

JEOTERMAL ENERJİ İLE ÇALIŞAN ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİNİN BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİYLE EKONOMİKLİK YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Mecit Sivrioğlu^{1*}, Mustafa Yurdaku², Lokman İlbilgi³, Yusuf Tansel İç⁴

^{1,2}Gazi Üniversitesi Müh-Mim. Fak. Makine Müh. Böl., 06570, Maltepe, Ankara.

³Başbakanlık Yüksek Denetleme Kurulu, Nevzat Tandoğan Cad. No. 4, 06651, Kavaklıdere, Ankara.

⁴T.C. Ziraat Bankası A.Ş., Ticari Krd. D.B., Doğan Bey Mah. Atatürk Bul No: 8, 06107, Altındağ, Ankara

Özet

Yüksek gelire sahip insan sayısındaki artış ile beraber insanların daha fazla kapalı alanlarda barınmaya başlaması ortalama sıcaklığın gittikçe arttığı dünyadaki binaların ve evlerin soğutulmasını daha önemli hale getirmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan soğutma sistemleri çoğunlukla kömür veya doğalgaz yakarak üretilen elektrik kullanılarak otelin çalıştırılmaktadır. İzmir de bulunan Prenses Termal ve Sağlık Oteli elektrik yerine jeotermal enerji kullanarak otelin soğutmasını yapmayı planlamaktadır. Bu çalışmada önerilen absorpsiyonlu soğutma sisteminin alternatif sistemlerle ekonomik karşılaştırmaları yapılmıştır. Çalışmada önerilen sistemin ilk yatırım tutarının yüksekliğine rağmen yıllık işletme maliyetlerinin düşüklüğü nedeniyle ekonomik olarak diğer alternatiflerden daha üstün olduğu görülmüştür. Çalışma önerilen sistemin otel yönetiminin beklemenden uygulamaya konulmasının gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Soğutma Sistemi, Jeotermal Enerji, Ekonomik Analiz

A COMPARATIVE ECONOMIC ANALYSIS OF AN ABSORPTION COOLING SYSTEM USING GEOTHERMAL ENERGY AGAINST STEAM COMPRESSION COOLING SYSTEMS

Abstract

Increase in the world population with higher earning rates and movement of more people into closed environments buildings to work have made cooling of buildings and houses more important in a world whose average temperature is gradually increasing. Current cooling systems generally use expensive electricity which is produced by converting potential energy of water collected in dams or burning coals or natural gases in power plants in Turkey. Princess Thermal and Spa Hotel, located in Izmir, is planning to use geothermal water instead of electricity to power its cooling system. In this study, an economic analysis is performed by comparing the proposed absorption cooling system that uses LiBr-H₂O with other alternative cooling systems. It is shown that although the initial investment cost is higher for the proposed cooling system, it is economically superior to other alternatives because of its lower annual operation costs. This study shows that the proposed cooling system can be implemented without hesitation.

Key Words: Cooling System, Geothermal Energy, Economic Analysis

* E-posta: mecits@gazi.edu.tr

1. Giriş

Doğada kendiliğinden varolan jeotermal enerjisini soğutmada kullanmak için en uygun yöntemlerden biri absorpsiyonlu soğutma sistemidir. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde, çok az mekanik enerjiye ihtiyaç duyulurken, sisteme verilen ısı enerjisi oldukça fazladır. Absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinde, mekanik sıkıştırırmalı soğutma sistemlerindeki kompresör yerine soğurucu, karışım pompası, ayırıcı ile basınç düşürücü vana kullanılır [1]. Diğer soğutma sistemleri gibi yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve genleşme vanaları kullanan absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin elektrik fiyatlarının çok yüksek olduğu günümüzde daha ekonomik olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, bu sistemlerde her türlü enerji kaynağı kullanılabilirlikle beraber ucuz olan jeotermal enerji ve atık enerjinin kullanılabilir olması absorpsiyonlu soğutma sistemlerini cazip hale getirmiştir. Bu çalışmada kurulması planlanan Lityum Bromür (LiBr)-Su (H₂O) ikili karışımlarıyla çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin jeotermal enerji kaynağı kullanılarak projelendirilmesine ve diğer alternatif soğutma sistemleriyle ekonomik karşılaştırılmasına, yaptığımız literatür taramasında rastlanılmamıştır.

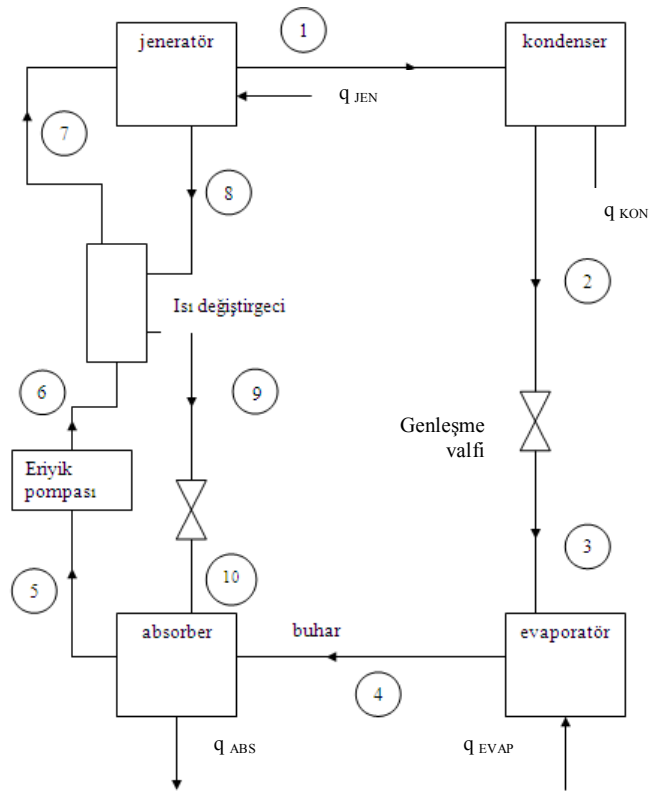
Lityum bromür-su absorpsiyonlu sistemde su soğutkan, lityum bromür absorbenttir. Lityum bromür normalde katı halde olmasına rağmen su ile karıştırıldığında uçucu olmayan sıvı bir eriyik haline gelir. Su ise buharlaşma ısısı yüksek, maliyeti düşük, kolay bulunur ve zehirli olmadığından soğutma amacına en uygun sıvılardan birisidir. Ayrıca jeneratörde kolaylıkla lityum bromürden ayrıldığı için bir arıtma cihazı gerektirmez. Bu karışımı kullanan soğutma sisteminin en önemli dezavantajı ise buharlaştırıcının 4 °C'nin altında çalışmamasıdır. Şekil 1'de çalışmada kullanılacak olan tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sisteminin çevrimi ve Şekil 2'de sistem gösterilmektedir [2,3]. Absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik hesaplarına ilişkin detaylar [4,5] numaralı referanslarda bulunabilir.

