



Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi

Anadolu Journal of Agricultural Sciences

<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/omuanajas>



Araştırma/Research

Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 30 (2015) 74-85
ISSN: 1308-875 (Print) 1308-8769 (Online)
doi: [10.7161/anajas.2015.30.1.74-85](https://doi.org/10.7161/anajas.2015.30.1.74-85)



Toprak sıcaklığı ve ısıl yayılımının belirlenmesi

İmanverdi Ekberli ^{a*}, Yıldız Sarılar ^b

^aOndokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun, ^bT.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Çarşamba İlçe Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü, Samsun
*Sorumlu yazar/corresponding author: iman@omu.edu.tr

Geliş/Received 12/06/2014

Kabul/Accepted 08/12/2014

ÖZET

Topraklardaki sıcaklık değişimi ve ısıl yayılım toprak mikro ikliminin oluşumuna, toprak özelliklerinin değişimi ve bitki gelişimi süreçlerine önemli düzeyde etki yapmaktadır. Bu çalışma, Samsun ili Çarşamba ilçesinde çim örtüsü ile kaplı açık (I. deneme alanı) ve şeftali bahçesinde ağaçların gölgeleme yaptığı (II. deneme alanı) alanlarda yürütülmüştür. Deneme alanlarında toprakların yüzeyinden 100 cm'ye kadar her 10 cm derinliğinde 7⁰⁰, 12⁰⁰, 18⁰⁰ saatlerindeki günlük toprak sıcaklıkları 21 ağustos 19 Eylül 2011 tarihleri arasında ölçülmüştür. Ölçülen toprak sıcaklık değerlerinden faydalanarak; günlük sıcaklık değişimi ve bu değişime bağlı olarak amplitüt, ısıl yayılım katsayısı gibi ısıl özellikler, toprağın temel ısı taşınım denkleminin çözüme göre elde edilen teorik günlük sıcaklık değerleri ile ölçüm değerlerinin karşılaştırılması irdelenmiştir. I. ve II. deneme alanlarının 0-50 cm katmanlarındaki 7⁰⁰, 12⁰⁰ ve 18⁰⁰ saatlerinde ölçülen günlük sıcaklık değerleri sırasıyla 16.5-24.0; 21.0-34.0; 19.5-27.0°C ve 16.5-23.0; 19.0-27.5; 19.0-24.8°C ve 50-100 cm katmanlarında ise sırasıyla 19.1-23.0; 21.0- 25.5; 19.2-25.0°C ve 18.9-22.0; 19.2-24.5; 19.0-24.0°C arasında değişmektedir. Genel olarak her iki deneme alanında da toprakları yüzeye yakın katmanlarındaki sıcaklık değişimleri az olup, aşağı katmanlara doğru (>50 cm) inildikçe bu değişimler daha da azalmaktadır. Amplitüt değerleri I. deneme alanında toprak yüzeyinde 2.03-5.60°C, 10 cm'den derin katmanlarda ise 0.93-3.07°C arasında, II. deneme alanında ise sırasıyla 1.97-2.77°C ve 0.94-2.46°C arasında belirlenmiştir. Ortalama ısıl yayılım I. deneme alanında 10-100 cm toprak derinliğinde 0.0835-0.8830 cm² sn⁻¹; II. deneme alanında ise 0.2578-1.9692 cm² sn⁻¹ aralıklarında bulunmuştur. Toprağın ısı taşınım denkleminin göre hesaplanan sıcaklık değerleri ile ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki ortalama nispi hata 0.015 - 0.089 aralığında belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler:
Amplitüt
Isı taşınım denklemi
Isıl yayılım
Toprak sıcaklığı

The determination of soil temperature and thermal diffusivity

ABSTRACT

Changes in the soil temperature and thermal diffusivity conditions are one of the most important components of soil microclimate and have a considerable impact on changes in soil properties and plant development processes. This study is carried out in a field covered with grass (I. experimental field) and another field covered with peach trees (II. Experimental field) in Çarşamba district of Samsun. The soil temperatures of each 10 cm from soil surface to 100 cm depth were measured daily in the experimental fields at 7⁰⁰, 12⁰⁰, 18⁰⁰ hours between August 21 and September 19, 2011. Some thermal properties of soils such as; daily soil temperature changes and due to these changes heat diffusivity, amplitude, and comparison between theoretical soil temperatures estimated from the solution of heat transfer equation and daily measured soil temperatures were investigated. In the I. and II. experimental fields, daily soil temperatures measured at 0-50 cm soil depth at 7⁰⁰, 12⁰⁰ and 18⁰⁰ hours were 16.5-24.0; 21.0-34.0; 19.5-27.0°C and 16.5-23.0; 19.0-27.5; 19.0-24.8°C, respectively and that measured at 50-100 cm soil depth were 19.1-23.0; 21.0- 25.5; 19.2-25.0°C and 18.9-22.0; 19.2-24.5; 19.0-24.0°C, respectively. Generally, changes in soil temperatures were less near the soil surface and much less in deeper soil layers (>50 cm). Amplitude values in the I. experimental field were 2.03-5.60°C at the soil surface and between 0.90 and 3.07°C at the layers deeper than 10 cm, they were 1.97-2.77°C at the soil surface and between 0.94 and

Keywords:
Amplitude
Heat transfer equation
Soil temperature
Thermal diffusivity

2.46°C at the layers deeper than 10 cm in the II. experimental field. Mean heat diffusivity in 0-100 cm soil depth were determined between 0.0835 and 0.8830 cm² sec⁻¹ in the I. experimental field, and between 0.2578 and 1.9692 cm² sec⁻¹ in the II. experimental field. The relative error between soil temperatures estimated from the solution of heat transfer equation and daily measured soil temperatures were determined between 0.015 and 0.089.

© OMU ANAJAS 2015

1. Giriş

Toprak sıcaklığı toprak oluşum süreçlerine, kimyasal, fiziksel, biyokimyasal ve biyolojik değişimlerin şiddetine, bitki büyümesine ve gelişimine önemi düzeyde etki yapan faktörlerden biridir. Toprak sıcaklığındaki değişim toprağın su dengesine, azot dönüşümüne, termo-fiziksel özelliklerine de etki yapmaktadır. Bitkisel üretimde yüksek verim elde edilmesi toprak sıcaklığının optimum düzeyde olmasına bağlıdır. Toprak sıcaklığı, toprak özellikleri (hacim ağırlığı, nem, yüzeyde organik katmanın bulunması, taban suyu yüksekliği, toprak rengi vb.), topografya (eğim derecesi, yönü, yükseklik vb.) ve iklimsel özellikler (yağış, rüzgar, basınç vb.) gibi birçok çevresel faktörün etkisi altındadır.

Topraktaki sıcaklık değişimi, toprağın karbon (C) ve azot (N) mineralizasyonuna, bitkilerin vejetasyon süresine çok önemli düzeyde etki yapmaktadır (Wang ve ark., 2006; Guntinas ve ark., 2012; Krzysztow ve ark., 2014; Schütt ve ark., 2014; Guo ve ark., 2014). Aynı zamanda toprak sıcaklığı toprak rutubeti ile birlikte toprakların CO₂ üretimi ve emisyon potansiyeli üzerine de etkide bulunmaktadır (Li ve ark., 2013; Hassan ve ark., 2014). Farklı toprak sıcaklıklarında (15, 20, 25, 30 °C) yapılan çalışmada, toprak solunumu ve organik madde mineralizasyonunun sıcaklığa duyarlı olduğu ve toprak sıcaklığındaki artışla pozitif ilişki gösterdikleri belirlenmiştir (Ghee ve ark., 2013). Toprak yüzeyindeki mikro klima sıcaklık ve nem ile ilişkili olup, bitki gelişimi için önemli bir faktördür. Bu faktör toprak yüzeyine yakın bölgelerdeki biyolojik (çimlenme, bitki gelişimi vb.) ve hidrolojik (sızma, yüzeysel akış, erozyon vb.) süreçleri kontrol etmektedir. Toprak sıcaklığının ve nem içeriğinin yönetimi toprak yüzeyindeki mikro klimayı etkilemektedir. Bitki örtüsü toprak sıcaklığını ve nem içeriğini doğrudan etkilediğinden mikro klima üzerinde de etkili olmaktadır (Flerchinger ve Pierson, 1997). Bitki örtüsünün oluşturduğu gölgelemenin değişimi, toprak sıcaklığını ve nemini, CO₂ konsantrasyonunu, toprak solunumunu etkilemekte, dolayısıyla toprağın termal ve hidrolojik özelliklerini sınırlamaktadır (Tanaka ve Hashimoto, 2006).

