5. Ulusal soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi,
2-3 Nisan 1998, Çukurova Üniversitesi, Adana

KONVANSİYONEL İKLİMLENDİRME SİSTEMİNE BUZ DEPOLAMANIN UYARLANMASI

Orhan BÜYÜKALACA, Tuncay YILMAZ ve Muammer ÖZGÖREN
Ç.Ü. Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü 01330 ADANA

ÖZET

Bu çalışmada, soğu depolama sistemlerinin ülkemizde uygulamaya konulan yeni elektrik tarifeleriyle uygulanabilirliklerini tartışmak için, bir ortamın konvansiyonel iklimlendirme sistemine buz depolama tankı ilave edilerek soğu depolama yapılması farklı çalışma saatlerinde teorik olarak incelenmiştir. Soğu depolamanın 22^{00}-06^{00} saatleri arasında yapıldığı düşünülmüştür. Soğu ihtiyacının tam ve kısmi soğu depolama stratejileri ile karşılanması durumları değerlendirilmiştir. Mevcut ve depolamalı iklimlendirme sistemi için ilk yatırım ve işletme maliyeti belirlenmiştir. Soğu depolamalı sistemin basit geri ödeme süreleri hesaplanarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Konvansiyonel sistem, soğu depolama, geri ödeme süresi

SIMULATION OF ICE STORAGE TO CONVENTIONAL AIR-CONDITIONING SYSTEM

ABSTRACT

In this study, feasibility of cool storage systems is discussed taking into consideration of recently applied electric prices in Turkey. Adding an ice storage system to a conventional air-conditioning system and various operating time periods during the day were considered. It was assumed that cool storage was made between 22^{00} and 06^{00} hours. Two different operating strategies namely full and partial storage were assessed. Initial and operating costs for an existing air-conditioning system and an air-conditioning with cool storage were determined. Basic payback period of the cool storage system is calculated and the results were interpreted.

Key words: Conventional system, cool storage, pay back period

1. GİRİŞ

Soğu depolama tekniği iklimlendirme sistemlerinde yarım yüzyıldan beri uygulanmakla birlikte, bu teknolojinin yaygın olarak kullanımı elektrik üretim maliyetlerinin düşük olması ve konvansiyonel soğutma sistemlerinin pratikliği ve etkinliklerinin tatmin edici seviyelerde olması sebebiyle son yıllara kadar gerçekleşmemiştir [1].

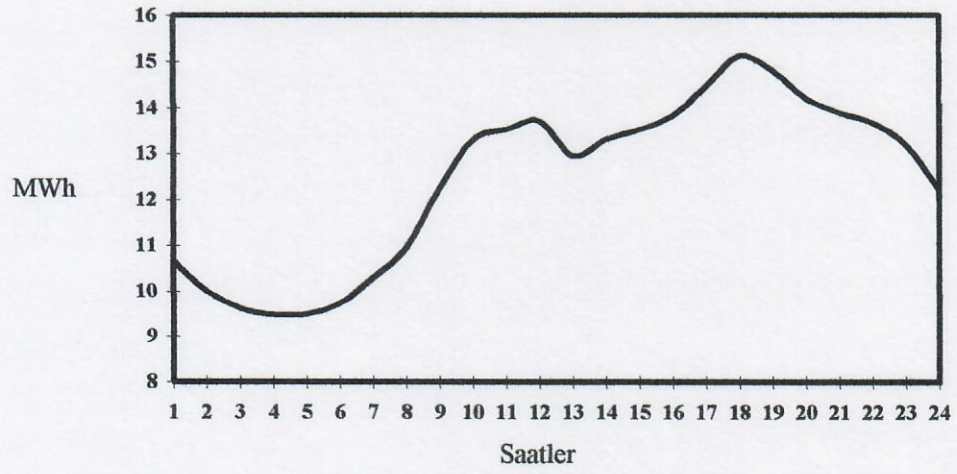
Elektrik enerjisi tüketimi gün boyunca sabit olmayıp, büyük ve tahmin edilebilir değişiklikler göstermektedir. Bir ülkenin enerji yatırımı ve işletmesi, günlük maksimum ihtiyacı karşılayacak şekilde düzenlenmelidir. Maksimum talebi karşılamak için ya ilave elektrik üretim santralleri devreye sokulmalı ya da en fazla ihtiyacın olduğu saatlerdeki elektrik yükü günün diğer saatlerine kaydırılarak gün boyunca elektrik yükündeki değişim azaltılmalıdır. Ülkemizde, iklimlendirme sistemlerine sahip işyeri, ticarethane ve resmi dairelerin büyük çoğunluğu elektrik ihtiyacının fazla olduğu saatlerde çalışmaktadır. Bu fazla ihtiyaç, iklimlendirme sistemlerinin kullandığı enerji (özellikle soğutma ihtiyacının olduğu sürelerde) azaltılarak makul miktarlara indirilebilir. Bu da mevcut iklimlendirme sistemlerine soğu depolama ilave edilerek veya yeni tasarlanan iklimlendirme sistemlerini soğu depolamalı yaparak sağlanabilir. Soğu depolamada, elektriğin ucuz ve kullanımının az olduğu saatlerde soğutma sistemi tarafından üretilen soğu enerjisi bir tankta depolanır ve genelde elektriğin pahalı ve ihtiyacın fazla olduğu saatlerde soğutma ihtiyacı depolanan enerjiden karşılanır. Böylece gün boyunca tüketilen elektrik enerjisindeki aşırı dalgalanmalar önlenebilir. Gelişmiş ülkelerde iklimlendirmede soğu depolama sistemlerinin kulanılması için tüketiciler elektrik üreticileri ve devlet tarafından desteklenerek teşvik edilmektedir. Elektrik üreticileri, elektrik fiyatlarında değişken tarife uygulayarak, elektrik fiyatını talebin fazla olduğu saatlerde pahalı, az olduğu saatlerde ise ucuz olarak belirlemektedirler [1]. Bu uygulama sınırlı da olsa ülkemizde de başlamıştır.

