

KLİMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ EKONOMİSİ VE UYGULAMA ÖNERİLERİ

Rüknettin KÜÇÜKÇALI

ÖZET

Klima sistemlerinde en pahalı enerji biçimi olan elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Bu enerjiden konfordan fedakarlık etmeden gerçekleştirilebilecek tasarruf, işletme maliyetlerinde önemli karlılıklar sağlayacaktır. Bu çerçevede alınabilecek pek çok önlem bulunmaktadır. Minimum maliyet ile maksimum faydanın sağlanması esas alınarak, önlemleri derecelendirmek mümkündür. Bu bildiride klima sistemlerinde karlılık potansiyeli yüksek olan bazı konular ele alınarak incelenmeye çalışılmıştır.

1. Isı kazancı, yapıda alınabilecek pasif önlemlerle azaltılarak klima yükü düşürülebilir.
 2. Yaz iç sıcaklık değerinin 1 °C daha yüksek seçilmesi, enerji tüketiminde %5 mertebelerinde tasarrufa imkan verebilmektedir.
 3. Klima sistemlerinde en fazla enerji tüketen elemanlardan biri fanlardır. Klima sisteminde farklı noktalarda farklı amaçlarla fanlar kullanılmaktadır. Bu fanlar tek tek ele alınarak; sabit debili veya değişken debili olmalarının, sistem tasarımlarının ve işletme biçimlerinin işletme maliyetine etkileri ortaya konulmuştur.
 4. Klima sisteminde farklı noktalarda farklı amaçlarla pompalar kullanılmaktadır. Klima tesisatındaki pompaların, sistem tasarımlarının ve işletme biçimlerinin işletme maliyetine etkileri ortaya konulmuştur.
 5. Otellerde olduğu gibi yüklerin çok değişken olduğu çok zonlu uygulamalarda merkezi sistemlerle bireysel sistemlerin işletme maliyetleri bir örnek üzerinde hesaplanarak karşılaştırılmıştır.
- Ayrıca son bölümde uygulamadan gelen pratik önerilere yer verilmiştir. Klima sistemlerinde enerji ekonomisini ilgilendiren değişik öneriler maddeler halinde sıralanmıştır.

1. GİRİŞ

Yapılarda yazın konfor amaçlı mekanik soğutma giderek yaygınlaşmaktadır. Konutlarda ve ticari yapılarda farklı tip klima cihazlarıyla yazın gerçekleştirilen soğutma aynı zamanda önemli bir enerji tüketim kalemi oluşturmaktadır. Burada kullanılan enerji, esas olarak elektrik enerjisidir. Dolayısıyla yaz klimasında en kıymetli enerji kaynağı kullanılmaktadır. Enerji fiyatları çok hızla değişmektedir. Elektrik fiyatlarının da petrole bağlı olarak tırmandığını düşündüğümüzde, enerji maliyetlerinin sistemlerin en önemli özelliği haline geldiğini söylemek mümkündür. Bugün enerji fiyatları ve ilk yatırım maliyetlerine bakıldığında çarpıcı bir tablo ile karşılaşmaktadır. Örneğin bir soğutma grubunun bir soğutma mevsiminde harcadığı elektrik enerjisi, uygulamaya, büyüklüğe ve cinse göre değişmekle birlikte kendi satın alma fiyatının %20-%40'ı mertebesinde dir.

Enerji tüketimini azaltmak mümkündür. Batı toplumlarında bu yönde çok önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Ancak tasarrufa Batı ülkelerinden daha fazla ihtiyacı olan ülkemizde alınan yol maalesef çok azdır. Bu bildiride binada ve klima sisteminde alınacak önlemlerle, enerji tüketimlerinin çok önemli mertebelerde azaltılabileceği tartışılacaktır.

2. BİNA SOĞUTMA YÜKLERİNİN AZALTILMASI

Yazın soğutma yükünü oluşturan ısı kazançlarına bakıldığında, iç yüklerin ve güneşten olan kazançların en büyük payı aldığı görülmektedir. Direkt güneş ışığının taşıdığı enerji= 0,7 kW/m² değerindedir. Doğu, batı veya güney yöne bakan düşey yüzeyler yaklaşık günde 3 kWh enerji alırlar. Bu enerjinin bir kısmı direkt olarak pencerelerden yaşanan hacimlere girer. Işık geçirmeyen opak duvar yüzeylerine düşen ısı enerjisi ise, önce duvar tarafından emilir ve sonra iletimle iç hacimlere geçer. Bir başka önemli etken havalandırmadır. Yazın havalandırma büyük bir ısı kazanç kaynağıdır. Dış hava hem duyulur hem de gizli ısı kazancına neden olur. Aşağıda iki örnek binanın hesaplanan ısı yükü sonuçları verilmiştir:

Örnek 1.

Ele alınan birinci örnek bina, ofis olarak kullanılan bir yüksek bloktur. Fan coil sistemiyle merkezi olarak soğutulan binada 15 Temmuz saat 15.00 için hesaplanan soğutma sistem yükü, yaz dizayn yükü olarak alınmıştır. Bu sırada dış hava sıcaklığı 30.9 °C ve bağıl nemi %68 değerindedir. Bu koşullarda hesaplanan çeşitli ısı kazançları ve bunun soğutma sistemine yük olarak yansıyan değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Işınım ile olan ısı kazançları önce yüzeyler tarafından emilmekte ve sonra yüzeylerden konveksiyonla oda havasına aktarılmaktadır. Bu nedenle tablodaki soğutma yükü ile ani kazanç değerleri arasında fark bulunmaktadır.

Tablo 1. Örnek ofis binası için dizayn ısı kazançları ve soğutma yükleri

Isı Kazancı adı	Duyulur Isı kazancı kW	Gizli Isı kazancı kW	Toplam Isı kazancı kW	Oran,%
Güneşten kazanç	85	0	85	7,7
Dış duvardan kazanç	13	0	13	1,2
Çatıdan kazanç	1	0	1	0,1
Pencereden kazanç	15	0	15	1,4
Ara bölmelerden kazanç	40	0	40	3,6
Aydınlatma kazancı	140	0	140	12,7
Cihazlardan kazanç	94	0	94	8,5
İnsanlardan kazanç	56	63	119	10,7
Toplam ani ısı kazancı	446	63	509	45,9
Toplam soğutma yükü	543	63	606	54,6
Dönüş fanından kazanç	6	0	6	0,5
Besleme fanından kazanç	8	0	8	0,7
Havalandırma ısı kazancı	89	400	489	44,1
Toplam sistem yükü	647	462	1109	100,0

Örnek 2.

Ele alınan ikinci örnek bina 2 katlı fabrika yönetim binasıdır. VAV sistemiyle merkezi olarak soğutulan binada 15 Temmuz saat 15.00 için hesaplanan soğutma sistem yükü yaz dizayn yükü olarak alınmıştır. Bu sırada dış hava sıcaklığı 32 °C ve bağıl nemi %50 değerindedir. Bu koşullarda hesaplanan çeşitli ısı kazançları ve bunun soğutma sistemine yük olarak yansıyan değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Örnek ofis binası için dizayn ısı kazançları ve yükleri

Isı Kazancı adı	Duyulur Isı kazancı kW	Gizli Isı kazancı kW	Toplam Isı kazancı kW	Oran,%
Güneşten kazanç	87	0	87	21,8
Dış duvardan kazanç	7	0	7	1,8
Çatıdan kazanç	6	0	6	1,5
Pencereden kazanç	18	0	18	4,5
Aydınlatma kazancı	48	0	48	12,0
Cihazlardan kazanç	28	0	28	7,0
İnsanlardan kazanç	22	19	41	10,3
Toplam ani ısı kazancı	228	20	248	62,2
Toplam soğutma yükü	287	20	307	76,9
Dönüş fanından kazanç	10	0	10	2,5
Besleme fanı kazancı	18	0	18	4,5
Havalandırma ısı kazancı	28	36	64	16,0
Toplam sistem yükü	343	56	399	100,0

Bu örneklerde de görüldüğü gibi, yazın ısı kazançlarının azaltılmasında,

- 1) Ofislerde iç yüklerin
- 2) Mekanik havalandırma yapılan yerlerde havalandırma yüklerinin ve
- 3) Bütün uygulamalarda güneşten olan kazançların en büyük payı aldığı görülmektedir.

2.1 Önlemler

2.1.1. Direkt Güneş Enerjisi Kazançlarını Azaltmak:

- Dış gölgeleme elemanları. Güneşi içeri ısı olarak emilmeden veya binaya ulaşmadan kestiği için daha etkindir. İçeride ısıya dönüşen güneş ışınımı ancak soğutma ile dışarı atılabilir. Dış gölgeleme sabit veya hareketli olabilir. Bu yolla güneşten olan kazanç %75 veya 90 azaltılabilir.
- İç gölgeleme elemanları. Bunların uygulaması daha kolay ve ucuzdur ve bu yolla ısı kazançlarını %20-70 oranında azaltabilirler.
- Özel camlar kullanmak veya mevcutları ışınım yansıtıcı maddelerle kaplamak,
- Pencere alanını azaltmak sayılabilir.
- Alınan önlemler başka sorunlar yaratabilir. Bunu gözönüne alarak önlem geliştirmelidir. Genellikle güneş yükünü azaltan önlemler kışın güneşten ısı kazancını azaltır. Diğer taraftan doğal aydınlatmayı önleyerek, yapay aydınlatma yoluyla enerji tüketimini artırabilir.

2.1.2. Opak Yüzeylerden Olan Güneş Kazancını Azaltmak:

- Güneşe açık dış duvar yüzeylerini izole etmek etkili bir önlemdir. Böylece dış duvardan olan ısı kazancı %33-58 oranında azaltılabilir.
- Güneş ışığı yutumunu azaltan boyalar, kaplamalar veya tabakalar kullanarak absorbe edilen güneş miktarını azaltmak,
- Çatı arasında etkin bir havalandırma sağlamak,
- Ağaç vb. gölgeleme elemanları kullanarak güneş gelişini engellemek sayılabilir.

