

Aluviyal Depositler Üzerinde Oluşmuş Genç ve Gelişmekte Olan Toprakların Isı Akışı ve Isı Miktarının İncelenmesi

İmanverdi EKBERLİ^{1,*}Coşkun GÜLSER¹Orhan DENGİZ¹¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun/Türkiye

*Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail): iman@omu.edu.tr

Geliş tarihi (Received) : 13.07.2020

Kabul tarihi (Accepted): 08.10.2020

DOI:10.21657/topraksu.768878

Öz

Toprak horizonlarındaki ısı akışı ve ısı miktarı, çeşitli toprak ordolarının pedogenik süreçlerine, toprakta biriken potansiyel enerji değişimine, enerji bilançosunun oluşumuna, diğer faktörlerle beraber önemli düzeyde etki yapan temel termo-fiziksel parametrelerdendir. Bu araştırmanın amacı, yarı humid ekolojik koşullar altında ve aluviyal depositler üzerinde oluşmuş genç (Entisol) ve gelişmekte olan (Inceptisol) toprakların profillerinde ölçülen sıcaklık değerlerine bağlı olarak, ısı akışının ve ısı miktarının belirlenmesidir. Inceptisol toprakların genetik horizon gelişimine bağlı olarak Entisol topraklarla karşılaştırıldığında, ısı akışı ve ısı miktarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Inceptisol ordosuna ait Vertic Haplustept ve Typic Haplustept toprak profillerinde ısı akışı ve ısı miktarı sırasıyla 13.221-50.035 watt m⁻² ve 2.285·10⁶-8.646·10⁶ J m⁻²; 7.757-29.284 watt m⁻² ve 1.340·10⁶-5.060·10⁶ J m⁻² aralıklarında değişmektedir. Entisol ordusunun ait topraklarda (Typic Ustifluent, Mollic Ustifluent-1, Mollic Ustifluent-2) ise ısı akışının 8.958-34.300 watt m⁻², ısı miktarının 1.548·10⁶-5.927·10⁶ J m⁻² aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, her iki ordoya ait topraklarda derinlik artışına bağlı olarak ısı akışı ve ısı miktarı azalmıştır. Meydana gelen bu değişimin, ordolara ait horizonlardaki kil, ve organik madde miktarları ile toprakların hacim ağırlıklarındaki farklılıkların ısı akışı ve ısı miktarı üzerinde önemli düzeyde etkilemesinden ileri geldiği düşünülmektedir. Ayrıca, herhangi zaman aralığında sıcaklık farkının değişimi; hacimsel ısı kapasitesi, ısısal yayılım ve ısı iletkenliği arasındaki karşılıklı etkileşim horizonlardaki ısı akışı ve ısı miktarını önemli düzeyde etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Inceptisol ve Entisol topraklar, ısı akışı, ısı iletkenliği, ısı miktarı, ısısal yayılım, toprak sıcaklığı

An Investigation on Heat Flow and Quantity of Heat Young and Developing Soils formed on Alluvial Deposit

Abstract

The heat flow and quantity, which are the basic thermo-physical parameters, impact pedogenic processes of different soil types, energy potential changes accumulated in soil and formation of energy balance, along with other factors. This study aims to determine thermal conductivity and quantity of heat depending upon temperature values within profiles of newly formed (entisol) and currently developing (inceptisol) soils on alluvial deposits under semihumid ecological conditions. It has been determined that thermal conductivity and amount of heat within inceptisol soil depending upon its genetic horizon development are higher than that in entisol soils. The heat flow and heat amount in horizons of Vertic Haplustept and Typic Haplustept soils, which belong to inceptisol soil type, varied within 13.221-50.035 watt m⁻², 2.285·10⁶-8.646·10⁶ J m⁻² and 7.757-29.284 watt m⁻², 1.340·10⁶-5.060·10⁶ J m⁻² intervals, respectively. Also, the heat flow in entisol soils (Typic Ustifluent, Mollic Ustifluent-1, Mollic Ustifluent-2) varied between 8.958 watt m⁻² and 34.300 watt m⁻² interval, while amount of heat values within those soils varied between 1.548·10⁶ J m⁻² and 5.927·10⁶ J m⁻² interval. Also, heat flow and heat amount in both soils types reduced as the soil

depth increased. The above mentioned variances was thought to be occurred due to differences between quantity of clay, organic matter in horizons of those soils and particle density, which have significant impact on thermal conductivity and heat amount. Besides, mutual interferences between variances in temperature difference in certain time period, dimensional heat preservation capacity, thermal diffusion and thermal conductivity significantly affect heat flow and heat amount.

Keywords: Inceptisol and Entisol soils, heat flow, heat quantity, thermal diffusion, thermal conductivity, soil temperature

GİRİŞ

Toprak sıcaklığı, toprakların bulunduğu ekolojik şartlar altındaki oluşum süreçlerinde meydana gelen fiziksel, kimyasal, biyolojik, morfolojik özelliklere ve bitki gelişimine etki yapan bağımsız bir faktördür. Toprak sıcaklık alanının değişimi ise toprağın temel ısıl özelliklerine (ısıl yayılım, ısı, iletkenliği, ısı akışı, ısı miktarı vb.) bağlıdır. Toprak sıcaklığı ve ısıl parametreler, toprak özellikleriyle farklı ilişkilere sahip olmaktadır. Orta Karadeniz bölgesi gibi yarı humid ekolojik koşullar altında çeşitli toprakların oluşumuna da, diğer faktörlerle beraber toprak sıcaklığı, dolayısıyla ısı akışı ve ısı miktarı önemli düzeyde etki yapmaktadır. Coşkan vd. (2017) toprak sıcaklığının toprağın birçok özelliklerinden etkilenmesiyle beraber, toprağın havaya oranla daha geç ısındığı ve soğuduğu, bu ısınma-soğuma sürecine başta toprağın rengi ve nem içeriğinin etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Toprak sıcaklığı çeşitli toprak oluşumu süreçlerinde jeo-bio-kimyasal reaksiyonlara da değişik yoğunluk ve hızda etki yapmaktadır. Toprak sıcaklığı ve nemi, toprakların oluşumlarını etkileyen temel ekolojik faktörlerden olup, ana kayanın ayrışması ve değişim hızı üzerinde etkili rolere sahiptirler.

Toprak taksonomisinde, kurak ekosistemlerde Aridisol toprakların sınıflandırılmasında Aridic toprak nem rejimi ordo seviyesinde sınıflandırmayı etkileyen bir faktör olarak ele alınırken, tundura ekosistemlerde dağılım gösteren Gelisol toprakların sınıflandırılmasında ise toprakların gerek nem gerekse sıcaklık rejimleri özel bir sınıflandırma ile değerlendirilmektedir (Başayığı ve Dinç, 2005). Tikhonravova ve Khitrov (2003), vertisol topraklarda ısıl yayılım katsayısı ile toprağın tanecik fraksiyonları, organik madde, özgül ağırlık ve gözeneklilik değerleri arasında önemli düzeyde ($R^2=0.81-0.96$ ve $P=0.95$) çoklu regresyon ilişkiler elde etmişlerdir. Lukiashchenko ve Arkhangelskaya (2018) tarafından yapılan bir araştırmada, ısı akışını ve ısı miktarını etkileyen ısıl yayılım ile bünye arasındaki ilişkinin, ısıl yayılımın hacim ve özgül ağırlık, organik karbon ile olan ilişkisi ile

karşılaştırıldığında daha etkili olduğu gösterilmiş, belirlenen ilişkilerde hata kareler ortalamasının karekökünün (HKOK) %17-38 arasında değiştiği saptanmıştır. Toprak horizonlarında sıcaklığın ve ısıl özelliklerin değerlendirilmesi ısı akışının, dolayısıyla toprakta depolanan ısı miktarının belirlenmesinde gereklidir. Topraktaki ısı akışı, ısı iletkenliğinin tek değerli fonksiyonu olup, toprak sıcaklığı ve derinliği ile ilişkilidir. Toprak sıcaklığının toprak derinliğine bağlı olarak ekspansiyonel azalmasının ve faz değişiminin, ısı iletkenliğinin, toprak sıcaklığı ve nem verilerinin değerlendirilmesine bağlı olarak, ısı akışının belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır (Heusinkveld vd., 2004; Gao, 2005; Heitman vd., 2010; Evett vd., 2012; Masseroni vd., 2015; Liu vd., 2017; Gülser vd., 2019). van der Tol (2012), toprak ısı akışının çıplak topraklarda veya seyrek bitki örtülü alanlarda enerji dengesinin önemli bir bileşeni olduğunu vurgulamış; ölçülen ve uzaktan algılama yöntemiyle belirlenen ısı akışı değerleri arasında uyumlu ilişki ($R=0.79$; $r^2=0.89$) saptanmıştır.