Soğu depolama sistemleri, günün veya haftanın belirli dönemlerinde kısa sürelerde kullanılan veya soğutma yükünün belirli saatlerde maksimum oluşturduğu lokanta, yemekhane, cami, kilise, amfi, düğün, dans, spor, toplantı salonları gibi yerler için çok uygundur. Bu tür yerlerde soğu depolama, ilk yatırım maliyetlerinde önemli azalmalar meydana getirebilir.

Depolama ortamı genellikle soğutulmuş su, buz veya faz değiştiren ötektik tuzlardır. Buz depolama, daha küçük tank boyutları, dolayısıyla daha az yer gereksinimi, mevcut sisteme kolay uygulanabilmesi, buz üretmek için paket sistemlerin kolay bulunabilmesi ve düşük depolama sıcaklığından dolayı kullanılan borular,

kanallar, pompalar gibi ekipmanların daha küçük boyutlarda seçilebilmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Depolama ortamında ısı duyulur veya gizli ısı olarak depolanabilir. Buz depolamada, gizli ısı kapasitesi 335 kJ/kg olan su kullanılır. Buz üretme teknikleri, buz toplama (harvesting), boru üzerinde buz (ice-on-pipe), serpantin üzerinde buz (ice-on-coil) ve kapsüllenmiş depolama olarak gruplandırılabilir. Buz depolamalı sistemler genelde statik ve dinamik sistemler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Statik sistemlerde su dolu bir tank içerisine daldırılmış serpantin veya borular üzerinde buz üretilir. Bu sistemler atmosfere açık veya kapalı olabilir. Dinamik sistemlerde ise değişik şekillerde oluşturulan buz parçacıkları bir depoya gönderilerek, depolanır [2]. Soğu depolama tekniğinde etkinliği ifade etmek için, deşarjda depodan çekilen soğu enerjisinin şarjda depoya verilen soğu enerjisine oranı ***yararlanma oranı*** (φ) olarak tarif edilir.

Türkiye'de elektirik enerjisi tüketiminin tipik bir gün boyunca değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Buradan da 6^{00}-13^{00} saatleri arasında kullanımın arttığı, saat 16^{00}'da artışın tekrar başladığı ve 18^{00} civarında tepe noktasına ulaştığı, daha sonra giderek düştüğü ve en yüksek enerji gereksiniminin 17^{00}-22^{00} saatleri arasında olduğu görülmektedir [3,4].



Şekil 1. 1996 yılı için TEDAŞ tarafından verilen saatlik yük eğrisi (maksimum tüketimin olduğu gün için).

Dalgalanmaları azaltmak amacıyla 25.12.1997 tarihinde Resmi Gazete'de yayınlanan 23211 sayılı "Elektrik Tarifeleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına İlişkin Yönetmelik" ile elektrik tüketim tarifelerinin uygulanması açısından gün üç değişik dilime bölünerek elektrik tüketiminin, talebin az olduğu dönemlere kaydırılması teşvik edilmiştir. Bu yönetmeliğe göre, saat 17^{00} - 22^{00} arası "puant dönemi", 22^{00} -

