T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK KOLONLARINDA ISISAL ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

ÖMER YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

KONYA, 2008

T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK KOLOLARINDA ISISAL ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

ÖMER YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

Bu tez 11/09/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Fariz MİKAİLSOY
(Danışman)

Prof. Dr. Saim KARAKAPLAN
(Üye)

Prof. Dr. Cevdet ŞEKER
(Üye)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK KOLONLARINDA ISISAL ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

Ömer YILMAZ
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fariz MİKAİLSOY
2008, 88 Sayfa

Jüri: Yrd. Doç. Dr. Fariz MİKAİLSOY
Prof. Dr. Saim KARAKAPLAN
Prof. Dr. Cevdet ŞEKER

Bu çalışmada, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlası topraklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinden faydalanarak, ısısal özellikleri matematik modelleme yardımıyla belirlenmiştir. Toprak katmanlarındaki sıcaklık ölçümleri Elimko E680 cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm değerleri ile ısı iletiminin matematiksel modeli arasında uyumlu ilişki bulunmuştur. Bu bakımdan söz konusu matematiksel model toprak sıcaklık rejimini belirlemek için uygundur.

Anahtar Kelimeler: Toprak sıcaklığı, Modelleme, Ölçüm sistemi Elimko.

ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINATION AND MODELLING OF THERMAL PROPERTIES IN SOIL COLOUMNS

Ömer YILMAZ
Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Fariz MİKAİLSOY

2008, **Pages**: 88

Jury: Assist. Prof. Fariz MİKAİLSOY
Prof. Dr. Saim KARAKAPLAN
Prof. Dr. Cevdet ŞEKER

This study was done Agriculture Faculty of Selcuk University in experiment field soils and determined thermal properties of soils with mathematics model using physical and chemical characteristic. Temperature levels in soil horizons were observed utilizing Elimko E680. Mathematics model of heat transmission with measurement values between found harmonious relation. So, ıt was fitted that this model is useful for the determination of soil temperature regime.

Key Words: Soil Temperature, Modelling, Measuring system ELIMKO

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 imkanlarından yararlanmamı sağlayan hocam Prof. Dr. Sait GEZGİN'e, Arş. Gör. Fatma GÖKMEN'e ve Çukurova Üniversitesi Toprak Bölümü Fiziksel Analiz Laboratuarındaki çalışmalarımda daima yardım ve desteklerini gördüğüm hocam Prof. Dr. Alhan SARIYEV'e ve laboratuar çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

KONYA, Eylül 2008 Ömer YILMAZ

İÇİNDEKİLER

		Sayfa No
ÖZET		i
ABSTRACT		ii
TEŞEKKÜR		iii
İÇİNDEKİLER		iv
ÇİZELGELER DİZİNİ		vi
ŞEKİLLER DİZİNİ		vii
GRAFİKLER DİZİNİ		viii
1. GİRİŞ		1
2. KAYNAK ÇALIŞMALARI		3
3. TOPRAK SICAKLIĞININ MATEMATİKSEL MODELLENMESİ		12
3.1.	Matematiksel Modelleme	12
3.1.1.	Model Kavramı	12
3.1.2	Modellerin Sınıflandırılması	12
3.1.3	Matematiksel Modeller ve Bunların Temel Prensipleri	14
3.1.4	Modellerin Önemi	16
3.2	Toprak Isısı ve Sıcaklığı	17
3.2.1	Toprak Isısı	17
3.2.2	Toprak Sıcaklığı	17
3.2.3	Toprak Isısının ve Sıcaklığının Kaynakları	18
3.2.4	Topraktan Atmosfere Isı İletimi	19
3.3	Toprak Isısına Etki Eden Faktörler	20
3.3.1	Atmosfer Koşullarının Etkisi	20
3.3.2	Coğrafi Koşulların Etkisi	20
3.3.3	Toprak Koşullarının Etkisi	21
3.4	Toprağın Isısal Özellikleri	23
3.4.1	Toprağın Özgül ve Hacimsel Isı Kapasitesi	23
3.4.2	Toprağın Isı İletkenliği	24
3.4.3	Toprağın Isı Yayınımı (Termal Difüzivitesi)	24
3.5	Toprağın Radyasyon ve Isı Dengesi	25
3.5.1	Toprak Yüzeyinin Radyasyon Dengesi	26
3.5.2	Toprak Yüzeyinin Isı Dengesi	26
3.6	Toprakta Isı Hareketi (Geçişi-Transferi)	28
3.7	Toprakta Isı İletiminin Modeli (Matematiksel Denklemi)	30
3.8	Toprakta Isı İletimi Modelinin Sınır Koşulları	32
3.8.1	Başlangıç Koşulu	32
3.8.2	Toprak Yüzeyinde 1., 2. ve 3. Sınır Koşulları	32
3.8.3	Toprağın Belli Bir Derinliğindeki 1., 2. ve 3. Sınır Koşulları	36
3.8.4	İki Yüzeyin Temas Koşulu (4. Sınır Koşulu)	37
3.9	Isı Akımı Denkleminin Analitik Çözümü	38
3.9.1	Isı Akımı Denkleminin Başlangıç Koşulsuz Çözümü	38
3.9.2	Toprakta Isı Akımı Denkleminin Çözümünün Analizi	39
3.10	Toprağın Isısal Özelliklerinin Belirlenmesi	41
3.10.1	Hacimsel ve Özgül Isı Kapasitesinin Hesaplanması	41
3.10.2	Isı Yayınımının Hesaplanması	42
3.10.3	Isı İletkenliği Parametresinin Belirlenmesi	43

3.10.4 Yüzey Bölgesi Havasının Sıcaklığının Belirlenmesi……..... 43
4. MATERYAL VE METOT..... 45
4.1 Toprak Örneklerinin Alındığı Bölge Hakkında Genel Bilgiler ……. 45
4.2 Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması……..... 46
4.3 Deneme Alanı Topraklarının Özellikleri…….……..…… 46
4.3.1 Fiziksel Özellikler…….……..…….. 46
4.3.2 Kimyasal Özellikler…….……..……. 47
4.4 Toprağın Isısal Özelliklerinin Hesaplanması…….……...… 47
4.4.1 Hacimsel ve Özgül Isı Kapasitesinin Hesaplanması ..…… 47
4.4.2 Yüzey Bölgesi Havasının Sıcaklığının Belirlenmesi……..... 48
4.4.3 Isı Yayınımının ve Isı İletkenliği Parametresinin Hesaplanması ……. 49
4.5 Ölçüm Sistemi…….……..... 50
4.5.1 Elimko Data Logger Sistem İle İlgili Teknik Bilgiler…….. 50
4.5.2 Elimko Data Logger Sistem İle İlgili Teorik Bilgiler…….. 53
4.5.2.1 EManager……..…….. 54
4.5.2.2 ELogger…….…….. 55
4.5.2.3 EBackup…….…….. 56
4.5.2.4 EView …….…… 56
4.5.3 Bilgisayar Ortamı ……....……..…. 59
4.5.4 Sıcaklık Algılayıcısı ve Algılama Ortamı …..……..…….. 60
4.5.5 Ölçüm ve Deney Seti…….. 60
4.5.6 Elimko Deney Setinin Hazırlanması ……..…..……. 62
4.5.7 Kolonlara Toprak Doldurulması ve Hesabı……..……..….. 63
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA……. 65
5.1 Araştırma Topraklarının Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri…….……..…… 65
5.2 Ölçümler ve Grafikler…….……..…. 66
5.3 Toprağın Isısal Özelliklerinin Hesaplanması……. 73
5.3.1 Hacimsel ve Özgül Isı Kapasitesinin Hesaplanması…….. 73
5.3.2 Yüzey Bölgesi Havasının Sıcaklığının Belirlenmesi……. 74
5.3.3 Isı Yayınımının Teorik Metotlarla Hesaplanması…….. 74
5.3.4 Isı İletkenliği Parametresinin Belirlenmesi……...……. 76
5.4 Ölçüm Değerlerinin ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması…….....……. 77
6. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 81
7. KAYNAKLAR..... 82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

1. Şekil 3.1. Modellerin Genel Tasnifi……. 12
2. Şekil 3.2. Matematiksel Modellerin Genel Tasnifi ……. 14
3. Şekil 4.1. Elimko Bağlantı Diyagramı ……... 50
4. Şekil 4.2. Elimko E-680 Cihazının Ön ve Arka Panel Görünümü……. 51
5. Şekil 4.3. EDLS Yazılımını Oluşturan Birimlerin Birbirleri Arasındaki İlişkilerin Diyagramı…… 53
6. Şekil 4.4. Elimko Sistemini Durdurma Başlatma Paneli……. 54
7. Şekil 4.5. Elimko Sistemi Verilerinin Excel'de Görünüşü……. 55
8. Şekil 4.6. Elimko Sistemi Sayfa Konfigürasyonu…… 57
9. Şekil 4.7. Elimko Sistemi Bar Grafik Sayfası…….. 58
10. Şekil 4.8. Elimko Sistemi Çoklu Grafik Sayfası…….. 58
11. Şekil 4.9. Elimko Sistemi Çoklu Grafik Konfigürasyonu…… 59
12. Şekil 4.10. PT-100 Sıcaklık Algılayıcısı…….. 60
13. Şekil 4.11.Toprak Kolonu ve Ölçüm Seti……..... 61
14. Şekil 4.12. Araştırmada Kullanılan Deney Seti……... 61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

1. Çizege 4.1. Konya İline ait Uzun Yıllar Meteorolojik Veriler…… 45
2. Çizelge 4.2. Bilgisayar Uyumlu Elimko 680 Çeviricisinin Teknik Özellikleri……. 52
3. Çizelge 4.3. Kayıt Konfigürasyonundaki Parametrelerin Kayıt Süreleri ……. ……...…… 56
4. Çizelge 5.1. 1 nolu Deneme Toprağının Bazı Fiziksel Özellikleri... 67
5. Çizelge 5.2. 1 nolu Deneme Toprağının Bazı Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri……. 68
6. Çizelge 5.3. 2 nolu Deneme Toprağının Bazı Fiziksel Özellikleri….. 69
7. Çizelge 5.4. 2 nolu Deneme Toprağının Bazı Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri……. 70
8. Çizelge 5. 5. Derinliklere Göre 1 Nolu Toprak Sıcaklık Dağılımları (14.08.2008)……. 71
9. Çizelge 5. 6. Derinliklere Göre 2 Nolu Toprak Sıcaklık Dağılımları (31.07.2008)…….. 72
10. Çizelge 5. 7. Yüzey Hava Bölgesinin Parametreleri……. 74
11. Çizelge 5. 8. Derinliklere Göre 1 Nolu Toprağın Minimum, Maksimum Sıcaklıkları ve Sıcaklık Dalgalarının Genlikleri..... 74
12. Çizelge 5. 9. 1 Nolu Toprağın [h_i; h_{i+1}]Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Hesaplanması……... 75
13. Çizelge 5. 10. 2 Nolu Toprağın [h_i; h_{i+1}]Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Hesaplanması……... 76
14. Çizelge 5. 11. 1 Nolu Toprağın Ölçülen (T) ve Modelden Elde Edilen $\left(\tilde{T}\right)$ Sıcaklık Değerleri……... 77
15. Çizelge 5. 12. 2 Nolu Toprağın Ölçülen (T) ve Modelden Elde Edilen $\left(\tilde{T}\right)$ Sıcaklık Değerleri…….. 78

GRAFİKLER DİZİNİ

Sayfa No

1. Grafik 5. 1. 14.08.2008 Tarihinde Nemsiz Koşullarda 1 Nolu Toprağın Sıcaklık Dağılım Grafiği……..……. 71
2. Grafik 5. 2. 31.07.2008 Tarihinde Nemsiz Koşullarda 2 Nolu Toprağın Sıcaklık Dağılım Grafiği ……..... 72
3. Grafik 5. 3. 1 Nolu Toprağın x=0, 0.10 ve 0.30 Katmanlarındaki Ölçülen ve (3.37) Nolu Modelden Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Grafiği……. 79
4. Grafik 5. 4. 1 Nolu Toprağın x=0.50, 0.70 ve 0.90 Katmanlarındaki Ölçülen ve (3.37) Nolu Modelden Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Grafiği..... 79
5. Grafik 5. 5. 2 Nolu Toprağın x=0, 0.10 ve 0.30 Katmanlarındaki Ölçülen ve (3.37) Nolu Modelden Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Grafiği……. 80
6. Grafik 5. 6. 2 Nolu Toprağın x=0.50, 0.70 ve 0.90 Katmanlarındaki Ölçülen ve (3.37) Nolu Modelden Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Grafiği……..... 80

1. GİRİŞ

Tarımsal yönetim uygulamalarında toprak özelliklerinin bilinmesi, modern tarım yöntemlerinin seçimine temel oluşturmaktadır. Bu özelliklerden biriside toprak sıcaklığıdır.

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 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).

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).

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).

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 araştırmanın amacı Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlası topraklarının ısısal özelliklerini, toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinden faydalanarak, onları matematik model yardımıyla belirlemek ve profil derinliğinde ısısal özelliklerin toprak sıcaklığının bir fonksiyonu olarak değişimini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür.

2. KAYNAK ÇALIŞMALARI

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 (Khonke 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.

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. Araştırıcılara 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, laboratuvarda 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.

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

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

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 kadarının buhar hareketine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Hadas (1969), ısısal iletkenliğin hesaplanmasındaki teorik yaklaşımı kullanarak elde ettiği hesaplanan değerler ile deneysel ölçüm sonuçlarını karşılaştırmıştır. Araştırmacı, kararlı koşullarda hesaplanan ısısal iletkenlik değerleri ile deneysel sonuçların birbiri ile uyum gösterdiğini, ancak 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.

Son yıllarda bitki gelişim modellerinin 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).

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.

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, tahminin yapılması daha uygun olarak görülebilir (Hadas, 1977).

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.

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 yoldan 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 nem içeriğine uyum gösterdiğini saptamışlardır.

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 buluna 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 diffüzivite olduğunu ve diffüzivite değerinin drenajlı ve drenajsız topraklarda hemen hemen aynı değerde olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden, tarla kapasitesindeki nem miktarındaki azalma, toprak sıcaklığında meydana gelen değişiklikleri etkilemez.

Toprak gibi gözenekli ve hetorejen bir ortamda bir çok etmenin dikkate alınmasının zorunlu olması nedeni ile, ısı akısının matematiksel tanımlanması çok karmaşıktı ve henüz tam gelişmeden iletim mekanizmasının sorumlu olması ve belirli şartların gözlenebilmesi nedeniyle, bir çok durumda topraktaki ısı akısının

tanımlanmasında homojen katılardaki ısı iletimini ile ilgili olarak geliştirilmiş matematiksel eşitlikler kullanılabilmektedir (Özkan, 1985).

Santos ve ark. (1988), toprak yüzeyinde meydana gelen ısı transferi, topraktaki termal özellikler ve sıcaklık eğilimleri ile ilgilidir. Termal diffüzivite (DE) topraktaki nem içeriğine ve toprak bünyesine bağlıdır. Termal diffüzivite 1984 ve 1985 yıllarında farklı mevsimlerde işlenmiş toprak üzerine 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 öz direncini 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. Laboratuvar çalışmalarında "termal iğne" yöntemi silis kumları için kullanılmıştır. Bu yöntem sıcaklık ve su içeriğinin artmasıyla, özdirencin azaldığını ortaya koymuştur. Silisli kumların öz direnci 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 alına ısısal iletkenliğin tahmini için geliştirilmiş bir çok 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 çalışmak 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.

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. Metrekarede 0.95 kg 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 tayin 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 rejimini 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. Topraktaki çözeltinin, su ve sıvının aynı anda geçişini tanımlayan üç eşitlik kullanılır (ısı, su ve çözelti). Isı, su ve çözelti akışı eşitlikleri beraber geliştirilmiştir. Her eşitlik üç diffüzyon katsayısı içerir. Diffüzyon katsayıları çözelti yoğunluğuna, sıcaklığına ve toprak nemine bağlıdır.

Kemp, Cornelius ve Reynolds'a (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, termal iletkenlik ve termal diffüzivite değerleri tespit edilmiştir. Burada, artan nem değerlerine karşılık diğer değerlerin de artış göstermesi, nemin termal 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.

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

Ekberli ve ark., (2005), toprak profilinde sıcaklık günlük, aylık ve yıllık olarak değişim göstermektedir. Bu değişim bir gün veya bir yıl olmak üzere zamanın periyodik şeklindedir. 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.

Toprakta sıcaklık dalgalanmaların bilinmesi toprak oluşum süreçlerinde, tarımda, seracılıkta ve yapıların pasif ısınma ve soğumasında büyük önem taşımaktadır (Mihalakakou, 2002).

