

Yarı Humid Ekolojik Koşullar Altında Oluşmuş Bazı Vertisol Alt Grup Toprakların Profillerinde Isı Akışının Belirlenmesi

İmanverdi Ekberli*, Coşkun Gülser, Orhan Dengiz

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun, Türkiye

*Sorumlu yazar/corresponding author: iman@omu.edu.tr

Geliş/Received 17/02/2020

Kabul/Accepted 31/03/2020

ÖZET

Toprakta ısı akışının değerlendirilmesi, toprağın sıcaklık rejiminin amenajmanı, toprakta depolanan ısı miktarının belirlenmesi ve toprak sıcaklığının modellenmesi için gereklidir. Bu çalışmada, yarı humid ekolojik koşullar altında oluşmuş bazı Vertisol alt grup toprakların profillerinde ısı akışının belirlenmesi amaçlanmıştır. Vertisol ordosuna ait farklı toprak profilinde (Typic Calciustert, Chromic Hapluster, Typic Hapluster) hesaplanan hacimsel ısı kapasitesi $2.173 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ile $2.307 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ arasında ve ısı iletkenliği katsayısı ise $12.412 \text{ watt m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ile $21.404 \text{ watt m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ arasında değişmektedir. Toprak horizonlarında hacim ağırlığının ve hacimsel nem içeriğinin çok fazla değişkenlik göstermemesi, hacimsel ısı kapasitesinin dar aralıkta değişimine neden olmaktadır. Isı akışı, Typic Calciustert toprak profilinin Ap, Bss 2C horizonlarında $43.892 \text{ watt m}^{-2}$, $26.424 \text{ watt m}^{-2}$, $10.284 \text{ watt m}^{-2}$; Chromic Hapluster profilinin A, Bss1, Bss2 horizonlarında $43.910 \text{ watt m}^{-2}$, $22.665 \text{ watt m}^{-2}$, $7.629 \text{ watt m}^{-2}$; Typic Hapluster profilinin Ap, Bss1, Bss2 horizonlarında ise sırasıyla $35.958 \text{ watt m}^{-2}$, $14.770 \text{ watt m}^{-2}$, $7.530 \text{ watt m}^{-2}$ olarak belirlenmiştir. Horizonlardaki ortalama ve maksimum sıcaklık değerlerine ait farkın pozitif olması, ısı akışının profillerde aşağı yönde gerçekleşmesine neden olmaktadır. Toprakların alt horizonlarına doğru ısısal yayılım katsayılarının genelde artmasına rağmen, ısı akışı değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Kil birikiminin artmasına bağlı olarak toplam boşluk miktarının artması, hacimsel ısı kapasitesi ve ısı akışı değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.

Anahtar Sözcükler:
Vertisol topraklar
Toprak sıcaklığı
Hacimsel ısı kapasitesi
Isısal yayılım
Isı iletkenliği
Isı Akışı

Determination of Heat Flow in Profiles of Some Vertisol Subgroup Soils Formed Under Semi-humid Ecological Conditions

ABSTRACT

The evaluation of heat flow in soil is necessary for the management of soil temperature regime, determining the amount of heat stored in soil, and modeling soil temperature. In this study, the volumetric heat capacity values calculated for horizons of different soil profiles (Typic Calciustert, Chromic Hapluster, Typic Hapluster) belong to Vertisol order varied between $2.173 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ and $2.307 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, and the thermal conductivity coefficient values varied between $12.412 \text{ watt m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ and $21.404 \text{ watt m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. The volumetric heat capacity changed in a narrow range due to small variation in bulk density and volumetric moisture content values in soil horizons. Heat flow values were determined as $43.892 \text{ watt m}^{-2}$, $26.424 \text{ watt m}^{-2}$, $10.284 \text{ watt m}^{-2}$ in Ap, Bss 2C horizons of Typical Calciustert profile; $43.910 \text{ watt m}^{-2}$, $22.665 \text{ watt m}^{-2}$, $7.629 \text{ watt m}^{-2}$ in A, Bss1, Bss2 horizons of Chromic Hapluster profile and $35.958 \text{ watt m}^{-2}$, $14.770 \text{ watt m}^{-2}$, $7.530 \text{ watt m}^{-2}$ in Ap, Bss1, Bss2 horizons of Typic Hapluster profile, respectively. The positive difference between the average and the maximum temperature values in the horizons causes downward heat flow in the soil profiles. Although the heat diffusivity coefficients increased towards the lower horizons of soils, it was determined that the heat flow values decreased. Increase in the total porosity due to increase in clay accumulation causes to decreases in volumetric heat capacity and heat flow values.

