



# TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

www.toprak.org.tr



## Benzerlik teorisinin toprak sıcaklığına uygulanabilirliği İmanverdi Ekberli, Orhan Dengiz, Coşkun Gülser \*, Nutullah Özdemir

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

### Özet

Benzerlik teorisi bazı değişkenlerin boyutsuz bileşenlerinin belirlenmesiyle deneysel verilerin yorumlanmasına, bu nedenle toprak sıcaklığını ifade eden ısı taşınımı denkleminin çözümüne de yardımcı olabilmektedir. Bu çalışmada, Samsun'un Çarşamba ilçesindeki Vertisol, Inceptisol, Entisol topraklarda profil boyunca sıcaklık değerleri ölçülmüş ve ısısal yayılım katsayıları hesaplanmıştır. Boyutsuz sıcaklık fonksiyonu benzerlik teorisine göre oluşturulmuş, aynı zamanda toprak derinliğine, zamana ve ısısal yayılım katsayısına bağlı olarak,  $\pi$  benzerlik kriteri değerleri belirlenmiştir. Boyutsuz sıcaklık fonksiyonunun 0.27 ve 0.69 arasındaki değişimine karşılık,  $\pi$  benzerlik kriterinin 0.221 ve 0.323 arasında değiştiği saptanmıştır. Boyutsuz sıcaklık fonksiyonu ile benzerlik kriteri arasında belirlenen önemli düzeydeki regresyon katsayısı ( $R=0.593$ ), benzerlik kriteri değerlerinden yararlanarak toprakların farklı horizonlarındaki sıcaklık değişimine ait benzerliğin belirlenebileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak horizonu, sıcaklık, boyutsuz sıcaklık fonksiyonu, benzerlik teorisi, benzerlik kriteri değeri.

### Applicability of similarity theory to soil temperature

### Abstract

Similarity theory can help to interpret of experimental data with determining dimensionless components of some variables, in this case help to solution of heat conductivity equation expressing soil temperature. In this study, soil temperature values along the soil profiles of Vertisol, Iceptisol and Entisol in Çarşamba District of Samsun were measured and heat diffusivity coefficients were estimated. Dimensionless temperature function was obtained according to similarity theory, also  $\pi$  similarity criteria values were determined depend on soil depth, time and heat diffusion coefficient. It was determined that dimensionless temperature function varied between 0.27 and 0.69, while  $\pi$  similarity criteria varied between 0.221 and 0.323. The significant regression coefficient ( $R=0.593$ ) between dimensionless temperature function and similarity criteria shows that the similarity of soil temperature change in different soil horizons can be determined using similarity criteria values.

**Keywords:** Soil horizon, temperature, dimensionless temperature function, similarity theory, similarity criteria value.

© 2016 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

### Giriş

Topraklar sahip oldukları farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik profil özellikleriyle (Dengiz ve ark. 2012; 2013) toprak sıcaklığına ve dolayısıyla topraktaki çeşitli biyolojik tepkimelerin hızına ve yönüne de etki yapmaktadır (Durmuş ve ark. 2011). Toprakların farklı horizonlarındaki sıcaklıklarına ait benzerliğinin belirlenmesi, bu horizonlardaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin gerçekleşme yönünün belirlenmesi için önemlidir. Ayrıca, optimum toprak sıcaklık değeri, verimi de önemli düzeyde etkilemektedir. Toprakta ısı akımının gerçekleşmesi, profil boyunca sıcaklık değişimine bağlı olmaktadır. Gerçek süreçlerin mümkün koşullar altında sadeleştirilmesi benzerlik teorisine dayanmaktadır. Bu teorinin uygulanması, birimsiz analiz yöntemine göre benzerlik kriterinin (sayısının) yapılmasını gerektirmektedir. Toprak sıcaklığının değişimine önemli düzeyde etki yapan parametreler kullanılarak, benzerlik kriterinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Toprak sıcaklığına ait benzerlik kriterinin belirlenmesi, toprak sıcaklığının deneysel ve teorik modellerinin yapılmasında da kullanılmaktadır.

