BUZ DEPOLAMALI BİR İKLİMLENDİRME SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ahmet FERTELLİ, Çukurova Üniversitesi, Makine Müh. Böl., 01330-Adana, fertelli@cu.edu.tr
Orhan BÜYÜKALACA, Çukurova Üniversitesi, Makine Müh. Böl., 01330-Adana, orhan1@cu.edu.tr
Tuncay YILMAZ, Çukurova Üniversitesi, Makine Müh. Böl., 01330-Adana, tunyil@cu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, ülkemizde geçerli olan elektrik tarifesi dikkate alınarak soğu depolama teknolojisinin Türkiye şartlarında uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuarlarında kurulan buz depolamalı iklimlendirme sistemi kullanılarak şarj ve deşarj deneyleri yapılmış ve enerji maliyetleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar konvansiyonel bir iklimlendirme sisteminin enerji harcamaları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, buz depolamalı sistemin konvansiyonel bir sisteme göre elektrik harcamasında önemli oranda tasarruf sağlayabileceği görülmüştür.
Anahtar Kelimeler: İklimlendirme, ısıl enerji depolama, buz depolama, enerji maliyeti

PERFORMANCE EVALUATION OF AN ICE STORAGE AIR-CONDITIONING SYSTEM

Abstract

In this study, applicability of cool storage technology considering the conditions of Turkey is investigated using the electric prices currently effective in Turkey. For this purpose, charge and discharge experiments were carried out using the air-conditioning system with ice storage that was constructed in the Laboratories of Mechanical Engineering Department of Çukurova University and energy costs were determined. The results were compared with the operating energy cost of a conventional air-conditioning system. It was found that, ice thermal storage can offer significant savings in the electricity bill.
Keywords: Air-conditioning, thermal energy storage, ice storage, energy cost

1. Giriş

Isıtma, iklimlendirme ve soğutma sistemleri, bir bina içerisindeki toplam enerji tüketim miktarının üçte birinden üçte ikisine kadar olan miktarını kapsarlar [1]. Bir binadaki soğutma yükü gün içerisinde değişiklik gösterir ve sadece birkaç saat süresince maksimum seviyesinde seyreder. Binadaki enerji tüketimi de bu zaman diliminde en yüksek seviyeye çıkmaktadır. İklimlendirme uygulamalarında kullanılan soğutma grupları, binanın yıllık maksimum soğutma yükünü karşılayacak şekilde boyutlandırılırlar ve belirli bir tolerans değeri de eklenerek olması gerekenden daha fazla kapasitede seçilirler. Soğu depolama sistemleri, belirli zaman dilimleri içerisindeki maksimum yüklere göre seçilen konvansiyonel sistemlerin kapasitesini azaltmayı ve bu sistemlerden dolayı oluşan büyük enerji ihtiyaçlarını makul miktarlara indirmeyi hedefleyen alternatif sistemlerdir. Bu sistemlerde, elektriğin ucuz ve kullanımın az olduğu saatlerde soğutma sistemi tarafından üretilen soğu enerjisi bir tankta depolanır. Depolanan bu enerjinin elektriğin pahalı ve soğutma ihtiyacının maksimum olduğu saatlerde kullanılmasıyla, enerji maliyetlerinde önemli miktarlarda tasarruf sağlanabilir.

Soğu depolama sistemleri su, buz ve faz değiştiren ötektik tuzlar olmak üzere üç farklı depolama ortamı kullanırlar. Buz depolamalı sistemler, suyun donma ve erime gizli ısısından faydalandıklarından küçük hacimlerde büyük miktarda ısıl enerji depolayabilirler. Bu sistemlerdeki depo kapasitesi, su depolamalı sistemlerde kullanılan depo kapasitesinin beşte veya altıda biri mertebesindedir. Bu avantajından dolayı buz depolamalı sistemler, uygulamada çok tercih edilmektedir [2].

Buz depolamalı sistemler, statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılırlar [3]. Statik sistemlerde, depolama tankının içerisine yerleştirilmiş borular üzerinde buz oluşturulur. Bu sistemler, kendi içerisinde içten eritmeli ve dıştan eritmeli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Her iki sistemde de (içten ve dıştan eritmeli) şarj esnasında, ikincil bir akışkan tank içerisindeki borulardan geçirilir. Deşarjda ise dıştan eritmeli sistem için, tank içerisine mahalden gelen ılık dönüş suyu buz üzerine pompalanarak buz eritilir. İçten eritmeli istemlerde ise, şarj için kullanılan ikincil akışkan mahale gönderilir ve orada ısındıktan sonra depo içerisindeki borulara girer ve buzu içten eritir. Dinamik

sistemlerde buz, özel olarak tasarlanmış plaka veya serpantin yüzeylerinde oluşturulur. Şarj işlemi sırasında, plaka yüzeyi üzerine akan su, bir buz tabakası oluşturur. Bu tabaka belirli zaman aralıklarında, defrost çevrimi ile yüzeyden ayrılır ve alttaki depolama tankında depolanır. Deşarj işlemi sırasında ise, tankta depolanan su-buz karışımı mahale soğutma için gönderilir.