Keywords:
Vertisol soils
Soil temperature
Volumetric heat capacity
Heat diffusivity
Heat conductivity
Heat flow

1. Giriş

Homojen ve izotropik olmayan yapıya sahip gözenekli bir ortam olan toprak, çeşitli kompozisyonlardaki katı minerallerden (mineral ve organik), genel olarak hava ve su içeren boşluklardan oluşmaktadır. Bu özelliklere bağlı olarak, toprakta farklı düzeylerde günlük, mevsimsel ve yıllık sıcaklık alanları oluşmakta, ısı akışı ve ısı miktarı gerçekleşmektedir. Topraktaki ısı akışı ve ısı miktarı çeşitli oluşum aşamalarında toprak bileşenlerinin değişimine etki yapan önemli faktörlerdendir. Çeşitli topraklarda ısı akışı ve ısı miktarı farklılık göstermekte, toprak özelliklerine, sıcaklık gradyentine, toprağın temel termo-fiziksel özelliklerine (ısı kapasitesi, ısıl yayılım, ısı iletkenliği vb.) bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Hedayati-Dezfooli ve Leong (2019) tarafından, yüksek sıcaklık koşullarında (10 -90°C) ısı ve nem taşınımının deneysel incelenmesine ait yapılan bir çalışmada, sıcaklık değişiminin ve doymuluk derecesinin, toprağın termo-fiziksel özellikleriyle beraber ısı akışına, dolayısıyla ısı miktarına önemli düzeyde etki yaptığı bildirilmiştir. Çeltik samanı ile malçlanmış ve çıplak topraklarda 2015 ve 2016 yıllarında soya bitkisi yetiştirilmesi koşulunda, HYDRUS-1D modeli kullanılarak toprağın su ve ısı akışının sayısal modellenmesine ait bir çalışmada, farklı derinliklerde (5, 15 ve 25 cm) depolanmış ısı miktarının malçlanmış topraklarda -0.056-0.120 MJ m⁻² gün⁻¹; çıplak topraklarda ise -0.071-0.158 MJ m⁻² gün⁻¹ arasında değiştiği saptanmıştır. Genel olarak, çıplak toprakla karşılaştırıldığında malçlanmış toprakta depolanmış ısı miktarının, dolayısıyla ısı akışının düşük olduğu gösterilmiştir (Kader ve ark., 2019). Li ve ark. (2018) tarafından bitki örtüsü altında bulunan toprakta yapılan bir çalışmada, toprakta yüzey ısı akışının \approx 15-95 watt m⁻² 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 belirlenmiştir. Bitki örtüsü, güneş ışınlarının toprak yüzeyinde dağılımı, gölgelenme gibi faktörler yüzey ısı akışının geniş aralıkta mekânsal değişimine neden olmaktadır (Kustas ve ark. 2000; Shao ve ark. 2008; Agam ve ark. 2012; Evett ve ark. 2012; Colaizzi ve ark. 2016). Matematiksel modelleme kullanılarak toprakta suyun buharlaşması, su-ısı ilişkisinin belirlenmesi, toprak yüzeyindeki mikro iklimin ve sıcaklığın tahmin edilmesi, toprakta depolanan ısının kullanılması yöntemlerinin belirlenmesi vb. gibi problemlerin araştırılmasında da ısı akışının nicel olarak değerlendirilmesi gereklidir (Heusinkveld, 2004; Ji ve ark., 2009; Zhao ve ark., 2010; Vogel ve ark., 2011; Ekberli ve Gülser, 2015; Gülser ve ark., 2019; Iden ve

ark., 2019; Yao ve ark., 2019; Brys ve ark., 2020; Chang ve ark., 2020). Toprağın ısı akışı ve değişimi toprağın aktif katmanında daha fazla olmaktadır (Stull,1988; Garratti, 1994; Geiger ve ark., 2003). Yüzey ve yüzey altı toprak katmanlarında ısı akışı günlük, aylık, mevsimsel ve yıllık davranış değişimleri ile karakterize edilmekte; net güneş radyasyonu, toprakların ve bitki örtüsünün doğal termal özellikleriyle ilgili olmaktadır. Tarım-çevre koşullarını dikkate alarak, yüzey ve yüzey altı toprak katmanlarında ısı akışına bağlı olarak ısı değişiminin belirlenmesine ve toprakta depolanmış ısı miktarının yenilenebilir bir termal kaynak olarak kullanılmasına ait on yıl boyunca (Ağustos 2007 - Temmuz 2017) yapılan bir çalışmada (Brys, 2020), yüzey, 5 cm ve 10 cm toprak derinliklerindeki sıcaklık değerlerinden kullanılmış; araştırma döneminde çıplak ve çimenli toprakların 0-8 cm katmanında yıllık ortalama pozitif ısı akışı toplamının sırasıyla 331.8 MJ m⁻² (92.2 kW saat m⁻²) ve 179.0 MJ m⁻² (49.7 kW saat m⁻²); negatif ısı akışı toplamının ise 330.3 MJ m⁻² (91.8 kW saat m⁻²) ve 170.6 MJ m⁻² (47.4 kW saat m⁻²) olduğu saptanmıştır. Aynı zamanda, 5 cm derinlikteki ısı akışının, 8 cm ve 10 cm derinlikteki ısı akışından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Toprak yüzeyindeki ısı akışı, toprak-bitki-atmosfer sisteminin enerji dengesinin de bileşenlerinden birisi olup, deneysel ve teorik yöntemlerle belirlenmektedir (Ochsner ve ark. 2006; Peng ve ark. 2015). Peng ve ark. (2015), ısı akımı yoğunluğunun belirlenmesinde "levha yöntemi" kullanılarak, 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. Florentin ve Agam (2017), bir kurak bölge toprağında ısı akışını belirlemek için, yüzey enerji dengesi denklemi ve kolorimetrik yöntem kullanmışlardır. Yüzey ısı akışı uzun sürelerde (>24 saat) toprağın enerji dengesine az, birkaç saat içerisinde ise daha fazla etki yapmaktadır (Agam ve ark., 2004; Sauer ve Horton, 2005).