2. Jeotermal enerji ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin ekonomik analizi

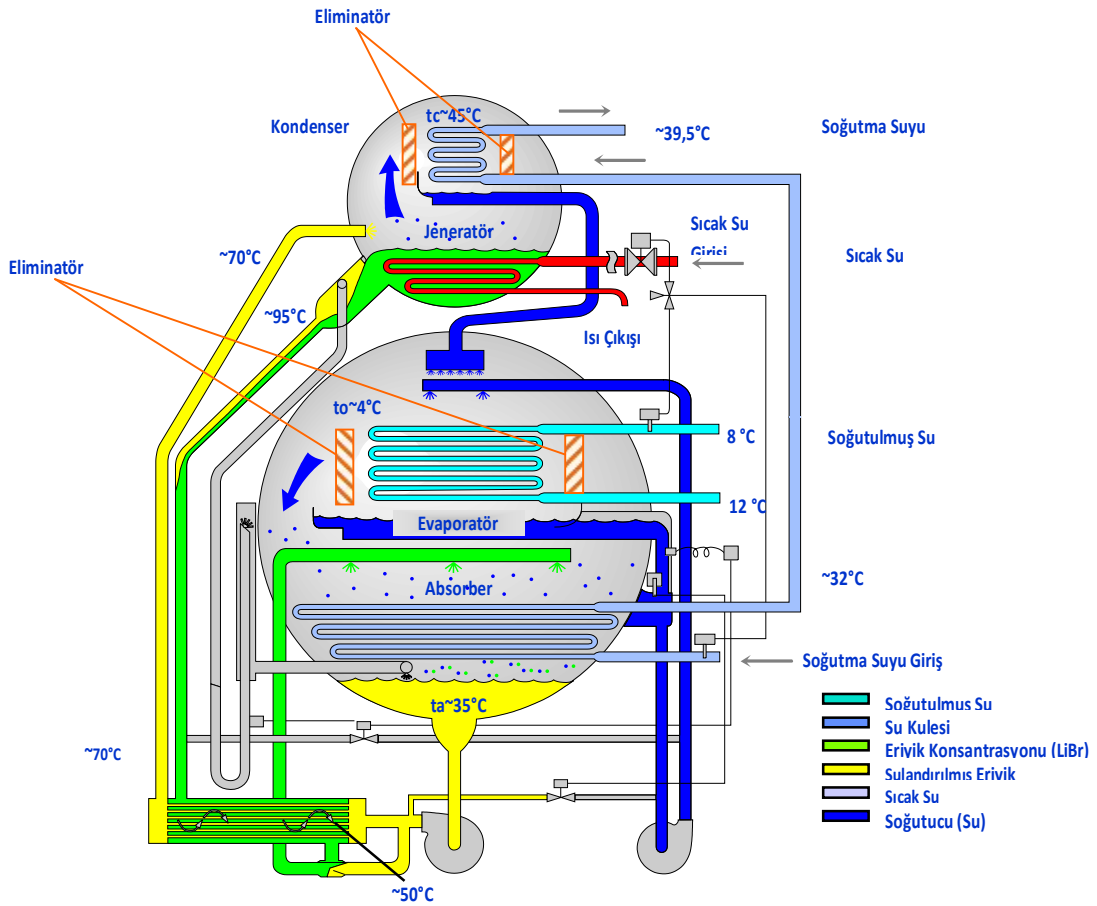
Kurulması planlanan soğutma sisteminin hesaplamaları İzmir'de bulunan ve soğutma yükü 1.163 kW olan Termal ve Spa Prenses oteli seçilerek yapılmıştır.

Çalışmada sadece soğutma sistemi düşünülmesine rağmen, otele 150 m. mesafede bulunan iki adet kuyudan gelen jeotermal sıcak su aynı zamanda ısıtma ve sıcak su ihtiyacı için de Şekil 3'te görüldüğü gibi kullanabilmektedir. Jeotermal kuyulardan çıkarılan kızgın su 125 °C dir. Otelin 1.163 kW soğutma yükünü karşılayacak sistem için gereken su debisi 28 l/s olarak hesaplanmıştır. Jeotermal kuyulardan çıkan suyun sıcaklığının düşük olması durumunda aynı soğutma gücünü elde etmek için jeotermal kuyulardan alınacak suyun debisinin artırmak gereklidir. Taşınacak suyun debilerin artması ise, pompa ve tesisat ekipmanlarının (boru, vana çapı vb.) büyümesine ve dolayısıyla ilk yatırım tutarı ve yıllık işletme maliyetlerinin yüksek olmasına neden olur.

