



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

www.toprak.org.tr



Farklı toprak derinliklerindeki sıcaklığın tahmininde parabolik fonksiyonun kullanımı

İmanverdi Ekberli, Coşkun Gülser *, Nutullah Özdemir

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

Özet

Bu çalışmanın amacı, fonksiyonel ilişkilere göre elde edilen ısısal yayılım katsayısı değerlerine bağlı olarak 0-50 cm toprak katmanının farklı derinliklerinde günlük sıcaklık değişiminin tahmin edilmesidir. Ortalama günlük toprak sıcaklık değerleri için farklı derinliklere ait ısısal yayılım katsayıları ve parabolik ilişki kullanılarak ölçüm yapılmayan toprak katmanları için ısısal yayılım değerleri belirlendikten sonra toprak sıcaklık değerleri tahmin edilmiştir. Meteorolojik ölçüm verileri ve hesaplanan toprak sıcaklık değerleri arasındaki hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) 0.099 ile 0.012 arasında değişmiştir. Sonuç olarak, farklı toprak derinliklerinde sıcaklığının günlük değişimi parabolik fonksiyon ile belirlenen ısısal yayılım katsayıları kullanılarak tahmin edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Sıcaklık, ısısal yayılım, toprak derinliği, tahmin.

Using parabolic function in prediction of temperature at different soil depths

Abstract

The objective of this research is to predict daily soil temperature change in different soil depths of 0-50 cm soil layer depend on heat diffusivity coefficient values obtained from functional relationships. Soil temperature values were predicted after determining the heat diffusivity coefficients in different depths for mean daily soil temperature values and the heat diffusivity values for non-measured soil depths using parabolic function. Root Mean Square Error (RMSE) values between estimated soil temperature values and the meteorological measurement data varied between 0.099 and 0.012. As a result, daily soil temperature changes in different soil depths can be predicted using the heat diffusivity coefficients determined with parabolic function.

Keywords: Temperature, heat diffusivity, soil depth, prediction.

© 2017 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Toprak sıcaklığının teorik olarak incelenmesinde, toprağın termal rejiminin kontrolünde ısısal yayılım katsayısı önemlidir. Toprak sıcaklığı toprağın yapısına, iklim koşullarına, bitki örtüsüne vb. bağlı olarak, toprak profili boyunca ısısal yayılım ile birlikte farklılık göstermektedir. ısısal yayılım katsayısı ile ısı iletkenliği ve toprağın ısı kapasitesi arasındaki fonksiyonel ilişki toprak sıcaklığının modellenmesi ve tahmin edilmesi için gereklidir. Gözenekli ortamda ısı taşınım süreçleri ısı iletkenliği, ısı kapasitesi, ısısal yayılım gibi termal özellikler tarafından gerçekleştirilmektedir.

ısı taşınımının tahmini amacıyla yapılan modellerde ortamın, mineralojik bileşimi, hacim ağırlığı, su içeriği gibi fiziksel özelliklerin yanı sıra ısısal yayılım da temel bir parametre olarak kabul edilmektedir (Cote ve Konard, 2005; Lu ve ark., 2007). Saito ve ark. (2014) tarafından yapılan bir araştırmada, ısı iletkenliği ve ısısal yayıma ait tahmin modelleri bölge koşullarına uygun olarak geliştirilmiştir. Huang ve ark. (2014) yaptıkları araştırmada, toprağın termal alanının incelenmesinde iki farklı derinlikteki toprak sıcaklık ölçümlerinden faydalanmışlar ve toprağın alt katmanlarında ısısal yayılımın değişiminin fazla olmadığını

* Sorumlu yazar:

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 55139 Atakum, Samsun

Tel.: 0(362) 312 19 19

e-ISSN: 2146-8141

E-posta: cgulser@omu.edu.tr

belirtmişlerdir. Zhang ve ark. (2014) tarafından, 11 farklı noktadan alınan 337 toprak örneğini kullanarak yapılan bir araştırmada, 150 m derinlikte ısısal yayılım katsayısının $1.270 \cdot 10^{-6}$ ile $1.804 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{sn}^{-1}$ arasında, 110 m derinlikte ise $0.915 \cdot 10^{-6}$ ile $1.801 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{sn}^{-1}$ aralığında olduğunu bildirmişlerdir. Zambra ve Moraga (2013), iki boyutlu enerji ve kütle difüzyonunu ifade eden matematiksel modelin uygulanmasında, ıslak ve kuru kum içeren topraklarda ısısal yayılım katsayısının uygun olarak, $4.944 \cdot 10^{-7}$ ve $2.022 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{sn}^{-1}$ olduğunu belirlemişlerdir. Toprağın ısı iletkenliği, ısısal yayılımı, ısı kapasitesi gibi termal özellikleri sıcaklık dağılımının, toprakta profil boyunca sıcaklığın sönme derinliğinin ve gecikme zamanının, bir ve iki boyutlu ısı taşınımının teorik ve pratik olarak incelenmesinde de önemlidir (Chung ve Horton, 1987; Ekberli ve ark., 2015a,b; Ekberli ve Sarılar, 2015b).

