



tmmbob
makina mühendisleri odası

D4

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ

ISSN 1300 - 339

Mart - Nisan 2008

YIL:15

SAYI:104

www.mmoistanbul.org

SİLİNDİRİK PARABOLİK GÜNEŞ
TOPLAYICILARININ TERMODİNAMİK
DEĞERLENDİRMESİ

CO₂ SOĞUTKANLI SICAK SU ISI
POMPALARININ PERFORMANS
ANALİZİ

SİTMA SÜRECİ VE OPTİMUM YALITIM
KALINLIĞI HESABI

ÜLKEMİZDE DİZAYN DEĞERİ OLMAYAN
YERLEŞİM BÖLGELERİ İÇİN KURU
TERMOMETRE DİZAYN
SICAKLIKLARININ BELİRLENMESİ

TAM HAVALI İKLİMLENDİRME
SİSTEMLERİNDE DIŞ HAVA SICAKLIK
KONTROLLÜ SERBEST SOĞUTMA VE
ENERJİ ANALİZİ

TESİT İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE
SOĞUTUCU AKISKAN OLARAK
KARBONDİOKSİT (CO₂) KULLANIMI

SERA İKLİMLENDİRMEDE FAZ DEĞİŞİM
MADDESİNİN (PCM) KULLANIMI

KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA
İKLİMLENDİRME

"Mayıs'ta sektörde iki önemli etkinlik var"

8-11 MAYIS 2008

www.sodex.com.tr

ISK-SODEX
2008



8

ULUSLARARASI
YAPIDA TESİSAT TEKNOLOJİSİ
SEMPOZYUMU

12-14 MAYIS 2008 İSTANBUL
Grand Cevahir Otel ve Kongre Merkezi

İÇİNDEKİLER

5	Silindirik Parabolik Güneş Toplayıcılarının Termodinamik Değerlendirmesi	Tam Havalı İklimlendirme Sistemlerinde Dış Hava Sıcaklık Kontrollü Serbest Soğutma ve Enerji Analizi	35
	Araş.Gör. Candeniz SEÇKİN	Yrd. Doç. Dr.M.Azmi AKTACİR Doç. Dr. Hüsamettin BULUT	
16	CO₂ Soğutkanlı Sıcak Su Isı Pompalarının Performans Analizi	Taşıt İklimlendirme Sistemlerinde Soğutucu Akışkan Olarak Karbondioksit (CO₂) Kullanımı	45
	Yrd. Doç. Dr. Arif Emre ÖZGÜR	Hüseyin BULGURCU M. Tahsin USLU	
22	Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı	Sera İklimlendirmede Faz Değişim Maddesinin (PCM) Kullanımı	52
	Dr. Ömer KAYNAKLI Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ	Prof. Dr. Fadime TANER Bülent HALİSDEMİR Mustafa TUTAR F. Bülent YILMAZ Hüseyin MUTLU Fuat KURTULUŞ	
29	Ülkemizde Dizayn Değeri Olmayan Yerleşim Bölgeleri İçin Kuru Termometre Dizayn Sıcaklıklarının Belirlenmesi	Kapalı Yüzme Havuzlarında İklimlendirme	64
	Doç. Dr. Alper YILMAZ Prof. Dr. Tuncay YILMAZ Prof. Dr. Orhan BOYOKALACA Hasan SERİN	Arş. Gör. Bülent KELEŞOĞLU Arş. Gör. Ş. Özgür ATAYILMAZ Arş. Gör. Selim DALKILIÇ	



ISSN 1300 - 3399

Yerel - Süreli - Teknik Yayın

Mart-Nisan 2008
Yıl:14 Sayı: 104

MMO Adına Sahibi
Emin Koramaz

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Battal Kılıç

Editör
Galip Temir

Yayın Kurulu
Zeki Aksu
Metin Duruk
Cafer Ünlü
Üzeyir Uludağ
Meftun Gurdallar

Yayın Koordinatörü
Nihat Uçukoğlu

Reklam
Nuray Erhan
Aysel Yalçinkaya

Dizgi ve Mizanpaj
Günay Polat

Baskı
Yapım-Tanıtım Ltd. Şti.
Tel: 0212 216 51 49 - 50

Baskı Tarihi
21.04.2008

Yönetim Merkezi
Katip Mustafa Çelebi M. İpek Sok.
No:9 80050 Beyoğlu - İstanbul
Tel: 0212 444 8 666

Baskı Sayısı
5.000 adet

Fiyatı
4 YTL

Yıllık abone Ücreti
18 YTL

Tesisat Mühendisliği Dergisi'nde
yayınlanan yazı ve çizimlerin her hakkı
saklıdır. İzin almadan yayınlanamaz.

www.mmoistanbul.org

Hakemler Kurulu

AKARYILDIZ Eyüp, Doç. Dr.
ARIKOL Mahir, Prof. Dr.
ARISOY Ahmet, Prof. Dr.
BİLGE Mustafa, Dr. Mak. Müh.
CAN Ahmet, Prof. Dr.
DEĞİRMENCİ Mustafa, Elkt. Y. Müh.
DERBENTLİ Taner, Prof. Dr.
DURUK A. Metin, Mak. Y. Müh.
EKİNCİ Ekrem, Prof. Dr.
GİRAY Serper, Mak. Müh.
GÜNGÖR Ali, Prof. Dr.
HEPERKAN Hasan, Prof. Dr.
KARADOĞAN Haluk, Prof. Dr.
KILIÇ Abdurrahman, Prof. Dr.
KINCAY Olcay, Prof. Dr.
KORUN Tunç, Mak. Müh.
ÖSKAY Rüknettin, Prof. Dr.
ÖZGÜR Doğan, Prof. Dr.
ÖZKAYNAK Taner, Prof. Dr.
ÖZTÜRK Recep, Prof. Dr.
ŞUNAÇ Baycan, Mak. Y. Müh.
TEMİR Galip, Prof. Dr.
TOKSOY Macit, Prof. Dr.
ULUDAĞ Üzeyir, Mak. Müh.
ÜNLÜ Cafer, Mak. Müh.
YAMANKARADENİZ Recep, Prof. Dr.
YILMAZ Tuncay, Prof. Dr.

Bu dergide belirtilen görüşler yazarların kendine ait olup, hiçbir şekilde MMO'nın aynı konudaki görüşlerini yansıtmaz.

Tesisat Mühendisliği Dergisi Makale Yazım Kuralları

GENEL KURALLAR

- Makaleler MMO Ağ Evi'nde Internet ortamında da yayınlanmaktadır.
- Makale metinleri ve özetleri üzerinde yer alan her türlü görüş ve düşünce ve yazım hatası açısından sorumluluk tamamen yazar/lara aittir.
- Hakemler tarafından gerekli görüldüğünde yazar/lara iletilmek üzere metinler ve özetler üzerinde bazı düzeltme, öneri ve katkılar getirebilirler.
- Makalelerde, bölümler (giriş, tanımlamalar, incelemeler, araştırmalar, gelişmeler, sonuçlar, şekiller ve değerlendirmeler vb.) bir bütünlük içinde olmalıdır.
- Makale dili Türkçe'dir. Makalelerde kullanılan dilin anlaşılabilir bir Türkçe olmasına dikkat edilmeli, yabancı dillerdeki sözcükler ve tümceler mümkün olduğu kadarıyla kullanılmamalıdır.
- Makalelerde kullanılan bütün birimler SI birim sisteminde olmalıdır. Gerekli görüldüğü takdirde farklı birim sistemindeki değerleri parentez içinde verilmelidir.
- Makalenin üslubu, formatı ve dili etkinlik yapısına ve mühendislik etiğine uygun olmalıdır.
- Makalelerde belirli bir grup, sınıf veya toplumu oluşturan tabakalardan herhangi birinin, firma veya firma topluluklarının menfaati ön plana çıkartılmamalı, bu konuda reklam ve propaganda yapılmamalıdır. Makalelerde herhangi bir firmanın, ürünün (veya sistemin), cihazın veya markanın reklamı yapılmamalıdır. şekil, resim ve tablolarda Ticari bir kuruluşun adı, logosu yer almamalıdır.

