



Araştırma/Research

Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 30 (2015) 287-291
ISSN: 1308-8750 (Print) 1308-8769 (Online)
doi: 10.7161/anajas.2015.30.3.287-291



İki boyutlu ısı iletkenliği denklemine bağlı olarak toprak sıcaklığının matematiksel modellenmesi

İmanverdi Ekberli*, Coşkun Gülser

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

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

Geliş/Received 23/06/2015

Kabul/Accepted 31/10/2015

ÖZET

Toprak yüzeyi ve profili boyunca sıcaklığın dağılımı, toprak özelliklerine ve verimliliğine önemli düzeyde etki yapan bir faktördür. Bu çalışmada, toprak yüzeyinde sıcaklığın heterojen yayılması durumunda, ortamda ısı kaynağını göz önüne almayan iki boyutlu ısı iletkenliği denklemi incelenmiştir. Aynı zamanda, elde edilen çözümünün kullanılması ile toprak profili boyunca sıcaklık değişiminin tahmin edilmesinin mümkün olduğu sayısal örnek üzerinde gösterilmiştir. Toprak yüzey sıcaklığının (t_y) x 'in periyodik fonksiyonu olduğu göz önüne alınarak, denklemin çözümünde yüzey sıcaklık dalgalarının eşit yayılmadığı varsayılmış ve toprak yüzey sıcaklığının tahmininde $t_y = t(x,0) = t_0 + A \cos(2\pi x / \Lambda)$ sınır koşulu kullanılmıştır.

Anahtar Sözcükler:
Isı akımı yoğunluğu
İki boyutlu ısı iletkenliği denklemi
Sıcaklık dalgaları
Toprak sıcaklığı

Mathematical modelling of soil temperature depend on two dimensional heat conductivity equation

ABSTRACT

Distribution of temperature along soil surface and profile is a factor which affects on soil properties and fertility significantly. In this research, two dimensional heat conductivity equation was investigated in case of heterogeneous heat distribution regardless of heat source in media. Also, prediction of temperature change along soil profile was shown in a numerical example using the solution obtained. $t_y = t(x,0) = t_0 + A \cos(2\pi x / \Lambda)$ boundary condition was used in prediction of soil surface temperature considering soil surface temperature (t_y) as a periodic function of x and assuming that surface temperature waves are not distributed equally.

Keywords:
Heat flow intensity,
Two dimensional heat conductivity equation
Heat waves
Soil temperature

© OMU ANAJAS 2015

1. Giriş

Toprak sıcaklığı zaman ve toprak derinliğinin fonksiyonu olup, tarım (Patron, 1984; Davison ve Piedrahita, 2015), jeoteknik ve jeoekoloji mühendisliği (Mihalakakou, 2002), güneş ve jeotermik enerji kaynaklarının kullanımı (Chacko ve Renuka, 2002; Ghuman ve Lal, 1981; Zheng ve ark., 1993; Derradji ve Aiche, 2014) alanlarında yapılan araştırmalarda önemli bir parametredir. Isı iletkenliği denklemine dayanarak yapılan bir çok sıcaklık modellerinde (Mahrer ve Katan, 1981; Dardo ve ark., 2001; Elias ve ark., 2004; Haris, 2007) girdi parametrelerinin fazlalığı, modelin zor ve karmaşık

olmasına neden olarak, modelin hassasiyetine olumsuz etki yapmaktadır. Mahrer ve Katan (1981) tarafından, toprak sıcaklığının uzaysal dağılımını tahmin etmek için, albedo, radyasyon, hava yoğunluğu vb. gibi parametreleri kapsayan iki boyutlu sayısal model yapılmıştır. Lei ve ark. (2011), mesafeye ve zamana bağlı olan ısı iletkenliği denklemi çözümünün topraktaki sıcaklık değişimine uygulanmasının olumlu ve olumsuz yönlerini göstererek, toprak sıcaklığı modellerinin yapılmasında hava sıcaklığı ve toprak neminin değişimini göz önüne almışlardır.

