

YERALTI ISI DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN KURAMSAL ANALİZİ

Mazhar ÜNSAL* , Recep YUMRUTAŞ**

*A1-005 Blok, D-15, Sinanoba, Büyükçekmece, 34535 İSTANBUL

**Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, 27200 GAZİANTEP

unsal@isbank.net.tr, vumrutas@gantep.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, yazarlar ve yazarlarla birlikte çalışmalar yapmış olan araştırmacıların yeraltında duyulur ısının depolanması ve depolanan duyulur ısının entegre ısı sistemlerde kullanılmasına ilişkin olarak yapmış oldukları araştırmalar özetlenmiştir. Ayrıca, özetlenen araştırmalarda kullanılmış olan kuramsal yöntemlerden bahsedilmiş, bu araştırmalarda elde edilen seçilmiş sonuçlar anlatılmış ve ileride yapılmasında yarar görülen çalışmalar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Yeraltında duyulur ısı depolanması

Abstract

Research conducted by the present authors and their co-workers on underground sensible thermal energy storage and utilization of the stored sensible thermal energy in integrated thermal systems is briefly summarized in this study. Additionally, theoretical methods used in these previous studies are outlined, selected findings obtained in these studies are explained and recommendations are suggested for possible future research.

Key Words: Solar energy, Sensible energy storage inside earth

1. GİRİŞ

Isının depolanması ve depolanan ısının entegre ısı sistemlerde kullanılması ısı sistemlerin verimliliklerinin artırılması açısından önemlidir. Depolanacak duyulur ısı kullanılan ısı sistemin ısı kapasitesini artırmak için kullanılabilmesi gibi, sistem bir soğutma sistemi ise sistemin EER ını artırmak, sistem bir ısı pompası sistemiyse sistemin COP sini artırmak, veya sistem güneş enerjisi takviyeli bir ısıtma sistemiyse sistemin ısı verimini artırmak amacıyla kullanılabilir.

Yeraltında ısı depolanması mevsimlik depolama veya kısa süreli (günlük) depolama gibi farklı depolama periyotları kullanılarak yapılabilir. Günümüzde, ülkemizde yeraltında ısı depolanması uygulamaları çok az sayıda mevcuttur, ancak güneş enerjisi takviyeli olarak yapılan bir yeraltı ısı depolama uygulaması belki de henüz mevcut değildir.

Isı depolanma sistemlerinin tasarımları çoğu kez deneme yanılma yöntemleri kullanılarak ve/veya geçmişte yaşanmış olan tecrübelerden kazanılmış deneysel bilgilere dayalı olarak yapılmakta ancak bu tür yaklaşımlar hem çok pahalıya malolmakta hemde optimal olmayan ısı depolama sistem tasarımları ile sonuçlanabilmektedir. Bu nedenle, bir yeraltı ısı depolama sistemi tasarlanmadan ve fiziki olarak kurulmadan önce ısı depolama sisteminin kuramsal formülasyonu, analizi, analiz neticesinde elde edilen çözümlerin ısı sistemin diğer elemanlarına ilişkin formülasyonlar ile bütünleştirilmesi neticesinde kurulması düşünülen ısı sistem modelinin inşa edilmesi ve inşa edilen bütünleşik sistem modeli üzerinde yapılan sayısal hesaplamalar neticesinde, fiziki bütünleşik sistemin tasarımı ve kurulmasından önce, bütünleşik sistemin performansı hakkında öngörülerde bulunmak entegre ısı sistem için optimale yakın bir tasarım gerçekleştirebilmek için önemlidir.

