olur. Bu da ısının üst toprak katmanlarında hissedilir ısı ile sıcaklığının artmasına sebep olur.

Potter *et al.* (1985) yaptıkları bir çalışma ile toprağın işlendiği ve işlenmediği durumlarda termal özelliklerin değişim mekanizmalarını nasıl etkilediğini belirlemeyi hedeflemişlerdir. Bu amaçla; üç toprak yapısında ve üç farklı işleme tekniği altında deneme konuları oluşturularak toprak yüzeyine ilişkin toprak termal özellikleri hesaplanmıştır. Toprağın hacimsel ısı kapasitesi, tüm konular için birbiri ile benzer değerler almıştır. Termal difüzivite işlenmeyen konularda geleneksel ve isel pulluk kullanılan konulara göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Doğrusal ısı-prob tekniği ile direkt olarak belirlenen toprak termal iletkenliği, geleneksel işleme tekniğine göre işlenmeyen konulardaki değerlerden %20 daha yüksek bulunmuştur. Çalışma yüzeydeki mal miktarı ve kalınlığının, toprak sıcaklığına ve toprak ısı akısına, termal özelliklerden daha geniş bir etkide bulunmasıyla sonuçlanmıştır.

Toprağın farklı bileşenlerinin hacimsel ısı kapasitesi değerleri izelge 2.1'de verilmiştir (De Vries, 1952; Saatçı, 1975; Hillel, 1982).

Çizelge 2.1. Toprak öğelerinin hacim ağırlığı, özgül ve hacimsel ısı kapasitesi

Toprak Öğeleri	Özgül Isı Kapasitesi	Hacim Ağırlığı	Hacimsel Isı Kapasitesi
	C_m , kal / gr · °C	ρ_b , gr/cm ³	C_v , kal / cm ³ · °C
Kuvars	0,18	2,66	0,48
Kil	0,18	2,65	0,48
Kum	0,191	1,5288	0,292
Kil	0,224	1,0402	0,233
Humus	0,443	0,3726	0,165
Organik madde	0,46	1,30	0,60
Su (+4°C)	1,0	1,0	1,0
Buz (0°C)	0,49	0,92	0,45
Hava (10°C)	0,24	0,00125	0,0003

Smith and Byers (1938), büyük toprak gruplarının termal iletkenliklerini araştırmışlardır. Toprakların termal iletkenliklerinin organik madde ve bünyeye bağlı olarak değiştiğini, kumlu bünyeye sahip topraklar iyi bir ısı iletim kabiliyetine sahip olurken fazla miktarda kil içeren toprakların daha az termal iletkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir. Yüksek miktarda organik madde içeren topraklar ise, en düşük termal iletkenlik kabiliyetine sahiptir.

Toprakta, iki ana ısı transfer süreci vardır. Bunlardan birincisi termal kondüksiyon, ikincisi ise konveksiyondur. Isı eğimindeki farklılıklardan dolayı, sabah erken saatlerde toprak içerisine doğru bir ısı akımı söz konusu iken, öğleden sonra ve akşam saatlerinde ise toprağın derinliklerinden yüzeye doğru bir ısı akımı söz konusu olmaktadır (Hadas, 1977).

Yüksek miktardaki organik madde düşük ısı iletkenliği gösterir. Kumlu bünyedeki toprakların ısı iletkenliği ise killi bünyedeki topraklara nazaran daha yüksektir. Toprağın yoğunluk arttıkça ve gözeneklik azaldıkça ısının transferi de o nispette yükselir. Kuru bir toprağın ısı iletkenliği toprağa suyun ilavesi ile artar. Çünkü su havaya nazaran ısıyı kolaylıkla iletir. Isı iletkenliği diğer iki özellik gibi kuvvetli şekilde toprağın su içeriğine bağlıdır (Saatçı, 1975; Şımarmaz, 2010).

Toprağın termal yayılımı, toprağın gözeneklerindeki sıvı fazın miktarına bağlı olarak sıcaklık değişimini ifade eden, en önemli ısı iletim parametresidir (Horton and Wierenga, 1983).

Islak toprakların katı fazında ısı kapasitesi azalmakta, ancak termal iletkenlik artmaktadır. Kuru topraklarda ise toplam gözenekliliğin azaldığı yerlerde su içeriğindeki değişim düşüktür. Buna bağlı ısı kapasitesi ve termal iletkenlikte artma eğilimi oluşum göstermektedir (Flint and Childs, 1984). Çizelge 2.2’de toprak bileşenlerinin termal özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Toprak bileşenlerinin termal özellikleri (Shein and Goncharov, 2006).

Toprak Ögesi	Termal İletkenliği	Hacimsel Isı Kapasitesi	Termal Yayılım
	cal/cm sn· °C	cal/cm ³ · °C	cm ² /sn
	λ	C_v	κ
Kuvars	21	0.48	0,0438
Kil mineralleri	7	0.48	0,0140
Organik madde	0,6	0.6	0,0010
Su (10 °C)	1.37	1.0	0,0014
Buz (0 °C)	5.2	0.45	0,0116
Hava (10 °C)	0.06	0.003	0,0200

Yapılan çalışmada (Santos *et al.*, 1988), termal yayılım, 1984-1985 yıllarına ilişkin farklı mevsimlerde işlenmiş toprağın 5-10 ve 15 cm derinliklerinde toprak sıcaklığı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda topraktaki nem içeriğinin, toprağın termal özelliklerine ve toprak katmanlarındaki sıcaklık değerlerine etkide bulunduğu saptanmıştır. Termal yayılım topraktaki su içeriğine ve toprak bünyesine bağlıdır.

Toprakların minerolojik yapısı ve bileşimi, toprakların hacim ağırlıklarını ve özgül ağırlıklarını belirler. Toprağın Özgül ağırlığı ve Toprağın özgül ısı ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla toprakların özgül ısıları, toprak sıcaklığına etki eden faktörlerden biridir. Özgül ısı, herhangi bir maddenin 1 gramının sıcaklığını 1 °C yükseltmek için gereken kalordur.

Özgül ısı birimi kal/gr/°C'dir. Suyun özgül ısısı 1,0'dır. Topraktaki diğer maddelerin özgül ısıları Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Bazı maddelerin özgül ısıları (Akalan, 1983)

Madde	Özgül Isı (kal/gr/ °C) veya (J g ⁻¹ °C ⁻¹)
Su	1,00
Buz	0,50
Hava	0,25
Kil	0,22
Kuvars	0,19
Mika	0,21
Granit	0,19
Kireç (CaCO ₃)	0,20
F ₂ O ₃	0,15
Humus	0,40
Odun	0,42

Görüldüğü gibi, toprakta en çok bulunan maddelerden kuvars'ın özgül ısısı en düşüktür. Humus ise su hariç en yüksek ısıya sahiptir. Alüminyum silikatlar, kaolin, kuvars'tan biraz daha yüksek özgül ısıya sahiptir. Toprakların çoğunda en önemli yapı maddeleri kuvars, kil mineralleri, humus ve sudur. Buna göre humus ve su, toprağı su ile doymun hale getirmek suretiyle özgül ısıda değişimlere neden olmaktadır.

Isı ışınlarını adsorbe etme ya da yansıtma gücü toprak rengine göre değişiktir. Açık renkli topraklar ısı ışınlarını kolayca yansıtır. Bu yüzden toprağın hemen üstündeki hava kolayca ısındığı halde, toprak sıcaklığı düşük olur. Koyu renkli topraklar ısı ışınlarını adsorbe eder ve bu yüzden topraklar sıcak olur. Aynı yerdeki koyu ve açık renkli iki toprağın yazın sıcaklık farkları 15-20 °C'ye kadar çıkabilir (Genç, 1988).

Rengin toprak sıcaklığına etkisini inceleyen ilk araştırmacılardan biride Schübler (1878)'dir. Akalan'ın yaptığı bir araştırmada bu araştırmacı 100 cm³'lük çeşitli toprak yüzeyini beyaz renkli topraklar MgCO₂ ve siyah renkli cam kurumu ile örtmüş ve bunların

sıcaklığını ölçmüştür. Beyaz ve siyah yüzeyle topraklarda 8 °C'lik sıcaklık farkı bulunmuştur (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Toprak rengi ile sıcaklık arasındaki ilişkiler (Akalan, 1983)

Toprak Tipi	Tabii Renk (°C)	Beyaz Yüzey (°C)	Siyah Yüzey (°C)
Sarımsı gri kuvars kumu	7,0	6,1	10,3
Beyazımsı gri kuvars kumu	6,8	6,1	10,5
Sarı kil	6,6	5,7	9,7
Tın	6,8	5,6	9,6
Siyahımsı gri humus	8,4	5,8	9,5
Siyahımsı gri bahçe toprağı	7,2	5,7	10,3

Toprak sıcaklığının değişimi toprak rutubetinin değişimine ve toprakta su dengesinin oluşumuna önemli etki yapmaktadır. Toprakta suyun taşınım potansiyeli, toprak sıcaklığı ve rutubetinin bir fonksiyonudur. Gözenekli bir yapıya sahip olan toprakta suyun buharlaşarak taşınımı sıcaklık değişimi sonucunda oluşmaktadır. Toprak profilindeki su buharı geceleri alt katmanlardan daha soğuk olan üst katmanlara doğru hareket etmektedir. Toprak nemi ve sıcaklık değişimleri arasındaki nicel bağımlılık, topraklar arasında farklılık göstermektedir. Bazı topraklarda 1°C/cm sıcaklık farklılığı, toprak neminde 0,1244 g/cm³ değişim oluşturmaktadır (Gerayzade, 1989). Sıcaklık ve rutubet arasındaki bu karşılıklı ilişki göz önüne alınarak, farklı tekstürdeki toprakların, bazı gıda maddeleri ve çeşitli malzemelerin, ısı ve nem taşınım katsayıları belirlenebilmektedir (Babyev, 1956; Gamayunov, 1960).

Toprak nemi ise ısı iletkenliğinde en önemli faktörlerden biridir. Toprağın nem kapsamı, yüzeydeki ani sıcaklık artışlarını önlerken bununla beraber, toprak nemi ısı iletkenliğini artırmaktadır.

Kütle esasına (ağırlık esasına göre) toprak neminin (suyun) ölçülmesi çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, kurutma ve tartma veya “gravimetrik su miktarı” ya da

“ağırlık cinsinden su” yöntemi olarak bilinir. Arazide her 10 cm’lik katmanı temsil edecek biçimde yaklaşık ortasından, burgu ile alınan 100–150 g civarındaki bozulmuş toprak örneği, mümkün ise hemen arazide, değil ise nem kaybı önlenecek biçimde laboratuara getirilerek tartılır ve yaş ağırlığı belirlenir. Daha sonra örnekler kurutma fırınına konarak, 105 °C’de 24 saat bekletilir ve tartılarak kuru ağırlıkları saptanır. Kurutma işlemi, birbirini izleyen iki tartım arasındaki farkın en az % 0,1 “değişmez kütle” ye ulaşana kadar devam edilmesi gerekmektedir. Sabit kütleye ulaşmak için toprakların çoğunu 16 saat ile 24 saat arasında kurutmak yeterlidir. Fakat bazı toprak tipleri ve çok nemli örneklerin kurutulmaları için daha uzun süre gerekli olabilmektedir (Richards, 1954; Yeşilsoy ve ark., 1991; Uytun ve ark., 2013).

Hacmi 100 cm³ olan çelik silindirlerle alınan bozulmamış toprak örnekleri etüvde 105°C’de 24 saat kurutulup, fırın kuru toprağın ağırlığı ($m_2 - m_0$) toplam silindir hacmine (V_s) bölünerek bulunur (Richards, 1954; Blake and Hartge, 1986).

Toprağın termal özellikleri: termal iletkenlik, özgül ve hacimsel ısı tutumu ve termal yayılım olarak ifade edilebilir. Bu özellikler, toprağın bazı fiziksel verilerinden, toprakta ısı hareketinin denkleminin çözümlerini kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Toprağın ısısal özelliklerinin belirlenmesi konusunda çok sayıda teorik ve deneysel araştırmalar yapılmıştır (Yeşilsoy, 1975; Hadas, 1977; Kurtener and Chudnovskii, 1979; Gerayzade, 1982, 1989; Horton, 1982; De Vries and Philip, 1986; Juri *et al.*, 1991; Nassar *et al.*, 1992; Marinova, 1993; Sarıyev ve Gülüt, 1995b; Mihalakakou *et al.*, 1997; Sarıyev ve ark., 1998; Barik, 2002; Ekberli ve ark., 2002; Mihalakakou, 2002; Gülser ve Ekberli, 2004; Shein, 2005, 2007; Shein and Goncharov, 2006; Mikayilov and Shein, 2008; Yılmaz, 2008; Gao *et al.*, 2009; Mikayilov, 2009a, 2009b; Mikayilov and Shein, 2010; Şımarmaz, 2010; Mikayilov and Erol, 2015; Erol, 2016; Mikailsoy, 2017; Mikailsoy *et al.*, 2019)

Toprakta, iki ana ısı transfer süreci vardır. Bunlardan birincisi termal kondüksiyon, ikincisi ise konveksiyondur. Isı eğimindeki farklılıklardan dolayı, sabah erken saatlerde toprak içerisine doğru bir ısı akımı söz konusu iken, öğleden sonra ve akşam saatlerinde ise toprağın derinliklerinden yüzeye doğru bir ısı akımı söz konusu olmaktadır (Hadas, 1977).

Horton and Wierenga (1983), toprak yüzeyine yakın 2 veya 3 derinlikte toprak ısı akısının hesaplanması için toprak su içeriği ve sıcaklık ölçümlerini kullanarak bir yöntem açıklamışlardır. Yöntem, Fourier serileri ile tanımlanan yarı sonsuz homojen toprak profilinde ısı akısının analitik çözümünde kullanılmıştır. Homojen yapı içeren bir toprakta, iki derinlikte sıcaklık ölçümlerine dayalı hesaplanan ısı akı değerleri ile integral sıcaklık metodu ile belirlenen ısı akı değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. En iyi uyum, toprak yüzeyine çok yakın derinlikte (≤ 1 cm) başarılmıştır. Araştırmacılar toprak profilinin homojen olmadığı koşullarında iki derinlikte sıcaklık ölçümünden ziyade 3 derinlikteki ölçümlerin dikkate alınması gerekliliğini savunmuşlardır. Isı akışının hesaplanmasında kullanılan analitik çözümün, bütünüyle homojen olmayan topraklarda uygulanabilir olmamasına karşın çalışmada amaçlanmış yöntemle bulunan ısı akı değerleri, sıcaklık integral alma yöntemi ile hesaplanan değerlerle bir uyum içerisinde bulunmuştur.

Horton *et al.*, (1983); toprak sıcaklık değerlerini kullanarak altı farklı yöntemde toprağın 10 cm ve üstü için termal difüzyon katsayılarını hesaplamışlardır. Bu altı yöntemin uygunluğunu belirlemek amacıyla; elde edilen sonuçlar ve hesaplamaları yapmak için gerekli olan verilerin miktarı ve kalitesi analiz edilmiştir. Yöntemlerden genlik, faz, arctanjant ve logaritma gibi fonksiyonlarla termal difüzyon katsayısının hesaplanmasında kullanılabileceği ifade edilmiştir. Genellikle termal difüzyon katsayısı hesaplamaları, değişkenlik ve kararsızlık içermektedir. Oysaki çok sayıda sıcaklık ölçümlerinin kullanıldığı sayısal ve harmonik yöntemler termal difüzyon katsayısının çözümünü doğru ve tam yapan hesaplamalar sağlamıştır. Hava durumunun kötü olduğu koşullarda bile her iki yöntemin tahmin etme kabiliyeti oldukça yüksek olmuştur. Genelde sayısal yöntemin uygulanabilmesi için; 3 derinlikte her gün saat 12:00 ve 24:00'deki sıcaklık ölçümlerine gereksinim varken; harmonik yöntem için iki derinlikte saat 8:00 ve 12:00'deki sıcaklık ölçümlerine gereksinim duyulduğu belirtilmiştir.

Kluitenberg and Horton (1990), iki boyutlu termal iletkenlik denkleminin tam analitik çözümünü geliştirmişlerdir. Toprak yüzey sıcaklığının zaman ile sinüzoidal bir dalga şeklinde değişim gösterdiğini ifade etmişler; sıcaklık, genlik, indirgenme fonksiyonları gibi kavramları açıklamışlardır.

Nassar and Horton (1990), yapmış oldukları çalışmada, her bir toprak katmanında sıcaklık ölçmüşlerdir. Daha sonra çoklu harmonik analizinden elde edilmiş termal difüzyon hızına ait harmoniklerin birleştirilmesi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Yeni yöntemde, toprak sıcaklık gözlemlerine varyans ve Fourier analizi uygulanmıştır. İlk önce, sıcaklık ölçümleri Fourier serisine uyarlanmıştır. Daha sonra, üniform olmayan toprak koşullarında her bir harmonik için termal difüzyon hızı değerleri toprak ısı iletim analizi (nonuniform soil heat-transfer analysis) kullanılarak hesaplanmıştır.

Sarıyev ve ark. (1998), toprak sıcaklığının zaman ve derinliğe bağlı olarak matematiksel modellenmesi ve deneysel araştırılması konusunda bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, toprak sıcaklığını ve onu etkileyen toprağın termal parametreleri ve bu parametrelere bağlı olan katman sıcaklıklarının belirlenebilmesi için, genel fizik kurallarına dayalı bir matematiksel yaklaşım ortaya koymuşlardır.

Gülser ve Ekberli (2004), tarafından yürütülen çalışmada, killi toprağa ait günlük toprak sıcaklık değişimleri belirlenmiş ve ölçümlerin yapıldığı dönem içinde sıcaklıklar kosinüsoidal harmonik denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Genlik, ısı yayılımı, sönme derinliği (damping depth) ve gecikme süresi (retardation time) gibi toprağın bazı termal özellikleri 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 cm toprak derinliği için hesaplanmıştır. En yüksek genlik 12.31 °C ile toprak yüzeyinde bulunmuştur. Ayrıca daha derin toprak katmanlarına inildikçe ısı yayılımı, sönme derinliği ve gecikme süresi toprak yüzeyi ile karşılaştırıldığında artış göstermiştir. Çalışılan toprak ve sınır koşulları altında denklemin geçerliliği kanıtlanmıştır.

Yılmaz (2008), yaptıkları çalışmada, araziden alınan toprak örnekleri kolonlara doldurularak toprak katmanları arasındaki termal iletkenliğin hesaplanması için Elimko E680 cihazıyla ölçümler yapılmıştır. Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinden faydalanarak, ısıl özellikleri modelleme yardımıyla belirlenmiştir. Ölçüm değerleri ile termal iletkenliğin matematiksel modeli arasında uyumlu ilişki bulunmuştur. Toprak kolonunda sıcaklık dalgalarının genliklerinin gözlemlenmesine dayanarak termal yayılım parametresinin hesaplanması sonucunda, toprağın derinliğe göre sıcaklık değişiminin modellenmesinde ısı iletkenliği denkleminin kullanılmasının uygun olduğunu belirtilmiştir.

Bilgili (2010), Adana ilinde ölçülen bazı aylık ortalama meteorolojik değişkenleri kullanarak içinde bulunulan ayın ortalama toprak sıcaklığını tahmin etmek için bir yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir. Bunun için, Adana Meteoroloji İstasyonu'nda 2000 ve 2007 yılları arasında ölçülen toprak sıcaklığı ve diğer meteorolojik veriler kullanılmıştır. Toprak sıcaklıkları Türkiye Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yer seviyesinden 5, 10, 20, 50 ve 100 cm derinliklerde ölçülmüş, üç katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı yapısı oluşturularak bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Modelin performansı, ölçülen toprak sıcaklığı değerleri ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlara göre, toprak sıcaklığının tahmin edilmesi için yapay sinir ağı yaklaşımının çok uygun bir model olduğunu göstermişlerdir.

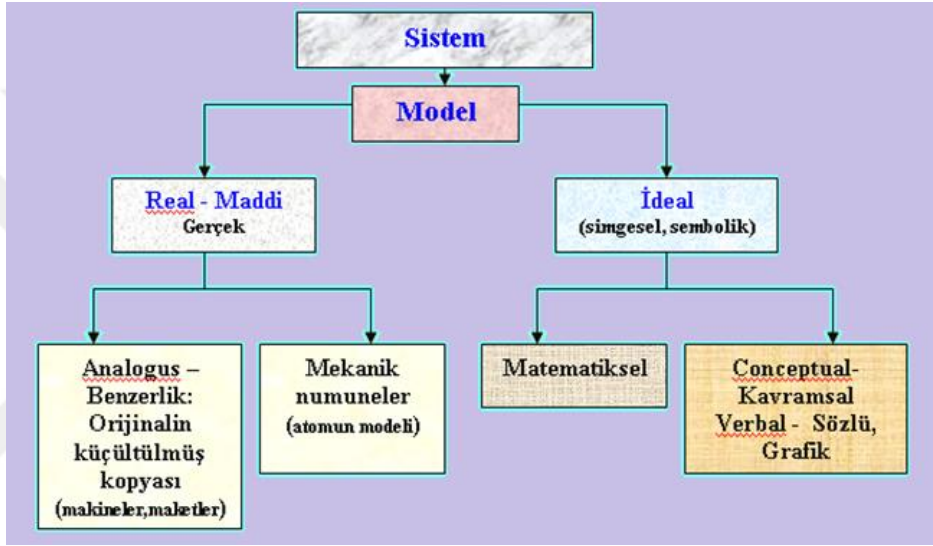
şırmamaz (2010), Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme arazisinin ısasal özelliklerinin belirlenmesi, toprağın bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinden faydalanarak, ısasal özelliklerin matematiksel modelleme yardımıyla değerlendirilmesi ve profil derinliğinde ısasal özelliklerin toprak sıcaklığının bir fonksiyonu olarak değişiminin incelenmesi amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Araziden alınan toprak örnekleri kolonlara doldurularak yapılan bu çalışmada Toprak katmanlarındaki sıcaklık ölçümleri Elimko E680 cihazı ile yapılmıştır. Topraklarının ısasal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan katmansal yöntemlerin, oldukça basit ve kullanışlı olmalarına rağmen, toprak yüzey bölgesinin ısasal özelliklerini tam olarak içermediği için, bu yöntemlerin bir eksikliği olarak ortaya konulmuştur. yapılan çalışmalar sonucunda yeni oluşturulan matematiksel modellerin toprak sıcaklık değişimini belirlemek için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Daha ayrıntılı araştırmaların yapılması için toprakta ısı hareketinin matematiksel modellenmesi konusunda bilgilerin geliştirilmesi, matematik modellemenin ne ifade ettiğinin ve modellerin en iyisinin seçilmesinin bilinmesi önem arz etmektedir.

