YER KAYNAKLI ISI POMPALARI İÇİN TOPRAK SICAKLIKLARININ BELİRLENMESİ

Tuncay YILMAZ, Alper YILMAZ, Arif ÖZBEK, Orhan BÜYÜKALACA

Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 01330, Balcalı, ADANA

tunyil@cu.edu.tr, alpyil@cu.edu.tr, arozbek@cu.edu.tr, orhanl@cu.edu.tr

ÖZET

Son yıllarda dünyada ve ülkemizde toprak kaynaklı ısı pompalarının (TKIP) kullanımı hızla artmaktadır. TKIP tasarımında toprak yüzey sıcaklıklarının (TYS) ve toprak sıcaklıklarının (TS) bilinmesi gerekmektedir. Türkiye'de toprak sıcaklıkları Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından belirli istasyonlarda ölçülmekte olup, bu değerler sadece ölçüm yapılan yerin iklim ve toprak özellikleri için geçerlidir. Ülkemizde TYS ölçülmediğinden, TYS'nin ölçülen hava sıcaklığı, güneş ışınımı, bağıl nem ve rüzgar hızı gibi değerler kullanılıp, çeşitli toprak türleri için hesaplanarak bulunması gerekmektedir. Bu çalışmada, tek katmandan oluşan topraklar için TYS'ler ve TS'ler DMİ'den alınan hava sıcaklığı, güneş ışınımı, bağıl nem ve rüzgar hızı rasat bilgilerinin 23 yıllık günlük ortalama değerleri kullanılarak analitik olarak hesaplanmıştır. Analitik hesaplama yönteminde sıcaklık sinüs fonksiyonu olarak tanımlanarak yeni sıcaklık değerleri bulunmuş ve daha sonra bu sıcaklıklar zamanın ve toprak derinliğinin bir fonksiyonuna dönüştürülmüştür. Bu çalışmada, farklı toprak özellikleri için elde edilen TYS'ler kıyaslanmıştır. Verilen değerler TKIP'lerin yatay ısı eşanjörlü uygulamaları için çok yararlı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP), Toprak yüzey sıcaklığı (TYS), Toprak sıcaklığı (TS)

1. GİRİŞ

Toprak kaynaklı ısı pompalarının (TKIP) tasarımında toprak yüzey sıcaklıklarının (TYS) ve toprak sıcaklıklarının (TS) bilinmesi gerekmektedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından toprak içindeki sıcaklıklar bazı istasyonlarda 5, 10, 20, 50 ve 100 cm derinliklerde ölçülmektedir. Ancak bu ölçümler sadece ölçülen yerlerdeki toprak özellikleri ve toprak yapıları için geçerli olup, diğer toprak yapılarına ve özelliklerine uygulanamaz. Homojen toprak özellikleri için bazı varsayımlar altında TYS ve TS'yi analitik olarak hesaplamak mümkündür. Bu konuda en önemli çalışmalar [1], [2] ve [3] tarafından yapılmıştır.

Bu çalışmada da analitik çalışmalar dikkate alınarak İzmir için 23 yıllık ortalama meteoroloji rasat bilgileri kullanılarak çeşitli toprak özellikleri için toprak sıcaklıkları hesaplanacak ve toprak sıcaklığına çeşitli parametrelerin etkisi tartışılacaktır.

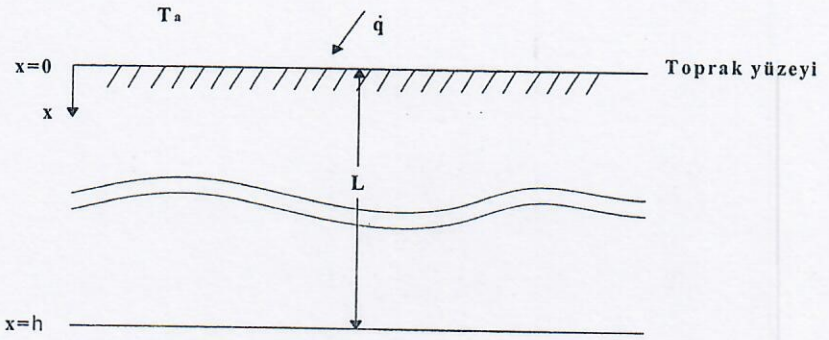
2. TEORİK ESASLAR

Tek katmandan meydana gelen homojen yapılı topraklarda ısı transferi aşağıda verilen tek boyutlu zamana bağlı diferansiyel denklemden hesaplanır:

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

Bu eşitlikte T sıcaklığı, t zamanı, x toprak derinliğine doğru koordinatı ve a da ısıl yayınım katsayısını göstermektedir. Burada toprak fiziksel özellikleri sabit kabul edilmiştir. Bu diferansiyel denklem toprak yüzeyindeki ve yüzeyden çok uzaktaki durumlarda yazılacak iki sınır şartı ile çözülebilir.