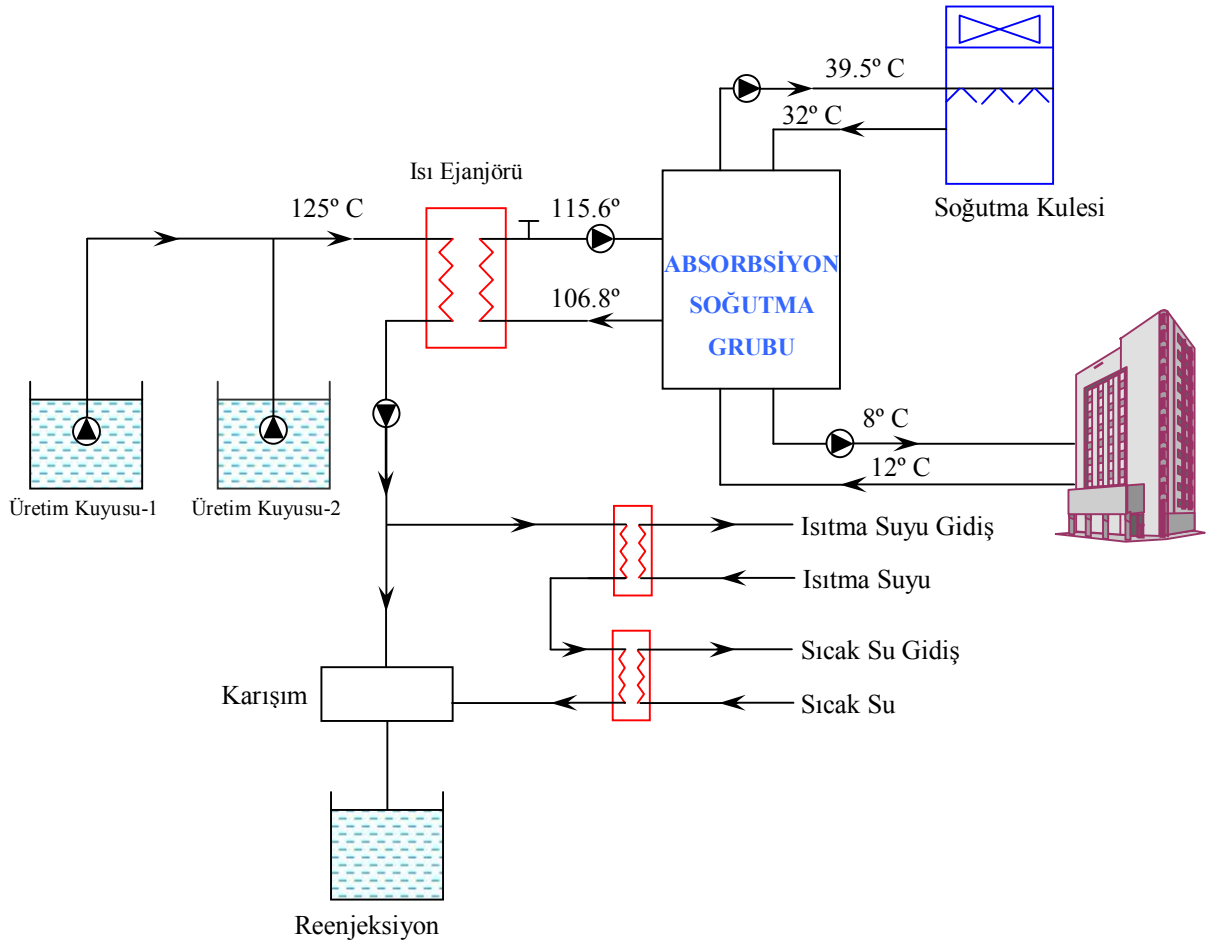
Çalışmada 28 l/s kızgın su debisi ve kuyular, soğutma sistemi ve otel arasındaki uzaklıklar göz önüne alınarak gerekli uzunluk ve çapta boru, pompa ve diğer araçlar seçilerek sistem tasarlanmıştır. Kurulan sistemin şematik şekli Şekil 3'te sunulmaktadır. Çalışmada, kurulması planlanan sisteme alternatif olarak ülkemizde yoğun olarak kullanılan doğalgaz yakmalı absorpsiyonlu, su soğutmalı buhar sıkıştırırmalı ve hava soğutmalı buhar sıkıştırırmalı sistemler alınmıştır. Tasarlanan sistemin maliyet analizi Çizelge 1'de gösterilmiştir. Maliyet hesaplamaları sistemdeki evaporatör çıkışına kadar yapılmıştır. Evaporatör çıkışından itibaren tüm sistemlerin maliyetleri aynı olacağı kabul edilmiştir. Standart olan evaporatör çıkışından sonraki kısmın kurulum maliyetine ilişkin bilgilere de Çizelge 1'de ayrıca yer verilmektedir. Sistem maliyeti için piyasadaki firmalardan alınan teklifler kullanılmıştır. Ayrıca "York" firmasından sistem maliyet ve işletme giderlerini hesaplamak üzere "Yorkopti" programı temin edilmiştir. Bu programda Türkiye şartlarına göre düzenlemeler yapılarak sistem maliyetleri ve karşılaştırmalar rahatlıkla yapılabilmektedir.



Şekil 1. Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevrimi.



Şekil 2. Tek kademeli absorpsiyonlu sistem.



Şekil 3. Jeotermal enerji ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterimi.

Çalışmada, alternatiflerin sistemlerin gider yapılı olması ve ekonomik ömürlerinin eşit olması nedeniyle, karşılaştırılmalarında net bugünkü değer (NBD) yöntemi kullanılmıştır [6]. Tüm alternatif sistemlerin yararlı ömürleri 20 yıl olarak alınmıştır. Alternatif sistemlerin net bugünkü değer yöntemi ile karşılaştırmalarını yapabilmek için ilk yatırım ve yıllık işletme maliyetlerinin öncelikli olarak hesaplanması gerekir. İlk olarak, 1.163 kW soğutma kapasiteli alternatif dört sistemin kurulması için gerekli ilk yatırım tutarları Çizelge 2’de hesaplanmıştır. Çizelgede görüldüğü gibi jeotermal destekli sistemin yatırım maliyeti 227.500 \$, doğalgaz yakmalı absorpsiyonlu sistemin yatırım maliyeti 307.500 \$, su soğutmalı buhar sıkıştırmalı sistemin yatırım maliyeti 172.500 \$, ve hava soğutmalı buhar sıkıştırmalı sistemin yatırım maliyeti 145.000 \$ olarak hesaplanmıştır.