2.1.3. Havalandırmadan Olan Kazançları Azaltmak

- Havalandırma miktarlarını güneşten kazancın en fazla olduğu saatlerde azaltmak, buna karşılık özellikle gece saatlerinde havalandırma yapmak ve free cooling imkanından mümkünse yararlanmak en etkin önlemdir.

2.1.4. Aydınlatmadan Olan Kazançları Azaltmak:

- Mümkün olduğu kadar doğal aydınlatmadan yararlanmak,
- Verimli aydınlatma armatürleri kullanmak,
- Aydınlatmadan oluşan ısı kazancını armatür üzerinden doğrudan dışarı atmaya imkan veren armatürler ve sistem kullanmak.

3. SOĞUTMADA İÇ SICAKLIĞI 1°C ARTIRARAK ELDE EDİLECEK TASARRUF

Klima sistemlerinin hemen hepsi etkin bir otomatik kontrol sistemine sahiptir. Dolayısıyla iç sıcaklıkları istenilen bir değerde veya bu değer etrafında bir aralıkta sabit tutabilirler. Burada önemli olan kullanıcı tarafından ayarlanan (set edilen) iç sıcaklık değeridir. Isıtmada ısı yük iç ve dış sıcaklıklar arasındaki farka çok bağlıdır. İç kazançlar ve güneşten olan kazanç çoğu zaman ihmal edilen önemsiz paylara sahiptir. Bu nedenle örneğin İstanbul koşullarında iç sıcaklığın 1°C daha düşük ayarlanması yıllık yakıt tüketiminde yaklaşık %10 mertebelerinde tasarruf sağlayabilmektedir. Buna karşılık yazın ısı yükü oluşturan ısı kazançlarına bakıldığında, iç yüklerin ve güneşten olan kazançların en büyük payı aldığı görülmektedir. Yukarıdaki örneklere göre toplam yükün ancak yaklaşık %25-45'lik bölümünü oluşturan dış yükler, iç sıcaklık değerinden etkilenmektedir. Buna karşılık yazın iç ve dış sıcaklık değerleri arasındaki fark azdır. Bu nedenle iç sıcaklıktaki değişimler kazanca daha büyük oranda etkili olurlar.

Özel olarak nem kontrolünün olmadığı klima sistemlerinin de yazın ortam nemini azaltma etkisi vardır. İstanbul gibi nemli iklimlerde mekanik klimatizasyonun en fazla hissedilen etkisi, belki de soğutmadan çok nemin azaltılmasına bağlıdır. Soğutma yüzeylerinden geçen havadaki nem yoğunlaştırılarak alınır. Bu aynı zamanda bir gizli ısı yükü anlamına gelir. Sistemin rejime girinceye kadar olan dönemdeki çalışması sırasında bu yük çok etkilidir. Sistem rejime girdikten sonra, yani nem değeri kararlı bir düzeye düşürüldükten sonra sistem sadece iç ve dış nem kazançlarını karşılamaya çalışır ki rejim halindeki bu değer duyulur ısı kazançları yanında küçük kalır. İç sıcaklığın 1 °C azaltılması duyulur ısı yükünü artırdığı kadar olmasa da gizli ısı yükünü de artırır. Gizli ısı yükündeki artış belirli ölçüde klima sisteminin cinsine de bağlıdır ve ancak psikrometriden hesaplanabilir. Gizli ısı kazancının hiç olmadığı bir sistemde rejim halinde iç sıcaklığın düşürülmesi sadece duyulur ısı kazancını etkiler. Ancak nem kazancı varsa, iç sıcaklık düşürüldükçe gizli ısı yükü de artar.

İnsanların yazın kendini konforda hissettiği iç şartlar pek çok parametreye bağlıdır ve koşullara göre değişir. Ancak sürekli kalınan ofis veya konut gibi ortamlarda iç sıcaklığın 25 °C değerine set edilmesi ekonomik ve uygun bir seçimdir. Sürekli girilip çıkılan ve kısa süre kalınan yerlerde ise bu değer daha yukarı alınabilir. Burada dış sıcaklıkla 6 °C mertebesinde bir fark yaratılması yeterlidir. Daha düşük sıcaklıklara yapılacak ayarlamalar hem enerji tüketimini artıracaktır, hem de hasta olma riskini yükseltecektir.

3.1. Örnek Binalarda Hesaplanan Isı Kazancı Artışı

Yukarıda örnek alınan binalarda iç sıcaklığın 1 °C azaltılması halinde ısı kazançlarındaki artış hesaplanmıştır. Tablo 3'de birinci örnek bina ele alınmıştır.

Tablo 3. İç sıcaklık 25 °C , RH %58 ve iç sıcaklık 24 °C , RH %60 halleri için Örnek ofis binası dizayn ısı kazançları ve soğutmayükleri.

Kazanç adı	İç sıcaklık 25 C ve RH %58			İç sıcaklık 24 C ve RH %60		
	Duyulur kW	Gizli kW	Toplam kW	Duyulur kW	Gizli kW	Toplam kW
Güneşten kazanç	85	0	85	85	0	85
Dış duvardan kazanç	13	0	13	15	0	15
Çatıdan kazanç	1	0	1	1	0	1
Pencereden kazanç	15	0	15	18	0	18
Ara bölmelerden kazanç	40	0	40	45	0	45
Aydınlatma kazancı	140	0	140	140	0	140
Cihazlardan kazanç	94	0	94	94	0	94
İnsanlardan kazanç	56	63	119	56	63	119
Toplam ani ısı kazancı	446	63	509	455	63	518
Toplam soğutma yükü	543	63	606	555	63	618
Dönüş fanından kazanç	6	0	6	6	0	6
Besleme fanından kazanç	8	0	8	8	0	8
Havalandırma ısı kazancı	89	400	489	104	414	518
Toplam sistem yükü	647	462	1109	673	477	1150

Burada iç sıcaklık değeri termostatta set edilmekte ve bağıl nem değeri ön soğutma serpantini ve fan coiller etkisiyle kendiliğinden oluşmaktadır. İç sıcaklığın 25 ve 24 °C olması hallerindeki bağıl nem değerleri psikrometriden hesaplanmıştır. Kişi başına belirlenen dış hava debisi yüksek olduğu için dış nem kazancı yüksektir ve bu nedenle içeride bağıl nem değeri fazla düşmemektedir. Sonuç olarak iç sıcaklığın termostatta 25 °C'den 24 °C'ye düşürülmesi sistem toplam yükünü pik dönemde 1109 kW değerinden 1150 kW değerine artırmaktadır ki artış %4 mertebesindedir.

Yukarıdaki ikinci örnek binada iç sıcaklığın 1 °C azaltılması halinde ısı kazançlarındaki artış Tablo 4'de hesaplanmıştır. Yine iç sıcaklığın 25 ve 24 °C olması hallerindeki bağıl nem değerleri psikrometriden hesaplanmıştır. Kişi başına belirlenen dış hava debisi daha azdır ve insan sayısı da daha az olduğu için dış nem kazancı azdır. Bu nedenle içeride bağıl nem değeri düşmektedir. Bu binada havalandırma miktarının az olmasına bağlı olarak, iç sıcaklığın termostatta 25 °C'den 24 °C'ye düşürülmesi sistem toplam yükünü pik dönemde 399 kW değerinden 410 kW değerine artırmaktadır ki artış %3 mertebesindedir.

Tablo 4. Örnek ofis binası 2 için dizayn ısı kazançları ve yükleri

Kazanç adı	İç sıcaklık 25 C/%42 RH			İç sıcaklık 24 C/%44 RH		
	Duyulur kW	Gizli kW	Toplam kW	Duyulur kW	Gizli kW	Toplam kW
Güneşten kazanç	87	0	87	87	0	87
Dış duvardan kazanç	7	0	7	8	0	8
Çatıdan kazanç	6	0	6	7	0	7
Pencereden kazanç	18	0	18	21	0	21
Ara bölmelerden kazanç	0	0	0	0	0	0
Aydınlatma kazancı	48	0	48	48	0	48
Cihazlardan kazanç	28	0	28	28	0	28
İnsanlardan kazanç	22	19	41	22	19	41
Emniyet faktörü	11	0	0	11	0	11
Toplam ani ısı kazancı	228	20	248	233	20	253
Toplam soğutma yükü	287	20	307	293	20	313
Dönüş fanından kazanç	10	0	10	10	0	10
Besleme fanından kazanç	18	0	18	18	0	18
Havalandırma ısı kazancı	28	36	64	32	37	69
Toplam sistem yükü	343	56	399	353	57	410

3.2. Tek Zonlu Similasyon Programıyla Hesaplanan Örnek Ofis Binaları

Zamana bağlı olarak ısıtma ve soğutma yükünü hesaplamak ve enerji tüketimini hesaplamak üzere geliştirilen bir programda aynı bina konut olarak ve ofis olarak düzenlenmiş ve her iki durumda soğutma yüklerinin değişimi referans yılın en sıcak bir haftası için koşulmuştur. Bina özellikleri:

Bina oturma alanı: 320 m²

Bina yüksekliği: 12 m

Penceresiz duvar alanları: 962 m²

Pencere alanları: 377 m²

Konut halinde yük değerleri:

İnsan sayısı: 20

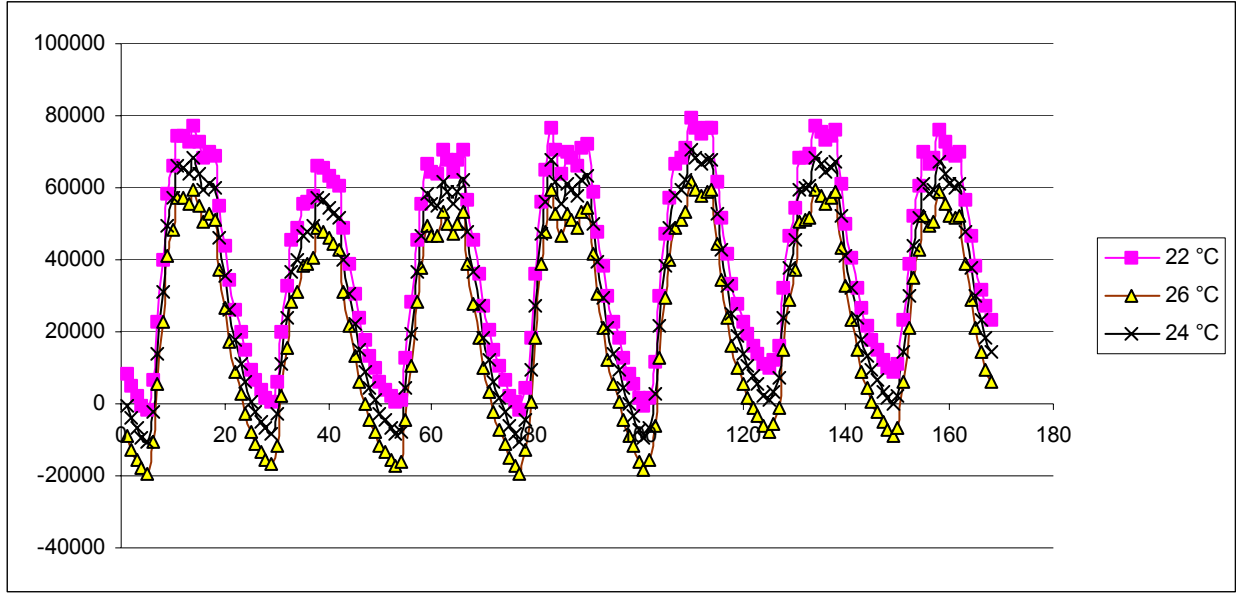
İç kazanç: 500 kcal/h

Aydınlatma: 600 kcal/h

Havalandırma: 3000 m³/h

Duyulur soğutma yükünün değişimi Şekil 1'de görülmektedir. Buna göre pik hafta içindeki en yüksek yükün gerçekleştiği saatteki soğutma yükleri Tablo 5'de verilmiştir:

Buna göre 2 °C iç sıcaklık azaltması pik yükte soğutma yükünün yaklaşık 9000 kcal/h artmasına neden olmaktadır. Toplam soğutma yükünden hareketle 1°C sıcaklık farkı için yükte değişme oranı % 5 olmaktadır.



Şekil 1. Konut halinde pik hafta boyunca duyulur ısı biçimindeki soğutma yükünün (kcal/h) saatlik değişimi. Yatay eksen saatleri ve dikey eksen soğutma yükünü göstermektedir.

Tablo 5. Konut örneğinde pik hafta içindeki en yüksek yükün gerçekleştiği saatte hesaplanan soğutma yükleri

İç sıcaklık °C	Dış sıcaklık °C	Duyulur soğ. yükü kcal/h	Gizli soğutma yükü kcal/h	Toplam soğ. yükü kcal/h
22	30	79310	15720	95030
24	30	70579	15180	85759
26	30	61844	14640	76484

Aynı binanın ofis olarak düzenlenmesi durumunda, binanın yük değerleri aşağıda verilmiştir:

İnsan sayısı: 90

İç kazanç: 10000 kcal/h

Aydınlatma: 14600 kcal/h

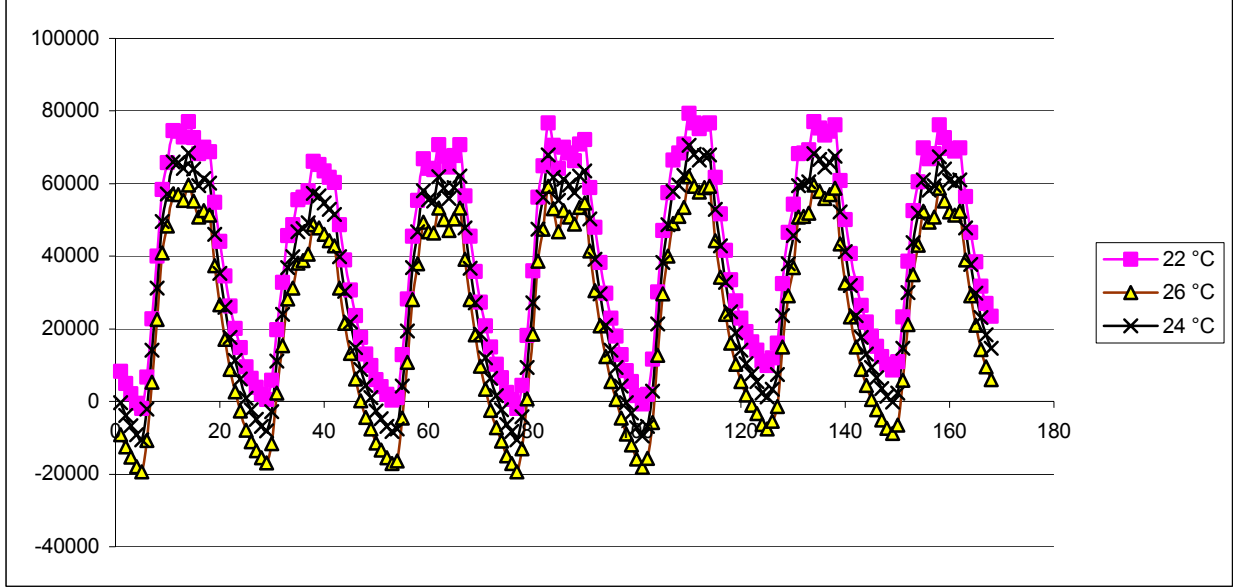
Havalandırma: 9000 m³/h

Ofis halinde iç yüklerde ve havalandırma yüklerinde artış olmaktadır. Bu hal için yapılan hesaplara göre duyulur soğutma yükünün değişimi Şekil 2'de görülmektedir. Pik hafta içindeki en yüksek yükün gerçekleştiği saatteki soğutma yükleri Tablo 6'da verilmiştir:

Tablo 6. Ofis örneğinde pik hafta içindeki en yüksek yükün gerçekleştiği saatte hesaplanan soğutma yükleri

İç sıcaklık °C	Dış sıcaklık °C	Duyulur soğ. yükü kcal/h	Gizli soğutma yükü kcal/h	Toplam soğ. yükü kcal/h
22	30	123731	48708	172439
24	30	111399	47088	158487
26	30	99067	45468	144535

Buna göre 2 °C iç sıcaklık azaltması pik yükte soğutma yükünün yaklaşık 14000 kcal/h artmasına neden olmaktadır. Toplam soğutma yükünden hareketle 1°C sıcaklık farkı için yükte değişme oranı % 5 olmaktadır.



Şekil 2. Ofis halinde pik hafta boyunca duyulur ısı biçimindeki soğutma yükünün (kcal/h) saatlik değişimi. Yatay eksen saatleri ve dikey eksen soğutma yükünü göstermektedir.

4. FANLARDA ENERJİ TASARRUFU

HVAC sistemlerinde fanların enerji tüketim payları çok önemlidir. Özellikle tam havalı klima sistemlerinde yıllık elektrik enerjisi tüketiminde fanlar en büyük paya bile sahip olabilir. Tablo 7'de ABD'de iki farklı tam havalı klima uygulamasındaki yıllık elektrik enerjisi tüketimleri verilmiştir. Her iki uygulamada da klima santralleri (dolayısıyla fanlar) en büyük elektrik enerjisi tüketim noktalarıdır. Bu büyük payda, kullanılan klima sisteminin etkisi de gözden kaçırılmamalıdır. Söz konusu klima sistemi tam havalı olup, bütün ısıtma ve soğutma işlemleri havayla sağlanmaktadır. Bu nedenle binada büyük ölçüde hava dolaştırılmak zorundadır.

Tablo 7. İki farklı tam havalı klima uygulamasındaki yıllık elektrik enerjisi tüketimleri

	67500 m ² okul binasında yüksek basınçlı tam havalı klima uygulaması	90000 m ² ofis ve konut yüksek blok yüksek basınçlı tam havalı klima uygulaması
Soğutma kompresörleri	1678 kWh (%15)	2361 kWh (%18,2)
Soğutma yardımcı elemanları	543 kWh (%5)	2757 kWh (%21,4)
Isıtma yardımcı elemanları	434 kWh (%4)	394 kWh (%3,1)
Klima santrali	3691 kWh (%34)	5026 kWh (%39)
Aydınlatma	3365 kWh (%31)	1022 kWh (%7,9)
Diğer (temiz su, asansör vs)	1194 kWh (%11)	1336 kWh (%10,4)

Binalarda mekanik tesisatta havalandırma fanları, klima santrali fanları, kule fanları, havalı tip chiller fanları gibi farklı amaçlarla kullanılan fanlar mevcuttur. Bu fanlar sabit debili ve değişken debili olabilir. Genellikle kullanılan tipler sabit debili fanlardır. İhtiyacın değişken olduğu yerlerde değişken debili fanların kullanılması büyük enerji tasarrufu sağlar. Ancak mevcut sistemlerde her uygulamada sabit debili fanları değişken debili fanlara dönüştürme imkanı yoktur. Bu nedenle fanlar için enerji tasarrufu imkanı, fanın kullanıldığı uygulamaya göre değerlendirilmelidir. Herşeyden önce **“fanlara verilen enerji klima kanallarında tüketilir”** gerçeği aklından çıkarılmamalıdır. Bunun için de öncelikle kanal sistemi optimum enerji maliyeti oluşturacak biçimde tasarlanmalıdır.