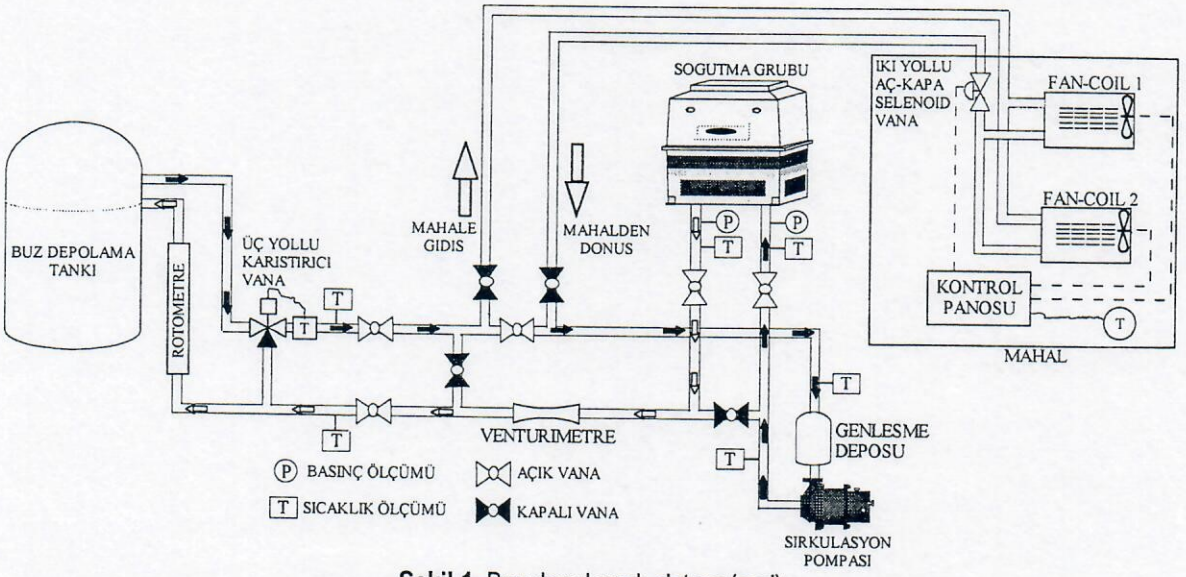
Soğu depolamalı sistemlerin çalışma stratejileri, tam depolama ve kısmi depolama olmak üzere ikiye ayrılır. Tam depolamalı çalışma stratejisinde, elektriğin en ucuz olduğu zaman diliminde (gece), gerekli olan soğu miktarı depolanır. Gündüz ise depolanan soğu kullanılarak, mahalin soğutma ihtiyacı karşılanır. Deşarj işlemi esnasında soğutma grubu hiç çalışmaz, gerekli olan soğutma yükünün tamamı depodan karşılanır. Bu çalışma stratejisinin ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen, işletme maliyetinin düşük olması önemli bir avantaj sağlar.

Kısmi depolamalı işletme stratejisinde ise, gün boyunca gerekli olan soğutma yükünü hem soğutma grubu hem de depo beraber sağlarlar. Bu tip işletme stratejisinde, soğutma grubu konvansiyonel bir sisteme göre daha küçük seçilir. Dolayısıyla gündüz soğutma yükünün maksimum olduğu saatlerde, soğutma grubu ihtiyacın tamamını karşılayamaz ve devreye soğu deposu girerek geri kalan yükü karşılar. Soğutma ihtiyacı azaldığında, soğu deposu devreden çıkar ve soğutma grubu tekrar gerekli olan yükü karşılar. Bu çalışma stratejisinin en önemli avantajı, depolama tankı ve soğutma grubunun küçük seçilmesinden dolayı ilk yatırım maliyetinin düşük olmasıdır [4]. Ancak işletme maliyetinden sağlanacak tasarruf tam depolamalı sistemlere göre daha düşük olmaktadır.

2. Buz Depolamalı Soğutma Sistemi

DPT tarafından desteklenen proje kapsamında, tam depolamalı işletme stratejisine dayalı, içten eritmeli ve boru üzerinde buz depolamalı bir sistem Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuarlarında kurulmuştur [5]. Sistemin tesisat şeması, şarj (gece buz oluşturma) ve deşarj (gündüz soğutma yaparak buz eritme) durumları için Şekil 1 ve Şekil 2'de sırasıyla gösterilmiştir. Sistemin ana bileşenleri, hava soğutmalı bir soğutma grubu, sirkülasyon pompası, buz tankı, fan coiller ve otomatik kontrol elemanlarıdır. Sistemde aracı akışkan olarak %30 glikol-su karışımı kullanılmaktadır.