Toprak yüzeyindeki ısı akışı ve miktarı, iklim koşulları, topografya, gün içerisindeki zaman, bünye, malçlama, gübre uygulaması vb. gibi faktörlerden etkilenmektedir (van Lier ve Durigon, 2013; Al-Shammary ve Al-Sadoon, 2014; Usowicz vd., 2017; Kader vd., 2019; Al-Shammary vd., 2020). Fritschen (1998) tarafından toprağın enerji ve radyasyon bilançosu bileşenlerinin belirlenmesine ait bir araştırmada (8-25 Temmuz 1991), farklı çim örtüsü ve verimlilik düzeylerinde bulunan toprakların çim örtüsü uzaklaştırılmış ve korunmuş alanlarında toprağın ortalama yüzey ısı akışının sırasıyla -0.44 MJ m⁻² ve -0.17 MJ m⁻² olduğu belirlenmiş; yüzey ısı akışının hava koşullarına önemli düzeyde bağlı olduğu vurgulanmıştır. Toprak katmanının ısınması ve soğumasına bağlı olarak, ısı akışı yön değişmektedir. Verhoef vd., (2012) tarafından muson iklimi koşullarında yapılan bir araştırmada, toprak yüzeyinde maksimum ve minimum ısı akışının ortalama değerlerinin sırasıyla yaklaşık 200 W m⁻² ve -100 W m⁻² olduğunu; maksimum değerlerin

50 ile 250 W m^{-2} , minimum değerlerinin ise -25 ile -150 W m^{-2} arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Çıplak toprakta yüzey ısı akışı yoğunluğunun günlük ve gündüz ortalama değerleri, net radyasyonun doğrusal fonksiyonu olup, yüze yakın toprak su içeriğinin bir ölçüsü olmaktadır (Novak ve Black, 1983).

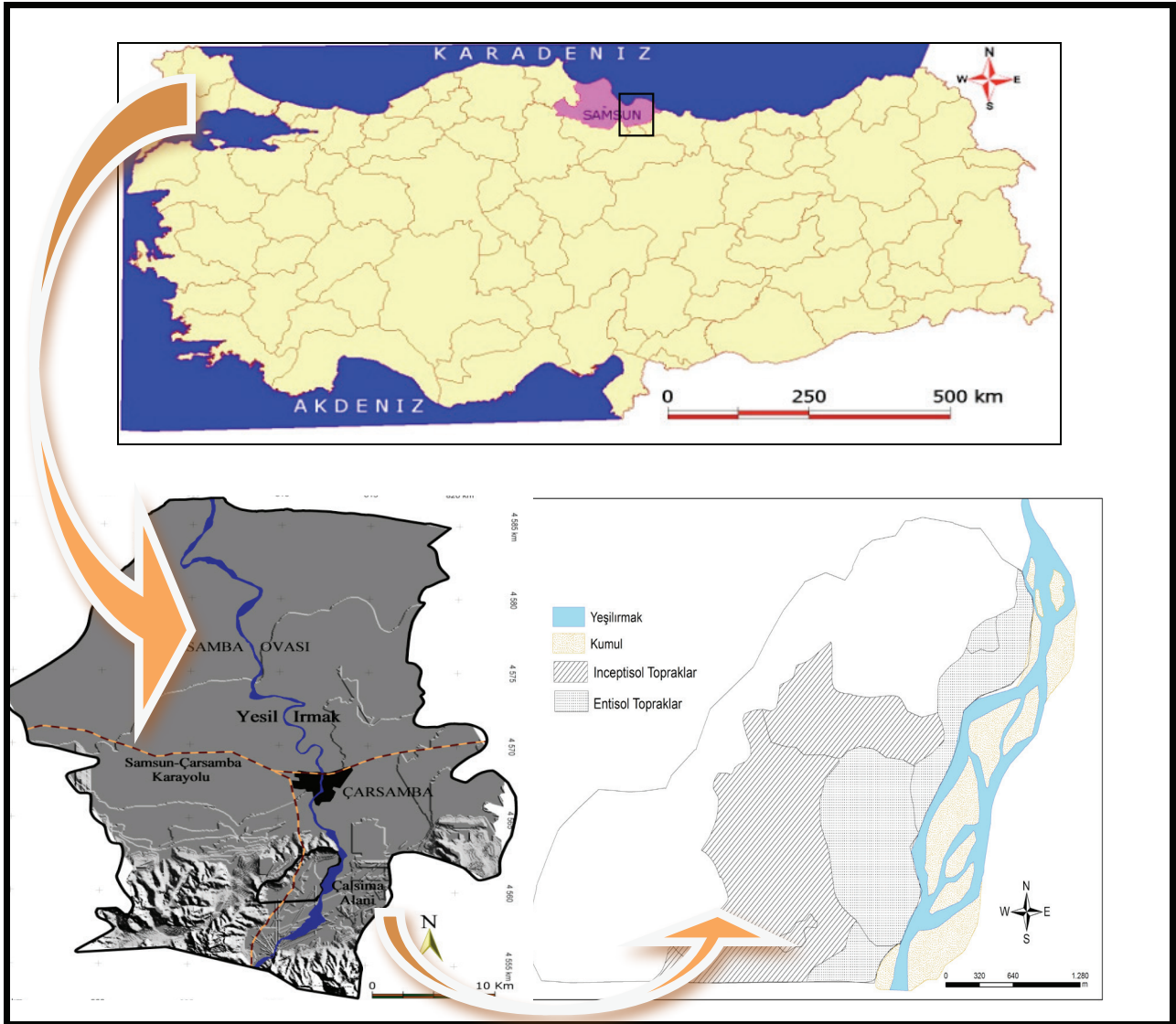
Farklı koşullarda (sulama, gübreleme, malçlama, bitki örtüsü, erozyon, donma, vb.) çeşitli toprakların ısı ve kütle taşınımının modellenmesi ve uygulanabilirliği, toprak özelliklerinin optimum düzeyde düzenlenmesi yöntemlerinin belirlenmesi vb. problemlerin çözümünde de ısı akışı parametresinin teorik ve deneysel olarak değerlendirilmesi önemlidir (Greenland, 1969; Ji vd., 2009; Guan vd., 2010; Agam vd., 2012; Beardsmore vd., 2017; Ju ve Hu, 2018; Iden vd.,

2019; Bonachela vd., 2020; Wen vd., 2020). Topraktaki ısı akışı, aynı zamanda toprakların temel özellikleri esas alınarak yapılan morfometrik sınıflandırılmasında, özellikle alt ordo, büyük grup ve aile düzeyindeki kategorik ayrımların gerçekleştirilmesinde kullanılan temel bir faktördür. Bu çalışmanın amacı, yarı humid ekolojik koşullar altında ve aluviyal depositler üzerinde oluşmuş genç (Entisol) ve gelişmekte olan (Inceptisol) topraklarda deneysel olarak ölçülen sıcaklık değerlerine bağlı olarak bazı ısıl parametrelerinin yanı sıra ısı akışı ve ısı miktarının incelenmesidir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma alanının genel özellikleri