Awe ve ark. (2015), ekstrem sıcaklık rejimlerinin bitki büyümesine ve verimine olumsuz etkilerinin kaldırılmasına, dolayısıyla toprakta optimum sıcaklığın oluşması için

toprak işleme ve samanla malçlamanın gerekliliğine yönelik bir çalışmada, toprak katmanlarındaki sıcaklığı belirlemek için $T(z,t) = T_{ave} + A_z \sin(\omega t + \varphi_z)$ (burada, $T(z,t)$ - toprak sıcaklığı, °C; T_{ave} -ortalama toprak sıcaklığı, °C; A_z -amplitüt, °C; ω -radyal frekans, san^{-1} ($\omega = 2\pi / p$); p -periyot (24 saat); φ_z -faz gecikmesi; t -zaman, saat; z -toprak derinliğidir) ifadesinden kullanılmışlardır. Bu ise toprağın ısı iletkenliği denkleminin sınır koşulu olup, toprak yüzeyindeki (veya herhangi bir katmandaki) sıcaklığın harmonik değişimini ifade etmektedir. Yapılan bu çalışmada, farklı toprak işleme koşullarında şeker kamışının 2011-2012 büyüme mevsiminin yaz ve kış dönemleri için 25 cm toprak derinliğindeki ortalama günlük sıcaklık ile, ortalama günlük hava sıcaklığı arasında doğrusal regresyon ilişkileri ($R^2=0.80-0.88$) bulunmuştur. Ortamda ısı kaynağının olması durumunda da toprak yüzeyindeki harmonik değişimli sınır koşulundan kullanmak mümkün olmaktadır (Kupiec ve ark., 2015). Arias-Penas ve ark. (2015), toprak yüzeyinde sıcaklığın sinüsoid veya kosinüsoid biçimindeki harmonik değişimine bağlı olarak, toprağın ısı iletkenliği denkleminde elde edilen teorik modele dayanarak, toprağın 1.5, 4.5 ve 9.5 m derinliklerinde ısısal yayılım katsayılarını belirlemiştir. Toprakların ısı parametreleri zamana ve toprağın fiziksel özelliklerine bağlı olup, toprak sıcaklığı modellerinin temel girdileridir. Birçok araştırmacı tarafından toprağın ısısal yayılım katsayısı gibi ısı parametresi ve bazı fiziksel toprak özellikleri birlikte incelenmektedir (De Vries, 1963; Campbell, 1985; Ochsner ve ark., 2001; Demir ve ark., 2009; Sofyan ve ark., 2014; Nowamooz ve ark., 2015). Isı iletkenliği denkleminin farklı sınır koşullarında elde edilen çözümünün toprak sıcaklığı tahmininde uygulanabilirliği, ısı parametrelerinin detaylı olarak belirlenmesine önemli düzeyde bağlı olmaktadır. Zhang ve ark. (2013), iki boyutlu ısı iletkenliği denkleminin dayanarak, soğuk bölge topraklarında uygulanabilen yeni bir model oluşturmuşlardır. Yang ve ark. (2015) tarafından ise, zemin ısı değiştirici etrafındaki toprak altı sıcaklık değişimlerine toprak donması etkisinin sayısal değerlendirmesi iki boyutlu ısı iletkenliğinin uygulanması ile irdelenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, ortam (toprak) yüzeyinde sıcaklığın düşey yönde hotorejen yayılması durumunda iki boyutlu ısı iletkenliği denkleminin irdelenmesi ve elde edilen çözümünün kullanılması ile toprak profili boyunca mevsimsel veya günlük olarak sıcaklık değişiminin tahmin edilebilirliği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Topraktaki ısı iletkenliğinin nicel olarak değerlendirilmesi kısmi türevli diferansiyel denklemlerin çözümü ile ilişkilidir. Isı iletkenliğinin iki boyutlu olması durumunda, cisimlerin veya toprağın düşey (x) ve dikey (y) yönlerindeki ısı akımı yoğunluğu aşağıdaki Fourier denklemi ile ifade edilebilir (İsacenko ve ark., 1981; Sisyeve, 1986; Gülser ve Ekberli, 2002):