Toprağın ısısal özelliklerini (ısısal iletkenlik, ısı kapasitesi ve ısısal yayınım) arazi ve laboratuar verilini kullanarak ve matematik modeller uygulayarak çok sayıda araştırmacılar tarafından yapılmıştır (Barik, 2002; Aydın, 1997; Chudnovskii, 1976; Kurtener ve Chudnovskii, 1979; Ekberli ve ark., 2005; Ekberli ve ark., 2002; Gerayzade, 1982 ve 1989; Gülser ve Ekberli, 2002; Marinova, 1993; Mihalakakou ve ark.,1997; Sarıyev ve ark., 1995; Şeyin, 2005 ve 2006; Mikailsoy ve Shein, 2008).

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).

Toprak fiziksel özelliklerinin tayini, zaman alıcı ve pahalı olup, rutin çalışmalar sırasında bu özelliklerin sadece birkaçı ölçülmektedir. Ölçülen verilerden yararlanılarak diğer bir fiziksel özelliğin tahmin edilmesi amacıyla bugüne kadar çok sayıda çalışma yapılmıştır.

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

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 korelasyon 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 (%ε) sırasıyla, 11, 17 ve 14 olmuştur (Müjdeci., M. 2004).

Bu çalışmada, killi bir toprağın profil boyunca günlük toprak ısısındaki zamana karşı oluşan dağılımlar harmonik eşitlik içeren bir veri dizini kullanılarak tahmin edildi. Genlik, ısı yayılımı gibi bazı toprak termal özellikleri 0,10,20,30,40 ve 50 cm toprak derinliğinde belirlendi. En yüksek genlik 12,31 ºC değerinde toprak yüzeyinde elde edildi. Ancak ısı yayılımı toprak yüzeyine kıyasla toprak profilinde aşağıya doğru inildikçe artış gösterdi. Kullanılan eşitlikle tahmin edilen ısı değerleri ile ölçülen değerler uygunluk gösterdi. 10 cm derinliğinde tahmin edilen ısılar (sıcaklıklar) 19 Mayıs Üniversitesi Meteoroloji İstasyonu tarafından ölçülen değerler ile önemli korelasyonlar (0.903**) verdi ve aynı zamanda araştırıcılar tarafından 6 kez ölçülen değerlerle de (0.861**) önemli ilişkiler ortaya çıkardı (Gülser ve Ekberli, 2004).

Toprak derinliğinde iletkenlik katsayısındaki değişimler 17 istasyonda standart toprak ısısı değerleri kullanılarak belirlendi. Bu amaç için ısı dalgalanma metodu kullanıldı. Elde edilen iletkenlik katsayısı değerleri ile diğer toprak tipleri arasındaki ilişkiler kuruldu ve iletkenlik katsayıları araştırıldı (Marinova., 1993). Bu çalışmada, toprak yüzeyindeki sıcaklığın günlük ve yıllık değişimlerinin tahmini için bütünsel bir metod kullanılmıştır. Bu metod, 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 (bitki örtüsü yok) 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).

3. TOPRAK SICAKLIĞININ MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

3. 1. Matematiksel Modelleme

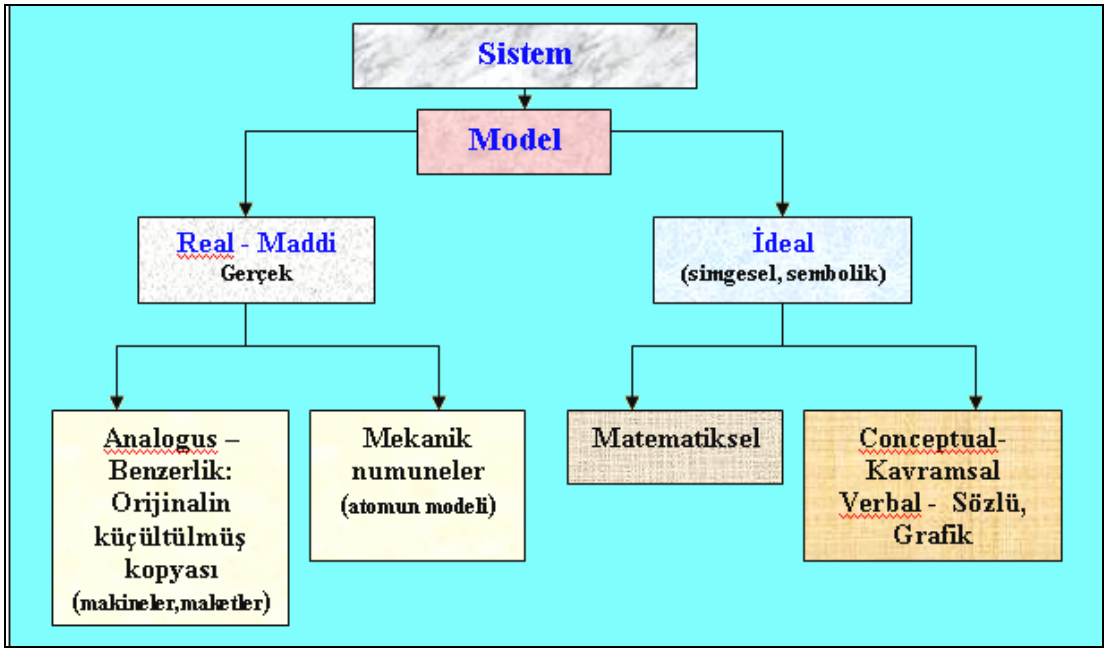
3.1.1. Model Kavramı

Karmaşık yapıya sahip sistemlerin: **- varlıkların, - proseslerin (süreçlerin), - cisimlerin, -olayların** incelenip araştırılmasını ve anlaşılmasını kolaylaştırmak için, gerçeğe uygun bir takım (***fiziksel, kimyasal, biyolojik, jeolojik*** vs.) kanun ve kurallara dayanan varsayımlarla basitleştirilmiş haline ***model*** denir.

Tarımda deneyler yapılan parseller arazinin küçültülmüş modelidir. Tarım arazilerinde su, tuz, sıcaklık proseslerinin, besin maddelerinin bitki kök bölgelerindeki hareketlerinin mekanizmlerini 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*** ;

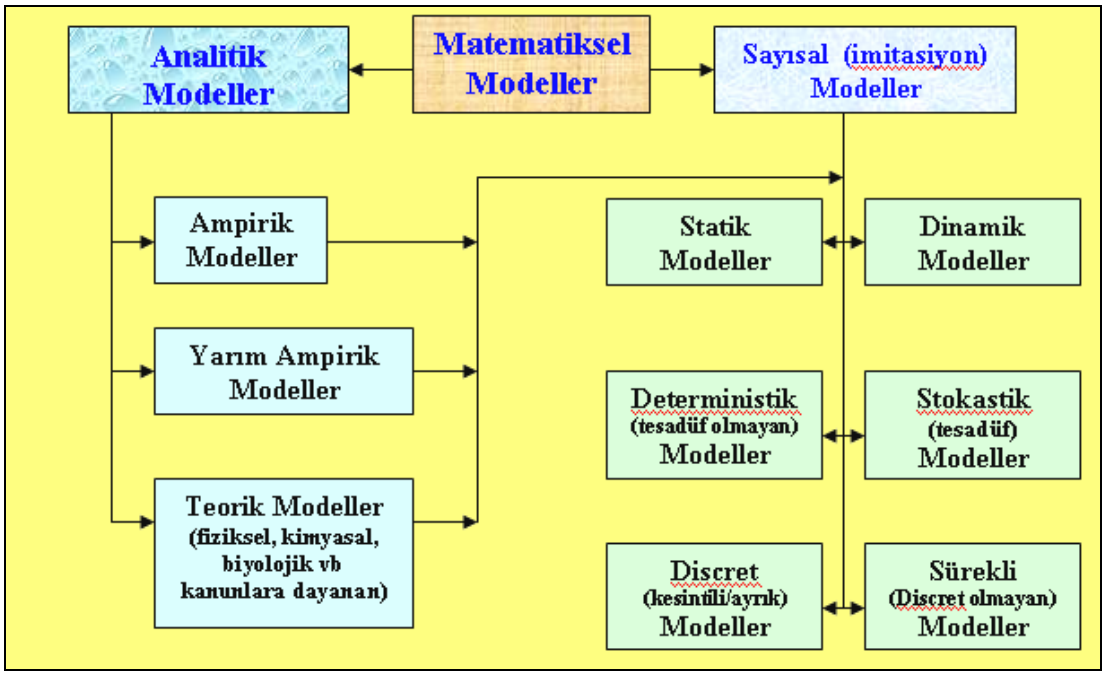
$\boldsymbol{\sigma} = (s_1, s_2, ..., s_l)$- Ekosistemleri bileşenleri arasındaki karşılıklı ilişki ve etkileşimleri: yani, ***sistemin strüktürünü*** ;

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

ifade etmektedir.

Eşitlik (3.2)'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 işlevinin değerlerinin- $\mathbf{u} = (u_1, u_2, ..., u_k)$-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 doğan ve hızlı bir şekilde yayılan simülasyon modelleri karmaşık sistemlerin analizi için öneriler 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 istatiksel olarak değerlendirilmektedir (Poluektov, 1977).

Bilgisayar kullanılmadan önce model anlamı taşıyan iki türlü model oluşturulmuştur:

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

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

Bunların her ikisi de model olarak bilinmektedir, ancak bu modeller, modelin geliştirildiği bölge için kullanılabilir. 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.

Matematiksel modelleme nasıl yapılır? Sadece tarımda değil diğer alanlarda da, örneğin ekonomi modellerinde de 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, zamana bağlı olarak, denklemler sistemi (CO_2, su, azot, enerji vb.) 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 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 vs. 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 Juledir, 1 kal=4,18 Jule).

Toprakların ısı enerjisi kazanmalarında başta gelen kaynak güneş enerjisidir. 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).

Güneş enerjisinin yaklaşık %50'si ultraviyole ışınları 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).

Isı topraktaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayları etkilediğinden oldukça önemli bir faktördür. Topraktaki mikrobiyoloji faaliyetlerin hızı üzerine ısınma tesiri büyüktür. Organik maddenin ayrışması, organik formdaki nitrojenin mineralizasyonu, topraktaki ısının yükselmesiyle artar. Düşük ısı derecesinde toprakta organik maddenin birikmesi yüksek ısı derecelerine nazaran 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 süratlenir (Saatçı, 1975).

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).

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).

Kimyasal ve biyolojik olaylar, enerjiye gereksinme duyarlar. Yeterli derecede sıcaklık olmadığı takdirde, bu gibi değişmeler, özellikle bunlardan biyolojik olanlar, elverişli yoğunlukta devam edemezler. Bu yönden, toprak sıcaklığı hayati önemi olan bir faktördür.

3.2.3. Toprak Isısının ve Sıcaklığının Kaynakları

En büyük ısı kaynağı, atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşan (özellikle dalga boyu 2 mikrondan küçük olan) güneş ışınlarının enerjisidir. Güneşten yayılan radyasyon enerjisinin (elektromanyetik dalgalar şeklinde iletilen enerji) çoğu 0.3 ile 3 mikron arasındaki bir dalga boyuna sahiptir.

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 (Bawer ve ark., 1972; Özkan, 1985; Yeşilsoy, 1973).

Diğer ısı kaynaklarından mesela, 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 yer yüzüne ulaşmasını azaltır. Atmosferdeki su baharı çok fazla ısı absorbe eder. Rutubetli ve bulutlu bir atmosfer güneş radyasyonlarının yer yüzünden uzaklaşmasına mani olur. 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. Nitekim, güneş bir bakıma 6000 ºK sıcaklıktaki bir siyah cisme (black body) benzer ışıma yayar (Yeşilsoy ve Aydın, 1991).

Toprak yüzeyi tarafından tutulan güneş radyasyonun miktarı, mekana (bölgenin coğrafi konumuna ve rölyefine), zamana (güne, aya ve yıllara) ve atmosferin durumuna (bulutlara, yağmurluluğa, rüzgara) bağlı olarak değişmektedir.

3.2.4. Topraktan Atmosfere Isı İletimi

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

- Kondüksiyon
- Radyasyon

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

Boşlukta dalgalar halinde hareket eden enerji, bir engele çarptığı zaman, oradan ısı halinde yansır. Buna ***radyasyon*** denir.

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).

3.3. Toprak Isısına Etki Eden Faktörler

Toprakların absorbe ettiği ısı miktarını, esas itibariyle arza ulaşan güneş radyasyonlarının miktarı tayin eder. Güneş radyasyonlarının etkisi ise, çevrenin iklimi ile ilgilidir. Fakat, toprağa dahil olan enerji miktarı ve bunun sonucunda toprak ısısını ve sıcaklığını doğrudan doğruya veya dolaylı olarak daha ziyade etkileyen ve aşağıdaki şekilde üç genel gruba bölünen faktörlere bağlıdır (Saatçı, 1975; Kauriçev, 1989; Akalan, 1983). Bu faktörler aşağıda sırasıyla açıklanacaktır.

3.3.1. Atmosfer Koşullarının Etkisi

İklim Koşulları: İklim koşullarının farklı olması güneş ışınlarının topraklar üzerindeki etkilerini de farklılaştırmaktadır.

Mevsim (kış, bahar, yaz, son bahar): Mevsimler de güneş ışınlarının geliş açılarının değişmesi nedeniyle toprağın ısınmasında da farklılıkların olduğunu gözlenmiştir.

3.3.2. Coğrafi Koşulların Etkisi

Enlem ve Boylam: Küçük enlem derecelerinden büyük enlem derecelerine gidildikçe bu bölgelerdeki havanının ısısı da düşer. Bu düşüş yalnız hava ısısında olmayıp toprak ısısında da kendini gösterir. Çünkü toprağın ısısı havanın ısısı ile ilgilidir.

Gözlemler, güneş ışınları toprağa ne kadar dik açıya yakın bir eğimle vururs a, absorpsiyonun (yutulmanın) da o kadar yüksek olacağını göstermektedir.

Etrafı su ile çevrilmiş adaların iklimi kara ikliminden farklıdır. Su ısıyı büyük miktarda absorbe ettiğinden yüksek özel ısıya sahiptir. Su ile çevrili adaların ve suyun üstündeki atmosfer su buharı ile doymuş olduğundan ada halindeki kara parçasından ısı kaybı azalır. Halbuki kara ikliminin hakim olduğu yerlerde ise radyasyonla topraktan ısı kaybı olacağından geceleri serin gündüzleri sıcak olur. Bazı denizlerde sıcak su cereyanlarının bulunması buranın iklimine ve dolayısı ile toprak sıcaklığına da tesir eder (Saatçı, 1975).

Rakım: Arazinin alçak ve yüksek oluşunun da toprak ısısı üzerine tesiri vardır. Dağlık bölgelerde yükseklere çıkıldıkça ısı düşer. Halbuki alçak yerlerdeki ısı dereceleri ise yüksek yerlere nazaran daha fazladır.

Gece ve Gündüz: Gündüzleri sıcak geceleri ise serin olur. Rutubetli ve bulutlu bir atmosferin mevcut olduğu yerlerde ise gece ve gündüz arasında büyük ısı farkları yoktur. Açık ve kuru bir atmosferin mevcut olduğu yerlerin ısısı gece ve gündüz arasında büyük farklılıklar gösterir.

3.3.3. Toprak Koşullarının Etkisi

Yön ve Eğim: Yön ve arazinin eğimi toprak ısısı üzerine tesir eder. Güneş radyasyonlarının toprak sathına ulaşan miktarı yön ve arazinin eğim derecesi ile ilgilidir. Bu sebeple kuzey yarım küresinde güney ve batı marazlarındaki meyilli yerler üzerindeki toprakların ısısı, kuzey veya doğu marazlarında mevcut meyilli arazilerdeki toprağın ısısından daha fazladır.

Kuzey yöndeki topraklar kışın uzun bir zaman için don tehlikesi ile karşı karşıya kalmaktadır. Böyle hallerde toprakların don durumu ortadan kalktıktan sonra, toprakların çok rutubetli ve düşük derecelerde olduğu görülür. Bu bakımdan bu gibi yerlere serin iklim isteyen bitkilerin adapte edilmesi zarureti vardır.

Meyve ve sebzelerin gelişmesinde yönün önemi oldukça büyüktür. Güney yönler çok defa don tehlikesi görmediklerinden ve kuzey yönlere nazaran daha çok ısındıklarından bitkilerin ekim ve dikimleri erken, dolayısı ile hasatlarda erken olur. Bununla beraber sıcak olan güney yönlerde bulunan bazı meyve ağaçları tehlikeli donlar geçmeden çiçek açmakta ve don tehlikesi ile karşı karşıya kalmakta ve mahsul de zarar görmektedir (Saatçı, 1975).

Rölyef: Arazinin rölyefinin farklı olması toprak ısısını da önemli derecede etkilemektedir.

Bitki Örtüsü: Toprak ısısı üzerine tesir eden diğer önemli bir faktör de bitki örtüsüdür. Bitkisiz çıplak sahalar bitki örtüsü ile muhafaza edilmediğinden direkt olarak güneş ışınlarına maruz kalmakta günün sıcak saatlerinde çok ısınmaktadır. Soğuk mevsimler geldiği zaman muhafazasız olan topraklar ısıyı hızla atmosfere doğru kaybeder.