Toprak sıcaklığı ölçümleri Samsun'un Çarşamba ilçesine bağlı Sefalı, Bölmepınar ve Yenikişla



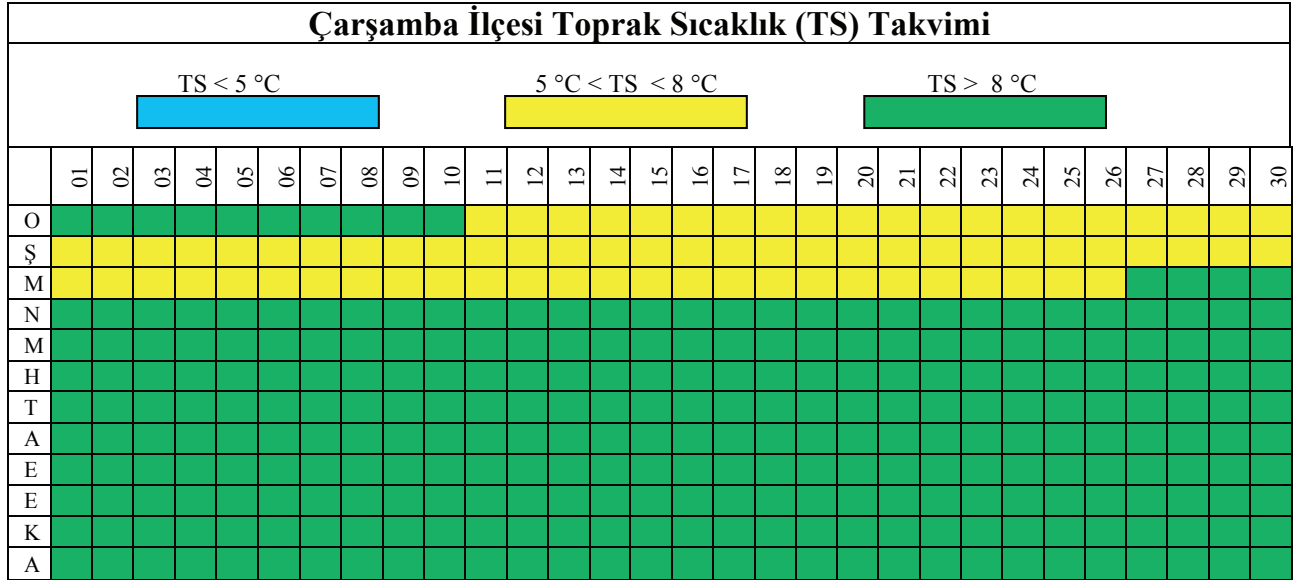
Şekil 1. Çalışma alanına ait lokasyon haritası (Dengiz ve Efendiler, 2016).
Figure 1. Location map of the study area (Dengiz and Efendiler, 2016).

köylerinin yer aldığı ve Yeşilirmak nehrinin getirmiş olduğu alüvyal depositler üzerinde oluşmuş Entisol ve Inceptisol topraklarda yerleşen; Çarşamba ilçesine yaklaşık 5 km ve Samsun iline ise 44 km mesafede bulunmakta olan çalışma alanında yapılmıştır (Dengiz ve Efendiler, 2016). Entisol ve Inceptisol toprakların toplam alanı 492.9 ha olup, 305500-311000 m D ve 4555500-4558500 K (UTM, m) koordinatları arasında, Yeşilirmak nehrinin ise sol sahilinde yer almaktadır (Şekil 1).

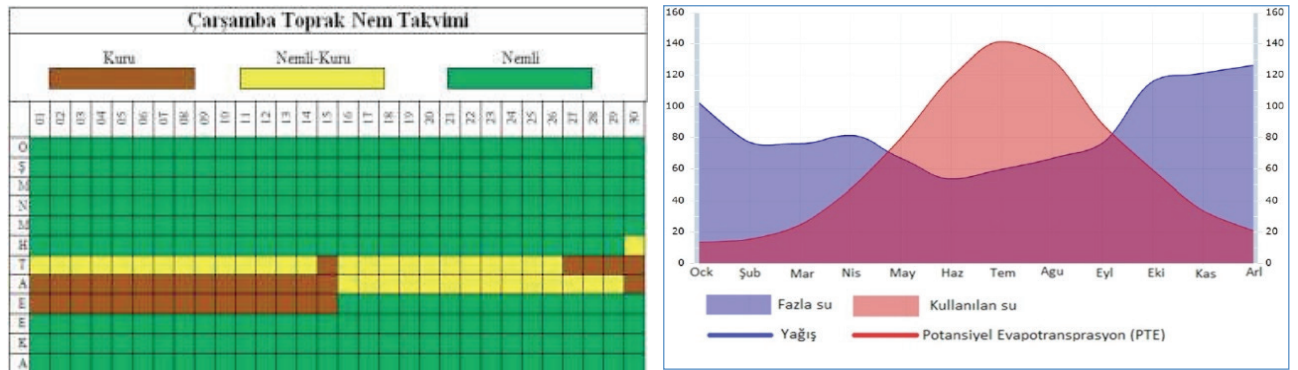
İklim koşulları, toprakta sıcaklık alanının oluşumunu ve değişimini, dolayısıyla toprağın ısı iletkenliğini etkileyen temel faktörlerden biridir. Çalışma alanının yıllık ortalama sıcaklığı 14.3 °C ve yağış miktarı ise 1045.2 mm olup yağışların büyük kısmı kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir.

Turan ve ark. (2018) Newhall simülasyon modeline göre (van Wambeke, 2000) toprak nem ve sıcaklık rejimlerini belirlemişlerdir. Çarşamba meteoroloji istasyonunun uzun yıllar meteorolojik ölçüm verilerine göre, çalışma alanı yıllık ortalama sıcaklığı 14.4 °C'dir. Model sonucuna göre toprak sıcaklık rejimi *Mesic* olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

Çarşamba ilçesi Samsun il sınırları içerisinde en yüksek yağış değerine sahip olup, yıllık toplam yağış miktarı toprak nem bütçesinin oluşumunda temel etkileyici faktördür. Genel olarak, toplam yağış miktarının dağılımına bağlı olarak, toprak nemi "nemli" ve "nemli-kuru" olmaktadır. Dengiz ve Efendiler (2016) tarafından ustik olarak belirlenen nem rejimi, Turan vd. (2017) tarafından Newhall simülasyon modeli kullanılarak yapılan



Şekil 2. Çarşamba ilçesi Newhall modeline göre toprak sıcaklık dağılımı
Figure 2. Soil temperature distribution according to Çarşamba county Newhall model



Şekil 3. Çarşamba ilçesi Newhall modeline göre toprak nem bütçesi dağılımı
Figure 3. Soil moisture budget distribution according to Çarşamba county Newhall model

hasasas çalışmada ise toprak nem sınıflaması *Dry Tempudic* olarak belirlenmiştir (Şekil 3).