Şekil 1'de iki sınır şartının yeri gösterilmiştir.



Şekil 1. *Toprak ve yüzeyi*

Toprak yüzeyindeki sınır şartı en genel şekilde aşağıda verilmiştir:

$$x = 0 \quad : \quad -k\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_s = h(T_a - T_s) + a_s \dot{q} - \varepsilon_e \Delta R - \dot{q}_v \tag{2}$$

Burada eşitliğin sol tarafı toprak içine iletimle transfer edilen ısıyı göstermektedir. Eşitliğin sağ tarafındaki ilk terim konveksiyonla ortamdan transfer edilen ısıyı, ikinci terim yüzeye gelen toplam güneş enerjisini, 3. terim uzun dalga ışınımı ile yüzeyden transfer edilen ısıyı ve son terim ise yüzeyden su buharlaşmasından dolayı meydana gelen ısı kaybını göstermektedir.

Eşt.(2)'deki sembollerden, k toprak ısı iletim katsayısını, h toprak yüzeyi ile ortam arasındaki ısı transferi katsayısını, T_a ortam sıcaklığını, T_s toprak yüzey sıcaklığını, a_s toprak yüzeyi yutma katsayısını, $\dot{q}$ güneş ısı akım şiddetini, ε_e yayma katsayısını, ΔR uzun dalga radyasyonunu ve $\dot{q}_v$ de su buharlaşmasından dolayı yüzeyde olabilecek gizli ısı akım şiddetini göstermektedir.

Konveksiyonla ısı transferi katsayısı h [W/(m^{2}K)], rüzgâr hızı u [m/s] yardımıyla bulunabilir [1]:

$$h = 2.8 + 3u \tag{3}$$

[4]'e göre

$$a_s = 0.9 \quad ; \quad \varepsilon_e = 1 \quad ; \quad \Delta R = 63 \ \text{W/m}^2 \tag{4}$$

olarak alınabilir. a_s için 0.8 değeri de tavsiye edilmiştir [2]. Koyu toprak için ise a_s'nin değeri 0.85 ile 0.95 arasında verilmiştir [5].

Eşt.(2)'deki son terim buharlaşmadan dolayı olan ısı transferidir. ρ_s ve ρ_a toprak yüzeyinde ve ortam havasında su buharının kısmi yoğunlukları olmak üzere, buharlaşma gizli ısısı aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\dot{q}_v = \beta h_{gl} (\rho_s - \rho_a) = \frac{\beta h_{gl} (P_s - P_a)}{R T} \tag{5}$$

Burada R su buharı gaz sabitini, T toprak yüzeyi ve ortam arasında ortalama bir sıcaklık olarak alınan mutlak sıcaklığı göstermektedir. h_{gl} buharlaşma gizli ısısı ve β'da konvektif kütle transferi katsayısıdır.
Kütle transferi katsayısı β, h ile orantılı alınabildiği için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir [2] :

$$\dot{q}_v = 0.0168 f\, h (P_{ss} - \varphi P_{sa}) \tag{6}$$

Burada P_{ss} ve P_{sa} yüzey ve ortam sıcaklıklarında su buharının doyma basınçlarıdır.
Doymuş kısmi basınçlar için TS 825'te 0-30°C arası için aşağıdaki eşitlik verilmiştir [6]:

$$P_s = 288.68\left(1.098 + \frac{T_s}{100}\right)^{8.024} \tag{7}$$

30-60°C arası için ise [4]'de verilen sayısal değerlerden aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir:

$$P_s = 975.29\left(0.9303 + \frac{T_s}{100}\right)^{7.094} \tag{8}$$

Yukarıda verilen (7) ve (8) eşitliklerinde T [°C] olarak verildiğinde P_s'de Pa olarak elde edilmektedir.

