

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

Mehmet Azmi AKTACİR
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 edilir. 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; Pfafferoth vd., 2003; Geros vd., 2005). İkinci bölüm çalışmaları 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; Cansevdi vd., 2006; Aktacir 2007). Ekonomizer çevrim olarak adlandırılan serbest soğutma sisteminde, 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

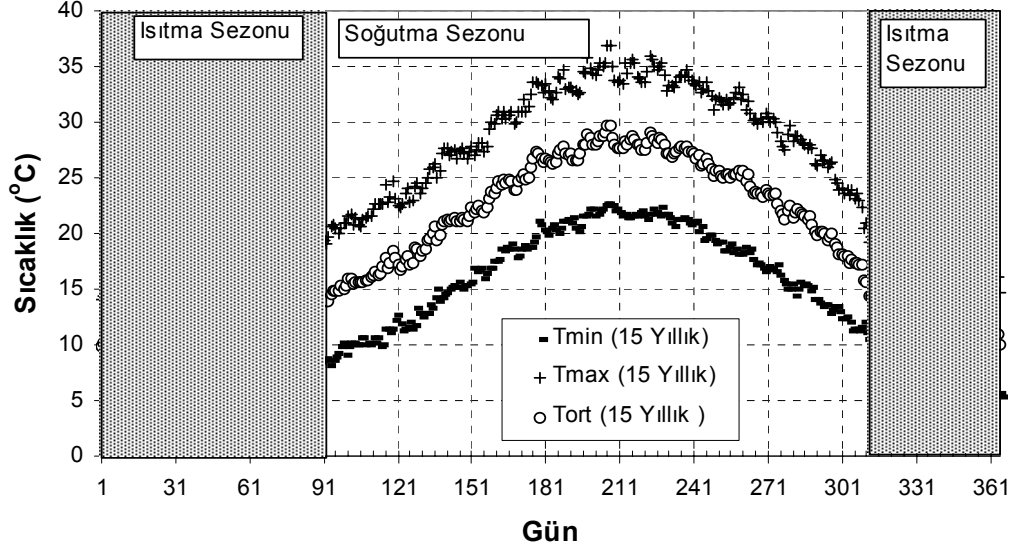
Havalı tip bir iklimlendirme sisteminde serbest soğutma, dış hava şartlarına göre sıcaklık veya entalpi kontrollü yapılır (Kreider ve Rabl, 1994; Isisan, 2005). Bu sistemler, dış hava sıcaklık kontrollü veya entalpi kontrollü serbest soğutma (ekonomizer çevrimi) sistemleri olarak adlandırılır.

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 entalpisinden düşük olabilir. Bu sistemlerde en doğru çözüm 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.



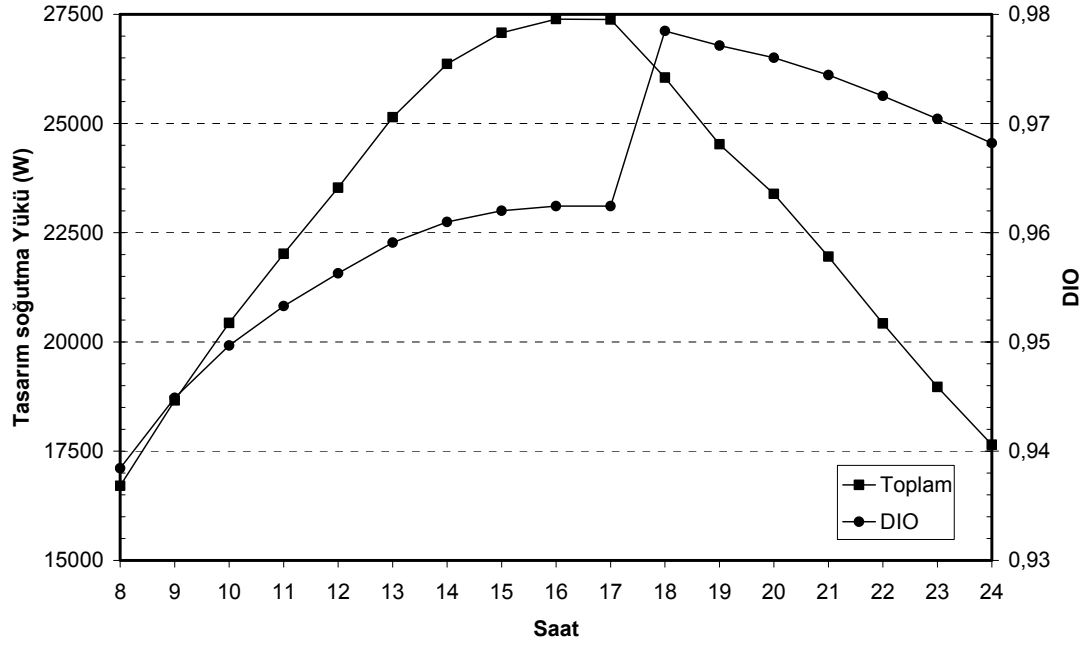
Şekil 1. Antalya ilinin uzun dönem minimum, maksimum ve ortalama sıcaklıklarının yıl boyunca değişimi