4.1. Mevcut Sabit Debili Klima Sistemlerinde Fan Enerjisinden Tasarruf

Mevcut sabit debili sistemlerin VAV haline dönüştürülmesi söz konusu değildir. Bu sistemlerde fan enerjisindeki tasarruf, fazla kapasitenin uygun yöntemlerle ihtiyaç duyulan kapasiteye düşürülmesiyle mümkündür. Klima ve havalandırma santrallerindeki fanlar genellikle hesap belirsizlikleri ve emniyet kaygısıyla büyük seçilirler. Bu fazla kapasite sistem tipine bağlı olarak çeşitli biçimlerde enerji kaybına neden olur. Fanda harcanan güç fanın debisini küpüyle orantılı olduğundan, debide meydana gelecek küçük bir azalma güç gereksinimini büyük ölçüde azaltacaktır. Debinin %20 düşürülmesi, güç ihtiyacını yarıyarıya azaltır. Bunun için iki önlem önerilebilir:

1. Fan kapasitesini uygun yöntemlerle kabul edilebilecek minimum değere düşürmek, yani hava debisini azaltmak. Burada sisteme gönderilen hava debisi azaltılmaktadır.
2. Fan debisini verimsiz bir biçimde ayarlamakta kullanılmış olan, damper gibi elemanları ortadan kaldırmak ve fan debisini düşürmek. Bu durumda sisteme gönderilen hava debisinde bir değişiklik olmamaktadır.

Birinci yöntemin uygulanmasında sistem performansı dikkate alınmalıdır. Bazı koşullarda fan enerjisinden olan kazanç sistem performansındaki düşme ile kaybedilebilir.

Fan debisini düşürmenin en uygun yolu devir sayısının düşürülmesidir. Sabit devirli kayış-kasnakla tahrik edilen fanlarda devir sayısının düşürülmesinin en kolay yolu kasnak değiştirmektir. Genellikle bütün büyük kapasiteli fanlar kayış-kasnak tahrikli olduğundan bu yöntem kolaylıkla uygulanabilir.

Sabit devirli fanlarda giriş ve çıkışta damper veya benzeri bir elemanla kapasite kontrolü yapılıyorsa, bunları çıkartarak veya tam açık pozisyona getirerek, debi ayarını kayış kasnakla yapmak büyük kazanç getirir.

Kayış kasnak tertibatı transfer edilen gücün %3ile %10'u arasında bir enerjinin kaybına neden olur. Bu kayıp enerjinin azaltılması için kasnak çaplarının çok küçük ve çok büyük olmasından kaçınmak gerekir. Kasnaklardan biri çok küçükse her iki kasnak birden büyütülerek sorun giderilir. Eğer direkt tahrikli fan kullanılıyorsa, kapasite ayarı için en uygun yöntem girişteki vorteks damperleridir. Giriş hava yönlendirme kanatları da denilen bu damperler daha az kayıpla kapasite ayarı yapabilirler.

4.2. Yeni Yapılacak VAV Klima Sistemlerinde Fan Enerjisinden Tasarruf

Yeni yapılacak olan klima sistemlerinde sabit debili veya değişken debili sistem seçimi alternatifleri vardır. Çok zonlu sistemlerde VAV sistemin alternatifi, reheat uygulanan sabit debili tam havalı sistemlerdir. Bu iki sistemin karşılaştırılmasında, VAV işletme ekonomisi açısından iki önemli avantaj sunmaktadır:

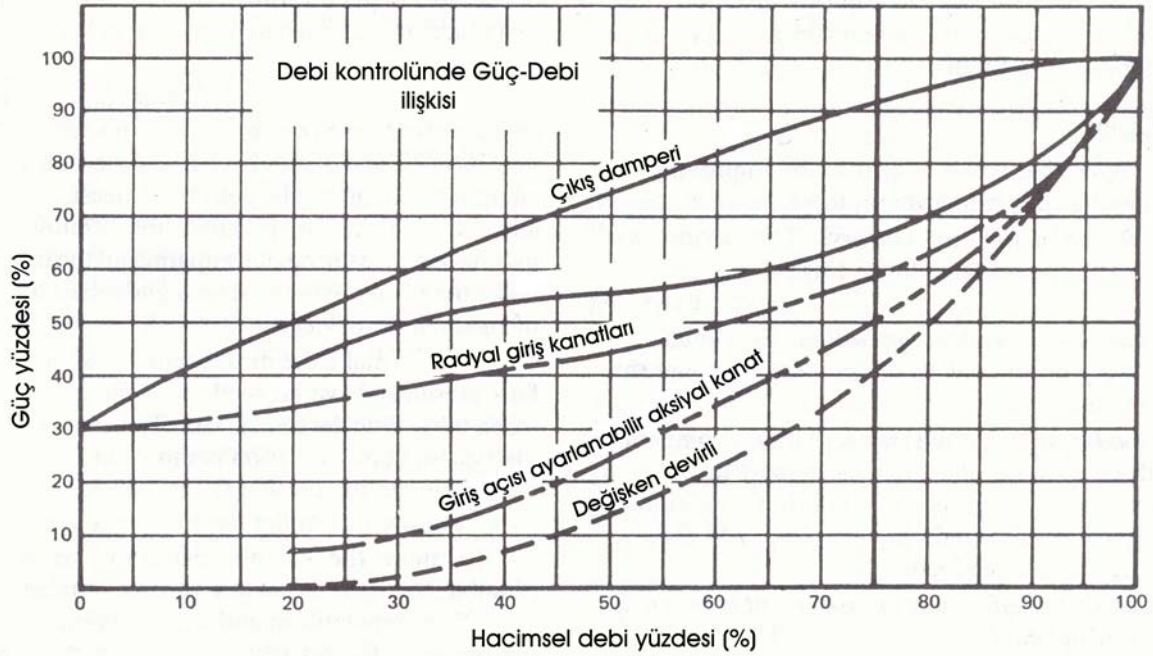
1. Reheat gereksinimi ortadan kalkmaktadır.
2. Fan enerjisinden tasarruf sağlanmaktadır.

Reheat ihtiyacını kaldırması yönündeki avantajı bir kenara bırakılırsa, Değişken Debili (VAV) sistem alternatifi, sadece fan enerjisinden sağladığı tasarruf nedeniyle işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilmektedir. İTÜ Makina Fakültesinde tek zonlu basit bir paket program kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasında VAV sistemle, sabit debili klima sistemine göre, yıllık elektrik enerjisi tüketiminde %45 oranında tasarruf sağlamak mümkün görülmektedir. Ele alınan ve pik soğutma yükü

500 kW mertebesinde olan örnek sistemde bu, yıllık 81 MWh elektrik enerjisi tasarrufuna karşı gelmektedir.

Büyük enerji tasarrufu potansiyeli nedeniyle, değişken yüklü ve çok zonlu sistemlerin klimatizasyonunda VAV sistemleri tartışmasız tercih edilen sistemler haline gelmiştir. Ancak VAV sistemlerin sağladığı ideal ekonomi noktasına ulaşabilmek için VAV sistemlerini soğutma amacıyla kullanmak gerekmektedir. Bu sistemlere aynı zamanda ısıtma fonksiyonu yüklenmeye çalışıldığında, ekonomiden giderek uzaklaşmaya başlanmaktadır. Bu nedenle VAV sistemlerin statik ısıtma sistemleriyle birlikte kullanılması işletme ekonomisi ve konfor açısından çok önemlidir.

VAV sistemlerinde fan gücünden sağlanan tasarrufun istenen düzeyde olması için fan kapasite kontrol yönteminin uygun olması gerekir. Daha önce de ifade edildiği gibi kapasite ayarındaki en iyi yöntem devir ayarıdır. Bu nedenle değişken devirli fanlar VAV sistemleri için en uygun fanlardır. İkinci sırada uygun olan yöntem girişteki açısı ayarlanabilir aksiyal hava yönlendirme kanatları kullanmaktır. Farklı yöntemlerle fan kapasite ayarının güç kullanımına etkisi Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3 Fan debisi kontrol yöntemine göre güç kullanım yüzdesi değişimi

Eğer klima sistemindeki yük profili biliniyorsa bu eğri kullanılarak fan gücünden yapılabilecek tasarruf hesaplanabilir. Tarafımızca yapılan bir çalışmada, örnek bir yapının pik yükün olduğu hafta boyunca saatlik soğutma ihtiyacı hesaplanmıştır. Bir ofis binası olan bu örnekte 7-19 saatleri arasında günde 12 saat çalışılmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen yük dağılımı Tablo 8'de ilk iki sütunda verilmiştir. Buna göre söz konusu yük aralığında kalma oranı üçüncü sütuna işlenmiştir. Baştaki yük oranına göre değişken devirli fanın güç kullanma oranı Şekil 3'den okunarak Tablo 8'de son sütuna yazılmıştır. Son sütundaki değerlerin üçüncü sütunda verilen zaman oranlarına göre ağırlıklı ortalaması %55 bulunmaktadır. Yani hesaplanan pik haftanın değişken debide ortalama güç kullanım oranı %55 değerindedir. Buna göre VAV sisteminde bu örnek ofis binasında İstanbul ikliminde sabit debili sisteme göre pik haftada fan güç tasarrufu %45 olmaktadır.

Tablo 8. Değişken devirli fanlarla örnek ofis yapısında elde edilen enerji tasarrufu

Soğutma yük oranı	Bu yükte saat olarak çalışma süresi	Bu yükte zaman olarak kalma oranı	Bu yükte fanın kullandığı güç oranı
0,4-0,5	3	0,04	0,10
0,5-0,6	4	0,05	0,18
0,6-0,7	8	0,10	0,28
0,7-0,8	15	0,18	0,40
0,8-0,9	34	0,40	0,60
0,9-1,0	20	0,24	0,85
		Ağırlıklı ortalama=	0,55

Aynı çalışmada konut örneği de ele alınmıştır. Konut halinde 24 saat çalışma esas alınarak, yük dağılımı ve Şekil 1'den okunan her yük aralığındaki fanın güç kullanım oranları Tablo 9'da verilmiştir. Konut halinde zaman ağırlığına göre hesaplanan pik haftanın ortalama güç kullanım oranı %44 değerindedir. Buna göre VAV sisteminde bu örnek konut binasında İstanbul ikliminde sabit debili sisteme göre pik haftada fan güç tasarrufu %56 olmaktadır. Pik haftanın dışındaki dönemlerde kısmi yükte çalışma daha fazla olacağından, tasarruf oranı daha da yükselecektir.

