T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAZİ KOŞULLARINDA TOPRAĞIN ISISAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

ABDULLAH ŞIMARMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

KONYA, 2010

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARAZİ KOŞULLARINDA TOPRAĞIN ISISAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Abdullah ŞIMARMAZ
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fariz MİKAİLSOY
2010, 137 Sayfa

Jüri: Yrd. Doç. Dr. Fariz MİKAİLSOY
Yrd. Doç. Dr. H.Hüseyin ÖZAYTEKİN
Prof. Dr. İmanverdi EKBERLİ

Bu çalışma, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme arazisinin ısısal özelliklerinin belirlenmesi, toprağın bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinden faydalanarak, ısısal özelliklerin matematiksel modelleme yardımıyla değerlendirilmesi ve profil derinliğinde ısısal özelliklerin toprak sıcaklığının bir fonksiyonu olarak değişiminin incelenmesi amacıyla yürütülmüştür. Toprak katmanlarındaki sıcaklık ölçümleri Elimko E680 cihazı ile yapılmıştır. Topraklarının ısısal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan katmansal yöntemlerin, oldukça basit ve kullanışlı olmalarına rağmen, toprak yüzey bölgesinin ısısal özelliklerini tam olarak içermediği için, bu yöntemlerin bir eksikliği olarak ortaya konulmuştur. Bu bakımdan literatürdeki söz konusu modeller ve Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak bölümünde yapılan çalışmalar sonucunda yeni oluşturulan matematiksel modeller toprak sıcaklık değişimini belirlemek için uygundur.

Anahtar Kelimeler: Toprak Sıcaklığı, Toprak Isısı, Isı İletim Denklemi, Isısal Yayınım Parametresi, Matematiksel Modelleme, Elimko Ölçüm Sistemi, Katmansal Yöntemler, Noktasal ve Ortalama İntegral Yöntemler.

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATIONS OF THERMAL PROPERTİES OF SOIL IN FİELD CONDITIONS AND MATHEMATICAL MODELING

Abdullah ŞIMARMAZ
Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science

Supervisor: Assist. Prof. Fariz MİKAİLSOY
2010, Pages: 137

Jury: Asist. Prof. Fariz MİKAİLSOY
Asist. Prof. H.Hüseyin ÖZAYTEKİN
Prof. Dr İmanverdi EKBERLİ

This study was carried out in the experimental field soils in Agriculture Faculty of Selcuk University and thermal properties of soils were determined using physical and chemical characteristic in mathematics models. Temperature levels in soil horizons were observed utilizing Elimko E680. Although the depositional techniques which are used in the determining of the thermal characteristics of studying lands are very simple and useful, as it does not include the thermal characteristics of land surface area, a deficiency of these techniques is presented. The harmonious relations were found between mathematics models of heat transmission and measurement values. So, it was found that these models are useful for the determination of soil temperature regime.

Key Words: Soil temperature, Soil heat, Heat conductivity equation, Heat diffusivity, Mathematics Models, ELIMKO measurement system.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yüksek lisans tezi olarak planlanıp, yürütülmesi ve sonuçların değerlendirilmesinde daima yardım ve ilgisini gördüğüm danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Fariz MİKAİLSOY'a, çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen ve Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Toprak, Gübre ve Bitki Besleme Araştırma Laboratuarının tüm çalışanlarına ve manevi desteğinden dolayı eşime teşekkürü bir borç bilirim.

KONYA, Ocak 2010 Abdullah ŞIMARMAZ

İÇİNDEKİLER **Sayfa No**

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ x
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK ÇALIŞMALARI 4
3. TOPRAK SICAKLIĞININ MATEMATİKSEL MODELLENMESİ 15
3.1. Matematiksel Modelleme 15
3.1.1. Model Kavramı 15
3.1.2 Modellerin Sınıflandırılması 15
3.1.3 Matematiksel Modeller ve Temel Prensipleri 17
3.1.4 Modellerin Önemi 19
3.2 Toprak Isısı ve Sıcaklığı 20
3.2.1 Toprak Isısı 20
3.2.2 Toprak Sıcaklığı 21
3.2.3 Toprak Isısının ve Sıcaklığın Kaynakları 23
3.2.4 Topraktan Atmosfere Isı İletimi 26
3.3 Toprak Sıcaklığına Etki Eden Faktörler 28
3.3.1 Toprak Sıcaklığının Etkilediği Etmenler 34
3.4 Toprak Sıcaklığındaki Değişmeler 37
3.4.1 Toprak Sıcaklığının Denetimi 37
3.4.2 Türkiye'deki Toprak Sıcaklık Rejimleri 38
3.5 Toprağın Isısal Özellikleri 40
3.5.1 Toprağın Özgül ve Hacimsel Isı Kapasitesi 40
3.5.2 Toprağın Isı İletkenliği 42
3.5.3 Toprağın Isı Yayınımı 42
3.6 Toprağın Radyasyon ve Isı Dengesi 43
3.6.1 Toprak Yüzeyinin Radyasyon Dengesi 44
3.6.2 Toprağın Isı Dengesi 45
3.7 Toprakta Isı Transferi 46
3.8 Topraktaki Isı İletiminin Denklemi 48
3.9 Toprakta Isı İletimi Modelinin Sınır Koşulları 50
3.9.1 Başlangıç Koşulu 50
3.9.2 Toprak Yüzeyinde 1., 2. ve 3. Sınır Koşulları 50
3.9.3 Toprağın Belli Bir Derinliğindeki 1., 2. ve 3. Sınır Koşulları 54
3.9.4 İki Yüzeyin Temas Koşulu (4. Sınır Koşulu) 54
3.10 Topraktaki Isı iletkenliği Denkleminin Analitik Çözümleri 55

3.10.1 Topraktaki Isı iletkenliği Denkleminin Başlangıç Koşulsuz Çözümü……... 56
3.10.2 Topraktaki Isı iletkenliği Denkleminin Çözümünün Analizi. 57
3.11 Toprağın Isısal Özelliklerinin Belirlenmesi..... 58
3.11.1 Hacimsel ve Özgül Isı Kapasitesinin Hesaplanması……. 58
3.11.2 Isı Yayınımının Belirlenmesi..... 59
3.11.3 Isı İletkenliği Parametresinin Belirlenmesi ……..... 60
3.11.4 Yüzey Bölgesi Havasının Sıcaklığının Belirlenmesi……..... 61
4. MATERYAL VE METOT..... 62
4.1 Toprak Örneklerinin Alındığı Bölge Hakkında Genel Bilgiler ……..... 62
4.2 Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması……..... 62
4.3 Deneme Alanı Topraklarının Özellikleri…….……..……... 63
4.3.1 Fiziksel Özellikler…….…….……..…….. 63
4.3.2 Kimyasal Özellikler…….……..……. 63
4.4 Toprağın Isısal Özelliklerinin Hesaplanması…….……..…... 64
4.4.1 Hacimsel ve Özgül Isı Kapasitesinin Belirlenmesi..…… 64
4.4.2 Yüzey Bölgesi Havasının Sıcaklığının Belirlenmesi……..... 65
4.4.3 Toprağın Isı Yayınımının Matematiksel Metotlarla Belirlenmesi…… 65
4.4.3.1 Toprağın Isı Yayınımının Belirlenmesinin Teorik Esasları ……... 65
4.4.3.2 Teorik Metotlar……..... 67
4.5 Ölçüm Sistemi…….……..... 69
4.5.1 Elimko Data Logger Sistem İle İlgili Teknik Bilgiler…….. 69
4.5.2 Elimko Data Logger Sistem İle İlgili Teorik Bilgiler……... 72
4.5.2.1 EManager……..……..….. 73
4.5.2.2 ELogger…….…….. 74
4.5.2.3 EBackup…….…….. 76
4.5.2.4 EView …….…… 76
4.5.3 Bilgisayar Ortamı ……....……..…. 79
4.5.4 Sıcaklık Algılayıcısı ve Algılama Ortamı …..……...…..….. 79
4.5.5 Ölçüm ve Deney Seti…….. 79
4.5.6 Kolonlara Toprak Doldurulması ve Hesabı……..……..….... 82
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA…… 84
5.1 Araştırma Topraklarının Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri…….……..……... 84
5.2 Ölçümler ve Grafikler…….…….…….…..... 85
5.3 Toprağın Isısal Özelliklerinin Hesaplanması……..... 92
5.3.1 Hacimsel ve Özgül Isı Kapasitesinin Hesaplanması…….. 92
5.3.2 Yüzey Bölgesi Havasının Sıcaklığının Belirlenmesi……. 93

5.3.3 Isı Yayınımın Teorik Metotlarla Hesaplanması……. 94
5.3.3.1 Birinci Tür Sınır Koşuluna $T(\infty,t)=T_0$ Göre Olan Katmansal Metotlar ....…… 94
5.3.3.2 Noktasal Metotlar……..... 103
5.3.3.3 Ortalama-İntegral Metotlar……...…….. 111
5.4 Ölçüm Değerlerinin ve Matematiksel Model Sonuçlarının Karşılaştırılması …….....……. 116
5.5 Isı İletkenliği Parametresinin Belirlenmesi……..... 127
6. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 128
7. KAYNAKLAR..... 130

ÇİZELGELER DİZİNİ

			Sayfa No
1.	Çizelge 3.1.	Farklı Toprak ve Bitki Örtülerinin Albedosu…….....	30
2.	Çizelge 3.2.	Nem ve Bitki Örtüsünün Toprak Sıcaklığı Üzerine Etkileri ……	32
3.	Çizelge 3.3.	Toprak Rengi İle Sıcaklık Arasındaki İlişkiler……...	33
4.	Çizelge 3.4.	Bazı Maddelerin Özgül Isıları…….....	33
5.	Çizelge 3.5.	Çeşitli Suyla Doygunluk Oranlarında $1cm^3$ Toprağın Özgül Isıları……...	41
6.	Çizelge 3.6.	Çeşitli Toprak Yapı Maddelerinin Özgül Isı Değerleri……..	41
7.	Çizelge 3.7.	Toprak bileşenlerinin Termal Özellikleri……	43
9.	Çizelge 3.8.	Toplam Radyasyonun (R_s +R_a + R_ι) Doğal Yüzeylerden Yansıma (α) Katsayıları…….	44
10.	Çizelge 4.1.	Bilgisayar Uyumlu Elimko 680 Çeviricisinin Teknik Özellikleri……...	75
11.	Çizelge 4.2.	Kayıt Konfigürasyonundaki Parametrelerin Kayıt Süreleri...	81
12.	Çizelge 5.1.	1 nolu Deneme Toprağının Bazı Fiziksel Özellikleri…….	86
13.	Çizelge 5.2.	1 nolu Deneme Toprağının Bazı Kimyasal Özellikleri……..	87
14.	Çizelge 5.3.	2 nolu Deneme Toprağının Bazı Fiziksel Özellikleri…….	88
15.	Çizelge 5.4.	2 nolu Deneme Toprağının Bazı Kimyasal Özellikleri……..	89
16.	Çizelge 5.5.	Derinliklere Göre 1 Nolu Topraktaki Sıcaklık Dağılımları…	90
17.	Çizelge 5.6.	Derinliklere Göre 2 Nolu Topraktaki Sıcaklık Dağılımları…	91
18.	Çizelge 5.7.	Yüzey Hava Bölgesinin Parametreleri……...	93
19.	Çizelge 5.8.	Derinliklere Göre 1 ve 2 Nolu Toprağın Minimum, Maksimum Sıcaklıkları ve Sıcaklık Dalgalarının Genlikleri.	94
20.	Çizelge 5.9.	1 Nolu Toprağın $[x_i ; x_{i+1}]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin (4.19) Nolu Formül İle Hesaplanmış Değerlerİ…….	95
21.	Çizelge 5.10.	2 Nolu toprağın $[x_i ; x_{i+1}]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin (4.19) Nolu Formül ile Hesaplanmış Değerleri……..	96
22.	Çizelge 5.11.	Derinliklere Göre 1 Nolu Toprağın 5, 11, 17 ve 23 Saat Anlarındaki Sıcaklık Değerleri……..	96
23.	Çizelge 5.12.	Derinliklere Göre 2 Nolu Toprağın 5, 11, 17 ve 23 Saat Anlarındaki Sıcaklık Değerleri…….	97
24.	Çizelge 5.13.	1 Nolu Toprağın $[x_i ; x_{i+1}]$ Derinliklerindeki ve $[0;1]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot-2 ile Bulunması……..	97
25.	Çizelge 5.14.	1 Nolu Toprağın Farklı $[x_i ; x_{i+1}]$ Derinliklerindeki ve $[0;1]$ katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot-2 ile bulunması…….....	98

26. Çizelge 5.15. 2 Nolu Toprağın Farklı $[x_i\,;\,x_{i+1}]$ Derinliklerindeki ve $[0;1]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot-2 ile bulunması……... **99**

27. Çizelge 5.16. 1 Nolu Toprağın Farklı $[x_i\,;\,x_{i+1}]$ Derinliklerindeki ve $[0;1]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot-3 ile Bulunması…….. **101**

28. Çizelge 5.17. 1 Nolu toprağın farklı $[x_i\,;\,x_{i+1}]$ derinliklerindeki ve $[0;1]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot-3 ile Bulunması……... **102**

29. Çizelge 5.18. 1 Nolu toprağın farklı $y=y_i$ derinliklerindeki ve $[0{,}1;1{,}0]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot-5 ile Bulunması, $\mathrm{T}_a=10{,}186862$, $L=1{,}0$, m…….… **105**

30. Çizelge 5.19. 2 Nolu toprağın farklı $y=y_i$ derinliklerindeki ve $[0{,}1;1{,}0]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot-5 ile Bulunması, $\mathrm{T}_a=15{,}738139$, $L=1{,}0$, m…….… **106**

31. Çizelge 5.20. 1 Nolu toprağın farklı $y=y_i$ derinliklerindeki ve $[0{,}1;1{,}0]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot-6 ile Bulunması, $\mathrm{T}_a=10{,}186862$, $L=1{,}0$ m…… **109**

32. Çizelge 5.21. 2 Nolu toprağın farklı $y=y_i$ derinliklerindeki ve $[0{,}1;1{,}0]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot-6 ile Bulunması, $\mathrm{T}_a=15{,}738139$, $L=1{,}0$ m…… **110**

33. Çizelge 5.22. 1 ve 2 Nolu Toprakların $[0;1{,}0]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerinin Metot-7 ile bulunması……..... **113**

34. Çizelge 5.23. 1 ve 2 Nolu Toprakların $[0;1{,}0]$ Katmanındaki Ortalama Isı Yayınım Parametresinin κ_{ort} Farklı Metotlarla Bulunmuş Değerleri……. **115**

35. Çizelge 5.24. 1 Nolu Toprağın Ölçüm $\mathrm{T}(x_i,t_i)$ ve Metot-5 ile Bulunmuş $\kappa_{ort}=6{,}9649\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{\mathrm{T}}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri…… **117**

36. Çizelge 5.25. 1 Nolu Toprağın Ölçüm $\mathrm{T}(x_i,t_i)$ ve Metot-6 İle Bulunmuş $\kappa_{ort}=5{,}4792\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{\mathrm{T}}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri…… **118**

37. Çizelge 5.26. 1 Nolu Toprağın Ölçüm $T(x_i,t_i)$ ve Metot-7 ile Bulunmuş $\kappa_{ort}=6,5191\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{T}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri…… **119**

38. Çizelge 5.27. 1 Nolu Toprağın Ölçüm $T(x_i,t_i)$ ve Metot-8 İle Bulunmuş $\kappa_{ort}=7,3593\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{T}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri…… **120**

39. Çizelge 5.28. 2 Nolu Toprağın Ölçüm $T(x_i,t_i)$ ve Metot-5 İle Bulunmuş $\kappa_{ort}=5,9995\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{T}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri……..... **121**

40. Çizelge 5.29. 2 Nolu Toprağın Ölçüm $T(x_i,t_i)$ ve Metot-6 İle Bulunmuş $\kappa_{ort}=7,8463\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{T}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri……... **122**

41. Çizelge 5.30. 2 Nolu Toprağın Ölçüm $T(x_i,t_i)$ ve Metot-7 İle Bulunmuş $\kappa_{ort}=4,6591\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{T}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri……... **123**

42. Çizelge 5.31. 2 Nolu Toprağın Ölçüm $T(x_i,t_i)$ ve Metot-8 İle Bulunmuş $\kappa_{ort}=5,2692\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{T}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri…… **124**

43. Çizelge 5.32. 1 ve 2 Nolu Toprakların $[0;1,0]$ Katmanındaki Ortalama Isı İletkenliği Parametrelerinin (λ_{ort}) ve Sönme Derinliklerinin (d) Farklı Metotlarla Bulunmuş Değerleri... **127**

ŞEKİLLER DİZİNİ

			Sayfa No
1.	**Şekil 3.1.**	Modellerin Genel Tasnifi……..……	**15**
2.	**Şekil 3.2.**	Matematiksel Modellerin Genel Tasnifi……...	**17**
3.	**Şekil 3.3.**	Bir Yaz Gününde Güneşten Gelen Işımanın Dağılımı……..	**22**
4.	**Şekil 3.4.**	Toprak Sıcaklığının Bitki Gelişmesine Etkisi……...	**23**
5.	**Şekil 3.5.**	Toprağın 10 cm Altında Ölçülen Uzun Dönemli Ortalama Aylık Toprak Isıları……...	**24**
6.	**Şekil 3.6.**	Güneş Sıcaklığındaki Bir Siyah Cismin Işıma Enerjisinin Dalga Boyuna Göre Dağılımı……	**25**
7.	**Şekil 3.7.**	Isının Toprak Tarafından Yutulması ve Isı Hareketleri……	**27**
8.	**Şekil 3.8.**	Güneşten Gelen Işınlarının Yeryüzünde Oluşturduğu Bazı Albedo Değerleri……...	**31**
9.	**Şekil 3.9.**	Testere Talaşının Topraktaki Sıcaklık Dalgalanmalarına Etkisi……	**39**
10.	**Şekil 3.10.**	Yüzeydeki Sıcaklığın Değişmesinin Eğrisi……...	**51**
11.	**Şekil 4.1.**	Elimko Bağlantı Diyagramı……...	**70**
12.	**Şekil 4.2.**	Elimko E-680 Cihazının Ön ve Arka Panel Görünümü……	**71**
13.	**Şekil 4.3.**	EDSL Yazılımını Oluşturan Birimlerin Birbirleri Arasındaki İlişkilerin Diyagramı……...	**72**
14.	**Şekil 4.4.**	Elimko Sistemini Durdurma Başlatma Paneli……...	**74**
15.	**Şekil 4.5.**	Elimko Sistemi Verilerinin Excel'de Görünüşü……	**74**
16.	**Şekil 4.6.**	Elimko Sistemi Sayfa Konfigürasyonu…….	**77**
17.	**Şekil 4.7.**	Elimko Sistemi Bar Grafik Sayfası……...	**77**
18.	**Şekil 4.8.**	Elimko Sistemi Çoklu Grafik Sayfası……...	**78**
19.	**Şekil 4.9.**	Elimko Sistemi Çoklu Grafik Konfigürasyonu…….	**79**
20.	**Şekil 4.10.**	Pt-100 Sıcaklık Algılayıcısı……...	**80**
21.	**Şekil 4.11.**	Toprak Kolonu ve Ölçüm Seti……...	**81**
22.	**Şekil 4.12.**	Araştırmada Kullanılan Deney Seti ve Fotoğrafları……..	**81**
23.	**Şekil 5.1.**	27.08.2009 Tarihinde Arazi Koşullarında 1 Nolu Toprağın Zamana ve Derinliğe Göre Sıcaklık Dağılımı……...	**90**
24.	**Şekil 5.2.**	30.08.2009 Tarihinde Arazi Koşullarında 1 Nolu Toprağın Zamana ve Derinliğe Göre Sıcaklık Dağılımı……...	**91**

25.	**Şekil 5.3.**	Birinci Tür Sınır Koşuluna $\mathbf{T(\infty, t)=T_0}$ Karşılık Gelen **M_1(y.b)** Fonksiyonu……..……...…….	**104**
26.	**Şekil 5.4.**	İkinci Tür Sınır Koşuluna $\partial\mathbf{T(L, t)/\partial x=0}$ Karşılık Gelen **M_2(y.b)** Fonksiyonu……..……...……..	**108**
27.	**Şekil 5.5.**	Birinci Tür Sınır Koşuluna $\mathbf{T(\infty, t)=T_0}$ Karşılık Gelen **Ω_1(y.b)** Fonksiyonu……...……	**112**
28.	**Şekil 5.6.**	İkinci Tür Sınır Koşuluna $\partial\mathbf{T(L,t)/\partial x=0}$ Karşılık Gelen **Ω_2(y.b)** Fonksiyonu…..…….……	**114**
29.	**Şekil 5.7.**	1 Nolu toprağın x = 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 ve 0,9 m Derinliklerinde Ölçülen ve Katmansal Metotla Bulunmuş Isı Yayınımı Parametresini Kullanarak (4.10) Nolu Çözümle Hesaplanmış Sıcaklık Değerleri…….……	**125**
30.	**Şekil 5.8.**	1 Nolu Toprağın x = 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7 ; ve 0,8 m Derinliklerinde Ölçülen ve Noktasal Metotla Bulunmuş Isı Yayınımı Parametresini Kullanarak (4.10) Nolu Çözümle Hesaplanmış Sıcaklık Değerleri……...…….	**126**

1. GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye'de yıldan yıla hızla artan insan nüfusunun besin maddeleri gereksinimini karşılama sorunu, günümüzde bitkisel üretime ayrı bir önem kazandırmaktadır. Bitkisel üretimin vazgeçilmez kaynağı topraktır. Tarımsal yönetim uygulamalarında toprak özelliklerinin bilinmesi, modern tarım yöntemlerinin seçimine temel oluşturmaktadır. Topraktaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylar üzerinde büyük etkiye sahip olan en önemli özelliklerden birisi de toprak sıcaklığıdır.

Toprak sıcaklığını açıklamadan önce sıcaklık ve ısı kavramları hakkında kısaca bilgi vermekte yarar vardır. Sıcaklık, cisimlerin içerisinde bulundukları enerjinin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkan bir özelliktir. Termometre ile ölçülür, birimi ˚C veya ^{0}K'dir. Isı, bir enerji formudur, kalorimetreyle ölçülür ve birimi kaloridir (veya Joule, 1 kal=4,18 Joule). Başka bir anlatımla ısı, cisimlerde belli bir sıcaklık yaratabilen enerji türünü ifade ederken, sıcaklık herhangi bir cismin başka bir cisimle yaptığı ısı alışverişi düzeyini ya da derecesini gösterir (Lowry, 1970; Çepel, 1985; Bahtiyar, 1996).

Toprak sıcaklığı, toprakta suyun tutulması ve hareketini, yüzey toprak nemini, 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 (Özkan, 1985; Taylor ve Jackson, 1986). Diğer bir ifadeyle toprak sıcaklığı, toprakta oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayları etkileyen önemli özelliklerden biridir. Tohumların çimlenmesi, bitkilerin büyüyüp gelişmesi, toprağın nem içeriği, havalanma, yapı (strüktür) oluşumu, mikrobiyolojik faaliyetler, bitkisel artıkların ayrışması, bitki besin maddelerinin yarayışlılığı, donma-çözünme olayları, kaya ve minerallerin parçalanması ile toprak oluşumunda sıcaklığın etkisi bulunmaktadır. Her bitki türünün çimlenmesi ve gelişmesi için belirli bir sıcaklık isteği vardır. Donma noktasının altında ise biyolojik faaliyetler durmaktadır (Baver vd. , 1972; Kirkham ve Powers, 1972).

Toprak yüzeyine uygulanan ısı miktarı, ısınma süresi ve toprağın yapısı, toprağın her hangi bir derinliğinde sıcaklığı kontrol eden ve toprak sıcaklığındaki değişimlerin etkisi altında bulunan faktörlerdir (Kluender ve ark., 1993).

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 ısı ilişkileri, ısının toprağa akımını ve ısının atmosfer ile değişiminin neden olduğu toprak sıcaklığının, toprak neminin bir fonksiyonu olarak, zaman ve derinlikle değişimini içerir (Yeşilsoy ve Pala, 1984).

Sıcaklık zamana ve toprak profilinin derinliklerine bağlı olarak değişir. Toprak yüzeyinde sıcaklık günün belli saatlerinde belirgin bir şekilde artıp azalırken, profilin derinliklerinde (genellikle 50 cm/derinlikte) günlük değişim ihmal edilecek kadar az olmaktadır. Mevsimsel sıcaklık değişimleri daha fazla derinliklere kadar etkili olmaktadır. Çoğu topraklarda ise sıcaklık 10 m/derinlikte hemen hemen sabit olup, yaklaşık olarak üstteki toprağın yıllık ortalama sıcaklığına eşittir (Dinç ve Şenol, 1998). Toprak, değişik renk, büyüklük, şekil ve bileşimindeki inorganik katı taneler, organik madde, su ve hava gibi yapı elemanlarından oluşmuş heterojen bir ortam olup bu yapı elemanlarının ısısal özellikleri önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir (Nassar ve ark., 1992).

Toprak işleme ve toprak yüzeyinde bitkisel artıkların bırakılması ile toprağın ısısal özellikleri değiştirildiğinden ve toprağa gelecek ışınlar etkilendiğinden toprak sıcaklığı da etkilenmiş olur. Bu iki durum kuru ziraatta suyun toprakta korunması bakımından çok önemlidir. Toprak sıcaklığının pratik tarım bakımından şu önemleri vardır;

- Topraktaki mikrobiyal aktiviteyi arttırır,
- Çimlenmeyi arttırıcı etkisi vardır,
- Bitki gelişimini kamçılar,
- Toprakta su hareketini etkiler (sıvı-buhar),
- Havalanmayı sağlar,
- Diğer kimyasal olayların, toprak oluşumunun hızını arttırır (Özbek, 1990).

Toprağın ısısal özellikleri: ısısal iletkenlik, ısı kapasitesi ve ısısal yayınım olarak ifade edilebilir. Bu özellikler, toprağın bazı fiziksel verilerinden, matematik

modeller kullanılarak hesaplanabilmektedir (Yeşilsoy, 1973; Hadas, 1977; De Vries ve Philip, 1986; Nassar ve ark., 1992).

Toprağın bazı fiziksel ve kimyasal verilerinden faydalanarak toprağın ısısal iletkenlik, ısı kapasitesi ve ısısal yayınım gibi özellikleri matematiksel modeller kullanılarak "toprak-bitki" ekosisteminde sıcaklık rejiminin modellenmesi için en uygun ısı iletim modelinin seçilmesi önem arz etmektedir. Bu nedenlerden dolayı toprağın ısısal özelliklerinin bilinmesine, toprak biliminde, tarımda, mikro meteorolojide ve ziraat mühendisliğinin birçok alanında gereksinim duyulmaktadır. (Bristow ve ark., 1995).

Bu araştırma, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlası topraklarının ısısal parametrelerini, arazi koşullarında yapılan deneme sonuçlarını kullanarak, ısı iletkenlik denkleminin farklı sınır koşullarına göre bulunmuş çözümlerin elde edilmiş metotların yardımıyla belirlemek, hesaplama metotlarını kıyaslamak ve profil derinliğinde ısısal özelliklerin toprak sıcaklığının bir fonksiyonu olarak değişimini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür.

2. KAYNAK ÇALIŞMALARI

Patten (1909), toprakların ısı transferinde toprak tanecikleri arasındaki su ile doygun olan boşluklardan etkilendiğini belirtmiştir, bu da toprakların termal iletkenliğine artırıcı etki yapmaktadır.

Smith ve 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.

Kertsen (1949), toprakların termal özelliklerinin belirlenmesi için yaptığı çalışmada, termal iletkenliğin sıcaklıkla arttığını ortaya koymuştur. Termal iletkenlik, sabit nem içeriğinde kuru hacim ağırlığının artmasıyla azalma göstermiş, sabit kuru hacim ağırlığında ise nem miktarının artmasıyla artış göstermiştir. Termal iletkenlik, kum ve çakılda en yüksek, kumlu tın'da orta seviyede, siltli ve killi topraklarda en düşük değerdedir.

Gemant (1950), toprağın nem içeriği ile orantılı olarak termal iletkenliğin yükseldiğini; toprağa su ilave edilirken, toprak havasının yerini suyun aldığını ve iletkenliğin arttığını ortaya koymuştur.

Toprağın ısısal iletkenliği, toprağın mineralojik kompozisyonuna, tekstürüne, nem içeriğine, organik madde miktarına, tane şekline ve tanelerin düzenlenmesine, agregat büyüklüğüne ve agregatlar arasındaki boşluk geometrisine bağımlı olarak değişim gösteren bir özelliktir (Kohnnke ve Nakshabandi, 1964; Nassar ve ark., 1992). Diğer bir ifadeyle, toprakta ısı iletimi, toprak sistemindeki yapı elemanlarının temasıyla ortaya çıkan bir durumdur. Toprak matriksi içinde sıcaklığın bir değişim göstermesi, sadece toprağın ısı iletkenliğine bağlı olmayıp, aynı zamanda toprakta birim hacim içinde bulunan diğer toprak yapı elemanlarının ısı iletkenliklerinin de bir fonksiyonudur (Kohnke ve Nakshabandi, 1964).

Nakshabandı ve Kohnke'ye (1964) göre, kuru durumda iken termal iletkenlik, rutubet kapsamındaki çok az artışla birden artmaktadır. Rutubet kapsamındaki daha sonraki artışlar termal iletkenlikte çok az bir artışa neden olur.

Janse ve Borel (1965), laboratuar koşullarındaki çalışmalar sonucunda ısı iletkenliğini aşağıdaki formülle tanımlamışlardır:

$$\lambda = 0.088\ I^2\ R\ (\log t_2 / t_1) / (T_2 - T_1)$$

Burada,

I = Isıtıcı akımı (A),

R = Isıtıcının direnci (Ω),

t = Zaman (sn),

T = Sıcaklık (°C) ifade eder.

Baver (1966), toprak nem içeriğinin artışına bağlı olarak toprakların ısı iletkenliğinin arttığını saptamıştır.

Gardner ve Hanks (1966), toprağa uygulanan ısının bir kısmının toprağı ısıtmak için (sensible ısı -hissedilebilir ısı), bir kısmının da suyu buharlaştırmak için (latent ısı – gizli ısı) kullanıldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılara göre, toprağın ısıtılmasında en önemli rolü oynayan uzun ve kısa dalga boyundaki ışınların absorbsiyonu, toprağın üstündeki bir milimetreden daha ince bir tabakada olmaktadır.

Kowsar ve ark. (1966), üzeri petrol malçı ile örtülü olan ve olmayan toprakları, laboratuarda günlük sıcaklık değişmelerine tabi tutarak, toprak sıcaklığı ve rutubeti yönünden incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre malçlı toprağın yüzeyinden tam aşağıda maksimum sıcaklık, malçsız topraktan 5 °C daha fazla bulunmuştur. Ayrıca malç tabakası nedeniyle buharlaşma engellendiğinden rutubet değeri daha fazla bulunmuştur.

Munsuz (1969), Türkiye 'nin değişik bölgelerinden alınan, bazı büyük toprak gruplarına ait örneklerin ıslanma ısıları üzerinde bir araştırma yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; araştırma topraklarının sudaki ıslanma ısısı değerleri 0.93- 18.53 cal/gr arasında değişmekte olup, en düşük değer solancak toprak örneğinde, en yüksek değer ise, terrarossa toprak örneğinde elde edilmiştir.

Isı, cisimlerde belli bir sıcaklık yaratabilen enerji türünü ifade ederken, sıcaklık herhangi bir cismin başka bir cisimle yaptığı ısı alışverişi düzeyini ya da derecesini gösterir (Lowry, 1970; Çepel, 1985; Bahtiyar, 1996).

Toprak sıcaklığı, toprakta oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayları etkileyen önemli özelliklerden biridir. Tohumların çimlenmesi, bitkilerin büyüyüp

gelişmesi, toprağın nem içeriği, havalanma, yapı (strüktür) oluşumu, mikrobiyolojik beceriler, bitkisel artıkların ayrışması, bitki besin maddelerinin yarayışlılığı, donma-çözünme olayları, kaya ve minerallerin parçalanması ile toprak oluşumunda sıcaklığın etkisi bulunmaktadır. Her bitki türünün çimlenmesi ve gelişmesi için belirli bir sıcaklık isteği vardır. Donma noktasının altında ise biyolojik faaliyetler durmaktadır (Bavel vd. , 1972; Kirkham ve Powers, 1972).

Hadas ve Fuchs (1973), bazı fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerine dayanarak hesaplanan ısı iletkenliği değerleri ile ölçülen değerleri karşılaştırmışlardır. Toprak profil derinliğinin artışına paralel olarak ölçülen ve hesaplanan değerlerin birbirine yakın olduğu, toprak yüzeyinde ise hesaplanan değerlerin ölçülenlerden daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Westcot ve Wierenga (1974), büyük sıcaklık dalgalanmalarının olduğu zamanlarda, toprak yüzeyindeki buhar hareketinin, ısı hareketini önemli ölçüde etkilediğini belirtmişler ve gün boyunca üstten 0,2 cm'lik kısımda ısı hareketinin % 40 – 60'nın buhar hareketine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Son yıllarda bitki gelişim modelleri geniş olarak kullanım ve uygulama alanına sahip olmuştur. Modellemede kullanılan bloklar metodunda toprak sıcaklığı bloklarda ölçülmüş ve her bir blok içerisindeki toprağın termal özellikleri, toprak nemi, derinlik ve zamana bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Nerpin ve Çudnovski, 1975).

Yeşilsoy (1975) göre, Hadas (1969), ısı iletkenliğinin hesaplanmasındaki teorik yaklaşımı kullanarak elde ettiği hesaplanan değerler ile deneysel ölçüm sonuçlarını karşılaştırmıştır. Araştırmacı, kararlı koşullarda hesaplanan ısı iletkenlik değerleri ile deneysel sonuçların birbiri ile uyum gösterdiğini, kararsız koşullarda ise, deneysel sonuçların hesaplanan değerlere göre daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Kararsız koşullarda böyle bir sonuca ulaşılmasında, sıcaklık farkından dolayı oluşan buhar hareketinin etkili olduğunu kaydetmiştir.

Kimball ve ark. (1976), avandale serisinde farklı derinliklerde ısı akışını dört farklı yöntemle ölçmüşlerdir. Elde edilen sonuçlara göre 20 cm derinlikte yöntemler arasında % 10 ve daha az farklılığa rastlanmıştır. Bununla beraber 20 cm derinlikte ısı değişim yönteminin daha güvenle kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Toprağın ısısal özellikleri: Isısal iletkenlik ısı kapasitesi ve ısısal yayınım olarak ifade edilebilir. Bu özellikler, toprağın bazı fiziksel verilerinden, matematik modeller kullanılarak hesaplanabilmektedir (Yeşilsoy, 1975; Hadas, 1977; Horton, 1982; De Vries ve Philip, 1986; Jury ve ark.,1991; Nassar ve ark., 1992).

Hadas (1977), toprakta, iki ana ısı transfer süreci göz önünde bulundurulabilir. Bunlardan birincisi termal kondüksiyon, ikinci süreç ise konveksiyondur. Isı eğimindeki farklılıklardan dolayı, sabah erken saatlerde toprak içerisine doğru bir ısı akımı söz konusu iken, öğleden sonra ve akşam saatlerinde bu durum tam tersine çevrilmekte veya toprağın derinliklerinden yüzeye doğru bir ısı akımı söz konusu olmaktadır. Doğal durumdaki bu değişimlerden dolayı, bir toprağın ısı iletkenliğinin ölçülmesi yerine, tahmininin yapılması daha uygun olarak görülebilir.

Hadas (1977), kuru durumdaki toprak agregatlarının ısısal iletkenliğini deneysel olarak belirlemek ve bu deneysel sonuçların, teorik olarak hesaplama yoluyla tahmin edilmiş değerlerle karşılaştırmasını yapmak amacıyla bir araştırma yürütmüştür. Isısal iletkenlik ve agregat geometrisi arasındaki ilişkinin; küçük agregatların varlığında pozitif, agregat boyunun artması ile negatif olduğunu saptamıştır. Agregat boyutu ve toplam agregatlar arası boşlukların artması ile agregatlar arası temas noktalarının zayıfladığını, bu durumun ise, ortamın ısısal iletkenliğinin azalması yönünde bir rol oynadığını tespit etmiştir. Agregat büyüklüğüne bağlı olarak, ölçülen ve tahmin edilen ısısal iletkenlik değerleri arasında; küçük agregatlar için yüksek, fakat büyük agregatlar için, düşük bir ilişkinin olduğunu belirlemiştir.

Gönen'e (1978) göre, suyun sıcaklık eğimine bağlı hareketi, sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğrudur. Topraklarda, atmosferle temas eden toprak yüzeyinin, toprağın diğer derinliklerinden daha sıcak olduğu anlarda, sıcaklık eğimi yüzeyden derinliklere doğru olduğundan, sıcaklık eğimine bağlı olan sıvı ve buhar halindeki su hareketinin doğrultusu aynı yöndedir. Sıcaklık eğiminin derinliklerden yüzeye doğru olduğu anlarda, örneğin geceleri, suyun hareketi de aşağıdan yukarıya doğru olmaktadır.

Yeşilsoy ve Derici (1979), toprak sıcaklığının belirli derinliklerdeki, zamana ve yüzey sıcaklığına bağımlı olarak harmonik değişimini incelemek amacıyla bir laboratuar denemesi kurmuşlardır. Araştırmacılar, değişik toprak koşulları altında,

elde edilen deneysel verilerle, matematiksel yöntemle bulunan değerleri karşılaştırmışlardır. Isısal iletkenlik ve ısı kapasitesi değerlerini farklı toprak koşulları altında tespit ederek çeşitli derinliklerde ölçülen sıcaklık değerleri ile hesaplanan değerlerin en çok tarla kapasitesi ve nem içeriğine uyum gösterdiğini saptamışlardır.

Pala'ya (1979) göre, toprakların nem içerikleri ısı iletkenliğinin önemli ölçüde etkilemektedir. Isının toprak içine veya dışına doğru olan hareketi yüzey toprağı ile alt katmanlardaki sıcaklık değişimine bağlıdır. Bu hareket sıcak katmanlardan soğuk katmanlara doğrudur. Bitki gelişme bölgesinde, nem oranı yüksek olduğu zaman, toprak sıcaklığı düşüktür.

Horton ve Wierenga (1983), su içeriğinin bir fonksiyonu olarak, toprağın ısı iletkenliğini ölçüm yoluyla belirlemiş ve bu değerleri De Vries (1963) tarafından tanımlanmış hesaplama metodunu kullanarak tespit ettikleri ısı iletkenliği değerleri ile karşılaştırmışlardır. Ölçülen ve hesapla bulunan değerler arasında bir uyum olduğunu, ancak ısı iletkenliğinin hesapla bulunan değerlerinin, ölçüm yoluyla bulunan değerlerden daha büyük bulunduğunu ve bu farkın % 5–10 arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Steenhuis ve Walter (1984), yaptıkları çalışmada toprak sıcaklığını en iyi yansıtan parametrenin ısısal yayınım olduğunu ve ısısal yayınım değerinin drenajlı ve drenajsız topraklarda hemen hemen aynı değerde olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, tarla kapasitesindeki nem miktarındaki azalma, toprak sıcaklığında meydana gelen değişiklikleri etkilemez.

Toprak sıcaklığı, toprakta suyun tutulması ve hareketini, yüzey toprak nemini, 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 (Özkan, 1985; Taylor ve Jackson, 1986).

Toprak yüzeyinde meydana gelen ısı transferi, topraktaki termal özellikler ve sıcaklık eğilimleri ile ilgilidir (Santos ve ark., 1988). Isısal yayınım topraktaki nem içeriğine ve toprak bünyesine bağlıdır. Isısal yayınım 1984 ve 1985 yıllarında farklı mevsimlerde işlenmiş toprakta, 5-10 ve 15 cm derinliklerde toprak sıcaklığı dikkate

alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda toprak neminin termal özellikleri ve sıcaklık profiline etkisi görülmüştür.

Brandon ve Mitchell (1989), kumun ısı özdirencini etkileyen faktörler üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Toprağın termal özelliklerini ölçmede kullanılan basit test ölçümleri "termal iğne" olarak adlandırılır. Bu test suyun azalması ile oluşan düşük sıcaklıkta kumun özdirencini ölçmeye izin veren araç ve unsurlardır. Laboratuar çalışmalarında "termal iğne" yöntemi silis kumları için kullanılmıştır. Bu yöntem sıcaklık ve su içeriğinin artmasıyla, özdirencin azaldığını ortaya koymuştur. Silisli kumların özdirenci saturasyon zamanı ile azalmaktadır. Bu sonuçlar yalnız ısı problemlerinin çözümde değil, aynı zamanda kumun mekanik strüktürel yapısını yorumlamada da kullanılır.

Toprak gibi gözenekli sistemlerde ısı mekanizması, mikrostrüktürdeki düzensizlikten dolayı oldukça karmaşıktır. Böyle sistemlerde ısı, kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon yoluyla yayılır. Birçok faz ortamında toplam ısısal iletkenlik, her bir fazın ısısal iletkenliğine ve fazların fraksiyonlarına bağımlıdır. Teorik çalışmalarda temel alınan ısısal iletkenliğin tahmini için geliştirilmiş birçok eşitlik mevcuttur (Hahne ve ark., 1990).

Kandırmaz (1990), tarafından Toprak-Bitki-Atmosfer sürekliliğinde bazı fiziksel faktörlerle toprak sıcaklığının bilgisayar ortamına aktarılması çalışması yapılmıştır.

Isısal iletkenliğin deneysel olarak ölçülmesi için farklı yöntemler ve düzenler geliştirilmiştir. Ancak, ısısal iletkenliğin deneysel ölçümünde ortaya çıkan bazı güçlüklerden dolayı, ısısal iletkenliğin belirlenmesinde daha çok matematiksel modeller üzerinde durulmuştur. Bu modellerde, eğer materyalin cinsi, şekli, tanelerin tertiplenmesi ve ortam nem içeriği bilinirse, bir toprağın ısısal iletkenliği hesaplanabilir (Yeşilsoy, 1973; Hahne ve ark., 1990).

Toprağın ısı iletkenliğinin teorik olarak hesaplanması, bir toprak kütlesinin içerdiği yapı elemanlarının (tane büyüklük dağılımı, organik madde, su ve hava) ısı iletkenliklerinin bilinmesi durumunda mümkün olmaktadır (Nassar ve ark., 1992). Bu modellerin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla farklı tarla ve laboratuar denemeleri yürütülmüştür (Rose, 1968; Kimball ve ark., 1976; Hadas, 1977).

Kluitenberg ve Horton (1990), malç ile örtülü toprak yüzeyinde yatay ve dikey olmak üzere iki ayrı yönde sıcaklık ve ısı akış ölçümleri yapmışlardır. Sıcaklıkta ve ısı akış miktarında zamana bağlı olarak değişmeler görülmesine rağmen, sıcaklıkların aynı olduğunu, ısı akışlarının da yön ve miktar olarak benzerlik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Toprak sıcaklığı bitkilerin en önemli gelişim faktörlerinden biridir. Toprakların sıcaklık değişiklikleri 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 ısı depolama kapasitesi bitkilerin çimlenme hızı ve süresine, ürün verimine, toprakta oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlere etki yapan önemli bir faktördür. Sıcaklık ve diğer doğal koşulların etkisi sonucunda toprakta oluşan ısı dengesi toprak oluşum süreci ilde ilişkili olup, toprak oluşum enerjisinin araştırılmasında önemli faktörlerdir (Volobuyev, 1974; Gereyzade, 1982).

Shen ve Tanner (1990), mısır bitkisi artıklarında, radyasyon yoluyla oluşan ısı iletkenliği üzerinde araştırma yapmışlardır. 0.95 kg/m^2 olarak belirlenen mısır bitkisi artıklarından, % 60'ı radyasyon yoluyla oluşan ısı akışının % 2'sinin hissedilebilir ısı (sensible) şeklinde ölçüldüğünü belirtmişlerdir.

Butts ve ark. (1990), toprağın ısısal yayınımını laboratuar koşullarında ölçmek, ölçülen değerlerin doğruluğunu kontrol etmek ve ölçüm değerleri ile, De Vries (1975) tarafından geliştirilen matematiksel modeli kullanarak hesaplanan ısısal yayınım sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, nemli granüle materyaller için ısısal yayınımı tayin etmede kullanılan metodun uygun olduğunu, belli bir nem içeriği ve kütle yoğunluğunda ısısal yayınımdaki değişimin % 5'ten daha az olduğunu, ısısal yayınımın deneysel sonuçlarının, De Vries metodu kullanılarak hesaplanan değerlerden % 25 daha fazla bir değere sahip olduğunu, ancak bu durumun, deneysel olarak ısısal yayınımı ölçülmek istenen toprak örneklerinin kontrollü şartlarda olmasından kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir.

Buchan (1991), topraktaki sıcaklık değişimini incelemiştir. Yüzeydeki ısı dengesi, ısı iletkenliği ve termal özelliklerin hesaplanmasının, tamamen topraktaki ısı akışıyla ilgili olduğunu belirtmiştir.

Nassar ve ark. (1992), gözenekli ortamda ısı, su ve çözeltinin birlikte geçişini incelemişlerdir. Bu çalışmalarda topraktaki çözeltinin, su ve sıvının aynı anda geçişini tanımlayan üç eşitlik kullanılmaktadır (ısı, su ve çözelti). Isı, su ve çözelti akışı eşitlikleri beraber geliştirilmiştir. Her eşitlik üç difüzyon katsayısı içerir. Difüzyon katsayıları çözelti yoğunluğuna, sıcaklığına ve toprak nemine bağlıdır.

Kemp ve ark. (1992) göre, toprakların termal özelliklerinin belirlenmesinde toprak bünyesi, toprak nemi ve hacim ağırlığı gibi fiziksel özellikler etkili olmaktadır. Yapılan araştırmada 0-15 cm derinlikten alınan ve % 9 kil, % 10 silt, % 81 kum, % 1'den az organik madde içeren toprak örneği kullanılmıştır. Hacim ağırlığı 1.66 g / cm^3 olarak belirlenen toprağın % 8'lik ve % 34'lük nem içeriğindeki özgül ısı, ısı iletkenliği ve ısısal yayınım değerleri tespit edilmiştir. Burada, artan nem değerlerine karşılık diğer değerlerin de artış göstermesi, nemin ısısal iletkenliği artıcı bir etkiye sahip olduğunu ve kumun da iyi bir iletken olduğunu ortaya koymuştur.

Kohayashi (1993), tarafından yapılan araştırmada; hava ve toprak yüzeyindeki sıcaklık farklılıklarından dolayı meydana gelen buharlaşma, ısı yayınımını etkilemektedir. Toprak yüzeyinde meydana gelen sıcaklık dalgalanmaları toprak ve hava arasında meydana gelmektedir ve toprakta oluşan buharlaşmaya bağlı olarak da artmaktadır.

Sarıyev ve Gülüt (1995), bitki gelişim modellerinin bugüne kadarki gelişme durumu, modellerin yapısındaki temel prensiplerini (dinamiklik, bütçe ve bloklar prensibi) açıklayarak, modellerin önemi ve bitki gelişimine uygun verimlilik seviyelerine göre modelleme tekniklerini irdelemişlerdir. Ayrıca agroekosistemde bitki gelişiminin matematiksel modellenmesi amacıyla dikkate alınması gereken temel hususları, fiziksel ve biyofiziksel açıdan da ele almışlardır.

Sarıyev ve ark. (1995), toprak kök sisteminde zamanın ve derinliğin bir fonksiyonu olarak, topraktaki suyun durumunu izleyebilmek için toprak rutubet içeriği (θ), toprak rutubet potansiyeli (p) ve hidrolik iletkenlik (k) arasındaki ilişkileri ortaya koyan modeller bankası oluşturmuşlar ve toprak kök sisteminde su

dinamiğinin matematiksel tanımlamasını yapmışlardır.

Toprak sıcaklığının belli bir düzeye kadar bitkilerin kök gelişimi üzerine olumlu etkisi mevcuttur. Toprak sıcaklığının azalması ile topraktan kök bölgesine doğru suyun hareketi azalmakta, özelliklede köklerin metabolizma faaliyetlerinin olumsuz yönde etkilendiği görülmektedir. Toprak katmanlarındaki sıcaklık dağılımlarının bilinmesi, bitkilerin hangi gelişme fazında hangi stres olayları ile karşı karşıya kaldıklarının saptanması açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, toprak katmanlarında sıcaklığın hesaplanabilmesi için temel fizik kurallarına dayanan bir yaklaşımla, toprağın termal parametrelerine, derinliğine ve zamana bağlı olan bir matematiksel model ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır (Sarıyev ve ark., 1995).

Sarıyev ve ark. (1996), toprak katmanlarında sıcaklığın hesaplanabilmesi için temel fizik kurallarına dayanan bir yaklaşımla, toprağın termal parametrelerine, derinliğine ve zamana bağlı olan bir matematiksel model ortaya çıkarmışlardır.

Aydın (1997), tarafından toprak kolonlarında sıcaklık dağılımlarının bilgisayar destekli termometrelerle ölçülmesi ve toprakta sıcaklık rejiminin matematiksel modellenmesi çalışması yapılmıştır.

Toprak derinliğinde iletkenlik katsayısındaki değişimler 17 istasyonda standart toprak sıcaklık değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaç için ısı dalgalanma metodu kullanılmıştır. Elde edilen iletkenlik katsayısı değerleri ile diğer toprak tipleri arasındaki ilişkiler kurulmuş ve iletkenlik katsayıları araştırılmıştır (Marinova., 1993). Bu çalışmada, toprak yüzeyindeki sıcaklığın günlük ve yıllık değişimlerinin tahmini için bütünsel bir metot kullanılmıştır. Bu metot, toprak yüzeyinde enerji denge eşitliğine bağlı olarak kullanılan kısa süreli ısı transferiyle alakalı farklı eşitliklerle bağlantılıdır. Enerji denge eşitliği, toprakla hava (atmosfer) arasında evaprosyondan dolayı sürekli değişimi ifade eder. Bu model Athens ve Dublin de çıplak toprak ve kısa çim yetiştirilmiş topraklarda farklı aralıklarda ölçümlerin belirlenmesini minimuma indirmek için kullanılmıştır ve elde edilen sonuçlar Fourier analizine dayalı olan modellerle kıyaslanmıştır. Ayrıca toprak yüzeyindeki sıcaklık dağılımının enerji denge eşitliğini içeren sayısız faktörlerin etkileşimini değerlendirmek için hassas bir araştırma yürütülmüştür (Mihalakakou ve ark., 1997).

Canbolat ve Sarıyev (1997), Ç.Ü. Ziraat Fakültesi deneme alanları olan Arık ve Menzilat serilerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini incelemişlerdir. Bu

serilerin, hidrolik iletkenlik ve toprak rutubet karakteristikleri için, en uygun modeli (SIMONA bilgisayar programına göre) belirlemişlerdir. Ayrıca bu serilerdeki toprak sisteminde su dinamiğinin zamana ve derinliğe göre matematiksel modelini (SOIL WATER) yapmışlardır.

Steduto (2000), Toprakların termal özellikleri, yalnız toprak sıcaklığını değil bitki çevresini de önemli derecede etkiler. Su içeriği düşük kuru topraklar, hızla ısındıkları gibi hızla da soğurlar. Söz konusu ısınma ve soğuma bitki çevresindeki hava sıcaklığını ve dolayısıyla bitki gelişmesini etkiler. Toprak yüzeyine yakın bölgelerde depolanan ısı enerjisi toprak yüzünden olan serbest buharlaşmayı etkiler. Bu nedenlerden dolayı, toprak tarafından depolanan ısı, bitki su tüketiminin hesaplanmasında kullanılan enerji dengesi yöntemlerinde dikkate alınması gereken önemli bir değişkendir.

Çelebi (2001), toprak sıcaklık düzeylerini, kolonlarda kararlı ve kararsız (4 farklı nem seviyesinde) akım koşularında hem algılayıcılarla hem de matematiksel modelle izlemiştir. Ölçümlerde kullanılan AD/DA çevirici kart ve algılayıcılar, verilen dış ısı kaynaklarının etkisini algılamada hassas bulunmuştur. Ayrıca sunulan matematiksel modellerde ölçüm değerleri ile uyumlu bulunmuştur.

