

Yatay Katmanlı Topraklarda Katman Fiziksel Özelliklerinin Toprak Sıcaklığına Etkisi

Araş. Gör. Arif ÖZBEK
Prof. Dr. Tuncay YILMAZ
Yrd. Doç. Dr. Alper YILMAZ
Prof.Dr. Orhan BÜYÜKALACA

ÖZET

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin uygulamaları son zamanlarda ülkemizde de belirgin bir biçimde artmıştır. Bu uygulamalar için toprağın çeşitli derinliklerindeki sıcaklıklarının bilinmesi çok önemlidir. Toprak yüzeyi ve yüzey altı sıcaklıkları binaların toprakla temas eden kısımlarından ısı kaybı hesaplarında da kullanılmaktadır. Ayrıca toprak yüzey örtüsünün değişimiyle de toprak sıcaklıkları kontrol edilebilmektedir. Ziraî uygulamalarda da malçlama olarak adlandırılan toprak yüzey örtüsü değişimi ile toprağın sıcaklık vb. özelliklerinin değiştirilerek bitkilerin daha iyi gelişme göstermesi; kaliteli, erkenci ve bol ürün alınması sağlanabilmektedir. Bu çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden İzmir il merkezi için alınan güneş ışınımı, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızı rasat bilgilerinin 23 yıllık günlük ortalama değerleri kullanılarak homojen yapıli yatay katmanlı topraklarda farklı katman fiziksel özelliklerinin ve buharlaşma katsayısının toprak sıcaklıklarına etkisi nümerik olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Toprak Kaynaklı Isı Pompası, Yatay Katmanlı Toprak, Toprak Buharlaşma Katsayısı.

1. GİRİŞ

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin uygulamalarında ve bazı ziraî uygulamalarda toprak sıcaklıklarının ve toprak yüzey sıcaklıklarının bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple birçok araştırmacı analitik, nümerik ve deneysel metodlar kullanarak toprak sıcaklıklarının belirlenmesi çalışmaları yapmışlardır. Mihalakakou ve ark. [1, 2] ve Salah El Din [3] toprak sıcaklıklarının belirlenmesi ile ilgili analitik çalışmalar yaparken, nümerik model geliştiren araştırmacı sayısı da oldukça fazladır [4, 5, 6]. Bu çalışmada, toprak yüzey sıcaklıkları (TYS) ve farklı derinliklerdeki toprak sıcaklıklarının (TS) değişimlerini gösteren nümerik bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen nümerik model ile farklı fiziksel özelliklerdeki alt-üst katmanlar kullanılarak TYS ve TS'ler hesaplanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların ise toprak kaynaklı ısı pompaları uygulamaları için yararlı olması beklenmektedir.

2. MATEMATİK MODEL

Tek katmanlı toprak için yapılan matematik model ve analitik metod [7]'de; geliştirilen nümerik model ise [8]'de açıklanmıştır. Daha ayrıntı-

Abstract:

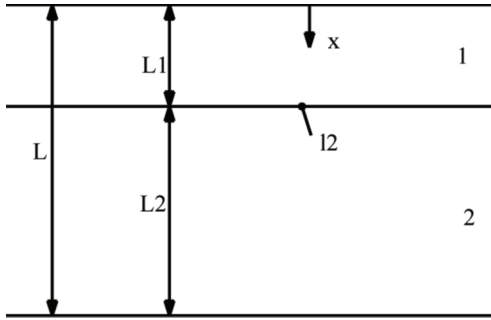
Using of ground source heat pump systems has been increased noticeably in Turkey. Temperatures in certain depths are very important for such systems. Soil surface and soil temperatures are used to heat transfer calculations from buildings which are contact with the soil. In addition, soil temperatures can be controlled with changing of soil surface cover. In agricultural applications, changing of soil surface cover is defined as mulching. Quality, early and get plenty of products can be provided with mulching. In this study, 23 years daily mean values of ambient temperature, relative humidity, solar radiation and wind velocity measured by The State Meteorological Affairs General Directorate for İzmir were used. The influence of layer physical properties and evaporation fraction on the ground temperature distribution in horizontal multi-layer soils was calculated numerically.