Yöntem

Çalışma alanında genç ve gelişmekte olan toprakları temsilen 5 adet toprak profili açılmış ve genetik horizon esasına göre morfolojik tanımlamalar yapılarak toprak örnekleri alınmıştır. Arazide toprakların morfolojik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dikkate alınacak kriterler, örneklemeler ve sınıflandırma için Soil Survey Staff (1993; 1999)'den yararlanılmıştır. Bünye hidrometre yöntemiyle (Bouyoucous, 1951); tarla kapasitesi seramik gözenekler üzerine yerleştirilmiş örneklerin suyla doymuş toprak örneği üzerine 1/3 atm basınç uygulamak suretiyle belirlenmiştir (Richards, 1954). Hacim ağırlığı, bozulmamış toprak örneklerinde (Blake ve Hartge, 1986); elektriksel iletkenlik saturasyon çamurunda (kondaktivi metre aletinde) (Soil Survey Staff, 1992); organik madde ise Walkley-Black yönteminin Jackson tarafından modifiye edilmiş şekli ile yapılmıştır (Jackson, 1958). Temsil edilen toprak profilleri Soil Survey Staff (1999)'a göre Entisol ve Inceptisol ordolarında sınıflandırılmış ve toprakların çalışma alanı içerisinde dağılımları Şekil 1' de verilmiştir. Arazide her profile ait horizonlarda cıvalı cam termometre ile (Sterling ve Jaskson, 1986) toprak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

Ölçülen sıcaklık değerlerinden kullanılarak, toprağın $x_i - x_{i+1}$ katmanındaki ısısal yayılım katsayısı

$$a = \frac{\omega(x_i - x_{i+1})^2}{2(\ln(A_i / A_{i+1}))^2} \quad (i = \overline{1, n}) \quad (1)$$

(burada; ω uygun olarak toprağın ve derinliklerine ait sıcaklık amplitütü;

$$\omega = 2\pi / P = \frac{6.28}{86400 \text{sn}} \approx 0.0000727 \text{sn}^{-1} \text{-açılş frekansdır}$$

ifadesine göre hesaplanmıştır (Trombotto ve Borzotta, 2009; Correia vd., 2012; Ekberli ve Gülser, 2014; Ekberli ve Sarılar, 2015; Xie vd., 2019; Chen vd., 2020). Kuru toprağın özgül ısı kapasitesi ($C_{\delta,t}$, $\text{cal gr}^{-1} \text{°C}^{-1}$ veya $\text{J kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$)

$$C_{\delta,t} = C_{\delta,org} \frac{m_{org}}{m} + C_{\delta,min} \left(1 - \frac{m_{org}}{m} \right) \quad (2)$$

[burada, $C_{\delta,org} = 0.46 \text{ cal gr}^{-1} \text{°C}^{-1}$ ve

$C_{\delta,min} = 0.18 \text{ cal gr}^{-1} \text{°C}^{-1}$ -sırasıyla kuru topraktaki organik maddenin ve mineral maddenin özgül ısı

kapasitesi; m_{org} - topraktaki organik madde miktarı gr gr^{-1} veya (%)' dir] ifadesiyle belirlenmiştir (Hanks ve Ashcroft 1980; Hilel, 2004).

Kuru toprağın hacimsel ısı kapasitesi ($C_{h,t}$, $\text{cal cm}^{-3} \text{°C}^{-1}$ veya $\text{J m}^{-3} \text{°C}^{-1}$) ise

$$C_{h,t} = C_{\delta,t} \rho + C_{h,s} \theta \quad (3)$$

[burada, ρ - toprağın hacim ağırlığı, gr cm^{-3} ; $C_{h,s} = 1.00 \text{ cal cm}^{-3} \text{°C}^{-1}$ suyun hacimsel ısı kapasitesi; θ toprağın hacimsel nem ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) içeriğidir] formülüne göre hesaplanmıştır. Toprağın ısı iletkenliği $\lambda = a C_{h,t}$ (4); sıcaklığın T_0 ortalama değerinden T_y değerine ani değişimi durumunda, herhangi toprak katmanındaki ısı akışı (q , watt m^{-2} veya $\text{J m}^{-2} \text{sn}^{-1}$) ise

$$q = \frac{\lambda(T_y - T_0)}{\sqrt{\pi a t}} \quad (5)$$

ifadesiyle belirlenmiştir (Luikov ve Mikhailov, 1965; Luikov, 1967; Isachenko vd., 1981; Ekberli vd., 2015; Gülser vd., 2019; Ekberli vd., 2020).

Herhangi zaman aralığında ısı akışının genel toplamı ısı miktarını ifade etmektedir. Bu durumda, $[0, t]$ zaman aralığında ısı miktarı,

$$Q = \int_0^t q dt = \int_0^t \frac{\lambda(T_y - T_0)}{\sqrt{\pi a t}} dt \quad \text{olarak,}$$

$$Q = 2\lambda(T_y - T_0) \sqrt{\frac{t}{a\pi}} \quad (6)$$

ifadesine göre belirlenmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Genç ve gelişmekte olan topraklara ait bazı fiziksel kimyasal ve morfolojik özellikler

Yeşilirmak Nehri'nin biriktirmiş olduğu depozitler üzerinde oluşmuş ve % 0.0-0.2 eğime sahip taban arazilerde yayılım gösteren araştırma alanı Inceptisol ve Entisol ordolarına ait alt grup topraklarının bazı fiziksel, kimyasal ve morfolojik özellikleri Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir. Çizelge 1'den görüldüğü gibi, Inceptisol toprakların EC değerleri düşük olup 0.01 ile 0.06 dS m^{-1} arasında değişmektedir. Vertic Haplustept ve Typic Haplustept toprakların Ap ve Bw1 horizonlarında organik madde miktarı orta, alt horizonlarda ise çok düşük ve düşük düzeydedir. Inceptisol toprakların genetik horizonları killi olup, kil içeriği % 21.8 ile %71.8 arasında değişmektedir. Toprakların hacimsel nem içeriği hacim ağırlığı ile yakından ilişkili olup, hacim ağırlığının 1.20-1.55 gr cm^{-3} ve hacimsel nem içeriğinin ise 0.26-0.30 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

Çizelge 1. Inceptisol toprakların bazı fiziksel, kimyasal ve morfolojik özellikleri

Table 1. Some physical, chemical and and morphological properties of the Inceptisol

Horizon	Derinlik cm	EC	OM	Bünye (%)			HA	θ	Renk		Stü*	Kvm*
				Kil	Silt	Kum			kuru	nemli		
Vertic Haplustept												
Ap	0-23	0.06	3.93	69.3	19.5	11.2	1.22	0.29	10YR 5/3	10YR 5/3	3 or gr	Sr Yp Pt
Bw1	23-58	0.08	2.49	64.5	28.0	7.5	1.19	0.30	10YR 6/3	10YR 5/3	3 ir yrb	Hf Yp Pt
Bw2	58-90	0.04	1.65	39.0	36.2	24.8	1.39	0.26	10YR 5/3	10YR 5/3	2 or yrb	Hf Yp Pt
C1	90+	0.11	1.01	21.8	31.3	46.9	1.55	0.26	10YR 7/4	10YR 6/4	m	Ge Yd Pd
Typic Haplustept												
Ap	0-30	0.01	3.15	40.9	29.6	29.5	1.35	0.27	10YR 6/4	10YR 6/3	2 or gr	Hf Yp Pt
Bw1	30-64	0.01	3.08	67.1	22.5	10.4	1.22	0.29	2,5YR6/4	2,5YR6/3	3 ir yrb	Hf Yp Pt
Bw2	64-107	0.07	1.38	71.8	19.6	8.6	1.20	0.30	2,5YR6/4	2,5YR6/3	3 ir yrb	Sr Yp Pt
C	107+	0.03	0.35	64.8	23.9	11.2	1.21	0.30	2,5YR6/4	2,5YR6/4	m	Sr Yp Pt

*Strüktür (Stü): 1: Zayıf, 2: Orta, 3: Kuvvetli, k: Küçük, or: Orta, ir: iri, t: Teksel, m: Masif, gr: Granüler, yrb: Yarıköşeli blok, bl: Blok, pr: Prizmatik. Kivam (Kvm): Kuru: Ge: Gevşek, Yu: Yumuşak, Hf: Hafif sert, Sr: Sert, Islak: Yd: Yapışkan değil, AYp: Az yapışkan, Yp: Yapışkan, Pd: Plastik değil, Apt: Az plastik, Pt: Plastik, EC: Elektiriksel iletkenlik (dSm^{-1}), OM: Organik madde (%), HA: Hacim ağırlığı ($gr\ cm^{-3}$), θ : Hacimsel nem içeriği ($cm^3\ cm^{-3}$)

cm^{-3} arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Özellikle hacimsel nem içeriği Typic Haplustept topraklarda daha yüksek olarak belirlenmiştir. Her iki toprakta da yüzeyde özellikle organik madde kaynaklı toprak renklerine ait value değerleri düşük olup, alt horizonlara doğru bu değer artarak renk açılmaktadır. Her iki Inceptisol alt grup toprağında yaklaşık 20 cm ile 90 cm arasında özellikle kil miktarındaki artışa da bağlı olarak taneciklerin bir araya gelerek oluşturdıkları agregasyona bağlı olarak strüktürel gelişim göstermeleri neticesinde yüzey altı tanı horizonu olarak cambik horizon

oluşumları tespit edilmiştir. Yüzey horizonlarda genellikle granüler bir yapı varken, strüktürel gelişimin olduğu cambik horizonlar kuvvetli yarı köşeli blok strüktür kil içeriğine bağlı olarak yapışkan kvam ve plastik özelliği göstermektedir.