Farklı toprak tiplerinde optimum verimlilik ortamının oluşturulması ve korunması da toprakların diğer termo-fiziksel parametreleriyle beraber ısı akışının da belirlenmesini gerektirmektedir. Vertisol topraklarda geniş çatlakların oluşumuna, şişme aktivitesinin değişimine, diğer faktörlerle beraber toprak sıcaklığı ve katmanlardaki ısı akışı önemli düzeyde etki yapmaktadır. Vertisol topraklar alüviyal, görsel çökeller üzerinde oluşabilecekleri gibi bazalt, şeyl, kireçtaşı ve volkanik materyaller üzerinde de oluşabilirler. Ayrıca, Vertisollerin, tersiyer bazaltlarının üzerinde oluşabilmektedir (Dinç ve ark., 2001, Yakupoğlu ve ark. 2010; Dengiz ve ark. 2012).

Bu çalışmanın amacı, Samsun'un Çarşamba ilçesine bağlı Sefalı, Bölmepınar ve Yenikişla köylerinin yer aldığı araziler üzerinde oluşmuş bazı Vertisol alt grup topraklarının horizonlarında ölçülen toprak

sıcaklıklarına dayanarak profil boyunca ısı akışının değerlendirilmesidir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma alanı Çarşamba ilçesine yaklaşık 5 km ve Samsun iline ise 44 km mesafede bulunmaktadır. Vertisol toprakların toplam alanı 479.3 ha olup 305500-311000 m D ve 4555500-4558500 K (UTM, m) koordinatları arasında, Yeşilirmak nehrinin ise sol sahilinde yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanının yıllık ortalama sıcaklık 14.3 °C ve yağış miktarı ise 1045.2 mm olup yağışların büyük kısmı kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir. Toprak taksonomisine göre (Soil Survey Staff, 1999) toprak nem kontrol kesitinde 50 cm derinlikte toprak sıcaklığı 5 °C'in üzerinde olduğu dönemin yarısından daha fazlası kadar süre kuru değildir (aridik nem rejiminden farklı). Ayrıca toprak nem kontrol kesiti kış gün dönümünden sonraki (21 Aralık) 5 ay içerisinde ardışık olarak 45 gün veya daha fazla nemli olması ve yaz gün dönümünden (21 Haziran) sonraki 4 ay içerisinde ardışık 45 gün kadar uzun süre kuru kalmaması (Xerik nem rejiminden farklı) nedeniyle toprak nem rejimi ustik olarak saptanmıştır. Araştırma alanının sıcaklık rejimi; yıllık ortalama toprak sıcaklığı 8 °C'den fazla, 15 °C'den az ve 50 cm'deki yıllık ortalama kış ayları ığı arasındaki fark 6 °C'den fazla olduğu için mesic stoprak sıcaklığı ile yıllık ortalama yaz ayları toprak sıcaklık rejimi olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında yer alan 3 adet vertisol toprak profilinden alınan toprak örneklerinde bünye, hidrometre yöntemi kullanılarak (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, 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). Vertisol toprakların çalışma alanı içerisinde dağılım alanları Şekil 1' de gösterilmiştir. Arazide her profile ait horizonlarda termometre ile toprak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır (Sterling ve Jackson, 1986). Ölçülen sıcaklık değerlerinden Δ_x kullanılarak, toprağın

$\Delta_x = x_i - x_{i+1}$ ($i = 1, n$) katmanındaki ısısal yayılım katsayısının hesaplanmasında

$$a = \frac{\pi}{P} \left(\frac{\Delta_x}{\ln(A_i / A_{i+1})} \right)^2 \quad (1)$$

(burada; A_i ve A_{i+1} uygun olarak toprağın x_i ve x_{i+1} derinliklerine ait sıcaklık amplitütü;

$P = 86400$ sn - periyot, yani sıcaklık dalgasının bir döngüsünü tamamlaması için gerekli olan zamandır) ifadesinden kullanılmıştır (Trombotto 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)