Bu çalışmanın amacı, meteorolojik verilerden fonksiyonel ilişkilere göre elde edilen ısısal yayılım katsayısı değerlerine bağlı olarak 0-50 cm toprak katmanının farklı derinliklerinde günlük toprak sıcaklık değişiminin tahmin edilmesidir.

Materyal ve Yöntem

Araştırmada, Samsun iline bağlı Bafra Meteoroloji İstasyonunda, 1 Mayıs 2012-31 Temmuz 2012 tarihleri arasında 92 güne ait 460 adet değerden faydalanılmıştır. Günlük olarak ölçümü yapılan 5, 10, 20 ve 50 cm derinliğe ait toprak sıcaklık değerleri, çalışmada materyal olarak kullanılmıştır.

Sıcaklık dalgalarının toprak profili boyunca dağılımının belirlenmesinde, temel ısı taşınım denklemi

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (0 \leq x < \infty, t > -\infty) \quad (1)$$

ve $\cos \omega t$, $\sin \omega t$ fonksiyonları ile ifade olunan, toprak yüzeyinde ve x derinliğindeki sıcaklık değişimleri arasındaki faz değişimini de içeren sınır koşuluna göre elde edilen

$$T(x, t) = T_0 + Ae^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a}} x} \cos\left(\sqrt{\frac{\omega}{2a}} x - \omega t\right) \quad (2)$$

(burada, T_0 -toprak yüzeyinin ortalama sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$; A-amplitüt, $^{\circ}\text{C}$; $\omega = 2\pi/P$ -açısal frekans, san^{-1} ; a -ısısal yayılım katsayısı, $\text{m}^2 \text{sn}^{-1}$; x-toprak derinliği, cm; t-zaman, san; P -periyottur) çözümü kullanılmıştır (Cichota ve ark., 2004; Gülser ve Ekberli, 2004; Gao ve ark., 2007; Lei ve ark., 2011; Evett ve ark., 2012; Arkhangelskaya, 2014; Hu ve ark., 2016).

Meteorolojik veriler kullanılarak, toprağın $x_i - x_{i+1}$ katmanındaki ısısal yayılım katsayısı

$$a = \frac{\omega(x_i - x_{i+1})^2}{2(\ln(A_i / A_{i+1}))^2} \quad (i = \overline{1, n}) \quad (3)$$

(burada, A_i ve A_{i+1} uygun olarak toprağın x_i ve x_{i+1} derinliklerine ait sıcaklık amplitütüdür, $^{\circ}\text{C}$;) ifadesine göre hesaplanmıştır (Gülser ve Ekberli, 2004; Correia ve ark., 2012; Ekberli ve Sarılar, 2015a). Ortalama ısısal yayılım ise, Mayıs-Temmuz, 2012 dönemlerinde elde edilen değerlere göre hesaplanmıştır.

Toprağın ısısal yayılımı ile derinlik arasındaki fonksiyonel ifadelerin belirlenmesinde, parabolik ($a(x) = bx^2 + cx + d$) ilişki kullanılmıştır.

Meteorolojik veriler ile fonksiyonlardan hesaplanan toprak sıcaklık değerleri arasındaki hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

Burada, y_i ve y'_i sırasıyla ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleridir.

Bulgular ve Tartışma

Samsun İline bağlı Bafra Meteoroloji İstasyonunda, 1 Mayıs 2012 - 31 Temmuz 2012 tarihleri arasında 92 günlük 5, 10, 20 ve 50 cm toprak derinliklerine ait ortalama günlük sıcaklık değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Farklı toprak derinliklerindeki sıcaklık (°C) değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler (01.05-31.07.2012)

Derinlik, cm	Minimum	Maksimum	Ortalama	Stand. Sapma	Varyas. kats.%
5	18.1	33.4	24.77	4.09	16.51
10	18.5	31.5	24.10	3.68	15.32
20	18.1	29.8	23.88	3.48	14.84
50	16.2	25.5	21.93	3.13	14.42

Ölçüm yapılan dönemde 4 farklı toprak derinliği için en düşük toprak sıcaklığı 50 cm'de (16.2°C) ve en yüksek toprak sıcaklığı 5 cm'de (33.4°C) ölçülmüştür. Toprakta ölçülen en yüksek ortalama toprak sıcaklığı 5 cm derinlikte (24.77°C), en düşük ortalama toprak sıcaklığı ise 50 cm derinlikte (21.93°C) belirlenmiştir. Toprak yüzeyinden daha derinlere doğru inildikçe ortalama sıcaklığın da azaldığı görülmektedir.