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

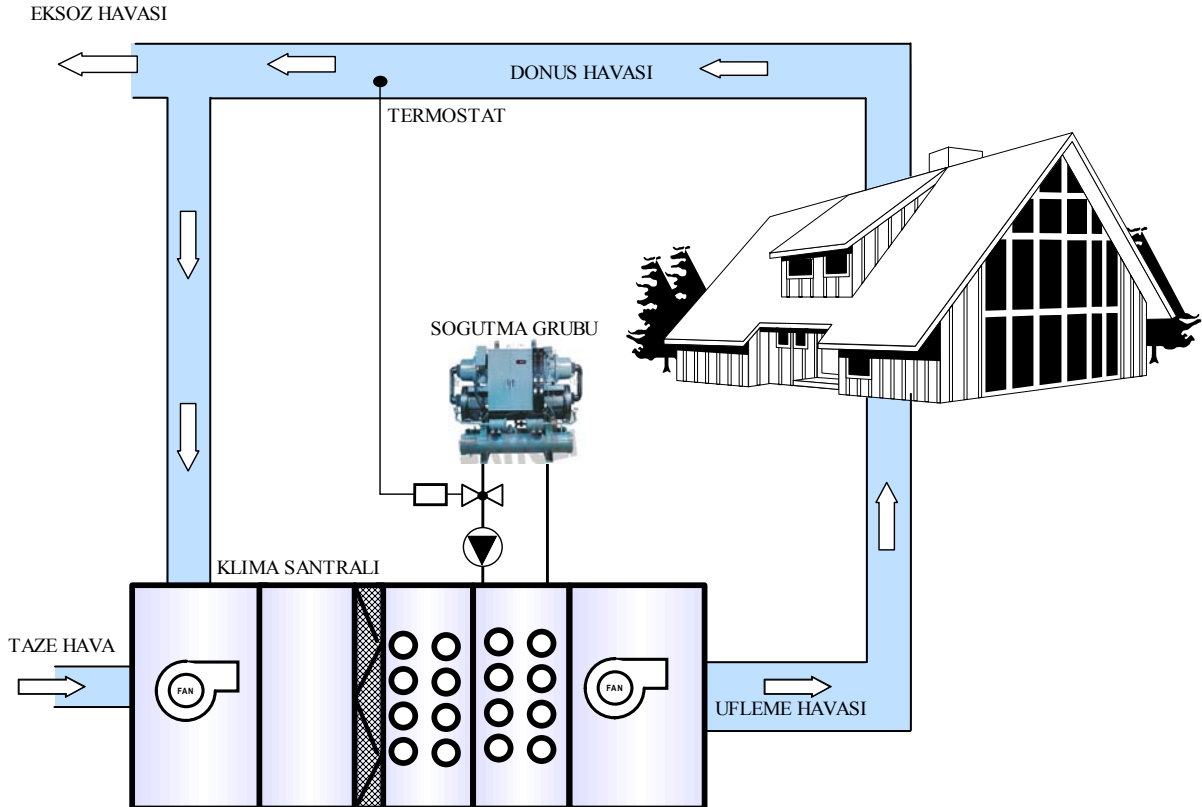
Bu çalışmada, ASHRAE tarafından önerilen ısıtım zaman serileri (RTS) hesap yöntemi (Spitler vd., 1997; ASHRAE, 2001) ile bina soğutma yükleri hesaplanmıştır. Bina tasarım soğutma yükü 21 Temmuz'a göre

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 3. Bina tasarım soğutma yükünün 21 Temmuz gün boyunca değişimi

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.