Key Words:

Ground Source Heat Pump, Horizontal Multi-Layer Soil, Soil Evaporation Fraction.

Makale

tılı bilgi için [9] ve [10]'a da göz atılabilir. İki katmanlı toprakta ise Şekil 1'den de görüldüğü üzere toprağın iki farklı yatay katmandan oluştuğu varsayılmıştır.



Şekil 1. İki Yatay Katmanlı Toprak.

İki ayrı yatay katmandan oluşan homojen yapılu topraklarda ısı transferinde 1. ve 2. katman için aşağıda verilen tek boyutlu zamana bağlı diferansiyel denklemdir.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

Eş.(1)'deki a alt ve üst katmanların ısı yayılım katsayılarıdır.

$x=L1$ ve $x=L'$ 'deki sınır şartları aşağıdaki gibi verilebilir.

$$x = L1 : \quad k_1 \left(\frac{dT}{dx} \right)_1 = k_2 \left(\frac{dT}{dx} \right)_2 \quad (2)$$

$$x = L : \quad \frac{dT}{dx} = 0 \quad (3)$$

Eş.(3)'ün geçerli olabilmesi için L 'nin çok büyük bir değer olması gerekmektedir. Eş.(2)'deki k_1 ve k_2 ise sırasıyla alt ve üst katmanların ısı iletim katsayılarıdır.

Tablo 1'de genel olarak Türkiye'de en çok karşılaşılan toprak tipleri belirtilmiştir.

3. NÜMERİK HESAPLAR

Çift katmanlı toprak için geliştirilen nümerik modelde de tek katmanlı modelde olduğu gibi sonlu farklar

Tablo 1. Bazı Toprak Tiplerinin Isıl Özellikleri.

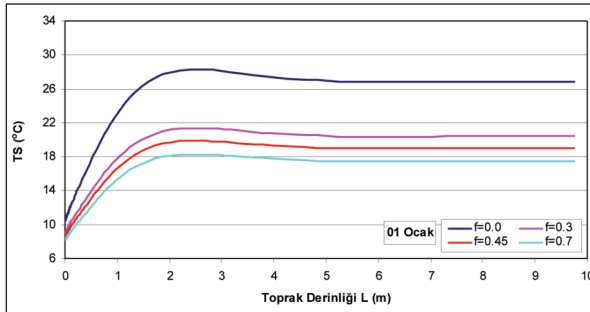
Toprak Tipi	a (mm ² /s)	k (W/m°C)
Çakıllı Toprak	0.139	0.52
Nemli-Hafif Toprak	0.555	0.87
Nemli-Ağır Toprak	0.648	1.3
Kuru-Ağır Toprak	0.521	0.95

metodu uygulanmıştır. Yapılan nümerik hesaplamalar ile İzmir merkezi için DMİ'den alınan hava sıcaklığı, güneş ışınımı, bağıl nem ve rüzgar hızı rasat bilgilerinin 23 yıllık günlük ortalama değerleri kullanılarak TYS ve TS'ler bulunmuştur. Geliştirilen nümerik modelden elde edilen sonuçların doğruluğunu kontrol edebilmek için analitik hesaplarda yapılan tüm varsayımlar yapılarak geliştirilen nümerik yöntem uygulanmıştır. Yapılan basitleştirmeler ile nümerik hesaplarda da analitik hesaplamalardaki parametreler kullanılmış ve birbirlerine çok yakın sonuçlar elde edilmiş ve böylece nümerik yöntemin doğruluğu gösterilmiştir [9,10].