Model Kavramı: Karmaşık yapıya sahip sistemlerin (varlıkların, süreçlerin, cisimlerin, olayların) incelenip araştırılmasını ve anlaşılmasını kolaylaştırmak için, gerçeğe uygun bir takım kanun ve kurallara (fiziksel, kimyasal, biyolojik, jeolojik vs.) dayanan

varsayımlarla basitleştirilmiş haline *model* denir. Tarımda deneyler yapılan parseller arazinin küçültülmüş modelidir.

Modellerin sınıflandırılması: İncelenmesi gereken sistemlerin özelliklerine ve araştırma amaçlarına bağlı olarak oluşturulacak modellerde farklı olurlar. Modellerin genel tasnifi Şekil-2.2’de verilmiştir (Şımarmaz, 2010).



Şekil 2.2. Modellerin genel tasnifi

Matematiksel bir model, en genel anlamıyla, herhangi bir sistemin veya bir sürecin ana özelliklerini matematik terimlerle ve simgelerle ifade eden bir eşitlik veya formül olarak tanımlanabilir.

Modellerin seçilme kriterleri: Matematiksel modellemenin-modelin tanılanması, seçilmesi, uygunluk sınaması gibi gerekli aşamaları içerisinde önemli olan en uygun modelin seçilmesidir. Bu aşamada sürecin biyo-kimyasal ve fiziksel yapısına uygun olduğu belirlenen modeller arasından, incelenen sürece en uygun olan modelin belirlenmesi işlemi yapılmaktadır. İster teorik istersede deneysel modellerin verilere uygun olması ve bununla birlikte tahmin başarısının da çok iyi olması gerekmektedir. Bir başka deyimle en uygun olan modelin seçilmesi oldukça önem arz etmektedir.

İyi bir modelin kurulabilmesi tamamen doğru değişkenlerin seçimine, araştırılacak süreci ifade edecek en uygun biyo-fiziksel ve fiziko-kimyasal kuramlara göre geliştirilmesine

dayanmaktadır. Model seçiminde kullanılan bilgi ölçütleri, veri setlerinin üretilmesi aşamasında değil; analiz sonuçlarının yorumlanması aşamasında devreye girmektedir.

Modeller arasında seçim yapmak için bir yöntem de belli bir ölçüyü temel almaktır. En yaygın temel ölçüt olarak Kalıntı Kararlar Toplamı (ESS- Estimate Sum of Square) olarak adlanan aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır:

$$ESS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.1)$$

Modellerin tahmin başarılarının kıyaslanması amacıyla çeşitli değerlendirme ölçütleri kullanılmaktadır.

Araştırmacılar tarafından başvurulan yaygın ‘model seçim ölçütleri’ şunlardır:

No	Ölçütlerin adları	Simgeleri
1	Determinasyon Katsayısı, %	R^2
2	Düzeltilmiş R-Kare, %	R^2_{adj}
3	Tahminin Standart Hatası (RMSE T in t)	σ
4	Mutlak Yüzde Hata Ortalaması (MAPE) , %	A
5	Anlaşma Endeksi	D
6	2.Theil Tahmin Doğruluğu Katsayısı veya Normalleştirilmiş Standart Hata	UII
7	Akaike Bilgi Kriteri	AIC

Bu ölçütlerin çoğunluğu kalıntı kareler toplamı’nı minimuma indirmeye dayanır.

Toprak sıcaklığının modellenmesinde ve en uygun olan modellerin belirlenmesinde araştırmalarda yaygın olarak kullanılan ölçütleri aşağıdaki şekilde açıklayabiliriz (Tusat and Mikailsoy, 2018).

1. Determinasyon katsayısı (R^2):

$$R^2 = 1 - ESS / TSS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.2)$$

R^2 ’nin yorumlanmasındaki zorluklardan kaçınmak için, bazı araştırmacılar düzeltilmiş R^2_{adj} ’yi kullanmayı tercih etmişlerdir (Haitovski, 1969).

2. Düzeltilmiş R-kare ölçütü (R^2_{adj}):

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{ESS}{TSS} \cdot \frac{n-1}{n-p} = 1 - (1 - R^2) \cdot \frac{n-1}{n-p} \quad (2.3)$$

3. Ortalamanın standart sapması ($\sigma_{T/t}$) (RMSE: Root Mean Squared Error)

$$RMSE = \sigma_{y/x} = \begin{cases} \sqrt{\frac{ESS}{n-p-1}} & n \leq 30 \\ \sqrt{\frac{ESS}{n-p}} & n > 30 \end{cases} = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{n-p-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2} & n \leq 30 \\ \sqrt{\frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2} & n > 30 \end{cases} \quad (2.4)$$

4. **Mutlak Yüzde Hata Ortalaması** (MAPE-Mean absolute percentage error): Ortalama Yüzde Hata modeli temel performans ölçütü olarak kabul edilir.

$$A = MAPE = \% 100 \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \tilde{y}_i}{y_i} \right| \quad (2.5)$$

Bulunan A değeri $<10\%$ ise sonuç iyi, A değeri $>10\%$ ise sonuç iyi değildir.

5. **Uyumluluk indeksi (D)** (Agreement index): Ölçülen değerler ile ilgili olarak modellenen toprak sıcaklığının doğruluğunu gösterir (Willmott, 1981):

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n \{ |y_i - \bar{y}| + |\tilde{y}_i - \bar{y}| \}^2} \quad (2.6)$$

İndeks 0 ile 1 arasında değişir. 1'de mükemmel uyum olduğu anlaşılır.

6. **Theil'in Tahmini Doğruluk Katsayısı**: Henry Theil (1966) model seçim ölçüt formülleri (U1, U2 ve U3) önermiştir:

$$U2 = \sqrt{ESS} / \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (2.7)$$

Bu değer 0 ve 1 arasında olur. Değer 0 olursa, mükemmel öngörü performans anlamına gelir.

7. **Akaike Bilgi Ölçütü (AIC)**: Bu ölçüt Akaike tarafından geliştirmiştir (Akaike, 1974):

$$\mathbf{AIC} = \begin{cases} \ln\left(\frac{ESS}{n}\right) + \frac{2p}{n}, & (n/p \geq 40) \\ \ln\left(\frac{ESS}{n}\right) + \frac{2p(p+1)}{n-(p+1)}, & (n/p < 40) \end{cases} \quad (2.8)$$

AIC ne kadar küçükse modelin uygunluğu da o kadar iyidir. (2.1)-(2.8) eşitliklerindeki işaretlemeler aşağıdaki gibi ifade edilir:

Burada, $TSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ - toplam ortalamalar karesi (Total Sum of Square); n — bağımsız x_i değişkenlerinin ölçüm sayıları; p — modelin parametrelerinin sayıları; y_i — gözlemlenen bağımlı değişkenin (sıcaklık) değerleri; \tilde{y}_i — bağımlı değişkenin modele göre hesaplanmış (tahmin edilen sıcaklık) değerleri, \bar{y} — bağımlı değişkenin ortalama değeridir.

Toprakta ısıhareketinin matematiksel modeli. Toprak ve başka ortamlarda sıcaklık değişimini değerlendirmek için dâhil edilen ısı iletkenliğinin diferansiyel denkleminin yapılmasının teorik temelini enerjinin korunması kuralı oluşturmaktadır.

Üç boyutlu heterojen-izotrop bir ortam içinde zamana ve mekâna göre ısı hareketini tanımlayan ve Fourier denklemi olarak adlandırılan kısmi türevli parabolik denklem aşağıdaki biçimde ifade edilir (Carslaw and Jaeger, 1959):

$$\rho_b C_m \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \varphi \quad (2.9)$$

Burada, $\partial T / \partial x$, $\partial T / \partial y$, $\partial T / \partial z$ — ox , oy , oz eksenleri doğrultusundaki sıcaklık değişimini; $\partial T / \partial t$ — birim zamandaki sıcaklık değişimini; C_m — özgül ısı kapasitesini; ρ_b — hacim ağırlığını; λ — termal iletkenliği; φ — ısı kaynağını göstermektedir.

Yapılmış denemeler sonucunda (Chudnovcki, 1948, 1962, 1967, 1976; Carslaw and Jaeger, 1959; vb) sıcaklığının $-50 + 50$ °C arasında değiştiği durumlarda, toprağın önemli özellikleri olan: hacim ağırlığı, hacimsel ısı kapasitesi ve termal iletkenlik parametresi için $\partial \rho_b / \partial T \approx 0$, $\partial C_m / \partial T \approx 0$, $\partial \lambda / \partial T \approx 0$ eşitliklerinin var olduğu gösterilmiştir.

Yapısı ve özellikleri, ısının yayıldığı her yönde sabit olan ortamlara izotrop ortam denir. Termik özellikleri (hacimsel ve özgül ısı kapasitesi ve termal iletkenlik parametresi) sıcaklığa göre değişmeyen toprak kvazi-homojen bir ortamdır. Böyle bir toprak ortamındaki ısı hareketinin büyük bir kısmı iletim yoluyla gerçekleşmektedir (Chudnovski, 1948).

İçinde ısı üreten bir kaynağı bulunmadığı kvazi-homojen-izotrop toprak ortamda, termal iletkenlik tanımlayan ve yaygın olarak kullanılan bir boyutlu denklem aşağıdaki biçimdedir (Chudnovski, 1948; Carslaw and Jaeger, 1959; Yeşilsoy ve Aydın, 1995).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \left(\kappa = \frac{\lambda}{C_v} \right), \{0 < z < L \text{ ve } \infty; t > 0\} \quad (2.10)$$

Burada, κ – Termal difüzyon; $C_v = \rho_b C_m$ – hacimsel ısı kapasitesidir.

Topraktaki ısı hareketi modelinin analitik çözümleri: Sıcaklık dalgalarının toprakta yayılması problemi ilk defa Fransız bilim adamı Fourier tarafından ayrıntılı olarak incelenerek birçok doğa olaylarını açıklamak için geliştirdiği matematiksel termal iletkenlik teorisi oldukça önemli olmaktadır.

Toprakta sıcaklık değişiminin esas nedeni olan güneş ışınlarının etkisi ile profildeki sıcaklık değişimini derinliğe ve zamana göre belirlemek için, toprakta ısı hareketini ifade eden modelin (2.10), topraktaki gerçek termal iletim sürecini en uygun yansıtan (başlangıç ve sınır) koşullarına göre analitik veya sayısal çözümlerinin bulunması gerekiyor.

Toprak yüzeyine doğru olan ısı akımının sayesinde sıcaklığın değişimi birçok kez tekrarlanıyor ve başlangıç sıcaklığın etkisi yok saydığımız başka faktörlerin (örneğin, toprağın heterojen oluşu) etkisine göre oldukça küçüktür. Bu nedenle, (2.13) numaralı denklem başlangıç koşulu göz önüne alınmadan veya sıfır kabul edilerek çözümlenebilir (Carslaw and Jaeger, 1959; Tikhonov and Samarskiy, 1966; Kakaç, 1998; Mikayilov, 2009; Mikayilov and Shein, 2010). Bir başka deyimle, profilinin başlangıç anındaki sıcaklık dağılımının etkisi **başlangıç koşul** olarak bilinen ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilen:

$$T(z, t = 0) = f(z) \quad (2.11)$$

Koşul göz ardı edilir.

Toprak yüzeyinde, yani $z=0$, günlük (aylık, yıllık) sıcaklık değişimini ifade eden ve 1. Sınır Koşulu olarak bilinen koşul zamanın bir fonksiyonu olarak, aşağıdaki biçimde yazılır (Chudnovcki, 1948; Carslaw and Jaeger, 1959; vb):

$$T(z = 0, t) = \varphi(t) \quad (2.12)$$

Burada $\varphi(t)$ toprak yüzeyi sıcaklığının zamana göre değişimini ifade eden bir fonksiyondur.

Yeryüzünün sıcaklığının günlük, aylık ve yıllık olmak üzere belirgin bir periyodik karakteri vardır. Bu nedenle, toprak yüzeyinin sıcaklığının zamana bağlı olarak değişimi Fourier tarafından önerilen sinüzoidal olarak belirlenmişse, toprak yüzeyinde birinci sınır koşulu olarak aşağıdaki eşitlik ele alınır (Carslaw and Jaeger, 1959):

$$\varphi(t) = T_0 + T_a \cos(\omega t + \varepsilon) = T_0 + A \cdot \cos(\omega t) + B \cdot \sin(\omega t) \quad (2.13)$$

Burada; T_0 – toprak yüzeyinin ortalama (günlük, yıllık) sıcaklığı; T_a – toprak yüzeyinin ortalama sıcaklığından olan maksimum değişimi ifade eder, dalga genliği; $\omega = 2\pi / \tau_0$ – açısal frekanstır. ω 'ya bazen dalga sayısı veya sıklığı da denir. Açısal frekansın katlarına ise armonikler denir; τ_0 – periyod veya dalga uzunluğu olup, dalganın bir döngüsünün tamamlanması için gerekli olan zamandır (gün, yıl); t – zaman (gün, yıl); ε – faz farkı olup (2.13) eğrisinin apsis eksenine göre kaymasını gösterir.

Toprak profili yüzeyindeki sınır koşuluna benzer olarak profilin $z=L$ derinliğinde de birinci ve ikinci sınır koşulları verilebilir. Toprak sıcaklığı dalgasının salınımı profil derinliği derinlik arttıkça tedricen azalıyor ve belli bir $z \geq L$ derinlikten sonra sıcaklık değişmiyor. Bu durum birinci sınır koşulu olarak bilinen (Chudnovcki, 1948; Carslaw and Jaeger, 1959; vb):

$$T(z = L, t) = T_0 \quad \text{veya} \quad T(z \rightarrow \infty, t) = T_0 \quad (2.14)$$

veya ikinci sınır koşulu olarak tanımlanan aşağıdaki biçimde yazılır:

$$\partial T(z = L, t) / \partial z = 0 \quad \text{veya} \quad \partial T(z \rightarrow \infty, t) / \partial z = 0 \quad (2.15)$$

Homojen ortamdaki ısı hareketini ifade eden bir boyutlu (2.10) nolu modelinin toprak profilinin yüzeyinde ($z=0$) (2.13) ve toprak profilinin belli bir derinliğindeki ($z=L$ veya ∞) sınır koşullarını göz önüne alan birçok analitik ve sayısal çözümleri bulunmuştur (Chudnovcki, 1948, 1976; Carslaw and Jaeger, 1959; Horton, 1982; Mikayilov, 2009, 2010).

Bu çözümler iki amaçla toprak biliminde sık sık kullanılmaktadır: toprak profildeki sıcaklık deyerlerinin tahmini ve termal yayınım parametresinin hesaplanması.

En çok kullanılan çözüm, toprak yüzeyindeki sınır koşulunun 1 harmonili cosinus eğrisi (2.10) ile ve toprak profilinin çok derinliğinde ($z \rightarrow \infty$) sıcaklığın $T(z \rightarrow \infty, t) = T_0$ gibi tanımlanması halinde, aşağıdaki gibi olmaktadır (Carslaw and Jaeger, 1959):

$$T(z, t) = T_0 + T_a \cdot e^{-\frac{z}{d}} \cos \left(\omega t - \frac{z}{d} + \varepsilon \right) \quad (d = \sqrt{2\kappa/\omega}) \quad (2.16)$$

Burada; $d = \sqrt{2\kappa/\omega}$ – sıcaklık dalgasının sönme derinliğidir.

(2.16) çözümünü boyutsuz değişkenler ve parametrelere göre aşağıdaki gibi yazalım:

$$T(y, \tau) = T_0 + \Phi_a(y, b) \cdot \cos \left[\bar{\omega}\tau + \varepsilon - \psi(y, b) \right] \quad (2.17)$$

Burada, $y = z/L$, $\tau = \kappa t/L^2$, $\bar{\omega} = \omega L^2/\kappa$, $b = L\sqrt{\pi/\tau_0\kappa}$, $\psi(y, b) = by$, $\Phi_a(y, b) = T_a \cdot e^{-by}$

(2.10) denklemin (2.13) ve (2.15) koşullarına göre bulunmuş analitik çözümün (Mikayilov, 2009; Mikayilov ve Shein, 2008) boyutsuz değişkenlere ve parametrelere göre ifadesi (2.17) biçiminde olup, sadece $\psi(y, b)$ ve $\Phi_a(y, b)$ – ifadeleri aşağıdaki gibidir:

$$\Phi(b, y) = T_a \sqrt{\frac{\mathbf{ch}(d) + \cos(d)}{\mathbf{ch}(2b) + \cos(2b)}}, \quad d = 2b(1-y) \quad (2.18)$$

$$\psi(y, b) = \arctan \left[\frac{\mathbf{sh}(q) \sin(by) + \mathbf{sh}(by) \sin(q)}{\mathbf{ch}(q) \cos(by) + \mathbf{ch}(by) \cos(q)} \right], \quad q = b(2-y)$$

Burada, $\mathbf{ch}(z)$ ve $\mathbf{sh}(z)$ – sırasıyla, hiperbolik kosinüs ve hiperbolik sinüs lardır.

Pedotransfer fonkiyonlardan toprağın ısısal özellikleri: özgül ve hacimsel ısı kapasitesi, termal iletkenlik, termal yayınım, sönme derinliği ve ısı adsorbe olarak ifade edilebilir. Bu özellikler, toprağın bazı fizik-kimyasal verilerinden, matematik modeller kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Toprağın termal yayınım (κ) parametresinin hesaplanması toprak sıcaklığının laboratuvar ve arazi koşullarında gözlemlenmesi sonuçlarına göre belirlenir. Bu parametrenin bulunması için yaygın olarak kullanılan yöntem, arazi deneme verilerine dayanarak, toprakta termal iletkenliği denkleminin analitik çözümlerinden elde edilen

formüllerin uygulanmasıdır. (2.10) nolu denklemin (2.13) ve (2.14) nolu sınır koşullarına göre bulunmuş (2.17) nolu çözümüne dayanarak elde edilen aşağıdaki klasik (katmansal) metotlar, termal difüzyon parametresini hesaplamak için kullanılır.

Metot-1. Sıcaklık Dalgasının Genliğini İçeren Algoritma: Termal yayılım parametresi (κ) aşağıdaki eşitlikten bulunur (Carslaw and Jaeger, 1959)

$$\kappa = \frac{\omega}{2} \cdot \frac{(z_2 - z_1)^2}{\ln^2 \left[\frac{T_{\max}(z_1) - T_{\min}(z_1)}{T_{\max}(z_2) - T_{\min}(z_2)} \right]} \quad (2.19)$$

Burada; $T_{\min}(z)$ ve $T_{\max}(z)$ – toprak profilinin $z=z_1$ ve $z=z_2$ derinliklerindeki minimum ve maksimum sıcaklıkları; τ_0 –sıcaklık dalgasının periyodudur (örneğin, günlük gözlemler için $\tau_0 = 24$ saat).

Metot-2. Sıcaklık Dalgasının Faz Kayması İçeren Algoritma: Bu metot, toprak profilinin iki farklı $z=z_1$ ve $z=z_2$ derinliklerinde faz kaymalarının (ϕ_1 ve ϕ_2) değerlerinin belirlenmesine dayanır ve κ aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (Nerpin and Chudnovskii, 1967a,)

$$\kappa = \frac{\pi}{\tau_0} \left(\frac{z_1 - z_2}{\phi_2 - \phi_1} \right)^2 \quad (2.20)$$

Metot-3. Arktanjan İçeren Algoritma: κ parametresinin bulunması için geliştirilmiş diğer formül (Kaganov and Chudnovsky, 1953; Nerpin and Chudnovskii, 1967a):

$$\kappa = \frac{0,5 \cdot \omega (z_2 - z_1)^2}{\arctan^2 \frac{[T_1(z_1) - T_3(z_1)][T_2(z_2) - T_4(z_2)] - [T_2(z_1) - T_4(z_1)][T_1(z_2) - T_3(z_2)]}{[T_1(z_1) - T_3(z_1)][T_1(z_2) - T_3(z_2)] + [T_2(z_1) - T_4(z_1)][T_2(z_2) - T_4(z_2)]}} \quad (2.21)$$

(2.21) eşitliğinde: $T_i(z_1)$ ve $T_i(z_2)$ –toprak profilinin $z=z_1$ ve $z=z_2$ derinliğindeki ve zamanın $t_i = i \cdot \tau_0 / 4$ ($i=1,2,3$ ve 4) (örneğin, $\tau_0 = 24$ saat için, $t_1=6$, $t_2=12$, $t_3=18$ ve $t_4=24$ saat) anlarındaki sıcaklık değerleridir.