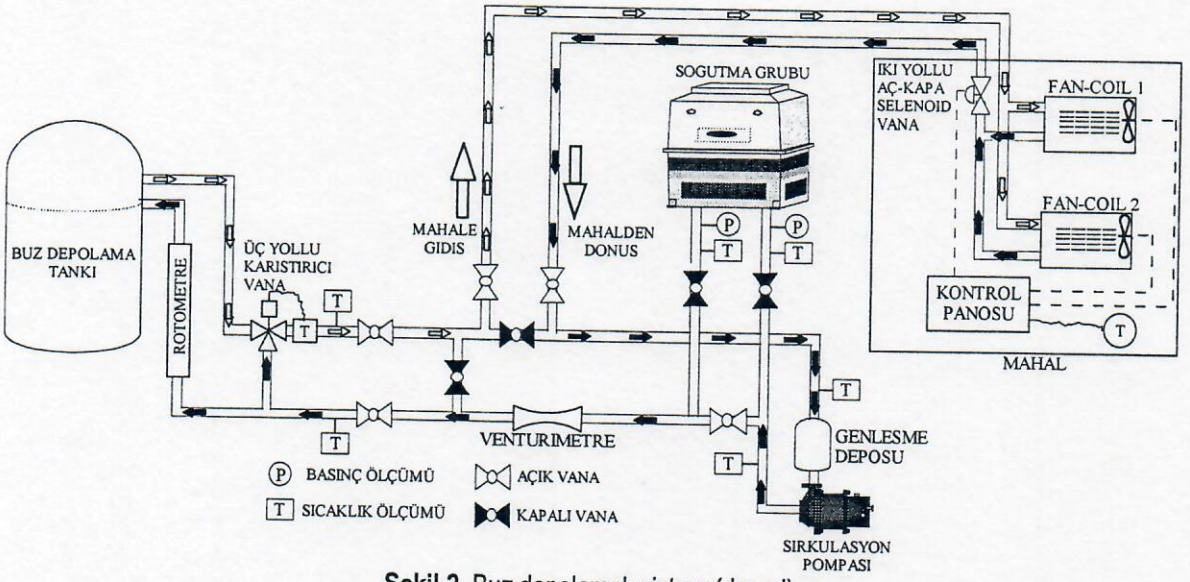
Sistem, elektriğin en ucuz olduğu saatlerde (22^{00}-06^{00}) buz oluşturur. Şarj esnasında glikol-su karışımı, soğutma grubunda -4 ve -6 °C aralığında istenilen değere kadar soğutulup, buz tankına gönderilir. Tank içerisindeki serpantinlerden dolaşıp ısınan karışım, pompa aracılığıyla tekrar soğutma grubuna gönderilir.



Şekil 1. Buz depolamalı sistem (şarj)

Deşarjda ise, şarj süresince üretilen buz, gerekli olan soğutma ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Bu işlemde soğutma grubu hiç çalışmaz ve gerekli soğu ihtiyacının tamamı depodan karşılanır. Şekil 2'den görüldüğü gibi, depodan çıkan glikol-su karışımı mahalde bulunan fan-coillere gönderilerek ortamı soğutur ve tekrar ısınarak depoya döner. Sisteme, depo giriş ve çıkış hattını birleştiren 3 yollu karıştırıcı vana yerleştirilmiştir. Üç yollu vana, basma hattına yerleştirilen sıcaklık sensöründen gerekli açma kapama sinyallerini alarak, akışkanın yönünü değiştirir ve basma hattında istenilen sıcaklığı ayarlar [6].

Soğutulan mahalde bir otomatik kontrol panosu, oda termostatı, iki adet fan-coil ve aç/kapa kontrollü bir selenoid vana bulunmaktadır (Şekil 2). Sistemin oda içerisindeki otomatik kontrolü, fan ve vana olmak üzere iki seçeneklidir. Her iki kontrol seçeneği de mahal içerisine yerleştirilmiş oda termostatından alınan sinyaller doğrultusunda çalışır. Kullanıcı fan kontrolünü seçerse, oda içerisindeki sıcaklık, ayarlanan sıcaklık değerine ulaştığı zaman fanlar kapanır, oda sıcaklığı yükseldiğinde ise fanlar tekrar açılır. Vana kontrolü seçildiğinde ise, ayarlanan oda sıcaklığı sağlandığında vana kapanır ve oda sıcaklığı yükselinceye kadar fan-coillere soğuk akışkan gönderilmez. Yapılan deşarj deneylerinde her iki kontrol sistemi de (fan-vana) kullanılmıştır.



Şekil 2. Buz depolamalı sistem (deşarj)

3. Deneysel Çalışma

Sistemin ekonomik analizi için hem sarj hem de deşarj deneyleri yapılmıştır. Sistemde şarj esnasında soğutma grubu ve pompanın, deşarjda ise sadece pompanın enerji tüketimini ölçen bir akıllı sayaç bulunmaktadır. Deneylerde debi ölçümleri, Şekil 2'den de görüldüğü gibi, depo gidiş hattı üzerinde bulunan venturimetre ve rotometre ile yapılmaktadır. Şarj deneylerinde aracı akışkan, depo, soğutma grubu ve pompa giriş-çıkış sıcaklıkları ve yoğuşturucudaki hava giriş-çıkış sıcaklıkları ölçülmektedir. Deşarj deneylerinde ise, soğutulan mahalin sıcaklığı, dış hava sıcaklığı, mahale giden ve mahalden dönen glikol-su karışımı sıcaklıkları ölçülmektedir. Ayrıca şarj ve deşarjda, tank içerisindeki suyun sıcaklığı 9 farklı noktada ölçülmektedir.