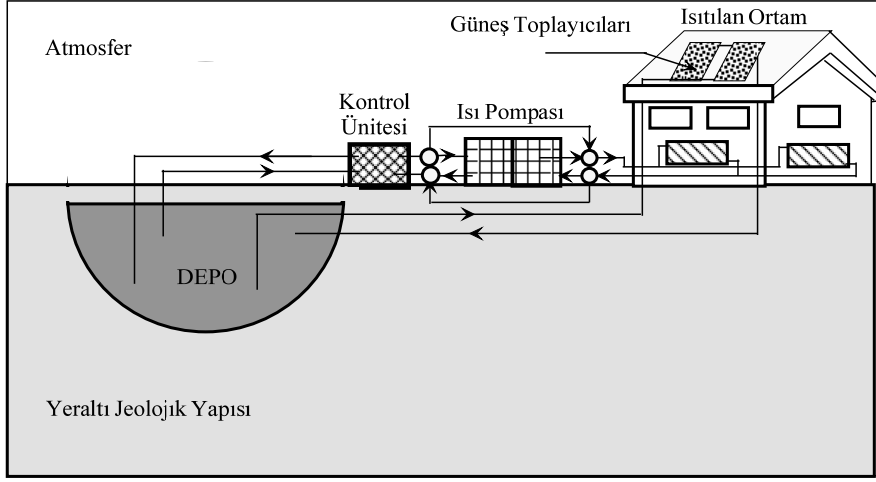
Bu çalışmada, yeraltında kurulabilecek farklı geometrik şekillerdeki ısı depolama sistemlerine ilişkin olarak yapılan formülasyonlar, formülasyonların analizleri ve yapılan analizler sonucu elde edilen kapalı analitik problem çözümleri özetlenmiştir. Özetlenen analitik çözümler sadece küresel ve silindirik geometrideki ısı depo sistemleri ile sınırlıdır. Bu çalışmada özetlenen ısı depolama sistemlerine ilişkin kapalı analitik çözümlerin ısı sistemlerin diğer elemanları ile bütünleştirilmesi neticesinde elde edilen bütünleşik sistemin modellenmesi ve sayısal hesaplamalar neticesinde elde edilen seçme sonuçlar tartışılmıştır.

2. YAPILMIŞ OLAN KURAMSAL ARAŞTIRMALAR

Yazarlar ve yazarlarla birlikte çalışma yapmış araştırmacıların yeraltında duyulur ısı depolanmasına ilişkin bazı yayınları Kaynak [1-7] da verilmiştir. Bu çalışmalarda modellenen ve performansları kuramsal olarak incelenen ısı sistemlere ilişkin bir örnek sistem Şekil-1 de gösterilmiştir. Şekil-1 de gösterilen sistemde güneş toplayıcıları verimleri pozitif olduğu zamanlarda yeraltındaki duyulur ısı deposunu beslerler. Ortam ısıtması, yeraltı depo sıcaklığının yeterli düzeyde olduğu zamanlarda ısı pompası çalıştırılmadan doğrudan depodan, yetersiz olduğu zamanlarda ise ısı pompasının çalıştırılmasıyla sağlanır.

Kaynak [1-7] da incelenen farklı sistemler genellikle Şekil-1 de gösterilen sisteme benzemektedirler, ancak, bu sistemler arasındaki en önemli farklılık yeraltındaki duyulur ısı deposunun şekli ve konumu ile ilgilidir.

Şekil-1 de Kaynak[6] da incelenen sistem gösterilmiştir. Kaynak[1] de incelenen sistemde depo Şekil-1 de gösterilenden farklıdır. Kaynak[1] de, deponun küresel olduğu ve yeryüzünden çok derinlerde olduğu varsayılmıştır. Yeryüzünden çok derinlerde olma



Sekil 1. Kaynak [1-7] da incelenen sistemlere bir örnek

varsayımı depo etrafındaki jeolojik yapı içindeki geçici rejim ısı iletim problemine analitik bir çözüm bulunmasını olanaklı kılmıştır. Kaynak[1] de depo etrafındaki geçici rejim ısı iletim problemine, “Benzetim Dönüşümü” (Similarity Transformation) ve Duhamel’in “bindirme” (superposition) yöntemlerinin uygulanmasıyla, kapalı bir analitik çözüm elde edilmiştir. Kaynak[1] de incelenen problemde ısıtılan ortamın aylık ısı yükleri Derece-Gün yöntemi ile belirlenmiş, güneş toplayıcıları verimi için varsayım yapılmış, yapılan varsayımlarla depo sıcaklığı için doğrusal olmayan bir integro-diferansiyel denklem elde edilmiş ve bu integro-diferansiyel denkleme sonlu farklar yöntemi uygulanarak sistemin 10 yıllık çalışması sayısal yöntemle bilgisayarda hesaplanmıştır.

