



Samsun'un Ondokuz Mayıs İlçesi Aşağı Engiz Havzasının Bazı Topraklarının Isısal Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Thermal Characteristics of Some Soils of the Engiz Basin in the Ondokuz Mayıs District of Samsun

İmanverdi EKBERLİ¹, Orhan DENGİZ², Coşkun GÜLSER³, İsmail Fatih ORMANCI⁴, Arif AYDIN⁵

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun
• iman@omu.edu.tr • ORCID > 0000-0002-7245-2458

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun
• odengiz@omu.edu.tr • ORCID > 0000-0002-0458-6016

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun
• cgulser@omu.edu.tr • ORCID > 0000-0002-6332-4876

⁴Tarım ve Orman Bakanlığı Samsun İl Müdürlüğü
• ismailformanci@gmail.com • ORCID > 0000-0002-4426-6498

⁵Tarım ve Orman Bakanlığı Samsun İl Müdürlüğü
• arifayaydin@gmail.com • ORCID > 0000-0002-1083-5170

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types: Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş Tarihi / Received: 23 Şubat / February 2022

Kabul Tarihi / Accepted: 20 Mart / March 2022

Yıl / Year: 2022 | **Cilt - Volume:** 37 | **Sayı - Issue:** 2 | **Sayfa / Pages:** 387-404

Atıf/Cite as: Ekberli, İ., Dengiz, O., Gülser, C., Ormanci, İ. F. ve Aydın, A. "Samsun'un Ondokuz Mayıs İlçesi Aşağı Engiz Havzasının Bazı Topraklarının Isısal Özelliklerinin İncelenmesi". *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 37(2), Haziran 2022: 387-404.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İmanverdi EKBERLİ

SAMSUN'UN ONDOKUZ MAYIS İLÇESİ AŞAĞI ENGİZ HAVZASININ BAZI TOPRAKLARININ ISISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZ:

Küresel ısınma toprak sıcaklığının ve toprakların ısısal özelliklerinin değişimini sürekli olarak etkilemektedir. Bu nedenle, farklı toprak ve iklim koşullarında toprakların sıcaklık rejiminin düzenlenmesi ve tahmin edilmesi yöntemlerinde ısısal özelliklerin belirlenmesi gereklidir. Bu çalışmada, arazide belirlenen sıcaklık ölçümlerine göre, Cambisol, Leptosol, Fluvisol ve Vertisol toprakların ısısal özellikleri bulunmuştur. Araştırma topraklarında ısısal yayılım fazla olup, ağırlıklı ortalamaya göre $1.53 \cdot 10^{-6}$ - $3.22 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ aralığında değişmektedir. Maksimum ısısal yayım değeri Lithic Leptosol toprakta $3.22 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ olarak saptanmıştır. Hacimsel ısı kapasitesi ise ağırlıklı ortalamaya göre $2.390 \cdot 10^6$ - $2.755 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ aralığında değişmekte olup, Calcic Vertisol toprakta maksimum, Lithic Leptosol toprakta ise minimum değere sahip olmaktadır. Elde edilen verilere göre, hacimsel nem içeriğinin hacimsel ısı kapasitesini etkileyen temel faktör olduğu gözükmemektedir. Toprakların ısı iletkenliğinin, ısısal yayıma ve hacimsel ısı kapasitesine bağlı olarak 3.989 - $7.852 \text{ watt m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Maksimum ısı iletkenliği değeri Calcic Vertisol, minimum değer ise Dystric Cambisol toprakta saptanmıştır. Araştırma topraklarının yüzey horizonlarında ısı akışı tipik günlük değişim göstermiş ve ısı akışı değerleri 08:00-18:00 ve 20:00-06:00 saatlerinde sırasıyla 25.536 - $240.807 \text{ watt m}^{-2}$ ve $-241.557 \text{ watt m}^{-2}$ ile $-24.350 \text{ watt m}^{-2}$ aralıklarında belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Isısal Yayılım, Hacimsel Isı Kapasitesi, Isı İletkenliği, Yüzey Isı Akışı.*



INVESTIGATION OF THERMAL CHARACTERISTICS OF SOME SOILS OF THE ENGİZ BASIN IN THE ONDOKUZ MAYIS DISTRICT OF SAMSUN

ABSTRACT:

Global warming is constantly affecting the change of soil temperature and thermal properties of soils. Therefore, it is necessary to determine the thermal characteristics in the methods of improving and predicting the temperature regime of soils in different soil and climatic conditions. In the present study, according to the temperature measurements determined in the field, the thermal properties of Cambisol, Leptosol, Fluvisol and Vertisol soils were found. The thermal diffusivity is more in the research soil and varies between $1.53 \cdot 10^{-6}$ - $3.22 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ according to the weighted average. The maximum thermal diffusivity value was determined

as $3.22 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ in Lithic Leptosol soil. In addition, the volumetric heat capacity varies according to the weighted average in between $2.390 \cdot 10^6$ - $2.755 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, and Calcic Vertisol has a maximum value in the soil whereas Lithic Leptosol has a minimum value in the soil. According to the obtained results, it seems that the volumetric moisture content is the main factor affecting the volumetric heat capacity. It has been determined that the thermal conductivity of soils varies from 3.989 to 7.852 $\text{watt m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, depending on the thermal diffusivity and volumetric heat capacity. The maximum thermal conductivity value was determined in Calcic Vertisol whereas the minimum value was determined in Dystric Cambisol soil. The heat flow showed typical daily variation of in the surface horizons of soils and values of heat flow at 08:00-18:00 and 20:00-06:00 were determined 25.536-240.807 watt m^{-2} and -241.557 watt m^{-2} -24.350 watt m^{-2} , respectively.

Keywords: *Thermal Diffusivity, Volumetric Heat Capacity, Thermal Conductivity, Surface Heat Flow.*

1. GİRİŞ

Toprağın termal özellikleri, ısı iletkenliğini, hacimsel ısı kapasitesini ve ısıl yayılımı gibi faktörleri içermektedir. Bu özellikler toprakta ısı taşınımını ve depolanmasını iyileştirmek için gerekli yöntemlerin belirlenmesinde önemli faktörler olmaktadır. Isı iletkenliği, bir toprağın ısı iletiminin hızını ifade ederken, hacimsel ısı kapasitesi birim toprak hacminin sıcaklığını bir derece artırmak için gereken ısı miktarıdır. Isıl yayılım, toprağın ısı iletkenliğinin toprağın hacimsel ısı kapasitesine oranı olup, ısının toprakta ne kadar hızlı hareket ettiğini ifade eder (Hillel, 2004). Bu özellikler, toprak sıcaklığının dağılımını, toprakta su depolanmasını, tohum çimlenmesini, mikrobiyal aktiviteleri, yüzey enerji dengesini ve toprağın potansiyel iklim dalgalanmalarına karşı direnci dahil olmak üzere toprak oluşum süreçlerini etkilemektedir (Richard ve Cellier, 1998; Hillel, 2004; Adhikari ve ark., 2014). Bitki örtüsü ve kalıntıları, toprağın su içeriği, bünye vb. gibi faktörler toprağın termal özelliklerini farklı düzeylerde etkilemektedir. Sindelar ve ark. (2019) tarafından, mısır (*Zea mays* L.) ürünü kalıntılarının uzaklaştırılmasının ve ürün kalıntılarının uzaklaştırılması sonrası ekilen kışlık çavdar (*Secale tahl* L.) bitkisi örtüsünün toprağın termal özelliklerine etkisinin belirlenmesine ait bir araştırmada, kontrol toprağın 0-5 cm derinliğinde ısı iletkenliği ve hacimsel ısı kapasitesi, sırasıyla $1.11 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ve $2.875 \text{ MJ m}^{-3} \text{ K}^{-3}$ olduğunu saptanmışlardır. Ürün kalıntıları uzaklaştırılmayan ve uzaklaştırılan durumlarda oluşan bitki örtüsünde, toprağın ortalama ısıl yayılımının ise sırasıyla $0.40 \pm 0.09 \text{ mm}^2 \text{ sn}^{-1}$ ve $0.39 \pm 0.04 \text{ mm}^2 \text{ sn}^{-1}$ olduğunu belirlemişlerdir.