İşletme giderleri de, yatırımın ekonomik ömrü boyunca genellikle yıllık olarak oluşan bakım-onarım masrafları, elektrik ücreti, gibi giderleri içerir. Alternatif sistemlerin çalıştırılması için gerekli işletme maliyetleri Çizelge 3’te hesaplanmış jeotermal enerji ile absorpsiyonlu soğutma sisteminin en düşük yıllık işletme maliyetine sahip olduğu görülmüştür.

Kurulması planlanan jeotermal enerji ile desteklenmiş LiBr-H₂O absorpsiyonlu soğutma sistemi ile diğer üç alternatif sistemin farklı faiz oranlarına göre Net Bugünkü Değerleri (NBD) Şekil 4’te hesaplanarak gösterilmiştir. NBD’ye göre yapılan hesaplamaların formülasyonu ve örnek bir hesaplama aşağıda verilmektedir [4, 7].

Çizelge 1. Tasarlanan sistemin maliyet analizi

MALZEME CINSİ	FİYAT		BİRİM FİYATI	MIKTAR	TOPLAM FİYAT
	KAYNAĞI	BİRİMİ			
<i>Isı değiştirici</i>	ÖM	Adet	11.500 \$	1	11.500 \$
Su kulesi	ÖM	Adet	34.500 \$	1	34.500 \$
Sıcak su hattı borulama	ÖM	Metre	43.4 \$	300	13.020 \$
Su kulesi hattı borulama	ÖM	Metre	55 \$	100	5.500 \$
<i>Absorbsiyon makinası</i>	ÖM	Adet	203.000 \$	1	203.000 \$
Pompa	BBF	Adet	900 \$	6	5.400 \$
MONTAJ BEDELİ % 10					27.292 \$
TOPLAM					300.212 \$

ÖM:Resmi birim fiyatlarında olmayan özel malzeme.

BBF:Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Fiyatı

Bilgi amaçlı verilmiştir.

Çizelge 2. Soğutma sistemlerinin tahmini yatırım maliyeti

2. Soğutma Grubu	Absorbsiyonlu		Su Soğutmalı Kondenserli (Buhar sıkıştırma)	Hava Soğutmalı Kondenserli (Buhar sıkıştırma)
	Jeotermal Enerjili	Doğalgaz Yakmalı		
3.				
4. Soğutma Grubu ve Kulesi Şantiye Teslimi	\$ 155.000	240.000	130.000	120.000
5. Evaporatör Hattı borulama ve Pompa	\$ 25.000	25.000	25.000	25.000
6. Buhar Hattı Borulama ve Kondenser	\$ 15.000	-	-	-
7. Gaz/Baca Hattı	\$ -	15.000	-	-
8. Soğ. Kulesi Borulama ve Pompa	\$ 30.000	25.000	15.000	-
9. Su Islahı ve Dozajlama Sistemi.	\$ 2.500	2.500	2.500	-
10. TOPLAM	\$ 227.500	307.500	172.500	145.000

Çizelge 3. Soğutma sistemlerinin tahmini işletme maliyeti

2. Soğutma Grubu	Absorbsiyonlu		Su Soğutmalı Kondenserli (Buhar sıkıştırma)	Hava Soğutmalı Kondenserli (Buhar sıkıştırma)
	3. Jeotermal Enerjili	Doğalgaz Yakmalı		
4. Çalışma süresi (6 ay, 12 saat/gün)	5. saat	2.160	2.160	2,160
6. Toplam Elk. Kurulu Güç	7. kW	63	60	211
8. Elektrik \$/ (kW)	9. \$	0,11	0,11	0,11
10. Doğalgaz \$/ (m ³ /h)	11. :	0,20	0,20	0,20
12. Su \$/ (m ³ /h)	13. :	0,35	0,35	0,35
14. Elektrik Maliyeti	15. :	14.969	14.256	50.134
16. Doğalgaz Maliyeti	17. :	0	45.360	0
18. Su Maliyeti	19. :	4.536	3.780	2.268
20. Kimyasal Maliyeti	21. :	1.500	1.250	1.000
22. Periyodik Bakım	23. :	1.500	2.000	3.000
24. TOPLAM	25. :	22.505	66.646	56.402

$$NBD = \text{Toplam Yatırım Maliyeti} + \text{İşletme Maliyeti} * (P/A, \% i, n) - \text{Hurda Değeri} * (P/F, \% i, n)$$

$$NBD = \text{Toplam Yatırım Maliyeti} + \text{İşletme Maliyeti} * (P/A, \% i, n) - \text{Hurda Değeri} * (P/F, \% i, n)$$

$$NBD = \text{TYM} + \text{İM} * \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] - \text{HD} * \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (1)$$

Burada,

TYM=Toplam Yatırım Maliyeti;

İM= İşletme Maliyeti;

HD=Hurda Değeri;

NBD=Net Bugünkü Değer;

i = Faiz oranı;

n = Amortisman süresidir.

Örneğin;

$$\text{TYM}=94390,74 \$; \text{İM} = 10287,06 \$; \text{HD}=\text{TM} * \%10=9439,074 \$; i=0,02 \text{ ve } n=20$$

alındığında;