Tablo 9. Değişken devirli fanlarla örnek konutta elde edilen enerji tasarrufu

Soğutma yük oranı	Bu yükte saat olarak çalışma süresi	Bu yükte zaman olarak kalma oranı	Bu yükte fanın kullandığı güç oranı
0,3-0,4	10	0,10	0,04
0,4-0,5	7	0,07	0,10
0,5-0,6	11	0,11	0,18
0,6-0,7	12	0,12	0,28
0,7-0,8	13	0,13	0,40
0,8-0,9	29	0,29	0,60
0,9-1,0	18	0,18	0,85
		Ağırlıklı ortalama=	0,44

Kaynak listesinde [1]No'lu kaynakta fan modülasyon yöntemine, yük profiline, VAV terminallerinin tipine ve diğer faktörlere bağlı olarak fan enerjisinden yıllık %30-70 oranında tasarruf yapmanın mümkün olduğu söylenmektedir. Gerçekten de yukarıda verilen örnek hesaplamalarda tasarruf oranları bu mertebelerde bulunmuştur.

Fan enerjisinden olan kazanç yanında VAV sistemlerinde kanallardan olan kaçakların azalması nedeniyle de soğutma yükünden yüzde birkaç mertebesinde tasarruf sağlanabilir. Bir başka önemli konu da klima santral fanlarındaki verimsizliklerin ısı enerjisi olarak içinden geçen havaya yüklenmesidir. Fan tarafından içinden geçen havaya yüklenen ısı sonucu hava sıcaklığındaki artış aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$\Delta t = 0.008\Delta p / \eta_F$$

Burada Δp (mmSS) fan basıncı, η_F fan verimidir. Eğer $\Delta p = 100$ mmSS ve $\eta_F = \%70$ ise fan içinden geçen hava, $1,15^\circ\text{C}$ ısınmaktadır. Hava debisinin $30.000\text{m}^3/\text{h}$ olduğu bu sistemde 25.000 kWh sezonluk ısı kazancı olmaktadır.

VAV sistemlerde değişken devirli fanlar kullanmanın ekonomisi sistem büyüklüğüne bağlıdır. Büyük sistemlerde geri ödeme süreleri birkaç yıl mertebesinde olabilmektedir.

4.3. Kule Fanları

Kule fanları istenen su sıcaklığına set edilmelidir. Kondenser devresi kapansa bile, su sıcaklığı set edilen değere düşene kadar fan çalışmalıdır.

Bir alternatif ise dış hava yaş termometre sıcaklığına göre çalıştırmaktır.

Eğer kule tek chillere hizmet veriyorsa, chiller durunca kule fanı da durabilir.

4.4. Garaj Havalandırma Fanları

Garajlarda kullanılan havalandırma fanları genellikle çok büyüktür. Gereksinim olmadığı zamanlarda bu fanların çalıştırılmaması büyük kazanç sağlar. Garaj havalandırma fanları standartlar gereği iki kademeli veya yarı güçte iki tane olmalıdırlar. Dolayısıyla ihtiyacın az olduğu dönemlerde birinci kademede (veya tek fanla) çalışma yapılır. Garaj havalandırmalarında değişken devirli fanların kullanılması da mümkündür. Bu durumda fanlar CO sensörlerinden kumanda alırlar. Değişken devirli fanlarla elde edilecek kazanç tamamen kullanımdaki değişkenliğe bağlıdır. Alışveriş merkezlerinin kapalı garajlarında olduğu gibi değişimin fazla olduğu yerlerde bu tür fanlarla elde edilecek kazanç fazladır.

4.5. Mutfak ve Banyo Egzoz Havalandırma Fanları

Bu tip fanlar genellikle sabit devirli fanlardır. Buralarda fan enerjisinden tasarruf için aşağıdaki önlemler sayılabilir:

1. Kademeli devirli fanlar kullanılabilir.
2. Fanların gerekli olmadığı zamanlarda çalıştırılmaması (zaman saatleri kullanılması) sağlanabilir.
3. Merkezi egzoz fanları yerine, lokal fanlar kullanılması ve bu fanların bağımsız kumandaları (aydınlatmadan, zaman saatlerinden veya kullanıcılardan) olması sağlanabilir.

5. SİRKÜLASYON POMPALARININ ENERJİ MALİYETLERİNİN AZALTILMASI

Özellikle tam sulu klima sistemlerinde, yıllık elektrik enerjisi tüketiminde pompalar önemli paya sahiptir. Bu tür klima sistemlerinde, pompaların HVAC cihazlarının toplam elektrik tüketimleri içinde payı %3-12 mertebesindedir.

Binalarda mekanik tesisatta soğutma devresi soğuk su sirkülasyon pompaları, kondenser devresi (soğutma kulesi) pompaları, sıcak su sirkülasyon pompaları gibi farklı amaçlarla kullanılan sirkülasyon pompaları mevcuttur. Sirkülasyon pompaları genellikle küçük güçlü olup, bu pompalar sabit debili ve değişken debili olabilir. Genellikle kullanılan tipler sabit debili pompalardır. İhtiyacın değişken olduğu yerlerde değişken debili pompaların kullanılması büyük enerji tasarrufu sağlar. Ancak mevcut sistemlerin yenilenmesinde, her uygulamada sabit debili pompaları değişken debili pompalarla değiştirme imkanı yoktur.

5.1. Soğutma Kulesi Pompaları

Soğutma kulesi pompalayıyla ilgili öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bir su soğutmalı chiller kendine ait bir bağımsız soğutma kulesine sahipse, chiller durduğunda soğutma kulesi pompası ve fanı da durmalıdır.
- Eğer tek kule birden çok chillere hizmet veriyorsa, chiller durduğunda kendine ait kule pompasının durması konusunda dikkatli olmalıdır. Diğer chillerlerde dolaşan su miktarı azalmamalıdır. Üretici

tavsiyelerine uyulmalıdır. Çalışan kondenserde debinin azalması ısı geçiş performansını azaltabilir ve su geçiş kesitlerinde azalan hız nedeniyle çökelmelere neden olabilir.

- Duran chillerin pompası durduğunda bir selonoid veya motorlu vana ile duran kondenser devresi kapatılabilir. Bu durumda gereksiz yere bu devrede su dolaşmaz ve diğer devrelerin debileri azalmaz
- Kule devresinde azalan su debisi kule performansını da düşürebilir. Bu nedenle azalan debi ile kule performansı da araştırılmalıdır. Minimum su debisi sınırlamaları sorulmalıdır. Kulede bağımsız hücreler mevcutsa uygun boru bağlantısıyla bu sakınca ortadan kalkar.
- Tasarruf potansiyeli burada kullanılan enerjide % 5-30 arasındadır.

5.2. Soğuk Su Sirkülasyon Devresi Pompaları

Soğuk su sirkülasyon devrelerinde basınç düşümleri aşağıdaki mertebelerdedir:

Chiller üzerinde basınç düşümü maksimum: 80 kPa (% 35)

Fan-coil üzerinde basınç düşümü maksimum: 30 kPa (%15)

Boru tesisatında basınç düşümü (ortalama bir mertebe olarak): 120 kPa (%50)

Sirkülasyon pompaları için aşağıdaki genel kurallardan söz edilebilir:

- Pompayı sistemdeki debi ve basınç gereksinimlerine göre seç veya ayarla.
- Değişken debili su dağıtım sistemi kur
- Yüksek verimli pompa motorları kullan
- Her kondensere ayrı pompa kullan
- Her chillere ayrı primer pompa+ çek vana (veya selonoid vana) kullan
- Sekonder devrede (fan coil ve klima santralleri devresi), denge kabı + her zona ayrı sekonder pompalar kullan

5.2.1. Primer (chiller) soğuk su devresi

Paralel bağlı çoklu chiller gruplarında, primer soğuk su devresinde her chillerin kendi sirkülasyon pompası olmalı ve pompa chillere basmalıdır. Her pompa chiller durduğunda durmalı ve sabit debili olmalıdır. Bu pompalar sadece chillerdeki direnci yenecek basınçta seçilmelidirler. Sistemde suyun dolaştırılması sekonder pompalarla sağlanmalıdır. Pompa debisi ise chiller üreticisi tavsiyelerine göre seçilmelidir. Debinin fazla olması pompa güç ihtiyacını artırırken, debinin azalması sıcaklık yükselmesine ve serpantinlerde kir birikimine neden olur.

Her pompa çıkışında bir çek vana olmalıdır. Bu vana çalışmayan chillerde ters yönde su dolaşımını engeller. Duran chillerde dolaşımın engellenmesi, diğer evaporatörlerde hız düşümüne bağlı performans düşmelerini önler. Ancak bu çek vana sürekli enerji tüketecektir. Bunun yerine iki yollu selonoid vana kullanılabilir. Selonoid vana da chiller durduğunda devreyi kapatır, geri akışı önler, çalışma sırasında da enerji tüketimine neden olmaz. Ancak, arıza yapma riskinin daha az olması ve basit yapıları nedeniyle çek vanalar genellikle daha çok tercih edilir.