Metot-4. Logaritma İçeren Algoritma: Metot-3 için yukarıda yapılan varsayımı kullanarak, Kolmogorov (1950) tarafından κ için aşağıdaki eşitlik elde etmiştir.

$$\kappa = \frac{4\pi \cdot (z_2 - z_1)^2}{\tau_0 \cdot \ln^2 \left\{ \frac{[T_1(z_1) - T_3(z_1)]^2 + [T_2(z_1) - T_4(z_1)]^2}{[T_1(z_2) - T_3(z_2)]^2 + [T_2(z_2) - T_4(z_2)]^2} \right\}} \quad (2.22)$$

Toprak termal yayılım katsayısının hesaplanması için yukarıdaki tüm denklemler farklı derinliklerde ve zamanda toprak sıcaklığının deneysel olarak ölçülmesini gerektirir.

Toprak profilinde ısı hareketini daha gerçekçi ifade eden sınır koşuluna (2.15) göre geliştirilmiş yöntemler, toprak katmanları arasındaki sıcaklıklarının deyerlerinin ölçülmesi ile termal iletim katsayısının belirlenmesi yöntemine tercih edilen metodlardır. Toprağın belirli bir derinliğindeki toprak sıcaklığını ölçüm değerinin kullanılması esasına dayanmakta ve noktasal metod denilmektedir (Mikayilov, 2009; Mikayilov and Shein, 2010; 2013).

Noktasal algoritma-1. $T(\infty, t) = T_0$ olduğunda termal yayılım değerinin hesaplanması. toprak profilinin yüzey bölgesinin havasını sıcaklığının genliğini (T_a) ve belli bir $z=z^*$ derinliğinin (notasının) farklı t_i ($i=1, 2, 3$ ve 4) zamanlarda ölçülmüş sıcaklık değerlerinin T_i (z^*) aşağıdaki eşitlikte kullanılarak Termal Difüzyon parametresi hesaplanır:

$$\kappa = \frac{\pi}{\tau_0} \cdot \frac{(2z^*)^2}{\ln^2 \left\{ \sum_{i=1}^2 \left[T(z^*, t_i^*) - T(z^*, t_{i+2}^*) \right]^2 / 4T_a^2 \right\}} \quad (2.23)$$

Örneğin, eğer $\tau_0=24$ saat ise $\tau_0^* = 24$ saat, ise; $t_i=6, 12, 18$ ve 24 saat olarak seçilir.

Noktasal algoritma-2. $\partial T(L, t)/\partial x = 0$ olduğunda Termal Difüzyonun değerinin hesaplanması. **Noktasal algoritma-1** yönteminde olduğu gibi, toprak profilinin yüzey bölgesinin havasını sıcaklığının genliğini (T_a) ve belli bir $z=z^*$ derinliğinin (notasının) farklı t_i ($i=1, 2, 3$ ve 4) zamanlarda ölçülmüş sıcaklık değerlerinin T_i (z^*) kullanarak önce

$$\mathbf{M}^*(y; b) = \frac{[T(y, t_3) - T(y, t_1)]^2 + [T(y, t_4) - T(y, t_2)]^2}{4T_a^2} = \frac{\sum_{i=1}^2 [T(y, t_{i+2}) - T(y, t_i)]^2}{4T_a^2}$$

İfadesinin sayısal $\mathbf{M}^*(y, b)$ değeri bulunur. Daha sonra bulunmuş bu değeri bilgisayar programında b^* değerine uygun rakamlar verilerek

$$\mathbf{M}^*(y; b) = \frac{\mathbf{ch}[2b(1-y)] + \cos[2b(1-y)]}{\mathbf{ch}(2b) + \cos(2b)}$$

Eşitliğini sağlayacak b^* değeri bulunur. Bu değeri $b^* = \sqrt{\omega L^2 / 2\kappa}$ ifadesinde kullanarak belli $z=z^*$ derinlikteki termal difüzyon katsayısının κ değerini buluruz:

$$\kappa = \frac{\pi}{\tau_0} \cdot (L/b_1^*)^2 \quad (2.24)$$

Yukarıda açıklanan yöntemlerle bulunan hacimsel ısı kapasitesi ve termal difüzyon parametresi bulunduktan sonra ısı iletkenliği $\lambda = \kappa \cdot C_v$ gibi hesaplanacaktır.

(13) nolu eşitlikle ifade edilen yüzey bölgesi hava sıcaklık parametrelerinin (T_0 , T_a ve ε) değerleri En Küçük Kareler Yönteminin uygulanmasıyla aşağıdaki formüllerle bulunur:

$$T_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T(0, t_i), \quad A = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N T(0, t_i) \cos\left(\frac{2\pi}{\tau_0} t_i\right), \quad B = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N T(0, t_i) \sin\left(\frac{2\pi}{\tau_0} t_i\right) \quad (2.25)$$

$$\text{Burada; } T_a = \sqrt{A^2 + B^2}, \quad \varepsilon = \begin{cases} \arctan(-B/A) & , A > 0 \\ \pi/2 & , A = 0 \\ \pi - \arctan(B/A) & , A < 0 \end{cases} \quad (2.26)$$

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Toprak örneklerinin alındığı alanların toprak özellikleri

Iğdır Ovası toprakları, azonal topraklar sınıfı içerisinde yer alan alüviyal ve kollüviyal büyük toprak gruplarından meydana gelmiştir. Ova topraklarının büyük bir kısmında derinlik 150 cm'den daha fazla olup batıdan doğuya gittikçe toprak kalınlığı artmaktadır. Toprak derinliğini sınırlayan, çakıl ve kum katmanlarıdır. Bu katmanlar Aras nehrine geçmiş devirlerde yatak değiştirmesi sonucu oluşmuştur. Aras nehrinin yatak değiştirmesine bağlı olarak her çeşit bünyeye rastlanılmaktadır (Anonim, 2018).

Bu topraklarda, horizonlar bulunmaz veya bulunsa bile çok zayıf gelişmiştir. Buna karşılık, değişik özellikte mineral katmanlar bulunur (Dizdar, 1983). Farklı özellikler gösteren ova topraklarında, kilden kaba kum ve çakıla kadar değişen her çeşit bünyeye rastlanmaktadır (Oruç, 1970). Ovada tuzluluk, alkalilik ve drenaj gibi toprak sorunları ile rüzgar erozyonuna rastlanılmaktadır. Ovanın hemen her tarafında tuzlu, alkali ve borlu topraklara rastlanılmaktadır. 83.211 ha'lık yüzölçümüne sahip olan Iğdır Ovasının 36.476 hektarı (%43,8) tuzlu-alkali ve borlu araziler olup, tarıma uygun değildir (Anonim 2018). Ova topraklarının kireç değerleri %10-15 arasında olmakla birlikte bazı arazilerde bu değerler %21-37 arasında değişmektedir.

3.1.2. Toprak örneğinin alındığı Iğdır ovasının iklim özellikleri

Çevresinin, kuzey ve güneyden çok yüksek dağ sıraları ile çevrili ve yükseltisinin az olması nedeni ile Iğdır ovası ikliminin, Doğu Anadolu'nun sert karasal iklimi yanında özel bir durumu vardır. Kışları, çeşitli meyve ağaçlarının dayanabileceği kadar hafiftir. Yazları ise pamuk ve susam yetiştirebilecek kadar sıcak geçer. En soğuk ay ocak en sıcak ay ağustostur. Yıllık ortalama sıcaklık 12.90C'dir. Ova Türkiye'nin en az yağış alan bölgelerinden biridir. Iğdır'da yıllık ortalama yağış 255.9 mm'dir. Bu nedenle tarım ancak sululu şartlarda yapılabilmektedir (Anonim, 2018).

Çizelge 3.1. Iğdır ilinin uzun yıllar (1941 – 2017) aylık yağış ve sıcaklık ortalamaları

Aylar	Aylık Toplam Yağış Ortalaması	Aylık Ortalama Sıcaklık
	(mm=kg÷m ²)	(°C)
Ocak	15.3	-3.5
Şubat	16.0	-0.5
Mart	22.2	6.2
Nisan	34.6	13.1
Mayıs	47.3	17.7
Haziran	32.4	22.1
Temmuz	13.9	25.9
Ağustos	9.9	25.3
Eylül	11.3	20.4
Ekim	26.7	13.0
Kasım	18.6	5.9
Aralık	14.0	-0.4

*MGM, 2019; **Uzun yıllar ortalaması



Şekil 3.1. Iğdır il haritası (Anonim, 2018).

3.2. Metot

3.2.1 Toprak rnekleme

Bu alışma için kullanılan toprak örneklere melekli beldesinde bulunan Iğdır niversitesine ait Araştırma ve Uygulama Arazisinden alınmıştır.



şekil 3.2. Toprak rneklereinin alındığı sahadan bir görüntü

Iğdır niversitesi deneme arazisinden açılan 100cm genişliğinde 200cm derinliğindeki toprak profilinde alınan toprak örneklere ile (Pedotransfer fonksiyonlardan: toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini) toprak tekstürü, toprak nemi, organik madde, kireç içeriği, yoğunluk, Ph ve Ec değerlerini belirlemek amacıyla ve açılan profilde farklı derinliklerde 5x10 cm ebatındaki boruyla su iletkenliği hesaplanmıştır.

3.2.2. Toprak sıcaklıklarının belirlenmesi

Denemede sıcaklık ölçümünün kaydedilmesinde kullanılacak olan termal algılayıcı sensörler toprak profili açılarak toprak profilinde sırasıyla -5, 0, 2, 10, 20, 30, ve 40 cm derinliklere aynı düzlemde yerleştirilmiştir. Açılan profilde 7 adet sensör kullanılarak sıcaklık ölçümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Profillerin açılması ve i button termal algılayıcı sensörlerin yerleştirilmesi

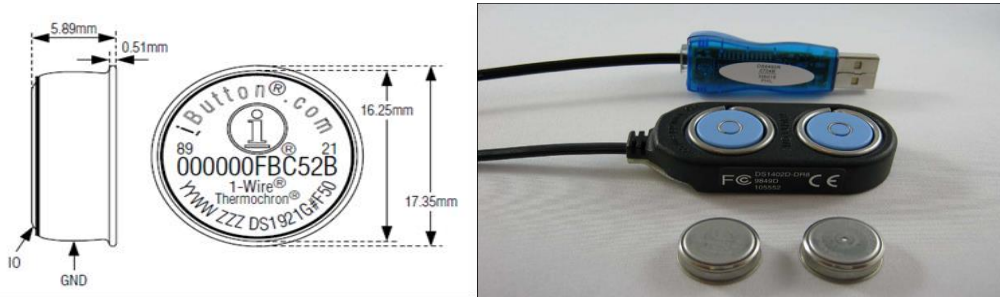
Araştırma süresince toprak profilinde sıcaklıklar -5, 0, 2, 10, 20, 30, ve 40 cm derinliklerde 15 gün boyunca kayıt altına alınmıştır. Arazi araştırmasında kullanılan sıcaklık algılayıcıların hafızasında kaydedilen değerler araştırma sonucunda Termochron iButton TMEX programı ile bilgisayara kaydedilmiştir.

3.2.2.a. Thermochron ibutton DS1921G termal sensörleri

Arazide yapılan araştırmada, toprak sıcaklığını belirlemek için Termal algılayıcı olarak Thermochron İbutton DS1921G Termal Sensörleri kullanılmıştır. Bu termal algılayıcılar Korunmalı ve dayanıklı sensör tabanlı bir ürün olup bellek bölümünde sıcaklık ölçümlerini kayıt edip hafızasında depolayan bir sistemdir. Kaydedilen sıcaklık dereceleri doğrudan depolanır ve kullanıcılar tarafından histogramları elde edilebilir.

Minyatür termal algılayıcılar içerisinde sıcaklık faktörü olan birçok alan çalışmalarında önemli araç haline gelmiştir. İlk yapılış maksadı itibariyle gıda güvenliğinde kullanılan bu cihazlar sonra Tıptan ekolojiye kadar her alanda çalışılmıştır. Vücut sıcaklığının ölçümünde, kuşlarda, memeli hayvanlarda, ağaçlarda, su altında, toprakta içerisinde vb. birçok alanda kullanılmıştır.

Thermochron İbutton DS1921G Termal Sensörleri birer dijital termometre olup 0.5 °C aralıklarla sıcaklık ölçerler. Çalışma aralığı -40 °C ile +85 °C olup -30 °C ile +70 °C de. ± 1 °C ile doğru ölçüm yapabilirler. Düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık noktaları yani kullanılacak sıcaklık aralığı değerleri belirlenebilir. Bu sensörler, bir dakika ile 255 dakika arasında belirlenen aralıkta ölçüm yaparlar. Sıcaklık değerlerini 2048 bit'e kadar depolayabilirler. 2.0 °C çözünürlük ile uzun süreli sıcaklık Histogramlarını kaydeder ve 63 veri kümesi sağlarlar. Sensörler, suya dayanıklı ve su geçirmez bir kapsül şeklinde imal edilmişlerdir. Her bir sensör bir cip tabanlı veri taşıyıcıdır.



Şekil 3.4. Termal algılayıcı öğeler

Teknik malzemeler veya termal algılayıcı öğeleri ya da kiti;

1. yazılım ve kişisel bilgisayar
2. İ button
3. Receptör
4. Adaptör

3.2.3. Fiziksel analizler

Toprak fiziksel analizleri kapsamında toprak bünyesi, agregat stabilitesi, doygun hidrolik iletkenlik, yoğunluk, toprak nem içeriği yapılacaktır. Kullanılacak metotlar ve yöntemler aşağıda açıklanmıştır

3.2.3.a. Toprak tekstürü

Toprağın tekstürü Bouyoucos hidrometre yöntemiyle belirlenmiştir (Gee ve Bauder1986).

3.2.3.b. Agregat stabilitesi

Toprağın agregat stabilitesi değeri -2mm büyüklüğündeki agregat fraksiyonunun 0.25mm elek araklığında, 12,7 mm darbe uzunluğu ve 42 devir/dak. darbe frekansına sahip Yoder tipi ıslak eleme makinesi kullanılarak belirlenmiştir (Kemper ve Rosenau 1986).

$$\% \mathbf{AS} = \frac{[(Dara + Stabil Agregat + Kum) - (Dara + Kum)]}{(FırınKuruToprak - Kum)} \cdot 100 \quad (3.1)$$



Şekil 3.5.Yoder tipi ıslak eleme aleti

3.2.3.c. Hidrolik iletkenlik

$$K_s = \frac{V}{At} \cdot \frac{L}{h+L} = \frac{V}{At} \cdot \frac{h}{h+h} = \frac{1}{2} \frac{V}{At} = \frac{1}{2} \frac{h \cdot A}{At} = \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{t} \quad (3.2)$$

Toprakların K_s degerleri Darcy yasası uyarınca arazi koşullarında, iç çapı 5.5 cm ve yüksekliği 10 cm olan silindir bozulmamış toprak üzerine konularak (3 tekerrürlü olarak) içerisinde su ilave edilmiştir. Daha sonra bu suyun toprakta akışının sabitlenene kadar zamana bağlı olarak ölçülerek kaydedilmiş ve Eşitlik 3.2 yardımı ile K_s hesaplanacaktır. (Özdemir, 1998;Sehin, 2005)



Şekil 3.6. Hidrolik iletkenliğin ölçülmesi

3.2.3.ç. Toprak nemi

Elde edilen yaş ve kuru ağırlıklardan yararlanılarak, farklı derinlikler için ağırlık (veya yüzde) cinsinden toprak (su içeriği) nem miktarları aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır:

$$\mathbf{W(g/g)} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \right) (\mathbf{g/g}) \text{ veya } \mathbf{W(\%)} = \mathbf{W(g/g)} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

Eşitlikte, m_0 – Bos kabın kapagı ile birlikte kütlesi, g; m_1 – Nemli toprak örneği bulunduran kabın kütlesi, g; m_2 – 105 °C de kurutulmuş toprak örneğin kapla birlikte kütlesi, g.

Bir başka deyimle $(m_1 - m_2)$ – toprak örneği içinde bulunan toprak suyunun kütlesidir, g; $(m_2 - m_0)$ – ise toprak örneğinin fırın kuru kütlesidir, g. Yani, Kütle esasına göre toprak su içeriği toprakta bulunan su kütlesinin, kuru toprak ağırlığına oranıdır.

3.2.3.d. Toprağın hacim ağırlığı

Toprağın yoğunluğu termal iletkenlik için önemli bir değişkendir. Hacmi ~100 cm³ olan çelik silindirlerle alınan bozulmamış toprak örnekleri etüvde 105°C’de 24 saat kurutulup, fırın kuru toprağın ağırlığı ($m_2 - m_0$) toplam silindir hacmine (V_s) bölünerek (2.6) nolu eşitlikten bulunur (Richarda, 1954)

$$\rho_b = \frac{m_1 - m_2}{V_s} = \frac{m_1 - m_2}{\pi r^2 h}, g / cm^3 \quad (3.4)$$

Eşitlikte, m_0 – Boş kabın kapağı ile birlikte kütlesi, g; m_1 – Nemli toprak örneği bulunduran kabın kütlesi, g; m_2 – 105 °C de kurutulmuş toprak örneğin kapla birlikte kütlesi, g. Bir başka deyimle ($m_1 - m_2$) – toprak örneği içinde bulunan toprak suyunun kütlesidir, g; ($m_2 - m_0$) – ise toprak örneğinin fırın kuru kütlesidir.

Toprağın hacim ağırlığı aşağıdaki formülden de hesaplanabilir (Shein, 2005):

$$\rho_b = \frac{(b_1 - b_0)}{\pi r^2 h} \cdot \left[\frac{1}{(1+W)} \right], g / cm^3 \quad (3.4^1)$$

Bu eşitlikte, b_0 – Sahadan getirilen nemli toprağın içinde bulunduğu boş kap kütlesi, g; b_1 – Nemli toprak örneğinin bulunduran kabın kütlesi, g; W – Sahadan getirilen nemli toprağın kütle esasına göre hesaplanmış değeridir, (g/g)

Çizelge 3.2 Hacim ağırlığı sınıflama değerleri (Schoeneberger *et al.*, 2012)

Toprak	Hacim Ağırlığı (gr cm ⁻³)	Yoğunluk Değer Aralığı
Killi	1.25	1.20-1.30
Siltli kil	1.30	1.30-1.40
Killi tın	1.35	1.30-1.40
Silt	1.40	1.35-1.5
Kumlu tın	1.50	1.40-1.60
Kum	1.65	1.55-1.80

3.2.4. Kimyasal analizler

Toprak kimyasal analizleri kapsamında Organik Madde, Toprak Reaksiyonu (pH), Elektriksel İletkenlik, CaCO_3 ölçümleri yapılmıştır.

3.2.4.a. Toprak organik maddesi

Toprağın organik madde içeriği Smith-Weldon yöntemiyle belirlenmiştir (Nelson and Sommers, 1982).



Şekil 3.7. Toprak organik maddesinin ölçülmesi

3.2.4.b. Toprak reaksiyonu

Toprağın pH'sı 1:2.5'lük toprak-su süspansiyonunda cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür (Mc Lean, 1982).



Şekil 3.8. Ph değerlerinin ölçülmesi

3.2.4.c. Elektriksel iletkenlik (EC)

Toprakların elektriksel iletkenlik değerleri aynı süspansiyonda (1:1 toprak-su) elektriksel kondaktivite aleti ile belirlenmiştir (Rhoades, 1982).

3.2.4.ç. Kireç (CaCO₃)

Toprağın kireç içeriği Scheibler kalsimetresi ile volümetrik olarak saptanmıştır (Nelson, 1982)



Şekil 3.9. Kireç değerlerinin ölçülmesi

3.2.5. Toprağın ısısal özelliklerinin hesaplama metotları

Toprağın ısısal özellikleri (C_v , κ , λ): ısı tutumu, termal iletkenlik ve termal yayılım olarak ifade edilebilir. Bu özellikler, toprağın bazı fiziksel – kimyasal verilerinden, yüzey hava bölgesinin günlük sıcaklık değerlerini, profildeki ölçümleri yapılmış sıcaklık verilerini ve matematik modeller kullanılarak (sayfa 19-24) hesaplanacaktır.

3.2.5.a. Hacimsel ısı kapasitesinin hesaplanması

Toprağın hacimsel ısı kapasitesi, özgül ısı kapasitesi, hacim ağırlığı ve toprak nem ile aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$C_v = C_{ms} \cdot \rho_b + C_{v,w} \cdot \theta \quad (3.5)$$

Burada, ρ_b – hacim ağırlığını, g/cm^3 ; $C_{v,w}$ – suyun özgül ısı kapasitesini, $1\text{ cal}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$; θ – toprağın hacimsel nem içeriğini, cm^3/cm^3 ; C_{ms} – toprağın birim hacmindeki katı fazının özgül ısı kapasitesini gösterir ve aşağıdaki biçimde hesaplanır:

$$C_{ms} = C_{morg} \cdot \frac{m_{org}}{m} + C_{m\ min} \cdot \left(1 - \frac{m_{org}}{m}\right) \quad (3.6)$$

Burada, $C_{m.org}$ ve $C_{m.min}$ – toprağın organik ve mineral bileşenlerinin özgül ısı kapasiteleri, $\text{cal}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$; m_{org}/m – toprağın organik madde içeriğidir

3.2.5.b. Toprağın yüzey bölgesi havasının parametrelerinin belirlenmesi

Deneme arazisi topraklarının yüzey bölgesi sıcaklıklarının parametreleri (T_0 , T_a , ε); $t=0, 1, 2, \dots, 22, 23$ saatlerindeki sıcaklık $T(0,t)$ değerleri kullanılarak (2.25) ve (2.26) formüllerinde: $\tau_0=24$, $N=24$ yazılarak, kolayca hesaplanacaktır:

3.2.5.c. Toprağın termal yayılımının belirlenmesi

(2.10) nolu modelin termal yayılım parametresi (κ), (2.19)-(2.24) nolu eşitliklerden kolayca hesaplanacaktır.