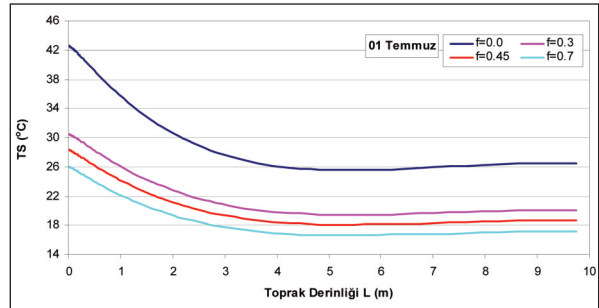
4. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı alt katman fiziksel özelliklerinin toprak sıcaklığına etkisi incelenmiştir. Hesaplamalar sırasında toprak nemliliğini gösteren buharlaşma katsayısı f değiştirilmiş; bunun yanında toprak yüzeyi yutma katsayısı $a_s=0.9$ olarak sabit alınmıştır. 5 mm kalınlığında kabul edilen üst katmanın ısı iletim katsayısı k ve ısı yayılım katsayısı a sırasıyla 0.87 W/mK ve 0.555 mm²/s olarak kabul edilmiş; alt katmanın kalınlığı da 10 m olarak alınmıştır. Eğer toprak yüzeyi suni olarak muşamba gibi ince su geçirmez bir katman ile kaplanırsa, toprak yüzeyinden atmosfere su buharlaşmasından dolayı ısı transferi olmayacak ve f 'nin değeri 0.0 olacaktır. f 'nin 0.0 olması demek, toprak yüzeyinden atmosfere su buharlaşmasıyla ısı transferinin olmaması demektir. Bu da alt katman toprak fiziksel özellikleri ne olursa olsun toprak sıcaklıklarının artması anlamına gelmektedir.

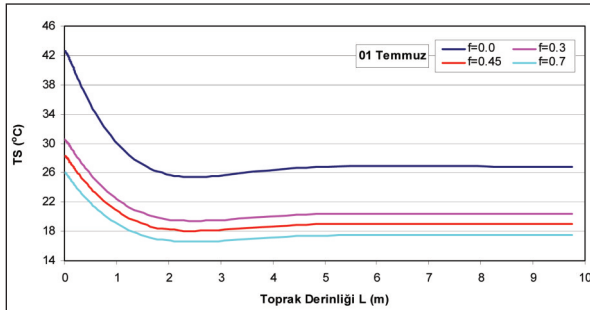
Şekil 1 ve 2'de çakıllı toprak için 01 Ocak ve 01 Temmuzda toprak sıcaklıkları gösterilmiştir.



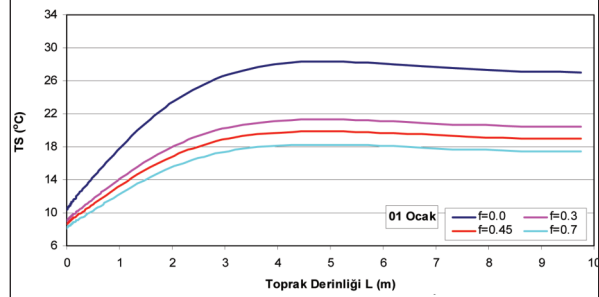
Şekil 1. 01 Ocakta Çakıllı Toprakta Farklı Buharlaşma Katsayıları İçin Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.



Şekil 4. 01 Temmuzda Nemli-Ağır Toprakta Farklı Buharlaşma Katsayıları İçin Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.

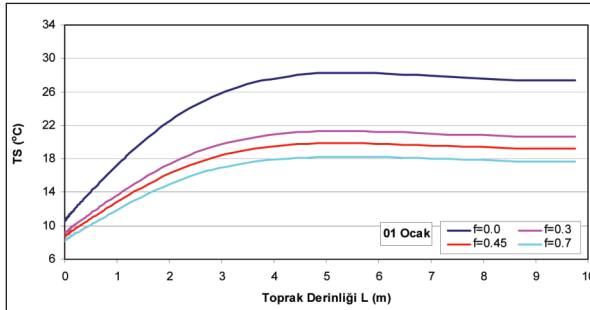


Şekil 2. 01 Temmuzda Çakıllı Toprakta Farklı Buharlaşma Katsayıları İçin Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.