Chillerlerde su sıcaklığının düşürülmesi, kompresörde daha verimsiz bir çalışma anlamına gelir. Chiller su çıkış sıcaklığının 1 °C düşürülmesi kompresör veriminin kabaca %4 düşmesine neden olur. Chiller su çıkış sıcaklığını, sıcak su kazanlarında olduğu gibi dış hava sıcaklığına (ve nemine) göre ayarlamak chiller kontrol paneli üzerinden mümkün değildir. Kendi üzerindeki kontrol paneli chiller su çıkışını ayarlanan belirli değerde tutacak şekilde çalışır. Genellikle chiller su çıkış sıcaklığından değil, su dönüş sıcaklığından kumanda olarak çalışır. Ancak bina otomasyonu ile dış koşullara bağlı olarak su sıcaklığını değiştirmek imkanı vardır. Bina otomasyonunda böyle bir program yazılabilir. Otomasyon programının da chiller paneliyle haberleşebilme özelliği olmalıdır. Bazı otomasyon programlarında bu mümkündür.

5.2.2. Sekonder (kullanıcı) soğuk su devresi

Kullanıcı devresinde santral ve fan-coillerde iki tür kontrol mümkündür. Birinci kontrol 3 yollu motorlu kontrol (by-pass) vanalarıyla yapılan kontroldür ki pompaların sabit debili olmasını ve sürekli çalışmasını gerektirir. İkinci kontrol iki yollu vanalarla yapılır. İhtiyaca göre cihazdan geçen debi kısıılır. Bu durumda devrede dolaşan akışkan miktarı değişkendir.

Değişken debili devrelerde sirkülasyon pompalarının değişen debiyi takip edebilecek şekilde çoklu paralel düzenlenmesi veya değişken debili özellikte olması halinde, önemli ölçüde pompa enerjisinden tasarruf sağlanır. Sekonder devre sistem sirkülasyon pompalarının gerekli debi değerine uyum sağlayacak şekilde değişken debili çalışmaları halinde enerji tasarruf potansiyeli, gerekli pompa enerjisinin %20-70'i ve chiller enerjisinin %1-5'i mertebesindedir.

Genel kural olarak sekonder pompalar:

- her zon için ayrı ayrı teşkil edilmeli,
- gerekli yerlerde frekans konvertörlü değişken devirli olmalıdır.

5.3. Değişken Debili Soğuk Su Devresi Enerji Tasarruf Potansiyeli

Böyle bir devrede iki biçimde enerji tasarrufu gerçekleştirilir:

1. Pompalama enerjisinden tasarruf
2. Pompa kayıpları nedeniyle soğuk suyun ısınması önlenir ve buradan tasarruf sağlanır.

5.3.1. Pompalama Enerjisinden Tasarruf

Pompalama enerjisinden tasarruf için soğuk su devresi; primer (chiller) devresi ve sekonder (kullanıcı) devresi olarak ayrılmalıdır. Chiller devresinde her bir chillere bir sabit devirli pompa konulmalıdır. Chiller çıkışında ise bir çek valf bulunması yeterlidir. Mümkünse yük birden çok chiller ile karşılanmalıdır. Bu durumda chillerler ve pompaları sıra ile devreye girecektir. Çalışmayan pompalar nedeniyle pompalama enerjisinden tasarruf sağlanacaktır.

Sekonder devrede değişken devirli pompalarla, sabit debili sistemlere göre elektrik enerjisi tüketiminde önemli bir tasarruf sağlanır. Sağlanan tasarruf sistemdeki yük karakteristiğine bağlıdır. Sistem ne kadar çok kısmi yüklerde çalışırsa, sağlanan tasarruf aynı oranda yüksek olacaktır. Değişken debili sistemlerde hem kullanıcılar (fan-coil) üzerinde ve hem de boru devresi üzerinde tasarruf temin edilir.

Örnek:

Her biri 3500 kW soğutma gücünde üç chiller kullanılan bir soğutma sistemi primer devresinde, her bir chiller pompası 820 m³/h debisinde ve 75 kW gücündedir. Sistemde kullanıcı (sekonder) devresinde pik yükte ihtiyaç 8400 kW ve yıllık ortalama yükte ise ihtiyaç 2800 kW değerindedir. 1. chiller zamanın %100'ünde, 2. chiller zamanın %40'ında ve 3. chiller zamanın sadece %10'unda çalışmaktadır. Sabit debide sürekli toplam pompalama enerjisi güç ihtiyacı 225 kW değerindedir.

A) Buna göre chiller devresindeki pompaların devrede kalma süreleri dikkate alınarak, hepsinin bütün zaman devrede kalmasına göre güç ihtiyacı= $1/3 \times 100 + 1/3 \times 40 + 1/3 \times 10 = 50$ olacaktır. Yani böyle bir düzenlemede primer pompalarda enerji tüketimi, sabit debiyle bütün chillerlerin ortak bir pompa grubundan sürekli beslenmesine göre %50 mertebesine düşecektir.

B) Fan-coil üzerinde basınç sabittir ve debi kapasiteyle orantılı olarak düşer. Ortalama yük 2800 kW ve orijinal yük 3*3500 kW değerindedir. Pompalama enerjisi yükle orantılı olarak $2800/(3 \times 3500) = 27$ değerine düşer. Ancak pompa hızındaki düşüşe bağlı olarak %20 oranında pompa ve motor kayıpları oluşur. Bu kayıplar ilave edilince fan-coil için sabit debili pompalamaya göre pompadaki güç ihtiyacı ortalama %32 değerine ulaşır.

C) Dağıtım devresinde pompalama güç ihtiyacı akış debisinin kübü ile orantılı olarak değişir. Yıl boyunca gerekli pompalama gücü değişiminin hesabı için yıl boyunca soğutma yükü profili bilinmelidir.

Bu değişim çoğunlukla bilinmez. Pompa ve motor kayıpları dahil değişken debili sistemdeki pompalama güç ihtiyacının sabit debili sistemin ortalama olarak %30'u mertebesinde olduğu kabul edilebilir.

Bu tasarrufların hepsi üstüste toplanırsa, soğutma mevsimi boyunca toplam pompalama güç ihtiyacının sabit debili sistemin ancak 1/3'ü mertebesinde olduğu görülmektedir. Buna göre sabit debili sistemde soğutma mevsimi boyunca 225 kW olan pompalama enerjisi ihtiyacının, değişken debili sistemde 75 kW değerine düşeceği söylenebilir.

Sonuç olarak incelenen bu örnekte değişken debili bir sistem kullanma suretiyle pompalama enerjisinden sabit debili bir sisteme göre, yıllık ortalama olarak %67 oranında tasarruf edilirken, bu tasarrufun sistemin yıllık ortalama olarak gerekli kompresör tahrik gücünün (COP= 3 kabul edilirse) yaklaşık %15'i mertebesinde olduğu görülmektedir.

5.3.2. Pompa Kayıpları Nedeniyle Soğuk Suyun Isınmasından Tasarruf

Pompada oluşan kayıplar ısı enerjisi olarak pompadan geçmekte olan akışkana aktarılır. Soğuk su devresinde de sirkülasyon pompalarının kayıpları suyun ısınmasına neden olur ve ısı kazancı olarak chillere yüklenir. Bu pompadaki ısıtma dolayısıyla suya ilave edilen ve chillere yüklenen enerji pompa gücünün yaklaşık %20'si mertebesindedir. Değişken devirli pompalarda kayıp enerji az olduğundan ve pompalar düşük güçte sürekli yüksek verim bölgelerinde çalıştıklarından, bu biçimdeki ısınmalar da az olur ve bu ayrı bir tasarruf kalemi oluşturur.

5.4. Sıcak Su Sirkülasyon Hatlarında Değişken Debili Pompa Kullanımında Yıllık Enerji Tasarrufu

Isıtma devrelerinde kullanılan sirkülasyon pompaları tükettikleri toplam enerji açısından daha önemlidir. Bütün binalarda ısıtma yapılmak zorundadır ve bu amaçla kullanılan sıcak sulu merkezi ısıtma sistemleri çok yaygındır. Her ne kadar sirkülasyon pompaları küçük güçlü olsalar da, sürekli çalıştıklarından ve çok sayıda olduklarından toplamda tükettikleri elektrik enerjisi çok büyüktür. AB ülkelerinde konut ısıtmada kullanılan küçük (gücü 250 W'dan küçük) sirkülasyon pompaları yılda yaklaşık olarak 40 TWh/yıl (= 40.10⁶ kWh/yıl) elektrik enerjisi tüketmektedirler [2].

Sirkülasyon pompaları zamanlarının büyük kısmında kısmi yükte çalışırlar. Almanya için ısıtmada kullanılan sirkülasyon pompaları kısmi yüklerde yıllık çalışma süresi oranları aşağıda verilmiştir. Buna göre pompa ısıtma mevsiminde % 44 oranında, %25 kısmi yükte çalışmaktadır. Bu tür bir çalışma rejiminde değişken devirli pompalar kullanılarak yılda %25-80 elektrik enerjisi tasarrufu yapmak mümkündür [2].

Debi oranı	Zaman oranı
%100 Tam yük	%6
%75 Kısmi yük	%15
%50 Kısmi yük	%35
%25 Kısmi yük	%44

Sıcak su tesisatında kullanılan sirkülasyon pompalarının sağladığı tasarrufun değerlendirilmesi için tarafımızca da bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Ankara'da tipik bir kış mevsimi boyunca sirkülasyon pompalarının enerji tüketimi hesaplanmıştır.

Bunun için göz önüne alınan yöredeki dış sıcaklıklar 4 °C'lik aralıklara bölünmüş ve her aralıkta sıcaklığın yılda kaç saat kaldığı Türkiye İklim Verilerinden hesaplanmıştır. Her aralığı, ortasındaki sıcaklık değeri karakterize etmektedir. Bütün bu orta sıcaklık değerleri için kısmi yük; bu kısmi yükte termostatik vana tarafından kısılan suyun debisi ve radyatör su çıkış sıcaklığı hesaplanmıştır. Değişken devirli pompanın, basıncı sabit tutacak biçimde çalıştırıldığı dikkate alınarak gerekli güç değeri bulunmuştur. Güç değeri bu aralıkta kalma süresiyle çarpılarak harcanan elektrik enerjisi

bulunmuştur. Her aralıktaki enerji tüketimlerinin toplamı değişken debili pompanın yıllık enerji tüketimini verecektir. Bu değer elektrik fiyatıyla çarpılarak yıllık enerji maliyeti bulunabilir.