Mihalakakou (2002)'ya göre, toprak yüzey ısısının günlük ve yıllık değişiminin tahmin edilmesi ve modellenmesi için 2 metot incelenmiştir. Toprak yüzey ısısı, yüzey ve atmosfer arasındaki ısı değişiminin tahmini ve toprakla direkt bağlantılı olan ısısal özelliklerdeki değişimlerin hesaplanması için önemlidir. Kullanılan bu iki metot belirleyici model ve ısısal bağlantı yaklaşımıdır. Sonuçta, bu iki metodun kıyaslanması ile toprak yüzey ısısının dağılımının doğru bir biçimde tahmini için mükemmel tekniklerin oluşturulması önerilmektedir

Müjdeci (2004)'nin araştırmasında bitki gelişim modelinin temel bloklarından biri olan toprak sıcaklığı bloğunda, toprağın termal parametreleri toprak nemine, derinliğe ve zamana bağlı olarak irdelenmiştir. Bu amaçla, toprak sıcaklığını ve onu etkileyen toprağın termal parametrelerinin, bu parametrelere bağlı olan katman sıcaklıklarının belirlenebilmesi için, genel temel fizik kurallarına dayalı bir matematiksel yaklaşım ortaya konulmuştur. Ayrıca Seri–82 buğday çeşidi ile 2000–2001–2002 vejetasyon döneminde yürütülen bu çalışmada, çevre faktörleri (meteorolojik faktörler ve toprak faktörleri) ile bitki morfolojik ve fizyolojik

özellikleri arasında ilişkiler kurulmuş ve matematiksel modeller üretilmiştir. 2000, 2001 ve 2002 yıllarında farklı zamanlardaki tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı değerleri, tahmin edilen hava sıcaklığı değerlerinden yüksek çıkarken, aralarındaki korelâsyon katsayıları sırasıyla (r) 1; 0.98 ve 0.96, determinasyon katsayısı (η) 2000 yılında 0.81 çıkarken 2001 ve 2002 yıllarında anlamsız çıkmıştır. Nispi hataları sırasıyla %11, %17 ve %14 olmuştur.

Gülser ve Ekberli (2004)'nin çalışmasında, killi bir toprağın profil boyunca günlük toprak ısısındaki zamana karşı oluşan dağılımlar harmonik eşitlik içeren bir veri dizini kullanılarak tahmin edilmiştir. Genlik, ısı yayılımı gibi bazı toprak termal özellikleri 0.10.20.30.40 ve 50 cm toprak derinliğinde belirlenmiştir. En yüksek genlik 12,31 ºC değerinde toprak yüzeyinde elde edilmiştir. Ancak ısı yayılımı toprak yüzeyine kıyasla toprak profilinde aşağıya doğru inildikçe artış göstermiştir. Kullanılan eşitlikle tahmin edilen ısı değerleri ile ölçülen değerler uygunluk göstermiştir. 10 cm derinliğinde tahmin edilen sıcaklıklar 19 Mayıs Üniversitesi Meteoroloji İstasyonu tarafından ölçülen değerler ile önemli korelâsyonlar (0.903**) verdi ve aynı zamanda araştırıcılar tarafından 6 kez ölçülen değerlerle de (0.861**) önemli ilişkiler ortaya çıkarmıştır.

Ekberli ve ark. (2005)'e göre, toprak profilinde sıcaklık günlük, aylık ve yıllık olarak değişim göstermektedir. Bu değişim bir gün veya bir yıl olmak üzere periyodik biçimdedir. Toprak yüzeyinde sıcaklık değişimi fazla olup, aşağı katmanlara doğru inildikçe azalmaktadır. Toprağın 35-100 cm derinliğinde ise sıcaklığın günlük değişimi pratik olarak sabit değerlere ulaşmaktadır.

Toprağın ısısal özelliklerinin (ısısal iletkenlik, ısı kapasitesi ve ısısal yayınım), arazi ve laboratuar koşullarında sıcaklık değişimi ile ilgili yapılan deneme verilerini ve farklı matematiksel modelleri kullanarak, belirlenmesi konusunda çok sayıda teorik ve deneysel araştırmalar yapılmıştır (Barik, 2002; Aydın, 1997; Chudnovskii, 1976; Kurtener, Chudnovskii, 1979; Ekberli, Mikailsoy, 2002; Ekberli ve ark., 2005; Gerayzade, 1982; Gülser ve Ekberli, 2002; Marinova, 1993; Mihalakakou ve ark., 1997; Mihalakakou, 2001; Sarıyev ve ark., 1995 ve 1996; Şeyin, 2005, 2006 ve 2007; Yılmaz, 2008; Mikayilov, 2009).

3. TOPRAK SICAKLIĞININ MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

3. 1. Matematiksel Modelleme

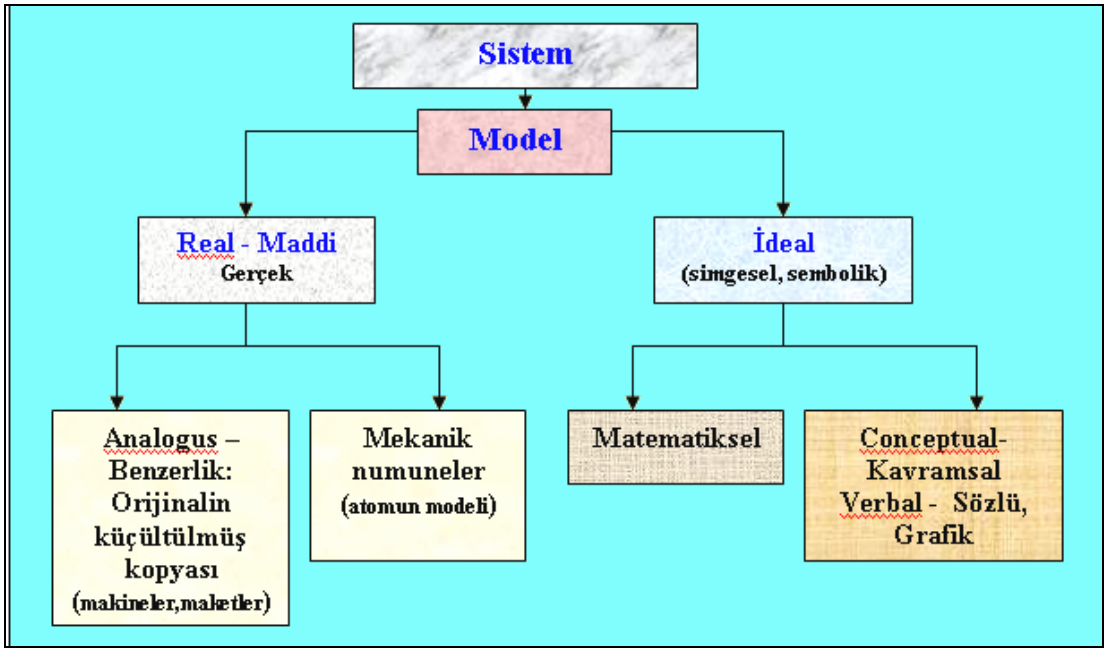
3.1.1. Model Kavramı

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. Tarım arazilerinde su, tuz, sıcaklık proseslerinin, besin maddelerinin bitki kök bölgelerindeki hareketlerin mekanizmalarını incelemenin daha kolay yolu olan Lizimetreler de bir modeldir**.**

3.1.2. Modellerin Sınıflandırılması

İncelenmesi gereken sistemlerin özelliklerine ve araştırma amaçlarına bağlı olarak oluşturulacak modellerde farklı olurlar. Modellerin genel tasnifi **Şekil-3.1'** de verilmiştir. Şimdi bu modelleri daha ayrıntılı bir biçimde nasıl tanımlandığımı gözden geçirelim.



Şekil 3.1. 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.

Matematiksel Modeller aşağıdaki biçimde fonksiyonel bir ilişki olarak gösterilebilir:

$$\mathbf{u} = f(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \boldsymbol{\sigma}, \mathbf{a}) \tag{3.1}$$

Burada,

$\mathbf{u} = (u_1, u_2, ..., u_k)$- Ekosistemlerde meydana gelen değişiklikler sonucunda sistemin tepkisini-sistemin işlevinin değerlerini: yani, sistemin çıkış değişkenlerini;

$\mathbf{x} = (x_1, x_2, ..., x_n)$ – Ekosistemleri oluşturan öğelerini: yani, sistemin bileşenlerini;

$\mathbf{y} = (y_1, y_2, ..., y_m)$ – Ekosistemleri etkileyen çeşitli çevresel faktörlerini: yani, sistemin giriş değişkenlerini;

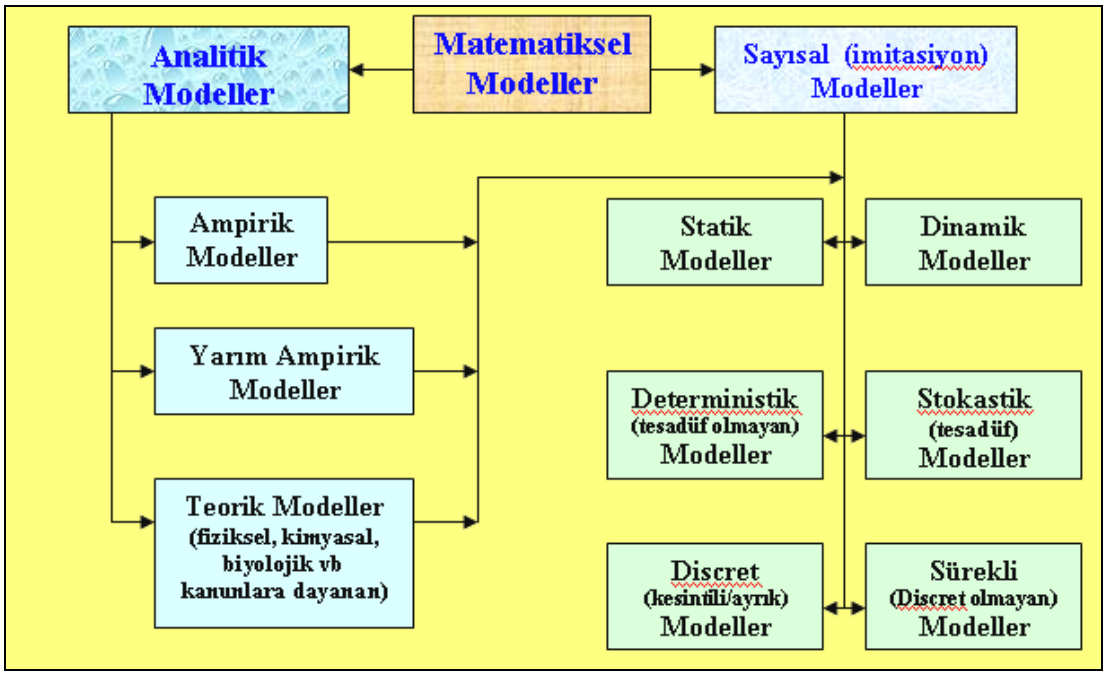
$\boldsymbol{\sigma} = (s_1, s_2, ..., s_l)$- Ekosistemlerin bileşenleri arasındaki karşılıklı ilişki ve etkileşimleri: yani, sistemin strüktürünü;

$\mathbf{a} = (a_1, a_2, ..., a_p)$- Ekosistemlerin bileşenleri arasındaki karşılıklı ilişki ve etkileşimleri: yani, sistemin parametrelerini;

ifade etmektedir.

Eşitlik (3.1)'in gerçek matematiksel ifadesi basit bir cebirsel bağıntı olabileceği gibi çok uzun karmaşık integro-diferansiyel denklem takımları da olabilir.

Çeşitli çevresel faktörlerin etkisiyle, ekosistemleri oluşturan bileşenlerin arasındaki karşılıklı ilişki ve etkileşimlerde meydana gelen değişiklikler sonucunda ekosistemin tepkisi, yani sistemin $\mathbf{u} = (u_1, u_2, ..., u_k)$ işlev değerlerinin sistemin çıkış değişkenlerinin ifade edilme şekline göre Matematiksel Modeller genel olarak aşağıdaki biçimde sınıflandırılır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Matematiksel Modellerin Genel Tasnifi

3.1.3. Matematiksel Modeller ve Bunların Temel Prensipleri

Son yıllarda yapılan ve hızlı bir şekilde yayılan simülasyon modelleri karmaşık sistemlerin analizi için önerilerin bir araca çevrilmektedir. Matematiksel modeller, gerçekte, karmaşık sistemlerde temel ve uygulamalı araştırma sonuçlarına bağlı birimlere dayanarak yapılmakta ve sistemden ihtiyaç duyulan gerekli bilgileri almak için uygulanmaktadır. Açık sistemlerin, özellikle agroekosistemin dış etkileyici faktörleri fazla olduğu için, bilgisayar deneyimi oldukça önem taşımaktadır. Açık veya karmaşık sistem söz konusu olduğunda, kapsamlı olmasa da araştırmacı açısından diyebiliriz ki, çok faktörlü dış etkiler sonucunda sistemin hangi tarafa yöneleceği kesin belli olmamaktadır. Bu nedenle de sistemlerin matematiksel modelleri geliştirilmekte, bilgisayar deneyimi ile analizler yapılabilmekte ve alınan sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmektedir (Poluektov, 1977).

Bilgisayar kullanılmadan önce model anlamı taşıyan iki türlü model oluşturulmuştur:

1- Analizler sonucu elde edilen değerlerin cetveller şeklinde verilmesi (halen devam etmekte).

2- Bu değerlerin istatistiksel olarak (bir veya iki parametreye bağımlı olarak) değerlendirilmesi.

Bunların her ikisi de model olarak bilinmekte ve modelin geliştirildiği bölge için gerekli olmaktadır. Ancak bu modellerin geliştirildikleri bölgeler dışında kullanılmaları dolayısıyla koşulların değişmesi, deneme sonuçlarını belli olmayan yönlere sürükleyebilir. Onun için bu tür modelleri kullanırken dikkatli davranmak gerekmektedir (Mckinon ve Lemmon, 1985).

Temel ve dinamik tipli modeller ise araştırmacılar için yeni bir süreç olarak kabul edilmektedir. Bu modellerin oluşturulması, olayın mekanizmasının teorik olarak yazılması ile mümkün olur. Onların da karakteristik gösterileri, daha önceden yapılan ampirik modellerden köklü olarak farklıdır. Özellikle tam teorik modelleri, matematiksel yöntemlerle çözerek sonuç almak ve çalıştırmak çok zordur. Çünkü alınmış sistem fonksiyonları lineer olmayan denklemlerle birbirleriyle bağlantılıdır. Bu bakımdan üçüncü tip modeller (yarı ampirik veya yarı teorik) daha fazla kullanılır. Söz konusu modellerde bilinmeyen parametreler arazi denemeleri ve laboratuar çalışmaları ile elde edilerek sisteme eklenir.

Diğer alanlarda da, örneğin ekonomide matematiksel modelin üç yapısı vardır:

1- Dinamik prensibi
2- Balans prensibinin bozulmaması
3- Bloklar prensibi

Matematiksel modellerin yapısı, modellerde yer alan denklemlerin bilgisayar programları ile güncelleştirilmesini, dinamikliğin, denge prensiplerinin bozulmamasını ve kurulacak modellerin bloklardan oluşturulmasını gerektiriyor (Poluektov, 1977).

1- Dinamikliğin Prensibi: Agroekosistemin kendisinin fonksiyonel gelişmesi, çevreden enerji-madde alışverişinin olmasını gerektiriyor (Poluektov, 1977). Bu olaylar da sonuçta karmaşık ilişkilerle madde ve enerji transferini olgunlaştırıyor. Bitkide tohumun çimlenmesinden başlayarak fiziksel, biofiziksel, biokimyasal ve fizyolojik olaylar zaman zaman değişim gösterir. Bitki gelişim fazları açısından da bitkinin atmosfer ve toprakla paylaştığı enerji-madde alışverişi değişir. Dinamiklik prensibi, proseslerin kendisinden ortaya çıkmaktadır. Zaman fonksiyonu proseslerin **t** zamanı açısından değişmektedir.

2-Modellemede Denge Prensibi: Sistemde transfer olunan bütün enerji ve madde unsurları (CO_2, su, azot, enerji vb.) zamana bağlı olarak, denklemler sistemi

ile ifade olunur. Sistemde maddelerin ve enerjinin akımı da bu balansa uygun olarak değişir. Agroekosistemde yeni bir enerji-madde etkileşimi meydana gelmemekte veya kayba uğramamaktadır. Dinamiklik prensibini de göz önüne alırsak, modelde toplam vejetasyon süresinde denge prensibi de mutlaka göz önüne alınmak zorundadır.

3-Bloklar Prensibi: Son aşama olarak, agroekosistemde oluşturulan bitki gelişim modellerinde, bloklar prensibini irdeleyelim. Modellerin blok yapısı özellikle bilgisayarda program realitesi ile ilgili olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü çok parametreli bir model oluşturuluyorsa, blok yapılarının birbirleriyle ilişkili olarak çalıştırılması için bir sistem programı da geliştirilmeli ve her bir aşamayı ifade eden ayrı ayrı alt bloklar yapılarak, bilgisayara transfer edilmelidir. Yeni araştırmaların ortaya çıkmasıyla herhangi bir blokta yenileştirme yapılması gerekiyor ise diğer bloklara zarar vermeden, güncelleştirme ilgili blok üzerinde yapılmalıdır.

3.1.4. Modellerin Önemi

1-Matematiksel modeller mümkün olduğu kadar bilgi kaynağı olarak değerlendirilebilir.

2-Model geliştirmekle, değişik dallardan bilim adamlarının bir araya gelerek multi disipliner bir çalışmaya girmeleri ile ekip halinde bilim kaynağı ve koordinasyonu sağlanabilir. Modelin oluşturulmasında disipliner bazda önem dereceleri ortaya çıkarılarak, her disiplinin ayrı ayrı katkı payları incelenebilir.

3-Modellerin uygulamadaki katkıları ile yapılmakta olan denemelerin stratejisini ve planının daha iyi sonuçlara vardırmak mümkün olabilir.

4-İyi adapte olunmuş modellerin, tarla veya laboratuarda kurulması planlanan ağır ve karmaşık denemelerin yerine kullanılması söz konusu olabilir.

5-Modellerin yararlarından en önemlisi; sulama, besin elementlerinin kullanılması, tuzluluk, ısı hareketi gibi ekolojik sorunlara ışık tutabilir olmaları, diğer yandan da bütün dış etmenlerin etkisiyle, elde edilecek üretimin değerlendirilmesi için ekonomik sorunlara cevap verebilir düzeyde olabilmeleridir (Poluektov, 1991).

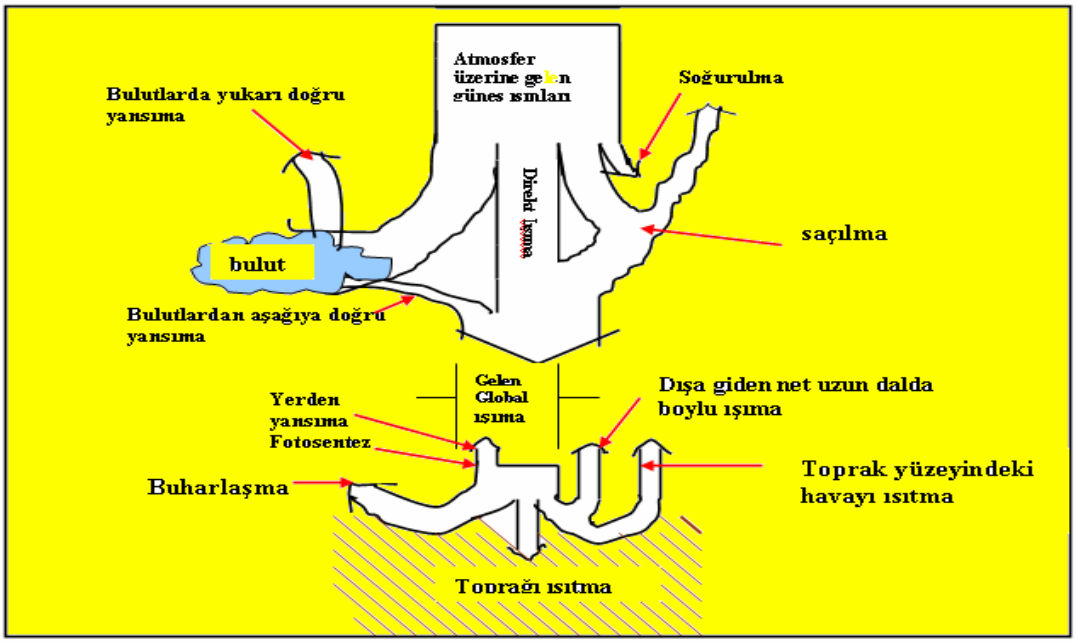
3.2. Toprak Isısı ve Sıcaklığı

3.2.1. Toprak Isısı

Toprak Isısı, ısıya (ışımaya, radyasyona, yanmaya, sürtünmeye v.s) maruz kalan toprağın öğelerinin moleküllerinin titreşimi sonucu ortaya çıkan ortalama kinetik enerjisidir ve birimi kaloridir (veya Joule, 1 kal = 4,18 Joule).

Isı topraktaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayları etkilediğinden oldukça önemli bir faktördür. Topraktaki mikrobiyoloji faaliyetlerin hızı üzerine ısınma etkisi büyüktür. Organik maddenin ayrışması, organik formdaki nitrojenin mineralizasyonu, topraktaki ısının yükselmesiyle artar. Düşük ısı derecesinde toprakta organik maddenin birikmesi yüksek ısı derecelerine göre daha fazladır. Toprak ısısının bitki gelişmesindeki ilk etkisi tohumların çimlenmesi sırasında başlar. Soğuk topraklarda çimlenme olayı yavaş cereyan eder. Toprak ısısı arttıkça tohumların çimlenmesi de hızlanır (Saatçı, 1975).

Toprak ısısının esas kaynağı güneşten yeryüzüne ışınlarla gelen güneş enerjisidir. Arz tabakalarının derinliklerinden yeryüzüne doğru bir ısı akımı söz konusu ise de bu pek az olduğu için toprağın ısınması üzerine olan etkisi önemsizdir. Topraktaki organik maddenin ayrışmasından meydana gelen ısının da toprak sıcaklığı üzerine olan etkisi önemli değildir. Güneşten yeryüzüne gelen ışınlar önce atmosfere çarparlar **(Şekil 3.3)**. Bu ışınlardan bir kısmı kırılma ve yansıma ile tekrar atmosferin yukarı tabakalarına döner. Güneşten gelen ışınların toprağa erişme oranı atmosfer tarafından ışınların emilme oranına bağlıdır. Su buharı fazla miktarda sıcaklık adsorbe ettiğinden bulutlu, nemli bir atmosfer yere gelen ışınları geniş ölçüde tutar. Kırılmadan yoluna devam eden ışınlar toprak yüzeyine vardıkları zaman bir kısmı kırılarak tekrar atmosfere yansır. Bir kısmı da toprak tarafından adsorbe edilir. Toprak tarafından adsorbe edilen ışınlar toprağı ısıtır. Fakat sonra bu ısının bir kısmı yayılma ile atmosfere geçer. Ayrıca toprak ısısının bir kısmı da topraktaki suyun buharlaşması sırasında sarf edilir. Yeryüzüne gelen ışınların kırılma açıları normale ne kadar yaklaşırsa ısının toprak tarafından adsorpsiyonu o nispette fazla olur. Diğer bir deyimle güneş ışınları bir toprağın yüzeyine ne kadar dik gelirse adsorpsiyon o oranda fazla olur (Ergene, 1982).



Şekil 3.3. Bir Yaz Gününde Güneşten Gelen Işımanın Dağılımı (Yeşilsoy ve Aydın., 1995)

Güneş enerjisinin yaklaşık %50'si ultraviyole ışınımlar şeklinde yayılır. Bunun dışında en üst toprak katmanında yılda yaklaşık 3-5 ton/ha organik maddenin parçalanması esnasında sınırlı bir ısı açığa çıkar (Fırat, 1998).

Toprakların ısı enerjisi kazanmalarında temel kaynak olan güneş enerjisinin etkili oluşuna, bölgenin rakımı, mevsimler, günün muhtelif saatleri ve hava durumu, toprağın eğim ve yöneyi, toprak rengi ve bitki örtüsünün çeşit ve sıklığı gibi faktörler tesir etmektedir. Jeotermal kaynaklı ısı enerjisi ile kimyasal ayrışma ve parçalanma, ekzotermik tepkimeler ve köklerin solunumları sırasında ortaya çıkan ısı enerjileri de toprakların ısınmasını etkileyen kaynaklardır. Toprak yüzeyinden suyun buharlaşması ve doğrudan atmosfere ısı enerjisi salınması yollarıyla toprak ısısında azalmalar olur. Bu kayıplar mevsimlere, günün saatlerine, toprak yüzeyinin örtünme durumuna, toprak renk ve su içeriğine göre farklılıklar gösterir (Bayraklı, 1993).

3.2.2. Toprak Sıcaklığı

Toprak sıcaklığı, toprağın ısı enerji içeriğinin bir ölçüsüdür ve birimi derecedir (^0C veya ^0K). Diğer bir değişle, ısı, bir maddenin bütün moleküllerinin toplam kinetik enerjisini ifade ederken, sıcaklık, o madde içindeki moleküllerden ortalama aktivitesinin belirli bir düzeyini veya derecesini gösteren bir deyimdir (Lowry,

1970). Isı, su içeriği gibi bir kapasite faktörü iken, sıcaklık, su potansiyeli gibi bir yoğunluk faktörüdür (Taylor ve Ashcroft, 1972).

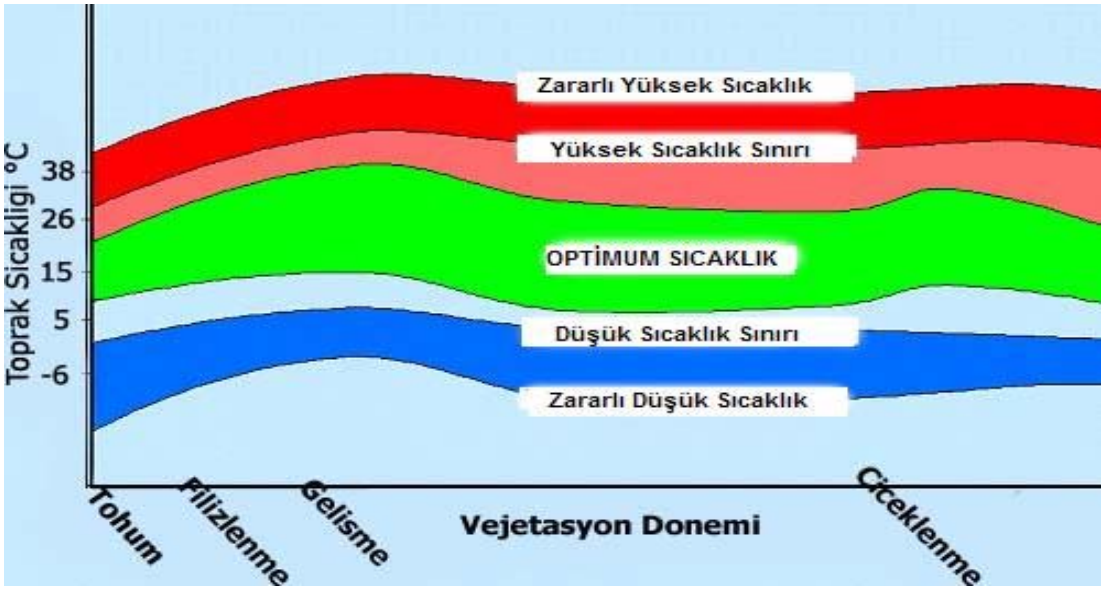
Sıcaklık, toprakta meydana gelen biyolojik olaylar üzerine önemli etkisi olan, fiziksel ve kimyasal işlemleri yönlendiren önemli bir özelliktir. Toprak donduğunda kimyasal ve biyolojik faaliyetler hemen hemen durmasına karşılık, fiziksel ayrışma etkin bir şekilde devam etmektedir. 5˚C'nin altındaki sıcaklıklarda çoğu bitkinin kök gelişimi durmaktadır. Toprak ve hava sıcaklığı verilerinin elde edilmesi, bitki-toprak ilişkilerini anlamak ve toprağın kullanımına ilişkin yorumların yapılabilmesi için zorunludur (Dinç ve Şenol, 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).

Tohumun çimlenmesi, bitkilerin büyümesi, toprak mikro-organizma faaliyetlerinin aktivitesi organik maddenin mineralizasyonu, mineral maddelerin ayrışma ve parçalanması, toprak bünyesi ve gaz hareketi gibi birçok hayati önemi haiz olaylar toprak sıcaklığıyla yakından ilişkilidir Toprak sıcaklığı toprağa çeşitli kaynaklardan ulaşan ısı enerjisi miktarına, toprağın özgül ısısına ve topraktan çeşitli yollarla kaybolan ısı enerjisi miktarına bağlıdır. Topraklar yazın ve günün ortasında en yüksek sıcaklığa erişirler. Islak topraklar daha yavaş ısınır ve daha yavaş soğurlar (Bayraklı, 1993).

Bitkilerin büyümesi de sıcaklığın etkisi altındadır **(Şekil 3.4)**. Soğuk bir toprak bitki köklerinin gelişmesine ve bitkilerin büyümesine uygun değildir. Bunun gibi sıcaklığın fazlalığı da bitkilerin gelişmesini geriletirse de bu, soğuk kadar önemli değildir. Sıcaklığın donma derecesinin altına düşmesi, yalnız bitkilerin gelişmesini geriletmekle kalmayıp, aynı zamanda don olayları ile bitkilerin ölmesine de sebep olmaktadır. Toprak sıcaklığı da hava sıcaklığı gibi bitkilerin gelişmesi bakımından hayati bir önem taşımaktadır (Ergene, 1982).

Güneşten dünyamıza ulaşabilen kısa dalgalar, toprak yüzeyine çarparak uzun dalgalı ışınlara çevrilirler. Güneşten gelen kısa dalgalı ışınların çok az bir kısmı dünya yüzeyinden kısa dalgalı olarak yansıtılır.



Şekil 3.4. Toprak Sıcaklığının Bitki Gelişmesine Etkisi (http://cas.bellarmine.edu)

Isı ve sıcaklığın kaynağı güneş olduğu için, gündüz alınan ısı gece topraktan dışarı verilir. Bu nedenle, toprak sıcaklığının günlük değişimi sinüzoidal bir şekil alır (Özbek, 1990).

Toprağın 10 cm altında ölçülen uzun dönemli ortalama aylık toprak ısılarının sinüzoidal görüntüsü **Şekil 3.5'**de gösterilmektedir (Davis, 1986).

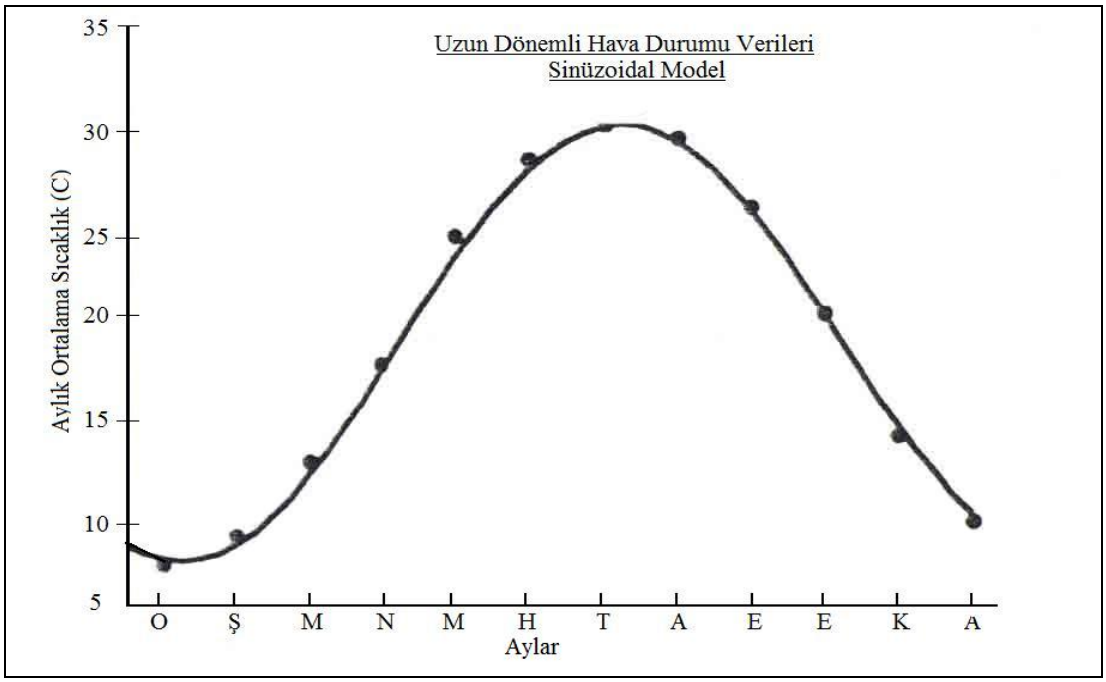
Kimyasal ve biyolojik olaylar, enerjiye gereksinme duyarlar.yeteri derecede sıcaklık olmadığı takdirde, bu gibi değişmeler,özellikle bunlardan biyolojik olanlar, elverişli yoğunlukta devam edemezler. Bu nedenle, toprak sıcaklığı optimum toprak süreçleri oluşumu ve toprak verimliliği açısından önemlidir.

3.2.3. Toprak Isısının ve Sıcaklığının Kaynakları

Tüm toprak ısısı; güneş ve gökyüzünden radyasyonla toprağın derinliklerinden kondüksiyonla ve yeryüzünde meydana gelen kimyasal ve biyolojik süreçler sonunda ortaya çıkan enerji olmak üzere üç kaynaktan gelmektedir.

Toprak sıcaklığının esas kaynağı atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşan güneş ışınları özellikle dalga boyu 2 mikron 'dan küçük olan kısa radyasyon enerjisi (radyant enerji)'dir (Aksak ve ark., 1995).

Güneşten yayılan radyasyon enerjisinin (elektromanyetik dalgalar şeklinde iletilen enerji) çoğu 0.3 ile 3 mikron arasındaki bir dalga boyuna sahiptir.



Şekil 3.5. Toprağın 10 cm Altında Ölçülen Uzun Dönemli Ortalama Aylık Toprak Isıları (Davis, 1986)

Yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonu enerjisinin ($\approx 21x10^{20}$ Jule) bir kısmı toprak oluşum süreçleri üzerinde önemli etki yapmaktadır. Toprağın ısı dengesi, bu enerjinin tutulmasını ve yansımasını nicel olarak ifade etmektedir (Ekberli ve Mikailsoy, 2002).

Bundan başka, dünyanın merkezinden iletim yoluyla gelen, topraktaki kimyasal ve biyolojik olaylar sonucu ortaya çıkan ısının varlığı da söz konusudur. Ancak, bunların toprak sıcaklığı üzerindeki etkileri, güneşten gelen enerjinin yanında önemsenemeyecek kadar azdır (Baver ve ark., 1972; Özkan, 1985; Yeşilsoy, 1973).

Diğer ısı kaynaklarından örneğin, litosferin üst katmanlarında meydana gelen çeşitli kimyasal, biyolojik ve radyoaktif prosesler sonucunda oluşan sıcaklığın toprağın ısınmasındaki önemi azdır. Az da olsa toprak sıcaklığını oluşturan etkenlerde biri de toprak organik maddesinin biyolojik transformasyonu sonucunda cereyan eden endogen (veya ekzogen) kimyasal reaksiyonlardır (Kauriçev, 1989).

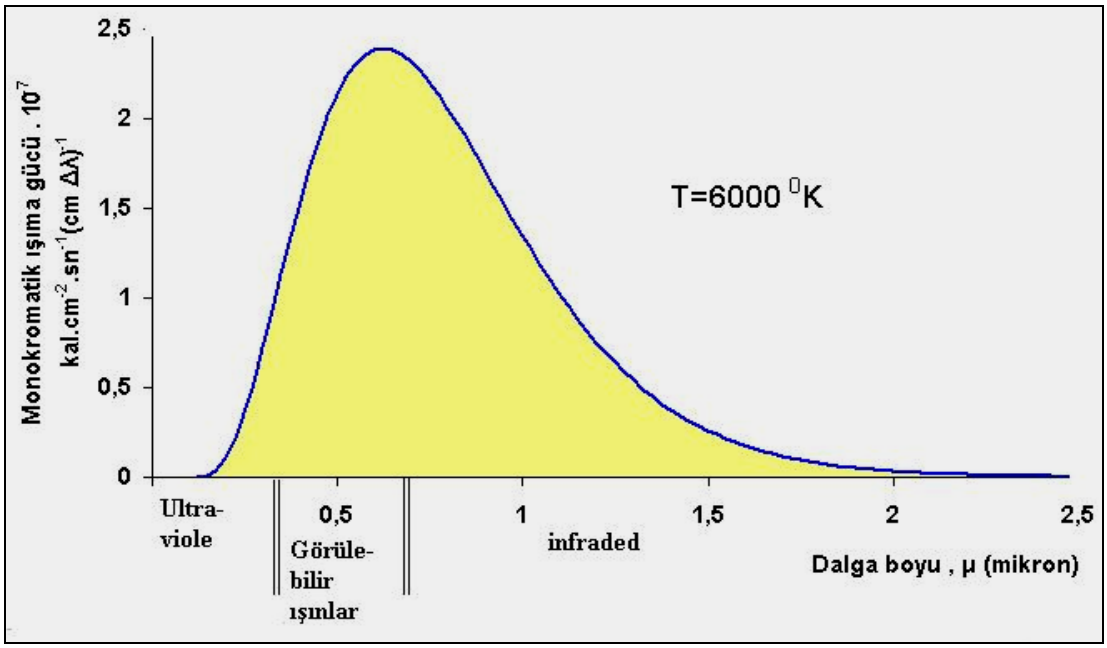
Atmosferde toz zerrelerinin ve su buharının mevcudiyeti radyasyonun yeryüzüne ulaşmasını azaltır. Atmosferdeki su buharı çok fazla ısı absorbe eder. Rutubetli ve bulutlu bir atmosfer güneş radyasyonlarının yeryüzünden uzaklaşmasını engeller. Bu hallerdeki atmosfer, radyasyon vasıtası ile yerden geniş ısı kaybını

önler. Açık ve kuru bir atmosferin mevcut olduğu yerlerin ısısı gece ve gündüz arasında büyük farklılıklar gösterir. Gündüzleri sıcak geceleri ise serin olur. Rutubetli ve bulutlu bir atmosferin mevcut olduğu yerlerde ise gece ve gündüz arasında büyük ısı farkları yoktur (Saatçı, 1975).

Işıma (radyasyon), atmosferin ve yeryüzünün enerji dengesinde önemli bir unsurdur. Atmosfer üzerine ulaşan ışıma enerjisinin dalga boyuna göre dağılımı-spektral dağılımı **Şekil 3.6**'deki gibi gösterilebilir. Nitekim güneş bir bakıma 6000 ºK sıcaklıktaki bir siyah cisme (black body) benzer ışıma yayar. Güneş yüzeyinin yaklaşık sıcaklığı da 6000 ºK kadardır (Yeşilsoy,1991; Rose, 1969).

Atmosferden geçen güneş ışınlarının hepsinde değişmeler olmakta (mor ötesi ışın görülebilir ışın, kızıl ötesi ışınlar), fakat bunlardan en fazla etkilenen kızıl ötesi ışınlardır (Aksak ve ark.1995).

Yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonun yoğunluğunda ve dolayısıyla radyant enerjinin miktarında yalnızca atmosferdeki değişikliklerle ilişkili değişmeler olmamakta, bu konuda bulunan coğrafi bölge ve zamanında etkisi bulunmaktadır. Genelde güneş radyasyonun yeryüzüne ulaşmak için atmosfer içinde kat ettiği yol kısaldıkça yeryüzüne ulaşan radyasyon yoğunluğu artmaktadır. Bunun sonucunda, yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonunun ekvator kuşağındaki ortalama yoğunluğu ile



Şekil 3.6. Güneş Sıcaklığındaki Bir Siyah Cismin Işıma Enerjisinin Dalga Boyuna Göre Dağılımı (Rose, 1979)

diğer bir enlemdeki ortalama yoğunlukları birbirinden farklı olmakta ve ekvator kuşağından uzaklaştıkça ortalama radyasyon yoğunluğu ve bununla ilişkili olarak radyant enerji miktarı azalmaktadır. Zamanın bu konudaki etkisi de yine güneş radyasyonun yeryüzündeki çeşitli bölgelere geliş açısı ile ilişkilidir. Yaz mevsiminde güneş radyasyonu yüzeye daha dik bir konumda gelmekte kış mevsiminde ise yatıklaşmaktadır. Atmosferi dik olarak geçen ışınların kat ettikleri yol daha kısa olduklarından bir bölgedeki güneş radyasyonu yoğunluğu yaz mevsiminde daha fazla olmaktadır. Günün çeşitli saatleri için de durum aynıdır ve güneş radyasyonunun en yoğun olduğu zaman ışınların yeryüzüne gün içinde en dik bir şekilde ulaştıkları öğle saatleridir (Şeker, 1995).

Güneş ışınları atmosfere sabit bir yoğunluk dalga uzunluğunda ulaşmaktadır. Fakat atmosfer tabakasından geçerken yoğunluklarında azalmalar ve dalga uzunluklarında bazı değişmeler olmaktadır. Atmosferdeki toz ve nem yeryüzüne ulaşan bu radyan enerjinin miktarında azalmalara neden olmaktadır. Atmosferdeki toz ve nemden başka bulutlarda yeryüzüne ulaşan radyant enerjinin azalmasına yol açmaktadır. Bu azalma diğerlerinden daha fazladır (Aksak ve ark.1995).

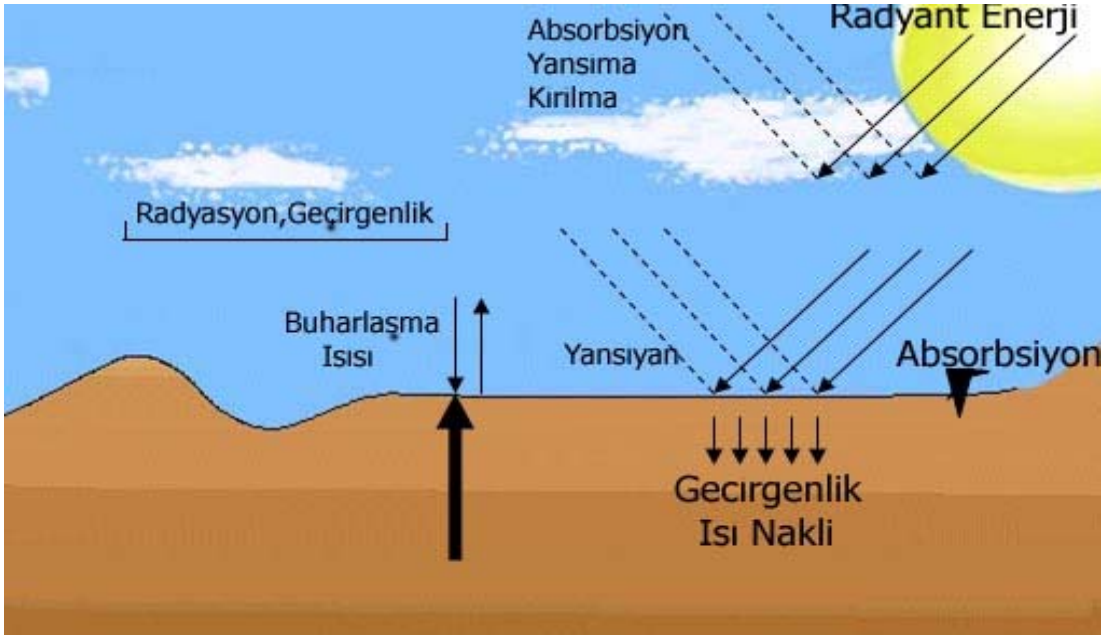
Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin dağılımı, tarımsal açıdan önemlidir. Bir kısmı, yersel sıcaklıkta daha uzun dalga boyu şeklinde geriye döner. Bir kısmı, ısısal iletim yoluyla toprağa iner ve sıcaklığını artırır. Absorbe edilen ısı, farklı sıcaklıklarda birbirine karışan havanın yol açtığı doğal taşıma ve zorunlu nedenlerle yeryüzünden atmosfere doğru kaybolabilir. Şayet toprak yüzeyi ıslaksa, suyu buharlaştırmak için gerekli olan ısı (gizli ısı-***latent heat***) şeklinde solar radyasyon harcanabilir. Bu enerji buharlaşan su ile atmosfere geri döner (Rose, 1979).

Akalan, (1993) göre, ısının toprak tarafından yutulması ve ısı hareketleri **Şekil 3.7.**'de gösterilmiştir.

3.2.4. Topraktan Atmosfere Isı İletimi

Güneş ışınlarının hepsi, toprak tarafından devamlı olarak yutulamazlar. Bunların büyük bir kısmı tekrar atmosfere geçer. Bu geçiş üç şekilde olur:

- Radyasyon
- Kondüksiyon
- Konveksiyon



Şekil 3.7. Isının Toprak Tarafından Yutulması ve Isı Hareketleri (Akalan, 1993)

İki cisim birbirine dokunduğunda, birindeki enerji diğerine geçer. Bu geçiş molekülden moleküle olur. Buna **iletkenlik** denir.

Radyasyon: Enerji veren dalgaların belirli kaynaktan çıkartılıp gönderilmesi, bunların uzayda veya başka bir ortamda yayılması olayıdır. Güneşten gelen radyasyonun bir kısmı aydınlık enerjisinin, bir kısmı da ısı enerjisinin kaynağını oluşturur. Isı enerjisi veren dalgaların yayılması olayına "termal radyasyon" denir. Güneşten gelen kısa dalga boyuna sahip (0,3-2,2 mikron) ışınlar termal radyasyon üzerinde en çok etkili olan ışınlardır. Yeryüzüne çarptıktan sonra ısı enerjisine dönüşen ışınlar ise uzun dalga boyuna sahip (6,8-100 mikron) olup bunlar "karasal radyasyon" olayı ile tekrar atmosfere dönmektedir. Bu uzun dalga boyuna sahip ışınların yayılma (geçme) kuvveti çok azdır. Onun için normal bir cam bunların yansımasına engel olabilir (sera etkisi).

Kondüksiyon: Bu bir madde içerisine maddenin kendi iç molekülünün hareketi yoluyla ısıtik enerjisinin bir ifadesi olduğundan, madde içerisindeki bir sıcaklık farkı bulunuşu normal olarak maddenin daha sıcak bölgesinden onun bitişiğinde ki daha soğuk bölgesine moleküllerin hızlı bir şekilde hareketinin pek çok çarpışmalar meydana getirmesi yoluyla kinetik enerjinin taşınmasına sebep olacaktır. Böylece ısı iletim prosesleri difüzyon proseslerine benzerdir. Aynı şekilde difüzyon,

karışım kompozisyonunun her tarafta eşit olmasına, ısı iletimi ise moleküler kinetik enerjinin cismin kendi içerisindeki dağılımının her tarafta eşit olmasına çalışır.

Konveksiyon: Bu şekil enerji taşıyan bir kitlenin hareketini kapsar (Örneğin okyanus akıntısında veya atmosfer rüzgârlarında olduğu gibi). Toprak fiziğine daha uygun bir örnek ise başlangıçta soğuk bir toprağa sıcak atık suyun infiltrasyonu olabilir (bu su bir enerji santralinden gelebilir).

3.3. Toprak Sıcaklığına Etki Eden Faktörler

Toprakların tuttuğu ısı enerjisi güneş ışınlarının miktarına bağlıdır. Bununla birlikte, bölgenin kendi özgü koşulları ve toprağın bazı özellikleri toprakta tutulacak ısı enerjisini doğrudan etkiler.

Enlem derecesi: Güneş ışınlarının toprağa geliş açısı, enlem dereceleri küçüldükçe artar. Ekvatora doğru yaklaşıldıkça, güneş ışınlarının geliş açısı dikleştiği için bu bölgelerde toprak sıcaklığı daha yüksektir. Büyük enlem derecelerine sahip kutup bölgelerinde, güneş ışınlarının geliş açısı toprak yüzeyine dar açı ile geldikleri için, bu bölgelerdeki toprakların sıcaklığı daha düşüktür. Hatta yılın büyük bir bölümünde topraklar donmuş durumdadırlar.

Yöney ve eğim: Kuzey yarımkürede, güney yönündeki toprakların, kuzey yönündeki topraklara göre birkaç derce daha sıcak olduğu bilinmektedir. Mevsimlere göre ilkbaharda güney-doğu, yazın güney, sonbaharda güney-batı yönündeki toprakların daha sıcak olduğu saptanmıştır. Özellikle meyve ve sebze yetiştiriciliğinde yöneyin önemi ortaya çıkmaktadır. Dona duyarlı sebzelerin yetiştirilmesinde güney yönü erken dikim ve hasat için tercih edilir. Buna karşılık bazı meyve ağaçları güney yönünde son donlar geçmeden çiçek açtığından, ürünün dondan zarar görmesi olasıdır.

Eğim ile sıcaklık arasındaki ilişki, güneş ışınlarının eğimli araziye geliş açılarıyla ilgilidir. Güneş ışınları eğimli araziye dik açıyla geldiğinde toprak sıcaklığındaki artış daha fazla olmaktadır. Güneş ışınları eğimli arazilere dar açı ya da yatay olarak gelirse, toprak sıcaklığındaki artış daha az olmaktadır.

Bitki örtüsü: Bitki örtüsü, güneşten gelen ısı enerjisinin doğrudan toprağa geçmesini önler. Çıplak toprak yüzeyi güneş ışınlarıyla doğrudan değinim içerisinde oldukça fazla ısınır. Bu nedenle, kış ve yaz mevsimlerinde gece ve gündüz çıplak topraklardaki sıcaklık farkı ve değişimi yüksek olur. Bitki örtüsü, geceleyin ve kış

mevsiminde topraktan atmosfere olan ışımayı azaltır. Bunun sonucunda, üzerinde bitki örtüsü bulunan topraklar, çıplak topraklara göre gündüz ve yaz mevsimi boyunca daha serin, gece ve kış mevsimi boyunca da daha sıcaktır. Çok yıllık yüksek boylu bitkiler gölge etkileri nedeniyle, kısa boylu çayır mera bitkilerine göre sıcaklık değişimleri üzerinde daha etkilidirler.

Karaların ve suların dağılımı: Suyun özgül ısısı yüksek olduğundan ısıyı yüksek oranda tutabilir. Bu nedenle su kitlelerine yakın kara parçaları, su kitlelerinden uzak kara parçalarına göre daha ılıman ve düzenli iklimlere sahiptirler. Deniz ve okyanuslara yakın karaların atmosferi su buharı ile doyduğundan, topraklardan atmosfere doğru ışıma en alt düzeye iner. Karasal iklim bölgelerinde, özellikle gece ve kış mevsiminde topraktan atmosfere ışıma fazla olur. Bunun sonucunda, bu bölgelerdeki topraklar çabuk soğur. Okyanus, deniz, göl ve baraj gölleri yakınındaki topraklardaki sıcaklık değişimi, suyun özgül ısısının yüksekliği nedeniyle daha az olmaktadır.

Toprak özellikleri: Toprak sıcaklığına doğrudan etki eden önemli toprak özelliklerini, toprak rengi, toprak nemi ve bünyesi olarak sıralamak mümkündür. Organik madde içeriği fazla ve koyu renkli topraklar, açık renkli topraklara göre daha çabuk ısınırlar. Bunun nedeni, koyu renklerin güneş ışınlarını daha fazla tutmaları ve daha az yansıtmalarıdır. Topraktaki nem düzeyinin artışı, topraktaki ısı artışının yavaş olmasına neden olur. Bu durum, suyun özgül ısısının yüksek olmasından ileri gelir.

Kum bünyeli topraklar, düşük nem içerdikleri ve iyi havalanmaları nedeniyle çabuk ısınırlar ve çabuk soğurlar. Tava gelmeleri erken olur. Kil bünyeli topraklar ise, yüksek su tutma kapasiteleri ve düşük havalanma düzeyleri nedeniyle geç ısınıp geç soğurlar. Tava gelmeleri de geç olur. (Saatçı, 1975).

Yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonunun yoğunluğunu etkileyen coğrafi bölge, mevsimler ve zaman gibi etmenler doğal olarak toprak sıcaklığını da etkilemektedir. Güneş radyasyonunun daha yoğun olduğu yer ve zamanlarda toprak sıcaklığı daha fazla olmaktadır. Daha önce açıklanan bu etmenlerin yanı sıra toprağın doğası, su içeriği, topografyası ve bitki örtüsü gibi etmenlerde toprak sıcaklığını önemli ölçüde etkilemektedir.