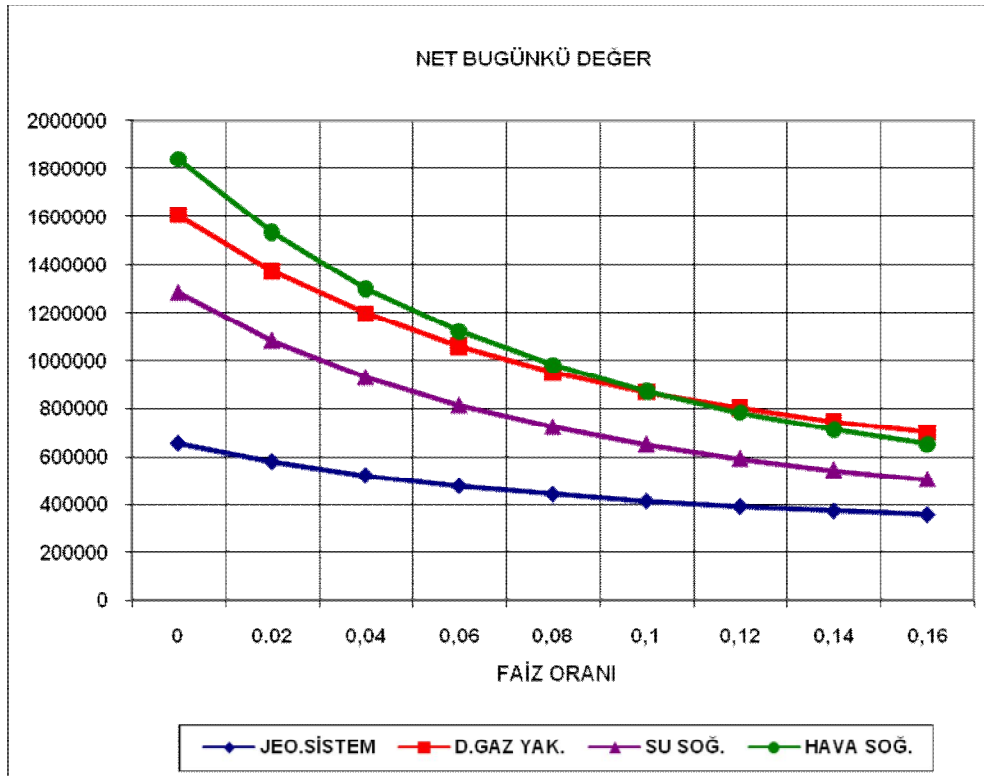
$$NBD = 94390,74 + 10287,06 * \left[\frac{(1+0,02)^{20} - 1}{0,02(1+0,02)^{20}} \right] - 9439,074 * \left(\frac{1}{(1+0,02)^{20}} \right) \quad (2)$$

$$NBD = 256 246 \$$$

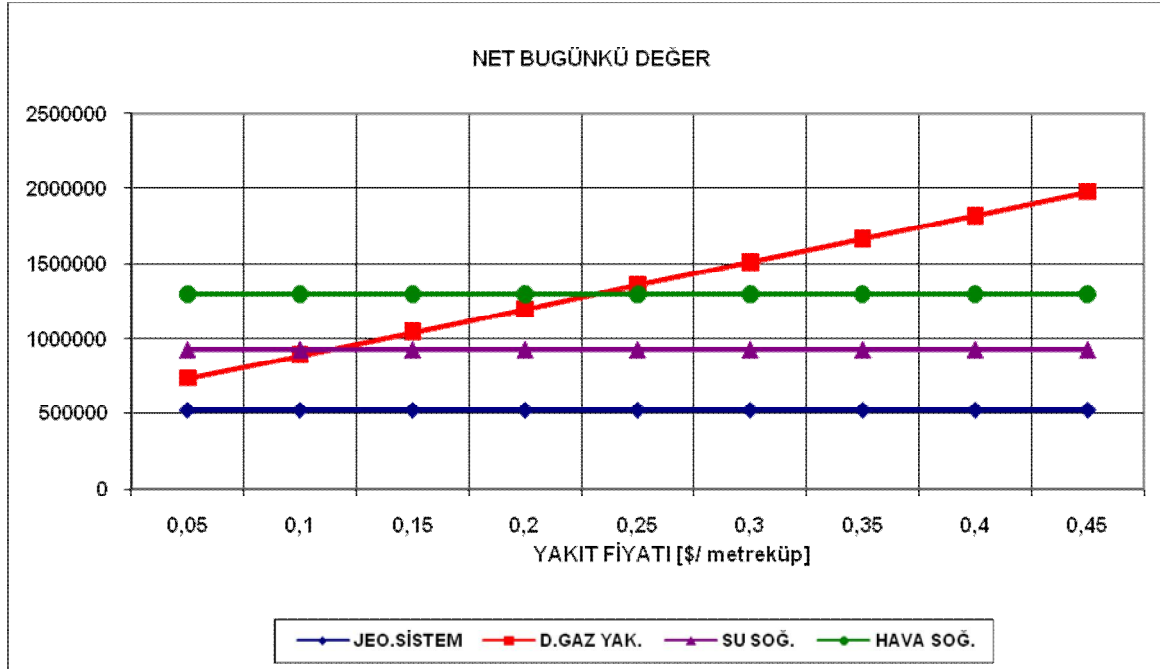
olarak hesaplanmaktadır.

Değerlendirme yöntemlerinin faiz oranına fazlasıyla bağımlı olması, faiz oranının belirlenmesi de büyük sorunlar doğurması nedeniyle çalışmada da En Cazip Karlılık Oranına (ECKO) dayanan NBD yöntemine göre değerlendirme yapılmıştır. En küçük cazip kârlılık oranı, faiz oranından farklı olarak, sosyal ve çevresel faktörleri de hesaba katma imkanı vermektedir. Genellikle ECKO, sermaye fiyatına risk ve kar yüzdelerinin ilavesiyle bulunur. Jeotermal enerjili sistemlerde risk yok kabul edilebilir. Sermaye fiyatı ve kar yüzdesi tüketicinin sosyal ve ekonomik şartlarına bağlıdır. Bu yüzden iki özel durum ayrı ayrı ele alınmıştır. Sermaye kendisine ait olan tüketici Türkiye’de ve diğer ülkelerde % 2-6 faiz oranıyla yetinmek durumundadır. Türkiye’de enflasyondan arındırılmış (gerçek) faiz riskinin az olması halinde aynı mertebede kalmaktadır. İkinci özel durum olarak, sermayenin yarısı kendine ait olan girişimci düşünülmektedir. Bu durumda faiz oranı % 8-16 civarındadır. Toplumlar da gelişmekte olan çevre bilinci nedeniyle, jeotermal enerjili sistemin girişimciye sağlayacağı yararlar, kar yüzdesinin “0” kabul edilmesi sonucunu doğurmaktadır. Birçok gelişmiş ülkelerde sağlanan vergi kolaylıkları girişimcilere kapital fiyatını sıfıra indirme imkanı vermektedir. Bu nedenlerden dolayı yapılan hesaplamalarda faiz oranı olarak, 0 ile % 16 arasında belirlenen ECKO’ları kullanılmıştır [4,6,7]. Bunun yanında, ülkemizin dışa açılmasından dolayı ekonomik analizlerin yabancı para birimiyle yapılması nedeniyle, hesaplamalarda para birimi olarak (\$) kullanılmıştır. 1 \$ = 1,60 TL (yaklaşık) alınarak hesaplamalarda kullanılmıştır.