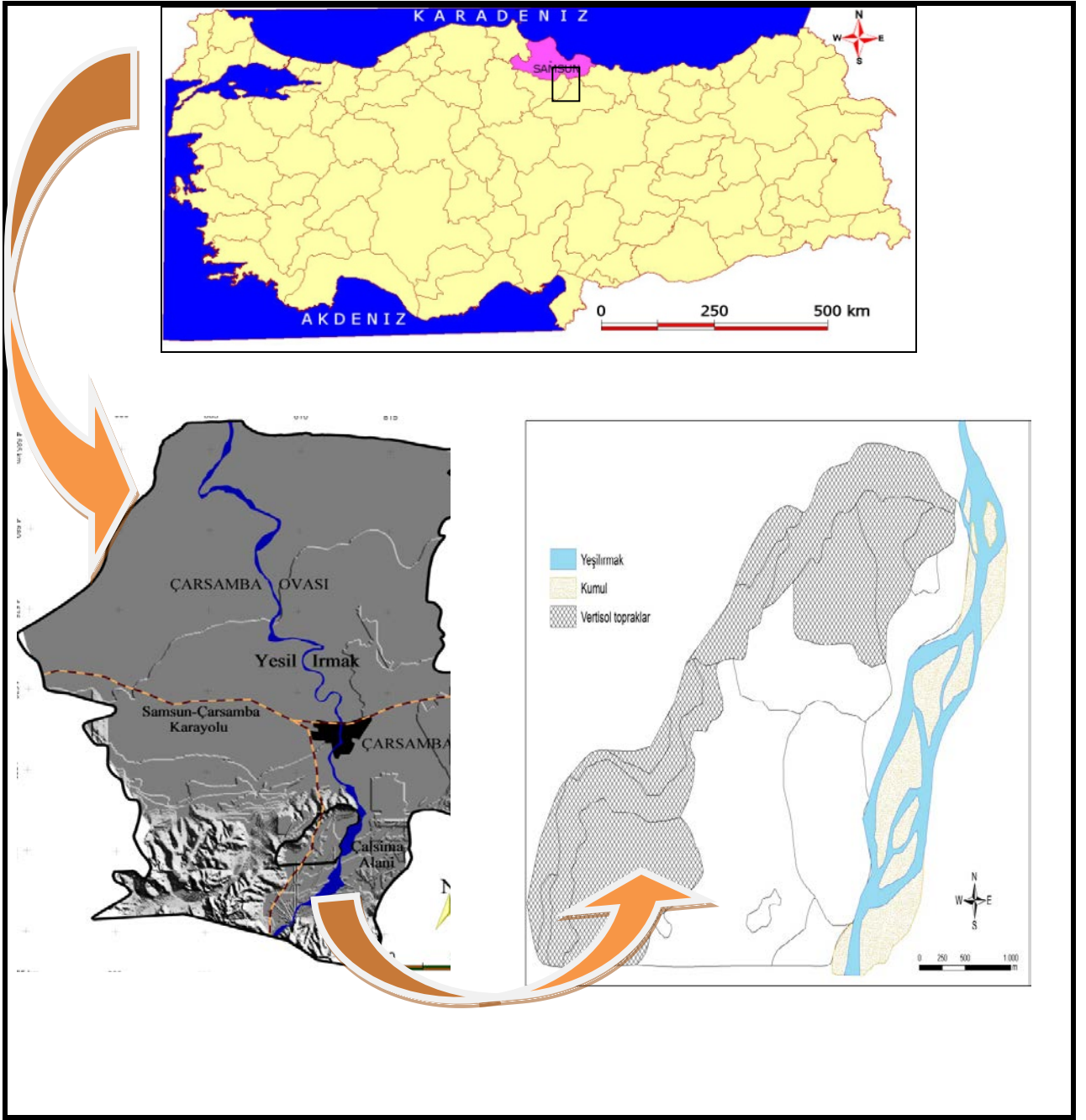
3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Vertisol toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Araştırma alanı vertisol topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Çizelge 1'den görüldüğü gibi, vertisol toprakların EC değerleri düşük, genetik horizonları ağır killi bünyeye sahiptir. Kil miktarı en yüksek Chromic Haplustert olarak sınıflandırılan Profil 2' nin yüzey horizonunda belirlenirken, kum miktarı ise en az %8.8 ile Typic Haplustert'in Bss3 horizonunda bulunmaktadır. Toprakların organik maddeleri yüzey topraklarında yüksek seviyelerde yer alırken bu oran derinlik artışı ile azalma göstermektedir. Typic Calciustert ve Chromic Haplustert topraklarda hacim ağırlığı alt horizonlarda bir miktar artış göstermektedir. Bu durum bünyesel değişimden kaynaklanmasının yanı sıra bu alanların tarımsal faaliyetlerde de kullanılmasından kaynaklanabilir. Typic Haplustert topraklar ise özellikle mera olarak kullanılmaktadır. Hacimsel nem içeriği Profil 2' nin 2C hoprizonunda çok düşük ($0.12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) olup, diğer genetik horizonlarında ise 0.29 ile $0.31 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasında değişmektedir.

3.2 Vertisol toprakların farklı profillerinde ısı akışının belirlenmesi

Toprak yüzeyinde ve aşağı katmanlarda sıcaklığın değişimi, toprağın temel ısısal özelliklerini ifade eden ısısal yayılım, ısı iletkenliği, özgül ve toprak neminin artması durumunda doğrusal artış gösteren hacimsel ısı kapasitesi, diğer toprak özellikleriyle beraber ısı akışına önemli düzeyde etki yapmaktadır. Vertisol toprak horizonlarındaki ölçülen sıcaklık değerleri ve bu değerlere bağlı olarak (1) ifadesiyle hesaplanan ısısal yayılım katsayıları Çizelge 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanına ait lokasyon haritası ve Vertisol toprakların dağılımı
Figure 1. Location map of the study area and Vertisol soils distribution

Çizelge 1. Vertisol toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (Dengiz ve Ekberli, 2017).