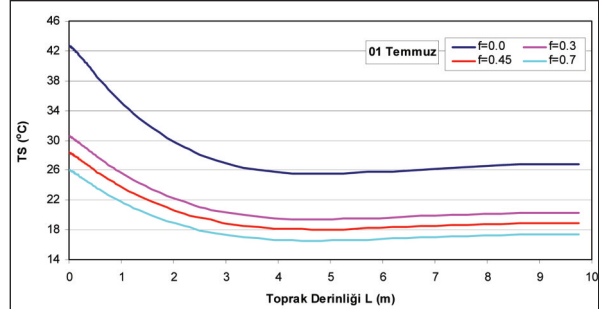


Şekil 5. 01 Ocakta Kuru-Ağır Toprakta Farklı Buharlaşma Katsayıları İçin Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.

Şekil 3 ve 4'te nemli-ağır toprak için 01 Ocak ve 01 Temmuzda toprak sıcaklıkları gösterilmiştir.



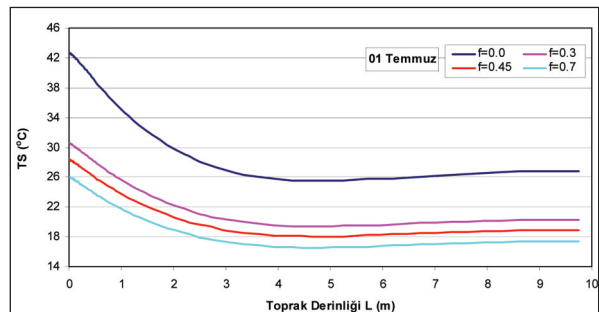
Şekil 3. 01 Ocakta Nemli-Ağır Toprakta Farklı Buharlaşma Katsayıları İçin Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.



Şekil 6. 01 Temmuzda Kuru-Ağır Toprakta Farklı Buharlaşma Katsayıları İçin Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.

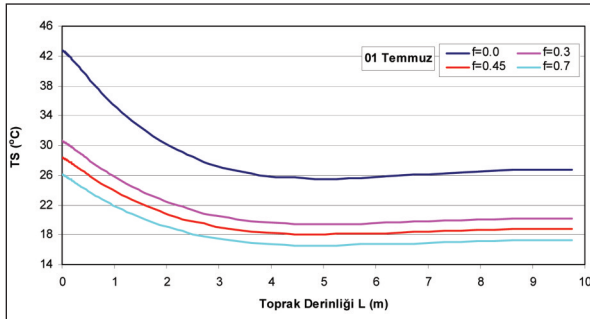
Şekil 5 ve 6'da ise kuru-ağır toprak için 01 Ocak ve 01 Temmuzda toprak sıcaklıkları gösterilmiştir.

Şekil 7 ve 8'de nemli-hafif toprak için 01 Ocak ve 01 Temmuzda toprak sıcaklıkları gösterilmiştir.



Şekil 7. 01 Ocakta Nemli-Hafif Toprakta Farklı Buharlaşma Katsayıları İçin Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.

Makale



Şekil 8. 01 Temmuzda Nemli-Hafif Toprakta Farklı Buharlaşma Katsayıları İçin Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.

Bu grafiklerden bütün toprak türleri için $f=0.0 - 0.3$

arasında 01 Ocak için maksimum $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 01 Temmuz için $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $f=0.3 - 0.45$ arasında 01 Ocak için maksimum $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 01 Temmuz için $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $f=0.45 - 0.7$ arasında ise 01 Ocak için maksimum $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 01 Temmuz içinse $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ farklar bulunmaktadır.

