bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:24 Page 16

Yüksek Yapılar Tasarım Verileri ve Dikkat Edilecek Hususlar

Bekir Erdinç BOZ

Abstract:

Change in the climates and global warming is not a scenario any more but a fact right in front of us. On our earth world a constantly increasing population, the damage on the earth, green areas, water, air and natural assets as biological diversity has been realized yet after the effects on the humans' life.

There is no doubt that, the construction sector which is one of the most important accelator of the economy, has a considerable responsibility in this consumption. We shall not ignore that the buildings which effects human life directly, uses the one third of total energy, two third of electricity and one eighth of the water.

Increasing environmental problems and decreasing energy sources made construction and especially mechanical engineering more efficient, using less input, less operation costs, forcing to produce more optimized solutions, in construction solutions; ecological and energy-effective designs are gaining priority. In parallel with design criteria in high rise buildings, information and examples for the equipment selection and more energy-saving systems will be presented.

Key Words:

Energy Efficient Buildings

ÖZET

İklim değişikliği ve küresel ısınma artık bir senaryo değil bir hakikat olarak karşımıza çıkmıştır. Nüfusu sürekli artan dünyamızda insanoğlu, artan tüketim ve israfla tüm ihtiyaçlarını doğadan karşılıksız almaya devam ederken başta toprak, yeşil örtü, su, hava ve biyolojik çeşitlilik olmak üzere doğal varlıklar üzerinde yarattığı tahribatı ancak insan hayatını etkilemeye başladığında fark etmeye başlamıştır.

Hiç şüphesiz ekonomide lokomotiflerden biri olan konut ve yapı sektörü de bu tükenişte önemli sorumluluk taşımaktadır. İnsan sağlığını temelden etkileyen binaların toplam enerjisinin üçte birini, elektriğin üçte ikisini suyun sekizde birini kullandığını unutmamak gereklidir.

Artan çevresel sorunlar ve azalan enerji kaynakları yapı mühendisliğini ve özellikle tesisat sektörünü her geçen gün daha yüksek verimli, daha az girdi kullanan, daha düşük işletme maliyetli, optimizasyonun daha da ön plana çıktığı çözümler üretmeye zorlamakta bina çözümlerinde ekolojik, enerji etkin tasarımlar önem kazanmaktadır. Yüksek yapılar konusunda kullanılan dizayn kriterlerinin paralelinde cihaz seçimleri ve enerjiyi daha az kullanan sistemler konusunda bilgiler ve örnekler sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: *Enerji Etkin Binalar*

1.0, GİRİŞ

Ekolojik dengelerin bozulduğu ve iklimlerin yavaş yavaş değişmeye başladığı dünyamızda bunlara sebep olan nedenlerin mümkün olduğunca ortadan kaldırılması için büyük bir gayret sarf edilmektedir.

Bireylerin yaşam standartlarının artmasına paralel konfor seviyelerinin yükselmesi, nüfusun hızla artması teknolojinin gelişmesi doğrultusunda elde mevcut fosil kökenli yenilenemeyen enerji kaynakları hızla tüketilmeye başlamış ve buda ekolojik dengenin bozulmasının en önemli nedenlerinden biri olmuştur.

Bu nedenle bina çözümlerinde ekolojik ve enerji etkin tasarımlar önem kazanmıştır.

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:24 Page 17

1997 yılında KYOTO'da sera gazlarının emisyonlarının indirilmesi için imzalanan protokol imza sahibi ülkelere 2008 – 2012 seneleri arasında atmosfere verilen sera gazları miktarının 1990 senesini %15 altına azaltmak yükümlülüğü getirmiştir.

Yurdumuzda ve Avrupa Birliği ülkelerinde tüketilen toplam enerjinin yaklaşık (%40) konut ve ofis binalarında tüketilmektedir. Bu nedenle enerji verimliliğine bu alanda öncelik vermenin hem iklim değişikliği hem de kaynakların güvenliği konularında çok önemli olduğu görülmektedir. Sonuç olarak Avrupa Birliği içerisinde binaların enerji performansına ilişkin bir direktifin düzenlenmesi ihtiyacını doğurmuştur.

Bu doğrultuda " Binalar Enerji Performansı Direktifi (2002/91/EC)" 16 Aralık 2002 tarihinde kabul edilmiştir. Direktif Üye Ülkelerde 4 Ocak 2006 tarihi itibarı ile zorunlu uygulamaya girmiştir.

2.0. Avrupa Birliği Enerji Direktifi

- Başlangıç: 2003
- Süre: 6 Yıl
- Uygulama: Tüm üye ülkeler
- Kapsam: İbadet, tarihi ve kültürel bina hariç tüm binalar
- Gözden geçirme peryodu: 5 Yıl verilmektedir.

2.1. Direktifin Ana Teknik Maddeleri

1. Binalarda enerji tüketim hesaplama prensiplerinin tekrar belirlenmesi (CO_2 emisyon oranı)
2. Performansa dayalı olarak binalarda tüketilen enerji miktarları üst sınırlarının tekrar belirlenmesi (45-60-250 KWh/m² y)
3. Yenilenen binalarda enerji verimliliğinin arttırılması
4. 10 yaşını geçmemiş binalar için "Enerji Sertifikası"
5. Kazanların bakımı, bölgesel ısıtma, ısı pompaları
6. Klima sistemlerinin bakımı
7. 1000 m²'yi geçen yeni binalarda Enerji üretimi ve kaynakları için fizibilite çalışması zorunluluğu

2.2. Binanın enerji verimliliğinin hesaplanmasında ana çerçeve

- Bina zarfı-dış cephe izolasyonu (bina sızdırmazlığı dahil)
- Isıtma / Soğutma ve sıcak su ihtiyacı –Merkezi sistemler – Enerji kaynakları ve elektrik üretimi
- İç Hava tasarım değerleri
- Klima sistemleri
- Havalandırma - Doğal havalandırma
- Aydınlatma – Doğal aydınlatma
- Binanın yerleşim yeri ve tasarımı
- Güneşten yararlanma / korunma ve pasif sistemler (Yenilenebilir enerji kaynakları)

Birincil Enerji Kullanımı için Almanya'da yürürlüğe giren ENEV (Enerji Tasarrufu Yönetmeliği) hedef olarak seçilmelidir. Avrupa Birliği de ENEV'ı baz alarak bir enerji tasarrufu yönetmeliği üzerinde çalışmaktadır. ENEV binalardaki birincil enerji kullanımını sınırlandırarak yalıtım ve tesisat teknolojilerini birlikte değerlendirmektedir.

ENEV'a göre Primer enerji hedefi:

$$Q_{pmax} = 50{,}94 + 75{,}29 \times A/V + 2600/(100+A_n)$$

Q_{pmax} : kWh/m²yıl, Bir yılda beher m² bina kullanım alanı ısıtılması ve sıcak su için müsaade edilen maksimum birincil enerji miktarı

V : Binanın ısıtılan hacmi m³

A_n : Kullanım alanı m², A_n=V x 0,32 ile hesaplanmaktadır.

A : Isı kaybı olan dış yüzey alanı m²

Bu hedef formül ile bazı bina tiplerinin yaklaşık birincil enerji sınırları aşağıdaki şekilde bulunmaktadır:

Müstakil evler : < 120 kWh/m² yıl enerji kullanımı,
4 kata kadar bina: < 100 kWh/m² yıl enerji kullanımı,
Çok katlı binalar : < 90 kWh/m² yıl enerji kullanımı,

Ülkemizde, bazı binalarda halen 250 kWh/m² yıl'a kadar enerji tüketilmektedir. Mevcut binaları da Gelecek 1 yıl içinde enerji tasarrufu açısından gerekli iyileştirmeyi yaparak ısıtılma ve soğutulma yüklerinde azaltmayı hedeflemeliyiz. Yüksek tasarruf potansiyeli bulunan endüstriyel uygulamalar için işletmeye göre özel hedefler belirlenmelidir ki çıkan son yasa ile bu belirlenmiştir.

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:24 Page 18

Alınacak önlemlerle birincil enerji kullanımında sadece konutlarda %30'a varan tasarruf mümkündür. Böylece yılda 4,5 - 5 milyar USD tasarruf edilebilir. Kısa vadede bu tedbirlerin getirilerek özendirilmesi gerekmektedir. Buna paralel yalıtımı, otomatik kontrol, test-ayar-balans işletme tedbirleri ve bakım konuları belli yönetmeliklerle kontrol altına alınmalıdır.

Uzun vadede mevcut binaların daha enerji etkin yapılar haline geleceği ve devlet bütçesine çok önemli bir katkıda bulunacağı bir gerçektir.

3.0. TASARIM

3.1. Yapı Yerleşim ve Oryantasyonu

Yapılarda sarf edilen enerji ağırlıklı olarak şu sistemlerde kullanılır.

- Isıtma, sıcak su hazırlama
- Soğutma ve iklimlendirme, havalandırma
- Aydınlatma
- Düşey taşıma sistemleri (Asansör ve yürüyen merdivenler)
- Kominikasyon, komputer ve diğer cihazlar.