ÖZETLER VE MAKALE YAZIM KURALLARI

- Makaleler, Microsoft Word belgesi şeklinde Windows ortamında kullanılacak şekilde hazırlanacaktır.
- Makaleler solda 3,5 cm, üstte, altta ve sağda 2,5 cm boşluk bırakılmak suretiyle yazılacaktır.
- Makale metinleri, kaynaklar ve şekiller dahil en fazla 10 sayfadan oluşmalıdır.
- Makale başlığı en fazla 15 sözcük veya iki satırı geçmeyecek şekilde oluşturulacaktır. Başlıklar 14 punto Times New Roman yazı tipi kullanılarak, soldan itibaren kelimeler büyük harfle başlayacak ve küçük harfle yazılacaktır.
- Başlığı takiben iki satır aradan sonra yazar isimleri, ad ve soyad şeklinde küçük harfle verilecek, yazarların çalıştığı kurumlar ve varsa e-posta adresleri yazar listesinin hemen altında açıklanacaktır.
- Yazar isimlerini takiben iki satır atlanarak Türkçe ve İngilizce özet verilecektir. Makale özetlerinde özet metni 9 punto italik Times New Roman yazı tipi ile yazılacaktır. Özet metni en fazla 200 sözcükten oluşacaktır.
- Makale özetini takiben bir satır boş bırakılacak ve 5 anahtar sözcük Türkçe ve İngilizce yazılacaktır.
- Makale metinlerinin tamamı 9 punto Times New Roman yazı tipi kullanılarak yazılacaktır ve iki sütunda verilecektir. Makale metinleri satır aralığı 1 olacaktır. Paragraflar başlatılırken sol taraftan herhangi bir girinti boşluğu bırakılmayacak, paragraflar arasında yarım satır boş atlanacaktır. Paragraflar iki yana hizalı (justified) biçimde yazılacaktır.
- Makalelerde yer alan tüm resimler, çizimler ve program ekran görüntüleri metin içinde gömülü olacaktır. •Şekil, tablo, grafik, resim ve formüllerin yerleşimi metin akışına uygun olarak metin içinde olmalı ve refere edilmelidir.
- Tablo içermeyen bütün görüntüler (fotoğraf, çizim, diyagram, grafik, harita v.s.) şekil olarak isimlendirilmelidir.
- Makalelerde ana konu başlıkları 1. , 2., 2.1., 2.1.1. vb şeklinde numaralanacak, örneğin 1. bölüm altında yer alan başlıklar 1.1., 1.2. vb. şekilde yapılacaktır.
- Kullanılan semboller ve indisler kaynaklardan önce yer alacak , 8 punto ve italik olacaktır.
- Makalede geçen kaynaklar veya alıntılar [1], [2] vb. parantezler arasında yapılacak, makale sonunda "Kaynaklar" başlığı altında 1., 2. şeklinde verilecektir. Makaleler: [1] yazar (lar) soyadı, adının baş harfi, makalenin açık adı, derginin açık adı, cilt numarası, sayfa aralığı, basım yılı. Kitap: [2] yazar (editör) soyadı, adının baş harfi., kitabın açık adı, basım evi, basım yeri, basım yılı. Tez: [3] yazar soyadı, adının baş harfi., tezin açık adı, tezin yapıldığı üniversite, tezin basıldığı yer/ülke, basım yılı düzeninde yazılacaktır.
- Makale metinlerinin elektronik kopyaları e-posta (yayin-istanbul@mmo.org.tr) ile veya disket ile (Katip Mustafa Çelebi Mahallesi, İpek sok, No:13, 34433 Beyoğlu-İstanbul) gönderilmelidir.

Tam Havalı İklimlendirme Sistemlerinde Dış Hava Sıcaklık Kontrollü Serbest Soğutma* ve Enerji Analizi

Yrd.Doç.Dr.M.Azmi AKTACIR
Doç. Dr. Hüsamettin BULUT

ÖZET

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin enerji tüketimi, binalarda harcanan enerjinin önemli bir kısmını oluşturur. Enerji tasarrufu için bina yapı elemanlarına ısı yalıtımı uygulaması, havalı tip iklimlendirme sistemlerinde dönüş havası kullanımı ve serbest soğutma gibi çeşitli uygulamalar önerilir. Tam havalı iklimlendirme sistemlerinde serbest soğutma uygulaması ile önemli oranda enerji tasarrufu gerçekleşir. Bu uygulamada, dış hava sıcaklığının mahal sıcaklığından düşük olduğu koşullarda, dış hava doğrudan şartlandırılacak odaya gönderilerek odanın ısı kazancı karşılanır. Ekonomizer çevrim olarak da adlandırılan serbest soğutma uygulamasında, en önemli ve belirleyici parametre yerel iklim özellikleridir. Ancak, iklim verilerinin detaylı analizi ile iklimlendirme sisteminin serbest soğutma potansiyeli belirlenir. Bu çalışmada, serbest soğutma şartlarının tespitinde dış hava sıcaklığı ana parametre olarak ele alınmıştır. Analizde kullanmak üzere Antalya ili için bin değerleri 15 yıllık saatlik dış hava sıcaklıkları kullanılarak belirlenmiştir. Antalya ilinde tam havalı iklimlendirme sistemine sahip bir ticari binada, sıcaklık kontrollü ekonomizer çevrim uygulamasının, enerji analizi yapılmıştır. Yapıların iklimlendirmesinde serbest soğutma uygulamasının ihmal edilmemesi gereken bir konumda olduğu tespit edilmiştir. Serbest soğutma uygulamalarının yaygınlaştırılması ve mevcut potansiyelin kullanılmasıyla, önemli oranda enerji tasarrufu sağlanacağı açıkça görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Serbest soğutma, Tam havalı iklimlendirme, Enerji tasarrufu, Ekonomizer çevrim, Bin değerleri, Antalya.

1. GİRİŞ

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin enerji tüketimi, binalarda harcanan enerjinin önemli bir kısmını oluşturur. Son yıllarda, yapılardaki enerji giderlerini sınırlamak için çeşitli yöntemler geliştirilmekte ve konuyla ilgili araştırmalar giderek artmaktadır. Bu araştırmalar genel olarak iki bölümde değerlendirilebilir: İlk bölümde, yerel iklim şartlarına uygun olarak binanın mimari ve yapı özellikleri ile ilgili çalışmalardır. Bu çalışmalarda, bina için en uygun mimari yapının belirlenerek ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji giderlerinin sınırlandırılması amaçlanır (Balaras, 1996; Geros vd., 1999; Pfafferott vd., 2003; Geros vd., 2005). İkinci bölüm çalışma-

Abstract:

The energy consumption of the heating, air-conditioning and climate systems is the main part of the total energy consumption of the building. Isolation applications to the building materials, the usage of the cycle air in the air-conditioning systems and free cooling are suggested to save energy. With the application of the free cooling, it is possible to get a serious energy savings on the full air climate systems. In this application, under the conditions in which the outdoor temperature is lower than the indoor temperature, the outer air is been directed into the room to get energy savings. In the application of free cooling, also known as economizer cycle, the most important and determining parameter is the local weather characteristics. The free cooling potential of the climate system can be determined by detailed analyzing of weather datas. In this study, the outer temperature have been hold as the main parameter to determinate the free cooling conditions. BIN values had been set to use in this analyze by using hourly outer temperature values of Antalya province for last 15 years. Then the energy analyze of an economizer cycle application with temperature control on a commercial building at Antalya province had been made. It is confirmed that the application of free cooling is a non negligible part of building climate. In this analyze, it is seen that important energy savings are possible by using free cooling applications.