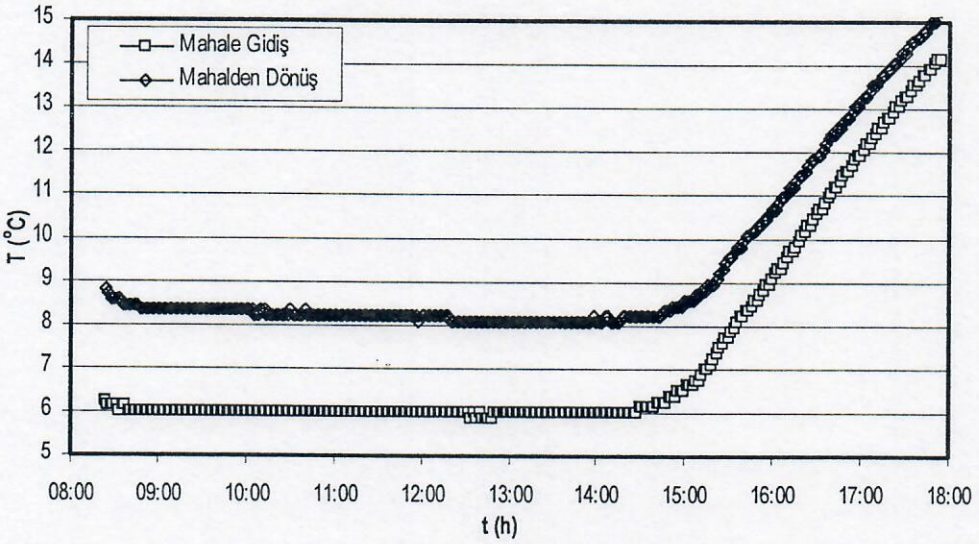
25 Eylül -16 Ekim 2003 tarihleri arasında 7 adet şarj ve deşarj deneyi yapılmıştır. Tüm şarj deneyleri 8 saat süresince yapılmıştır. Deşarj deneylerinde ise, gece oluşturulan buz, gündüz soğutma için kullanılmıştır. Deşarj deneyi sırasında, buz eridikten sonra da suyun duyulur ısısından faydalanmaya devam etmek için, mahalin soğutulmasına devam edilmiştir. Tablo 1'den görüldüğü gibi, üç deney için aç/kapa vana kontrolü, dört deney için ise fan kontrolü kullanılmıştır. Tüm deneylerde oda termostatı 22 °C'ye, soğutulan mahale gönderilen suyun sıcaklığı ise 3 yollu karıştırıcı vana aracılığıyla, iki deney için 8 °C'ye, diğer deneyler için 6 °C'ye ayarlanmıştır.

Tablo 1. Deşarj Deneyleri

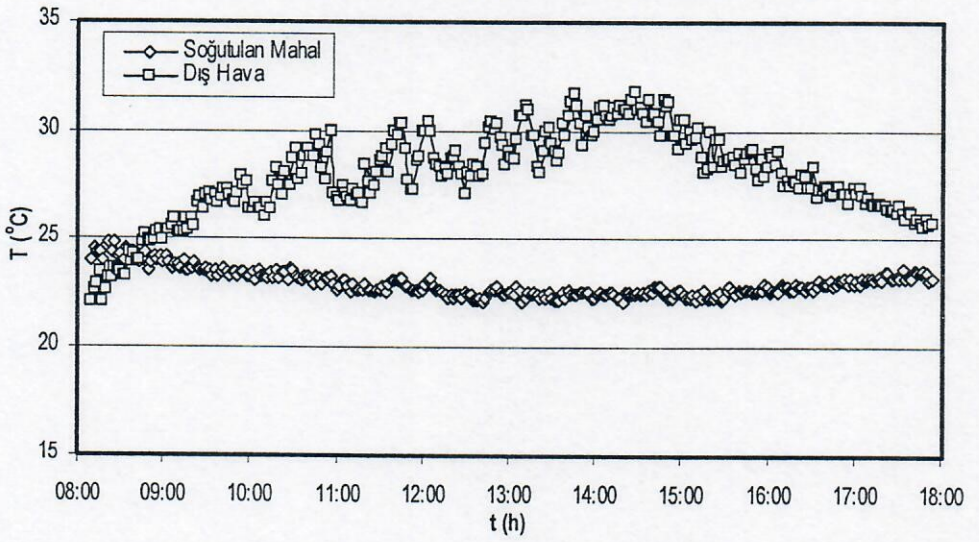
Deney tarihi	Otomatik kontrol yöntemi	Mahale gönderilen suyun ayar sıcaklığı (°C)	Oda termostatı sıcaklık ayar değeri (°C)	Deşarj başlangıcında depodaki mevcut buz miktarı (kg)	Mahalden çekilen toplam ısı, Qsoğ, (kWh)
25 Eylül 2003	Vana	6	22	449	49
27 Eylül 2003	Vana	6	22	379	43
29 Eylül 2003	Fan	6	22	349	40
3 Ekim 2003	Fan	6	22	499	54
7 Ekim 2003	Fan	6	22	449	49
9 Ekim 2003	Vana	8	22	429	47
16 Ekim 2003	Fan	8	22	470	52

