

Bazı Inceptisol ve Entisol Alt Grup Topraklarının Fizikokimyasal Özellikleriyle Isısal Yayınım Katsayısı Arasındaki Regresyon İlişkilerin Belirlenmesi

İmanverdi EKBERLİ

Orhan DENGİZ*

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

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

Geliş tarihi (Received) : 28.03.2016

Kabul tarihi (Accepted) : 05.09.2016

Öz

Toprak oluşumu süreçlerine, toprak özelliklerinin değişimine, bitki gelişimine vb. önemli düzeyde etki yapan toprak sıcaklığı, profil içerisindeki dağılımı toprağın termal özelliklerine bağlıdır. Bu çalışmada, Inceptisol ve Entisol toprakların bazı fiziksel, kimyasal ve termal özellikleri incelenmiştir. Vertic Haplustept toprakta ortalama günlük sıcaklık 15,1-26,7 °C, Typic Haplustept toprakta ise 13,4-23,9 °C arasında değişmektedir. Amplitüt değerleri ise maksimum ve ortalama günlük sıcaklığa bağlı olarak alt horizonlara doğru azalmakta ve 1,2-9,2 °C - 0,6-5,8 °C aralığında değişmektedir. Typic Ustifluent, Mollic Ustifluent-1, Mollic Ustifluent-2 topraklarında günlük ortalama sıcaklık değerleri uygun olarak 16,8-24,8 °C; 16,6-28,8 °C; 16,5-26,7 °C, amplitüt değerleri ise sırasıyla 1,5-7,8°C; 2,2-8,2 °C ve 1,5-6,7 °C aralıklarında belirlenmiştir. Isısal yayınım katsayısı alt horizonlara doğru genellikle artış göstermektedir. Inceptisol (Vertic Haplustept ve Typic Haplustept) topraklarında ısısal yayınım katsayısı $5,52 \cdot 10^{-6}$ - $8,76 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{sn}^{-1}$; $6,17 \cdot 10^{-6}$ - $9,36 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{sn}^{-1}$ aralığında saptanmıştır. Typic Ustifluent toprakta ısısal yayınım katsayısı ise düşük olup, $1,71 \cdot 10^{-6}$ - $1,96 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{sn}^{-1}$ arasında olmaktadır. Mollic Ustifluent-1 ve Mollic Ustifluent-2 topraklarında ise ısısal yayınım katsayısı uygun olarak, $4,45 \cdot 10^{-6}$ - $8,20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{sn}^{-1}$ ve $1,50 \cdot 10^{-6}$ - $6,48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{sn}^{-1}$ aralıklarında elde edilmiştir. Inceptisol ve Entisol toprakların ısısal yayınım katsayısı ile tarla kapasitesi arasındaki ilişki $p < 0,01$ ihtimal düzeyinde önemli olarak bulunmuştur ($p=0,014$; $R=0,68$). Organik madde, kil ve kum arasındaki ilişki ise sırasıyla $p < 0,05$ ($p=0,031$; $R=-0,62$), $p < 0,01$ ($p=0,005$; $R=0,75$), $p < 0,01$ ($p=0,008$; $R=0,72$) ihtimal düzeyinde önemli olarak saptanmıştır. Isısal yayınım katsayısı ile tarla kapasitesi, organik madde, kil, kum özellikleri arasında doğrusal ($R^2=0,79$) ve doğrusal olmayan ($R^2=0,51-0,81$) regresyon ilişkileri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Amplitüt, ısısal yayınım, inceptisol ve entisol toprak, regresyon ilişkiler, toprak sıcaklığı

Determination of Regression Relationship between Physico-chemical Properties and Thermal Diffusion Coefficient of some Inceptisol and Entisol Sub Group Soils

Abstract

Diffusion of soil temperature on soil horizons which effects significantly on soil formation processes, plant growing, variation of soil properties etc. depends on soil thermal properties. In this study, some physical, chemical and thermal properties of Inceptisol and Entisol were investigated. Daily mean

temperature value of Vertic Haplustept was determined between 15.1-26.7 °C while, daily mean temperature changes between 13.4-23.9 °C for Typic Haplustept. Amplitude values depending on maximum and mean daily temperature decrease along with increasing soil depth and vary between 1.2-9.2 °C and 0.6-5.8 °C. Daily mean temperature values of Typic Ustifluent, Mollic Ustifluent, Mollic Ustifluent were found 16.8-24.8 °C; 16.6-28.8 °C; 16.5-26.7 °C and their amplitude values are 1.5-7.8 °C; 2.2-8.2 °C and 1.5-6.7 °C, respectively. In addition in generally thermal diffusion coefficient value showed increasing with increasing soil depth. In Inceptisol (Vertic Haplustept and Typic Haplustept), thermal diffusion coefficient values were determined between $5.52 \cdot 10^{-6}$ - $8.76 \cdot 10^{-6}$ $m^2 \cdot sn^{-1}$; $6.17 \cdot 10^{-6}$ - $9.36 \cdot 10^{-6}$ $m^2 \cdot sn^{-1}$. In Entisol, thermal diffusion coefficient of Typic Ustifluent was found low value whereas, thermal diffusion coefficient values of Mollic Ustifluent, Mollic Ustifluent varies $4.45 \cdot 10^{-6}$ - $8.20 \cdot 10^{-6}$ $m^2 \cdot sn^{-1}$ and $1.50 \cdot 10^{-6}$ - $6.48 \cdot 10^{-6}$ $m^2 \cdot sn^{-1}$. Relationships between thermal diffusion coefficient and field capacity in Entisol and Inceptisol were significantly found as statistical $p < 0.01$ ($p = 0.014$; $R = 0.68$). Moreover, it was determined significantly relationship between organic matter, clay and sand as statistically $p < 0.05$ ($p = 0.031$; $R = -0.62$), $p < 0.01$ ($p = 0.005$; $R = 0.75$), $p < 0.01$ ($p = 0.008$; $R = -0.72$). In addition to that, it was detected between thermal diffusion coefficient and between organic matter, clay and sand linear ($R^2 = 0.79$) and nonlinear ($R^2 = 0.51$ - 0.81) regressions