Key Words:

Free Cooling, Full Air Climate, Energy Saving, Economizer Cycle, BIN values, Antalya

* İngilizce "free cooling" kavramının çevirisi burada olduğu gibi "serbest soğutma" olarak ya da "doğal soğutma" olarak da yapılabilir.

lar ise bina için uygun ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin belirlenmesi ile ilgilidir. Bu çalışmalarda belirlenen sistemden, etkin bir çalışma performansı elde etmek için optimum çalışma kapasite ve şartlarının tespit edilmesi amaçlanır. Havalı ve sulu tip iklimlendirme sistemlerinde serbest soğutma uygulaması ile, binanın iklimlendirme sistemi işletme maliyetlerinde önemli tasarruflar elde edilebilir (Güngör ve Güngör, 2005; Arısoy ve Çilek, 2006; Cansevdı vd., 2006; Aktacir 2007). Ekonomizer çevrim olarak adlandırılan serbest soğutma sistemi, dış havanın uygun koşullarında mekanik soğutmaya ihtiyaç duymadan sistem içinde soğutucu akışkan olarak dış havanın kullanılması prensibine dayanır. Tam havalı sistemlerde dış hava doğrudan iklimlendirilecek ortama gönderilirken, sulu sistemlerde soğutma suyunun ön soğutmasında kullanılarak sistemin performansı artırılır (Aktacir, 2007; Aktacir ve Bulut, 2007).

Serbest soğutma potansiyeli, mekanik soğutmaya ihtiyaç duymadan, ısıl konforu sağlayacak şekilde dış ortam şartlarının soğutma yükünü karşılamasının bir ölçüsüdür (Ghiaus ve Allard, 2006). Serbest soğutma tek başına mekanik soğutmaya alternatif olmayıp, mekanik sistemi destekleyici ve tamamlayıcı bir sistem olarak düşünülmelidir (Olsen and Qinyan, 2003). Bir bölgede serbest soğutma uygulamasını etkileyen en önemli ve belirleyici parametre yerel iklim özellikleridir (Budaiwi, 2001; Aktacir, 2007). Ancak, iklim verilerinin detaylı analizi ile iklimlendirme sisteminin serbest soğutma potansiyeli belirlenir.

Bu çalışmanın temel amacı, tam havalı bir iklimlendirme sisteminde sıcaklık kontrollü serbest soğutma çevriminin analiz edilmesidir. Bunun için bir örnek uygulama Antalya iklim koşullarında yapılmıştır. 15 yıllık saatlik dış hava sıcaklıklarına göre tespit edilen bin değerleri kullanılarak Antalya ilinin serbest soğutma potansiyeli belirlenmiş ve örnek uygulama ile iklimlendirme sisteminin enerji analizi yapılmıştır.

2. İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE SERBEST SOĞUTMA

Havalı tip bir iklimlendirme sisteminde serbest soğutma, dış hava şartlarına göre sıcaklık veya entalpi

kontrollü yapılır (Kreider ve Rabl, 1994; Isısan, 2005). Bu sistemler, dış hava sıcaklık kontrollü veya entalpi kontrollü serbest soğutma (ekonomizer çevrimi) sistemleri olarak adlandırılır.

Sıcaklık kontrollü sistemlerde kullanılan termostat, belirli bir sıcaklık değerine set edilebildiği gibi, dış hava ile oda sıcaklığı arasındaki farka göre de ayarlanabilir. İklimlendirme sistemi dış hava sıcaklığı set değerine göre, mekanik soğutma, serbest soğutma veya kısmi serbest soğutma yapar. Dış hava sıcaklığının set değerinin üstüne çıktığı durumlarda, mekanik soğutma yapılır ve havalandırma için gerekli minimum oranda taze hava kullanılır. Set değerinin altındaki dış hava değerlerinde ise, maksimum oranda dış hava kullanılarak serbest soğutma yapılır. Burada, dış hava sıcaklığının üfleme sıcaklığının altındaki değerlerinde, dış hava doğrudan mahale gönderilir. Soğutma grubu devre dışı kalır, bu çalışmaya “tam (%100) serbest soğutma” denir. Dış hava sıcaklığının üfleme sıcaklığından büyük olduğu değerlerinde ise, dış hava soğutma serpantininden geçirilerek üfleme sıcaklığına kadar soğutulur. Soğutma grubu devrededir, ancak soğutma grubunun yükü azalmıştır. Bu çalışma şekline “kısmi serbest soğutma” denir (RC, 2002).

Entalpi kontrollü sistemde, dış hava ile dönüş havası entalpileri kontrol edilir. Bazı sistemlerde dönüş havası entalpisinden bağımsız olarak, sadece dış havanın entalpisi de kontrol edilebilir. Dış havanın dönüş havası entalpisinden düşük olduğu değerlerde sistem serbest soğutma yapmakta, büyük değerlerinde ise mekanik soğutma yapmaktadır. Burada kullanılan entalpi sensörleri ile, sıcaklık ve bağıl nemi ölçülerek entalpi belirlenir. Bağıl nemi ölçmek nispeten daha pahalı ve güvenilirliğinde çeşitli sorunlar yaşanmaktadır. Ancak son yıllarda piyasada, uygun hassasiyette entalpi sensörleri bulmak kolaylaşmıştır. Bu yöntemde havanın taşıdığı enerji belirlendiğinden, iç konfor şartları tam olarak sağlanır. Sıcaklık kontrollü yönteminde havanın enerjisi belirlenmediğinden bazı sıkıntılar yaşanabilir. Örneğin yüksek sıcaklıktaki bir havanın entalpisi taşıdığı nem sebebiyle daha düşük sıcaklıktaki bir havanın entalpisi düşük olabilir. Bu sistemlerde en doğru çö-

züm entalpi kontrolüdür. Fakat uygulamalarda sıcaklık kontrolü, entalpi kontrolüne göre daha kolay olduğundan daha çok tercih edilmektedir.

3. SOĞUTMA SEZONUNUN TESPİTİ VE BİN DEĞERLERİ

Uzun dönem günlük ortalama sıcaklıklarının yıllık değişimine göre Antalya ilinin soğutma sezonu tespit edilmiştir. Şekil 1'de Antalya ili için 15 yıllık verilerin ortalamalarından elde edilmiş günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerlerinin yıl boyunca değişimi görülmektedir. 15 °C ortalama dış sıcaklık değerine göre (ortalama maksimum sıcaklık 21 °C civarındadır), soğutma sezonu 1 Nisan'da (91. gün) başlamakta, 31 Ekim'de (305. gün) bitmektedir. Ortalama dış sıcaklık değerlerinin 15 °C ile 22 °C arasındaki olduğu dönem, soğutma yükünün bağıl olarak düşük olduğu geçiş dönemi kabul edilirse, Nisan, Mayıs ve Ekim geçiş ayları olarak ele alınabilir. Bu çalışmada, Antalya ilinin 1981-1995 yılları arası 15 yıllık uzun dönem saatlik dış hava sıcaklık değerleri kullanılarak, sıcaklık aralığı (bin) değerleri 3 °C artışlarla ve günlük 4 saatlik periyotlar için tespit edilmiştir. Bin değerleri; bir sıcaklık aralığının, belli bir zaman periyodundaki görülme saatini gösterir (Bulut vd., 2001). Tablo 1'de soğutma ihtiyacının olduğu aylar için bin değerleri verilmiştir. Tablo 1'den görüleceği gibi, Nisan ayında

09:00-12:00 zaman periyodunda 15 °C/18 °C sıcaklık aralığı 35 saat görülmüş, Ağustos ayında ise 15 °C/18 °C sıcaklık aralığı hiçbir zaman periyodunda tespit edilmemiştir.