$$q = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y} \right) \quad (1)$$

burada, q (Joule/m².sn)-ısı akımının yoğunluğu olup, birim alandan ısının taşınım hızıdır; λ (Joule/m.sn.K)-ısı iletkenliği; t (K veya °C)- sıcaklıktır. Denkleminde negatif işaret, cisimde veya toprakta sıcaklığın yüksek olan kısımdan düşük kısma nakilini ifade etmektedir. Isı negatif sıcaklık eğiminde yer değiştirmektedir.

Genel olarak cisimlerdeki iki boyutlu ısı taşınım süreci, bu eşitlikten yararlanılarak elde edilen ısı iletkenlik denklemi (kısmi türevli diferansiyel denklem), $t_\tau(x,y) = a[t_{xx}(x,y) + t_{yy}(x,y)]$ (τ -zaman) ile ifade edilmektedir (Luikov, 1948; İsacenko ve ark., 1981; Brown ve Churchill, 1993). İki boyutlu ısı iletkenlik denklemi, bu çalışmada toprak sıcaklığının düşey yöndeki (herhangi bir toprak katmanı yüzeyindeki) değişimine bağlı olarak profil boyunca dağılımının tahmin edilmesi için yapılacak modelin materyalini oluşturmaktadır. Bu modelin oluşturulması için ısı iletkenlik denkleminin analitik çözüm yöntemi kullanılmıştır.

2.1. İki boyutlu ısı iletkenliği denkleminin analitik çözümü

Ortam (toprak) yüzeyinde sıcaklığın düşey yönde hotorejen yayılması durumunda iki boyutlu ısı iletkenliği denkleminin uygulanması mümkün olmaktadır. Yüzey toprak sıcaklığının değişimine, hotorejen yüzey şekli ve yüksekliğe bağlı olarak atmosfer sıcaklığı etki yapmaktadır. Yüzeydeki su kütlesi ve akımları, sulama, yağmurun eşit dağılması gibi faktörler de ortamın düşey sıcaklığının hotorejen olmasında etkili olmaktadır. Ortamın aşağı katmanlarındaki sıcaklık değerlerinin belirlenmesi için, yüzeyin eşit olmayan sıcaklığının (ısınma durumunun) göz önüne alınması gerekmektedir.

Ortamın ısı akımı yoğunluğunun O_x ve O_y eksenleri üzerindeki $q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}$ ve $q_y = -\lambda \frac{\partial t}{\partial y}$ izdüşümleri göz önüne alındığında, iki boyutlu ısı iletkenliği denklemi aşağıdaki gibi olur:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) \quad (0 \leq x < \infty, 0 \leq y < \infty, \tau > -\infty) \quad (2)$$

Ortamda sabit sıcaklık alanı ($t = f(x,y); \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$) olması durumunda ise (2) denklemi

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0 \quad (3) \text{ olarak,}$$

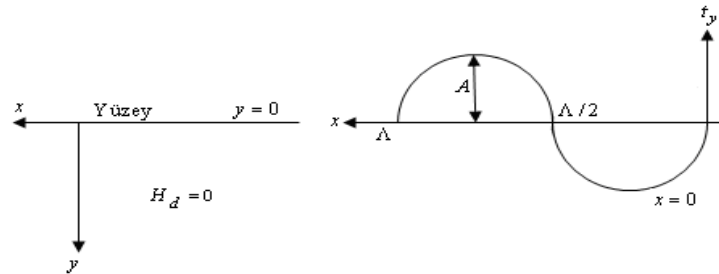
ortamda ısı kaynağını göz önüne almayan iki boyutlu ısı iletkenliği denkleminin (Laplace denklemi) dönüşmektedir (Terkot ve Şubert, 1985; Adjali ve ark., 2000 a,b; Rees ve ark., 2000; Ekberli, 2006; Ghasemi-Fare ve Basu, 2013; Kanjanakijkasem, 2015).