Toprağın doğası: Mineral ve organik madde ile su ve hava karışımlarından ibaret olan toprakların ısı absorpsiyon kapasiteleri, bu materyallerin farklı özgül ısılara sahip olmaları nedeniyle, bunların oransal miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Mineral maddeler organik maddelerden daha düşük özgül ısılara sahip olduklarından mineral topraklar organik topraklardan daha çabuk ısınırlar.

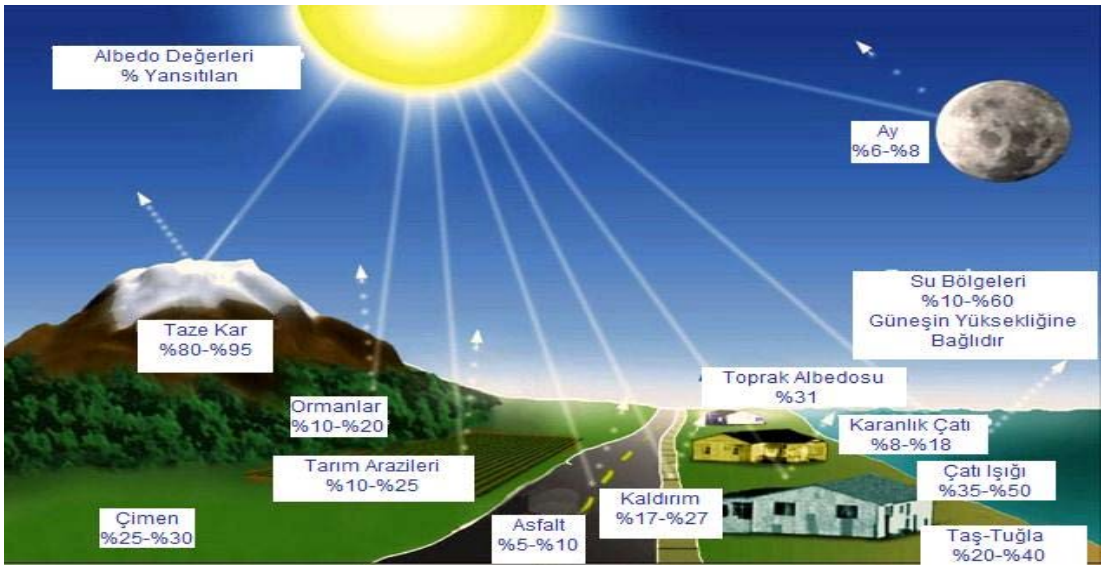
Toprak strüktürü toprak boşluklarıyla, dolayısıyla toprak havalanmasıyla, toprak tekstürü ise toprağın su tutma kapasitesi ile ilişkili olduklarından toprak sıcaklığını da belirli ölçülerde etkilemektedir. Kaba tekstürlü topraklar, genellikle ince tekstürlülerden, iyi strüktürlü topraklarda kötü strüktürlü olanlardan daha çabuk ısınmaktadır.

Toprak rengi sıcaklığa etki eden toprak özelliklerinden biridir. Güneşten gelen radyasyonun yansıtılmasında toprak rengi önemli bir etkiye sahiptir. Genelde koyu renkler radyasyonun büyük kısmını absorbe etmekte, açık renkler ise yansıtmaktadır. Bu nedenle koyu renkli topraklar açık renklilere kıyasla daha çabuk ısınmaktadırlar. Toprak yüzeyinden yansıyan enerjinin, gelen enerjiye oranına "***albedo***" denilmekte ve diğer özellikler eşit olması koşulunda albedo küçüldükçe toprak sıcaklığı artmaktadır. **Şekil 3.8.**'de ve **Çizelge 3.1**'de albedo değerleri gösterilmiştir.

Topografya: Daha öncede belirtildiği gibi güneş ışınları toprak yüzeyine ne kadar dik gelirse toprak tarafından absorbe edilen ısının miktarı da o kadar fazla olmaktadır. İşte topografik yapı ve özellikle arazi eğimi toprak yüzeyinin güneşe karşı olan durumunu göstermekle toprak sıcaklığı üzerinde etkili olmaktadır.

Çizelge 3.1. Farklı Toprak ve Bitki Örtülerinin Albedosu (Chudnovskii, A.F. 1966)

№	Topraklar	α , %	№	Bitki Örtüsü	α , %
1.	Kuru Çernozem (Kara)	14	1.	Kışlık Buğday	10-25
2.	Nemli Çernozem (Kara)	8	2.	Yazlık Buğday	16-23
3.	Kuru Serozem (Gri)	25-30	3.	Yeşil Çimenlik	26
4.	Nemli Serozem (Gri)	10-12	4.	Kuru Çimenlik	19
5.	Nemli Killi	23	5.	Pamuk	20-22
6.	Kuru Killi	16	6.	Pirinç	12
7	Ak ve Sarı renkli Kum	34-40	7.	Patates	19



Şekil 3.8. Güneşten Gelen Işınlarının Yeryüzünde Oluşturduğu Bazı Albedo Değerleri (http://img462.imageshack.us/img462/7179/albedo11il.jpg)

Kuzey yarımkürede, güneye doğru eğimli olan arazideki topraklar kuzeye doğru eğimli olan arazideki topraklar kuzeye doğru eğimli alanlardaki topraklardan daha fazla ısınmaktadır. Güney yönlere güneş ışınları daha dik ulaşmaktadır. Ayrıca toprağın su değişimini etkilemek yoluyla da topografyanın toprak sıcaklığı üzerinde dolaylı etkileri bulunmaktadır. Eğimli arazilerde su daha ince bir toprak katmanını ıslatabilirken, çukur arazilerdeki topraklar iklime bağlı olarak yılın önemli bir bölümünde ıslak durumda bulunmaktadır. Bu da toprağın özgül ısısının artmasına neden olarak, toprak sıcaklığında değişmelere yol açmaktadır.

Toprak Rengi: 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 ^{o}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 cm^{3}'lük çeşitli toprak yüzeyini beyaz renkli topraklar $MgCO_2$ ve siyah renkli cam kurumu ile örtmüş ve bunların sıcaklığını ölçmüştür. Beyaz ve siyah yüzeyli topraklarda 8 ^{o}C'lik sıcaklık farkı bulunmuştur. (**Çizelge 3.2.**)

Çizelge 3.2. Toprak Rengi ile Sıcaklık Arasındaki İlişkiler (Akalan, 1993)

Toprak Tipi	Tabii Renk (^oC)	Beyaz Yüzey (^oC)	Siyah Yüzey (^oC)
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

Daha sonra Akalan, Wollny'in (1978) yaptığı araştırma sonuçlarını aşağıdaki şekilde açıklamıştır;

1. Koyu renkli topraklar, yılın sıcak mevsimlerinde açık renkli olanlardan daha sıcaktır.

2. Koyu renkli topraklarda günlük ısı varyansları daha büyüktür.

3. Koyu renkli topraklardan gece ısı kaybı daha hızlıdır.

4. Koyu ve açık renkli topraklar arasındaki sıcaklık farkı derinlik arttıkça azalmaktadır. Görüldüğü gibi koyu renkli topraklar radyasyonun büyük kısmını adsorbe etmekte, açık renkler ise yansıtmaktadır. Koyu renkli toprakların, açık olanlara göre, kırmızı ve sarı topraklarda ise beyaz topraklara nazaran daha çabuk yükseldiği sonucu çıkarılmıştır (Aksak ve ark., 1995).

Özgül Isı: Toprakların özgül ısıları, toprak sıcaklığına etki eden faktörlerden biridir. Özgül ısı, herhangi bir maddenin 1 gramının sıcaklığını 1 ^oC yükseltmek için gereken kaloridir. Özgül ısı birimi kal/gr/ ^oC'dir. Suyun özgül ısısı 1,0'dır. Topraktaki diğer maddelerin özgül ısıları **Çizelge 3.3**'de verilmiştir.

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 doygun hale getirmek suretiyle özgül ısıda değişimlere neden olmaktadır.

Çizelge 3.3. Bazı Maddelerin Özgül Isıları (Akalan, 1993)

№	MADDE	Özgül Isı (kal/gr/ ^{o}C)
1.	Su	1,00
2.	Buz	0,50
3.	Hava	0,25
4.	Kil	0,22
5.	Kuvars	0,19
6.	Mika	0,21
7.	Granit	0,19
8.	Kireç ($CaCO_3$)	0,20
9.	F_2O_3	0,15
10.	Humus	0,40
11.	Odun	0,42

Çeşitli suyla doygunluk oranlarında 1cm^3 toprağın özgül ısı değerleri **Çizelge 3.4**'da verilmiştir. Bu durum bize fazla su içeren toprakların soğuk topraklar olduğunu ve bunların ısınmalarını sağlamak için fazla suyun uzaklaştırılmasının gerekli olduğunu açıklamaktadır. Fazla su içeren fena drenajlı, kumlu topraklar ise sıcak topraklar adını almaktadır (Aksak ve ark., 1995).

Organik ve İnorganik Madde İçeriği: Toprakta ısının iletilmesinde toprak sıcaklığına da etki yapan faktörlerden biridir. Isının toprakta iletilmesi her şeyden önce toprak oluşum maddelerinin kimyasal yapısı ile ilgilidir. Toprağın esas yapı maddelerinin ısıyı iletme güçlerini şöyle sıralayabiliriz

Kum > tın > kil > humus

Kumun ısıyı en fazla ilettiği ve humusun de en fena ilettiği saptanmıştır. Organik madde dışındaki maddelerinin, ısı geçirgenliklerinin topraklarda çok az fark gösterdiği bilinmektedir.

Çizelge 3.4. Çeşitli Suyla Doygunluk Oranlarında 1cm^3 Toprağın Özgül Isıları (Akalan, 1993)

Toprak	Çeşitli doygunluk derecelerinde 1 cm^3 toprağın özgül ısısı (kalori)		
	Kuru	% 50 suya doygun	% 100 suyla doygun
Kum	0.302	0.510	0.717
Humus	0.148	0.525	0.902
Kil	0.240	0.532	0.823
Kaolin	0.223	0.539	0.846

Porozite: Porozite fazla olduğu zaman toprağın ısı iletkenliği azalır. Toprağın porozitesi azaldıkça ısı iletkenliği artar. Çünkü hava ısıyı az ileten bir maddedir. Bir toprağın hacim ağırlığı arttıkça toprağın boşluk oranı ve buna bağlı olarak da hava miktarı azalmakta ve katı taneler birbirine daha sıkı bir şekilde temas etmektedir. Boşlukların su ile dolu bulunması da, havayla dolu bulunmasına kıyasla daha fazla ısı iletiminin olmasını sağlamaktadır (Aksak ve ark., 1995).

Su içeriği: Su yüksek özgül ısıya sahip olduğundan ıslak toprakların özgül ısıları da kuru topraklara kıyasla daha fazla olmakta ve ıslak topraklar kuru topraklardan daha yavaş ısınmaktadır. Islak toprağın sıcaklığının düşük olmasının diğer bir nedeni de buharlaşmadır. Bu olayda bir miktar ısı kullanıldığından toprak sıcaklığında bir miktar azalma olmaktadır (Aksak ve ark., 1995).

Toprağın su içeriği arttıkça, fazla nem içeren topraklarda, buharlaşma nedeniyle ısı kaybının fazla olduğu yukarıda belirtilmişti. Bu nedenle zayıf drenajlı koyu renkli topraklar, açık renkli drenajı iyi topraklar kadar çabuk ısınmazlar (Aksak ve ark., 1995).

3.3.1 Toprak Sıcaklığının Etkilediği Etmenler

Mikroorganizma faaliyeti: Toprak mikroorganizmalarının büyük bir bölümü için optimum sıcaklık 10 ^{o}C ile 35 ^{o}C arasındadır. 80 ^{o}C'nin üstündeki sıcaklık toprak canlılarının büyük bir kısmını öldürür. Buna karşın bakterilerin endosporları ve mantar sporları daha yüksek sıcaklıklara dayanabilirler. Soğuğa karşı özellikle bakteriler ve mantarlar çok dayanıklıdır. Sıcaklığı sevenler Aktinomisetler ve Asperqillus ile Tlrichoderma cinslerine ait mantarlardır; buna karşılık Penicilium ve Mucor cinslerine ait mantarlar ılıman bir sıcaklık tercih eder. Sıcaklığa özellikle gereksinmesi olan hayvan grupları karıncalar ve eklembacaklılar olup toprak hayvanlarının çoğunluğu 20 ^{o}C'nin altındaki sıcaklığı sever. Genel olarak birçok iklim alanlarında, sıcaklık arttıkça biyokimyasal aktivitenin arttığı gerçektir. Solucanlar özellikle soğuğa dayanıklıdır. Toprak nemliliğini koruduğu sürede bunlar, 0 ^{o}C'de donmuş olan veya karla örtülmüş olan toprak yüzeyi altında aktivitelerini devam ettirirler (Özbek, 1990).

Çimlenme: Sıcaklık bitki gelişmesinde ilk olarak tohumların çimlenmesi üzerinde etkili olmaktadır. Çeşitli bitki tohumlarının düşük sıcaklık derecelerinde çimlenme kabiliyetleri birbirinden farklıdır. Genel olarak soğuk bir toprakta

çimlenme yavaştır. Soğuk bir toprak ayrıca bitki köklerinin gelişmesine ve bitkilerin büyümesine de uygun değildir (Aksak ve ark., 1995).

Topraktaki tohumlar toprak sıcaklığı belli dereceye ulaşmadan çimlenmezler (Örneğin, pamuk bitkisi 15 ^{o}C'de çimlenir (Özbek, 1990).

Sıcak bir toprakta ise bitkinin türüne bağlı olarak sıcaklığın belli bir optimuma kadar yükselmesine paralel olarak çimlenme ve çimlenme hızı da artmaktadır (Aksak ve ark., 1995).

Bitki gelişimi: Bitki gelişimi sırasında meydana gelen özümleme, solunum, terleme ve fotosentez gibi olaylar sıcaklıkla sıkı bir şekilde ilişkilidir. Bitki ve toprakta oluşan kimyasal reaksiyonların çoğu yüksek sıcaklıklarda düşük sıcaklıklar karşılaştırıldığında daha hızlı gerçekleşmektedir. Sıcaklıktaki her 10 ^{o}C'lik artışın kimyasal reaksiyonların hızını iki katına çıkardığı tahmin edilmektedir.

Genellikle sıcaklığın artmasıyla birlikte aktivitelerde hızlanmaktadır. Böylece yüksek sıcaklık bitkilerin çoğunda gelişmeyi hızlandırmaktadır. Ayrıca bitkilerin kök gelişimi ile topraktaki bitki besin maddelerinin çözünebilirlik ve bitki tarafından alınabilirlikleri üzerinde de sıcaklığın önemli etkileri bulunmaktadır (Aksak ve ark., 1995).

Toprağın bitki besin maddeleri düzeyinin toprak nemi ve toprak havalanması gibi diğer faktörlerin optimum civarında seyretmesi halinde çok sayıda araştırmada tarla bitkilerinin başlangıç büyümesine aynı zamanda çimlenme, sürme ve sürmeyi takip eden ilk birkaç haftalık dönemdeki büyümesine toprak ve hava sıcaklıklarının önemli derecede etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle tohum derinliği seviyesindeki toprak sıcaklığının çimlenme ve sürme aşamalarında çok önemli olduğu tespit edilmiştir. Soğuk topraklar birçok zirai bitkilerin hızlı bir şekilde gelişmesine engel olarak, sıcak topraklardan daha fazla bitki gelişmesinde gerilemeye neden olmaktadır. Sıcaklığın donma derecesinin altına düşmesi bitkilerin gelişmesini geriletmekle kalmaz, bitkilerin ölmesine de sebep olur (Aksak ve ark., 1995).

Demiralay (1967)'ye göre, Knoll ve ark. (1964), mısır bitkisinde büyümenin birkaç haftası sonrasında kök sonu sıcaklık derecesinin 15 ^{o}C'nin altında olduğu yerlerde kuru madde veriminin azaldığı tespit edilmiştir (Aksak ve ark., 1995).

Toprak sıcaklığın fiziksel ayrışmaya etkisi: Isınma ve soğuma ne kadar sık olursa etkide o kadar büyük olur. Ani sıcaklık değişimleri olduğu zaman kayaların iç ve dış kısımları değişik oranda ısınır ve soğurlar. Bu suretle oluşan 500 barlık basınç kayaların çatlamasına, yarılmasına ve nihayet parçalanmasına neden olan gerilimler meydana getirir. Kayaların bileşimlerinde bulunan minerallerin değişik renk ve genleşme katsayıları bu olayı hızlandırır. Özellikle büyük çaplı minerallerde bu olay kolay gerçekleşir. Örneğin, granit bazalttan daha kolay parçalanır. Çünkü daha kaba tekstüre sahiptir. Hem koyu hem de açık renkli minerallerden oluşur. Nihayet parçalanmış bir kaya daha büyük bir yüzeye sahip olduğundan masif bir kayadan daha fazla ısının etkisi altındadır (Özbek, 1990).

Toprak verimliliği: Sıcaklık, bitki kökleri tarafından suyun alımını da etkiler. Yine bitki köklerince suyun alınması sıcaklığın etki düzeyi, bitki türleri arasında değişiklik gösterir. Bununla birlikte, sıcak bölge koşullarına uyarlanabilmiş birçok bitki, kök bölgesinin sıcaklığında 0 ºC ile 60-70 ºC arasında görülen bir artışla su alımını da artırır. Artık bu sıcaklık derecesinin üstünde suyun köklerce alımında bir düşme olur (Tisdale ve Nelson., 1982).

Düşük toprak sıcaklığı, bitki kökleriyle su alımı üzerine yaptığı etki sonucu, bitkilerin gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Toprak sıcaklığı düşükse ve bitkide fazla terleme yapıyorsa, dokuların dehidrasyonu, yani susuz kalması nedeniyle bitki zarar görebilir. Bitkilerin su alımı üzerinde sıcaklığın etkisi kısmen, suyun akışkanlığında, hücre zarı geçirgenliğinde ve kök hücrelerinin fizyolojik aktivitesinde görülen ya da olagelen değişmelerin bir sonucu olarak açıklanabilir. Toprağın su durumu da bir dereceye kadar sıcaklıktan etkilenir. Çünkü her zaman olmasa bile, toprak yüzeyinden suyun evaporasyonu veya buharlaşmasıyla kayıp olma hızı sıcak havada daha fazladır.

Sıcaklık, mineral bitki besin elementlerinin bitkilerce alımını da etkiler. Birçok bitki türleri üzerinde sayısız denemelerden elde olunan sonuçlar, içinde mineral bitki besin elementlerini içeren çözeltilerden kök absorpsiyonunun, düşük toprak sıcaklıklarında yavaşlamakta olduğunu gösterir. Buna neden olarak respirasyon (solunum) işlevinin ya da hücre zarı geçirgenliğinin azaltılmış olması ileri sürülebilir (Tisdale ve Nelson., 1982).

3.4. Toprak Sıcaklığındaki Değişmeler

Toprak sıcaklığı atmosferdeki sıcaklığa bağlı olarak günlük, aylık ve mevsimlik değişmeler gösterir. Topraktaki sıcaklık değişmeleri üst toprakta, alt topraktan daha fazladır. Ilıman bölgelerde genel olarak yazın üst toprak alt topraktan daha sıcak, kışın da daha soğuktur. Toprağın 15 cm derinliğine kadar olan üst kısmı her mevsimde havadan daha sıcaktır. Bazen güneşli günlerde koyu renkli topraklarda toprak yüzü ile hava sıcaklığı arasındaki fark 15°C dereceye kadar çıkabilir. Kışın toprak 90 cm derinliğe kadar donabilir (Ergene, 1982).

Toprak sıcaklığı üzerine rüzgârların direkt etkisi önemli değildir. Fakat kuru rüzgârların suyu buharlaştırıcı etkisi toprak üzerine soğutucu olarak tesir gösterir. Genel olarak yağmur suları toprak üzerine soğutucu etki yaparlar. Çünkü yağmur sularının çoğunun sıcaklığı topraktan daha düşüktür. Toprağa sızan soğuk sular alt toprak tabakalarının hızlı soğumasına yardım eder. Kışın toprak üzerindeki kar örtüsü bir izolatör gibi görev yapar. Çabuk ve fazla sıcaklık değişmelerini önler. Çiftçiler kışlık buğday üzerindeki kar örtüsünün faydalı etkilerini tamamen anlamışlardır. Kar örtüsü ayrıca toprağın fazla derinlere kadar donmasını da önler (Ergene, 1982).

3.4.1. Toprak Sıcaklığının Denetimi

Kuru toprak yüzeyi, ıslak toprak yüzeyine göre daha fazla sıcaklık değişimine uğramaktadır. Çöllerdeki gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı buna bir örnektir. İlkbahar başlangıcında, kuru toprak yüzeyi gündüz daha sıcaktır ve tohumların çimlenmesi için koşullar daha uygun olmaktadır. Buna karşın, bu tür yüzeyler geceleri daha fazla soğuduklarından, gece donlarına uğramaları olasıdır. Bu nedenle, çimlenme ve bitki gelişimi için toprak sıcaklığının kontrolü ilkbaharda daha çok önemlidir (Yeşilsoy ve Aydın., 1995).

Toprak sıcaklığının kontrolü, toprak yüzeyine gelen ve giden ışımanın düzenlenmesi ve toprağın ısıyla ilgili özelliklerinin değiştirilmesiyle olasıdır. Toprak sıcaklığının kontrolü için yapılan işlemleri 3 grup altında toplamak olasıdır (Baver vd., 1972).

1. Malçlama: Toprak yüzeyine bırakılan ve buharlaşmayı önleyen maddelere malç adı verilir. Ahır gübresi ve saman gibi her türlü organik maddeler ve yapay plastik örtüler malçlara örnektir. Toprak yüzeyine uygulanan çeşitli doğal ya da

yapay malçlar, toprak sıcaklığının günlük ve yıllık değişimini mevsimine göre azaltmakta veya artırmaktadırlar. Bahçe tarımında kullanılan plastik örtüler, toprak sıcaklığını kontrol altında tutmak amacı ile uygulanan en yaygın yöntemdir.

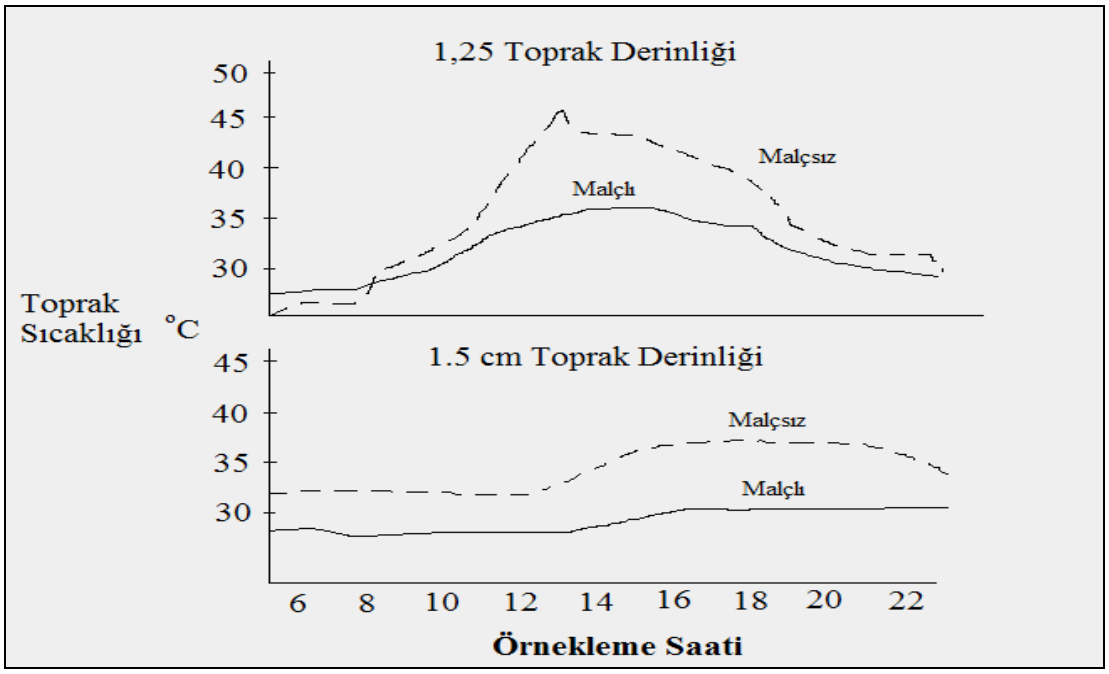
Sıcak ve kurak bölgelerde, güneşten gelen ışımanın etkisini azaltmak, yansımasını artırmak, toprak sıcaklığının fazla yükselmesini ve buharlaşmayı önlemek için açık renkli plastik örtüler kullanılmalıdır. Soğuk bölgelerde ise siyah renkli plastik örtüler kullanılmalıdır. Bu örtüler güneşten gelen ısı enerjisinin çoğunu içlerine alırlar. Geceleri ise, topraktan atmosfere doğru olan ışımayı engelleyerek toprağın sıcak kalmasını sağlarlar. Malç toprak sıcaklığını kontrol etmenin dışında, yabancı ot kontrolü, su ve rüzgâr erozyonuna karşı toprağı korumak ve evaporasyonda su kaybını azaltmak için de uygulanabilir (**Şekil 3.9**).

2. Sulama ve drenaj: Toprağın ısıyla ilgili özelliklerini nem içeriği etkilemektedir. Bu nedenle toprak sıcaklığının düzenlenmesinde sulama ve drenajdan yararlanılır. Drenajı iyi olmayan toprakların nem içerikleri fazladır. Fazla nem içeren topraklar, suyun ısı kapasitesi yüksek olduğu için daha geç ısınır ve ilkbaharda tohumların çimlenmesi için gerekli sıcaklığa zamanında ulaşamaz. Bu durum, bitkilerin zamanında ve iyi şekilde gelişmesini önler. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için, özellikle kil bünyeli topraklarda drenajın iyileştirilmesi gerekir. Sıcak yaz aylarında ise, bitki kök gelişimini ve bitkinin uygun büyüme sıcaklığını olumsuz yönde etkileyecek yüksek toprak sıcaklığını önlemek için sulama yapılmalıdır.

3. Toprak yüzeyinin fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi: Toprak yüzeyinin sıkışması, toprağın hacim ağırlığını ve ısı iletkenliğini artırır. Toprak çok kuru koşullarda işlendiğinde, yüzeyde oluşan tozun malç etkisi nedeniyle, yüzeyden alt katmanlara ısı akışı azalmaktadır. İşlenen topraklardaki günlük sıcaklık değişimi, işlenmeyenlerden daha fazla olmaktadır. Gevşek bir toprak, geceleri, sıkışmış bir topraktan daha soğuk olmakta ve donmaya karşı daha duyarlı durumda bulunmaktadır.

3.4.2. Türkiye'deki Toprak Sıcaklık Rejimleri

Her pedon horizonlarında hemen hemen aynı olan bir yıllık ortalama sıcaklık değerine sahiptir. Bu değer yıllık ortalama hava sıcaklığı ile yakından ilişkilidir. Fakat toprak üzerinde kar örtüsü veya ormanlarda olduğu gibi bitki örtüsü ve organik horizon bulunduğunda sapmalar olur (Dinç ve ark., 1999). Toprak sıcaklığı günlük



Şekil 3.9. Testere Talaşının Topraktaki Sıcaklık Dalgalanmalarına Etkisi (White ve Ark., 1959).

sıcaklık değişmelerinden etkilenmeyen, yani yüzeyden 50 cm derinlikte ölçülür. Bu nedenle aşağıdaki toprak sıcaklık rejimi sınıflarının tamamı 50 cm derinlikteki ortalama sıcaklık değeri esas alınarak yapılmıştır (Dinç ve ark., 1999).

1. Cryic (soğukluk) sıcaklık rejimi

Yıllık ortalama toprak sıcaklığı 50 cm derinlikte 0 ºC-8 ºC aralığında olduğu Kuzeydoğu Anadolu'daki 2000 m'nin üzerinde Mescit, Karasu-Aras, Kaçkar, Cilo-Sat, ve Bolkar Dağlarının yüksek kısımlarındaki toprakları kapsamaktadır. Bu sahalarda yılın yaklaşık 4-6 ayı karla kaplı geçmektedir (Dinç ve ark., 1999).

2. Mesic (orta) sıcaklık rejimi

Yıllık ortalama toprak sıcaklığı 50 cm derinlikte 8 ºC veya daha fazla ve fakat 15 ºC'den daha düşük ve yaz döneminde ortalama toprak sıcaklığı ile kış sıcaklığı arasındaki farkın 6 ºC'den fazla olduğu toprakları kapsamına almaktadır. Bu sıcaklık rejimine ait topraklar, Güneydoğu Anadolu'nun alçak kısımları ile Ege ve Akdeniz kıyı şeridinin ve yüksek dağlık alanlarımızın dışında bulunan tüm bölgelerimizde görülmektedir (Dinç ve ark., 1999).

3. Thermic sıcaklık rejimi

Yıllık ortalama toprak sıcaklığı 50 cm derinlikte 15 ^{0}C veya daha fazla, fakat 22 ^{0}C'den daha düşük, yaz ile kış arasında toprak sıcaklığı 6 ^{0}C'den fazla olduğu alanların toprak sıcaklık rejimi olan bu sıcaklık rejimi, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgesinin 1000 m'den düşük sahalarındaki topraklarda görülmektedir (Dinç ve ark., 1999)

4. Frigid (soğuk) sıcaklık rejimi

50 cm derinlikte yıllık ortalama toprak sıcaklığı 8 ^{0}C'den daha düşük ve ortalama yaz sıcaklığı ile ortalama kış sıcaklığı arasındaki fark 5 ^{0}C'den fazla olan alanların topraklarını içermektedir. Cryic sıcaklık rejiminden farklı olarak toprak yaz aylarında daha sıcaktır. Bu sıcaklık rejimine ait topraklar, genel olarak 1500 m'nin üzerindeki dağlık alanlarımızda çok yaygındır. Bolkar-Aladağlar, Uzunyayla ile Doğu Anadolu'daki dağlık alanlarda bulunmaktadır (Dinç ve ark., 1999).

3.5. Toprağın Isısal Özellikleri

3.5.1.Toprağın Özgül ve Hacimsel Isı Kapasitesi

Toprakların ısı ilişkileri; toprak yüzeyindeki ısınmadan başka, toprağın ısı kapasitesi ve ısısal iletkenlik gibi özelliklerine bağlıdır. Ayrıca, bu ilişkiler, rutubet içeriğinden de önemli derecede etkilenir. Toprakların ısı kapasitesi özgül ısı ve toprağın hacim ağırlığına bağlıdır. Isı kapasitesi tamamen dış etkilere bağımlı olmayan bir büyüklüktür. Bu değer toprağın çeşitli öğeleri için farklıdır ve ayrıca kuvvetli şekilde su içeriğine bağlıdır, çünkü su, toprağı oluşturan bütün öğeler arasında en büyük özgül ısı kapasitesine sahiptir (Özbek ve ark., 2001).

Toprak sıcaklığına etki yapan diğer önemli bir faktör de "*özgül ısı*"dır. Özgül ısı kapasitesi, 1 g toprağı 1 ^0C ısıtmak için gereken sıcaklık miktarına denir ve C_m ile gösterilir. Birimi ise **kal g^{-1}^{o}C^{-1}** veya **J g^{-1}^{o}C^{-1}** (**J g^{-1}^{o}K^{-1}**) olarak ifade edilir.

Suyun özgül ısısı **1** kal g^{-1}^{o}C^{-1} olduğu halde örneğin toprak mineral parçacıklarının yaklaşık 0.2 kal g^{-1}^{o}C^{-1}, organik maddenin 0.4 kal g^{-1}^{o}C^{-1} ve havanın 0.24 kal g^{-1}^{o}C^{-1}'dür (Bayraklı, 1993). Çeşitli toprak yapı maddelerinin özgül ısı değerleri **Çizelge 3.5**'de verilmiştir (Baver ve ark. 1972).

Toprağın özgül ısısının toprak sıcaklığının kontrolünde önemi çok büyüktür. Toprak tarafından belli miktarda ısının yutulması, toprak sıcaklığının hızla yükselmesini

Çizelge 3.5. Çeşitli Toprak Yapı Maddelerinin Özgül Isı Değerleri (Baver, 1972)

Materyal	Özgül ısı(kal / g^0C)	Materyal	Özgül ısı(kal / g^0C)
Kuvars	0.188	Humus	0.44
Kil	0.27	Selüloz , kuru	0.37
Mika	0.206	Odun	0.42
Dolamit	0.23	Peat	0.48
Mermer	0.21	Su	1.00

garanti edemez. Bütün koşullar eşit olduğu takdirde, yüksek özgül ısılı bir toprakta ısı değişmeleri, düşük olana oranla daha yavaş olur (Akalan, 1993).

Suyun miktarı arttıkça toprağın ısınması için fazla bir ısıya ihtiyaç gösterir. Bu sebepten killi topraklar kumlu topraklara nazaran fazla su ihtiva ettiklerinden soğuk topraklar vasfını kazanmaktadır.

Hacimsel ısı kapasitesi 1 cm^3 toprağı 1 ºC ısıtmak için gereken sıcaklık miktarına denir ve C_v ile gösterilir. Birimi ise kal cm^{-3} ºC^{-1} veya J m^{-3} ºC^{-1} (J m^{-3} ºK^{-1}) olarak ifade edilir. Tarladaki toprağın özgül ısısı üzerine toprakta mevcut suyun büyük etkisi vardır (**Çizelge 3.6**). Bu sebepten killi topraklar kumlu topraklara nazaran fazla su ihtiva ettiklerinden soğuk topraklar vasfını kazanmaktadır (Saatçı, 1975).

Çizelge 3.6. Toprak Öğelerinin Yoğunluğu, Özgül ve Hacimsel Isı Kapasiteleri (DeVires, 1952; Saatcı, 1975; Hillel, 1998)

Toprak Öğeleri	Özgül Isı Kapasitesi	Yoğunluk	Hacimsel Isı Kapasitesi
	C_m, kal / gr ºC	ρ_b, gr/cm^3	C_v , kal / cm^3 ºC
Kuvars	0,18	2,66	0,48
Kil mineralleri	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 ºC)	1,0	1,0	1,0
Buz (0 ºC)	0,49	0,92	0,45
Hava (10 ºC)	0,24	0,00125	0,0003

Kütlesi ***m*** ve hacmi ***V*** olan her hangi bir maddenin ***hacimsel ve özgül ısı kapasitesi*** belli ise o maddenin ısı kapasitesi (C) aşağıdaki biçimde hesaplanır:

$$C = m \cdot C_m = V \cdot C_v \tag{3.2}$$

Hacimsel ısı kapasitesi ise aşağıdaki biçimde hesaplanır:

$$C_v = \rho_b \cdot C_m \tag{3.3}$$

3.5.2. Toprağın Isı İletkenliği

Gözenekli bir ortamda bir noktadan belirli bir uzaklığa hareket eden **ısının miktarı**, ortamın **ısıyı iletme hızına** bağlıdır. Demek ki, termik fenomenler için önemli olan diğer bir büyüklük de **ısı iletkenliğidir.**

Toprağın ısı iletkenliğini etkileyen en önemli faktör topraktaki hava boşluklarının oranıdır. Çünkü havanın ısı iletkenliği suyun ısı iletkenliğinin 1/20'si, katı maddenin ısı iletkenliğinin 1/60'ı kadardır. Bu bakımdan toprak havası bir izolatör görevi yapmaktadır (Bayraklı, 1993). Birbirinden **1ºC** farklı sıcaklıkları olan ve aralarındaki mesafe **1cm olan** $1\,cm^2$'lik toprak kesitinden **1 saniye** içinde geçen ısı miktarına **toprağın ısı iletkenliği katsayısı** denir ve λ ile gösterilir.

Yaygın bir şekilde kullanılan birimleri ise kal cm^{-1} $ºC^{-1}$ sn^{-1} veya J cm^{-1} $ºC^{-1}$ sn^{-1} (J cm^{-1} $ºK^{-1}$ $gün^{-1}$) veya kal cm^{-1} $ºC^{-1}$ $gün^{-1}$ veya J cm^{-1} $ºC^{-1}$ $gün^{-1}$ şeklindedir.

Toprakların ısı iletkenlikleri üzerine, organik madde miktarı, bünye, hacim ağırlığı ve gözeneklik gibi faktörler tesir etmekte olup adı geçen faktörler etkili olup, toprağın ihtiva ettiği maddelerin bileşenlerinden daha önemlidir (Saatçı, 1975).

Yüksek miktardaki organik madde düşük ısı iletkenliği gösterir. Kumlu bünyedeki toprakların ısı iletkenliği ise killi bünyedeki topraklara nazaran daha yüksektir. Toprağın hacim ağırlığı 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).

3.5.3. Toprağın Isı Yayınımı

Bir materyalin ısı iletkenliğinin, o materyalin hacimsel ısı kapasitesine oranına **ısısal yayınım** denir. Başka bir deyişle, ısı akımı sonucunda toprağın birim hacmindeki sıcaklığının **1 sn** zaman zarfında değişmesine **toprağın ısı yayınımı** denir ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\kappa = \lambda / C_v \tag{3.4}$$

Birimi $cm^2\ sn^{-1}$ veya $m^2\ sn^{-1}$ olarak ifade edilir. **Çizelge 3.7'**de toprak öğelerinin bazı termal özellikleri gösterilmiştir.

3.6. Toprağın Radyasyon ve Isı Dengesi

Radyasyon dengesi toprağın ısı dengesinin girdi kısmını oluşturmaktadır. Toprak yüzeyindeki tüm ısı etkileri güneşten gelen dikey kısa dalgalı **güneş radyasyonu** (R_{sol}) ile ilgilidir. Güneş radyasyonunun diğer kısmı (R_{air}) ise havadaki gazlar, tozlar, bileşimler ve iyonlar tarafından tutulduktan sonra toprak yüzeyine ulaşmaktadır. Atmosferden gelen **uzun dalgalı ışınlar** (R_{atm}) dikey güneş radyasyonunun bir kısmı olup, buharlar, ozon ve diğer atmosfer gazları ve tozlar tarafından tutulmuş şekildedir.

Toplam radyasyonun $(R_{sol} + R_{air} + R_{atm})$ bir kısmı yeryüzünden geri yansır, bir kısmı ise yayılır. Uzun dalgalı radyasyon az, kısa dalgalı radyasyon ise daha fazla yansır.

Kızılötesi ışınım aralığında (3-50 μm), uzun dalgalı radyasyon **toprak yüzeyinden atmosfere** R_e miktarda yansır ve genelde toprak yüzeyinin sıcaklığına bağlıdır (Ekberli ve Mikailsoy, 2002).

Çizelge 3.7. Toprak bileşenlerinin Termal Özellikleri (Şeyin, E.V. 2006)

Toprak Öğesi	Isı İletkenliği	Hacimsel Isı Kapasitesi	Isı Yayınımı
	kal/cm sn. ^oC	kal / cm^3 ºC	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 ºC)	1.37	1.0	0,0014
Buz (0 ºC)	5.2	0.45	0,0116
Hava (10 ºC)	0.06	0.003	0,0200

$(R_{sol} + R_{air})$ radyasyonu, atmosfere yansıyan kısa dalgalı radyasyonla yer yüzeyine gelen toplam radyasyon arasındaki orantıya-albedoya (α) bağlı olmaktadır. Toplam radyasyonun (R_s +R_a + R_l) doğal yüzeylerden yansıma (α) katsayı değerleri **Çizelge 3.8**'da verilmiştir (Van Viyk ve Ubiçe, 1968).

Toprak yüzeyinin ısınmasına ve soğumasına bağlı olarak, radyasyon dengesi **negatif** veya **pozitif** olmaktadır. Günlük periyoda göre öğle vakti maksimum, gece ise minimum değer almaktadır. Yıllık periyotta ise maksimum ve minimum değerlere uygun olarak, yaz ve kış dönemlerinde ulaşılmaktadır.

Güneşten gelen enerjinin tutulması ve yansıması sonucunda radyasyon dengesinin (R) geriye kalan kısmı yeryüzünde ısıya dönüşerek, toprağın ısı dengesini oluşturur.

Enerjinin korunumu kuralına göre, her periyotta toprağa giren ısı harcanan ısıya eşit olmaktadır. Bu nedenle, toprağın radyasyon ve ısı dengesi aşağıdaki biçimde tanımlanabilir.

3.6.1. Toprak Yüzeyinin Radyasyon Dengesi

Birim zamanda toprağın birim yüzeyine **ulaşan** ve yüzeyden geri yansıyan radyasyon enerjisi farkına **Toprak Yüzeyinin Radyasyon Dengesi** (kal cm^{-2} $gün^{-1}$ veya kal cm^{-2} dak^{-1}) denir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

Çizelge 3.8. Toplam Radyasyonun (R_s +R_a + R_l) Doğal Yüzeylerden Yansıma (α) Katsayıları (Van Viyk ve Ubiçe, 1968)

Yüzeyin özelliği	α	Yüzeyin özelliği	α
Yeni düşmüş kar	0.80-0.85	Buharlı alan	0.12-0.35
Eriyen kar	0.30-0.65	Rutubetli sürülmüş toprak	0.05-0.14
Kurumuş tuz	0.50	Yeşil otluk	0.16-0.27
Kireç	0.45	Kuru otluk	0.16-0.19
Kuvarslı kum	0.35	Rutubetli bozkır	0.22
Rutubetli koyu kil	0.02-0.08	Kuru bozkır	0.32
Kuru koyu kil	0.16	Biçilmiş alan	0.15-0.17
Rutubetli kum	0.09	Tahıl bitkileri alanı	0.10-0.25

$$R_n = \left(I_s^{\downarrow} + I_l^{\downarrow}\right)_{gelen} - \left(I_s^{\uparrow} + I_l^{\uparrow}\right)_{giden} \quad (3.5)$$

Burada:

$I_s^{\downarrow}$ ve $I_s^{\uparrow}$ – toprak yüzeyine direk gelen ve bir kısmı geri yansıyan **kısa dalgalı** güneş radyasyonu;

$I_l^{\downarrow}$ ve $I_l^{\uparrow}$ – toprak yüzeyine direk gelen ve bir kısmı geri yansıyan **uzun dalgalı** güneş radyasyonu.

Gece saatlerinde kısa dalgalı bileşenler oldukça az, yayınma ise uzun dalgalı olduğundan, radyasyon dengesi negatif olur.

Genel olarak toprak yüzeyinin radyasyon dengesi toprağın ısı dengesinin hesaplanmasında kullanılır.

3.6.2. Toprağın Isı Dengesi

Birim zamanda toprağın birim alanına **gelen** ve **giden** her çeşit ısının toplamına **Toprağın Isı Dengesi** (kal cm^{-2} $gün^{-1}$ veya kal cm^{-2} $yıl^{-1}$) denir ve aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$R = A + P + M + LE \quad (3.6)$$

Birimi ise olarak ifade edilir. Burada, R – toprağın radyasyon dengesi; A – toprağın yüzeyi ile onun alt katmanları arasındaki ısı mübadelesi; P – ısının türbülans mübadelesine (toprağın yüzeyine yakın havanın ısınmasına) harcanan kısmı; M – enerjinin fotosentez ve havalanma için harcanan kısmı; E – enerjinin toprak ve bitki örtüsünden buharlaşmaya (yoğunlaşmaya, sıvılaşmaya) harcanan kısmı (g. H_2O cm^{-2} $gün^{-1}$); L – özgül buharlaşma ısısı (tahminen 525 kal g^{-1}. H_2O); $L \cdot E$ – buharlaşmaya harcanan kısmıdır(525 kal cm^{-2}.$gün^{-1}$).

Birçok sistemde olduğu gibi, enerjinin sakınım ilkesini temel alarak yeryüzüne yakın çevrede enerji dengesi eşitliğini, gelen ve giden enerjinin akım yoğunluğuna göre oluşturabiliriz (Rose, 1979).

Toprak yüzeyine doğru olan ısı akımını **pozitif**, yüzeyden dışarıya olan ısı akımını **negatif** işaretli kabul edersek, toprak yüzeyine yakın çevrede enerji dengesi eşitliği

$$Q_{ısı\ akımı}^{\downarrow}(t) = \underbrace{\left[Q_{SR}^{\downarrow}(t) + Q_{CE}^{\downarrow}(t)\right]}_{gelen\ ısı\ akımı} - \underbrace{\left[Q_{LR}^{\uparrow}(t) + Q_{LE}^{\uparrow}(t)\right]}_{giden\ ısı\ akımı} \quad (3.7)$$

biçiminde yazılır (Kurtener ve Çudnovcki, 1979; Krarti ve ark., 1995;).

Burada, $Q^{\downarrow}_{\text{ısı akımı}}$ – toprak yüzeyine yönelmiş ısı akımı; $Q^{\downarrow}_{SR}$ – toprak yüzeyine gelip yutulan güneş radyasyonu; $Q^{\downarrow}_{CE}$ – toprak yüzeyi ile yüzey bölgesindeki akışkan hava arasındaki konvektiv (iletim yoluyla gerçekleşen) ısı alışverişi; $Q^{\uparrow}_{LR}$ – toprak yüzeyinin yaydığı uzun dalga boylu ışımanın (radyasyonun) net akı yoğunluğu; $Q^{\uparrow}_{LE}$ – ısının buharlaşmaya harcanan kısmı.

Toprağın enerji dengesi denklemi (3.7) yaz mevsiminin günlük devrine aittir. Gece zamanı ise $Q^{\downarrow}_{SR} = 0$, $Q^{\uparrow}_{LE}$ ve $Q^{\uparrow}_{LR}$'in işareti pozitif olur.

Çeşitli meteorolojik ve toprak koşullarına bağlı olarak, (3.7) formülünün sağ tarafındaki bileşenler farklı değerler alacağı açıktır.

(3.7) nolu sınır koşulun sağ tarafındaki tüm ısı akımı fonksiyonların her birisinin deneysel olarak incelenmesi sonucunda, onların hepsinin toprak yüzeyi sıcaklığı T_{sur} ve zamanın bir $f(t)$ fonksiyonu ile doğrusal bağıntılı olduğu saptanmış ve genel olarak aşağıdaki biçimde ifade edilebilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir:

$$Q_i(t) = n_i(t) \cdot T_{sur}(0,t) - f_i(t) \tag{3.8}$$

Burada; $i = SR, CE, LR, LE$.

3.7. Toprakta Isı Transferi

Toprak sıcaklığındaki değişmeleri incelemeden önce, ısının toprak içindeki hareketinden söz etmekte yarar vardır.

Bilindiği gibi termodinamiğin 2. yasasına göre, eğer iki ortam arasında sıcaklık farkı varsa, ısı yüksek sıcaklık ortamdan düşük sıcaklık ortama geçer. Isının geçişi ortam sıcaklıklarındaki farka bağlı olduğu gibi, ortamın ve yüzeylerin özelliklerine de bağlıdır. Bu nedenle, gözenekli bir ortamda ısı geçişi mekanizması birbirinden farklı üç şekilde meydana gelmektedir (Kakaç, 1998; Halıcı, 2001).

Isı İletimi (kondüksiyon): Birbirine temas eden iki cisimden sıcaklığı fazla olanın moleküllerinin sahip olduğu yüksek enerjinin, sıcaklığı düşük olana aktarılması şeklinde ısının iletilmesidir.

Isı Taşınımı (Konveksiyon): Sıcaklığın yüksek olduğu yerde ısınan akışkanların (hava veya su), sıcaklığın daha düşük olduğu yere doğru hareket ederek

ısıyı taşımasıdır. Taşınım, sıcaklıkları farklı hareketli bir ortam ile bu ortamı çevreleyen yüzey arasında gerçekleşir. Taşınılma ısı geçişi akışkan özelliklerine, akış hızına ve sıcaklık farkına bağlıdır.

Isı Işınımı (Radyasyon): Isı kaynağından her doğrultuda olan ışıma ile ısısının yayılmasıdır. Herhangi bir maddenin (katı, sıvı, gaz) ısı enerjisini, fiziksel bir ortam olmadan elektromanyetik dalgalar biçiminde yuttukları ve yayınladıkları ısı geçişidir.

Herhangi bir ısı geçişi olayı, bu üç şeklin birisi ile herhangi ikisi ile ya da üçü ile birlikte meydana gelebilir. Toprak üç fazlı bir ortam olduğundan dolayı ısı geçişi genel olarak bu üç şeklin aynı zamanda olması ile meydana gelir.

Toprakta ısı geçişi; su hareketi, evaporasyon ve su buharının yoğunlaşması sırasında kondüksiyon ve konveksiyonla olur. Su içeriği düşük kuru topraklarda ısı hareketi ağırlıklı olarak kondüksiyonla olur. Islak topraklarda ise bir bölgede ısınan suyun başka bir bölgeye veya derinliğe akmasıyla ısı enerjisi de taşınmış olur. Suyun buharlaşması sırasında toprak ısı kaybeder; su buharı yayınımla başka soğuk bölgelere giderek orada yoğunlaşırsa, ısı serbest kalır ve sıcaklık artar, böylece toprak içinde ısı hareketi sağlanmış olur. Toprak gözenekleri içindeki su ortamında ise ısı konveksiyonla gözenek içinde ve gözenekler arasında hareket edebilir (Kırda ve Sarıyev, 2002).

Yüzey sıcaklığı mutlak sıfırın üzerinde olan bütün cisimler radyasyonla etrafa ısıyayar ve bu tarz ısı yayılması **termal radyasyon** olarak tanımlanır.

Yerküresinde bütün enerjilerin kaynağı güneştir. Güneşten yeryüzüne ve atmosfere termal radyasyonla ısı gelir. Benzer şekilde yerküresinde, yüzey sıcaklığı mutlak sıfırın üzerinde olduğuna göre, etrafa ısı yaymaktadır. Radyasyonla toprak yüzüne veya diğer maddelerin üzere gelen ısı enerjisi **absorbe** olur, **yansır**, geri kalan kısmı ise maddeni terk ederek başka bir yöne **taşınır**.

Enerjinin korunumu yasasına göre, absorbe edilen(ρQ), yansıyan(αQ) ve taşınan(βQ) ışınım enerjisinin toplamı, güneşten ve gökten yeryüzüne gelen kısa dalga boylu ışımanın toplam ısı enerjisine(Q_S) eşittir. Enerji dengesine göre:

$$Q_S = \rho Q + \alpha Q + \sigma Q \tag{3.9}$$

Eşitlikte; **ρ-**absorptivite, **α**-reflektiviti albedo ve **σ-** transmissiviti (taşınma) sabiteleri olup radyasyonla gelen ısı enerjisinin, sırasıyla hangi oranlarda absorbe olacağını, yansıyacağını ve taşınacağını gösterir. Gelen ışınım enerjisi bir birim ise;

$$1 = \rho + \alpha + \beta \tag{3.10}$$

yazılabilir. $\alpha = \dfrac{\alpha Q}{Q_S}$ olduğundan, toprak tarafından yutulan enerji için

$$\rho Q = (1 - \alpha) Q_S \tag{3.11}$$

bulunur.

Böylece, yutulan enerji, yani toprağın birim alanına gelen net enerji (ρQ), birim alandan giden veya harcanan net enerjiye eşit olacaktır (Böylece toprağın radyasyon dengesi için aşağıdaki denklem yazılabilir):

$$\rho Q = (1 - \alpha) Q = Q_0 + Q_a + Q_i + E \ , \text{ kal cm}^{-2} \text{ sn}^{-1} \tag{3.12}$$

Birim alana		Birim alandan
gelen	=	**giden** veya **harcanan**
net enerji		net enerji

Burada, Q – güneşten ve gökten yeryüzüne gelen **kısa dalga boylu** ışımanın akı yoğunluğu; Q_0 – yüzeylerin yaydığı **uzun dalga boylu** ışımanın net akım yoğunluğu; (salınan ve soğurulan uzun dalga boylu ışıma arasındaki fark); Q_a – toprak yüzeyine yakın havayı ısıtmada kullanılan ısınsın akım yoğunluğu; Q_i – toprağın içine giden ısının akım yoğunluğu; E – suyu buharlaştırmada kullanılan ısı miktarıdır.

Bu son denklemin, değişik başlangıç ve sınır koşulları için yeterli sayıda analitik çözümler geliştirilmiştir (Crank, 1956; Carslaw ve Jaeger, 1959).

3.8. Topraktaki Isı İletiminin Denklemi

Üç boyutlu heterojen-izotrop bir ortam içinde zamana ve mekâna göre ısı iletimini tanımlayan ve Fourier denklemi olarak adlandırılan kısmi türevli parabolik denklem (Carslaw ve Jaeger, 1959)

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

şeklinde ifade edilir. Burada, $\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z}$ – ox, oy, oz eksenleri doğrultusundaki sıcaklık değişimini; $\frac{\partial T}{\partial t}$ – birim zamandaki sıcaklık değişimini; C_m – özgül ısı kapasitesini; ρ_b – yoğunluğu; λ – ısı iletkenliğini; q – ısı kaynağını göstermektedir.