Key Words: Amplitude, thermal diffusion, inceptisol and entisol, regression equation, soil temperature

GİRİŞ

Toprak sıcaklığı, toprak oluşum süreçlerine ve özelliklerine, bitki büyümesine ve gelişimine önemli düzeyde etki yapan faktörlerden biridir. Jenny (1980), iklimin bir ögesi olarak sıcaklığı bağımsız bir toprak yapan faktör olarak belirtmiştir. Sıcaklık, toprak oluşumu ile ilgili birçok reaksiyonlara değişik yoğunluk ve hızda etki yapmaktadır. Van't Hoff'un sıcaklık kuralına göre, sıcaklıktaki her 10°C lik bir yükselme, kimyasal reaksiyonun hızını iki veya üç misli arttırır. Yeryüzünün değişik yerlerindeki sıcaklık farkları, toprakta meydana gelen kimyasal olayların hızını etkileyerek toprak oluşumunu dolaylı biçimde yönlendirir (Tanju, 1996). Sıcaklığın toprak oluşumunda yapmış olduğu en önemli rolünden bir tanesi evapotranspirasyonun ve etkili yağış miktarının üzerine yapmış olduğu etkidir. Sıcaklık, bir bölgedeki vejetasyon tipi ve miktarı üzerine ve dolayısıyla oluşan humus tipi ve miktarı üzerine etkilidir. Sıcaklık derecesi arttıkça topraktaki organik madde ve dolayısıyla azot miktarı artan mikroorganizma etkinliği yüzünden azalmaktadır. Bunun tipik örneği tropiklerdeki Laterit topraklardır. Yoğun vejetasyona karşın, mineralizasyonunun çok yüksek oluşu toprakta organik maddenin tutunmasını engellemektedir. Bu arada açığa çıkan bazik elementlerin etkisi ile oluşan pH yükselmesi, SiO₂ yıkanmasına neden olduğundan, SiO₂/R₂O₃ oran 2' den azdır. Daha serin bölgelerdeki Podzol ve Podzolik topraklarda bu durum aksine bir gelişme göstermektedir (Dinç vd., 1987).

Toprak yüzeyinde ve aşağı katmanlardaki sıcaklığın günlük ve yıllık değişimi, toprak özellikleri ile birlikte toprakların termal özelliklerine, dolayısıyla ısısal yayınıma önemli düzeyde bağlı olmaktadır (Gao vd., 2007; Onder vd., 2013; Ekberli ve Sarılar, 2015). Tikhonravova (2007) tarafından, tuz miktarı arttıkça, killi tınlı bünyeye sahip topraklarda ısısal yayınının artış göstermesi, nemin artması (≤ 40) durumunda ise tuzlu ve tuzsuz toprakların ısısal yayınım katsayıları arasındaki farkın azalması, % 35-40 nem durumunda da yaklaşık olarak aynı olması gösterilmiştir. Gri orman topraklarında özgül ağırlık arttıkça, ısısal yayınım katsayısı da artmaktadır. Tarım makinelerinin etkisiyle pulluk katmanının sıkışması durumunda, % 26'ya kadar olan toprak neminde ısısal yayınım katsayısı azalmakta, % 26'dan fazla nem durumunda ise artmaktadır (Arhangel'skaya, 2004). Tikhonravova ve Khitrov (2003), vertisol topraklarda ısısal yayınım 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 ilişkileri elde etmişlerdir. Isısal yayınım, toprak derinliği, nem içeriği, zaman ve sıcaklık değişimine de önemli düzeyde bağlı olmaktadır (Hinkel, 1997). Correia vd., (2012), ısısal yayınının jeolojik oluşum süreçlerinde önemli faktör olduğunu, 26 m toprak derinliğinde ısısal yayınının $1,1 \cdot 10^{-6}$ $m^2 \cdot sn^{-1}$ ile $1,6 \cdot 10^{-6}$ $m^2 \cdot sn^{-1}$ (veya $0,011$ - $0,016$ $cm^2 \cdot sn^{-1}$) arasında değiştiğini göstermişlerdir.

Isı taşınımı denkleminin farklı başlangıç ve sınır koşullarındaki çözümüne bağlı olarak, ısısal yayılım katsayısının farklı yöntemlerle hesaplanması mümkün olmaktadır (Passerat de Silans vd., 1996). Verhoef vd., (1996), ısı iletkenliği denkleminin çözümünü göz önüne alarak, ısısal yayılım katsayısını belirlemek için beş yöntem (amplitüt, faz, arktanjans, logaritmik, harmonik denklemler) kullanmışlar, amplitüt ve harmonik denklemlerin daha güvenilir sonuç verdiğini göstermişlerdir. Toprak yüzeyi ısı akışının tahmin edilmesinde de ısısal yayılım önemli bir faktördür. Isısal yayılım toprak yüzeyi ısı akışının, dolayısıyla yüzey enerji dengesinin oluşumuna, hidrolojik, ekolojik ve atmosferik süreçlerle beraber etki yapmaktadır (Wang ve Bou-Zeid, 2012). Usowicz vd., (1996) tarafından, 4x430 m alanda yapılan araştırmada, toprağın termal özelliklerinin değişimi klasik istatistik ve jeostatistik yöntemlerle analiz edilmiş, hacim ağırlığı ve su içeriğinin ısısal yayıma belirgin bir etkisi olduğu gösterilmiştir. Toprakların ısısal yayılım katsayısı ısı iletkenliğiyle doğrusal, hacimsel ısı kapasitesiyle ters orantılıdır. Toprakların ısısal yayılım katsayısı yüksek olduğunda, günlük ve yıllık sıcaklık dalgaları toprak derinliğine daha fazla etki yapmakta ve aşağı katmanlarda sıcaklığın gecikmesi azalmaktadır. Ekberli ve Sarılar (2015) tarafından yapılan bir araştırmada, Samsun'un Çarşamba ilçesinde, çim örtüsü ile kaplı ve şeftali bahçesinde ağaçların gölgeleme yaptığı farklı iki alanda sıcaklık değerlerine bağlı olarak ısısal yayılım katsayısı belirlenmiştir.