Diğer tarafta toprak yüzeyi iyi bir bitki örtüsü ile kaplı olduğu takdirde bilhassa yaz aylarında güneşin radyasyon enerjisinin büyük bir kısmının toprağa direkt olarak hem nüfuzunu ve hem de çıplak alanda olduğu gibi toprağın süratle ısınmasını önler. Kış aylarında bitki örtüsü toprağı bir örtü gibi kapladığından süratle ısı kaybına mani olur. Bitki örtüsü ile muhafaza edilmemiş toprakların sıcaklığı ise süratle atmosfere doğru kaybolur (Saatçı, 1975).

Toprağın bitki örtüsü ile kaplı olup olmamasının da, toprak tarafından alınan ısı miktarına tesiri vardır. Çıplak topraklar, bitki ile örtülü olanlara oranla daha çabuk soğurlar. Don etkisi de, çıplak topraklarda daha fazladır (Akalan, 1993).

Toprağın Rengi: Toprak renginin toprağın ısınması üzerine etkisi vardır. Koyu renkli topraklar açık renkli topraklara nazaran daha fazla güneş enerjisi tutarlar ve bu nedenle de kolaylıkla ısınır. Zikredilen topraklar gündüz esnasında ısı ışınlarını hızla yutarlar buna mukabil geceleri ise ısıyı hızla dışarı iletir.

Koyu renkli topraklar genel olarak fazla organik madde ihtiva etmektedir. Organik madde düşük iletkenliğe ve yüksek özgül ısıya sahip olması dolayısı ile yavaş ısınmaktadır. Koyu renkli ve fazla rutubetli topraklar ise genel olarak açık renkli ve kuru topraklara nazaran daha serindir (Saatçı, 1975).

Koyu renkli toprakların açık olanlara oranla daha fazla ısı absorbe ettiği, kırmızı ve sarı topraklarda sıcaklığın, beyaz renkli topraklara oranla daha çabuk yükseldiği bilinmektedir (Akalan, 1983).

Kumlu topraklar yüksek ısı iletkenliğine sahip olduğundan çok süratli olarak ısınırlar.

Toprağın Nemi: Fazla rutubetli topraklar umumiyetle kuru topraklara nazaran daha serindir. Kuru bir toprağın ısı iletkenliği toprağa suyun ilavesi ile artar çünkü su havaya göre ısıyı daha kolay iletir.

Toprağın Mekanik Bileşimi: Toprakların strüktürlerinin, tekstürlerinin, gözeneklik oranlarının farklı olmasından dolayı ısısal iletkenlikleri de değişmektedir.

Toprağın Organik Madde İçeriği: Yüksek miktarda organik madde içeren topraklar düşük ısı iletkenliği gösterirler.

3.4. Toprağın Isısal Özellikleri

3.4.1.Toprağın Özgül ve Hacimsel Isı Kapasitesi

Toprakların ısı ilişkileri; toprak yüzeyindeki ışımadan 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 $1\,^{0}C$ ısıtmak için gereken sıcaklık miktarına denir ve C_m ile gösterilir. Birimi ise kal $g^{-1}{}^{o}C^{-1}$ veya J $g^{-1}{}^{o}C^{-1}$ 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).

Toprağın özgül ısısının toprak sıcaklığının kontrolünde önemi çok büyüktür. Toprak tarafından belli miktarda ısının yutulması, toprak sıcaklığının hızla yükselmesini garanti edemez. Diğer bütün koşullar eşit olduğu takdirde, yüksek özgül ısılı bir toprakta ısı değişmeleri, alçak olana oranla daha yavaş olur (Akalan, 1983).

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} $ºC^{-1}$ olarak ifade edilir.

Tarladaki toprağın özel ısısı üzerine toprakta mevcut suyun büyük tesiri vardır. Bu sebepten killi topraklar kumlu topraklara nazaran fazla su ihtiva ettiklerinden soğuk topraklar vasfını kazanmaktadır (Saatçı, 1975).

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, o maddenin yoğunluğuyla (P_b, g cm^{-3}) özgül ısı kapasitesinin çarpımına eşittir:

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

3.4.2. 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 izalatör görevi yapmaktadır (Bayraklı, 1993).

Birbirinden **1ºC** farklı sıcaklıkları olan ve aralarında **1cm** uzaklık bulunan $1\,cm^2$'lik toprak kesitinden **1 saniye** içinde geçen ısı miktarına ***toprağın ısı iletkenliği katsayısı*** denir ve λ ile gösterilir.

Yaygın bir şekilde kullanılan birimi aşağıdaki şekildedir:

kal cm^{-1} ºC^{-1} sn^{-1} veya J cm^{-1} ºC^{-1} sn^{-1} veya kal cm^{-1} ºC^{-1} $gün^{-1}$ veya J cm^{-1} ºC^{-1} $gün^{-1}$

Toprakların ısı iletkenlikleri üzerine, organik madde miktarı, bünye, hacim ağırlığı ve gözeneklik gibi faktörler tesir etmekte olup adı geçen faktörler 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).

3.4.3. Toprağın Isı Yayınımı (Termal Difüzivitesi)

Isı taşınması ile ilgili bir diğer kavram ise, ısısal yayınımdır. Bir materyalin ısısal iletkenliğinin, o materyalin hacimsel ısı kapasitesine oranına ***ısısal yayınım denir***.

Isı akımı sonucunda toprağın birim hacmindeki sıcaklığının **1 sn.** zaman zarfında değişmesine ***toprağın ısı yayınımı*** veya ***toprağın termal difüzitesi*** denir, κ veya D ile gösterilir ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

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

Birimi $cm^2\ sn^{-1}$ veya $m^2\ sn^{-1}$ olarak ifade edilir.

3.5. 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). $(R_{sol} + R_{air})$ radyasyonu, atmosfere yansıyan kısa dalgalı radyasyonla yer yüzeyine gelen toplam radyasyon arasındaki orantıya-***albedoya*** (α) bağlı olmaktadır.

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.

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

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

3.5.1. Toprak Yüzeyinin Radyasyon Dengesi

Birim zamanda toprağın birim yüzeyine ***ulaşan*** ve yüzeyden geri yansıyan ***radyasyon enerjisi farkına***:

$$R_n = \left(\mathrm{I}_s^{\downarrow} + \mathrm{I}_l^{\downarrow}\right)_{gelen} - \left(\mathrm{I}_s^{\uparrow} + \mathrm{I}_l^{\uparrow}\right)_{giden} \tag{3.5}$$

Toprak Yüzeyinin Radyasyon Dengesi denir ve birimi kal cm^{-2} $gün^{-1}$ veya kal cm^{-2} dk^{-1} ile ifade edilir.

Burada:

$\mathrm{I}_s^{\downarrow}$ ve $\mathrm{I}_s^{\uparrow}$ – toprak yüzeyine direk gelen ve onun bir kısmının geri yansıyan ***kısa dalgalı*** güneş radyasyonudur;

$\mathrm{I}_l^{\downarrow}$ ve $\mathrm{I}_l^{\uparrow}$ – toprak yüzeyine direk gelen ve onun bir kısmının geri yansıyan ***uzun dalgalı*** güneş radyasyonudur.

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.

3.5.2. Toprak Yüzeyinin Isı Dengesi

Birim zamanda toprağın birim katmanına ***gelen*** ve ***giden*** her çeşit ısının tümüne ***Toprağın Isı Dengesi*** denir ve aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$R = A + P + M + LE \tag{3.6}$$

Birimi ise kal cm^{-2} $gün^{-1}$ veya kal cm^{-2} $yıl^{-1}$ olarak ifade edilir.

Burada:

R – toprağın radyasyon dengesi;

A – toprağın yüzeyi ile onun alt katmanları arasındaki ısı mübadelesi (alış-verişi, karşılıklı değişimi);

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 kısmı (525 kal cm^{-2}.$gün^{-1}$).

Birçok sistemde olduğu gibi, enerjinin sakınım ***(koruma)*** ilkesini temel alarak yeryüzüne yakın çevrede enerji dengesi eşitliğini, gelen ve giden enerjinin akı (***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 eşitliğini:

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

şeklinde 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.

Toprak yüzeyindeki ısı dengesi denklemi (3.8) yaz mevsiminin günlük devrine aittir. Gece zamanı $Q^{\downarrow}_{SR} = 0$, $Q^{\uparrow}_{LE}$ ve $Q^{\uparrow}_{LR}$'in işareti pozitif olur.

Çeşitli meteorolojik ve toprak koşullarına bağlı olarak, (3.8) formülünün sağ tarafındaki bileşenler farklı değerler alacağı açıktır.

(3.8) 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:

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

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

3.6. Toprakta Isı Hareketi (Geçişi-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 sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama geçer. Isının geçişi ortam sıcaklıklarındaki farka bağlı olduğu kadar, ortamın ve yüzeylerin özelliklerine 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 şeklinde yuttukları ve yayınladıkları ısı geçiş şekline ısı ışınımı denir.

Herhangi bir ısı geçişi olayı; bu üç şeklin birisi ile, herhangi ikisi ile yada 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, evoporasyon 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 difüzyonla (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 ısı yayarlar ve bu tarz ısı yayılması ***termal radyasyon*** olarak tanımlanır.

Gezegenimiz yer kürede bütün enerjilerin kaynağı güneştir. Güneşten yer yüzüne ve atmosfere termal radyasyonla ısı gelir. Benzer şekilde yer küre de, yüzey sıcaklığı mutlak sıfırın üzerinde olduğuna göre, etrafa ısı yaymaktadır. Radyasyonla toprak yüzüne veya diğer maddelerin üzere gelen ısı enerjisi ***absorbe*** olur, ***yansır*** ve (veya) geri kalan kısmı maddeni terk ederek başka bir yöne ***taşınır-geçir*** (transmit edilir).

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

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

Eşitlikte; **ρ**-absorptivite (yutma), **α**-reflektiviti (yansıma (albedo)) ve **σ**-transmissiviti (taşınma-geçirme) sabiteleri olup radyasyonla gelen ısı enerjisinin, sıra ile ***hangi oranlarda*** absorbe olacağını, yansıyacağını ve taşınacağını gösterirler. Gelen ışınım enerjisi **1** (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 (veya toprağın radyasyon dengesi için aşağıdaki denklemi yaza bileriz):

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

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

Burada,

Q – Güneşten ve gökten yeryüzüne gelen ***kısa dalga boylu*** ışımanın akı yoğunluğudur;

α – Yeryüzünün yansıtma katsayısıdır (***albedo***). Bu terim yalnızca kısa dalga boylu ışımayı yansıtma katsayısı için kullanılır;

Q_0 – Yüzeylerin yaydığı ***uzun dalga boylu*** ışımanın net akı yoğunluğudur (salınan ve soğurulan uzun dalga boylu ışıma arasındaki fark);

Q_a – Toprak yüzeyine yakın havayı ısıtmada kullanılan ısınsın akı yoğunluğudur;

Q_i – Toprağın içine giden ısının akı yoğunluğudur.

E – Suyu buharlaştırmada kullanılan ısı miktarıdır;

Bu son denklemin, değişik başlangıç ve sınır koşullari için sayısız analitik çözüm geliştirilmiştir (Crank, 1956; Carslaw ve Jaeger, 1959).

3.7. Toprakta Isı İletiminin Modeli (Matematiksel Denklemi)

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

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

şeklinde ifade edilir. Burada,

$\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial x}, \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial y}, \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial z}$ – ox, oy, oz eksenleri doğrultusundaki sıcaklık değişimini;

$\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial t}$ – birim zamandaki sıcaklık değişimini;

$C_m -$ özgül ısı kapasitesini;

$\rho_b -$ yoğunluğunu (sıklığını);

$\lambda -$ ısısal iletkenliği;

$q -$ toprağın içerisindeki çeşitli ısı oluşumunu (üretimini)

göstermektedir.

Yapısı (bünyesi) 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 $\frac{d\rho_b}{d\mathrm{T}} \approx 0$, $\frac{dC_m}{d\mathrm{T}} \approx 0$, $\frac{d\lambda}{d\mathrm{T}} \approx 0$ eşitliklerinin varolduğu gösterilmiştir.

Termik özellikleri (yoğunluğu, özgül ısı kapasitesi ve ısı iletimi parametresi) sıcaklığa göre değişmeyen olan toprağı ***kvazi-homojen*** bir ortam adlanır. 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):

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

Burada, $\kappa -$ ısısal 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 tekdüze (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 değişmelerini günlük ve yıllık olarak değerlendirmekte yarar vardır. Her iki durumda da toprak sıcaklığı genellikle sinüzoidal (kıvrımsal) bir değişim göstermektedir.

3.8. 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 yansıtan, ***başlangıç*** ve ***sınır koşulları*** ile tanımlanması ve tamamlanması gerekiyor. Başlangıç ve sınır koşullarının karakterine göre üç tip parabolik sonuç problemi vardır.

3.8.1. Başlangıç Koşulu

Toprak profilinin başlangıç anındaki sıcaklık dağılımının etkisini **başlangıç koşulu** olarak bilinen aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

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

3.8.2. 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 yada 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 değişmesini 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 Furye tarafından incelenen biçimde, yani sinüzoidal armonik olduğu belirlenmişse, bu durumda $\varphi(t)$'in analitik ifadesinin aşağıdaki şekilde yazılabilir:

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

Burada;

T_0 – toprak yüzeyinin ortalama (günlük, yıllık) sıcaklık değeridir;

T_a – toprak yüzeyinin ortalama sıcaklığından olan maksimum değişim katsayısıdır, dalga genliğidir (amplitudasıdır);

$\omega = \dfrac{2\pi}{\tau_0}$ – açısal frekanstır. Buna bazen ***dalga sayısı (veya sıklığı)*** da denir. Açısal frekansın katlarına ise ***armonikler*** denir.

τ_0 – periyottur, yani bir döngüsünün tamamlanması için gerekli olan zamandır (gün, yıl). Buna bazen ***dalga uzunluğu*** da denir;

t – zaman (gün, yıl);

ε – faz farkı olup (3.17) sinüzoidal eğrinin apsis eksenine göre öteleme gecikme miktarını gösterir.

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

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

Burada;

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

Eğer toprak yüzeyini sıcaklığı $\tau_0 = 2\pi / \omega$ periyotlu fonksiyon ise, bu durumda $\varphi(t)$ fonksiyonu, frekansları bir-birleri ile bağlantılı basit cos veya (ve) sin fonksiyonlarının lineer bir kombinasyonunu ifade eden m. ***mertebeli trigonometrik polinom*** şeklinde:

$$\varphi(t) = \mathrm{T}_0 + C_1 \cos\left(\omega t + \varepsilon_1\right) + C_2 \cos\left(2\omega t + \varepsilon_2\right) + \ldots = A_0 + \sum_{n=1}^{m} C_n \cdot \cos\left(n\omega t + \varepsilon_n\right) \quad (3.20)$$

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

gibi yazılabilmektedir. 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 (yutulan) $Q(0,t)$ ısı akımı miktarı biliniyor ise, bu durumu **2. sınır koşulu** olarak bilinen aşağıdaki eşitliği ile ifade olunur:

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

Burada, $\psi(t)$ toprak yüzeyinde tüm ısı (radyasyon, türbo lens ve transpirasyon) akılarının cebri toplamlarına eşittir.

3. Sınır Koşulu: Meteorolojik parametrelerin her birisinin toprağın 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 koşulu olarak adlanan koşulun ele alınması önerilir.

Bilindiği gibi, Nyuton'un '***soğuma***' yasasına göre birim zamanda her hangi bir ortamın yüzeyinin (cisim, toprak vs.) birim alanından bulunduğu çevreye geçen ısı miktarı $\left(Q^{\downarrow}\right)$, ortamın 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***) ortamın ısısının çevreye geçiş (taşınım) katsayısıdır. Kısa olarak ona ***'ısı taşınım katsayısı'*** denir. 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 sabittir, sıcaklığa bağlı değildir ve tüm yüzey üzerinde aynıdır.

Bu yasanı 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,

$\mathrm{T}_a(t)$ – toprağın yüzey bölgesindeki havanın sıcaklığıdır;

$\mathrm{T}(0,t)$ – toprak yüzeyinin sıcaklığıdır;

h_{sur} – (konveksiyonla) ısı geçişi (taşınım) katsayısıdır.

Bu durumda, sıcaklığı $\mathrm{T}_0 = const$ veya $\mathrm{T}_{air}(t)$ olan toprak yüzey bölgesi ile toprak yüzeyi arasındaki dikey sıcaklık alış-verişini (veya mübadelesini) ifade eden ve ***3. tür 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; λ – ısısal iletkenlik katsayısı; h_{sur} – (konveksiyonla) ısı geçişi (taşınım) katsayısıdır; α – ısı alışveriş katsayısıdır.

Toprak yüzeyinde 3. sınır koşulunun (3.26) biçiminde ele alınması, yüzeydeki ***hava hızının oldukça büyük olması*** ve ***diğer ısı alışveriş proseslerinin etkili olmadığı durumlar*** için geçerlidir. Bu ise gerçeği yansıtmakta yeterli değildir. Bu nedenle, toprak yüzeyinde 3. sınır koşulunun oluşturulmasında toprak yüzeyindeki tüm ısı (radyasyon, türbo lens ve transpirasyon) akılarını 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***:

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

şeklinde 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 6. bölümde açıklanmıştır.