Yöntemler	Hesaplama Formülleri
Genlik Denklemi	$\kappa = \frac{\pi}{\tau_0} \cdot \frac{(z_2 - z_1)^2}{\ln^2 \left[\frac{T_{\max}(z_1) - T_{\min}(z_1)}{T_{\max}(z_2) - T_{\min}(z_2)} \right]} \quad (3.8)$
Phase Equation	$\kappa = \frac{\pi}{\tau_0} \left(\frac{z_1 - z_2}{\phi_2 - \phi_1} \right)^2 \quad (3.9)$
Arktantan Denklemi	$\kappa = \frac{\pi (z_2 - z_1)^2}{\tau_0 \cdot \arctan^2 \left[\frac{(T'_1 - T'_3)(T''_2 - T''_4) - (T'_2 - T'_4)(T''_1 - T''_3)}{(T'_1 - T'_3)(T''_1 - T''_3) + (T'_2 - T'_4)(T''_2 - T''_4)} \right]} \quad (3.10)$

$$\text{Logaritmik Denklemler} \quad \kappa = \frac{4\pi \cdot (z_2 - z_1)^2}{\tau_0 \cdot \ln^2 \left\{ \frac{[T_1(z_1) - T_3(z_1)]^2 + [T_2(z_1) - T_4(z_1)]^2}{[T_1(z_2) - T_3(z_2)]^2 + [T_2(z_2) - T_4(z_2)]^2} \right\}} \quad (3.11)$$

$$\text{Noktasal Yöntemler} \quad \kappa = \frac{\pi}{\tau_0} \cdot \frac{(2x_*)^2}{\ln^2 \left\{ \sum_{i=1}^4 [\Gamma(x_*, t_i^*) - \Gamma(x_*, t_{i+4}^*)]^2 / 4\Gamma_a^2 \right\}} \quad (3.12)$$

$$\kappa = \frac{\pi}{\tau_0} \cdot (L/b_1^*)^2 \quad (3.13)$$

3.2.5.ç. Toprağın termal iletkenliğinin belirlenmesi

Toprağın ısı iletkenlik parametresi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanacaktır.

$$\lambda = \kappa \cdot C_v \quad (3.14)$$

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Araştırma Toprağının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Araştırma alanında açılan profildeki katmanlara ait toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge.4.1'de verilmiştir. Profil hattında kil içeriği %14,20 ile %28,60 arasında, kum içeriklerinin de %31,70 ile %66,30 arasında değiştiği belirlenmiştir. Toprakların pH değerlerinin 8,01 ile 8,56 değerleri arasında, EC değerleri 387,67 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ile 550,67 $\mu\text{S cm}^{-1}$ arasında, kireç içerikleri %17,16 ile %27,55 arasında değişmekte olup kireç içeriği bakımından kireçli, organik madde içeriği ise %1,40 ile %3,07 arasında değişmekte olup organik madde içerikleri düşük sınıfına girmektedir.

Çizelge 4.1. Araştırma toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Derinlik	Kil	Silt	Kum	Hİ	AS	W	ρ_b	pH	EC	Kireç	OM
cm	%		cm/saat	%	g/g	g/cm ³	1:1	$\mu\text{S/cm}$	%	%	
0-10	28.60	32.10	39.80	253,12	70,71	0,24	0,9743	8,42	387,67	17,16	1,40
20-25	25.50	29.50	45.10	180,66	57,72	0,26	1,0491	8,01	541,67	17,85	2,35
30-35	14.20	19.60	66.30	43,00	58,31	0,27	1,1581	8,05	550,67	20,08	3,07
50-55	22.45	33.35	44.20	12,82	26,80	0,19	1,3431	8,50	486,00	27,55	1,60
90-100	28.60	39.70	31.70	11,27	31,34	0,28	1,2481	8,56	448,33	26,46	1,67

4.2. Ölçümler ve Grafikler

Araştırma arazide farklı nem düzeylerinde açılan profilde sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Açılan profilde termal algılayıcı (Thermochro the iButton DS1921G) sensörler aracılığı ile toprak yüzeyinde ve derinliklere göre sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

Katmanlardaki sıcaklık dağılımlarının 19.09.2018-01.10.2018 arasındaki değerleri Ek -1 ile Ek-13 ve Ek-14'de verilmiştir.

4.3. Toprağın Isısal Özelliklerinin Değerleri

4.3.1. Hacimsel ve özgül ısı kapasitesinin değerleri

Toprağın katı kısmının (C_{ms}) özgül ısı hacimsel ısı tutumunu (C_v), aşağıdaki standart formüllerle hesaplanmıştır (De Vires, 1963 and Shein, 2005).

$$C_{ms} = C_{morg} \cdot \frac{m_{org}}{m} + C_{mmin} \cdot \left(1 - \frac{m_{org}}{m}\right) \quad (4.1)$$

$$C_v = C_{ms} \cdot \rho_b + C_{v,w} \cdot \theta \quad (4.2)$$

Çalışılan toprağın organik ($C_{m,org}$) ve mineral ($C_{m,min}$) bileşenlerinin özgül ısı tutumları sırasıyla 0,46 cal/ (g·°C) ve 0.18 cal / (g·°C) dir (Çizelge 4.2).

Toprak örneklerinde yapılan analizler sonucunda deneme arazisi toprağının ortalama yoğunluğu: $\rho_b = 1,1546 \text{ g/cm}^3$, organik madde içeriği $m_{org}/m = 2,02 \%$ ve hacimsel nem içeriği $\theta = 0,2461 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2) .

Bu durumda, toprağımızın katı kısmının (4.1) formülü ile hesaplanan özgül ısı (C_{ms}) değeri aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$\begin{aligned} C_{ms} &= C_{morg} \cdot \frac{m_{org}}{m} + C_{mmin} \cdot \left(1 - \frac{m_{org}}{m}\right) = 0,46 \frac{\text{kal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,0202 + 0,18 \frac{\text{kal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} (1 - 0,0202) = \\ &= 0,009292 \frac{\text{kal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} + 0,176364 \frac{\text{kal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,185656 \frac{\text{kal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = \\ &= 0,185656 \cdot 4,1868 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,185656 \cdot 4,1868 \frac{\text{J} \cdot 1000}{1000 \text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = \\ &= 185,656 \cdot 4,1868 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} = 777,304541 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

Daha sonra, toprağımız için ortalama nem içeriğinin: $\theta = 0,2461 \text{ m}^3 / \text{m}^3$ 'e, ortalama hacimsel yoğunluğun $\rho_b = 1,1546 \text{ g/cm}^3 = 1154,6 \text{ kg/m}^3$ ve suyun özgül ısısının değerinin: $C_{v,w} = 1 \text{ kal / (g} \cdot ^\circ\text{C)} = 4,1868 \cdot 10^6 \text{ J / (m}^3 \cdot ^\circ\text{C)} = 4186,8 \text{ kJ / (m}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$ olduğunu göz önünde bulundurarak, (4.2) eşitliğini kullanarak 0-0,40m toprak katmanı için hacimsel ısı kapasitesini aşağıdaki biçimde buluruz:

$$\begin{aligned}
C_v &= C_{ms} \cdot \rho_b + C_{vw} \cdot \theta = 777,304541 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 1154,6 \frac{kg}{m^3} + 4186,8 \frac{kJ}{m^3 \cdot ^\circ C} \cdot 0,2461 \frac{m^3}{m^3} = \\
&= 897475,823 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot \frac{kg}{m^3} + 1030371,48 \frac{kJ}{m^3 \cdot ^\circ C} \cdot \frac{m^3}{m^3} = \\
&= 897475,823 \frac{J}{m^3 \cdot ^\circ C} + 1030371,48 \frac{J}{m^3 \cdot ^\circ C} = 1927847,303 \frac{J}{m^3 \cdot ^\circ C} = \\
&= 1927,847303 \frac{kJ}{m^3 \cdot ^\circ C}
\end{aligned}$$

Tüm toprak katmanları için, toprağın hacimsel ısı kapasitesinin hesaplanan değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Deneme sahası toprağının ısısal - fiziksel özelliklerinin değerleri

Derinlik	Organik Madde	Hacim ağırlığı	Nem	Özgül Isı				Hacimsel Isı	
z	m _{org} /m	ρ _b	θ	C _{m organ}	C _{m miner}	C _{m solid}	C _{v w}	C _v	
cm	%	g/cm ³	m ³ /m ³	kal/g ⁰ C	kal/g ⁰ C	kal/g ⁰ C	kal/g ⁰ C	kal/g ⁰ C	kJ/m ³ · ⁰ C
0-10	1,40	0,9743	0,2406	0,46	0,18	0,1839	1,0	0,4198	1757,5904
20-25	2,35	1,0491	0,2584	0,46	0,18	0,1866	1,0	0,4541	1901,3979
30-35	3,07	1,1581	0,2672	0,46	0,18	0,1886	1,0	0,4856	2033,1646
50-55	1,60	1,3431	0,1870	0,46	0,18	0,1845	1,0	0,4348	1820,3163
90-100	1,67	1,2481	0,2775	0,46	0,18	0,1847	1,0	0,5080	2126,8698
0-100	2,0180	1,1545	0,2461	0,46	0,18	0,1857	1	0,4605	1927,8678

Çizelge 4.3. Yüze sıcaklıklarının parametrelerinin (T₀, T_{a1}, ε₁) bulunması için (3.7) nolu formüllerin uygulanması

i	t _i	T _i	ωt _i	T _i cos(ωt _i)	T _i sin(ωt _i)	T _{hes,i}	T _i -T _{hes,i}	(T _i -T _{ort}) ²	(T _i -T _{hes,i}) ²
1	0	15,5	0,0000	15,5000	0,0000	10,89	4,61	76,20	21,27
2	1	14,5	0,2618	14,0059	3,7529	10,17	4,33	94,66	18,79
3	2	13,5	0,5236	11,6913	6,7500	10,40	3,10	115,12	9,60
4	3	13,0	0,7854	9,1924	9,1924	11,58	1,42	126,09	2,02
5	4	12,0	1,0472	6,0000	10,3923	13,62	-1,62	149,55	2,63
6	5	11,5	1,3090	2,9764	11,1081	16,38	-4,88	162,03	23,86
7	6	11,5	1,5708	0,0000	11,5000	19,68	-8,18	162,03	66,95

8	7	13,5	1,8326	-3,4941	13,0400	23,29	-9,79	115,12	95,85
9	8	21,0	2,0944	-10,5000	18,1865	26,96	-5,96	10,43	35,55
10	9	31,5	2,3562	-22,2739	22,2739	30,45	1,05	52,87	1,11
11	10	40,5	2,6180	-35,0740	20,2500	33,51	6,99	264,74	48,86
12	11	47,5	2,8798	-45,8815	12,2939	35,94	11,56	541,53	133,66
13	12	49,5	3,1416	-49,5000	0,0000	37,57	11,93	638,62	142,31
14	13	38,5	3,4034	-37,1881	-9,9645	38,29	0,21	203,66	0,04
15	14	37,5	3,6652	-32,4760	-18,7500	38,06	-0,56	176,12	0,31
16	15	32,5	3,9270	-22,9810	-22,9810	36,88	-4,38	68,41	19,17
17	16	30,0	4,1888	-15,0000	-25,9808	34,84	-4,84	33,30	23,40
18	17	27,5	4,4506	-7,1175	-26,5630	32,07	-4,57	10,70	20,92
19	18	24,0	4,7124	0,0000	-24,0000	28,78	-4,78	0,05	22,81
20	19	21,5	4,9742	5,5646	-20,7674	25,17	-3,67	7,45	13,45
21	20	20,0	5,2360	10,0000	-17,3205	21,50	-1,50	17,89	2,24
22	21	19,0	5,4978	13,4350	-13,4350	18,01	0,99	27,34	0,98
23	22	17,5	5,7596	15,1554	-8,7500	14,95	2,55	45,28	6,51
24	23	18,5	6,0214	17,8696	-4,7882	12,52	5,98	32,82	35,77
	Tort	24,2292		160,10	54,56	24,2292	0,00	3131,99	748,05
			T₀	A₁	B₁	T_{a1}	ε₁		
			24,2292	-13,3413	-4,5467	14,0947	2,8131		

4.3.2. Toprağın yüzey bölgesi parametrelerinin değerleri

20.09.2018 tarihli değerleri örnek hesaplama için seçtiğimizde, gerekli sabit değerler aşağıda belirtilmiştir: $\pi=3,1416$, $\tau_0=24$ saat olmak üzere

$$\frac{\pi}{\tau_0} = \frac{3,1416}{24 \text{ saat}} = \frac{3,1416}{24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ san}} = 0,0000363610260832 \text{ san}^{-1} = 3,6361 \cdot 10^{-5} \text{ san}^{-1}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau_0} = \frac{2 \cdot 3,1416}{24 \text{ saat}} = \frac{6,2832}{24 \text{ saat}} = 0,261799 \text{ saat}^{-1}$$

(2.25) – (2.26) nolu eşitlikleri kullanarak toprak yüzeyindeki: $z=0$ sıcaklık değerlerine uygularsak (bak. Çizelge 4.4) :

$$T_0 = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} T(0, t_i) = \frac{15,5 + 14,5 + 13,5 + \dots + 17,5 + 18,5}{24} = \frac{581,5}{24} = 24,229167$$

$$A = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{24} T(0, t_i) \cos\left(\frac{\pi}{12} t_i\right) = \frac{15,5 + \dots + 17,8696}{12} = \frac{-160,095232}{12} = -13,341269$$

$$B = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{24} T(0, t_i) \sin\left(\frac{\pi}{12} t_i\right) = \frac{0 + 3,7529 + \dots + (-4,7882)}{12} = \frac{-54,560304}{12} = -4,546692$$

$$T_a = \sqrt{A^2 + B^2} = \sqrt{(-13,341269)^2 + (-4,546692)^2} = \sqrt{177,9894585 + 20,672408} = 14,094746$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \pi - \arctan(B/A) = 3,141593 - \arctan\left(\frac{-4,546692}{-13,341269}\right) = 3,141593 - \arctan(0,340799) = \\ &= 3,141593 - 0,328454 = 2,813138 \end{aligned}$$

Sonuçta 1 harmonili dağılım için yüzey bölgesi hava sıcaklık parametrelerinin değerleri aşağıdaki gibi bulunurlar.

T_0	A_1	B_1	T_{a1}	ε_1
24,229167	-13,3413	-4,5467	14,094746	2,813138

$$T(0, t) = T_0 + T_{a1} \cos(\omega t + \varepsilon_1) = 24,229167 + 14,094746 \cdot \cos(0,261799t + 2,813138)$$

1 harmonili dağılım için parametrelerin bulunması Çizelge 4.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. Toprak yüzey hava bölgesinin (20.09.2018) parametreleri

	Harmoni sayısı			
	m=1		m=2	
Ortalama günlük sıcaklık (T_0), °C	T_0	24,2292	T_0	24,2292
Toprak yüzeyi sıcaklığının dalgasının genliği (T_i), °C	T_1	14,0948	T_2	6,8988
Sıcaklık dalgasının faz farkı	ϕ_1	2,8131	ϕ_2	0,1785
Yaklaşımın istatistiksel parametreleri				
Determinasyon Katsayısı, %	R^2	76,12	R^2	94,35
Düzeltilmiş R-Kare, %	R^2_{adj}	73,84		93,16
Tahminin Standart Hatası (RMSE T in t)	σ	6,11	σ	3,14
Mutlak Yüzde Hata Ortalaması (MAPE), %	A	22,31	A	10,36
Anlaşma Endeksi	D	0,9276	D	0,9853
2.Theil Tahmin Doğruluğu Katsayısı veya Normalleştirilmiş Standart Hata	UII	0,2084	UII	0,1014
Akaike Bilgi Kriteri	AIC	3,6894	AIC	2,4143

Harmoni sayısının m=2 olması toprak yüzey hava bölgesinin parametrelerinin (T_0 , T_a , ϕ) değerleri istatistiksel olarak m=1'e göre daha iyi olarak hesaplanmıştır.

4.3.3. Termal yayının parametresinin değeri

4.3.3.a. Birinci tür $T(\infty, t) = T_0$ sınır koşuluna göre geliştirilmiş klasik metotlara göre hesaplanmış değerler

Çalışma alanı arazi profillerinde ve her deneme kolonlarında toprakların termal yayılımı tayini için (2.10) nolu denklemin birinci tür sınır koşuluna $T(\infty, t) = T_0$ göre bulunmuş (2.17) nolu çözümündeki sıcaklık dalgalanmasının genliğini ifade eden $\Phi_a(y, b)$ teriminin kullanılması ile elde edilen (3.8)-(3.13) nolu formüllerden yararlanılmıştır. Hesaplamalar, Çizelge 4.12'deki 20.09.2018 tarihli ölçüm verileri kullanarak, sırasıyla [0;0.02], [0.02-0.1], [0.1;0.2], [0.2;0.3], [0.3;0.4] katmanlarının her birisi için yapılmış ve sonuçta [0;0.4 m], katmanı için termal yayılım parametresinin ortalama değeri saptanmıştır.

Çizelge 4.5. Zamana ve derinliklere göre topraktaki sıcaklık dağılımları (20.09.2018)

i	t_i	Derinlik (cm)					
	Saat	0	2	10	20	30	40
1	0	15,5	22,5	24,5	24,3	24,0	23,5
2	1	14,5	22,0	24,0	24,0	24,0	23,5
3	2	13,5	22,0	24,0	24,0	24,0	23,5
4	3	13,0	21,5	24,0	24,0	24,0	23,5
5	4	12,0	21,0	23,5	23,8	24,0	23,5
6	5	11,5	20,5	23,5	23,8	24,0	23,5
7	6	11,5	20,0	23,0	23,5	24,0	23,5
8	7	13,5	20,0	23,0	23,5	24,0	23,5
9	8	21,0	19,5	23,0	23,3	23,5	23,5
10	9	31,5	20,0	22,5	23,0	23,5	23,5
11	10	40,5	21,0	22,5	23,0	23,5	23,5
12	11	47,5	22,5	22,5	23,0	23,5	23,5
13	12	49,5	23,5	22,5	23,0	23,5	23,5
14	13	38,5	24,5	22,5	23,0	23,5	23,5
15	14	37,5	25,0	23,0	23,3	23,5	23,5
16	15	32,5	25,5	23,0	23,3	23,5	23,5
17	16	30,0	26,0	23,5	23,5	23,5	23,5
18	17	27,5	26,0	23,5	23,5	23,5	23,5
19	18	24,0	25,5	24,0	23,8	23,5	23,5
20	19	21,5	25,0	24,0	23,8	23,5	23,5
21	20	20,0	24,5	24,0	23,8	23,5	23,5
22	21	19,0	24,0	24,0	23,8	23,5	23,5
23	22	17,5	23,5	24,0	23,8	23,5	23,5
24	23	18,5	23,0	24,0	23,8	23,5	23,0

Metot-1. Sıcaklık Dalgasının Genliğini İçeren Formül: Termal yayılım, sıcaklık dalgasının genliğini içeren formülle tayini için, (3.9) nolu formülden:

$$\kappa = \frac{\omega}{2} \cdot \frac{(z_2 - z_1)^2}{\ln^2 \left[\frac{T_{\max}(z_1) - T_{\min}(z_1)}{T_{\max}(z_2) - T_{\min}(z_2)} \right]} \quad (4.3)$$

yararlanılmıştır. Önce, arazi denemesi topraklarının Çizelge 4.5'deki sıcaklık verilerini kullanarak Çizelge 4.6'daki değerler bulunmuştur.

Sonra ise Çizelge 4.6'deki hesaplanmış verileri kullanarak sırasıyla, [0;0.02], [0.02-0.1], [0.1;0.2], [0.2;0.3], [0.3;0.4] katmanlarında termal yayılım parametresinin değerleri (3.15) nolu formül yardımıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. Derinliklere göre arazi denemesi toprağının minimum, maksimum sıcaklıkları, sıcaklık dalgalarının genlikleri ve termal yayılım (κ) değerleri.

i	z_i	z_{i+1}-z_i	T_{min}(z_i)	T_{max}(z_i)	Φ(z_i)	Φ(z_i)/Φ(z_{i+1})	ln(Φ_{ai}/Φ_{ai+1})	10⁻⁶κ_i
1	0,00	0,02	11,5	49,5	19,00	5,8462	1,765784	0,0047
2	0,02	0,08	19,5	26,0	3,25	3,2500	1,178655	0,1675
3	0,10	0,10	22,5	24,5	1,00	1,5385	0,430783	1,9594
4	0,20	0,10	23,0	24,3	0,65	2,6000	0,955511	0,3983
5	0,30	0,10	23,5	24,0	0,25	1,0000	0,000000	-
6	0,40		23,0	23,5	0,25	Ortalama 10⁻⁶ · κ_{ort}, m²/san		0,6325

Örneğin; Çizelge 4.5'deki verilerden z₁=0,02 m ve z₂=0,10 m derinlikleri için maksimum ve minimum sıcaklıkları;

$$T_{\max}(0,02) = 26,0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ve } T_{\min}(0,02) = 19,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\max}(0,10) = 24,5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ve } T_{\min}(0,10) = 22,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

bulunduktan sonra (4.3) formülüne göre termal yayılım değeri bulunmaktadır.

$$\kappa = \frac{0,00003636 \cdot (0,1 - 0,02)^2}{\ln^2 \left(\frac{26,0 - 19,5}{24,5 - 22,5} \right)} \cdot \frac{m^2}{san} = 0,00003636 \cdot \frac{0,0064}{1,3892276} \cdot \frac{m^2}{san} = 0,1675 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{m^2}{san}$$

Bu formülde, $\pi \approx 3,141593$, $\tau_0 = 24$ saat = 86400 san olarak ele alınmış ve $\omega/2 = \pi / \tau_0 = 0,00003636$ sonucu hesaplamalarda kullanılmıştır.