Toprağın ısıl yayılımı, toprağın ısıl iletkenliğine ve hacimsel ısı kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. Artan ısı iletkenliği (toprağın ısı transferi özelliği) ile ısıl yayılım da artmakta ve derin toprak horizonlarının sıcaklığı,

yüzey sıcaklık değişimlerine daha duyarlı hale gelmektedir. Tersine, termal kapasitedeki (toprak sıcaklığını yükseltmek için gereken ısı miktarındaki) bir artış, ısıl yayınımda bir azalmaya yol açmakta ve dolayısıyla değişen dış koşullara karşı toprak profilinin derinliklerindeki sıcaklık değişimini azaltmaktadır. Bu nedenle, toprağın sıcaklık duyarlılığının bir göstergesi olan ısıl yayınım, toprağın ısı transferi (ısı iletkenliği) veya ısı ataletindeki (ısı kapasite) değişimlerin bir sonucu olarak farklı değerlere sahip olabilir. Ayrıca, toprağın hem ısı iletkenliği hem de ısı kapasitesi toprak nem içeriğine göre önemli düzeyde değiştiği için, toprakların ısıl yayınımları büyük ölçüde nem içeriğine de bağlıdır. Herhangi bir toprağın farklı nem içeriğine sahip olması durumunda, ısıl yayınımların değişim aralığı, toprak bünyesine, hacim ağırlığına ve organik madde içeriğine bağlı olarak değişmektedir (Parikh ve ark., 1979; Abu-Hamdeh, 2003; Roxy ve ark., 2010; Arkhangel'skaya ve ark., 2015; Arkhangel'skaya ve Lukyashchenko, 2018; Arkhangel'skaya, 2020). Toprağın ısıl özelliklerinden biri olan hacimsel ısı kapasitesi, toprağın hacimsel su içeriği, hacim ağırlığı ve organik karbon konsantrasyonu ile pozitif bir ilişkiye sahip olabilir (Abu-Hamdeh, 2003; Adhikari ve ark., 2014; Lu ve ark., 2014). Bitki gelişiminde ve modellenmesinde ısıl özelliklerin önemli olduğunu göz önüne alarak, Fu ve ark. (2020) tarafından yapılan bir modelleme araştırmasında, bitki kök bölgesinde toprağın ısı kapasitesi, ısı iletkenliği ve dielektrik sabitesi irdelenmiş; üç toprakta yapılan deneysel değerlendirmeler sonucunda, yapılan modellerin genel olarak kök bölgesinin bu özelliklerinin mekansal ve zamansal değişimlerini tanımlayabildiğini göstermişlerdir.

Toprağın ısı iletkenliği, toprak enerji dengesini, ısı rejimini ve topraktaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri tahmin etmek için önemli bir parametre olup, deneysel ve teorik yöntemlerle belirlenmektedir (Peters-Lidard ve ark., 1998; Wilson ve ark., 2002; Christensen ve ark., 2013; Ju ve Hu, 2018; Zhou ve ark., 2020; Wang ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2021; Wang ve ark., 2022). Schjønning (2021), bozulmamış toprağın ısı iletkenliğinin ölçümleri ve tahminine ait yaptığı bir çalışmada, kuru ve su ile doymuş toprağın 5-85 cm derinliğinde ısı iletkenliği değerlerini belirlemiştir. Toprağın su ile doymuşluk derecesinin 0.01 ile 0.98 arasındaki değişiminde, ısı iletkenliğinin 0.18-0.298 Watt m⁻¹ K⁻¹ arasında değiştiğini ve elde edilen değerlerin literatür verileriyle tam olarak örtüşmediğini göstermiştir. Ayrıca, ısı iletkenliğiyle toprağın su ile doyma derecesi, hacim ağırlığı, organik madde ve kil miktarı arasında ikinci dereceden polinom ilişkisi oluşturulmuş; hacim ağırlığı, organik madde ve kil miktarının önemli, silt ve kum miktarının ise önemli olmayan ($P > 0,05$) etkisi vurgulanmıştır. Toprakta organik maddenin ayrışması, denitrifikasyon ve sera gazı emisyonu ile ilişkili olan biyotik ve abiyotik süreçler sıcaklık değişimine bağlı olduğundan, ısı iletkenliğinin bu süreçler üzerindeki etkileri toprak-bitki-atmosfer sistemi modellerinde birleştirilmektedir (Hansen ve ark., 1991; 2012; Nkongolo ve ark., 2010; Dutta ve ark., 2018; Taghizadeh-Toosi ve ark., 2019). Günümüzde yerkürenin önemli bir

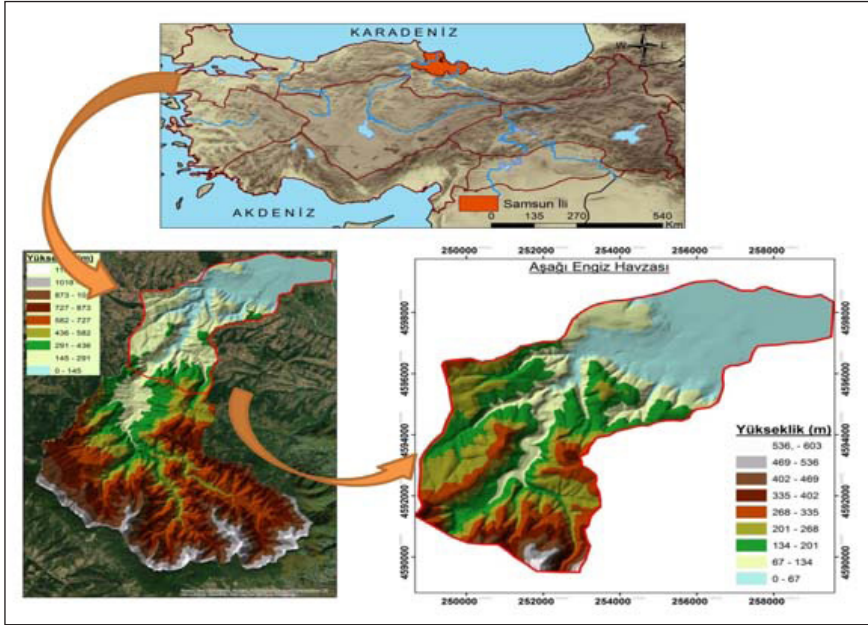
sorunlarından olan sera gazı emisyonlarının ve küresel ısınma olaylarının tahmin edilmesine yönelik modelleme çalışmalarında, ısı iletkenliğinin gerekli ve önemli bir parametre olduğu bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Dutta ve ark., 2018; Nkongolo ve ark., 2010). Fu ve ark.(2021), toprağın su tutma eğrilerini tahmin etmek için deneysel “ısı iletkenliği-su tutma (TCWR)” yaklaşımı ile toprakların ısı iletkenliği ve toprak özellikleri (hacim ağırlığı, bünye, organik karbon) verilerini kullanmışlardır. Toprağın ısı iletkenliği üzerine, toprakların buldukları ekolojik değişkenlere bağlı olarak gelişim süreçleri sonrasında karakter kazanmasıyla oluşan farklı toprak çeşitleri de etkili olmaktadır. Kodešová ve ark. (2013), Çek Cumhuriyetini temsil eden toprak çeşitlerinin termal özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada, diğer toprak çeşitlerine nazaran en düşük ısı iletkenliğini Stagnic Çernozem ve Dystric Cambisol topraklarda belirlemişlerdir.

Bu araştırmada, Samsunun Ondokuz Mayıs ilçesi sınırları içerisinde yer alan Aşağı Engiz havzasında dağılım gösteren Cambisol, Leptosol, Fluvisol ve Vertisol toprakların ısısal özelliklerinin (ölgül ve hacimsel ısı kapasitesi, ısısal yayılım, ısı iletkenliği, yüzey horizonlarda ısı akışı) belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL

Çalışma Samsun-Engiz havzasının Aşağı alt havzasında gerçekleştirilmiş olup, 4590000-4598000K ve 250000-258000D (WGS84, Zone 37, UTM m) koordinatlarında yer almaktadır (Şekil 1). Yükseklik deniz seviyesinden 0 m ile 603 m arasında değişmektedir.