Çizelge 2'den görüldüğü gibi, Inceptisol topraklardaki gibi Entisol alt grubu topraklarda da tuzluluk problemi bulunmamakta, horizonlarda EC değerleri $0.03\ dS\ m^{-1}$ ile $0.19\ dS\ m^{-1}$ arasında değişmektedir. Organik madde miktarı yüzey horizonunda yüksek iken (>4.0), derinlik artışına bağlı olarak bu oran azalma göstermektedir.

Çizelge 2. Entisol toprakların bazı fiziksel, kimyasal ve morfolojik özellikleri

Table 2. Some physical, chemical and and morphological properties of the Entisol

Horizon	Derinlik cm	EC	OM	Bünye (%)			HA	θ	Renk		Stü*	Kvm*
				Kil	Silt	Kum			kuru	nemli		
Typic Ustifluent												
Ap	0-18	0.08	3.96	21.6	45.5	32.8	1.31	0.22	10YR3/3	10YR3/2	2 or gr	Hf Yp Pt
A2	18-37	0.11	2.47	17.7	37.4	44.9	1.44	0.26	10YR5/3	10YR5/2	1 k gr	Hf AYp Apt
C	37+	0.13	1.01	7.1	10.6	82.3	1.52	0.10	2,5Y 7/2	2,5Y 7/3	t	G Yd Pd
Mollic Ustifluent-1												
Ap	0-21	0.11	4.17	19.8	21.1	59.1	1.38	0.19	10YR3/3	10YR3/2	2 or gr	Hf Yp Pt
A2	21-55	0.06	2.85	43.9	42.6	13.5	1.27	0.26	10YR5/3	10YR5/3	3 ir gr	Sr Yp Pt
C	55+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	t	-
Mollic Ustifluent-2												
A	0-15	0.03	5.20	26.0	37.7	36.3	1.25	0.22	10YR3/3	10YR3/2	2 or gr	Hf Yp Pt
C1	15-47	0.19	1.47	21.8	43.4	34.8	1.49	0.20	2,5Y 7/2	2,5Y 7/3	m	Hf Yp Pt
C2	47+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	t	-

*Strüktür (Stü): 1: Zayıf, 2: Orta, 3: Kuvvetli, k: Küçük, or: Orta, ir: iri, t: Teksel, m: Masif, gr: Granüler, yrb: Yarıköşeli blok, bl: Blok, pr: Prizmatik. Kivam (Kvm): Kuru: Ge: Gevşek, Yu: Yumuşak, Hf: Hafif sert, Sr: Sert, Islak: Yd: Yapışkan değil, AYp: Az yapışkan, Yp: Yapışkan, Pd: Plastik değil, Apt: Az plastik, Pt: Plastik, EC: Elektiriksel iletkenlik (dSm^{-1}), OM: Organik madde (%), HA: Hacim ağırlığı ($gr\ cm^{-3}$), θ : Hacimsel nem içeriği ($cm^3\ cm^{-3}$)

Toprakların hacim ağırlığı organik madde ve kil içeriğine bağlı olarak 1.19 gr cm^{-3} ile $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ arasında değişmektedir. Typic Ustifluent toprağının C horizonunda (sedimenter aluviyal depozit) kum içeriğinin yüksek oluşu hacim ağırlığının yüksek, buna karşın hacimsel nem içeriğinin düşük olmasına neden olabilir. Diğer horizonlarda ise hacimsel nem içeriği 0.19 cm^{-3} ile 0.26 cm^{-3} arasında değişmektedir (Ekberli ve Dengiz, 2016). Açılan her üç profilde de yüzey altı tanı horizon gelişimlerine sahip olmamaları nedeniyle bu topraklar genç topraklar olarak nitelendirilmektedir. Fakat iki profil yüzeyde özellikle organik maddenin yüksek oluşu, renklerinde value değerlerinin düşük olması (≤ 3), strüktürlerinin hafif sert özellik göstermeleri nedeniyle mollik epi pedon oluşumlarına sahiptirler ve bu nedenle Mollik Ustifluent olarak sınıflandırılmışlardır. Profillerin yüzey horizonları granüler strüktürlü olup, kum oranı çok yüksek olan ana materyalde tek sel yapıya dönüşmektedir.

Gelişmekte olan toprakların ısı akışı ve ısı miktarının belirlenmesi

Toprakların gerek pedogenetik süreçlerinde meydana gelen bio-fiziko-kimyasal olaylar sonucunda gerekse de mevcut durumda kazanım/kayıp ve dönüşüm olaylarının yoğunluğuna bağlı olarak cambik horizon gibi genetik katmanların oluşumuna, ısı akışı ve ısı miktarı önemli düzeyde etki yapmaktadır. Horizonlardaki ısı akışı ve ısı miktarının değişimi ise diğer faktörlerle beraber

toprak sıcaklığının, toprağın ısıl yayılım ve ısı iletkenliğinin fonksiyonu olmaktadır. Inceptisol alt grup topraklarında ölçülen sıcaklık değerlerine ve sıcaklık dalgalarının amplitütüne bağlı olarak, (1) ifadesine göre hesaplanan ısıl yayılım katsayıları Çizelge 3'de verilmiştir.

Inceptisol toprakların ısıl yayılım katsayısı yüksek olup, Vertic Haplustept olarak sınıflandırılan toprak profilinde $5,52 \cdot 10^{-6}$ - $8,76 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ arasında, Typic Haplustept olarak sınıflandırılan toprak profilinde ise $6.17 \cdot 10^{-6}$ - $9,36 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Tarla kapasitesi ve kil miktarı fazla olan horizonlarda, genel olarak ısıl yayılım yüksek; organik maddenin fazla olduğu horizonlarda ise düşük olmaktadır. Isıl yayılım katsayısı ısı akışı ve ısı miktarının belirlenmesinde gerekli temel parametrelerden biridir. Dengiz ve Ekberli (2017) kil içeriği profil boyunca % 40 ve üzerinde olan Vertisol toprakların fizikokimyasal ve ısıl özelliklerinin incelenmesi üzerine yaptıkları çalışmada Vertisol toprakların üst horizonlarda minimum, maksimum ve ortalama günlük sıcaklıkların dar aralıkta, alt horizonlara indikçe ise geniş aralıkta değişmekte, amplitüt değerlerinin ise sıcaklık değişimine uygun olarak aşağı katmanlara doğru azalmakta olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, üst horizonlarda ısıl yayılım katsayısı genellikle az olmakta, aşağı horizonlarda ise artış göstermekte olduğunu vurgulamışlardır.