Eşt.(6)'daki f değeri çeşitli toprak yüzeylerini ve nemliliği dikkate alan bir parametre olup;

f=1.0	doymuş toprak
f=0.6-0.8	nemli toprak
f=0.4-0.5	kuru toprak
f=0.1-0.2	kurak toprak

(9)

şeklindedir. Çimle kaplı yüzeyler için yukarıda verilen değerlerin %70'i tavsiye edilmektedir [1].
Eşt.(6)'daki P_{ss} ve P_{sa}'nın

$$P_s = A_p T + B_p \tag{10}$$

şekline dönüştürülmesi gerekmektedir. A_p ve B_p ise eşt.(7) ve (8)'de hesaplanan değerlerden aşağıdaki gibi elde edilir:

$$A_p = \frac{P_{s\max} - P_{s\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \tag{11}$$

$$B_p = P_{s\max} - A_p\, T_{\max} \tag{12}$$

T_{max} ve T_{min} değerlerinin yıllık en küçük ve en büyük günlük ortalama dış ortam sıcaklıkları olarak seçilmesi uygundur. Bu değerlerden ve

$$C_v = 0.0168\, f \tag{13}$$

kısaltmasından eşt.(6) ile aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$\dot{q}_v = C_v h\left[A_p T_s - \varphi A_p T_a + B_p(1-\varphi)\right] \tag{14}$$

Eşt.(2), (6), (10) ve (21)'den sınır şartı

$$-k\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right) = h(T_a - T_s) + a_s\, \dot{q} - \varepsilon_e \Delta R - C_v A_p h T_s + C_v A_p h T_a \varphi - C_v B_p h(1-\varphi) \tag{15}$$

haline gelir.

Bu eşitlik de basit olarak

$$-k\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)=h_c(T_{se}-T_s) \tag{16}$$

şeklinde yazılabilir. Burada aşağıdaki kısaltmalar yapılmıştır:

$$h_c = h\,(1+C_v A_p) \tag{17}$$

$$T_{se}=\frac{\left[h\,(1+C_v A_p\varphi)T_a + a_s\,\dot{q} - \varepsilon_e \Delta R - C_v B_p\, h(1-\varphi)\right]}{h_c} \tag{18}$$

Toprağın çok derinliklerinde sıcaklık gradyanı kaybolur. Bunun için aşağıdaki sınır şartı yazılır:

$$x \longrightarrow \infty \;:\; \frac{\partial T}{\partial x}=0 \tag{19}$$

Eşt.(1), (2) ve (19)'un analitik çözümü, sıcaklığın sinüs fonksiyonu olarak tanımlanmasıyla mümkün olmaktadır. Bu kabulle problemin analitik çözümü yapılmıştır [1]. Sıcaklık zamanın ve x ekseninin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$T = T_{sm} + \Delta T_s \exp(-x^*)\,\mathrm{Sin}\left(2\pi t^* - x^* + \phi_s\right) \tag{20}$$

Yüzey sıcaklığı da şu şekilde yazılabilir:

$$T_s = T_{sm} + \Delta T_s\,\mathrm{Sin}\left(2\pi t^* + \phi_s\right) \tag{21}$$

Burada t^* ve x^* aşağıdaki gibi tarif edilmiştir:

$$t^* = \frac{t}{t_o} \tag{22}$$

$$x^* = \frac{x}{x_o} \tag{23}$$

$$x_o = \left(\frac{a t_o}{\pi}\right)^{1/2} \tag{24}$$

t_o yıllık değişim incelendiğinde 365 gündür. Eşdeğer güneş sıcaklığı T_{se} aşağıdaki gibi ifade edilmelidir:

$$T_{se} = T_{sem} + \Delta T_{se}\,\mathrm{Sin}\left(2\pi t^* + \phi_{se}\right) \tag{25}$$

Bu eşitlikte yer alan T_{se} sıcaklığı yıllık hesaplarda yukarıdaki verilen eşitliğe uygun olarak belirlenmeli ve buradan da T_{sem}, ΔT_{se} ve ϕ_{se} değerleri çeşitli eğri uydurma yöntemleri kullanılarak belirlenmelidir.

Bu çalışmada eğri uydurma için çeşitli yöntemler denenmiş ve en uygun olanının Rosenbrock yöntemi olduğuna karar verilmiştir.

ϕ_s ve ϕ_{se}'den de T_s ve T_{se}'nin minimum olma zamanı, ΔT_s ve ΔT_{se} eksi işaretli olduklarından,

$$t^*_{min} = 0.25 - \frac{\phi}{2\pi} \tag{26}$$

olarak bulunabilir.