\* 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

Toprak (ortam) sıcaklığının zamana ve mesafeye göre değişimini ifade eden teorik modellerin yapılmaması durumunda, sürecin deneysel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Araştırma süreçleri için karakteristik olan birimsiz bileşenlerin belirlenmesi, deneysel sonuçların genelleştirilmiş biçimde ifade edilmesine imkan sağlamaktadır. Dolayısıyla, süreçlerin teorik modellerle ifade edilmemesi durumunda, birimsiz bileşenlerin oluşturulması, birim analizi yöntemiyle yapılmaktadır. Birim analizi yönteminin, karşılıklı etkisi teorik veya deneysel olarak ispatlanmış parametreler arasında yapılması gerekir. Ortam süreçlerini açıklamaması birim analizi yönteminin ciddi yetersizliğidir (Luikov, 1967; Rohesenow ve Hartnett, 1973; Yudayev, 1973; İsacenko ve ark., 1981; Kreith ve Black, 1983).

Benzerlik teorisinin diğer toprak özelliklerine de uygulanması mümkün olmaktadır. Moiseev (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, tarım işletmelerinde toprakta oluşan sıkışmanın, tarım aletlerinin toprakta oluşturduğu basınca, özgü yüzey alanına, neme ve başlangıç hacim ağırlığına bağlı olduğunu göz önüne alarak, bu parametreleri içeren benzerlik kriteri belirlenmiştir. Ayrıca, toprak sıkışmasıyla bu parametreler arasındaki regresyon ilişkilerden elde edilen sayısal sonuçlarla, benzerlik teorisine göre bulunan sonuçların örtüştüğünü göstermiştir. Toprağın kayma süreçlerine de benzerlik teorisinin uygulanması mümkündür (Moiseev ve İvanova, 2000; Moiseev, 2004). Ekberli ve ark.(2015), toprakta bir boyutlu ısı iletkenlik denkleminin incelenmesinde benzerlik teorisinden faydalanmışlardır.

Toprak profili boyunca sıcaklık değişimini ifade eden denklemin çözümünde de kullanılan benzerlik teorisi çözümün elde edilmesini, ortamdaki sürecin incelenmesini ve çözümün uygulamasını kolaylaştırmaktadır (Gilding, 1982; Okoya, 2001; Afify, 2009; İhsak, 2010; Samanta ve Guha, 2012; Xu ve ark., 2015). Bu yöntem ilk kez akışkanlar mekaniği alanına ait problemin çözümünde, bağımsız değişkenlerin sayısını azaltarak temel denklemin sadeleştirilmesinde Blasius (1908) tarafından kullanılmıştır.

Bu araştırmanın amacı, benzerlik teorisine dayanarak i) toprak sıcaklığına etki yapan süreçlerin sadeleştirilmesi ii) toprak katmanındaki maksimum, minimum ve ortalama sıcaklığa bağlı olarak boyutsuz sıcaklık fonksiyonunun dahil edilmesi iii) ısısal yayılım katsayısı, derinlik ve zamana bağlı olarak boyutsuz analiz yöntemine göre benzerlik kriterinin (sayısının) incelenmesi ve hesaplanması iv) Vertisol, İnseptisol, Entisol toprak profillerindeki sıcaklık benzerliğinin belirlenmesidir.

## Materyal ve Yöntem

Çalışma alanı Samsun'un Çarşamba ilçesine bağlı Sefalı, Bölmepınar ve Yenikişla köylerinin yer aldığı tarım arazilerde gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı Çarşamba ilçesine yaklaşık 5 km Samsuna ise 44 km mesafede bulunmaktadır.

Samsun-Çarşamba ilçesinin meteorolojik verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 14.3°C ve yağış miktarı ise 1045.2 mm olup yağışların büyük kısmı kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir. Yağışın en az düştüğü aylar Haziran ve Temmuz aylarıdır. Toprak taksonomisine göre (Soil Survey Staff, 1999) toprak nem kontrol kesitinde 50 cm derinlikte toprak sıcaklığı 5°C'nin üzerinde olduğu dönemin yarısından daha fazlası kadar sürede 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 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 bulunmuştur. Çalışmada 8 farklı profil çukuru incelenmiş olup, toprak sınıflamasına göre (Soil Survey Staff, 1999) göre, 3'ü Vertisol, 2'si İnseptisol ve 3'ü ise Entisol olarak sınıflandırılmıştır.