Toprak sıcaklığına ait standart sapma ve varyasyon katsayısı değerlerinin aşağı katmanlara inildikçe azalma eğilimi içerisinde olduğu belirlenmiştir. Toprak sıcaklığına ait standart sapma ve varyasyon katsayısı değerlerinin, 5 cm toprak derinliğinde en yüksek (sırasıyla 4.09 °C ve %16.51), 50 cm toprak derinliğinde ise en düşük değerlere ulaştığı (sırasıyla 3.13°C ve %14.42) belirlenmiştir. Bu ise aşağı katmanlara inildikçe günlük sıcaklık değişiminin azaldığını göstermektedir.

Toprakta sıcaklık değişiminin ve ısı taşınım denkleminin çözümüne bağlı olarak tahmininin incelenmesinde, ısısal yayılım zamana göre genel olarak sabit kabul edilmektedir (Arkhangelskaya, 2014; Ekberli ve Sarılar, 2015a). Toprağın alt katmanlarına doğru inildikçe, toprağın fiziksel özellikleri farklılık göstermekte ve ısısal yayılımın değişimine önemli düzeyde etki yapmaktadır. Bu nedenle, ısısal yayılımın değerlendirilmesinde toprak derinliklerinin göz önüne alınması gerekir. Isısal yayılım pulluk tabakası dışındaki toprağın diğer horizonlarında nem içeriği tarla kapasitesindeyken başlangıçta hızlı bir artış (doğrusala çok yakın) göstererek maksimum değerler almakta, doygunluk noktasında ise daha düşük değerlere ulaşmaktadır. Toprak nem içeriğinin azalması ile ısısal yayılım da azaldığı bilinmektedir (Kurtener ve Çudnovski, 1979; Özdemir, 1998).

Isısal yayılımın toprak derinliklerine bağlı değişimi parabolik ilişki ile ifade edilmesine olanak sağlayabilir. Toprağın 50 cm derinliğine doğru ısısal yayılım hızlı olarak artmakta, sonra ise bu artış azalarak, yaklaşık sabitleşme sürecine geçmektedir. Bu nedenle, toprak derinliği (0.05 - 0.50 m) ve ısısal yayılım katsayısı arasındaki ilişkiler parabolik (5) fonksiyon ile aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

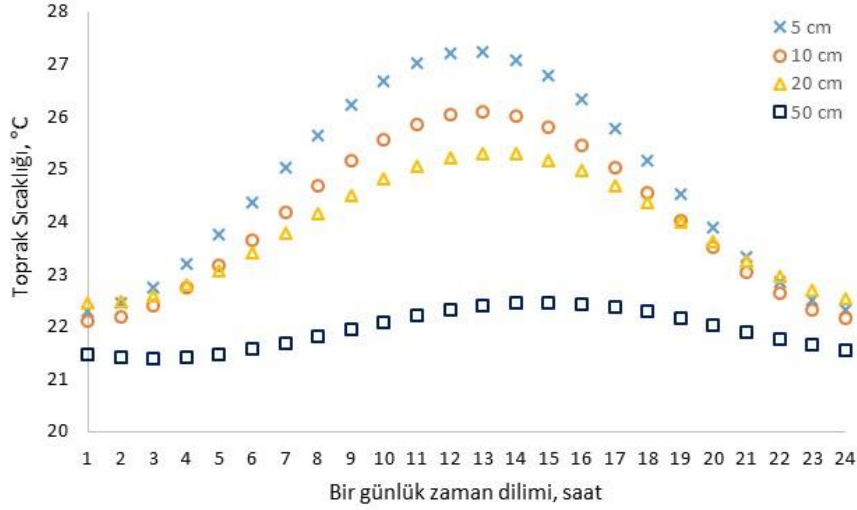
$$a(x) \cdot 10^6 = -35.269 x^2 + 48.013 x + 0.489 \quad (R^2 = 0.99) \quad (5)$$

Meteorolojik olarak ölçüm yapılmayan 15, 30 ve 40 cm toprak katmanlarına ait parabolik olarak hesaplanan ortalama toprak sıcaklığı (T) ve amplitüt (A) değerlerinin yanı sıra, bu katmanlardaki (5) fonksiyonuna göre hesaplanan ısısal yayılım katsayıları (a) Çizelge 2'de verilmiştir. En düşük ısısal yayılım (2.80·10⁻⁶ m² sn⁻¹) toprağın 5 cm katmanında belirlenmiştir. Genel olarak, toprağın 20 ile 50 cm katmanları arasında ısısal yayılım daha yüksek olmakta ve toprak yüzeyinden aşağı katmanlara inildikçe ısısal yayılım değerlerinde artış eğilimi görülmektedir.