Table 1. Some physical and chemical properties of Vertisol soils (Dengiz and Ekberli, 2017).

Horizon	Derinlik (cm)	EC (dS m ⁻¹)	OM (%)	Bünye			HA (gr cm ⁻³)	Θ (cm ³ cm ⁻³)
				Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)		
Profil 1		<i>Typic Calciustert</i>						
Ap	0-27	0,07	4,87	56,8	22,5	20,6	1,28	0,30
Bss	27-65	0,15	4,58	63,9	17,4	18,7	1,27	0,31
2C	65-110	0,01	2,30	56,0	15,2	28,8	1,33	0,29
2Ck	110+	0,06	1,15	67,3	15,3	17,5	1,23	0,30
Profil 2		<i>Chromic Hapluster</i>						
A	0-33	0,06	5,35	75,9	13,6	10,5	1,22	0,29
Bss1	33-78	0,07	2,89	72,0	17,7	10,2	1,21	0,31
Bss2	78-116	0,06	1,99	57,2	28,5	14,3	1,25	0,29
2C	116+	0,10	1,05	11,6	31,0	57,3	1,56	0,12
Profil 3		<i>Typic Hapluster</i>						
Ap	0-22	0,07	5,38	61,3	20,9	17,7	1,28	0,31
Bss1	22-73	0,08	4,54	68,3	17,6	14,1	1,24	0,30
Bss2	73-107	0,02	2,20	66,8	22,3	10,9	1,21	0,30
Bss3	107+	0,13	1,38	73,3	17,9	8,8	1,19	0,30

EC-elektiriksel iletkenlik; OM-organik madde; HA-hacim ağırlığı, Θ-hacimsel nem içeri

Çizelge 2. Vertisol toprakların sıcaklık (°C) ve ısıl yayılım katsayısı (m²sn⁻¹) değerleri (Dengiz ve Ekberli, 2017)Table 2. Temperature (°C) and thermal diffusion coefficient (m²sec⁻¹) values of Vertisol soils (Dengiz and Ekberli, 2017)

Horizon	Derinlik, cm	Sıcaklık (°C)			A _i /A _{i+1}	A
		Minimum	Maksimum	Ortalama		
<i>Typic Calciustert</i>						
	0	16.5	30.0	21.4	8.6	
Ap	0-27	14.3	22.5	18.2	8.6/4.3	5.51·10 ⁻⁶
Bss	27-65	12.5	18.9	16.9	4.3/2.0	8.96·10 ⁻⁶
2C	65-110	11.2	15.7	14.9	2.0/0.8	8.77·10 ⁻⁶
2Ck	110+			13.8		
<i>Chromic Hapluster</i>						
	0	15.6	30.7	21.8	8.9	
A	0-33	13.2	21.1	17.0	8.9/4.1	6.59·10 ⁻⁶
Bss1	33-78	12.5	17.7	16.0	4.1/1.7	9.50·10 ⁻⁶
Bss2	78-116	11.3	15.9	15.2	1.7/0.7	6.67·10 ⁻⁶
2C	116+			14.2		
<i>Typic Hapluster</i>						
	0	20.3	31.1	24.9	6.2	
Ap	0-22	14.6	21.3	17.8	6.2/3.5	5.38·10 ⁻⁶
Bss1	22-73	12.5	18.0	16.8	3.5/1.2	8.25·10 ⁻⁶
Bss2	73-107	11.0	15.6	15.0	1.2/0.6	8.74·10 ⁻⁶
Bss3	107+			14.1		

A_i ve A_{i+1} uygun olarak toprağın X_i ve X_{i+1} derinliklerine ait sıcaklık amplitütü

Kuru toprağın özgül ısı kapasitesi ($C_{\delta,t}$, $cal\ gr^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ veya $J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$) aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır (Hanks ve Ashcroft 1980; Hilel 2004):

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

(burada, $C_{\delta,org}$ ve $C_{\delta,min}$ - sırasıyla kuru topraktaki organik maddenin ve mineral maddenin özgül ısı kapasitesi ($cal\ gr^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ veya $J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$);

$\frac{m_{org}}{m}$ - topraktaki organik madde miktarı ($gr\ gr^{-1}$ veya %) olmaktadır). Araştırma toprağında $C_{\delta,org} = 0.46\ cal\ gr^{-1}\ ^\circ C^{-1}$;

$$\frac{m_{org}}{m} = 0.0283\ gr\ gr^{-1} ;$$

$C_{\delta,min} = 0.18\ cal\ gr^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ olduğunu göz önüne alarak

$$C_{\delta,t} = 0.188\ cal\ gr^{-1}\ ^\circ C^{-1} = 786.800\ J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$$
 elde edilir.