Toprak sıcaklığının değişimi toprakların ısı özelliklerine bağlı olup (Arkhangel'skaya ve Umarova, 2008), toprakların hidro-fiziksel özelliklerine (Hopmans ve Dane, 1985), su geçirime katsayısına (Jaynes, 1990), hidrolik iletkenliğine (Constantz, 1982; Andry ve ark., 2009), toprak oluşum süreçlerine (Ponomoryov ve ark., 1984; Ekberli ve ark., 2002; Arkhangel'skaya ve ark., 2005) de önemli düzeyde etki yapmaktadır. Toprak sıcaklığı toprakta bitki atıklarının ayrışması, besin dönüşümü, mikrobiyal biyokütle oluşumu, enzim aktivitesi gibi süreçleri de etkilemektedir (Zibilske ve Makus, 2009; Terrence ve Hugh, 2011). Toprakların su-tuz rejiminin oluşumu da toprak sıcaklığının günlük, sezonluk ve yıllık değişimi ile ilişkilidir. Bu nedenle, farklı toprak özelliklerine sahip topraklarda sıcaklık değişiminin belirlenmesi güncel

konulardan biridir. Kontrol edilmesi zor, tahmini mümkün olan iklim koşulları toprak sıcaklığına önemli düzeyde etki yapan faktörlerdendir. Chow ve ark. (2011) meteorolojik verileri kullanarak 4 yıllık süre ile (2006-2009 döneminde) yaptıkları çalışmada, 0.5-3.0 m toprak derinliğindeki sıcaklığın kuru hava sıcaklığı ile orantılı (0.869 korelasyon katsayı ile); bağıl nem, yağış, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı ile zayıf ilişkili (0.223, 0.136, 0.089, 0.033 korelasyon katsayı ile) olduğunu belirtmişlerdir.

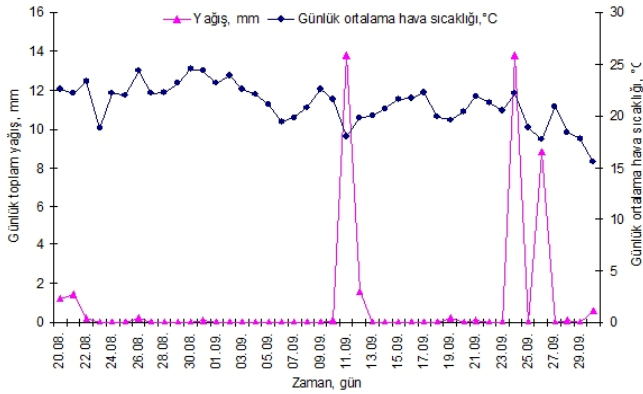
Toprak yüzeyinde ve aşağı katmanlarındaki sıcaklığın günlük ve yıllık değişimi, toprak özellikleri ile birlikte toprakların termo-fiziksel özelliklerine (ısısal yayılım, ısı iletkenliği, ısı kapasitesi vb.) bağlıdır (Gülser ve Ekberli, 2002; Gülser ve Ekberli, 2004; Ekberli ve ark., 2005; Ekberli, 2006a, 2006b; Gao ve ark., 2007; Önder ve ark., 2013). Tuz miktarı arttıkça, killi tınlı bünyeye sahip topraklarda ısısal yayılım artış göstermekte, nemin artması (≤% 40) durumunda ise tuzlu ve tuzsuz toprakların ısısal yayılım katsayıları arasındaki fark azalmakta, % 35-40 nem durumunda da yaklaşık olarak aynı olmaktadır (Tikhonravova, 2007). Gri orman topraklarında özgül ağırlık arttıkça, ısısal yayılım katsayısı da artmaktadır. Tarım makinelerinin etkisiyle pulluk katmanının sıkışması durumunda, %26'ya kadar olan toprak neminde ısısal yayılım katsayısı azalmakta, %26'dan fazla nem durumunda ise artmaktadır (Arkhangel'skaya, 2004). Tikhonravova ve Khitrov (2003), vertisol topraklarda ısısal yayılım katsayısı ile toprağın tanecik fraksiyonları, organik madde, özgül ağırlık ve gözeneklilik değerleri arasında önemli düzeyde (R²=0.81-0.96 ve P=0.95) çoklu regresyon ilişkileri elde etmişlerdir. Isısal yayılım, toprak derinliği, nem içeriği, zaman ve sıcaklık değişimine önemli düzeyde bağlı olmaktadır (Hinkel, 1997). Correia ve ark. (2012), ısısal yayılımın jeolojik oluşum süreçlerinde önemli faktör olduğunu, 26m toprak derinliğinde ısısal yayılımın 1.1×10⁻⁶ m²/sn⁻¹ ile 1.6×10⁻⁶ m²/sn⁻¹ (veya 0.011-0.016 cm²/sn⁻¹) arasında değiştiğini göstermişlerdir. Isı taşınımı denkleminin farklı başlangıç ve sınır koşullarındaki çözümüne bağlı olarak, ısısal yayılım katsayısının farklı yöntemlerle hesaplanması mümkün olmaktadır. Passerat de Silans ve ark. (1996) tarafından, ısı taşınımı denkleminin harmonik (HM), Laplace dönüşümü (LTM), Düzeltilmiş Laplace dönüşümü (CLTM) ve homojen olmayan toprak sisteminde Lettau yöntemi (NHS) ile (Lettau, 1954) elde edilen çözümüne bağlı olarak ısısal yayılım katsayıları belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Toprak yüzeyi ısı akışının tahmin edilmesinde ısısal yayılım önemli bir faktördür. Isısal yayılım toprak yüzeyi ısı akışının, dolayısıyla yüzey enerji dengesinin oluşumuna, hidrolojik, ekolojik ve atmosferik süreçlerle beraber etki yapmaktadır (Wang ve Bou-Zeid, 2012). Usowicz ve ark. (1996) tarafından, 4x430m alanda yapılan çalışmada, toprağın termal özelliklerinin değişimi klasik istatistik ve jeostatistik yöntemlerle analiz edilmiş, hacim ağırlığı ve su içeriğinin ısısal yayıma belirgin bir etkisi olduğu

gösterilmiştir. Toprakların ısısal yayılım katsayısı ısı iletkenliğiyle doğrusal, hacimsel ısı kapasitesiyle ters orantılıdır. Toprakların ısısal yayılım katsayısı yüksek olduğunda, günlük ve yıllık sıcaklık dalgaları toprak derinliğine daha fazla etki yapmakta ve aşağı katmanlarda sıcaklığın gecikmesi azalmaktadır.

Bu araştırmada, Samsun'un Çarşamba ilçesinde, çim örtüsü ile kaplı ve şeftali bahçesinde ağaçların gölgeleme yaptığı farklı iki alanda toprak sıcaklığının, sıcaklık değerlerine bağlı olarak ısısal yayılım katsayısının belirlenmesi; toprağın ısı taşınım denkleminin çözümüne bağlı olarak teorik sıcaklık değerlerinin bulunması ve deneysel sıcaklık değerleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Arazi çalışmaları Samsun ilinin Çarşamba ilçesinde 2011 yılının Ağustos-Eylül aylarında üretici arazisinde yapılmıştır. Araştırma yerinin denizden yüksekliği 6 m civarında olup, ılıman iklim özelliği taşımaktadır. Çarşamba ilçesinde ortalama yıllık yağış ve sıcaklık değerleri sırasıyla 600-936.9 mm ve 15 °C'dir. Deneme süresince toplam günlük yağış ve ortalama hava sıcaklığı Çarşamba Meteoroloji Meydan Müdürlüğünden elde edilmiş ve Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deneme süresince günlük toplam yağış ve ortalama hava sıcaklığı (Çarşamba Meteoroloji Meydan Müdürlüğü, 2011).

Deniz etkisiyle yaz ve kış ayları arasında önemli derecede sıcaklık farkı görülmemektedir. Araştırmanın yürütüldüğü yerlerdeki hakim toprak grubu alüviyal büyük toprak grubuna girmektedir (Anonymous, 1984).

Çalışma iki farklı deneme alanında yürütülmüştür. Birinci deneme alanı (41°13'02.85" K ve 36°43'26.46" D koordinatlarında) çim örtüsü ile kaplı arazide, ikinci deneme alanı (41°13'04.54" K ve 36°43'28.85" D) ise şeftali bahçesinde ağaçların gölgeleme yaptığı alanda seçilmiştir. Deneme arazilerinde toprak sıcaklığı yüzey ve 100cm toprak profilinin her bir 10 cm katmanında cıvalı cam termometre ile her gün 7⁰⁰, 12⁰⁰, 18⁰⁰ saatlerinde ölçülmüştür (Sterling ve Jackson, 1986). İstatistik hesaplamalar MİNİTAB-32 paket programında yapılmıştır.

Deneme arazisi topraklarında tekstür Bouyoucos hidrometre yöntemine göre (Black, 1957; Demiralay, 1993); pH 1:1 toprak-su oranında cam elektrolü pH-metre

ile (Bayraklı, 1987); elektriksel iletkenlik (EC) 1:1 toprak-su oranında elektriksel kondaktivite aleti ile (Richards, 1954); organik madde Walkley-Black yöntemine göre (Kacar, 1994); kireç (CaCO₃) Scheibler kalsimetresiyle (Allison ve Moodie, 1965); potasyum atomik absorpsiyon spektrofotometresinde (Kacar, 1994); fosfor Olsen ve Sommers (1982)'e göre spektrofotometrik olarak belirlenmiştir.