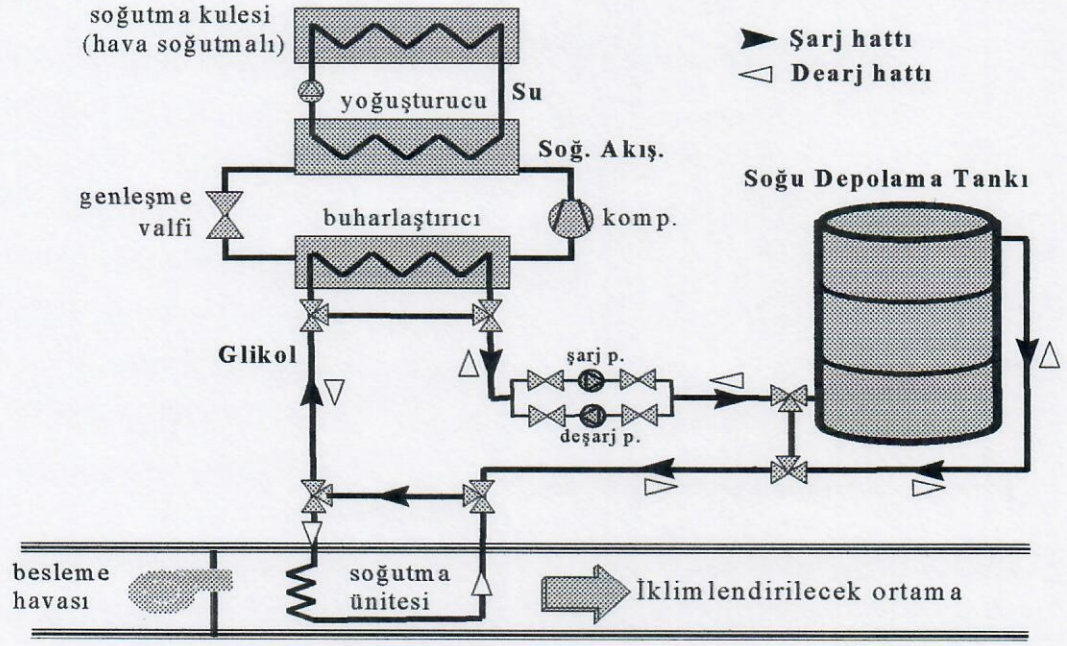
06^{00} arası "gece dönemi" ve 06^{00} - 17^{00} arası "gündüz dönemi" olarak belirtilmiştir. Mevcut uygulamaya henüz meskenler dahil edilmemiş olup, uygulamadan faydalanıp faydalanmama tüketicinin isteğine bırakılmıştır. İklimlendirme sistemlerinin yaygın olarak kullanıldığı ticarethane, resmi daire, yazıhane gibi yerlerde elektrik fiyatları Mart 1998 için TEDAŞ tarafından puant, gece ve gündüz dönemlerinde sırasıyla 36879 TL (0.157$), 7000 TL (0.0298$) ve 16858 TL (0.07174 $) olarak belirlenmiştir [3,4].

İnsanların gün geçtikce daha konforlu ortamlarda yaşamak istemesi, iklimlendirme sistemlerini modern toplumların vazgeçilemez bir unsuru haline getirmiştir. Ancak iklimlendirme ve özellikle de soğutma büyük miktarlarda enerji tüketimini gerektirir. Ülkemizdeki işyerleri, ticarethane ve resmi dairelerin büyük çoğunluğu saat 8^{00} ile 17^{00} arasında çalışmaktadırlar. Bu saatler elektrik fiyatının orta derecede olduğu "gündüz dönemi" içerisinde yer almaktadır. Soğutma işleminin gündüz döneminden, elektrik fiyatının yaklaşık %60 daha ucuz olduğu "gece dönemine" kaydırılması iklimlendirme sisteminde soğu depolama ile gerçekleştirilebilir.

2. SOĞU DEPOLAMALI SOĞUTMA SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Soğu depolama sistemleri ***tam*** ve ***kısmi*** depolama olarak ikiye ayrılır. Kısmi depolama yük seviyelemeli veya ihtiyaç sınırlamalı olabilir. Tam depolamada soğutma grubu elektrik fiyatının ucuz olduğu gece döneminde şarj için çalışır, deşarj esnasında ise durur. Kısmi depolamada ise soğutma grubu ve depolanan soğu, soğutma yükünü paylaşır ve soğutma grubu şarj ve deşarj esnasında sürekli çalışır. Soğutma yükü profili dikkate alınarak, depolamalı sistemin nasıl işletileceğine karar verilmesi gereklidir [5].
Bu çalışmada ***borular üzerinde buz*** depolama yöntemi için analizler yapılmıştır. Şekil 2'de konvansiyonel iklimlendirme sistemine depo ilave edilmesi şematik olarak gösterilmiştir. Soğutucu akışkan, hava soğutmalı bir yoğuşturucuda yoğuşturulmaktadır. Ara soğutucu akışkan olarak glikol kullanılmakta olup, suyla doldurulmuş tank içerisine daldırılan serpantin veya borular, klima santralinin soğutma ünitesi ve soğutma grubunun buharlaştırıcısı içerisinden şarj ve deşarj süresinde dolaştırılır. Elektriğin ucuz olduğu saatlerde yapılan şarj işleminde buharlaştırıcıda soğutulan glikol, şarj pompası aracılığıyla depolama tankına alttan girer, depoda bulunan suyu soğutur, ısınarak tankın üzerinden çıkar ve buharlaştırıcıya geri döner. Deşarj işleminde ise tam depolama durumunda konvansiyonel sistem çalışmaz ve soğutma ünitesinin soğu ihtiyacı depolanan soğu ile karşılanır. Deşarjda soğutma ünitesinde besleme havasını soğutarak ısınan glikol depolama tankına üstten girer, depo içerisindeki buz tarafından soğutularak deşarj pompası aracılığıyla tankı terk eder.