Ortamın dikdörtgen biçimindeki yarısonsuz kısmının ($y \geq 0$) yüzeyi $y = 0$ denklemi ile ifade edilmektedir. Ortam yüzeyinin t_y sıcaklığının x 'in periyodik fonksiyonu olduğu varsayılırsa, sınır koşulu $t_y = t(x,0) = t_0 + A \cos(2\pi x / \Lambda)$ (4) (burada, Λ - eşit

yayılmayan sıcaklık dalgalarının uzunluğudur) biçiminde olur.

Atmosferdeki radyoaktif parçalanmalar, toprak içerisindeki kimyasal ayrışmalar ve yeryüzünün derinliklerinden açığa çıkan ısı ilaveleri dikkate alındığında, toprak için asıl ısı kaynağını güneşten yeryüzüne ulaşan radyasyon enerjisi oluşturmaktadır. Yeryüzüne ulaşan bu enerji mekanik, kimyevi ve ısısal gibi enerji çeşitlerine dönüşerek, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerinin oluşumuna etki etmektedir. Yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonu sonucunda toprak-bitki-atmosfer ekosisteminde oluşan enerjinin dönüşümü ve ısı dengesinin sağlanması büyük ölçüde toprakta ısı taşınımının etkisi altındadır. Topraklarda ısı taşınımı kütle ve enerjinin korunumu kuralına bağlı olup, ısının bir kısmı toprakta fiziksel, kimyasal, biyolojik süreçlerinin oluşumuna, bir kısmı ise bitki ve kök sisteminin gelişimine harcanmaktadır (Ekberli ve ark., 2005). Bu nedenlerden dolayı, eşit yayılmayan sıcaklık dalgalarının uzunluğu (atmosferden gelen ve toprak yüzeyine ulaşan uzun dalgalı ışınların bir kısmı) önemli faktör olup, aynı fazda olan, yani birbirinden 2π fazı kadar farklı olan noktalar arasındaki mesafedir. Sıcaklık dalgalarının uzunluğu sıcaklığın etki derinliğini göstererek, ısısal yayılım ve dalga periyoduna bağlı olmaktadır: $\Lambda = 2\sqrt{\pi a P} = 2\sqrt{\frac{\pi a}{\nu}}$ (burada, ν -frekans sayısı veya birim zamanındaki dalgalanma sayısıdır).

Ortamda ısı kaynağının olmaması ($H_d = 0$) ve ortamın ısı durumunun yalnız yüzeydeki eşit olmayan sıcaklığa bağlı olması varsayılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Toprak yüzeyinde sıcaklığın periyodik dağılımı durumunda yarısonsuz ortamdaki sıcaklık değişimi

$$Y = C_1 \sin \frac{2\pi y}{\Lambda} + C_2 \cos \frac{2\pi y}{\Lambda} = \frac{C_1}{2} \left(e^{\frac{2\pi y}{\Lambda}} - e^{-\frac{2\pi y}{\Lambda}} \right) + \frac{C_2}{2} \left(e^{\frac{2\pi y}{\Lambda}} + e^{-\frac{2\pi y}{\Lambda}} \right) \quad (9) \text{ olur.}$$

(9) ifadesinin gerçek kısmı olan

$$Y(y) = C_1 e^{\frac{2\pi y}{\Lambda}} + C_2 e^{-\frac{2\pi y}{\Lambda}} \quad (10)$$

(burada, $C_1 = \frac{C_2}{2}$; $C_2 = -\frac{C_1}{2}$ -sabitlerdir) ifadesi (8) denkleminin genel çözümü olup;

$$\frac{dY}{dy} = C_1 \frac{2\pi}{\Lambda} e^{\frac{2\pi y}{\Lambda}} - C_2 \frac{2\pi}{\Lambda} e^{-\frac{2\pi y}{\Lambda}} \Rightarrow \frac{d^2 Y}{dy^2} = C_1 \frac{4\pi^2}{\Lambda^2} e^{\frac{2\pi y}{\Lambda}} + C_2 \frac{4\pi^2}{\Lambda^2} e^{-\frac{2\pi y}{\Lambda}} \text{ olarak denklemleri sağlamaktadır.}$$