Sıcaklık dalgasının genliğini içeren formüle göre termal yayılım parametresinin ortalama değeri aşağıdaki biçimde bulunmuştur: $\kappa_{ort} = 0,5628 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}$

Metot-2 Sıcaklık Dalgasının Faz Kayması İçeren Formül: Toprağın ısısal yayılım parametresinin hesaplanılmasında kullanılacak diğer bir yaklaşım ise, toprağın iki farklı $z=z_1$ ve $z=z_2$ derinliklerinde faz kaymalarının (ϕ_1 ve ϕ_2) değerlerinin belirlenmesine dayanır ve aşağıdaki (3.10) eşitlikten hesaplanır:

$$\kappa = \frac{\pi}{\tau_0} \left(\frac{z_2 - z_1}{\phi_2 - \phi_1} \right)^2 \quad (4.4)$$

Bu yöntemle parametre değerinin hesaplanması için önce $z=0, 0.02, 0.1, 0.2, 0.3$ ve 0.4 m derinliklerin her birisi için Çizelge 4.5'deki verileri kullanarak (4.4) eşitlik yardımıyla iki farklı $z=z_1$ ve $z=z_2$ derinlikleri için faz kayma değerleri (ϕ_1 ve ϕ_2) bulunmuştur. Sonra ise (4.4) nolu eşitlikten termal yayılım parametresinin değerleri hesaplanmıştır.

Örneğin; Çizelge 4.5'deki verilerden $z_1=0,02$ m derinliğindeki faz kaymasını hesaplamak için, aşağıdaki eşitlikleri:

$$T_{0j} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} T(z_j, t_i), \quad A_j = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{24} T(z_j, t_i) \cos\left(\frac{\pi}{12} t_i\right), \quad B_j = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{24} T(z_j, t_i) \sin\left(\frac{\pi}{12} t_i\right)$$

$$T_{aj} = \sqrt{A_j^2 + B_j^2}, \quad \varepsilon_j = \begin{cases} \arctan(-B_j / A_j) & , A_j > 0 \\ \pi / 2 & , A_j = 0 \\ \pi - \arctan(B_j / A_j) & , A_j < 0 \end{cases} \quad (4.5)$$

kullanarak toprağın $z_1=0,02$ derinliğindeki sıcaklık dağılımının parametrelerinin (T_0 , T_{a2} , ε_2) değerlerini aşağıdaki biçimde buluruz:

$$T_{02} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} T(z_2, t_i) = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} T(0,02; t_i) = \frac{22,5 + 22,0 + \dots + 23,5 + 23,0}{24} = \frac{548,5}{24} = 24,228542$$

$$A_2 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{24} T(0,02, t_i) \cos\left(\frac{\pi}{12} t_i\right) = \frac{22,5 + 21,2504 + \dots + 22,2163}{12} = \frac{-3,4943}{12} = -0,2912$$

$$B_2 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{24} T(0,02, t_i) \sin\left(\frac{\pi}{12} t_i\right) = \frac{0 + 5,694 + 11,0 + \dots + (-5,9528)}{12} = \frac{-33,4858}{12} = -2,7905$$

$$T_a = \sqrt{A_2^2 + B_2^2} = \sqrt{(-0,2912)^2 + (-2,7905)^2} = \sqrt{0,08479744 + 7,78689025} = 2,8056528$$

$$\varepsilon_2 = \pi - \arctan(B_2 / A_2) = 3,141593 - \arctan\left(\frac{-2,7905}{-0,2912}\right) = 3,141593 - \arctan(9,58276) = 3,141593 - 1,466819 = 1,6748$$

Sonuçta, $z_1=0,02$ m derinliğindeki sıcaklık dağılımının parametrelerini değerleri aşındaki gibi bulunurlar:

T_{01}	A_1	B_1	T_{a1}	ε_1
22,8542	-0,2912	-2,7905	2,8056	1,6748

Benzeri biçimde, $z_2=0,10$ m derinliğindeki sıcaklık dağılımının parametrelerini değerleri aşındaki gibi bulunurlar:

T_{02}	A_2	B_2	T_{a2}	ε_2
23,4167	0,7991	-0,2863	0,8489	0,3440

Toprağın $z_1=0,02$ ve $z_2=0,10$ m derinliklerinde faz kaymalarının (ϕ_1 ve ϕ_2) bulunmuş değerlerini kullanarak (4.4) nolu eşitlikten termal yayınım değeri bulunur:

$$\begin{aligned} \kappa &= \frac{\pi}{\tau_0} \left(\frac{z_2 - z_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \right)^2 = \frac{3,6361 \cdot 10^{-5}}{\text{san}} \left(\frac{0,10\text{m} - 0,02\text{m}}{0,3440 - 1,6748} \right)^2 = 3,6361 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{0,08}{1,3308} \right)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{san}} = \\ &= 3,6361 \cdot 10^{-5} \cdot 0,003613719 \frac{\text{m}^2}{\text{san}} = 0,01314 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{san}} = 0,1314 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{san}} \end{aligned}$$

Termal yayınım parametresinin değerlerinin hesaplaması Çizelge 4.7'deki ardışıklıkla yapılmaktadır.

Çizelge 4.7. Toprağın $z=0, 0.02, 0.1, 0.2, 0.3$ ve 0.4 m derinliklerine göre hesaplanmış faz kaymalarının ϕ değerleri, $[z_i; z_{i+1}]$ katmanlarındaki ve $[0; 0,4\text{m}]$ profildeki termal yayınım parametresinin değerlerinin Metot-2 ile bulunması

i	z_i, m	$z_{i+1}-z_i$	ϕ_i	$\phi_{i+1} - \phi_i$	$(\Delta z_i / \Delta \phi_i)^2$	κ_i	$10^{-6} \cdot \kappa_i$
1	0,00	0,02	2,8131	1,1384	0,000309	0,000000011	0,0112
2	0,02	0,08	1,6748	1,3308	0,003614	0,000000131	0,1314
3	0,10	0,10	3,4440	0,2532	0,155978	0,000005672	5,6715
4	0,20	0,10	0,0908	1,0071	0,009859	0,000000358	0,3585
5	0,30	0,10	-0,9163	-4,3197	0,000536	0,000000019	0,00195
6	0,40		3,4034				
Ortalama $10^{-6} \cdot \kappa_{\text{ort}}, \text{m}^2/\text{san}$							1,2384

Hesaplamalar daha ayrıntılı biçimde Çizelge 4.8'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8. $z_1=0,02$ m ve $z_2=0,10$ m derinliklerinde sıcaklık dağılımının parametrelerinin (T_{01}, T_{a1}, ϕ_1) ve (T_0, T_{a2}, ϕ_2) bulunması

t_i saat	$z_1=0,02$ m				$z_2=0,10$ m			
	T_i °C	ωt_i	$T_i \cos(\omega t_i)$	$T_i \sin(\omega t_i)$	T_i °C	ωt_i	$T_i \cos(\omega t_i)$	$T_i \sin(\omega t_i)$
0	22,5	0,0000	22,5000	0,0000	24,5	0,0000	24,5000	0,0000
1	22,0	0,2618	21,2504	5,6940	24,0	0,2618	23,1822	6,2117
2	22,0	0,5236	19,0526	11,0000	24,0	0,5236	20,7846	12,0000
3	21,5	0,7854	15,2028	15,2028	24,0	0,7854	16,9706	16,9706
4	21,0	1,0472	10,5000	18,1865	23,5	1,0472	11,7500	20,3516
5	20,5	1,3090	5,3058	19,8015	23,5	1,3090	6,0822	22,6993
6	20,0	1,5708	0,0000	20,0000	23,0	1,5708	0,0000	23,0000
7	20,0	1,8326	-5,1764	19,3185	23,0	1,8326	-5,9528	22,2163
8	19,5	2,0944	-9,7500	16,8875	23,0	2,0944	-11,5000	19,9186
9	20,0	2,3562	-14,1421	14,1421	22,5	2,3562	-15,9099	15,9099
10	21,0	2,6180	-18,1865	10,5000	22,5	2,6180	-19,4856	11,2500
11	22,5	2,8798	-21,7333	5,8234	22,5	2,8798	-21,7333	5,8234
12	23,5	3,1416	-23,5000	0,0000	22,5	3,1416	-22,5000	0,0000
13	24,5	3,4034	-23,6652	-6,3411	22,5	3,4034	-21,7333	-5,8234
14	25,0	3,6652	-21,6506	-12,5000	23,0	3,6652	-19,9186	-11,5000
15	25,5	3,9270	-18,0312	-18,0312	23,0	3,9270	-16,2635	-16,2635
16	26,0	4,1888	-13,0000	-22,5167	23,5	4,1888	-11,7500	-20,3516
17	26,0	4,4506	-6,7293	-25,1141	23,5	4,4506	-6,0822	-22,6993
18	25,5	4,7124	0,0000	-25,5000	24,0	4,7124	0,0000	-24,0000
19	25,0	4,9742	6,4705	-24,1481	24,0	4,9742	6,2117	-23,1822
20	24,5	5,2360	12,2500	-21,2176	24,0	5,2360	12,0000	-20,7846
21	24,0	5,4978	16,9706	-16,9706	24,0	5,4978	16,9706	-16,9706
22	23,5	5,7596	20,3516	-11,7500	24,0	5,7596	20,7846	-12,0000
23	23,0	6,0214	22,2163	-5,9528	24,0	6,0214	23,1822	-6,2117
	22,854		-3,4943	-33,4858	23,417		9,5894	-3,4355

Toprağın $z=0, 0.02, 0.1, 0.2, 0.3$ ve 0.4 m derinliklerine göre hesaplanmış faz kaymalarının ϕ_i değerlerini (4.4) formülünde yazarak termal yayılım parametresinin ortalama değeri için aşağıdaki değer bulunmuştur: $\kappa_{ort}=1,2384 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}$.

Metot- 3 Arkantajant İçeren Formül: Termal yayılım, arkantajant içeren formülle hesaplanması için, (3.11) nolu formülden:

$$\kappa = \frac{\omega}{2} \cdot \frac{(z_2 - z_1)^2}{\arctan^2 \{T_{1,2,3,4}\}} \quad (4.6)$$

$$T_{1,2,3,4} = \frac{[T_1(z_1) - T_3(z_1)][T_2(z_2) - T_4(z_2)] - [T_1(z_2) - T_3(z_2)][T_2(z_1) - T_4(z_1)]}{[T_1(z_1) - T_3(z_1)][T_1(z_2) - T_3(z_2)] + [T_2(z_1) - T_4(z_1)][T_2(z_2) - T_4(z_2)]} \quad (4.7)$$

yararlanılmıştır.

Önce, deneme topraklarının Çizelge 4.5'deki sıcaklık verilerinin zamanın $t_i = i \cdot \tau_0/4$ ($i=1,2,3,4$) (örneğin, $\tau_0 = 24$ saat için, $t_1=5$, $t_2=11$, $t_3=17$ ve $t_4=23$ saat) anlarına karşılık gelenlerden Çizelge 4.9'da oluşturulmuştur.

Çizelge 4.9. Derinliklere göre toprağın 5, 11, 17 ve 23 saat anlarındaki sıcaklık değerleri

i	t saat	T _i (z _i) °C	Derinlik, z(m)					
			z ₁ =0	z ₂ =0,02	z ₃ =0,10	z ₄ =0,20	z ₅ =0,30	z ₆ =0,40
1	5	T ₁ (z _i)	11,5	20,5	23,5	23,8	24,0	23,5
2	11	T ₂ (z _i)	47,5	22,5	22,5	23,0	23,5	23,5
3	17	T ₃ (z _i)	27,5	26,0	23,5	23,5	23,5	23,5
4	23	T ₄ (z _i)	18,5	23,0	24,0	23,8	23,5	23,0

Sonra ise, Çizelge 4.9'daki verileri kullanarak sırasıyla ve ayrı ayrı [0;0.02], [0.02-0.1], [0.1;0.2], [0.2;0.3], [0.3;0.4m] katmanlarında termal yayılım parametresinin değerleri (3.18) nolu formül yardımıyla hesaplanıp, ortalama değerler bulunarak sonuçlar Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Toprağın $[z_i; z_{i+1}]$ katmanlarındaki ve $[0; 0,4\text{m}]$ profildeki termal yayılım parametresinin değerlerinin metot-3 ile bulunması

i	Derinlik		t, Saat			
	m		0	6	12	18
	z_i	$z_{i+1}-z_i$	$T_1(z_i)$	$T_2(z_i)$	$T_3(z_i)$	$T_4(z_i)$
1	0,00	0,02	11,5	47,5	27,5	18,5
2	0,02	0,08	20,5	22,5	26,0	23,0
3	0,10	0,10	23,5	22,5	23,5	24,0
4	0,20	0,10	23,8	23,0	23,5	23,8
5	0,30	0,10	24,0	23,5	23,5	23,5
6	0,40		23,5	23,5	23,5	23,0

i	Derinlik, m	A	B	C	D
	z_i	$T_1(z_i)-T_3(z_i)$	$T_2(z_i)-T_4(z_i)$	$T_1(z_{i+1})-T_3(z_{i+1})$	$T_2(z_{i+1})-T_4(z_{i+1})$
1	0,00	-16,0	29,0	-	-
2	0,02	-5,5	-0,5	-5,5	-0,5
3	0,10	0,0	-1,5	0,0	-1,5
4	0,20	0,3	-0,8	0,3	-0,8
5	0,30	0,5	0,0	0,5	0,0
6	0,40	0,0	0,5	0,0	0,5

z_i, m	AD	BC	AC	BD	AD-BC	AC+BD	$T_{1,2,3,4}$	κ_i
0,00	8,00	-159,50	88,00	-14,50	167,5	73,5	2,2789	0,0109
0,02	8,25	0,00	0,00	0,75	8,25	0,75	11,000 0	0,1062
0,10	0,00	-0,45	0,00	1,20	0,45	1,2	0,3750	2,8249
0,20	0,00	-0,40	0,15	0,00	0,40	0,15	2,6667	0,2475
0,30	0,25	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	-	-
Ortalama $10^{-6} \cdot \kappa_{\text{ort}}, \text{m}^2/\text{san}$								0,7974

Örneğin; Çizelge 4.10'daki verilerden

$z_1=0,02$ m derinliği için sıcaklık değerleri

z_1	$T_1(z_1)$	$T_2(z_1)$	$T_3(z_1)$	$T_4(z_1)$
0,02	20,5	22,5	26,0	23,0

$z_2=0,10$ m derinliği için sıcaklık değerleri

z_2	$T_1(z_2)$	$T_2(z_2)$	$T_3(z_2)$	$T_4(z_2)$
0,10	23,5	22,5	23,5	24,0

kullanılarak

(4.6) eşitliğine göre: $T_{1,2,3,4}$ değerleri bulunur:

$$\begin{aligned}
 T_{1,2,3,4} &= \frac{[T_1(z_1) - T_3(z_1)][T_2(z_2) - T_4(z_2)] - [T_1(z_2) - T_3(z_2)][T_2(z_1) - T_4(z_1)]}{[T_1(z_1) - T_3(z_1)][T_1(z_2) - T_3(z_2)] + [T_2(z_1) - T_4(z_1)][T_2(z_2) - T_4(z_2)]} = \\
 &= \frac{(20,5 - 26,0)(22,5 - 24,0) - (23,5 - 23,5)(22,5 - 23,0)}{(20,5 - 26,0)(23,5 - 23,5) + (22,5 - 23,0)(22,5 - 24,0)} = \\
 &= \frac{(-5,5)(-1,5) - (0)(-0,5)}{(-5,5)(0) + (-0,5)(-1,5)} = \frac{8,25 - 0}{0,75} = \frac{8,25}{0,75} = 11,00
 \end{aligned}$$

Sonuçta (4.6) formülüne göre termal yayılım değeri bulunur:

$$\begin{aligned}
 \kappa &= \frac{\omega}{2} \cdot \left[\frac{z_2 - z}{\arctan(T_{1,2,3,4})} \right]^2 = 0,00003636 \cdot \left[\frac{0,1 - 0,02}{\arctan(11,00)} \right]^2 \cdot \frac{m^2}{san} = \\
 &= 0,00003636 \cdot \left(\frac{0,08}{1,480136} \right)^2 \cdot \frac{m^2}{san} = 0,00003636 \cdot 0,0029213 \cdot \frac{m^2}{san} = 0,1062 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{m^2}{san}
 \end{aligned}$$

Hesaplama Çizelge 4.10'daki ardışıklıkla yapılmaktadır. Sıcaklık verilerinin zamanın $t_1=5$, $t_2=11$, $t_3=17$ ve $t_4=23$ saat anlarına karşılık gelen değerlerini içeren (4.6)

formülüne göre deneme arazisi toprağı için termal yayınım parametresinin ortalama değeri aşığıdaki biçimde bulunmuştur: $\kappa_{ort}=0,7974 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}$

Metot- 4 (Logaritma İçeren Formül): Termal yayınım, logaritma içeren formülle tayini için, (3.12) nolu formülden:

$$\kappa_i = \frac{\pi}{\tau_0} \cdot \left[\frac{2(z_{i+1} - z_i)}{\ln(T_{1,2,3,4})} \right]^2 \quad (4.8)$$

$$T_{1,2,3,4} = \frac{[T_1(x_i) - T_3(x_i)]^2 + [T_2(x_i) - T_4(x_i)]^2}{[T_1(x_{i+1}) - T_3(x_{i+1})]^2 + [T_2(x_{i+1}) - T_4(x_{i+1})]^2} = \frac{A(x_i)^2 + B(x_i)^2}{A(x_{i+1})^2 + B(x_{i+1})^2} \quad (4.9)$$

yararlanılmıştır.

Arktanjanant içeren formül (metot-3) için yukarıda yapılan hesaplama varsayımı ve Çizelge 4.10'daki verileri kullanılarak, kontrol deneme parseli topraklarının logaritma içeren formül için termal yayınım parametrelerinin değeri bulunmuştur. Hesaplama sonuçları Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Toprağın $[z_i; z_{i+1}]$ katmanlarındaki ve $[0; 0,4\text{m}]$ profildeki termal yayınım parametresinin değeri metot-4 ile bulunması

z_i	$A^2(z_i)$	$B^2(z_i)$	A^2+B^2	$T_{1,2,3,4}(z_i/z_{i+1})$	$\ln(T_{1,2,3,4})$	$10^{-6} \cdot \kappa_i$
m	$[T_1(z_i) - T_3(z_i)]^2$	$[T_2(z_i) - T_4(z_i)]^2$				m^2/san
0,00	256,00	841,00	1097,00	35,9672	3,5826	0,004533
0,02	30,25	0,25	30,50	13,5556	2,6068	0,136981
0,10	0,00	2,25	2,25	3,0822	1,1256	1,147880
0,20	0,09	0,64	0,73	2,9200	1,0716	1,266613
0,30	0,25	0,00	0,25	1,0	0	-
0,40	0,00	0,25	0,25			
Ortalama $10^{-6} \cdot \kappa_{ort}$, m^2/san						0,6390

Örneğin; Çizelge 4.10'deki verilerden $z_1=0,02$ m ve $z_2=0,10$ m derinliği için sıcaklık değerleri:

z_i	$z_{i+1}-z_i$	$T_1(z_i)$	$T_2(z_i)$	$T_3(z_i)$	$T_4(z_i)$
0,02	0,08	20,5	22,5	26,0	23,0
0,10	0,10	23,5	22,5	23,5	24,0

kullanılarak

(4.9) eşitliğine göre: $T_{1,2,3,4}$ değerleri bulunur:

$$T_{1,2,3,4}(0,02/0,1) = \frac{[T_1(0,02) - T_3(0,02)]^2 + [T_2(0,02) - T_4(0,02)]^2}{[T_1(0,1) - T_3(0,1)]^2 + [T_2(0,1) - T_4(0,1)]^2} =$$

$$= \frac{(20,5 - 26)^2 + (22,5 - 23)^2}{(23,5 - 23,5)^2 + (22,5 - 24,0)^2} = \frac{(-5,5)^2 + (-0,5)^2}{(0)^2 + (-1,5)^2} = \frac{30,5}{2,25} = 13,5556$$

Son olarak (4.8) formülüne göre termal yayılım değeri aşağıdaki biçimde bulunur:

$$\kappa_i = \frac{\omega}{2} \cdot \left[\frac{2(z_{i+1} - z_i)}{\ln(T_{1,2,3,4})} \right]^2 = 0,00003636 \cdot \left[\frac{2(0,1 - 0,02)}{\ln(13,5556)} \right]^2 \cdot \frac{m^2}{san} =$$

$$= 0,00003636 \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,08}{2,606799746} \right)^2 \cdot \frac{m^2}{san} = 0,00003636 \cdot 0,00376725159 \cdot \frac{m^2}{san} =$$

$$= 0,0000001369772678124 = 0,136977 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{m^2}{san}$$

Sıcaklık verilerinin zamanın $t_1=5$, $t_2=11$, $t_3=17$ ve $t_4=23$ saat anlarına karşılık gelen değerlerini içeren logaritmalı (4.8) nolu formülüne göre kontrol parseli toprakların termal yayılım parametresinin ortalama değeri aşağıdaki biçimde bulunmuştur:

$$\kappa_{ort} = 0,6390 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}$$

Böylece kaynaklarda yaygın olarak kullanılan ve bizimde bu çalışmamızda kullandığımız 4 farklı ‘katmansal’ yöntemlerle hesaplanan termal yayınım parametre değerleri hesaplanarak Çizelge 4.12’de verilmiştir.