Çizelge 2. Farklı toprak derinliklerine ait ortalama sıcaklık (T), amplitüt (A) ve ısısal yayılım (a) değerleri.

Toprak Derinliği, cm	T, °C	A, °C	a, m ² sn ⁻¹
5	24.77	2.90	2.80·10 ⁻⁶
10	24.10	2.50	7.27·10 ⁻⁶
15	24.06	2.15	6.90·10 ⁻⁶
20	23.88	2.00	8.68·10 ⁻⁶
30	23.18	1.70	11.72·10 ⁻⁶
40	22.57	1.40	14.05·10 ⁻⁶
50	21.93	1.10	15.68·10 ⁻⁶

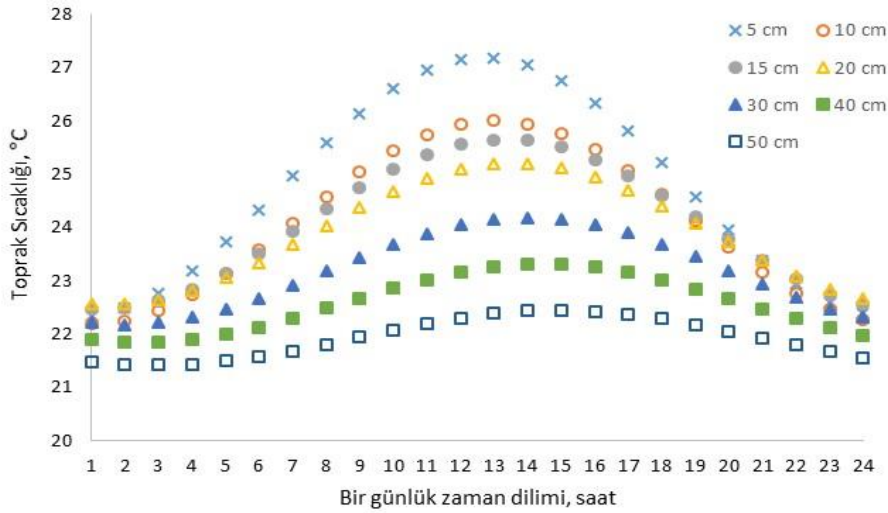
Isısal yayılımın (5) fonksiyonuna göre elde edilen değerleri kullanılarak, (2) çözümüne göre hesaplanan 5, 10, 20 ve 50 cm katmanları için hesaplanan bir günde saatlik ortalama toprak sıcaklık değerleri Şekil 1'de verilmiştir. Isısal yayıma ait deneysel (meteorolojik) değerler (a_d) ile parabolik (5) fonksiyonu ile hesaplanan (a_h) değerler arasındaki ortalama nispi hata $\left(\frac{|a_d - a_h|}{a_h} \cdot 100\right)$ %7.79 olarak bulunmuştur. Meteorolojik veriler ile parabolik fonksiyon yardımıyla hesaplanan toprak sıcaklık değerleri arasındaki hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) 5, 10, 20 ve 50 cm toprak katmanları için sırasıyla 0.054, 0.093, 0.099 ve 0.012 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Meteorolojik olarak ölçüm yapılan toprak derinliklerinde günlük sıcaklık değişimi.

Meteorolojik olarak ölçüm yapılmayan 15, 30 ve 40 cm katmanları için parabolik fonksiyonla belirlenen ortalama sıcaklık ve amplitüt değerlerinin yanısıra, ısısal yayılımın (5) fonksiyonuna göre elde edilen değerleri kullanılarak, (2) çözümüne göre hesaplanan saatlik ortalama sıcaklık değerleri ise Şekil 2'de gösterilmiştir.

Parabolik fonksiyonla belirlenen topraktaki ısısal yayılım katsayıları deneysel veriler ile düşük nispi hatayı vermiş, belirlenen ısısal yayılım katsayılarının kullanılması ile hesaplanan ortalama toprak sıcaklık değerleri de meteorolojik değerlere çok yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum ölçüm yapılmayan katmanlarda da parabolik fonksiyon kullanılarak ortalama toprak sıcaklığı, amplitüt ve ısısal yayılım katsayılarının hesaplanması ile toprak sıcaklık değerlerinin teorik olarak belirlenmesinin mümkün olabileceğini göstermektedir.