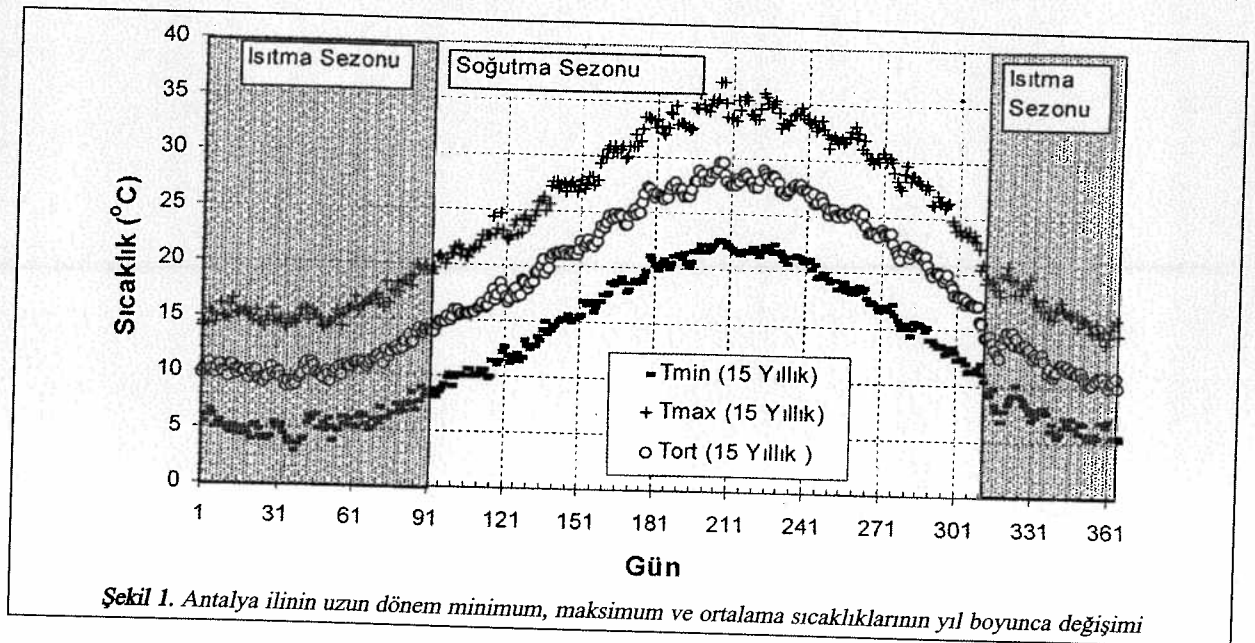
4. ÖRNEK UYGULAMA İÇİN İKLİMLENDİRME SİSTEMİ TASARIMI

Bu çalışmada, sıcak ve nemli Akdeniz ikliminin etkin olduğu Antalya ilinde (36.53 K enlem-30.42 D boylam) bulunan ve tam havalı iklimlendirme sistemi ile şartlandırılan (24°C kuru termometre sıcaklığı ve %50 bağıl nem) bir finans kurumu örnek uygulama olarak seçilmiştir. Binanın kat planı Şekil 2'de verilmiştir. TS 825 ısı yalıtım standardına uygun olarak belirlenen binaya ait yapı elemanlarının toplam ısı transfer katsayıları ve yüzey alanları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yapı elemanları özellikleri

Yapı elemanı	Isı transfer katsayısı (W/m ² K)	Yüzey alanı (m ²)
Dış duvar	0.5	239
Pencere ve Kapı	2.8	51
Tavan	0.3	491

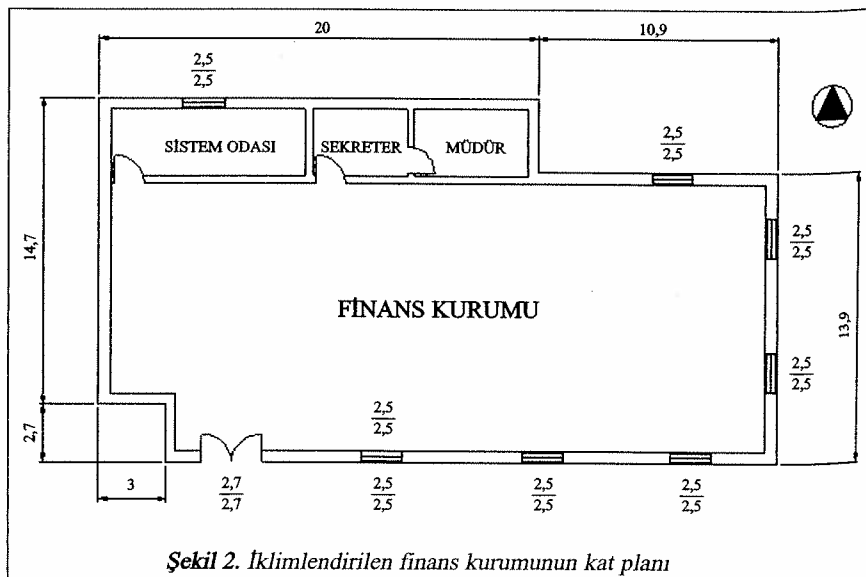
Antalya ilinin yaz tasarım değerleri; 39°C kuru termometre sıcaklığı, 19.6 g/kg mutlak nem ve 11.4 °C günlük sıcaklık farkıdır (MMO, 2002). Çalışma saat-



Şekil 1. Antalya ilinin uzun dönem minimum, maksimum ve ortalama sıcaklıklarının yıl boyunca değişimi

Tablo 1. Antalya ili için bin değerleri (saat/ay)

Ay	Zaman Aralığı	Sıcaklık Aralıkları (°C)													
		0/3	3/6	6/9	9/12	12/15	15/18	18/21	21/24	24/27	27/30	30/33	33/36	36/39	39/42
Nisan	01-04	0	1	14	50	41	11	3	0	0	0	0	0	0	0
	05-08	0	1	13	37	39	21	7	2	0	0	0	0	0	0
	09-12	0	0	0	3	11	35	39	20	9	3	0	0	0	0
	13-16	0	0	0	2	7	29	47	22	9	4	0	0	0	0
	17-20	0	0	1	4	24	52	29	8	2	0	0	0	0	0
	21-24	0	0	4	27	54	29	5	1	0	0	0	0	0	0
Mayıs	01-04	0	0	0	11	37	49	22	4	1	0	0	0	0	0
	05-08	0	0	0	6	21	38	31	16	8	3	1	0	0	0
	09-12	0	0	0	0	1	5	23	41	33	13	6	2	0	0
	13-16	0	0	0	0	1	4	21	42	36	13	5	2	0	0
	17-20	0	0	0	0	3	17	43	40	16	4	1	0	0	0
	21-24	0	0	0	3	17	46	43	14	1	0	0	0	0	0
Haziran	01-04	0	0	0	0	2	20	54	33	9	2	0	0	0	0
	05-08	0	0	0	0	1	10	27	32	28	15	6	1	0	0
	09-12	0	0	0	0	0	0	1	7	34	35	26	13	4	0
	13-16	0	0	0	0	0	0	1	8	35	38	24	11	2	1
	17-20	0	0	0	0	0	0	4	28	48	26	11	3	0	0
	21-24	0	0	0	0	1	4	32	58	21	4	0	0	0	0
Temmuz	01-04	0	0	0	0	0	1	16	56	35	14	2	0	0	0
	05-08	0	0	0	0	0	1	9	26	39	29	16	4	0	0
	09-12	0	0	0	0	0	0	0	0	7	37	32	29	15	4
	13-16	0	0	0	0	0	0	0	0	3	37	36	27	14	6
	17-20	0	0	0	0	0	0	0	2	27	54	26	11	3	1
	21-24	0	0	0	0	0	0	2	29	66	23	4	0	0	0
Ağustos	01-04	0	0	0	0	0	0	14	70	32	6	2	0	0	0
	05-08	0	0	0	0	0	0	12	37	35	25	11	4	0	0
	09-12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	39	40	25	16	3
	13-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	51	23	12	3
	17-20	0	0	0	0	0	0	0	1	26	64	23	8	2	0
	21-24	0	0	0	0	0	0	2	31	73	15	2	1	0	0