Şekil 1-8 arasında 01 Ocak ve 01 Temmuz için elde edilen toprak sıcaklıklarının derinlikle değişimlerini gösteren grafiklerden elde edilen maksimum (T_{maks}), minimum (T_{min}), dip (T_{dip}), ve yüzey (TYS) sıcaklıkları ve bu sıcaklıkların olduğu derinlikler Tablo 2-5'te verilmiştir. Tablo 2-5'te 01 Ocak ve 01

Tablo 2. 01 Ocak ve 01 Temmuz İçin Çakıllı Toprakta Maksimum, Minimum, Dip ve Yüzey Sıcaklıkları.

	Çakıllı Toprak							
	01 Ocak				01 Temmuz			
	f=0.0	f=0.3	f=0.45	f=0.7	f=0.0	f=0.3	f=0.45	f=0.7
Maks. veya min. sıcaklık, $T_{\text{maks}}, T_{\text{min}}, (^{\circ}\text{C})$	maks	maks	maks	maks	min	min	min	min
	28.3	21.36	19.9	18.29	25.48	19.41	18.07	16.58
Maks. veya min. sıcaklığın olduğu derinlik (m)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
10 metredeki sıcaklık, $T_{\text{dip}} (^{\circ}\text{C})$	26.84	20.42	19.02	17.48	26.84	20.41	19.01	17.47
Yüzey sıcaklığı TYS, ($^{\circ}\text{C}$)	10.42	9.03	8.64	8.17	42.67	30.55	28.36	26.07

Tablo 3. 01 Ocak ve 01 Temmuz İçin Nemli-Ağır Toprakta Maksimum, Minimum, Dip ve Yüzey Sıcaklıkları.

	Nemli-Ağır Toprak							
	01 Ocak				01 Temmuz			
	f=0.0	f=0.3	f=0.45	f=0.7	f=0.0	f=0.3	f=0.45	f=0.7
Maks. veya min. sıcaklık, $T_{\text{maks}}, T_{\text{min}}, (^{\circ}\text{C})$	maks	maks	maks	maks	min	min	min	min
	28.28	21.31	19.85	18.24	25.55	19.43	18.09	16.6
Maks. veya min. sıcaklığın olduğu derinlik (m)	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48
10 metredeki sıcaklık, $T_{\text{dip}} (^{\circ}\text{C})$	27.35	20.64	19.22	17.65	26.49	20.06	18.69	17.17
Yüzey sıcaklığı TYS, ($^{\circ}\text{C}$)	10.54	9.09	8.69	8.21	42.59	30.53	28.35	26.06

Tablo 4. 01 Ocak ve 01 Temmuz İçin Kuru-Ağır Toprakta Maksimum, Minimum, Dip ve Yüzey Sıcaklıkları.

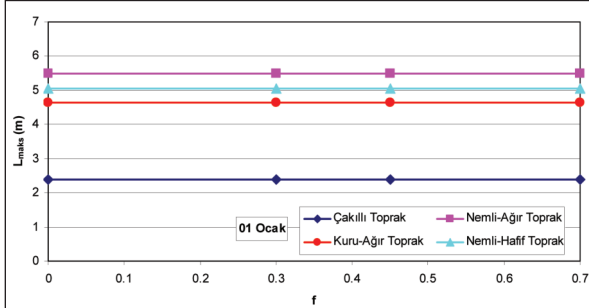
	Kuru-Ağır Toprak							
	01 Ocak				01 Temmuz			
	f=0.0	f=0.3	f=0.45	f=0.7	f=0.0	f=0.3	f=0.45	f=0.7
Maks. veya min. sıcaklık, $T_{\text{maks}}, T_{\text{min}}, (^{\circ}\text{C})$	maks	maks	maks	maks	min	min	min	min
	28.29	21.32	19.86	18.26	25.51	19.4	18.06	16.57
Maks. veya min. sıcaklığın olduğu derinlik (m)	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64
10 metredeki sıcaklık, $T_{\text{dip}} (^{\circ}\text{C})$	27	20.41	19	17.45	26.81	20.28	18.89	17.36
Yüzey sıcaklığı TYS, ($^{\circ}\text{C}$)	10.38	9.01	8.62	8.16	42.7	30.56	28.37	26.08

Tablo 5. 01 Ocak ve 01 Temmuz Nemli-Hafif Toprakta Maksimum, Minimum, Dip ve Yüzey Sıcaklıkları.