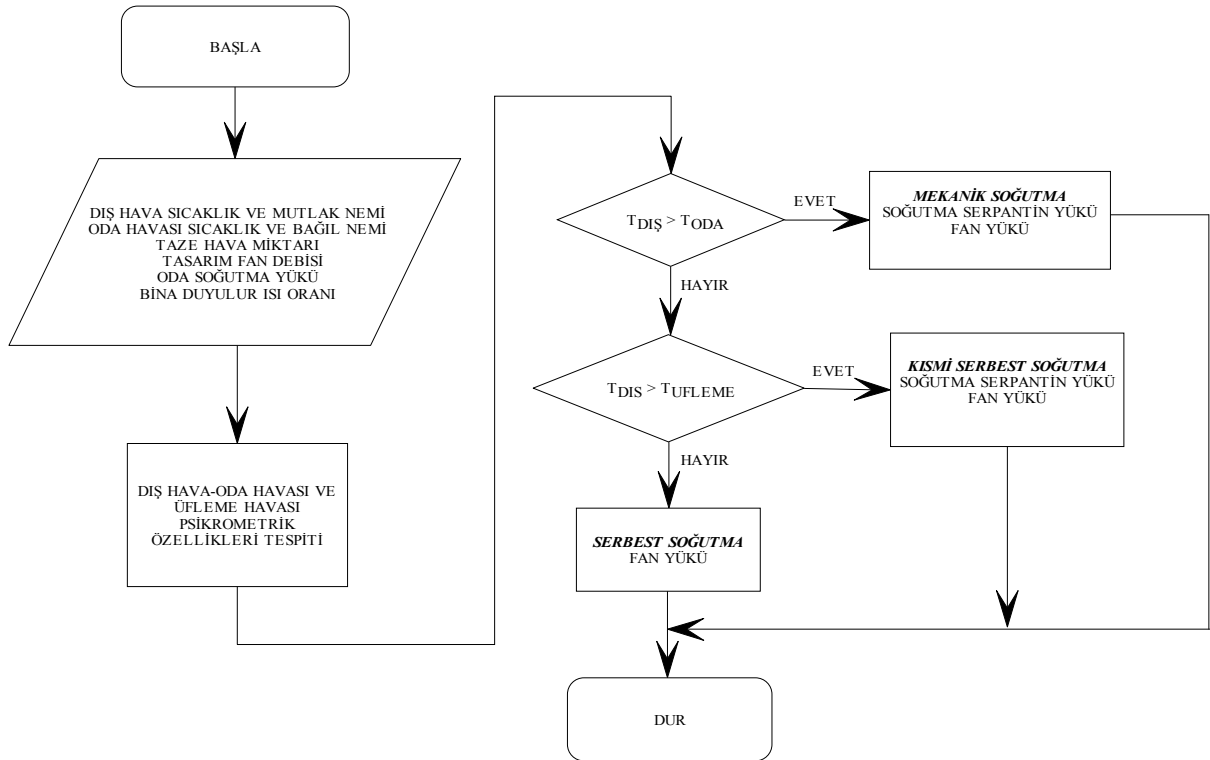


Şekil 4. Havalı tip iklimlendirme sistemi çalışma prensibi

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 katalogundan 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 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 ($Q_{kısmi}$) 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.

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

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 ($T_{dış}$) ≤ 15 °C, 18 °C, 21 °C ve 24 °C şartları için günlük zaman periyotlarına göre aylık serbest soğutma potansiyelleri gösterilmiştir.