Kaynak[2] de, bir yıllık periyodik çalışma varsayımı yapılarak yeryüzünden çok derinlerde olduğu varsayılan 2 farklı tip depo geometrisi için depo etrafındaki geçici rejim ısı iletim problem için kapalı analitik çözümler elde edilmiştir. Kaynak[2] de, bu tür problemlere “Kompleks Sonlu Fourier Dönüşümü” yönteminin ilk defa uygulanmış olması önemli bir yeniliktir. Kaynak[2] de incelenmiş olan problem geometrileri küresel ve silindirik depo geometrileridir. Küresel depo geometrisi için elde edilen kapalı analitik çözüm kompleks değişkenli üssel fonksiyonların sonsuz serisi cinsinden, silindirik depo geometrisi için elde edilen kapalı analitik çözüm ise kompleks değişkenli Bessel fonksiyonlarının sonsuz serisi cinsinden elde edilmiştir. Daha sonra, elde edilen kapalı analitik çözümler sistem enerji

bilançosu ifadesinde kullanılarak depo sıcaklığının periyodik değişimi için sonsuz seriler halinde kapalı ifadeler elde edilmiştir.

Kaynak[3] de sunulan analizde, yeryüzünden çok derinlerde olduğu varsayılan küresel bir depo etrafındaki jeolojik yapının içindeki geçici rejim ısı iletim problemi, başlangıç şartı jeolojik yapı içinde herhangi bir sıcaklık dağılımı olacak şekilde genelleştirilerek, yeni bir analitik çözüm elde edilmiştir.

Kaynak[4] de sunulan analizde, Kaynak[2] de yeryüzünden çok derinlerde olduğu varsayılan küresel bir depo etrafındaki jeolojik yapının içindeki geçici rejim ısı iletim problemi için elde edilmiş olan periyodik analitik çözüm ve Kaynak[8] de tanıtilan $\bar{\phi}$ (utizability) yöntemi kullanılarak mevsimlik güneş enerjisi depolamalı problemin periyodik çözümü elde edilmiştir. Problemin çözümü tasarım ısı yükü 10kW olan bir konuta uygulanmış ve Elazığ için derin toprak sıcaklığı 10C varsayılarak ısı sistemin farklı depo büyüklükleri için ısı performansı hesaplanmıştır.

Kaynak[5] de sunulan araştırmada, Şekil-1 de gösterilen sisteme benzer bir sistem incelenmiştir ancak Şekil-1 de gösterilen sistemden tek fark olarak incelenen sistemde güneş enerjisi desteği yoktur. Şekil-1 de gösterilenden sistemdeki yarı küresel depo etrafındaki jeolojik yapının içindeki geçici rejim ısı iletim problemi için analitik bir çözüm elde edilmiştir. Problemin analitik çözümünün elde edilebilmesi için “sonlu kompleks Fourier transform” ve “sonlu Hankel transform” yöntemleri uygulanmıştır. Hankel transform tekniğinin uygulanabilmesi için ise öncelikle problemin ayrıştırılmasının (decomposition) yapılması da gerekmiştir. Problemin analizi neticesinde elde edilen çözüm herbir konutun tasarım ısı yükü 10kW olduğu varsayılan 10 konutluk bir siteye uygulanmış ve ısı sistemin yıllık periyodik ısı performansı hesaplanmıştır.

Kaynak[6] de sunulan araştırmada, Şekil-1 de gösterilenden sistem incelenmiştir. Şekil-1 de gösterilenden sistemdeki yarı küresel depo etrafındaki jeolojik yapının içindeki geçici rejim ısı iletim problemi için Kaynak[5] de verilen analitik çözüm kullanılmış, ayrıca güneş enerjisi toplayıcılarından elde edilecek enerji Kaynak[8] de tanıtilan $\bar{\phi}$ (utizability) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Problemin analizi neticesinde elde edilen çözüm herbir konutun tasarım ısı yükü 10kW olduğu varsayılan 100 konutluk bir siteye uygulanmış ve ısı sistemin yıllık periyodik ısı performansı hesaplanmıştır. Kaynak[6] da elde edilen araştırma sonuçlarında duyulur ısı depolanması ve güneş enerjisi desteğinin sistem ısı performansını önemli ölçüde artırdığı anlaşılmıştır.