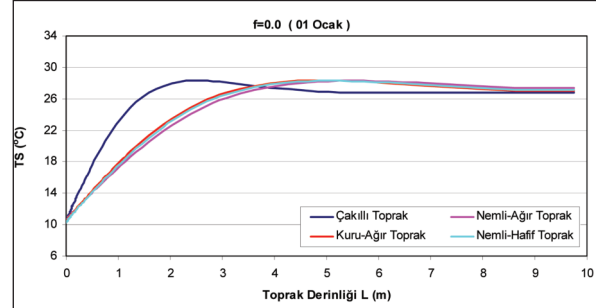
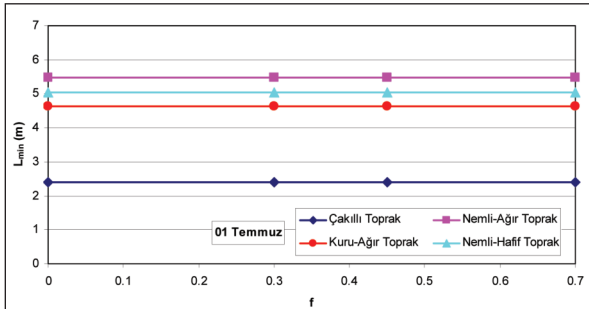
	Nemli-Hafif Toprak							
	01 Ocak				01 Temmuz			
	f=0.0	f=0.3	F=0.45	f=0.7	f=0.0	f=0.3	f=0.45	f=0.7
Maks. veya min. sıcaklık, T_{maks} , T_{min} , ($^{\circ}C$)	maks	maks	maks	maks	min	min	min	min
	28.29	21.32	19.86	18.25	25.52	19.4	18.06	16.58
Maks. veya min. sıcaklığın oluştığı derinlik (m)	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04
10 metredeki sıcaklık, T_{dip} ($^{\circ}C$)	27.1	20.47	19.06	17.5	26.73	20.22	18.84	17.31
Yüzey sıcaklığı TYS, ($^{\circ}C$)	10.3	8.97	8.59	8.13	42.74	30.57	28.38	26.09

Temmuz için bulunan nümerik değerler incelendiğinde T_{maks} , T_{min} , T_{dip} ve TYS sıcaklıklarının çeşitli alt katman türlerinde birbirlerine hemen hemen eşit oldukları fakat T_{maks} ve T_{min} sıcaklıklarının oluştuğu derinliklerin farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Buradan da toprak fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi T_{maks} , T_{min} , T_{dip} ve TYS sıcaklıklarını etkilemezken T_{maks} ve T_{min} sıcaklıklarının oluştuğu derinlikleri etkilemektedir. Bu değişim Şekil 9 ve 10'da verilmektedir.

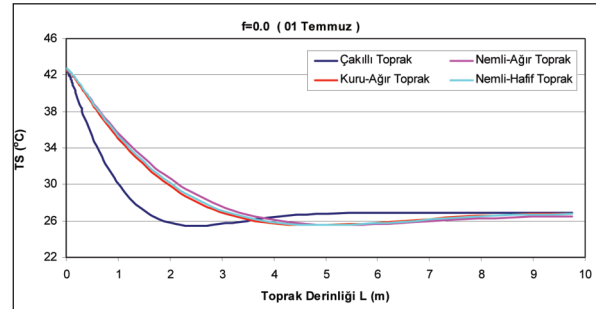
Şekil 11-18 arasında ise f 'nin sabit bir değeri için farklı toprak türlerinin kullanıldığı durumlarda 01 Ocak ve 01 Temmuz için toprak sıcaklıklarının derinlikle değişimleri görülmektedir. Bu grafiklerden de çakıllı toprağın kullanılması durumunda f 'nin bütün değerleri için maksimum veya minimum sıcaklık değerlerine diğer toprak türlerine göre yüzeyle daha yakın derinliklerde ulaşılmaktadır.