4. Bulgular

Deşarj deneylerinin bazıları vana, bazıları da fan kontrol sistemi kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3'de vana kontrollü deneylere örnek olarak 25 Eylül 2003 tarihinde yapılan deneyde ölçülen sıcaklıkların zamanla değişimi gösterilmiştir. Bu deneyde, aracı akışkanın mahale basma sıcaklığı 6 °C olarak ayarlanmıştır. Şekil 3a'da 3 yollu karıştırıcı vananın, saat 14:30'a kadar akışkanı ayarlanan sıcaklık değerinde mahale gönderebildiği görülmektedir. Daha sonra, tank içerisindeki buzun tamamen erimesinden dolayı karışımın sıcaklığı artmaya başlamış ve mahalin soğutulması için artık buzun gizli ısısı yerine, sadece suyun duyulur ısısı kullanılmıştır. Deney başlangıcında, oda termostatı 22 °C'ye ayarlanmış ve Şekil 3b'de görüldüğü gibi, gün boyunca ayarlanan sıcaklık değeri yaklaşık olarak elde edilmiştir.



a) Glikol-su karışımının mahale gidiş ve mahalden dönüş sıcaklığı



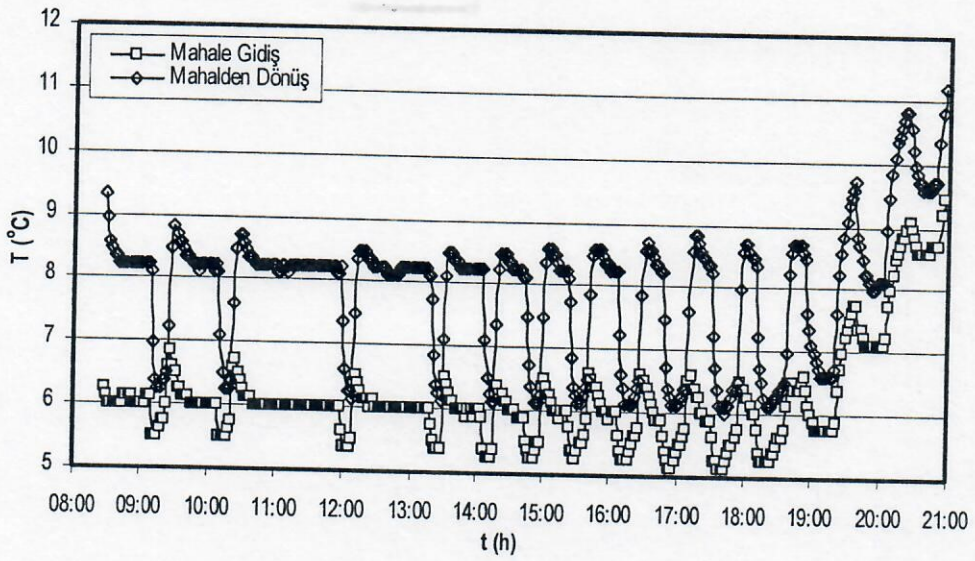
b) Mahal ve dış ortam sıcaklıkları

Şekil 3. Vana kontrollü deney için sıcaklıkların zamanla değişimi

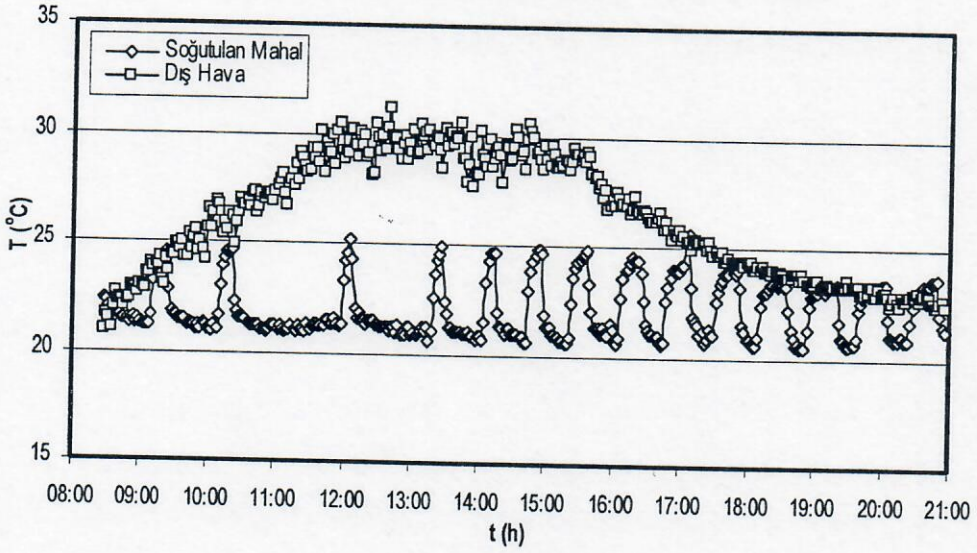
Fan kontrollü yapılan deneylere örnek olarak 3 Ekim 2003 tarihinde yapılan deney sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. Bu deneyde, akışkanın mahale basma sıcaklığında belirli zaman aralıklarında dalgalanmalar görülmektedir (Şekil 4a). Bunun sebebi mahal içerisindeki sıcaklığın, oda termostatında ayarlanan değere ulaşmasıyla fanın kapanması ve daha sonra tekrar açılmasıdır. Mahal havası, ayarlanan sıcaklığa ulaştığında (22 °C) fan kapanmakta, oda sıcaklığı bu değerin üzerine çıktığında ise fan tekrar açılmaktadır. Fanın açılıp kapanmasıyla oluşan sıcaklık dalgalanmaları Şekil 4b'deki mahal sıcaklık eğrisinde de görülmektedir.