Arazide her profile ait horizonlarda civalı cam termometre ile (Sterling ve Jackson, 1986) toprak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen sıcaklık değerleri kullanılarak, toprağın  $x_i - x_{i+1}$  katmanındaki ısısal yayılım katsayısı ( $m^2sn^{-1}$ )

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

(burada;  $A_i$  ve  $A_{i+1}$  uygun olarak toprağın  $x_i$  ve  $x_{i+1}$  derinliklerine (m) ait sıcaklık amplitütü, °C;

$\omega = 2\pi / P = \frac{6.28}{86400sn} \approx 0.0000727sn^{-1}$  -açısal frekansdır) ifadesine göre belirlenmiştir (Trombotto ve Borzotta,

2009; Correia ve ark., 2012; Arias-Penas ve ark., 2015). Boyutsuz sıcaklık fonksiyonu benzerlik teorisine göre oluşturulmuştur. Benzerlik teorisine dayanarak, birimsiz analiz yöntemine göre benzerlik kriteri (sayısı) hesaplanmıştır. Benzerlik kriterinin hesaplanmasında  $\pi$  teoreminden yararlanılmıştır.

## Bulgular ve Tartışma

### Araştırma topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Vertisol toprakta organik madde %1.05-5.38 aralığında değişmekte, yukarı horizonlarında yüksek, aşağı horizonlarında ise düşük olmaktadır. Tuz miktarı düşük olup, EC değerleri 0.01-0.15 dSm<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. Kil miktarı (%11.6 kil miktarına sahip 2C (116+ cm) horizonu dışında) % 56.0-75.9; silt miktarı %13.6-31.0; kum miktarı (%57.3 kum miktarına sahip 2C (116+ cm) horizonu dışında) %8.8-28.8; hacim ağırlığı 1.19-1.56 gr cm<sup>-3</sup>; tarla kapasitesi ise (%11.9 tarla kapasitesine sahip 2C (116+ cm) horizonu dışında) %33.5-38.6 aralığında değişmektedir.

Inceptisol toprakda tuz miktarı düşük olup, EC değerleri 0.01-0.11 arasında değişmektedir. Yukarı horizonlarda organik madde orta (%2.49-3.93) , aşağı horizonlarda ise düşük (%0.35-1.65) bulunmaktadır. Toprak bünyesi ise killi olup (% 21.8 kil miktarına sahip kumlu tınlı C1 (90+ cm) horizonu dışında), kil miktarı %40.9-71.8; silt miktarı %19.5-36.2; kum miktarı ise %7.5-29.5 (%46.9 kuma sahip C1 (90+ cm) horizonu dışında) aralığında saptanmıştır. Hacim ağırlığı 1.19-1.55 gr cm<sup>-3</sup>; tarla kapasitesi ise %16.7-38.7 arasında belirlenmiştir.

Entisol toprakda tuz miktarı düşük (0.03-0.19 dSm<sup>-1</sup>), yukarı horizonlarda organik madde yüksek (% 3.96-5.20), aşağı katmanlarda ise düşük (%1.01-2.85) bulunmaktadır. Toprak bünyesi genellikle tın bünyeye sahip olup, tarla kapasitesi yüksek (%6.9-31.8) olmamaktadır.