Şekil 2. Meteorolojik olarak ölçüm yapılan ve yapılmayan derinliklerde günlük sıcaklık değişimleri.

Sonuç

Toprak katmanlarındaki ortalama sıcaklık ve amplitüt ısısal yayılımın ve sıcaklık değişiminin belirlenmesinde gerekli termal parametrelerdir. Toprak sıcaklığının teorik olarak ifade edilmesinde parabolik fonksiyonun kullanılması ile elde edilen ısısal yayılım katsayısı, farklı toprak katmanları için deneysel verilerle elde edilen değerlere çok yakın bulunmuş ve en düşük nispi hatayı vermiştir. Ölçüm yapılmayan ara toprak katmanlarındaki sıcaklık değişiminin tahmininde, ısı taşınım denkleminin uygulanmasında gerekli olan ortalama sıcaklık, amplitüt ve ısısal yayılımın hesaplanması için parabolik ilişkilerin kullanılması mümkün gözükmemektedir.

Kaynaklar

- Arkhangelskaya TA, 2014. Diversity of thermal conditions within the paleocryogenic soil complexes of the East European Plain: The discussion of key factors and mathematical modeling. *Geoderma* 213: 608–616.
- Chung SO, Horton R, 1987. Soil heat and water flow with a partial surface mulch. *Water Resources Research* 23(12): 2175-2186.
- Cichota R, Elias EA, de Jong van Lier Q, 2004. Testing a finitedifference model for soil heat transfer by comparing numerical and analytical solutions. *Environmental Modelling & Software* 19: 495–506.
- 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.
- Cote J, Konard JM, 2005. Thermal conductivity of base-course materials. *Canadian Geotechnical Journal* 42: 61-78.
- Ekberli İ, Gülser C, Mamedov A, 2015a. Toprakta bir boyutlu ısı iletkenlik denkleminin incelenmesinde benzerlik teorisinin uygulanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 10 (2):69-79.
- Ekberli İ, Gülser C, Özdemir N, 2015b. Toprakta ısı iletkenliğine etki yapan ısıl parametrelerin teorik incelemesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* 30(3): 300-306.
- Ekberli İ, Sarılar Y, 2015a. Toprak sıcaklığı ve ısıl yayılımının belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* 30(1): 74-85.
- Ekberli İ, Sarılar Y, 2015b. Toprak sıcaklığının profil boyunca sönme derinliğinin ve gecikme zamanının belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi 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.
- 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.
- Gülser C, Ekberli İ, 2004. A comparison of estimated and measured diurnal soil temperature through a clay soil depth. *Journal of Applied Sciences* 4(3): 418-423.
- Huang F, Zhan W, Ju W, Wang Z, 2014. Improved reconstruction of soil thermal field using two-depth measurements of soil temperature. *Journal of Hydrology* 519: 711–719.
- Hu G, Zhao L, Wu X, Li R, Wu T, Xie C, Qiao Y, Shi J, Li W, Cheng G, 2016. New Fourier-series-based analytical solution to the conduction–convection equation to calculate soil temperature, determine soil thermal properties, or estimate water flux. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 95: 815–823.
- Kurtener DA, Çudnovski AF, 1979. Agrometeorologičeskiye osnovı teplovoy meliorasii poçv. Leningrad, Gidrometeoizdat, 231s.
- Lei S, Daniels, JL, Bian Z, Wainaina N, 2011. Improved soil temperature modeling. *Environmental Earth Sciences* 62(6): 1123-1130.
- Lu S, Ren T, Gong, Y, Horton R, 2007. An improved model for predicting soil thermal conductivity from water content at room temperature. *Soil Science Society of America Journal* 71: 8-14.
- Özdemir N, 1998. Toprak fiziki. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı No: 30, s: 191-209.
- Saito T, Hamamoto S, Mon EE, Takemura T, Saito H, Komatsu T, Moldrup P, 2014. Thermal properties of boring core samples from the Kanto area, Japan: Development of predictive models for thermal conductivity and diffusivity. *Soils and Foundations* 54(2): 116-125.
- Zambra CE, Moraga, NO, 2013. Heat and mass transfer in landfills: Simulation of the pile self-heating and of the soil contamination. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 66: 324–333.
- Zhang Y, Gao P, Yu Z, Fang J, Li C, 2014. Characteristics of ground thermal properties in Harbin, China. *Energy and Buildings* 69: 251–259.