Kısmi depolama durumunda soğutma grubunun çalışması ve depolanan soğunun deşarj edilmesi birlikte olur. Şekil 2'deki devrede bulunan üç yollu vanalar soğutma ünitesinde stabil bir sıcaklık sağlamak amacıyla otomatik kontrol yapmak için kullanılmaktadır. Kısmi depolamada, deponun yerleşimi soğutma grubundan önce veya sonra olabilir. Soğutma grubunun daha verimli çalışması sebebiyle, soğutma grubunun tanktan önce yerleştirilmesi tercih edilmektedir. Ancak bu düzenlemede, depolanan enerjinin kullanımı daha azdır. Soğutma grubunun depodan sonra yerleştirilmesinde soğutma gurubunun etkinliği diğer düzenlemeye göre daha düşük olur.



Şekil 2. Depolama öncelikli soğu depolama sisteminin şematik gösterimi.

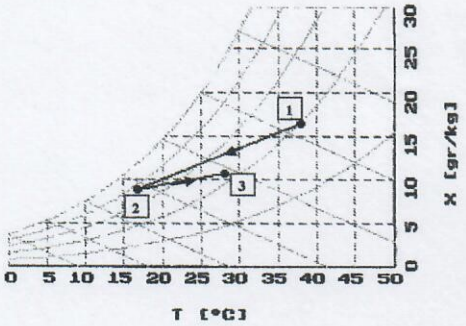
3. SOĞUTMA YÜKÜ ve HARCANAN ELEKTRİK ENERJİSİNİN HESAPLANMASI

Bu çalışmada, bir binanın Adana ili yaz çalışma şartlarında maksimum ısı kazancı hesaplanmıştır [6,7]. Ortamın koşullandırılmış hava ile soğutulduğu kabul edilmiştir. Hava dağıtımlı iklimlendirme sistemi, soğutulan ortamda bulunan insanlar için gerekli taze hava ihtiyacını karşılayacak şekilde seçilmiştir. Şekil 3'de dış ortam, iç ortam ve üfleme havası psikrometrik diyagram üzerinde gösterilmiştir.

Soğutulan ortamın ısı yükünü karşılamak için gerekli hava debisi ($\dot{V}$) 20000 m^3/h bulunmuş olup, iç ortama gönderilen havanın yoğunluğu (ρ) yaklaşık 1.2 kg/m^3

kabul edilerek soğutulan ortamın soğutma yükü ve soğutma grubunun kapasitesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanmalıdır.

$$Q = \rho \cdot \dot{V} \cdot \Delta h = 6.667 \cdot \Delta h \qquad (1)$$



Nokta	T_k(°C)	T_y(°C)	h(kJ/kg)
1	38	26	80.22
2	16.7	14.1	39.11
3	28	18.5	55.04

Nokta	BN(%)	x(gr/kg)	v(m^3/kg)
1	39.64	16.55	0.905
2	75.44	8.85	0.833
3	45.00	10.59	0.868

Şekil 3. Soğutma sisteminin psikrometrik diyagramda gösterimi.

Şekil 3 ve (1) eşitliğinden faydalanılarak ortamın soğutma yükü (Q_o), 106.2 kW, soğutma grubunun kapasitesi ise 274 kW olarak hesaplanmıştır. Soğutma grubu kompresörünün harcadığı güç, 32/37 °C soğutma kulesi çalışma sıcaklığı, soğutma ünitesinde dolaştırılan soğutulmuş suyun 6/10 °C, buharlaştırıcı ve yoğuşturucuda su ile soğutucu akışkan arasındaki sıcaklık farkının yaklaşık 8 °C olduğu kabul edilerek, R22 için SİMER tarafından hazırlanan "Soğutma Çevrimi" programından faydalanılarak hesaplanmıştır. Soğutma grubunun ilk yatırım ve işletme maliyeti hesabı, Adana için 1 Mayıs-30 Eylül arası (153 gün) olarak belirlenen soğutma sezonu boyunca sistemin hafta içi beş gün farklı saatlerde çalıştığı kabul edilerek yapılmıştır. Konvansiyonel sistemin tam ve kısmi depolamalı yapıldığı tasarlanarak depolamalı sistemin ilk yatırım ve işletme maliyetleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar kullanırak depolamalı sistemin basit geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Depolama işlemi yapılırken (22^{00}-06^{00}) soğutma sezonu boyunca havanın yaş termometre sıcaklığının (T_y) değişimi dikkate alınmıştır. Bu çalışma stratejisinde de buharlaştırıcı ve yoğuşturucuda su-soğutucu akışkan sıcaklığı arasındaki farkın yaklaşık 8 °C olduğu düşünülmüştür. Konvansiyonel sistemin yoğuşturucusunun hava soğutmalı olduğu kabul edilmiştir. Soğutma sezonu boyunca T_y'nin hesaplanması için meteorolojik değerler kullanılarak Adana ili için çıkartılan eşitliklerden yararlanılmıştır [8]. Bulunan eşitliklerde mutlak nem(x) ve kuru termometre(T_k) sıcaklığı senenin günü ve günün saatinin fonksiyonudur. Bu eşitlikler kullanılarak 22^{00}-06^{00} arasında x ve T_k 'nın saatlik değerleri hesaplanmış ve günlük ortalama değerleri bulunmuştur. Daha sonra ortalama T_k, x değerleri ve psikrometrik diyagramdan faydalanılarak soğutma

sezonu boyunca günlük ortalama yaş termometre sıcaklıkları hesaplanmıştır. Depolama esnasındaki soğutma kulesi çalışma sıcaklığının (T_y+6) / (T_y+11) olduğu kabul edilerek soğutma grubu kompresörünün harcadığı elektrik enerjisi soğutma sezonu boyunca yaklaşık olarak bulunmuştur.