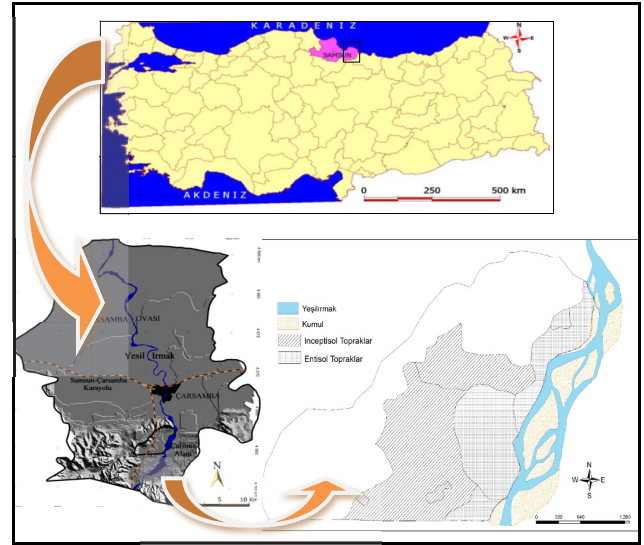
Toprak sıcaklığı değerlerine göre belirlenmesi mümkün olan ısısal yayılım, bitki büyüme mikro iklimasını da etkilemektedir (Ghuman ve Lal, 1985). Bazı araştırmalarda ölçülen toprak sıcaklığına bağlı olarak ısı özellikleri parametreleri ve toprak profili boyunca sıcaklığın tahmin edilmesi incelenmiştir (Trombotto ve Borzotta, 2009; Gülser ve Ekberli, 2002; 2004; Ekberli ve Gülser, 2014; Ekberli vd., 2015)

Toprak sıcaklığı aynı zamanda toprakların ölçülebilen ve gözlenebilen özellikleri esas alınarak yapılan morfometrik sınıflandırılmasında önemli bir faktör olup, özellikle alt ordo, büyük grup ve aile düzeylerindeki kategorik ayrımlarda kullanılmasında göz önünde bulundurulmuş önemli bir faktördür. Bu çalışmanın amacı, Samsun'un Çarşamba ilçesine bağlı Sefalı, Bölmepinar ve Yenikişla köylerinin yer aldığı ve Yeşilirmak nehrinin getirmiş olduğu alüvyal depositler üzerinde oluşmuş Entisol ve Inceptisol toprakların i) bazı fiziksel, kimyasal ve ısısal

yayılım özelliklerinin incelenmesi ve ii) ısısal yayımla bazı toprak özellikleri arasında regresyon ilişkilerinin belirlenmesidir.

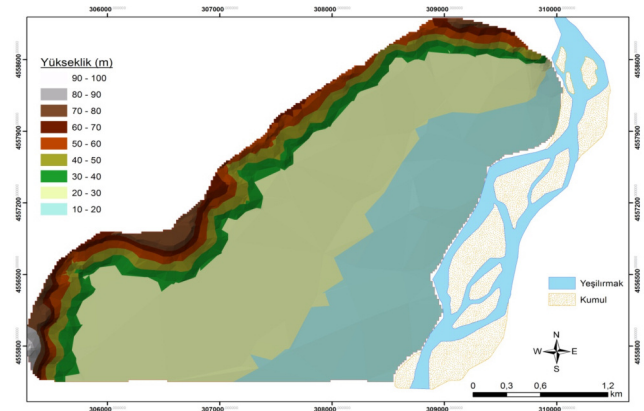
MATERYAL VE YÖNTEM.

Çalışma alanı Çarşamba ilçesine yaklaşık 5 km ve Samsun iline ise 44 km mesafede bulunmaktadır. Entisol ve Inceptisol toprakların toplam alanı 492,9 ha olup, 305500-311000 m D ve 4555500-4558500 K (UTM, m) koordinatları arasında, Yeşilirmak Nehri'nin ise sol sahilinde yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanına ait lokasyon haritası
Figure 1. Location map of the study area

Çalışma alanı üç farklı fizyografik üniteye sahip olup yamaç, etek ve taban (genç ve eski teras) arazilerden oluşmakta ve yükselti haritasına göre nispeten taban arazide deniz seviyesinden yükseklik 5-10 m arasında değişim gösterirken, kuzey ve kuzey batı yönlerindeki yükseklik artışı ile 100 m'ye çıkmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı yükselti haritası
Figure 2. Elevation map of the study area

Çalışma alanın büyük bir kısmını oluşturan taban araziler % 0-2 arasında düz düze yakın araziler oluştururken, eğim kuzey batı yönünde artmakta ve kademeli olarak % 2 ile % 20 arasında değişim göstermektedir. Yamaç araziler marn ana materyal üzerinde, etek araziler kolüviyal ana materyal üzerinde yer almaktadır. Teras araziler ise Yeşilirmak'ın zamanla taşıdığı aluviyal depozitler üzerinde bulunmaktadır.