Şekil 3b ve 4b'den sistemde mevcut iki tür (vana ve fan) otomatik kontrol sisteminin de genel olarak

düzenli bir şekilde çalıştığı görülmektedir.



a) Glikol-Su karışımının mahale gidiş ve mahalden dönüş sıcaklığı



b) Mahal ve dış ortam sıcaklıkları

Şekil 4. Fan kontrollü deney için sıcaklıkların zamanla değişimi

Tam depolamalı işletme stratejisine göre çalışan buz depolamalı iklimlendirme sisteminin amacı, enerji maliyetlerini minimuma indirmektir. Sistemin enerji maliyetlerini tespit edebilmek ve konvansiyonel sistemlerle karşılaştırabilmek amacıyla deneyler şarj ve deşarj olmak üzere iki aşamada yapılmıştır.

TEDAŞ tarafından çok zamanlı elektrik tarifesi resmi daire, yazıhane, ticarethane için, 22^{00}-06^{00} saatleri arasında 0,06 YTL/kWh, 06^{00}-17^{00} saatleri arasında 0,14 YTL/kWh ve 17^{00}-22^{00} saatleri arasında 0,28 YTL/kWh olarak belirlenmiştir. Tek zamanlı tarifenin fiyatı ise, gün boyunca tüm saatler için 0,15 YTL/kWh'dir [7].

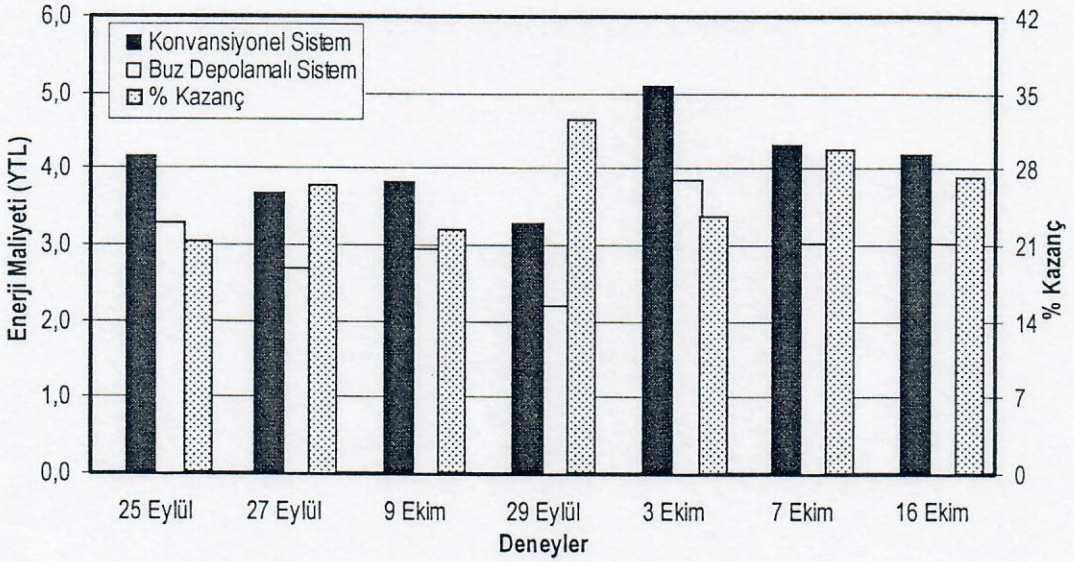
Buz depolamalı sistemin şarj esnasında harcadığı enerji, soğutma grubu (kompresör+fan) ve sirkülasyon pompasının harcadığı enerjinin toplamıdır. Deşarj sırasında, sistemin elektrik tüketimi, soğutma grubu çalışmadığından dolayı, sadece sirkülasyon pompasının harcadığı enerji kadardır. Buz depolamalı sistem için günlük enerji maliyetinin hesaplamasında; şarj esnasında tüketilen elektrik harcaması gece tarifesine göre, deşarj esnasında harcanan elektriğin maliyeti ise gündüz tarifesine göre hesaplanmıştır.