T_{sm}, ΔT_s ve ϕ_s değerleri aşağıda verilen bağıntılardan hesaplanmalıdır [1]:

$$T_{sm} = T_{sem} \tag{27}$$

$$\Delta T_s = \Delta T_{se}\left[(1+\mu)^2 + \mu^2\right]^{-1/2} \tag{28}$$

$$\phi_s = \tan^{-1}\left[\frac{(1+\mu)^2 \tan\phi_{se} - \mu}{(1+\mu) + \mu \tan\phi_{se}}\right] \tag{29}$$

Burada verilen μ değeri

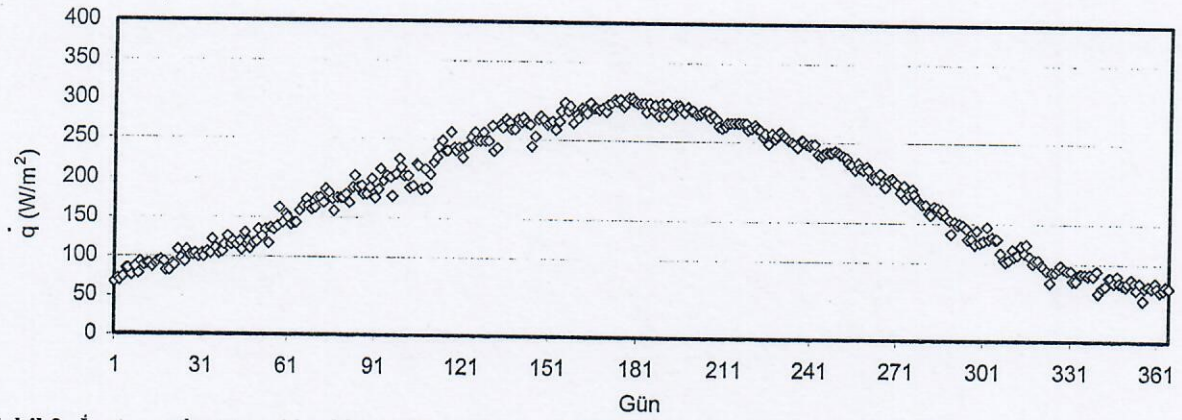
$$\mu = \frac{k}{h_c x_o} \tag{30}$$

eşitliğinden bulunmalıdır. Bu eşitlikten de analitik metodun uygulanabilmesi için h_c değerinin yıllık ortalamasının alınması gerektiği açıkça anlaşılmaktadır.

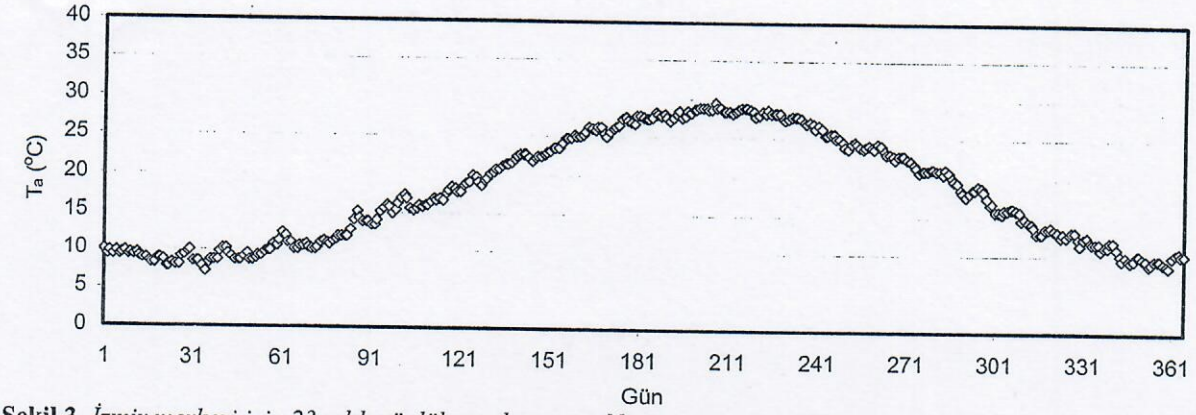
3. SONUÇLAR

Eşt.(18)'de tarif edilen T_{se}, günlük ortalama değerler kullanılarak hesaplanır. T_{se} değerinin hesaplanmasında rüzgar hızı u, rölatif nem φ, ortam sıcaklığı T_a ve güneş enerjisi $\dot{q}$ değerlerinin günlük ortalamaları alınmıştır. Günlük ortalama rüzgar hızı değerinden de eşt.(3)'den günlük ortalama ısı transferi katsayısı hesaplanır. DMİ Genel Müdürlüğünden alınan günlük güneş şiddeti, ortam sıcaklığı, rölatif nem ve rüzgar hızı değerlerinin İzmir merkezi için verilen 1985-2007 yılları arasındaki ortalamaları kullanılmıştır. Bu ortalama değerler de Şekil 2-5'de gösterilmiştir. 23 yıllık ortalamaların dalgalanması yıllık dalgalanmalardan çok daha az olmaktadır.