4. SOĞU DEPOLAMALI SİSTEMLERİN TASARIMI

Soğu depolamalı sistemlerin tasarımında sırasıyla; ön ekonomik analiz yapılmalı, soğutma yükü günün saatlerine göre belirlenmeli, soğu depolama sistemi saptanmalı, çalışma sistemleri, soğutma üniteleri, soğu deposu belirlenmeli, kesin ekonomik ve kesin tasarım işlemleri yapılmalıdır [5]. Bu çalışmada, soğu depolama sistemlerinin ekonomikliğini tartışmak için buz depolamalı iklimlerdirme sistemlerinin ön ekonomik analizleri yapılmıştır. Genellikle soğu depolama sistemlerinin uygulanması, depolamasız sistemlerle ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde yapılan tasarruflar karşılaştırılarak yapılır. İçten buz eritmeli soğu depolama tanklarının maliyeti genelde 14 $ - 20 $/kWh, pistonlu tip komperesörlü soğutma gruplarının maliyeti ise 114 $ - 142 $/kW'dir [9]. Bu çalışmada, tank maliyeti 14 $/kWh, soğutma grubu maliyeti ise 128 $/kW olarak alınmıştır.

Üretilecek buz kütlesi m (kg) ve depo hacmi V (m^3),

$$m = \frac{Q \cdot 3600}{r_{buz} \cdot \varphi} \qquad V = \frac{c \cdot m}{\rho} \tag{2}$$

formülleri ile belirlenebilir. Burada Q (kWh) depolanacak olan soğu miktarı, r_{buz} buzun ergime ısısı, ρ ise buzun yoğunluğudur. Bir düzeltme faktörü olan c, depoda suyun sıvı halden katı hale dönüşmesi esnasındaki hacimsel genişleme ve tank içerisindeki serpantin veya boruların kapladığı alandan dolayı tank hacmindeki artışı ifade etmektedir [10].

5. KONVANSİYONEL SİSTEM İLE SOĞU DEPOLAMA SİSTEMİNİN DEĞİŞİK ÇALIŞMA DURUMLARINDA KARŞILAŞTIRILMASI

Soğutma yükü hesaplanan ortamın değişik saatlerde kullanılacağı düşünülerek, 10 farklı durum dikkate alınmıştır. Her bir durum için soğutma ihtiyacının konvansiyonel ve soğu depolamalı sistemle karşılanması halinde, ilk yatırım ve işletme maliyetleri yaklaşık olarak hesaplanarak basit geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

Durum1: Konvansiyonel iklimlendirme sisteminin 10^{00}-12^{00} ve 14^{00}-17^{00} saatleri arasında çalışması halinde, sisteme ***tam soğu depolama ilave edilmesi*** düşünülmüştür. Konvansiyonel soğutma grubu 274 kW kapasite ile toplam 5 saat çalışmaktadır. Bu

zaman zarfında ortamın soğutma yükünü karşılamak için soğutma grubunun toplam 1370kWh'lik soğu enerjisi sağlaması gereklidir. Yukarıda açıklanan çalışma şartları altında soğutma grubu kompresörünün harcadığı güç 91.4 kW olarak hesaplanmıştır. Sistemin sezon boyunca harcadığı elektrik enerjisi ise (91.4kW)x(153gün)x(5/7)x (5h/gün)=49944kWh olmaktadır. Soğutma grubunun, soğutma sezonu boyunca toplam işletme maliyeti (49944kWh)x(0.07174$/kWh) =3583$ olarak hesaplanmıştır.

Sisteme soğu depolama ilave edildiğinde yararlılık oranı 0.85 için depolanması gerekli soğu enerjisi (1370 kWh)/0.85=1612 kWh, V ise 27 m^3 tür. Konvansiyonel sistemin bu enerjiyi depolayabilmek için 22^{00}-06^{00} saatleri arasında (1612kWh)/ (274kW)=5.88h çalışması gereklidir. Soğutma grubu kompresörünün soğutma sezonu boyunca harcadığı toplam elektrik enerjisi (15302kWgün)x(5/7)x(5.88h/gün)= 64268kWh olup, işletme maliyeti 1915$'dır. Konvensiyonel ve soğu depolamalı sistemde aynı soğutma grubu kullanıldığı için soğutma grubunun ilk yatırım maliyetinde herhangi bir tasarruf olmayacaktır. Kullanılacak depolama tankının maliyeti (1612kWh)x(14$/kWh)=22568$ olarak elde edilir. Soğu depolamalı sistemin işletme maliyetindeki tasarruf 3583-1915=1668$ olup, sistem kendini 22568$/1668$=13.5 yıllık bir sürede geri ödeyebilecektir.