Enerji etkin bir yapının projelendirmesi sadece mekanik tesisat tasarımcısı sorumluluğunda olmayıp mimar, elektrik ve diğer tasarımcılarla birlikte bir takım çalışması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Enerji etkin yapıların tasarımında dikkate alınması gerekli önemli hususlar şöyle sıralanabilir.

a. Yapının oturuş biçimi, güneş, rüzgar tabii aydınlatma ve çevre binalara göre konumu belirlenmelidir. Burada güneş enerjisinden yararlanmak, doğal ışığı kullanmak, yaz ayları için güneş radyasyonundan korumak yapı tasarımında önemli kriterler olarak ortaya çıkmaktadır.

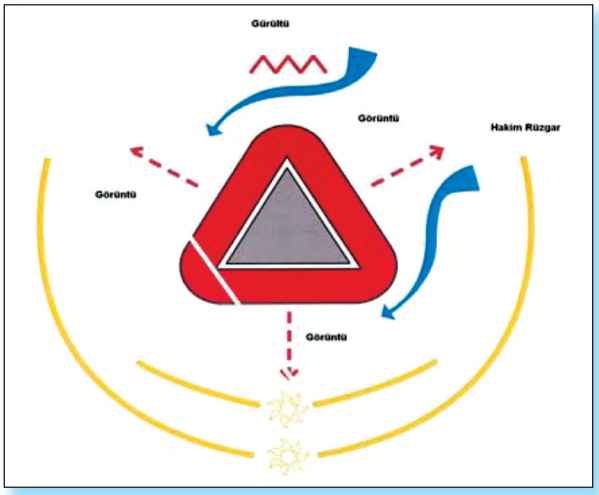
Tasarım çalışmaları başlangıcında yapı formuna ve geometrisi konusunda yapılan çalışma örnekleri şöyledir:

Pozitif vasıfları

- Güney cephesi minimum (minimum güneş etkisi)
- Güneş enerjisi kazancı maksimum
- Tabii havalandırma potansiyeli var

Olumsuz yönleri

- Güney cephe uzunluğu az
- Kuzey cephe uzunluğu nedeniyle
- Ses problemi

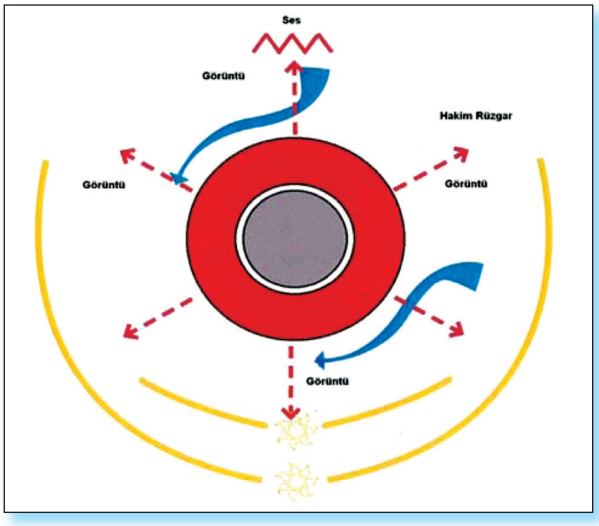


Olumlu yönleri

- Güney yönü cephesi az (minimum güneş ısı kazancı)
- Genelde maksimum güneş ısı kazancı
- Tabii havalandırma imkanı

Olumsuz yönleri

- Az güney cephe
- Kuzey cephe fazlalığı nedeniyle ses problemi



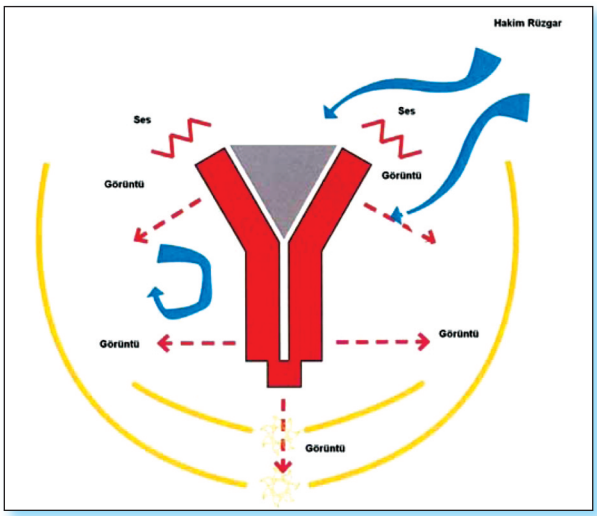
Olumlu yönleri

- Çok iyi bir görüş açısı
- Güney cephesi küçük olduğundan güneş ısı kazancı az
- Ortalamada maksimum ısı kazancı

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:24 Page 19

Olumsuz yönleri

- Kuzey yönünde ses problemi
- Tabii havalandırmaya uygun değil

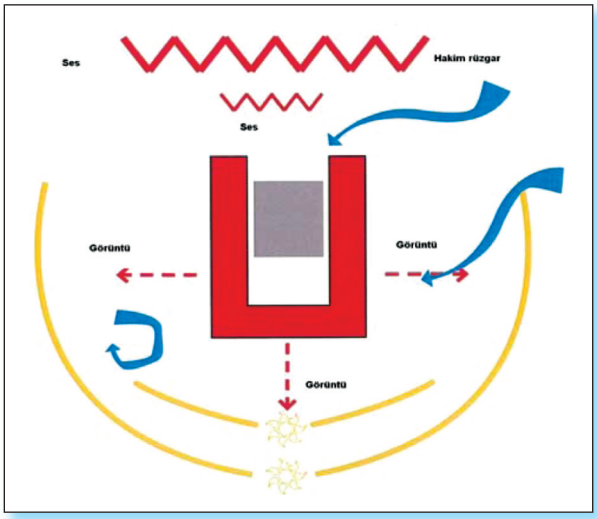


Olumlu yönleri

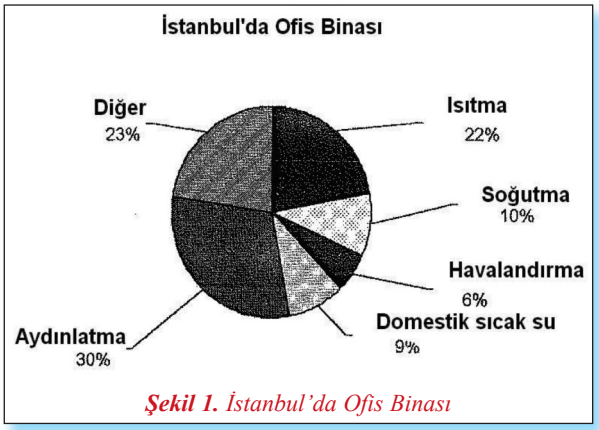
- Yapı görüş açısı çok iyi
- Güney cephesi daha küçük
- Genel görüş ısı kazancı yüksek
- Tabii havalandırmaya uygun

Olumsuz yönleri

- Kuzeye açık olduğundan ses problemi
- Kuzey yönü görüş açısı kötü



düşük seviyeye getirilmesi hedeflenmektedir.

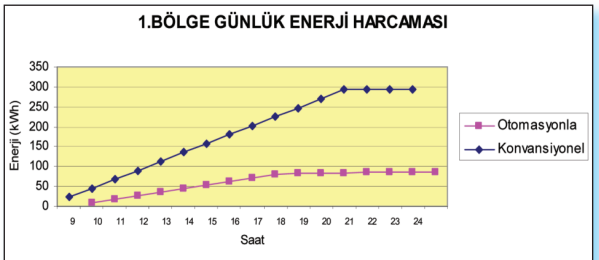


Şekil 1. İstanbul'da Ofis Binası

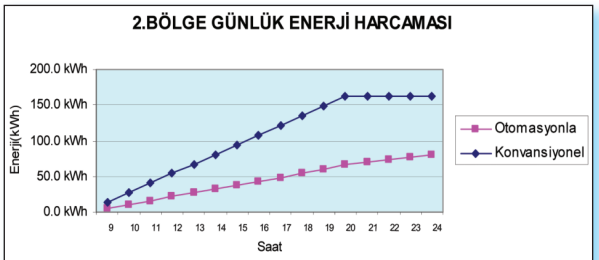
Istanbul'da yapılan toplam 15.000m² alana sahip Abdi İbrahim yapısında aydınlatma otomasyonundan hedeflenen kazançlar aşağıda verilmiştir.

Yapının asansör holleri, merdivenkovaları otopark bölümü hareket sensörleriyle yönetmelikte normal ofis katlarında ise yönlere göre kullanılan fotoseller ile aydınlatma sistemi kısılmakta veya açılmaktadır. (DİM) Ortalama ışık şiddeti ofislerde 450 – 500lux olacak şekilde kontrol yapılmaktadır. Plan ve tablolardan görüleceği gibi teorik olarak %40 - %45 bir tasarruf sağlamaktadır ve kullanılan otomasyon ekipmanlarına göre 7,5 senede amorti etmektedir.

Yapının normal katı güney, doğu, batı 1. zon, kuzey 2. zon ve iç bölümler 3. zon olarak isimlendirilmiş ve buna göre otomasyon yapılmıştır.