Su temini için önemli bir rezerv olan Samsun-Engiz Havzası, tarım, orman, mera ve yerleşim gibi farklı arazi kullanım ve arazi türlerine sahiptir. Bölgenin coğrafi alanı yaklaşık 4758 ha 'dır. Çalışma alanı çeşitli topografik özelliklerden oluşmaktadır. Özellikle, arazi şekli dağ, tepeler ve ovalar ile karakterize edilir ve Güneybatı ve Güneydoğu bölgeleri dik yamaçlarla karakterize edilir. Çalışma alanına ait uzun yıllar meteorolojik verilerine göre (1986-2020) yıllık ortalama sıcaklık 13.8 °C; yıllık ortalama yağış 717.5 mm ve yıllık ortalama buharlaşma değeri ise 752.31 mm'dir. Newhall modeline göre toprak ve sıcaklık rejimi hesaplandığında toprak nem rejimi ustic ve sıcaklık rejimi ise mesic olarak belirlenmiştir (Turan ve ark., 2018). Havzanın ana çok yıllık Nehri Engiz Çayı'dır ve diğer düzensiz akan nehirlerle (Erikli, Elmacukuru ve Kösedik) sahiptir (İmamoğlu ve ark., 2014). Alanda yaygın büyük toprak grupları olarak kahverengi orman ve gri kahverengi podzolik topraklar dağılım gösterirken, alüvyon toprakları ise havzadaki küçük parçaları kapsar (Dengiz ve Sarioğlu, 2011). Bu topraklar IUSS Working Group WRB (2015) sınıflamasına göre ise Cambisol, Leptosol, Vertisol ve Fulvisol topraklar olarak sınıflandırılmıştır (Kapur ve ark., 2018). Ekilebilir araziler çok sınırlıdır ve genellikle havzanın Kuzey kısımlarında bulunan neredeyse düz bir alanda bulunurken, havza alanının Güney ve Güneydoğu kısımlarında orman ve mera alanları yoğundur. Erozyon sorunu, kısmen kademeli topografyası ve uygun olmayan tarım-orman, tarım-mera yönetimi uygulamaları nedeniyle bölgede yaygındır.



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası

Figure 1. Study area location map

3. YÖNTEM

Araştırma alanında yer alan Cambisol, Leptosol, Fluvisol ve Vertisol toprak profillerinden horizon esasına göre toprak örnekleri alınmıştır. Genel olarak A/Bw/C horizon dizilimine sahip olan Dystric ve Vertic Cambisol (Profil 1 ve Profil 2) topraklardan altı adet, açılan iki profilin (Profil 3 ve 4) toprak sınıflamadaki karşılığı olan Lithic Leptosol (A/Cr1/C2) topraklara ait altı adet, Ap/A2/AC/C horizon dizilimine sahip Clayic Fluvisol (Profil 5) topraklardan 4 adet ve Clacic Vertisol (Profil 6- Ap/A2AB/Bss/Ck) topraklardan ise 5 adet olmak üzere 21 adet toprak örnekleme yapılmıştır. Alınan toprak örneklerinde bünye, hidrometre yöntemiyle (Bouyoucous, 1951); hacim ağırlığı, alınmış bozulmamış toprak örneklerinde (Blake ve Hartge, 1986); elektriksel iletkenlik, saturasyon çamurunda kondaktivi metre aleti kullanılarak belirlenmiştir (Soil Survey Staff, 1992). Organik madde Walkley-Black yönteminin Jackson tarafından modifiye edilmiş şekli ile yapılmıştır (Jackson, 1958). Hacimsel su içeriği, gravimetrik nem değerlerinden hesaplanmıştır.

Toprağın temel ısı iletkenliği denklemini $\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ ($0 \leq x < \infty, t \geq 0$) (1) [burada,

$T(x, t)$ - x mesafesinde belirli bir t anındaki toprak sıcaklığı, °C; a - sıcaklık iletkenlik katsayısı (difüzyon) veya ısısal yayındır, m^2/sn .] biçiminde ifade edilmektedir. Toprak yüzeyinde sıcaklığın harmonik değişimini ifade eden $T(0, t) = T_0 + A \sin \omega t$ [burada, T_0 - toprak yüzeyinin ortalama sıcaklığı, °C; A - toprak yüzeyindeki maksimum veya minimum sıcaklık değeri ile ortalama yüzey sıcaklığı arasındaki farkı ifade eden amplitüt, $\omega = 2\pi / P$ - sıcaklık dalgalarının açısal frekansı (döngüdeki değişimin sıklığı) ve P - periyot, yani dalganın bir döngüsünü tamamlaması için gerekli olan zamandır] sınır koşuluna bağlı olarak, (1) denkleminin çözümü aşağıdaki biçimde olur:

$$T(x, t) = T_0 + A e^{-x \sqrt{\frac{\omega}{2a}}} \sin \left(-x \sqrt{\frac{\omega}{2a}} + \omega t \right) \text{ veya } T(x, t) = T_0 + \frac{A}{e^{x \sqrt{\frac{\omega}{2a}}}} \sin \left(-x \sqrt{\frac{\omega}{2a}} + \omega t \right) \quad (2)$$

(2) ifadesinden görüldüğü gibi, toprağın alt katmanlarında sıcaklık amplitudunun değeri $A(x) = \frac{A}{e^{x \sqrt{\frac{\omega}{2a}}}}$ (3)

gibi olup, toprak derinliği boyunca eksponansiyon olarak azalır. Eğer derinlik aritmetik olarak artarsa, amplitüt geometrik olarak azalmaktadır. (3) ifadesinden, $\ln \frac{A(x)}{A} = -x \sqrt{\frac{\omega}{2a}}$ olarak, ısısal yayının katsayısı:

$$a = \frac{\omega x^2}{2 \ln^2 \frac{A(x)}{A}} \text{ veya } a = \frac{P}{\pi} \left(\frac{\Delta x}{\ln(A_i / A_{i+1})} \right)^2 \quad (4) \text{ [burada, } \Delta x = x_i - x_{i+1} \text{ (} i = \overline{1, n}) \text{ - katmanlar}$$

arasındaki mesafe; A_i ve A_{i+1} sırasıyla toprağın x_i ve x_{i+1} katmanlarına ait sıcaklık amplitüdü değerleridir] biçiminde elde edilir (Trombotta ve Borzotta, 2009; Correia ve ark., 2012; Ekberli ve Gülser, 2014; Arias-Penas ve ark., 2015; Ekberli ve Dengiz, 2016; Dengiz ve Ekberli, 2017; Gülser ve ark., 2018; Gülser ve Ekberli, 2019). Araziye her toprak profiline ait horisontlarda termometre ile (Sterling ve Jackson, 1986) ölçülen sıcaklık değerlerinden kullanılarak, toprakların $\Delta x = x_i - x_{i+1}$ ($i = \overline{1, n}$) katmanlardaki ısısal yayını katsayıları, $P = 604800$ sn olduğunu göz önüne alarak, (4) ifadesine göre belirlenmiştir. Toprağın katı kısmının özgül ısı kapasitesi ($C_{s,t}$, $cal\ gr^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ veya $J\ kg^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$)

$$C_{s,t} = C_{s,org} \frac{m_{org}}{m} + C_{s,min} \left(1 - \frac{m_{org}}{m} \right) \quad (5)$$

[burada, $C_{s,org}$ ve $C_{s,min}$ - sırasıyla toprağın katı kısmındaki organik ve mineral maddenin özgül ısı kapasitesi

($cal\ gr^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ veya $J\ kg^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$); $\frac{m_{org}}{m}$ - topraktaki organik madde miktarı ($gr\ gr^{-1}$ veya %)

olmaktadır] ifadesinden; hacimsel ısı kapasitesi ($C_{h,t}$, $cal\ cm^{-3} \text{ } ^\circ C^{-1}$ veya $J\ m^{-3} \text{ } ^\circ C^{-1}$) ise