Deneysel ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılmasında

$$T(x,t) = T_o + Ae^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}} \cos\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}} + \omega t\right) \quad \text{veya}$$

$$T(x,t) = T_o + \frac{A}{e^{x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}}} \cos\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}} + \omega t\right) \quad (1)$$

(burada, $T(x,t) = [T]$ -toprak katmanının x derinliğinde (noktasında) t anındaki sıcaklık; $T_o = [T]$ -toprak yüzeyinin ortalama sıcaklığı; $A = [T]$ -amplitüt; $a = [l^2][t^{-1}]$ -ısısal yayılım(difüzyon) katsayısı; $\omega = 2\pi / P = [t^{-1}]$ -açısal frekans; $P = [t]$ -periyottur) ve ısısal yayılım katsayısının belirlenmesinde

$$\text{ise } a = \frac{\pi}{P} [x / \ln(A(x) / A)]^2 \quad (2)$$

(burada, $A(x) = [T]$ - x derinliğindeki amplitüttür) ifadesi kullanılmıştır (Hillel, 1982, 1998; Nerpin ve Chudnovski, 1984; Cichota ve ark., 2004; Gülser ve Ekberli, 2002, Gülser ve Ekberli, 2004; Ekberli, 2006a, 2006b, 2010; Gao ve ark., 2007; Evett ve ark., 2012; Arkhangelskaya, 2014).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Deneme alanlarındaki toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Deneme alanlarındaki toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1 ve 2' de verilmiştir. I. deneme alanı toprağının 0-20 cm ve 20-40 cm katmanları siltli tın (SiL), toprak reaksiyonu hafif alkali, organik madde içeriği düşük, tuzsuz, orta kireçli, fosfor kapsamı düşük olup, potasyum kapsamı 0-20 cm katmanında iyi, 20-40 cm katmanında ise düşük olmaktadır. Araştırma toprağının 40-100 cm katmanı tınlı (L), toprak reaksiyonu orta derecede alkali, tuzsuz, kireçli, organik madde içeriği, potasyum ve fosfor miktarı düşüktür.

II. deneme alanı toprağının 0-20 cm ve 40-80 cm katmanları tınlı (L), 20-40 cm katmanı siltli tınlı (SiL), 80-100 cm katmanı ise kumlu tınlı (SL) bulunmuştur. Toprak reaksiyonu 0-40 cm katmanda hafif alkali, 40-100 cm katmanda orta derecede alkali, tüm katmanlarda organik madde miktarı düşük, tuzsuz, orta kireçli olup, potasyum miktarı 0-20 cm katmanında yüksek, 20-40 cm' de orta, 40-100 cm' de düşük; fosfor kapsamı ise 0-20 cm katmanında çok yüksek, 20-40 cm 'de düşük, 40-100 cm' de ise çok düşük olmaktadır.

Çizelge 1. I. deneme alanındaki toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Derinlik, cm	Kum %	Silt %	Kil %	pH	OM %	EC dS/m	Kireç %	K ₂ O kg/da	P ₂ O ₅ kg/da
0-20	27.32	50.07	22.61	7.99	1.43	1.06	9.55	53.57	3.91
20-40	27.37	50.62	22.01	7.84	1.10	0.78	10.02	27.80	2.76
40-60	34.38	45.72	19.9	8.22	0.75	0.73	9.97	22.56	0.87
60-80	42.44	40.04	17.53	8.16	0.69	0.75	9.80	20.93	0.81
80-100	40.76	41.83	17.41	8.07	0.57	0.84	10.01	20.42	0.67

Çizelge 2. II. deneme alanındaki toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Derinlik cm	Kum %	Silt %	Kil %	pH	OM %	EC dS/m	Kireç %	K ₂ O kg/da	P ₂ O ₅ kg/da
0-20	35.9	45.97	18.14	7.87	1.78	0.85	9.98	136.39	21.40
20-40	36.93	50.64	12.43	7.46	0.75	0.78	11.47	23.64	3.51
40-60	45.4	37.12	17.48	8.07	0.63	0.69	10.72	16.59	1.553
60-80	48.96	36	15.04	8.22	0.57	0.62	10.06	14.96	0.60
80-100	52.41	36.54	11.05	8.17	0.46	0.57	11.37	13.12	1.95

3.2. Deneme alanlarındaki topraklarda profil boyunca sıcaklık değişimleri

Deneme alanlarındaki topraklarda profil boyunca sıcaklık değişimleri Şekil 2' de verilmiştir. Çim örtüsü ile kapalı açık arazide yerleşen I. deneme alanı toprağının 0-50 cm katmanında 7⁰⁰, 12⁰⁰, 18⁰⁰ saatlerinde sıcaklık değerleri sırasıyla 16.5-24.0 °C; 21.0-34.0 °C; 19.5-27.0 °C, 60-100 cm katmanında ise sırasıyla 19.1-23.0 °C; 21.0- 25.5 °C; 19.2-25.0 °C arasında değişmektedir.

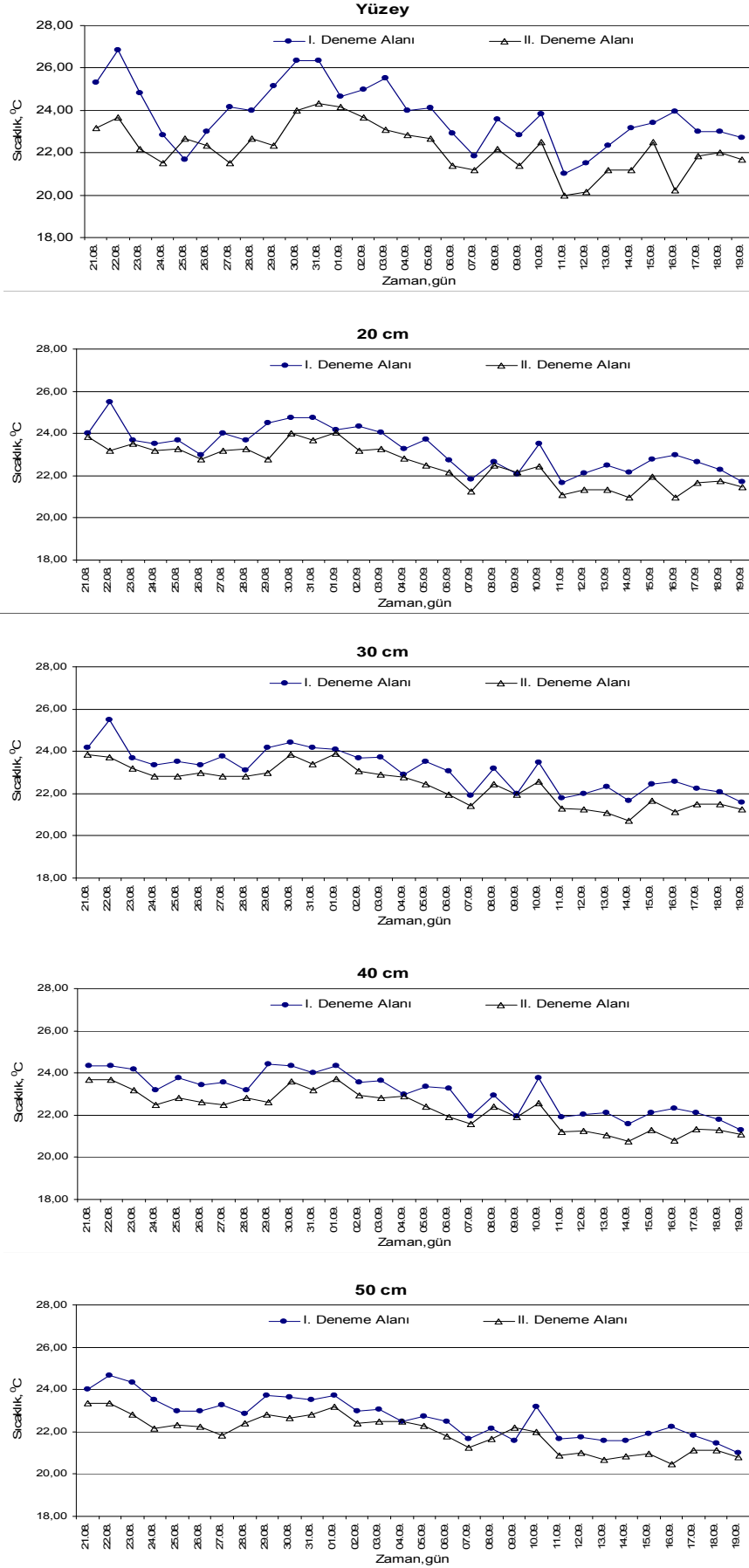
Şeftali bahçesinde ağaçların gölgeleme yaptığı arazide yerleşen II. deneme alanı toprağının 0-50 cm katmanında 7⁰⁰, 12⁰⁰, 18⁰⁰ saatlerinde sıcaklık değerleri sırasıyla 16.5-23.0 °C; 19.0-27.5 °C; 19.0-24.8 °C, 60-100 cm katmanında ise sırasıyla 18.9-22.0 °C; 19.2- 24.5 °C; 19.0-24.0 °C arasında değişmektedir.