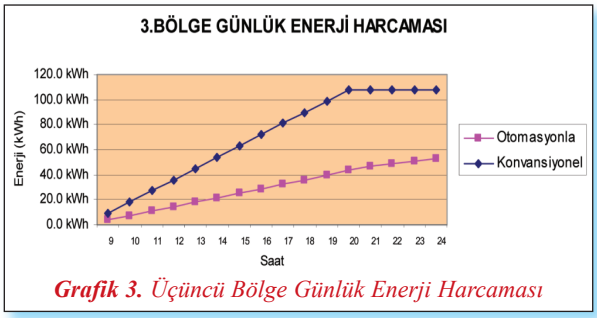


***Grafik 1.** Birinci Bölge Günlük Enerji Harcaması*

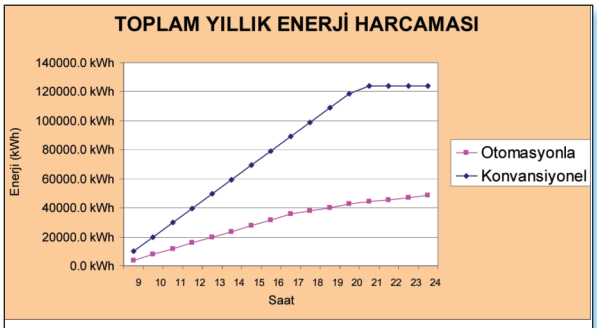


***Grafik 2.** İkinci Bölge Günlük Enerji Harcaması*

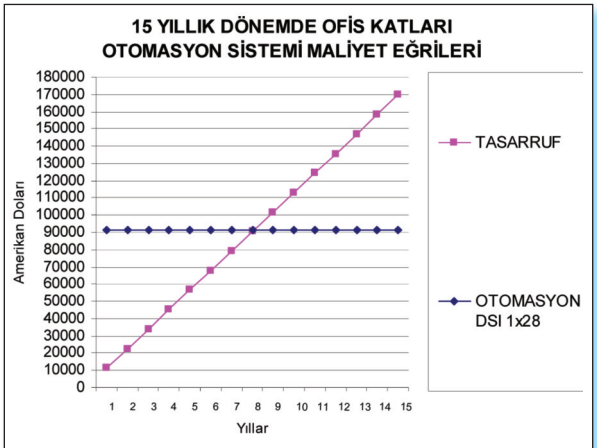
bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:24 Page 20



Grafik 3. *Üçüncü Bölge Günlük Enerji Harcaması*



Grafik 4. *Toplam Yıllık Enerji Harcaması*



Grafik 5. *15 Yıllık Ofis Katları Otomasyon Sistemi Maliyet Eğrileri*

Yapılan tasarımlarda güneş ışığının yapının içine direk girmemesi ancak gün ışığından yararlanma ön planda tutulmalıdır. ASHRAE 90.1.2007'de aydınlatma yük yoğunluğu yanda verilmiştir.

3.2. Yapı Dış Zarfı

Enerji etkin yapılarda yapı dış zarfı ısı kayıp ve kazançlarının minimum olmasını temin edecek şekilde dizayn edilmelidir. TS-825 Mayıs 2008 ve ASHRAE 90.1..2007 baz alınmalı AB direktiflerine göre standartlarda verilen değerlerin altına düşülmemeli hatta % 10 – 20 üzerine çıkılmalıdır.

Tablo.1. Aydınlatma Gücü Yoğunluğu Bina Alan Metoduna Göre

Bina alan tipi	LPD (W/m²)
Otomotiv	10
Convention center	13
Courthouse	13
Dining : bar lounge / leisure	14
Dining : Cafeteria / fast food	15
Dinig : family	17
Yurt	11
Egzersiz Merkezi	11
Jimlastikhane	12
Healt – care clinic	11
Hastane	13
Otel	11
Kütüphane	14
İmalathane	14
Motel	11
Sinema	13
Apartman	8
Müze	12
Ofis	11
Otopark	3
Penitentiary	11
Tiyatro ve gösteri merkezi	17
Polis ve itfaiye merkezi	11
Postahane	12
İbadethane	14
Kiralık dükkanlar	16
Okul / üniversite	13
Spor salonu	12
Şehir merkezi	12
Nakliye merkezi	11
Depolar	9
Atölyeler	15

ASHRAE 90.1.2007

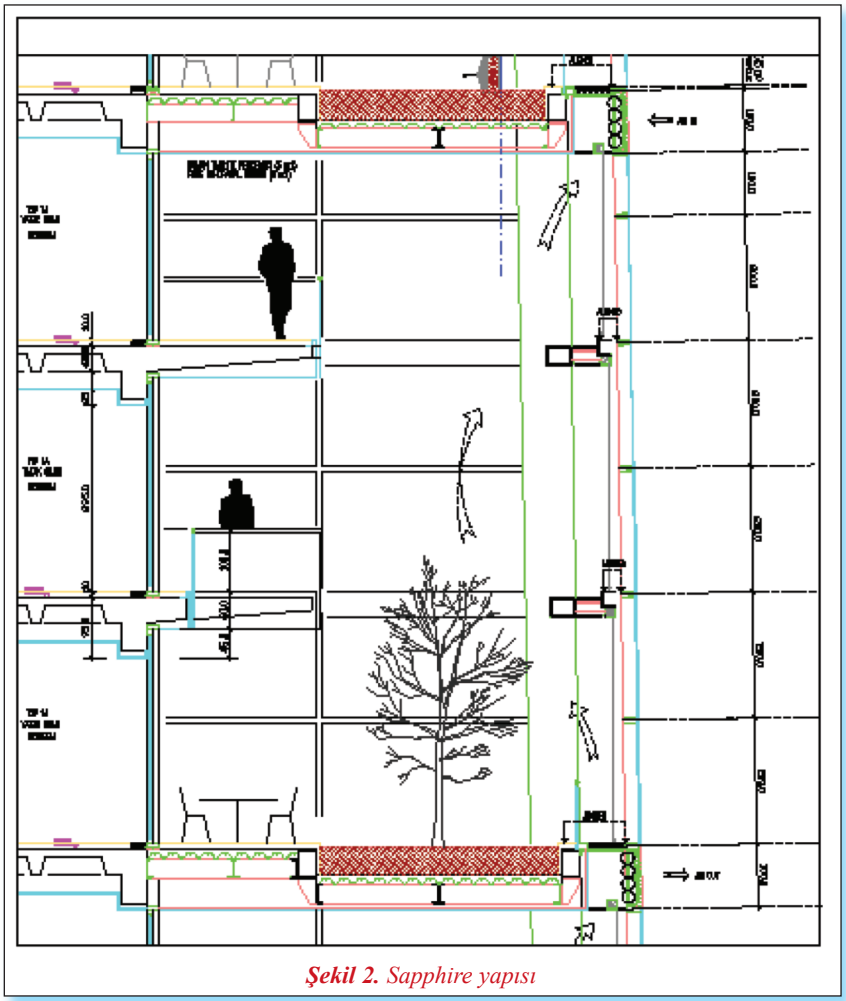
bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:24 Page 21

ASHRAE 90.1.2007 ye göre;

c. Düşey pencere alanları toplam brüt dış cephe alanının %40'ı geçmemelidir.
d. Sky – Light alanı ise çatı alanının %5'inden fazla olmamalıdır.
e. Kayar veya döner giriş kapılarında maksimum hava sızıntısı 5,0 l/s.m² ve diğer tip kapılarda ise maksimum 2,0 lt/s.m² olmalıdır.
f. Bu dizayn yapılırken tabii aydınlatma faktörleri göz ardı edilmemelidir.

Aşağıda Sapphire yapısı ön ve arka cephesinde tasarlanan bahçeler ve bunların gerek ısıtma soğutma yüküne etkileri, gerekse gün ışından yararlanabilme özellikleri şöyle özetlenebilir.

Yapı dış cam kabuktan 7,5 metre geride olup bahçe bölümü altta ve üstte bulunan menfezlerle tabii olarak havalandırılmaktadır. Dış cephede güneş gene hareket eden çok zayıf dokulu pnotorlu perde tasarlanmıştır. Güneş ışığı bahçeye girmekte oturma alanlarına ulaşmamaktadır. Gün ışığı ise tüm iç mekanlara ulaşmaktadır. Yapılan (CFD) hesaplanabilir. Akışkanlar Dinamiği simülasyonu ile yazın maksimum 30°C kışın ise 5 – 6 °C iç bahçe sıcaklığı hesap edilmiştir. (İstanbul dizayn şartlarına göre +32°C (-3°C).



Şekil 2. *Sapphire yapısı*

3.3. Hava Kanalları ve Hava Dağıtımı

Enerji ekonomisi açısından her ne kadar yapı özelliklerine bağlı ise de aşağıda verilen değerlerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Hava kanal kesitleri önce birim basınç düşümüne (equal friction) göre boyutlandırılmalı ve bu şekilde bulunan kesitlerde maksimum hız kontrolü yapılmalıdır. Birim basınç düşümüne göre hesaplanmış kanallarda maksimum hızların aşılması halinde belirleyici faktör olarak maksimum hızlar alınmalıdır.