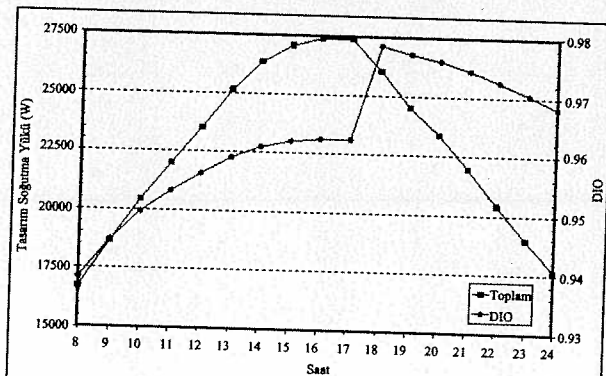
leri 9:00-21:00 arasında olan finans kurumunun, 12 personeli vardır. Buna ilave olarak, 9:00-12:00 ve 13:00-17:00 saatleri arasında ortalama olarak 10 kişinin işlem yaptırdığı kabul edilmiştir. Bina nın aydınlatmasından, kullanılan cihazlardan (bilgisayar, yazıcı, fotokopi ve faks) ve insanlardan kaynaklanan iç ısı yükleri detaylı olarak Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Bina iç ısı yükleri ve detayları

İç Isı Kaynağı	Yük (W)		Ayrılma Oranı		Kullanım Faktörü
	Duyulur	Gizli	Isınım	Taşınım	
İnsanlar	1650	1210	0.58	0.42	0.85
Aydınlatma	4160	0	0.59	0.41	0.70
Cihazlar	2380	0	0.30	0.70	0.80

Bu çalışmada, ASHRAE tarafından önerilen ısınım zaman serileri (RTS) hesap yöntemi (Spitler vd., 1997; ASHRAE, 2001) ile bina soğutma yükleri hesaplanmıştır. Bina tasarım soğutma yükü 21 Temmuz'a göre hesaplanarak Şekil 3'te gün boyunca değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi binanın maksimum tasarım soğutma yükü saat 16:00'da 27.39 kW ve duyulur ısı oranı 0.96'dır.

Şekil 4'te havalı tip bir iklimlendirme sisteminin şematik resmi verilmiştir. Bu sistemin çalışması sırasında ilk olarak, karışım odasında, havalandırma için gerekli minimum taze hava ile dönüş havası karıştırılır. ASHRAE Standart 62'ye uygun olarak binanın toplam taze hava miktarı 616 m³/h olarak belirlenmiştir. Karışım odasından soğutma serpantinine gelen soğutma havası, burada oda soğutma yükünü karşılayacak şekilde minimum üfleme sıcaklığına kadar soğutulurak odaya sevk edilir. Böylece oda için arzulanan ısı konfor şartları sağlanır.



Şekil 3. Bina tasarım soğutma yükünün 21 Temmuz gün boyunca değişimi

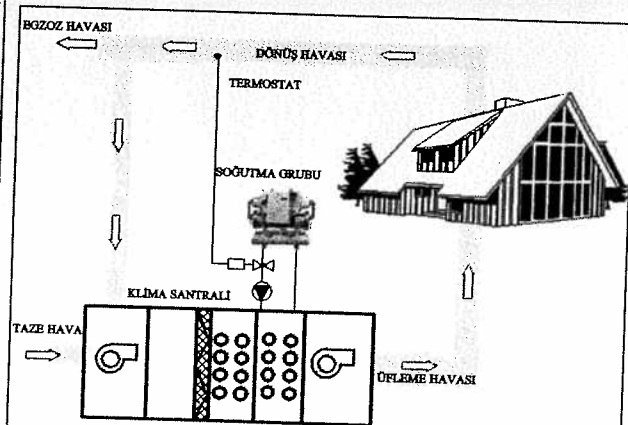
Bu çalışmada belirlenen tasarım şartlarına göre, iklimlendirme sisteminin psikrometrik analizi yapılarak sistemin tasarım değerleri bulunmuştur. Buna göre soğutma grubunun tasarım kapasitesi 34.28 kW ve toplam hava debisi 10124 m³/h'tir. Tasarım

kapasitesine uygun olarak, 39 °C nominal çalışma şartlarında, soğutma kapasitesi 37.7 kW, soğutma tesir katsayısı (COP) 2.3 ve toplam enerji tüketimi 16.4 kW olan bir hava soğutmalı soğutma grubu yerel bir firmanın ürün kataloğundan seçilmiştir.

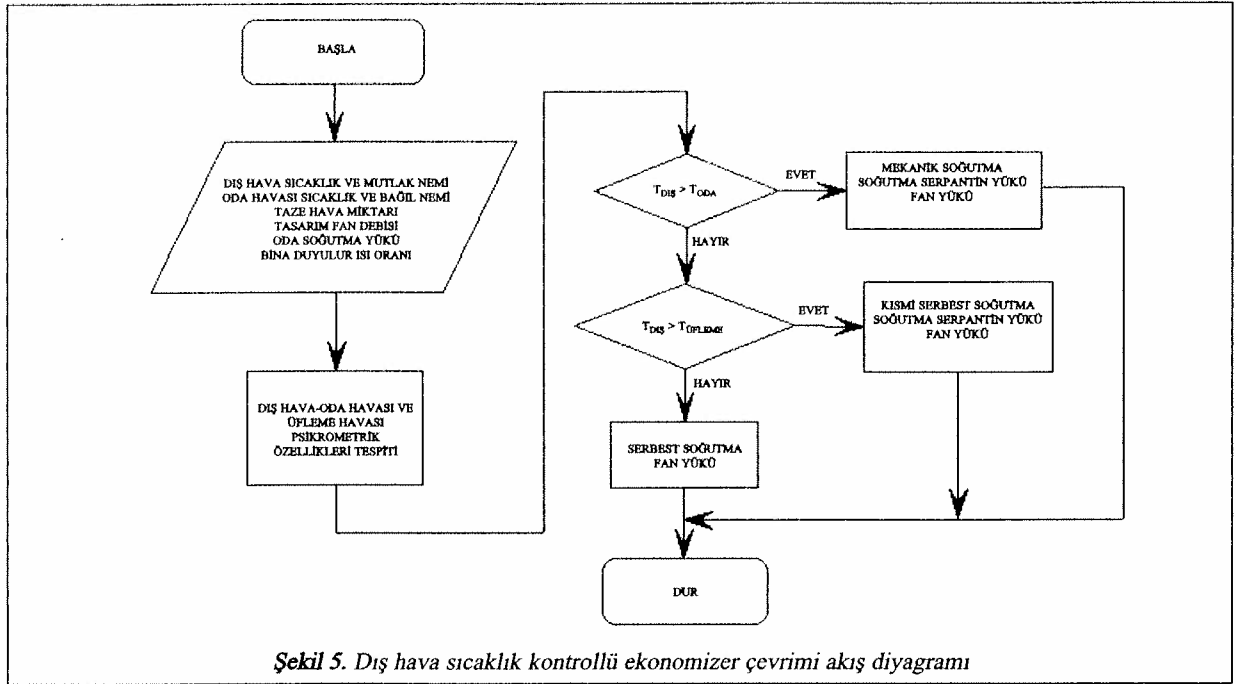
Soğutma suyu rejimi 7°C /12 °C ve debisi 1.64 l/s'dir. Klima santralinde emme ve basma fanlarının toplam motor gücü (3+4 kW) 7 kW ve hava dağıtımı sabit debide olmaktadır.