Toprak yüzeyine enerji girişi daha fazla olduğundan, sıcaklık dalgalanmaları daha fazla olmaktadır. Genel olarak her iki deneme alanı topraklarının katmanlarındaki sıcaklık değişimleri dar aralıklarda olup, aşağı katmanlara doğru(>50 cm) bu değişimler daha fazla azalmaktadır. Sıcaklık değişimlerinin dar aralıkta olmasının nedeni, sıcaklığı etkileyen diğer faktörlerle (topraktaki fiziksel, kimyasal, biyolojik olaylar, iklim koşulu) beraber her iki deneme alanındaki toprak yapısının genellikle homojen olması, genel olarak ısı rejiminin dengeliği, toprak oluşumu süreçlerinin sürekliliği olabilir. I. deneme alanı ile karşılaştırıldığında II. deneme alanındaki sıcaklık değerlerinin nispeten az olmasının nedenlerinden biride, gölgeleme, bitki (şeftali) köklerinin toprakta yaptığı mekanik etki sonucu toprak gözenekliliğinin artmasıdır.

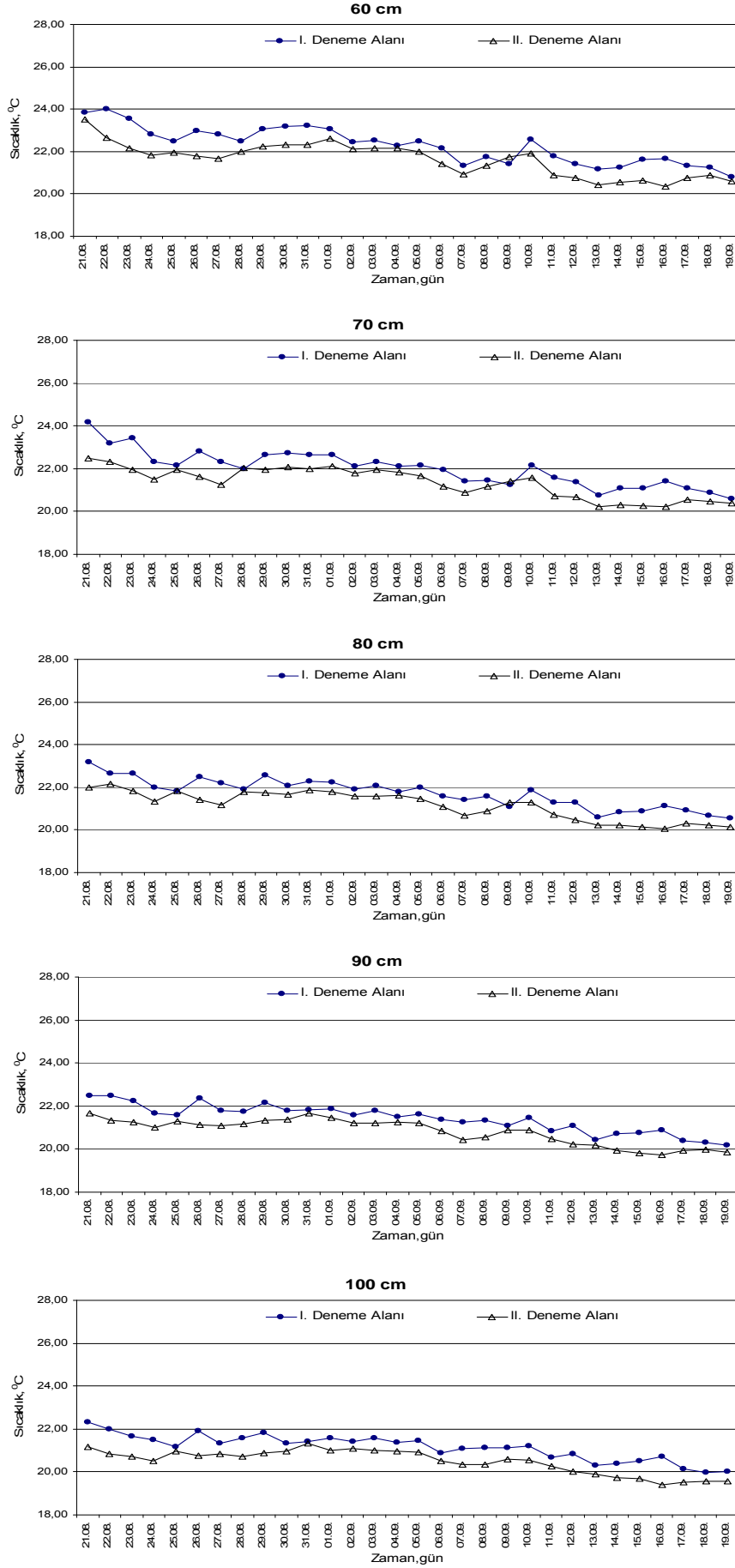
3.3. Isısal Yayınım Katsayısının Değerlendirilmesi

Araştırma döneminde deneme alanlarında toprak profili boyunca ölçülen sıcaklıklara göre belirlenmiş ortalama ve maksimum sıcaklık değerleri Çizelge 3 ve 4'de verilmiştir. Ortalama sıcaklık değerlerinin hesaplama hatası (%0.512-1.744) düşük düzeydedir. Görüldüğü gibi, her iki deneme alanı topraklarının 0-50 cm katmanında ortalama ve maksimum sıcaklık değerleri aşağı katmanlarla (60-100 cm) karşılaştırıldığında daha yüksektir. Siltli tınlı, tınlı ve kumlu tınlı bünyeye sahip olan araştırma topraklarının alt katmanlarında ısınma ve soğuma olaylarının çabuk gerçekleşmesi, rutubet değerlerinin artması (Gülser ve ark., 2003), sıcaklığın aşağı katmanlardaki değişiminin az olmasına sebep olan faktörlerden biridir. Toprak katmanlarının pratik olarak homojen olması, aşağı katmanlara gelen sıcaklık miktarının azlığı, gözenekliliğin nispeten fazla olması vb. aşağı katmanlarda sıcaklık değerleri arasındaki farkın düşük seviyede olmasına etki yapan faktörlerdendir.

Deneme alanlarında toprak profili boyunca amplitüt ve ısısal yayılım katsayılarının değerleri, sırasıyla $A = T_m - T_0$ ve (2) ifadeleri kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 5 ve 6'da verilmiştir. Isısal yayılım katsayısının değişimi amplitüt değerleri ile önemli düzeyde ilişkili olmaktadır. Toprak yüzeyinde amplitüt değerleri ölçüm saatlerinde I. deneme alanında 2.03-5.6 °C, ≥ 10 cm derinlikte ise 0.93-3.07°C aralığında değişmektedir. II. deneme alanında ise bu değişimler sırasıyla 1.97-2.77°C ve 0.94-2.46°C aralıklarında gerçekleşmiştir. Her iki deneme alanında aşağı katmanlarda ortalama sıcaklık değerlerinin ve sıcaklık değişiminin düşük olması amplitüt



Şekil 2. Deneme alanı topraklarının farklı derinliklerindeki sıcaklık değerleri



Şekil 2. Deneme alanı topraklarının farklı derinliklerindeki sıcaklık değerleri (devamı)

Çizelge 3. I. Deneme alanında toprak profili boyunca ortalama (T_0) ve maksimum (T_m) sıcaklık ($^{\circ}C$) değerleri (21.08.-19.09.2011)

Derinlik (cm)	Zaman, saat														
	07:00				12:00				18:00						
	T_0	σ	V_s , %	P_s , %	T_m	T_0	σ	V_s , %	P_s , %	T_m	T_0	σ	V_s , %	P_s , %	T_m
0	19.47 ± 0.282	1.544	7.929	1.448	21.5	28.40 ± 0.495	2.713	9.552	1.744	34.0	23.41 ± 0.339	1.862	7.952	1.451	27.0
10	20.19 ± 0.264	1.448	7.172	1.310	23.0	26.93 ± 0.312	1.711	6.352	1.159	30.0	23.26 ± 0.274	1.503	6.462	1.179	26.0
20	20.66 ± 0.227	1.243	6.017	1.099	23.0	26.03 ± 0.262	1.440	6.253	1.141	29.0	23.14 ± 0.252	1.383	5.977	1.091	26.0
30	21.37 ± 0.215	1.179	5.512	1.007	23.0	25.25 ± 0.211	1.157	4.582	0.836	28.0	22.94 ± 0.222	1.217	5.305	0.968	25.5
40	21.37 ± 0.217	1.190	5.568	1.017	24.0	24.94 ± 0.192	1.055	4.230	0.772	26.5	22.86 ± 0.218	1.199	5.245	0.957	25.0
50	21.21 ± 0.197	1.078	5.082	0.928	24.0	24.30 ± 0.175	0.963	3.962	0.723	26.0	22.54 ± 0.244	1.341	5.949	1.086	25.5
60	21.01 ± 0.165	0.905	4.306	0.786	23.0	23.71 ± 0.149	0.821	3.462	0.632	24.8	22.16 ± 0.214	1.175	5.303	0.968	25.0
70	20.87 ± 0.158	0.868	4.159	0.759	23.0	23.31 ± 0.157	0.864	3.706	0.677	25.5	21.82 ± 0.189	1.040	4.765	0.87	24.0
80	20.71 ± 0.129	0.711	3.433	0.626	22.0	22.95 ± 0.132	0.726	3.163	0.577	24.0	21.50 ± 0.164	0.901	4.190	0.765	23.5
90	20.57 ± 0.107	0.588	2.858	0.521	21.5	22.46 ± 0.136	0.748	3.330	0.607	23.8	21.24 ± 0.156	0.858	4.038	0.737	23.0
100	20.47 ± 0.104	0.575	2.808	0.512	21.5	22.04 ± 0.125	0.685	3.107	0.567	23.2	20.93 ± 0.147	0.809	3.865	0.705	23.0
Ortalama	20.72 ± 0.188	1.030	4.986	0.910	22.7	24.57 ± 0.213	1.171	4.700	0.858	26.8	22.35 ± 0.220	1.208	5.368	0.980	24.9