### Toprak sıcaklığına ait benzerlik kriterinin belirlenmesi

Herhangi bir ortamdaki (topraktaki) fiziksel süreçleri ifade eden teorik modellerin terimleri, süreci ifade eden temel değişkenleri kapsayan değişken ifadelerden oluşmaktadır. Bu durumda, değişken ifadelerin sonlu ifadelerle dönüştürülmesi yönteminin belirlenmesi gereklidir. Benzerlik teorisi değişken ifadeler içeren terimlerin basit cebirsel ifadelerle dönüşümünü sağlayan genel yöntemin elde edilmesine imkan sağlar. Bu yöntemde gerçek süreç basit ve koşullu durumla değiştirilmekte, tüm değişken ifadeler ise ortamdaki sürecin gerçekleştiği zamanda sabit değerlerini sağlamaktadır. Benzerlik teorisi kullanılarak boyutlu fiziksel parametreler birleştirilerek boyutsuz bir ifade biçiminde gösterilir. Boyutsuz ifade sayısı, bu ifadeyi oluşturan parametreler sayısından daha az olmakta ve boyutsuz ifadeye yeni bir değişkenmiş gibi bakılmaktadır. Modele boyutsuz bir ifade dahil edildiğinde, aranan fonksiyonda şekilsel olarak değişkenler azalmakta ve sürecin incelenmesi kolaylaşmaktadır. Bundan başka, yeni boyutsuz değişkenler ayrı ayrı faktörlerin etkisini göstermekle beraber, boyutsuz değişkenlerin birleşimi incelenen süreçlerdeki fiziksel ilişkilerin kolay belirlenmesine imkan sağlar. Benzerlik teorisi her hangi bir ortamdaki model veya laboratuvar sonuçlarının benzer başka bir ortam sürecinde de uygulanabilirliği koşullarının tespitinde kullanılmaktadır. Boyutsuz değişken sayısının belirlenmesinde Buckingham  $\pi$  teoremi kullanılmaktadır:  $N \geq 2$  sayıda boyutlu değişkene sahip ve bu değişkenler içerisinde  $K \geq 1$  sayıda temel boyutla (kütle, uzunluk, zaman vb.) ifade edilen değişkenlerden oluşmuş, fiziksel denklemlerin boyutsuz biçime dönüştürülmesi sonucunda boyutsuz değişken sayısı  $N - K$  olmaktadır (Buckingham, 1914; Bridjmen, 1934; Kirpiçev ve Konakov, 1949; Sedov, 1967; Guhman, 1973; Turcotte ve Schubert, 1985; Moiseev ve İvanova, 2000; Moiseev, 2004).

Toprak profili boyunca sıcaklığın değişimi, katmanlardaki ortalama ( $T_{ort}$ ), maksimum ( $T_{mak}$ ) ve minimum ( $T_{min}$ ) sıcaklıklara bağlı olmaktadır. Buna göre, benzerlik teorisine uygun olarak sıcaklık değişimi (boyutsuz sıcaklık fonksiyonu) aşağıdaki gibi dahil edilir:

$$\Delta T = \frac{T_{mak} - T_{min}}{T_{ort}} \quad (2)$$

Toprak derinliği, ısısal yayılım ve zaman sıcaklık değişimine etki yapan temel faktörler olmaktadır. Boyutsuz sıcaklık fonksiyonunun değeri benzerlik teorisiyle belirlenmektedir. Boyutsuz sıcaklık fonksiyonu

$N = 3$  (uzunluk- $L$ , zaman- $T$ , ısısal yayılım- $\frac{L^2}{T}$ ) sayıda boyutlu değişkene sahip olup,  $N$  değişkenleri

içerisinde  $K = 2$  sayıda değişken (uzunluk- $L$ , zaman- $\tau$ ) ise temel boyutlarla ifade edilmektedir.  $\pi$  teoremine göre, boyutsuz fonksiyon, temel boyutlarla ifade edilen değişkenlerin birleşmesinden oluşan  $N - K = 1$  sayıda boyutsuz değişkene bağlı olmaktadır. Bu durumda boyut yöntemine göre,  $x^\alpha \tau^\beta a^\gamma$  ifadesi sıfır boyutlu olup, aşağıdaki eşitlik sağlanmaktadır:

$$x^\alpha \tau^\beta a^\gamma = L^0 T^0$$

Boyutsuz değişkenin kuvveti de birimsiz olduğu için,  $\alpha, \beta$  ve  $\gamma$  sayıları sınırlanmamakta ve her hangi bir sayının  $\pm 1$ 'e eşit olması mümkündür.  $\alpha = 1$  ise,

$$x \tau^\beta a^\gamma = L T^\beta \left( \frac{L^2}{T} \right)^\gamma = L^{1+2\gamma} T^{\beta-\gamma} = L^0 T^0 \Rightarrow \begin{cases} 1+2\gamma = 0 \\ \beta-\gamma = 0 \end{cases} \Rightarrow \beta = -\frac{1}{2}, \alpha = -\frac{1}{2} \text{ olarak, } x, \tau, a$$

değişkenlerinin mümkün olan boyutsuz birleşimi  $x \tau^\beta a^\gamma = x \tau^{-\frac{1}{2}} a^{-\frac{1}{2}} = \frac{x}{\sqrt{a\tau}}$  olur.