Toprak yüzeyindeki ısı dengesi denklemi ile ifade edilen (3.28) sınır koşulu yaz mevsiminin günlük devrine 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) formülü sağ tarafındaki bileşenler farklı değerler alacağı açıktır.

(3.28) 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 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 yayılımı 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 eşitliğe 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.

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

Toprağın üst yüzeyinde olduğuna benzer biçimde onun belli bir $x=L$ derinliğinde de 1. , 2. ve 3. sınır koşulları verilebilir.

Toprak sıcaklığı dalgasının salınımı derinlik arttıkça git-gide gevşiyor (sönüyor) 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

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

eşitlikleri ile ifade olunur.

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 alış-verişi (veya mübadelesi) gerçekleşir. Bu durum ***3. sınır koşulu*** olarak bilinen:

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

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

3.8.4. 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 soğurulması (absorbsiyonu) yoksa, bu yüzeylerde sıcaklığın ve ısı akımının sürekliliğinin olması var sayılır. Matematiksel olarak bu durum **4. sınır koşulu** olarak bilinen aşağıdaki eşitlikleri ile ifade olunur.

$$\mathrm{T}(x, t)\big|_{x = l_i - 0} = \mathrm{T}(x, t)\big|_{x = l_i + 0} \tag{3.35}$$

ve

$$\lambda_i \frac{\partial \mathrm{T}(x, t)}{\partial x}\bigg|_{x = l_i - 0} = \lambda_{i+1} \frac{\partial \mathrm{T}(x, t)}{\partial x}\bigg|_{x = l_i + 0} \tag{3.36}$$

3.9. Toprakta Isı Akımı Denkleminin Analitik Çözümleri

Toprak içindeki ısı akısının ve hareketinin büyük bir kısmı ***iletim*** yoluyla gerçekleşmektedir. Bu konunu (yani; sıcaklık dalgalarının toprakta yayılması problemi) ilk defa Fransız bilim adamı Furye 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 denklemi olarak adlanan (3.15) nolu kısmi türevli parabolik denklemi uygun başlangıç ve sınır koşulları dahilinde analitik veya sayısal çözümlerinin bulunması gerekiyor.

Bu denklemin homojen ve kuru topraklarda (veya toprağın ana materyalinde) sıcaklık değişiminin belirlenmesi problemine uygulanması mümkündür. Bir önceki kısımda açıklanan koşullardan hangisinin seçilmesi önem arz etmektedir.

3.9.1 Isı Akımı Denkleminin Başlangıç Koşulsuz Çözümü

<u>*Başlangıç ve sınır koşullarının seçilmesi.*</u> Topraktaki sıcaklığın seyri bir çok 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 zaman bağlı olarak değişmesinin analitik biçimi (Furye tarafından incelenen biçimde, yani sinüzoidal armonik olduğu) belirlenmişse, toprak yüzeyinde ***1. sınır koşulu*** ele alınmalıdır.

Böylece, toprak yüzeyindeki sıcaklığın periyodik titreşimlerinin (salınımlarının), homojen yarı sonsuz $(0 \le x < \infty)$ toprak katmanındaki sıcaklık değişimlerine etkisini belirlemek için

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

ısı iletkenlik denkleminin toprak yüzeyinde **1. başlangıç koşulunu:**

$$\mathrm{T}(0,t) = \mathrm{T}_0 + \mathrm{T}_a \cdot \cos(\omega t + \varepsilon) \tag{3.17}$$

sağlayan sınırlı çözümünün bulunması gerekiyor.

Homojen ortamdaki (3.15) nolu ısı iletkenliği denkleminin, pratikte yaygın olarak kullanılan çözümü, toprak yüzeyindeki sınır koşulunun **cos** eğrisi ile, (3.19) gibi tanımlanması halinde, aşağıdaki gibi olmaktadır (Carslaw ve Jaeger, 1959).

$$\mathrm{T}(x,t) = \mathrm{T}_0 + \mathrm{T}_a \cdot e^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}}} \cos\left(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}} + \varepsilon\right) \tag{3.37}$$

Burada;

$\mathrm{T}_0 -$ toprak yüzeyinin ortalama (günlük veya yıllık) sıcaklık değeridir;

$d = \sqrt{2\kappa/\omega} -$ sıcaklık dalgasının ***sönme derinliği*** denir;

3.9.2. Toprakta Isı Akımı Denkleminin Çözümünün Analizi

Bulunan (3.37) 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 dalgalanmaları: $\mathrm{T}(0,t)$ ile, toprağın x derinliğindeki ve t zamanındaki sıcaklık dalgalanmaları $\mathrm{T}(x,t)$ aynı karakterdedir, yani ***sinüzoidaldir***;
- Eğer yüzeyin (3.17) nolu eşitliği ile ifade edilen sıcaklık 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 değişmelerinin zamana bağlı olarak ***kaymasıdır***.

Bu hususları, yani sıcaklık dalgalarının toprakta yayılması prosesini bulunan (3.37) çözümün yardımıyla daha ayrıntılı biçimde analiz edelim.

(3.37) çözümündeki kosinüsün karşısındaki

$$T_a(x) = T_a \cdot \exp\left(-\frac{x}{d}\right) \tag{3.38}$$

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 (3.38) eşitliği ile ifade edilmesine ***Furyenin 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 (yayılan) sıcaklık dalgalarının genliği (titreşimlerin amplütüdü)

$$T_a(x = x_d) = T_a \cdot \exp\left(-\frac{x_d}{d}\right) = T_a \cdot \exp\left(-\frac{d}{d}\right) = T_a \cdot e^{-1} \approx 0{,}37 \cdot T_a \tag{3.39}$$

olur.

Bu o demektir ki $x_d = d$ derinliğinde genlik yüzey dalga genliğinin $e^{-1} \approx 0{,}37$ kadar az olur ve bu azalma derinlik arttıkça devam ediyor ve sonsuzlukta dalga genliği sıfır olur (mu ? hayır, sıfıra yaklaşıyor, yani titreşim az da olsa kalır).

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

$$d = \sqrt{\frac{2\kappa}{\omega}} = \sqrt{\frac{2\lambda}{\omega C_v}} \tag{3.40}$$

Buradaki parametrelerin ne olduğunu daha önceden biliyoruz. ***Sönme derinliği***, sıcaklık genliği derinliğinin $T_a \cdot e^{-1} \approx 0{,}37 \cdot T_a$ '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 olanağı artırır ve tersine $\kappa\tau_0$'in değerleri küçüldükçe ise, $T_a(x)$ genliği de azalar.

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).

3.10. 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.

3.10.1. Hacimsel ve Özgül Isı Kapasitesinin Hesaplanması

Birim hacimdeki toprağın ısı kapasitesini bulmak istersek, değişik toprak öğelerinin (katı, su ve hava fazlarının) katkılarının toplamını almamız 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 (katı, sıvı ve hava fazlarının) hacimsel ısı kapasitelerinin toplamının alınması gerekiyor:

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

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 kat, su ve hava fazlarının hacimsel ısı kapasiteleridir, böyle ki tahminen:

$C_{vk} = 0,48\,kal/\left(cm^3 \cdot {}^0C\right)$, $C_{vs} = 1$ 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 (3.43) nolu eşitliği aşağıdaki biçimde yazabiliriz:

$$C_v = f_k \cdot C_{vk} + f_s \cdot C_{vs} \tag{3.42}$$

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

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

$$C_v = 0,48 \cdot f_{\min} + 0,60 \cdot f_{org} + f_s \tag{3.43}$$

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:

$$C_v = C_{m,katı\ faz} \cdot \rho_b + \theta \tag{3.44}$$

3.10.2. Isı Yayınımının (Termal Diffuzitesinin) Hesaplanması

Toprağın Isı yayınımı parametresinin belirlenmesi laboratuar ve arazi koşullarında toprak sıcaklığın 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.

Aşağıdaki metot, (3.13) nolu denklemin (3.37) nolu çözümüne dayanarak termal yayılma parametresini κ hesaplamak için kullanılmıştır.

Genlik İçeren Formül: Bu yöntem, toprak sıcaklığı genliğinin derinliğe göre gittikçe azalmasını (sönmesini) ifade eden, Furyenin 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 $\mathrm{T}_a(h_2) = \mathrm{T}_a \cdot \exp(-h_2/d)$ oranlanmasıyla

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

elde edilen $\frac{h_2 - h_1}{d} = \ln(\mathrm{T}_{a1}/\mathrm{T}_{a2})$ bağıntıdan toprakta termal yayınımının bulunması için aşağıdaki eşitlik elde edilir:

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

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

3.10.3. Isı İletkenliği Parametresinin Belirlenmesi

Yukarıda açıklanan yöntemlerle bulunan Hacimsel Isı Kapasitesi ve Termal Yayınım Parametresi bulunduktan sonra Isı İletkenliği parametresi toprak su içeriğinin (θ) fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi saptanacaktır:

$$\lambda(\theta) = \kappa \cdot C_v(\theta) \tag{3.46}$$

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

3.10.4. 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 Furye tarafından incelenen biçimde, yani frekansları birbirleri ile bağlantılı basit cos veya (ve) sin fonksiyonlarının lineer bir kombinasyonunu ifade eden *m.* ***mertebeli trigonometrik polinom*** şeklinde ise (bak. (3.20) veya (3.21)), bu durumda sıcaklığın günlük

değişimlerinin her saat başındaki $(\mathrm{N}=24)$ ölçüm değerlerini kullanarak, (3.22) nolu formüllerde bulunan A_0 , A_i , B_i katsayılarının bulunması için ***En Küçük Kareler Yönteminin*** uygulanması gerekir:

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

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

katsayıları - T_0 , A_n , B_n aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

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

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

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 (Çizelge 4.1).

Nisan ve Mayıs ayları en fazla yağış alan aylardır. Bunu takip eden aylarda giderek azalan yağışlar Temmuz ve Ağustos aylarında en düşük seviyeye iner (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Konya İline ait Uzun Yıllar Meteorolojik Veriler (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2006).

Parametreler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975 - 2006)											
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.3	1.0	5.4	10.9	15.6	20.1	23.5	22.9	18.6	12.4	5.7	1.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.6	6.6	11.8	17.5	22.2	26.7	30.2	30.0	26.3	20.0	12.4	6.0
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.2	-3.6	-0.3	4.4	8.5	12.8	16.1	15.5	11.2	6.0	0.5	-2.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.6	6.1	7.0	8.6	10.4	11.3	11.0	9.6	7.2	5.0	3.0
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	9.5	9.0	8.6	10.6	10.9	6.2	3.2	2.4	3.4	6.6	7.3	9.5

4.2. Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması

Toprak örnekleri, 0-100 cm profil kazılmıştır. Açılan profilden yüzeyden itibaren her 10 cm'lik katmanlardan bozulmuş toprak örneği alınmıştır. Ayrıca çakma silindirleri kullanılarak 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 kavanozlarda 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 eleklerden geçirilip ve her örnekte aşağıda açıklanan analizler yapılacaktır. Deneme alanı toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir:

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 tesbit 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 bulunur (Blake ve Hartge, 1986).

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

Katı faz: Hacimsel nem yüzdesinin toplam toprak hacminden çıkarılmasıyla tespit edilecektir (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 hesaplanmıştır $P = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_k}\right)$ (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 Hesaplanması

4.4.1. Hacimsel ve Özgül Isı Kapasitesinin Hesaplanması

Birim hacimdeki toprağın ısı kapasitesini bulmak için, değişik toprak öğelerinin (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 öğelerinin (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; Juri, 1991; Hillel, 1998; Şeyin, 2006) aşağıdaki eşitlik yazıla bilir:

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

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

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

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

$$C_v = C_{m_{katı\ faz}} \cdot \rho + \theta \tag{4.2}$$

Burada, $\rho -$ toprağın birim **V** hacmindeki kütlesi **m** olan toprağın yoğunluğunu;

$C_{m_{katı\ faz}}$ – toprağın birim **V** hacmindeki katı fazının (organik ve mineral terkibinin) 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 değerlerinin ***En Küçük Kareler Yönteminin*** uygulanması ile 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; $\tau_0 -$ sıcaklık dalgasının periyodudur (saat, gün veya yıl),

t_i – gözlemlerin zamanıdır, N – gözlemlerin sayısıdır.

4.4.3. Isı Yayınımının ve Isı İletkenliği Parametresinin Hesaplanması

Toprağın Isı Yayınımı parametresinin değeri laboratuar ve arazi koşullarında toprak sıcaklığın gözlemlenmesi sonuçlarına göre belirlenir. Bu parametrenin bulunması için yaygın olarak kullanılan yöntem, arazi ve laboratuar ortamında deneme verilerine dayanarak, toprakta (3.15) nolu ısı iletkenliği denkleminin (3.39) nolu analitik çözümünden elde edilen (3.47) nolu formülün uygulanmasıdır.

Sıcaklık Dalgasının Genliğini İçeren Metot: Isı yayınımı parametresinin bulunması için önerilen bu yöntem, toprakta ısı hareketi denkleminin çözümünden ve toprak sıcaklığı genliğinin derinliğe göre gittikçe azalmasını (sönmesini) ifade eden, Furyenin 1. kanununa dayanarak geliştirilmiştir ve aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$\kappa = \frac{\pi}{\tau_0} \cdot \frac{\left(h_2 - h_1\right)^2}{\ln^2\left(\mathrm{T}_{a1} / \mathrm{T}_{a2}\right)} \tag{4.5}$$

Burada,

T_{a1} ve T_{a2} – toprağın $x = h_1$ ve h_2 derinliğindeki sıcaklık dalgasının genlikleridir;

τ_0 – sıcaklık dalgasının periyodudur (günlük gözlemler için 24 saat);

T_{a1} ve T_{a2} – genliklerini bulmak için toprağın her bir derinliği için maksimum ve minimum sıcaklık değerleri belirlendikten sonra

$$\mathrm{T}_{a1} = 0,5 \cdot \left(\mathrm{T}_{a1,\max} - \mathrm{T}_{a1,\min}\right) \ , \ \mathrm{T}_{a2} = 0,5 \cdot \left(\mathrm{T}_{a2,\max} - \mathrm{T}_{a2,\min}\right) \tag{4.6}$$

Formülleri kullanılır. Burada: $\mathrm{T}_{a1,\max}$, $\mathrm{T}_{a1,\min}$, $\mathrm{T}_{a2,\max}$ ve $\mathrm{T}_{a2,\min}$ – uygun olarak toprağın h_1 ve h_2 derinliğindeki maksimum ve minimum sıcaklıklardır.

T_i (i=1,2) sıcaklıkları aşağıdaki biçimde elde edilecektir. Önce toprak kolonlarına doğal şartlara uygun olarak doldurulmuş topraktaki sıcaklık değişimini, analog sinyalleri dijital değerlere ve bilgisayar ortamına aktaran 16 kanallı bir ELIMKO kullanılacak. Sonra ise sıcaklık sensörleri tarafından araştırma toprağının bulunduğu ortamdaki sıcaklık değişimleri izlenerek bu sıcaklık değişimleri belirli aralıklarla, bilgisayar ortamına aktaracaktır.

Yukarıda açıklanan yöntemlerle bulunan Hacimsel Isı Kapasitesi C_v ve Isısal Yayınım Parametresi κ bulunduktan sonra Isı İletkenliği parametresi aşağıdaki gibi saptanacaktır:

$$\lambda = \kappa \cdot C_v \tag{4.7}$$

4.5. Ölçüm Sistemi

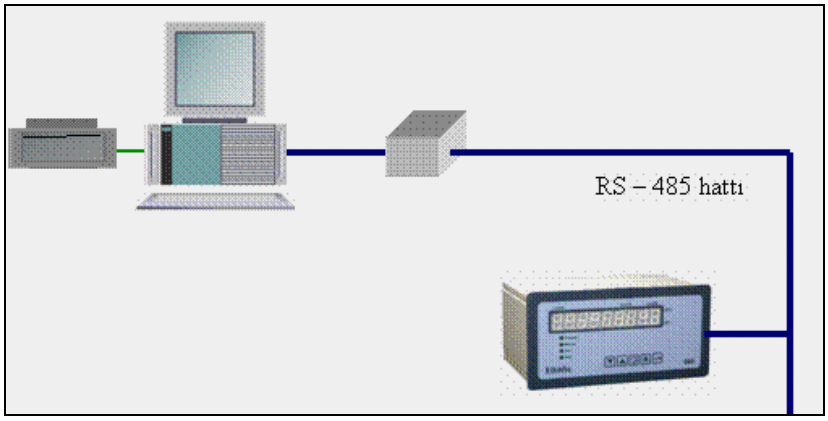
Veri toplayıcılar ölçüm işlemleri sırasında elde edilen verilerin depolanması, verilerin işlenmesinde uygulanan metotlara esneklik sağlayan veri depolama kapasitesine sahiptirler. Hazırlanan bir programın çalıştırılması sonucunda veri toplama sistemi, uygun modüller veya algılayıcılar aracılığı ile veri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

Verilerin dış dünyadan bilgisayar ortamına aktarılması hardware (elektronik devre aksamı) ile software (yazılım)'in birlikte oluşturduğu kompleks yapı ile sağlanmaktadır. Bilgisayar ortamına giren ve çıkan (**I/O**, **Input / Output**) 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. verilmiştir.