Toprak horizonlarındaki ısı akışının değişkenleri olan hacimsel ısı kapasitesi ve ısı iletkenliğinin

Çizelge 3. Inceptisol toprakların sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), amplitüt ($^{\circ}\text{C}$) ve ısıl yayılım ($\text{m}^2 \text{ sn}^{-1}$) değerleri

Table 3. Temperature ($^{\circ}\text{C}$), amplitude ($^{\circ}\text{C}$), and thermal diffusion ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$) values of Inceptisol

Horizon	Derinlik, cm	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)			A_i/A_{i+1}^*	a
		Minimum	Maksimum	Ortalama		
Vertic Haplustept						
	0	20.5	35.9	26.7	9.2	
Ap	0-23	12.3	20.4	15.3	9.2/5.1	$5.52 \cdot 10^{-6}$
Bw1	23-58	12.0	19.7	17.2	5.1/2.5	$8.76 \cdot 10^{-6}$
Bw2	58-90	11.4	16.5	15.3	2.5/1.2	$6.91 \cdot 10^{-6}$
C1	90+			15.1		
Typic Haplustept						
	0	18.4	29.7	23.9	5.8	
Ap	0-30	14.1	20.0	17.2	5.8/2.8	$6.17 \cdot 10^{-6}$
Bw1	30-64	12.8	17.0	15.6	2.8/1.4	$8.74 \cdot 10^{-6}$
Bw2	64-107	10.7	14.4	13.8	1.4/0.6	$9.36 \cdot 10^{-6}$
C	107+			13.4		

* A_i ve A_{i+1} uygun olarak toprağın ve derinliklerine ait sıcaklık dalgalarının amplitütü

Çizelge 4. Inceptisol toprakların horizonlarındaki ısı akışı ve ısı miktarı değerleri
Table 4. Heat flow and heat content values in horizons of Inceptisol soils

Horizon	Derinlik, Cm	C_{ht} $J m^{-3} °C^{-1}$	λ , $watt m^{-1} °C^{-1}$	q $watt m^{-2}$	Q $J m^{-2}$
Vertic Haplustept					
Ap	0-23	$2.175 \cdot 10^6$	12.006	50.035	$8.646 \cdot 10^6$
Bw1	23-58	$2.193 \cdot 10^6$	19.211	31.154	$5.383 \cdot 10^6$
Bw2	58-90	$2.183 \cdot 10^6$	15.085	13.221	$2.285 \cdot 10^6$
Typic Haplustept					
Ap	0-30	$2.193 \cdot 10^6$	13.531	29.284	$5.060 \cdot 10^6$
Bw1	30-64	$2.175 \cdot 10^6$	19.010	17.284	$2.987 \cdot 10^6$
Bw2	64-107	$2.201 \cdot 10^6$	20.601	7.757	$1.340 \cdot 10^6$

sayısal değerleri sırasıyla (3) ve (4); bu değerlere bağlı olarak ısı akışı ve ısı miktarının değerleri ise sırasıyla (5) ve (6) ifadelerine göre hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4’den görüldüğü gibi, Inceptisol ordosuna ait Vertic Haplustept, Typic Haplustept toprak profillerinin yüzey (Ap) horizonlarında ısı akışı sırasıyla $50.035 \text{ watt m}^{-2}$ ve $29.284 \text{ watt m}^{-2}$; ısı miktarı ise $8.646 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-2}$ ve $5.060 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-2}$ olarak saptanmıştır. Alt toprak horizonlarında (Bw1 ve Bw2), sıcaklığın T_0 ortalama değerinden T_y değerine ani değişimine bağlı olarak azalma eğilimi gözükmemekte ve yüzey horizonlardan aşağıya doğru ısı akışı gerçekleşmektedir. $T_0 - T_y$ değerinin negatif olması durumunda ise (gece saatlerinde), topraktaki ısı akışı alt horizonlardan yüzeye doğru gerçekleşecektir. Topraktaki ısı miktarının oluşumu ve değişimiyle ısı akışı değişimi arasında doğrusal ilişki olduğundan, araştırma topraklarının alt horizonlarında ısı miktarı da azalma eğilimi göstermektedir. Araştırma toprağı horizonlarında hacim ağırlığı ve hacimsel nem içeriğinin dar aralıkta değişimi, hacimsel ısı kapasitesi değişiminin düşük olmasına, dolayısıyla ısı akışı ve ısı miktarının düzensiz değişimine neden olmaktadır. Hedayati-Dezfooli ve Leong (2019) tarafından, yüksek sıcaklık koşullarında ($10-90 \text{ °C}$) ısı ve nem taşınımının deneysel incelenmesine ait yapılan bir çalışmada, sıcaklık değişiminin ve doygunluk derecesinin, toprağın termo-fiziksel özellikleriyle beraber ısı akışına, dolayısıyla ısı miktarına önemli düzeyde etki yaptığı bildirilmiştir; ısı miktarının çıplak topraklarda $-0.071-0.158 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ arasında değiştiği saptanmıştır. Toprak yüzeyindeki ısı akışı, toprak-bitki-atmosfer sisteminin enerji dengesinin de bileşenlerinden birisi olup, deneysel ve teorik yöntemlerle belirlenmektedir (Ochsner vd., 2006; Peng vd., 2015). Peng vd.

(2015), ısı akımı yoğunluğunun belirlenmesinde “levha yöntemi” kullanarak, toprağın 2 cm; 6cm ve 10 cm derinliklerinde ısı akışının sırasıyla $\approx -75 - 150 \text{ watt}^{-2}$; $\approx -49 - 130 \text{ watt m}^{-2}$ ve $\approx -24 - 70 \text{ watt m}^{-2}$ aralığında değiştiğini göstermişlerdir.

Genç topraklarda ısı akışı ve ısı miktarının belirlenmesi

Çalışma alanı içerisinde alüvyal araziler üzerinde açılan toprak profilleri, çeşitli toprak ve fiziksel parçalanmaya uğramış kayaç parçalarından yıklanan minerallerin karışımlarının Yeşilirmak Nehri tarafından depolanması ile oluşmuş depozitler üzerinde gelişmişlerdir (Mihalikova ve Dengiz, 2020). Flüvyal depozitler taşındıkları kaynağa, taşıyıcı gücün enerjisine ve akışın şiddetine bağlı olarak farklı parçacık boyutlarında olabilirler (Günel, 2016). Parçacık büyüklük dağılımlarında gözlemlenen bu değişkenlik nedeniyle kısa mesafeler içerisinde farklı fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklere sahip topraklar oluşabilmektedir (Dengiz, 2010). Bir nehir taşkın düzlüğüne girdiğinde kendisine yakın olan yerlere kaba, uzak olan yerlere ise ince materyalleri depolamaktadır. İncelenen profiller içerisinde üç adedi, genellikle Yeşilirmağın taşkın düzlükleri üzerinde yer alan topraklar olup, gelişim süreçlerinin henüz başlangıç evrelerinde olmaları nedeniyle Entisol olarak sınıflandırılmıştır. Entisol alt grup topraklarında ölçülen sıcaklık değerlerine ve sıcaklık dalgalarının amplitütüne bağlı olarak, (1) ifadesine göre hesaplanan ısısal yayılım katsayıları Çizelge 5’de verilmiştir.