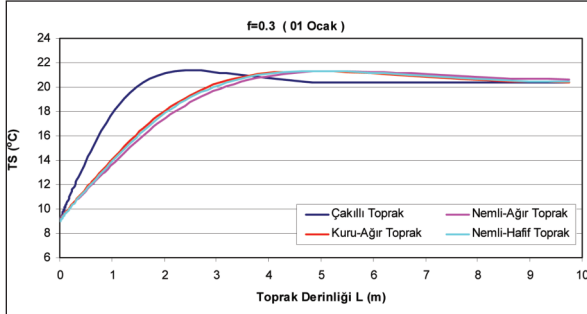
Şekil 9. 01 Ocak'ta Farklı Toprak Tipleri İçin Sıcaklığın Maksimum Değerine Ulaştığı Derinlikler.

Şekil 11. 01 Ocak'ta $f=0.0$ Değeri İçin Farklı Topraklarda Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.

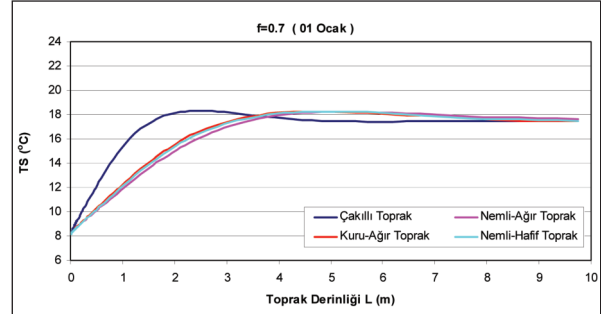
Şekil 10. 01 Temmuz'da Farklı Toprak Tipleri İçin Sıcaklığın Minimum Değerine Ulaştığı Derinlikler.

Şekil 12. 01 Temmuz'da $f=0.0$ Değeri İçin Farklı Topraklarda Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.

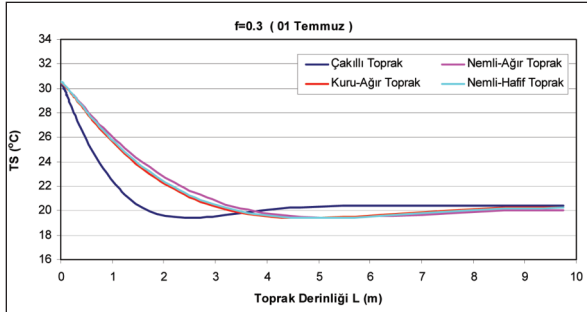
Makale



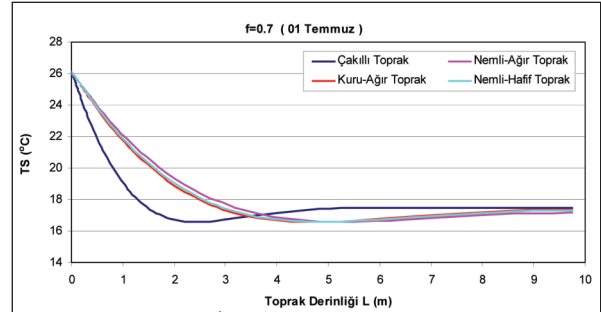
Şekil 13. 01 Ocak'ta $f=0.3$ Değeri İçin Farklı Topraklarda Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.



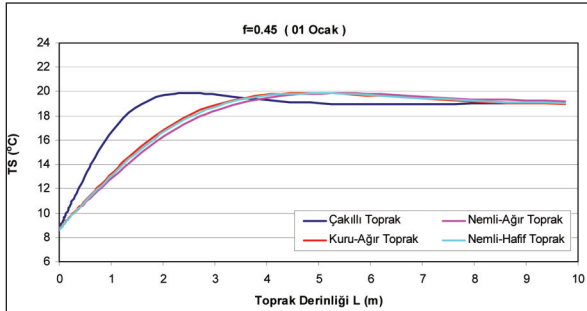
Şekil 17. 01 Ocak'ta $f=0.7$ Değeri İçin Farklı Topraklarda Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.