Öte yandan sabit debili halde güç değeri sabit kalır. Bu sabit güç değeri yıllık çalışma saatiyle çarpılarak sabit debili sistemin enerji tüketimi kolayca bulunabilir. Tablo 10'da Ankara için 90/70 °C sistemde yapılan hesaplar verilmiştir. Sistem ısı gücü 1.000.000 kcal/h olarak alınmıştır. Buna göre değişken debili pompanın,

yıllık elektrik tüketimi= 913 kWh

yıllık maliyeti= 146 EURO olmaktadır.

Buna karşılık sabit devirli pompanın,

yıllık enerji tüketimi= 833 x 4957= 4129 kWh

yıllık maliyeti= 661 EURO olmaktadır.

Her iki tip pompa arasında yıllık enerji tüketim farkı 3218 kWh ve bunun parasal karşılığı 515 EURO değerindedir. Tasarruf oranı %78 olarak hesaplanmıştır.

Tasarruf oranı şehirlere bağlı değildir. İstanbul için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak mevsim daha uzun olduğu için yıllık parasal tasarruf Ankara'da daha fazla olmaktadır. Sistemin su sıcaklıkları farklı olması halinde tasarruflar da değişmektedir. Aynı uygulama için 75/60 °C sistem düşünüldüğünde, her iki tip pompa arasında yıllık enerji tüketim farkı 4328 kWh ve bunun parasal karşılığı 692 EURO değerindedir. Tasarruf oranı %79 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 10. ANKARA'da 90/70 °C sistemde $Q_{dizayn}=1000000$ kcal/h olan bir sistemde değişken debili sirkülasyon pompasının yıllık enerji tüketimi hesabı.

Sıcaklık aralığı	Zaman	Kısmi yük	Su çıkış sıcaklığı	Isıl güç	Su debisi	Pompa basıncı	Pompa gücü	Enerji tüketimi	Elektrik Maliyeti
°C	h/yıl	-	°C	kcal/h	kg/h	kPa	W	kWh	EURO
15...11	841	0,23	22,0	225806	3321	30	55	47	7
11...7	1085	0,35	26,8	354839	5615	30	94	102	16
7...3	1080	0,48	33,5	483871	8564	30	143	154	25
3...-1	1059	0,61	41,5	612903	12637	30	211	223	36
-1...-5	517	0,74	51,0	741935	19024	30	317	164	26
-5...-9	253	0,87	60,0	870968	29032	30	484	122	20
-9...-13	122	1,00	70,0	1000000	50000	30	833	102	16
Toplam	4957						TOPLAM	913	146

6. BİREYSEL VE MERKEZİ SOĞUTMA CİHAZLARININ ENERJİ MALİYETLERİ

Değişken yüklü uygulamalarda klima sistem seçiminde bireysel ve merkezi sistemleri karşılaştırmak üzere oteller ele alınmıştır. Otel odalarında soğutma yükleri ve klimanın kullanım süreleri çok değişkendir ve klima cihazları önemli oranda kısmi yükte çalışırlar. Otel odası dolu olduğunda dahi odalardaki cihazların tamamının çalıştırılmadığı bilinmektedir. Müşteriler gece uyurken genellikle (ses, vb nedenlerle) klima cihazlarını çalıştırmazlar. Gündüz odadan çıktıklarında enerji programı (energy saving program) varsa oda anahtarını yanlarına aldıkları için klimalar çalışmaz veya temizlik yapan kişiler odaya girdiklerinde genellikle cihazları kapatırlar. Ayrıca oteller her zaman %100 dolu da değildir. Isıtma veya soğutma ihtiyacının çok az olduğu ara mevsimlerde ise kapasite kullanımı çok daha azalmaktadır. Yukarıdaki nedenlerle otel odalarında klimaların kullanımı (otelin dolu veya boş olmasına ve iklim şartlarına bağlı olarak) yıllık ortalamada çok düşük oranlarda gerçekleşmektedir.

Bu yüzden otellerde kullanılan klima sistemlerinin enerji ve işletme maliyetleri sistemin kısmi yüklerdeki performansına çok bağlıdır. Merkezi sistemlerde kısmi yüklerde çalışmada hatlarda sürekli dolaşan suyun ısı kayıpları, pompaların enerji tüketimi, havalandırma fanlarının enerji tüketimi ve

kanallardaki ısı kazançları nedeniyle enerji maliyeti çok yüksektir. Buna karşılık bireysel cihazlar bu koşullara daha iyi adapte olurlar.

Her iki tip sistemin enerji maliyetlerini hesaplayarak bir karşılaştırma yapmak üzere örnek bir otel seçilmiştir. Otelin Antalya'da kurulu olduğu kabulüyle, merkezi sistem örneği fan-coil sistemi ve bireysel sistem örneği otel odası kliması yıllık enerji maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesaplarda Antalya iklim verileri kullanılmış, oteller için işletme verileri otel işletmecilerinden alınmış ve otel binası tesisatı metrajı için yapılmış bir projeden yararlanılmıştır. Otel çok katlı, kompakt bir binadır. Cihaz verimleri için firma teknik verilerine dayanılmıştır.

6.1. Karşılaştırılan Cihaz ve Sistem

Otel odası klima cihazları paket tipi klima cihazlarıdır. Kompresör, kondenser, evaporatör, borulama, kontrol elemanları ile cihaz bir paket halinde bütündür. Oda dış duvarında oluşturulan özel kör kasa içine yerleştirilir. Cihazın yarısı oda içinde, ve diğer yarısı dış havadadır. Dışta bulunan kondenser kısmı kendi fanı ile aldığı dış havaya yoğunlaşma ısını atarken, oda içinde bulunan evaporatör kısmı üzerinden bir başka fanla geçirilen oda havasından ısı çekilir. Normal 70 m³/h taze hava alma imkanına ilaveten, opsiyonel fan ile 120 m³/h 'e kadar taze hava alınabilir. Cihaz EER değeri anma yükünde 9,7 olarak verilmiştir. EER değeri; cihazın soğutma kapasitesinin (BTU/h), cihaza beslenen toplam güce (W) oranıdır.

Fan-coil sisteminde çatıya yerleştirilmiş hava soğutmalı bir chiller bulunmaktadır. Burada üretilen soğuk su fan-coil devresinde dolaştırılmaktadır. Chiller devresinde ve fan-coil devresinde suyun dolaşımı için pompalar kullanılmaktadır. Odalardaki fan-coil cihazları önünde 3-yollu kontrol vanaları bulunmakta ve kapasiteyi ayarlamaktadırlar. Odaların taze hava ihtiyacı ise merkezi taze hava santralından sağlanmaktadır. Chiller COP değeri anma yükünde 2,48 olarak verilmiştir. Bu değer kısmi yüklerde yükselmektedir ve %25 yükte 4,51 değerine ulaşmaktadır. COP değeri yapılan soğutmanın beslenen elektrik enerjisine oranıdır ve boyutsuzdur.

6.2. İklim Verileri ve Bina Isı Kazançları

Göz önüne alınan otel binasının tasarım ısı kazancı 150 kW olarak hesaplanmıştır. Otel odalarında sistem kesintili olarak çalışmaktadır. Gündüz güneş olan 14 saatte soğutma 8 saat çalıştırılmaktadır. 10 saat olan gece döneminde ise sistem 6 saat çalıştırılmaktadır.

Pik yükün meydana geldiği Temmuz ayındaki tipik günde 24 saat boyunca, yataya gelen güneş ışınımı ve dış sıcaklığın değişimi esas alınarak gün içinde soğutma yükü değişimi hesaplanmıştır. Günlük ısı kazancı, 30 günle çarpılarak Temmuz ayı toplam ısı kazancı bulunabilir. Buna brüt kazanç adı verilmiştir. Ancak sistem gündüz 6 saat ve gece 4 saat çalışmamaktadır. Depolama ihmal edilerek, klima sisteminin çalıştığı saatlerdeki Temmuz ayı net ısı yükü hesaplanmıştır.

Temmuz ayı pik yükün olduğu ay olmak üzere referans alınarak, diğer aylardaki kazançlar aylık ortalama ışınım veya dış sıcaklık değerlerine göre orantı ile hesaplanmıştır. Yıl boyunca ortalama ışınım ve dış sıcaklık değerleriyle buna göre hesaplanan aylık net kazançlar Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Örnek otel odalarının yıllık net soğutma yükü

	aylık ortalama ışınım	Aylık ortalama dış sıcaklık	Aylık net güneş yükü	aylık net transmisyon yükü	aylık net havalandırma yükü	diğer yükler	Toplam aylık net yük
	Mj/m ² -gün	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Mayıs	22,1	20,5	11418	656	656	4200	16929
Haziran	23,8	25	12296	2560	2560	4200	21616
Temmuz	23,1	28,2	11935	10752	10752	4200	37639
Ağustos	20,9	28,1	10798	10496	10496	4200	35990
Eylül	17,5	24,9	9041	2304	2304	4200	17850
Ekim	12,8	20,3	6613	393	393	4200	11600

6.3. Chiller Enerji Tüketimi

Düşünülen fan-coil sisteminde soğutma yükünü chiller karşılayacaktır. Soğutma yükü olarak yukarıda hesaplanan bina ısı kazançları dışında chiller, a) taze hava santralindeki fan motorundan olan ısı kazancını b) havalandırma kanallarındaki ısı kazancını c) kapalı devre boru tesisatında oluşan ısı kazancını da karşılamalıdır.