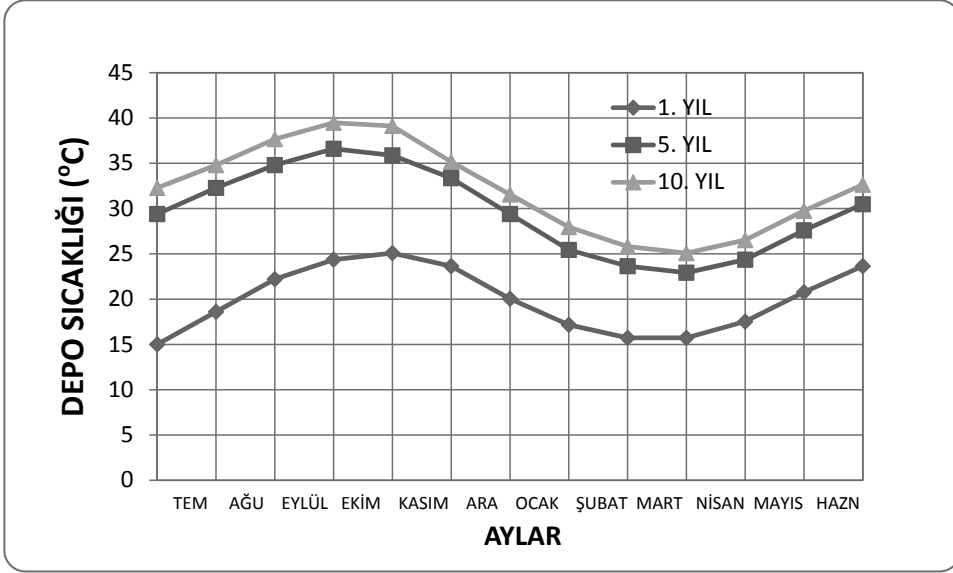
Kaynak[7] de sunulan araştırmada ise Kaynak[5] de geliştirilmiş olan yöntemin yeraltındaki düşük sıcaklıklardan yararlanmak amacıyla yaz iklimlendirmesine kullanılabilecek bir ısıl sisteme uygulanmasında yaz iklimlendirmesi ısıl sisteminin yıllık periyodik performansı hesaplanmıştır.

3. YAPILAN ARAşTIRMALARDAN ELDE EDİLEN SEÇME BULGULAR

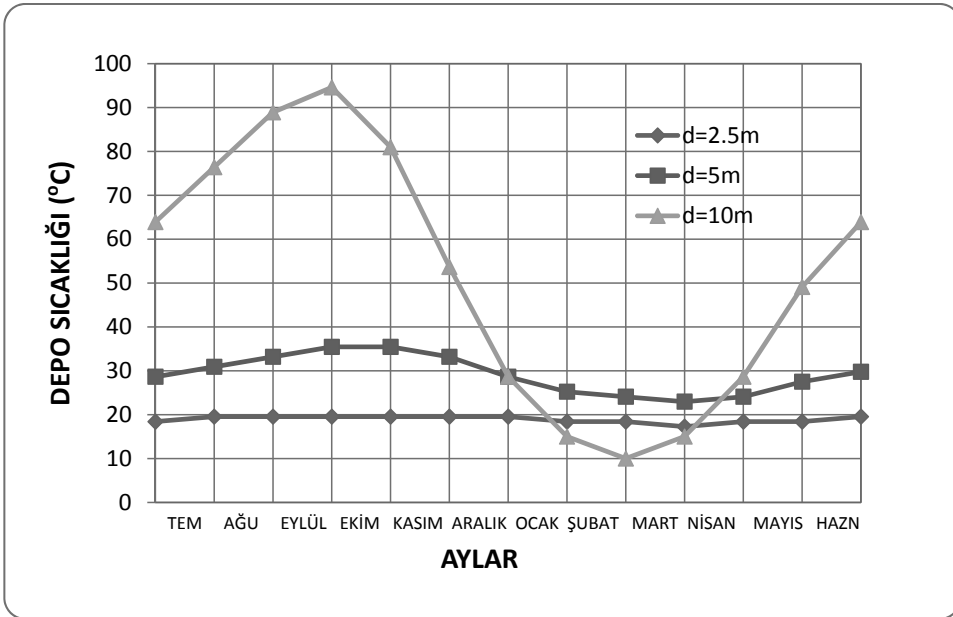
Kaynak[1] de elde edilen sonuçlar Gaziantep'de UA-değeri 345Watt/C ve tasarım ısısı yükü 10 kw olan bir konuta uygulanmıştır. Güneş toplayıcılarının tek camlı ve siyah boyalı tip olduğu kabul edilmiş ve 40 m² güneş toplayıcısı kullanılmıştır. Başlangıçta depo etrafındaki jeolojik yapının üniform sıcaklıkta olduğu ve derin toprak sıcaklığı olan 15C dereceye eşit olduğu varsayılmıştır. Şekil-2 de gösterilen bulgular yeryüzünden çok derinlerde olduğu varsayılan 5m yarıçapındaki küresel bir depo içindir. Depo etrafındaki jeolojik yapının iri çakıllı toprak olduğu kabul edilmiştir. Şekil-2 de ilk yıl boyunca depo sıcaklığının başlangıç derin toprak sıcaklığı olan 15C den başladığı ve 1. yıl sonunda 24C dereceye kadar yükseldiği görülmektedir. Şekil-2 den görüldüğü gibi depo sıcaklığı her yıl sonunda o yılın başındaki sıcaklıktan daha yüksek bir sıcaklığa ulaşmaktadır. Şekil-2 de, sistemin periyodik çalışma düzenine ulaşabilmesi için 10 yıllık sreden daha uzun bir süre gerekeceği görülmektedir.