Kanal tasarımı düşük basınçlı ve düşük hızlı olacak, imalat ve montajı Amerikan SMACNA esaslarına uygun olmalıdır. Kanal malzemesi galvaniz çelik sac olacak ve difüzör ve menfez bağlantılarında fabrikasyon izoleli esnek yuvarlak kanallar kullanılmalıdır.

a. VAV sistemleri

• Katlardaki basma havası ana dağıtım kanalları için maksimum 1,2Pa/m basınç düşümü ve 7,5m/s hava hızı; hangisi daha büyük bir kanal kesiti veriyorsa
• Ana basma havası dağıtım kanalları, gelecekteki herhangi bir artışı karşılamak için, tasarım hava miktarının %110una göre hesaplanmalıdır.

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:24 Page 22

- Bütün basma havası kanalları dıştan izole edilmelidir.
- VAV kutularından difüzöre bağlanan branşman kanallar için maksimum 0,8Pa/m basınç düşümü ve 6m/s hava hızı; hangisi daha büyük bir kanal kesiti veriyorsa.
- Difüzöre bağlanan esnek kanallar maksimum 0,8 Pa/m basınç düşümü ve maksimum 4m/s hıza göre seçilmelidir. Esnek kanal boyu en fazla 3m olmalıdır.
- Geri dönüş havası kanalları için maksimum basınç düşümü 1,2 Pa/m ve maksimum hava hızı 7.5 m/s olmalıdır.
- VAV kutuları seçimi için maksimum hava debisi 800litre/s alınmalıdır. (Gürültü problemi)
- Mahallerdeki maksimum gürültü seviyelerinin aşılması için klima santralleri basma ve dönüş havası kanallarının makine dairesinden çıkışlarına ve santral bağlantılarına susturucu yerleştirilmelidir.
- Fan Coil ve Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri
- Basma havası ve dönüş havası kanalları maksimum 0,8Pa/m basınç düşümü ve 6m/s hava hızı olarak alınmalıdır.
- Taze hava kanalları 0,5Pa/m basınç düşümü ve 6 m/s hava hızı kabul edilmelidir.
- Sabit Debili Primer Hava Sistemleri
- Basma havası ve dönüş havası katlar arasındaki ana şaftlar içine yerleşecek kanallar için maksimum basınç düşümü 1,2Pa/m ve maksimum hızı 9/m olmalıdır.
- Katlar içinde basma ve dönüş kanalları maksimum basınç düşümü 1,2Pa/m ve maksimum hava hızı 7,5m/s olmalıdır.
- Difüzörlere bağlanan esnek kanallar maksimum 0,8Pa/m basınç düşümü ve maksimum 4m/s hıza göre seçileceklerdir. Esnek kanal boyu en fazla 4m olmalıdır.
- Mahallerdeki maksimum gürültü seviyelerinin aşılması için klima santralleri basma havası ve dönüş havası kanallarının makine dairesinden çıkışlarına ve/veya santral bağlantılarına susturucu konacak veya santralden en az 10 fan çapı kadar içten kanallara akustik izolasyon yapılmalıdır.
- Tuvalet Banyo Egzsot Sistemleri
- Maksimum basınç düşümü 1,2 Pa/m maksimum hava hızı 7,5m/s olacak şekilde kanallar boyutlandırılmalıdır.
- Garaj Havalandırma Sistemleri
- Taze hava ve egzost kanal ve şaftları maksimum 1,2Pa/m basınç düşümü ve 9m/s hava hızına göre boyutlandırılmalıdır.

4.0. SİSTEM YERLEŞİMİ İÇİN GEREKEN ALANLAR

Yapıda Kullanılacak Sistemlere Göre

a. Makina Dairesi ihtiyacı

	Toplam yapı alanına oranı
- Isı kazanımlı terminal unit+primer hava	% 5
- Fan-coil unit+primer hava	% 5
- Yapı perimetresinde indiksiyon +primer hava	% 5
- Soğuk tavan+primer hava	% 5
- Tek kanallı hava sistemleri	% 7
- Çift kanallı hava sistemleri	% 8
- Perimetre ısıtmalı VAV sistem	% 6-6.5

b. Asma Tavan İçi Boşluk

Uygulanan sistemlere göre gerekli asma tavan yükseklikleri, yapının mimari formuna ve fonksiyonlarına göre çok değişir. Sistemlere göre yaklaşık değerler şöyledir:

- Primer hava devreli, fan-coil sistemi	
Fan-coiller döşemede	200-300 mm
Fan-coiller tavanda	450-500 mm
- Statik ısıtmalı VAV Sistem (tek kanatlı)	450-600 mm
- Su kaynaklı ısı pompası + primer hava	550 mm
- Çift kanallı sistemler	600-700 mm
- Soğuk tavan+taze hava	500 mm

(Katlarda sprinkler borulaması olduğu varsayılarak bu değerler verilmiştir)

c. Cihazlar için gerekli makine dairesi alanları

Projenin ön safhasında kullanılmak üzere kullanılabilecek yaklaşık değerler şöyledir.

Su soğutma grupları yer ihtiyacı	8,0m² + her kw soğutma yükü için 8,0m² ilave edilmelidir. 1000kw cihaz için 8 + 8 x 10 = 88m²

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:24 Page 23

Soğutma kuleleri (Açık kule)	5 m² + her kw soğutma yükü için 2,5m² 1000kw cihaz için 5+2,5x10 =30m²

Havalandırma klima 12m²+13m² beher m³/s ilave edilecektir.

5.0. SİSTEM VE CİHAZ VERİMLİLİĞİ

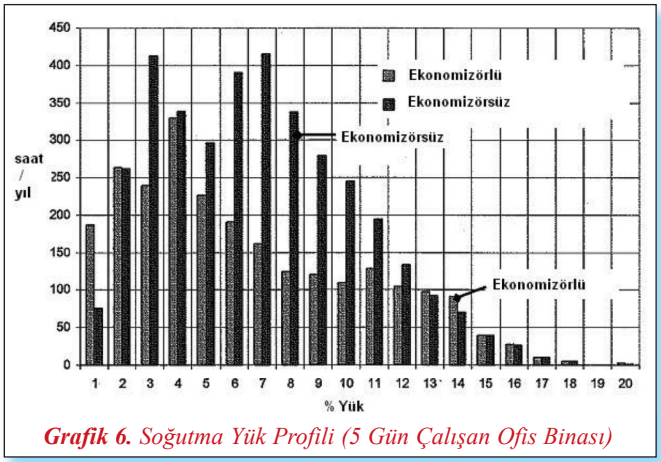
Isıtma ve soğutma ekipman seçimleri yapının ihtiyacına uygun seçilmelidir. ASHRAE "Green Guide" da göre eski bilgilerle yapı soğutma ihtiyacı yaklaşık olarak 150 – 175 watt/m² gibi değerler alınarak hesap edilirken performansı yükselen yeni yapılarda 65 – 50 watt/m² gibi değerler hedeflenmektedir.

Green Guide soğutma cihazları ve sistemleri için aşağıda verilen değerlerin hedef alınmasını önermektedir.

Chiller	0,145kw/kwR
Soğutma kulesi	0,003 kw/kwR
Chiller pompaları	0,007 kw/kwR
Kondenser pompaları	0,006 kw/kwR
Klima santralları	0,0014 kw/kwR

Soğutma ve ısıtma sistem tasarımında yük dağılımı cihazın hangi yükler altında çalışacağının bilinmesi sistem ömrü açısından çok önemlidir.

Enerji etkin bir yapı için mutlaka dış hava ekonomizörlerinin kullanılması gerekmektedir. Şekil 2'de dış hava ekonomizörü uygulaması için yapılmış bir çalışma gözükmektedir.



Grafik 6. *Soğutma Yük Profili (5 Gün Çalışan Ofis Binası)*

6.0. POMPA VE FANLAR

Pompa ve fanların çalışma noktaları değişen basınçlara göre çalışma nokta ve verimlerinin belirlenmesinde öncülük eder.

Pompa ve fanlar için aşağıda verilen şu eşitlikler geçerlidir.

$$\left.\frac{Pv}{N^3D^5}\right|_{\text{Max. verim}} = \text{Sabit verim} \quad \textbf{veya}$$

$$\left.\frac{Q}{ND^3}\right|_{\text{Max. verim}} = \text{Sabit}$$

Q=Hacimsel akış miktarı, N = Devir sayısı, D=Rotor çapı, P = Güç ihtiyacı, v = Özgül hacim

Bu eşitlikte aynı fan kullanıldığı kabul edilirse birinci eşitliğin kullanılması daha doğrudur.

$$\frac{Pv}{N^3} = \text{Sabit}$$

Pompa veya fanlarda akışkana bağımlı olmayan aşağıdaki eşitlikler geçerlidir.

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left[\frac{Debi_2}{Debi_1}\right]^2 \qquad \frac{HP_2}{HP_1} = \left[\frac{Debi_2}{Debi_1}\right]^3$$

Bu eşitliklere göre basınç basma debisinin karesi, güç ise debinin küpü ile orantılıdır. Şöyle basit bir misal ile pekiştirelim:

Ofis binasının 1000 m² olduğu kabul edilerek ve soğutma yükü 175 watt/m² alınarak toplam soğutma yükü yaklaşık 175 kw bulunur. Hacmi klimatize etmek için gerekli hava debisi 13°C'de 47000m³/h ve basınç kaybı 1000Pa seçilmiştir.

$$HP = \frac{Q(m^3/h)\ \Delta P\ (mmSS)}{3600 \times 75 \times 0{,}75 \times 0{,}95} \cong 25\ HP$$

Kullanılan bu fanın genelde %75 kapasitede çalıştığı kabul edilirse;

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:24 Page 24

$$\frac{HP_2}{25hp} = \left[\frac{35000}{47000}\right]^3$$

$HP_2 = 10,5Hp$
$\Delta HP = 25 - 10,5 = 14,5Hp$

Buradan da anlaşılacağı gibi %25 bir hava debisi azalması %58 enerji azalmasına tekamül etmektedir.