Durum2: Durum1'de ele alınan konvansiyonel iklimlendirme sisteminin 17^{00}-22^{00} saatleri arasında çalıştığı düşünülmüştür. ***Tam soğu depolamalı*** sistemin işletme maliyeti, soğu depolama tankının ilk yatırım maliyeti ve tank hacmi Durum1 ile aynıdır. Konvensiyonel sistem elektrik enerjisinin en pahalı olduğu dönemde çalıştığından işletme maliyeti 7841$ olup, Soğu depolama sisteminin geri ödeme süresi (22568$)/(7841$-1915$)=3.8 yıldır.

Durum3: Durum1'deki konvansiyonel iklimlendirme sisteminin, ***başlangıçta tam soğu depolamalı*** olarak yapıldığı düşünülmüştür. Depolamanın 22^{00}-06^{00} saatleri boyunca 8h'lik sürede yapılacağı tasarlandığından, yeni soğutma grubunun kapasitesi (1612kWh)/(8h)=201kW olacaktır. Tasarlanan depolama sisteminin harcadığı elektrik enerjisi (11373kWgün)x(5/7)x(8h/gün)=64989kWh, maliyeti ise 1937$ dır. Bu sistemin soğutma grubunun ilk yatırım maliyeti (201kW)x(128$/kW)=25728$, konvansiyonel sisteminki ise (274kW)x(128$/kW)=35072$ olup, soğutma grubu maliyetindeki azalma (35072$)-(25728$)=9344$ dır. Bu değer depolama tankının ilk yatırım maliyetinden (22568 $) çıkarılarak, soğu depolamalı sistem için fazla ilk yatırım maliyeti (13224$) elde edilir. Sistemin geri ödeme süresi 8 yıl ve gerekli tank hacmi ise 27 m^3 tür.

Durum4: Bu durumda, Durum2'deki konvansiyonel iklimlendirme sisteminin ***başlangıçta tam soğu depolamalı*** olarak yapılması dikkate alınmıştır. Sistemin geri ödeme süresi (13224$)/(7841$-1937$)=2.2 yıl olarak elde edilir.

Durum5: Durum1'deki konvansiyonel iklimlendirme sisteminin ***başlangıçta kısmi soğu depolamalı*** olarak yapıldığı düşünülmüştür. Yeni soğutma grubunun kapasitesi (SGK),

$$SGK=TSGİ/[(\varphi)x(t_ş) + t_{dş}\,] \qquad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitlikte, (TSGİ) su soğutma grubunun günlük toplam yükü, $t_ş$ şarj süresi, $t_{dş}$ ise deşarj süresidir.

Bu çalışma modunda φ=0.85, TSGİ=274*5=1350kWh, $t_ş$=8h ve $t_{dş}$=5h alınarak kısmi depolamalı sistemin SGK=116 kW bulunur. Depolamalı sistemin gündüz çalışması (10^{00}-12^{00} ve 14^{00}-17^{00}) durumunda kompresörün harcayacağı güç 40.3kW olarak hesaplanmıştır. Soğutma sezonu boyunca kompresör (40.3kW)x(153gün)x(5/7)x(5h/gün)= 22021kWh'lik elektrik enerjisi tüketecektir. Bu enerjinin maliyeti 1580$'dır. Gece süresince ($22^{00}$-$06^{00}$) kompresörün harcadığı enerji dikkate alındığında, (6740kWgün)x(5/7)x(8h/gün)=38514kWh elde edilir. Bunun maliyeti ise 1148$'dır. Kısmi depolamalı sistemin toplam işletme maliyeti 2728$'dır. (116kW)x(8h)=928 kWh'lik soğu depolama kapasitesi için tank maliyeti 12992$, hacmi ise 13.4 m^3 olarak hesaplanır. Depolamalı sistemin soğutma grubunun maliyeti (116kW)x(128$/kW)=14848$'dır. Soğu depolamalı sistemin ilk yatırım maliyetindeki artış 35072-12992-14848$=7232$, işletme maliyetindeki azalma ise 3583-2728= 855$ olarak elde edilir. Geri ödeme süresi 8.5 yıldır.

Durum6: Durum2'deki konvansiyonel iklimlendirme sisteminin ***başlangıçta kısmi soğu depolamalı*** olarak yapıldığı düşünülmüştür. 17^{00}-22^{00} saatleri arasında sistemin işletme maliyeti (22021kWh)x(0.157$/kWh)=3457$ olarak hesaplanır. Depo hacmi ise 13.4 m^3 tür. Sistemin toplam işletme maliyeti 3457+1148=4605$ olup, geri ödeme süresi 7232$/(7841-4605)$=2.2 yıldır.