Yapısı ve özellikleri, ısının yayıldığı her yönde sabit olan ortamlara **izotrop ortam** denir.

Eğer λ parametresi yalnız koordinatların bir fonksiyonu ise, (3.14) denklemi **doğrusal**, diğer taraftan λ, sıcaklığın ve (veya) nemliğin de bir fonksiyonu ise, (3.14) denklemi **doğrusal değildir**.

Yapılmış denemeler sonucunda toprak sıcaklığının **-50 + 50 ºC** arasında değiştiği durumlarda, toprağın önemli özellikleri olan-hacimsel ısı kapasitesi ve ısı iletimi parametresi için $\frac{d\rho_b}{dT} \approx 0$, $\frac{dC_m}{dT} \approx 0$, $\frac{d\lambda}{dT} \approx 0$ eşitliklerinin var olduğu gösterilmiştir.

Termik özellikleri (yoğunluğu, özgül ısı kapasitesi ve ısı iletimi parametresi) sıcaklığa göre değişmeyen toprak **kvazi-homojen** bir ortamdır. Böyle bir toprak ortamındaki ısı hareketinin büyük bir kısmı **iletim yoluyla** gerçekleşmektedir.

Toprağın hacimsel ısı kapasitesi ve ısı iletimi parametresi esasen toprağın nem içeriğinin ve yoğunlunun bir fonksiyonudur.

İçinde ısı üreten bir ısı kaynağı bulunmadığı kvazi-homojen toprak ortamda, ısı iletimim tanımlayan ve yukarıdaki denklemin yaygın olarak kullanılan bir boyutlu şekli aşağıdaki biçimdedir (Carslaw ve Jaeger, 1959; Kurtener ve Chudnovskii, 1979; Yeşilsoy ve Aydın, 1995):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \ , \left(\kappa = \frac{\lambda}{C_v} \right) \tag{3.13}$$

Burada, κ – ısı yayınımı; $C_v = \rho_b C_m$ – hacimsel ısı kapasitesidir. Bu denklem, λ ve C_v'in mesafe ve zamana bağlı olmadığı durumlarda ve su içeriği de dahil olan homojen toprak koşullarında geçerlidir (Van Vijk ve De Vries, 1966; Koorevaar ve ark., 1975 ve 1983; Hillel, 1980).

Toprak ısı alış-verişinin gündüz ve gece, yaz ve kış farklı olmaları nedeniyle, topraktaki sıcaklık değişimlerini günlük ve yıllık olarak değerlendirilmesi

gerekmektedir. Her iki durumda da toprak sıcaklığı genellikle sinüzoidal bir değişim göstermektedir.

3.9. Toprakta Isı İletimi Modelinin Sınır Koşulları

Çeşitli faktörlerin etkisi sonucunda değişen toprak sıcaklığının belli bir zamanda ve derinlikteki değişiminin, yani tek çözümünün bulunması için (3.15) denkleminin analitik veya sayısal çözümlenmesi gerekiyor. Bu amaçla denklemin, sıcaklık değişimini etkileyen çevre faktörlerini kapsayan, **başlangıç** ve **sınır koşulları** ile tanımlanması ve tamamlanması gerekiyor. Başlangıç ve sınır koşullarının karakterine göre üç tip parabolik sınır problemi vardır.

3.9.1. Başlangıç Koşulu

Toprak profilinin başlangıç anındaki sıcaklık dağılımının etkisi **başlangıç koşul** olarak bilinen aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

$$\mathrm{T}(x, t=0) = f(x) \tag{3.14}$$

3.9.2. Toprak Yüzeyinde 1., 2. ve 3. Sınır Koşulları

Sınır koşulları sınırdaki sıcaklığa göre üç ayrı şekilde verilebilir. Buna göre üç tip sınır koşulları vardır.

1. Sınır Koşulu: Toprak yüzeyinde, yani $x=0$'da sıcaklık dağılımı sabit olabilir ya da zamanın bir fonksiyonu olabilir.

Eğer yüzey sıcaklığı değişmiyor ise, **1. sınır koşulu**:

$$\mathrm{T}(x=0, t) = \mathrm{T}_0 \tag{3.15}$$

şeklinde yazılır. Burada, T_0 toprak yüzeyi sıcaklığı sabitidir.

Bazı kaynaklara göre ise toprak yüzeyinde sıcaklık sabit olarak ele alınamaz, yani genel olarak **1. sınır koşulu**:

$$\mathrm{T}(x=0, t) = \varphi(t) \tag{3.16}$$

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

Toprak yüzeyinin günlük, aylık veya yıllık olarak sıcaklıklarının ölçüm değerlerinin incelenmesi sonucunda, **sıcaklığın zaman göre** değişiminin $\varphi(t)$'in analitik ifadesinin aşağıdaki şekilde olduğu varsayılır.

Eğer zamana bağlı olarak toprak yüzeyinde sıcaklığın değişmesini Fourier tarafından incelenen biçimde, yani sinüzoidal olduğu belirlenmişse, bu durumda $\varphi(t)$'in analitik ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\varphi(t) = \mathrm{T}_0 + \mathrm{T}_a \cos(\omega t + \varepsilon) \quad \text{veya} \quad \phi(t) = \mathrm{T}_0 + \mathrm{T}_a \sin(\omega t + \varepsilon) \tag{3.17}$$

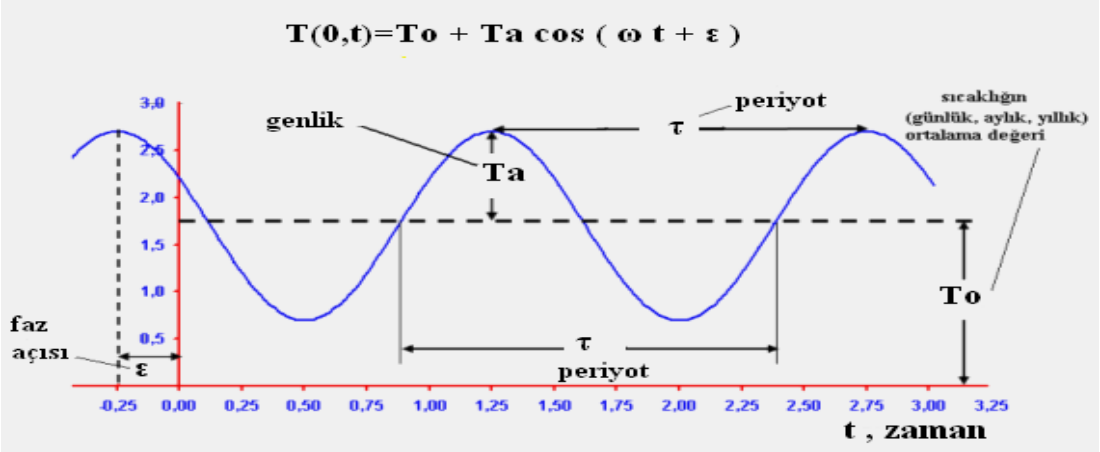
Burada; T_0 – toprak yüzeyinin ortalama (günlük, yıllık) sıcaklığı; T_a – toprak yüzeyinin ortalama sıcaklığından olan maksimum değişimi ifade eder, dalga genliği; $\omega = 2\pi / \tau_0$ – açısal frekanstır. ω'ya bazen **dalga sayısı veya sıklığı** da denir. Açısal frekansın katlarına ise **armonikler** denir; τ_0 – periyot veya dalga uzunluğu olup, dalganın bir döngüsünün tamamlanması için gerekli olan zamandır (gün, yıl); t – zaman (gün, yıl); ε – faz farkı olup (3.17) sinüzoidal eğrinin apsis eksenine göre gecikmesini gösterir (**Şekil 3.10**).

Bazen (3.17) ifadesi daha kullanışlı olan aşağıdaki şekilde de yazılabilir:

$$\varphi(t) = \mathrm{T}_0 + A\cos\omega t + B\sin\omega t \tag{3.18}$$

Burada;

$$A = \mathrm{T}_A \cos(\varepsilon) \;,\; B = -\mathrm{T}_A \sin(\varepsilon) \;,\; \varepsilon = \arctan\left(-\frac{B}{A}\right) \tag{3.19}$$



Şekil 3.10. Yüzeydeki Sıcaklığın Değişmesinin Eğrisi

Eğer toprağın yüzey sıcaklığı $\tau_0 = 2\pi / \omega$ periyotlu fonksiyon ise, bu durumda $\varphi(t)$ fonksiyonu, frekansları bir-birleri ile bağlantılı basit cosinus veya sinus

fonksiyonlarının lineer bir kombinasyonunu ifade eden *m.* **mertebeli trigonometrik polinom** biçiminde aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\varphi(t) = \mathrm{T}_0 + C_1 \cos\left(\omega t + \varepsilon_1\right) + C_2 \cos\left(2\omega t + \varepsilon_2\right) + \ldots = \mathrm{T}_0 + \sum_{n=1}^{m} C_n \cdot \cos\left(n\omega t + \varepsilon_n\right) \quad (3.20)$$

veya

$$\varphi(t) = \mathrm{T}_0 + \sum_{n=1}^{m} \left[A_n \cos\left(n\omega t\right) + B_n \sin\left(n\omega t\right) \right] \quad (3.21)$$

Burada ;

$$A_n = C_n \cos\left(\varepsilon\right) \;,\; B_n = -C_n \sin\left(\varepsilon\right) \;,\; C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \;,\; \varepsilon_n = \arctan\left(-\frac{B_n}{A_n}\right) \quad (3.22)$$

2. Sınır Koşulu: Toprak yüzeyinin birim alanından geçen ısı akımı dağılımı sabit, zamanın ve koordinatların bir fonksiyonu, yalnız koordinatların veya yalnız zamanın bir fonksiyonu olabilir.

Eğer radyasyon yolu ile toprak yüzeyinin $\left(x = 0\right)$ birim alanından geçen $Q(0,t)$ ısı akımı miktarı belli ise, bu durum **2. sınır koşulu** olarak bilinen aşağıdaki eşitlik ile ifade olunur:

$$Q(0,t) = -\lambda \frac{\partial \mathrm{T}(0,t)}{\partial x} = \psi(t) \quad (3.23)$$

Burada, $\psi(t)$ toprak yüzeyindeki tüm ısı (radyasyon, türbo lens ve transpirasyon) akımlarının cebri toplamına eşittir.

3. Sınır Koşulu: Meteorolojik parametrelerin her birinin toprak sıcaklığının değişimindeki rolünü ve etkilerini yukarıda açıklanan 2. sınır koşulu genel olarak ifade edemiyor. Bu eksikliği gidermek için toprak yüzeyindeki sıcaklığın belirlenmesi için en önemli ve gerçeği yansıtan 3. sınır koşulunun ele alınması önerilir.

Bilindiği gibi, Newton'un '**soğuma**' yasasına göre birim zamanda her hangi bir ortamın yüzeyinin birim alanından bulunduğu çevreye geçen ısı miktarı $\left(Q^{\downarrow}\right)$, ortam yüzeyinin sıcaklığı(T_{sur}) ile çevrenin sıcaklığı (T_{air}) arasındaki fark ile orantılıdır$\left(\mathrm{T}_{sur} > \mathrm{T}_{air}\right)$:

$$Q^{\downarrow} = h\left(\mathrm{T}_{sur} - \mathrm{T}_{air}\right) \quad (3.24)$$

Burada, $h-$ **konveksiyonla** ortam ısısının çevreye geçiş (taşınım) katsayısıdır. Bu katsayı $\left(\mathrm{T}_{sur}-\mathrm{T}_{air}\right)$ farkına, yüzeyin tipine ve çevreye bağlıdır. Bu katsayı ortamın yüzeyi boyunca değişebilir.

Varsayalım ki, h katsayısı sabit ve sıcaklığa bağlı olmayarak tüm yüzey üzerinde aynıdır.

Bu yasayı toprak yüzey bölgesinin havasının soğumasına uygularsak, yani toprak yüzeyi sıcaklığının yüzey bölgesindeki havanın sıcaklığından az olan toprak için $\left(\mathrm{T}_{sur}<\mathrm{T}_{air}\right)$, **havadan toprak yüzeyine taşınan ısı miktarı**

$$Q^{\downarrow}=h_{sur}\left[\mathbf{T}_{air}\mathbf{(t)}-\mathbf{T}_{sur}\mathbf{(0,t)}\right] \tag{3.25}$$

olacaktır. Burada, $\mathrm{T}_{air}(t)-$ toprağın yüzey bölgesindeki havanın sıcaklığı;

$\mathrm{T}_{sur}(0,t)-$ toprak yüzeyinin sıcaklığı; $h_{sur}-$ konveksiyonla ısı geçişi katsayısıdır.

Bu durumda, sıcaklığı $\mathrm{T}_0=const$ veya $\mathrm{T}_{air}(t)$ olan toprak yüzey bölgesi ile toprak yüzeyi arasındaki dikey sıcaklık mübadelesini ifade eden ve ***3. sınır koşulu*** olarak adlanan aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$Q^{\uparrow}(0,t)=-\lambda\frac{\partial\mathrm{T}(0,t)}{\partial x}=h\left[\mathbf{T}_{air}\mathbf{(t)}-\mathbf{T(0,t)}\right]=Q^{\downarrow}(0,t) \tag{3.26}$$

veya

$$\frac{\partial\mathrm{T}(0,t)}{\partial x}=\alpha\left[\mathbf{T(0,t)}-\mathbf{T}_{air}\mathbf{(t)}\right]\ ,\ \alpha=\frac{h}{\lambda} \tag{3.27}$$

Burada; $\lambda-$ ısı iletkenlik katsayısı; $h_{sur}-$ konveksiyonla ısı geçişi katsayısıdır; $\alpha-$ ısı mübadelesini katsayısıdır.

Toprak yüzeyinde 3. sınır koşulunun (3.26) biçiminde ele alınması, yüzeydeki **hava hızının oldukça büyük olması** ve **diğer ısı mübadelesini proseslerinin etkili olmadığı durumlar** için geçerlidir. Bu ise gerçeği yansıtmakta yeterli değildir. Bu nedenle, toprak yüzeyinde 3. sınır koşulunun oluşturulmasında toprak yüzeyindeki tüm ısı akımlarını göz önüne alan **ısı dengesi denklemini** kullanmak gerekir.

Toprak yüzeyine doğru olan ısı akımını pozitif, yüzeyden dışarıya olan ısı akımını negatif işaretli kabul edersek, **3. sınır koşulu**:

$$-\lambda\frac{\partial\mathrm{T}(0,t)}{\partial x}=Q^{\downarrow}_{\text{ısı akımı}}(t)=\underbrace{\left[Q^{\downarrow}_{SR}(t)+Q^{\downarrow}_{CE}(t)\right]}_{\text{gelen ısı akımı}}-\underbrace{\left[Q^{\uparrow}_{LR}(t)+Q^{\uparrow}_{LE}(t)\right]}_{\text{giden ısı akımı}} \tag{3.28}$$

biçiminde yazılır (Kurtener ve Çudnovcki, 1979; Krarti ve ark., 1995;). Burada, $Q^{\downarrow}_{\text{ısı akımı}}$, $Q^{\downarrow}_{SR}$, $Q^{\downarrow}_{CE}$, $Q^{\uparrow}_{LR}$ ve $Q^{\uparrow}_{LE}$ 'nün anlamı 3.6. bölümde açıklanmıştır.

Toprak yüzeyindeki ısı dengesi denklemi ile ifade edilen (3.28) sınır koşulu yaz mevsiminin günlük dönemine aittir. Gece zamanı $Q_{SR}^{\downarrow}=0$, $Q_{LE}^{\uparrow}$ ve $Q_{LR}^{\uparrow}$'in işareti pozitif olur. Çeşitli meteorolojik ve toprak koşullarına bağlı olarak, (3.28) formülünün sağ tarafındaki bileşenlerin farklı değerler alacağı açıktır.

(3.28) nolu sınır koşulunun sağ tarafındaki tüm ısı akımı fonksiyonlarının her birinin deneysel olarak incelenmesi sonucunda, onların tümünün toprak yüzeyi sıcaklığı (T_{sur})ve zamanın bir $f(t)$ fonksiyonu ile doğrusal bağıntılı olduğu saptanmış ve genel olarak aşağıdaki biçiminde ifade edilebilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir:

$$\underbrace{\left[Q_{SR}^{\downarrow}(t)+Q_{CE}^{\downarrow}(t)\right]}_{\text{gelen ısı akımı}}-\underbrace{\left[Q_{LR}^{\uparrow}(t)+Q_{LE}^{\uparrow}(t)\right]}_{\text{giden ısı akımı}}=\Phi(t)-\mathrm{N}(t)\mathrm{T}_{sur}(0,t) \tag{3.29}$$

Böylece, ele alınan arazinin tüm koşullarının incelenmesiyle, toprak yüzeyindeki ısı dengesi denkleminin yardımıyla oluşan 3. tür sınır koşulu sadeleştirilebilir ve ısı iletimi denkleminin çözümü kolaylaşır.

Sonuçta, toprak yüzeyinin (3.28) nolu ısı dengesi denklemi aşağıdaki şekilde yazılırsa, toprak yüzeyine yönelen ısı akımı için aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\lambda\frac{\partial \mathrm{T}(0,t)}{\partial x}=\mathrm{N}(t)\left[\mathrm{T}_{sur}(0,t)-\mathrm{T}_{e}(t)\right] \tag{3.30}$$

(3.30) nolu eşitlik de **genelleştirilmiş 3. sınır koşulu** olarak ele alınabilir.

Yukarıda bahsedilen sınır koşulları pratikte en çok rastlanan sınır koşullarıdır. Bunlara ilaveten ısı, bir sınırdan çevresine **ışıma ile transfer** edilebilir ise bu halde sınır koşulu aşağıdaki biçimde yazılır:

$$\lambda\frac{\partial \mathrm{T}(0,t)}{\partial x}=\sigma\left[\mathbf{T}^{4}(\mathbf{0,t})-\mathbf{T}^{4}{}_{sur}(\mathbf{t})\right] \tag{3.31}$$

Böyle bir sınır koşulu, yukarıdakilerden farklı olarak, doğrusal değildir, çünkü eşitliğinim sağ tarafındaki ifadede sıcaklık dördüncü kuvveti ile belirlenmektedir. Bu tür sınır koşuluna Stefan-Banach koşulu denir.

3.9.3. Toprağın Belli Bir Derinliğindeki 1., 2. ve 3. Sınır Koşulları

Toprak yüzeyindekine benzer olarak toprağın belli bir $x=L$ derinliğinde de 1. , 2. ve 3. sınır koşulları verilebilir.

Toprak sıcaklığı dalgasının salınımı derinlik arttıkça git-gide gevşiyor ve belli bir $x \geq L$ derinlikten sonra sıcaklık değişmiyor.

Bu durum **1. sınır koşulu** olarak bilinen

$$\mathrm{T}(x = L, t) = \mathrm{T}_c = const \quad \text{veya} \quad \mathrm{T}(x \to \infty, t) = \mathrm{T}_c = const \tag{3.32}$$

veya **2. sınır koşulu** olarak bilinen aşağıdaki eşitlikler ile ifade olunur:

$$\frac{\partial \mathrm{T}(x = L, t)}{\partial x} = 0 \quad \text{veya} \quad \frac{\partial \mathrm{T}(x \to \infty, t)}{\partial x} = 0 \tag{3.33}$$

Pratikte çok az rastlanan durumlar olur ki, toprağın belli bir derinliğinde, sıcaklığı $\mathrm{T}_0 = const$ veya $\mathrm{T}_{gr}(t)$ olan toprak altı bölgesi ile toprağın alt yüzeyi arasındaki dikey sıcaklık mübadelesi gerçekleşir. Bu durum **3. sınır koşulu** olarak bilinen

$$\lambda \frac{\partial \mathrm{T}(0, t)}{\partial x} = h_{gr} \left[\mathbf{T(0,t) - T}_{gr}\mathbf{(t)} \right] \tag{3.34}$$

eşitliği ile ifade olunur. Burada; $\lambda -$ ısısal iletkenlik katsayısı; $h_{gr} -$ konveksiyonla ısı geçişi katsayısıdır.

3.9.4. İki Yüzeyin Temas Koşulu (4. Sınır Koşulu)

Termal özellikleri farklı olan toprak katmanlarının temas ettikleri yüzeyler için özel sınır koşulu oluşturulur. Bu koşul ara yüzey veya 4. sınır koşulu adlanır.

Isı iletim katsayıları λ_i farklı olan i sayıda toprak katmanlarının temas ettiği l_i yüzeylerinde ısı üretimi ve ısı absorbsiyonu yoksa bu yüzeylerde sıcaklığın ve ısı akımının sürekliliğinin olması var sayılır. Matematiksel olarak bu durum **4. sınır koşulu** olarak bilinen aşağıdaki eşitlikle ile ifade olunur.

$$\mathrm{T}(x,t)\big|_{x=l_i-0} = \mathrm{T}(x,t)\big|_{x=l_i+0} \text{ ve } \lambda_i \frac{\partial \mathrm{T}(x,t)}{\partial x}\bigg|_{x=l_i-0} = \lambda_{i+1} \frac{\partial \mathrm{T}(x,t)}{\partial x}\bigg|_{x=l_i+0} \tag{3.35}$$

3.10. Topraktaki Isı iletkenliği Denkleminin Analitik Çözümleri

Toprak içindeki ısı akışının ve hareketinin büyük bir kısmı **iletim** yoluyla gerçekleşmektedir. Sıcaklık dalgalarının toprakta yayılması problemi ilk defa Fransız bilim adamı Fourier tarafından incelenerek çeşitli doğa olaylarını açıklamak için geliştirdiği matematiksel ısı iletkenlik teorisinin örneklerinden biri olmaktadır.

Toprağın belli bir derinliğindeki sıcaklığın zaman göre değişimlerinin belirlenmesi için, toprağın ısı iletkenliği denklemin olarak adlanan (3.13) nolu kısmi

türevli parabolik denklemi uygun başlangıç ve sınır koşulları dahilinde analitik veya sayısal çözümlerinin bulunması gerekiyor.

Bu denklemin homojen ve kuru topraklarda sıcaklık değişiminin belirlenmesi problemine uygulanması mümkündür. Bir önceki kısımda açıklanan sınır koşullardan hangisinin seçilmesi önem arz etmektedir.

3.10.1 Topraktaki Isı iletkenliği Denkleminin Başlangıç Koşulsuz Çözümü

Topraktaki sıcaklığın seyri birçok kez tekrarlanıyor ve başlangıç sıcaklığın etkisi yok saydığımız başka faktörlerin (örneğin, toprağın heterojen oluşu) etkisine göre küçüktür. Bu nedenle, (3.13) numaralı denklem başlangıç sınır koşulu göz önüne alınmadan veya sıfır kabul edilerek çözümlenebilir (Kakaç, 1998; Carslaw ve Jaeger, 1959).

Bilindiği gibi yeryüzünün sıcaklığının günlük ve yıllık olmak üzere belirgin bir periyodik karakteri vardır. Bu nedenle, toprak yüzeyinin sıcaklığının zamana bağlı olarak değişiminin analitik biçimi Fourier tarafından incelenen sinüzoidal biçimde belirlenmişse, toprak yüzeyinde **1. sınır koşulu** ele alınmalıdır. Böylece, toprak yüzeyindeki sıcaklığın periyodik titreşimlerinin homojen yarı sonsuz $(0 \le x < \infty)$ toprak katmanındaki sıcaklık değişimlerine etkisini belirlemek için, (3.13) ısı iletkenlik denkleminin (3.17) koşulunu sağlayan sınırlı çözümünün bulunması gerekiyor.

Homojen ortamdaki (3.13) nolu ısı iletkenliği denkleminin, pratikte yaygın olarak kullanılan çözümü, toprak yüzeyindeki sınır koşulunun cosinus eğrisi ile (3.17) gibi tanımlanması halinde, aşağıdaki gibi olmaktadır (Carslaw ve Jaeger, 1959).

$$T(x,t) = T_0 + T_a \cdot e^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}}} \cos\left(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}} + \varepsilon\right) \qquad (3.36)$$

Burada; $T_0 -$ toprak yüzeyinin ortalama (günlük veya yıllık) sıcaklık değeri; $d = \sqrt{2\kappa/\omega} -$ sıcaklık dalgasının **sönme derinliği**dir.

3.10.2. Topraktaki Isı iletkenliği Denkleminin Çözümünün Analizi

Bulunan (3.36) çözümün yardımıyla sıcaklık dalgalarının toprakta yayılması prosesi şöyle karakterize edilebilir. Başlangıç koşulu ifade eden (3.17) eşitliği ve denklemin (3.37) nolu çözümü mukayese edildiğinde, dört hususun vurgulanması gerekiyor:

- Toprak yüzeyindeki sıcaklık $T(0,t)$ dalgalanmaları ile toprağın x derinliğindeki ve t zamanındaki sıcaklık dalgalanmaları $T(x,t)$ aynı karakterdedir, yani **sinüzoidaldir**.
- Eğer yüzeyin (3.17) nolu eşitliği ile ifade edilen sıcaklığı uzun zaman periyodik olarak ($\tau_0 = 24\ saat$, $365\ gün$) değişiyorsa, toprakta **aynı periyoda** sahip olan sıcaklık titreşimleri meydana gelir.
- Toprak yüzeyinde sıcaklık dalgalanmaları, ısı iletimi ile toprağın içinde doğru ilerler. Ancak derinliğin artması ile birlikte genlik değerlerinde üssel olarak azalma görülür. Genlikteki bu azalmaya **sönme etkisi** (damping effect) denilmektedir.
- Toprak derinliğine bağlı olarak genlikteki azalmanın dışında, tarımsal açıdan önemli bir diğer konu profil içindeki herhangi bir derinlikte sinüzoidal sıcaklık değişimlerinin zamana bağlı olarak kaymasıdır.

Bu hususları, yani sıcaklık dalgalarının toprakta yayılması süreçlerinin bulunan (3.36) çözümünün yardımıyla daha ayrıntılı biçimde inceleyelim.

(3.36) çözümündeki kosinüsün karşısındaki

$$T_a(x) = T_a \cdot \exp(-x/d) \tag{3.37}$$

çarpanı toprak içinde yayılan sıcaklık dalgalarının genliğini ifade etmektedir ve onun ifadesinden de görüldüğü gibi, yüzey sıcaklığı dalgasının T_a genliğinden $\exp(-x/d)$ kadar küçüktür ve hatta derinlik arttıkça genlik değerlerinde azalma görülür. Genlikteki bu azalmaya **sönme etkisi** (damping effect) denilmektedir.

Dalga genliklerinin azalmasının (3.37) eşitliği ile ifade edilmesine Fourier'in **1. yasası** denir.

Topraktaki sıcaklık dalgalarının sönme derinliğine eşit olan toprak derinliğinde, yani $x_d = d = \sqrt{2\kappa/\omega}$ derinliğinde toprağın içine doğru ilerleyen sıcaklık dalgalarının genliği.

$$T_a(x = x_d) = T_a \cdot \exp\left(-\frac{x_d}{d}\right) = T_a \cdot \exp\left(-\frac{d}{d}\right) = T_a \cdot e^{-1} \approx 0{,}37 \cdot T_a \qquad (3.38)$$

olur.

Bu o demektir ki, $x_d = d$ derinliğindeki genlik yüzey dalga genliğinden $e^{-1} \approx 0{,}37$ kadar az olur ve bu azalma derinlik arttıkça devam ediyor ve sonsuzlukta dalga genliği sıfıra yaklaşıyor.

Toprağın **ısısal özellikleriyle** sıcaklık değişimlerinin sıklığına bağlı olan **sönme derinliği** için şu eşitlik kullanılabilir**:**

$$d = \sqrt{\frac{2\kappa}{\omega}} = \sqrt{\frac{2\lambda}{\omega C_v}} \qquad (3.39)$$

Buradaki parametrelerin ne olduğunu daha önceden biliyoruz. **Sönme derinliği**, sıcaklık genliğinin $T_a \cdot e^{-1} \approx 0{,}37 \cdot T_a$'ye eşit olduğu derinliktir.

Toprak içindeki ısı dalgalarının genliğinin (3.38) ifadesinden görüleceği gibi $T_a(x)$ genliği $d = \sqrt{2\kappa/\omega} = \sqrt{\kappa\tau_0/\pi}$ ifadesindeki $\kappa\tau_0$ değerine de bağlıdır, yani $\kappa\tau_0$'in değerleri büyüdükçe, $T_a(x)$ genliği de artır, ısı yayılımını ince katmanlar için uygulanması olanağını artırır ve tersine $\kappa\tau_0$'in değerleri küçüldükçe, $T_a(x)$ genliği azalmaktadır.

Değişik toprak tipleri için günlük sıcaklık dalgalanmaları $50\,cm$'ye kadar etkili olurken yıllık dalgalanmalar $10\,m$'ye kadar ulaşabilmektedir (Van Vijk ve De Vries 1966).

3.11. Toprağın Isısal Özelliklerinin Belirlenmesi

Toprağın ısısal özellikleri: ısı kapasitesi, ısısal iletkenlik ve ısısal yayınım olarak ifade edilebilir. Bu özellikler, toprağın bazı fiziksel verilerinden, matematik modeller kullanılarak hesaplana bilmektedir.

3.11.1. Hacimsel ve Özgül Isı Kapasitesinin Hesaplanması

Birim hacimdeki toprağın ısı kapasitesini bulmak için, değişik toprak öğelerinin (katı, su ve hava fazlarının) katkılarının toplamının belirlenmesi gerekir.

Kuru toprakların birim hacmindeki ısı kapasitesi kalorimetrik yöntemle veya direk hesaplama formülleri ile saptanır.

Nemli toprakların birim hacmindeki ısı kapasitesini bulmak için, toprak öğelerinin hacimsel ısı kapasitelerinin toplamının alınması gerekiyor:

$$C_v = f_k \cdot C_{vk} + f_s \cdot C_{vs} + f_h \cdot C_{vh} \tag{3.40}$$

Burada sırasıyla; f_k , f_s , f_h – toprağın katı, su ve hava fazlarının oransal hacmi olup, $f_k + f_s + f_h = 1$ 'dir. C_{vk} , C_{vs} , C_{vh} – toprağın katı, su ve hava fazlarının hacimsel ısı kapasiteleri olup,

$C_{vk} = 0,48\, kal/\left(cm^3 \cdot {}^0C\right)$, $C_{vs} = 1$ ve $C_{vh} = 0,003\ kal/\left(cm^3 \cdot {}^0C\right)$ dir.

Eşitliğin sağ tarafındaki üçüncü terim oldukça küçük olduğundan ihmal edilebilir. Bu nedenle (3.40) nolu eşitlik aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$C_v = f_k \cdot C_{vk} + f_s \cdot C_{vs} \tag{3.41}$$

Toprağın katı fazının oransal hacmi $\left(f_k\right)$, mineral $\left(f_{\min}\right)$ ve organik $\left(f_{org}\right)$ olarak iki yere ayrılmış olarak ele alınırsa, $f_k = f_{\min} + f_{org}$ olur.

Çok sayıda deneysel verilerin incelenmesi sonucunda, genel olarak toprağın hacimsel ısı kapasitesi için (De Vires, 1952, 1963; Jury, 1991; Hillel, 1998; Şeyin, 2006) aşağıdaki eşitlik yazıla bilir:

$$C_v = 0,48 \cdot f_{\min} + 0,60 \cdot f_{org} + f_s \tag{3.42}$$

Burada; katı kısım, mineral ve organik madde olmak üzere iki kısma ayrılmıştır (De Vries,1966; Huwe ve Van Der Ploeg, 1989; Rose, 1979). Eşitlikteki f_m, mineral kısmın oransal hacmi, f_{org} ise organik maddenin oransal hacmini göstermektedir. Ancak araştırma bazında mineral kısımda kendi içinde; kuvars, kil mineralleri, kireç gibi unsurlara ayrılmaktadır.

Toprağın hacimsel ısı kapasitesini özgül ısı kapasitesi ile de aşağıdaki formülle hesaplamak olur:

$$C_v = C_{m,\,katı\ faz} \cdot \rho_b + \theta \tag{3.43}$$

3.11.2. Isı Yayınımının Belirlenmesi

Toprağın ısı yayınım parametresinin belirlenmesi laboratuar ve arazi koşullarında, toprak sıcaklığının gözlemlenmesi sonuçlarına göre belirlenir. Bu parametrenin bulunması için yaygın olarak kullanılan yöntem, arazi deneme verilerine dayanarak, toprakta ısı iletkenliği denkleminin analitik ve sayısal

çözümlerinden elde edilen formüllerin uygulanmasıdır. (3.13) nolu denklemin (3.36) nolu çözümüne dayanarak elde edilen aşağıdaki metot, ısı yayınımı parametresini (κ) hesaplamak için kullanılmıştır.

Genlik İçeren Formül: Bu yöntem, toprak sıcaklığı genliğinin derinliğe göre gittikçe azalmasını (sönmesini) ifade eden, Fourier'in 1. kanununa dayanarak geliştirilmiştir.

Toprak yüzeyindeki sıcaklığın günlük değişiminin (3.17) nolu eşitlikle ifade edilmesi durumunda, toprağın alt katmanlarına iletilen ısını ifade eden (3.13) nolu denklemin (3.37) nolu çözümü incelenirse, toprağın alt katmanlarına iletilen sıcaklık dalgasının genliğinin derinliğe göre $\mathrm{T}_a(x) = \mathrm{T}_a \cdot \exp(-x/d)$ eşitliği ile ifade olunduğu görülmektedir.

İki farklı $x = h_1$ ve $x = h_2$ derinlikteki genliklerin

$\mathrm{T}_a(h_1) = \mathrm{T}_a \cdot \exp(-h_1/d)$ ve $\mathrm{T}_a(h_2) = \mathrm{T}_a \cdot \exp(-h_2/d)$ ifadelerinin oranlanmasıyla

$$\frac{\mathrm{T}_a(h_1)}{\mathrm{T}_a(h_2)} = \frac{\mathrm{T}_a \cdot \exp(-h_1/d)}{\mathrm{T}_a \cdot \exp(-h_2/d)} = \frac{\exp(-h_1/d)}{\exp(-h_2/d)} = \exp\left(\frac{h_2 - h_1}{d}\right) = \frac{\mathrm{T}_{a1}}{\mathrm{T}_{a2}} \qquad (3.44)$$

elde edilen $\frac{h_2 - h_1}{d} = \ln(\mathrm{T}_{a1}/\mathrm{T}_{a2})$ bağıntısından (3.39) ifadesini göz önüne alarak toprakta ısı yayınımının bulunması için aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\kappa = \frac{\omega}{2}\left[\frac{h_2 - h_1}{\ln(\mathrm{T}_{a1}/\mathrm{T}_{a2})}\right]^2 = \frac{\pi}{\tau_0}\left[\frac{h_2 - h_1}{\ln(\mathrm{T}_{a1}/\mathrm{T}_{a2})}\right]^2 \qquad (3.45)$$

Burada; T_{a1} ve T_{a2} – toprağın $x = h_1$ ve $x = h_2$ derinliğindeki sıcaklık dalgasının genlikleri, τ_0 – periyottur.

3.11.3. Isı İletkenliği Parametresinin Belirlenmesi

Yukarıda açıklanan yöntemlerle bulunan hacimsel ısı kapasitesi ve ısı yayınım parametresi bulunduktan sonra ısı iletkenliği parametresi toprak su içeriğinin (θ) fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi saptanacaktır:

$$\lambda(\theta) = \kappa \cdot C_v(\theta) \qquad (3.46)$$

Yukarıdaki eşitliklerden yararlanılarak, toprakların ısısal iletkenlik değerlerinin saptanması, oldukça önemlidir. Çünkü solarizasyon etkinliğini toprak ısısal değerlerinin yükseltilmesi ile arttırmak mümkün görünmektedir.

3.11.4. Yüzey Bölgesi Havasının Sıcaklığının Belirlenmesi

Eğer toprağın yüzey bölgesi havasının günlük, aylık veya yıllık olarak sıcaklıklarının ölçüm değerlerinin incelenmesi sonucunda, **sıcaklığın zaman göre** periyodik değişiminin $\mathrm{T}(x=0,t)=\varphi(t)$ analitik ifadesinin Fourier tarafından incelenen biçimde, yani (3.20) veya (3.21) biçiminde ise, bu durumda sıcaklığın günlük değişimlerinin her saat başındaki $(\mathrm{N}=24)$ ölçüm değerlerini kullanarak, (3.22) nolu formüllerdeki bulunan T_0 , A_n , B_n katsayılarının bulunması için **en küçük kareler yönteminin** uygulanması gerekir.

Teorem: $t_i=\dfrac{l}{\mathrm{N}}(i-1)$ aralığının $[0,\ \ell)$ $i=1,2,...,\mathrm{N}$ noktalarında tanımlanmış ve $\tau_0=2\pi/\omega$ periyotlu $\varphi(t)$ fonksiyonunu en iyi uyduran *m. mertebeli trigonometrik modelinin* T_0 , A_n , B_n katsayıları aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$\varphi(t)=\mathrm{T}_0+\sum_{n=1}^{m}\left[A_n\cdot\cos(n\omega t)+B_n\cdot\sin(n\omega t)\right]$$

$$\mathrm{T}_0=\frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{i=1}^{\mathrm{N}}\varphi(t_i)$$

$$n=1,2,...,m \ \text{ için } A_n=\frac{2}{\mathrm{N}}\sum_{i=1}^{\mathrm{N}}\varphi(t_i)\cos(n\omega t_i) \ \text{ ve } \ B_n=\frac{2}{\mathrm{N}}\sum_{i=1}^{\mathrm{N}}\varphi(t_i)\sin(n\omega t_i)$$

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Toprak Örneklerinin Alındığı Bölge Hakkında Genel Bilgiler

Araştırmada kullanılan toprak örnekleri Konya İli Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınmıştır.

Konya ilinde tarım yapmak amacıyla işlenen alan 3.000.000 hektardır. Ovada akan birkaç nehir vardır. Ovanın ortası düzdür ve yüksekliklerle ayrılmış birçok ovadan meydana gelir. Ova, üçüncü zaman ve kuaterner sedimentleriyle doldurulmuş bir yapı gösterir. Sedimentlerin çoğu çevredeki kalkerli dağlardan gelmiştir. Üçüncü zamana ait kayalar çoğunlukla andezit, dazit, diorit ve tüflerden ibarettir. Havzayı dolduran sedimentler yer yer 400 metreden daha fazla kalınlıkta olup kil, marn, kum, çakıldan ibarettir. Sedimentlerin üst 10-15 m.lik kısmı kuaterner devrine aittir (De Meester, 1970).

Konya ili topraklarının bir kısmı Akdeniz Bölgesinde yer almasına rağmen hakim iklim step iklimidir. Kış mevsimi sert ve soğuk geçer. Yıllık ortalama sıcaklık 11.6 ^{o}C'dir. Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi en düşük ortalama sıcaklık - 0.3 ^{o}C olup Ocak ayında, en yüksek sıcaklık ise 23.5 ^{o}C olup Temmuz ayında görülür. Yıllık yağış uzun yıllar ortalaması olarak 64.5 kg m^{-2}'dir. Yağışlar düzensiz olup daha çok kış ve ilkbahar aylarında düşer.

Nisan ve Mayıs ayları en fazla yağış alan aylardır. Bunu takip eden aylarda giderek azalan yağışlar Temmuz ve Ağustos aylarında en düşük seviyeye iner.

4.2. Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması

Toprak örneklerini almak için, 0-100 cm profil kazılmıştır. Açılan profilden yüzeyden itibaren her 10 cm'lik katmanlardan bozulmuş toprak örneği alınmıştır. Ayrıca çakma silindirleri kullanarak bozulmamış toprak örneklemesi de yapılmıştır. Bozulmuş toprak örnekleri bez torbalar içerisinde laboratuara getirilmiştir. Örnekler gölgede hava kuru durumuna gelinceye kadar kurutulmuş, bitki artıkları ve iri taşlar ayıklandıktan sonra kesekler tahta merdane ile dövülmüş ve 2 mm'lik elekten geçirilmiştir. Bu örnekler toprağın ısısal özelliklerinin belirlenmesi için gerekli laboratuar analizleri için plastik kaplarda saklanmıştır.

4.3. Deneme Alanı Topraklarının Özellikleri

Çalışma alanında tanımlanan toprak serisinden fiziksel, kimyasal ve biyolojik analizler için derinlik esasına göre bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınarak, 2 mm' lik elekten geçirilip ve her örnekte aşağıda gösterilen yöntemlerle analizler yapılmıştır.

4.3.1. Fiziksel Özellikler

Mekanik analiz: (Tekstür, Bünye, Topraklarda Dane İrilik Dağılımı): Toprakların kum, silt, kil fraksiyonları Bouyoucus (1951) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemine göre belirlenmiş, tekstür sınıfları Soil Survey Manual (1951)' e göre tespit edilmiştir.

Hacim ağırlığı (ρ_b): Hacmi 100 cm^3 olan çelik silindirlerle alınan bozulmamış toprak örnekleri etüvde 105˚C'de 24 saat kurutulup, fırın kuru toprağın ağırlığı toplam silindir hacmine bölünerek bulunmuştur (Blake ve Hartge, 1986).

Özgül ağırlığı (ρ_k): Piknometre yöntemi ile belirlenmiştir (Demiralay, 1993).

Katı faz: Hacimsel nem yüzdesinin toplam toprak hacminden çıkarılmasıyla tespit edilmiştir (Demiralay, 1993).

Tarla kapasitesi: Toprakların 1/3 atmosfer basınç altında tutabildikleri su miktarı (%) olarak "Basınçlı seramik tabla" metoduyla belirlenmiştir (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954).

Solma noktası: Toprakların 15 atmosfer basınç altında tutabildikleri su miktarı (%) olarak " Basınç tablası " kullanılarak belirlenmiştir (Demiralay, İ., 1993).

Gözeneklilik: Toplam gözeneklik toprağın hacim (ρ_b) ve özgül (ρ_k) ağırlık değerleri kullanılarak $P = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_k}\right)$ ifadesi ile hesaplanmıştır (Demiralay, İ., 1993).

4.3.2. Kimyasal Özellikler

Kireç ($CaCO_3$,%): Hizalan ve Ünal (1966) tarafından açıklandığı şekilde Scheibler kalsimetresiyle belirlenmiştir.

Toprak Reaksiyonu (pH): 1:2,5 oranındaki toprak: su karışımında cam elektrotlu pH metre ile belirlenmiştir (Jackson, 1962).

Ekstrakte Edilebilir Katyonlar (Ca, Mg, K ve Na): 1 N NH_4OAc (Bayraklı, 1987) ile elde edilen ekstraksiyon çözeltisindeki katyonların miktarı ICP-OES

(Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) (Varian–Vista) cihazıyla belirlenmiştir (Soltanpour and Workman, 1981).

Tuzluluk (ECx10^3 mmhos/cm): 1:5 oranındaki toprak: su karışımında cam elektrotlu EC metre ile belirlenmiştir (Jackson, 1962).

Organik Madde Tayini (%): Smith ve Weldon (1941) tarafından bildirildiği şekilde tespit edilmiştir.

4.4. Toprağın Isısal Özelliklerinin Belirlenmesi

4.4.1. Hacimsel ve Özgül Isı Kapasitesinin Belirlenmesi

Birim hacimdeki toprağın ısı kapasitesini bulmak için, değişik toprak bileşenlerinin (katı, su ve hava fazlarının) katkılarının toplamının alınması gerekir.

Kuru toprakların birim hacmindeki ısı kapasitesi kalorimetrik yöntemle veya direk hesaplama formülleri ile saptanır.

Nemli toprakların birim hacmindeki ısı kapasitesini bulmak için, toprak bileşenlerinin (katı, sıvı ve hava fazlarının) hacimsel ısı kapasitelerinin toplamının alınması gerekiyor.

Çok sayıda deneysel verilerin incelenmesi sonucunda, genel olarak toprağın hacimsel ısı kapasitesi için (De Vires, 1952, 1963; Jury, 1991; Hillel, 1998; Şeyin, 2006) aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$C_v = 0,48 \cdot f_{\min} + 0,60 \cdot f_{org} + \theta \qquad (4.1)$$

Burada; katı kısım, mineral ve organik madde olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. θ – toprağın hacimsel su içeriğini, $f_{\min}$ – toprağın mineral maddelerini; f_{org} – toprağın organik maddesinin oransal hacim esasına göre miktarlarını göstermektedir.

Araştırma bazında mineral kısım kendi içinde; kuvars, kil mineralleri, kireç gibi unsurlara ayrılmaktadır.

Toprağın hacimsel ısı kapasitesi özgül ısı kapasitesi ile de aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$C_v = C_{m_{katı\ faz}} \cdot \rho + \theta \qquad (4.2)$$

Burada, ρ – Hacim ağırlığını;

$C_{m_{katı\ faz}}$ – toprağın birim hacmindeki katı fazının özgül ısı kapasitesini gösterir.

4.4.2. Yüzey Bölgesi Havasının Sıcaklığının Belirlenmesi

Sıcaklığın günlük değişimlerinin her saat başındaki (N=24) ölçüm değerlerini $\mathrm{T}(0,t_i)$ kullanarak, toprağın yüzey bölgesi havasının ortalama sıcaklığının (T_0), sıcaklık dalgasının genliğinin (T_a) ve fazının ε değerleri aşağıdaki formüllerle bulunur:

$$\mathrm{T}_0 = \frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{i=1}^{\mathrm{N}} \mathrm{T}(0,t_i)\ ,\ \mathrm{T}_a = \sqrt{A^2+B^2}\ \ ,\ \ \varepsilon = \arctan\left(-\frac{B}{A}\right) \tag{4.3}$$

$$A = \frac{2}{\mathrm{N}}\sum_{i=1}^{\mathrm{N}} \mathrm{T}(0,t_i)\cos\left(\frac{2\pi}{\tau_0}t_i\right),\ B = \frac{2}{\mathrm{N}}\sum_{i=1}^{\mathrm{N}} \mathrm{T}(0,t_i)\sin\left(\frac{2\pi}{\tau_0}t_i\right) \tag{4.4}$$

Burada; τ_0 – sıcaklık dalgasının periyodu (saat, gün veya yıl), t_i – gözlemlerin zamanı, N – gözlemlerin sayısıdır.

4.4.3. Toprağın Isı Yayınımının Matematiksel Metotlarla Belirlenmesi

4.4.3.1.Toprağın Isı Yayınımının Belirlenmesinin Teorik Esasları

İçinde ısı kaynağı bulunmayan kvazi-homojen toprak ortamında, ısı hareketini **Fourier yasasına** göre tanımlayan bir boyutlu

$$\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial t} = \kappa\frac{\partial^2 \mathrm{T}}{\partial x^2} \quad \left(\kappa = \frac{\lambda}{c_v}\right)\ ,\ \{0 < x < L\ ve\ \infty\ ;\ t > 0\} \tag{4.5}$$

denkleminin toprak yüzeyindeki sıcaklık dağılımını ifade eden 1. tür sınır koşulunun

$$\mathrm{T}(0,t) = \mathrm{T}_0 + \mathrm{T}_a \cdot \cos(\omega t + \varepsilon) \tag{4.6}$$

İfadesiyle ve toprak derinliğindeki sıcaklık durumlarının

$$\mathrm{T}(\infty,t) = \mathrm{T}_0 \tag{4.7}$$

$$\mathrm{T}(L,t) = \mathrm{T}_0 \tag{4.8}$$

$$\partial \mathrm{T}(L,t)/\partial x = 0 \tag{4.9}$$

Biçimindeki sınır koşulları ile tanımlanması durumunda bulunmuş olan, sırasıyla aşağıdaki '**noktasal**' (Carslaw ve Jaeger,1959; Mikayilov, 2008) ve '**ortalama**' (Mikayilov, 2009) analitik çözümler esasında ısı yayınımı için çeşitli hesaplama formülleri geliştirilmiştir:

$$\mathrm{T}(y,\tau) = \mathrm{T}_0 + \Phi_a(y,b)\cdot\cos\left[\varpi\tau + \varepsilon - \psi(y,b)\right] \tag{4.10}$$

$$\overline{\mathrm{T}}(\tau,b)=\int_0^1 \mathrm{T}(y,\tau)\,dy=\mathrm{T}_0+\mathrm{M}_a(b)\cdot\cos\left[\bar{\omega}\tau+\varepsilon-\hat{\psi}(b)\right] \tag{4.11}$$

Burada; $y=\frac{x}{L},\ \tau=\frac{\kappa t}{L^2},\ \bar{\omega}=\omega\frac{L^2}{\kappa},\ b=\sqrt{\frac{\bar{\omega}}{2}}=L\sqrt{\frac{\pi}{\tau_0\kappa}}$ (4.12)

Noktasal çözümler için $\Phi_a(y,b)$ ve $\psi(y,b)$ sınır koşullarına bağlı olarak aşağıdaki eşitliklerle belirlenir:

(4.6) ve (4.7) için (Carslaw ve Jaeger,1959):

$$\Phi_a(y,b)=\mathrm{T}_a\cdot e^{-by}\quad,\quad \psi(y,b)=by \tag{4.13}$$

(4.6) ve (4.8) sınır koşulları için (Mikayilov, 2009):

$$\Phi_a(b,y)=\mathrm{T}_a\cdot\sqrt{\frac{\mathbf{ch}\left[2b(1-y)\right]-\cos\left[2b(1-y)\right]}{\mathbf{ch}(2b)-\cos(2b)}}\ ,\quad \psi(y,b)=\mathbf{arctan}\left[\frac{\mathrm{P}_2(y)}{\mathrm{P}_1(y)}\right]$$
$$\left.\begin{aligned}\mathrm{P}_1(y)&=\mathbf{ch}\left[b(2-y)\right]\cos(by)-\mathbf{ch}(by)\cos\left[b(2-y)\right]\\ \mathrm{P}_2(y)&=\mathbf{sh}\left[b(2-y)\right]\sin(by)-\mathbf{sh}(by)\sin\left[b(2-y)\right]\end{aligned}\right\} \tag{4.14}$$

(4.6) ve (4.9) sınır koşulları için (Mikayilov, 2009):

$$\Phi_a(b,y)=\mathrm{T}_a\cdot\sqrt{\frac{\mathbf{ch}\left[2b(1-y)\right]+\cos\left[2b(1-y)\right]}{\mathbf{ch}(2b)+\cos(2b)}}\ ,\quad \psi(y,b)=\mathbf{arctan}\left[\frac{\mathrm{P}_2(y)}{\mathrm{P}_1(y)}\right]$$
$$\left.\begin{aligned}\mathrm{P}_1(y)&=\mathbf{ch}\left[b(2-y)\right]\cos(by)+\mathbf{ch}(by)\cos\left[b(2-y)\right]\\ \mathrm{P}_2(y)&=\mathbf{sh}\left[b(2-y)\right]\sin(by)+\mathbf{sh}(by)\sin\left[b(2-y)\right]\end{aligned}\right\} \tag{4.15}$$

Ortalama-integral çözümler için $\mathrm{M}_a(b)$ ve $\hat{\psi}(b)$ sınır koşullarına bağlı olarak aşağıdaki eşitliklerle belirlenir:

(4.6) ve (4.7) sınır koşulları için (Mikayilov, 2009):

$$\mathrm{M}_a(b)=\mathrm{T}_a\sqrt{\frac{\mathbf{ch}(b)-\cos(b)}{b^2e^b}}\ ,\qquad \hat{\psi}(b)=\mathbf{arctan}\left\{\frac{1-e^{-b}\left[\sin(b)+\cos(b)\right]}{1+e^{-b}\left[\sin(b)-\cos(b)\right]}\right\} \tag{4.16}$$

(4.6) ve (4.8) sınır koşulları için (Mikayilov, 2008):

$$\mathrm{M}_a(b)=\mathrm{T}_a\frac{\sqrt{\mathbf{sh}^2(b)+\sin^2(b)}}{\sqrt{2}\,b\left[\mathbf{ch}(b)+\cos(b)\right]}\ ,\quad \hat{\psi}(b)=\mathbf{arctan}\left[\frac{\mathbf{sh}(b)-\sin(b)}{\mathbf{sh}(b)+\sin(b)}\right] \tag{4.17}$$

(4.6) ve (4.9) sınır koşulları için (Mikayilov, 2009):

$$\mathrm{M}_a(b)=\mathrm{T}_a\frac{\sqrt{\mathbf{sh}^2(2b)+\sin^2(2b)}}{\sqrt{2}\,b\left[\mathbf{ch}(2b)+\cos(2b)\right]}\ ,\ \hat{\psi}(b)=\mathbf{arctan}\left[\frac{\mathbf{sh}(2b)-\sin(2b)}{\mathbf{sh}(2b)+\sin(2b)}\right] \tag{4.18}$$

Bu çözümlerde: $\Phi_a(y,b)$ – sıcaklığın toprağın y – derinliğindeki dalgalanmasının genliğidir.