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

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

(burada, ρ - toprağın hacim ağırlığı, $gr\ cm^{-3}$;

$C_{h,s} = 1.00\ cal\ cm^{-3}\ ^\circ C^{-1}$ - suyun hacimsel ısı kapasitesi; θ - toprağın hacimsel nem ($cm^3\ cm^{-3}$) içeriği olmaktadır) formülünden kullanılarak belirlenmektedir. (3) ifadesinden görüldüğü gibi, kuru toprağın hacimsel ısı kapasitesiyle hacimsel ısı kapasitesi arasında doğrusal ilişki olmaktadır. Toprağın ısı geçirme özelliğini ve toprakta moleküler düzeyde enerji taşınımını karakterize eden ısı iletkenliği (λ , $watt\ m^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ veya $J\ m^{-1}\ sn^{-1}\ ^\circ C^{-1}$) ise aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır:

$$\lambda = a C_{h,t} \quad (4)$$

Toprak yüzeyinde sıcaklığın T_0 ortalama değerinden T_y değerine ani değişimi durumunda

$$T = T_0 + (T_y - T_0) \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \quad (5)$$

olmaktadır (Luikov, 1967; Luikov ve Mikhailov 1965; Isachenko ve ark. 1981; Kreith ve Black 1983; Ekberli ve ark. 2015; Gülser ve ark., 2019). (5) ifadesi, ısı iletkenliğinin $q = -\lambda \frac{dT}{dx}$ (6) olan Fourier (1822)

kuralında yerine konursa, herhangi toprak katmanındaki ($x = 0$) ısı akışı (q , $watt\ m^{-2}$ veya $J\ m^{-2}\ sn^{-1}$) için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$q = \frac{\lambda(T_y - T_0)}{\sqrt{\pi at}} \quad (7)$$

(3), (4) ve (7) ifadelerinden kullanılarak toprak katmanları için hesaplanan hacimsel ısı kapasitesi, ısı iletkenliği katsayısı ve ısı akışı değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3'de görüldüğü gibi, araştırma topraklarının yüzey horizonlarında ısı akışı daha fazla olup, 35.958-43.892 $watt\ m^{-2}$ arasında değişmektedir.

Alt toprak horizonlarında $T_y - T_0$ değerine bağlı olarak azalma eğilimi gözükmemekte ve yüzey horizonlardan aşağıya doğru ısı akışı gerçekleşmektedir.

Toprak derinliği, ayrı-ayrı profillerdeki ısı iletkenliği ve ısısal yayılım katsayılarının değişimi, zaman aralığı ısı akışına etki yapan temel faktörlerdir.

(7) ifadesinden de görüldüğü gibi, $T_y < T_0$ durumunda topraktaki ısı akışı alt horizonlardan yüzeye doğru gerçekleşmektedir.

Isı iletkenliği katsayısı ile toprağın hacimsel ısı kapasitesi arasında doğrusal ilişki olduğundan, hacimsel ısı kapasitesinin değişimi de ısı akışına etki yapmaktadır.

Vertisol ordosuna ait Typic Calcicustert, Chromic Hapluster ve Typic Hapluster toprak profillerinin anamateryale kadar olan solum katmanında ölçülen ısı akışı değerleri toprak derinliğindeki artışa bağlı olarak azalmaktadır.

Isı akışındaki bu azalma profili oluşturan horizonların özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Vertisol ordosundaki toprak profilinde ısı akışı değerlerinin özellikle toprakların tanecik çapı ve hacim ağırlığı değerleriyle ilişkili olduğu belirlenmiştir.

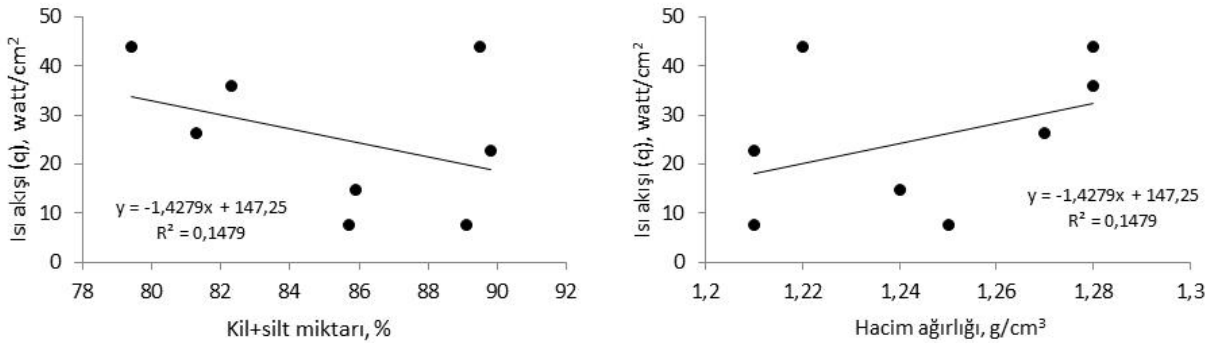
Toprak profillerinin solum katmanındaki (A+B horizonlarında) kil+silt içeriklerindeki artışla ısı akışı azalırken, hacim ağırlığı değerlerinin artışıyla ısı akışı değerleri artmıştır (Şekil 2).

Bu durum toprak profillerinde küçük çaplı taneciklerin (kil+silt) artışına bağlı olarak hacim ağırlığının azalışı ve toplam boşluk miktarının artması sonucu hacimsel ısı kapasitelerinin azalması, dolayısıyla hacimsel ısı kapasitelerinden hesaplanan ısı akış miktarlarının da azalmasıyla açıklanabilir.