4.3.3.b. Birinci tür $T(\infty,t)=T_0$ ve İkinci tür $\partial T(L,t)/\partial z=0$ sınır koşullarına göre geliştirilmiş yeni metotlara göre hesaplanmış değerler

Noktasal Metotlar $T(\infty,t)=T_0$ ve $\partial T(L,t)/\partial x = 0$ koşullarına bağlı çözümlerden üretilmiş olup, toprak katmanları arasındaki toprak sıcaklıklarının deneysel olarak ısı iletim katsayısının belirlenmesi yöntemine tercih edilen bir metottur. Bunların her ikisi de toprağın belirli bir derinliğinde bir noktada toprak sıcaklığını belirleme esasına dayanmakta ve noktasal metod denilmektedir. Ayrıca, (3.12) – (3.13) nolu eşitliklerden de görüldüğü gibi, termal yayınım parameteresinin belirlenmesi diğer katmansal yöntemlere göre toprak profilinden daha fazla ölçülmüş sıcaklık değerleri kullanma imkânı vermektedir.

Noktasal metotlar ile termal yayınım parameteresinin bulunmasında 1. noktasal metot için (3.12) nolu eşitlik, 2. noktasal metot için (3.13) nolu eşitlik kullanılacaktır. Bir başka deyimle,

Noktasal metot 1 için aşağıdaki eşitlik

$$\kappa = \frac{\pi}{\tau_0} \cdot \frac{(2x_*)^2}{\ln^2 \left\{ \sum_{i=1}^4 [T(x_*, t_i^*) - T(x_*, t_{i+4}^*)]^2 / 4T_a^2 \right\}} \quad (4.10)$$

Noktasal metot 2 ise için aşağıdaki eşitlik kullanılarak

$$\kappa = \frac{\pi}{\tau_0} \cdot (L/b_1^*)^2 \quad (4.11)$$

deneme arazisi toprak profilinin ölçülmüş sıcaklık değerleri kullanılarak termal yayınım parameteresi için $z=0.02, 0.1, 0.2, 0.3$ ve 0.4 derinliklerinde ve ortalama değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Termal yayınım parametresinin değerlerinin noktasal metotlarla bulunması

Noktasal Metot 1		Noktasal Metot 2		
z_i	$10^{-6} \cdot \kappa_i$			
m	m²/san	m²/saat	m²/san	m²/saat
0,02	0,0055	19,71	0,0055	19,71
0,10	0,0423	152,12	0,0423	152,12
0,20	0,1139	409,92	0,1139	409,95
0,30	0,2013	724,64	0,2080	748,66
0,40	0,3578	1288,24	0,2607	938,55
$10^{-6} \cdot \kappa_{ort}$	0,1441	518,92	0,1261	453,80

4.3.4. Termal iletkenliği parametresinin belirlenmesi

Yukarıda açıklanan farklı katmansal yöntemlerle hesaplanan termal yayınım parametresinin (κ_{ort}) ve Hacimsel ısı kapasitesinin (C_v) değerleri kullanılarak termal iletkenliği (λ_{ort}) parametresinin değerleri (3.14) nolu formül kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6'dan yöntem-1 ile belirlenmiş $\kappa_{ort}=0,6325 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}=2277 \text{ m}^2/\text{saat}$ değerleri kullanılarak termal iletim değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\lambda = \kappa C_v = \begin{cases} 2277,0 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{saat}} \cdot 448,58060 \frac{\kappa\kappa\text{al}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}} = 1021418,0262 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{saat}} \cdot \frac{\kappa\kappa\text{al}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}} = \\ = 1021418,0262 \cdot 10^{-6} \frac{\kappa\kappa\text{al}}{\text{saat} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} = 1,0214180262 \cdot \frac{\kappa\kappa\text{al}}{\text{saat} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} = \\ = 1,0214180262 \cdot \frac{1,163\text{Wat} \cdot \text{saat}}{\text{saat} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} = 1,1879091644706 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} = 1,18791 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \end{cases}$$

($1\kappa\kappa\text{al} = 1,163\text{Wat saat}$)

Benzeri biçimde diğer yöntemlerle bulunmuş Isısal yayınım parametresinin (κ_{ort}) değerleri kullanılarak Isı iletim parametresini değerleri Çizelge 4.13'de yazılmıştır.

4.3.5. Sıcaklık dalgasının sönme derinliğinin değerleri

Bir diğer Pedotransfer fonksiyonlardan olan toprakta sıcaklık dalgası sönme derinliği aşağıdaki biçimde hesaplanmış ve değerleri Çizelge 4.13'de belirtilmiştir.

Sıcaklıkların sönme derinliğinin hesaplanması aşağıdaki biçimde yapılmıştır:

$$d_{ort} = \sqrt{\frac{\tau_0 \kappa_{ort}}{\pi}} = \sqrt{\frac{24 \text{ saat} \cdot 2277,0 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{\text{saat}}}{3.1416}} = \sqrt{\frac{24}{3.1416} \cdot 2277,0 \cdot 10^{-6} m} = \\ = 131,889946 \cdot 10^{-3} m = 0,1319 m = 13,19 \text{ cm}$$

4.3.6. Toprağın ısı adsorbe etme kapasitesinin değerleri

Çok önemli bir diğer Pedotransfer fonksiyonlardan olan toprak ısı adsorbe parametresinin her bir yöntemle hesaplanması ve tüm değerleri Çizelge 4.13'de belirtilmiştir.

Hesaplama aşağıdaki biçimde yapılmaktadır:

$$e_{ort} = \sqrt{\lambda_{ort} C_{v,ort}} = \sqrt{1,18791 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \cdot 448,5806 \frac{\text{kkal}}{m \cdot ^\circ C}} = \\ = \sqrt{532,873381 W \cdot 1,163 W \cdot \text{saat}} \frac{1}{m \cdot ^\circ C} = \sqrt{619,731741575 \cdot \text{saat}} \frac{W}{m \cdot ^\circ C} = \\ = 24,8944 \frac{W \cdot \text{saat}^{1/2}}{m \cdot ^\circ C} \quad (1 \text{ kkal} = 1,163 W \cdot \text{saat})$$

4.3.7. Deneme arazisi toprağının önemli PTF değerleri

Deneme toprağı için uygulanan bütün metotlarda hesaplanmış pedotransfer fonksiyonları olan, termal yayılım (κ_{ort}), Isı iletim (λ_{ort}), sönme derinliği (d_{ort}) ve toprağın ısı adsorbe (e_{ort}) parametrelerinin farklı metotlarla bulunmuş değerleri Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Deneme toprağının [0; 0,4m] katmanındaki ortalama termal yayınım (κ_{ort}), termal iletim (λ_{ort}), sönme derinliği (d_{ort}) ve toprağın ısı adsorbe(e_{ort}) parametrelerinin farklı katmansal metotlarla bulunmuş değerleri

№	Sınır koşulları	Yöntemler	$\kappa_{ort} \cdot 10^{-6}$		λ_{ort}	d	e
			m ² /san	m ² /saat	W/m ⁰ C	cm	W saat ^{0,5} /m ^{2.0} C
Katmansal Yöntemler							
1	T(∞ ,t)=T ₀	Metot-1	0,6325	2277,00	1,1879	13,19	24,89
2		Metot-2	1,2384	4346,64	2,3259	18,45	34,83
3		Metot-3	0,7974	2870,64	1,4976	14,81	27,95
4		Metot-4	0,6390	2300,40	1,2001	13,26	25,02
Noktasal Yöntemler							
1	T(∞ ,t)=T ₀	Metot-5	0,1441	518,92	0,2706	6,30	11,88
2	$\partial T(L,t)/\partial z=0$	Metot-6	0,1261	453,80	0,2368	5,89	11,12

4.3.8. Termal yayınım modellerinin seçilmesi

Çizelge 4.13'deki veriler kullanılarak, termal yayınım parametresinin hesaplanmasında kullanılan klasik (katmansal) ve yeni metodların karşılaştırılması amacıyla, deneme arazisi toprak profilinin z=2, 10, 20, 30, 40 cm derinliklerindeki ölçüm (T_{ölç}) ve ısı iletgenlik denkleminin (2.10) her iki sınır koşuluna göre olan (2.17) çözümleri ile hesaplanmış (T_{hes}) değerleri arasındaki uyumluluk derecesi (korelasyon katsayısı, r) hesaplanmıştır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Sıcaklıkların ölçüm ve modellere göre hesaplanmış değerler arasındaki korelasyon (r, %) değerleri

№	Sınır koşulları	Yöntemler	Derinlik, z (m)				
			0,02	0,1	0,2	0,3	0,4
Katmansal Yöntemler							
1		Metot-1	53,00	-13,44	33,53	9,60	-26,13
2		Metot-2	49,48	-33,59	-6,37	-42,15	-27,34
3	$T(\infty,t)=T_0$	Metot-3	51,67	-21,29	18,58	-10,98	-29,16
4		Metot-4	52,94	-13,81	32,85	8,64	-26,34
Noktasal Yöntemler							
1	$T(\infty,t)=T_0$	Metot-5	65,45	60,84	84,89	43,51	23,69
2	$\partial T(L,t)/\partial z=0$	Metot-6	66,96	68,59	58,73	-65,63	-82,48

Korelasyon katsayılarını karşılaştırması, katmansal yöntemler içerisinde ölçüm değerlerinin profilin üst katmanında en iyi yansıtan modelin 1 nolu metodun olduğunu ($r=53,0\%$) belirtmektedir. Derin katmanlarda ($x \geq 0,02$ m) ise diğer katmansal metodların hepsi iyi sonuçlar vermemiştir ($r < 0$). Bir başka deyimle metot 1-4 termal yayılım parametresinin hesaplanması için tavsiye edilemez sonucunu ortaya koymuştur.

Lakin noktasal yöntemler için toprağın üst katmanlarında ($0 \leq z \leq 0,2$ m) metot-6 metot-5 nazaran daha iyi bir sonuç vermiştir ($x=0,02$ m için $r=66,96$; $x=0,1$ m için $r=68,59$; $x=0,3$ ve $0,4$ için $r < 0$).

Derin katmanlarında ise metot-5'e göre yapılmış hesaplamalar metot-6'ya göre daha iyidir ($x=0,3$ ve $0,4$ m için $r > 0$).

Bu sonuçlar sıcaklık dalğalarının sönme derinliğindeki Çizelge 4.13'deki parametresinin değerlerini kanıtlamaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan çalışma, arazide yapılan çalışmalar ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Arazide toprak profili açılmış -5, 0, 2, 10, 20, 30 ve 40 cm derinliklerine termal algılayıcı Thermochron the iButton DS1921G sensörleri yerleştirilmiş fiziksel ve kimyasal özellikler için toprak örnekleri alınarak deneme arazisinde toprağın ısısal özellikleri pedotransfer fonksiyonlarla belirlenmiştir.

Bu cihazın kullanılmasıyla farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip topraklarda, farklı ortamlarda kullanılarak değişik araştırma olanakları neticesinde farklı sıcaklık ölçümleri elde edilmekte, dolayısıyla bu çalışmanın daha ileride yapılan araştırmalara katkı sağlaması mümkün olmaktadır.

Deneme alanında toprağın ortalama su içerikleri (θ) **0,2461** m³/m³ hacim ağırlıkları **1.1545** g/cm³ hacimsel ısı kapasitesi **1927.8678** kJ/m³.⁰C dir. [0; 0,4m] katmanındaki noktasal metodlara göre ortalama termal yayılım **0,1441 10⁻⁶** ve **0,1261 10⁻⁶ m²/san** ısı iletim **0,2706** ve **0,2368** W/m.⁰C sönme derinliği **6.30** ve **5.89** cm toprağın ısı adsorbe parametreleri **11.88** ve **11.12** W saat^{0,5} /m².⁰C olarak saptanmıştır.

Toprak profilinde sıcaklığın zamana göre değişimini büyük ölçüde toprak yüzey bölgesinin sıcaklığı etkilediğinden ve katmansal yöntemlerde kullanılan formüllerde yüzey hava sıcaklıkları konusunda hiçbir bilginin (dalga genliği, ortalama sıcaklık ve faz açısı) olmaması, bu yöntemlerin eksikliği olarak ortaya konulmuştur.

Aynı zamanda katmansal yöntemler oldukça basit ve kullanışlı olmasına rağmen, toprak yüzey bölgesinin ısısal özelliklerini içermediği için bu yöntemlerin uygulanabilirliğide zor olmaktadır.

Toprak profilinde sıcaklığın zamana göre değişimini büyük ölçüde toprak yüzey bölgesinin sıcaklığı etkilediğinden ve katmansal yöntemlerde kullanılan formüllerde yüzey hava sıcaklıkları ve hiçbir bilginin olmaması, katmanlar arası sıcaklık değerlerinin daha

hassas ölçülmesinin gerektiği, bu yöntemlerin yerine noktasal veya ortalama integral yöntemlerin kullanılmasını gerekli kılmıştır.

Araştırma alanı toprağın Termal yayılım (κ) ve iletim (λ) parametrelerinin değerleri farklı yöntemlerle hesaplanmış ve bu yöntemlerden noktasal yöntemlerin profildeki ısı hareketinin en iyi yansıtan olduğu tesbit edilmiştir.

Profilin farklı derinliklerindeki ölçülmüş ve farklı modellere göre hesaplanmış sıcaklık değerleri arasındaki korelasyon katsayıları karşılaştırılmıştır. Katmansal yöntemler içerisinde ölçüm değerlerinin profilin üst katmanında en iyi yansıtan modelin 1 nolu metod olduğu tespit edilmiştir ($r=53,0\%$). Derin katmanlarda ($x \geq 0,02$ m) ise diğer katmansal metodların hepsi iyi sonuçlar vermemiştir ($r < 0$). Bir başka deyimle Metot 1-4 termal yayılım parametresinin hesaplanması için tavsiye edilemez sonucunu ortaya koymuştur.

Noktasal yöntemler için toprağın üst katmanlarında ($0 \leq z \leq 0,2$ m) 6 nolu Metod 5 nolu Metoda nazaran daha iyi bir sonuç vermiştir ($x=0,02$ m için $r=66,96$; $x=0,1$ m için $r=68,59$; $x=0,3$ ve $0,4$ için $r < 0$). Derin katmanlarında ise Metot-5'e göre yapılmış hesaplamalar Metot-6'ya göre daha iyidir ($x=0,3$ ve $0,4$ m için $r > 0$).

Bu sonuçlar sıcaklık dalğalarının sönme derinliği parametresinin değerlerini kanıtlamaktadır.

Denemede kullanılan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değerlerine ve nem miktarlarına bağlı olarak termal yayılım ve termal iletkenliği parametrelerinin değerleri de katmanlara göre değişmektedir.

Teorik modellerde birçok parametrenin değerlendirilmesi için özel arazi ve laboratuvar denemeleri yapılmalıdır. Araştırma konusuyla ilgili matematiksel modellerde kısmi türevli diferansiyel denklemlerin uygun başlangıç ve sınır koşullarında çözümleri mümkündür. Bu nedenle uygulamaya yönelik modellerin yapılması deneysel ve teorik bilgilere bağlı olduğundan, bu çeşit modellerin yapılmasında farklı disiplinlerin bir araya gelmesi önemlidir.

KAYNAKLAR

- Aimrun, W., Amin, M.S.M. 2009, Pedo-Transfer Function for Saturated Hydraulic Conductivity of Lowland Paddy Soils. *J Paddy and Water Environment*. 7(3):217-225.
- Akalan, İ., 1983. *Toprak Bilgisi*. Ankara Üniversitesi Basım Evi, Ankara, 346.
- Anonim, 2018. Iğdır Hakkında Genel Bilgiler(<http://www.eigdir.com/haber/igdir-hakkinda-genel-bilgiler.html>) Erişim Tarihi(08.11.2018)
- Anonim, 2018. T.C. Iğdır Valiliği Iğdır İli Coğrafi Durum-Toprak Özellikleri. (<http://www.igdir.gov.tr/meridty.asp?id=23>) Erişim Tarihi(08.11.2018)
- Babyev, N., 1956. Islak Materyallerde Isı ve Nemin Taşınım Parametrelerinin Birlikte Belirlenmesi. *Trudı Moskow Texnol. In-Ta Pişevoy Prom-Ti*, 6, 48-57.
- Barik, K., 2002. *Toprakların Isısal Özelliklerinin Matematik Model ile Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Erzurum.
- Baroni, G., Facchi A., Gandolfi, C., Ortuani, B., Horeschi, D., Van Dam, J.C. 2009. Uncertainty in the Determination of Soil Hydraulic Parameters and its Influence on the Performance of Two Hydrological Models of Different Complexity. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6(3), 4065-4105.
- Bilgili, M., 2010. The Use of Artificial Neural Networks for Forecasting the Monthly Mean Soil Temperatures in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture Forestry*, 35(1), 83-93.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986. *Bulk Density in: Methods of Soil Analysis, Part 1*, Physical and Mineralogical Methods. (Ed: A. Klute) Agr. Monogr. 9.ASA and SSSA, Madison WI. p.363–375.
- Bouma, J., And Van Lanen, J.A.J., 1987. *Transfer Functions And Threshold Values*, From Soil Characteristics to Land Qualities, in: Quantified Land Evaluation,

Edited By: Beek, K.J., Burrough, P.A., McCormack, D.E., International Institute Aerospace Survey Earth Science, ITC20 Publishing, Enschede, the Netherlands, 106–110.

Bouma, J., 1989. Using Soil Survey Data For Quantitative Land Evaluation. *Advances in Soil Science*. Volume:9, B.A. Stewart (Ed.): Springer Verlag, New York, 177-213.

Carslaw, H.S., Jaeger, J.C. 1959. *Conduction of Heat in Solids*. Clarendon Press, Oxford, 1959, ed. 2, 510.

Chudnovskii, A. F., 1948. *Toprakta Isının Fiziği*. M.; JL: G.Ostehizdat, 220.

Chudnovskii, A. F., 1967. *Fundamentals of Agrophysics*. Israel Prog.For Sc. Translations, Jerusalem,166.

Chudnovskii, A. F., 1976. *"Toprakların Isı Fiziği."* Moskova. Nauka, 353

Dashtaki, G.Sh., Homae, M., 2004. "Using Geometric Mean Particle Diameter to Derive Point and Continuous Pedotransfer Functions. *Eurosoil*, 10(27), 1-11.

Dashtaki, S.G., Homae, M., And Khodaverdiloo, H., 2010. Derivation and Validation of Pedotransfer Functions For Estimating Soil Water Retention Curve Using A Variety of Soil Data. *Soil Use and Management*, 26(1), 68–74

De Vries, D. A., 1952. The Thermal Conductivity of Granular Materials. *Bulletin De l'Institute International Du Froid*, Annexe,115.

De Vries, D. A., Philip, J. R. (1986). Soil Heat Flux, Thermal Conductivity and The Null Agliment Method. *Soil Science Society America Journal*, 50(1), 12-18.

Dizdar, Y., 1983. *Toprak Sınıflaması*. Topraksu Genel Müd. Yayım, Ankara, No:707.

Ekberli, İ., Gülser, C., Korkmaz, A., Özdemir, N., Aşkın, T., And Mikayilsoy, F., 2002. Toprak Oluşum Enerjisinin Teorik İncelenmesi. *Su Havzalarında Toprak ve Su*

- Kaynaklarının Korunması, Geliştirilmesi ve Yönetimi Sempozyumu***, Hatay, 489-494.
- El-Kadi, A.I. 1985. On Estimating the Hydraulic Properties of Soil, Part 2. a New Empirical Equation for Estimating Hydraulic Conductivity for Sands. ***Advances in Water Resources***, 8(3), 148-153.
- Erol, A.S. 2016. ***Comparing Soil Thermal Properties Under Different Plant Canopies***, PhD Thesis, Cankırı Karatekin University, Çankırı, 197.
- Flint, A.L., Childs, S., 1984. ***Physical Properties of Rock Fragments And Their Effect on Available Water In Skeletal Soils***. In: Box J.E., Jr., Ed. Erosion And Productivity Of Soils Containing Rock Fragments, Soil Science Society of America spec.pbl. 13, 91-103.
- Gamayunov, N.N., 1960. Prob Yöntemi ile Torfta Isı ve Nemin Taşınımı Süreçlerinin İncelenmesi. ***Trudı Kalinin. Torf. İn-Ta***, 11(1960), 203-217.
- Gao Z., Wang L., Horton R. 2009. Comparison of Six algorithms to Determine the Soil Thermal Diffusivity at a Site in the Loess Plateau of China, ***Hydrology and Earth System Sciences Discussions***, 6(2), 2247-2274.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. ***Particle-Size Analysis. Methods of Soil Analysis***, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd Edition. Agronomy No: 9. Madison, Wisconsin USA. 383-411, 1188 p.
- Genç, İ., 1988. ***Tarımsal Ekoloji***. Adana Çukurova Üniversitesi. 1989 Baskı, Adana,
- Gerayzade, A.P., 1982. ***Toprak Sistemlerinde Sıcaklık ve Nem Taşınımı***. Baku, Elim, 157.
- Gerayzade, A.P., 1989. ***Toprak Bitki Atmosfer Sisteminde Enerji Döngüsü***. Baku. Elim, 158.
- Guber, A.K., Pachepsky, Y.A. 2010. Multimodeling With Pedotransfer Functions. ***Documentation and User Manual For PTF Calculator (CalcPTF)***, Version, 2.