Şekil 4.1. Elimko Bağlantı Diyagramı

Hatta bağlı tüm cihazların adreslerin 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 *İletişim Ayarları* menüsünden ayarlanabilir. Cihazların baud rate'i 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.



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

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

- 16 bit çözünürlükle yüksek okuma hassasiyeti
- Sonsuz ömürlü ve yüksek izolasyon gerilimine sahip yarı iletken seçme röleleri

- Standart RS485 mod buz iletişim ara yüzü
- Ortak iki alarm, bağımsız 16 alarm röle çıkışı
- İsteğe bağlı standart akım çıkışı
- Her girişi ayrı programlama olanağı
- Her giriş için iki set noktası girme olanağı
- Her set noktasının alarm tipini tanımlama olanağı
- Her set noktası için ayrı sabit band tanımlama olanağı
- Her set noktası ile ilgili çıkışı ortak röleye veya ayrı bir röle çıkışına yönlendirme olanağı
- Gösterme ve tarama aralıklarını programlama olanağı
- Birden fazla cihazı (31 adet) aynı iletişim hattı üzerinden bilgisayara bağlama olanağı
- Gerçek anlamda dağıtılmış sistem yapısı
- 10 kanala kadar basınç ve sıcaklık kompansazyonlu akış hesaplama olanağı
- Fiziksel kanallarda aritmetik işlem yapma olanağı

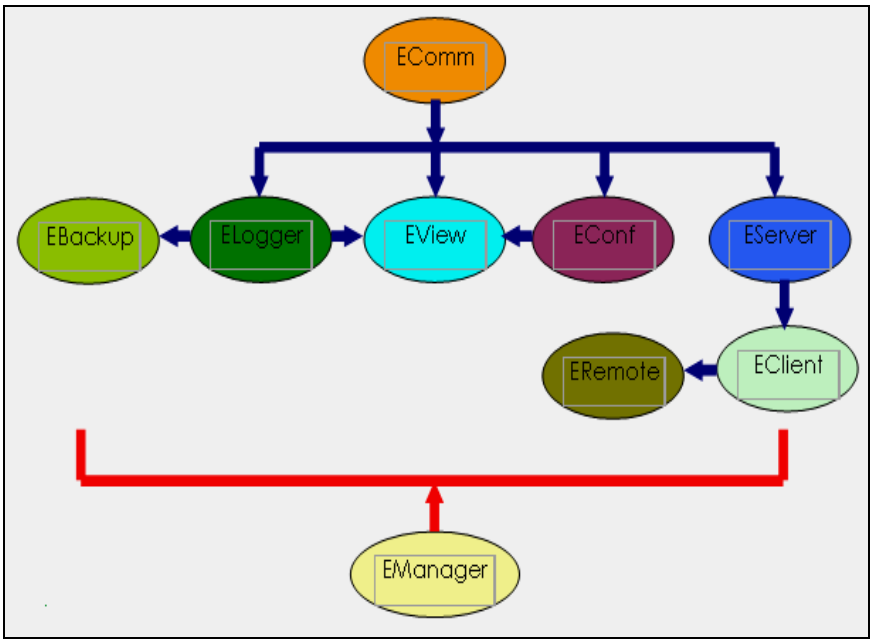
Çizelge 4.2. Bilgisayar Uyumlu Elimko 680 Çeviricisinin Teknik Özellikleri

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 $^{\circ}$C) ± 1 dijit max. Pt-100: (Gösterilen değerin ± % 0.5'i ya da ± 1 $^{\circ}$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 $^{\circ}$C – + 55 $^{\circ}$C (-14 $^{\circ}$F - 131 $^{\circ}$F)(Yoğunlaşma ve buzlanma olmadan
Depolama Sıcaklığı	-25 $^{\circ}$C – +65 $^{\circ}$C (-13 $^{\circ}$F - +149 $^{\circ}$F)(Yoğunlaşma ve buzlanma olmadan)
T/C Ortam Sıcaklık Kompanzasyonu	0 $^{\circ}$C – 50 $^{\circ}$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 aşağıdaki Şekil 4.3'deki diyagramda gösterilmiştir. Diyagramdaki mavi renkli oklar birimler arasındaki data akış yönünü göstermektedir.



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

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 Excell formatına çevirmek ve izlemek için hazırlanmış ek bir yazılımdır.

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

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 makinalara aktarmak için kullanılır.

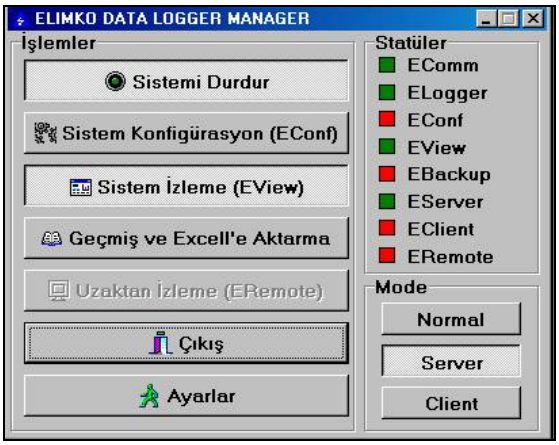
EClient: EServer'ın gönderdiği dataları almak için hazırlanmış bir yazılımdır. Uzak makinada ERemote ile birlikte çalıştırılır.

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 programı ile; *Sistem Durdurma Başlatma, Sistem Konfigürasyon, Sistem İzleme, Geçmiş ve Excell'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.



Şekil 4. 4. Elimko Sistemini Durdurma Başlatma Paneli

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

Geçmiş ve Excell'e Aktarma: Geçmiş ve Excell'e Aktarma EManager programındaki İşlemler bölümünde bulunan Geçmiş ve Excell Aktarma komutuyla gerçekleştirilir. Tüm çalışma modlarında aktifdir. Bu komut EBackup programını çalıştırır.

	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 memorisinde 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.

Çizelge 4. 3. 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

Her bir kayıt sıklığına karşılık gelen kayıt süresi sistemin ilgili kanal için izleme amacıyla arşivinde tuttuğu süreyi belirtir. Bu sürenin dışındaki zamanlardaki kayıtlar silinir. Örnek olarak kayıt sıklığı 10 dakika olarak seçildiğinde ilgili kanalın sadece son 10 güne ait kayıtları tutulur. Diğer kayıtlar silinir.

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.

4.5.2.3. EBackup

EBackup programı database 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.

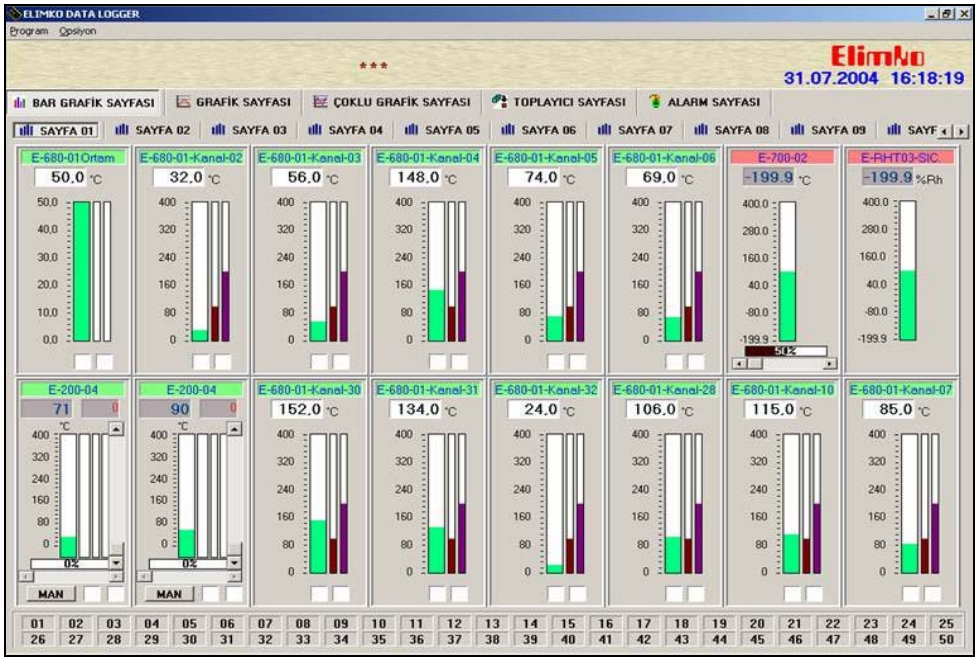
Sayfa Konfigürasyonu: Bu sayfaya EView programının Program ana menüsünün Sayfa Konfigürasyonu alt menüsünden ulaşılır. Bar grafik sayfasındaki alt sayfalarda hangi cihazların hangi kanallarının gösterileceğinin konfigüre edildiği sayfadır. Pencerenin en üst kısmında bulunan Sayfa bölümünden konfigüre 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 (Şekil 4.3).



Şekil 4. 6. Elimko Sistemi Sayfa Konfigürasyonu

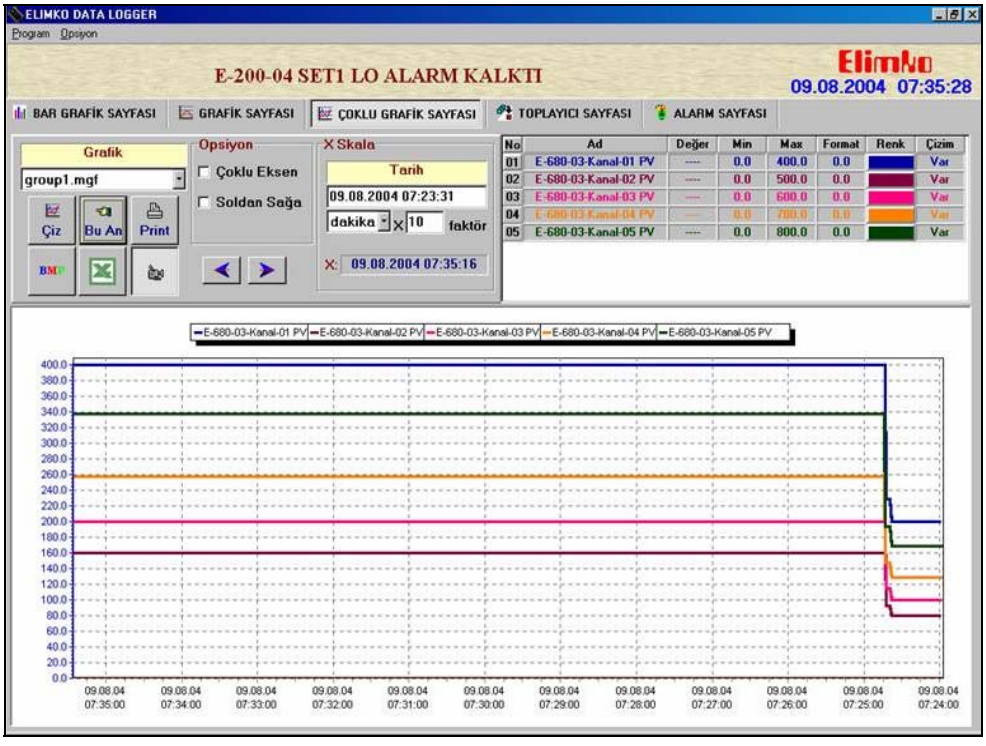
Bar Grafik Sayfası: Bu sayfaya EView programının **BAR GRAFİK SAYFASI** tuşuna basılarak ulaşılır. Bu sayfa 50 adet alt sayfadan ve her bir alt sayfada 16 hücreden oluşmaktadır. Bu bölümlerde cihazlara özgü pencereler gösterilir ve bu pencerelerle cihazlara ait kanalların ölçüm, set, alarm vb. bilgileri 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.

Çoklu Grafik Sayfası: Bu sayfaya EView programının ÇOKLU GRAFİK SAYFASI tuşuna basılarak ulaşılır. Bu sayfa yapı olarak Grafik Sayfasına çok benzerdir. Tek fark çizimlerin kanal bazında değilde daha önce oluşturulmuş çoklu



Şekil 4. 7. Elimko Sistemi Bar Grafik Sayfası

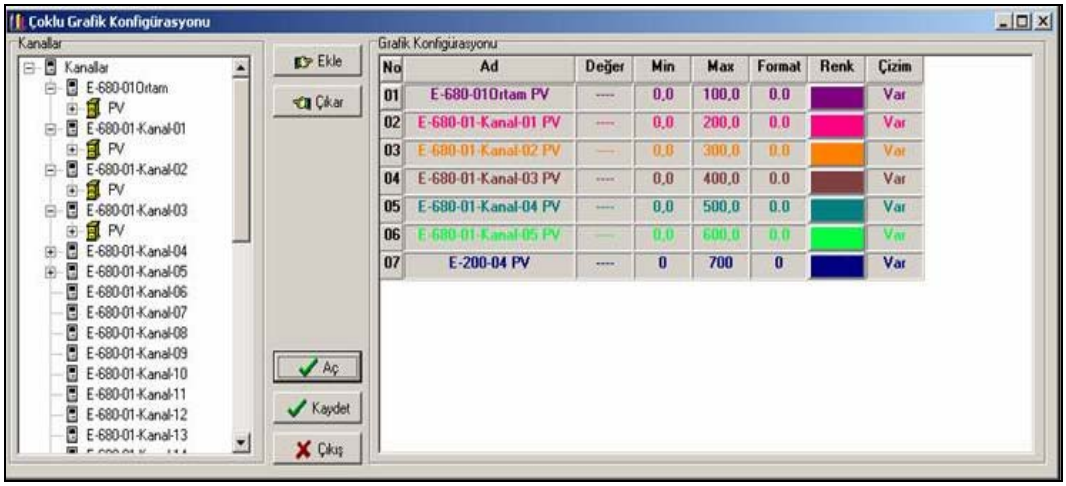
grafikler bazında yapılmasıdır. İstenilen çoklu grafik Grafik bölümünden seçilir ve çizim Grafik Sayfasında olduğu gibi yapılır.



Şekil 4. 8. Elimko Sistemi Çoklu Grafik Sayfası

Çoklu Grafik Tanımlama: Bu sayfaya çoklu grafik sayfasındaki Grafik listesinden Yeni seçilmesiyle ulaşılır. Bu sayfa çoklu grafik tanımlarının yapılması ve varolan 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 istenilenleri seçilerek 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 bir çoklu 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.



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

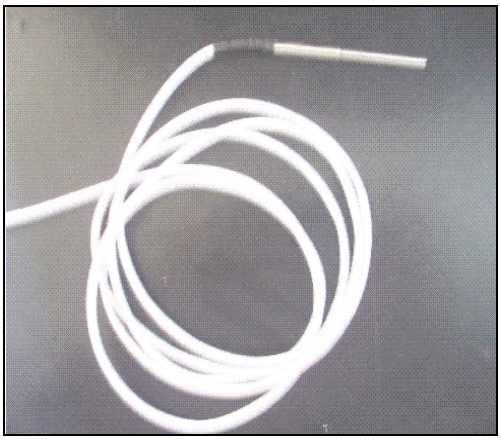
4.5.4. Sıcaklık Algılayıcısı ve Algılama Ortamı

Sıcaklık algılayıcısı olarak: ± % 0.5'i yada ± 1 ºC hassasiyette ölçüm yapabilen, dalma boyu 5 cm, 5 m uzunluğunda, 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, laboratuvar ortamına konulmuştur.

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



Şekil 4.10. PT-100 Sıcaklık Algılayıcısı

4.5.5. Ölçüm ve Deney Seti

Araştırma için Selçuk Üniversitesi Deneme tarlasından farklı iki yerden toprak örneği alınmıştır. Laboratuarda ölçüm yapılacak toprak kolonlarında doğal şartlar oluşturulmuştur. Toprakların bazı (fiziksel, kimyasal ve biyolojik) özellikleri belirlenmiştir.