Çizelge 3. Vertisol toprakların horizonlarındaki ısı akışı değerleri

Table 3. Heat flow values in the horizons of Vertisol soils

Horizon	Derinlik, cm	$C_{h,t}, J m^{-3} °C^{-1}$	$\lambda, watt m^{-1} °C^{-1}$	$q, watt m^{-2}$
<i>Typic Calcistert</i>				
Ap	0-27	$2.265 \cdot 10^6$	12.480	43.892
Bss	27-65	$2.299 \cdot 10^6$	20.599	26.424
2C	65-110	$2.261 \cdot 10^6$	19.829	10.284
<i>Chromic Haplustert</i>				
A	0-33	$2.173 \cdot 10^6$	14.320	43.910
Bss1	33-78	$2.253 \cdot 10^6$	21.404	22.665
Bss2	78-116	$2.198 \cdot 10^6$	14.661	7.629
<i>Typic Haplustert</i>				
Ap	0-22	$2.307 \cdot 10^6$	12.412	35.958
Bss1	22-73	$2.232 \cdot 10^6$	18.414	14.770
Bss2	73-107	$2.211 \cdot 10^6$	19.324	7.530



Şekil 2. Vertisol ordosuna ait toprakların solum katmanındaki horizonların kil+silt içerikleri ve hacim ağırlığı değerleri ile ısı akışı değerleri arasındaki ilişkiler

Figure 2. Relationships between clay + silt content and volume weight values and heat flow values of horizons in the breath layer of the lands of the Vertisol army

4. Sonuç

Toprakların hacimsel ısı kapasitesi, ısı iletkenliği ve ıssal yayılım katsayıları ısı akışının belirlenmesinde temel faktörlerdir. Toprak horizonlarında sıcaklığın oluşumu, ısı akışının değişimine bağlıdır. Araştırma topraklarının profillerindeki üst horizonlarda ısı akışı değerleri yüksek, alt horizonlarda ise azalma eğilimi göstermektedir. Profilin alt horizonlarında sıcaklık değişiminin dar bir aralıkta gerçekleşmesi ısı akışını da azaltmaktadır. Toprağın üst horizonlarındaki (Ap, A) ısı akışının değerlendirilmesi, yüzey ve atmosfer arasındaki ısı akışlarının kontrol edilmesinde yardımcı olabilir. Bitki gelişimi için önemli faktörler olan toprak sıcaklığının profil boyunca sönme derinliğinin ve gecikme zamanının (Ekberli ve Sarılar, 2015) değişimi de, toprak horizonlarında oluşan ısı akışına bağlı olmaktadır.

Şişme büzülme özelliğine sahip 2:1 tipi kil minerallerince zengin Vertisol ordosu toprakların profillerindeki ısı akışı horizonların kil içerikleri ile yakından ilişkili bulunmuştur. Toprak profilinde kil miktarının artışına bağlı olarak toplam boşluk miktarının artması, hacimsel ısı kapasitesinin azalmasına dolayısıyla horizonlar arasındaki ısı akışının da azalmasına neden olmaktadır. Bu durum toprak profilinde ısı değişimine karşı tamponlama kapasitesinin yüksek olmasına ve atmosferdeki anlık sıcaklık değişimlerinden Vertisol ordosundaki toprakların alt katmanlarının daha az etkilenmesine neden olmaktadır. Benzer çalışmalar farklı toprak ordolarının profillerindeki ısı akışlarının karşılaştırılması içinde yürütülebilir.

5. Kaynaklar

- Agam, N., Berliner, P.R., Zangvil, A., Ben-Dor, E., 2004. Soil water evaporation during the dry season in an arid zone. *Journal of Geophysical Research*, 109 (D16103).
- Agam, N., Kustas, W.P., Evett, S.R., Colaizzi, P.D., Cosh, M., McKee, L.G., 2012. Soil heat flux variability influenced by row direction in irrigated cotton. *Advances Water in Resources*, 50: 20–30.
- Arias-Penas, D., Castro-Garcia, M.P., Rey-Ronco, M.A., Alonso-Sanchez, T., 2015. Determining the thermal diffusivity of the ground based on subsoil temperatures. Preliminary results of an experimental geothermal borehole study Q-THERMIE-UNIOVI. *Geothermics*, 54: 35–42.
- 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 no 9(2nd ed), Madison.
- Bouyoucos, G.J., 1951. A Recalibration of Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agronomy Journal*. 43: 9.
- Brys, K., Brys, T., Sayegh, M.A., Ojrzynska, H., 2020. Characteristics of heat fluxes in subsurface shallow depth soil layer as a renewable thermal source for ground coupled heat pump. *Renewable Energy*, 146: 1846-1866.
- Chang, M., Liao, W., Wang, X., Zhang, Q., Chen, W., Wu, Z., Hu, Z., 2020. An optimal ensemble of the Noah-MP land surface model for simulating surface heat fluxes over a typical subtropical forest in South China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 281: 107815.
- 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., Sağlam, M., Sarioğlu, F.E., Saygın, F., Atasoy, Ç., 2012. Morphological and Physico-Chemical Characteristics and Classification of Vertisol Developed on Deltaic Plain. *Open Journal of Soil Science*, 2; 20-27.
- Dengiz, O., Ekberli İ., 2017. Bazı vertisol alt grup topraklarının fizikokimyasal ve ıssal özelliklerinin incelenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6(1): 45-52.
- Diñç, U., Şenol, S., Kapur, S., Cangir, C., Atalay, İ., 2001. Türkiye Toprakları. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 51. Ders Kitapları Yayın No: A-12. Adana.
- Diñç, U., Şenol, S., Sarı, M., Yesilsoy, Ş., Kaya, Z., Özbek, H., Sayın, M., Çolak, A.k., Yeğingil, I., 1986. Harran Ovası Toprakları. Güneydoğu Anadolu Projesi, Tarımsal Kalkınma Simpozyumu, Ankara.
- Ekberli, İ., Dengiz, O., 2016. Bazı inceptisol ve entisol alt grup topraklarının fizikokimyasal özellikleriyle ıssal 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., 2015. İki boyutlu ısı iletkenliği denkleminin bağlı olarak toprak sıcaklığının matematiksel modellenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30(3): 287-291.
- 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 Fakültesi Dergisi*, 52 (2):219-225.