4.4.3.2. Teorik Metotlar.

Toprağın belli bir derinliklerindeki verilerin kullanılması ve (4.5), (4.6), (4.9) noluformüllerin çözümü ısı parametrelerin bulunmasına imkan vermektedir.

Aşağıdaki metotlar, (4.5) nolu denklemin (4.10) ve (4.11) nolu çözümlerine dayanarak ısı yayınımı parametresini κ hesaplamak için kullanılmıştır.

4.4.3.2.1. '*Katmansal*' metotlar

Bu metotlar birçok araştırmacı (Carslaw ve Jaeger, 1959; Yeşilsoy, 1975; Horton, 1982; Gerayzade, 1989; Jury, 1991) tarafından farklı yaklaşımlarla incelenmiştir.

Metot-1 (Sıcaklık Dalgasının Genliğini İçeren Formül): Isı yayınımı parametresinin bulunması için önerilen bu yöntem, toprakta ısı yayınımı denkleminin çözümünden ve toprak sıcaklığı genliğinin derinliğe göre gittikçe azalmasını ifade eden, **Fourier'in 1. kanununa** dayanarak geliştirilmiş ve aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$\kappa = \frac{\pi\left(x_2 - x_1\right)^2}{\tau_0 \ln^2\left[\dfrac{\Phi_{\max}(x_1) - \Phi_{\min}(x_1)}{\Phi_{\max}(x_2) - \Phi_{\min}(x_2)}\right]} \tag{4.19}$$

Burada; $\Phi_{\min}(x)$ ve $\Phi_{\max}(x)$ – toprağın $x = x_1$ ve $x = x_2$ derinliğindeki minimum ve maksimum sıcaklıkları; τ_0 – sıcaklık dalgasının periyodudur (örneğin, günlük gözlemler için 24 saat).

Metot-2 (Arktanjant İçeren Formül): Isı iletkenliği denkleminin çözümüne dayanarak ısı yayınım parametresinin bulunması için farklı bir formül geliştirilmiştir:

$$\kappa = \frac{\pi\left(x_2 - x_1\right)^2}{\tau_0 \cdot \arctan^2\left[\dfrac{\left(\mathrm{T}_1' - \mathrm{T}_3'\right)\left(\mathrm{T}_2'' - \mathrm{T}_4''\right) - \left(\mathrm{T}_2' - \mathrm{T}_4'\right)\left(\mathrm{T}_1'' - \mathrm{T}_3''\right)}{\left(\mathrm{T}_1' - \mathrm{T}_3'\right)\left(\mathrm{T}_1'' - \mathrm{T}_3''\right) + \left(\mathrm{T}_2' - \mathrm{T}_4'\right)\left(\mathrm{T}_2'' - \mathrm{T}_4''\right)}\right]} \tag{4.20}$$

Burada; T'_i и T''_i – toprağın $x = x_1$ ve $x = x_2$ derinliğindeki ve zamanın $t_i = i \cdot \tau_0 / 4 \ (i = 1,2,3,4)$ (örneğin, $\tau_0 = 24$ saat için, **t_1=6, t_2=12, t_3=18** ve **t_4=24** saat) anlarındaki sıcaklık değerleridir.

Metot-3 (Logaritma İçeren Formül): Metot-2 için yukarıda yapılan varsayımı kullanarak, **Seman (1979)** ısı yayınım parametresini hesaplamak için aşağıdaki formülü elde etmiştir.

$$\kappa = \frac{4\pi \left(x_2 - x_1\right)^2}{\tau_0 \cdot \ln^2 \left[\frac{\left(T'_1 - T'_3\right)^2 + \left(T'_2 - T'_4\right)^2}{\left(T''_1 - T''_3\right)^2 + \left(T''_2 - T''_4\right)^2} \right]} \tag{4.21}$$

Burada; T'_i и T''_i – toprağın $x = x_1$ ve $x = x_2$ derinliğindeki ve zamanın $t_i = i \cdot \tau_0 / 4 \ (i = 1,2,3,4)$ (örneğin, $\tau_0 = 24$ saat için, t_1=6, t_2=12, t_3=18 ve t_4=24saat) anlarındaki sıcaklık değerleridir.

Metot-4 (Sıcaklık Dalgasının Fazını İçeren Formül): Toprağın ısısal yayınım parametresinin hesaplanılmasında kullanılabilecek diğer bir yaklaşım ise, toprağın iki farklı derinliğinde maksimum sıcaklığın gözlenmesi için gerekli zaman farkının ölçülmesine dayanır.

Toprağın $x = x_1$ ve $x = x_2$ derinliğindeki ölçülen maksimum toprak sıcaklıkları arasındaki zaman aralığı **$\Delta t = t_2 - t_1$** ise, ısı iletkenliği denkleminin çözümünden yeni bir faz formülü elde edilir:

$$\kappa = \frac{\tau_0}{4\pi} \left(\frac{x_2 - x_1}{\Delta t} \right)^2 \tag{4.22}$$

Not – 1: t_1 ve t_2 – zamanlarının tam tahminlerini kesinleştirmek için toprak sıcaklıklarının ölçümleri sıklıkla (örneğin, her saatte bir) yapılır.

Not – 2: Yukarıdaki **2.** ve **3.** metotlar; **1.** ve **4.** metotlara benzer fakat çok sayıda sıcaklık $T_i \ (i = 1,2,3,4)$ gözleminin avantajını taşır.

Not – 3: Açıklanan (4.19) - (4.21) nolu formüllerdeki $T_i \ (i = 1,2,3,4)$ toprak sıcaklık değerlerinin her derinlikteki değerleri aşağıdaki biçimde elde edilmiştir:

Önce kolonlara doğal şartlara uygun olarak doldurulmuş topraktaki sıcaklık değişimini belirlemek için, analog sinyalleri dijital değerlere ve bilgisayar ortamına aktaran 10 kanallı bir Elimko E-680 ölçüm sistemi kullanılmıştır. Sonra ise sıcaklık

sensörleri tarafından araştırma toprağının bulunduğu ortamdaki sıcaklık değişimleri izlenerek, bu sıcaklık değişimleri belirli aralıklarla, bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

4.4.3.2.2. '*Noktasal*' ve '*Ortalama - İntegral*' Metotlar (Mikayilov, 2008; 2009).
(4.5) nolu modelin toprağın derinliğindeki sıcaklık durumlarını ifade eden sınır koşullarının (4.7)-(4.9) biçiminde tanımlanması halinde bulunmuş 'noktasal' (4.10) ifadesi ve bunun esasında elde edilmiş (4.11) '**ortalama integral**' çözümlerine dayanarak oluşturulmuş grafikler yardımıyla ısı yayınımı parametresi (κ) hesaplanmıştır.

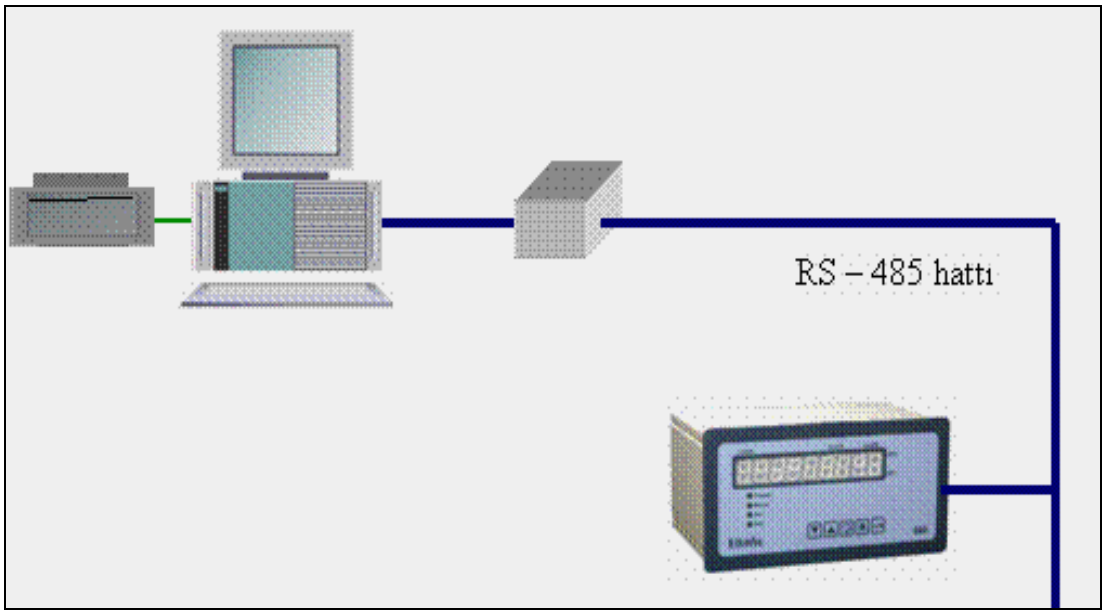
4.5. Ölçüm Sistemi

Veri toplayıcılar, ölçüm işlemleri sırasında elde edilen verilerin depolanması, verilerin işlenmesinde uygulanan metotlara esneklik sağlayan veri depolama kapasitesine sahiptirler. Hazırlanan bir programın çalıştırılması sonucunda veri toplama sistemi, uygun modüller veya algılayıcılar aracılığı ile veri toplamaktadır (Konchhar ve Burns, 1983).

Verilerin dış dünyadan bilgisayar ortamına aktarılması elektronik devre aksamı ile yazılımın birlikte oluşturduğu kompleks yapı ile sağlanmaktadır. Bilgisayar ortamına giren ve çıkan verilerin oluşmasında algılayıcılar en önemli veri aktarma sistemini oluşturmaktadır. Basınç, sıcaklık, ışık, akış, seviye, konum değişikliği, hız, ivme, kuvvet, dönme, salınım ve ağırlık gibi fiziksel özelliklerdeki değişiklikler algılayıcılar tarafından elektrik sinyallerine çevirip, yükseltgenerek bilgisayar ortamına uygun, sayısal yapıda aktarılmaktadır (Konchhar ve Burns, 1983).

4.5.1. Elimko Data Logger Sistem (EDLS) İle İlgili Teknik Bilgiler: Sıcaklık ölçümü için bilgisayara bağlanan RS-485 kullanıldı. Bu RS sayesinde, toprak kolonunun 11 farklı noktasından algılayıcılardan algılanan analog değerler bilgisayardaki EDLS'in yardımıyla sayısal değerlere dönüştürüldü.

Elimko Data Logger yazılımı ile RS-485 Modbus RTU iletişim protokoluna sahip Elimko cihazları aynı hatta bağlanıp izlenebilir. Bu hattın bilgisayara bağlanabilmesi için RS-485 / RS-232 veya RS-485 / USB çeviricilerden faydalanılır. RS-485 / RS-232 çevirici olarak Elimko E-IB-10 kullanılabilir. Tipik bir bağlantı şeması aşağıda **Şekil 4.1'**de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Elimko Bağlantı Diyagramı

Hatta bağlı tüm cihazların adreslerinin farklı olması gerekmektedir. Aynı adresli cihazların aynı hatta bağlanması durumunda mesajlarda çakışmalar meydana gelecektir ve iletişim bozulacaktır. Cihazların adresleri ön paneldeki tuşlarla, ön paneli olmayan cihazlarda ise konfigürasyon programları ile ayarlanır. Hatta bağlı tüm cihazların ve bilgisayarın baud rate'lerin aynı olması gerekmektedir. Aksi takdirde iletişimde sorunlar çıkacaktır. Bilgisayarın baud rate'i EConf programının iletişim ayarları menüsünden ayarlanabilir. Cihazların baud rate'si ise konfigürasyon programları ve ön panel tuşları ile ayarlanır. Bu konuda ayrıntılı bilgi ilgili dökümanlardan alınabilir.

Çalışma modunu ayarlama: Çalışma modu EManager programındaki Mode bölümünde istenilen mode tıklanarak değiştirilir. Her hangi bir mod seçildiğinde sistem otomatik olarak gerekli programı çalıştırarak hazır duruma geçirir. E-680 serisi, yeni nesil mikro kontrolör kullanılarak tasarımlanmış, 96 x 192 boyutlarında IEC 668 standardına uygun, üniversal girişli, giriş ve çıkışları kullanıcı tarafından programlanabilen endüstriyel cihazları içerir. Elimko 680'in ön ve arka panel görünümü **Şekil 4.2'**de, teknik özellikleri ise **Çizelge 4.1.'**de verilmiştir. E-680 serisi cihazlar, sayısı 32'ye kadar değişik noktadan alınan ölçümleri göstergesinden gösterir ve ölçümleri her kanal için programlanabilen iki set noktasıyla karşılaştırıp, karşılaştırma sonucuna göre alarm durumlarını belirler. Alarm durumları ortak alarm



Şekil 4. 2. Elimko E-680 Cihazının Ön ve Arka Panel Görünümü

rölelerine ve/veya bağımsız rölelere yönlendirebilir. 31 adete kadar E-680 cihazının bilgileri RS-485 hattı yoluyla merkezi bir bilgisayarda toplanıp kaydedilebilir.

Çizelge 4.1. Bilgisayar Uyumlu Elimko 680 Çeviricisinin Teknik Özellikleri

Giriş Tipleri	Termokupl: B, E, J, K, L, N, R, S, T, U, Rezistans Termometre: Pt-100, CUST Gerilim: 0-50 mV, 0-1 V, 0.2-1 V, 0-10 V(Lineer) Akım:0-20 mA, 4-20 mA, (Lineer)
Alarm Çıkışı	SPST-NO 250 V AC 3A röle
Gösterge Ayırımı	1/9999
Gösterge	9 dijit, 14 mm 7 parçalı gösterge
Doğruluk Sınıfı	Termokupl: (Gösterilen değerin ± % 0.5'i ya da ± 1 °C) ± 1 dijit max. Pt-100: (Gösterilen değerin ± % 0.5'i ya da ± 1 °C) ± 1 dijit max. Gerilim / Akım: ± % 0.5 FS ± 1 dijit max
Analog Sayısal Çevirici	16 bit
Sayısal Analog Çevirici	12 bit
Giriş Seçme Aralığı	0.2 - 9.9 sn
Gösterge Tarama Aralığı	1 - 99 sn
Gürültü bastırması	120 dB 50 Hz'de
Çalışma Ortam Sıcaklığı	- 10 °C – + 55 °C (-14 °F - 131 °F)(Yoğunlaşma ve buzlanma olmadan
Depolama Sıcaklığı	-25 °C – +65 °C (-13 °F - +149 °F)(Yoğunlaşma ve buzlanma olmadan)
T/C Ortam Sıcaklık Kompanzasyonu	0 °C – 50 °C
Çalışma gerilimi	80-265 V_{AC} / 85-375 V_{DC} , 20 - 60 V_{AC} / 20 - 85 V_{DC}
Güç tüketmi	4W (7VA)
Kontak Kapasitesi	NA Kontak 250 V_{AC} 5 A
Rölelerin Mekanik Ömrü	10.000.000 açma-kapama
Rölelerin Elektiksel Ömrü	> 1.000.000 açma-kapama (1/10 yükte)
Bellek	EEPROM maksimum. 10^5 yazma
Ağırlık	650 gr

4.5.2. Elimko Data Logger Sistem (EDLS) İle İlgili Teorik Bilgiler

Elimko Data Logger Sistemi Elimko tarafından üretilen, Modbus iletişim protokoluna sahip cihazların anlık proses bilgilerinin PC ekranına aktarımı, bu bilgilerin istenilen sıklıkta kaydedilmesi, yedeklenmesi ve trendlerinin geçmişe yönelik olarak izlenmesi amaçlarına yönelik olarak hazırlanmış kullanıcı dostu bir yazılımdır.

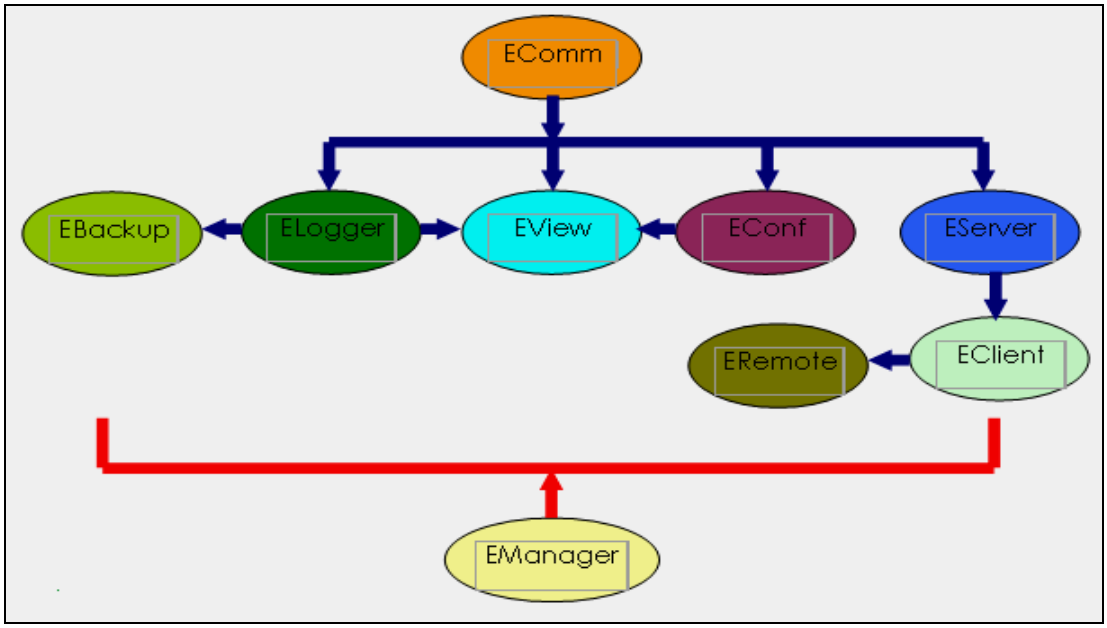
Elimko Data Logger Sistem (EDLS) yazılımını oluşturan birimlerin birbirleri arasındaki ilişki **Şekil 4.3'**deki diyagramda gösterilmiştir. Diyagramdaki mavi renkli oklar birimler arasındaki akış yönünü göstermektedir.

EManager: Sistemdeki birimlerin çalışmalarını kontrol eden ve durumları hakkında bilgi veren yazılımdır.

ELogger: EComm'dan aldığı bilgileri kullanıcının konfigürasyon şekline göre kaydeden programdır.

EBackup: Elogger'un oluşturduğu kayıt dosyalarını Excel formatına çevirmek ve izlemek için hazırlanmış ek bir yazılımdır.

EView: EComm'dan aldığı anlık proses, alarm bilgilerini ve ELogger'dan aldığı geçmişe yönelik trend bilgilerini kullanıcıya bar grafik, grafik ve tablolar halinde gösteren yazılımdır



Şekil 4. 3. EDLS Yazılımını Oluşturan Birimlerin Birbirleri Arasındaki İlişkilerin Diyagramı

EComm: Modbus RTU iletişim protokolu ile iletim hattından bilgi toplayan ve bu bilgileri ilgili programlara ileten yazılımdır.

EConf: İletim hattını (Baud Rate, Comm Port), cihazları, kayıtları ve kullanıcı şifrelerini konfigüre eden programdır.

EServer: Sistem bilgilerini bilgisayar ağındaki başka makinelara aktarmak için kullanılır.

EClient: EServer'ın gönderdiği verileri almak için hazırlanmış bir yazılımdır. Uzak makinede ERemote ile birlikte çalıştırılır.

ERemote: EClient ile birlikte çalışır. Uzaktan izleme amacı ile kullanılır.

4.5.2.1. EManager: Sistemdeki birimlerin çalışmalarını kontrol eden ve durumları hakkında bilgi veren yazılımdır.

Bu program ile Sistem Durdurma / Başlatma, Sistem Konfigürasyon, Sistem İzleme, Geçmiş ve Excel'e Aktarma, Uzaktan İzleme, Elimko Data Logger Server Ayarları ve Çalışma modunu değiştirme işlemlerini gerçekleştirebilir.

Sistem Durdurma / Başlatma: Sistem Durdurma / Başlatma EManager programındaki İşlemler bölümünde bulunan Sistem Durdur / Başlat komutuyla gerçekleştirilir ve **Şekil 4.4'** de gösterilmiştir.

Sistem Konfigürasyon: Sistem Konfigürasyon EManager programındaki İşlemler bölümünde bulunan Sistem Konfigürasyon komutuyla gerçekleştirilir. Normal ve Server modlarında aktiftir. Bu işlemi gerçekleştirmeden önce Sistem İzleme durumundan çıkılmalıdır. Bu komut EConf programını çalıştırır.

Sistem İzleme: Sistem İzleme EManager programındaki işlemler bölümünde bulunan Sistem İzleme komutuyla gerçekleştirilir. Sistem izlemek amacıyla kullanılır. Sadece Normal ve Server modlarında aktiftir. Bu işlemi gerçekleştirmeden önce Sistem Konfigürasyon durumundan çıkılmalıdır. Bu komut EView programını çalıştırır.

Geçmiş ve Excel'e Aktarma: Geçmiş ve Excel'e Aktarma EManager programındaki İşlemler bölümünde bulunan Geçmiş ve Excell Aktarma komutuyla gerçekleştirilir. Tüm çalışma modlarında aktiftir. Bu komut EBackup programını çalıştırır. Elimko sistemi verilerinin excel'de görünüşü **Şekil 4.5'** de gösterilmiştir.



Şekil 4. 4. Elimko Sistemini Durdurma Başlatma Paneli

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	TARİH	ZAMAN	0 PV	0 cm PV	10 cm PV	20 cm PV	30 cm PV	40 cm PV	50 cm PV	60 cm PV	70 cm PV	80 cm PV	90 cm PV
2	12.08.2008	00:00:00	18,8	22,3	23,9	24,1	24,2	24,4	24,4	24,5	24,7	24,5	24,3
3	12.08.2008	01:00:00	18,6	21,9	23,1	23,2	23,4	23,6	23,6	23,7	23,9	23,7	23,6
4	12.08.2008	02:00:00	18,8	21,5	22,5	22,6	22,8	23	23	23,1	23,3	23,1	23
5	12.08.2008	03:00:00	18,5	21,1	22,1	22,2	22,3	22,6	22,6	22,7	22,8	22,7	22,8
6	12.08.2008	04:00:00	18,3	19,9	21,5	21,4	21,6	21,9	21,9	22	22,2	22,1	22,1
7	12.08.2008	05:00:00	17,5	19,3	20,7	20,7	20,9	21,2	21,2	21,3	21,5	21,4	21,5
8	12.08.2008	06:00:00	17,1	18,7	20,1	20,1	20,3	20,6	20,6	20,6	20,9	20,8	20,9
9	12.08.2008	07:00:00	21,5	24,6	22,9	22,7	21,3	21,2	22,2	22,2	21,4	21,9	22,2
10	12.08.2008	08:00:00	23,1	34,4	32,7	31,1	29,2	26,9	25,2	24,8	23,9	24,2	24,9
11	12.08.2008	09:00:00	21,3	37,8	41,6	38,9	36,9	34,3	31,6	29,1	25,3	25,5	26
12	12.08.2008	10:00:00	22,2	40,6	45,7	43	40,8	38,1	35,5	32,8	26,6	25,8	26,1
13	12.08.2008	11:00:00	22,2	40,3	46,1	43,7	41,5	39,1	37,1	34,9	28,5	26,3	26,2
14	12.08.2008	12:00:00	25,8	41,5	44,6	42,5	40,1	38,4	36,8	34,9	29,6	27	26,5
15	12.08.2008	13:00:00	22,9	32,9	41	39,7	37,4	36,2	34,9	32,8	29,5	27,5	26,9
16	12.08.2008	14:00:00	23,5	31,2	37,7	37,1	35,3	34,4	33,2	31,3	29,2	27,7	27,2
17	12.08.2008	15:00:00	24,2	30,7	35,6	35,2	33,9	33,1	32,2	30,5	29	28	27,6
18	12.08.2008	16:00:00	26	30,7	34,4	34,1	33	32,4	31,5	30,2	29	28,3	27,9
19	12.08.2008	17:00:00	25,7	30,9	33,9	33,5	32,7	32,1	31,4	30,1	29,2	28,7	28,5

Şekil 4. 5. Elimko Sistemi Verilerinin Excel'de Görünüşü

4.5.2.2. ELogger

Elimko data logger sisteminin kayıt ve yedekleme ile ilgili birimi ELogger programıdır. EComm'dan aldığı bilgileri kullanıcının konfigürasyon şekline göre kaydeden programdır. Kayıt sisteminin düzgün şekilde yapılabilmesi için bu programın çalışıyor olması gerekir. Sistem Normal veya Server modda açılması durumunda bu program otomatik olarak başlatılır. Bu programın çalışmadığı

zamanlardaki kayıtlar boş olarak nitelendirilecek ve çizimlerde sıfır olarak görülecektir. Kayıt sistemi iletişimden bağımsız olarak çalışır. İletişim olmadığı durumlarda ELogger hafızasında bulunan son değerleri kaydetmeye devam edecektir.

Elimko Data Logger sisteminde kayıtlar kanal bazında yapılmaktadır. Her hangi bir kanala ait kayıt işleminin başlayabilmesi için o kanala ait kayıt konfigürasyonunun yapılması gerekmektedir. Kayıt konfigürasyonu EConf programının Kayıt Konfigürasyonu bölümünden yapılır. Kayıt konfigürasyonu Kayıt Sıklığı parametresi seçilerek yapılır. Bu parametreyle ilgili seçenekler ve her bir seçeneğe ait kayıt süreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Her bir kayıt sıklığına karşılık gelen kayıt süresi sistemin ilgili kanal için izleme amacıyla arşivinde tuttuğu süreyi belirtir. Bu sürenin dışındaki zamanlardaki kayıtlar silinir. Örneğin kayıt sıklığı 10 dakika olarak seçildiğinde ilgili kanalın sadece son 10 güne ait kayıtları tutulur. Diğer kayıtlar silinir. Kayıt konfigürasyonundaki parametrelerin kayıt süre örneği **Çizelge 4.2'**de gösterilmiştir.

ELogger tarafından yedeklenen dosyalar sistemin Backup klasörüne yedekleme tarihini ve yedeklenen kanalın ismini içeren bir dosya adıyla kopyalanır. Yedeklenen bu dosyalar daha sonra EBackup programıyla izlenebilir ve CSV formatına dönüştürülebilir.

Çizelge 4. 2. Kayıt Konfigürasyonundaki Parametrelerin Kayıt Süreleri

№	Kayıt Sıklığı	Kayıt Süresi	Yedek Alma Zamanı
1	Kayıt Yok	Yok	Yok
2	1 saniye	Son 1 gün	Her gün saat 0:00
3	5 saniye	Son 5 gün	Her 5 günde bir saat 0:00
4	10 saniye	Son 10 gün	Her 10 günde bir saat 0:00
5	15 saniye	Son 15 gün	Her 15 günde bir saat 00:00
6	30 saniye	Son 30 gün	Her 30 günde bir saat 00:00
7	1 dakika	Son 60 gün	Her 60 günde bir saat 00:00
8	5 dakika	Son 300 gün	Her 300 günde bir saat 00:00
9	10 dakika	Son 600 gün	Her 600 günde bir saat 00:00
10	15 dakika	Son 900 gün	Her 900 günde bir saat 00:00
11	30 dakika	Son 1800 gün	Her 1800 günde bir saat 00:00
12	1 saat	Son 3600 gün	Her 3600 günde bir saat 00:00

4.5.2.3. EBackup

EBackup programı veri toplama dosyalarının incelenmesi, grafiklerinin çizilmesi ve Excell (CSV) formatına dönüştürülmesi amaçlarına yönelik hazırlanmış bir programdır.

4.5.2.4. EView

EView cihazlara ait kanalların anlık proses değerlerinin gösterimi, trendlerinin izlenmesi amaçlarına yönelik hazırlanmış bir programdır. EView Bar Grafik, Grafik, Çoklu Grafik, Toplayıcı ve Alarm sayfası olmak üzere beş ana sayfadan oluşmaktadır. Bar grafik sayfasında sistemdeki cihazların kanallarına ait anlık proses değerleri, grafik sayfasında kanallara ait trendler, çoklu grafik sayfasında birden fazla kanala ait trend izlenebilir.

EView menüsünde: Sayfa Konfigürasyonu, Sayfalar, Bar Grafik Sayfası, Grafik Sayfası, Çoklu Grafik Sayfası oluşur.

Sayfa Konfigürasyonu: Bu sayfaya EView programının Program ana menüsünün Sayfa Konfigürasyonu alt menüsünden ulaşılır. Bar grafik sayfasındaki alt sayfalarda hangi cihazların hangi kanallarının gösterileceğinin konfigüre edildiği sayfadır. Pencerenin en üst kısmında bulunan Sayfa bölümünden konfigüre edilecek sayfa seçilir. Bu işlem sonucunda seçilen sayfanın mevcut hücre bilgisi ekrana gelir. Mevcut konfigürasyonu değiştirmek için istenilen kanallar listelerden seçilerek ayarlanır ve kaydet tuşuna basılarak kaydedilir. Listelerde sadece sisteme dahil edilmiş kanallar listelenir. Elimko Sistemi Sayfa Konfigürasyonu **Şekil 4.**6'da gösterilmiştir.

Bar Grafik Sayfası: Bu sayfaya EView programının bar grafik sayfası tuşuna basılarak ulaşılır. Bu sayfa 50 adet alt sayfadan ve her bir alt sayfada 16 hücreden oluşmaktadır. Bu bölümlerde cihazlara özgü pencereler gösterilir ve bu pencerelerle cihazlara ait kanalların ölçüm, set, alarm vb. bilgileri barlar ve ledler şeklinde izlenebilir, ayar barlarıyla ve butonlarla ayarlamalar yapılabilir. Sayfa değiştirmek için üst kısımda bulunan sayfa ismi veya alt kısımdaki sayfa alarm ledleri tıklanabilir. Sayfa alarm ledleri bar grafik sayfasının en alt kısmında bulunmaktadır. Her bir sayfa için bir led vardır. Sayfa numarası ledlerin içerisine yazılmıştır. Ledler sayfalarda alarm olup olmadığını gösterir. Hangi sayfada, hangi cihazın hangi

kanalının gösterileceği Sayfa Konfigürasyonu bölümünden ayarlanır. Elimko sistemi bar grafik sayfası **Şekil 4.7**' de gösterilmiştir.



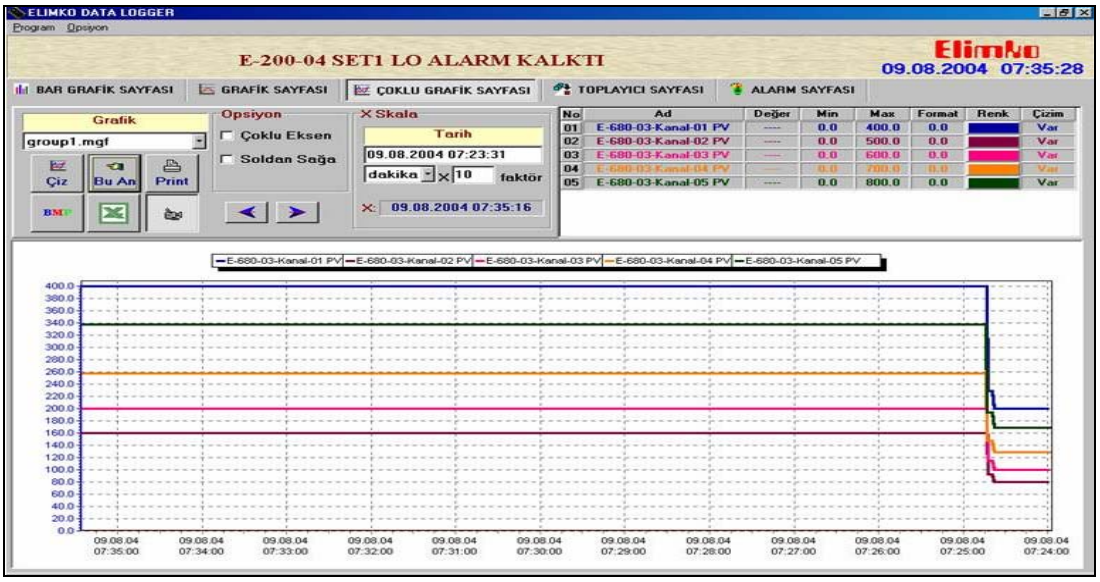
Şekil 4. 6. Elimko Sistemi Sayfa Konfigürasyonu



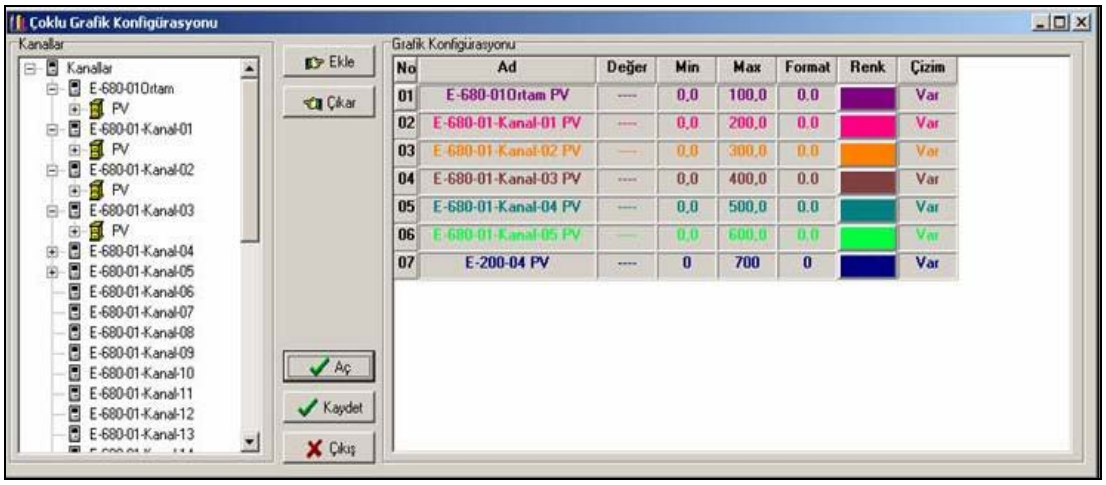
Şekil 4. 7. Elimko Sistemi Bar Grafik Sayfası

Çoklu Grafik Sayfası: Bu sayfaya EView programının çoklu grafik sayfası tuşuna basılarak ulaşılır. Bu sayfa yapı olarak Grafik Sayfasına çok benzerdir. Tek fark çizimlerin kanal bazında değil de daha önce oluşturulmuş çoklu grafikler bazında yapılmasıdır. İstenilen çoklu grafik Grafik bölümünden seçilir ve çizim Grafik Sayfasında olduğu gibi yapılır.

Çoklu Grafik Tanımlama: Bu sayfaya çoklu grafik sayfasındaki Grafik listesinden Yeni seçilmesiyle ulaşılır. Bu sayfa çoklu grafik tanımlarının yapılması ve var olan tanımlarının değiştirilebilmesi için hazırlanmıştır. Pencerenin sol tarafında sisteme tanıtılmış kanallar listelenir. Kanalın kayıt konfigürasyonu yapılmışsa kanal isminin yanında + işareti görülür. Bu işarete tıklanarak o kanal ait alan açılır. Bu alanlardan istenilenler seçilir ve Ekle tuşuna basılarak listeye eklenir. Bu şekilde en fazla 8 adet ekleme yapılabilir. Çıkar tuşu ile listedeki istenilen bir alan silinebilir. Eklenen alanlar grafik konfigürasyon girdi ile arzu edilen şekilde ayarlandıktan sonra istenilen bir isimle Kaydet tuşuna basılarak kaydedilir. Mevcut birçoklu grafik tanımını değiştirmek için Aç tuşuna basılır ve değiştirilmek istenilen çoklu grafik tanımı dosya açma penceresinden seçilir. Bu işlemden sonra seçilen çoklu tanım listeye yüklenecektir. Burada istenilen değişiklikler yapıldıktan sonra kaydet tuşu kullanılarak dosyanın son hali kaydedilir. Elimko sistemi çoklu grafik sayfası **Şekil 4.8**'de, çoklu grafik konfigürasyonu da **Şekil 4.9'**da gösterilmiştir.



Şekil 4. 8. Elimko Sistemi Çoklu Grafik Sayfası



Şekil 4.9. Elimko Sistemi Çoklu Grafik Konfigürasyonu

4.5.3. Bilgisayar Ortamı

Bilgisayar ortamı olarak kullanılan kişisel bilgisayarın özellikleri aşağıdaki gibidir.

AMD Athlon (tm) 64 Processor
3500+2.20 GHz ,
RAM 1.00 GB EKRAN KARTI RADEON X550XT 256 M

4.5.4. Sıcaklık Algılayıcısı ve Algılama Ortamı

Sıcaklık algılayıcısı olarak: ± % 0.5'i ya da ± 1 ºC hassasiyette ölçüm yapabilen, dalma boyu 5 cm, 5 m uzunluğunda ve 5 mm çapında paslanmaz çelikten imal edilmiş 10 adet PT-100 marka sensör kullanılmıştır (**Şekil 4.10**).

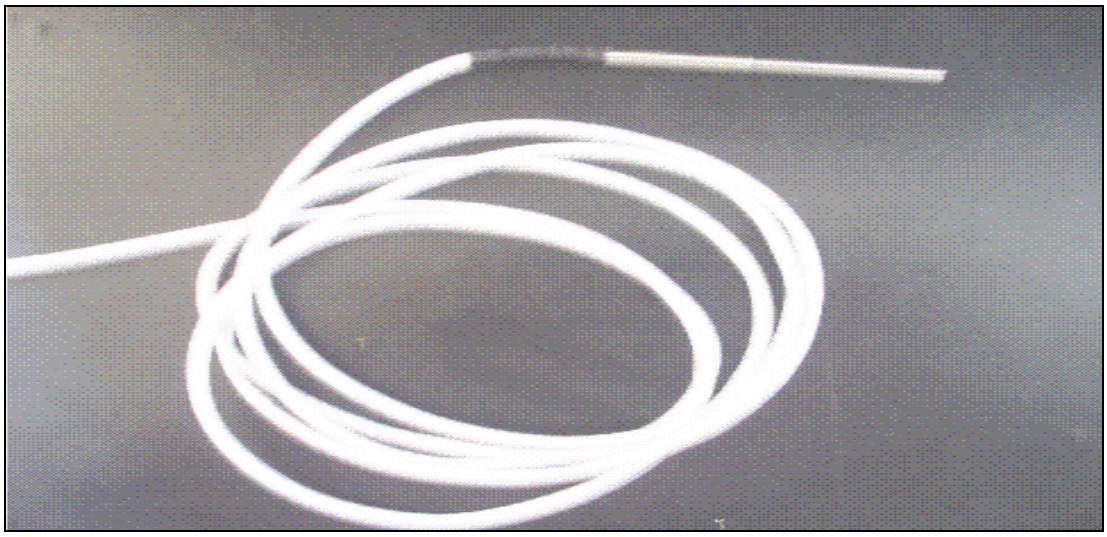
Algılama ortamı fiziksel değişimlerin oluştuğu, toprak ve algılayıcıların bulunduğu ortamdır.

Sıcaklık ölçümü yapılacak toprak, 10,5 cm çapındaki plastik silindir içerisinde doğal şartlar sağlanarak, laboratuar ortamına konulmuştur.

Sıcaklık algılayıcılarının çevredeki sıcaklık değişimlerinden etkilenmesini minimuma indirmek için algılayıcılar izole edilmiştir.

4.5.5. Ölçüm ve Deney Seti

Araştırma için Selçuk Üniversitesi Deneme tarlasından farklı iki yerden toprak örneği alınmıştır. Arazi şartlarında yapılacak ölçüm için, laboratuarda ölçüm yapılacak toprak kolonları usulüne uygun biçimde doldurulmuştur. Kolonlar üzerinde her 10 cm'de bir aralıklarla delikler delinmiş, bu delikler içerisinden

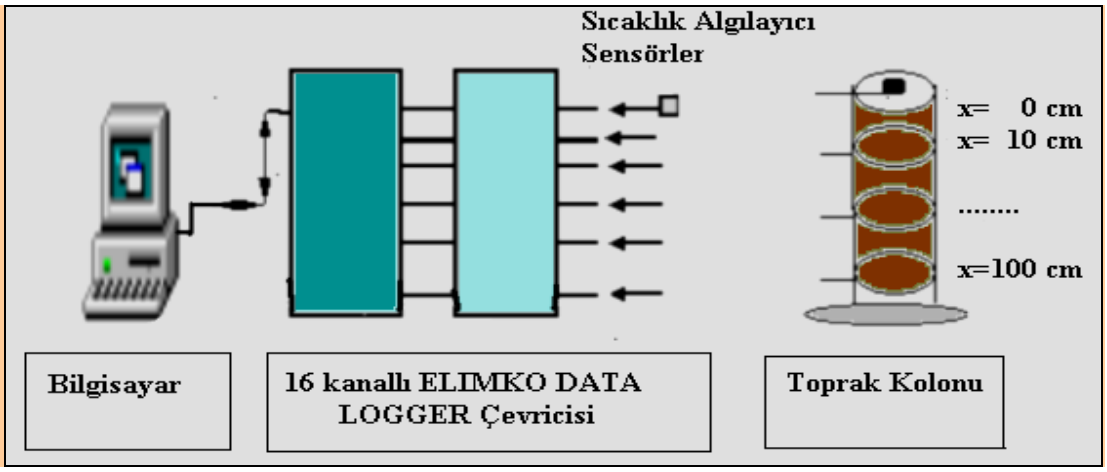


Şekil 4.10. PT-100 Sıcaklık Algılayıcısı

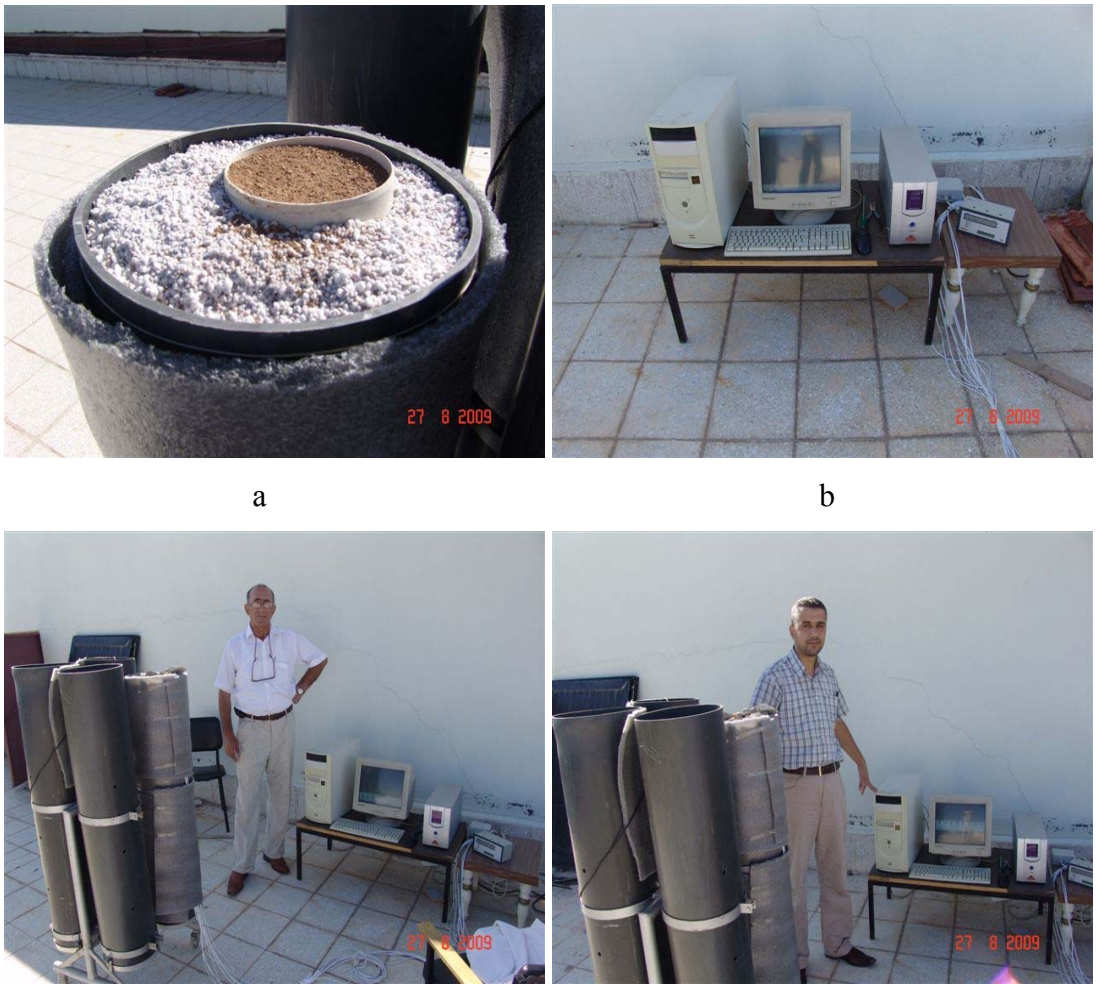
borunun iç kısmından yarısına kadar sıcaklık algılayıcılar yerleştirilmiştir. Kolonlar etrafındaki dış etkilerle oluşabilecek ısı iletkenliğini minimize etmek için 20 cm çapında ikinci bir kolonla muhafaza edilmiştir. İki kolon arasında ki boş alan perlit materyaliyle doldurularak doğal şartlar oluşturulmuştur.

Bu araştırmada, bilgisayara dayalı ölçüm sistemi aracılığıyla toprak katmanlarındaki sıcaklık değişimlerinin, belli aralıklarla ölçümünü gerçekleştirmek için algılayıcılar, ara devreler ve bir RS-485 / RS-232 çevirici olarak Elimko E-IB-10 çevirici kullanılmıştır. Ayrıca çalışma sürecinde ölçüm sistemi kesintisiz güç kaynağına (UPS) bağlanmıştır. Kolonlara doğal şartlarla doldurulan topraktaki sıcaklık değişimini analog sinyaller ile dijital değerlere ve bilgisayar ortamına aktarmak için 16 kanallı bir RS-485 / RS-232 çevirici olarak Elimko E-IB-10 kullanılmıştır ve her 10 cm derinlikteki toprağın sıcaklık değişim değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ölçüm sisteminin blok diyagramı **Şekil 4.11'** de, fotoğrafları ise **Şekil 4.12'**de verilmiştir.

Çalışmada 1 m derinliğine kadar, 10 cm aralıklarla toprak katmanlarındaki sıcaklık değerlerini ölçmek ve modellemeyi ortaya çıkarmak için, toprak yüzeyi de dahil olmak üzere 11 adet sıcaklık algılayıcı sensör kullanılmıştır. Algılayıcılarla elde edilen sayısal değerler sıcaklık değerlerine dönüştürülerek bilgisayara aktarılmaktadır. Program kapsamında bu veriler izlenebilmektedir.



Şekil 4.11. Toprak Kolonu ve Ölçüm Seti



a b

c d

Şekil 4.12. Araştırmada Kullanılan Deney Seti ve Fotoğrafları

4.5.6. Kolonlara Toprak Doldurulması ve Hesabı

Araştırmaya konu olan toprağın, laboratuar ortamında sıcaklık dağılımını derinliklere göre ölçmek amacıyla, kolonlara arazi şartlarına uygun olarak doldurulması gerekir. Bu amaçla toprağın analizi yapılarak, arazi şartlarını sağlamak için, hacim ağırlığı hesaplanmıştır.

Kolonlar 1 metre boyunda ve yarıçapı 5.25 cm olan plastik bir özelliğe sahiptir. Ayrıca kolonlarda 10 cm aralıklarla delikler açılıp, bu deliklere sıcaklık algılayıcı sensörler yerleştirildi. Toprak kolonlarında 10 cm'lik kalınlığa sahip, 10 adet katman oluşturulmuş ve bu katmanlar arasına açılan deliklere her kolon için 10 adet algılayıcı yerleştirilmiştir.

Kolonlarda her 10 cm derinliğe yerleştirilen toprak miktarı, hacim ağırlığı değeri kullanılarak aşağıdaki biçimde hesaplanmıştır:

$\rho_b = 1,29\, g/cm^3 -$ hacim ağırlığı; $r = 5,25\, cm -$ kolonun yarıçapı; $\mathrm{H} = 100\, cm -$ kolonun boyu; $h = 10\, cm -$ katman kalınlığı (algılayıcılar arası mesafe); $V = \pi r^2 h -$ her katmanda bulunan toprak hacmi olmak üzere,

2 nolu toprağın $h = 10\,\mathrm{cm}$'lik katmana konulacak hacmini $V = \pi r^2 h = 3,14 \cdot (5,25)^2 \cdot 10 = 865,9\, cm^3$ olur. $\rho_b = 1,29\ g/cm^3$ olduğuna göre, toprak katmanının ağırlığı

$$m = V \cdot \rho_b = 865,9\, cm^3 \cdot 1,29\ g/cm^3 = 1117\, g \text{ elde edilir.}$$

Diğer toprak katmanlarındaki toprağın hacim ağırlığı farklı olduğu için tek tek konulacak toprak miktarı uygun olarak hesaplanmıştır. 10-20 ve 20-30 *cm*'lik katmanlar için $(\rho_b = 1,28\ g/cm^3)$ 1108 *g*, 30-40 ve 40-50 *cm*'lik katmanlar için $(\rho_b = 1,30\ g/cm^3)$ 1126 *g*, 50-60 *cm* için $(\rho_b = 1,37\ g/cm^3)$ 1186 *g*, 60-70 ve 70-80 *cm*'lik katmanlar için $(\rho_b = 1,38\ g/cm^3)$ 1195 *g*, 80-90 *cm* için $(\rho_b = 1,36\ g/cm^3)$ 1178 *g* ve 90-100 *cm* için $(\rho_b = 1,32\, g/cm^3)$ 1143 *g* toprak tartılmış ve kolona yerleştirilmiştir. Benzer olarak, 1 nolu toprak örneği de hacim ağırlığı değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Kolonların her 10 cm'lik katmanına yukarıda hesaplanmış ağırlıklardaki topraklar homojenliği koruması amacı ile kolonlara tahta takozla vurulup, sıkıştırılarak doldurulmuştur. Böylece topraklar arazi koşullarına uygun hale

getirilmeye çalışılmıştır. Kolonlar ve ölçüm sistemi laboratuarda güneş alan uygun bir yere yerleştirilerek ölçümler yapılmış ve sonuçlar bilgisayarda Excel'de kaydedilmiştir. Toprak kolonu ve ölçüm seti **Şekil 4.11**'de verilmiştir.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1.Araştırma Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Araştırma konusu topraklarının bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri Çizelge 5.1 – 5.4'de verilmiştir. Çizelgelerin incelenmesinden görüleceği gibi, 1 nolu toprağın bünyesi toprak katmanlarınca değişmekte olup kumlu killi tın (SCL) ve tın (L) tekstürüne, 2 nolu toprak ise killi tın (CL) ve kil (C) tekstürüne sahiptir. Toprakların kum, silt ve kil miktarları sırasıyla 1 nolu toprakta % 43.2-59.2, % 16.8-28.8 ve % 20.0-32.0, 2 nolu toprakta ise % 20.2-36.2, % 23.4-33.4 ve % 34.4-48.3 arasında değişmektedir. Tarla kapasiteleri 1 nolu toprakta %14.7-18.8, 2 nolu toprakta ise % 21.0-24.1 arasında değişmekle birlikte solma noktası 1 nolu toprakta ortalama olarak % 8.3, 2 nolu toprakta ise % 12.9'dur.

Toprakların 1:2.5 oranındaki toprak:su karışımında belirlenen pH değerleri sırasıyla 8.0-8.3, 8.3-8.4 arasında değişmektedir. Soil Survey Manual (1951)'e göre reaksiyonları (pH) bakımından topraklar hafif alkalin tepkimelidir.

Toprakların elektriksel iletkenliği ($ECx10^6$) 88.1 – 113.4 µmhos cm^{-1}, 95.6-135.6 µmhos cm^{-1} arasında olup sırasıyla ortalama olarak 97.1 ve 116.6 µmhos cm^{-1}'dir. Ergene (1982)'nin bildirdiği değerlerine göre,araştırma toprakları tuzsuz (0-200 µmhos/cm) sınıfına girmekte, bitkilerin büyümesini ve gelişimini olumsuz şekilde etkileyecek düzeyde tuzluluk içermemektedirler.

Deneme topraklarının organik madde içerikleri sırasıyla 1 nolu toprakta % 0.5-1.1 arasında değişmek de 2 nolu toprakta % 0.6-2.3 arasında değişmekte olup ortalama % 1.5'dir. ortalama değerleri ise toprakta uygun olarak % 0.8 ve % 1.5'dir. Ünal ve Başkaya (1981)'ya göre topraklar organik madde yönünden fakirdir.