Böylece, benzerlik kriteri  $\pi = \frac{x}{\sqrt{a\tau}}$  olarak belirlenir ve  $\Delta T = f\left(\frac{x}{\sqrt{a\tau}}\right) = f(\pi)$  elde edilir. Vertisol,

Inceptisol, Entisol topraklarda sıcaklık değişimine uygun  $\Delta T$  ve  $\pi$  benzerlik kriterinin değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Vertisol, Inceptisol, Entisol topraklarda herbir horizonun 20 cm katmanı için  $\pi$  kriterleri

Horizon	Derinlik, cm	OM, %	W, %	Sıcaklık, °C			a, m <sup>2</sup> sn <sup>-1</sup>	$\Delta T$	$\pi$ kriteri
				T <sub>min</sub>	T <sub>mak</sub>	T <sub>ort</sub>			
Vertisol / Typic Calciustert Alt Grup									
Yüzey	0	-	-	16.5	30.0	21.4	-	0,63	-
Ap	0-27	4,87	33,9	14,3	22,5	18,2	5,51·10 <sup>-6</sup>	0,45	0,290
Bss	27-65	4,58	34,8	12,5	18,9	16,9	8,96·10 <sup>-6</sup>	0,38	0,227
2C	65-110	2,30	33,5	11,2	15,7	14,9	8,77·10 <sup>-6</sup>	0,30	0,230
Vertisol / Chromic Hapluster Alt Grup									
Yüzey	0	-	-	15,6	30,7	21,8	-	0,69	-
A	0-33	5,35	35,2	13,2	21,1	17,0	6,59·10 <sup>-6</sup>	0,46	0,265
Bss1	33-78	2,89	37,0	12,5	17,7	16,0	9,50·10 <sup>-6</sup>	0,33	0,221
Bss2	78-116	1,99	35,8	11,3	15,9	15,2	6,67·10 <sup>-6</sup>	0,30	0,263
Vertisol / Typic Haplustert Alt Grup									
Yüzey	0	-	-	20,3	31,1	24,9	-	0,43	-
Ap	0-22	5,38	34,1	14,6	21,3	17,8	5,38·10 <sup>-6</sup>	0,38	0,293
Bss1	22-73	4,54	35,4	12,5	18,0	16,8	8,25·10 <sup>-6</sup>	0,33	0,237
Bss2	73-107	2,20	37,5	11,0	15,6	15,0	8,74·10 <sup>-6</sup>	0,31	0,230
Inceptisol / Vertic Haplustept									
Yüzey	0	-	-	20,5	35,9	26,7	-	0,58	-
Ap	0-23	3,93	36,2	12,3	20,4	15,3	5,52·10 <sup>-6</sup>	0,53	0,290
Bw1	23-58	2,49	37,7	12,0	19,7	17,2	8,76·10 <sup>-6</sup>	0,45	0,230
Bw2	58-90	1,65	27,0	11,4	16,5	15,3	6,91·10 <sup>-6</sup>	0,33	0,259
Inceptisol / Typic Haplustept									
Yüzey	0	-	-	18,4	29,7	23,9	-	0,47	-
Ap	0-30	3,15	28,2	14,1	20,0	17,2	6,17·10 <sup>-6</sup>	0,34	0,274
Bw1	30-64	3,08	36,7	12,8	17,0	15,6	8,74·10 <sup>-6</sup>	0,27	0,230
Bw2	64-107	1,38	38,3	10,7	14,4	13,8	9,36·10 <sup>-6</sup>	0,27	0,222
Entisol / Mollic Ustifluent									
Yüzey	0	-	-	24,5	37,0	28,8	-	0,43	-
Ap	0-21	4,17	19,1	13,7	20,6	16,1	4,45·10 <sup>-6</sup>	0,43	0,323
A2	21-55	2,85	31,8	13,9	18,8	16,6	8,20·10 <sup>-6</sup>	0,30	0,238

