
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ENERJİ EKONOMİSİ

Burak AKYAKA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2019

Burak Akyaka tarafından hazırlanan " İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ENERJİ EKONOMİSİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hikmet DOĞAN

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……

Başkan: Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

……...

Üye: Doç. Dr. Mustafa Ali ERSÖZ

Elektrik ve Enerji Ana Bilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

……...

Tez Savunma Tarihi: 05/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

…….

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Burak AKYAKA

05/07/2019

İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ENERJİ EKONOMİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Burak AKYAKA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Bu çalışmada iklimlendirme cihazlarında enerji ekonomisinin önemine dikkat çekilmek istenmiştir. İklimlendirme cihazları ile ilgili ulusal ve uluslararası yönetmelikler incelenmiş ve güncel mevzuatlar araştırılmıştır. Binalarda tüketilen enerjinin %32'si iklimlendirme cihazları tarafından tüketilmektedir. Bu yüzden bu cihazların en uygun verimliliklerde seçilmesi gerekmektedir. İncelemesi yapılan bir hastanede kullanılan soğutma grupları ve fan coil cihazlarının, daha yüksek sezonsal enerji verimliliğine (SEER) sahip cihazlar kullanıldığındaki yıllık işletme maliyetleri arasındaki fark hesaplanmıştır. Soğutma gruplarının yüksek verimlilikte cihaz kullanıldığındaki oluşacak ilk yatırım maliyetini, yıllık enerji tasarrufu ile 4 yılda geri ödeyeceği hesaplanmıştır. Fan coil cihazlarında ise yine enerji verimliliği yüksek olan EC motorlu fan kullanıldığında, AC motorlu fana göre ilk yatırım maliyetini yapacağı enerji tasarrufu ile 9 yılda ödeyeceği Net Bugünkü Değer yöntemi ile hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 92808
Anahtar Kelimeler : Enerji ekonomisi, yıllık işletme maliyeti, mevsimsel verimlilik
Sayfa Adedi : 57
Danışman : Prof. Dr. Hikmet DOĞAN

ENERGY ECONOMY IN HVAC SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Burak AKYAKA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

This study aims to draw attention to the importance of energy economy in air-conditioning devices. National and international regulations related to air conditioning devices were examined and current legislation was investigated. 32% of the energy consumed in buildings is consumed by air-conditioning devices. Therefore, these devices need to be selected in the most appropriate efficiency. The difference between the chillers and fan coils which have standart efficiency used in a hospital and the use of these units with higher seasonal energy efficiency (SEER) was calculated. It has been calculated that chillers will pay back the first investment cost in 4 years when using high efficient chillers. In the case of fan coil units, when the high efficient EC motorized fan is used against AC motorized fan, when it was calculated by Net Present Value method it will pay the first investment cost in 9 years

Science Code : 92808
Key Words :Energy economy, annual operating cost, seasonal efficiency
Page Number : 57
Advisor : Prof. Dr. Hikmet DOĞAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleri ile beni destekleyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hikmet Doğan hocama öncelikle teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, tez çalışmalarım sırasında sabırla bana destek olan eşim Büşra Akyaka'ya, yeni dünyaya gelen motive kaynağım oğlum Arel Akyaka'ya sevgilerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……..iv

ABSTRACT……...v

TEŞEKKÜR……...vi

İÇİNDEKİLER …….vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ……ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ…….xi

SİMGELER VE KISALTMALAR……...xii

1. GİRİŞ ……1

2. İKLİMLENDİRME……5

2.1. İklimlendirme Sistemlerine Genel Bakış……..5

2.1.1. Isıtma……..5

2.1.2. Soğutma……10

2.1.3. Havalandırma ……...21

2.1.4. Nemlendirme ve nem alma ……..25

2.2. Türkiye'de Enerji ile İlgili Mevzuatlar ……..25

2.2.1. Enerji verimliliği kanunu …..……...27

2.2.2. Binalarda enerji performansı yönetmeliği …….……..……..28

2.3. Avrupa'da İlgili Mevzuatlar…….……...29

2.4. İklimlendirme Sektörünün Türkiye Ekonomisindeki Yeri…….30

3. İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE DOĞRU CİHAZ SEÇİMİ ve ENERJİ EKONOMİSİ ……...33