Buz depolamalı sistemlerde, deşarj esnasında mahalin soğutulması için gerekli soğu enerjisi buzu eriterek (gizli ısı) ve aynı zamanda depo içerisindeki soğuk suyun duyulur ısısından da faydalanılarak elde edilir. Bu durumda buz tamamen eridikten sonra depo içerisinde bulunan soğuk su, sıcaklığı belirli bir değere ulaşıncaya kadar soğutma işlemine devam edebilir. Bu çalışmada yapılan bazı deneylerde deşarj işlemine, depo

içerisindeki su sıcaklığı yaklaşık 15 °C'ye ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. Ancak gerçek uygulamada mahalden nem alma gereksinimi de olacağından, mahal içerisindeki gizli ısı kazançlarına bağlı olarak bu kadar yüksek su sıcaklıklarına çıkılması mümkün olmayabilir. Fan-coil uygulamalarında mahale gönderilen soğuk su sıcaklığı genellikle 7 °C seçildiğinden, bu çalışmada deşarj işleminin depo içerisindeki su sıcaklığı 7 °C'ye ulaşınca sonlandırıldığı kabul edilmiştir.

Buz depolamalı sistem ile yapılan deneylerde, her hangi bir deney gününde mahalin soğutulması için buz deposundan çekilen toplam soğu enerjisi ($Q_{soğ}$), buzun tamamen erimesi (gizli ısı) ve takibinde depo içerisindeki ortalama su sıcaklığı 7 °C'ye ulaşıncaya kadar soğutmaya (duyulur ısı) devam edilmesi dikkate alınarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Aynı mahal için konvansiyonel bir sistem kullanılsaydı, mahalden aynı miktarda soğu enerjisinin ($Q_{soğ}$) çekilebilmesi için sistemin soğutma kapasitesinin yaklaşık 7 kW olması gerekirdi. Konvansiyonel sistemin günlük enerji tüketimini hesaplayabilmek için, öncelikle ticari olarak satılan 7 kW nominal soğutma kapasiteli bir soğutma grubuna ait bilgiler (soğutma kapasitesi ve güç) üretici firmadan temin edilmiş ve bu veriler doğrultusunda, kısmi yük durumunda çalışması da dikkate alınarak, sistemin performansı (COP) hesaplanmıştır [8]. Hesaplanan COP ve buz depolamalı sistem deneyinden elde edilen $Q_{soğ}$ kullanılarak, konvansiyonel sistemin günlük enerji tüketimi belirlenmiştir. Fakat üretici firma tarafından verilen enerji tüketim miktarları, sadece kompresör için olduğundan, yoğuşturucu fanının ve sirkülasyon pompasının deney süresince harcadığı enerji miktarları da konvansiyonel sistemin toplam enerji tüketimine ayrıca ilave edilmiştir. Konvansiyonel sistemin günlük enerji tüketiminden de, tek zamanlı tarife fiyatı kullanılarak, günlük enerji maliyeti elde edilmiştir.

Deney yapılan günler için, buz depolamalı ve konvansiyonel iklimlendirme sistemlerinin günlük enerji giderleri Şekil 5'de karşılaştırılmıştır. Şekil üzerinde ayrıca, buz depolamalı sistemin konvansiyonel sisteme göre enerji maliyetindeki kazanç oranı da gösterilmiştir.