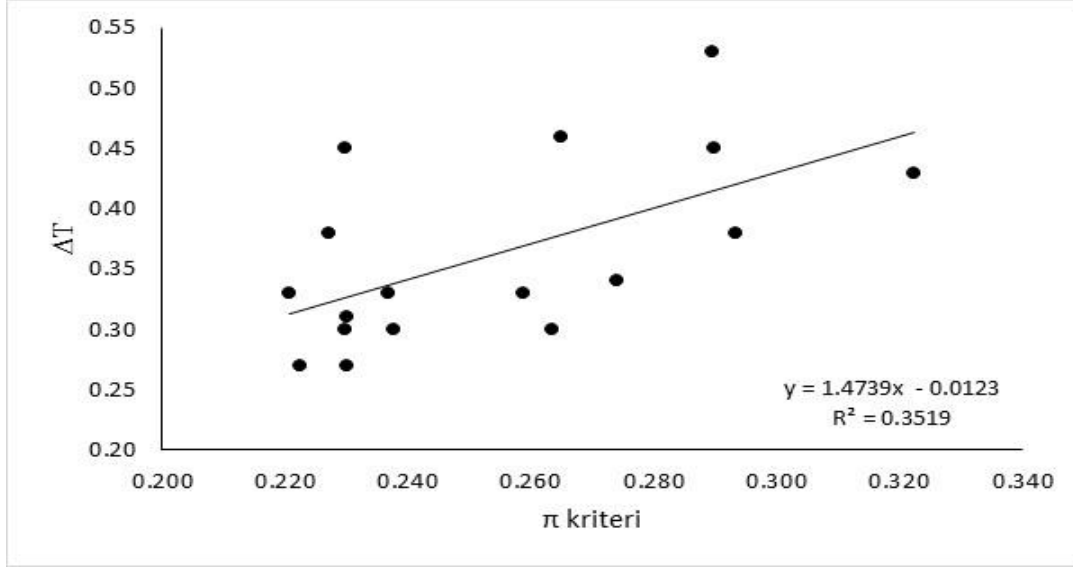
OM-organik madde, HA-hacim ağırlığı, W-tarla kapasitesi, T<sub>min</sub>-minimum sıcaklık, T<sub>mak</sub>-maksimum sıcaklık, T<sub>ort</sub>-ortalama sıcaklık, a-ısısal yayınım

Çizelge 1'den görüldüğü gibi,  $\pi$  benzerlik kriterinin eşit veya yakın olduğu değerlerde, toprakların farklı horizonlarında sıcaklık değişimi benzerlik göstermektedir. Bu ise ayrı ayrı toprak horizonlarında sıcaklığa bağlı olarak toprak süreçlerinin tahmini değişimi hakkında bilgi verebilir.

$\pi = \frac{x}{\sqrt{a\tau}}$  benzerlik kriteri toprak derinliğine bağlı olarak ısısal değişimi, dolayısıyla sıcaklık değişimini

ifade ettiğinden,  $\Delta T = f(\pi)$  fonksiyonel ilişkisi (Şekil 1) aşağıdaki regresyon ifadesi ile bulunmuştur:

$$\Delta T = 1.4739\pi - 0.0123 \quad (R=0.593) \quad (1)$$



Şekil 1. Vertisol, Inceptisol, Entisol toprak horizonlarında sıcaklık değişimiyle  $\pi$  kriteri arasındaki ilişki

(1) regresyon ilişkisi benzerlik kriterinin  $\pi < 0.4$  değerlerinde, toprak horizonlardaki sıcaklık değişiminin benzerliğinin belirlenmesine imkan sağlamaktadır.

## Sonuç

Farklı toprak profillerindeki toprak özelliklerinin değişiminin incelenmesinde sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması önemlidir. Benzerlik teorisine göre boyutsuz sıcaklık fonksiyonu elde edilmiş ve benzerlik kriteri belirlenmiştir. Benzerlik kriteri ve sıcaklık değişimi arasındaki ilişki bulunmuştur. Topraklardaki sıcaklık benzerliği, dolayısıyla benzerlik kriteri profil derinliğine önemli düzeyde bağlı olup, ısısal yayılım katsayısı ve zamanla ters orantılıdır. Benzerlik kriterinin belirlenmesinde, araştırılan sürece önemli düzeyde etki yapan parametrelerin belirlenmesi çok önemlidir. Toprak parametrelerinin değişimine uygun olarak oluşmakta olan ortam sürecinin doğasını açıklayamaması, benzerlik kriterinin önemli eksikliğidir. Benzer biçimde diğer toprak özellikleri (örneğin, toprak sıkışması, özgül alan, nem, başlangıç hacim ağırlığı vb.) arasındaki karşılıklı etkinin göz önüne alarak, benzerlik kriterinin belirlenmesi mümkün gözükmemektedir.