Çizelge 4. II. Deneme alanında toprak profili boyunca ortalama (T_0) ve maksimum (T_m) sıcaklık ($^{\circ}C$) değerleri (21.08.-19.09.2011)

Derinlik (cm)	Zaman, saat														
	07:00				12:00				18:00						
	T_0	σ	V_s , %	P_s , %	T_m	T_0	σ	V_s , %	P_s , %	T_m	T_0	σ	V_s , %	P_s , %	T_m
0	19.35 ± 0.254	1.390	7.184	1.312	22.0	24.73 ± 0.347	1.901	7.686	1.403	27.5	22.53 ± 0.268	1.472	6.533	1.192	24.5
10	20.26 ± 0.251	1.372	6.771	1.236	22.5	24.54 ± 0.249	1.368	5.573	1.017	27.0	22.72 ± 0.250	1.373	6.043	1.103	24.8
20	20.83 ± 0.241	1.321	6.342	1.158	23.0	24.13 ± 0.220	1.210	5.013	0.915	26.0	22.57 ± 0.221	1.214	5.378	0.981	24.5
30	21.12 ± 0.219	1.199	5.678	1.042	23.0	23.70 ± 0.188	1.032	4.353	0.794	25.0	22.39 ± 0.226	1.242	5.547	1.012	24.5
40	21.20 ± 0.195	1.069	5.043	0.921	23.0	23.47 ± 0.175	0.962	4.099	0.748	25.0	22.19 ± 0.218	1.195	5.384	0.983	24.5
50	20.95 ± 0.167	0.912	4.353	0.795	22.5	23.00 ± 0.171	0.937	4.073	0.743	24.5	21.87 ± 0.192	1.055	4.823	0.880	24.0
60	20.75 ± 0.152	0.836	4.183	0.763	22.0	22.57 ± 0.157	0.864	3.827	0.698	24.5	21.54 ± 0.177	0.973	4.516	0.824	24.0
70	20.56 ± 0.139	0.764	3.715	0.678	21.5	22.15 ± 0.130	0.716	3.232	0.59	23.0	21.35 ± 0.168	0.925	4.332	0.790	23.0
80	20.45 ± 0.129	0.711	3.476	0.634	21.5	21.95 ± 0.130	0.717	3.266	0.596	23.0	21.09 ± 0.150	0.823	3.902	0.712	22.5
90	20.27 ± 0.125	0.690	3.404	0.621	21.8	21.51 ± 0.121	0.668	3.105	0.566	22.5	20.71 ± 0.123	0.679	3.278	0.598	22.0
100	20.01 ± 0.113	0.619	3.093	0.564	21.5	21.06 ± 0.114	0.626	2.972	0.542	21.5	20.43 ± 0.121	0.664	3.250	0.593	21.5
Ortalama	20.52 ± 0.181	0.989	4.840	0.884	22.2	22.98 ± 0.188	1.000	4.291	0.783	24.5	21.76 ± 0.192	1.056	4.817	0.879	23.6

Burada, $\sigma = \sqrt{(T_0 - T_i)^2 / n - 1}$ - ortalama standart sapma; T_i - katmanlardaki sıcaklık, $^{\circ}C$; $V = (\sigma / T_0) 100$ - varyans katsayısı, %; $P = V / \sqrt{n}$ - hata, %, n - gün sayısı

Çizelge 5. I. Deneme alanında toprak profili boyunca amplitütün (A, °C) ve ısısal yayınım katsayısının (a, cm²sn⁻¹) değişimi (21.08.-19.09.2011)

Derinlik (cm)	Zaman (saat)					
	07: 00		12:00		18:00	
	A	a	A	a	A	a
0	2.03	0.0000	5.60	0.0000	3.59	0.0000
10	2.81	0.0344	3.07	0.0101	2.74	0.0498
20	2.34	0.7198	2.97	0.0361	2.86	0.2813
30	1.63	0.6792	2.75	0.0647	2.56	0.2861
40	2.63	0.8672	1.56	0.0356	2.14	0.2173
50	2.79	0.8984	1.70	0.0639	2.96	2.4401
60	1.49	1.3680	1.09	0.0489	2.84	2.3823
70	1.43	1.4507	2.19	0.2020	2.18	0.7157
80	1.29	1.1315	1.05	0.0830	2.00	0.6796
90	0.93	0.4831	1.34	0.1439	1.76	0.5793
100	1.03	0.7895	1.16	0.1466	2.07	1.1988
Ortalama	1.86	0.8422	2.23	0.0835	2.52	0.8830

Çizelge 6. II. Deneme alanında toprak profili boyunca amplitütün (A, °C) ve ısısal yayınım katsayısının (a, cm²sn⁻¹) değişimi (21.08.-19.09.2011)

Derinlik (cm)	Zaman (saat)					
	07: 00		12:00		18:00	
	A	a	A	a	A	a
0	2.65	0.0000	2.77	0.0000	1.97	0.0000
10	2.24	0.1286	2.46	0.2580	2.08	1.2310
20	2.17	0.3640	1.87	0.0942	2.13	2.3840
30	1.88	0.2776	1.30	0.0572	2.21	2.4750
40	1.80	0.3887	1.53	0.1650	2.31	2.2939
50	1.55	0.3159	1.50	0.2415	2.43	2.0630
60	1.25	0.2317	1.93	1.0021	2.46	2.6516
70	0.94	0.1658	0.85	0.1276	1.45	1.8960
80	1.05	0.2714	1.05	0.2472	1.41	2.0795
90	1.53	0.9757	0.99	0.2781	1.29	1.6422
100	1.49	1.0962	0.44	0.1074	1.07	0.9755
Ortalama	1.69	0.4216	1.52	0.2578	1.89	1.9692

azalmasına önemli etki yapmaktadır. I. deneme alanı ile karşılaştırıldığında, II. deneme alanı toprağının aşağı katmanlarında sıcaklık değerleri düşük olduğundan amplitütün azalması genellikle daha fazladır.

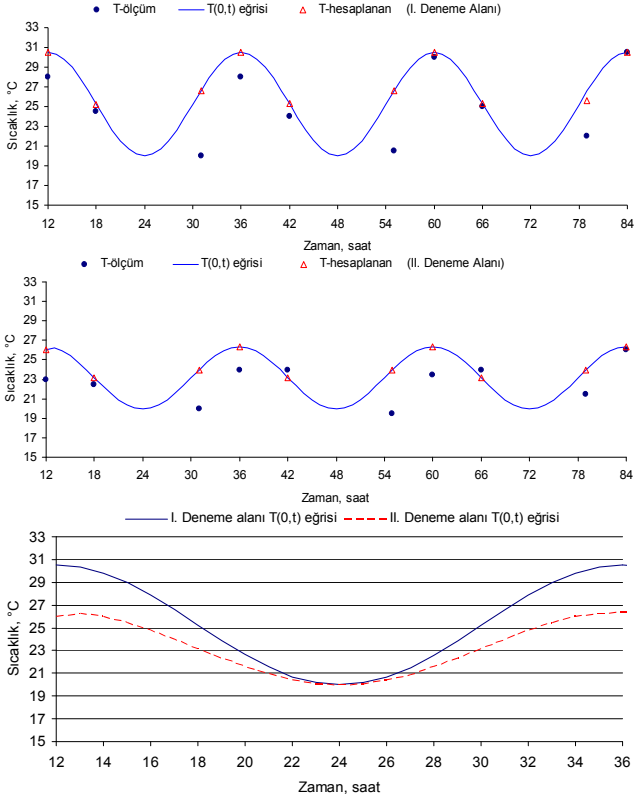
Isısal yayınım katsayısı değerlerinin saat 12⁰⁰'da diğer ölçüm zamanlarına göre düşük olmasının sebebi deneme alanlarında toprak profili boyunca maksimum sıcaklığın, dolayısıyla amplitütün yüksek olmasından (ısı akımının geçici olarak stabilize duruma yaklaşması) kaynaklanmış olabilir. Toprağın alt katmanlarındaki (>50 cm) sıcaklık genellikle yüzey katmanlarına göre daha az değişim gösterdiği için günün farklı zamanlarında ısısal yayınım katsayıları da üst katmanlara göre daha yüksek olmaktadır (Schachtschabel ve ark., 2001; Ekberli ve ark., 2011). II. deneme alanındaki sıcaklık değişiminin az olması, saat 18⁰⁰'da soğuma olayının hızla gerçekleşmesi, toprak rutubetinin fazlalığı ısısal yayınım katsayısının yüksek olmasına neden olmaktadır. Genel olarak, deneme topraklarının ısısal yayınım katsayıları sıcaklık değişimine ve başka iklimsel özelliklere, bitki örtüsüne, zamana, toprak

özelliklerine (önemli düzeyde fiziksel özelliklere) bağlıdır.