- Gülser, Ç., Ekberli, İ., 2004. A Comparison of Estimated and Measured Diurnal Soil Temperature Through A Clay Soil Depth. *Journal of Applied Sciences*, 4(3), 418-423.
- Hadas, A., 1977. Evaluation of Theoretically Predicted Thermal Conductivities of Soils Under Field And Laboratory Conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 41(3), 460 -465.
- Haitovski, Y., 1969. A Note on the Maximization of $2R$. *America Statist*, 23(1), 20-21
- Hillel, D., 1982. *Introduction to Soil Physics*. Academic Pres, New York, 364.
- Horton, R., Wierenga, P.J., Nielsen, D. R., 1983. Evaluation of Methods for Determining the Apparent Thermal Diffusivity of Soil Near the Surface. *Soil Science Society of America Journal*, 47(1), 25-32.
- Horton, R.J., 1982. *Determination and Use of Soil Thermal Properties Near the Soil Surface*. New Mexico State University, 151.
- Horton, R., Wieranga, P. J., 1983b. Estimating the Soil Heat Flux From Observations of Soil Temperature Near the Surface. *Soil Science Society of America Journal*, 47(1), 14-20.
- Ingelmo, F., Molina, M.J., De Paz , J.M., Visconti, F., 2011. Soil Saturated Hydraulic Conductivity Assessment From Expert Evaluation of Field Characteristics Using an Ordered Logistic Regression Model. *Soil & Tillage Research*, 115, 27-38.
- Juri, W. A., Gardner, W. R., Gardner, W. H., 1991. *Soil Physics*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 328.
- Kaganov M.A., Chudnovsky A.F. 1953 On the Determination of the Thermal Conductivity of the Soil. *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Geography*, 2(1953), 183-191.

- Karahan, G., 2014. *Toprağın Morfolojik ve Parametrik Özelliklerinden Doymun Hidrolik İletkenliğinin Tahmini*. Doktora Tezi Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı. 256.
- Kemper, W.D., Rosenau, R.C., 1986. *Aggregate Stability and Size Distribution*. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd Edition. Agronomy No: 9. Madison, Wisconsin USA, 425-442, 1188 p.
- Klutenberg, G. J., Horton, R., 1990. Analytical Solution for Two Dimensional Heat Conduction Beneath A Partial Surface Mulch. *Soil Science Society of America Journal*. 54(5), 1197-1206.
- Kolmogorov A.N. 1950. On the Question of Determining the Coefficient of Thermal Diffusivity of the soil. *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Geography and Geophysics*, 2(14), 97-99.
- Krogh, L., Breuning-Madsen, H., Greve, M.H., 2000. Cation Exchange Capacity Pedo Transfer Function For Danish Soils. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Science*, 50(1), 1-12.
- Kurtener, D.A., Chudnovskii, A.F., 1979. *Agrometeorological Basics of the Thermal Amelioration of Soils*. Press Gidrometeoizdat, Leningrad, 231.
- Lamp, J., Kneib, W. 1981. Zur Quantitative Erfassung und Bewertung von Pedofunktionen. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 32(1), 695-711.
- Marinova, T. K., 1993. On Determining the Conductivity Coefficient of the Basic Soils in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Meteorology & Hydrology*, 4(2), 65-69.
- McLean, E.O., 1982. *Soil pH and Lime Requirement. Methods of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition. Agronomy, 199-224.
- Mihalakakou, G., 2002. On Estimating Soil Surface Temperature Profiles. *Energy And Buildings*, 34(3), 251-259.

- Mihalakakou, G., Santamouris, M., Lewis, J. O., Asimakopoulos, D. N., 1997. On the Application Of The Energy Balance Equation to Predict the Ground Temperature Profiles. *Solar Energy*, 60(3-4), 181-190.
- Mikayilov, F. D., Shein, E. V., 2008. Modeling And Prediction Of Soil Temperature Regime *In Proc. of The First All_Russia Conf. Fundamental Achievements In Soil Science, Ecology, And Agriculture On The Way To Innovations*, Moskova, 38–45
- Mikayilov, F. D., 2009a. About One Solution of the Equation Of Heat Conductivity In Soil, *Internationalconference On the Fifth Scientific Readings J.P. Bulashevicha. Deep Structure.Geodynamics. Thermal Field of the Earth. Interpretation Of Geophysical Fields*, Scientific Publications, Yekaterinburg 319–323.
- Mikayilov, F. D., 2009b. Some Problems of Modeling the Temperature Regime of Soil. *Proceedings International Conference 16th Winter School on Mechanics of Continuous Systems*, Russian.
- Mikayilov, F.D., Shein, E. V., 2010. Theoretical Principles of Experimental Methods For Determining the Thermal Diffusivity of Soils. *Eurasian Soil Science*, 43(5), 556-564.
- Mikayilov, F.D., Erol, A. S., 2015. Direct And Inverse Problems Of Heat Transfer In Soil. International Scientific Conference. *Modern State of Soil Science and Agrochemistry, Problems And Solutions*. Almaati, 32-39.
- Mikailsoy F.D. 2017. On the Influence of Boundary Conditions in Modeling Heat Transfer in Soil, *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 90(1), 67-79.
- Mikailsoy F.D., Shein E.V., Erol A.S., Erşahin S., Er F. 2019 *Thermal properties of different moisture levels of heavy-clay soils*, land and conditions of colon, determination, comparison and mathematical modelling (Çumra area), Book of

- Proceeding International Conference on Key concepts of soil physics: development, future prospects and current application, Mockow , 68-75.
- Nassar, I. N., Horton, R., 1990. Determination of Soil Apparent Thermal Diffusivity From Multiharmonic Temperature Analysis for Nonuniform Soils. *Soil Science*, 149(3), 125-130.
- Nassar, I. N., R., H., Globus, A. M., 1992. Simultaneous Transfer of Heat and Solute in Porous Media: II. Experiment and Analysis. *Soil Science Society America Journal*, 56(1992), 1357 – 1365.
- Nelson, R.E., 1982. *Carbonate and Gypsum. Methods of Soil Analysis*, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition. Agronomy, 181-197.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. *Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. Methods of Soil Analysis*, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition. Agronomy, 539-579.
- Nerpin S. V., Chudnovskii A. F. 1967a. *Soil Physics*, Nauka, Moscow, 584.
- Norton, E.A.1939. Soil Conservation Survey Handbook. USDA, Soil Conservation Service, Miscellaneous Publication No. 352. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. Oades, J. M. 1984. Soil Organic Matter and Structural Stability: Mechanisms and Implications for Management. *Plant Soil*, 76, 319–337.
- Oosterbaan, R.J., Nijland, H.J. 1994. *Determining The Saturated Hydraulic Conductivity*, Chapter 12 in: H.P.Ritzema (Ed.), Drainage Principles and Applications. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publication 16, second revised edition, 1994, Wageningen, The Netherlands.
- Oruç, N., 1970. *Iğdır Ovası Çorak Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 27, Erzurum.

- Özbek, H., 1990. **Toprak Bilgisi**. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No:34. Adana, 155.
- Özdemir, N., 1998. **Toprak Fiziği**. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Samsun, say.127-130
- Pachepsky, Y.A, Rawls, W.J., Lin, H.S. 2006. Hydropedology and Pedotransfer Functions. **Geoderma**, 131(1), 308–316.
- Potter, K.N., Cruse, R. M., Horton, R., 1985. Tillage Effects on Soil Thermal Properties. **Soil Science Society America Journal**, 49(4), 968-973.
- Rawls, W.J., Gish, T.J., Brakensiek, D.L. 1991. Estimating Soil Water Retention From Soil Physical Properties and Characteristics. **Advances Soil Science**, 16 (1991), 213–234.
- Richards, L.A., 1954, Diagnosis and improvement of Saline and Alkali soils, USDA Handbook 60, U.S., **Government Printing Office**, Washington, D. C.(pp:107-123)
- Rhoades, J.D., 1982. **Soluble Salts. Methods of Soil Analysis**, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition. Agronomy No: 9, 167-179.
- Saatçı, F., 1975. **Toprak İlmî**. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:214 , Ege Üniversitesi Matbaası,İzmir, 303.
- Santos, R. C., Vıswandadham, Y., Santaa, J. M., 1988. Thermal Properties of the Soil a Case Study. **Ciencia a Culture-San- Paulo**, 40(12), 1227-1231.
- Sarıyev, L. A., Gülüt, K., 1995b. Agroekosistemde Bitki Gelişiminin Matematiksel Modelleri ve Bunların Temel Prensipleri Adana. **Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 10,(4) 61-66.
- Sarıyev, A., Aydın, C., Yusufova, M., 1998. Destekli Termoelementlerle Ölçülmesi ve Toprakta Sıcaklık Rejiminin Matematiksel Modellenmesi. M. Şefik Yeşilsoy, **International Symposium On Arid Region Soils**, İzmir, 336-344.

- Schaap, M.G., Leij, F.J., Van Genuchten, M.TH. 1998. Neural Network Analysis for Hierarchical Prediction of Soil Hydraulic Properties. *Soil Science Society America Journal*, 62(1), 847-855.
- Schaap, M.G., Leij, F.J. 2000. Improved Prediction of Unsaturated Hydraulic Conductivity Within the Mualem-Van Genuchten Model. *Soil Science Society America Journal*, 64(3), 843-851.
- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C. 2012. *Soil Survey Staff, Field Book for Describing and Sampling Soils*. Version 3., 2nd ed. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln,
- Shein E.V. 2005. *Soil Physics Course*. M.: Moscow University, Public, 2005. 432.
- Shein, E. V., Goncharov, V. M., 2006. *Agrophysics*. Rostov On Don, Feniks, in Russian, 398.
- Shein, E. V. (2007). *Toprak Fiziği Teorisi ve Metotları*, Moskova, 616.
- Smith, W. O., H. G. Beyrs. 1938. The Thermal Conductivity of Dry Soil of the Great Soil Groups. *Soil science society america Processes*, 3(1938), 13-19
- Şımarmaz, A., 2010. *Arazi Koşullarında Toprağın Isısal Özelliklerinin Araştırılması Ve Matematiksel Modellemesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya. 137.
- Tenge, A. J., Kagihura, F. B. S., Lal, R., Singh, B. R., 1998. Diurnal Soil Temperature Fluctuations for Different Erosion Classes of an Oxisol at Mlingano, Tanzania. *Soil and Tillage Research*, 49(3), 211-217.
- Theil, H., & Rey, G. (1966). A Quadratic Programming Approach to the Estimation of Transition Probabilities. *Management Science*, 12(9), 714-721.

- Tomessla, J., Hodnett, M.G., Rosette, L. 2000. Pedotransfer Functions for Estimation of Soil Water Retention in Brazilian. *Soil Science Society America Journal*, 64(1), 327-338.
- Tusat E., Mikailsoy F. 2018 An Investigation of the Criteria Used to Select the Polynomial Models Employed in Local GNSS/Leveling Geoid Determination Studies, *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 801.
- Twarakavi, N.K.C., Šimůnek, J., Schaap, M.G., 2008. Development of Pedotransfer Functions For Estimation of Soil Hydraulic Parameters Using Support Vector Machines. *Soil Science Society America Journal*, 73(5), 1443-1452.
- Uytun, A., Pekey, B., Kalemci, M. 2013. Toprak Nem Ölçümleri, *VIII. Ulusal Ölçümbilimi Kongresi*, 26–28 Eylül 2013, Gebze, 1–13.
- Van Vijk, W. R., De Vries, D. A. 1966. *Periodic Temperature Variations In A Homogeneous Soil "Physics Of Plant Enviroment"* (Edit. W. R., Van Wijk), North- Holland Publ. Com. Amsterdam, 102-143.
- Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J. 1990. Estimating Unsaturated Hydraulic Conductivity From Easily Measured Soil Properties. *Soil Science*, 1498(1), 1–12.
- Wagner, B., Tarnawski, V. R., Hennings, V., Müller, U., Wessolek, G., and Plagge, R. 2001. Evaluation of Pedo-transfer Functions for Unsaturated Soil Hydraulic Conductivity Using an Independent Data set. *Geoderma*, 102(3), 275-297.
- Willmott, C., 1981. On the Validation of Models. *Physical Geography*, 2(2), 184–194.
- Wösten, J.H.M., van Genuchten, M.Th. 1988. Using Texture and Other Soil Properties to Predict the Unsaturated Soil Hydraulic Functions. *Soil Science Society America Journal*, 52 (1988), 1762–1770
- Wösten, J.H.M., Lilly, A., Nemes, A., Le Bas, C. 1999. Development and Use of a Database of Hydraulic Properties of European Soils. *Geoderma*, 90(3-4), 169–185.

- Wösten, J. H. M., Pachepsky, Y. A., Rawls, W. J., 2001. Pedotransfer Functions, ***Bridging the Gap Between Available Basic Soil Data And Missing Soil Hydraulic Characteristics***. J. Hydrol, 123–150,
- Yakupoğlu, T., Şişman, A.Ö., Karagöktaş, M., ve Demir, Ö.F. 2013. Toprakların Doygun Koşullardaki Hidrolik İletkenlik Değerlerinin Pedotransfer Eşitlikler ile Tahminlenmesi. ***Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi***, 8 (1), 84-92.
- Yeşilsoy, M. Ş., 1975. Toprakların Isısal İletkenliğinin Özelliklerine Dayanarak Hesaplanması. ***Tübitak 5. Bilim Kongresi***, Toprak-Bitki Besleme Sektörünü, İzmir. 379- 391.
- Yeşilsoy, M. Ş., Aydın, M., 1991. ***Toprak Fiziği***. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı No:124, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset ve Teksir Atölyesi, Adana, 228.
- Yeşilsoy, M. Ş., Ve Aydın, M., 1995. ***Toprak Fiziği***. Çukurova Üniversitesi ziraat Fakültesi Yayınlan Ders Kitabı No: 124, Adana, 199-221
- Yılmaz, Ö., 2008. ***Toprak Kolonlarında Isısal Özelliklerin Belirlenmesi ve Modellenmesi***. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya. 88.

EKLER

Ek.1. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (19.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
	-5	0	2	10	20	30	40	
1	0	14,5	17,5	23,0	24,5	24,3	24,0	23,5
2	1	15,0	17,5	22,5	24,5	24,3	24,0	23,5
3	2	15,0	17,5	22,5	24,0	24,0	24,0	23,5
4	3	13,0	15,0	22,0	24,0	24,0	24,0	23,5
5	4	12,5	15,5	22,0	24,0	24,0	24,0	23,5
6	5	12,0	15,0	21,5	23,5	23,8	24,0	23,5
7	6	11,5	15,0	21,0	23,5	23,8	24,0	23,5
8	7	15,0	17,5	21,0	23,5	23,8	24,0	23,5
9	8	20,5	21,0	21,0	23,5	23,8	24,0	23,5
10	9	26,0	30,0	21,0	23,0	23,5	24,0	23,5
11	10	31,5	40,0	21,5	23,0	23,5	24,0	23,5
12	11	34,5	45,5	22,5	23,0	23,5	24,0	23,5
13	12	40,0	49,5	24,0	23,0	23,5	24,0	23,5
14	13	34,5	39,0	24,5	23,0	23,3	23,5	23,5
15	14	37,5	39,0	25,5	23,5	23,5	23,5	23,5
16	15	37,0	33,5	26,5	23,5	23,5	23,5	23,5
17	16	34,5	30,0	26,5	24,0	23,8	23,5	23,5
18	17	28,0	27,0	26,5	24,0	23,8	23,5	23,5
19	18	22,5	24,0	26,0	24,5	24,0	23,5	23,5
20	19	19,5	21,5	25,5	24,5	24,0	23,5	23,5
21	20	17,5	20,0	25,0	24,5	24,0	23,5	23,5
22	21	16,0	18,5	24,5	24,5	24,0	23,5	23,5
23	22	14,0	17,0	24,0	24,5	24,0	23,5	23,5
24	23	14,0	16,5	23,0	24,5	24,3	24,0	23,5

Ek.2. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (20.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	12,5	15,5	22,5	24,5	24,3	24,0	23,5
2	1	11,0	14,5	22,0	24,0	24,0	24,0	23,5
3	2	9,5	13,5	22,0	24,0	24,0	24,0	23,5
4	3	10,0	13,0	21,5	24,0	24,0	24,0	23,5
5	4	8,0	12,0	21,0	23,5	23,8	24,0	23,5
6	5	7,5	11,5	20,5	23,5	23,8	24,0	23,5
7	6	8,0	11,5	20,0	23,0	23,5	24,0	23,5
8	7	11,5	13,5	20,0	23,0	23,5	24,0	23,5
9	8	20,0	21,0	19,5	23,0	23,3	23,5	23,5
10	9	26,0	31,5	20,0	22,5	23,0	23,5	23,5
11	10	33,0	40,5	21,0	22,5	23,0	23,5	23,5
12	11	38,0	47,5	22,5	22,5	23,0	23,5	23,5
13	12	41,0	49,5	23,5	22,5	23,0	23,5	23,5
14	13	35,0	38,5	24,5	22,5	23,0	23,5	23,5
15	14	34,0	37,5	25,0	23,0	23,3	23,5	23,5
16	15	34,0	32,5	25,5	23,0	23,3	23,5	23,5
17	16	31,0	30,0	26,0	23,5	23,5	23,5	23,5
18	17	26,5	27,5	26,0	23,5	23,5	23,5	23,5
19	18	22,0	24,0	25,5	24,0	23,8	23,5	23,5
20	19	19,5	21,5	25,0	24,0	23,8	23,5	23,5
21	20	17,5	20,0	24,5	24,0	23,8	23,5	23,5
22	21	16,5	19,0	24,0	24,0	23,8	23,5	23,5
23	22	14,5	17,5	23,5	24,0	23,8	23,5	23,5
24	23	16,0	18,5	23,0	24,0	23,8	23,5	23,0

Ek.3. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (21.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	14,5	17,0	22,5	24,0	23,8	23,5	23,0
2	1	12,5	15,5	22,5	24,0	23,8	23,5	23,0
3	2	12,0	15,0	22,0	23,5	23,5	23,5	23,0
4	3	11,5	14,5	21,5	23,5	23,5	23,5	23,0
5	4	12,0	14,5	21,0	23,5	23,5	23,5	23,0
6	5	11,0	14,0	21,0	23,0	23,3	23,5	23,0
7	6	10,5	13,5	20,5	23,0	23,3	23,5	23,5
8	7	14,0	15,5	20,5	23,0	23,3	23,5	23,0
9	8	21,0	22,0	20,5	23,0	23,3	23,5	23,0
10	9	28,0	32,0	21,0	22,5	23,0	23,5	23,0
11	10	34,5	41,5	21,5	22,5	23,0	23,5	23,0
12	11	38,0	45,0	22,5	22,5	23,0	23,5	23,0
13	12	39,5	49,0	23,5	22,5	23,0	23,5	23,0
14	13	33,5	39,0	24,5	23,0	23,3	23,5	23,0
15	14	33,0	37,0	25,0	23,0	23,3	23,5	23,0
16	15	34,5	33,5	25,5	23,0	23,3	23,5	23,0
17	16	30,5	30,0	26,0	23,5	23,5	23,5	23,0
18	17	26,5	27,5	25,5	23,5	23,5	23,5	23,0
19	18	23,0	24,5	25,5	24,0	23,8	23,5	23,0
20	19	20,0	22,0	25,0	24,0	23,8	23,5	23,0
21	20	18,0	20,5	24,5	24,0	23,8	23,5	23,0
22	21	18,5	20,5	24,0	24,0	23,8	23,5	23,0
23	22	18,5	20,5	23,5	24,0	23,8	23,5	23,0
24	23	18,5	20,0	23,5	24,0	23,8	23,5	23,0

Ek.4. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (22.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	15,0	17,5	23,0	24,0	23,8	23,5	23,0
2	1	13,0	16,0	22,5	24,0	23,8	23,5	23,0
3	2	11,5	14,5	22,0	23,5	23,5	23,5	23,0
4	3	11,0	14,0	21,5	23,5	23,5	23,5	23,0
5	4	13,0	15,0	21,5	23,5	23,5	23,5	23,0
6	5	13,5	15,5	21,0	23,0	23,3	23,5	23,0
7	6	12,0	14,5	21,0	23,0	23,3	23,5	23,0
8	7	14,5	16,0	20,5	23,0	23,3	23,5	23,0
9	8	21,0	21,5	20,5	22,5	23,0	23,5	23,0
10	9	15,5	18,0	21,0	22,5	23,0	23,5	23,0
11	10	20,0	19,0	21,0	22,5	23,0	23,5	23,0
12	11	21,0	25,5	21,0	22,5	23,0	23,5	23,0
13	12	16,5	19,0	21,5	22,5	23,0	23,5	23,0
14	13	19,0	19,5	21,5	22,5	23,0	23,5	23,0
15	14	23,0	25,0	21,5	22,5	23,0	23,5	23,0
16	15	22,5	24,0	22,0	22,5	22,8	23,0	23,0
17	16	20,0	21,5	22,0	22,5	22,8	23,0	23,0
18	17	17,5	19,0	22,0	22,5	22,8	23,0	23,0
19	18	14,5	17,0	21,5	22,5	22,8	23,0	23,0
20	19	13,0	15,5	21,5	22,5	22,8	23,0	23,0
21	20	12,0	14,5	21,0	22,5	22,8	23,0	23,0
22	21	11,5	13,5	20,5	22,5	22,8	23,0	23,0
23	22	10,5	13,0	20,0	22,5	22,8	23,0	23,0
24	23	9,5	12,5	19,5	22,0	22,5	23,0	23,0