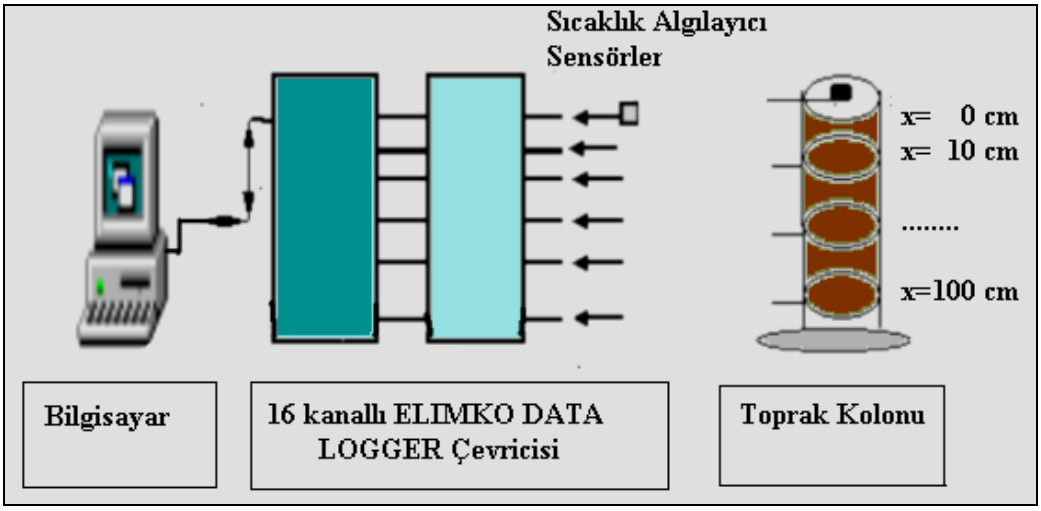
Topraklar 5.5 cm yarıçapında plastik kolonlara arazi şartlarına uygun olarak yerleştirilmiştir. Kolonlar her 10 cm de bir aralıklarla delikler delinmiş bu delikler içerisinden borunun iç kısmından yarısına kadar sıcaklık algılayıcılar yerleştirilmiştir. Sıcaklık algılayıcıların çevredeki sıcaklık değişimlerden etkileşimi minimuma indirilmiştir. Bunun için algılayıcılar izole edilmiştir.

Bu araştırmada, bilgisayara dayalı ölçüm sistemi aracılığıyla toprak katmanlarındaki sıcaklık değişimlerini, 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 kaynağının (UPS) bağlanmıştır.

Kolonlara doğal şartlarla doldurulan topraktaki sıcaklık değişimini analog sinyalleri dijital değerlere ve bilgisayar ortamına aktaran 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, fotoğrafı ise Şekil 4.12.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Toprak Kolonu ve Ölçüm Seti



Şekil 4.12. Araştırmada Kullanılan Deney Seti.

Çalışmamızda 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 kullandık.

Algılayıcılarla elde edilen sayısal değerler sıcaklık değerlerine dönüştürülerek bilgisayara aktarılmaktadır. Program kapsamında bu veriler izlenebilmektedir.

Sonuçlarının iyi bir biçimde alınabilmesi için, iyi şekilde yalıtılmış kablolar kullanılmalıdır ve sıcaklık değişimi çok hızlı olmamalıdır. Okunan değerler bilgisayara aktarıldı.

4.5.6. ELİMKO Deney Setinin Hazırlanması

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.

Hatta bağlı tüm cihazların adreslerin 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 İletişim Ayarları menüsünden ayarlanabilir. Cihazların baud rate'i ise konfigürasyon programları ve ön panel tuşları ile ayarlanır. Bu konuda ayrıntılı bilgi ilgili dökümanlardan alınabilir.

Toprak sıcaklığı ölçümünde kullanılan RS-485 / USB çevirici cihazı bilgisayara bağlanır. RS-485 / USB çevirici cihazı hem veri girişi hem de veri çıkışı olarak (Input / Output) kullanılabilir.

Cihaz üzerine kablo aracılığıyla algılayıcılar takılır. Algılayıcıların çevre gürültülerinden (elektrik alanı, manyetik alan ve diğer frekanslardan) etkilenmemesi için kabloların topraklı olması gerekmektedir. Aksi halde bu gürültüler kartın yanlış değerler okumasına neden olabilir.

Deney setinde, bir toprak kolonu ve her kolon için, 11 adet algılayıcı kanal kullanılmıştır.

4.5.7. Kolonlara Toprak Doldurulması ve Hesabı

Araştırmaya konu olan toprağın, laboratuvar ortamında sıcaklık dağılımını derinliklere göre ölçmek amacıyla, kolonlara arazi şartlarına uygun olarak doldurulması gerekir. Bu amaçla toprağımızın analizi yapılarak arazi şartlarını sağlamak için, birim hacimdeki toprak ağırlığı (hacim ağırlığı) hesaplanmıştır.

Kolonlar 1 metre boyunda ve yarı çapı 5.25 cm olan plastik bir özelliğe sahiptir. Ayrıca kolonlarda 10 cm aralıklarla delikler açılıp, bu deliklere sıcaklık algılayıcı sensörler yerleştirildi. Toprak kolonlarda 10 cm'lik kalınlığa sahip, 10'ar 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,

Topraklar hacim ağırlığı hesaplanarak her 10 *cm*'ye ne kadar toprak konulacağı aşağıdaki gibi her bir katman için hesaplanarak sonuç bilindiğinden 10 *cm*'lik katmana topraklar bastırılarak yerleştirildi.

2 nolu toprağın $h = 10\, cm$.lik katmana konulacak toprağın hacmini hesaplarsak;

$$V = \pi r^2 h = 3,14 \cdot (5,25)^2 \cdot 10 = 865,9\, cm^3 \text{ olur.}$$

$\rho_b = 1,29\ g/cm^3$, olduğuna göre, 10 *cm*.lik toprak katmanının ağırlığı

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

Diğer toprak katmanlarındaki toprağın hacim ağırlığı farklı olduğu için tek tek konulacak toprak miktarı hesaplanmıştır.

10-20 ve 20-30 *cm*'lik katmanlar için $\left(\rho_b = 1,28\ g/cm^3\right)$ 1108 *g*, 30-40 ve 40-50 *cm*'lik katmanlar için $\left(\rho_b = 1,30\ g/cm^3\right)$ 1126 *g*, 50-60 *cm* için $\left(\rho_b = 1,37\ g/cm^3\right)$ 1186 *g*, 60-70 ve 70-80 *cm*'lik katmanlar için $\left(\rho_b = 1,38\ g/cm^3\right)$ 1195 *g*, 80-90 *cm* için $\left(\rho_b = 1,36\ g/cm^3\right)$ 1178 *g* ve 90-100 *cm* için

$\left(\rho_b = 1{,}32\, g/cm^3\right)$ 1143 g toprak tartılmış ve kolona yerleştirilmiştir. Ayrıca 1 nolu toprak örneği de hacim ağırlığı değerleri dikkate alınarak hesaplandı.

Her 10 *cm*'lik katmana yukarıda hesaplanmış ağırlıklarda olacak şekilde topraklar kolonlara tahta takozla vurulup, sıkıştırılarak dolduruldu.

Böylece topraklar arazi koşullarına uygun hale getirilmeye çalışıldı. Kolonlar ve ölçüm sistemi laboratuarda güneş alan uygun bir yere yerleştirilerek ölçümler yapıldı ve sonuçlar bilgisayarda Excel'de kaydedildi.

Toprak kolonu ve ölçüm seti Şekil 4.11'de verilmiştir.

Yukarıda açıklanan (1)-(4) nolu formüllerdeki sıcaklık T_i (i=1,2,3,4) gözleminin her derinlikteki değerleri aşağıdaki biçimde elde edilecektir:

Önce toprak kolonlarına doğal şartlara uygun olarak doldurulmuş topraktaki sıcaklık değişimini, analog sinyalleri dijital değerlere ve bilgisayar ortamına aktaran 16 kanallı bir ELİMKO cihazı kullanılacak.

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

Deneme süresince her bir kolonda sıcaklık ölçümleri üç yenilemeli olarak 0-100 cm derinlikte ve toprak yüzeyine yerleştirilen sıcaklık algılayıcıları ile sıcaklık değerleri eş zamanlı 16 kanallı ELİMKO cihazı ile 5 dakikadan bir bilgisayara aktarılacaktır.

Sıcaklık algılayıcıları için özel (PT-100) sensörler kullanılacaktır (Şekil 10).

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1.Araştırma Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Araştırma konusu toprakların bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri Çizelge 5.1, 2, 3 ve 4'de verilmiştir. Çizelgelerin incelenmesiyle görüleceği gibi 1 nolu toprağın bünyesi toprak katmanlarınca değişmekle birlikte kumlu killi tın (SCL) ve tın (L) tekstüründe iken 2 nolu toprak 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 % 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 % 21.0-24.1 arasında değişmekle birlikte solma noktası 1 nolu toprakta ortalama olarak % 8.3. 2 nolu toprakta % 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)'a 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 topraklar 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 değişmekle birlikte ortalama % 0.8. 2 nolu toprakta % 0.6-2.3 arasında değişmekte olup ortalama % 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 arasında değişmekte olup. ortalama sırasıyla % 31.7 ve % 32.4' tür. Schroo (1963)'ya 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}. 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 0.51 me 100 g $^{-1}$dir. FAO (1990)'ya göre ekstrakte edilebilir potasyum miktarı (0.28-0.74 me 100 g $^{-1}$) yeterli mktardadır.

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/100g) fazla miktardadır.

Topraklarımızda ekstrakte edilebilir magnezyum miktarı sırasıyla 1 nolu toprakta 27.56-37.481.19-1.72 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 toprakların iyi olma durumunun göstergesi olarak kabul edilen 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}'tür.

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

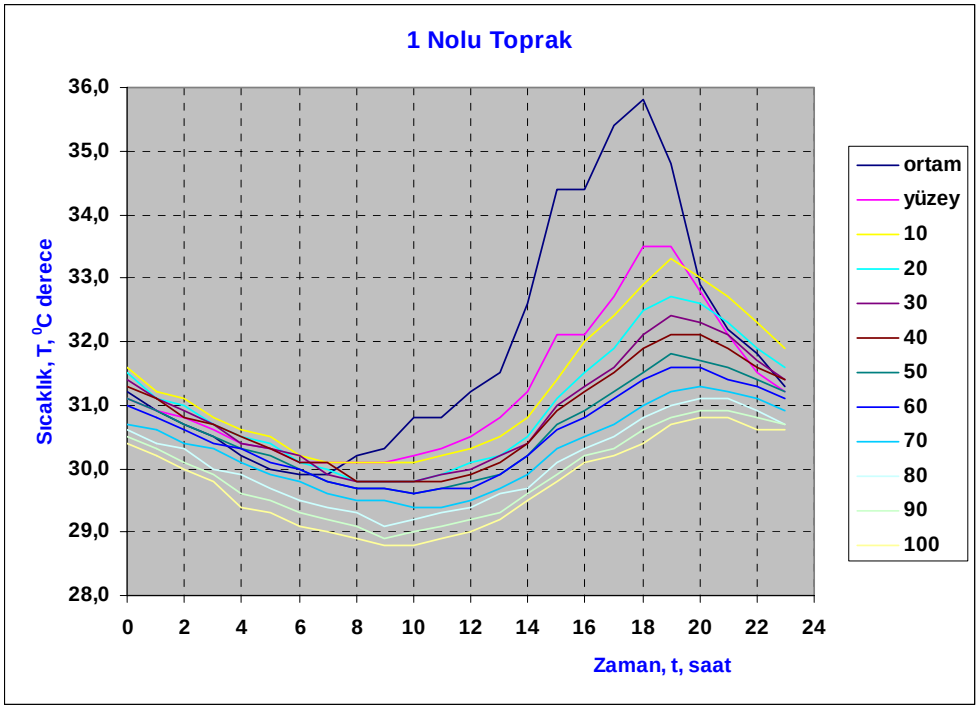
№	Derinlik	pH (1:2.5)	EC (1:5)	$CaCO_3$	Ekstrakte Edilebilir **Ca**	Ekstrakte Edilebilir **K**	Ekstrakte Edilebilir **Mg**	Ekstrakte Edilebilir **Na**	Organik Madde
	cm		µS/cm	%	me/100 g	me/100 g	me/100 g	me/100 g	%
1	0-10	8.1	89.9	30.4	29.53	0.55	1.72	0.14	1.1
2	10-20	8.1	103.6	30.9	30.12	0.37	1.44	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 Toprak Sıcaklık Dağılımları(14.08.2008)

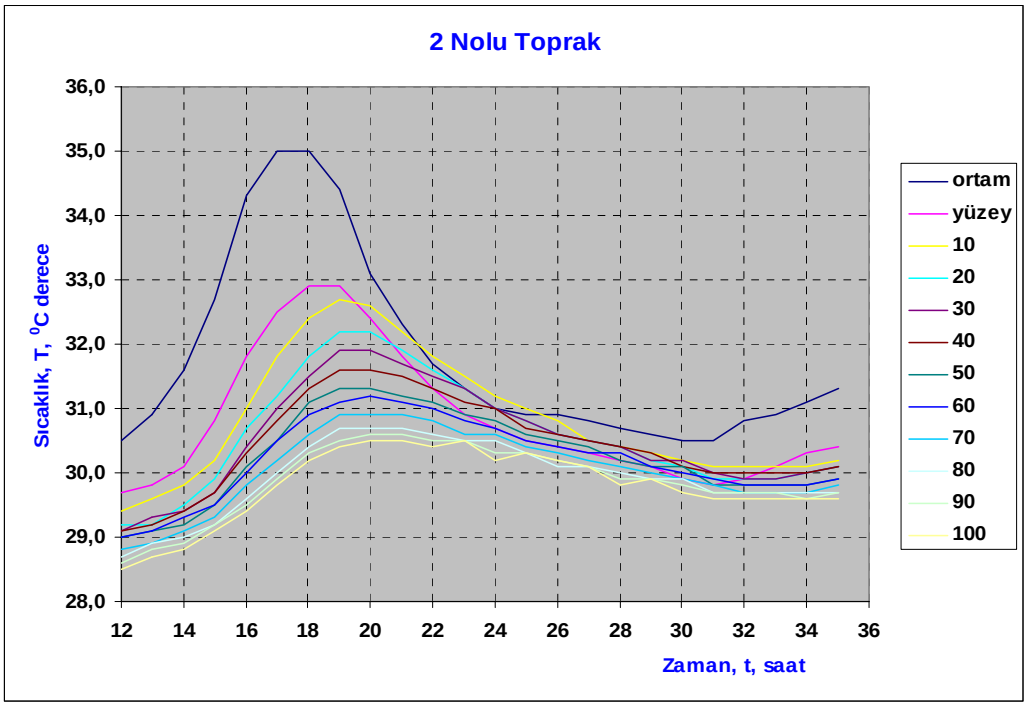
Saat	Yüzey	Derinlik(cm)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	31.1	31.6	31.5	31.4	31.3	31.1	31.0	30.7	30.6	30.5	30.4
1	30.9	31.2	31.1	31.1	31.1	30.9	30.8	30.6	30.4	30.3	30.2
2	30.8	31.1	31.0	30.9	30.8	30.7	30.6	30.4	30.3	30.1	30.0
3	30.6	30.8	30.7	30.7	30.7	30.5	30.4	30.3	30.0	29.9	29.8
4	30.4	30.6	30.5	30.4	30.5	30.3	30.3	30.1	29.9	29.6	29.4
5	30.3	30.5	30.4	30.3	30.3	30.2	30.1	29.9	29.7	29.5	29.3
6	30.1	30.2	30.1	30.2	30.1	30.0	30.0	29.8	29.5	29.3	29.1
7	30.1	30.1	30.0	29.9	30.1	29.8	29.8	29.6	29.4	29.2	29.0
8	30.1	30.1	29.8	29.8	29.8	29.7	29.7	29.5	29.3	29.1	28.9
9	30.1	30.1	29.8	29.8	29.8	29.7	29.7	29.5	29.1	28.9	28.8
10	30.2	30.1	29.8	29.8	29.8	29.6	29.6	29.4	29.2	29.0	28.8
11	30.3	30.2	29.9	29.9	29.8	29.7	29.7	29.4	29.3	29.1	28.9
12	30.5	30.3	30.1	30.0	29.9	29.8	29.7	29.5	29.4	29.2	29.0
13	30.8	30.5	30.2	30.2	30.1	29.9	29.9	29.7	29.6	29.3	29.2
14	31.2	30.8	30.5	30.4	30.4	30.2	30.2	29.9	29.7	29.6	29.5
15	32.1	31.4	31.1	31.0	30.9	30.7	30.6	30.3	30.1	29.9	29.8
16	32.1	32.0	31.5	31.3	31.2	30.9	30.8	30.5	30.3	30.2	30.1
17	32.7	32.4	31.9	31.6	31.5	31.2	31.1	30.7	30.5	30.3	30.2
18	33.5	32.9	32.5	32.1	31.9	31.5	31.4	31.0	30.8	30.6	30.4
19	33.5	33.3	32.7	32.4	32.1	31.8	31.6	31.2	31.0	30.8	30.7
20	32.8	33.0	32.6	32.3	32.1	31.7	31.6	31.3	31.1	30.9	30.8
21	32.1	32.7	32.3	32.1	31.9	31.6	31.4	31.2	31.1	30.9	30.8
22	31.5	32.3	31.9	31.7	31.6	31.4	31.3	31.1	30.9	30.8	30.6
23	31.2	31.9	31.6	31.4	31.4	31.2	31.1	30.9	30.7	30.7	30.6



Grafik 5. 1. 14.08.2008 Tarihinde Nemsiz Koşullarda 1 Nolu Toprağın Sıcaklık Dağılım Grafiği