$$C_{h,t} = C_{s,t} p + C_{h,s} W_\theta \quad (6)$$

[burada, p - toprağın hacim ağırlığı ($gr\ cm^{-3}$); $C_{h,s} = 1.00\ cal\ cm^{-3} \text{ } ^\circ C^{-1}$ - suyun hacimsel ısı kapasitesi; W_θ - toprağın hacimsel nem ($cm^3\ cm^{-3}$) içeriği olmaktadır] formülünden faydalanarak belirlenmiştir (Hanks ve Ashcroft 1980; Hilel 2004). Toprakların ısı iletkenliği katsayısı $\lambda = a C_{h,t}$ (7) ifadesine göre hesaplanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Toprakların Sınıflaması, Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Araştırma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Toprakların pedolojik süreçleri sonrasında kazanmış oldukları genetik horizonların varlı veya yokluğuna göre genç veya olgun olarak nitelendirilebilir (Dengiz, 2010). Bu bağlamda, Profil 3, 4 ve 5 nolu topraklar toprak oluşum sürecinin başlangıç everelinde olmaları ve yüzey altı tanı horizonları içermemeleri nedeniyle IUSS Working Group WRB (2015) göre Lithic Leptosol ve Clayic Fulvisol olarak sınıflandırılmışlardır. 1 ve 2 nolu profiller ise genç topraklara göre özellikle profil içerisinde strüktürel bir gelişim göstermeleri (cambic horizon oluşumu-Bw) daha ileri seviyede oldukları toprak reksiyonlarında ve kil içeriklerindeki farklılıklardan dolayı IUSS Working Group WRB (2015) göre sırasıyla Dystric Cambisol ve Vertic Cambisol olarak tanımlanmışlardır. 6 nolu profil ise tüm profilin %40 ve üzeri kil içermesi ve kayma yüzeyleri oluşumu (Bss) ve profil içerisinde sekonder kireç birikim özellikleri olan kireç miselleri ve kireç nodülleri nedeniyle de Calcic Vertisol olarak sınıflandırılmıştır. Araştırma topraklarında tuzluluk problemi bulunmamakta ve EC değerleri 0.11 dS m^{-1} ile 0.62 dS m^{-1} arasında değişmektedir. Toprakların organik madde içerikleri yönünden en yüksek %5.79 ile Clayic Fulvisol topraklarda belirlenirken en düşük %2.28 ile Lithic Leptosol (Profil 3) de belirlenmiştir. Fakat tüm toprakların organik madde oranları profil içinde derine doğru azaldığı görülmektedir. Toprakların profil içerisinde en fazla kil içerikleri Calcic Vertisol topraklarda belirlenirken, kum içerikleri yönünden en fazla Lithic Leptosol (Profil 3) de olduğu belirlenmiştir. Toprakların gerek organik madde gerekse de kil içerikleri hacim ağırlıklarını ve su tutma kapasitelerini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Toprakların hacim ağırlıkları genellikle derine doğru bir artış olduğu görülmektedir. En yüksek hacim ağırlıkları $1.42 - 1.67 \text{ gr cm}^{-3}$ ile Lithic Leptosol (Profil 4) topraklarda belirlenmiştir. Ayrıca hacimsel su içeriği yönünden ise yine Lithic Leptosol (Profil 4) en düşük değerlere sahip olup $0.29 - 0.31 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 1. Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri**Table 1.** Some physical and chemical properties of soils

Horizon	Derinlik (cm)	EC (dSm ⁻¹)	OM (%)	Bünye			HA (gr cm ⁻³)	Θ (cm ³ cm ⁻³)
				Kil (%)	Kum (%)	Silt (%)		
Profil 1 Dystric Cambisol								
Ap	0-16	0.40	5.12	47.49	18.92	33.59	1.30	0.31
Ad2	18-40	0.24	2.40	49.41	19.49	31.10	1.48	0.37
Bw	40-81	0.19	0.94	63.70	10.73	25.57	1.21	0.44
C	81+	0.13	0.11	24.98	60.87	14.15	1.32	0.43
Profil 2 Vertic Cambisol								
A	0-22	0.42	4.08	43.50	23.68	32.82	1.26	0.32
Bw	22-50	0.36	1.27	43.59	23.45	32.96	1.46	0.31
C1	50-81	0.15	0.37	41.74	25.46	32.80	1.48	0.36
C2	81+	0.38	0.17	48.00	19.33	32.67	1.33	0.39
Profil 3 Lithic Leptosol								
A	0-29	0.36	2.28	33.86	47.89	18.25	1.47	0.31
Cr1	29-72	0.15	1.14	12.54	68.91	18.55	1.54	0.28
C2	72+	0.11	0.42	10.57	81.61	7.82	1.55	0.44
Profil 4 Lithic Leptosol								
A	0-20	0.36	3.70	36.12	34.81	29.07	1.43	0.29
Cr	20-40	0.13	1.70	18.96	68.55	12.49	1.67	0.29
Cr2	40+	0.16	1.46	20.69	67.05	12.26	1.42	0.31
Profil 5 Clayic Fulvisol								
Ap	0-16	0.58	5.79	47.91	18.55	33.54	1.41	0.35
A2	16-57	0.62	2.45	47.67	22.12	30.21	1.42	0.38
AC	57-77	0.50	1.88	39.68	24.40	35.92	1.30	0.36
C	77+	0.49	1.73	39.56	22.13	38.31	1.19	0.38
Profil 6 Calcic Vertisol								
Ap	0-16	0.56	4.95	57.42	11.25	31.33	1.36	0.37
A2	16-46	0.51	2.84	61.54	9.30	29.16	1.33	0.45
AB	46-88	0.48	1.28	63.77	8.51	27.72	1.33	0.38
Bss	88-124	0.59	1.15	63.43	9.15	27.42	1.40	0.41
Ck	124+	0.53	0.49	60.48	12.31	27.21	1.51	0.36

EC-elektriksel iletkenlik; OM-organik madde; HA-hacim ağırlığı, Θ-hacimsel nem içeriği

4.2. Araştırma Alanı Topraklarının Isısal Yayınım Değerleri

Araştırma alanı topraklarının horizonlarında ölçülen sıcaklık değerlerine dayanarak, (4) ifadesiyle hesaplanan ısısal yayınım katsayısı değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Toprakların sıcaklık (°C), amplitüt (°C) ve ısısal yayılım katsayısı ($m^2 sn^{-1}$) değerleri

Table 2. Temperature (°C), amplitude (°C) and thermal diffusion coefficient ($m^2 sec^{-1}$) values of soils

Horizon	Derinlik, cm	Sıcaklık			A	a·10 ⁻⁶
		Minimum	Maksimum	Ortalama		
Profil 1 Dystric Cambisol						
	0	22.5	34.7	29.2	5.5	-
Ap	0-16	21.3	31.7	27.6	4.1	1.54
Ad2	16-40	20.6	27.7	24.9	2.8	2.06
Bw	40-81	19.8	23.4	22.2	1.2	1.22
C	81+	17.2	20.4	19.3	1.1	-
Profil 2 Vertic Cambisol						
	0	21.2	30.1	23.8	6.3	-
A	0-22	19.3	27.5	22.7	4.8	3.40
Bw	22-50	18.4	24.2	21.6	2.6	1.09
C1	50-81	16.2	21.3	19.7	1.6	2.12
C2	81+	15.1	18.5	17.1	1.4	-
Profil 3 Lithic Leptosol						
	0	23.8	34.4	28.5	5.9	-
A	0-29	22.7	28.3	25.2	3.1	1.06
Cr1	29-72	19.4	21.1	19.3	1.8	3.25
C2	72+	13.5	15.6	14.0	1.6	-
Profil 4 Lithic Leptosol						
	0	23.1	35.8	30.3	5.5	-
A	0-20	20.4	30.2	26.0	4.2	2.86
Cr	20-40	21.3	28.4	25.1	3.3	3.58
Cr2	40+	19.4	25.3	22.2	3.1	-
Profil 5 Clayic Fulvisol						
	0	23.1	33.8	29.8	4.0	-
Ap	0-16	22.3	30.5	27.6	2.9	1.29
A2	16-57	20.8	28.2	26.6	1.6	2.47
AC	57-77	19.8	24.3	23.1	1.2	2.51
C	77+	16.4	23.3	22.3	1.0	-
Profil 6 Calcic Vertisol						
	0	22.8	34.6	29.4	5.2	-
Ap	0-16	21.7	29.2	25.3	3.9	1.61
A2	16-46	20.3	27.4	24.8	2.6	2.85
AB	46-88	19.8	23.7	22.2	1.5	3.03
Bss	88-124	18.7	21.0	20.2	0.9	2.58
Ck	124+	16.5	19.0	18.2	0.8	-

$$A = T_{maksimum} - T_{ortalama} \text{ - toprak horizonlarına ait sıcaklık amplitütü, a-ısısal yayılım katsayısı}$$