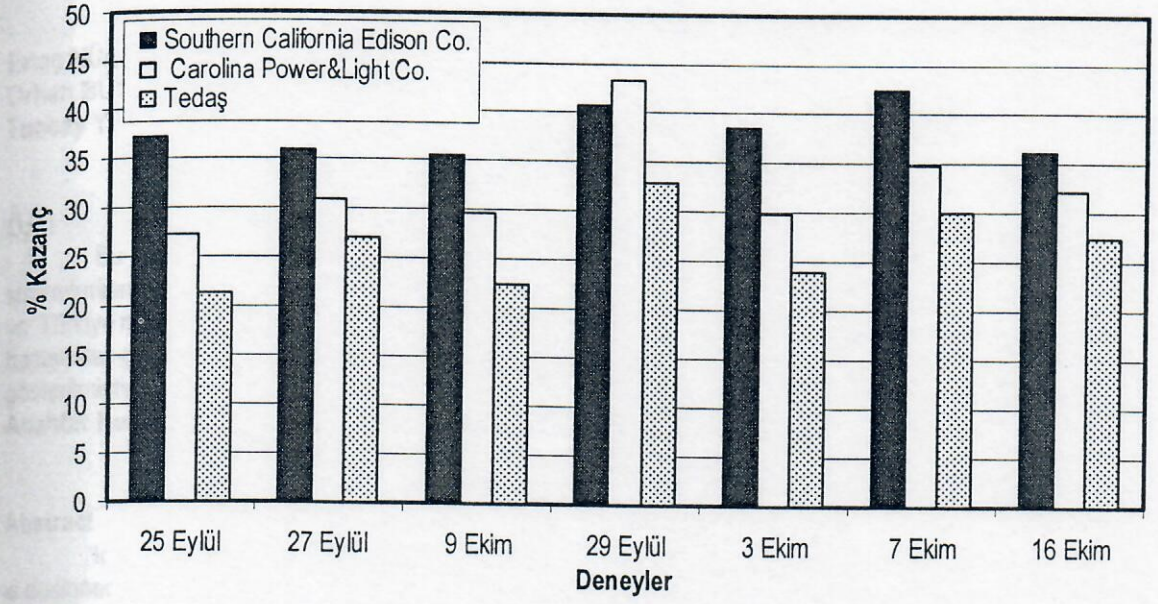


Şekil 5. Buz depolamalı ve konvansiyonel iklimlendirme sisteminin günlük enerji harcamalarının karşılaştırılması

Şekil 5'den de görüldüğü gibi, tüm deneylerde buz depolamalı sistemin enerji gideri konvansiyonel sisteme göre daha düşüktür. Buz depolamalı sistemin, günlük tasarruf oranı %22 ile %33 arasında değişmektedir. Tasarruf miktarı doğrudan uygulanan elektrik tarifelerine bağlıdır. Tarifelerdeki değişim, tasarrufu artıracak veya azaltacak yönde etki edebilir.

Bu tür sistemlerin kullanıldığı bazı ülkelerdeki elektrik üretim ve dağıtım şirketleri, soğu depolamayı teşvik etmek amacıyla, özel teşvik programları uygulamaktadır. Bu teşvikler yatırım maliyetlerini indirecek şekilde olabildiği gibi, özel elektrik fiyatı şeklinde de olabilmektedir. Elektrik tarifelerindeki fiyat değişimlerinin, buz depolamalı sistemin karlılık oranını ne kadar etkileyebileceğini göstermek amacıyla, Amerika'da bulunan iki elektrik dağıtım şirketinin (Southern California Edison Company ve Carolina Power & Light Company) tarifeleri [9,10] dikkate alınarak, yukarıdaki hesaplar tekrarlanmıştır. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler için, TEDAŞ ve diğer iki elektrik dağıtım şirketinin tarifelerine göre, buz depolamalı sistemin konvansiyonel sisteme göre

kazanç oranı Şekil 6'da gösterilmiştir. Buz depolamalı sistem Amerika'da kurulmuş ve denenmiş olsaydı, sistemin kazanç oranı Southern California Edison şirketi fiyatlarına göre %35-%42 aralığında, Carolina Power & Light şirketi için ise %27-%43 aralığında değişeceği şekilden açıkça görülebilmektedir.



Şekil 6. Farklı elektrik dağıtım şirketleri tarifeleri için buz depolamalı sistemin konvansiyonel sisteme göre kazanç oranı

5. Sonuç

Ülkemizde ilk defa Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuarlarında tasarlanıp, kurulan buz depolamalı sistem başarıyla denenmiştir. Gerçekleştirilen ilk şarj ve deşarj deneylerinde, sistem içerisindeki otomatik kontrol ekipmanlarının hassas ve düzenli çalıştığı görülmüştür. Yapılan enerji maliyeti hesaplamalarında, buz depolamalı sistemin konvansiyonel bir sisteme göre %22 ile %33 arasında tasarruf sağladığı tespit edilmiştir. Bu öncü deneylerden elde edilen tecrübe de kullanılarak, Adana şartlarında tüm soğutma sezonunu kapsayacak şekilde deneylere devam edilecek ve sistemin çalışmasını ve ekonomikliğini etkileyen parametreler araştırılacaktır.

6. Teşekkür

Bu projeye sağladıkları maddi destekten dolayı Devlet Planlama Teşkilatı ve Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] LIU K., GÜVEN H., BEYENE A., 1994. A Comparison of the Field Performance of Thermal Energy Storage and Conventional Chiller Systems, Energy, Vol. 19, pp. 889-900.

[2] ASHRAE, 1993. Design Guide for Cool Thermal Storage.

[3] FERTELLİ A., BÜYÜKALACA O., 2004. Soğu Depolamalı İklimlendirme Sistemleri, Soğutma Dünyası, Sayı:24, s. 29-35.

[4] GÜLER R., 2000. Air-Conditioning System with Ice Storage Operating Under Partial Storage Strategy, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

[5] SERİN, H., 2000. Design of An Air-Conditioning System with Ice Storage, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
[6] SERİN, H., GÜLER R., BÜYÜKALACA O.,YILMAZ T., 2002. Buz Depolamalı Bir İklimlendirme Sisteminin Tasarımı, GAP IV. Mühendislik Kongresi, Şanlıurfa, s.192-197.
[7] TEDAŞ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, 2005. 01 Kasım 2005 İçin Yeni Tarifeye Göre Elektrik kWh Birim Fiyatları.
[8] MCQUAY, 2002. Technical Brochure, Teba.
[9] Southern California Edison Company Rates, 2005.
[10] Carolina Power & Light Company Rates, 2005.