Çizelge 5. 6. Derinliklere Göre 2 Nolu Toprak Sıcaklık Dağılımları(31.07.2008)

Saat	Yüzey	Derinlik(cm)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	31.1	31.6	31.5	31.4	31.3	31.1	31.0	30.7	30.6	30.5	30.4
1	30.9	31.2	31.1	31.1	31.1	30.9	30.8	30.6	30.4	30.3	30.2
2	30.8	31.1	31.0	30.9	30.8	30.7	30.6	30.4	30.3	30.1	30.0
3	30.6	30.8	30.7	30.7	30.7	30.5	30.4	30.3	30.0	29.9	29.8
4	30.4	30.6	30.5	30.4	30.5	30.3	30.3	30.1	29.9	29.6	29.4
5	30.3	30.5	30.4	30.3	30.3	30.2	30.1	29.9	29.7	29.5	29.3
6	30.1	30.2	30.1	30.2	30.1	30.0	30.0	29.8	29.5	29.3	29.1
7	30.1	30.1	30.0	29.9	30.1	29.8	29.8	29.6	29.4	29.2	29.0
8	30.1	30.1	29.8	29.8	29.8	29.7	29.7	29.5	29.3	29.1	28.9
9	30.1	30.1	29.8	29.8	29.8	29.7	29.7	29.5	29.1	28.9	28.8
10	30.2	30.1	29.8	29.8	29.8	29.6	29.6	29.4	29.2	29.0	28.8
11	30.3	30.2	29.9	29.9	29.8	29.7	29.7	29.4	29.3	29.1	28.9
12	30.5	30.3	30.1	30.0	29.9	29.8	29.7	29.5	29.4	29.2	29.0
13	30.8	30.5	30.2	30.2	30.1	29.9	29.9	29.7	29.6	29.3	29.2
14	31.2	30.8	30.5	30.4	30.4	30.2	30.2	29.9	29.7	29.6	29.5
15	32.1	31.4	31.1	31.0	30.9	30.7	30.6	30.3	30.1	29.9	29.8
16	32.1	32.0	31.5	31.3	31.2	30.9	30.8	30.5	30.3	30.2	30.1
17	32.7	32.4	31.9	31.6	31.5	31.2	31.1	30.7	30.5	30.3	30.2
18	33.5	32.9	32.5	32.1	31.9	31.5	31.4	31.0	30.8	30.6	30.4
19	33.5	33.3	32.7	32.4	32.1	31.8	31.6	31.2	31.0	30.8	30.7
20	32.8	33.0	32.6	32.3	32.1	31.7	31.6	31.3	31.1	30.9	30.8
21	32.1	32.7	32.3	32.1	31.9	31.6	31.4	31.2	31.1	30.9	30.8
22	31.5	32.3	31.9	31.7	31.6	31.4	31.3	31.1	30.9	30.8	30.6
23	31.2	31.9	31.6	31.4	31.4	31.2	31.1	30.9	30.7	30.7	30.6



Grafik 5. 2. 31.07.2008 Tarihinde Nemsiz Koşullarda 2 Nolu Toprağın Sıcaklık Dağılım Grafiği

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 ise; $\rho_b = 1.327\ g/cm^3$

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 ise: $\theta_2 = 0.10\, cm^3 / cm^3$

olarak saptanmıştır.

Kuru koşullarda toprağın ısı kapasitesi (3.44) 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 Isı 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 Isı 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

$$T(0,t) = \tilde{\varphi}(t) = 31.208333 + 1.392260 \cdot \cos\left(0.2618t + 1.362214\right) \quad (5.3)$$

2 nolu deneme toprağının yüzey hava bölgesinin sıcaklığı için ise:

$$T(0,t) = \tilde{\varphi}(t) = 30.8125 + 1.210028 \cos\left(0.2618t + 1.236578\right) \quad (5.4)$$

ifadeleri bulunmuştur (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7. Yüzey Hava Bölgesinin Parametreleri

Yüzey hava bölgesinin parametreleri		1 nolu toprak	2 nolu toprak
Ortalama günlük sıcaklık	T_0	31.208333	30.812500
Sıcaklık dalgasının genliği	T_a	1.392260	1.210028
Sıcaklık dalgasının faz farkı	ε	1.362214	1.236578

5.3.3. Isı Yayınımının Teorik Metotlarla Hesaplanması

Isı yayınımının tayini için sıcaklık dalgasının genliğini içeren (4.5) nolu formülden yararlanılmıştır.

Önce 1 nolu deneme toprağın Çizelge 5.5' deki sıcaklık verilerini kullanarak aşağıdaki biçimde çizelge oluşturulur:

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

№	**Derinlik** *cm*	**Minimum Sıcaklık**	**Maksimum Sıcaklık**	**Sıcaklık Dalgasının Genliği**
	$x = h_i$	$T_{h_i,\min}$	$T_{h_i,\max}$	T_{a_i}
1	0	30.1	33.5	1.70
2	10	30.1	33.3	1.60
3	20	29.8	32.7	1.45
4	30	29.8	32.4	1.30
5	40	29.8	32.1	1.15
6	50	29.6	31.8	1.10
7	60	29.6	31.6	1.00
8	70	29.4	31.3	0.95
9	80	29.1	31.1	1.00
10	90	28.9	30.9	1.00
11	100	28.8	30.8	1.00

Sonra Çizelge 5.6' deki hesaplanmış verileri kullanarak sırasıyla $[0;0.10]$. $[0.10;0.20]$.... $[0.70;0.80]$ katmanlarında Isı Yayınım parametresinin değerleri (4.5) nolu formül yardımıyla hesaplanmıştır ve sonuçlar çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5. 9. 1 Nolu Toprağın $[h_i;h_{i+1}]$Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Hesaplanması

i	$x=h_i$	$h_{i+1}-h_i$	$\frac{\mathrm{T}a_i}{\mathrm{T}a_{i+1}}$	$\ln\left(\frac{\mathrm{T}a_i}{\mathrm{T}a_{i+1}}\right)$	κ. $cm^2/saat$	κ. cm^2/san	$\kappa\cdot10^{-5}$. m^2/san
1	0	10	1.06	0.060625	3561.5706	0.98933	9.8933
2	10	10	1.10	0.098440	1350.8147	0.37523	3.7523
3	20	10	1.12	0.109199	1097.7413	0.30493	3.0493
4	30	10	1.13	0.122602	870.8478	0.24190	2.4190
5	40	10	1.05	0.044452	6624.6307	1.84018	18.4018
6	50	10	1.10	0.095310	1440.9903	0.40028	4.0028
7	60	10	1.05	0.051293	4975.2907	1.38203	13.8203
8	70	10	0.95	-0.051293	4975.2907	1.38203	13.8203
9	80	10	1.00	0	#SAYI/0![*]		
10	90	10	1.00	0	#SAYI/0![*]		
11	100			**ortalama**	**3112,147114**	**0.864489**	**8.6449**

[*]Not. Çizelge 5.9' daki verilerden de görüldüğü gibi $[0.80;100]$ katmanında sıcaklık dalgasının genliği sabit olara 1'e eşit olmuştur ve (4.5) nolu formülle hesaplamak mümkün değildir.

Örneğin. Çizelge 5.5' deki verilerden

$h_1=30\,cm$ derinliği için maksimum ve minimum sıcaklıkları:

$$\mathrm{T}_{h_1\max}=32.4\,.\ \mathrm{T}_{h_1\min}=29.8$$

$h_2=40\,cm$ derinliği için maksimum ve minimum sıcaklıkları:

$$\mathrm{T}_{h_2\max}=32.1\,.\,\mathrm{T}_{h_2\min}=29.8$$

bulduktan sonra (4.6) formülüne göre toprağın $h_1=30\,cm$ ve $h_2=40\,cm$ derinliğindeki sıcaklık dalgasının genliklerini:

$$\mathrm{T}_{a_1}=\frac{\mathrm{T}_{h_1\max}-\mathrm{T}_{h_1\min}}{2}=\frac{32.4-29.8}{2}=1.30\ ,\ \mathrm{T}_{a_2}=\frac{\mathrm{T}_{h_2\max}-\mathrm{T}_{h_2\min}}{2}=1.15$$

hesaplayarak (4.5) formülüne göre Isı Yayınımının değerini buluruz:

$$\kappa=\frac{\pi}{\tau_0}\left[\frac{h_2-h_1}{\ln\left(\mathrm{T}_{h_1}/\mathrm{T}_{h_2}\right)}\right]^2=\frac{\pi}{24saat}\left[\frac{40cm-30cm}{\ln(1.30/1.15)}\right]^2=\frac{0.1309\cdot100}{0.015031}\frac{cm^2}{saat}=870.8478\frac{cm^2}{saat}$$

Benzer biçimde 2 nolu toprağın da Isı Yayınım parametresinin değerleri de hesaplanarak çizelge 5.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. 2 Nolu Toprağın $[h_i; h_{i+1}]$ Katmanındaki Isı Yayınım Parametresinin Hesaplanması

i	$x = h_i$	$h_{i+1} - h_i$	$\frac{\mathrm{T}a_i}{\mathrm{T}a_{i+1}}$	$\ln\left(\frac{\mathrm{T}a_i}{\mathrm{T}a_{i+1}}\right)$	κ . $cm^2 / saat$	κ . cm^2 / san	$\kappa \cdot 10^{-5}$. m^2 / san
1	0	10	0,970	-0.030772	13824.1308	3.840036	38.4004
2	10	10	1,100	0.095310	1440.9903	0.400275	4.0028
3	20	10	1,071	0.068993	2749.9906	0.763886	7.6389
4	30	10	1,120	0.113329	1019.2012	0.283111	2.8311
5	40	10	1,087	0.083382	1882.7780	0.522994	5.2299
6	50	10	1,045	0.044452	6624.6307	1.840175	18.4018
7	60	10	1,048	0.046520	6048.6707	1.680186	16.8019
8	70	10	1,050	0.048790	5498.8907	1.527470	15.2747
9	80	10	1,000	0	#SAYI/0!*		
10	90	10	1,000	0	#SAYI/0!*		
11	100			**ortalama**	**4886.1604**	**1.357267**	**13.5727**

5.3.4. Isı İletkenliği Parametresinin Belirlenmesi

Yukarıda açıklanan yöntemlerle hesaplanan Hacimsel Isı Kapasitesi C_{v1} , C_{v2} ve Isısal Yayınım Parametresi κ_{ort} değerleri kullanılarak Isı İletkenliği parametresinin değerlerini (4.7) nolu formülden hesaplanmıştır:

1 nolu deneme toprağının Isı İletkenliği parametresi için:

$$\lambda_1 = \kappa_{1.ort} \cdot C_{v1} = 0.864489 \frac{cm^2}{san} \cdot 0.3918 \frac{kal}{cm^3 \cdot {}^\circ C} = 0.338707 \frac{kal}{san \cdot cm \cdot {}^\circ C}$$

2 nolu deneme toprağının Isı İletkenliği parametresi için:

$$\lambda_2 = \kappa_{2.ort} \cdot C_{v2} = 1.357267 \frac{cm^2}{san} \cdot 0.3654 \frac{kal}{cm^3 \cdot {}^\circ C} = 0.495945 \frac{kal}{san \cdot cm \cdot {}^\circ C}$$

1 ve 2 nolu deneme topraklarındaki sıcaklıkların sönme derinlikleri için:

$$d_1 = \sqrt{\frac{\tau_0 \kappa_{1.ort}}{\pi}} = \sqrt{\frac{24\,saat}{3{,}14} \cdot 3112{,}147114 \frac{cm^2}{saat}} \approx 150\,cm$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{\tau_0 \kappa_{2.ort}}{\pi}} = \sqrt{\frac{24\,saat}{3{,}14} \cdot 4886.1604 \frac{cm^2}{saat}} \approx 193\,cm$$

değerleri bulunmuştur.

5.4. Ölçüm Değerlerinin ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneme toprakları için bulunmuş sıcaklık parametrelerini kullanarak (3.37) nolu çözümün:

$$\tilde{\mathrm{T}}(x,t) = \mathrm{T}_0 + \mathrm{T}_a \cdot e^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}}} \cos\left(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}} + \varepsilon\right) \tag{3.37}$$

yardımıyla elde edilmiş sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12).

Çizelge 5.11. 1 Nolu Toprağın Ölçülen (T) ve Modelden Elde Edilen $(\tilde{\mathrm{T}})$ Sıcaklık Değerleri

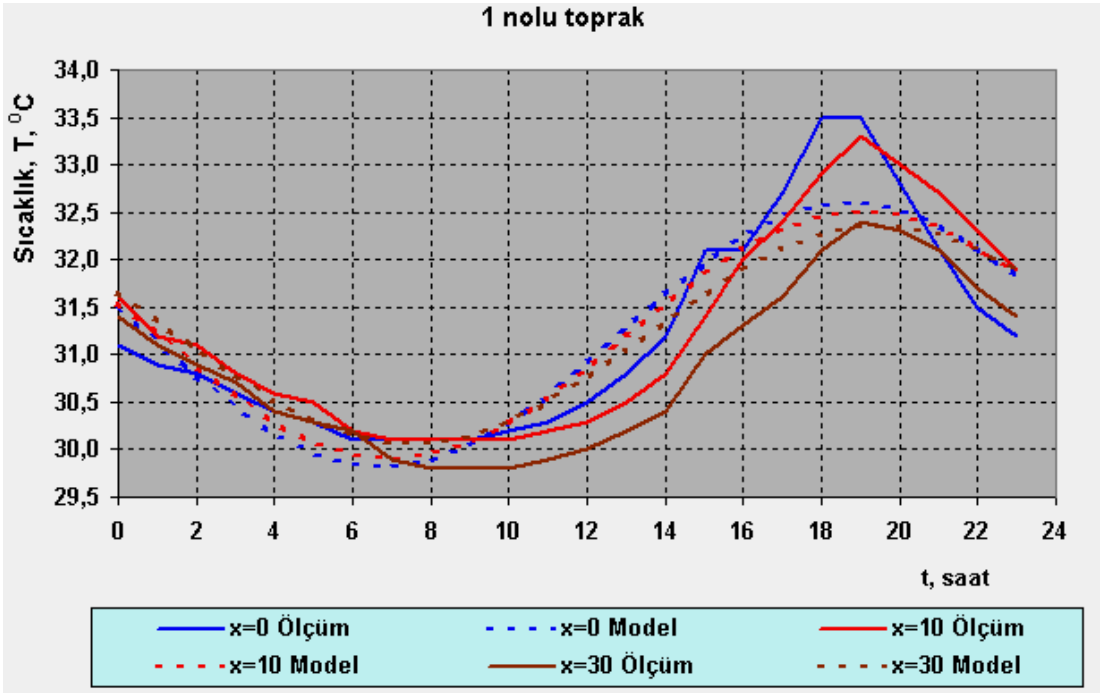
Saat	Yüzey		Derinlikler, cm									
	0		10		30		50		70		90	
	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$	T	$\tilde{\mathrm{T}}$
0	31.1	31.5	31.6	31.6	31.4	31.7	31.1	31.7	30.7	31.8	30.5	31.8
1	30.9	31.1	31.2	31.2	31.1	31.4	30.9	31.5	30.6	31.6	30.3	31.6
2	30.8	30.8	31.1	30.9	30.9	31.1	30.7	31.2	30.4	31.3	30.1	31.4
3	30.6	30.4	30.8	30.6	30.7	30.8	30.5	31.0	30.3	31.1	29.9	31.2
4	30.4	30.2	30.6	30.3	30.4	30.5	30.3	30.7	30.1	30.9	29.6	31.0
5	30.3	30.0	30.5	30.1	30.3	30.3	30.2	30.5	29.9	30.7	29.5	30.8
6	30.1	29.8	30.2	30.0	30.2	30.2	30.0	30.3	29.8	30.5	29.3	30.7
7	30.1	29.8	30.1	29.9	29.9	30.1	29.8	30.2	29.6	30.4	29.2	30.5
8	30.1	29.9	30.1	29.9	29.8	30.1	29.7	30.2	29.5	30.3	29.1	30.5
9	30.1	30.0	30.1	30.1	29.8	30.1	29.7	30.2	29.5	30.3	28.9	30.4
10	30.2	30.3	30.1	30.3	29.8	30.3	29.6	30.3	29.4	30.4	29.0	30.5
11	30.3	30.6	30.2	30.5	29.9	30.5	29.7	30.5	29.4	30.5	29.1	30.5
12	30.5	30.9	30.3	30.9	30.0	30.8	29.8	30.7	29.5	30.7	29.2	30.7
13	30.8	31.3	30.5	31.2	30.2	31.0	29.9	30.9	29.7	30.9	29.3	30.8
14	31.2	31.6	30.8	31.5	30.4	31.3	30.2	31.2	29.9	31.1	29.6	31.0
15	32.1	32.0	31.4	31.8	31.0	31.6	30.7	31.5	30.3	31.3	29.9	31.2
16	32.1	32.2	32.0	32.1	31.3	31.9	30.9	31.7	30.5	31.5	30.2	31.4
17	32.7	32.4	32.4	32.3	31.6	32.1	31.2	31.9	30.7	31.7	30.3	31.6
18	33.5	32.6	32.9	32.5	32.1	32.3	31.5	32.1	31.0	31.9	30.6	31.8
19	33.5	32.6	33.3	32.5	32.4	32.3	31.8	32.2	31.2	32.0	30.8	31.9
20	32.8	32.5	33.0	32.5	32.3	32.3	31.7	32.2	31.3	32.1	30.9	32.0
21	32.1	32.4	32.7	32.3	32.1	32.3	31.6	32.2	31.2	32.1	30.9	32.0
22	31.5	32.1	32.3	32.1	31.7	32.1	31.4	32.1	31.1	32.0	30.8	32.0
23	31.2	31.8	31.9	31.9	31.4	31.9	31.2	31.9	30.9	31.9	30.7	31.9