Ortamın kesintili sıcaklığı (3) denkleminin (4) sınır koşuluna göre belirlenmektedir. (3) denkleminin çözümü için, değişkenlere ayırma yöntemiyle çözüm

$$t(x, y) = t_0 + X(x)Y(y) \quad (5) \text{ biçiminde aranır.}$$

Sınır koşulunun yüzeyde sağlanması için

$$X(x) = \cos\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right) \quad (6) \text{ olması gerekir ve (5) ifadesi}$$

$$t(x, y) = t_0 + Y(y)\cos\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right) \quad (7) \text{ biçiminde olur. Aynı}$$

zamanda ortamın herhangi bir derinlikteki sıcaklığın yatay yönde değişim kuralının, yüzeydeki değişim kuralı gibi olması kabul edilmektedir. (7)'den elde edilen

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = -\frac{4\pi^2}{\Lambda^2} Y(y)\cos\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right) \text{ ve}$$

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = \frac{d^2 Y}{dy^2} \cos\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right) \text{ ifadeleri (3)'te yerine konursa,}$$

bağımsız değişkeni içermeyen (Gusak, 1973; Bronson, 1994; Güngör, 2000) diferansiyel denklem (Y değişkenine göre) elde edilir:

$$\frac{d^2 Y}{dy^2} - \frac{4\pi^2}{\Lambda^2} Y = 0 \quad (8)$$

(8) denkleminin tam çözümü

$y \rightarrow \infty$ durumunda sıcaklığın sonsuzluk olmaması gerektiğinden $C_1 = 0$. Bu durumda, (10) genel çözümü

$$Y(y) = C_2 e^{-\frac{2\pi y}{\Lambda}} \quad (11) \text{ biçiminde olarak, (7) ifadesinde}$$

yerine konursa $t(x,0) = t_0 + C_2 \cos\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right)$ (12) elde edilir.

(4) sınır koşulu (12) ifadesi ile karşılaştırıldığında $C_2 = A$ bulunur. (6) ve (11) ifadeleri (5)'de yerine konursa, sıcaklığın yayılımı için aşağıdaki çözüm elde edilir:

$$t(x,y) = t_0 + A \cos\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right) e^{-\frac{2\pi y}{\Lambda}} \quad (13).$$

(13) çözümünden görüldüğü gibi, ortamda yüzey sıcaklığının eşit olmayan dağılımı durumunda oluşan sıcaklık derinlik boyunca sönmektedir. Sönme derinliği (uzunluğu) yüzeyin eşit olmayan sıcaklık dağılımının yatay dalga uzunluğu ile orantılı olmaktadır.

3. Sonuç ve Tartışma

Toprak yüzeyinde $\tau = 5$ saat zamanında ortalama yüzey sıcaklığının $t_0 = t(0,\tau) = 20^\circ C$; amplitütün

$A = 5^\circ C$; ısısal yayım katsayısının $a = 8.35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ san}^{-1}$ ($0.0835 \text{ cm}^2 \text{ san}^{-1}$); sıcaklık dalgası uzunluğunun

$\Lambda = 2\sqrt{\pi a P} = 2\sqrt{3.14 \cdot 8.35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ san}^{-1} \cdot 1.8 \cdot 10^4 \text{ san}} \approx 1.37 \text{ m}$ olması durumunda, toprağın 0.6 m derinliğindeki sıcaklık

değeri $t(x,y) = t_0 + A \cos\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right) e^{-\frac{2\pi y}{\Lambda}}$ (13) çözümüne

göre $t(x,y) = 20.32^\circ C$ olarak bulunur.