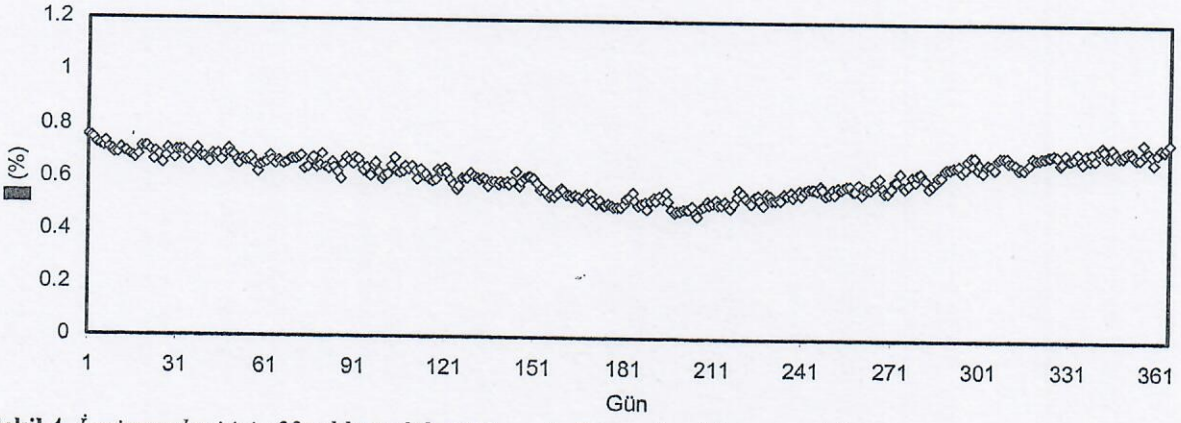
Şekil 6'da 23 yıllık ortalama değerler ve eşt.(4)'te verilen değerler kullanılarak İzmir için T_{se} değerleri gösterilmiştir.



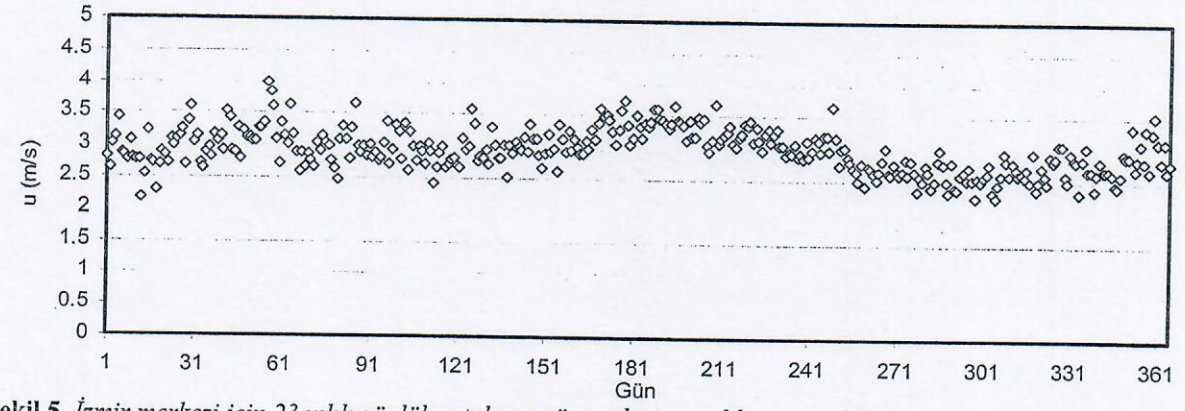
Şekil 2. *İzmir merkezi için 23 yılık günlük ortalama güneş şiddetinin yıl boyunca değişimi*



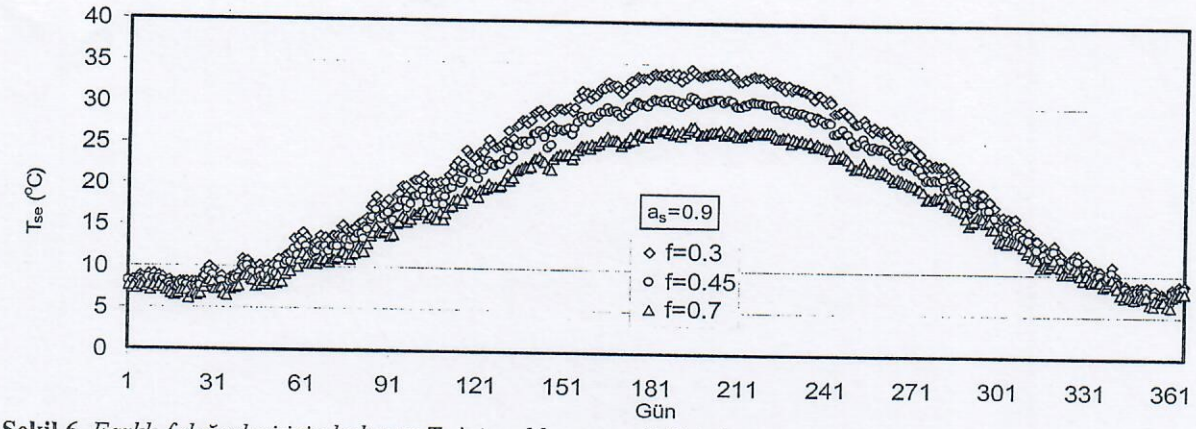
Şekil 3. *İzmir merkezi için 23 yılık günlük ortalama sıcaklığın yıl boyunca değişimi*