Çizelge 2'den görüldüğü gibi, toprak özelliklerine, iklim ve dolayısıyla sıcaklık değişimine, toprak horizonlarının ortalama ve maksimum sıcaklığına önemli düzeyde bağlı olan sıcaklık dalgalarının amplitütü; tüm toprak profillerinin horizonlarında 0.8-6.3°C aralığında değişmektedir. Aşağı katmanlara doğru ortalama sıcaklığın ve maksimum sıcaklığın azalması, amplitütün değerlerinin düşük olmasına neden olmaktadır. Toprak profillerinin tüm horizonlarında ısısal yayılım katsayısı ise $1.06 \cdot 10^{-6} m^2 sn^{-1}$ ile $3.58 \cdot 10^{-6} m^2 sn^{-1}$ arasında değişmektedir. Tüm toprak horizonlarındaki ısısal yayılım katsayılarının karşılaştırılmasından görüldüğü gibi, ısısal yayılımın maksimum değeri $3.58 \cdot 10^{-6} m^2 sn^{-1}$; minimum

değeri ise $1.06 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ olarak, Lithic Leptosol (4. profil) toprağın sırasıyla Cr (20-40 cm) ve A (0-29 cm) horizonlarında (3. profil) saptanmıştır. Horizon derinliği ve horizon yüzeylerindeki sıcaklık değerlerinin değişimi, ısısal yayınıma önemli düzeyde etkilemektedir. Araştırma topraklarında; derinliği fazla, yüzey sıcaklık dalgalanmaları düşük olan horizonlarda, ısısal yayınıma genellikle yüksek olmaktadır. Toprak özelliklerine, araştırma bölgesinin iklim koşullarına, ısısal yayınıma belirleme yöntemine bağlı olarak, ısısal yayınıma katsayısı farklı düzeyde değişiklik göstermektedir. Passerat de Silans ve ark.(1996) tarafından, ısısal yayınıma katsayısı farklı yöntemlerle (harmonik, Laplace dönüşümü, düzeltilmiş Laplace dönüşümü, homojen olmayan toprak sisteminde Lettau yöntemi) belirlenmiş ve toprağın 0-28 cm katmanında ısısal yayınıma $0.27 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ - $1.40 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ aralığında değiştiği saptanmıştır. Correia ve ark. (2012), ısısal yayınıma jeolojik oluşum süreçlerinde önemli faktör olduğunu, 26 m toprak derinliğinde ısısal yayınıma $1.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ ile $1.6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ (veya 0.011 - $0.016 \text{ cm}^2 \text{ sn}^{-1}$) arasında değiştiğini göstermişlerdir. Bazı literatür kaynaklarında ise ısısal yayınıma $0.77 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ ile $10.09 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ aralığında değiştiği belirlenmiştir (Arkhangelskaya ve Lukyashchenko, 2018; Arkhangelskaya, 2020).

Genel olarak, ısısal yayınıma katsayısı iklim faktörleriyle beraber, nem, hacim ağırlığı, organik madde miktarı, toprak bünyesi (kil, silt, kum), tuz miktarı gibi toprak özelliklerine önemli düzeyde bağlı olup; nem, kil, tuz miktarı, hacim ağırlığı, tuz miktarıyla pozitif, organik madde miktarıyla ise negatif ilişki göstermektedir. Fakat toprak özelliklerinin düzensiz değişimi ve bir birine olan karşılıklı etkisi; ayrıca her bir özelliğin ısısal yayınıma etkisinin belirlenmesini zorlaştırmakta ve bazı durumlarda imkansız yapmaktadır (Tikhonravova, 2007; Arkhangelskaya ve Umarova, 2008; Arkhangelskaya ve Lukyashchenko, 2018; Arkhangelskaya, 2020). Bu ise, kil, kumlu killi tın, kumlu tın, killi tın bünyeye sahip araştırma profillerinde ısısal yayınıma katsayılarının farklı değerlere sahip olmasına neden olmaktadır.

4.3. Toprakların Özgül ve Hacimsel Isı Kapasitesi ve Isı İletkenliği

Araştırma topraklarının katı kısmındaki organik ve mineral maddenin özgül ısı kapasitesinin sırasıyla $C_{ö,org} = 0.46 \text{ cal gr}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 1925.928 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ve $C_{ö,min} = 0.18 \text{ cal gr}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 753.624 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ($1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J}$) olduğu göz önüne alınarak, her horizonun $\frac{m_{org}}{m}$ değerlerine bağlı olarak (5) ifadesine göre özgül ısı kapasitesi belirlenmektedir. Örneğin, Dystric Cambisol toprağın Ap (0-16 cm) horizonu için, özgül ısı kapasitesi $C_{ö,t} = 0.46 \text{ cal gr}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 0.0512 + 0.18 \text{ cal gr}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} (1 - 0.0512) = 0.194336 \text{ cal gr}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \approx 813.646 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ olarak bulunur. (6) ifadesine göre, Dystric Cambisol toprağın Ap (0-16 cm) horizonu için hacimsel ısı kapasitesi ise $C_{h,t} = 0.194336 \text{ cal gr}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 1.50 \text{ gr cm}^{-3} + 1.00 \text{ cal cm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 0.31 = 0.601504 \text{ cal cm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 2.518.10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ olur. Tüm toprak horizonlarına ait belirlenen özgül ve hacimsel ısı kapasitesi; toprağın ısısal yayınıma ve hacimsel ısı kapasitesine bağlı olarak (7) ifadesine göre hesaplanan ısı iletkenliği katsayısı

değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Toprakların özgül ve hacimsel ısı kapasitesi ve ısı iletkenliği katsayısı değerleri

Table 3. Specific and volumetric heat capacity and thermal conductivity coefficient values of soils

Horizon	Derinlik, cm	$C_{s,s}$, $J kg^{-1} °C^{-1}$	$C_{h,s} \cdot 10^6$, $J m^{-3} °C^{-1}$	λ , $wattm^{-1} °C^{-1}$
Profil 1 Dystric Cambisol				
Ap	0-16	813.646	2.518	3.878
Ad2	18-40	781.759	2.706	5.574
Bw	40-81	764.644	2.767	3.376
C	81+	754.914	2.721	-
Profil 2 Vertic Cambisol				
A	0-22	801.454	2.510	8.534
Bw	22-50	754.445	2.475	2.698
C1	50-81	757.962	2.629	5.573
C2	81+	765.464	2.651	-
Profil 3 Lithic Leptosol				
A	0-29	780.353	2.445	2.592
Cr1	29-72	766.988	2.353	7.647
C2	72+	770.271	2.805	-
Profil 4 Lithic Leptosol				
A	0-20	796.999	2.354	6.732
Cr	20-40	773.553	2.506	8.971
Cr2	40+	770.740	2.392	-
Profil 5 Clayic Fulvisol				
Ap	0-16	821.500	2.624	3.385
A2	16-57	782.345	2.702	6.674
AC	57-77	775.663	2.516	6.315
C	77+	773.905	2.512	-
Profil 6 Calcic Vertisol				
Ap	0-16	811.653	2.653	4.271
A2	16-46	786.917	2.931	8.353
AB	46-88	780.353	2.629	7.966
B _{ss}	88-124	775.312	2.802	7.229
Ck	124+	771.091	2.672	-

Araştırma topraklarında özgül ısı kapasitesi $754.445 J kg^{-1} °C^{-1}$ ile $821.500 J kg^{-1} °C^{-1}$ aralığında değişmektedir. Özgül ısı kapasitesinin maksimum değeri Clayic Fluvisol toprağın Ap, minimum değeri ise Vertic Cambisol toprağın Bw horizonunda belirlenmiştir. Özgül ısı kapasitesi, toprakların katı ve mineral kısmındaki organik maddenin fonksiyonu olup, aşağı toprak horizonlarında organik madde miktarının azalmasına uygun olarak azalma eylemi göstermektedir. Hacimsel ısı kapasitesi toprak horizonlarının özgül ısı kapasitesi, hacim ağırlığı ve hacimsel nem içeriğine bağlı olarak, $2.353 \cdot 10^6 J m^{-3} °C^{-1}$ - $2.931 \cdot 10^6 J m^{-3} °C^{-1}$ aralığında değişmektedir. Hacimsel nem içeriği, hacimsel ısı kapasitesini etkileyen temel faktör olup, bu iki parametre arasında doğrusal ilişki bulunmaktadır. Bazı horizonlarda

hacimsel nem içeriğinin dar aralıklarda değişimi, hacimsel ısı kapasitesinin de dar aralıkta değişimine neden olmaktadır. Örneğin, kışlık buğday tarlası topraklarının deneysel ısınmasının toprağın hidro-ısısal özelliklerine ve ısı akışına etkisinin incelenmesine ait bir araştırmada, toprak derinliği arttıkça hacimsel ısı kapasitesinin arttığını, varyasyonun ise azaldığı gösterilmiş; araştırma toprağının 5 cm ve 40 cm derinliğinde hacimsel ısı kapasitesinin sırasıyla $1.81 \text{ J cm}^{-3} \text{ K}^{-1}$ ve $2.13 \text{ J cm}^{-3} \text{ K}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir (Ju ve Hu, 2018). Wang ve ark. (2021) ise, toprağın diğer ısısal özelliklerini de kapsayan bir araştırmada, genel olarak toprakların hacimsel ısı kapasitesinin $0.5 \cdot 10^6 - 5.0 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$ aralığında değiştiğini vurgulamışlardır.