Netice olarak;
- ΔT sıcaklık farkı artırılarak akışkan debisi düşürülmelidir. Düşük sıcaklıktaki havanın elde edilebilmesi düşük sıcaklıkta çalışan chillerler gerektirdiği ve bunların COP'lerinin düşük olacağı unutulmamalıdır.
- Sistem dizaynında büyük ΔT ve değişken hava debisi kullanılmalıdır.
- Taze hava girişinde ısı kazanım cihazları kullanılarak iç hava kalitesi artırılmalıdır.
- Soğutma yükü soğutulmuş su kullanan Fan-coil gibi cihazlarla hacim içinden alınmalı böylece hava debisi düşürülmelidir. Benzer şekilde statik ısıtma yapılarak hava debisi düşürülebilir.
- Sistemlerde elverdiğince basınç düşümü azaltılmalı boru ve kanal ebatları optimize edilmelidir.
- Pompa verimini arttırmak için doğru pompa tipleri kullanılmalı (End – suction vs. gibi) ve yüksek devirlere geçilmelidir.
- Basınç ve hava debisine göre doğru tip fanlar seçilmelidir. 600 – 700 Pa kadar öne eğik kanatlı ve daha büyük değerler için geriye eğik kanatlı fanlar kullanılmalıdır.

Havalandırma Sistemlerinde İlave Enerji Tasarrufu Tedbirleri

- Havalandırma sisteminde sağlanacak en önemli tasarruf cihazın gereksiz çalışmaması durdurulmalıdır.
- Diğer önemli bir husus ise dış taze havanın minimize edilmesidir. Hava kalite sensörleri kullanılarak hacimlerdeki kişi sayısı azaldığında dış taze hava debisi düşürülmelidir.
- Klima santrallerinde entalpi kontrolü yapılarak **Hava Tarafı Ekonomi Çevrimi** uygulanmalıdır. Bu uygulama ilk ve son bahar aylarında çok önemli bir tasarruf getirecektir.
- Sabah güneş doğmadan yapılacak gece soğutma ve havalandırması soğutucu serpantin devreye sokulmadan hacimlerde oluşan ısı ve kokunun en ucuz şekilde dışarı atılmasını sağlar.
- Egzost havasından ısı geri kazanım sistemleri her uygulama için etüd edilmeli ve uygun şartlarda mutlaka kullanılmalıdır.

7.0. SOĞUTMA SİSTEMİ OPTİMİZASYONU

Hassas bir şekilde merkezi bir soğutma sisteminin optimizasyonu enerji maliyetini ve ilk yatırımı etkileyen çok sayıda tasarım kararının verilmesi gereken hacimli bir iştir.

Enerji maliyeti açısından aşağıdaki hususlar önemlidir.
- Soğutma makina dairesindeki tüm ekipmanların tam ve kısmi yük performansları
- Kullanılacak tüm ekipmanın tespiti

Tablo 2. Fanların Güç Limitlemesi ASHRAE 90.1.2007'de şöyledir:

	Limit	Sabit Debi	Değiken Debili
Fan sistemi motor gücü kw	Motor plaka güç değeri kw	1,7kw/1000lt/s	2,4kw/1000lt/s

Aynı standart 2004 baskısında ise;

	Müsaade edilen motor etiket değerleri	
Besleme Hava Debisi	Sabit debili	Değişken Debili
<9400L/s	1.9kW/1000L/s	2.7kW/1000L/s
≥9400L/s	1.7kW/1000L/s	2.4kW/1000L/s

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:24 Page 25

- Dağıtım sistemi tasarımı (Değişken – sabit debili, sadece primer veya primer sekonder pompalı)
- Kontrol şekli ve sıralaması
- Boru ve vana ebatlandırması. İlk yatırım maliyeti tespiti ise çok değişken bulunması nedeniyle oldukça karmaşıktır. ASHRAE 90.1.2007'de chiller performansı, yüke göre chiller tip ve sayısı şöyle verilmiştir.

Tablo 3. Soğutma Grupları Minimum Verileri

Cihaz tipi	Cihaz Ebadı	Minimum verim	Test presüdürü
Hava soğutmalı (kondenser dahil)	Tüm Kapasiteler	2,80COP 3,05IPLV	ARI 550 / 590
Hava soğutmalı (kondenser hariçl)	Tüm Kapasiteler	3,10COP 3,45COP	ARI 550 / 590
Su soğutmalı (reciprocating)	Tüm Kapasiteler	4,20COP 5,05IPLV	ARI 550 / 590
	<528kW	4,45COP 5,20IPLV	
Su soğutmalı (rotary vidalı veya scroll)	≥528kW <1055kW	4,90COP 5,60IPLV	ARI 550 / 590
	≥1055kW	5,50COP 6,15IPLV	
Su soğutmalı santrifüj	<528kW	5,00COP 5,25IPLV	ARI 550 / 590
	≥528kW <1055kW	5,55COP 5,90IPLV	
	≥1055kW	6,10COP 6,40IPLV	
Hava soğutmalı Absorbsiyonlu tek etkili	Tüm Kapasiteler	0,60COP	ARI 560
Hava soğutmalı Absorbsiyonlu çift etkili	Tüm Kapasiteler	0,70COP	
Absorbsiyon çift etkili indirek yakmalı	Tüm Kapasiteler	1,00COP 1,05IPLV	
Absorbsiyon çift etkili direk yakmalı	Tüm Kapasiteler	1,00COP 1,00IPLV	

ASHRAE 90.1.2007

Tablo 4. Kullanılacak Chiller Sayısı

Soğutma sistem kapasitesi	Chiller sayısı
≤1055kW	1 ad.
>1055kW, 2110kW	2 ad. Eşit kapasitede
≥ 2110kW	2 ad. Hiçbir cihaz kapasitesi – 2813kW geçmeyecek şekilde ilave chiller konulacaktır.

ASHRAE 90.1.2007

7.2. Tasarım Prosedürü

Sistemin ömür boyu maliyet analizi hassas bir şekilde yapılabilmesi sistemde bulunan cihazların hepsi için matematiksel modelleme yapımı gerektirir. Bu usul pratik olmadığından soğutma sistemi bölümlere ayrılarak incelenmelidir.

Tablo 5. Soğutma Grubu Tipleri

Konulacak chiller kapasitesi	Elektrikli chiller tipi	Fosil yakıt kullanma chiller tipi
≤352kW	Reciprocating	Tek etkili absorbsiyon
>352kW, 1055kW	Vidalı	Çift etkili
≥ 1055kW	Santrifüj	Çift etkili

ASHRAE 90.1.2007

Detaylı tasarım işlerine başlamadan yapı veya yapı grubunun yük profiline uygun olarak kurulacak soğutma sistemi yük profili belirlenmelidir.

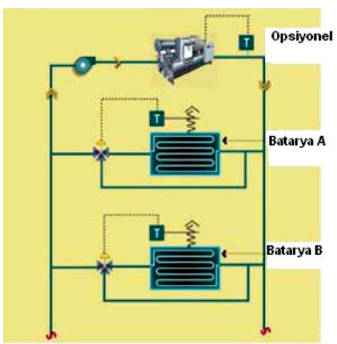
Chiller sistemi tasarımında optimuma yaklaşabilmek için aşağıda belirtilen basamaklar takip edilmelidir.

1. Soğutulmuş su dağıtımı akış şeması belirlenmelidir.
2. Soğutulmuş su sıcaklığı, akış debisi belirlenmelidir.
3. Soğutma kulesi control sistemi verimi kondenser suyu sıcaklıkları verilmelidir.
4. Soğutma grubunun performans spesifikasyonlarına göre ömür boyu maliyet analizleri yapılmalıdır.
5. Soğutma grubuna göre kule büyüklükleri tespit edilmelidir.
6. Boru çapları ve pompa büyüklükleri tespit edilmelidir.
7. Otomatik kontrol senaryosu oluşturulmalıdır.

7.3. Dağıtım sistemi seçimi

Alışılagelmiş soğutma sistemi tasarımında sabit debili soğutma suyu hem chiller devresinden hemde binayı soğutmak için kullanılan bütün devrelerden dolaştırılmaktadır. Sistem büyüklüğüne ve yüküne göre kullanılan soğutma grubu ve pompa sayısına uygun olarak aşağıda basit şemaları verilen sistemler kullanılabilir.