Şekil-3 de yine Kaynak[1] de incelenmiş olan sistem için yıl boyunca depo sıcaklık dağılımı sistemin çalışmaya başladığı tarihi takip eden 5. yıl için ve 3 farklı depo çapı için verilmiştir. Şekil-3 de, 5. yıl için, depo çapının küçülmesiyle yıllık ortalama depo sıcaklığının yükseldiği görülmektedir.

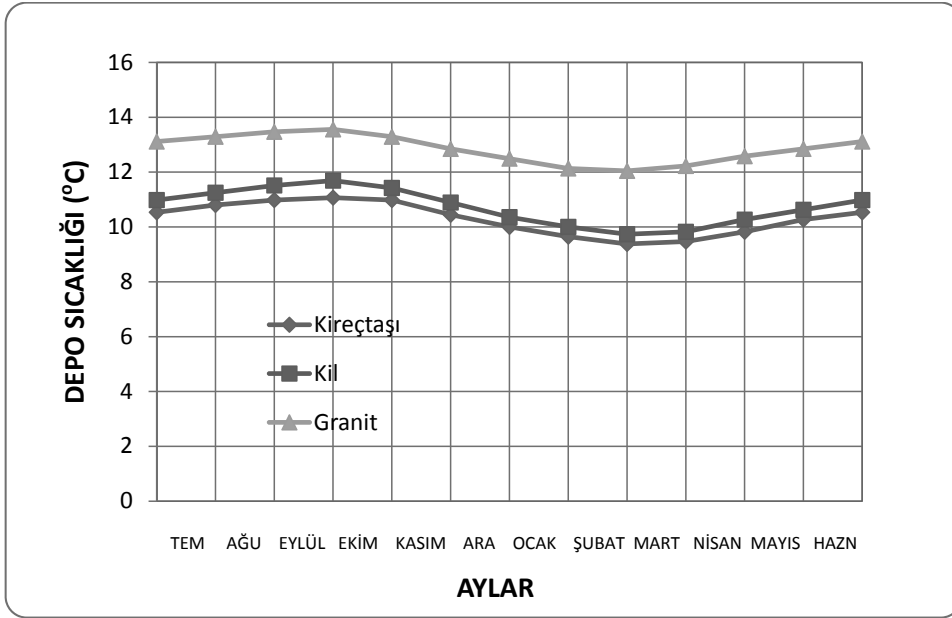
Kaynak[5] e incelenen sistemde güneş enerjisi desteği yoktur. Burada incelenen örnekte depo yarıçapının 25m olduğu ve sistem tasarım ısısı yükünün 100kW olduğu varsayılmıştır. Konut UA değerinin 3450W/C olduğu kabul edilmiştir. İncelenen rnekte Gaziantep iklim Őartları kullanılmıştır. Konut UA-değerinin ısıtma tarafı ısısı değiştirgeci UA-değerine oranının 1.2 olduğu varsayılmıştır. İncelenen sistem için depo üzerindeki yalıtım kalınlığının 1m olduğu kabul edilmiştir. Bu paragrafda listelenen varsayımlar altında Kaynak[5] de incelenmiş olan sistem için, depo etrafında 3 farklı jeolojik yapı ele alınarak, sistemin yıllık periyodik çalışması sonucu elde edilen depo sıcaklıkları Şekil-4 de gösterilmiştir. Şekil-4 de, sistemin periyodik çalışma rejiminde yıllık ortalama depo sıcaklıklarının derin toprak sıcaklığından düşük değerlerde olduğu görülmektedir.