Toprakta ısı iletimi hızının göstergesi olan ısı iletkenliği, araştırma topraklarında $2.592 \text{ watt m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ile $8.971 \text{ watt m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ aralığında değişmektedir. Maksimum ısı iletkenliği değeri Lithic Leptosol (Profil 4) toprağın Cr (20-40 cm), minimum değer ise Lithic Leptosol (Profil 3) toprağın A (0-29 cm) horizonunda saptanmıştır. Toprak horizonlarına göre ısı iletkenliğinin ağırlıklı ortalaması göz önüne alındığında, ısı iletkenliği değerleri için Lithic Leptosol (Profil 4) > Vertisol (Profil 6) > Fluvisol (Profil 5) > Lithic Leptosol (Profil 3) > Vertic Cambisol (Profil 2) > Dystric Cambisol (Profil 1) sıralaması belirlenmiştir. Toprakların ısı iletkenliğinin ağırlıklı ortalamasına göre ise, bu sıralama Vertisol > Leptosol > Fluvisol > Cambisol biçiminde olur. Sıralamanın farklılık göstermesinin nedeni, profillerin farklı (topografik) konumlara, horizonların ise farklı gelişim ve karakteristiklere sahip olmasının yanı sıra farklı derinlik ve ısı iletkenliğine sahip olması olabilir. Araştırma topraklarında ısısal yayılım yüksek olduğundan ısı iletkenliği değerleri de yüksek bulunmuştur. Isı iletkenliği, ısısal yayılım ve hacimsel ısı kapasitesiyle doğrusal ilişkide olduğundan, araştırma topraklarında da bu parametrelerin artışı ısı iletkenliğinin de artmasına neden olmaktadır. He ve ark. (2017), ısı iletkenliğine ait modelleme çalışmasında, farklı bünyeye sahip 47 toprak örneğinde yapılan 368 test sonuçlarına göre, ısı iletkenliğinin $2.16-8.03 \text{ watt m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ aralığında değiştiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, silt+kum bileşeninin ısı iletkenliğinin artışında etkileyici faktörlerden biri olduğunu ve ısı iletkenliğine ait veri tabanı ve deneysel metodolojileri kapsayan literatür kaynakları sunmuşlardır.

Toprakların ısısal, fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki korelasyon ilişkiler SPSS Statistics 17.0 paket programında hesaplanmış ve Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Toprakların ısısal, fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin korelasyon değerleri matrisi

Table 4. Correlation values matrix for thermal, physical and chemical properties of soils

	λ	$C_{h,t}$	$C_{\theta,t}$	a	θ	EC	OM	Kil	Silt	Kum	HA
λ	1	0.090	-0.084	0.982**	0.029	-0.025	-0.208	-0.163	-0.249	0.212	0.164
$C_{h,t}$	0.090	1	0.000	-0.095	0.941**	0.359	-0.078	0.786**	0.233	-0.693**	-0.361
$C_{\theta,t}$	-0.084	0.000	1	-0.083	-0.082	0.533*	0.966**	0.189	0.318	-0.255	-0.306
a	0.982**	-0.095	-0.083	1	-0.140	-0.109	-0.194	-0.311	-0.295	0.343	0.225

** Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı; *Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı

Araştırma topraklarının ısı iletkenliğiyle toprak özellikleri arasında çok zayıf ($r < 0.2$); ısısal yayılım katsayısı arasında ise çok yüksek pozitif ilişki (0.982**) belirlenmiştir. Teorik olarak, (7) ifadesinden de görüldüğü gibi, ısı iletkenliği katsayısıyla ısısal yayılım katsayısı arasında, bu parametrelerin değişim aralığında, artan fonksiyonel ilişki mevcuttur. Toprak özelliklerinin düşük ve dar aralıkta değişimi, korelasyon katsayılarının zayıf ve çok zayıf olmasına neden olabilir. Toprakların hacimsel ısı kapasitesiyle, hacimsel nem içeriği ve kil miktarı arasında anlamlı düzeyde sırasıyla çok yüksek (0.941**) ve yüksek (0.786**) pozitif korelasyon ilişkileri belirlenirken, kum miktarıyla anlamlı düzeyde yüksek negatif korelasyon ilişkisi (-0.693**) belirlenmiştir. Ayrıca diğer toprak özellikleriyle zayıf ve çok zayıf ilişkiler bulunmuştur. Toprakların yüzey altı horizonlarında özgül ısı kapasitesinin çok düşük değişimi, hacimsel ve özgül ısı kapasiteleri arasındaki ilişkinin bulunmamasına neden olabilir. Bununla birlikte yapılan çalışmada, toprakların özgül ısı kapasitesiyle, EC ve OM değerleri arasında anlamlı düzeyde sırasıyla orta (0.533*) ve çok yüksek (0.966**); diğer ısısal ve toprak özellikleriyle ise çok zayıf ve zayıf korelasyon ilişkiler saptanmıştır. Genel olarak, toprakların ısısal özelliklerinin değişiminde, iklim faktörleri daha etkili olmaktadır.

4.4. Toprakların yüzey horizonlarında ısı akışı

Toprakta ısı akışı ısı iletkenliği ve sıcaklık gradyanının (dolayısıyla sıcaklık dalgalarının amplitütünün) fonksiyonu olup, toprak özelliklerine ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Araştırma topraklarının yüzey horizonlarındaki amplitüt ve ısı iletkenliği değerlerini göz önüne alarak, yüzey horizonlardaki günlük

$$\left(\omega = \frac{2\pi}{P} = \frac{6.28}{86400 \text{ s}} = 7.3 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}\right) \text{ ısı akışı değerleri } q(t) = \lambda A \sqrt{\frac{\omega}{a}} \left[\cos\left(\frac{\pi}{4} - \omega t\right) \right] \quad (8)$$

ifadesine göre hesaplanmış ve Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Toprakların yüzey horizonlarında ısı akışı [$q(0,t)$, $watt\ m^{-2}$]**Table 5.** Heat flow in surface horizons of soils [$q(0,t)$, $watt\ m^{-2}$]

Saat	Topraklar					
	Dystric Cambisol (Profil 1)	Vertic Cambisol (Profil 2)	Lithic Leptosol (Profil 3)	Lithic Leptosol (Profil 4)	Clayic Fluvisol (Profil 5)	Calcic Vertisol (Profil 6)
10:00	103.880	176.240	89.780	132.321	72.055	105.793
12:00	141.937	240.807	122.671	180.797	98.453	144.551
14:00	141.678	240.367	122.447	180.466	98.273	144.287
16:00	103.172	175.039	89.168	131.418	71.564	105.072
18:00	36.814	62.458	31.817	46.893	25.536	37.492
20:00	-39.481	-66.983	-34.122	-50.291	-27.386	-40.209
22:00	-105.119	-178.342	-90.850	-133.898	-72.915	-107.055
24:00	-142.379	-241.557	-123.053	-181.360	-98.760	-145.002
02:00	-141.204	-239.562	-122.037	-179.863	-97.944	-143.805
04:00	-101.910	-172.897	-88.077	-129.811	-70.689	-103.787
06:00	-35.105	-59.558	-30.340	-44.716	-24.350	-35.751
08:00	41.177	69.859	35.588	52.450	28.562	41.935

Toprak yüzeyindeki ısı akışı, sıcaklık değişimine önemli düzeyde bağlı olduğundan, araştırma topraklarının yüzey ısı akışı değerleri farklılık göstermektedir. Isı iletkenliği, amplitüt ve ısasal yayılım değerlerine uygun olarak, yüzey ısı akışı Vertic Cambisol toprakta en yüksek; Clayic Fluvisol toprakta ise en düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Günün 08.00-18.00 saatlarında yüzey ısı akışı alt horizonlara doğru gerçekleşmektedir. Tüm toprak profillerinde yüzey ısı akışının tipik günlük değişim gösterdiği gözükmemektedir. Günün 14.00-16.00 saatlarında alt horizonlara doğru gerçekleşen ısı akışı daha fazla olmaktadır.