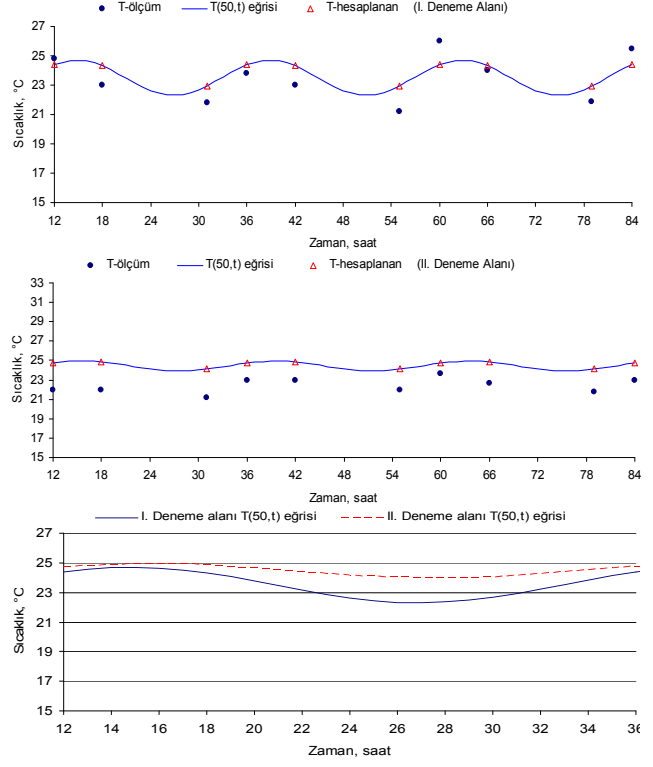
3.4. Teorik ve deneysel toprak sıcaklığı değerlerinin karşılaştırılması

Modelleme yönteminin kullanılmasında, modelin uygulanabilirliğinin tespiti açısından deneysel ve teorik değerlerin karşılaştırılması önemli aşamalardan biridir. Bu nedenle, 27.08-30.08.2011 tarihleri arasında 07⁰⁰, 12⁰⁰, 18⁰⁰ saatlerindeki günlük ortalama sıcaklık ve toprağın temel ısı taşınımı denkleminin (1) çözümünden elde edilen değerler kullanılarak, deneme alanlarında toprakların 0, 20, 50, 100 cm derinliklerinde ki deneysel ve teorik sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda, deneme alanlarındaki toprakların sıcaklık değişimini sürekli olarak ifade eden $T(x,t)$ eğrisi çizilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3-6 de gösterilmiştir.

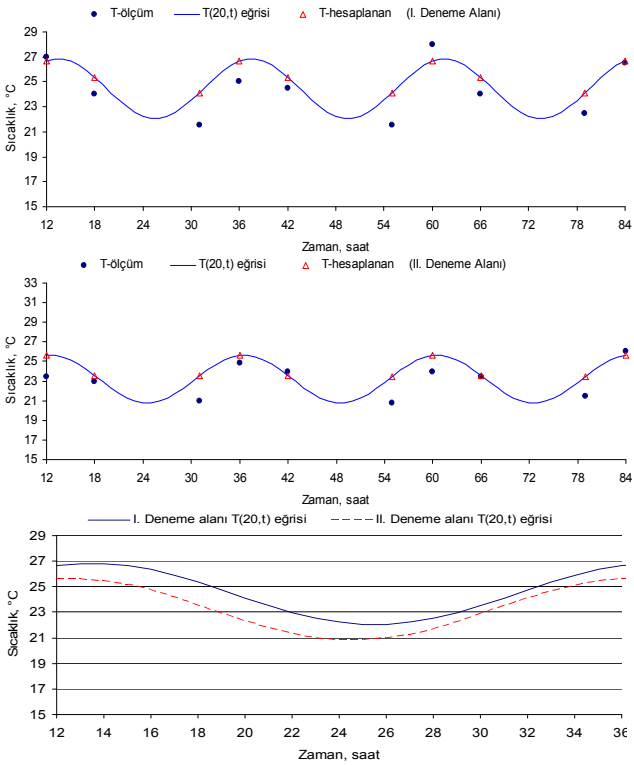
Şekil 3'den görüldüğü gibi, I. deneme alanı toprağının yüzeyinde (0 cm) sıcaklığın ölçüm değerleri 20.00-30.50 °C; hesaplanan değerler ise 25.27-30.50°C aralığındadır.



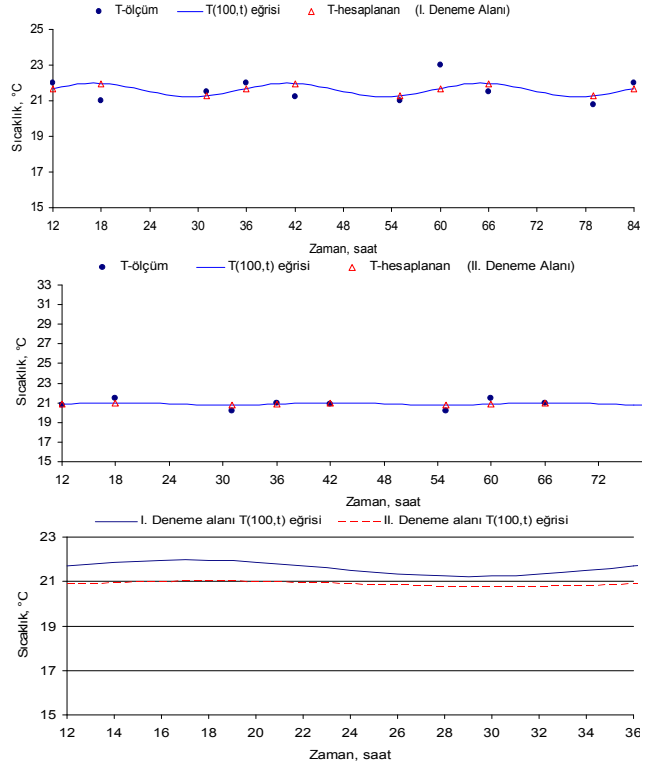
Şekil 3. Deneme alanı topraklarının yüzeyinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5. Deneme alanı topraklarının 50 cm derinliğinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4. Deneme alanı topraklarının 20 cm derinliğinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6. Deneme alanı topraklarının 100 cm derinliğinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

Ölçüm ve hesaplanan sıcaklık değerleri arasındaki nispi hata $\left(\frac{|T_{ölç.} - T_{hes.}|}{T_{hes.}} \right)$ 0.089 olmaktadır. II. deneme alanında ise bu değerler sırasıyla 19.50-26.00 °C ve 23.16-26.36°C arasında değişmekte olup, ortalama nispi hata 0.088'dir. Bitki örtüsü II. deneme alanı toprağında ölçüm ve hesaplanan sıcaklık değerlerinin nispeten dar aralıkta değişimine neden olmaktadır.

Diğer faktörlerle (yağışın miktarı, yoğunluğu ve dağılımı, toprak nemi, yüzeyde organik katmanların bulunması, taban suyu yüksekliği, toprak rengi, eğimin derecesi ve yönü, denizden yükseklik vb.) beraber (Dinç ve Şenol, 1997), ortalama sıcaklık, amplitüt, ortalama hava sıcaklığı ($\approx 25^\circ\text{C}$) ve ısısal yayılım, deneme alanları topraklarındaki sıcaklık değişimine önemli düzeyde etki yapmaktadır.

I. deneme alanı toprağının 20 cm derinliğinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri sırasıyla 21.50-28.00°C ve 24.12-26.67°C; II. deneme alanında ise 20.80-26.00 °C ve 23.49-25.62°C aralığında değişmekte (Şekil 4), ölçüm ve hesaplanan sıcaklık değerleri arasındaki ortalama nispi hata ise 0.056 ve 0.054 olmaktadır.

Deneme topraklarının 50 cm derinliğinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değişimleri çok az, 100 cm derinliğinde ise ihmal edilecek düzeyde az olarak (Şekil 5 ve 6), ortalama nispi hatalar 0.015-0.087 aralığında değişmektedir.

Görüldüğü gibi, toprak yüzeyinde ve toprağın alt katmanlarında periyodik sıcaklık dalgalarının belirlenmesi (1) çözümün kullanılması ile mümkündür. Toprak yüzey sıcaklığından farklı olarak, toprağın alt katmanlarındaki bu periyodik dağılımın belirlenmesinde asıl etkili olan faktörler katmana ait ortalama sıcaklık değeri, derinlik ve ısısal yayılım katsayısı olup, her katmanda sıcaklığın belirlenmesinde katmana ait sıcaklık amplitütü, katmanlarda ısısal yayılım katsayısının belirlenmesinde ise aynı yüzey ve her bir katmandaki sıcaklık amplitütü kullanılmaktadır.