Entisol toprakların Typic Ustifluent alt grubunun Ap ve A2 horizonlarında ısısal yayılım katsayısı, inceptisol toprakların ısısal yayılımına nazaran düşük olup, sırasıyla $1.71 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ ve $1.96 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ olarak saptanmıştır. Hacimsel

Çizelge 5. Entisol toprakların sıcaklık (°C) , amplitüt (°C) ve ısısal yayılım (m² sn⁻¹) değerleri
Table 5. Temperature (°C), amplitude (°C) and thermal diffusion (m² s⁻¹) values of Entisol

Horizon	Derinlik, cm	Sıcaklık (°C)			A_i/A_{i+1} *	a
		Minimum	Maksimum	Ortalama		
Typic Ustifluent						
	0	19.5	32.6	24.8	7.8	
Ap	0-18	13.0	20.4	17.0	7.8/3.4	1.71·10 ⁻⁶
A2	18-37	12.5	18.6	17.1	3.4/1.5	1.96·10 ⁻⁶
C	37+			16.8		
Mollic Ustifluent-1						
	0	24.5	37.0	28.8	8.2	
Ap	0-21	13.7	20.6	16.1	8.2/4.5	4.45·10 ⁻⁶
A2	21-55	13.9	18.8	16.6	4.5/2.2	8.20·10 ⁻⁶
C	55+					
Mollic Ustifluent-2						
A	0	20.1	33.4	26.7	6.7	
C1	0-15	14.8	21.2	18.0	6.7/3.2	1.50·10 ⁻⁶
C2	15-47	13.5	18.9	17.4	3.2/1.5	6.48·10 ⁻⁶
	47+			16.5		

* A_i ve A_{i+1} uygun olarak toprağın x_i ve x_{i+1} derinliklerine ait sıcaklık dalgalarının amplitüdü

nem içeriğinin fazla olmaması, kil miktarının düşük, organik madde miktarının fazla olması ısısal yayılımın düşük olmasına neden olan faktörlerden olabilir. Mollic Ustifluent-1 alt grup toprağının A2 horizonunda ısısal yayılım, Ap horizonu ile karşılaştırıldığında daha yüksek (8.20·10⁻⁶ m² sn⁻¹) olmaktadır. Bu ise A2 horizonunda hacimsel nem içeriğinin daha yüksek olmasından kaynaklanabilir. Mollic Ustifluent-2 alt grup toprağının C1 horizonunda ısısal yayılım katsayısı ise düşük (1.50·10⁻⁶ m² sn⁻¹); C2 horizonunda ise yüksek (6.48·10⁻⁶ m² sn⁻¹) olarak bulunmuştur. Entisol toprakların horizonlarındaki ısı akışı ve ısı miktarı değerleri de sırasıyla (5) ve (6) eşitliklerine göre belirlenmiş ve Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Inceptisol toprakla karşılaştırıldığında, Entisol toprak horizonlarındaki ısı akışı ve ısı miktarı değerleri daha düşük bulunmuştur. Bu durumda özellikle toprakların genetik horizon oluşumlarının, kil içeriklerinin ve strüktürel gelişimlerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Fakat, yüzey topraklarda ise en yüksek ısı akışı ve ısı miktarı, Entisol toprakların Mollic Ustifluent-1 alt grubunun Ap horizonunda sırasıyla 34.300 watt m⁻² ve 5.927·10⁶ J m⁻² olarak belirlenmiştir. Bu durumun ise yüzeyde organik maddenin yüksek olmasından kaynaklandığı ileri sürülebilir. En düşük ısı akışı ve ısı miktarı değerler ise sırasıyla 8.958 watt m⁻² ve 1.548·10⁶ J m⁻² olarak, Typic Ustifluent alt grup toprağının

Çizelge 6. Entisol toprakların horizonlarındaki ısı akışı ve ısı miktarı değerleri

Table 6. Heat flow and heat content values in horizons of Entisol soils

Horizon	Derinlik, cm	C_{ht}	λ ,	q	Q
		J m ⁻³ °C ⁻¹	watt m ⁻¹ °C ⁻¹	watt m ⁻²	J m ⁻²
Typic Ustifluent					
Ap	0-18	1.952·10 ⁶	3.338	16.663	2.879·10 ⁶
A2	18-37	2.222·10 ⁶	4.355	8.958	1.548·10 ⁶
Mollic Ustifluent-1					
Ap	0-21	1.882·10 ⁶	8.375	34.300	5.927·10 ⁶
A2	21-55	2.088·10 ⁶	17.122	25.255	4.364·10 ⁶
Mollic Ustifluent-2					
A	0-15	1.905·10 ⁶	2.858	14.337	2.477·10 ⁶
C1	15-47	2.094·10 ⁶	13.569	15.351	2.653·10 ⁶

A2 horizonunda saptanmıştır. Tüm alt grup topraklarında alt horizonlarda ısı akışı ve ısı miktarı genel olarak azalmaktadır.

SONUÇLAR

Farklı toprak gelişim özelliklerine sahip profillerin ısı akışı ve ısı miktarının belirlenmesi, toprak oluşum süreçlerinin açıklanmasında, profillerdeki ısı taşınımının modellenmesinde, toprak özellikleri ve sıcaklık alanının karşılıklı etkisinin düzenlenmesinde, toprakların ısı bilançosunun nicel olarak değerlendirilmesinde vb. gereklidir. Genel olarak, Inceptisol alt grup toprak horizonlarındaki ısı akışı ve ısı miktarı, Entisol toprak horizonlarındakinden daha yüksek olmaktadır. Bu durum toprakların pedogenetik süreçler doğrultusunda tanı horizonlarının varlığı veya yokluğunun yanı sıra kil içerikleri, strüktür özelliklerinin etkili olduğundan kaynaklanabilir. Toprakların yüzey horizonlarında ise mollik epipedona sahip Entisol toprakların ısı akışı ve ısı miktarı fazla olmasında, organik maddenin etkili olduğu düşünülmektedir. Genel olarak her iki ordo topraklarının profillerindeki üst horizonlarda ısı akışı ve ısı miktarı değerleri yüksek olmasına karşın alt horizonlarda azalma eğilimi gözükmekte; araştırma döneminde ısı akışı pozitif yönde gerçekleşmektedir. Isı akışının teorik ifadesinden de görüldüğü gibi, ısı iletkenliği, sıcaklık değişimi, ısısal yayılım, zaman parametreleri, toprak özellikleriyle beraber, ısı akışına ve ısı miktarına etki yapan temel faktörlerdir. Ayrıca, Inceptisol ve Entisol ordosu toprakları horizonlarında kil, silt ve kum; organik madde, hacim ağırlığı, hacimsel nem içeriği gibi toprak özelliklerinin değişimi, ısı akışı ve ısı miktarını önemli düzeyde etkilemektedir.

KAYNAKLAR

Agam N, Kustas, WP, Evett SR, Colaizzi PD, Cosh MH, McKee LG (2012). Soil heat flux variability influenced by row direction in irrigated cotton. *Advances in Water Resources*, 50: 31-40.

Al-Shammary AAG, Al-Sadoon JNA (2014). Influence of tillage depth, soil mulchingsystems and fertilizers on some thermal properties of silty clay soil. *European Journal of Forest Research* [Published by European Centre for Research Training and Development UK (www.ea-journals.org)], 2(2): 1-16.

Al-Shammary AAG, Kouzani A, Gyasi-Agyei Y, Gates W, Rodrigo-Comino J (2020). Effects of solarisation on soil thermal-physical properties under different soil treatments: A review. *Geoderma*, 363: 114137.

Başayığıt L, Dinç U (2005). Toprak taksonomisine göre toprak iklim rejimleri ve Türkiye toprakları için örnekler. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1): 83-91.

Beardsmore G, Sandiford M, Gordon K, McLean M, Egan S, McLaren S (2017). Heat flow and inferred ground surface temperature history at Tynong North, southeastern Australia, *Australian Journal of Earth Sciences*, 64(6): 753-767.

Blake GR, Hartge KH (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 no 9(2nd ed), Madison.

Bonachela S, Lopez JC, Granados MR, Magan JJ, Hernandez J, Baille A (2020). Effects of gravel mulch on surface energy balance and soil thermal regime in an unheated plastic greenhouse. *Biosystems Engineering*, 192: 1-13.

Bouyoucos GJ (1951). A Recalibration of Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agronomy Journal*. 43: 9.

Chen S, Li X., Wu T, Xue K, Luo D, Wang X, Wu O, Kang S, Zhou H, Wei D (2020). Soil thermal regime alteration under experimental warming in permafrost regions of the central Tibetan Plateau *Geoderma*, 372: 114397.