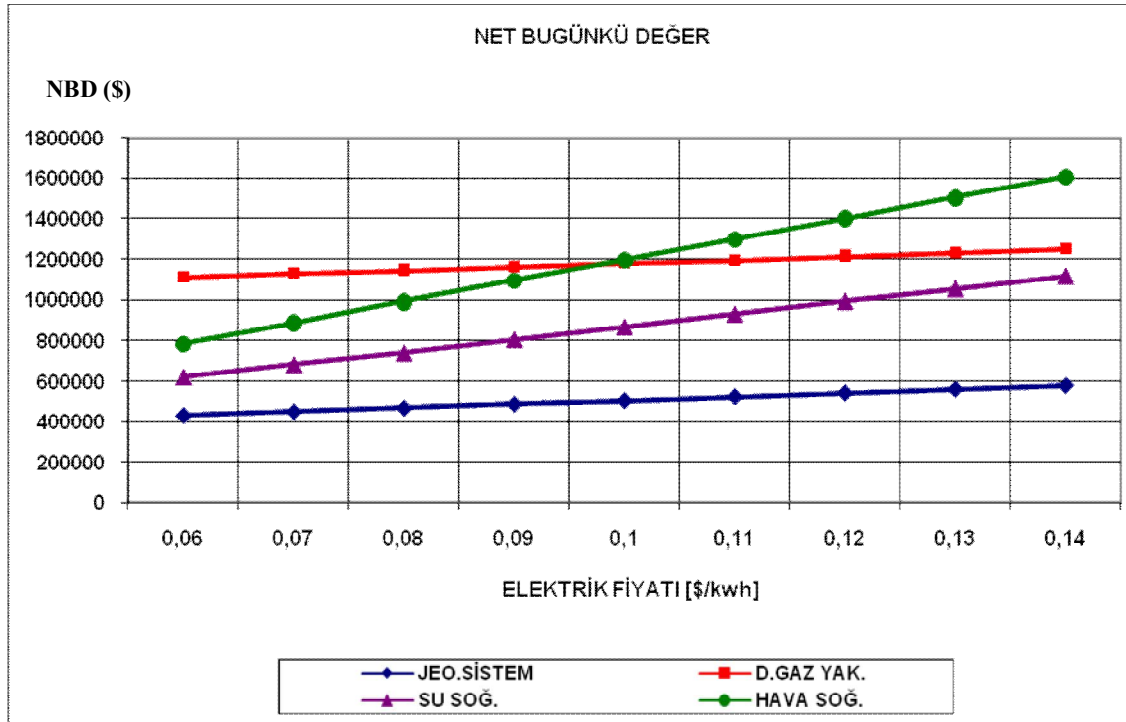
NBD yöntemin kullanılacağı Kurulması planlanan jeotermal soğutma sisteminin tüm faiz oranlarında en ekonomik çözüm olduğu görülmektedir. Şekil 4-10’da doğalgaz, elektrik ve su fiyatlarının farklı değerlerinin iki ayrı faiz oranında (i=% 4 ve i=% 12) sonuçlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tüm grafiklerde diğer alternatifler arasında sıralamalar değişse de her durumda en ekonomik çözümün jeotermal enerji ile desteklenmiş LiBr-H₂O absorpsiyonlu soğutma sistemi olduğu görülmektedir.



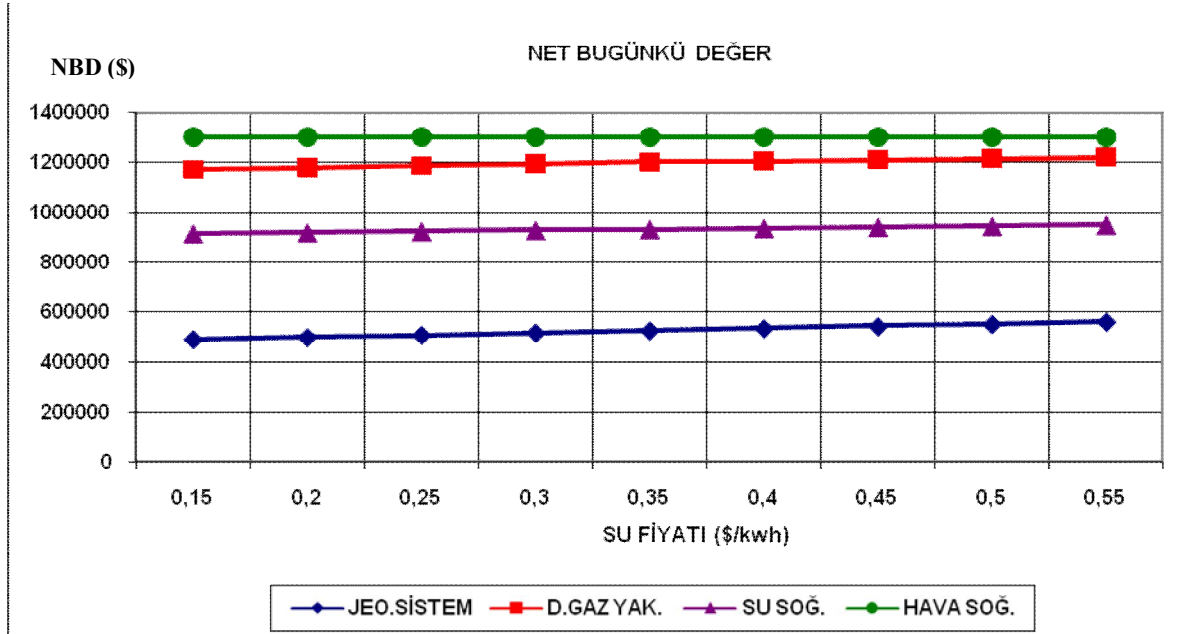
Şekil 4. Faiz oranına göre NBD değişimi (i=0,04).