Durum7: Konvansiyonel iklimlendirme sisteminin 07^{00}-22^{00} saatleri arasında çalışması durumu için sisteme ***kısmi depolama ilave edilmesi*** düşünülmüştür. Sistem günde toplam 15 saat çalışacaktır. Sistemin işletme maliyeti 07^{00}-17^{00} ve 17^{00}-22^{00} arasındaki dönemlere ait elektrik ücretlerine göre hesaplanmalıdır. 07^{00}-17^{00} saatleri arasında soğutma grubu kompresörünün harcadığı elektrik enerjisi (91.4kW)x(153gün)x(5/7)x(10h/gün) =99887kWh olup, maliyeti 7166$'dır. 17^{00}-22^{00} saatleri arasında kompresörün harcadığı elektrik enerjisi (91.4kW)x(153gün)x(5/7)x(5h)=49944kWh, maliyeti ise 7841$'dır. Bu durumda

sistemin toplam işletme maliyeti 15007$ olarak belirlenir. Soğu depolamalı sistemde, mevcut soğutma grubu 22^{00}-06^{00} saatleri arasında depolama yapacağı için depolayabileceği soğu enerjisi (274kW)x(8h)=2192 kWh'dir. Tank hacmi ise 36.3 m^3 tür. Ancak deşarj esnasında bu enerjinin (2192kWh)/0.85=1863.2kWh'i, (1863.2kWh)/(274kW)=6.8h'lik sürede tekrar kullanabilecektir. Deşarj işleminin 5 saati 17^{00}-22^{00}, 1.8 saati ise 07^{00}-17^{00} arasında yapıldığı kabul edilerek depolamalı sistemin işletme maliyeti hesaplanmıştır. Soğutma grubu kompresörünün soğutma sezonu boyunca harcadığı toplam elektrik enerjisi (15302kWgün)x(5/7)x(8h/gün)=87440kWh olup, maliyeti 2606$'dır. Deşarj esnasında, soğutma grubunun 07^{00}-17^{00} saatleri arasında 10-1.8=8.2h çalıştığı düşünüldüğünde, harcanan elektrik enerjisi (91.4kW)x(153gün)x(5/7)x(8.2h/gün) =81907kWh, maliyeti de 5876$ olarak elde edilir. Depolamalı sisteminin soğutma sezonu boyunca toplam işletme maliyeti (2606$)+(5876$)=8482$ olarak belirlenir. Konvensiyonel ve depolamalı sistemde aynı soğutma grubu kullanıldığı için soğutma grubunun ilk yatırım maliyetinde herhangi bir değişiklik yoktur. Kullanılacak tankın maliyeti (2192kW)x(14$/kW)=30688$ olarak bulunur. Konvansiyonel sisteme göre soğu depolamalı sistemin işletme maliyeti (15007$)-(8482$)=6525$ azalır ve bu tasarrufla geri ödeme süresi 4.7 yıl bulunur.

Durum8: Durum7'deki konvansiyonel iklimlendirme ***sistemi başlangıçta kısmi soğu depolamalı*** olarak yapıldığı düşünülmüştür. Yeni soğutma grubunun kapasitesi φ=0.85, TSGİ=274*15=4110kWh, $t_ş$=8h ve $t_{dş}$=15h alınarak, kısmi depolamalı sistemde SGK=188.5 kW bulunur. Depolamalı sistemin 07^{00}-22^{00} arasında çalışması durumunda kompresör gücü 63.9 kW hesaplanmıştır. Soğutma sezonu boyunca kompresör 07^{00}-17^{00} arasında (63.9kW)x(153gün)x(5/7)x(10h)=69834kWh'lik elektrik enerjisi tüketir. Bu enerjinin maliyeti 5010$'dır. 17^{00}-22^{00} arasında kompresörün harcadığı elektrik enerjisi (63.9kW)x(153gün)x(5/7)x(5h/gün)=34917kWh olup, maliyeti 5482$'dır. Depolama 22^{00}-06^{00} saatleri arasında yapıldığında harcanan elektrik enerjisi (10694.3kWgün)x(5/7)x (8h/gün)=61109 kWh, maliyeti ise 1821$'dır. Depolamalı sistemin toplam işletme maliyeti 5010$+5482$+1821$=12313$ olarak belirlenir. Soğu depolamalı sistemin soğutma grubunun ilk yatırım maliyeti 24128$'dır. Tank hacmi 25 m^3, kapasitesi (188.5kW)x(8h)=1508kWh olup maliyeti 21112$'dır. Konvansiyonel soğutma sisteminin soğutma grubu ilk yatırım maliyetindeki kazanç 35072-24128=10944$, depolama tankından dolayı ilk yatırım maliyetindeki artış 21112-10944=10168$'dır. Depolamalı sistemin işletme maliyetindeki azalma 15007-12313=2694$ olup, geri ödeme süresi 3.8 yıl olarak bulunur.