Coşkan A, Erdal İ, Öz H (2017). Toprak altı sıcaklığının erkencilikte kullanılma potansiyeli. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, ICAE - IWCB 2017, Özel Sayı, 318-324.

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, Efendiler A (2016). Farklı iki fizyografik ünite üzerinde oluşmuş toprakların karakteristiklerinin belirlenmesi ve dağılım haritalarının oluşturulması. *Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, TÜCAUM*, 13-14 Ekim, Ankara, s: 156-168.

Dengiz O, Ekberli İ (2017). Bazı vertisol alt grup topraklarının fizikokimyasal ve ısısal özelliklerinin incelenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6(1):45-52.

Ekberli İ, Dengiz O (2016). Bazı Inceptisol ve Entisol alt grup topraklarının fizikokimyasal özellikleriyle ısısal yayılım katsayısı arasındaki regresyon ilişkilerinin 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.

Ekberli İ, Gülser C, Dengiz O (2020). Yarı humid ekolojik koşullar altında oluşmuş bazı Vertisol alt grup toprakların profillerinde ısı akışının belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(2): 198-207.

Ekberli İ, Gülser C, Mamedov A (2015). Toprakta bir boyutlu ısı iletkenlik denkleminin incelenmesinde benzerlik teorisinin uygulanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(2): 69-79.

Ekberli İ, Sarılar Y (2015). Toprak sıcaklığının profil boyunca sönme derinliğinin ve gecikme zamanının belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesinin Dergisi*, 52 (2): 219-225.

- Evelt SR, Agam N, Kustas WP, Colaizzi PD, Schwartz RC (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.
- Fritschen LJ (1998). Energy and radiation balance components for three grass surfaces near Kursk, Russia. *Remote Sensing Reviews*, 17(1-4): 269-280.
- Gao Z (2005). Determination of soil heat flux in a tibetan short-grass prairie. *Boundary-Layer Meteorology*, 114(1): 165-178.
- Greenland DE (1969). Soil heat flow investigation at Cass, South Island high country. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 12(2): 352-366.
- Guan XJ, Spence C, Westbrook CJ (2010). Shallow soil moisture-ground thaw interactions and controls-Part 2: Influences of water and energy fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 1387-1400.
- 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 ısıl yayınıma etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33(3): 261-269.
- Günal H (2006). Ardışık iki topografya'da yer alan toprakların oluşumları ve sınıflamaları. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23 (2): 59-68.
- Hanks RJ, Ashcroft GJ (1980). *Applied soil physics. Soil water and temperature applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 125-144.
- Hedayati-Dezfooli M, Leong WH (2019). An experimental study of coupled heat and moisture transfer in soils at high temperature conditions for a medium coarse soil. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 137: 372-389.
- Heitman JL, Horton R, Sauer TJ, Renn TS, Xiao X (2010). Latent heat in soil heat flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(7-8): 1147-1153.
- Heusinkveld BG, Jacobs AFG, Holtslag AAM, Berkowicz SM (2004). Surface energy balance closure in an arid region: role of soil heat flux. *Agricultural and Forest Meteorology*, 122(1-2): 21-37.
- Hilel D (2004). *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier Academic Press, USA, pp. 215-233.
- Iden SC, Blöcher JR, Diamantopoulos E, Peters A, Durner W (2019). Numerical test of the laboratory evaporation method using coupled water, vapor and heat flow modelling. *Journal of Hydrology*, 570: 574-583.
- Isachenko VP, Osipova VA, Sukomel AS (1981). *Heat transfer (in Russian)*. Energoizdat Press, Moscow, 417 p.
- Jackson, M.L., 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- Ji XB, Kang ES, Zhao WZ, Zhang ZH, Jin BW (2009). Simulation of heat and water transfer in a surface irrigated, cropped sandy soil. *Agricultural Water Management*, 96: 1010-1020.
- 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.
- Kader MA, Nakamura K, Senge M, Mojid MA, Kawashima S (2019). Numerical simulation of water- and heat-flow regimes of mulched soil in rain-fed soybean field in central Japan. *Soil and Tillage Research*, 191: 142-155.
- Liu X, Yang S, Xu J, Zhang J, Liu J (2017). Effects of soil heat storage and phase shift correction on energy balance closure of paddy fields. *Atmosfera*, 30(1): 39-52.
- Luikov AV (1967). *Theory of thermal conductivity (in Russian)*. Vysshaya Shkola Press, Moscow, 599 p.
- Luikov AV, Mikhailov YuA (1965). *Theory of energy and mass transfer*. Pergamon Press, Oxford, England, 392 p.
- Lukiashchenko KI, Arkhangelskaya TA (2018). Modelling thermal diffusivity of differently textured soils. *Eurasian Soil Science*, 51(2): 183-189.
- Masseroni D, Facchi A, Romani M, Chiaradia EA, Gharsallah O, Gandolfi C (2015). Surface energy flux measurements in a flooded and an aerobic rice field using a single eddy-covariance system. *Paddy Water Environment*, 13: 405-424.
- Mihalikova M, Dengiz O (2019). Towards more effective irrigation water usage by employing land suitability assessment for various irrigation techniques. *Irrigation and Drainage*. 0.1002/ird.2349.
- Novak MD, Black TA (1983). The surface heat flux density of a bare soil. *Atmosphere-Ocean*, 21(4): 431-443.
- Ochsner TE, Sauer TJ, Horton R (2006). Field tests of the soil heat flux plate method and some alternatives. *Agronomy Journal*, 98 (4): 1005-1014.
- 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.
- Richards LA (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. U.S. Dept. Agr. Handbook, 60, 109. Riverside.
- Soil Survey Staff (1992). *Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey*. Soil Surv. Invest. Rep. 1. U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C. USA.
- Soil Survey Staff, 1993. *Soil Survey Manual*, USDA. Handbook No: 18 Washington D.C.
- Soil Survey Staff (1999). *Soil taxonomy. A basic of soil classification for making and interpreting soil survey*. U.S.D.A Handbook No: 436, Washington D.C.
- Sterling AT, Jackson RD (1986). *Temperature*. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph No: 9, ASA, SSSA, Madison WI.
- 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.

Tikhonravova PI, Khitrov NB (2003). Estimation of thermal conductivity in Vertisols of the Central Ciscaucasus region. *Eurasian Soil Science*, 36(3): 313-322 [Pochvovedeniye, 3: 342-351, in Russian].

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.

Usovich B, Lukowski MI, Rudiger C, Walker JP, Marczewski W, 2017. Thermal properties of soil in the Murrumbidgee River Catchment (Australia). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115: 604–614.

Van der Tol C (2012). Validation of remote sensing of bare soil ground heat flux. *Remote Sensing of Environment*, 121: 275-286.

Van Lier J, Durigon A (2013). Soil thermal diffusivity estimated from data of soil temperature and single soil component properties. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 37(1): 106-112.

Van Wambeke AR (2000). The Newhall Simulation Model for estimating soil moisture & temperature regimes. Department of Crop and Soil Sciences. Cornell University, Ithaca, NY.

Verhoef A, Otlle C, Cappelaere B, Murray T, Saux-Picart S, Zribi M, Maignan F, Boulain N, Demarty J, Ramier D (2012). Spatio-temporal surface soil heat flux estimates from satellite data; results for the AMMA experiment at the Fakara (Niger) supersite. *Agricultural and Forest Meteorology*, 154-155: 55-66.

Xie X, Lu Y, Ren T, Horton R (2019). Soil temperature estimation with the harmonic method is affected by thermal diffusivity parameterization. *Geoderma*, 353: 97-103.

Wen W, Lai Y, You Z (2020). Numerical modeling of water–heat–vapor–salt transport in unsaturated soil under evaporation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 159: 120114.