Teorik sıcaklık değerleri ve ölçüm değerleri karşılaştırıldığında (1) ifadesinin kısa zaman (≤ 3 gün) aralığında toprak yüzeyi ve katmanlarında periyodik sıcaklık değişimlerini daha iyi ifade ettiği görülmektedir. Uzun zaman aralığında iklim koşulları gibi faktörler çözümün kullanılabilirliğini zorlaştırmaktadır (Lei ve ark., 2011). Genel olarak, toprak yüzeyine gelen ısının günlük olarak fazla değişim göstermesi nedeniyle sınır koşulu kesin olarak her zaman harmonik (sinüsoidal veya kosinüsoidal) olmayabilir. Bu nedenle, bu ve benzeri çalışmalar kuru veya kuruya yakın toprakta, ana materyal veya kayada, kapalı toprak alanında sıcaklığın yayılmasına yönelik olup, doğal koşullarda uygulanmaları sınırlıdır. Aynı zamanda topraktaki fazla nem (hacimsel ısı kapasitesi, ısısal yayılım, ısı iletkenliği vb. termodinamik faktörleri ve ısı transferini etkileyerek topraktaki sıcaklık olaylarını karmaşıklığa dönüştürmekte) ve donma sürecinde açığa çıkan gizli ısı denklemin çözümünde göz önüne alınmamıştır (Tihonov ve Samarskiy, 1972; Ekberli ve ark., 2011). Ayrıca, teorik çözümün daha da geliştirilmesi için, arazi çalışmaları ile ısı taşınım parametrelerinin deneysel olarak belirlenmesi ve teorik değerlerle karşılaştırılması gerekir.

4. Sonuç

Toprakların sıcaklık değişimi ve toprağın ısı taşınımı denkleminin başlangıç koşulsuz çözümüne dayanarak ısısal yayılım katsayısını belirlemek, hesaplanmış sıcaklık değerleri ve ölçüm değerlerini karşılaştırılmak için iki farklı deneme alanında sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Toprak yüzeyi sürekli olarak atmosfer olaylarının (yağmur, hava sıcaklığı, rüzgar vb.) etkisi altında bulunduğu ve spesifik adsorpsiyon yeteneğine sahip olduğundan, sıcaklık eğimi ($^\circ\text{C}/\text{cm}$) yüksek olup, sıcaklık değerleri geniş aralıkta ve sinüsoidal biçimde değişmektedir. Aşağı katmanlarda (> 50 cm) ise sıcaklığın değişim eğrisi doğrusallaşmaktadır. Toprak yüzeyinin kuru, gözeneklerin havayla dolu olması ısı iletiminin aşağıdan yukarıya doğru az olmasına, dolayısıyla bu katmanlarda sıcaklığın yüksek kalmasına neden olan bir faktördür. Toprakların 0-100 cm derinliğinde günlük ortalama maksimum sıcaklık değerleri ölçüm saatlerinde I. deneme alanında 22.7-26.8 °C, II. deneme alanında ise 22.2-24.5 °C aralığında değişmektedir.

I. deneme alanı toprağının 10-100 cm derinliğinde günlük ortalama ısısal yayılım katsayısı 0.0835-0.8830 $\text{cm}^2\text{sn}^{-1}$, II. deneme alanında ise 0.2578-1.9692 $\text{cm}^2\text{sn}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Sıcaklık eğiminin dengelenmesi durumunda (saat 12⁰⁰) deneme alanı topraklarında ısısal yayılım katsayısı düşüktür. ısısal yayılım katsayısı toprak nemine önemli düzeyde bağlı olduğundan, belirli bir maksimum değere sahip değildir.

Amplitüt değerleri aşağı katmanlara doğru azalmakta, I. deneme alanı toprağının yüzeyinde 2.03-5.60 °C, II. deneme alanında ise 1.97-2.77 °C olmaktadır. 0-100 cm derinlikte günlük ortalama amplitüt değerleri ise deneme alanları topraklarında sırasıyla 1.86-2.52 °C ve 1.52-1.89 °C olarak değişmektedir. Toprakların alt katmanlarında sıcaklık değişimlerinin az olması, amplitüt değerlerinin düşük olmasına neden olmaktadır.

Toprağın ısı taşınımı denkleminin çözümüne, deneysel sıcaklık değerleri ve ısısal parametrelere bağlı olarak elde edilen teorik sıcaklık değerleri ile ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki ortalama nispi hata 0.015-0.089 aralığındadır.

Deneme alanı topraklarının sıcaklık değerlerinin optimum düzeyde tutmak için, malçlama, sulama, toprak yüzeyinin fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi vb. yöntemlerle toprak sıcaklık rejiminin kontrolünün yapılması, dolayısıyla toprak sıcaklığının fazla artmasının önlenmesi gerekir. Toprak sıcaklığının bitki kök bölgesinde yaklaşık olarak homojen dağılması için, üst katmanlarda ısısal yayılım katsayısının artırılması, alt katmanlarda ise azaltılması gerekmektedir. Toprakların özgül ısısının (C_m , Joule/kgK veya kal/g °C) veya hacimsel ısı kapasitesinin (C_v , Joule/m³K veya kal/cm³ °C) belirlenmesi durumunda, ısısal yayılım katsayısı değerinden kullanılarak ısı iletkenlik katsayısının (λ , watt/m.K) belirlenmesi mümkündür.

Toprağın ısı taşınımı denkleminin çözümünün kısa zaman aralığında, dolayısıyla sıcaklığın günlük tahmininde daha iyi sonuç verebileceği mümkün gözükmemekte, teorik hesaplamada her bir katmanın ortalama sıcaklık ve ısısal yayılım katsayısı değerlerinin kullanılması gerekmektedir. Sıcaklığın farklı başlangıç ve sınır koşullarındaki değişimini göz önüne alınarak, teorik çözümün daha da

geliştirilmesi; teorik ve hesaplanan değerlerin detaylı olarak karşılaştırılması için sürekli ve kısa zaman aralıklarında sıcaklık değerlerinin belirlenmesi konusunda daha geniş araştırmaların yapılması gerekmektedir