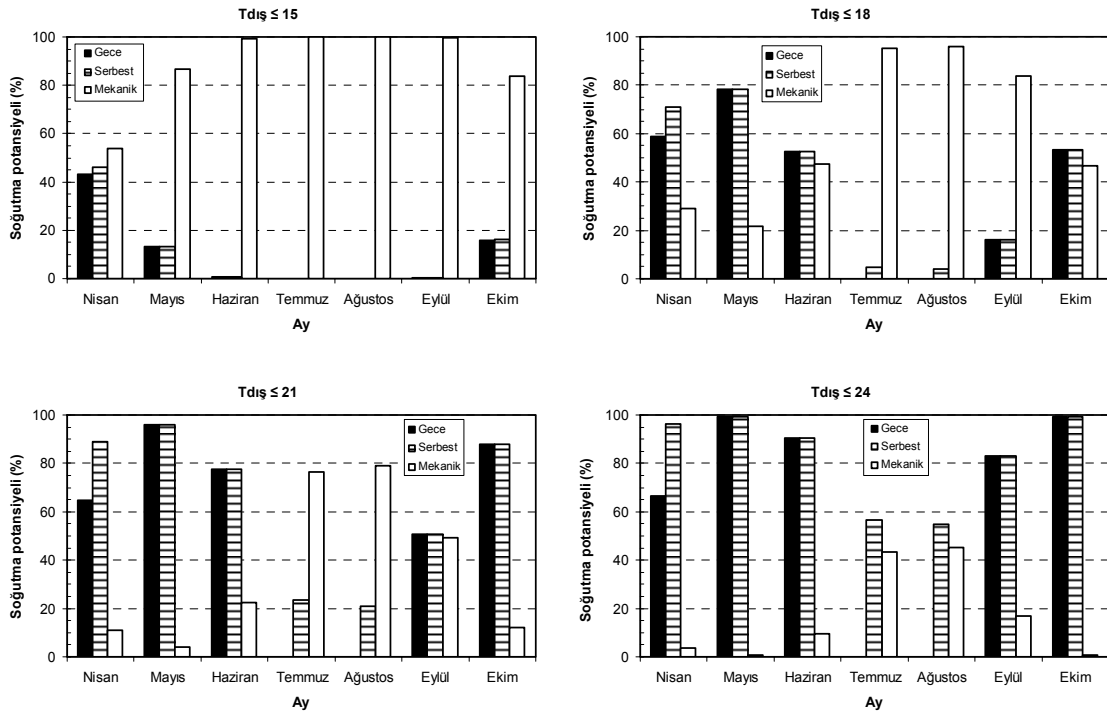
Tablo 4. Farklı dış hava sıcaklıklarına göre yüzde olarak serbest soğutma potansiyeli

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						

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 ($T_{dış}$) $\leq 15^{\circ}\text{C}$, 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.

Şekil 6'da $T_{dış} \leq 15^{\circ}\text{C}$ 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 $T_{dış} \leq 24^{\circ}\text{C}$ için potansiyeldeki artış dikkate değerdir. Nisan-Ekim dönemini kapsayan tüm aylarda serbest soğutma potansiyeli yüksek ve ihmal edilemeyecek değerdedir.



Şekil 6. Antalya ilinin aylara göre toplam serbest soğutma potansiyelleri

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	Kıs.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	Kıs.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 saatlık 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 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

			Soğutma			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’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’den görüldüğü gibi, iklimlendirme sisteminde enerji tasarrufu Nisan ve Ekim aylarında en yüksek 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.

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

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 yapılması 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 potansiyelli 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. AKTACİR, M.A., BULUT, H., 2007. Kayseri ilinin serbest soğutma potansiyelinin incelenmesi, ULIBTK'07-16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, Kayseri.
2. AKTACİR, 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. İSİSAN,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.

ÖZGEÇMİŞ

M. Azmi AKTACİR

1973 tarihinde Şanlıurfa'da doğdu. 1993 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünün de Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1995'te Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği ABD'da Yüksek Lisansını, 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği ABD'da Doktora öğrenimi tamamladı. 2000-2005 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2007 yılında Harran Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümüne Yrd. Doç. olarak atandı. İklimlendirme sistemi uygulamaları, kurutma uygulamaları ve yapıların enerji analizi başlıca çalışma alanlarıdır. TTMD ve MMO üyesidir.

Hüsamettin BULUT

1971 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Batman'da tamamladı. 1993 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD'da 1996 yılında Yüksek Lisansını, 2001 yılında Doktorasını ise tamamladı. 1993-1998 yılları arasında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde, 1998-2001 yılları arasında ise Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2003 yılında Harran Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümüne Yrd. Doç. olarak atandı. 2005 yılında Makina Mühendisliği Enerji Bilim Dalında Doçent oldu. Halen Harran Üniv., Müh. Fakültesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcılığı görevini sürdürmektedir. Çalışma alanları ısıtma ve soğutma sistemleri için iklim verileri ve enerji analizi, ısıtma-soğutma ve güneş enerjisi sistemleri uygulamalarıdır. TTMD ve MMO üyesidir.