Şekil 4. *İzmir merkezi için 23 yılık günlük ortalama bağıl nemin yıl boyunca değişimi*

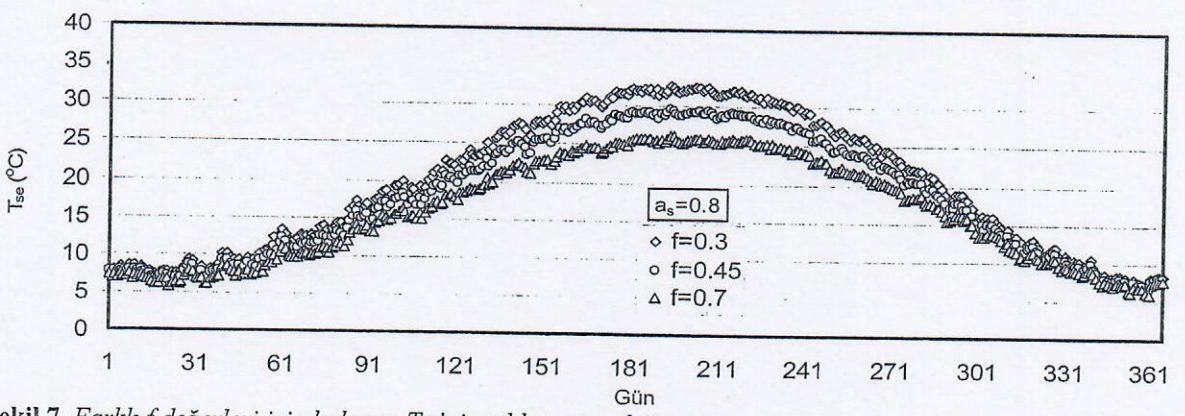


Şekil 5. *İzmir merkezi için 23 yılık günlük ortalama rüzgar hızının yıl boyunca değişimi*



Şekil 6. *Farklı f değerleri için bulunan T_{se}'nin yıl boyunca değişimi*

a_s değeri 0.9 yerine 0.8 alınarak hesaplanan T_{se} değerleri de şekil 7'de gösterilmiştir. İki şekil arasındaki fark en fazla 1.7 °C olup, bu da yüksek bir değer değildir. Ancak a_s değerinin T_{se}'ye etki ettiği açıktır.



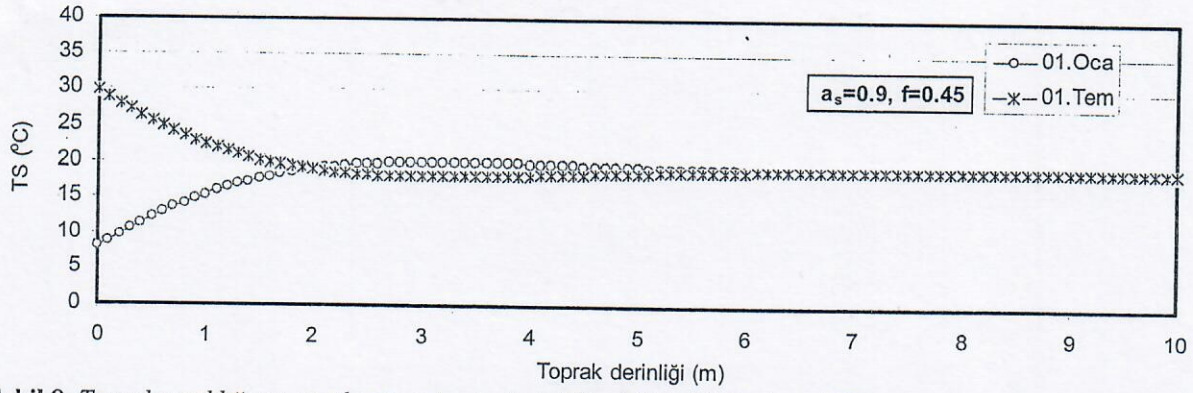
Şekil 7. *Farklı f değerleri için bulunan T_{se}'nin yıl boyunca değişimi*