Çalışma alanının yıllık ortalama sıcaklığı 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 (Xeric nem rejiminden farklı) nedeniyle toprak nem rejimi ustic olarak belirlenmiştir. Araştırma alanının sıcaklık rejimi; yıllık ortalama toprak sıcaklığı 8 °C'den fazla, 15 °C'den az ve 50 cm'deki yıllık ortalama kış ayları toprak sıcaklığı ile yıllık ortalama yaz ayları toprak sıcaklığı arasındaki fark 6 °C den fazla olduğu için mesic sıcaklık rejimi olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanında yer incelenen 5 adet toprak profilinde, genetik horizon esasına göre morfolojik tanımlamalar yapılmış ve bozulmuş, bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Alınan toprak örnekleri fiziksel ve kimyasal analizler için laboratuara getirilmiştir. Arazide toprakların morfolojik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dikkate alınacak kriterler, örneklemeler ve sınıflandırma için Soil Survey Staff (1993; 1999) kullanılmıştır. Alınan örneklerde fiziksel ve kimyasal analizler olarak; Bünye: Hidrometre yöntemi kullanılarak (Bouyoucous, 1951), Tarla kapasitesi: Seramik gözenekler üzerine yerleştirilmiş örneklerin suyla doygun 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). Entisol ve Inceptisol

toprakların çalışma alanı içerisinde dağılım alanları Şekil 1' de gösterilmiştir. Arazide her profile ait horizonlarda civalı cam termometre ile (Sterling ve Jaskson, 1986) toprak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

Ölçülen sıcaklık değerlerinden kullanılarak, toprağın katmanındaki ısısal yayılım katsayısı eşitlik 1' e göre hesaplanmıştır.

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

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

$$w = 2\pi / P = \frac{6,28}{86400sn} \approx 0.0000727sn^{-1} \text{ -açısal}$$

frekansdır (Trombotto ve Borzotta, 2009; Correia vd., 2012; Arias-Penas vd, 2015). İstatistik hesaplamalar için MINİTAB-32 paket programından yararlanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırma Topraklarının Sınıflaması, Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Çalışma alanı toprakları % 0,0-0,2 eğime sahip taban arazilerde yayılım gösteren Yeşilirmak'ın biriktirmiş olduğu alüvyon depozitler üzerinde oluşmuşlardır. Arazide yapılan morfolojik çalışmaların yanı sıra laboratuvar analiz sonuçları dikkate alınarak Toprak Taksonomisine (Soil Survey Staff, 1999) göre dört alt grup içerisinde sınıflandırılmıştır. Çalışma alanı topraklarının toprak taksonomisine göre sınıflandırılması, toprakların pedogenetik özellikleri ile üst tanı horizonları (epipedon) ve bunların altında bulunan yüzey altı tanı horizonları ve özelliklerine göre yapılmıştır. Toprakların oluşum süreci sonrası oluşan bazı yüzey üstü ve yüzey altı tanı horizonları saptanmış ve bunlar Entisol ve Inceptisol ordolarına yerleştirilmiştir

Toprak profil numaraları 1, 2 ve 3 no' lu profiller zayıf profil gelişim göstermeleri sonucu Entisol ordosunda sınıflandırılmıştır. Profiller akarsuyla taşınmış fluventik materyal üzerinde yer almaları nedeniyle Fluvent altodosuna, Ustik nem rejimlerinden dolayı Ustifluent büyük grubuna dahil edilmişlerdir. 1 nolu toprak büyük gruplarının tüm özelliklerini içermeleri nedeniyle Typic Ustifluent alt grubuna sınıflandırılırken, 2 ve 3 no' lu profiller yüzeyde mollic özellik bulunmasından dolayı (özellikle renk 10 YR 3/3, kuru ve 10 YR 3/2, nemli) Mollic Ustifluent alt grubuna dahil edilmiştir.

Profil numaraları 4 ve 5 olan topraklar cambic yüzey altı horizon içermeleri nedeniyle Inceptisol ordosuna, ustic nem rejimleri nedeniyle Ustep alt ordosuna, Haplustept büyük grubuna dahil edilmiştir. 4 nolu profil yüzeyde vertic özellikler göstermesi nedeniyle Vertic Haplustept alt grubuna, 5 nolu profil is büyük grubun tüm özelliklerin taşınması nedeniyle Typic Haplustept dahil edilmiştir.

Inceptisol topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1’de gösterilmiştir. Inceptisol toprakların EC değerleri düşük olup 0,01 ile 0,06 dS m⁻¹ arasında değişmektedir. Bünye Vertic Haplustept ve Typic Haplustept toprakların genetik horizonlarında killi olup, kil içeriği % 39 ile 71,8 arasında değişmektedir. Toprakların bünye dağılımı su tutma özelliği ile yakından ilişkili olup, kil içeriği yüksek horizonlarda tarla kapasitesinin değeri yüksek olmaktadır. Tarla kapasitesi Typic Haplustept topraklarda daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Entisol topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Çizelge 2’de verilmiştir. Toprakların EC değerleri 0,03 ile 0,19 dS m⁻¹ arasında değişmektedir.

Organik madde her iki toprakta yüzeyde yüksek miktarda iken (> % 3,0) bu değer derinlik artışına bağlı olarak azalma göstermektedir. Toprakların hacim ağırlığı çok değişkenlik gösterip 1,19 ile 1,55 g cm⁻³ arasında değişmektedir.

Toprakların bünye dağılımları, Typic Ustifluent olarak tanımlanan profil 4 ile Mollic Ustifluent olarak tanımlanan profil 8’ de tınlı bünyeye sahiptir. Mollic Ustifluent sınıflandırılan 5 no’ lu profilin yüzey toprağı kumlu tın, yüzey altı horizon ise siltli killidir. Toprakların kum içeriklerinin yüksek oluşu hacim ağırlıklarının yüksek, buna karşın su tutma kapasitelerinin düşük olmasına neden olmaktadır.