Toprağın iki boyutlu ısı iletkenliği denkleminin oluşturulması, topraktaki ısı akımına Fourier kuralının uygulanması ile gerçekleşmektedir. İki boyutlu ısı iletkenliği denkleminin çözümü araştırılmasında, yüzey toprak sıcaklığının (veya her hangi bir toprak katmanının) dalga uzunluğuna bağlı olan harmonik değişiminin göz önüne alınması gerekmektedir. Ortam (toprak) yüzeyinde sıcaklığın düşey yönde hotorejen yayılması durumunda iki boyutlu ısı iletkenliği denkleminin çözümünün kullanılması ile toprak profili boyunca mevsimsel veya günlük olarak sıcaklık değişiminin tahmin edilmesi mümkün görülmektedir. Dalga uzunluğunun belirlenmesi için, ısısal yayım katsayısının deneysel olarak belirlenmesi gerekir.

Kaynaklar

Adjali, M.H., Davies, M., Ni Riain, C., Littler, J.G. 2000a. In situ measurements and numerical simulation of heat transfer beneath a heated ground floor slab. *Energy and Buildings*, 33: 75-83.

Adjali, M.H., Davies, M., Rees, S.W., Littler, J.G., 2000b. Temperatures in and under a slab-on-ground floor: two- and three-dimensional numerical simulations and comparison with experimental data. *Building and Environment*, 35: 655-662.

Arias-Penas, D., Castro-García, M.P., Rey-Ronco, M.A., Alonso-Sánchez, T. 2015. Determining the thermal diffusivity of the ground based on subsoiltemperatures. Preliminary results of an experimental geothermalborehole study Q-THERMIE-

UNIOVI. *Geothermics*, 54: 35-42.

Awe, G.O., Reichert, J.M., Wendroth, O.O. 2015. Temporal variability and covariance structures of soil temperature in a sugarcane field under different management practices in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 150: 93-106.

Bronson, R. 1994. Diferansiyel Denklemler. Teori ve Problemleri. Schaum Serisinden. Yayın No: 210 (Türkçesi: Prof. Dr. H. H. Hacısalihoğlu), s. 77-82.

Brown, J.W., Churchill, R.V. 1993. *Fourier Series and Boundary Value Problems*, McGraw-Hill, Inc., New York, s: 129-167.

Campbell, G.S. 1985. *Soil physics with BASIC. Transport models for soil-plant systems. Developments in Soil Science*, vol. 14. Dept. of Agronomy and Soils, Washington State University, Pullman, USA.

Chacko, P.T., Renuka, G. 2002. Temperature mapping, thermal diffusivity and subsoil heat flux at Kariavattom of Kerala. *Proceedings of the Indian Academy of Science*, 111:79-85.

Dardo, G.O., Pousa, J.L., Leonardo, P. 2001. Predicting temperature and heat flow in a sandy soil by electrical modeling. *Soil Science Society of America Journal*, 65:1074-1080.

Davison, A.V., Piedrahita, R.H. 2015. Temperature modeling of a land-based aquaculture system for theproduction of *Gracilaria pacifica*: Possible system modifications toconserve heat and extend the growing season. *Aquacultural Engineering*, 66: 1-10.

Demir, H., Koyun, A., Temir, G. 2009. Heat transfer of horizontal parallel pipe ground heat exchanger and experimental verification. *Applied Thermal Engineering*, 29: 224-233.

Derradji, M., Aiche, M. 2014. Modeling the soil surface temperature for natural cooling of buildings in hot climates. *Procedia Computer Science*, 32: 615-621.

De Vries, D.A. 1963. Thermal properties of soil. In: *Physics of plant environment*. Amsterdam, North-Holland, p. 210-235.

Ekberli, İ. 2006. Isı iletkenlik denkleminin çözümüne bağlı olarak topraktaki ısı taşınımına etki yapan bazı parametrelerin incelenmesi. *O.M.Ü. Zir. Fak. Dergisi*, 21(2): 179-189.

Ekberli, İ., Gülser, C., Özdemir, N. 2005. Toprakların Termo-Fiziksel Özellikleri ve Isısal Yayım Katsayısının Değerlendirilmesi. *O.M.Ü. Zir. Fak. Dergisi*, 20(2): 85-91.