Ek.5. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (23.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	9,5	12,0	19,5	22,0	22,5	23,0	23,0
2	1	8,5	11,5	19,0	22,0	22,5	23,0	23,0
3	2	8,0	11,0	18,5	21,5	22,3	23,0	23,0
4	3	7,0	10,0	18,0	21,5	22,3	23,0	23,0
5	4	6,5	9,5	18,0	21,5	22,3	23,0	23,0
6	5	6,0	9,0	17,5	21,0	22,0	23,0	23,0
7	6	6,0	9,0	17,0	21,0	22,0	23,0	23,0
8	7	9,0	10,0	17,0	21,0	22,0	23,0	23,0
9	8	15,5	16,5	17,0	20,5	21,8	23,0	23,0
10	9	22,5	26,5	17,5	20,5	21,5	22,5	22,5
11	10	28,0	33,5	19,0	20,5	21,5	22,5	22,5
12	11	31,0	38,5	20,0	20,5	21,5	22,5	22,5
13	12	34,5	42,0	21,0	20,5	21,5	22,5	22,5
14	13	31,5	33,5	22,0	20,5	21,5	22,5	22,5
15	14	29,5	32,5	22,5	21,0	21,8	22,5	22,5
16	15	32,5	27,0	23,5	21,0	21,8	22,5	22,5
17	16	30,0	25,0	23,5	21,5	22,0	22,5	22,5
18	17	23,5	22,5	23,5	22,0	22,3	22,5	22,5
19	18	19,5	20,5	23,0	22,0	22,3	22,5	22,5
20	19	16,0	18,5	23,0	22,0	22,3	22,5	22,5
21	20	14,5	17,0	22,0	22,5	22,5	22,5	22,5
22	21	13,0	15,5	21,5	22,5	22,5	22,5	22,5
23	22	12,0	14,5	21,0	22,5	22,5	22,5	22,5
24	23	11,0	14,0	20,5	22,0	22,3	22,5	22,5

Ek.6. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (24.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	10,5	13,0	20,0	22,0	22,3	22,5	22,5
2	1	10,0	12,5	20,0	22,0	22,3	22,5	22,5
3	2	9,0	12,0	19,5	22,0	22,3	22,5	22,5
4	3	9,0	11,5	19,0	21,5	22,0	22,5	22,5
5	4	8,5	11,0	18,5	21,5	22,0	22,5	22,5
6	5	7,5	10,5	18,5	21,5	22,0	22,5	22,5
7	6	7,5	10,5	18,0	21,0	21,8	22,5	22,5
8	7	10,5	11,5	17,5	21,0	21,8	22,5	22,5
9	8	19,5	19,5	17,5	21,0	21,8	22,5	22,5
10	9	24,5	28,5	18,0	20,5	21,5	22,5	22,5
11	10	29,0	36,0	19,0	20,5	21,5	22,5	22,5
12	11	35,5	42,0	20,0	20,5	21,5	22,5	22,5
13	12	39,5	46,0	21,0	20,5	21,5	22,5	22,5
14	13	36,5	37,0	22,0	21,0	21,8	22,5	22,5
15	14	35,0	37,0	23,5	21,0	21,8	22,5	22,5
16	15	37,0	30,5	24,0	21,5	21,8	22,0	22,5
17	16	35,0	27,0	24,5	21,5	21,8	22,0	22,5
18	17	29,5	25,0	24,5	22,0	22,0	22,0	22,0
19	18	22,0	21,5	24,5	22,5	22,3	22,0	22,0
20	19	17,5	19,0	24,0	22,5	22,3	22,0	22,0
21	20	14,5	17,0	23,0	22,5	22,3	22,0	22,0
22	21	13,5	16,0	22,5	22,5	22,3	22,0	22,0
23	22	12,0	15,0	22,0	22,5	22,5	22,5	22,0
24	23	10,5	13,5	21,0	22,5	22,5	22,5	22,0

Ek.7. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (25.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	9,5	12,5	20,5	22,5	22,5	22,5	22,0
2	1	8,5	11,5	20,0	22,5	22,5	22,5	22,0
3	2	8,5	11,5	19,5	22,0	22,3	22,5	22,0
4	3	7,0	10,5	19,0	22,0	22,3	22,5	22,0
5	4	6,5	10,0	18,5	21,5	22,0	22,5	22,0
6	5	6,0	9,5	18,5	21,5	22,0	22,5	22,0
7	6	6,0	9,0	18,0	21,5	22,0	22,5	22,0
8	7	9,5	11,0	17,5	21,0	21,8	22,5	22,0
9	8	19,0	20,0	17,5	21,0	21,8	22,5	22,0
10	9	26,0	31,5	18,0	20,5	21,5	22,5	22,0
11	10	33,0	40,5	19,5	20,5	21,3	22,0	22,0
12	11	37,5	46,0	20,5	20,5	21,3	22,0	22,0
13	12	43,0	48,0	22,0	20,5	21,3	22,0	22,0
14	13	37,0	38,0	23,0	21,0	21,5	22,0	22,0
15	14	35,0	38,0	24,0	21,0	21,5	22,0	22,0
16	15	36,0	32,0	24,5	21,5	21,8	22,0	22,0
17	16	35,5	29,0	25,0	22,0	22,0	22,0	22,0
18	17	29,5	26,5	25,0	22,0	22,0	22,0	22,0
19	18	23,0	23,0	24,5	22,5	22,3	22,0	22,0
20	19	18,5	20,0	24,0	22,5	22,3	22,0	22,0
21	20	16,5	18,0	23,5	23,0	22,5	22,0	22,0
22	21	14,5	17,0	23,0	23,0	22,5	22,0	22,0
23	22	14,0	16,0	22,5	23,0	22,5	22,0	22,0
24	23	12,5	15,0	21,5	22,5	22,3	22,0	22,0

Ek.8. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (26.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	11,5	14,5	21,0	22,5	22,3	22,0	22,0
2	1	12,0	14,0	20,5	22,5	22,3	22,0	22,0
3	2	12,0	14,0	20,5	22,5	22,3	22,0	22,0
4	3	12,0	13,5	20,0	22,0	22,3	22,5	22,0
5	4	10,5	13,0	19,5	22,0	22,3	22,5	22,0
6	5	14,0	13,5	19,5	22,0	22,3	22,5	22,0
7	6	11,5	13,0	19,0	21,5	22,0	22,5	22,0
8	7	16,0	15,0	19,0	21,5	22,0	22,5	22,0
9	8	23,0	22,5	19,0	21,5	22,0	22,5	22,0
10	9	27,5	31,5	19,5	21,0	21,5	22,0	22,0
11	10	32,0	39,5	20,0	21,0	21,5	22,0	22,0
12	11	36,0	46,0	21,0	21,0	21,5	22,0	22,0
13	12	40,5	48,0	22,0	21,0	21,5	22,0	22,0
14	13	37,0	39,5	23,0	21,5	21,8	22,0	22,0
15	14	38,5	37,0	24,0	21,5	21,8	22,0	22,0
16	15	39,0	33,5	25,0	22,0	22,0	22,0	22,0
17	16	37,0	29,5	25,0	22,0	22,0	22,0	22,0
18	17	29,0	26,5	25,0	22,5	22,3	22,0	22,0
19	18	22,0	23,0	25,0	22,5	22,3	22,0	22,0
20	19	20,5	21,5	24,5	23,0	22,5	22,0	22,0
21	20	18,0	19,5	24,0	23,0	22,5	22,0	22,0
22	21	16,5	18,0	23,0	23,0	22,5	22,0	22,0
23	22	16,0	17,5	22,5	23,0	22,5	22,0	22,0
24	23	14,0	16,5	22,0	23,0	22,5	22,0	22,0

Ek.9. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (27.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	12,5	15,0	21,5	23,0	22,8	22,5	22,0
2	1	12,5	15,0	21,0	22,5	22,5	22,5	22,0
3	2	11,0	14,0	21,0	22,5	22,5	22,5	22,0
4	3	12,0	13,5	20,5	22,5	22,5	22,5	22,0
5	4	12,5	13,5	20,0	22,0	22,3	22,5	22,0
6	5	12,0	13,0	19,5	22,0	22,3	22,5	22,0
7	6	11,0	13,0	19,5	22,0	22,3	22,5	22,0
8	7	15,0	15,0	19,0	21,5	22,0	22,5	22,0
9	8	21,5	22,0	19,0	21,5	22,0	22,5	22,0
10	9	26,5	30,5	19,5	21,5	22,0	22,5	22,0
11	10	31,5	39,5	20,5	21,5	22,0	22,5	22,0
12	11	37,0	44,5	21,5	21,5	21,8	22,0	22,0
13	12	42,5	47,5	22,5	21,5	21,8	22,0	22,0
14	13	38,0	39,0	23,5	21,5	21,8	22,0	22,0
15	14	35,5	37,5	24,0	21,5	21,8	22,0	22,0
16	15	38,5	32,0	25,0	22,0	22,0	22,0	22,0
17	16	35,5	29,0	25,5	22,5	22,3	22,0	22,0
18	17	29,0	26,5	25,0	22,5	22,3	22,0	22,0
19	18	23,0	23,0	25,0	23,0	22,5	22,0	22,0
20	19	19,5	20,5	24,5	23,0	22,5	22,0	22,0
21	20	18,0	19,5	24,0	23,0	22,5	22,0	22,0
22	21	15,5	17,5	23,0	23,0	22,5	22,0	22,0
23	22	15,0	17,0	22,5	23,0	22,5	22,0	22,0
24	23	13,0	15,5	22,0	23,0	22,5	22,0	22,0

Ek.10. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (28.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	12,0	14,5	21,5	23,0	22,8	22,5	22,0
2	1	11,5	14,0	21,0	22,5	22,5	22,5	22,0
3	2	11,0	13,5	20,5	22,5	22,5	22,5	22,0
4	3	10,5	12,5	20,5	22,5	22,5	22,5	22,0
5	4	9,5	12,5	20,0	22,0	22,3	22,5	22,0
6	5	9,0	12,0	19,5	22,0	22,3	22,5	22,0
7	6	8,5	11,5	19,0	22,0	22,3	22,5	22,0
8	7	11,5	13,0	19,0	21,5	22,0	22,5	22,0
9	8	20,5	21,5	19,0	21,5	22,0	22,5	22,0
10	9	26,5	32,0	19,5	21,5	22,0	22,5	22,0
11	10	33,5	40,5	20,0	21,0	21,5	22,0	22,0
12	11	38,0	44,5	21,5	21,0	21,5	22,0	22,0
13	12	41,0	49,0	22,5	21,0	21,5	22,0	22,0
14	13	35,0	37,0	23,5	21,5	21,8	22,0	22,0
15	14	33,5	36,0	24,0	21,5	21,8	22,0	22,0
16	15	34,0	31,5	24,5	22,0	22,0	22,0	22,0
17	16	31,5	29,0	25,0	22,0	22,0	22,0	22,0
18	17	27,0	26,5	25,0	22,5	22,3	22,0	22,0
19	18	22,0	22,5	24,5	22,5	22,3	22,0	22,0
20	19	18,5	20,5	24,0	23,0	22,5	22,0	22,0
21	20	16,5	18,5	23,5	23,0	22,5	22,0	22,0
22	21	16,0	17,0	23,0	23,0	22,5	22,0	22,0
23	22	14,0	16,5	22,5	23,0	22,5	22,0	22,0
24	23	13,0	15,5	22,0	23,0	22,5	22,0	22,0

Ek.11. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (29.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	12,5	14,5	21,5	22,5	22,3	22,0	22,0
2	1	11,0	13,5	21,0	22,5	22,3	22,0	22,0
3	2	10,5	13,0	20,5	22,5	22,3	22,0	22,0
4	3	11,0	13,0	20,0	22,0	22,3	22,5	22,0
5	4	9,0	12,0	19,5	22,0	22,3	22,5	22,0
6	5	8,0	11,5	19,5	22,0	22,3	22,5	22,0
7	6	7,5	10,5	19,0	21,5	21,8	22,0	22,0
8	7	11,5	12,5	18,5	21,5	21,8	22,0	22,0
9	8	20,5	21,5	18,5	21,5	21,8	22,0	22,0
10	9	27,0	32,0	19,0	21,0	21,5	22,0	22,0
11	10	31,5	39,5	20,0	21,0	21,5	22,0	22,0
12	11	36,5	45,5	21,0	21,0	21,5	22,0	22,0
13	12	42,0	47,5	22,5	21,0	21,5	22,0	22,0
14	13	35,5	38,0	23,0	21,0	21,5	22,0	22,0
15	14	34,0	37,0	24,0	21,5	21,8	22,0	22,0
16	15	34,5	32,0	24,5	22,0	22,0	22,0	22,0
17	16	32,5	29,5	25,0	22,0	22,0	22,0	22,0
18	17	28,5	27,5	25,0	22,5	22,3	22,0	22,0
19	18	24,0	24,5	24,5	22,5	22,3	22,0	22,0
20	19	21,0	22,5	24,5	23,0	22,5	22,0	22,0
21	20	19,5	21,0	24,0	23,0	22,5	22,0	22,0
22	21	17,5	19,5	23,5	23,0	22,5	22,0	22,0
23	22	15,0	17,5	23,0	23,0	22,5	22,0	22,0
24	23	14,5	16,5	22,5	23,0	22,5	22,0	22,0

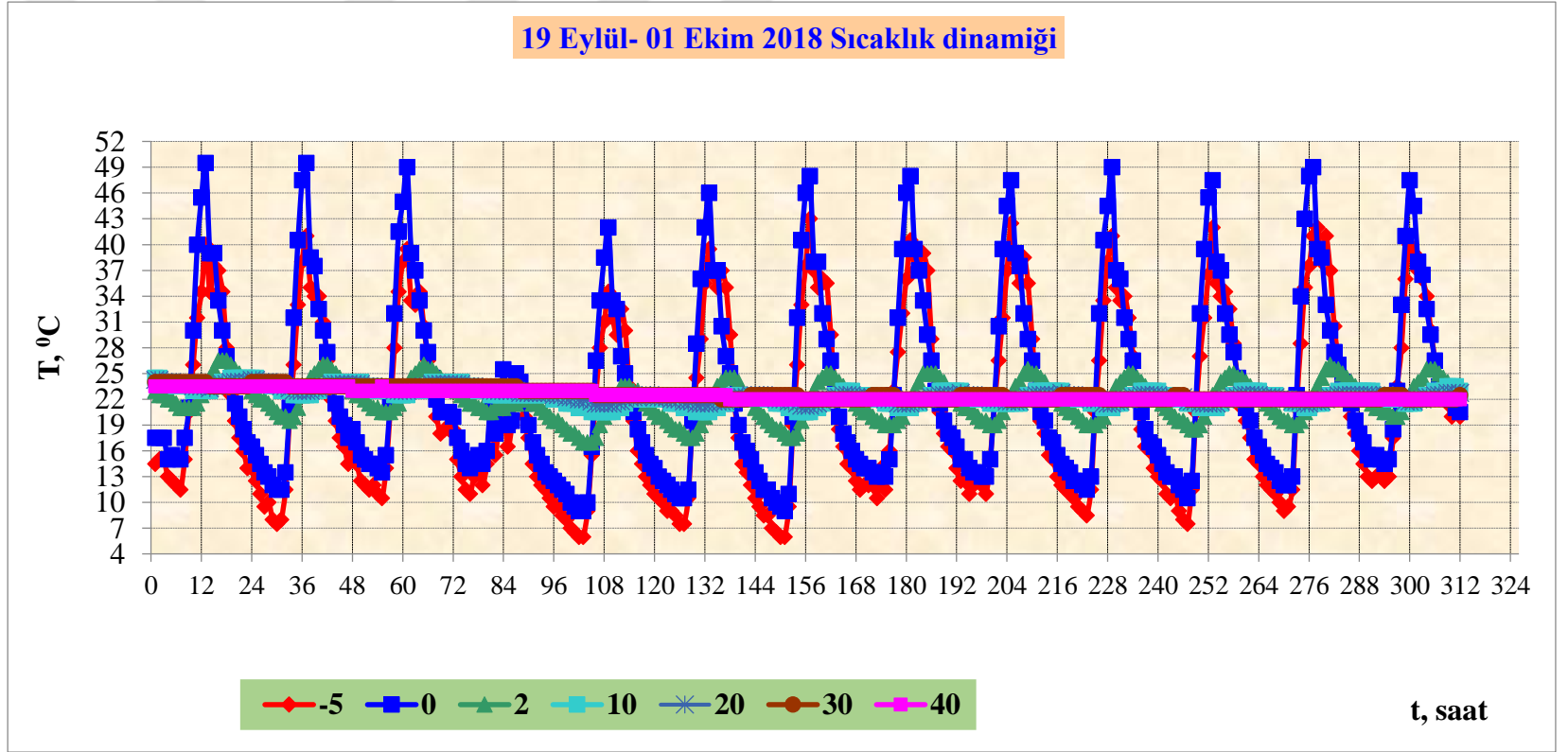
Ek.12. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (30.09.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	13,0	15,5	22,0	22,5	22,3	22,0	22,0
2	1	12,0	14,5	21,5	22,5	22,3	22,0	22,0
3	2	11,5	14,0	21,0	22,5	22,3	22,0	22,0
4	3	11,0	13,5	20,5	22,5	22,3	22,0	22,0
5	4	10,0	12,5	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0
6	5	9,0	12,0	19,5	22,0	22,0	22,0	22,0
7	6	9,5	12,0	19,5	22,0	22,0	22,0	22,0
8	7	11,5	13,0	19,0	21,5	21,8	22,0	22,0
9	8	21,0	22,5	19,0	21,5	21,8	22,0	22,0
10	9	28,5	34,0	19,5	21,5	21,8	22,0	22,0
11	10	35,0	43,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,0
12	11	37,5	48,0	21,5	21,0	21,5	22,0	22,0
13	12	41,0	49,0	22,5	21,5	21,8	22,0	22,0
14	13	42,0	39,5	23,5	21,5	21,8	22,0	22,0
15	14	38,0	38,5	24,5	21,5	21,8	22,0	22,0
16	15	41,0	33,0	25,5	22,0	22,0	22,0	22,0
17	16	37,0	30,0	26,0	22,5	22,3	22,0	22,0
18	17	30,5	27,5	25,5	22,5	22,3	22,0	22,0
19	18	26,5	26,0	25,5	23,0	22,5	22,0	22,0
20	19	23,5	24,0	25,0	23,0	22,5	22,0	22,0
21	20	22,0	23,0	24,5	23,0	22,5	22,0	22,0
22	21	20,0	21,5	24,0	23,0	22,5	22,0	22,0
23	22	18,0	19,5	23,5	23,0	22,5	22,0	22,0
24	23	16,0	18,0	23,0	23,0	22,5	22,0	22,0

Ek.13. Derinliklere Göre Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (01.10.2018)

i	Saat	Derinlik (cm)						
		-5	0	2	10	20	30	40
1	0	14,5	17,0	22,5	23,0	22,5	22,0	22,0
2	1	13,0	15,5	22,0	23,0	22,5	22,0	22,0
3	2	12,5	15,0	21,5	23,0	22,5	22,0	22,0
4	3	13,0	15,5	21,0	22,5	22,3	22,0	22,0
5	4	13,0	15,0	21,0	22,5	22,3	22,0	22,0
6	5	12,5	14,5	20,5	22,5	22,5	22,5	22,0
7	6	13,0	15,0	20,5	22,0	22,3	22,5	22,0
8	7	17,5	18,5	20,0	22,0	22,3	22,5	22,0
9	8	23,5	23,0	20,0	22,0	22,3	22,5	22,0
10	9	28,0	33,0	20,5	22,0	22,3	22,5	22,0
11	10	36,0	41,0	21,5	21,5	21,8	22,0	22,0
12	11	40,0	47,5	22,5	21,5	21,8	22,0	22,0
13	12	39,0	44,5	23,5	21,5	21,8	22,0	22,0
14	13	37,0	38,0	24,0	22,0	22,0	22,0	22,0
15	14	36,0	36,5	24,5	22,0	22,0	22,0	22,0
16	15	34,0	32,5	25,5	22,5	22,3	22,0	22,0
17	16	30,0	29,5	25,5	22,5	22,3	22,0	22,0
18	17	26,5	26,5	25,5	23,0	22,5	22,0	22,0
19	18	22,5	23,5	25,0	23,0	22,5	22,0	22,0
20	19	22,5	23,0	24,5	23,0	22,5	22,0	22,0
21	20	21,5	22,5	24,0	23,5	22,8	22,0	22,0
22	21	20,0	22,0	23,5	23,5	22,8	22,0	22,0
23	22	20,5	21,0	23,5	23,5	22,8	22,0	22,0
24	23	20,0	20,5	23,0	23,0	22,8	22,5	22,0

Ek-14. Araştırma topraklarında farklı derinliklerde 19.09.2018 ile 01.10.2018 Aralığında sıcaklık dinamiği



ÖZGEÇMİŞ

13.09.1990 tarihinde Iğdır'ın Karakoyunlu ilçesi Yukarı Alican Köyünde doğdu, ilk ve orta öğrenimini Karakoyunlu'da liseyi Iğdır'da tamamladı. 2010 yılında Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümünde yükseköğrenimine başladı ve 2014 yılında mezun oldu. 2016 yılında Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak ve Bitki Besleme Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