Çizelge 1. Inceptisol toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1. Some physical and chemical properties of the Inceptisol

Horizon	Derinlik cm	EC dS m ⁻¹	OM %	Bünye			Sınıf	H.A g cm ⁻³	W %
				Kil %	Silt %	Kum %			
Vertic Haplustept									
Ap	0-23	0,06	3,93	69,3	19,5	11,2	C	1,22	36,2
Bw1	23-58	0,08	2,49	64,5	28,0	7,5	C	1,19	37,7
Bw2	58-90	0,04	1,65	39,0	36,2	24,8	C	1,39	27,0
C1	90+	0,11	1,01	21,8	31,3	46,9	SL	1,55	16,7
Typic Haplustept									
Ap	0-30	0,01	3,15	40,9	29,6	29,5	C	1,35	28,2
Bw1	30-64	0,01	3,08	67,1	22,5	10,4	C	1,22	36,7
Bw2	64-107	0,07	1,38	71,8	19,6	8,6	C	1,20	38,3
C	107+	0,03	0,35	64,8	23,9	11,2	C	1,21	38,7

EC: Elektriksel iletkenlik OM: Organik madde, HA: Hacim ağırlığı, W: Tarla kapasitesi

Çizelge 2. Entisol toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 2. Some physical and chemical properties of the Entisol

Horizon	Derinlik cm	EC dS m ⁻¹	OM %	Bünye			Sınıf	HA g cm ⁻³	W %
				Kil %	Silt %	Kum %			
Typic Ustifluent									
Ap	0-18	0,08	3,96	21,6	45,5	32,8	L	1,31	23,8
A2	18-37	0,11	2,47	17,7	37,4	44,9	L	1,44	18,1
C	37+	0,13	1,01	7,1	10,6	82,3	LS	1,52	6,9
Mollic Ustifluent-1									
Ap	0-21	0,11	4,17	19,8	21,1	59,1	SL	1,38	19,1
A2	21-55	0,06	2,85	43,9	42,6	13,5	SiC	1,27	31,8
C	55+	-	-	-	-	-	-	-	-
Mollic Ustifluent-2									
A	0-15	0,03	5,20	Kil	Silt	Kum	L	1,25	26,9
C1	15-47	0,19	1,47	26,0	37,7	36,3	L	1,49	19,1
C2	47+	-	-	21,8	43,4	34,8	-	-	-

EC: Elektriksel iletkenlik OM: Organik madde, HA: Hacim ağırlığı, W: Tarla kapasitesi

Araştırma Alanı Topraklarının Bazı Termal Özellikleri

Çalışma alanında yer alan toprak horizonlarında ölçülen sıcaklık değerlerine bağlı olarak, horizonlardaki amplitüt ve ısısal yayılım katsayıları, sırasıyla $A=T_m-T_{ort}$. (T_m =horizondaki maksimum; T_{ort} =ortalama sıcaklıktır) ve eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

Inceptisol topraklarının bazı termal özellikleri Çizelge 3'de gösterilmiştir. Çizelge 3'den görüldüğü gibi, inceptisol topraklarda en düşük maksimum ve minimum sıcaklık sırasıyla 14,4 °C ve 10,7 °C olup, Typic Haplustept toprağın Bw2 (64-107 cm) horizonunda; en yüksek maksimum ve minimum sıcaklık değerleri ise (uygun olarak 35,9 °C ve 20,5 °C) Vertic Haplustept toprağın yüzeyinde saptanmıştır. Ortalama günlük sıcaklık durumu ise, Vertic Haplustept toprağın yüzeyinde en yüksek (26,7 °C); Typic Haplustept toprağın C (107+ cm) ana materyalinde en düşük (13,4 °C) olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın horizonlardaki değişimi, maksimum ve ortalama sıcaklıklarda daha fazla olmaktadır.

Entisol topraklarının bazı termal özellikleri Çizelge 4'de verilmiştir. Entisol topraklarda en düşük (16,5 °C) ortalama günlük sıcaklık Mollic Ustifluent olarak sınıflandırılan profil 3'e ait olan C2 (47+ cm) horizonunda belirlenirken, en yüksek ortalama günlük sıcaklık ise profil 2'in yüzeyinde tespit edilmiştir. Maksimum sıcaklıkta en düşük (18,6 °C) değer Typic fluvent toprağın A2 (18-37 cm) horizonunda, en yüksek değer (37,0 °C) değer ise Mollic Ustifluent (profil 2) yüzeyinde belirlenmiştir. Minimum sıcaklık değerlerinde en düşük (12,5 °C) sıcaklık değeri Typic Ustifluent'in A2 (18-37 cm) horizonunda, en yüksek değer (24,5 °C) ise Mollic Ustifluent'in yüzeyinde

saptanmıştır. Entisol topraklarda da ortalama günlük, maksimum ve minimum sıcaklık değerlerindeki değişim yukarı horizonlarda fazla, aşağı horizonlarda ise çok düşük olmaktadır.

Toprak katmanlarındaki sıcaklık dalgalarının amplitütü, teorik olarak toprak derinliği boyunca eksponiyonal olarak azalmaktadır. Eğer derinlik aritmetik olarak artarsa, amplitüt geometrik olarak azalmaktadır. Toprak özellikleriyle beraber, toprak katmanlarının ortalama ve maksimum sıcaklığı amplitütü önemli düzeyde etkilemektedir. Inceptisol toprakların Vertic Haplustept toprakların amplitüt değerleri yüksek olup, 1,2-9,2 °C; Typic Haplustept topraklarda ise düşük olup 0,6-5,8 °C arasında değişmektedir. Entisol topraklarda ise amplitüt değerleri 1,5-7,8 °C arasında saptanmıştır (Çizelge 3 ve 4). Toprakların alt horizonlarında ortalama sıcaklığın ve zamana göre sıcaklık değişiminin düşük olması, amplitütün azalmasına neden olan önemli faktörlerdir.