5. İKLİMLENDİRME SİSTEMİNİN ENERJİ ANALİZİ

Bu çalışmada, ekonomizer çevrimli tam havalı bir iklimlendirme sisteminin simülasyonu, şekil 5'te gösterilen akış diyagramına uygun olarak Fortran programlama dili ile hazırlanan bir bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyon için gerekli olan giriş verileri, dış hava sıcaklığı ve mutlak nemi, oda havası sıcaklığı ve bağıl nemi, saatlik taze hava miktarı ve maksimum hava debisi, oda soğutma yükü ve bina duyulur ısı oranıdır. Dış havanın mutlak nemi, uzun dönem aylık ortalama değerlerden tespit edilmiştir. Oda havası sıcaklığı 24 °C ve bağıl nemi %50 olarak sabit alınmışlardır. Binanın toplam taze hava miktarı 616 m³/h ve maksimum fan debisi 10124 m³/h'tir. Üfleme sıcaklığı 15 °C'dir. Her bin aralığı için oda soğutma yükü RTS yöntemine göre hesaplanmıştır.



Şekil 4. Havalı tip iklimlendirme sistemi çalışma prensibi



Şekil 5. Dış hava sıcaklık kontrollü ekonomizer çevrimi akış diyagramı

Sistemin psikrometrik analizi yapılarak, her bin aralığında sistemde kullanılan temiz hava yükü ve oda soğutma yükü toplanarak, kısmi soğutma yükü ($Q_{kısı-mi}$) bulunmuştur. Bulunan bu soğutma yükü altında, soğutma ünitesinin enerji tüketimi (W_{bin}) eşitlik 1'den hesap edilmiştir (Kreider ve Rabl, 1994). Soğutma ünitesinin her bin aralığına ait tam kapasitede soğutma yükü (Q_{tam}) ve soğutma tesir katsayısı (COP) değerleri cihaz üreticisinden temin edilmiştir.

$$W_{bin} = \frac{Q_{tam}}{COP} \left[0.023 + 1.429 \left(\frac{Q_{kısımi}}{Q_{tam}} \right) - 0.471 \left(\frac{Q_{kısımi}}{Q_{tam}} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Her bin aralığı için hesaplanan W_{bin} değerleri, bin sayısı ile çarpılarak enerji tüketimi belirlenmiştir. Tüm bin aralığı için bu işlem tekrarlanarak soğutma ünitesinin toplam enerji tüketimi hesaplanmıştır.

6. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

6.1. Serbest Soğutma Potansiyeli

Bu çalışmada, tam havalı iklimlendirme sistemleri için dış hava sıcaklığının farklı değerlerinde (15 °C, 18 °C, 21 °C ve 24 °C), serbest soğutma potansiyelleri Antalya ili için tespit edilmiştir. Tablo 4'te Antalya ilinin Nisan-Ekim periyodunda dış hava sıcaklığının ($T_{dış} \leq 15$ °C, 18 °C, 21 °C ve 24 °C şartları

için günlük zaman periyotlarına göre aylık serbest soğutma potansiyelleri gösterilmiştir.

Tablodan görüldüğü gibi, aylık soğutma potansiyelinde genel olarak Nisan, Mayıs ve Ekim gibi geçiş dönemlerindeki aylarda serbest soğutma potansiyeli yüksek olmakta ve $T_{dış}$ 'ın artmasıyla bu potansiyel daha da artmaktadır. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül gibi soğutma sezonunu kapsayan aylarda ise serbest soğutma potansiyeli düşük kalmaktadır. Özellikle Temmuz ve Ağustos en düşük serbest soğutma potansiyeline sahip aylar olarak karşımıza çıkmaktadır. Serbest soğutma potansiyelinin günlük dağılımına bakıldığında göze çarpan en önemli nokta, beklendiği gibi sıcaklığın yüksek olduğu saatlerde (öğle periyodunda) potansiyel düşük, sıcaklığın düşük olduğu saatlerde (gece periyodunda) ise serbest soğutma potansiyeli yüksek olmasıdır. Temmuz ve Ağustos aylarında gece periyotlarında dikkate değer bir potansiyel mevcut değildir. Ancak, geçiş aylarında $T_{dış}$ 'ın yüksek değerlerinde %100'lere dayanan bir potansiyel mevcuttur. Şekil 6'da Antalya ilinin Nisan-Ekim periyotuna ait ve dış hava sıcaklığının ($T_{dış} \leq 15$ °C, 18 °C, 21 °C ve 24 °C şartları için aylık serbest soğutma, gece soğutması ve mekanik soğutma potansiyelleri gösterilmiştir. Gece soğutması için 17:00-08:00 periyotları dikkate alınmıştır.

Tablo 4. Farklı dış hava sıcaklarına göre yüzde olarak serbest soğutma potansiyeli

Zaman		Serbest soğutma potansiyeli (%)					Serbest soğutma potansiyeli (%)			
		$T_{dış} \leq 15$	$T_{dış} \leq 18$	$T_{dış} \leq 21$	$T_{dış} \leq 24$		$T_{dış} \leq 15$	$T_{dış} \leq 18$	$T_{dış} \leq 21$	$T_{dış} \leq 24$
01-04	Nisan	88	98	100	100	Mayıs	39	78	96	99
05-08		75	93	98	100		22	52	77	90
09-12		12	41	73	90		1	5	23	56
13-16		8	32	71	89		1	4	21	55
17-20		24	68	92	98		2	16	51	83
21-24		71	95	99	100		16	53	88	99
01-04	Haziran	2	18	63	91	Temmuz	0	1	14	59
05-08		1	9	32	58		0	1	8	29
09-12		0	0	1	7		0	0	0	0
13-16		0	0	1	8		0	0	0	0
17-20		0	0	3	27		0	0	0	2
21-24		1	4	31	79		0	0	2	25
01-04	Ağustos	0	0	11	68	Eylül	1	18	65	94
05-08		0	0	10	40		2	15	48	74
09-12		0	0	0	0		0	0	0	3
13-16		0	0	0	0		0	0	0	2
17-20		0	0	0	1		0	0	3	26
21-24		0	0	2	27		0	5	36	84
01-04	Ekim	35	79	96	99					
05-08		31	69	90	98					
09-12		2	8	23	48					
13-16		1	5	15	38					
17-20		6	24	56	86					
21-24		23	63	92	98					