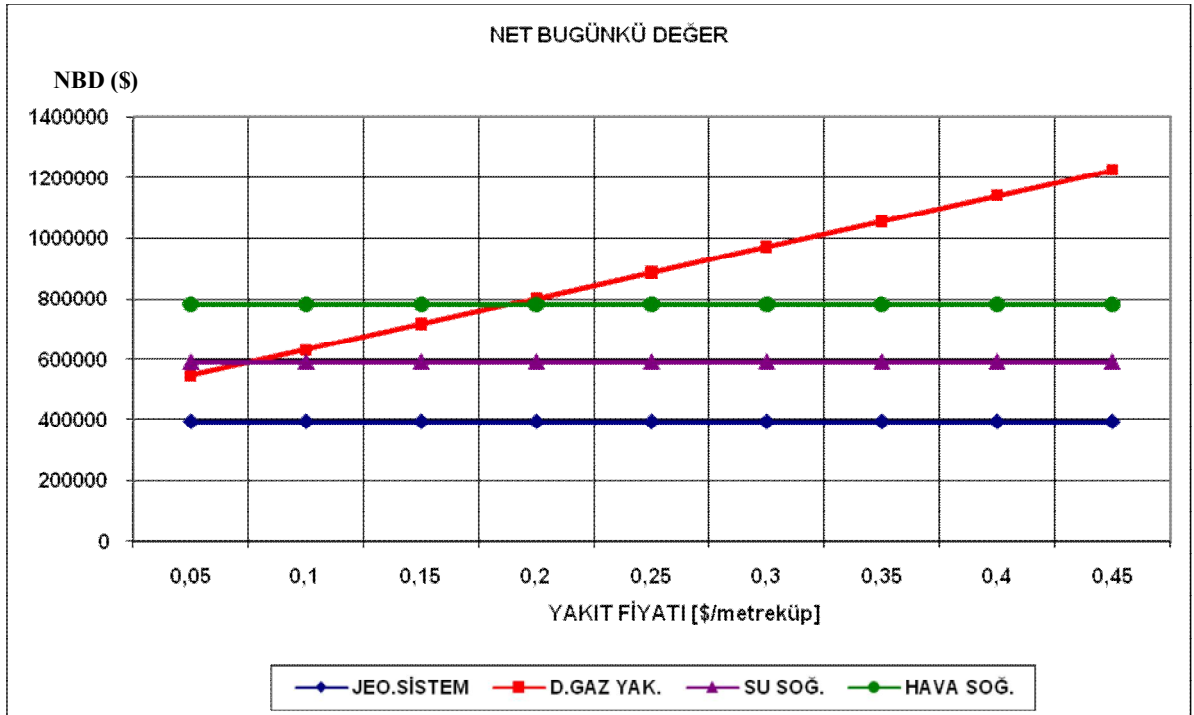
Şekil 5. Doğalgaz fiyatına göre NBD değişimi (i=0,04).



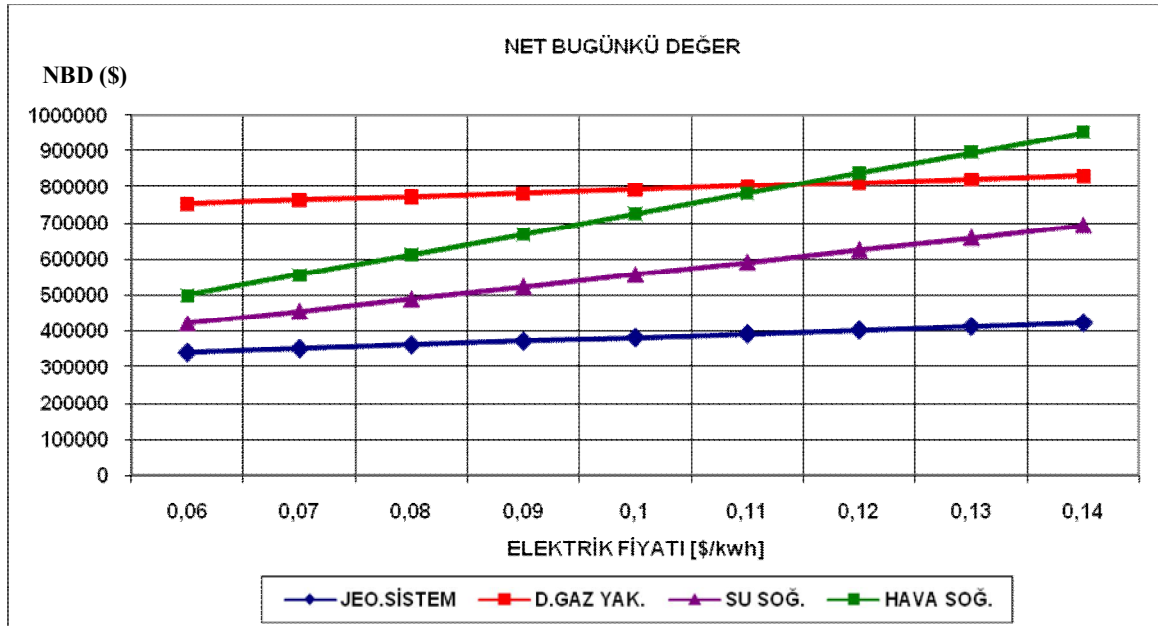
Şekil 6. Elektrik fiyatına göre NBD değişimi (i=0,04).