Inceptisol toprakların ısısal yayılım katsayısı yüksek olup, Vertic Haplustept olarak sınıflandırılan toprak profilinde $5,52 \cdot 10^{-6}$ - $8,76 \cdot 10^{-6}$ m^2sn^{-1} arasında, Typic Haplustept olarak sınıflandırılan toprak profilinde ise $6,17 \cdot 10^{-6}$ - $9,36 \cdot 10^{-6}$ m^2sn^{-1} aralığında değişmektedir. Vertic Haplustept sınıfındaki toprakların Bw1 (23-58 cm) horizonunda tarla kapasitesinin fazla (% 37,7) olması, ısısal yayılımın da yüksek olmasına etki yapmaktadır. Bw2 (58-90 cm) horizonunda tarla kapasitesinin az, hacim ağırlığının ise fazla olmasından dolayı, Ap horizonu ile karşılaştırıldığında ısısal yayılım nispeten yüksek bulunmuştur. Üst horizonlarda kil

Çizelge 3. Inceptisol toprakların sıcaklık (°C), amplitüt (°C) ve ısısal yayılım (m^2sn^{-1}) değerleri

Table 3. Temperature (°C), amplitude (°C) and thermal diffusion (m^2sn^{-1}) values of Inceptisol

Horizon	Derinlik cm	Sıcaklık (°C)			Ai/Ai+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		

Çizelge 4. Entisol toprakların sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), amplitüt ($^{\circ}\text{C}$) ve ısısal yayılım (m^2sn^{-1}) değerleri

Table 4. Temperature ($^{\circ}\text{C}$), amplitude ($^{\circ}\text{C}$) and thermal diffusion (m^2sn^{-1}) values of Entisol

Horizon	Derinlik, cm	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)			A_i/A_{i+1}	a
		Minimum	Maksimum	Ortalama		
<i>Typic Ustifluent</i>						
	0	19,5	32,6	24,8	7,8	
Ap	0-18	13,0	20,4	17,0	7,8/3,4	$1,71 \cdot 10^{-6}$
A2	18-37	12,5	18,6	17,1	3,4/1,5	$1,96 \cdot 10^{-6}$
C	37+			16,8		
<i>Mollic Ustifluent-1</i>						
	0	24,5	37,0	28,8	8,2	
Ap	0-21	13,7	20,6	16,1	8,2/4,5	$4,45 \cdot 10^{-6}$
A2	21-55	13,9	18,8	16,6	4,5/2,2	$8,20 \cdot 10^{-6}$
C	55+					
<i>Mollic Ustifluent-2</i>						
	0	20,1	33,4	26,7	6,7	
A	0-15	14,8	21,2	18,0	6,7/3,2	$1,50 \cdot 10^{-6}$
C1	15-47	13,5	18,9	17,4	3,2/1,5	$6,48 \cdot 10^{-6}$
C2	47+			16,5		

miktarının fazla olması, ısısal yayılımın artışının nedenlerinden biri olmaktadır. Organik maddenin fazla bulunduğu Ap (0-23 cm) horizonunda ısısal yayılım katsayısı düşük ($5,52 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$) bulunmuştur. EC değerlerinin düşük aralıkta değişiminin, ısısal yayılımın değişimine etki yapmadığı söz konusu olabilir. Isısal yayılım toprağın pulluk tabakası (Ap horizonu) dışındaki diğer horizonlarda, nem içeriği tarla kapasitesindeyken daha yüksek değerler almakta, fakat doygunluk noktasında ise daha düşük değerlere ulaşmaktadır (Kurtener, Chudnovskii, 1979; Voronin, 1986; Ekberli vd., 2005). Typic Haplustept topraklarda tarla kapasitesi (% 38,3) ve kil içeriği (% 71,8) yüksek olması nedeniyle, ısısal yayılım da yüksek ($9,36 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$) olarak belirlenmiştir. Yine bu topraklardaki Ap (0-30 cm) horizonunda organik madde içeriğinin yüksek olmasına karşın, ısısal yayılım ise diğer katmanlarla karşılaştırıldığında düşük ($6,17 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$) olmaktadır. Yüzey altı horizonlarda derinlik artışıyla beraber amplitütün azalması, kil miktarının artması, hacim ağırlığının düşük değişimi, organik maddenin ise azalması, ısısal yayılımın artmasına etki yapan faktörlerdendir.

Entisol toprakların Typic Ustifluent'in Ap (0-18 cm) ve A2 (18-37 cm) horizonlarında tarla kapasitesi ve kil miktarının düşük, organik madde miktarının fazla olması nedeniyle ısısal yayılım düşük ($1,70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ ve $1,96 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{sn}^{-1}$) olarak belirlenmiştir. Ayrıca hacim ağırlığının artışı da ısısal yayılımın artışına etki yapmaktadır. Mollic Ustifluent olarak sınıflandırılan topraklarda ise alt horizonlara doğru

tarla kapasitesindeki önemli artış, ısısal yayılımın da artışına neden olabilmektedir. Dolayısıyla, Mollic Ustifluent olarak sınıflandırılan 2 nolu profile ait toprakların A2 (21-55) horizonunda ısısal yayılım, Ap (0-21 cm) horizonu ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu ($8,20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$) bulunmuştur. Profil 3'ün (Mollic Ustifluent) A (0-15 cm) horizonunda organik madde yüksek, ısısal yayılım katsayısı ise düşük ($1,50 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$) olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, C1 (15-47 cm) horizonunda ise, organik madde düşük, ısısal yayılım ise yüksek ($6,48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$) olarak saptanmıştır (Çizelge 4).

Genel olarak, iklimsel faktörlerle beraber ısısal yayıma önemli düzeyde etki yapan toprak özelliklerindeki düzensiz değişim, toprak özelliklerinin bir birine olan karşılıklı etkisi vb. ısısal yayılımın da farklı değerlere sahip olmasına sebep olmaktadır (Arkhangel'skaya vd., 2005; Tikhonravova, 2007; Arkhangel'skaya ve Umarova, 2008). Araştırma topraklarının horizonları çoğunlukla killi ve killi tın bünyeye sahiptir. EC değerleri ise $0,01-0,13 \text{ dS m}^{-1}$ arasında değişmektedir. Killi ve killi tın bünyeye sahip topraklardaki ısı yayılımı, toprağın katı fazının içerdiği toprak zerrecikleri ve tuz bileşenlerinin temas aralıklarından geçen ısı iletkenliğinin; toprak havası ortamında oluşan ısısal ışınım ve konveksiyon süreçlerinin yardımıyla gerçekleşmektedir. Tuz miktarının artışı temas aralıklarının fazla olmasına, dolayısıyla ısı iletkenliğinin artışına neden olmaktadır. Isısal yayılım ise, ısı iletkenliği ile doğrusal, ısı kapasitesiyle ters orantılı olduğundan, fazla tuz miktarında daha fazladır. Araştırma profillerinin

horizonlarında tuz miktarı az, değişimi ise dar aralıkta gerçekleştiği için, tuz miktarına bağlı olarak ısısal yayımda düzenli artış izlenmemektedir.