Şekil 6'da verilen değerler için T_{sem} , ΔT_{se}, ϕ_{se} ve $t^*_{min,se}$ değerleri çizelge 1'de gösterilmiştir. Kuru ve nemli çıplak topraklar arasında eşdeğer güneş sıcaklığında kışın 1 °C ve yazın 4 °C fark oluşmaktadır. Çünkü örtülü, nemli ve çıplak toprakların eşdeğer güneş sıcaklıklarında kışın 1 °C ve yazın 3 °C fark oluşmaktadır. Bu değerlerden toprak neminin ve yüzey örtüsünün belirli bir düzeyde eşdeğer güneş sıcaklığını etkilediği görülmektedir. Çizelge 1'de T_{se} ile ilgili değerlerin yanında toprak yüzey sıcaklığı T_s ile ilgili T_{sm}, ΔT_{sm}, ϕ_s ve $t^*_{min,s}$ değerleri de verilmiştir.

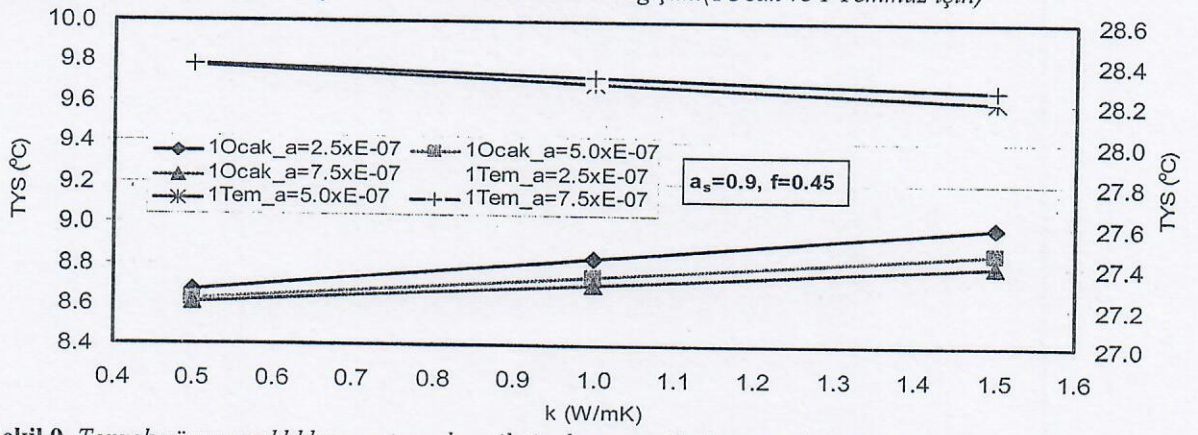
Çizelge 1. *Eşdeğer güneş sıcaklıkları ve toprak yüzey sıcaklığı parametrelerinin f değeri ile değişimi.*
a_s=0.9, ε_e=1.0, k=1.142, a=2.53x10^{-7}

		T_{sem} ve T_{sm}	ΔT_{se} ve ΔT_s	ϕ_{se} ve ϕ_s	$t^*_{min,se}$ ve $t^*_{min,s}$	$t_{min,se}$ ve $t_{min,s}$
f=0.3	T_{se}	20.7217	-13.0739	1.3440	0.0361	13.17
	T_s	20.7217	-12.5574	1.3052	0.0423	15.44
f=0.45	T_{se}	18.9452	-11.7239	1.3305	0.0382	13.94
	T_s	18.9452	-11.3271	1.2972	0.0435	15.88
f=0.7	T_{se}	16.9109	-10.1843	1.3111	0.0413	15.07
	T_s	16.9109	-9.9060	1.2841	0.0456	16.64