Araştırmada kullanılan toprakların $CaCO_3$ miktarları sırasıyla % 30.4-32.4 ve % 30.5-34.3 olup, ortalama değerleri sırasıyla % 31.7 ve % 32.4'dir. Schroo (1963)'e göre, topraklar yüksek düzeyde kireç ($CaCO_3$) içermektedir.

Toprakların ekstrakte edilebilir sodyum miktarları sırasıyla 1 nolu toprakta 0.06 - 0.20 me $(100\ g)^{-1}$ arasında değişmekle birlikte ortalama olarak 0.11 me $(100\ g)^{-1}$'dir. 2 nolu toprakta 0.10 - 0.19 me $(100\ g)^{-1}$ arasında değişmekle birlikte ortalama olarak 0.14 me $(100\ g)^{-1}$dir. Ekstrakte edilebilir potasyum miktarları 1 nolu toprakta 0.26-0.58 me $(100\ g)^{-1}$ arasında olup ortalama 0.38 me $(100\ g)^{-1}$ iken 2 nolu toprakta 0.34- 0.86 me $(100\ g)^{-1}$ arasında değişmekle birlikte ortalama değeri 0.51 me $(100\ g)^{-}$

[1]dir. FAO (1990)'ya göre ekstrakte edilebilir potasyum miktarı 0.28-0.74 me(100 g)$^{-1}$ yeterli miktardadır.

Deneme topraklarında ekstrakte edilebilir kalsiyum miktarı 1 nolu toprakta 27.56-37.48 me (100 g)$^{-1}$ arasında olup ortalama 30.27 me (100 g)$^{-1}$ iken 2 nolu toprakta 32.12-36.70 me (100 g)$^{-1}$ arasında değişmekle birlikte ortalama 34.37 me (100 g)$^{-1}$dir. FAO (1990)'ya göre ekstrakte edilebilir kalsiyum topraklarda 17.5-50 me (100 g)$^{-1}$ fazla miktardadır.

Araştırma topraklarında ekstrakte edilebilir magnezyum miktarı sırasıyla 1 nolu toprakta 1.19-1.72 me (100 g)$^{-1}$ arasında olup ortalama 1.45 me (100 g)$^{-1}$ iken 2 nolu toprakta 1.94-2.16 me (100 g)$^{-1}$ arasında değişmekle birlikte ortalama 1.99 me (100 g)$^{-1}$'dir. FAO (1990)'ya göre deneme topraklarının ekstrakte edilebilir magnezyum miktarı 1.33-4.0 me (100 g)$^{-1}$ yeterli düzeyde olduğu bilinmektedir.

Deneme topraklarının hacim ağırlığı 1 nolu toprakta 1.28-1.40 g cm^{-3} iken, 2 nolu toprakta 1.28-1.38 g cm^{-3} arasında değişmektedir.

Katı faz sırasıyla % 48 ve % 46.4 iken gözenek hacmi % 52 ve % 53.6'dır. Toprakların özgül ağırlığı ise ortalama olarak 2.62 g cm^{-3} ve 2.64 g cm^{-3}'dir.

5.2. Ölçümler ve Grafikler

Araştırma döneminde her bir kolona arazi koşullarına uygun laboratuar şartlarında kuru toprakla doldurulmuştur. Elimko E-680 cihazı ve algılayıcı sensörler aracılığı ile katmanlara göre sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Standart olarak seçilen kolonun nem içeriği hava kurusu düzeyinde tutularak katmanlardaki sıcaklık dağılımları **Çizelge 5.5 - 5.6** ve **Grafik 5.1 - 5.2.**'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 1 Nolu Deneme Toprağının Bazı Fiziksel Özellikleri

№	Derinlik	Hacim Ağırlığı. ρ_b	Katı Faz	Özgül Ağırlığı. ρ_k	Gözenek Hacmi	Solma Noktası	Tarla Kapasitesi	Kil	Silt	Kum	Tekstür Sınıfı
	cm	g/cm^3	%	g/cm^3	%	%	%	%	%	%	
1	0*10	1.35	51.5	2.62	48.5	8.2	14.7	24.0	28.8	47.2	L
2	10*20	1.36	51.9	2.62	48.1	8.4	15.0	22.0	28.8	49.2	L
3	20*30	1.36	52.1	2.61	47.9	8.6	15.9	24.0	26.8	49.2	L
4	30*40	1.35	51.7	2.61	48.3	8.2	16.0	24.0	24.8	51.2	SCL
5	40*50	1.37	52.5	2.61	47.5	7.7	16.3	24.0	22.8	53.2	SCL
6	50*60	1.38	53.1	2.60	46.9	6.9	18.8	20.0	20.8	59.2	SCL
7	60*70	1.39	53.3	2.61	46.7	7.5	17.6	26.0	18.8	55.2	SCL
8	70*80	1.39	53.5	2.60	46.5	8.1	18.5	24.0	16.8	59.2	SCL
9	80*90	1.28	48.7	2.63	51.3	9.5	16.5	32.0	22.8	45.2	SCL
10	90*100	1.40	53.0	2.64	47.0	9.6	15.2	32.0	24.8	43.2	SCL
11	En düş.	1.28	48.7	2.60	46.5	6.9	14.7	20.0	16.8	43.2	
12	En yük.	1.40	53.5	2.60	51.3	9.6	18.8	32.0	28.8	59.2	
13	Ortalama	1.36	52.1	2.60	47.9	8.3	16.4	25.2	23.6	51.2	

Çizelge 5.3. 2 Nolu Deneme Toprağının Bazı Fiziksel Özellikleri

№	Derinlik	Hacim Ağırlığı. ρ_b	Katı Faz	Özgül Ağırlığı. ρ_k	Gözenek Hacmi	Solma Noktası	Tarla Kapasitesi	Kil	Silt	Kum	Tekstür Sınıfı
	cm	g/cm^3	%	g/cm^3	%	%	%	%	%	%	
1	0*10	1.29	44.9	2.63	55.1	14.0	24.1	48.4	27.4	24.2	C
2	10*20	1.28	44.7	2.62	55.3	14.2	24.1	46.4	33.4	20.2	C
3	20*30	1.28	44.7	2.62	55.3	13.6	23.1	46.4	33.4	20.2	C
4	30*40	1.30	45.6	2.63	54.4	12.9	22.2	48.4	25.4	26.2	C
5	40*50	1.30	46.4	2.61	53.6	12.9	21.8	46.4	23.4	30.2	C
6	50*60	1.37	47.5	2.65	52.5	12.5	21.0	38.4	27.4	34.2	CL
7	60*70	1.38	48.1	2.66	51.9	12.8	21.5	34.4	29.4	36.2	CL
8	70*80	1.38	48.1	2.66	51.9	12.4	21.5	34.4	29.4	36.2	CL
9	80*90	1.36	47.6	2.67	52.4	12.7	21.4	38.4	27.4	34.2	CL
10	90*100	1.32	46.7	2.61	53.3	11.3	21.5	40.4	27.4	32.2	C
11	En düş.	1.28	44.7	2.61	51.9	11.3	21.0	34.4	23.4	20.2	
12	En yük.	1.38	48.1	2.67	55.3	14.2	24.1	48.4	33.4	36.2	
13	Ortalama	1.33	46.4	2.64	53.6	12.9	22.2	42.2	28.4	29.4	

Çizelge 5.2. 1 Nolu Deneme Toprağının Bazı Kimyasal Özellikleri

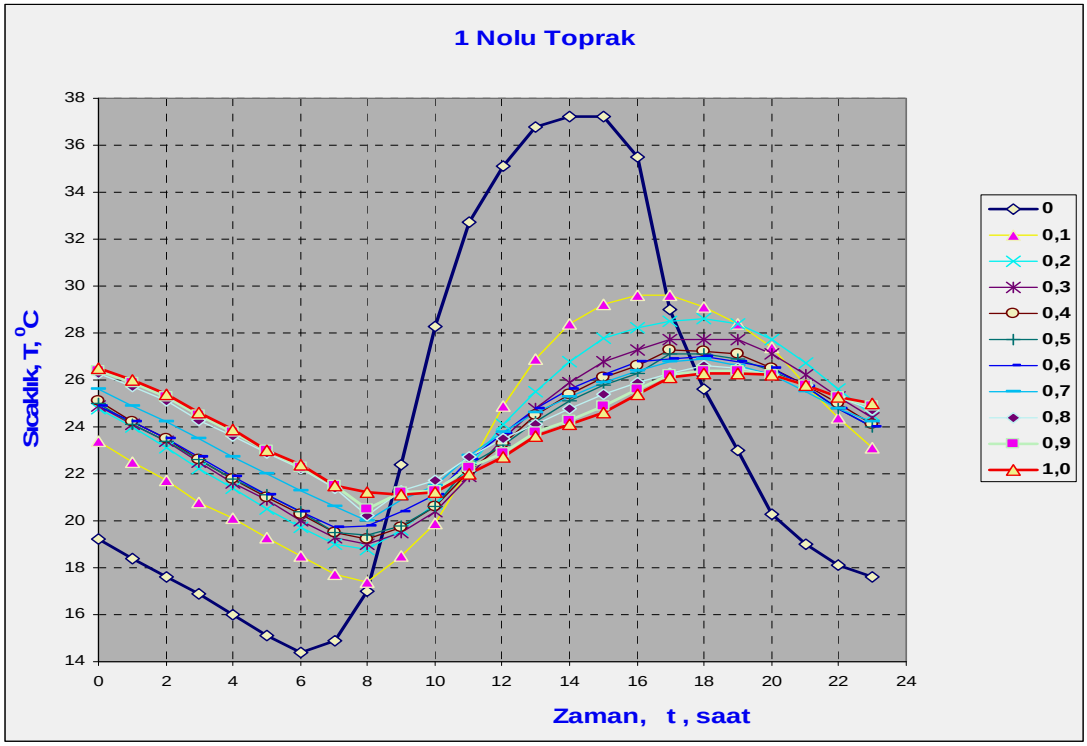
№	Derinlik	pH (1:2.5)	EC (1:5)	$CaCO_3$	Ekstrakte Edilebilir **Ca**	Ekstrakte Edilebilir **K**	Ekstrakte Edilebilir **Mg**	Ekstrakte Edilebilir **Na**	Organik Madde
	cm		µS/cm	%	me/100 g	me/100 g	me/100 g	me/100 g	%
1	0*10	8.1	89.9	30.4	29.53	0.55	1.72	0.14	1.1
2	10*20	8.1	103.6	30.9	30.12	0.37	1.44	0.19	1.0
3	20*30	8.2	113.4	31.4	30.22	0.35	1.42	0.12	1.1
4	30*40	8.2	98.7	31.6	37.48	0.58	1.37	0.20	1.1
5	40*50	8.0	97.3	31.7	27.56	0.50	1.19	0.06	1.1
6	50*60	8.2	99.3	31.9	28.29	0.27	1.30	0.06	0.5
7	60*70	8.1	88.1	32.0	28.47	0.26	1.35	0.06	0.6
8	70*80	8.1	93.4	32.1	29.47	0.31	1.49	0.07	0.5
9	80*90	8.1	90.5	32.2	30.06	0.32	1.55	0.08	0.5
10	90*100	8.3	97.3	32.4	31.54	0.32	1.71	0.07	0.5
11	En düş.	8.0	88.1	30.4	27.56	0.26	1.19	0.06	0.5
12	En yük.	8.3	113.4	32.4	37.48	0.58	1.72	0.20	1.1
13	Ortalama	8.1	97.1	31.7	30.27	0.38	1.45	0.11	0.8

Çizelge 5.4. 2 Nolu Deneme Toprağının Bazı Kimyasal Özellikleri

№	Derinlik	pH (1:2.5)	EC (1:5)	$CaCO_3$	Ekstrakte Edilebilir **Ca**	Ekstrakte Edilebilir **K**	Ekstrakte Edilebilir **Mg**	Ekstrakte Edilebilir **Na**	Organik Madde
	cm		µS/cm	%	me/100 g	me/100 g	me/100 g	me/100 g	%
1	0*10	8.4	125.8	30.5	36.17	0.85	1.98	0.19	2.3
2	10*20	8.4	121.2	30.6	35.79	0.86	2.01	0.19	2.3
3	20*30	8.4	133.2	30.9	36.20	0.64	1.94	0.13	2.1
4	30*40	8.4	124.0	31.6	36.70	0.49	1.97	0.13	2.0
5	40*50	8.4	135.6	32.3	34.99	0.41	1.95	0.11	1.7
6	50*60	8.3	129.8	33.0	33.38	0.37	1.95	0.10	1.4
7	60*70	8.3	103.5	33.3	32.12	0.34	1.97	0.11	0.6
8	70*80	8.4	95.6	33.5	32.13	0.34	1.97	0.12	0.9
9	80*90	8.4	97.4	34.1	32.57	0.35	2.03	0.12	0.6
10	90*100	8.4	99.7	34.3	33.61	0.41	2.16	0.18	0.7
11	En düş.	8.3	95.6	30.5	32.12	0.34	1.94	0.10	0.6
12	En yük.	8.4	135.6	34.3	36.70	0.86	2.16	0.19	2.3
13	Ortalama	8.4	116.6	32.4	34.37	0.51	1.99	0.14	1.5

Çizelge 5. 5. Derinliklere Göre 1 Nolu Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (27.08.2009)

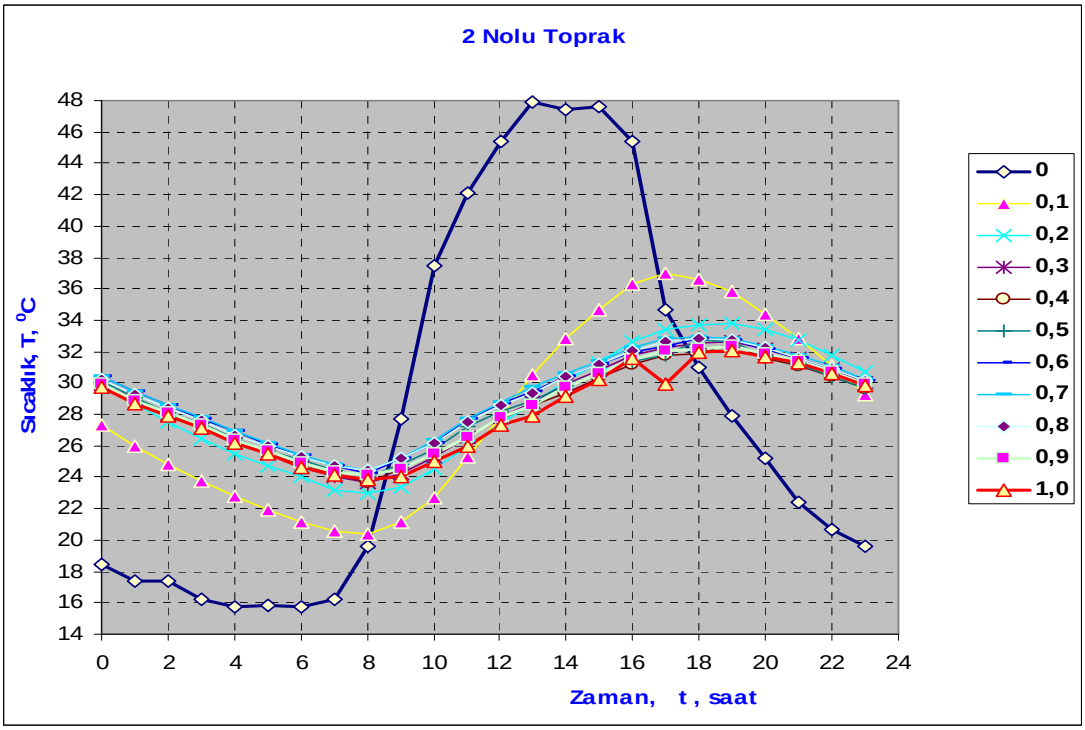
Saat	Yüzey	Derinlik(cm)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	19,2	23,4	24,8	24,9	25,1	25,0	24,9	25,6	26,3	26,4	26,5
1	18,4	22,5	24,0	24,1	24,2	24,1	24,2	24,9	25,7	25,9	26,0
2	17,6	21,7	23,1	23,4	23,5	23,4	23,5	24,2	25,1	25,3	25,4
3	16,9	20,8	22,2	22,5	22,6	22,6	22,7	23,5	24,3	24,5	24,6
4	16,0	20,1	21,4	21,6	21,8	21,8	21,9	22,7	23,6	23,8	23,9
5	15,1	19,3	20,5	20,9	21,0	21,1	21,1	22,0	22,9	23,0	23,0
6	14,4	18,5	19,7	20,0	20,3	20,4	20,4	21,3	22,2	22,3	22,4
7	14,9	17,7	19,0	19,3	19,5	19,5	19,7	20,6	21,4	21,5	21,5
8	17,0	17,4	18,8	19,0	19,2	19,4	19,8	20,0	20,2	20,5	21,2
9	22,4	18,5	19,6	19,5	19,7	19,8	20,4	20,9	21,3	21,2	21,1
10	28,3	19,9	20,7	20,4	20,6	20,6	21,1	21,5	21,7	21,3	21,2
11	32,7	22,3	22,3	21,9	22,1	22,4	22,6	22,8	22,7	22,3	22,0
12	35,1	24,9	24,1	23,5	23,3	23,2	23,7	23,8	23,5	22,9	22,7
13	36,8	26,9	25,5	24,8	24,5	24,2	24,8	24,6	24,1	23,8	23,6
14	37,2	28,4	26,8	25,9	25,4	25,1	25,6	25,3	24,8	24,3	24,1
15	37,2	29,2	27,8	26,8	26,1	25,8	26,2	25,9	25,4	24,9	24,6
16	35,5	29,6	28,2	27,3	26,6	26,3	26,8	26,4	25,9	25,6	25,4
17	29,0	29,6	28,5	27,7	27,3	27,1	26,9	26,8	26,3	26,2	26,1
18	25,6	29,1	28,6	27,7	27,2	27,1	27,0	26,9	26,6	26,4	26,3
19	23,0	28,4	28,4	27,7	27,1	26,9	26,8	26,6	26,5	26,4	26,3
20	20,3	27,4	27,7	27,1	26,5	26,4	26,5	26,2	26,2	26,2	26,2
21	19,0	25,8	26,7	26,2	25,8	25,7	25,7	25,5	25,8	25,8	25,8
22	18,1	24,4	25,6	25,3	25,0	24,8	24,8	24,8	25,3	25,3	25,3
23	17,6	23,1	24,5	24,4	24,1	24,0	24,0	24,2	24,7	24,9	25,0



Şekil 5. 1. 27.08.2009 Tarihinde Arazi Koşullarında 1 Nolu Toprağın Zamana ve Derinliğe Göre Sıcaklık Dağılımı

Çizelge 5. 6. Derinliklere Göre 2 Nolu Topraktaki Sıcaklık Dağılımları (30.08.2009)

Saat	Yüzey	Derinlik(cm)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	18,4	27,3	29,7	29,9	29,9	30,1	30,4	30,4	30,2	29,9	29,7
1	17,4	26,0	28,7	29,0	29,0	29,1	29,5	29,5	29,3	28,9	28,7
2	17,4	24,8	27,5	28,0	28,0	28,1	28,6	28,6	28,4	28,1	27,9
3	16,2	23,8	26,5	27,1	27,2	27,4	27,7	27,8	27,6	27,3	27,1
4	15,7	22,8	25,5	26,2	26,4	26,5	26,9	26,9	26,7	26,4	26,2
5	15,8	21,9	24,7	25,5	25,5	25,7	26,1	26,2	26,0	25,7	25,5
6	15,7	21,1	24,0	24,6	24,8	25,1	25,4	25,4	25,3	24,9	24,6
7	16,2	20,6	23,2	24,0	24,2	24,4	24,7	24,8	24,7	24,3	24,1
8	19,6	20,4	23,0	23,7	23,7	24,0	24,2	24,4	24,4	24,1	23,9
9	27,7	21,1	23,4	24,2	24,5	24,8	25,2	25,2	25,2	24,5	24,0
10	37,5	22,7	24,5	25,3	25,4	25,8	26,2	26,4	26,2	25,5	25,0
11	42,1	25,3	26,0	26,6	26,6	27,2	27,7	27,7	27,5	26,6	26,0
12	45,4	27,9	27,4	27,8	27,7	28,2	28,7	28,8	28,6	27,8	27,3
13	47,9	30,5	28,7	28,8	28,6	28,9	29,5	29,7	29,4	28,6	27,9
14	47,4	32,8	30,1	29,9	29,4	29,8	30,4	30,6	30,4	29,7	29,2
15	47,6	34,7	31,3	30,8	30,3	30,6	31,2	31,4	31,2	30,6	30,2
16	45,4	36,3	32,6	31,8	31,2	31,4	32,0	32,3	32,1	31,5	31,6
17	34,7	37,0	33,4	32,3	31,8	31,8	32,4	32,8	32,6	32,1	29,9
18	31,0	36,6	33,7	32,5	31,9	32,7	32,8	32,9	32,8	32,2	32,0
19	27,9	35,8	33,8	32,6	32,5	32,6	32,7	32,8	32,7	32,4	32,1
20	25,2	34,4	33,4	32,2	31,6	31,7	32,2	32,4	32,3	31,9	31,7
21	22,4	32,8	32,7	31,6	31,1	31,2	31,6	31,8	31,6	31,4	31,3
22	20,7	31,1	31,8	30,9	30,4	30,4	30,9	31,1	30,9	30,7	30,6
23	19,6	29,3	30,7	30,0	29,6	29,6	30,1	30,2	30,1	29,9	29,8



Şekil 5. 2. 30.08.2009 Tarihinde Arazi Koşullarında 2 Nolu Toprağın Zamana ve Derinliğe Göre Sıcaklık Dağılımı

5.3. Toprağın Isısal Özelliklerinin Hesaplanması
5.3.1. Hacimsel ve Özgül Isı Kapasitesinin Hesaplanması

Kuru topraklar için ısı kapasitesi kuvarsın özgül ısı kapasitesi olarak kabul edilmekte ve sayısal olarak aşağıdaki değere eşittir;

$$C_{m,katı\ faz} = 0.20 kal / g \cdot {}^{\circ}C \tag{5.1}$$

Toprak örneklerinde yapılan analizler sonucunda

1 nolu deneme toprağının ortalama yoğunluğu; $\rho_b = 1.359\ g/cm^3$

2 nolu deneme toprağının ortalama yoğunluğu; $\rho_b = 1.327\ g/cm^3$

olarak bulunmuştur.

Başlangıç anında

1 nolu deneme toprağının hacimsel su içeriği; $\theta_1 = 0.12\, cm^3 / cm^3$;

2 nolu deneme toprağının hacimsel su içeriği; $\theta_2 = 0.10\, cm^3 / cm^3$

olarak saptanmıştır.

Kuru koşullarda toprağın ısı kapasitesi (4.2) nolu eşitlikle hesaplandığından, (5.1) nolu değeri kullanarak hacimsel ısı kapasitesi için;

$$C_v = 0.20\,\rho_b + \theta \tag{5.2}$$

elde edilir.

1 ve 2 nolu deneme topraklarının hacimsel su içeriklerini kullanılarak

1 nolu toprağın hacimsel ısı kapasitesi;

$$C_{v1} = C_{m,katı\ faz} \cdot \rho_{b1} + \theta_1 = 0.20 \frac{kal}{g \cdot {}^{\circ}C} \cdot 1.359 \frac{g}{cm^3} + 0.12 \frac{cm^3}{cm^3} =$$

$$= 0.2718 \frac{kal}{cm^3 \cdot {}^{\circ}C} + 0.12 \frac{cm^3}{cm^3} = 0.3918 \frac{kal}{cm^3 \cdot {}^{\circ}C}$$

2 nolu toprağın hacimsel ısı kapasitesi ise;

$$C_{v2} = C_{m,katı\ faz} \cdot \rho_{b2} + \theta_2 = 0.20 \frac{kal}{g \cdot {}^{\circ}C} \cdot 1.327 \frac{g}{cm^3} + 0.10 \frac{cm^3}{cm^3} =$$

$$= 0.2654 \frac{kal}{cm^3 \cdot {}^{\circ}C} + 0.10 \frac{cm^3}{cm^3} = 0.3654 \frac{kal}{cm^3 \cdot {}^{\circ}C}$$

olarak bulunmuştur.

5.3.2. Yüzey Bölgesi Havasının Sıcaklığının Belirlenmesi

1 nolu deneme toprağının yüzey hava bölgesinin (3.17) biçimindeki sıcaklık dağılımını belirlemek için (4.3) ve (4.4) nolu formüllerin uygulanması ile

$$\mathrm{T}(0,t)=\tilde{\varphi}(t)=23.6375+10.186862\cos\left(0.2618t+2,534867\right) \tag{5.3}$$

2 nolu deneme toprağının yüzey hava bölgesinin sıcaklığı için ise;

$$\mathrm{T}(0,t)=\tilde{\varphi}(t)=28,120833+15,738139\cdot\cos\left(0,2618\cdot t+2,567558\right) \tag{5.4}$$

ifadeleri bulunmuştur (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7. Yüzey Hava Bölgesinin Parametreleri

$\mathrm{T}(0,t)=\varphi(t)=\mathrm{T}_0+\mathrm{T}_a\cdot\cos\left(\omega\cdot t+\varepsilon\right)$			
Yüzey hava bölgesinin parametreleri		1 nolu toprak	2 nolu toprak
Ortalama günlük sıcaklık	T_0	23,6375	28,120833
Sıcaklık dalgasının genliği	T_a	10,186862	15,738139
Sıcaklık dalgasının faz farkı	ε	2,534867	2,567558
Determinasyon Katsayısı	η	0,9059	0,9370
Tahminin Standart Hatası	$\sigma_{\mathrm{T}/t}$	3,5993	4,4338
Bağıl Yüzde Hatası	$\bar{\varepsilon}$	14,52	15,5654
Determinasyon katsayısının güvenirlik ölçümü	θ_η	24,7532	37,6413

Çizelge 5.7'de;

$\eta=\sqrt{1-\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{T}_i-\tilde{\mathrm{T}}_i\right)^2/\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{T}_i-\overline{\mathrm{T}}\right)^2}-$ Determinasyon veya Belirleme Katsayısını;

$\sigma_{\mathrm{T}/t}=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{T}_i-\tilde{\mathrm{T}}_i\right)^2/\left(n-m\right)}-$ Tahminin Standart Hatasını;

$m-$ Eğrisel modelin parametrelerinin sayısını (sinüzoidal model için $m=3$);

$\bar{\varepsilon}=\%\,100\cdot\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\left(\mathrm{T}_i-\tilde{\mathrm{T}}_i\right)/\mathrm{T}_i\right|-$ Bağıl Yüzde Hatasını;

$\theta_\eta=\eta\sqrt{n}/\left(1-\eta^2\right)-$ Determinasyon katsayısının güvenirlik ölçümünü;

$\tilde{\mathrm{T}}_i-$ Ampirik Modele göre hesaplanmış değerleri;

$\overline{\mathrm{T}}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\mathrm{T}_i-$ Deneme değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir.

5.3.3. Isı Yayınımının Teorik Metotlarla Hesaplanması

5.3.3.1. Birinci tür sınır koşuluna $T(\infty,t)=T_0$ göre olan '*Katmansal*' metotlar

Her iki deneme topraklarının ısı yayınımının tayini için (4.5) nolu modelin birinci tür sınır koşuluna $T(\infty,t)=T_0$ göre bulunmuş (4.10) nolu çözümündeki sıcaklık dalgalanmasının genliğini ifade eden $\Phi_a(y,b)$ teriminin kullanılması ile elde edilen (4.19)-(4.21) nolu formüllerden yararlanılmıştır.

Hesaplamalar, çizelge 5.5 ve 5.6' deki verileri kullanarak, sırasıyla $[0;0.10]$, $[0.10;0.20]$.... $[0,9;1,0]$ katmanlarının her birisi için yapılmış $[0;1,0]$ katmanı için her iki toprağın ısı yayınımı parametresinin ortalama değeri belirlenmiştir.

Metot-1 Sıcaklık Dalgasının Genliğini İçeren Formül: Isı yayınımının, sıcaklık dalgasının genliğini içeren formülle tayini için, (4.19) nolu formülden yararlanılmıştır. Önce, 1 ve 2 nolu deneme topraklarının Çizelge 5.5 ve 5.6'daki sıcaklık verilerini kullanarak **Çizelge 5.8**' deki değerler bulunmuştur. Sonra ise çizelge 5.8' deki hesaplanmış verileri kullanarak sırasıyla, $[0;0,1]$, $[0,1;0,2]$, …, $[0,9;1,0]$ katmanlarında ısı yayınım parametresinin değerleri (4.19) nolu formül

Çizelge 5. 8. Derinliklere Göre 1 ve 2 Nolu Toprağın Minimum, Maksimum Sıcaklıkları ve Sıcaklık Dalgalarının Genlikleri.

№	Derinlik m	Minimum Sıcaklık $\Phi_{a,\min}(x_i)$		Maksimum Sıcaklık $\Phi_{a,\max}(x_i)$		Sıcaklık Dalgasının Genliği $\Phi_a(x_i)=\frac{\Phi_{a,\max}(x_i)-\Phi_{a,\min}(x_i)}{2}$	
	x_i	1 nolu toprak	2 nolu toprak	1 nolu toprak	2 nolu toprak	1 nolu toprak	2 nolu toprak
1	0,0	14,4	15,7	37,2	47,9	11,40	16,10
2	0,1	17,4	20,4	29,6	37,0	6,10	8,30
3	0,2	18,8	23,0	28,6	33,8	4,90	5,40
4	0,3	19,0	23,7	27,7	32,6	4,35	4,45
5	0,4	19,2	23,7	27,3	32,5	4,05	4,40
6	0,5	19,4	24,0	27,1	32,7	3,85	4,35
7	0,6	19,7	24,2	27,0	32,8	3,65	4,30
8	0,7	20,0	24,4	26,9	32,9	3,45	4,25
9	0,8	20,2	24,4	26,6	32,8	3,20	4,20
10	0,9	20,5	24,1	26,4	32,4	2,95	4,15
11	1,0	21,1	24,0	26,5	32,2	2,70	4,10

yardımıyla hesaplanarak **Çizelge 5.9** ve **5.10**'da gösterilmiştir.

Örneğin; Çizelge 5.8' deki verilerden

$x_1 = 0{,}3\ m$ derinliği için maksimum ve minimum sıcaklıkları;

$$\Phi_{a,\max}(x_1) = 27{,}7\ ^0C \quad \Phi_{a,\min}(x_1) = 19{,}0\ ^0C\ .$$

$x_2 = 0{,}4\ m$ derinliği için maksimum ve minimum sıcaklıkları;

$$\Phi_{a,\max}(x_2) = 27{,}3\ ^0C \quad \Phi_{a,\min}(x_2) = 19{,}2\ ^0C$$

bulunduktan sonra (4.19) formülüne göre toprağın $x_1 = 0{,}3\ m$ ve $x_2 = 0{,}4\ m$ derinliğindeki sıcaklık dalgasının genliklerini

$$\Phi_a(x_1 = 0{,}3\ m) = \frac{1}{2}\left[\Phi_{a,\max}(x_1) - \Phi_{a,\min}(x_1)\right] = \frac{27{,}7 - 19{,}0}{2} = \frac{8{,}7}{2} = 4{,}35\ ^0C$$

$$\Phi_a(x_2 = 0{,}4\,m) = \frac{1}{2}\left[\Phi_{a,\max}(x_2) - \Phi_{a,\min}(x_2)\right] = \frac{27{,}3 - 19{,}2}{2} = \frac{8{,}1}{2} = 4{,}05\ ^0C$$

hesaplayarak (4.19) formülüne göre ısı yayınım değerleri bulunmaktadır.

$$\kappa = \frac{\pi}{24\,saat}\cdot\left[\frac{0{,}4\,m - 0{,}3\,m}{\ln(4{,}35/4{,}05)}\right]^2 = 0{,}00003636\cdot 1{,}958333121\frac{m^2}{san} = 7{,}1207\cdot 10^{-5}\frac{m^2}{san}$$

(4.19 nolu formülde, $\pi \approx 3{,}141593$, $\tau_0 = 24\,saat = 86400\,san$ olarak ele alınmıştır).

Çizelge 5. 9. 1 Nolu Toprağın $[x_i; x_{i+1}]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin (4.19) Nolu Formül İle Hesaplanmış değerleri.

i	x_i	$x_{i+1} - x_i$	$\frac{\Phi_a(x_i)}{\Phi_a(x_{i+1})}$	$\ln\left[\frac{\Phi_a(x_i)}{\Phi_a(x_{i+1})}\right]$	$\kappa_i \cdot 10^{-5}$ m^2/san
1	0,0	0,10	1,8689	0,625325	0,0930
2	0,1	0,10	1,2449	0,219054	0,7578
3	0,2	0,10	1,1264	0,119059	2,5651
4	0,3	0,10	1,0741	0,071459	7,1207
5	0,4	0,10	1,0519	0,050644	14,1770
6	0,5	0,10	1,0548	0,053346	12,7771
7	0,6	0,10	1,0580	0,056353	11,4499
8	0,7	0,10	1,0781	0,075223	6,4258
9	0,8	0,10	1,0847	0,081346	5,4950
10	0,9	0,10	1,0926	0,088553	4,6369
11	1,0			**Ortalama**	**6,5498**

Çizelge 5. 10. 2 Nolu Toprağın $[x_i ; x_{i+1}]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin (4.19) Nolu Formül İle Hesaplanmış değerleri

i	x_i	$x_{i+1} - x_i$	$\frac{\Phi_a(x_i)}{\Phi_a(x_{i+1})}$	$\ln\left[\frac{\Phi_a(x_i)}{\Phi_a(x_{i+1})}\right]$	$\kappa_i \cdot 10^{-5}$ m^2 / san
1	0,0	0,10	1,9398	0,662564	0,0828
2	0,1	0,10	1,5370	0,429857	0,1968
3	0,2	0,10	1,2135	0,193495	0,9712
4	0,3	0,10	1,0114	0,011300	284,7826
5	0,4	0,10	1,0115	0,011429	278,3830
6	0,5	0,10	1,0116	0,011561	272,0562
7	0,6	0,10	1,0118	0,011696	265,8021
8	0,7	0,10	1,0119	0,011834	259,6208
9	0,8	0,10	1,0120	0,011976	253,5121
10	0,9	0,10	1,0122	0,012121	247,4762
11	1,0			**Ortalama**	**186,2884**

Sıcaklık Dalgasının Genliğini İçeren Formüle göre 1 ve 2 nolu toprakların ısı yayınım parametresinin ortalama değerleri sırasıyla aşağıdaki biçimde bulunmuştur:

$$\kappa_{ort} = 6{,}5498 \cdot 10^{-5}\ m^2 / san$$

$$\kappa_{ort} = 186{,}2884 \cdot 10^{-5}\ m^2 / san$$

Metot- 2 Arktanjant İçeren Formül: Isı yayınımının, arktanjant içeren formülle tayini için, (4.20) nolu formülden yararlanılmıştır.

Önce, 1 ve 2 nolu deneme topraklarının Çizelge 5.5 ve 5.6'daki sıcaklık verilerinin zamanın $t_i = i \cdot \tau_0 / 4 \quad (i = 1,2,3,4)$ (örneğin, $\tau_0 = 24$ saat için, **t_1=5, t_2=11, t_3=17** ve **t_4=23** saat) anlarına karşılık gelenlerden **Çizelge 5.11** ve **5.12** oluşturulmuştur.

Çizelge 5.11. Derinliklere Göre 1 Nolu Toprağın 5, 11, 17 ve 23 Saat Anlarındaki Sıcaklık Değerleri.

t	**Derinlik, m**										
saat	**x_1=0**	**x_2=0.1**	**x_3=0.2**	**x_4=0.3**	**x_5=0.4**	**x_6=0.5**	**x_7=0.6**	**x_8=0.7**	**x_9=0.8**	**x_{10}=0.9**	**x_{11}=1,0**
5	15,1	19,3	20,5	20,9	21,0	21,1	21,1	22,0	22,9	23,0	23,0
11	32,7	22,3	22,3	21,9	22,1	22,4	22,6	22,8	22,7	22,3	22,0
17	29,0	29,6	28,5	27,7	27,3	27,1	26,9	26,8	26,3	26,1	26,0
23	17,6	23,1	24,5	24,4	24,1	24,0	24,0	24,2	24,7	24,8	24,8

Çizelge 5.12. Derinliklere Göre 2 Nolu Toprağın 5, 11, 17 ve 23 Saat Anlarındaki Sıcaklık Değerleri.

t	**Derinlik, m**										
saat	**x_1=0**	**x_2=0.1**	**x_3=0.2**	**x_4=0.3**	**x_5=0.4**	**x_6=0.5**	**x_7=0.6**	**x_8=0.7**	**x_9=0.8**	**x_{10}=0.9**	**x_{11}=1,0**
5	15,8	21,9	24,7	25,5	25,5	25,7	26,1	26,2	26,0	25,7	25,5
11	42,1	25,3	26,0	26,6	26,6	27,2	27,7	27,7	27,5	26,6	26,0
17	34,7	37,0	33,4	32,3	31,8	31,8	32,4	32,8	32,6	32,1	29,9
23	19,6	29,3	30,7	30,0	29,6	29,6	30,1	30,2	30,1	29,9	29,8

Sonra ise, Çizelge 5.11 ve 5.12'deki verileri kullanarak sırasıyla ve ayrı ayrı $[0;0,1],[0,1;0,2],\ldots,[0,9;1,0]$ katmanlarında ısı yayınım parametresinin değerleri (4.20) nolu formül yardımıyla hesaplanıp, ortalama değerler bulunarak sonuçlar **Çizelge 5.14** ve **5.15'**de gösterilmiştir.

Hesaplama **Çizelge 5.13**'deki ardışıklıkla yapılmaktadır. Sıcaklık verilerinin zamanın t_1=5, t_2=11, t_3=17 ve t_4=23 saat anlarına karşılık gelen değerlerini içeren (4.20) formülüne göre 1 ve 2 nolu toprakların ısı yayınım parametresinin ortalama değerleri sırasıyla aşağıdaki biçimde bulunmuştur:

$$\kappa_{ort} = 2{,}9746 \cdot 10^{-5}\ m^2 / san$$
$$\kappa_{ort} = 21{,}4137 \cdot 10^{-5}\ m^2 / san$$

Çizelge 5. 13. 1 Nolu Toprağın $[x_i\,;\,x_{i+1}]$ Derinliklerindeki ve $[0;1]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot-2 İle Bulunması.

		5	**11**	**17**	**23**			
i	x_i	$T_1(x_i)$	$T_2(x_i)$	$T_3(x_i)$	$T_4(x_i)$	$T_1 - T_3$	$T_2 - T_4$	$\dfrac{T_2(x_{i+1}) - T_4(x_{i+1})}{T_1(x_i) - T_3(x_i)}$
1	0	15,1	32,7	29,0	17,6	-13,9	15,1	-1,086331
2	0,1	19,3	22,3	29,6	23,1	-10,3	-0,8	0,077670
3	0,2	20,5	22,3	28,5	24,5	-8,0	-2,2	0,275000
4	0,3	20,9	21,9	27,7	24,4	-6,8	-2,5	0,367647
5	0,4	21,0	22,1	27,3	24,1	-6,3	-2,0	0,317460
6	0,5	21,1	22,4	27,1	24,0	-6,0	-1,6	0,266667
7	0,6	21,1	22,6	26,9	24,0	-5,8	-1,4	0,241379
8	0,7	22,0	22,8	26,8	24,2	-4,8	-1,4	0,291667
9	0,8	22,9	22,7	26,3	24,7	-3,4	-2,0	0,588235
10	0,9	23,0	22,3	26,2	24,9	-3,2	-2,6	0,812500
11	1	23,0	22,0	26,1	25,0	-3,1	-3,0	0,967742

Çizelge 5. 14. 1 Nolu Toprağın Farklı $\left[x_i\,;\,x_{i+1}\right]$ Derinliklerindeki ve $\left[0;1\right]$ katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot*2 ile bulunması

i	x_i	$x_{i+1}-x_i$	$\mathrm{T}_1(x_i)-\mathrm{T}_3(x_i)$	$\mathrm{T}_2(x_i)-\mathrm{T}_4(x_i)$	$\left[\mathrm{T}_1(x_i)-\mathrm{T}_3(x_i)\right]^2+\left[\mathrm{T}_2(x_i)-\mathrm{T}_4(x_i)\right]^2$	$\dfrac{\left[\mathrm{T}_1(x_i)-\mathrm{T}_3(x_i)\right]^2+\left[\mathrm{T}_2(x_i)-\mathrm{T}_4(x_i)\right]^2}{\left[\mathrm{T}_1(x_{i+1})-\mathrm{T}_3(x_{i+1})\right]^2+\left[\mathrm{T}_2(x_{i+1})-\mathrm{T}_4(x_{i+1})\right]^2}$	κ_i
1	0,0	0,1	*13,9	15,1	193,21	228,01	
2	0,1	0,1	*10,3	*0,8	106,09	0,64	
3	0,2	0,1	*8,0	*2,2	64,00	4,84	
4	0,3	0,1	*6,8	*2,5	46,24	6,25	
5	0,4	0,1	*6,3	*2,0	39,69	4,00	
6	0,5	0,1	*6,0	*1,6	36,00	2,56	
7	0,6	0,1	*5,8	*1,4	33,64	1,96	
8	0,7	0,1	*4,8	*1,4	23,04	1,96	
9	0,8	0,1	*3,4	*2,0	11,56	4,00	
10	0,9	0,1	*3,2	*2,6	10,24	6,76	
11	1,0						
Ortalama $\kappa_{ort}\cdot 10^{-5}$ **,** m^2/san							**2,9746**

Çizelge 5. 15. 2 Nolu Toprağın Farklı $\left[x_i \, ; \, x_{i+1} \right]$ Derinliklerindeki ve $\left[0 ; 1 \right]$ katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot*2 ile bulunması

i	$x_{i+1} - x_i$	$\frac{T''_2 - T''_4}{T''_1 - T''_3} - \frac{T'_2 - T'_4}{T'_1 - T'_3}$	$\frac{T''_2 - T''_4}{T''_1 - T''_3} \cdot \frac{T'_2 - T'_4}{T'_1 - T'_3}$	$\mathbf{arctg} \frac{\frac{T''_2 - T''_4}{T''_1 - T''_3} - \frac{T'_2 - T'_4}{T'_1 - T'_3}}{1 + \left(\frac{T''_2 - T''_4}{T''_1 - T''_3} \right) \cdot \left(\frac{T'_2 - T'_4}{T'_1 - T'_3} \right)}$	$\frac{\left(x_{i+1} - x_i \right)^2}{\arctan^2 \frac{\frac{T''_2 - T''_4}{T''_1 - T''_3} - \frac{T'_2 - T'_4}{T'_1 - T'_3}}{1 + \left(\frac{T''_2 - T''_4}{T''_1 - T''_3} \right) \cdot \left(\frac{T'_2 - T'_4}{T'_1 - T'_3} \right)}}$	κ_i
1	0,1	1,455377	*0,315358	1,131089	0,007816	2,84212E*07
2	0,1	0,275329	0,143107	0,236358	0,179002	6,5087E*06
3	0,1	*0,040230	0,270115	3,109929	0,001034	3,75954E*08
4	0,1	*0,023810	0,238095	3,122364	0,001026	3,72966E*08
5	0,1	*0,082748	0,187354	3,072014	0,001060	3,85292E*08
6	0,1	*0,012490	0,149883	3,130731	0,001020	3,70975E*08
7	0,1	*0,002165	0,144300	3,139701	0,001014	3,68858E*08
8	0,1	0,015152	0,149219	0,013183	57,536593	0,00209209
9	0,1	0,121686	0,203125	0,100799	0,984219	3,57872E*05
10	0,1	0,348011	0,445313	0,236288	0,179108	6,51256E*06
Ortalama $\kappa_{ort} \cdot 10^{-5}$, m^2 / san						**21,4137**

Metot- 3 (Logaritma İçeren Formül): Isı yayınımının, logaritma içeren formülle tayini için, (4.21) nolu formülden yararlanılmıştır.

Arktanjant içeren formül (Metot-2) için yukarıda yapılan hesaplama varsayımı ve Çizelge 5.11, 5.12 verileri kullanılarak, 1 ve 2 nolu deneme topraklarının logaritma içeren formül için ısı yayınım parametrelerinin değerleri bulunmuştur. Hesaplama sonuçları **Çizelge 5.16** ve **5.17'**de gösterilmiştir.

Sıcaklık verilerinin zamanın t_1=5, t_2=11, t_3=17 ve t_4=23 saat anlarına karşılık gelen değerlerini içeren Logaritmalı (4.21) nolu formülüne göre 1 ve 2 nolu toprakların ısı yayınım parametresinin ortalama değerleri sırasıyla aşağıdaki biçimde bulunmuştur:

$$\kappa_{ort} = 7{,}7394 \cdot 10^{-5} \ \ m^2 / san$$

$$\kappa_{ort} = 164{,}3067 \cdot 10^{-5} \ m^2 / san$$

Çizelge 5. 16. 1 Nolu Toprağın Farklı $[x_i\,;\,x_{i+1}]$ Derinliklerindeki ve $[0;1]$ katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot*3 ile bulunması

i	x_i	$x_{i+1}-x_i$	$T_1(x_i)-T_3(x_i)$	$T_2(x_i)-T_4(x_i)$	$\left[T_1(x_i)-T_3(x_i)\right]^2+\left[T_2(x_i)-T_4(x_i)\right]^2$	$\dfrac{\left[T_1(x_i)-T_3(x_i)\right]^2+\left[T_2(x_i)-T_4(x_i)\right]^2}{\left[T_1(x_{i+1})-T_3(x_{i+1})\right]^2+\left[T_2(x_{i+1})-T_4(x_{i+1})\right]^2}$	$\kappa_i\cdot 10^{-5}$
1	0	0,1	*13,9	15,1	421,22	3,946594	0,0772
2	0,1	0,1	*10,3	*0,8	106,73	1,550407	0,7563
3	0,2	0,1	*8,0	*2,2	68,84	1,311488	1,9781
4	0,3	0,1	*6,8	*2,5	52,49	1,201419	4,3192
5	0,4	0,1	*6,3	*2,0	43,69	1,133039	9,3228
6	0,5	0,1	*6,0	*1,6	38,56	1,083146	22,7998
7	0,6	0,1	*5,8	*1,4	35,60	1,424000	1,1641
8	0,7	0,1	*4,8	*1,4	25,00	1,606684	0,6469
9	0,8	0,1	*3,4	*2,0	15,56	0,915294	18,5658
10	0,9	0,1	*3,2	*2,6	17,00	0,913487	17,7638
11	1	*3,1	*3,1	*3,0	18,61		
Ortalama $\kappa_{ort}\cdot 10^{-5}$, m^2/san							**7,7394**

Çizelge 5. 17. 1 Nolu Toprağın Farklı $[x_i\,;\,x_{i+1}]$ Derinliklerindeki ve $[0;1]$ katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot*3 ile bulunması

i	x_i	$x_{i+1}-x_i$	$T_1(x_i)-T_3(x_i)$	$T_2(x_i)-T_4(x_i)$	$\left[T_1(x_i)-T_3(x_i)\right]^2+\left[T_2(x_i)-T_4(x_i)\right]^2$	$\dfrac{\left[T_1(x_i)-T_3(x_i)\right]^2+\left[T_2(x_i)-T_4(x_i)\right]^2}{\left[T_1(x_{i+1})-T_3(x_{i+1})\right]^2+\left[T_2(x_{i+1})-T_4(x_{i+1})\right]^2}$	$\kappa_i\cdot10^{-5}$
1	0	0,1	*18,9	22,5	863,46	3,538625	0,0911
2	0,1	0,1	*15,1	*4,0	244,01	2,495500	0,1739
3	0,2	0,1	*8,7	*4,7	97,78	1,691696	0,5262
4	0,3	0,1	*6,8	*3,4	57,80	1,187102	4,9441
5	0,4	0,1	*6,3	*3,0	48,69	1,133116	9,3127
6	0,5	0,1	*6,1	*2,4	42,97	0,945435	46,1962
7	0,6	0,1	*6,3	*2,4	45,45	0,912467	17,3331
8	0,7	0,1	*6,6	*2,5	49,81	0,989865	1401,5762
9	0,8	0,1	*6,6	*2,6	50,32	0,970492	162,1194
10	0,9	0,1	*6,4	*3,3	51,85	1,534024	0,7944
11	1	*3,1	*4,4	*3,8	33,80		
Ortalama $\kappa_{ort}\cdot10^{-5}$, m^2/san							**164,3067**

Metot-4 Sıcaklık Dalgasının Fazını İçeren Formül: Toprağın ısısal yayınım parametresinin hesaplanılmasında kullanılabilecek diğer bir yaklaşım ise, toprağın iki farklı derinliğinde maksimum sıcaklığın gözlenmesi için gerekli zaman farkının ölçülmesine dayanır. Bu yöntemle her iki toprak için iyi bir sonuç alınamamıştır.

5.3.3.2. '*Noktasal*' Metotlar.

Metot- 5 (Mikayilov, 2009). Birinci tür sınır koşuluna $(\mathrm{T}(\infty,t)=\mathrm{T}_0)$ **bağlı '*Noktasal*' metot.**

Her iki deneme topraklarının ısı yayınımının tayini için (4.5) nolu modelin (4.6)-(4.7) sınır koşullarına bağlı olarak bulunmuş aşağıdaki çözümün (Carslaw ve Jaeger, 1959):

$$\mathrm{T}(y,\tau)=\mathrm{T}_0+\mathrm{T}_a e^{-by}\cdot\cos(\varpi\tau+\varepsilon-by) \tag{5.5}$$

$t_i=i\cdot\tau_0/4\ (i=1,2,3,4)$ (örneğin, $\tau_0=24$ saat için, **t_1=6, t_2=12, t_3=18** ve **t_4=24** saat) anlarındaki $\mathrm{T}(y,t_i)$ sıcaklık değerlerini ve toprak yüzeyinin hava bölgesinin sıcaklık genliğini (T_a) kullanarak, ısı yayınım parametresinin hesaplanması için geliştirilmiş (Mikayilov, 2009)

$$\frac{\left[\mathrm{T}(y,t_3)-\mathrm{T}(y,t_1)\right]^2+\left[\mathrm{T}(y,t_4)-\mathrm{T}(y,t_2)\right]^2}{4\mathrm{T}_a^2}=\mathbf{M}_1(y;b) \tag{5.6}$$

$$\mathbf{M}_1(y;b)=e^{-2by} \tag{5.7}$$

formülünün yardımıyla $y=y_i$ $(i=1,2,...,10)$ derinliklerinin her biri ve $[0,1;1,0]$ katmanı için ısı yayınım parametresinin ortalama değerleri bulunmuştur.