Isısal Yayımla Katsayısıyla Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Isısal yayılımın toprağın stabil ve stabil olmayan toprak özelliklerine (OM, özgül ağırlık, nem, sıcaklık, kil, silt, kum, tarla kapasitesi vb.) bağlı olarak belirlenmesinde, farklı matematiksel modeller kullanılmaktadır (Tikhonravova ve Khitrov, 2003, Tikhonravova ve Frid, 2008; Arkhangel'skaya, 2009). Tikhonravova (1991) tarafından yapılan bir araştırmada, toprağın genetik horizonlarındaki hacimsel nem içeriğiyle ısısal yayılım arasında modeller oluşturulmuştur.

Toprağın katı, sıvı ve gaz ortamlarını oluşturan bileşenleri farklı termofiziksel özelliklere sahip olduğundan, topraktaki ısı yayılımı bu ortamların uygun olarak oluşturduğu ısı iletkenliği, ısısal yayılım, konveksiyon süreçlerinden oluşmaktadır. Bu nedenle, heterojen yapıya sahip olan toprağın ısısal yayılımına çok sayıda toprak bileşenleri etki yapmakta ve farklı toprak özelliklerine bağlı olarak farklı regresyon modellerinin yapılması mümkün olmaktadır. Tikhonravova ve Khitrov (2003)'a göre, toprak özelliklerine bağlı olarak ısısal yayılımın kesin bir modelinin yapılması imkansız olmakta, yapılan regresyon modellerinin ısısal yayıma önemli düzeyde etki yapan minimum sayıda parametrelerden oluşumu ise, modellerin bölgesel düzeyde uygulanmasını kolaylaştırmaktadır.

İstatistik analiz sonucunda belirlenmiştir ki; Inceptisol ve Entisol olarak sınıflandırılan toprakların ısısal yayılım katsayısı ile tarla kapasitesi arasındaki ilişki $p < 0.01$ ihtimal düzeyinde önemlidir ($p = 0,014$; $R = 0,68$). Isısal yayılım katsayısı ve tarla kapasitesi arasındaki regresyon ilişkisi aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Eşitlik 2).

$$a \cdot 10^6 = 0.014W^2 - 0.52W + 8.79 \quad (R^2 = 0.51) \quad (2)$$

Eşitlik 3' de verilen denklemden görüldüğü gibi, tarla kapasitesinin değişim aralığında ısısal yayılım katsayısı pozitif değerler almaktadır. Tarla kapasitesinin % 6,9-38,7 aralığında değişimi durumunda, eşitlik 2' de verilen denkleme göre $\left(\frac{dW}{da} = 0\right)$ koşulundan) $W = \% 18,57$ değerinde, ısısal yayılım teorik olarak $3,96 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ minimum değerini almaktadır. Maksimum değer ise; $a (\% 387) = 9,63 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ olmaktadır. Teorik ve deneysel

değerler arasındaki farklılıkların nedeni, ısısal yayılım katsayısının özgür özelliği olan düzensiz değişim, diğer toprak özelliklerinin ve iklim faktörünün ısısal yayıma olan etkisi olabileceği düşünülmektedir.

Isısal yayılım katsayısı ile organik madde, kil ve kum arasındaki ilişki ise sırasıyla $p < 0,05$ ($p = 0,031$; $R = -0,62$), $p < 0,01$ ($p = 0,005$; $R = 0,75$), $p < 0,01$ ($p = 0,008$; $R = -0,72$), ihtimal düzeyinde önemli olarak saptanmıştır. Doğrusal regresyon ilişkisi ise eşitlik 3' de ifade edilmiştir.

$$a \cdot 10^6 = 0.327W - 1.540M + 0.019Kil + 0.073Kum - 1.68 \quad (R^2 = 0.79) \quad (3)$$

Doğrusal olmayan regresyon ilişkileri ise, aşağıda verilen eşitlik 4, 5 ve 6' da verilen biçimde elde edilmiştir.

$$a \cdot 10^6 = 0.432W - 0.007Kil + 0.095Kum - 0.2690M^2 - 6.0 \quad (R^2 = 0.81) \quad (4)$$

$$a \cdot 10^6 = 0.004W^2 - 0.2080M^2 + 4.42 \quad (R^2 = 0.78) \quad (5)$$

$$a \cdot 10^6 = 0.0009Kil^2 - 0.1890M^2 + 5.85 \quad (R^2 = 0.74) \quad (6)$$

(4)-(6) regresyon ilişkilerinden de görüldüğü gibi, tarla kapasitesinin artışı toprağın ısı iletkenliği artışına, organik maddenin artışı ise azalmasına neden olmaktadır. Kil ve kumun etkisi ise, toprakların kil ve kum oranına bağlı olmaktadır.

SONUÇLAR

Araştırma ile Inceptisol ve Entisol ordoları altında sınıflandırılan 4 alt grubun termal özellikleri ve bazı toprak özellikleri ve bunların arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Araştırma sonuçları, üzerinde çalışılan alt grupların yer aldığı Inceptisol ve Entisol ordoları başlığı altında karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, Inceptisol ve Entisol toprakların üst horizonları arasındaki sıcaklık farkı yüksek olmakta, alt horizonlara doğru ise bu fark azalmaktadır. Dolayısıyla, aşağı horizonlarda sıcaklık değişiminin sabitleşme süreçleri başlamaktadır. Yukarı horizonlarda yüksek olan amplitüt değerleri, aşağı katmanlara doğru azalmaktadır. Horizonlar arasındaki farklı mesafelerde, diğer faktörlerle beraber amplitüt değişimine önemli düzeyde etki yapmaktadır. Isısal yayılım katsayısı aşağı horizonlara doğru artmaktadır. Typic Ustifluent olarak sınıflandırılan toprakta ısısal yayılım katsayısı en düşük, Typic Haplustept olarak sınıflandırılan toprakta ise en yüksek olarak gerçekleşmiştir. Isısal yayılım katsayısı yüksek olan aşağı horizonların ısınması ve soğuması daha çabuk gerçekleşmektedir. Organik maddenin fazla olması ısısal yayılımın azalmasına, tarla kapasitesi ve kil miktarının fazla olması ise artmasına neden