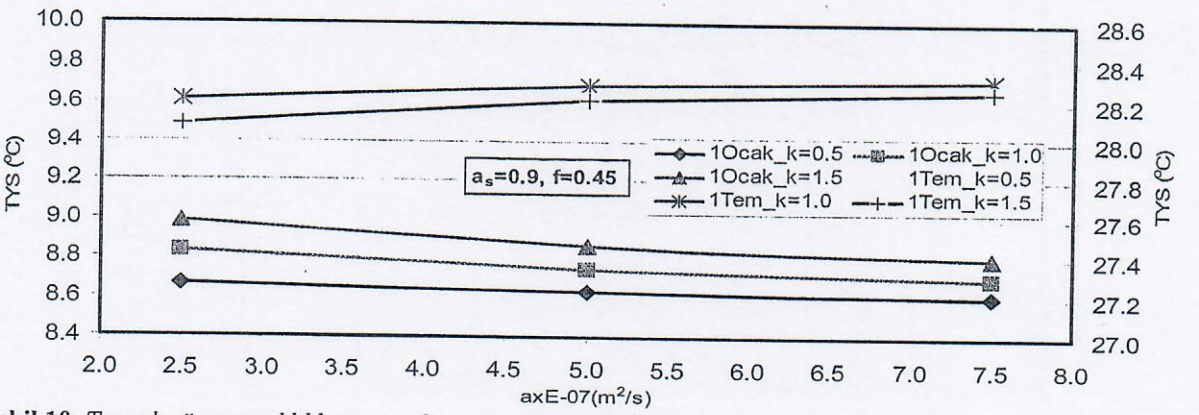
Toprak sıcaklığının çeşitli zamanlarda derinlikle değişimi şekil 8'de gösterilmiştir.
Toprak yüzey sıcaklıklarının toprak ısı iletim katsayısı ile değişimi 1 Ocak ve 1 Temmuz için Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu şekillerden ısı iletim katsayısının TYS'ye etkisinin çok sınırlı olduğu görülmektedir. Şekil 10'da da ısıl yayınım katsayısının TYS'ye etkisi gösterilmiştir. Buradan da ısıl yayınım katsayısının TYS'ye etkisinin çok olmadığı görülmektedir. Şekil 11'de ise TYS'nin yüzey absorpsiyon katsayısı ile değişimi gösterilmiştir. TYS'lerin absorpsiyon katsayısı ile önemli değişiklikler gösterdiği anlaşılmaktadır.



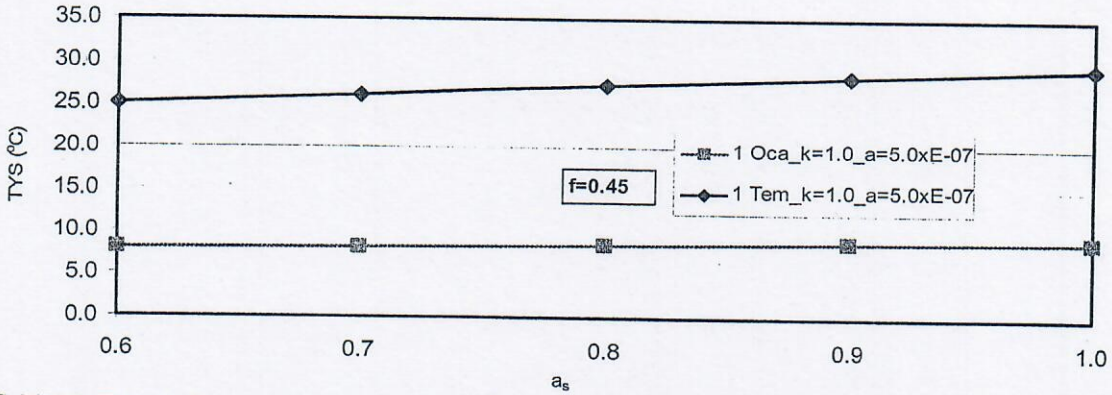
Şekil 8. *Toprak sıcaklığının çeşitli zamanlarda derinlikle değişimi(1Ocak ve 1 Temmuz için)*



Şekil 9. *Toprak yüzey sıcaklıklarının toprak ısı iletim katsayısı ile değişimi (1Ocak ve 1 Temmuz için)*



Şekil 10. *Toprak yüzey sıcaklıklarının ısıl yayınım katsayısı ile değişimi ((1Ocak ve 1 Temmuz için)*



Şekil 11. *Toprak yüzey sıcaklıklarının absorpsiyon katsayısı ile değişimi (1Ocak ve 1 Temmuz için)*

4. KAYNAKLAR

[1] Salah El Din M. M., On the heat flow in to the ground, Renewable Energy, Vol. 18, Pp. 473-490, 1999.
[2] Mihalakakou G., Santamouris M., Lewis J. O. and Asimakopoulos D. N., On the application of the energy balance equation to predict ground temperature profiles, Solar Energy, Vol. 60, Pp. 181-190, 1997.
[3] Mihalakakou G., On estimating soil surface temperature profiles, Energy And Buildings, Vol. 34, Pp. 251-259, 2002.
[4] Ashrae Handbook, Fundamentals, American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 6.3-6.4, 2003.
[5] Patrick E. A. F., Soils, Longman, New York, Pp.25,1983.
[6] TS-825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Pp. 38-39,1999.