Bitki örtüsü, güneş ışınlarının toprak yüzeyindeki dağılımı, gölgelenme gibi faktörler yüzey ısı akışının geniş aralıkta mekânsal değişimine neden olmaktadır (Shao ve ark. 2008; Colaizzi ve ark. 2016; Ju ve Hu, 2018). Peng ve ark. (2015), ısı akımı yoğunluğunun belirlenmesinde "levha yöntemi" kullanarak, toprağın 2 cm; 6cm ve 10 cm derinliklerinde ısı akışının sırasıyla $\approx -75 - 150\ watt\ m^{-2}$; $\approx -49 - 130\ watt\ m^{-2}$ ve $\approx -24 - 70\ watt\ m^{-2}$ aralığında değiştiğini göstermişlerdir. Li ve ark. (2018) tarafından bitki örtüsü altında bulunan toprakta yapılan bir çalışmada, toprakta yüzey ısı akışının olduğu saptanmış; toprak enerji bilançosunun belirlenmesinde yüzey ısı akışının önemli bir faktör olduğu gösterilmiştir. Isı akışının farklı yöntemlerle belirlendiği diğer bir çalışmada (Lu ve ark. 2018) ise, 4 mm toprak katmanında ölçülen ısı akışının maksimum $448.8\ watt\ m^{-2}$ olduğu saptanmıştır. Gülser ve ark. (2019) ise, toprak sıcaklığının yüzey ısı akışına bağlı olarak değişimine ait bir çalışmada, 0-10 cm toprak katmanında günlük ısı akışını $-41.033-239.742\ watt\ m^{-2}$ aralığında belirlemişlerdir.

5. SONUÇ

Samsun'un Ondokuz Mayıs ilçesi sınırları içerisinde yer alan Aşağı Engiz havzasında dağılım gösteren Cambisol, Leptosol, Fluvisol ve Vertisol toprakların özgül ve hacimsel ısı kapasitesi, ısısal yayılım, ısı iletkenliği, yüzey horizonlarında ısı akışı belirlenmiştir. Isısal özelliklerin değerlendirilmesinde, toprakların belirlenmesi zor olmayan sıcaklık, organik madde, hacim ağırlığı, hacimsel nem içeriği verilerinden ve toprağın temel ısı taşınımı denkleminin çözümünden elde edilen sonuçlardan kullanılmıştır. Toprakların ısısal yayılımı fazla olup, sıcaklık dalgalarının amplitüdü ve horizon derinliklerine bağlı olarak değişim göstermiştir. Hacimsel nem içeriğinin artışı, hacim ağırlığının artışı ile karşılaştırıldığında, hacimsel ısı kapasitesinin artışı daha fazla etkilemektedir. Isı iletkenliğinin değişimi ise, ısısal yayılım ve hacimsel ısı kapasitesine bağlı olmaktadır. Toprakların yüzey horizonlarında ısı akışının belirlenmesinde Fourier ısı iletim yasası göz önüne alınmıştır. Isı akışı yüzeye veya aşağı katman yönünde gerçekleşmiş ve tipik günlük değişim göstermiştir. Elde edilen ısısal parametre değerlerinden, araştırma topraklarında optimum sıcaklık alanının oluşturulması ve korunması yöntemlerinin belirlenmesinde, toprakta ısı taşınımını modellenmesinde kullanılabilir.

EK . (8) ifadesinin detaylı türetilmesi

Fourier ısı iletim yasasına (Fourier 1822) göre, topraktaki ısı akışı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$q = -\lambda \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \quad (E1)$$

(2) ifadesi (E1) de yerine konursa,

$$\begin{aligned} q &= -\lambda \frac{\partial}{\partial x} \left[T_0 + A e^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}} \sin \left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}} + \omega t \right) \right] = -\lambda A \left[-\frac{\omega}{\sqrt{2a}} e^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}} \sin \left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}} + \omega t \right) - \right. \\ &\left. \sqrt{\frac{\omega}{2a}} e^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}} \cos \left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}} + \omega t \right) \right] = \lambda A \frac{\omega}{\sqrt{2a}} e^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}} \left[\sin \left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}} + \omega t \right) + \cos \left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}} + \omega t \right) \right] = \\ &\lambda A \frac{\omega}{\sqrt{2a}} e^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}} \left[\sqrt{2} \cos \left(\frac{\pi}{4} + x\sqrt{\frac{\omega}{2a}} - \omega t \right) \right] = \lambda A \frac{\omega}{\sqrt{a}} e^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}} \left[\cos \left(\frac{\pi}{4} + x\sqrt{\frac{\omega}{2a}} - \omega t \right) \right] \end{aligned} \quad (E2)$$

(E2) ifadesinden, toprakların yüzey horizonlarındaki ($x = 0$) ısı akışını hesaplamak için

$$q(t) = \lambda A \frac{\omega}{\sqrt{a}} \left[\cos \left(\frac{\pi}{4} - \omega t \right) \right] \quad (E3) \text{ elde edilir.}$$

Yazar Katkı Oranları

Çalışmanın Tasarlanması (Design of Study): İE (%30), OD (%30), CG (%30), İFO (%5), AA (%5)

Veri Toplanması (Data Acquisition): İE (%15), OD (%15), CG (%10), İFO (%30); AA (%30)

Veri Analizi (Data Analyssis): İE (%30), OD (%30), CG (%25); İFO (%10); AA (%5)

Makalenin Yazımı (Writing up): İE (%40), OD (%30), CG (%20), İFO (%5); AA (%5)

Makalenin Gönderimi ve Revizyonu (Submission and Revision): İE (%45), OD (%25), CG (%20); İFO (%5); AA (%5)

KAYNAKLAR

- Abu-Hamdeh, N.H., 2003. Thermal properties of soils as affected by density and water content. *Biosystems Engineering*, 86(1): 97-102.
- Adhikari, P., Udawatta, R.P., Anderson, S.H., 2014. Soil thermal properties under prairies, conservation buffers, and corn-soybean land use systems. *Soil Science Society of America Journal*, 78:1977-1986.
- Arias-Penas, D., Castro-Garcia, M.P., Rey-Ronco, M.A., Alonso-Sanchez, T., 2015. Determining the thermal diffusivity of the ground based on subsoiltemperatures. Preliminary results of an experimental geothermalborehole study QTHERMIE-UNIOVI. *Geothermics*, 54: 35-42.
- Arkhangelskaya, T.A., 2020. Parameters of the thermal diffusivity vs. water content function for mineral soils of different textural classes. *Eurasian Soil Science*, 53(1): 39-49. (Russian text published in *Pochvovedenie*, 2020, No. 1, pp. 44-55).
- Arkhangelskaya, T., Lukyashchenko, K., 2018. Estimating soil thermal diffusivity at different water contents from easily available data on soil texture, bulk density, and organic carbon content. *Biosystems Engineering*, 168: 83-95.
- 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. *Eurasian Soil Science*, 41(3): 276-285 (Original Russian text published in *Pochvovedenie*, 2008, No. 3, pp. 311-320).
- Arkhangel'skaya, T.A., Luk'yashchenko, K.I., Tikhonravova, P.I., 2015. Thermal diffusivity of typical chernozems in the Kamennaya Steppe reserve. *Eurasian Soil Science*, 48(2): 177-182.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986. Bulk density and particle density. In: *Methods of soil analysis, Part I, Physical and mineralogical methods*. pp: 363-381. ASA and SSSA Agronomy Monograph, 9(2nd ed), Madison.
- Bouyoucous, G.J., 1951. A Recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*. 43: 9.
- Christensen, A. F., He, H., Dyck, M. F., Turner, E.L., Chanasyk, D. S., Naeth, M. A., Nichol, C., 2013. In situ measurement of snowmelt infiltration under various topsoil cap thicknesses on a reclaimed site. *Canadian Journal of Soil Science*, 93(4): 497-510.
- Colaizzi, P.D., Evett, S.R., Agam, N., Schwartz, R.C., Kustas, W.P., 2016. Soil heat flux calculation for sunlit and shaded surfaces under rowcrops: 1. Model development and sensitivity analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 216: 115-128.
- 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.
- Dengiz O. 2010. Morphology, Physico-Chemical Properties and Classification of Soils on Terraces of the Tigris River in the South-East Anatolia Region of Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*, 16 (3), 205-212.
- Dengiz, O., Ekberli, İ., 2017. Bazı vertisol alt grup topraklarının fizikokimyasal ve ısasal özelliklerinin incelenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6(1): 45-52.
- Dengiz, O., Sarioglu, F.E., 2011. Samsun ilinin potansiyel tarım alanlarının genel dağılımları ve toprak etüd ve haritalama çalışmalarının önemi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 26 (3): 241-253.
- Dutta, B., Grant, B.B., Congreves, K.A., Ward, Smith, W.N., Wagner-Riddle, C., VanderZaag, A.C., Tenuta, M., Desjardins, R.L., 2018. Characterising effects of management practices, snow cover, and soil texture on soil temperature: Model development in DNDC. *Biosystems Engineering*, 168: 54-72.
- Ekberli, İ., Dengiz, O., 2016. Bazı inceptisol ve entisol alt grup topraklarının fizikokimyasal özellikleriyle ısasal