Çizelge 5. 12. 2 Nolu Toprağın Ölçülen (T) ve Modelden Elde Edilen $(\tilde{T})$ Sıcaklık Değerleri

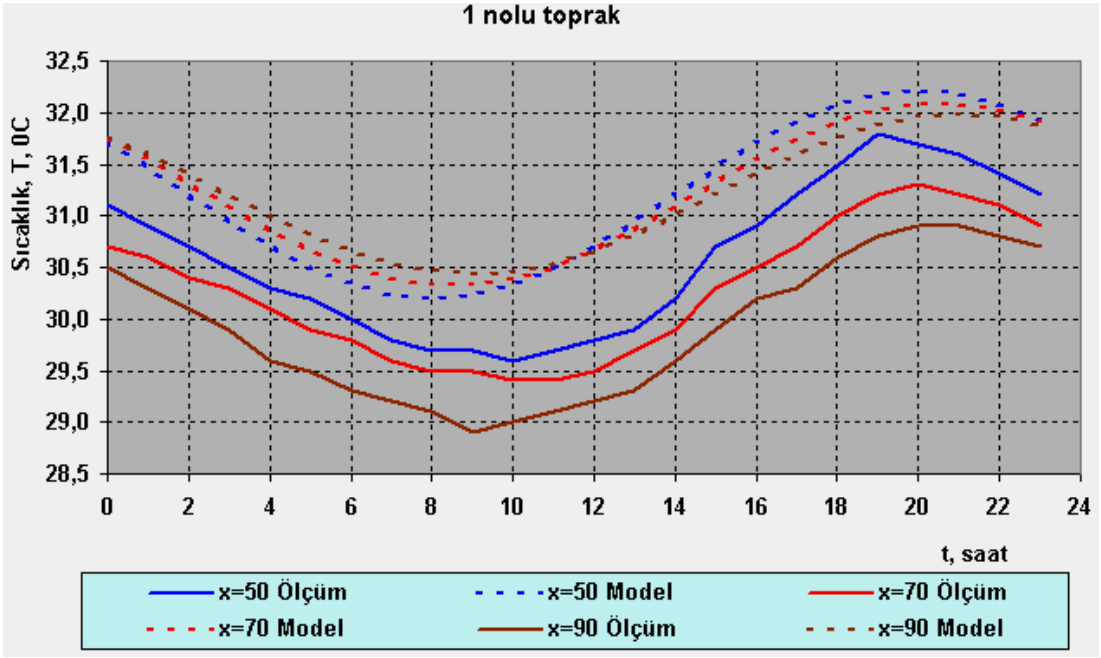
Saat	Yüzey		Derinlikler, cm									
	0		10		30		50		70		90	
	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$	T	$\tilde{T}$
12	29.7	30.4	29.4	30.3	29.1	30.1	29.0	29.9	28.8	29.7	28.6	29.4
13	29.8	30.7	29.6	30.7	29.3	30.5	29.1	30.3	28.9	30.1	28.8	29.8
14	30.1	31.0	29.8	31.0	29.4	30.9	29.2	30.7	29.1	30.5	28.9	30.3
15	30.8	31.4	30.2	31.3	29.7	31.2	29.5	31.1	29.3	31.0	29.2	30.8
16	31.8	31.6	31.0	31.6	30.4	31.6	30.1	31.5	29.8	31.4	29.5	31.3
17	32.5	31.8	31.8	31.9	31.0	31.9	30.5	31.9	30.2	31.8	29.9	31.8
18	32.9	32.0	32.4	32.0	31.5	32.1	31.1	32.1	30.6	32.2	30.3	32.2
19	32.9	32.0	32.7	32.1	31.9	32.2	31.3	32.3	30.9	32.4	30.5	32.5
20	32.4	32.0	32.6	32.1	31.9	32.3	31.3	32.4	30.9	32.6	30.6	32.7
21	31.8	31.9	32.2	32.0	31.7	32.2	31.2	32.4	30.9	32.6	30.6	32.8
22	31.3	31.7	31.8	31.8	31.5	32.0	31.1	32.3	30.8	32.5	30.5	32.7
23	30.9	31.5	31.5	31.6	31.3	31.8	30.9	32.0	30.6	32.3	30.5	32.5
24	30.7	31.2	31.2	31.3	31.0	31.5	30.8	31.7	30.6	32.0	30.3	32.2
25	30.5	30.9	31.0	31.0	30.8	31.1	30.6	31.3	30.4	31.6	30.3	31.8
26	30.4	30.6	30.8	30.6	30.6	30.8	30.5	30.9	30.3	31.1	30.2	31.4
27	30.3	30.3	30.5	30.3	30.5	30.4	30.4	30.5	30.2	30.7	30.1	30.8
28	30.2	30.0	30.4	30.0	30.4	30.0	30.2	30.1	30.1	30.2	29.9	30.3
29	30.1	29.8	30.3	29.8	30.2	29.8	30.1	29.8	30.0	29.8	29.9	29.9
30	29.9	29.6	30.2	29.6	30.2	29.5	30.1	29.5	29.9	29.4	29.8	29.4
31	29.8	29.6	30.1	29.5	30.0	29.4	29.8	29.3	29.8	29.2	29.7	29.1
32	29.9	29.6	30.1	29.5	29.9	29.4	29.8	29.2	29.7	29.1	29.7	28.9
33	30.1	29.7	30.1	29.6	29.9	29.4	29.8	29.2	29.7	29.0	29.7	28.8
34	30.3	29.9	30.1	29.8	30.0	29.6	29.8	29.4	29.7	29.1	29.6	28.9
35	30.4	30.1	30.2	30.0	30.1	29.8	29.9	29.6	29.8	29.4	29.7	29.1

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 (3.37) nolu çözümü ile hesaplanmış değerler arsındaki uyumun varlığını tespit etmek amacıyla grafikleri yapışmıştır (Grafik 5.3.-5.6).

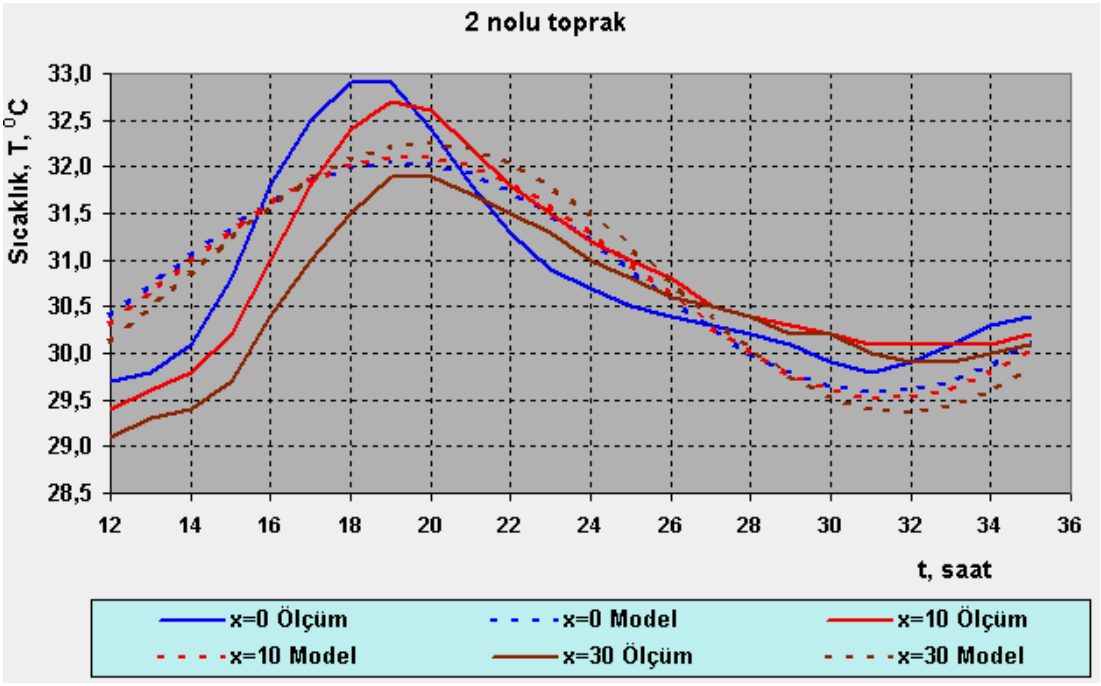
Daha bir uyumun toprakların her ikisinde de [0; 0.40cm] katmanında olduğu görülmektedir.



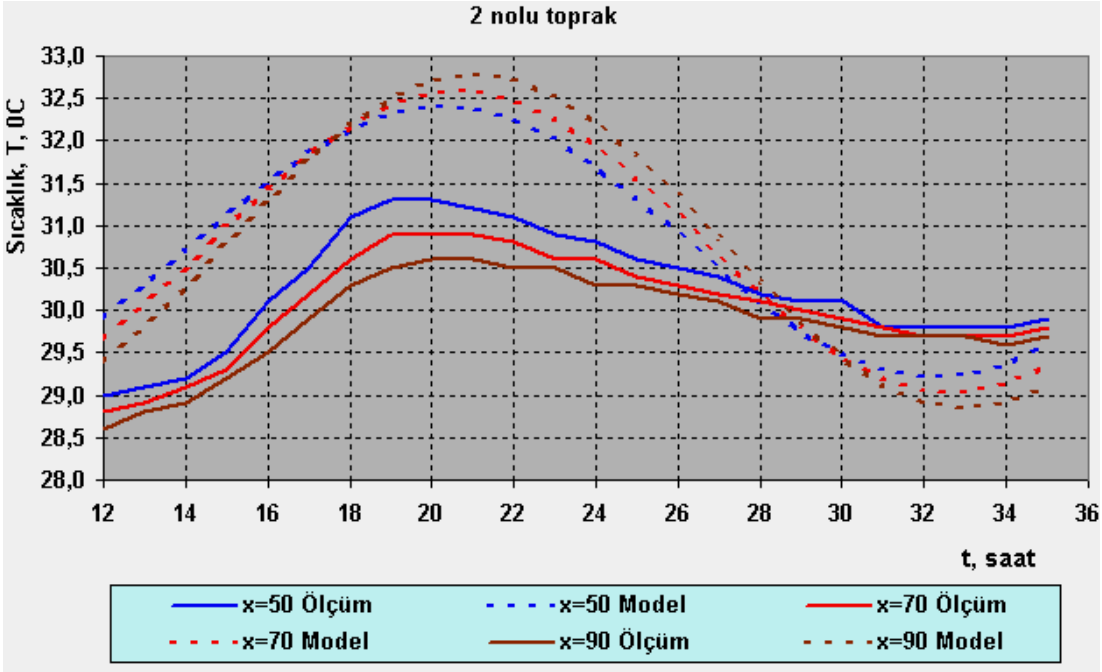
Grafik 5.3. 1 Nolu Toprağın x=0,10 ve 30 cm Katmanlarındaki Ölçülen ve (3.37) Nolu Modelden Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Grafiği



Grafik 5.4. 1 Nolu Toprağın x=50,70 ve 90 cm Katmanlarındaki Ölçülen ve (3.37) Nolu Modelden Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Grafiği



Grafik 5.5. 2 Nolu Toprağın x=0, 10 ve 30 cm Katmanlarındaki Ölçülen ve (3.37) Nolu Modelden Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Grafiği



Grafik 5.6. 2 Nolu Toprağın x=50,70 ve 90 cm Katmanlarındaki Ölçülen ve (3.37) Nolu Modelden Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Grafiği

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmamızda ölçümler her biri 1 metre boyunda ve yarı çapı 5.25 cm olan plastik bir özelliğe sahip ve arazi koşullarına uygun olarak toprakla doldurulmuş kolonlarda 10 cm aralıklarla yerleştirilen PT-100 sıcaklık algılayıcı sensörler aracılığı ile Elimko E680 cihazı kullanılarak ölçülmüş, cihazın EBackup bölümüne Excel formatında kaydedilmiştir.

Sonuçta Elimko E680 cihazı ile zaman ve derinliğe bağlı olarak ölçülen toprak sıcaklığı değerleri ile toprağın ısısal özellikleri, hacimsel ve özgül ısı kapasitesi, yüzey bölgesi havasının sıcaklığı, ısı yayınımının teorik metotlarla hesaplanması ve ısı iletkenliği parametresinin belirlenmiştir.

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

Denemede kullanılan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değerlerine bağlı olarak ısı yayınımı ve ısı iletkenliği parametrelerinin değerleri de değişmektedir. Çalışmamızda EC, organik madde, özgül ağırlık, kil ve silt değerlerinin fazla olduğu 2 nolu toprağın ısı yayınımı ve ısı iletkenliği parametrelerinin değerleri 1 nolu toprağa göre daha yüksektir.

Bu çalışma çerçevesinde kararlı olmayan akım koşulları için toprak sıcaklığının belirlenmesi amacıyla ölçüm değerleri ile matematiksel modeller 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 çalışma daha ileride yapılan araştırmalara ışık tutması bakımından önemli bir çalışma niteliği taşımaktadır.

7. 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.

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.

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

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

Bawer, L. D., Gardner, W. H., Garaner, W. R., 1972. Soil Physics. John Wiley and Sons, Inc., New York.

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.

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 influencing 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.

Carslaw, H. S., Jaeger, J. C., 1959. Conduction of Heat in 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.

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.

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.

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)

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 aClay Soil Depht. Journal of applied Sciences, 4 (3):418-423.

Jackson, M. L., 1962. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall, Inc. 183. New York.

Juri, W. A., 1991. *Soil Physics,* New York, , 328 p.

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.

Hadas, A., 1977. Evaloation of theoretically predited thermal conductivites of soils under field and laboratory conditions. Soil Sci. Soc.Amer. J., 41: 460 -465.

Hahne, E., Song, Y.W. and Gross, U., 1990. Measurements of thermal conductivity in porous media. Convective heat and mass transfer in porous media. K. Yüncü (ed) NATO, Advanced Stude Instutue, p 523-540, Izmir - Turkey.

Halıcı, F., 2001. Örneklerle Isı Geçişi. Sakarya, 448 s.

Hillel, D., 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic Press, New York. London.

Hillel, D., 1998. Environmental, Soil Physıcs

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.

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.

Huwe, B. R. R. and Van Der Ploeg (1989). Development and validation of a nitrogen simulation model. Contaminant transport in groundwater (eds. H.E. Kobus, W. Kinzelbach). Balkema. Rotterdam, 421-428.

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. 60.

Kauriçev, 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 in desert ecosystems, Soil Sci. 153: 280- 287.

Kırda, C., ve Sarıyev, A., 2002. Toprak Fiziği, Ç.Ü. Ziraat Fak. Genel Yayın No: 245, Ders Kitabı, Adana,188 s.

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 international symposium held at Yokohama, 13-16 July, 147-153: 14 ref, Japan.

Kohnke, H., and Nakshabandi, G. A., 1964. Heat transfer in 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.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü. www. meteor.gov.tr. 2006.

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.

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.

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., 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 Fak. Yayınları No: 946, Ders Kitabı: 270, Ankara, s.137- 159.

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, 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.

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, 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 inductively-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.

Steenhuis, T. S. and Walter, M. F. 1984 Will drainage increase spring soil temperature. ASAE. paper. No.84-251, 15 pp., 14 ref., 7 fig.

Şeyin, E.V., 2005. Toprak Fiziği Kursu, Moskova, 2005, 431 s.

Şeyin, E.V., 2006. Tarım Fiziği, Moskova, 400 s.

Taylor, S. A., Ashcroft, G. L., 1972 physical Edaphology: The physics of ırrigated 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.

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., 1973. Laboratuvar Şartlarında Günlük Sıcaklık ve Toprak İşlemeye Bağlı Topraktan Suyu Buharlaşması, Toprak Sıcaklığındaki Değişmeler ve Hareketri (Doçentlik Tezi). Ankara.

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.

Van Vijk, W. R., ve De Vries, D.A., 1966. Periodic temperature variations in a homogeneous soil. in: Physics of plant Enviroment (Edit. W. R., Van Wijk), North- Holland Publ. Com. Amsterdam, 102-143.

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.

Volobuyev, V. R., 1974. Toprak oluşum enerjisine giriş. Moskova, Navka, 128 s. (Rusça).