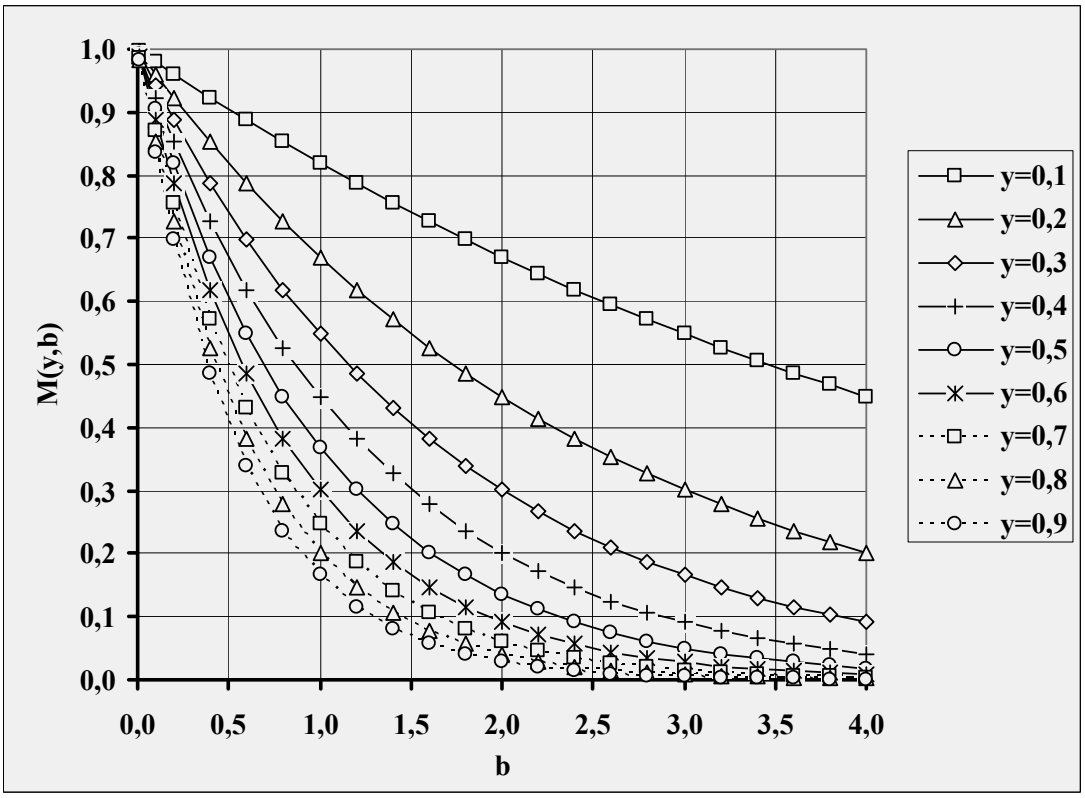
Çizelge 5.11 ve 5.12'deki verileri ve toprak yüzeyinin hava bölgesinin sıcaklık genliklerinin değerlerini (5.3) ve (5.4) formüllerinden kullanılarak (1 nolu toprak için $\mathrm{T}_a=10{,}186862$, 2 nolu toprak için: $\mathrm{T}_a=15{,}738139$), önce **t_1=5, t_2=11, t_3=17** ve **t_4=23** saat anlarındaki sıcaklık değerlerini kullanarak her bir $x=x_i$ derinlik için (5.6) formülüne göre $\mathbf{M}_1(y_i;b)$'in değerleri hesaplanır. Daha sonra, (5.7) eşitliğinden elde edilen:

$$\mathbf{M}_1(y;b)=e^{-2by}\ \Leftrightarrow\ b=\frac{1}{2y}\ln\frac{1}{\mathbf{M}_1(y;b)} \tag{5.8}$$

formülünden veya **Şekil 5.3**'den her bir y_i için b_i parametresinin değerleri bulunur. Sonuçta ise bu değerleri kullanarak aşağıdaki formülü (Mikayilov, 2009)'e göre:

$$\kappa_i = \frac{\pi}{\tau_0} \cdot \frac{L^2}{b_i^2} \tag{5.9}$$

ısı yayınım parametresinin değerleri her iki toprak için hesaplanmış ve onların ortalama değerleri bulunmuştur. Hesaplama sonuçları **Çizelge 5.18** ve **5.19'**de verilmiştir.



Şekil 5.3 Birinci Tür Sınır Koşuluna $\mathbf{T(\infty, t)=T_0}$ Karşılık Gelen $\mathbf{M_1(y.b)}$ Fonksiyonu

Çizelge 5. 18. 1 Nolu Toprağın Farklı $y = y_i$ Derinliklerindeki ve $[0{,}1;\ 1{,}0]$ katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot*5 ile bulunması, $T_a = 10{,}186862$, $L = 1{,}0$ m.

$T(y_i, t_i)$	t_i, **saat**	Derinlikler, $y = x / L$									
		y_2=0.1	**y_3=0.2**	**y_4=0.3**	**y_5=0.4**	**y_6=0.5**	**y_7=0.6**	**y_8=0.7**	**y_9=0.8**	**y_{10}=0.9**	**y_{11}=1,0**
$T(y_i, t_1)$	$t_1 = 5$	19,3	20,5	20,9	21,0	21,1	21,1	22,0	22,9	23,0	23,0
$T(y_i, t_2)$	$t_2 = 11$	22,3	22,3	21,9	22,1	22,4	22,6	22,8	22,7	22,3	22,0
$T(y_i, t_3)$	$t_3 = 17$	29,6	28,5	27,7	27,3	27,1	26,9	26,8	26,3	26,2	26,1
$T(y_i, t_4)$	$t_4 = 23$	23,1	24,5	24,4	24,1	24,0	24,0	24,2	24,7	24,9	25,0
$M(y_i, b)$		0,2571	0,1658	0,1265	0,1053	0,0929	0,0858	0,0602	0,0375	0,0410	0,0448
b_i		6,7909	4,4918	3,4464	2,8142	2,3763	2,0468	2,0069	2,0524	1,7752	1,5524
$\kappa_i \cdot 10^{-6}$	m^2 / san	0,7885	1,8022	3,0612	4,5911	6,4394	8,6794	9,0281	8,6323	11,5389	15,0880
										$\kappa_{ort} \cdot 10^{-6}\ m^2 / san$	**6,9649**

Çizelge 5. 19. 2 Nolu Toprağın Farklı $y = y_i$ Derinliklerindeki ve $[0{,}1;\ 1{,}0]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot*5 ile Bulunması, $T_a = 15,738139$, $L = 1,0\ m$.

$T(y_i, t_i)$	t_i, **saat**	Derinlikler, $y = x / L$									
		y_2=0.1	**y_3=0.2**	**y_4=0.3**	**y_5=0.4**	**y_6=0.5**	**y_7=0.6**	**y_8=0.7**	**y_9=0.8**	**y_{10}=0.9**	**y_{11}=1,0**
$T(y_i, t_1)$	$t_1 = 5$	21,9	24,7	25,5	25,5	25,7	26,1	26,2	26,0	25,7	25,5
$T(y_i, t_2)$	$t_2 = 11$	25,3	26,0	26,6	26,6	27,2	27,7	27,7	27,5	26,6	26,0
$T(y_i, t_3)$	$t_3 = 17$	37,0	33,4	32,3	31,8	31,8	32,4	32,8	32,6	32,1	29,9
$T(y_i, t_4)$	$t_4 = 23$	29,3	30,7	30,0	29,6	29,6	30,1	30,2	30,1	29,9	29,8
$M_1(y_i, b)$		0,2463	0,0987	0,0583	0,0491	0,0434	0,0459	0,0503	0,0508	0,0523	0,0341
b_i		7,0063	5,7894	4,7358	3,7662	3,1380	2,5682	2,1359	1,8625	1,6390	1,6890
$\kappa_i \cdot 10^{-6}\ m^2 / san$		0,7407	1,0849	1,6212	2,5634	3,6927	5,5128	7,9703	10,4815	13,5364	12,7460
										$\kappa_{ort} \cdot 10^{-6}\ m^2 / san$	**5,99950**

Metot- 6 (Mikayilov, 2009). İkinci tür sınır koşuluna $(\partial \mathrm{T}(L,t)/\partial x = 0)$ **göre olan '*Noktasal*' metot.**

Her iki deneme topraklarının ısı yayınımının tayini için (4.5) nolu modelin (4.6) ve (4.9) sınır koşullarına bağlı olarak bulunmuş

$$\mathrm{T}(y,\tau) = \mathrm{T}_0 + \Phi_a(y,b)\cdot\cos\left[\bar{\omega}\tau + \varepsilon - \psi(y,b)\right] \tag{5.10}$$

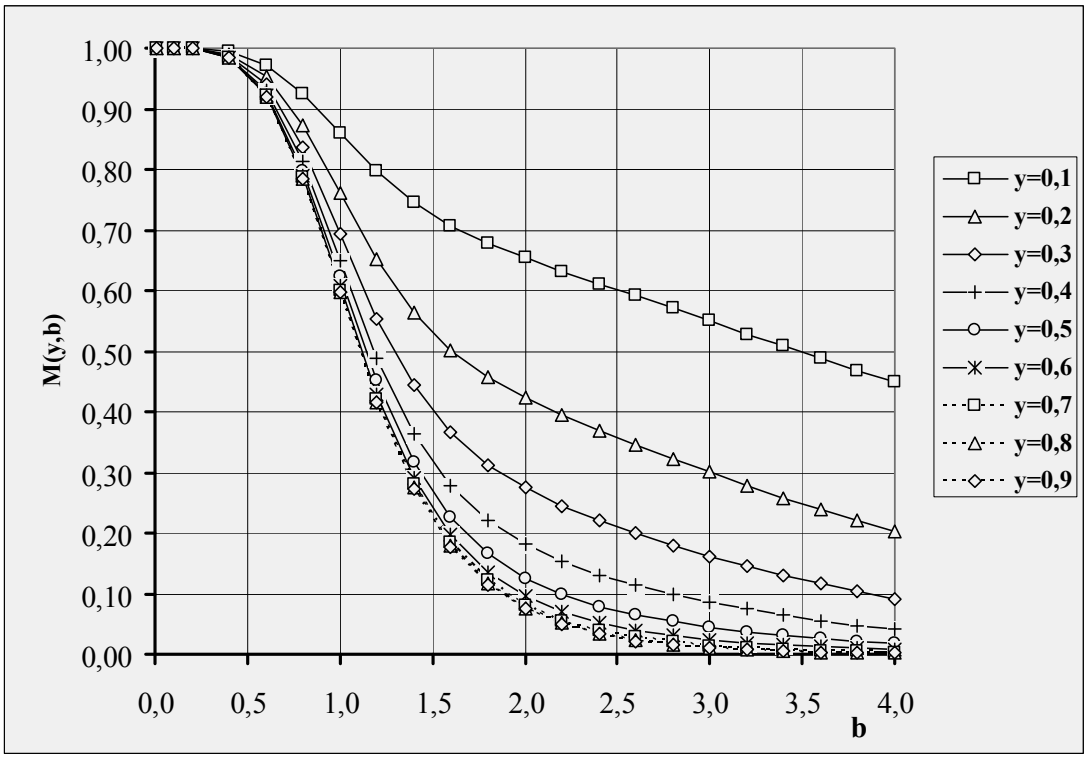
çözümünün (Mikayilov, 2010) $t_i = i\cdot\tau_0/4\ (i=1,2,3,4)$ (örneğin, $\tau_0 = 24$ saat için, **t_1=6, t_2=12, t_3=18** ve **t_4=24** saat) anlarındaki sıcaklık değerlerini $\mathrm{T}(y,t_i)$, toprak yüzeyinin hava bölgesinin sıcaklık genliğinin (T_a) ve sıcaklık dalgalanmasının genliğini ifade eden $\Phi_a(y,b)$ teriminin kullanılması ile elde edilen ifadeni kullanarak, ısı yayınım parametresinin hesaplanması için geliştirilmiş (Mikayilov, 2009)

$$\frac{\left[\mathrm{T}(y,t_3)-\mathrm{T}(y,t_1)\right]^2+\left[\mathrm{T}(y,t_4)-\mathrm{T}(y,t_2)\right]^2}{4\mathrm{T}_a^2} = \mathbf{M}_2(y;b) \tag{5.11}$$

$$\mathbf{M}_2(y;b) = \frac{\mathbf{ch}\left[2b(1-y)\right]+\cos\left[2b(1-y)\right]}{\mathbf{ch}(2b)+\cos(2b)} \tag{5.12}$$

formülün yardımıyla $y = y_i$ $(i = 1,2,...,10)$ derinliklerinin her biri ve $[0,1;1,0]$ katmanı için ısı yayınım parametresinin ortalama değerleri bulunmuştur.

Çizelge 5.11 ve 5.12'deki verileri ve toprak yüzeyinin hava bölgesinin sıcaklık genliklerinin değerlerini (5.3) ve (5.4) formüllerinden kullanılarak (1 nolu toprak için $\mathrm{T}_a = 10{,}186862$, 2 nolu toprak için: $\mathrm{T}_a = 15{,}738139$), önce **t_1=5, t_2=11, t_3=17** ve **t_4=23** saat anlarındaki sıcaklık değerlerine göre her bir $x = x_i$ derinlik için (5.11) formülüne göre $\mathbf{M}_2(y_i;b)$'in değerleri hesaplanır. Daha sonra, (5.12) eşitliğinden simulasyon yöntemiyle veya **Şekil 5.4'**den her bir y_i için b_i parametresinin değerleri bulunur. Sonuçta ise bu değerleri kullanarak (5.9) formülünden ısı yayınım parametresinin değerleri her iki toprak için hesaplanmış ve ortalama değerleri bulunmuştur. Hesaplama sonuçları **Çizelge 5.20** ve **5.21'**de verilmiştir.



Şekil 5.4. İkinci Tür Sınır Koşuluna ∂**T(L, *t*)/∂x=0**Karşılık Gelen **M_2(y.b)** Fonksiyonu

Çizelge 5. 20. 1 Nolu Toprağın Farklı $y = y_i$ Derinliklerindeki ve $[0{,}1;\ 1{,}0]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot*6 ile Bulunması, $T_a = 10{,}186862$, $L = 1{,}0\ m$.

$T(y_i, t_i)$	t_i, *saat*	Derinlikler, $y = x / L$									
		y_2=0.1	**y_3=0.2**	**y_4=0.3**	**y_5=0.4**	**y_6=0.5**	**y_7=0.6**	**y_8=0.7**	**y_9=0.8**	**y_{10}=0.9**	**y_{11}=1,0**
$T(y_i, t_1)$	$t_1 = 5$	19,3	20,5	20,9	21,0	21,1	21,1	22,0	22,9	23,0	23,0
$T(y_i, t_2)$	$t_2 = 11$	22,3	22,3	21,9	22,1	22,4	22,6	22,8	22,7	22,3	22,0
$T(y_i, t_3)$	$t_3 = 17$	29,6	28,5	27,7	27,3	27,1	26,9	26,8	26,3	26,2	26,1
$T(y_i, t_4)$	$t_4 = 23$	23,1	24,5	24,4	24,1	24,0	24,0	24,2	24,7	24,9	25,0
$M_2(y_i, b)$		0,2571	0,1658	0,1265	0,1053	0,0929	0,0858	0,0602	0,0375	0,0410	0,0448
b_i		6,7910	4,4946	3,4468	2,7088	2,2514	2,0658	2,1585	2,3511	2,2929	2,2479
$\kappa_i \cdot 10^{-6}\ m^2 / san$		0,7884	1,7999	3,0606	4,9553	7,1737	8,5201	7,8040	6,5778	6,9159	7,1960
Ortalama $\kappa_{ort} \cdot 10^{-6}\ m^2 / san$											**5,4792**

Çizelge 5. 21. 2 Nolu Toprağın Farklı $y = y_i$ Derinliklerindeki ve $[0{,}1;\ 1{,}0]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerlerinin Metot*6 ile bulunması, $T_a = 15,738139$, $L = 1{,}0\ m$.

$T(y_i, t_i)$	t_i, **saat**	Derinlikler, $y = x / L$									
		y_2=0.1	**y_3=0.2**	**y_4=0.3**	**y_5=0.4**	**y_6=0.5**	**y_7=0.6**	**y_8=0.7**	**y_9=0.8**	**y_{10}=0.9**	**y_{11}=1,0**
$T(y_i, t_1)$	$t_1 = 5$	21,9	24,7	25,5	25,5	25,7	26,1	26,2	26,0	25,7	25,5
$T(y_i, t_2)$	$t_2 = 11$	25,3	26,0	26,6	26,6	27,2	27,7	27,7	27,5	26,6	26,0
$T(y_i, t_3)$	$t_3 = 17$	37,0	33,4	32,3	31,8	31,8	32,4	32,8	32,6	32,1	29,9
$T(y_i, t_4)$	$t_4 = 23$	29,3	30,7	30,0	29,6	29,6	30,1	30,2	30,1	29,9	29,8
$M_2(y_i, b)$		0,5879	0,2356	0,1392	0,1173	0,1035	0,1095	0,1200	0,1212	0,1249	0,0814
b_i		2,6318	3,6258	3,2772	2,5538	2,1566	1,9202	1,8055	1,7798	1,7613	1,9612
$\kappa_i \cdot 10^{-6}\ m^2 / san$		5,2496	2,7658	3,3855	5,5752	7,8180	9,8611	11,1540	11,4789	11,7216	9,4533
Ortalama $\kappa_{ort} \cdot 10^{-6}\ m^2 / san$											**7,8463**

5.3.3.3. '*Ortalama İntegral*' metotlar.

Yapılan araştırmalarda (Mikayilov, 1985, 1986, 2003, 2007 ve 2010) ısı ve kütle taşınım modellerinin parametrelerinin belirlenmesi için geliştirilen matematik metotlarda, toprağın herhangi bir $x = x_0$ derinliğinde olan verilerin, toprağın $[0, R]$ katmanında olan ortalama verilerine göre, istatistik olarak daha büyük varyasyonla belirlenmesidir.

Bu nedenle, her iki toprağın ısı yayınım parametresi ortalama integral yöntemiyle hesaplanmıştır.

Metot- 7. (Mikayilov, 2009). Birinci tür sınır koşuluna $(\mathrm{T}(\infty, t) = \mathrm{T}_0)$ **göre olan 'Ortalama İntegral' metot.**

(4.5) nolu denklemin (4.6)-(4.7) sınır koşullarına bağlı olarak bulunmuş (4.11) nolu ortalama integral çözümü (Mikayilov, 2009, 2010) yani

$$\overline{\mathrm{T}}(\tau, b) = \int_0^1 \mathrm{T}(y, \tau)\, dy = \mathrm{T}_0 + \mathrm{M}_a(b) \cdot \cos\left[\overline{\omega}\tau + \varepsilon - \hat{\psi}(b)\right] \tag{5.13}$$

toprağın $[0;1,0]$ katmanının $t_i = i \cdot \tau_0 / 4 \; (i = 1,2,3,4)$ (örneğin, $\tau_0 = 24$ saat için, **t_1=6, t_2=12, t_3=18** ve **t_4=24** saat) anlarındaki sıcaklık değerlerini $\overline{\mathrm{T}}(t_i)$, toprak yüzeyinin hava bölgesinin sıcaklık genliğini (T_a) ve sıcaklık dalgalanmasının genliğini ifade eden $\mathrm{M}_a(b)$ temrinin kullanılması ile elde edilen ifadeni kullanarak, ısı yayınım parametresinin hesaplanması için geliştirilmiş (Mikayilov, 2009)

$$\frac{\left[\overline{\mathrm{T}}(t_3) - \overline{\mathrm{T}}(t_1)\right]^2 + \left[\overline{\mathrm{T}}(t_4) - \overline{\mathrm{T}}(t_2)\right]^2}{4\mathrm{T}_a^2} = \boldsymbol{\Omega}_1(b) \tag{5.14}$$

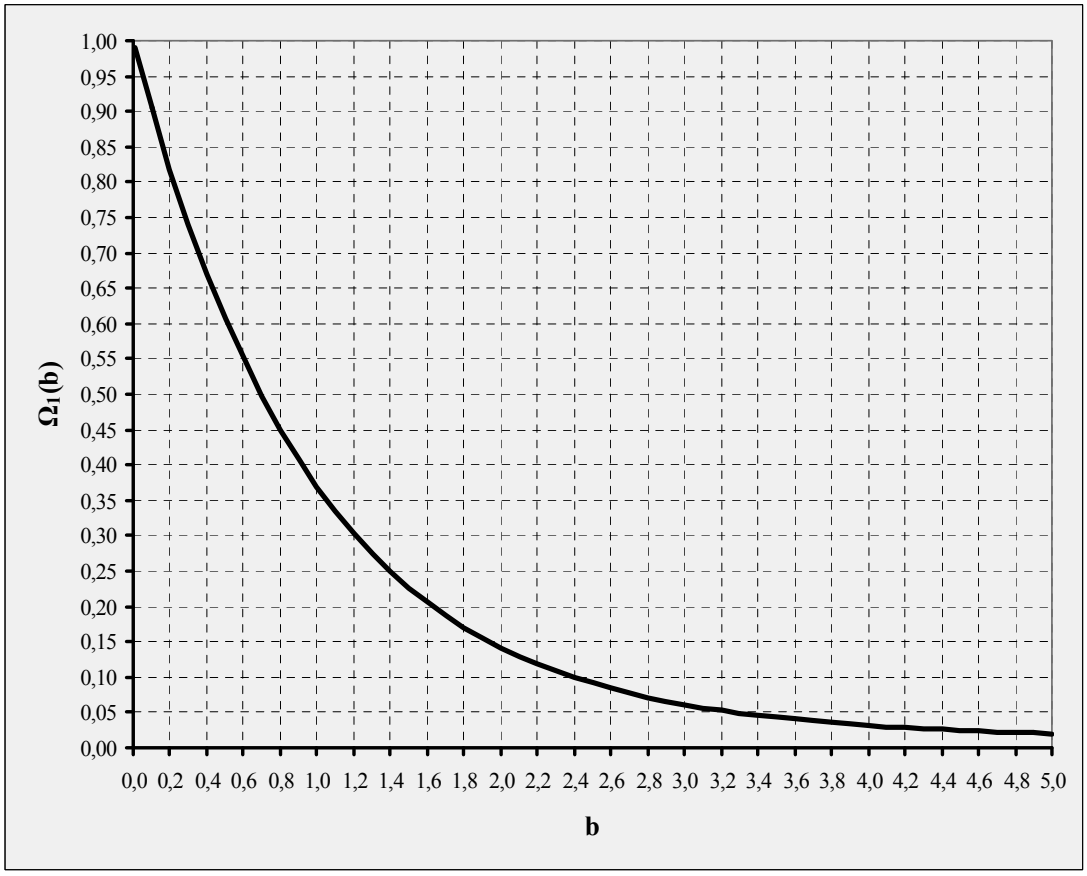
$$\boldsymbol{\Omega}_1(b) = \frac{\mathbf{ch}(b) - \cos(b)}{b^2 e^b} \tag{5.15}$$

formüllerinde yardımıyla $[0,1;1,0]$ katmanı için ısı yayınım parametresinin ortalama değerleri bulunmuştur.

Önce her iki toprak için, **Çizelge 5.5 ve 5.6**'daki veriler yardımıyla $[0;1,0]$ katmanı için sıcaklığın ortalama değerleri bulunduktan sonra toprak yüzey hava bölgesinin sıcaklık genliklerinin $(\mathrm{T}_a = 10{,}186862$, $\mathrm{T}_a = 15{,}738139)$ ve **t_6=5, t_{12}=11, t_{18}=17** ve **t_{24}=23** saat anlarındaki ortalama sıcaklık değerlerini kullanarak

$\overline{\mathrm{T}}(t_{18})-\overline{\mathrm{T}}(t_6)$ ve $\overline{\mathrm{T}}(t_{24})-\overline{\mathrm{T}}(t_{12})$ farkları bulunur ve (5.14) formülünde yazarak $\boldsymbol{\Omega}_1(b)$'in değerleri hesaplanır.

Daha sonra, simülasyon yöntemiyle (5.15) formülünden veya bu formüle göre oluşturulmuş nomogram'dan (**Şekil 5.5**) $\boldsymbol{\Omega}_1(b)$' e karşılık gelen $b=b^*$ parametresinin sayısal değeri bulunur. Sonuç olarak ise bu değeri (5.9) nolu eşitlikte yazarak ısı yayınım parametresinin değeri hesaplanır. Hesaplama sonuçları **Çizelge 5.22**'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Birinci Tür Sınır Koşuluna $\mathbf{T(\infty, \mathit{t})=T_0}$ Karşılık Gelen $\boldsymbol{\Omega_1(y.b)}$ Fonksiyonu

Çizelge 5. 22. 1 ve 2 Nolu Toprakların $[0;1{,}0]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Değerinin Metot-7 İle Bulunması

i	t_i	Toprak 1	Toprak 2
		$\overline{T}(t_i)$	$\overline{T}(t_i)$
	saat	0-1 m	
1	0	24,7364	28,7182
2	1	24,0000	27,7364
3	2	23,2909	26,8545
4	3	22,4727	25,9727
5	4	21,6909	25,1091
6	5	20,9000	24,4182
7	6	20,1727	23,7182
8	7	19,5091	23,2000
9	8	19,3182	23,2182
10	9	20,4000	24,5273
11	10	21,5727	26,4091
12	11	23,2818	28,1182
13	12	24,6091	29,6000
14	13	25,7818	30,7727
15	14	26,6273	31,7909
16	15	27,2636	32,7182
17	16	27,6000	33,4727
18	17	27,4091	32,8000
19	18	27,1364	32,8273
20	19	26,7364	32,5364
21	20	26,0636	31,7273
22	21	25,2545	30,8636
23	22	24,4273	29,9545
24	23	23,6818	28,9909
T_a		10,186862	15,738139
$\overline{T}(t_{18})-\overline{T}(t_6)$		6,5091	8,3818
$\overline{T}(t_{24})-\overline{T}(t_{12})$		0,4000	0,8727
$\Omega_1(b)$		0,102456	0,071679
b^*		2,361692	2,793609
$\kappa_{ort}\cdot 10^{-6}\ m^2/san$		6,5191	4,6591

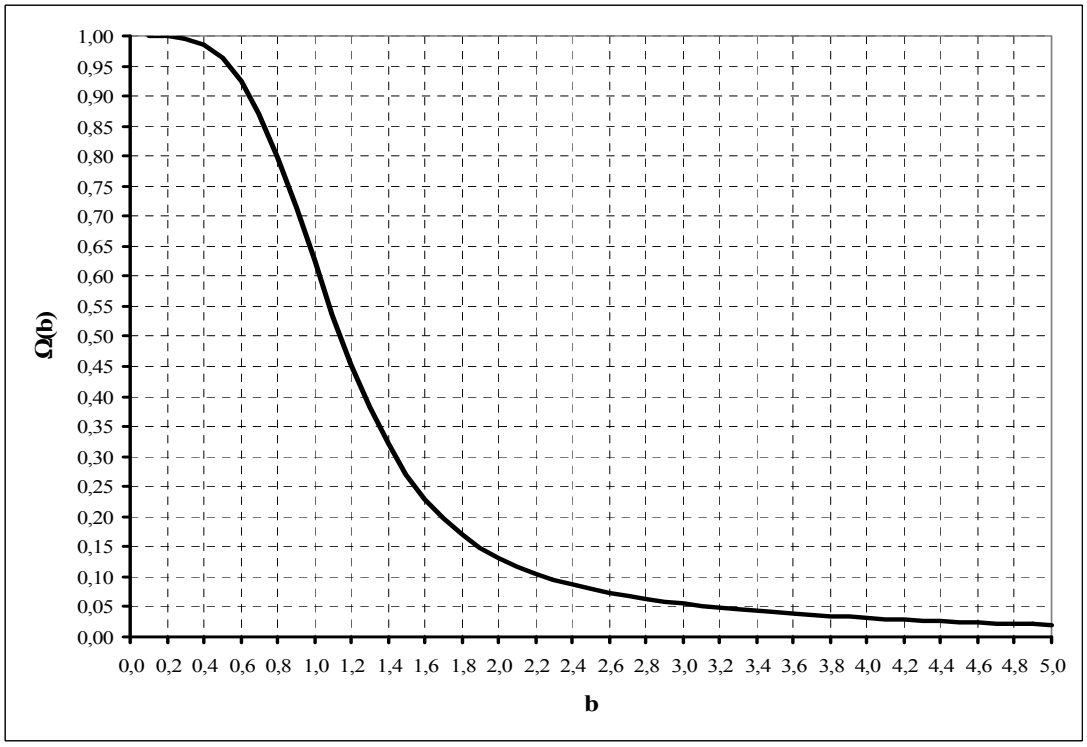
Metot- 8. (Mikayilov, 2009). İkinci tür sınır koşuluna ($\partial \mathrm{T}(L,t)/\partial x = 0$) bağlı '*Ortalama İntegral*' metot.

Isı yayınımının hesaplanmasında kullanılan 'Ortalama-İntegral' metotlarından bir diğer metot ise; (4.5) nolu denklemin (4.6) ve (4.9) sınır koşullarına bağlı olarak bulunmuş (4.11) nolu ortalama integral çözüm esasında, Metot-7'deki varsayım koşulunda geliştirilmiş formül olup, aşağıda gösterilmiştir (Mikayilov, 2009).

$$\frac{\left[\overline{\mathrm{T}}(t_3)-\overline{\mathrm{T}}(t_1)\right]^2+\left[\overline{\mathrm{T}}(t_4)-\overline{\mathrm{T}}(t_2)\right]^2}{4\mathrm{T}_a^2}=\boldsymbol{\Omega}_2(b) \tag{5.16}$$

$$\boldsymbol{\Omega}_2(b)=\frac{\mathbf{sh}^2(2b)+\sin^2(2b)}{2b^2\left[\mathbf{ch}(2b)+\cos(2b)\right]^2} \tag{5.17}$$

Metot-7'e benzer biçimde, (5.17) formülünden veya bu formül esasına göre oluşturulmuş nomogramdan (**Şekil 5.6**) $\boldsymbol{\Omega}_2(b)$' e karşılık gelen $b=b^*$ parametresinin sayısal değeri bulunur. Sonuçta ise bu değeri (5.9) eşitliğinde yazarak ısı yayınım parametresinin değeri hesaplanır.



Şekil 5.6. İkinci Tür Sınır Koşuluna $\partial \mathbf{T(L,}t\mathbf{)}/\partial x\mathbf{=0}$ Karşılık Gelen $\boldsymbol{\Omega}_2\mathbf{(y.b)}$ Fonksiyonu

1 ve 2 nolu toprağın ortalama sıcaklık verilerinin yukarıda **Çizelge 5. 21**'de hesaplanmış $\overline{\mathrm{T}}(t_{18})-\overline{\mathrm{T}}(t_6)$ ve $\overline{\mathrm{T}}(t_{24})-\overline{\mathrm{T}}(t_{12})$ değerlerinin kullanarak, $\boldsymbol{\Omega}_2(b)$ ifadesi için bulunmuş sayısal değerleri, simülasyon yöntemiyle (5.17) formülünden veya bu formül esasına göre oluşturulmuş nomogramdan (**Şekil 5.5**) $\boldsymbol{\Omega}_2(b)$' e karşılık gelen $b = b*$ parametresinin sayısal değerleri $b^* = 2{,}222803$ ve $2{,}626924$ olarak bulunur.

Sonuç olarak ise bu değerleri (5.9) nolu eşitlikte yazarak 1 ve 2 nolu topraklar için ısı yayınım parametresinin değerleri aşağıdaki biçimde hesaplanmıştır:

1 nolu toprak için: $\kappa_{ort} = 7{,}3593 \cdot 10^{-6}\ m^2 / san$

2 nolu toprak için: $\kappa_{ort} = 5{,}2692 \cdot 10^{-6}\ m^2 / san$

Böylece literatürlerde yaygın olarak kullanılan 'Katmansal' yöntemler ve Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde geliştirilen 'Noktasal' ve 'Ortalama- İntegral' yöntemlerle her iki toprak örnekleri için hesaplanan ısı yayınım parametre değerleri hesaplanarak **Çizelge 5.23**'de verilmiştir.

Çizelge 5. 23. 1 ve 2 Nolu Toprakların $[0;\ 1,0]$ Katmanındaki Ortalama Isı Yayınım Parametresinin $\kappa_{ort}\ m^2 / san$ Farklı Metotlarla Bulunmuş Değerleri.

№	Sınır koşulları	Yöntemler	Toprak 1	Toprak 2
		Katmansal Yöntemler*		
1.	$\mathrm{T}(\infty,t)=\mathrm{T}_0$	Metot-1	**6,5498·10^{-5}**	**186,2884·10^{-5}**
2.	$\mathrm{T}(\infty,t)=\mathrm{T}_0$	Metot-2	**2,9746·10^{-5}**	**21,4137·10^{-5}**
3.	$\mathrm{T}(\infty,t)=\mathrm{T}_0$	Metot-3	**7,7394·10^{-5}**	**164,3067·10^{-5}**
4.	$\mathrm{T}(\infty,t)=\mathrm{T}_0$	Metot-4		
		Noktasal Yöntemler**		
5.	$\mathrm{T}(\infty,t)=\mathrm{T}_0$	Metot-5	**6,9649·10^{-6}**	**5,9995·10^{-6}**
6.	$\partial\mathrm{T}(L,t)/\partial x=0$	Metot-6	**5,4792·10^{-6}**	**7,8463·10^{-6}**
		Ortalama İntegral Yöntemler**		
7.	$\mathrm{T}(\infty,t)=\mathrm{T}_0$	Metot-7	**6,5191·10^{-6}**	**4,6591·10^{-6}**
8.	$\partial\mathrm{T}(L,t)/\partial x=0$	Metot-8	**7,3593·10^{-6}**	**5,2692·10^{-6}**
		Ortalama	**6,5806·10^{-6}**	**5,9435·10^{-6}**

* Carslaw & Jaeger, 1959; Yeşilsoy, 1975; Horton, 1982; Gerayzade, 1989; Jury , 1991.
** Mikayilov, 2008; 2009; Mikayilov ve Shein, 2010

5.4. Ölçüm Değerlerinin ve Matematiksel Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneme toprakları için katmansal yöntemlerle bulunmuş ısı yayınım parametreleriyle hesaplanmış tahmin değerleri ile, ölçülen sıcaklık değerleri arasında uyumun olmadığı saptanmıştır.

Noktasal ve ortalama-integral yöntemlerle hesaplanmış tahmin ve ölçüm değerleri arasında iyi bir uyumun olduğu saptanmıştır. Bu uyum esasen toprakların her ikisinde de [0.40 ; 0.70 cm] katmanlarında olduğu görülmektedir.

Katmansal yöntemlerden farklı olarak, ister ısı yayınımı parametresini bulunmasında, isterse de tahmin değerlerin hesaplanmasında, diğer iki (noktasal ve ortalama-integral) yöntemin toprak yüzey bölgesinin sıcaklık parametrelerinin değerlerini de içermiş olmasıdır.

Sonuçta 1 ve 2 nolu toprağın noktasal ve ortalama- integral metotlara göre yapılan sonuçları Çizelge 5.24 – 5.31 ve sekil 5.7 – 5.8'de detaylı olarak incelenerek karar verme açısından büyük ölçüde katkı sağlamıştır.

Çizelge 5.24. 1 Nolu Toprağın Ölçüm $\mathrm{T}(x_i,t_i)$ ve Metot*5 ile Bulunmuş $\kappa_{ort}=6,9649\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{\mathrm{T}}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri

t	Derinlikler, cm																					
	0		10		20		30		40		50		60		70		80		90		100	
Saat	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$
1	18,4	14,05	22,5	16,83	24,0	19,15	24,1	21,00	24,2	22,38	24,1	23,37	24,2	24,01	24,9	24,39	25,7	24,56	25,9	24,60	26,0	24,54
3	16,9	13,61	20,8	15,54	22,2	17,44	22,5	19,15	22,6	20,61	22,6	21,78	22,7	22,68	23,5	23,33	24,3	23,77	24,5	24,03	24,6	24,17
5	15,1	15,86	19,3	16,42	20,5	17,38	20,9	18,51	21,0	19,64	21,1	20,70	21,1	21,61	22,0	22,35	22,9	22,93	23,0	23,36	23,0	23,65
7	14,9	20,19	17,7	19,24	19,0	19,00	19,3	19,24	19,5	19,75	19,5	20,40	19,7	21,08	20,6	21,72	21,4	22,29	21,5	22,76	21,5	23,13
9	22,4	25,45	18,5	23,23	19,6	21,87	19,5	21,15	19,7	20,90	19,8	20,97	20,4	21,23	20,9	21,60	21,3	22,00	21,2	22,40	21,1	22,75
11	32,7	30,22	22,3	27,34	22,3	25,20	21,9	23,72	22,1	22,78	22,4	22,25	22,6	22,03	22,8	22,03	22,7	22,16	22,3	22,36	22,0	22,60
13	36,8	33,22	26,9	30,45	25,5	28,12	24,8	26,28	24,5	24,89	24,2	23,91	24,8	23,26	24,6	22,89	24,1	22,71	23,8	22,68	23,6	22,73
15	37,2	33,66	29,2	31,73	27,8	29,84	26,8	28,13	26,1	26,67	25,8	25,49	26,2	24,59	25,9	23,95	25,4	23,51	24,9	23,24	24,6	23,11
17	29,0	31,41	29,6	30,85	28,5	29,89	27,7	28,77	27,3	27,63	27,1	26,58	26,9	25,67	26,8	24,92	26,3	24,34	26,2	23,92	26,1	23,63
19	23,0	27,08	28,4	28,03	28,4	28,27	27,7	28,04	27,1	27,52	26,9	26,88	26,8	26,20	26,6	25,55	26,5	24,99	26,4	24,52	26,3	24,15
21	19,0	21,83	25,8	24,04	26,7	25,41	26,2	26,13	25,8	26,38	25,7	26,31	25,7	26,04	25,5	25,67	25,8	25,27	25,8	24,88	25,8	24,53
23	17,6	17,06	23,1	19,94	24,5	22,07	24,4	23,55	24,1	24,50	24,0	25,02	24,0	25,24	24,2	25,25	24,7	25,12	24,9	24,91	25,0	24,67
η	**0,9059**		**0,4550**		**0,5201**		**0,7732**		**0,9108**		**0,9628**		**0,9136**		**0,8337**		**0,7628**		**0,7089**		**0,6142**	
$\sigma_{\mathrm{T}/t}$	**3,7840**		**0,8301**		**0,6373**		**0,4194**		**0,2451**		**0,1531**		**0,2237**		**0,2634**		**0,2756**		**0,3000**		**0,3299**	
$\overline{\varepsilon}$	**0,6050**		**0,5988**		**0,4290**		**0,2763**		**0,1643**		**0,1041**		**0,1449**		**0,1660**		**0,1733**		**0,1911**		**0,2160**	
θ	**24,7551**		**2,8112**		**3,4927**		**9,4190**		**26,1849**		**64,5903**		**27,0602**		**13,3915**		**8,9377**		**6,9827**		**4,8321**	

Çizelge 5.25. 1 Nolu Toprağın Ölçüm $\mathrm{T}(x_i,t_i)$ ve Metot*6 İle Bulunmuş $\kappa_{ort}=5,4792\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{\mathrm{T}}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri

t	Derinlikler, cm																					
	0		10		20		30		40		50		60		70		80		90		100	
Saat	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$
1	18,4	14,05	22,5	17,15	24,0	19,68	24,1	21,60	24,2	22,99	24,1	23,93	24,2	24,52	24,9	24,86	25,7	25,04	25,9	25,12	26,0	25,15
3	16,9	13,61	20,8	15,81	22,2	17,94	22,5	19,83	22,6	21,38	22,6	22,58	22,7	23,47	23,5	24,09	24,3	24,49	24,5	24,71	24,6	24,78
5	15,1	15,86	19,3	16,57	20,5	17,74	20,9	19,07	21,0	20,37	21,1	21,52	21,1	22,47	22,0	23,20	22,9	23,71	23,0	24,01	23,0	24,11
7	14,9	20,19	17,7	19,22	19,0	19,11	19,3	19,54	19,5	20,24	19,5	21,03	19,7	21,79	20,6	22,43	21,4	22,91	21,5	23,21	21,5	23,31
9	22,4	25,45	18,5	23,05	19,6	21,70	19,5	21,10	19,7	21,02	19,8	21,23	20,4	21,59	20,9	21,98	21,3	22,31	21,2	22,52	21,1	22,60
11	32,7	30,22	22,3	27,05	22,3	24,81	21,9	23,35	22,1	22,50	22,4	22,08	22,6	21,95	22,8	21,97	22,7	22,06	22,3	22,13	22,0	22,16
13	36,8	33,22	26,9	30,12	25,5	27,60	24,8	25,67	24,5	24,28	24,2	23,35	24,8	22,76	24,6	22,41	24,1	22,23	23,8	22,15	23,6	22,13
15	37,2	33,66	29,2	31,46	27,8	29,33	26,8	27,45	26,1	25,90	25,8	24,69	26,2	23,80	25,9	23,18	25,4	22,78	24,9	22,56	24,6	22,49
17	29,0	31,41	29,6	30,71	28,5	29,54	27,7	28,21	27,3	26,91	27,1	25,75	26,9	24,80	26,8	24,07	26,3	23,56	26,2	23,27	26,1	23,17
19	23,0	27,08	28,4	28,06	28,4	28,16	27,7	27,74	27,1	27,04	26,9	26,25	26,8	25,49	26,6	24,85	26,5	24,36	26,4	24,07	26,3	23,97
21	19,0	21,83	25,8	24,22	26,7	25,58	26,2	26,17	25,8	26,26	25,7	26,04	25,7	25,68	25,5	25,30	25,8	24,97	25,8	24,75	25,8	24,68
23	17,6	17,06	23,1	20,23	24,5	22,47	24,4	23,93	24,1	24,78	24,0	25,19	24,0	25,33	24,2	25,30	24,7	25,22	24,9	25,14	25,0	25,11
η	**0,9059**		**0,5467**		**0,6658**		**0,8698**		**0,9537**		**0,9318**		**0,7870**		**0,6243**		**0,5150**		**0,4936**		**0,5077**	
$\sigma_{\mathrm{T}/t}$	**0,7724**		**0,7806**		**0,5567**		**0,3263**		**0,8743**		**1,0074**		**1,6627**		**1,8251**		**1,7897**		**1,8122**		**1,7643**	
$\overline{\varepsilon}$	**0,6050**		**0,5620**		**0,3735**		**0,2080**		**0,1165**		**0,1380**		**0,2274**		**0,2380**		**0,2287**		**0,2350**		**0,2299**	
θ	**24,7532**		**3,8201**		**5,8596**		**17,5038**		**51,7042**		**34,6728**		**10,1314**		**5,0110**		**3,4340**		**3,1966**		**3,3514**	

Çizelge 5.26. 1 Nolu Toprağın Ölçüm $T(x_i,t_i)$ ve Metot*7 ile Bulunmuş $\kappa_{ort} = 6,5191\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{T}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri

t	**Derinlikler, cm**																					
	0		**10**		**20**		**30**		**40**		**50**		**60**		**70**		**80**		**90**		**100**	
Saat	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$
1	18,4	14,05	22,5	16,83	24,0	19,15	24,1	21,00	24,2	22,38	24,1	23,37	24,2	24,01	24,9	24,39	25,7	24,56	25,9	24,60	26,0	24,54
3	16,9	13,61	20,8	15,54	22,2	17,44	22,5	19,15	22,6	20,61	22,6	21,78	22,7	22,68	23,5	23,33	24,3	23,77	24,5	24,03	24,6	24,17
5	15,1	15,86	19,3	16,42	20,5	17,38	20,9	18,51	21,0	19,64	21,1	20,70	21,1	21,61	22,0	22,35	22,9	22,93	23,0	23,36	23,0	23,65
7	14,9	20,19	17,7	19,24	19,0	19,00	19,3	19,24	19,5	19,75	19,5	20,40	19,7	21,08	20,6	21,72	21,4	22,29	21,5	22,76	21,5	23,13
9	22,4	25,45	18,5	23,23	19,6	21,87	19,5	21,15	19,7	20,90	19,8	20,97	20,4	21,23	20,9	21,60	21,3	22,00	21,2	22,40	21,1	22,75
11	32,7	30,22	22,3	27,34	22,3	25,20	21,9	23,72	22,1	22,78	22,4	22,25	22,6	22,03	22,8	22,03	22,7	22,16	22,3	22,36	22,0	22,60
13	36,8	33,22	26,9	30,45	25,5	28,12	24,8	26,28	24,5	24,89	24,2	23,91	24,8	23,26	24,6	22,89	24,1	22,71	23,8	22,68	23,6	22,73
15	37,2	33,66	29,2	31,73	27,8	29,84	26,8	28,13	26,1	26,67	25,8	25,49	26,2	24,59	25,9	23,95	25,4	23,51	24,9	23,24	24,6	23,11
17	29,0	31,41	29,6	30,85	28,5	29,89	27,7	28,77	27,3	27,63	27,1	26,58	26,9	25,67	26,8	24,92	26,3	24,34	26,2	23,92	26,1	23,63
19	23,0	27,08	28,4	28,03	28,4	28,27	27,7	28,04	27,1	27,52	26,9	26,88	26,8	26,20	26,6	25,55	26,5	24,99	26,4	24,52	26,3	24,15
21	19,0	21,83	25,8	24,04	26,7	25,41	26,2	26,13	25,8	26,38	25,7	26,31	25,7	26,04	25,5	25,67	25,8	25,27	25,8	24,88	25,8	24,53
23	17,6	17,06	23,1	19,94	24,5	22,07	24,4	23,55	24,1	24,50	24,0	25,02	24,0	25,24	24,2	25,25	24,7	25,12	24,9	24,91	25,0	24,67
η	**0,9059**		**0,4550**		**0,5201**		**0,7732**		**0,9108**		**0,9628**		**0,9136**		**0,8337**		**0,7628**		**0,7089**		**0,6142**	
$\sigma_{T/t}$	**3,7840**		**0,8301**		**0,6373**		**0,4194**		**0,2451**		**0,1531**		**0,2237**		**0,2634**		**0,2756**		**0,3000**		**0,3299**	
$\bar{\varepsilon}$	**0,6050**		**0,5988**		**0,4290**		**0,2763**		**0,1643**		**0,1041**		**0,1449**		**0,1660**		**0,1733**		**0,1911**		**0,2160**	
θ	**24,7551**		**2,8112**		**3,4927**		**9,4190**		**26,1849**		**64,5903**		**27,0602**		**13,3915**		**8,9377**		**6,9827**		**4,8321**	

Çizelge 5.27. 1 Nolu Toprağın Ölçüm $\mathrm{T}(x_i, t_i)$ ve Metot*8 İle Bulunmuş $\kappa_{ort} = 7,3593 \cdot 10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{\mathrm{T}}(x_i, t_i)$ ve Statiksel Parametreleri

t	Derinlikler, cm																					
	0		10		20		30		40		50		60		70		80		90		100	
Saat	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$
1	18,4	14,05	22,5	16,81	24,0	19,14	24,1	21,03	24,2	22,50	24,1	23,60	24,2	24,39	24,9	24,92	25,7	25,26	25,9	25,45	26,0	25,51
3	16,9	13,61	20,8	15,56	22,2	17,48	22,5	19,24	22,6	20,77	22,6	22,03	22,7	23,02	23,5	23,77	24,3	24,28	24,5	24,57	24,6	24,67
5	15,1	15,86	19,3	16,48	20,5	17,47	20,9	18,63	21,0	19,80	21,1	20,89	21,1	21,82	22,0	22,57	22,9	23,12	23,0	23,44	23,0	23,55
7	14,9	20,19	17,7	19,31	19,0	19,11	19,3	19,36	19,5	19,86	19,5	20,48	19,7	21,11	20,6	21,67	21,4	22,09	21,5	22,37	21,5	22,46
9	22,4	25,45	18,5	23,31	19,6	21,96	19,5	21,23	19,7	20,93	19,8	20,92	20,4	21,07	20,9	21,29	21,3	21,49	21,2	21,63	21,1	21,68
11	32,7	30,22	22,3	27,39	22,3	25,27	21,9	23,75	22,1	22,73	22,4	22,09	22,6	21,72	22,8	21,54	22,7	21,46	22,3	21,43	22,0	21,43
13	36,8	33,22	26,9	30,47	25,5	28,13	24,8	26,24	24,5	24,77	24,2	23,67	24,8	22,89	24,6	22,35	24,1	22,01	23,8	21,82	23,6	21,77
15	37,2	33,66	29,2	31,72	27,8	29,79	26,8	28,03	26,1	26,51	25,8	25,25	26,2	24,25	25,9	23,51	25,4	23,00	24,9	22,70	24,6	22,61
17	29,0	31,41	29,6	30,80	28,5	29,81	27,7	28,65	27,3	27,47	27,1	26,39	26,9	25,45	26,8	24,70	26,3	24,16	26,2	23,83	26,1	23,72
19	23,0	27,08	28,4	27,96	28,4	28,17	27,7	27,92	27,1	27,41	26,9	26,79	26,8	26,16	26,6	25,61	26,5	25,18	26,4	24,91	26,3	24,82
21	19,0	21,83	25,8	23,97	26,7	25,31	26,2	26,04	25,8	26,34	25,7	26,35	25,7	26,20	25,5	25,99	25,8	25,79	25,8	25,65	25,8	25,60
23	17,6	17,06	23,1	19,89	24,5	22,01	24,4	23,52	24,1	24,54	24,0	25,84	24,0	25,55	24,2	25,74	24,7	25,82	24,9	25,84	25,0	25,85
η	**0,9059**		**0,4446**		**0,5184**		**0,7835**		**0,9237**		**0,9620**		**0,8775**		**0,1695**		**0,7049**		**0,1754**		**0,7463**	
$\sigma_{\mathrm{T}/t}$	**0,1686**		**0,8350**		**0,6380**		**0,4109**		**1,1145**		**0,7578**		**1,2925**		**1,5175**		**1,4810**		**1,4370**		**1,3631**	
$\overline{\varepsilon}$	**0,6050**		**0,6025**		**0,4320**		**0,2704**		**0,1508**		**0,1089**		**0,1695**		**0,1871**		**0,1754**		**0,1761**		**0,1686**	
θ	**24,7532**		**2,7148**		**3,4729**		**9,9410**		**30,8161**		**63,2536**		**18,6960**		**8,8278**		**6,8632**		**7,4593**		**8,2521**	

Çizelge 5.28. 2 Nolu Toprağın Ölçüm $T(x_i,t_i)$ ve Metot*5 İle Bulunmuş $\kappa_{ort}=5,9995\cdot10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{T}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri

t	Derinlikler, cm																					
	0		10		20		30		40		50		60		70		80		90		100	
Saat	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$
1	17,4	13,14	26,0	17,96	28,7	21,90	29,0	24,90	29,0	26,02	29,1	28,51	29,5	29,41	29,5	29,93	29,3	30,19	28,9	30,31	28,7	30,35
3	16,2	12,73	23,8	16,06	26,5	19,33	27,1	22,23	27,2	23,35	27,4	26,48	27,7	27,85	27,8	28,79	27,6	29,39	27,3	29,72	27,1	29,82
5	15,8	16,45	21,9	17,39	24,7	19,12	25,5	21,15	25,5	21,96	25,7	24,90	26,1	26,36	26,2	27,47	26,0	28,24	25,7	28,70	25,5	28,85
7	16,2	23,29	20,6	21,60	23,2	21,33	24,0	21,92	24,2	22,22	24,4	24,18	24,7	25,34	24,8	26,33	24,7	27,07	24,3	27,52	24,1	27,67
9	27,7	31,42	21,1	27,55	23,4	25,35	24,2	24,36	24,5	24,06	24,8	24,52	25,2	25,07	25,2	25,66	25,2	26,17	24,5	26,51	24,0	26,62
11	42,1	38,67	25,3	33,66	26,0	30,12	26,6	27,81	26,6	26,99	27,2	25,82	27,7	25,62	27,7	25,66	27,5	25,80	26,6	25,92	26,0	25,97
13	47,9	43,10	30,5	38,28	28,7	34,35	28,8	31,34	28,6	30,22	28,9	27,74	29,5	26,83	29,7	26,31	29,4	26,05	28,6	25,93	27,9	25,90
15	47,6	43,51	34,7	40,18	31,3	36,91	30,8	34,01	30,3	32,89	30,6	29,76	31,2	28,40	31,4	27,45	31,2	26,85	30,6	26,52	30,2	26,42
17	34,7	39,80	37,0	38,85	33,4	37,12	32,3	35,10	31,8	34,28	31,8	31,34	32,4	29,88	32,8	28,77	32,6	28,00	32,1	27,54	29,9	27,39
19	27,9	32,96	35,8	34,64	33,8	34,91	32,6	34,32	32,5	34,02	32,6	32,06	32,7	30,90	32,8	29,91	32,7	29,18	32,4	28,72	32,1	28,57
21	22,4	24,82	32,8	28,69	32,7	30,89	31,6	31,88	31,1	32,18	31,2	31,72	31,6	31,17	31,8	30,58	31,6	30,07	31,4	29,74	31,3	29,62
23	19,6	17,57	29,3	22,58	30,7	26,13	30,0	28,43	29,6	29,25	29,6	30,42	30,1	30,63	30,2	30,58	30,1	30,44	29,9	30,32	29,8	30,27
η	**0,9370**		*****		*****		**0,2855**		**0,5384**		**0,9539**		**0,8055**		**0,5400**		**0,1514**		*****		*****	
$\sigma_{T/t}$	**4,6613**		**6,6013**		**5,1769**		**3,1615**		**2,5451**		**0,8963**		**1,7879**		**2,5840**		**3,0110**		**3,1160**		**3,0730**	
$\overline{\varepsilon}$	**0,6486**		**0,8283**		**0,6096**		**0,3574**		**0,2860**		**0,1065**		**0,1652**		**0,2636**		**0,3251**		**0,3599**		**0,3649**	
θ	**37,6413**		*****		*****		**1,5228**		**3,7147**		**51,8809**		**11,2361**		**3,7348**		**0,7591**		*****		*****	