Fan motoru ısı kazancı

Taze hava santralindeki fan motoru hava akımı içinde olduğundan bu motordan olan kazanç odaya taşınacaktır. Fan motor gücü 6400 W olup, aylık ısı kazancı= 4608 kWh hesaplanır.

Kanallardaki ısı kazancı

Sistemde kullanılan taze hava kanalları toplam alanı 760 m² olarak projeden okunmuştur. Bu kanallarda çevreyle sıcaklık farkı 6 °C alınmıştır. Yalıtımlı kanallarda özgül ısı kazancı 0,75 W/m² K olarak tavsiye edilmektedir. Buna göre,
Aylık kazanç= 0,75* 760* 6* 24*30/ 1000= 2462 kWh

Borulardaki ısı kazancı

Soğuk su boruları ısı kazancına karşı izole edilmişlerdir. İzolasyon kalınlıkları projeden alınmıştır. Bu kalınlıklar Bayındırlık Bakanlığı şartnamelerindeki değerlerden daha fazladır. Sistemde borularda oluşan toplam ısı kazancı 12649 W olarak hesaplanmıştır.
Aylık ısı Kazancı= 12649*24*30/1000= 9107 kWh/ay olarak bulunur.

Chillerde Tüketilen Enerji

Chillerde tüketilen enerji aylık bazda Tablo 12'de verilmiştir. Burada her ay için hesaplanan bina ısı kazançlarına yukarıdaki kazançlar ilave edilerek bulunan toplam kazanç değeri, otel doluluk oranlarıyla çarpılarak gerçek soğutma ihtiyacı bulunmuş ve bu değerler söz konusu kısmi yükteki COP değerlerine bölünerek chillerde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi belirlenmiştir. Buna göre yıllık chiller elektrik enerjisi ihtiyacı 77586 kWh değerindedir.

Tablo 12. Chiller elektrik tüketimi

Ay	Bina yükü kWh	boru kazancı kWh	fan ısı yükü kWh	kanal ısı yükü kWh	aylık toplam yük kWh	Otel doluluk oranı	aylık net yük kWh	Gerekli elektrik enerjisi kWh
Mayıs	16929	12649	4608	2462	36648	0,75	27486	6889
Haziran	21616	12649	4608	2462	41335	1	41335	13334
Temmuz	37639	12649	4608	2462	57358	1	57358	23128
Ağustos	35990	12649	4608	2462	55709	1	55709	22463
Eylül	17850	12649	4608	2462	37568	0,75	28176	7062
Ekim	11600	12649	4608	2462	31319	0,6	18791	4710
							Toplam	77586

6.4. Fan Coil Sistemi (Merkezi Sistem) Enerji Tüketimi

Fan coil sisteminde chiller dışında pompalar ve fanlar da elektrik tüketmektedir. Sistemde soğuk su sirkülasyon pompası, chiller devresi pompası, taze hava santral fanı ve fan-coil fanları çalışmaktadır. Bunların enerji tüketimleri Tablo 13'de gösterilmiştir. Buna göre fan-coil sistemi yıllık elektrik enerjisi tüketimi 132.079 kWh olmaktadır.

Tablo 13. Fan-coil sistemi toplam elektrik enerjisi tüketimi

	Soğuk su pompası	Chiller pompası	Taze hava santral fanı	Fan-coil fanları	Chiller
Debi	30000 L/h	27000 L/h	7200 (m ³ /h)	620 (m ³ /h)	
Basınç	14 mss	13 mss	400 Pa	40 Pa	
Güç	2,632 (kW)	2,200 (kW)	6,400 (kW)	0,055 (kW)	
Adet	1	1	1	43	
Yıllık tüketim	11370 kWh	9502 kWh	27648 kWh	5972 kWh	77.586 kWh
			TOPLAM		132.079 kWh

6.5. Otel Kliması Sistemi (Tekil Sistem) Enerji Tüketimi

Her odaya yerleştirilen bağımsız otel kliması cihazlarının karşılayacağı bina ısı kazancı değerleri fan-coil sistemiyle aynı olup, buradan hareketle hesaplanan enerji tüketimleri Tablo 14'de verilmiştir. Burada her ay için hesaplanan bina ısı kazançları, otel doluluk oranlarıyla çarpılarak gerçek soğutma ihtiyacı bulunmuş ve bu değerler sabit EER=9,7 değerinden yararlanarak ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi belirlenmiştir. Bu sistemde ilave taze hava fan kitleri de elektrik tüketmektedir. Bunların enerji tüketimleri Tablo 14'de gösterilmiştir. Buna göre otel odası sistemi toplam yıllık elektrik enerjisi tüketimi 46.320 kWh olmaktadır.

Tablo 14. Otel odası kliması elektrik tüketimi

Ay	Bina yükü kWh	Otel doluluk oranı	Gerekli elektrik enerjisi kWh	fan elektrik tüketimi kWh	Toplam elektrik tüketimi kWh
Mayıs	16929	0,75	4470	193	4663
Haziran	21616	1	7610	193	7803
Temmuz	37639	1	13251	193	13444
Ağustos	35990	1	12671	193	12863
Eylül	17850	0,75	4713	193	4906
Ekim	11600	0,6	2450	193	2643
				Toplam	46320

Antalya'da kurulu örnek bir otel için fan-coil sistemi yıllık elektrik tüketimiyle aynı sistemde otel odası kliması kullanıldığında yıllık elektrik tüketimi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Merkezi fan-coil sisteminde yıllık tüketim 132079 kWh bulunmuştur. Buna karşılık otel odası klimalarıyla soğutma yapıldığında toplam yıllık elektrik tüketimi 46320 kWh ile sınırlı kalmaktadır. Her iki sistemin elektrik tüketimleri arasındaki oran 0,35 olmaktadır. Bir başka anlatımla bireysel otel odası sistemi yıllık enerji tüketimi, merkezi fan-coil sisteminin %35'i mertebesinde kalmaktadır.

SONUÇ

Yukarıda belirlenen tasarruf kalemlerinin uygulanmasıyla elde edilecek tasarruf, farklı yapılarda ve farklı sistemlerde farklı olacaktır. Genel olarak klima sistemlerinde gerçekleştirilebilecek enerji tasarruflarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

1. Direkt Güneş Enerjisi Kazançlarını Azaltmak:

Dış gölgeleme elemanları, iç gölgeleme elemanları veya özel camlar kullanarak pencerelerden olan güneş ısı kazançları azaltılabilir. Bu yolla bina toplam soğutma yükü %5 ile 15 azaltılabilir.

2. Dış duvar yüzeylerini izole etmek:

Bu yolla bina toplam soğutma yükü %1 mertebesinde azaltılabilir.

3. Havalandırmadan Olan Kazançları Azaltmak:

Free cooling imkanından yararlanarak bina soğutma yükü azaltılabilir.

4. Oda sıcaklığı Ayar Noktasını Yükseltmek

Oda sıcaklığı ayar değerini 1 °C yükseltmek suretiyle soğutma yükü yaklaşık %3-5 mertebesinde azaltılabilir.

5. Değişken Devirli Fanlar Kullanmak

Merkezi havalı klima sistemlerinde değişken debili sistem ve değişken devirli fanlar kullanarak fan enerjisinde %45-55 oranında ve toplam HVAC sisteminin kullandığı enerjide de %20-30 oranında tasarruf potansiyeli vardır.

6. Değişken Devirli Pompalar Kullanmak

Merkezi sulu klima sistemlerinde değişken debili sistem ve değişken devirli pompalar kullanarak pompa enerjisinde %60-70 oranında ve toplam HVAC sisteminin kullandığı enerjide de %7-12 oranında tasarruf potansiyeli vardır.

7. Uygun ve Yüksek Verimli Klima Sistemi Kullanmak:

Otel örneğinde uygun sistem seçmek suretiyle soğutma kompresörlerinde kullanılan enerjide %40 ve toplam HVAC sisteminde kullanılan enerjide %65 mertebesinde tasarruf imkanı olabileceği görülmüştür.

Buna göre bina soğutma yükleri çeşitli önlemlerle %25 oranında azaltılabilir. Kullanılan fan ve pompalarda ise %45-70 oranlarında tasarruf imkanı bulunmaktadır. Buradan uygulamanın cinsine ve kullanılan sisteme bağlı olmakla birlikte, iyi bir mimari ve mekanik tasarımla klima sistemi elektrik enerjisi giderlerini %60 oranlarına kadar azaltmanın mümkün olduğu anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1]. WULFINGHOFF, D.R., "Energy efficiency manual", Energy Institute Press, 1999
- [2]. BİDSTROP, N. ve ark., "Classification of circulators", Report of Working Group 13 in Europump, Feb. 2003.
- [3]. BİLAL F., "Soğutma ve Yalıtım, İzolasyon Dünyası", Temmuz-Ağustos 2002 , s.24
- [4]. ÖZAR B., "Bilgisayar programı ile bir ofis binasında fan coil ve VAV sistemlerinin enerji analizi", bitirme Ödevi, İTÜ Makina Fak. 2000.
- [5]. AYTEKİN, T., ÖZGEN, C. NESLİOĞLU, C., "Bir ofis binasının iklimlendirme sisteminin seçimi ve seçilen sistemin tasarımı", İTÜ Makina Fak. 2002.

ÖZGEÇMİŞ

Rüknettin KÜÇÜKÇALI

1950 yılında doğdu. 1972 yılında İTÜ Makina Fakültesinden Yüksek Mühendis olarak mezun oldu. Sungurlar ve Tokar firmalarında mühendis ve şantiye şefi olarak görev yaptıktan sonra, 1975 yılında ISISAN A.Ş'yi kurdu. Halen bu firmanın yöneticisi olarak görev yapmaktadır. MMO, TTMD ve ASHRAE üyesidir. Evli ve tek çocuk sahibidir.