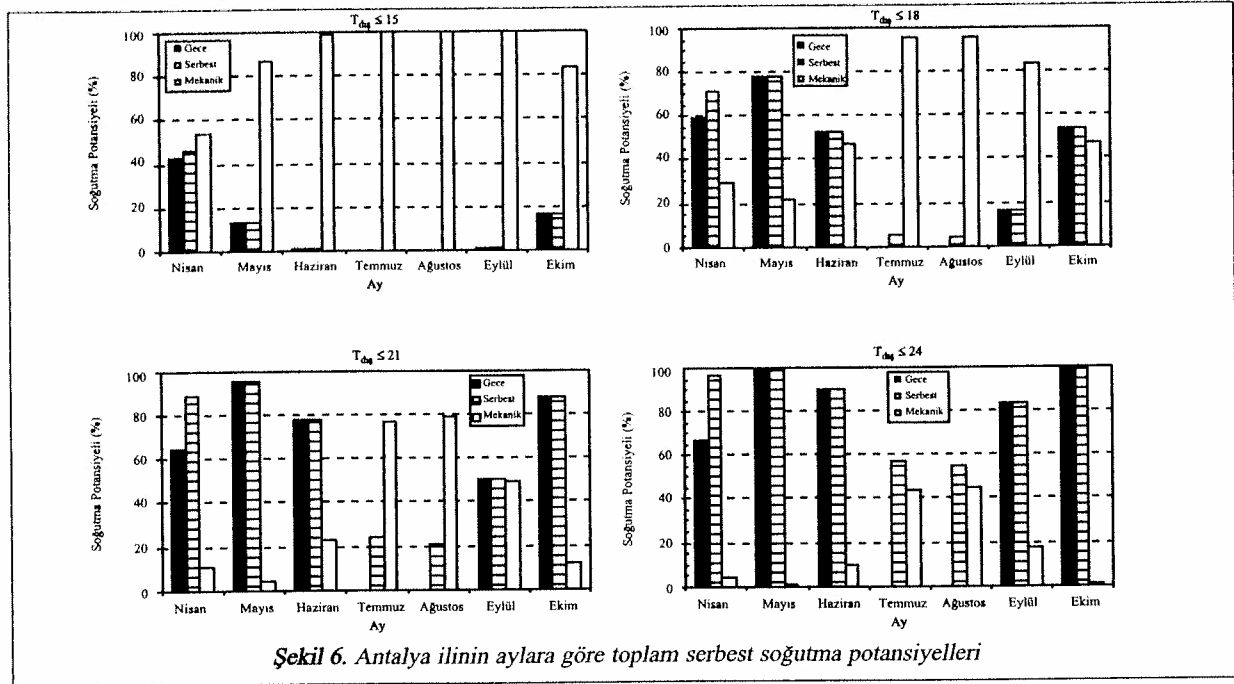
Şekil 6'da $T_{dış} \leq 15$ °C için elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi, Nisan ve Ekim aylarında serbest soğutma potansiyeli yüksek olmakta ve bu potansiyel önemli oranda gece periyodunda görülmektedir. $T_{dış}$ 'ın artmasıyla potansiyel daha da artmaktadır. Özellikle $T_{dış} \leq 24$ °C için potansiyeldeki artış dikkate değerdir. Nisan-Ekim dönemini kapsayan tüm aylarda serbest soğutma potansiyeli yüksek ve ihmal edilemeyecek değerdedir.

6.2. Örnek Uygulama İçin Enerji Analizi

Çalışmanın bu bölümünde, farklı dış hava sıcaklık şartları için belirlenen serbest soğutma potansiyelinin, örnek binanın sahip olduğu iklimlendirme sisteminin enerji tüketimi üzerindeki etkisi detaylı olarak analiz edilmiştir. Analizin daha iyi anlaşılması için,

Tablo 5'te Mayıs ayı 09:00-12:00 periyodu için iklimlendirme sisteminin serbest çalışma modunda sistemin toplam enerji tüketim değerleri gösterilmiştir. Benzer şekilde aynı periyot için iklimlendirme sisteminin klasik çalışma (mekanik soğutma) modunda sistemin toplam enerji tüketim değerleri Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 5 ve 6 dikkate alınıp enerji tüketim değerleri karşılaştırılırsa, iklimlendirme sisteminin serbest soğutma modunda çalışması durumunda klasik soğutmaya göre (mekanik soğutma) daha az enerji tüketimi olduğu görülmektedir. Bu sonuç, soğutma sisteminin karşılaması gereken soğutma yükünün azalmasından kaynaklanmaktadır.



Tablo 5. İklimlendirme sisteminin serbest soğutma modunda Mayıs ayı 09:00-12:00 zaman periyodundaki toplam enerji tüketimi

Bin sıcaklığı (°C)	Bin sayısı	Fan			Soğutma Ünitesi (kW)					Toplam Enerji Tüketimi (kW)
		Debi (m ³ /h)	Güç (kW)	Enerji Tük. (kW)	Tam yük (Kapasite)	Tam yük enerji tüketimi	Kısmi yük	Kısmi yük enerji tüketimi	Kısmi yük top.ener. tüketimi	
34.5	2	10124	7	16	39.6	15.2	20.7	9.06	18	34
31.5	6	10124	7	47	40.9	14.4	18.4	7.85	47	94
28.5	13	10124	7	101	42.2	13.7	16.1	6.67	87	188
25.5	33	10124	7	257	43.5	13.0	13.3	5.41	179	436
22.5	41	10124	7	319	44.9	12.4	8.0	3.32	136	455
19.5	23	10124	7	179	46.2	11.7	3.8	1.67	38	217
16.5	5	10124	7	39	47.6	11.2	0.7	0.52	3	42
13.5	1	10124	7	8	49.0	10.6	0	0.24	0	8
10.5	0	10124	7	0	50.0	10.1	0	0.23	0	0

Tablo 6. İklimlendirme sisteminin mekanik soğutma modunda Mayıs ayı 09:00-12:00 zaman periyodundaki toplam enerji tüketimi

Bin sıcaklığı (°C)	Bin sayısı	Fan			Soğutma Ünitesi (kW)					Toplam Enerji Tüketimi (kW)
		Debi (m ³ /h)	Güç (kW)	Enerji Tük. (kW)	Tam yük (Kapasite)	Tam yük enerji tüketimi	Kısmi yük	Kısmi yük enerji tüketimi	Kısmi yük top.ener. tüketimi	
34.5	2	10124	7	16	39.6	15.2	20.7	9.06	18	34
31.5	6	10124	7	47	40.9	14.4	18.4	7.85	47	94
28.5	13	10124	7	101	42.2	13.7	16.1	6.67	87	188
25.5	33	10124	7	257	43.5	13.0	13.7	5.41	184	441
22.5	41	10124	7	319	44.9	12.4	11.4	3.32	185	504
19.5	23	10124	7	179	46.2	11.7	9.0	1.67	81	260
16.5	5	10124	7	39	47.6	11.2	6.6	0.52	13	52
13.5	1	10124	7	8	49.0	10.6	4.2	0.24	2	10
10.5	0	10124	7	0	50.0	10.1	0	0	0	0

İklimlendirme sisteminin Mayıs ayı 09:00-12:00 periyodunda, klasik (mekanik soğutma) ve ekonomizer çevrimi ($T_{dış} \leq 24$ °C ve $T_{dış} \leq 15$ °C) modunda çalışma süreleri Tablo 7'de verilmiştir. Tablodan görüleceği gibi, $T_{dış} \leq 15$ °C için Mayıs ayı 09:00-12:00 periyodundaki toplam 124 saatlik çalışma süresinin sadece 1 saatinde serbest soğutma kalan sürelerde mekanik soğutma yapılmaktadır. $T_{dış} \leq 24$ °C için aynı periyotta 1 saat serbest soğutma, 69 saat kısmi serbest soğutma ve 54 saat mekanik soğutma görülmektedir.