## Kaynaklar

- Afify AA, 2009. Similarity solution in MHD: Effects of thermal diffusion and diffusion thermo on free convective heat and mass transfer over a stretching surface considering suction or injection. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14: 2202-2214.
- Arias-Penas D, Castro-Garcia MP, Rey-Ronco MA, 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.
- Blasius H, 1908. Grenzschichten in flüssigkeiten mit kleiner reibung. *Z. Math. Phys.* 56: 1-37.
- Bridjmen PV, 1934. Analiz razmernostey. ONTİ Press, Moskova-Leningrad, 119 s.
- Buckingham E, 1914. On Physically Similar Systems: Illustrations of the Use of Dimensional Analysis. *Phys. Rev.* 4: 345.
- 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, Erel A, Erkocak A, Durmuş M, 2012. Kuşkonuğu Havzası Temel Toprak Özellikleri, Sınıflandırılması ve Haritalanması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 49(1): 71-82.

- Dengiz O, Kızılkaya R, Erkocak A, Durmus M, 2013. Variables of Microbial Response in Natural Soil Aggregates for Soil Characterization in Different Fluvial Land Shapes. *Geomicrobiology Journal* 30: 100-107.
- Durmuş M, Erkoçak A, Kızılkaya R, Dengiz O, 2011. Alüviyal araziler üzerinde oluşan farklı toprakların katalaz enzim aktivitelerindeki değişimin belirlenmesi. Prof. Dr. Nuri Munsuz Ulusal Toprak ve Su Sempozyumu. 25-27 Mayıs 2011, Ankara, s.153-159.
- 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.
- Gilding BH, 1982. Similarity solutions of the porous media equation. *Journal of Hydrology* 56 (3-4): 251-263.
- Guhman AA, 1973. Vvedeniye v teoriya podobiya. Vışşaya Şkola Press, Moskova, 254 s.
- Ihsak A, 2010. Similarity solutions for flow and heat transfer over a permeable surface with convective boundary condition. *Applied Mathematics and Computation* 217: 837-842.
- İsacenko VP, Osipova, VA, Sukomel AS, 1981. Teploperedaçı. Energoizdat Press, Moskova, s. 129-146.
- Kirpiçev MV, Konakov PK, 1949. Matematiçeskiye osnovı teori podobiya. AN SSSR Press, Moskova-Leningrad, 98 s.
- Kreith F, Black WZ, 1983. Basic heat transafer, Mir Pres, Moskova, s.33-40.
- Luikov AV, 1967. Teoriya teploprovodnosti. Vışşaya Şkola Press, Moskova, s. 33-43.
- Moiseev KG, 2004. Application of similarity theory for the study of soil compaction phenomena. *Pochvovedenie* 8: 934-936.
- Moiseev KG, İvanova KF, 2000. Primeneniye teori podobiya pri izuçenii sdviga povc. *Pochvovedenie* 10: 1233-1237.
- Okoya SS, 2001. Similarity temperature profiles for some nonlinear reaction - diffusion equations. *Mechanics Research Communications* 28(4): 477-484.
- Rohesenow WM, Hartnett JP, eds., 1973. Handbook of heat transfer, Sec. 3 (by P.J. Schneider), McGraw, New York.
- Samanta S, Guha A, 2012. A similarity theory for natural convection from a horizontal plate for prescribed heat flux or wall temperature. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55: 3857-3868.
- Sedov Lİ, 1967. Metodı podobiya i razmernosti v mehanike. Nauka Press, Moskova, 428 s.
- Soil Survey Staff, 1999. Soil Taxonomy. A Basic of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey. U.S.D.A Handbook No: 436, Washington D.C.
- Sterling AT, Jackson RD, 1986. Temperature. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and Mineralogical Methods. *Agronomy Monograph* No: 9, ASA, SSSA, Madison WI.
- 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.
- Turcotte DL, Schubert G, 1985. Geodynamics. Applications of continuum physics to geological problems (Volume 1). Mir Press, Moskova, s. 219-320.
- Xu G, Li Y, Deng H, Li H, Yu X, 2015. The application of similarity theory for heat transfer investigation in rotational internal cooling channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 85: 98-109.
- Yudayev BN, 1973. Teploperedaçı. Vışşaya Şkola Press, Moskova, s. 38-52.