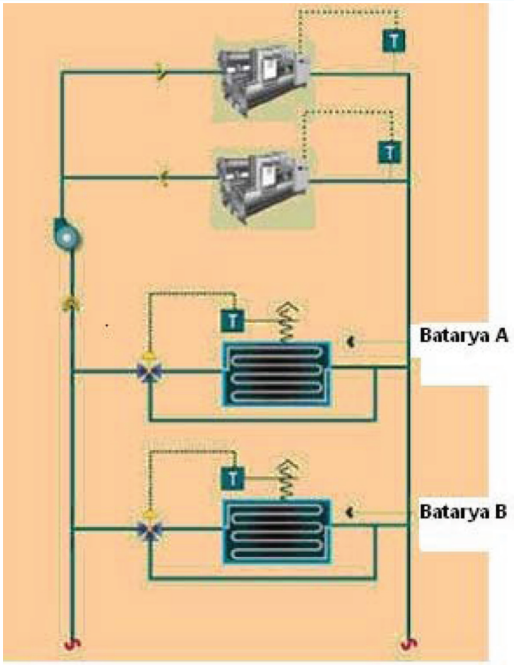
Şekil 3 – 6 sabit debili değişik sayıda yük devreli sistem şemaları verilmiştir.



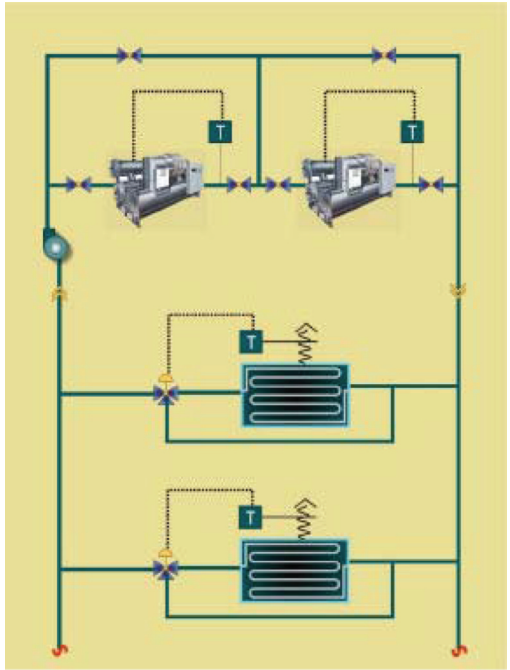
Şekil 3. *Sabit Debili Tek Soğutma Grubu Birden Fazla Batarya*

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:24 Page 26

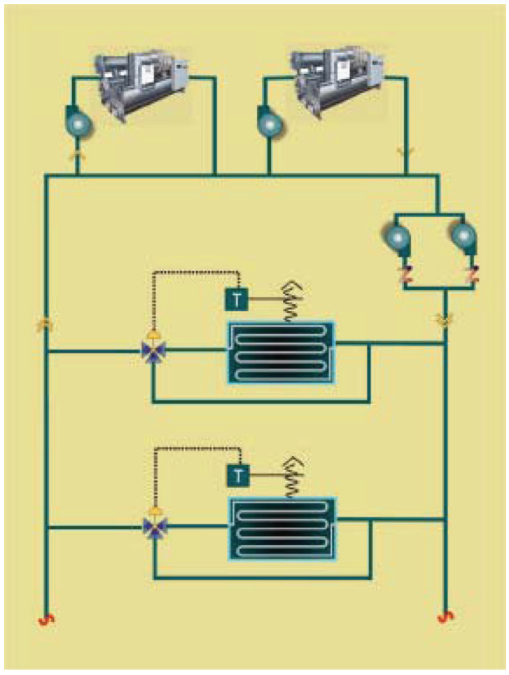
- Sabit debili tek chillerli çok devreli sistem (Şekil 3)
- Sabit debili paralel çok chillerli ve çok soğutma devreli sistem (Şekil 4).
- Sabit debili seri bağlı çok chillerli ve çok devreli sistemler (Şekil 5-6).



Şekil 4. *Sabit Debili Çoklu Paralel Grup ve Batarya*



Şekil 5. *Sabit Debili Çoklu Seri Soğutma Grubu ve Bataryalar*



Şekil 6. *Sabit Debili Seri Bağlı Soğutma Grubu ve Batarya*

Birden çok chiller ve soğutma devreli sistemler için değişken debi uygulaması enerji açısından çok önemlidir. Özellikle yükün düşük olduğu dönemlerde pompalama enerjisinden önemli tasarruf sağlanabilir.

Yakın zamana kadar chiller devrelerinde değişken debili pompalama sistemlerinin kullanılması imalatçılar tarafından tavsiye edilmemiştir.

Eğer chiller sabit şartlarda çalışıyor ise evaparatör içindeki akışın düşmesi çıkış sıcaklığının da düşmesine neden olacaktır. Eğer debi düşmesi yavaş olur ise, kontrol cihazları buna cevap verecek zamana sahip olacaklarından sistem çalışma rejiminde oynama olmaz. Debi değişimi hızlı olur ise cihazdan çıkan su sıcaklığı düşer ve cihaz düşük sıcaklık sensörü vasıtasıyla devre dışı kalır. Bazı imalatçılar kullandıkları yeni kontrol sistemleri ile bu ani sıcaklık düşüşünü önlemişlerdir.

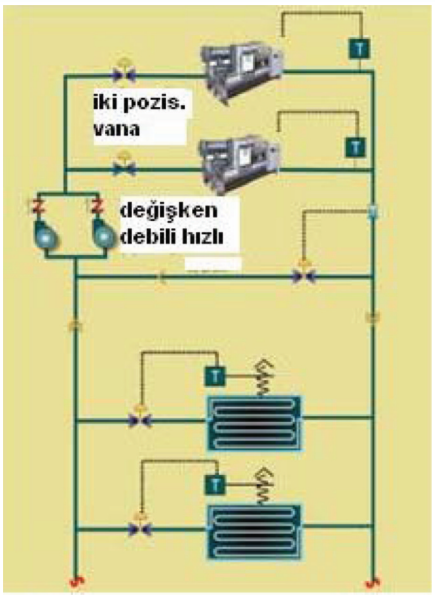
Değişken debili soğutma sistemlerinde diğer önemli konu evaparatörde laminar akımın meydana gelmemesidir. Genelde akışkan hızının minimum 1m/s (3ft/s) olması halinde iyi bir ısı transferi sağlanır.

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:25 Page 27

Mesela iki geçişli bir evaparatörde ΔT = 6,7°C (12°F) minimum akış dizayn debisinin %50'sine kadar, üç geçişli evaparatörde ise %30'a kadar düşebilir.

Sadece Primer Devreli VSD Pompalı Sistem

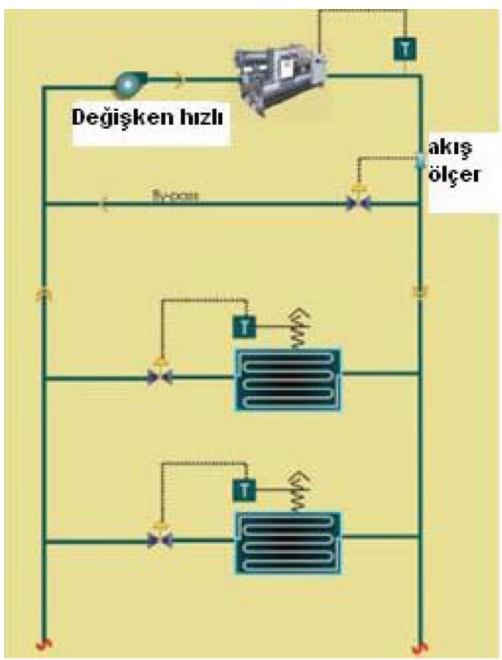
Sadece primer devreli ve değişken debili pompalı sistemlerin primer/sekonder pompalı sistemlere göre birçok avantajı vardır. Sistem tek veya daha çok chiller ve pompalarını ihtiva eder. Soğutucu serpantin kontrolü 2 – yollu vanalarla sağlanır. Ana besleme borusu ile ana dönüş borusu arasında bulunan bir by-pass hattı ile chillerdeki minmum akış temin edilir. By – pass hattında bulunan kontrol vanası basınca bağımsız çalışan ΔP kontrolu yapabilen tipte olmalıdır. (Şekil 7 – Şekil 8) By – pass vanası devreden her çalışan chiller için gerekli minimum debiyi geçirecek şekilde programlanmalıdır. İhtiyaç noktalarında bulunan iki yollu vanalar kapanmaya doğru hareket ettiğinde ihtiyaca göre soğutma grupları teker teker devreden çıkartılır. Devrede olmayan chillerlerden su dolaşması engellenmelidir. Değişken hız kontrolü fark basınç şalteri veya soğutma serpantin vana pozisyonlarına göre yapılabilir. Pompa hız düşümü minimum akış sağlayacak şekilde limitlenmelidir.