* Tahmin ve ölçüm değerleri arasında hiçbir uyum yoktur

Çizelge 5.29. 2 Nolu Toprağın Ölçüm $\mathrm{T}(x_i, t_i)$ ve Metot*6 İle Bulunmuş $\kappa_{ort} = 7,8463 \cdot 10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{\mathrm{T}}(x_i, t_i)$ ve Statiksel Parametreleri

t	Derinlikler, cm																					
	0		10		20		30		40		50		60		70		80		90		100	
Saat	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$
1	17,4	13,14	26,0	17,26	28,7	20,79	29,0	23,71	29,0	26,02	29,1	27,78	29,5	29,08	29,5	29,99	29,3	30,58	28,9	30,91	28,7	31,02
3	16,2	12,73	23,8	15,56	26,5	18,39	27,1	21,03	27,2	23,35	27,4	25,30	27,7	26,86	27,8	28,04	27,6	28,85	27,3	29,34	27,1	29,49
5	15,8	16,45	21,9	17,23	24,7	18,60	25,5	20,25	25,5	21,96	25,7	23,57	26,1	24,97	26,2	26,11	26,0	26,93	25,7	27,44	25,5	27,61
7	16,2	23,29	20,6	21,82	23,2	21,36	24,0	21,58	24,2	22,22	24,4	23,06	24,7	23,93	24,8	24,72	24,7	25,33	24,3	25,72	24,1	25,85
9	27,7	31,42	21,1	28,09	23,4	25,93	24,2	24,66	24,5	24,06	24,8	23,90	25,2	24,01	25,2	24,24	25,2	24,48	24,5	24,65	24,0	24,71
11	42,1	38,67	25,3	34,38	26,0	31,09	26,6	28,67	26,6	26,99	27,2	25,88	27,7	25,19	27,7	24,80	27,5	24,60	26,6	24,51	26,0	24,48
13	47,9	43,10	30,5	38,99	28,7	35,45	28,8	32,54	28,6	30,22	28,9	28,46	29,5	27,16	29,7	26,25	29,4	25,66	28,6	25,33	27,9	25,23
15	47,6	43,51	34,7	40,68	31,3	37,85	30,8	35,21	30,3	32,89	30,6	30,94	31,2	29,39	31,4	28,21	31,2	27,39	30,6	26,91	30,2	26,75
17	34,7	39,80	37,0	39,01	33,4	37,64	32,3	35,99	31,8	34,28	31,8	32,67	32,4	31,27	32,8	30,14	32,6	29,31	32,1	28,80	29,9	28,64
19	27,9	32,96	35,8	34,43	33,8	34,89	32,6	34,66	32,5	34,02	32,6	33,18	32,7	32,31	32,8	31,53	32,7	30,91	32,4	30,52	32,1	30,39
21	22,4	24,82	32,8	28,15	32,7	30,31	31,6	31,58	31,1	32,18	31,2	32,34	31,6	32,23	31,8	32,00	31,6	31,77	31,4	31,59	31,3	31,53
23	19,6	17,57	29,3	21,86	30,7	25,16	30,0	27,57	29,6	29,25	29,6	30,36	30,1	31,05	30,2	31,44	30,1	31,64	29,9	31,74	29,8	31,76
η	**0,9370**		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*	
$\sigma_{\mathrm{T}/t}$	**4,6613**		**7,1733**		**6,0176**		**4,1004**		**5,6018**		**5,2972**		**5,0822**		**4,9139**		**4,6485**		**4,7117**		**4,7135**	
$\overline{\varepsilon}$	**0,6486**		**0,8994**		**0,7120**		**0,4696**		**0,7610**		**0,7863**		**0,7587**		**0,7097**		**0,6610**		**0,6760**		**0,6790**	
θ	**37,6413**		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*	

* Tahmin ve ölçüm değerleri arasında hiçbir uyum yoktur

Çizelge 5.30. 2 Nolu Toprağın Ölçüm $\mathrm{T}(x_i, t_i)$ ve Metot*7 İle Bulunmuş $\kappa_{ort} = 4,6591 \cdot 10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{\mathrm{T}}(x_i, t_i)$ ve Statiksel Parametreleri

t	Derinlikler, cm																					
	0		10		20		30		40		50		60		70		80		90		100	
Saat	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$
1	17,4	13,14	26,0	18,24	28,7	22,32	29,0	25,34	29,0	27,40	29,1	28,66	29,5	29,32	29,5	29,55	29,3	29,52	28,9	29,33	28,7	29,08
3	16,2	12,73	23,8	16,25	26,5	19,66	27,1	22,61	27,2	24,95	27,4	26,66	27,7	27,81	27,8	28,50	27,6	28,86	27,3	28,97	27,1	28,94
5	15,8	16,45	21,9	17,43	24,7	19,26	25,5	21,35	25,5	23,34	25,7	25,05	26,1	26,39	26,2	27,36	26,0	28,00	25,7	28,38	25,5	28,57
7	16,2	23,29	20,6	21,48	23,2	21,24	24,0	21,91	24,2	23,02	24,4	24,26	24,7	25,43	24,8	26,41	24,7	27,18	24,3	27,73	24,1	28,09
9	27,7	31,42	21,1	27,31	23,4	25,06	24,2	24,13	24,5	24,07	24,8	24,51	25,2	25,19	25,2	25,93	25,2	26,61	24,5	27,17	24,0	27,61
11	42,1	38,67	25,3	33,36	26,0	29,70	26,6	27,42	26,6	26,20	27,2	25,73	27,7	25,74	27,7	26,03	27,5	26,44	26,6	26,87	26,0	27,27
13	47,9	43,10	30,5	38,00	28,7	33,92	28,8	30,90	28,6	28,84	28,9	27,58	29,5	26,93	29,7	26,69	29,4	26,73	28,6	26,91	27,9	27,16
15	47,6	43,51	34,7	40,00	31,3	36,58	30,8	33,63	30,3	31,30	30,6	29,58	31,2	28,43	31,4	27,74	31,2	27,38	30,6	27,27	30,2	27,30
17	34,7	39,80	37,0	38,81	33,4	36,98	32,3	34,89	31,8	32,90	31,8	31,19	32,4	29,85	32,8	28,88	32,6	28,24	32,1	27,86	29,9	27,67
19	27,9	32,96	35,8	34,76	33,8	35,01	32,6	34,34	32,5	33,22	32,6	31,98	32,7	30,81	32,8	29,83	32,7	29,06	32,4	28,52	32,1	28,16
21	22,4	24,82	32,8	28,93	32,7	31,18	31,6	32,11	31,1	32,17	31,2	31,73	31,6	31,05	31,8	30,31	31,6	29,64	31,4	29,07	31,3	28,63
23	19,6	17,57	29,3	22,88	30,7	26,54	30,0	28,82	29,6	30,04	29,6	30,51	30,1	30,50	30,2	30,21	30,1	29,80	29,9	29,37	29,8	28,97
η	**0,9370**		**0,0452**		*****		**0,4827**		**0,8838**		**0,9497**		**0,8088**		**0,5981**		**0,3941**		**0,2936**		*****	
$\sigma_{\mathrm{T}/t}$	**4,6613**		**6,3714**		**4,8719**		**2,8890**		**1,4132**		**0,9356**		**1,7742**		**2,4605**		**2,7996**		**2,9298**		**3,0465**	
$\overline{\varepsilon}$	**0,6486**		**0,7995**		**0,5713**		**0,3238**		**0,1602**		**0,1075**		**0,1647**		**0,2496**		**0,3013**		**0,3361**		**0,3589**	
θ	**37,6413**		**0,2217**		*****		**3,0832**		**19,7758**		**47,4103**		**11,4572**		**4,5622**		**2,2859**		**1,5740**		*****	

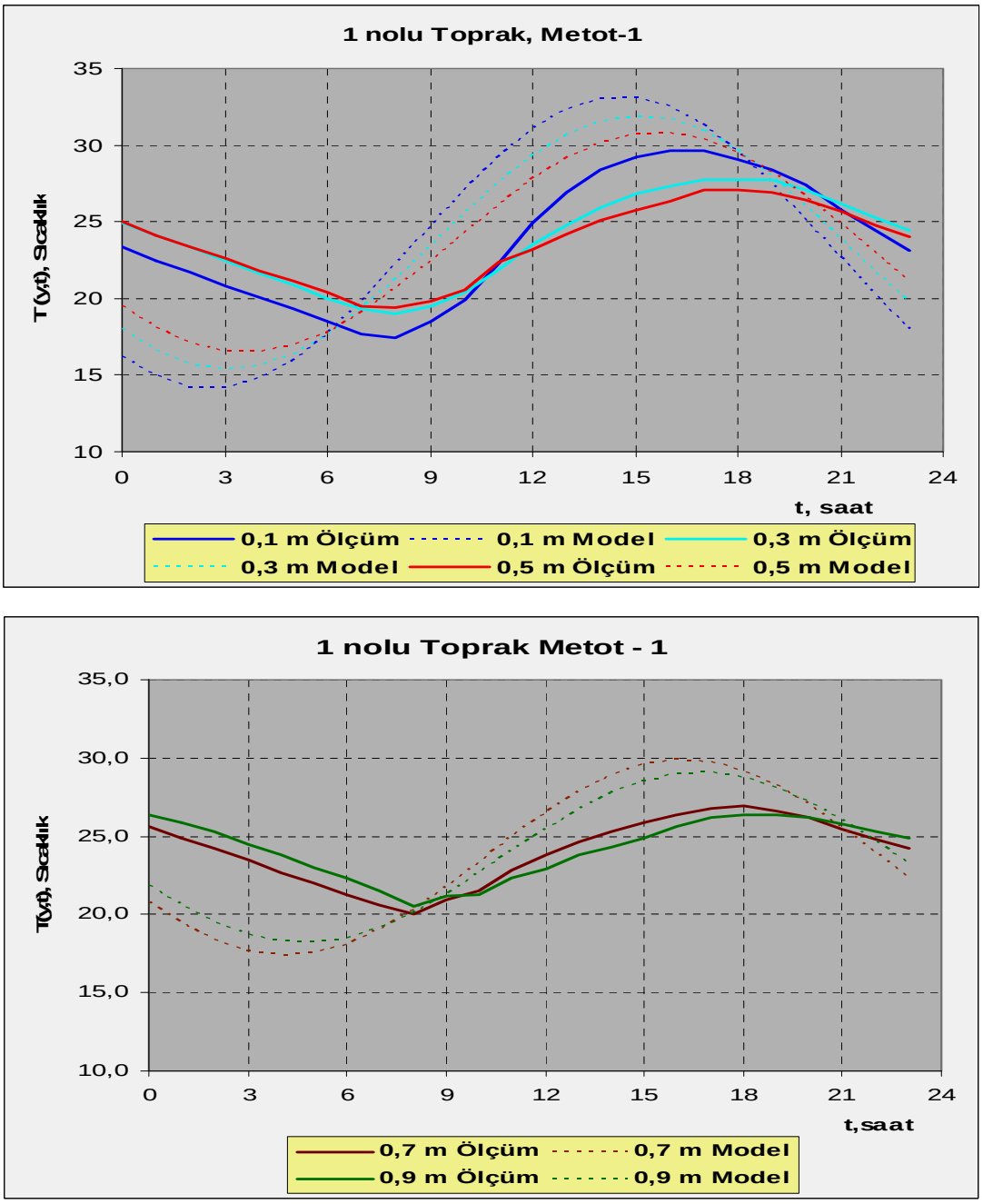
* Tahmin ve ölçüm değerleri arasında hiçbir uyum yoktur

Çizelge 5.31. 2 Nolu Toprağın Ölçüm $T(x_i,t_i)$ ve Metot*8 İle Bulunmuş $\kappa_{ort} = 5,2692 \cdot 10^{-6}$ Değerine Göre Isı Modelinin (4.10) Nolu Çözümü İle Hesaplanmış Tahmini Sıcaklık Değerleri $\tilde{T}(x_i,t_i)$ ve Statiksel Parametreleri

t	**Derinlikler, cm**																			
	0		**10**		**20**		**30**		**40**		**50**		**60**		**70**		**80**		**90**		**100**	
Saat	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$
1	17,4	13,14	26,0	17,96	28,7	21,90	29,0	24,90	29,0	26,02	29,1	28,51	29,5	29,41	29,5	29,93	29,3	30,19	28,9	30,31	28,7	30,35
3	16,2	12,73	23,8	16,06	26,5	19,33	27,1	22,23	27,2	23,35	27,4	26,48	27,7	27,85	27,8	28,79	27,6	29,39	27,3	29,72	27,1	29,82
5	15,8	16,45	21,9	17,39	24,7	19,12	25,5	21,15	25,5	21,96	25,7	24,90	26,1	26,36	26,2	27,47	26,0	28,24	25,7	28,70	25,5	28,85
7	16,2	23,29	20,6	21,60	23,2	21,33	24,0	21,92	24,2	22,22	24,4	24,18	24,7	25,34	24,8	26,33	24,7	27,07	24,3	27,52	24,1	27,67
9	27,7	31,42	21,1	27,55	23,4	25,35	24,2	24,36	24,5	24,06	24,8	24,52	25,2	25,07	25,2	25,66	25,2	26,17	24,5	26,51	24,0	26,62
11	42,1	38,67	25,3	33,66	26,0	30,12	26,6	27,81	26,6	26,99	27,2	25,82	27,7	25,62	27,7	25,66	27,5	25,80	26,6	25,92	26,0	25,97
13	47,9	43,10	30,5	38,28	28,7	34,35	28,8	31,34	28,6	30,22	28,9	27,74	29,5	26,83	29,7	26,31	29,4	26,05	28,6	25,93	27,9	25,90
15	47,6	43,51	34,7	40,18	31,3	36,91	30,8	34,01	30,3	32,89	30,6	29,76	31,2	28,40	31,4	27,45	31,2	26,85	30,6	26,52	30,2	26,42
17	34,7	39,80	37,0	38,85	33,4	37,12	32,3	35,10	31,8	34,28	31,8	31,34	32,4	29,88	32,8	28,77	32,6	28,00	32,1	27,54	29,9	27,39
19	27,9	32,96	35,8	34,64	33,8	34,91	32,6	34,32	32,5	34,02	32,6	32,06	32,7	30,90	32,8	29,91	32,7	29,18	32,4	28,72	32,1	28,57
21	22,4	24,82	32,8	28,69	32,7	30,89	31,6	31,88	31,1	32,18	31,2	31,72	31,6	31,17	31,8	30,58	31,6	30,07	31,4	29,74	31,3	29,62
23	19,6	17,57	29,3	22,58	30,7	26,13	30,0	28,43	29,6	29,25	29,6	30,42	30,1	30,63	30,2	30,58	30,1	30,44	29,9	30,32	29,8	30,27
η	**0,9370**		*****		*****		**0,2855**		**0,5384**		**0,9539**		**0,8055**		**0,5400**		**0,1514**		*****		*****	
$\sigma_{T/t}$	**4,6613**		**6,6013**		**5,1769**		**3,1615**		**2,5451**		**0,8963**		**1,7879**		**2,5840**		**3,0110**		**3,1160**		**3,0730**	
$\bar{\varepsilon}$	**0,6486**		**0,8283**		**0,6096**		**0,3574**		**0,2860**		**0,1065**		**0,1652**		**0,2636**		**0,3251**		**0,3599**		**0,3649**	
θ	**37,6413**		*****		*****		**1,5228**		**3,7147**		**51,8809**		**11,2361**		**3,7348**		**0,7591**		*****		*****	

* Tahmin ve ölçüm değerleri arasında hiçbir uyum yoktur.

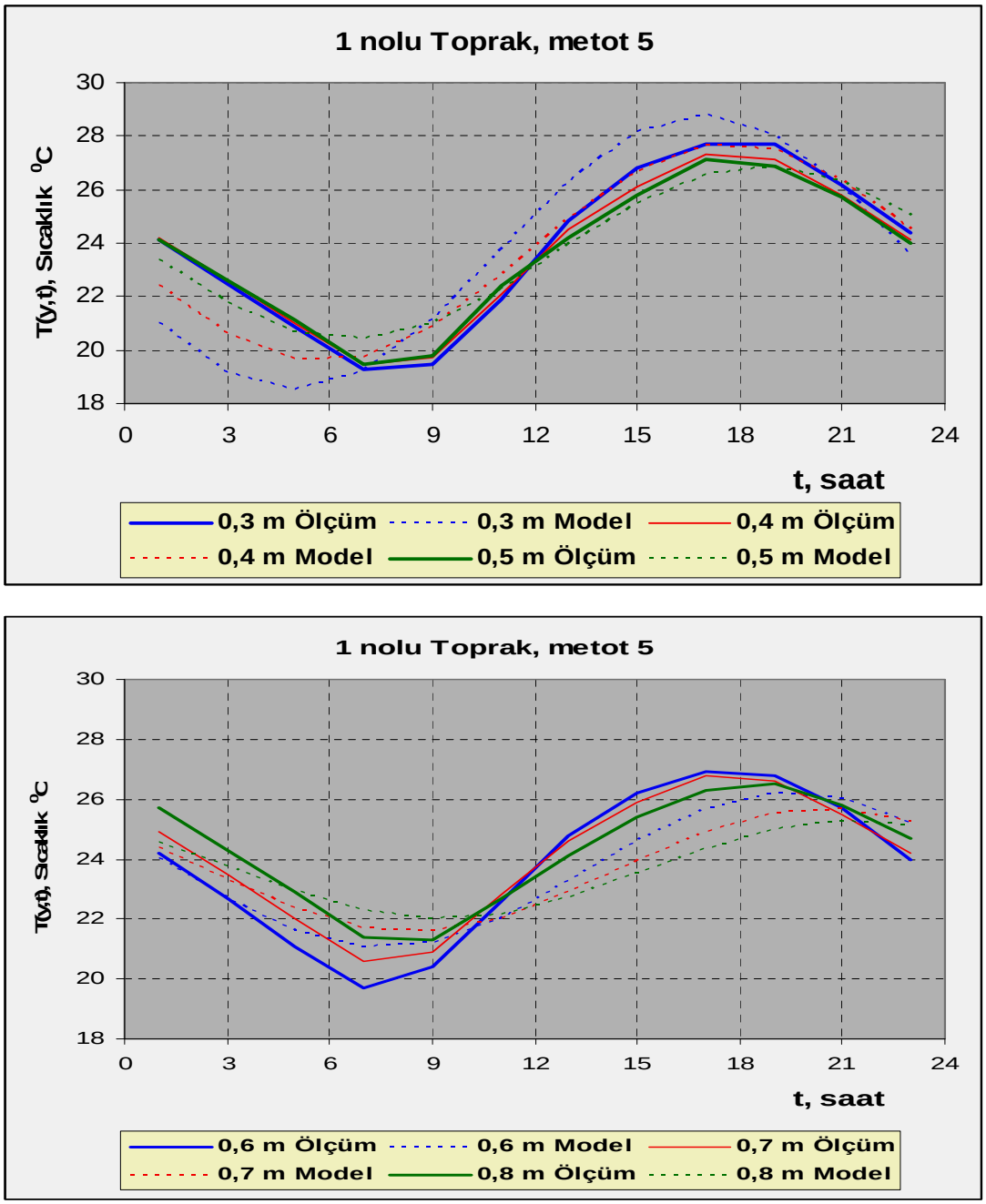
Esasen 1 ve 2 nolu toprakların ölçülen sıcaklık değerleri ile, yukarıda hesaplanmış ısı özelliklerinin ortalama değerlerini (**Çizelge 5.9 ve 5.10**) kullanarak, ısı iletim modelinin farklı sınır koşullarına göre bulunmuş (4.10) nolu çözümleri ile hesaplanmış değerler arasındaki uyumun varlığını tespit etmek amacıyla grafikleri yapılmıştır (**Şekil 5.7. - 5.8**).



Şekil 5.7. 1 Nolu Toprağın x = 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 ve 0,9 m Derinliklerinde Ölçülen ve Katmansal Metotla Bulunmuş Isı Yayınımı Parametresini Kullanarak (4.10) Nolu Çözümle Hesaplanmış Sıcaklık Değerleri

Grafikler incelendiğinde katmansal yöntemlerle bulunmuş ısı yayınım parametrelerine göre hesaplanmış tahmin ve ölçüm sıcaklık değerleri arasında bir uyumun olmadığı görülmektedir (**Şekil 5.7**).

Lakin, noktasal veya ortalama integral metotların uygulamasıyla daha bir iyi uyumun toprakların her ikisinde de olduğu görülmektedir (**Şekil 5.8**).



Şekil 5.8. 1 Nolu Toprağın x = 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7 ; ve 0,8 m Derinliklerinde Ölçülen ve Noktasal Metotla Bulunmuş Isı Yayınımı Parametresini Kullanarak (4.10) Nolu Çözümle Hesaplanmış Sıcaklık Değerleri

5.5. Isı İletkenliği Parametresinin Belirlenmesi

Yukarıda açıklanan yöntemlerle hesaplanan hacimsel ısı kapasitesi C_{v1} , C_{v2} ve Isısal Yayınım Parametresi κ_{ort} değerleri kullanılarak ısı iletkenliği parametresinin değerleri (4.5) nolu formülden aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

1 nolu deneme toprağının Isı İletkenliği parametresi için;

$$\lambda_1 = \kappa_{1.ort} \cdot C_{v1} = 0{,}65498 \frac{cm^2}{san} \cdot 0.3918 \frac{kal}{cm^3 \cdot {}^\circ C} = 0{,}2566 \frac{kal}{san \cdot cm \cdot {}^\circ C}$$

1 nolu deneme topraklarındaki sıcaklıkların sönme derinliği için;

$$d_1 = \sqrt{\frac{\tau_0 \kappa_{1.ort}}{\pi}} = \sqrt{\frac{84600\, san}{3{,}14} \cdot 0{,}65498 \frac{cm^2}{san}} \approx 134{,}2\, cm$$

1 ve 2 nolu deneme toprağı için uygulanan bütün metotlarda, aynı hesaplama yöntemiyle bulunan değerler Çizelge 5.23'de verilmiştir.

Çizelge 5. 32. 1 ve 2 Nolu Toprakların $[0;\, 1{,}0]$ Katmanındaki Ortalama Isı İletkenliği Parametrelerinin (λ_{ort}) ve Sönme Derinliklerinin (d) Farklı Metotlarla Bulunmuş Değerleri

№	Sınır koşulları	Yöntemler	Toprak 1		Toprak 2	
			λ_{ort}	d, m	λ_{ort}	d, m
			$\frac{kal}{san \cdot cm \cdot {}^\circ C}$	cm	$\frac{kal}{san \cdot cm \cdot {}^\circ C}$	cm
		Katmansal Yöntemler				
1.	$T(\infty, t) = T_0$	Metot-1	**0,2566**	**134,21**	**6,8070**	**715,77**
2.	$T(\infty, t) = T_0$	Metot-2	**0,1165**	**90,45**	**0,7825**	**242,68**
3.	$T(\infty, t) = T_0$	Metot-3	**0,3032**	**145,89**	**6,0038**	**672,22**
4.	$T(\infty, t) = T_0$	Metot-4	-	-	-	-
		Noktasal Yöntemler				
5.	$T(\infty, t) = T_0$	Metot-5	**0,0273**	**43,77**	**0,0219**	**40,62**
6.	$\partial T(L, t) / \partial x = 0$	Metot-6	**0,0215**	**38,82**	**0,0287**	**46,45**
		Ortalama İntegral Yöntemler				
7.	$T(\infty, t) = T_0$	Metot-7	**0,0255**	**42,34**	**0,0170**	**35,80**
8.	$\partial T(L, t) / \partial x = 0$	Metot-8	**0,0288**	**44,99**	**0,0193**	**38,07**

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada sıcaklık değerlerinin ölçümleri, her biri 1 metre boyunda ve yarı çapı 5.25 cm olan plastik bir özelliğe sahip ve arazi koşullarına uygun olarak kumlu killi tın ve tın bünyeli toprakla doldurulmuş kolonlar etrafındaki dış etkilerle oluşabilecek ısı iletkenliğini minimize etmek için 20 cm çapında ikinci bir klonla muhafaza edilmiştir. İki kolon arasında ki boş alan perlit materyaliyle doldurularak doğal şartlar oluşturulmuştur. kolonlara 10 cm aralıklarla yerleştirilen PT-100 sıcaklık algılayıcı sensörler aracılığı ile Elimko E680 cihazı kullanılarak ölçülmüş, cihazın EBackup bölümüne Excel formatında kaydedilmiştir.

Sonra, Elimko E680 cihazı ile zaman ve derinliğe bağlı olarak her iki toprak kolonlarında ölçülen toprak sıcaklığı değerleri ile toprağın ısısal özellikleri, hacimsel ve özgül ısı kapasitesi, yüzey bölgesi havasının sıcaklığının genliği, periyodu ve ortalama değeri, ısı yayınımı parametresi teorik metotlarla hesaplanarak, sonuçta ısı iletkenliği parametresi belirlenmiştir.

Toprak kolonunda sıcaklık dalgalarının genliklerinin gözlemlenmesine dayanarak ısı yayınım parametresinin hesaplanması gösteriyor ki, toprağın derinliğe göre sıcaklık değişiminin modellenmesinde sabit katsayılı kısmi türevli ısı iletkenliği denkleminin kullanılması sakıncalı değildir.

Her iki toprak için ısı yayınım parametresinin ‘katmansal’ yöntemle saptanmış değerleri, ‘noktasal’ ve ‘ortalama-integral’ yöntemle hesaplanmış değerlerden oldukça farklı ve daha büyük olarak tespit edilmiştir.

Katmansal yöntemle her iki toprak için bulunan ısı yayınım değerlerini kullanarak, sıcaklığın hesaplanan tahmin değerleri ile ölçüm değerleri arasında hiçbir uyum tespit edilmemiştir.

Ancak, toprakta ısı hareketini daha gerçek yansıtan analitik çözümlerin (noktasal ve ortalama–integral yöntemlerin) kullanması ile, sıcaklığın hesaplanan tahmin değerleri ile deneysel ölçüm değerleri arasında oldukça yüksek uyumluluk saptanmıştır.

Toprak profilinde sıcaklığın zamana göre değişimini büyük ölçüde toprak yüzey bölgesinin sıcaklığı etkilediğinden ve katmansal yöntemlerde kullanılan formüllerde yüzey hava bölgesi sıcaklığı konusunda hiçbir bilginin (ortalama

sıcaklık, dalga genliği ve faz açısı) olmaması, bu yöntemlerin oldukça basit ve kullanışlı olmasına rağmen, eksikliği olarak ortaya konulmuştur.

Toprak profilinde sıcaklığın zamana göre değişimini büyük ölçüde toprak yüzey bölgesinin sıcaklığı etkilediğinden ve katmansal yöntemlerde kullanılan formüllerde yüzey hava sıcaklıkları ili ilgili hiçbir bilginin olmaması, katmanlar arası sıcaklık değerlerinin daha hassas ölçülmesinin gerektiği, bu yöntemlerin yerine noktasal veya ortalama integral yöntemlerin kullanılmasını gerekli kılmıştır.

Noktasal ve ortalama integral yöntemlerle, 1 ve 2 nolu toprak kolonları için arazi koşullarında yapılan deneme sonucunda ***ısı yayınım parametresinin*** ortalama değerleri **6,5806·10^{-6}** ve **5,9435·10^{-6}** ***m^2/san***, ısı iletkenliği parametresinin ortalama değerleri **0,02577** ve **0,02172** ***kal/san.cm.^{o}C,*** sönme derinliğinin ortalama değerleri ise **42,48** ve **40,23** ***cm*** olarak saptanmıştır.

Çizelge 5.5 ve 5.6'nın incelenmesi üzerine sıcaklık dalgalarının sönmesi ortalama olarak **40** ***cm*** de başladığı görülmektedir ki, bununla da noktasal ve ortalama–integral yöntemler ile bulanan sönme derinlik değerleri doğrulanmaktadır.

Her iki toprakta sıcaklık dalgasının sönme derinliğinin katmansal yöntemle bulunan ortalama değerleri ise **123,5** ***cm*** ve **543,6** ***cm*** olarak saptanmıştır ve bu değerler ile ölçüm değerleri (çizelge 5.5 ve 5.6) arasında hiçbir uyum tespit edilmemiştir.

Bu çalışma çerçevesinde kararlı olmayan akım koşulları için toprak sıcaklığının zamana ve profile göre dinamiğinin incelenmesi amacıyla ısı yayınımının saptanmış değerlerinin kullanılması sonucunda, ölçüm değerleri ile matematiksel modellerle hesaplanan tahmin değerleri arasında uyumlu ilişki bulunmuştur.

Elimko E680 cihazı ve PT-100 algılayıcı sensörler kullanılmasıyla farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip topraklarda, farklı ortamlar kullanılarak değişik araştırılma olanakları neticesinde farklı sıcaklık ölçümleri elde edilmekte, dolayısıyla bu çalışmanın daha ileride yapılan araştırmalara katkı sağlaması mümkün olmaktadır.

KAYNAKLAR

Akalan, İ. 1983. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:878, Ders Kitabı, 243 " Toprak Bilgisi", Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi "Toprak Bölümü", Ankara Üniversitesi Basım Evi Ankara, 346 s.

Aksak ve ark.,1995. Toprak Sıcaklığı. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Mezuniyet Çalışması. Adana.

Aydın, C. 1997. Toprak Kolonlarında Sıcaklık Dağılımlarının Bilgisayar Destekli Termometrelerle Ölçülmesi ve Toprakta Sıcaklık Rejiminin Matematiksel Modellenmesi. Ç.Ü., Yüksek Lisans Tezi., Adana. s. 66.

Bahtiyar, M. 1996. Toprak Fiziği. Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fak. Yayınları. Yayın No: 260, Ders Kitabı No: 31, Tekirdağ.

Barik, K. 2002. Toprakların Isısal Özelliklerinin Matematik Model İle Belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.

Bayraklı, F. 1987. Toprak ve Bitki Analizleri. 19 Mayıs Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 17, Samsun.

Bayraklı, F. 1993. S.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Notları; "Toprak Bilgisi", Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Konya, 148 s.

Baver, L. D. 1966. Soil Physics. John Willey and Sons inc. P 489, New York.

Baver, L. D., W.H. Gardner, ve W.R. Gardner, 1972. Soil Physcis J. Willey and Sons . İnc., N.Y., USA.

Bouyoucus, G. J. 1951. A Recalibration Of The Hydrometer Method For Making Mechanical Analysis Of Soils. Argon. J. 43: 434-438.

Blake, G.R. and 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.

Brandon, T. L. and Mitchell, J. K. 1989. Factors İnfluencing Thermal Resistivity Of Sands. Journal Of Geotechnical Engineering, 115: 12, 1683-1698: 30 ref.

Bristow, K. L., Bılskie, J. R., Kluitenberg, G. J. and Horton, P. 1995. Comparasion Of Techniques For Extracting Soil Thermal Properties From Dual-Probe Heat-Pulse Data. Soil Sci. 160:1-7.

Buchan, G. D. 1991. Soil Temperature Regime. Soil Analysis: Physical Methods, 551-612; 133 ref. New York.

Butts, C. L., Mishoe, J. W. and Chau, K. V. 1990. Measuring Thermal Diffusivity Of Soil. Transactions Of The ASAE, 33: 179-184.

Canbolat, R., Sarıyev, A. 1997. Ziraat Fakültesi Deneme Alanlarında Yaygın Bazı Toprak Serilerinin Fiziksel Parametrelerinin Belirlenmesi ve Hidrolik Özelliklerinin Matematiksel Modellenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt: 8, Vol: 8, sayfa:159-167. Adana. Yüksek Lisans Tezi.

Carslaw, H. S., Jaeger, J. C. 1959. Conduction Of Heat İn Solids, 2nd ed., Oxford Unıversity Pres, N. Y.,

Chudnovskii, A. F. 1976. Teplofizika Poçv, Moskova, 352 s (Rusça).

Crank, J. 1956. The mathematics of difusion Oxford Unıversity Press, London.

Çelebi, E. 2001. Toprak Kolonlarında Sıcaklık Dağılımlarının Farklı Nem Düzeylerinde Araştırılması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 76 sayfa, Adana (yayınlanmamış).

Çepel, N. 1985. Toprak Fiziği. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları. Yayın No. 374/2313. İstanbul.

Daji, J. A. 1970. ATextbokk of Soil Science. Asiu Publishing House. N.Y. , USA.

Davis, J. L., Vatkenburg, P. and Boertje, R. D. 1986. Empirical And Theoretical Considerations Toward A Model For Caribou Socioecology Special Issue (1):103

Demiralay, İ., 1977, Toprak Fiziği, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları, s: 2 10 -221 Erzurum.

Demiralay, İ., 1980, Erzurum Koşullarında Plastik Malçın Toprak Sıcak1ığına Etkisi Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ziraat Dergisi, 9(1): 1-8.

Demiralay, İ. 1993, Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 143 s 6-51, Erzurum.

De Meester, T. 1970. Soils Of The Great Konya Basin, Turkey. Agricultural Research Reports 740. Pudoc, Wageningen.

De Vries, D. A. 1952. The Thermal Condictivitu of Granular Materials. Bulletin de l'Institute International du Froid, Annexe,115.

De Vries, D. A. 1963. Thermal properties of soils. in W.R. Van Wijk, (ed) Physics Of Plant Environment, Chap. 7. Amsterdam.

De Vries, D. A. 1966. Thermal Properties of Soils. in W.R. Van Wijk (ed.) Physics of Plant Environnıent. 2nd ed.. Noıh - Holland Pubi. Co.. Amsterdam.

De Vries, D. A. 1975. Heat transfer in solis. In heat and masstransfer in the biosphere. I. Transfer Processes in Plant Environment. eds. D.A. De Vries and N.H. Afgan. 5-28. New York.

De Vries, D. A. and Philip, J. R. 1986. Soil Heat Flux, Thermal Conductivity and The Null Agliment Method. Soil Sci. Soc. Amer. J., 50: 12 - 1 8.

Dinç, U. ve Şenol, S. 1998. Toprak Etüd ve Haritalama. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: A-50 Adana.

Dinç, U. ve Ark., 1999. Toprak Genesisi ve Sınıflandırılması. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: C-130

Ekberli, İ., Gülser, C., Özdemir, N. 2005. Toprakların Termo-Fiziksel Özellikleri ve Isısal Yayınım Katsayısının Değerlendirilmesi. O. M. Ü Ziraat Fak. Toprak Bölümü. O. M. Ü Zir. Fak. Dergisi 20 (2): 85-9, Samsun.

Ekberli, İ., Gülser, C., Korkmaz, A., Özdemir, N., Aşkın, T. ve Mikayilsoy, F. 2002. Su Havzalarında Toprak ve Su Kaynaklarının Korunması, Geliştirilmesi

ve Yönetimi Sempozyumu. Toprak Oluşum Enerjisinin Teorik İncelenmesi. M. K. Ü. Ziraat Fak. Hatay. s. 489-494.

Ergene, A. 1982. Toprak Bilimin Esasları, A.Ü. Yayınları, Erzurum.

FAO, 1990. Micronutrient At The Country Level. P:1-208. An International Study. (ed. M. Sillanpa). FAO Soil Bulletin 63. Published by FAO, Rome, Italy.

Fırat, B. 1998. Bitki Nasıl Beslenir, Atlas Kitapevi, Konya 292 s.

Gemant, A. 1950. The Thermal Conductivity of Soils. Jour.App. Physics, 2: 750-752.

Genç, İ. 1988. Tarımsal Ekoloji. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No : 29 Adana.

Gardner, M. R. and Hanks, R. J. 1966. Evalution of The Soil By Measurement of Heat Flux. Soil Sc.Soc.Am. Proc., 30,P.425-428

Gerayzade, A. P. 1982. Toprak Sistemlerinde Sıcaklık ve Nem Taşınımı. Baku, Elim, 157 s.(Rusça)

Gerayzade, A. P. 1989. Toprak Bitki Atmosfer Sisteminde Enerji Döngüsü. Baku. Elim, 158 s. (Rusça)

Gönen, N. 1978. Toprakların Islanma Isıları Üzerinde Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi Basımevi.

Gülser, Ç. ve Ekberli. İ. 2002. Toprak Sıcaklığının Profil Boyunca Değişimi. O.M.Ü. Ziraat Fak. Toprak Bölümü O.M.Ü. Zir. Fak. Dergisi 17 (3):43-47 Samsun.

Gülser, Ç. ve Ekberli, İ. 2004. A Comparison of Estimated and Measured Diurnal Soil Temperature Through a Clay Soil Depht. Journal of applied Sciences, 4 (3):418-423.

Hadas, A. 1969. A Comparison Between Predicted and Measured Values of The Thermal Conductivity of a Moist Soil Under Steadyand Fluctuating Thermal Regimes. The Israel J. Of Agricultural Res., 19: 151-160.

Hadas, A. and Fucs, M. 1973. Prediction of the Thermal Regime of Bare Soils in Physical Aspects of Soil Water and salt in Ecosystems. Spriger - Verlag.

Hahne, E., Song, Y.W. and Gross, U. 1990. Measurements of Thermal Conductivity İn Porous Media. Convective Heat and Mass Transfer İn Porous Media. K. Yüncü (ed) NATO, Advanced Stude Instutue, p 523-540, Izmir - Turkey.

Halıcı, F. 2001. Örneklerle Isı Geçişi. Sakarya, 448 s.

Hausenbuiller, R.L. 1975. Soil Science, Principles and Practices. 4 th.print. W.M.C. Brown Co. Jawa, USA.

Hillel, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic Press, New York. London.

Hillel, D. 1998. Environmental, Soil Physıcs. Academic Press, New York. London

Hızalan, E. and Ünal, H. 1966. Important Chemical Analysis of the Soils (in Turkish). A.Ü. Ziraat Fak. Yay. N: 278, Yardımcı Ders Kitabı No: 97, A.Ü. Basımevi Ankara.

Hnaks, R.J. ve G.L. Ashcroft,. 1980. Applied Soil Physics. Advanced Series in Agr. Sci., 8. Springer. Verlage, N.Y., USA.

Horton, R. Jr. 1982. Determination and Use Of Soil Thermal Properties Near The Soil Surface. New Mexico Satate University, 151 p.

Horton, R. and Wieranga. P. J. 1983. Estimating the Soil Heat Flux From Observations of Soil Temperature Near The Surface. Soil Sci. Soc. Amer. J., 47: 14 - 20.

http://cas.bellarmine.edu

http://img462.imageshack.us/img462/7179/albedo11il.jpg

http://msxlabs.org/forum/ziraat/205759-Toprak Sıcaklığı.html

Huwe, B. R. and Van Der Ploeg. (1989). Development and Validation of A Nitrogen Simulation Model. Contaminant Transport İn Groundwater (eds. H.E. Kobus, W. Kinzelbach). Balkema. Rotterdam, 421-428.

Jackson, M. L. 1962. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall, Inc. 183. New York.

Janse A. R. P. and Borel, G. 1965. Measurements of Thermal Conductivity İn Situ İn Mixed Materials e. g. Soils., Neth. J. Agri. Sci. 13: 57-62.

Jury W. A., Gardner W. R., Gardner W.H. 1991. Soil Physics. New York, 328 p.

Kakaç, S. 1998. Örneklerle Isı Transferi. Ankara, 358 s.

Kandırmaz**,** S. 1990. Toprak-Bitki-Atmosfer Sürekliliğinde Bazı Fiziksel Faktörlerin Bilgisayar Denetimli Ölçme Sistemleri ile Algılanması. Çukurova Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi., Adana. s. 60Kauriçev, İ. S. 1989. Toprak Bilimi, Moskova, 719 s.

Kemp, P. R., Cornelius, J. M., and Reynolds. J. F. 1992. A Simple Model For Predicting Soil Temperatures İn Desert Ecosystems, Soil Sci. 153: 280- 287.

Kertsen M. S. 1949. Thermal Properties of Soils. Bulletin 28. University of Minesone Agricultural Experimental Station, pp. 1-227.

Kırda, C. ve Sarıyev, A. 2002. Toprak Fiziği, Ç.Ü. Ziraat Fak. Genel Yayın No: 245, Ders Kitabı, Adana,188 s.

Kirkham, D. and Powers, W. L. 1972. Advanced Soil Physics. New York: Wiley-Interscience, 534 p. Luthin, JN, ed. 1957.

Kimball, B. A., Jackson, R. D., Reginato, R. J., Nakayama, F. S. and Isdo, S. B. 1976. Comparison of field - measured soil - heat fluxes. SoiI Sci. Soc. Amer. J., 40: 18 -25.

Kluıtenberg, G. J. and Horton, R. 1990. Analytical Solution For Two Dimensional Heat Conduction Beneath A Partial Surface Mulch.

Kluender, R. A., Thompson, L. C. and Steigerwald, D. M. 1993. A Conceptual Model For Predicting Soil Temperatures. 156: 10-19.

Kohayashı, T. 1993. The Effect of The Temperature Gradient On The Evaporation From Bare Soils With Dry Surfaces. Exchange Processes At Land Surface For A Range of Space And Time Scales: Proceedings of An İnternational Symposium Held At Yokohama, 13-16 July, 147-153: 14 Ref, Japan.

Kohnke, H. and Nakshabandi, G. A. 1964. Heat Transfer İn Soils. 8th Internetional Congres of Soil Sci. Vol. 2: 185 - 195.

Konchhar, A. K. ve Burns, N. D. 1983. Microprocessors and Their Manufacturing Applications, Edward Arnold Pulplishers Ltd., 1-25.

Koorevaar, P., Bolt, G. H., Kamphorst, A. 1975. Basic Elements of Soil Physics. Agricultural University Wageningen.

Koorevaar, P., Menelik, G., Dirksen, C. 1983. Elements of Soil Physics, Elsevier, Amsterdam. Oxsford.

Kowsar, A., Boersma, L. and Jarman, G. P. 1966. Effect of Petroleum Mulch On Soil Water Content And Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 33-783-786.

Kurtener, D. D., ve Chudnovskii, A. F. 1979. Agrometeorolgiçeskie Uslovie Teplovie Meliorasiye Poçvı. Leningrad, s.231 (Rusça).

Lowry, W. P. 1970. Weather and Life Academic Press, New York and London.

Marinova, T. K. 1993. On Determining the Conductivity Coefficient of the Basic Soils in Bulgaria. Bulgarian Journal of Meteorology & Hydrology, No 2 pp. 65-69.

Mckinon, J. M. and Lemmon, H. E. 1985. Expert Systemsfor an Agriculture Compatesd Electronics in Agriculture. 30-70.

Mihalakakou, G., Santamouris, M., Lewis, J. O. and Asimakopoulos, D. N. 1997. On the Application of The Energy Balance Equation to Predict The Ground Temperature Profiles. Solar Energy, 60, 3/4, p: 181-190.

Mihalakakou, G. 2002. On Estimating Soil Surface Temperature Profiles. Energy and Buildings. 34, p: 251-259.

Mikayilov F.D., Azizov K.Z. Determination of The Hydro Chemical Parameter of Salt Transfer During The Leaching Of Water-Saturated Saline Soils. Sovyet Soil Science, No 5, pp. 84–90(1985).

Mikayilov F.D., Pachepsky Y.A. Analytical Solution of The Equation of The Nonequilibrium Solute Transport in Soil with Dual Porosity. Eurasian Soil Science, Vol. 36, No 4, pp. 398 – 406 (2003).

Mikailsoy F. D. ve Shein, E. V. 2008. The Modeling and the Forecast of the Temperature Regime of Soils. Mater. of the Int. Conf. of the ‘ Fundamental Achievements in Soil Science, Ecologies, Agriculture on a Way to Innovations’. pp. 307- 309, 22–26 April 2008, Moscow, Russia.

Mikayilov, F. D. (2009). Some Questions of Modeling of The Temperature Regime of Soil. Scientific publications, CD, XVIth Winter School on the Continuous Media Mechanics. 24 – 27 Februar, 2009, Perm, Russia (Rusça).

Mikayilov F.D. About one solution of the equation of heat conductivity in soil. International Conference on ‘The Fifth Scientific Readings J.P. Bulashevicha. Deep structure. Geodynamics. Thermal Field of the Earth. Interpretation of Geophysical Fields’. Scientific Publications, pp. 319-323, (6 – 10 July, 2009, Yekaterinburg, Russia).

Mikayilov F. D., Shein E.V. Theoretical Bases and Experimental Approaches of Definition of Warmly Physical Parameters of Soil. Eurasian Soil Science, (in press) (2010).

Mikailsoy F. D., Pachepsky Y.A. Average Concentration of Soluble Salts İn Leached Soils İnferred From The Convective-Dispersive Equation. Irrigation Science, (in press) (2010).

Munsuz, N. 1969. Toprakların Islanma Isıları Üzerinde Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.

Müjdeci, M. 2004. Toprak-Bitki-Atmosfer Sisteminde Buğdayın Büyüme, Gelişme ve Veriminin Matematiksel Modellenmesi. Doktora Tezi, Adana, 148 s.

Nassar, I. N., Horton R. and Globus, A. M. 1992. Simultaneus Transfer of Heat and Solute in Porous Media: II. Experiment and Analysis. Sofi Sci. Soc. Amer. J., 56: 1357 – 1365.

Nerpin, S. B. and Çudnovski, A. F. 1975. Energy and Mass Exchange in Plant Environment Gidrometeoizdat, Leningrad. 359 p.

Özbek, H. 1990. Toprak Bilgisi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No:34. Adana.

Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., ve Kaplan, H. 2001. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:73, Ders Kitabı No: a-16, "Toprak Bilimi" Adana, 816 s.

Özkan, İ. 1985. Toprak Fiziği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Yayın No: 946, Ders Kitabı: 270, Ankara, s.137- 159.

Pala, M. 1979. Toprak Sıcaklığı ve Neminin Toprak Havasının Özelliklerine Etkisi. Orta Anadolu Bölgesi Zirai Araştırma Enstitüsü, Ankara.

Patten, H. E. 1909. Heat Transterence in Soils. Bulletin 59. United States Departmant of Agriculture Bureaus of soils.

Poluektov, R. A. 1977. Matematische Model Der Pflanzenproduitvitat. In: Biophysikalisce Anaysze Pflanzicher Systeme Jene:Veb Fischer Verlag.31-37.

Poluektov, R. A. 1991. Similation of Agroocosystem Dynamics. Gidrometoizdat, St-Petersburg, Rusia. 312 p.

Rose, C. W. 1968. Water Transport in Soil With A Daily Temperature Wave. I. Theory and Experiment. Aust. J. Soil Res. 6: 31- 44.

Rose, C. W. 1979. Agricultural Physics. Pergaman Prees. New York, 230 p.

Saatçı, F. 1975. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:214 "Toprak İlmi", Ege Üniversitesi Matbaası Bornova-İzmir, s. 303.

Santos, R.C., Vıswandadham, Y. and Santaa, J. M. 1988. Thermal Properties of the Soil: A Case Study. Ciencia A Culture-San- Paulo, 40: 12, 1227-1231; 6 Ref.

Sarıyev, L. A., Gülüt, K., 1995. Agroekosistemde Bitki Gelişiminin Matematiksel Modelleri ve Bunların Temel Prensipleri. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 10, (4) : 61-66 s. Adana.

Sarıyev, L. A., Bilgehan, G., Gülüt, K., Aydın., C. 1996. Toprak Sıcaklığının Matematiksel Modellenmesi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 11, (2):115-120.

Sarıyev, A. L., Aydın, M., Polat, V., Tuli, A. 1995. Toprak Rutubet Karakteristik Eğrisi ve Toprak-Kök Sistemine Su Akımının Matematiksel Modellenmesi , Ç. Ü. Z. F. Dergisi, 25. Kuruluş Yılı Özel Sayısı, Adana. Sayfa 257-268.

Sarıyev, A. L ve ark. 1996. Toprak Sıcaklığının Matematiksel Modellenmesi. Ç.Ü. Ziraat Fak., Dergisi, 11, (2): 115-120.

Schroo, H. 1963. Aninvertory of Soil and Suitabilitites in Westrian, I. Netherlands Journal of Agricultural Science, Vol: 11, 308-333.

Shen, Y. and Tanner, C. B. 1990. Radiactive and conductive Transport of Heat Trough Fail Chopped Corn (Zea Mays L.) Residue. Soil Sc. Soc. Am. Jor. 54,3:653.

Smith, W. O. and Byers, H. G. 1938. The Thermal Conductivity of Certain of The Great soil Groups. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 3, pp. 13-19.

Smith, H. G. and Weldon, M. D. 1941. A Comparison of Some Methods For The Determination of Soil Organic Matter. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 5:177-182.

Soil Survey Manual, 1951. U.S. Department of Agriculture Handbook 18: 235.

Soltanpour, P. N., and Workman, S. M. 1981. Use of İnductively-Coupled Plasma Spectroscopy For The Simultaneous Determination of Macro and Micronutrients in NH_4HCO_3-DPTA Extracts of Soils. In Barnes R.M. (ed). Developments In Atomic Plasma Analysis, USA, pp. 673-680.

Steduto, P. 2000. Determination Methods of Crop Water Consumption. ln: Kırda, C., Steduto, P. (eds). Soil Water Balance and Transport Processes, Review of Theory and Field Applications. Cahiers Options Mediterraneennes 46: 1 -25.

Steenhuis, T. S. and Walter, M. F. 1984 Will Drainage İncrease Spring Soil Temperature. ASAE. paper. No.84-251, 15 pp., 14 ref., 7 fig.

Şeker, C. 1995. Konya Ovası Topraklarında Kaymak Tabakası Oluşumunun Önlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Konya, 88 s.

Şeyin, E. V. 2005. Toprak Fiziği Kursu, Moskova, 2005, 431 s.

Şeyin, E. V. 2006. Tarım Fiziği, Moskova, 400 s.

Şeyin, E. V. 2007. Toprak Fiziği Teorisi ve Metotları, Moskova, 616 s. (Rusça).

Tarkan, M. T. 1973. Zirai Klimatoloji. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No : 230. Erzurum.

Taylor, S. A., Ashcroft, G. L. 1972 Physical Edaphology: The Physics of Irrigated and Nonirrigated Soils. W.H. Freeman and Company, San Franscisco.

Taylor, S. A. and Jackson, R. D. 1986. Heat Capacitiy and Specific Heat. Method of soil Analysis Part I Physical and mineralogical methots. A. Klute (ed), p 941 – 944. Auron. Monogere., 9. ASA and SSSA, Madison. WI. USA.

Tısdale, S. L. and Nelson, W. L. 1982**.** Toprak Verimliliği ve Gübreler. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Yayın No: 168, Ders Kitabı No: 13, 900 s. (Çeviren: Güzel N.).

U. S. Salınıty Lab. Staff., 1954. Diagnosis and Improvement of Salina and Alkali Soils. Agricultural Handbook, No: 60, U.S.D.A.

Ünal, H. ve Başkaya, H. S. 1981. Toprak Kimyası. A.Ü. Zir. Fak. Yay. 759, Ders Kitabı: 218. A.Ü. Basımevi, Ankara.

Yeşilsoy, M. Ş. 1975, Toprakların Isısal İletkenliğinin Özelliklerine Dayanarak Hesaplanması. TÜBİTAK 5. Bilim Kongresi, Toprak-Bitki Besleme Seksiyonu, İzmir, s. 379- 391.

Yeşilsoy, M. Ş. ve Derici, R. 1979. Farklı Toprak Koşullarında Yüzey Sıcaklığının Günlük Değişimine Bağlı Olarak Toprak Kolonlarındaki Sıcaklık Dağılımı. II. Ulusal Isı Kongresi, s. 369- 381.

Yeşilsoy, M. Ş. ve Pala, M. 1984. Toprak Fiziğinin Temel Kuralları (çeviri). Zi Kluender, R.A., Thompson, L.C., and Steigerwald, D.M., 1993. A Conceptual Model For Predicting Soil Temperatures. Soil Sci. 156: 10- 19.

Yeşilsoy, M. Ş. ve Aydın, M. 1991. Toprak Fiziği, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakultesi., Ders Kitabı, No:124, 228 s.

Yeşilsoy. M. Ş. ve Aydın. M. 1995. Toprak Fiziği. Çukurova Üni. Ziraat Fak. Yayınlan Ders Kitabı No: 124 s 199- 221. Adana.

Yılmaz, Ö. 2008. Toprak Kolonlarında Isısal Özelliklerin Belirlenmesi ve Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, 88s.

Van Wijk, W.R. ve D. A. de Vries, 1963. Perodic Temperature Variations İn Homogeneous Soil. ‘’Physics of Plant Enviroment’’. W.R. van Wijk, Editor. Wonth-Holland, Amsterdam.

Van Vijk, W. R. ve De Vries, D.A. 1966. Periodic Temperature Variations İn a Homogeneous Soil. in: Physics of Plant Enviroment (Edit. W. R., Van Wijk), North- Holland Publ. Com. Amsterdam, 102-143.

Volobuyev, V. R. 1974. Toprak Oluşum Enerjisine Giriş. Moskova, Navka, 128 s. (Rusça).

West, E. S. 1952. A Study of The Annual Soil Temperature Wave. Aust. J.Sci. Res. Series. A. 5:303-314.

Westcot, O. W. and Wıerenga, P. J. 1974. Transfer of Heat by Condition and Vapor Movement in Closed Soil System. Soil Sci. Am. Proc. 38: 9-14.

White, A.W., J. E. Giddens, ve H. D. Morris. 1959. The Effect of Sawdust on Crop Growth and Physical and Biological Properties of Cecil Soli. Soil Sci. Boc. Am. Proc., 23:365-368.