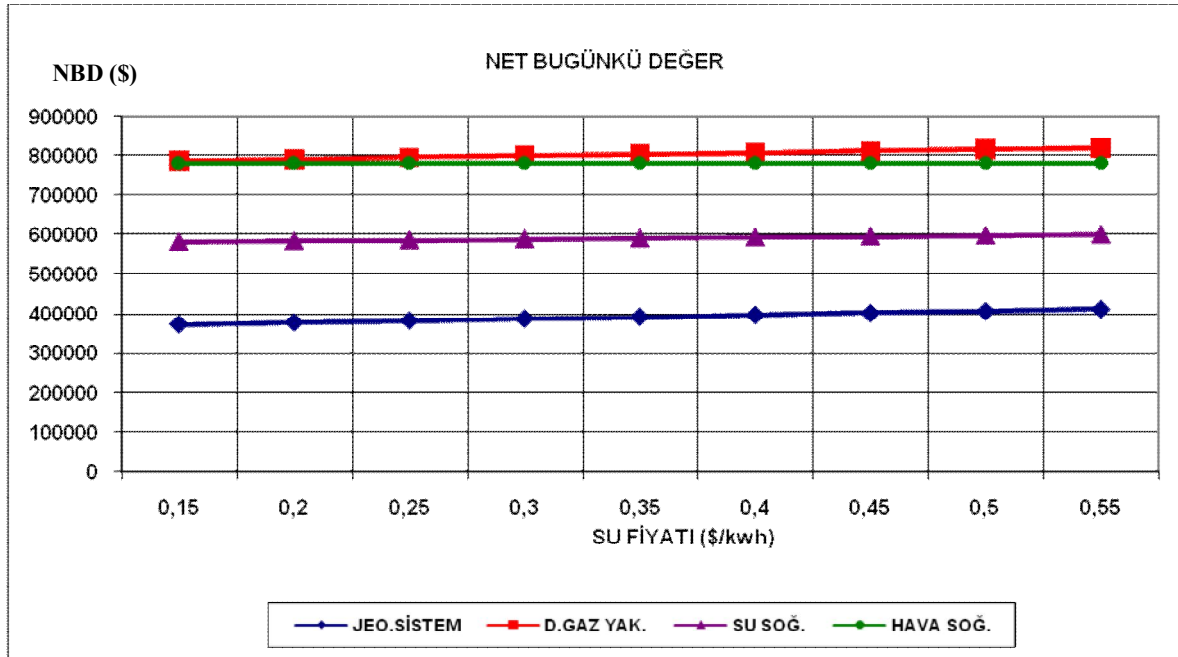
Şekil 7. Su fiyatına göre NBD değişimi (i=0,04).



Şekil 8. Doğalgaz fiyatına göre NBD değişimi (i=0,12).



Şekil 9. Elektrik fiyatına göre NBD değişimi (i=0,12).



Şekil 10. Su fiyatına göre NBD değişimi (i=0,12).

Sonuç olarak, mekanik sıkıştırımlı sistemler yüksek miktarda elektrik enerjisi gerektirdiğinden, jeotermal enerjisi ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi ekonomik analizin gösterdiği gibi günümüzde güçlü bir alternatif konumundadır. Ülkemizde mevcut olanların yanı sıra yeni açılacak jeotermal kuyuların çevresinde bulunan tesislerin yaz aylarında soğutma amaçlı olarak kullanılması buhar sıkıştırımlı çözümlere göre önemli bir ekonomik avantaj getireceği bu çalışmada gösterilmiştir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada İzmir’de kurulması planlanan bir jeotermal enerjili absorpsiyonlu soğutma sisteminin gerekli hesaplamaları yapıldıktan sonra sistem elemanları seçilerek buhar sıkıştırımlı sistemlerle ekonomik karşılaştırması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar kurulacak soğutma sisteminin yıllık işletme maliyetlerinin düşük olmasından dolayı buhar sıkıştırımlı sistemlere göre ekonomik açıdan daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Böylece, jeotermal kuyular sadece tesislerin ve konutların ısıtılmasında değil yaz aylarında soğutulmasında da kullanılabilir. Uzun dönemde jeotermal enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin yaygınlaşması buhar sıkıştırımlı sistemlere göre daha yüksek olan ilk yatırım tutarlarının düşmesine de yol açacaktır.

Ülkemizin giderek artan enerji ihtiyacının karşılanmasında, kendi öz kaynağımız olan jeotermal enerjiden daha fazla yararlanılması ekonomimize önemli katkı sağlayacaktır. Jeotermal enerjinin kullanımını yaygınlaştırmak için; jeotermal enerjinin aranması ve işletilmesi ile ilgili yasal düzenlemeler yürürlüğe konularak jeotermal enerji politikası oluşturulmalı ve jeotermal kullanım teşvik edilmelidir. Yapılacak yatırımlar, jeotermal enerjinin her aşamada kullanılacağı entegre tesisler şeklinde planlanmalıdır. Jeotermal enerjinin halka tanıtımı konusunda çalışmalar yapılmalı, yapılacak yatırımlar özendirilmelidir. MTA tarafından sondajları yapılmış, atıl durumdaki Aydın-Germencik, İzmir- Seferihisar gibi yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkana sahip sahalarda entegre tesis yatırımları özendirilmelidir.

Kaynaklar

- [1] M.E. Zorkun, A.R. Ardiç, “Soğutma Tekniği ve Klima” M.E.B Yayını, İstanbul, (1980).
- [2] M. Edin, İ.E. Türe, “LiBr-H₂O ve R22-DMETEG Güneş Enerjili Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri”, *Enerji Tasarrufu Semineri Tebliğleri, İstanbul*, 101-110, (1993).

- [3] İ.Dinçer, İ.E. Türe, M. Edin, “R22 ve DMETEG Akışkan Çiftinin Kullanıldığı Güneş Enerjili Bir Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Tasarımı”, *Güneş Enerjisi Uygulamaları-Gelişmeleri Sempozyumu, Muğla*, 243-249, (1994).
- [4] L. İlbilgi, “Jeotermal Enerji İle Absorbsiyonlu Soğutma ve Diğer Soğutma Alternatifleriyle Ekonomik Karşılaştırmalar”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2002).
- [5] Ö. Akdemir, A. Güngör, “LiBr-H₂O Akışkan Çifti Kullanılan Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Termodinamik İncelemesi”, *Isı Bilim ve Teknolojileri Dergisi*, Ocak, (2001).
- [6] M. Şenel, E. Kaya, Y. Göktay, “*Mühendislik Ekonomisi*”, Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, (1988).
- [7] G.W. Sullivan, E.M. Wicks, J. Luxhoj, “*Engineering Economy*”, Prentice Hall; 12 edition, (2002).