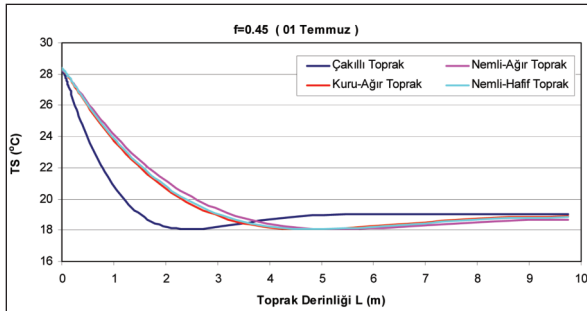
Şekil 14. 01 Temmuz'da $f=0.3$ Değeri İçin Farklı Topraklarda Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.



Şekil 18. 01 Temmuz'da $f=0.7$ Değeri İçin Farklı Topraklarda Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.



Şekil 15. 01 Ocak'ta $f=0.45$ Değeri İçin Farklı Topraklarda Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.



Şekil 16. 01 Temmuz'da $f=0.45$ Değeri İçin Farklı Topraklarda Toprak Sıcaklığının Derinlikle Değişimi.

Bu çalışmada çakıllı alt katman dışında farklı alt katman fiziksel özelliklerinin toprak sıcaklığına etkisinin önemli ölçüde olmadığı; buharlaşma katsayısı f 'nin değiştirilmesinin ise toprak sıcaklıklarını önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür. f 'nin suni olarak değiştirilmesiyle kontrol edilebilecek toprak sıcaklıklarının, toprak kaynaklı ısı pompası uygulamaları için yararlı olabileceği anlaşılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından "107M380" no'lu proje kapsamında desteklenmektedir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] MIHALAKAKOU G., SANTAMOURIS M., LEWIS J. O., ASIMAKOPOULOS D. N. "On the Application of the Energy Balance Equation to Predict Ground Temperature Profiles" Solar Energy 1997; 60:181-190.
- [2] MIHALAKAKOU G. "On Estimating Soil Surface Temperature Profiles" Energy and Buildings 2002; 34:251-259.

- [3] SALAH EL DIN M. M. "On the Heat Flow in to the Ground" *Renewable Energy* 1999; 18: 473-490.
- [4] PIECHOWSKI M. "Heat and Mass Transfer Model of a Ground Heat Exchanger: Validation and Sensitivity Analysis" *Int. J. Energy Res.* 1999; 23:571-588.
- [5] SUZUKI S., ANJU A., KAWAHARA M., "Management of Ground Temperature by Bang-Bang Control Based on Finite Element Application" *International Journal of Numerical Methods in Engineering* 1996; 39:885-901.
- [6] REES S. W., ZHOU Z., THOMAS H. R. "Ground Heat Transfer: A Numerical Simulation off a Full-Scale Experiment" *Building and Environment* 2007; 42:1478–1488.
- [7] YILMAZ T., YILMAZ A., ÖZBEK A., BÜYÜKALACA O., "Yer Kaynaklı Isı Pompaları İçin Toprak Sıcaklıklarının Belirlenmesi", 1. Soğutma Teknolojileri Sempozyumu ve Sergisi, 9-12 Ekim 2008 İzmir.
- [8] ÖZBEK A., YILMAZ T., YILMAZ A., BÜYÜKALACA O., "Çeşitli Toprak Türleri İçin Toprak Sıcaklıklarının Analitik ve Nümerik Olarak Hesaplanması", Ç. Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu, 16-17 Ekim 2008 Adana.
- [9] TÜBİTAK 1. Gelişme Raporu, Proje No: 107M380.
- [10] TÜBİTAK 2. Gelişme Raporu, Proje No: 107M380.