Durum9: Konvansiyonel iklimlendirme sisteminin 19^{00}-22^{00} saatleri arasında çalışması durumu için sisteme ***tam depolama ilave edilmesi*** durumu düşünülmüştür. Soğutma grubu 274 kW kapasite ile toplam 3 saat çalışmaktadır. Bu zaman zarfında ortamın soğutma yükünü karşılamak için soğutma grubunun toplam 822 kWh'lik soğu enerjisi sağlaması gerekir. Soğutma grubunun yukarıda açıklanan çalışma şartları altında çalışması durumunda kompresörün harcadığı güç 91.4 kW olarak hesaplanmıştır. Sistemin sezon boyunca harcadığı elektrik enerjisi (91.4kW)x(153gün)x(5/7)x (3h/gün)=29966kWh olup, maliyeti 4705$ olarak hesaplanmıştır. Sisteme depolama ilave edildiğinde φ=0.85 için depolanması gerekli soğu enerjisi (822kWh)/0.85=967kWh, tank hacmi ise 16 m^3 tür. Konvansiyonel sistemin bu enerjiyi depolayabilmek için 22^{00}-06^{00} arasında (967kWh)/(274kW)=3.53h çalışması gereklidir. Soğutma grubu kompresörünün soğutma sezonu boyunca harcadığı toplam elektrik enerjisi (15302kWgün)x(5/7)x(3.53h) =38583kWh olup, maliyeti 1150$'dır. Konvensiyonel ve soğu depolamalı sistemde aynı soğutma grubu kullanıldığı için soğutma grubunun ilk yatırım maliyetinde herhangi bir tasarruf yoktur. Kullanılacak deponun maliyeti 13538$ olup, işletme maliyetinde sezon boyunca 4705-1150=3555$'lık tasarruf yapılır ve depolamalı sistem kendini 3.8 yılda geri öder.

Durum10: Durum9'daki konvansiyonel iklimlendirme sisteminin 19^{00}-22^{00} saatleri arasında çalışması için sistemin ***başlangıçta tam depolamalı*** olarak yapıldığı kabul edilmiştir. Soğu depolama işlemi 22^{00}-06^{00} arasında 8 saat süreyle yapılacağı için yeni soğutma gurubunun kapasitesi (967kWh)/(8h)=121kW olmalıdır. Tank hacmi 16 m^3 tür. Soğu depolamak için soğutma sezonu süresince kompresörün harcadığı elektrik enerjisi (7014.3kWgün)x(5/7)x(8h/gün)=40082kWh, maliyeti ise 1195$'dır. Yeni soğutma grubunun ilk yatırım maliyeti 15488$ olurken, tankın maliyeti daha önce 13538$ olarak hesaplanmıştı. Soğutma grubunun ilk yatırım maliyetindeki azalma (35072$)-(15488$)=19584$ olarak bulunur. Tanka yapılan masraf, bu değerden çıkarılırsa ilk yatırım maliyetinde (19584$)-(13538$)=6046 $'lık net kazanç elde edilir. Ayrıca işletme maliyetinde 4705-1195=3510$'lık sezonluk kazanç elde edilir. Konvansiyonel sistem yerine depolamalı sistem kullanılırsa, ilk yatırım maliyetindeki kazançla sistem 6046/1195=5 yıl boyunca elektrik ücreti ödemeden çalışabilecektir.

8. SONUÇLAR

Yapılan ön ekonomik analizler sonucunda, incelenen bütün durumlarda depolamalı sistemlerin işletme maliyeti konvansiyonel sistemlerinkinden daha az bulunmuştur. Bazı durumlarda, depolama tanklarının ilk yatırım maliyeti yüksek olduğu için geri ödeme süresi uzun olmaktadır. Depolama tankları ülkemizde imal edilirse bu sürenin kısaltılması mümkün olabilecektir. Ayrıca yapılan analizlerde, pompa ve boru hatlarında daha düşük sıcaklıkta akışkan dolaşmasından dolayı ekipmanların kapasitelerinde oluşan azalmalar nedeniyle ilk yatırım maliyetlerindeki tasarruflar da dikkate alınmamıştır. Bu nedenle kesin analizler yapıldığında geri ödeme sürelerinin daha da kısalacağı aşikardır. Soğu depolama ile ilgili yapılan çalışmalar, bir soğu depolama tekniği seçilerek yapılan kesin ekonomik analizlerin, ön ekonomik analizlerle genelde uyum içerisinde olduğunu gösterdiğinden, yapılan ön ekonomik analizlerin iyi bir fikir verdiği söylenebilir.

9. KAYNAKLAR

[1] AKBARİ, H. and MERTOL, A., " Thermal energy storage for cooling of commercial buildings", Energy Storage Systems (Eds: B. Kılkış and S.Kakaç), Kluwer Academic Publishers, pp. 315-347, 1989.

[2] ASHRAE Handbook, "Thermal storage", HVAC Applications, pp.39.1-39.17, 1991.

[3] T.C. Resmi Gazete, " Elektrik Tarifeleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına İlişkin Yönetmelik", sayı:23211, Tarih:25 Aralık 1997.

[4] TEDAŞ Genel Müdürlüğü, "Mart 1998 için yeni tarifeye göre elektrik kWh birim fiyatları", 1998.

[5] YILMAZ, T. " Su ve buz depolama yöntemleriyle iklimlendirme", III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, s.137-149, 1997.

[6] Anonim,"Havalandırma ve klima tesisatı", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1985.

[7] TAMER, Ş., "Klima ve havalandırma", METEKSAN, Cilt I, 1990.

[8] YILMAZ, T, ÖZGÖREN, M. ve GÜRÇINAR, Y, "Mutlak nemin günlük ve yıllık değişimi", 10. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, s.593-602, 1995.

[9] DORGAN, C.E. and ELLESON, J.S., "Design guide for cool thermal storage",ASHRAE, 1994.

[10] BOZDEMİR, B., "Thermal energy storage systems design fundementals and applications of chilled water storage systems",Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mak.Müh. A.B.D., 1997.