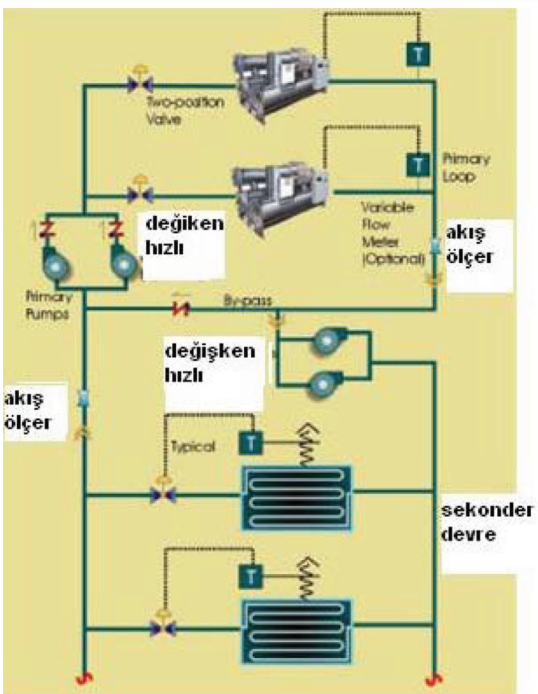
Şekil 8. *Primer Devresi Değiken Debili Çoklu Grup ve Batarya*

En çok kullanılan soğutma sistemleri yukarıda tartışılmıştır. Sistem seçiminde dikkat edilmesi gerekli hususlar şöyledir:

1. Soğutma sistemi eğer büyük soğutma yüklerine hizmet veriyor ise (Üniversite kampüsü, havaalanı gibi), yapı gruplarına dağıtılmış VDS üçüncül



Şekil 7. *Primer Devresi Değişken Debili Tek Soğutma Grubu, Çoklu Batarya*



Şekil 9. *Primer ve Sekonder Devreleri Değişken Debili*

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:25 Page 28

pompalar ile sistemi kurmak en iyi çözümdür. (Şekil 10B) Yapılara yerleştirilen bu pompa basınçları soğutulmuş suyun makine dairesinden gelip yapı içi dağılımını sağlayacak büyüklükte seçilmelidir. Konvensiyonel primer/sekonder pompa (Şekil 9) şematiğinde yakın binalardaki basınç fazla olacağından otomasyon vanaları ile düşülecek böylece enerji kaybedilecektir.

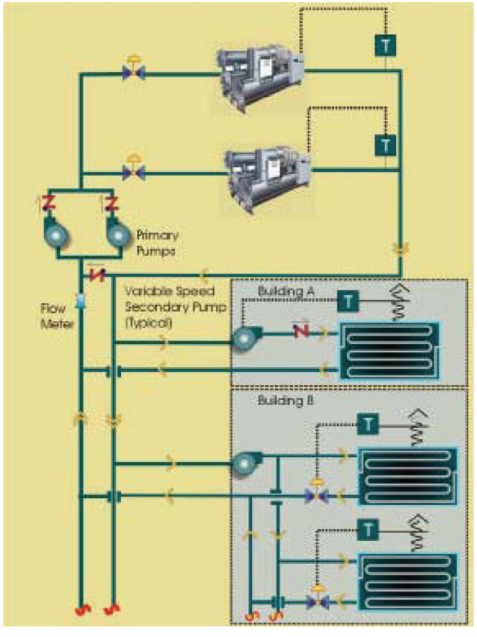
2. Şayet sistem küçük az sayıda soğutucu var ve dağıtım basıncı düşükse (>15mSS) işletmesi basit ilk yatırımı düşük sabit debili primer pompalar sistem enerji sarfiyatı VSD sisteme göre daha fazla olmasına rağmen seçilmelidir. Şayet sistemdeki yükler aynı zamanda azalıp çoğalıyor ise Şekil 7 – Şekil 8'de verilen bir dağıtım şekli kullanılmalıdır.
3. Soğutma sistem devresi dağıtım basınç düşümü fazla (>15mSS) ise primer pompalı değişken debili sistem kullanılması optimum bir çözümdür. Veya primer ve sekonder pompalı sekonder devresi VSD sistemler seçilmelidir (Şekil 9).
4. Eğer sistem büyük soğutma kapasiteli havalandırma sistemlerine hizmet veriyor ise soğutma yüklerinin oluştuğu bölgelere yerleştirilmiş VSD sekonder pompaların kullanılması en iyi çözümdür. Şekil 10A Bu sistem primer / sekonder pompalı sistemden ilk yatırım ve işletme giderleri açısından daha uygundur. Sistemin daha enerji verimli olmasının sebepleri 1) Kontrol vanaları basınç düşümü ortadan kaldırılmıştır. 2) Yaygın bir sistemde, sekonder pompa basınçları suyun makine dairesinden soğutma serpantinleri besleyecek şekilde seçilmiş olmalıdır. Konvensiyonel primer / sekonder şemada (Şekil 9) yakın soğutma yükü devrelerine binen basınç fazla olacağından otomatik vanalar vasıtasıyla basınç bertaraf edilir, böylece enerji ziyan edilmiş olur.

Bu sistemin dezavantajı daha çok pompaya ihtiyaç göstermesidir. Şayet yükler küçük ve dolayısı ile pompalarda küçük ise küçük pompa verimlerinin düşüklüğünden dolayı bir verimsizlik yaşanabilir.

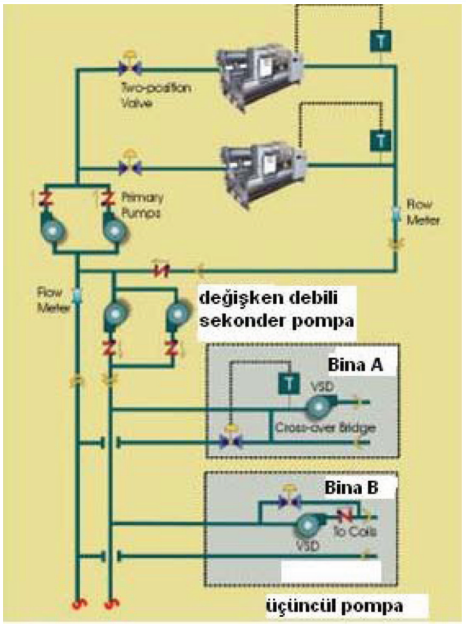
Soğutulmuş Su Sıcaklığının Tespiti

Soğutucu akışkan besleme ve dönüş sıcaklıklarının optimizasyonu sistemin ömür boyu maliyetini minimize ettiği gibi havalandırma cihazları maliyetini de etkiler. Soğutulmuş su sıcaklığı batarya dizaynını ve dolayısı ile basınç düşüşü ve fanın enerji çekişini etkiler.

Tablo 6 tipik soğuksu sıcaklık farkının (ΔT)enerji kullanımı ve ilk yatırım maliyetine etkilerini göstermektedir. ΔT'nin büyümesi ilk yatırım maliyeti açı-



Şekil 10. Primer Sabit Sekonder Değişken Debili



Şekil 11. Primer Sabit Sekonder Değişken Debili

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:25 Page 29

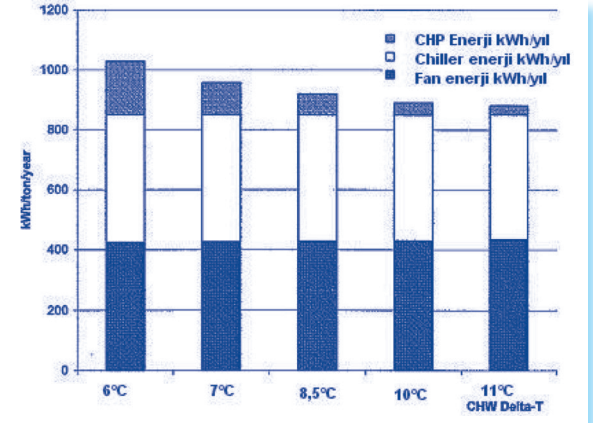
sından önemli avantajlar sağlamaktadır. Enerji maliyeti açısından da tasarruf sağlayabilmesi artan fan enerjisinin düşen pompa enerjisi mukayesesi ile görülebilir. Soğutma grubu enerji çekişi belli bir cihaz çıkış sıcaklığında ΔT'den çok etkilenmez

Tablo 6. İlk Yatırım ve Enerji Maliyetine Soğutma Suyu ΔT' sinin Etkisi (Sabit Soğuk Su Sıcaklığında)

	ΔT	
	Küçük	Büyük
Tipik aralık	5°C	11°C
İlk yatırım	Küçük serpantin	Küçük boru çapı Küçük pompa Küçük pompa motoru
Enerji maliyeti	Daha az fan enerjisi	Daha az pompa enerjisi

Çokça kullanılan soğutulmuş su serpantin giriş – çıkış sıcaklıkları hava tarafında basınç değişimini nadiren ve çok az etkiler. Önemli olan ΔT' büyüdükçe hava tarafı basınç kaybının fazla etkilenmeden su tarafı basınç kaybının azalmasıdır.

Şekil 12 soğutma suyunun ΔT'sinin artması durumunda bir ofis binasının enerji kullanımı göstermektedir.



Şekil 12. *Senelik Enerji Kullanımı – Soğutulmuş Su ΔT*

Soğutma sistemlerinde genel olarak ΔT = 5,5 °C olarak kullanılmakta ve 2,6 lt/dak.kw debi sistemde sirküle edilmektedir. Son yıllara da soğutma grupları minimum verimleri %60 artarak 3,8 COP (ASHRAE STD. 90-75) değerinden 6,1COP değerine yükselmiştir (Ashrae 90.1.2004). Dolayısı ile hidronik sistemlerin yeniden gözden geçirilerek pompa seçimlerinde kullanılan enerjinin düşürülmesi hedeflenmelidir.