Tablo 8'de iklimlendirme sisteminin 09:00-24:00 çalışma periyodunda, klasik çalışması ile dış hava sıcaklık kontrollü ekonomizer çevrimi uygulanması durumunda, fanlar ve soğutma ünitesinin enerji tüketim değerlerinin aylara göre toplamaları verilmiştir. İklimlendirme sisteminde hava hareketini sağlayan

emme ve basma fanları, her iki çalışma (mekanik soğutma ve ekonomizer çevrim) modunda sürekli devrede olduklarından enerji tüketimleri birbirine eşittir.

Tablo 8'de görüldüğü gibi, iklimlendirme sisteminde enerji tasarrufu Nisan ve Ekim aylarında en yüksek seviyede olmakta, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ise enerji tasarrufu edilmemektedir. Örneğin 15°C'lik set değerinde, Nisan ayında %3 oranında enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Set değeri 24 °C'ye artırıldığında Nisan (%18) ayında önemli derecede enerji tasarrufu elde edilebilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı dış hava sıcaklık değerleri için Antalya ilinin serbest soğutma potansiyeli araştırılmıştır. Havalı tip iklimlendirme sistemi ile iklimlendirilen örnek bir ticari binada serbest soğutma yapıl-

Tablo 7. İklimlendirme sisteminin Mayıs ayı 09:00-12:00 periyodundaki çalışma süresi

Bin sıcaklığı (°C)	Mekanik Soğutma (Saat)	Dış hava sıcaklık kontrollü ekonomizer çevrimi (saat)					
		$T_{dış} \leq 24$			$T_{dış} \leq 15$		
		Serbest Soğutma	Kısmi Serbest	Mekanik Soğutma	Serbest Soğutma	Kısmi Serbest	Mekanik Soğutma
34.5	2	0	0	2	0	0	2
31.5	6	0	0	6	0	0	6
28.5	13	0	0	13	0	0	13
25.5	33	0	0	33	0	0	33
22.5	41	0	41	0	0	0	41
19.5	23	0	23	0	0	0	23
16.5	5	0	5	0	0	0	5
13.5	1	1	0	0	1	0	0
Toplam	124	1	69	54	1	0	123

Tablo 8. İklimlendirme sisteminin aylık toplam enerji tüketimi

Aylar	Mekanik Soğutma (kWh)	Dış Hava Sıcaklık Kontrollü Ekonomizer Çevrimi (kWh)			
		$T_{dış} \leq 24$	$T_{dış} \leq 21$	$T_{dış} \leq 18$	$T_{dış} \leq 15$
Nisan	5008	4086	4206	4540	4876
Mayıs	5937	5709	5758	5869	5918
Haziran	6918	6908	6917	6918	6918
Temmuz	7986	7986	7986	7986	7986
Ağustos	8028	8028	8028	8028	8028
Eylül	7007	7005	7007	7007	7007
Ekim	6148	5544	5771	5958	6096

ması durumunda elde edilecek enerji tasarrufu miktarı belirlenmiştir.

Akdeniz iklim özelliklerine sahip Antalya'nın aylık serbest soğutma potansiyeli aylara göre önemli oranda değişmektedir. Antalya ilinde yüksek serbest soğutma potansiyeli Ekim, Eylül, Nisan ve Mayıs gibi geçiş aylarında gözlenmiştir. Dış hava sıcaklık set değerinin ($T_{dış}$) artması ile serbest soğutma potansiyeli de dikkate değer bir şekilde artış göstermektedir.

Örnek uygulamada 09:00-21:00 saatleri arasında çalıştırılan havalı iklimlendirme sisteminde, enerji tasarrufu en fazla Nisan ayında (%18) görülmüştür. Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ise serbest soğutma potansiyelinin çok düşük olmasından dolayı kayda değer enerji tasarrufu elde edilmemiştir.

Bina dış kabuğu ve serbest soğutma uygulamaları dikkate alınarak bina enerji giderlerinde tasarruf sağlanabilir. Ticari binalarda mesai saatleri dışında gece soğutması yapılması, bina soğutma yükünü azaltıcı bir etki yapacağı açıktır. Uzun işletme rejimli iklimlendirme sistemlerde serbest soğutma uygulaması ile enerji tasarrufu yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. AKTACIR, M.A., BULUT, H., 2007. Kayseri ilinin serbest soğutma potansiyelinin incelenmesi, ULIBTK'07-16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, Kayseri.
2. AKTACIR, M.A., 2007. Türkiye'nin Farklı iklim Bölgelerinde Tam Havalı İklimlendirme Sistemlerinin Serbest Soğutma Potansiyelleri, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 99, 66-74.
3. ANSI/ASHRAE Standard 62, 1989. "Ventilation for Acceptable Air-quality", Atlanta (GA): American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
4. ARISOY, A., ÇİLEK, G., 2006. Doğal havalandırma yapabilen örnek bir ofis binasında klima sistem tasarımı, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 96, 5-10.
5. ASHRAE, 2001. "ASHRAE Fundamental-Handbook", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
6. BALARAS, C.A., 1996. The role of thermal mass on the cooling load of buildings: an overview of computational methods, Energy and Buildings, 24, 1-10.
7. BUDAIWI, I.M., 2001. Energy performance of the economizer cycle under three climatic conditions in Saudi Arabia, International Journal of Ambient Energy, 22(2), 83-94.
8. BULUT, H., BÜYÜKALACA, O., YILMAZ T., 2001. Bin weather data for Turkey, Applied Energy, 70, 135-155.
9. CANSEVDİ, B., AKDEMİR, Ö., GÜNGÖR, A., 2006. Yıl boyunca soğutma suyu kullanan tesisler için enerji ekonomisi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 96, 73-80.
10. GEROS V., SANTAMOURIS M., TSANGRASOULIS A., GUARRACINO G., 1999. Experimental evaluation of night ventilation phenomena, Energy and Buildings, 29, 141-154.
11. GEROS, V., SANTAMOURIS, M., KARATASOU S., TSANGRASOULIS, A., PAPANIKOLAOU, N., 2005. On the Cooling potential of night ventilation techniques in the urban environment, Energy and Buildings, 37, 243-257.
12. GHIAUS, C., ALLARD, F., 2006. Potential for free-cooling by ventilation, Solar Energy, 80(4), 402-413.
13. GÜNGÖR, A., GÜNGÖR, S., 2005. Havalı iklimlendirme sistemlerinde ekonomizer çevrimi, İKLİM 2005-Ulusal İklimlendirme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 55-66.
14. ISISAN, 2005. "Enerji Ekonomisi", Isısan Çalışmaları No:351, İstanbul.
15. KREIDER, J.F., RABL, A., 1994. "Heating and Cooling of Buildings", McGraw-Hill Inc., New York.
16. MMO, 2002, Klima Tesisatı, Yayın No:296-2, Ankara.
17. OLSEN, E.L., QINYAN, Y.C., 2003. Energy consumption and comfort analysis for different low-energy cooling systems in a mild climate, Energy and Buildings, 35, 561-571.
18. PFAFFEROTT, J., HERKEL S., JÄSCHKE M., 2003. Design of passive cooling by night ventilation: evaluation of a parametric model and building simulation with measurements, Energy and Buildings, 35, 1129-1143.
19. RC grup- Technical Papers, 2002.
20. SPITLER J.D., FISHER D.E., PEDERSEN C.O., 1997. The radiant time series cooling load calculation procedure, ASHRAE Transactions, 103(2), 503-515.