Sekil 2. İri çakıllı toprak için yıl boyu depo sıcaklık değişimi, depo yarıçapı=5m



Sekil 3. İri çakıllı toprak için 5. yıl boyunca depo sıcaklık değişimi



Şekil 4. Üç tip toprak için periyodik depo sıcaklık değişimi

4. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Şekil-2 de, güneş enerjisi takviyeli sistemde, yıllık ortalama depo sıcaklığının ilerleyen yıllarda yükseldiği görülmektedir. Bu nedenle, ısı pompalı ısıtma sisteminin COP si her yıl artacaktır. Ayrıca, yeraltında güneş enerjisi destekli mevsimlik duyulur ısı depolamalı ısıtma sistemlerinin periyodik çalışma rejimine çok uzun yıllar sonra girebileceği de anlaşılmaktadır. Bu nedenle periodic çalışma rejimi kriterleri baz alınarak tasarlanacak sistemlerde periyodik çalışma rejimine girene kadar geçecek geçici rejim süresince sistem ısı pompası COP si düşük olacaktır. Sistemin ısı verimi yıllara göre değişeceğinden optimal sistem tasarımı ısıl sistemin ekonomik ömrü boyunca elde edilecek toplam verim göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Şekil-3 de, aynı güneş enerjisi takviyeli sistemde, yıllık ortalama depo sıcaklığının değişimi 3 farklı depo ve 5 inci yıl için gösterilmiştir. Şekil-3 den, çok büyük veya çok küçük depo çapları arasında optimal system COP değerini verecek bir depo çapı olduğu anlaşılmaktadır. Optimal depo çapının hem ısıl verimin hemde sistem ekonomisinin iyileştirilmesi hedeflenerek tesbit edilmesi uygulamalar için önem taşımaktadır.

Şekil-4 de, güneş enerjisi desteği olmayan bir sistemde, yıllık ortalama depo sıcaklığı periyodik çalışma rejiminde ve 3 farklı jeolojik yapı için gösterilmiştir. Periyodik çalışma

rejiminde ortalama depo sıcaklığı derin toprak sıcaklığı olan 15C den düşüktür. Bu nedenle, böyle bir sistemin ilk kurulduğu yıldan itibaren her yıl ısı pompası COP si azalacaktır. Isı pompası COP sinin azalmasını önlemek için bu tür ısı pompalı ısıtma sistemlerin güneş enerjisi destekli kurulması yararlı olacaktır.

Bu tebliğde kısaca değerlendirilen sistemden farklı geometrilerde olan çok sayıda değişik yeraltı duyulur enerji depolama system geometrileri mevcuttur ve bu sistemlerin geçici rejim ısı performanslarının deneysel yöntemlerle belirlenmesi hem çok pahalı hemde çok uzun yıllar boyunca yapılan deneyler gerektirdiği için bu bilimsel alanda kuramsal araştırmaların yapılması önem taşımaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Ünsal, M. "Long Term Performance of Heat Pumps with Spherical Underground Thermal Stores" Proceedings of the XXI International Symposium-Heat and Mass Transfer in Building Material and Structure, Sep 4-8, 1989, Dubrovnik, Yugoslavia.
2. Ünsal, M. " Complex Finite Fourier Transform Techniques Applied to Thermal Energy Storage Problems", in Recent Advances in Fourier Analysis and Applications", Edited by J.S. Byrnes and Jennifer L. Byrnes, NATO ASI Series C., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp.59-72, 1990
3. Ünsal, M. and Yumrutaş, R. " Prediction of the Long Term Performance of Seasonal Spherical Underground Solar Thermal Energy Stores , Proceedings of ISES 1991 Solar World Congress, Denver,Colorado, USA, August 17-24, 1991
4. İnallı M., Ünsal, M. and Tanyıldızı V. "A Computational Model of a Domestic Solar Heating System with Underground Spherical Thermal Storage", *Energy*, 22, 1163-1172 (1997)
5. Yumrutaş, R. and Ünsal, M., "A Computational Model of a Heat Pump System with a Hemispherical Surface Tank as the Ground Heat Source", *Energy*, 25, 371-388 (2000)
6. Yumrutaş, R. and Ünsal, M., "Analysis of solar aided heat pump systems with seasonal thermal energy storage in surface tanks", *Energy*, 25, 1231-1243 (2000)
7. Yumrutas R. and Ünsal M., "Modeling of a space cooling system with underground storage ", *Applied Thermal Engineering*, 25, 227-239 (2005)
8. Duffie, J. A. and Beckman, W. A., "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley and Sons, New York (1980)