Teşekkür

Yüksek Lisans tezinin bir kısmı olan bu araştırmanın yürütülmesine yapmış olduğu orijinal katkılarından dolayı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Coşkun GÜLSER'e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Allison, L.E., Moodie, C.D. 1965. Carbonate. In: C. A. Black et al (ed). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy.. American Society Of Argon., Inc., Madison, Wisconsin, USA, 9:1379-1400.*
- Andry, H., Yamamoto, T., Irie, T., Moritani, S., Inoue, M., Fujiyama, H. 2009. Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality. *Journal of Hydrology, 373: 177-183.*
- Anonymous, 1984. Samsun ili verimlilik envanteri ve gübre ihtiyacı raporu. Yayın No:23. Genel Yayın No:760, Ankara.
- Arkhangel'skaya, T.A. 2004. Thermal diffusivity of gray forest soils in the Vladimir Opolie region. *Pocvovedeniye, 3: 332-342.*
- Arkhangelskaya, T.A. 2014. Diversity of thermal conditions within the paleocryogenic soil complexes of the East European Plain: The discussion of key factors and mathematical modeling. *Geoderma, 213: 608-616.*
- Arkhangel'skaya, T.A., Guber, A.K., Mazirov, M.A., Prokhorov, M.V. 2005. The temperature regime of soils in Vladimir Opol'e Region. *Pocvovedeniye, 7: 832-843.*
- Arkhangel'skaya, T.A., Umarova, A.B. 2008. Thermal diffusivity and temperature regime of soils in large lysimeters of the experimental soil station of Moscow State University. *Pocvovedeniye, 3: 311-320.*
- Bayraklı, F. 1987. Toprak ve bitki analizleri. 19 Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 17, Samsun.
- Black, C.A. 1957. *Soil Plant Relationships.* John Wiley and Sons. Inc., New York, 332 pp.
- Chow, T.T., Long, H., Mok, H.Y., Li, K.W. 2011. Estimation of soil temperature profile in Hong Kong from climatic variables. *Energy and Buildings, 43: 3568-3575.*
- Cichota, R., Elias, E.A., de Jong van Lier, Q. 2004. Testing a finite-difference model for soil heat transfer by comparing numerical and analytical solutions. *Environmental Modelling & Software, 19: 495-506.*
- Constantz, J. 1982. Temperature dependence of unsaturated hydraulic conductivity of two soils. *Soil Science Society of America Journal, 46: 466-470.*
- Correia, A., Vieira, G., Ramos, M. 2012. Thermal conductivity and thermal diffusivity of cores from a 26 meter deep borehole drilled in Livingston Island, Maritime Antarctic. *Geomorphology, 155(156): 7-11.*
- Demiralay, İ. 1993. Toprak fiziksel analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. 143: 6-51, Erzurum.
- Diñç, U., Şenol, S. 1997. Toprak etüd ve haritalama. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:161, Ders Kitapları Yayın No: 50, Adana, 235 s.
- Ekberli, I. 2006a. Determination of Initial Unconditional Solution of Heat Conductivity Equation For Evaluation of Temperature Variance in Finite Soil Layer. *J. of Applied Sci., 6(7): 1520-1526.*
- Ekberli, İ. 2006b. Isı iletkenlik denkleminin çözümüne bağlı olarak topraktaki ısı taşınımına etki yapan bazı parametrelerin incelenmesi. *O.M.Ü. Zir. Fak. Dergisi, 21(2): 179-189.*
- Ekberli, I. 2010. The possibility of mathematical model application in evaluation of underground water's nourishment via infiltration. *International Soil Science Congress on "Management of Natural Resources to Sustain Soil Health and Quality". May 26-28, 2010. Ondokuz Mayıs University, Samsun-Turkey. pp. 793-801.*
- Ekberli, İ., Gülser, C., Korkmaz, A., Özdemir, N., Aşkın, T., Mikayil, F. 2002. Toprak oluşum enerjisinin teorik incelenmesi. Su Havzalarında Toprak ve Su Kaynaklarının Korunması. Geliştirilmesi ve Yönetimi Sempozyumu. 18 – 20 Eylül, Antakya/Hatay, s. 489-494.
- Ekberli, İ., Gülser, C., Özdemir, N. 2005. Toprakların termofiziksel özellikleri ve ısıl yayılım katsayısının değerlendirilmesi. *O.M.Ü. Zir. Fak. Dergisi, 20(2): 85-91.*
- Ekberli, İ., Gülser, C., Özdemir, N., 2011. Toprakta ısı taşınımının matematiksel modellenmesi. *Ulusal Toprak ve Su Sempozyumu, 25-27 Mayıs 2011, Ankara, s. 237-243.*
- Evett, S.R., Agam, N., Kustas, W.P., Colaizzi, P.D., Schwartz, R.C., 2012. Soil profile method for soil thermal diffusivity, conductivity and heat flux: Comparison to soil heat flux plates. *Advances in Water Resources, 50: 41-54.*
- Flerchinger, G. N., Pierson, F.B. 1997. Modelling plant canopy effects on variability of soil temperature and water: model calibration and validation. *Journal of Arid Environments, 35: 641-653.*
- Gao, Z., Bian, L., Hu, Y., Wan, L., Fan, J. 2007. Determination of soil temperature in an arid region. *Journal of Arid Environments, 71: 57-168.*
- Ghee, C., Neilson, R., Hallet, P.D., Robinson, D., Paterson, E. 2013. Priming of soil organic matter mineralisation is intrinsically insensitive to temperature. *Soil Biology & Biochemistry, 66: 20-28.*
- Guntinas, M.E., Leiros, M.C., Trasar-Cepeda, C., Gil-Sotres, F. 2012. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: A laboratory study. *European Journal of Soil Biology, 48: 73-80.*
- Guo, J., Yang, Y., Chen, G., Xie, J., Yang, Z. 2014. Carbon mineralization of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) soils under different temperature and humidity conditions. *Acta Ecologica Sinica, 34: 66-71.*
- Gülser, C., Aşkın, T., Özdemir, N. 2003. Ondokuz Mayıs Üniversitesi kampus topraklarının erozyona duyarlılıklarının değerlendirilmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18 (1): 1-6.*
- Gülser, C., Ekberli, İ. 2002. Toprak sıcaklığının profil boyunca değişimi. *O.M.Ü. Zir. Fak. Dergisi, 17(3): 43-47.*
- Gülser, C., Ekberli, I. 2004. A comparison of estimated and measured diurnal soil temperature through a clay soil depth. *J. of Applied Sci., 4(3): 418-423.*
- Hassan, W., David, J., Farhat Abbas, F. 2014. Effect of type and quality of two contrasting plant residues on CO2 emission potential of Ultisol soil: Implications for indirect influence of temperature and moisture. *Catena, 114:90-96.*
- Hillel, D., 1982. *Introduction to soil physics.* Academic Press, Inc. San Diego, California, USA, 364 pp.
- Hillel, D. 1998. *Environmental soil physics.* Academic Press, New York, 771 pp.
- Hinkel, K.M. 1997. Estimating seasonal values of thermal diffusivity in thawed and frozen soils using temperature time series. *Cold Regions Science and Technology, 26:1-15.*
- Hopmans, J.W., Dane, J. H., 1985. Effect of temperature-dependent hydraulic properties on soil water movement. *Soil Science Society of America Journal, 49: 51-58.*
- Jaynes, D.B. 1990. Temperature variations effect on field-measured infiltration. *Soil Science Society of America Journal, 54: 305-312.*

- Kacar, B. 1994. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri III. Toprak analizleri. A.Ü. Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No:3, Ankara., s. 89-98.
- Krzysztof, M., Bronisław, W., Szymanski, W., Muskala, P. 2014. Soil moisture and temperature variation under different types of tundra vegetation during the growing season: A case study from the Fuglebekken catchment, SW Spitsbergen. *Catena*, 116:10-18.
- Lei, S., Daniels, J. L., Bian, Z., Wainaina, N. 2011. Improved soil temperature modeling. *Environmental Earth Sciences*, 62(6): 1123-1130.
- Lettau, H.H. 1954. Improved models of thermal diffusion in the soil. *Trans. Am. Geophys. Union*, 35: 121-132.
- Li, L.-J., You, M.-Y., Shi, H.-A., Ding, X.-L., Qiao, Y.-F., Han, X.-Z. 2013. Soil CO₂ emissions from a cultivated Mollisol: Effects of organic amendments, soil temperature, and moisture. *European Journal of Soil Biology*, 55: 83-90.
- Nerpin, S.V., Chudnovskii, A.F. 1984. Heat and mass transfer in the plant-soil-air system. Translated from Russian. Published for USDA and National Sci. Found., Washington. D.S., by Amerind Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, India, 355 pp.
- Olsen, S.R., Sommers, E.L. 1982. Phosphorus availability indices. Phosphorus soluble in sodium bicarbonate. *Methods of Soils Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties.* Editors: A. L. Page, R. H. Miller, D. R. Keeney, pp. 404-430.
- Onder, O., Ozgener, L., Tester, J.W. 2013. A practical approach to predict soil temperature variations for geothermal (ground) heat exchangers applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 62: 473-480.
- Passerat de Silans, A.M., Monteny, B.A., Lhomme, J.P. 1996. Apparent soil thermal diffusivity, a case study: HAPEX-Sahel experiment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 81: 201-216.
- Ponomoryov, D.G., Nadirov, F.D., Ekberov, İ.A. 1984. Toprağın ısı mübadelesi denklemi. *Azerbaycan SSC Bilimler Akademisinin Genel Dergisi*, XL (11): 86-90.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. *U.S.Dept. Agr. Handbook*, 60: 105-106.
- Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G., Hartge, K.-H., Schwertmann, U., 2001. Toprak bilimi (Çevirenler: Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H.). Ç.Ü. Ziraat Fak. Genel Yayın No: 73, Ders Kitapları Yayın No: A-16, s. 349-361.
- Schütt, M., Borken, W., Spot, O., Stange, C.F., Matzner, E. 2014. Temperature sensitivity of C and N mineralization in temperate forest soils at low temperatures. *Soil Biology & Biochemistry*, 69: 320-327.
- Sterling, A.T., Jackson, R.D., 1986. Temperature. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Agronomy Monograph No: 9, ASA, SSSA, Madison WI.
- Tanaka, K., Hashimoto, S. 2006. Plant canopy effects on soil thermal and hydrological properties and soil respiration. *Ecological Modelling*, 196: 32-44.
- Terrence, H.B., Hugh, A.L.H. 2011. Fine scale variability in soil extracellular enzyme activity is insensitive to rain events and temperature in a mesic system. *Pedobiologia*, 54: 141-146.
- Tihonov, A.N., Samarskiy, A.A. 1972. *Uravneniya matematicheskoy fiziki.* Nauka Press, Moscow, 735 s.
- Tikhonravova, P.I. 2007. Effect of the water content on the thermal diffusivity of clay loams with different degrees of salinization in the Transvolga region. *Pocvovedeniye*, 1: 55-59.
- Tikhonravova, P.I., Khitrov, N.B. 2003. Estimation of thermal conductivity in Vertisols of the Central Ciscaucasus region. *Pocvovedeniye*, 3: 342-351.
- Usovich, B., Kossowski, J., Baranowski, P. 1996. Spatial variability of soil thermal properties in cultivated fields. *Soil & Tillage Research*, 39: 85-100.
- Wang, C., Wan, S., Xing, X., Zhang, L., Han, X. 2006. Temperature and soil moisture interactively affected soil net N mineralization in temperate grassland in Northern China. *Soil Biology & Biochemistry*, 38: 1101-1110.
- Wang, Z.H., Bou-Zeid, E. 2012. A novel approach for the estimation of soil ground heat flux. *Agricultural and Forest Meteorology*, 154-155: 214-221.
- Zibilske, L.M., Makus, D.J. 2009. Black oat cover crop management effects on soil temperature and biological properties on a Mollisol in Texas, USA. *Geoderma*, 149: 379-385.