olmaktadır. Değişim aralığı çok düşük olan parametrelerin (EC, HA) ise, ısısal yayınıma etkisinin az olması düşünülmektedir. Toprakların ısısal yayınıma katsayısının detaylı olarak araştırılması, optimum sıcaklık ortamının oluşturulması için gerekli yöntemlerin belirlenmesinde önemli olduğundan, farklı iklim ve toprak koşullarında daha fazla araştırmanın yapılmasını gerektirmektedir

KAYNAKLAR

- 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.
- Arkhangel'skaya T A (2009). Parameterization and mathematical modeling of the dependence of soil thermal diffusivity on the water content. *Eurasian Soil Science*, 42(2): 162-172.
- Arkhangel'skaya, T A (2004). Thermal diffusivity of gray forest soils in the Vladimir Opolie region. *Pochvovedeniye*, 3: 332-342.
- Arkhangel'skaya, T A, Guber A K, Mazirov M A, Prokhorov M V (2005). The temperature regime of soils in Vladimir Opolie Region. *Pochvovedeniye*, 7: 832-843.
- Arkhangel'skaya, T A, Umarova A B (2008). Thermal diffusivity and temperature regime of soils in large lysimeters of the experimental soil station of Moscow State University. *Pochvovedeniye*, 3: 311-320.
- Blake G R, Hartge K H (1986). Bulk Density and Particle Density. In: *Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods*. p: 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
- 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.
- Diñç U, Kapur S, Özbek H, Şenol S (1987). Toprak Genesisi ve Sınıflandırması. Adana: Çukurova Üniversitesi Basımevi. Ç.Ü. Yayınları Ders Kitabı, No 7.1.3.
- 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, Özdemir N (2015). Toprakta ısı iletkenliğine etki yapan ısısal parametrelerin teorik incelemesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30(3): 300-306.
- Ekberli İ, Gülser C, Özdemir N (2005). Toprakların termofiziksel özellikleri ve ısısal yayınıma katsayısının değerlendirilmesi. O.M.Ü. Zir. Fak. Dergisi, 20(2): 85-91.
- Ekberli İ, Sarılar Y (2015). Toprak sıcaklığı ve ısısal yayınıma belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30(1): 74-85.
- Gao Z, Bian L, Hu Y, Wan L, Fan J (2007). Determination of soil temperature in an arid region. *Journal of Arid Environments*, 71: 57-168.
- Ghuman B S, Lal R (1985). Thermal conductivity, thermal diffusivity and thermal capacity of some Nigerian soils. *Soil Sci.*, 139: 74-80.
- Gülser C, Ekberli İ (2004). A comparison of estimated and measured diurnal soil temperature through a clay soil depth. *J. of Applied Sci.*, 4(3): 418-423.
- Gülser C, Ekberli İ (2002). Toprak sıcaklığının profil boyunca değişimi. O.M.Ü. Zir. Fak. Dergisi, 17(3): 43-47.
- Hinkel K M (1997). Estimating seasonal values of thermal diffusivity in thawed and frozen soils using temperature time series. *Cold Regions Science and Technology*, 26:1-15.
- Jackson M L (1958). *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- Jenny H (1980). *Factors of Soil Formation*. McGraw-Hill, Newyork, p 281
- Kurtener D A, Chudnovskii A F (1979). Toprakların ısı düzenlenmesinde agrometeorolojik temeller Leningrad, Gidrometeoizdat, 231s. (Rusça).
- Onder O, Özgener L, Tester J W (2013). A practical approach to predict soil temperature variations for geothermal (ground) heat exchangers applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 62: 473-480.
- Passerat de Silans A M, Monteny B A, Lhomme J P (1996). Apparent soil thermal diffusivity, a case study: HAPEX-Sahel experiment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 81: 201-216.
- 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. I. 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 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.
- Tanju Ö (1996). *Toprak Genesisi ve Sınıflandırma*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Yayın No: 1472, Ders Kitabı No: 437, Ankara.
- Tikhonravova P I (1991). Assessment of the thermophysical properties of soils in the transvolga Solonetzic Complex. *Pochvovedenie*, 5: 50-61.
- Tikhonravova P I (2007). Effect of the water content on the thermal diffusivity og clay loams with different degrees of salinization ih the Transvolga region. *Pochvovedeniye*, 1: 55-59.
- Tikhonravova P I, Frid A S (2008). Mathematical Models of thermal diffusivity in solonetz soils in the Trans-Volga Region of Volgograd oblast. *Eurasian Soil Science*, 41(2): 190-201.
- Tikhonravova P I, Khitrov N B (2003). Estimation of thermal conductivity in Vertisols of the Central Ciscaucasus region. *Pochvovedeniye*, 3: 342-351.

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.

Usowicz B, Kosowski J, Baranowski P (1996). Spatial variability of soil thermal properties in cultivated fields. *Soil & Tillage Research*, 39: 85-100.

Verhoef A, van den Hurk B J J M, Jacobs A F G, Heusinkveld B G (1996). Thermal soil properties for vineyard (EFEDA-I) and savanna (HAPEXSahel) sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 78: 1-18.

Voronin A D (1986). *Basic Physics of Soils* (Mosk. Gos. Univ., Moscow), 246 p. (in Russian).

Wang Z H, Bou-Zeid E (2012). A novel approach for the estimation of soil ground heat flux. *Agricultural and Forest Meteorology*, 154– 155: 214-221.