Sonuç olarak soğutma suyu gidiş – dönüş sıcaklıkları ΔT'si artırılarak, pompa debileri düşürülmeli, chiller verimi daha yüksek dönüş suyu sıcaklığı nedeniyle arttırılmalıdır. Bu ilk yatırım ve işletme masraflarını düşürecektir. Soğutma suyu gidiş – dönüş sıcaklık farkının 7°C – 11°C arasında seçilmesi tavsiye edilmektedir (ASHRAE – GREEN GUİDE).

Kondenser Su Sıcaklığı ve ΔT Optimizasyonu

Optimum kondenser giriş – çıkış sıcaklıklarının belirlenmesi, direkt olarak chiller performansını etkilediği için çok dikkatle etüd edilmesi gereken bir husustur. Soğutulmuş su devresinde artan ΔT sıcaklık farkına göre besleme fanının çektiği enerjinin etkisi çok küçüktür ve genelde sistemin enerji kullanımını azaltır. Kondenser suyu giriş çıkışı arasındaki fark ise direk chilleri etkileyeceğinden enerji kullanımı açısından küçük bir fark olmayacaktır.

Soğuk su hazırlama sisteminin performansı kule seçimi ve kule fanlarının kontrolü ile yakından ilgilidir. Kule kapasitesi belirlenmesinde yaş termometre sıcaklığına yakın bir su çıkış sıcaklığı chiller verimini arttıracak ancak kule fanı enerji giderlerini arttıracaktır. Bu anlamda ilk yatırım bedeli de artacaktır. Diğer önemli bir faktör kule fan hızının kontrolüdür.

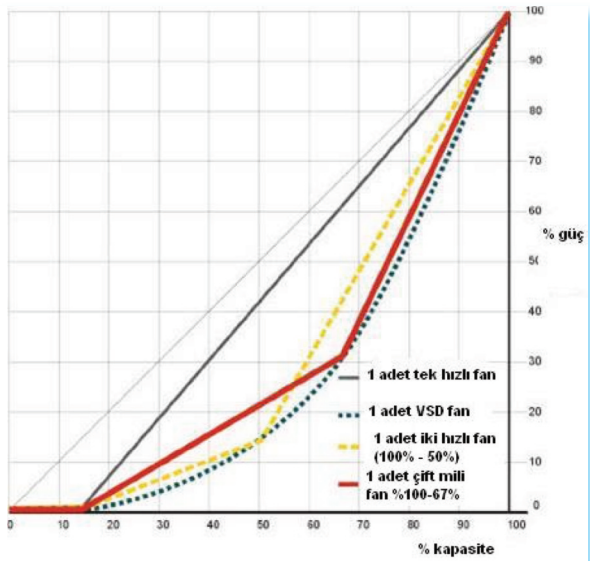
Aşağıda kondenser – kule suyu sistemi tasarımında kullanılması gerekli adımlar belirtilmiştir.

1. Kule fan hız kontrolünün seçilmesi
2. Kule veriminin tespiti
3. Kule giriş – çıkış sıcaklıkları ve çıkış sıcaklığı yaş termometre yaklaşımı

Kule fanı hız kontrolü seçimi
1. Tek hızlı
2. Çift hızlı
3. Çift motorlu cihazlar
4. Değişken hız anahtarlı sistemler

Şekil 13'de kule tiplerinin kapasite ve buna bağlı yük değerleri görülmektedir. Fanın kontrolü özellikle cihazın çalışma yük ve saatlerine bağlıdır. İki hızlı ve değişken hızlı fanlı kulelerin diğer kulelere göre çok daha enerji verimli olduğu söylenebilir.

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:25 Page 30



Şekil 13. Soğutma Kulesi Fan Tipi Kısmi Yükte Güç Çekimi

Soğutma kuleleri verimi kule debisi (lt/s) motor gücüne (kw) bölümüdür ve ASHRAE 90.1.2007'de minimum değerleri verilmiştir.

İki ana faktör kule verimini etkiler;

• Fan Tipi: Kuleler propellerfanlı veya santrifüj fanlı olarak imal edilirler. Santrifüj fanlı kuleler genelde propeller fanlı kulelere göre 2 kat daha fazla enerji kullanırlar ve ilk yatırım olarak daha pahalıdırlar.

• Kule dolgusu üzerinde basınç kaybı: Basınç düşümü kule dolgu malzemesi ebatları ve dizayn ile ilgilidir.

Genel olarak kulenin biraz büyük seçilmesi ilk yatırımı bir miktar arttırmakla birlikte daha ucuz bir işletme getirecektir. Bu kararı desteklemek için California iklim şartlarında çalışan "data centre" ve ofis yapıları için daha verimli kuleler seçildiğinde (daha büyük kapasiteli) gelecek ilave maliyetler Tablo 8'de görülmektedir.

Standart kule verimi 3,2 lt/s.kw alınmıştır. Tablo 9 Kondenser su giriş – çıkış sıcaklık farkına (range) göre maliyet mukayesesini göstermektedir.

Kule kondenser devresinde genelde $\Delta T = 5.5°C$ kullanılır. (3.2 lt/min.kw) "Cool Tools Guide" göre daha yüksek ΔT ilk yatırım maliyetini düşürecek (boru, pompa ve kule ebatları küçülecektir). Fakat enerji

Tablo 7. Soğutma Kuleleri ve Kuru Soğutucular

Cihaz tipi	Toplam sistem kapasitesi	Ölçüm şartı	İstenen performans	Test proseduru
Propeller or aksiyal fanlı	Tüm kapasiteler	35°giriş su 29°C çıkış su 24°C yaş termometre	≥3,23L/s-kW	CTI ATC-105 ve CTI STD-201
Santrifüj fanlı	Tüm kapasiteler	35°giriş su 29°C çıkış su 24°C yaş termometre	≥1,7L/s-kW	CTI ATC-105 ve CTI STD-201
Hava soğutmalı kondenser	Tüm kapasiteler	52°C kondens sıcaklığı (R22) 88°C giriş gaz sıcaklığı 8°C subcooling	≥69COP	ARI 460
		35°C giriş kuru termometre		

Tablo 8. Maliyet Arttırıcı Büyük Kule Seçimi Maksimum İlave Maliyeti

Yaş termometre sıcaklığı	Kule verimi @ CTI şartlarında (standart 90.1.2007)		Maksimum ilave bedel $/ ton atılan ısı Uygulama	
	Tarif	lt/s / kw	Data center	ofis
≥23°	Orta	4,9	$ 15,60	$ 6,0
	Yüksek	6,7	$ 24,0	$ 9,0
21°C - 22°C	Orta	4,9	$ 21,6	$ 7,8
	Yüksek	6,7	$ 33,6	$ 12,0
< 21°C	Orta	4,9	$ 26,4	$ 9,0
	Yüksek	6,7	$ 39,6	$ 13,2

bekir erdinc boz:Sablon 07.09.2010 10:25 Page 31

Tablo 9. Kondenser Suyu Giriş – Çıkış Sıcaklık Farkının İlk Yatırım ve Enerji Maliyetine Etkisi (Sabit Kondenser Giriş Sıcaklığı)

	ΔT	
	Düşük	Yüksek
Aralık	4,5°C	10°C
İlk yatırıma etkisi	Küçük kondenser	Küçük boru çapı Küçük pompa Küçük kule Küçük kule motorları
Enerji maliyetine etkisi	Daha düşük chiller maliyeti	Düşük pompa enerjisi Düşük kule enerjisi

kullanım maliyeti belki yüksek belki düşük olacaktır. Bu chiller – kule dizaynına göre ortaya çıkacaktır.

"Cool Tool Guide" kondenser giriş – çıkış sıcaklık farkına 7°C başlatacak 10°C maksimum kullanılmasını tavsiye etmektedir.

SONUÇ

Yüksek yapıların ısıtma, soğutma ve havalandırma sistem tasarım verileri kullanılacak örnek devreler ve bunların uygulama şekilleri, mimari tasarımda dikkat edilmesi gerekli hususlarda bilgiler sunulmuştur. Enerji etkin ve enerji – maliyeti etkin yapıların tasarımında en önemli faktörlerden biride yapıyı kullananların konfor şartlarının arttırılması ve üretimlerinin arttırılmasıdır.

KAYNAKLAR

[1] ASHRAE, GREEN GUIDE The Desing, Construction and Operation of sustainable buildings ASHRAE Atlanta 2006

[2] W.P.JONES, Air Conditioning application and desing John wileys & Sons, inc. NY 1997

[3] ASHRAE, 2004 ASHRAE Handbook – System and Equipment Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air – Conditioning Engineers,Inc.

[4] ASHRAE, 2004 Advanced Energy Design Guide for Small Office Buildings. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air – Conditioning Engineers, Inc.

[5] ASHRAE, 2004 ANSI/ASHRAE/IESA Standard 90.1.2007 Energy Standard for Buildings except Low – Rise Residential Buildings. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air – Conditioning Engineers,Inc.

[6] ASHRAE, 2005 ASHRAE Handbook – Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air – Conditioning Engineers,Inc.

[7] ASHRAE, 2006 Advanced Energy Desing Guide for Small Retail Buildings. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air – Conditioning Engineers, Inc. Taylo, S., P. Dupont, M, Hyderman, B. Jones and T Hartman. 1999 The Cool Tools Chilled Water Plant Design and Performance Specification Guide. San Francisco, CA: PG&E Pacific Energy Center.