- yayınım katsayısı arasındaki regresyon ilişkilerin belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi*, 5(2): 1-10.
- Ekberli, İ., Gülser, C., 2014. Estimation of soil temperature by heat conductivity equation. *Vestnik Bashkir State Agrarian University (Вестник Башкирского Государственного Аграрного Университета)*, 2 (30): 12-15.
- Fourier, J.B.J., 1822. *Théorie analytique de la chaleur* (The analytical theory of heat). Paris, 676 p.
- Fu, Y., Lu, Y., Heitman, J., Ren, T., 2020. Root-induced changes in soil thermal and dielectric properties should not be ignored. *Geoderma*, 370: 114352.
- Fu, Y., Lu, S., Ren, T., Horton, R., Heitman, J.L., 2021. Estimating soil water retention curves from soil thermal conductivity measurements. *Journal of Hydrology*, 603: 127171.
- Gülser, C., Ekberli, İ., 2019. Toprak sıcaklığının tahmininde ısı taşınım denklemi ve pedotransfer fonksiyonun karşılaştırılması. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7(2): 158-166.
- Gülser, C., Ekberli, İ., Mamedov, A., 2019. Toprak sıcaklığının yüzey ısı akışına bağlı olarak değişimi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(1): 1-9.
- Gülser, C., Ekberli, İ., Mamedov, A., Özdemir, N., 2018. Faz değişimine bağlı olarak ısı iletkenliği denkleminin incelenmesi ve toprak neminin ısısal yayınıma etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33(3): 261-269.
- Hanks, R.J., Ashcroft, G.J., 1980. *Applied soil physics. Soil water and temperature applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 125-144.
- Hansen, S., Abrahamsen, P., Petersen, C.T., Styczen, M., 2012. DAISY: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)*, 55(4): 1315-1333.
- Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E., Svendsen, H., 1991. Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. *Fertilizer Research*, 27: 245-259.
- He, H., Zhao, Y., Dyck, M.F., Si, B., Jin, H., Lv, J., Wang, J., 2017. A modified normalized model for predicting effective soil thermal conductivity. *Acta Geotechnica*, 12: 1281-1300.
- Hilel, D., 2004. *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier Academic Press, USA, pp. 215-233.
- IUSS Working Group WRB., 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports No. 106*. FAO, Rome, 203 p.
- İmamoğlu, A., Turan Demirağ, İ., Dengiz, O., Saygın, F., 2014. Soil erosion risk evaluation: Application of corine methodology at Engiz Watershed, Samsun. *Current Advances in Environmental Science*, 2(1): 15-21.
- Jackson, M.L., 1958. *Soil chemical analysis*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 498 p.
- Ju, Z., Hu, C., 2018. Experimental warming alters soil hydrothermal properties and heat flux in a winter wheat field. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(5): 718-730.
- Kapur, S., Akça, E., Günal, H., 2018. *Soils of Turkey*. Springer International Publishing AG, 369 p.
- Kodešová, R., Vlasáková, M., Fer, M., Tepla, D., Jaksík, O., Nuberger, P., Adamovsky, R., 2013. Thermal properties of representative soils of the Czech Republic. *Soil and Water Research*, 8(4): 141-150.
- Li, Y., Kustas, W.P., Huang, C., Kool, D., Haghighi, E., 2018. Evaluation of soil resistance formulations for estimates of sensible heat flux in a desert vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology*, 260-261: 255-261.
- Lu, S., Wang, H., Meng, P., Zhang, J., Zhang, X., 2018. Determination of soil ground heat flux through heat pulse and plate methods: Effects of subsurface latent heat on surface energy balance closure. *Agricultural and Forest Meteorology*, 260-261: 176-182.
- Lu, Y., Lu, S., Horton, R., Ren, T., 2014. An empirical model for estimating soil thermal conductivity from texture, water content, and bulk density. *Soil Science Society of America Journal*, 78: 1859-1868.
- Nkongolo, N.V., Johnson, S., Schmidt, K., Eivazi, F., 2010. Greenhouse gases fluxes and soil thermal properties in a pasture in central Missouri. *Journal of Environmental Sciences*, 22(7): 1029-1039.
- Parikh, R.J., Havens, J.A., Scott, H.D., 1979. Thermal diffusivity and conductivity of moist porous media. *Soil Science Society of America Journal*, 43: 1050-1052.
- 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.
- Peng, X., Heitman, J., Horton, R., Ren, T., 2015. Field evaluation and improvement of the plate method for measuring soil heat flux density. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214-215: 341-349.
- Peters-Lidard, C.D., Blackburn, E., Liang, X., Wood, E.F., 1998. The effect of soil thermal conductivity parameterization on surface energy fluxes and temperatures. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 55(7): 1209-1224.
- Richard, G., Cellier, P., 1998. Effect of tillage on bare soil energy balance and thermal regime: an experimental

- study. *Agronomie*, 18:163-181.
- Roxy, M.S., Sumithranand, V.B., Renuka, G., 2010. Variability of soil moisture and its relationship with surface albedo and soil thermal diffusivity at Astronomical Observatory, Thiruvananthapuram, south Kerala. *Journal of Earth System Science*, 119(4): 507-517.
- Schjønning, P., 2021. Thermal conductivity of undisturbed soil - Measurements and predictions. *Geoderma*, 402: 115188.
- Shao, C., Chen, J., Li L, Xu, W., Chen, S., Gwen, T., Xu, J., Zhang, W., 2008. Spatial variability in soil heat flux at three Inner Mongolia steppe ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 1433-1443.
- Sindelar, M., Blanco-Canqui, H., Jin, V.L., Ferguson, R., 2019. Do cover crops and corn residue removal affect soil thermal properties? *Soil Science Society of America Journal*, 83: 448-457.
- Soil Survey Staff, 1992. Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey. *Soil Surv. Invest. Rep. I*. U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C. USA.
- 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.
- Taghizadeh-Toosi, A., Elsgaard, L., Clough, T.J., Labouriau, R., Ernsten, V., Petersen, S.O., 2019. Regulation of N₂O emissions from acid organic soil drained for agriculture. *Biogeosciences*, 16: 4555-4575.
- 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. *Eurasian Soil Science*, 40(1): 47-50 (Original Russian text published in *Pochvovedenie*, 2007, No. 1, pp. 55-59).
- Trombotto, D, Borzotta, E., 2009. Indicators of present global warming through changes in active layer thickness, estimation of thermal diffusivity and geomorphological observations in the Morenas Coloradas rockglacier, Central Andes of Mendoza, Argentina. *Cold Regions Science and Technology*, 55: 321-330.
- Turan, M., Dengiz, O., Turan Demirağ, İ., 2018. Samsun ilinin Newhall modeline göre toprak sıcaklık ve nem rejimlerinin belirlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 5(2): 131-142.
- Wang, C., Fang, H., Lu, J., Sun, Y., Zhang, P., Wang, X., 2021. A two-step parameter estimation method for estimating soil thermal properties of coaxial ground heat exchangers. *Geothermics*, 96: 102229.
- Wang, J., He, H., Li, M., Dyck, M., Si, B., Lv, J., 2021. A review and evaluation of thermal conductivity models of saturated soils, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(7): 974-986.
- Wang, Z., Zhang, J., Li, Q., Zhang, N., Feng, W., 2022. A theoretical thermal conductivity model for soils treated with microbially induced calcite precipitation (MICP). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 183: 122091.
- Wilson, K., Goldstein, A., Falge, E., Aubinet, M., Baldocchi, D., Berbigier, P., Bernhofer, C., Ceulemans, R., Dolman, H., Field, C., Grelle, A., Ibrom, A., Law, B.E., Kowalski, A., Meyers, T., Moncrieff, J., Monso, R., Oechel, W., Tenhunen, J., Valentini, R., Verma, S., 2002. Energy balance closure at FLUXNET sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113: 223-243.
- Zhang, W., Bai, R., Xu, X., Liu, W., 2021. An evaluation of soil thermal conductivity models based on the porosity and degree of saturation and a proposal of a new improved model. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 129: 105738.
- Zhou, L., Zhao, W., Yang, R., Feng, H., 2020. Soil temperature modeling in topsoil with plastic film mulching and low spring temperatures. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(14): 1936-1947.