- Evett 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 Water in Resources*, 50: 41–54.
- Florentin, A., Agam, N., 2017. Estimating non-rainfall-water-inputs-derived latent heat flux with turbulence-based methods. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247: 533–540.
- Fourier, J.B.J., 1822. *Théorie analytique de la chaleur* (The Analytical Theory of Heat). Paris, 676 p.
- Garratti, J.R., 1994. *The Atmospheric Boundary Layer*. Cambridge University Press, 314 p.
- Geiger, R., Aron, R.H., Todhunter, P., 2003. *The Climate Near the Ground* (6-th Edit). Rowman & Littlefield Publishers, Oxford, 584 p.
- Gülser, C., Ekberli, İ., 2019. Toprak sıcaklığının tahmininde ısı taşınım denklemi ve pedotransfer fonksiyonunun 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 yayınma 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.
- Hedayati-Dezfooli, M., Leong, W.H., 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.
- Heusinkveld, B.G., Jacobs, A.F.G., Holtslag, A.A.M., Berkowicz, S.M., 2004. Surface energy balance closure in an arid region: role of soil heat flux. *Agricultural and Forest Meteorology*, 122: 21-37.
- Hilel D (2004). *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier Academic Press, USA, pp. 215-233.
- Iden, S.C., Blocher, J.R., Diamantopoulos, E.D., 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.
- İsachenko, V.P., Osipova, V.A., Sukomel, A.S., 1981. *Heat transfer* (in Russian). Energoizdat Press, Moscow, 417 p.
- Jackson, M.L., 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 498 p.
- Ji, X.B., Kang, E.S., Zhao, W.Z., Zhang, Z.H., Jin, B.W., 2009. Simulation of heat and water transfer in a surface irrigated, cropped sandy soil. *Agricultural Water Management*, 96: 1010-1020.
- Kader, M.A., Nakamura, K., Senge, M., Mojid, M.A., Kawashima, S., 2019. Numerical simulation of water- and heat-flow regimes of mulched soil in rain-fed soybean field in central Japan. *Soil & Tillage Research*, 191:142-155.
- Kreith, F., Black, W.Z., 1983. *Basic Heat Transfer* (in Russian). Press Mir, Moscow, 512 p.
- Kustas, W.P., Prueger, J.H., Hatfield, J.L., Ramalingam, K., Hipps, L.E., 2000. Variability in soil heat flux from a mesquite dune site. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103: 249–264.
- Li, Y., Kustas, W.P., Huang, C., Kool, D., Haghghi, 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.
- Luikov, A.V., 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.
- 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.
- Ochsner T.E., Sauer, T.J., 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, L.A. (Editor), 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 60, 159 p.
- Sauer, T.J., Horton, R., 2005. Soil heat flux. In: Hatfield, J.L., Baker, J.M. (Eds.), *Micrometeorology in Agricultural Systems*. Agronomy Monograph No. 47. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 131–154.
- 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.
- 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.
- Stull, R.B., 1988. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers, 666 p.

- 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.
- Vogel, T., Dohnal, M., Votrubova, J., 2011. Modeling heat fluxes in macroporous soil under sparse young forest of temperate humid climate. *Journal of Hydrology*, 402: 367-376.
- Yao, Y., Zhang, Y., Liu, Q., Liu, S., Jia, K., Zhang, X., Xu, Z., Xu, T., Chen, J., Fisher, J.B., 2019. Evaluation of a satellite-derived model parameterized by three soil moisture constraints to estimate terrestrial latent heat flux in the Heihe River basin of Northwest China. *Science of the Total Environment*, 695: 133787.
- Yakupoğlu, T., Sarıoğlu, F.E., Dengiz, O., 2010. Morphology, Physico-Chemical Characteristics and Classification of Two Vertisols in Bafra and Çarşamba Delta Plains. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 25 (S-1): 67-73.
- Zhao, Y., Peth, S., Horn, R., Krummelbein, J., Ketzer, B., Gao, Y., Doerner, J., Bernhofer, C., Peng, X., 2010. Modeling grazing effects on coupled water and heat fluxes in Inner Mongolia grassland. *Soil & Tillage Research*, 109: 75-86.