Elias, E.A., Cichota, R., Torriani, H.H., Lier, Q.J. 2004. Analytical soil-temperature model correction for temporal variation of daily amplitude. *Soil Science Society of America Journal*, 68:784-788.

Ghasemi-Fare, O., Basu, P. 2013. A practical heat transfer model for geothermal piles. *Energy and Buildings*, 66: 470-479.

Ghuman, B.S., Lal, R. 1981. Predicting diurnal temperature regime of a tropical soil. *Soil Science*, 132: 247-252.

Gusak, A.A. 1973. *Posobiye k reşeniyu zadaç po vısşey matematike*. BGU Pres, Minsk, s. 490-497.

Güngör, F. 2000. Diferansiyel Denklemler. İstanbul Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Yayın No: 980. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., s. 77-87.

Haris, R.N. 2007. Variations in air and ground temperature and the POM-SAT model: results from the Northern Hemisphere. *Climate of the Past*, 3: 611-621.

İsacenko, V.P., Osipova, V. A., Sukomel, A.S. 1981. *Teploperedaça*. Energoizdat Press, Moskova, 417s.

Kanjanakijkasem, W. 2015. A finite element method for prediction of unknown boundary conditions in two-dimensional steady-state heat conduction problems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 88: 891-901

Kupiec, K., Larwa, B., Gwadera, M. 2015. Heat transfer in horizontal ground heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 75: 270-276.

Lei, S., Daniels, J.D., Bian, Z., Wainaina, N. 2011. Improved soil temperature modeling. *Environmental Earth Sciences*, 62: 1123-1130.

- Luikov, A.V. 1948. Teploprovodnost nestacionarnix proçessov. Gosudarstvennoye Energetičeskoye İzdatelstvo, Moskova-Leningrad, 232 s.
- Mahrer, Y., Katan, J. 1981. Spatial soil temperature regime under transparent polyethylene mulch: numerical and experimental studies. *Soil Science*, 131: 83-87.
- Mihalakakou, G. 2002. On estimating soil surface temperature profiles. *Energy and Buildings*, 34: 251-259.
- Nowamooz, H., Nikoosokhan, S., Lin, J., Chazallon, C. 2015. Finite difference modeling of heat distribution in multilayer soils with time-spatial hydrothermal properties. *Renewable Energy*, 76: 7-15.
- Ochsner, T.E., Horton, R., Ren, T. 2001. A new perspective on soil thermal properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 1641-1647.
- Patron, W.J. 1984. Predicting soil temperatures in a short grass steppe. *Soil Science*, 138: 93-101.
- Rees, S.W., Adjali, M.H., Zhou, Z., Davies, M., Thomas, H.R. 2000. Ground heat transfer effects on the thermal performance of earth-contact structures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4: 213-265.
- Sısyev, V.V. 1986. Modelirovaniye proçessov v landşaftno-geoximiçeskix sistemax, Moskva, Nauka, s: 37-78.
- Sofyan, S.E., Hu, E., Kotousov, A. 2014. Modelling of a horizontal geo heat exchanger with an internal source term approach. *Energy Procedia*, 61: 104-108.
- Terkot, D., şubert, Dj. 1985. Geodinamika. Geologiçeskiye prilojeniya fiziki sploşnih sred. 1çast,. Moskva, Mir, s: 219-320.
- Yang, W., Kong, L., Chen, Y. 2015. Numerical evaluation on the effects of soil freezing on underground temperature variations of soil around ground heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 75: 259-269.
- Zhang,, G., Xia, C., Sun, M., Zou, Y., Xiao, S. 2013. A new model and analytical solution for the heat conduction of tunnel lining ground heat exchangers. *Cold Regions Science and Technology*, 88: 59-66.
- Zheng, D., Hunt Jr., E.R., Running, S.W. 1993. A daily soil temperature model based on air temperature and precipitation for continental applications. *Climate Research*, 2: 183-191.