3.1. Bir Hastanenin Soğutma Grubu ve Fan coil Cihazları İçin Yıllık İşletme Maliyeti Üzerinden Enerji Ekonomisi ……...34

3.2. Mevsimsel Enerji Verimliliği İfadesi …….36

Sayfa

3.3. Mevsimsel Enerji Verimliliği ile Soğutma Grubu İşletme Maliyeti Analizi……....41

3.4. Mevsimsel Enerji Verimliliği ile Fan coil Cihazları İşletme Maliyet Analizi …. 50

4. SONUÇ VE ÖNERİLER ……..53

KAYNAKLAR……..55

ÖZGEÇMİŞ……...58

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Isı kaybı hesabının çizelgelendirilmesi…….9

Çizelge 2.2. Isı kaybı çizelgesinde kullanılan semboller……10

Çizelge 2.3. İnsanlardan gelen duyulur ve gizli soğutma yükleri……15

Çizelge 2.4. Bazı elektrikli cihazların anma güçleri ve yaydıkları ısılar…….17

Çizelge 2.5. Soğutma yükü hesabının çizelgelendirilmesi…….20

Çizelge 2.6. Mahal kullanım amacına göre insan başına düşen taze hava ihtiyacı ....…….. 23

Çizelge 2.7. Çeşitli mahallerin saatlik hava değişim sayıları ....…….. 24

Çizelge 2.8. İklimlendirme sektörü ticaret verileri .....…….. 31

Çizelge 3.1. Soğutma grubu minimum seer değerleri……..……..37

Çizelge 3.2. Hava soğutmalı soğutma gruplarında kısmi yüklere göre dış hava sıcaklığı – çalışma saati çizelgesi....……..…….38

Çizelge 3.3. Soğutma grubu kısmi yükler çizelgesi .....…….39

Çizelge 3.4. Konfor soğutma grupları için referans çalışma saatleri ....……..40

Çizelge 3.5. Soğutma grubu kısmi yük tablosu…….……..41

Çizelge 3.6. Kısmi yüklerdeki eer değerleri…….……..42

Çizelge 3.7. Yıllık toplam soğutma ihtiyacı ve yıllık toplam enerji tüketimi tablosu……..……..43

Çizelge 3.8. Soğutma grubu performans ve aktif durum dışında çektiği güçler .....…….……...45

Çizelge 3.9. Soğutma grubu kısmi yük tablosu …….45

Çizelge 3.10. Kısmi yüklerdeki eer değerleri …….……46

Çizelge 3.11. Yıllık toplam soğutma ihtiyacı ve yıllık toplam enerji tüketimi tablosu ……..…….. 47

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.12. Soğutma grubu performans ve aktif durum dışında çektiği güçler……48

Çizelge 3.13. Soğutma grubu yıllık işletme maliyeti……..49

Çizelge 3.14. Yatırım maliyetinin nbd ile geri dönüşümünün hesaplanması……..49

Çizelge 3.15. Fan coil kapasite – adet çizelgesi……. 51

Çizelge 3.16. Fan coil işletme maliyeti analizi…….. 51

Çizelge 3.17. Fan coil yatırım maliyetinin NBD ile geri dönüşümünün hesaplanması….52

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. 1990-2014 Türkiye enerji ithalatında kaynakların miktarı …….. 2

Şekil 2.1. Sıcaklık ve nem konfor şartları……..6

Şekil 2.2. Turfan şehri serin su sanal müzesinden bir görünüm……...11

Şekil 2.3. Soğutma çevirimi…….12

Şekil 2.4. İdeal ve gerçek soğutma çevriminin P-h ve T-s diyagramları ……12

Şekil 2.5. İnsanlardan atılan yaklaşık ısı oranları ……15

Şekil 2.6. Isı geri kazanımlı havalandırma santrali……..22

Şekil 2.7. Kaynak bazında birincil enerji tüketimi ……..26

Şekil 2.8. Enerji verimliliği mevzuatı …….27

Şekil 2.9. Avrupa Birliği Enerji Politikalarının 2020 yılı hedefi ……30

Şekil 3.1. Ticari binalarda enerji dağılımı …….. 33

Şekil 3.2. Hava soğutmalı soğutma grubu görseli……35

Şekil 3.3. Fan coil görseli…….36

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
AB	Avrupa Birliği
ASHRAE	Amerikan Makine Mühendisleri Topluluğu
ERP	Enerji İlgili Cihazları
HVAC-R	Heating, Ventilation, Air Condition and Refrigeration
ISO	Uluslararası Standartları Teşkilatı
KT	Kuru Termometre
Mtep	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
YT	Yaş Termometre

1. GİRİŞ

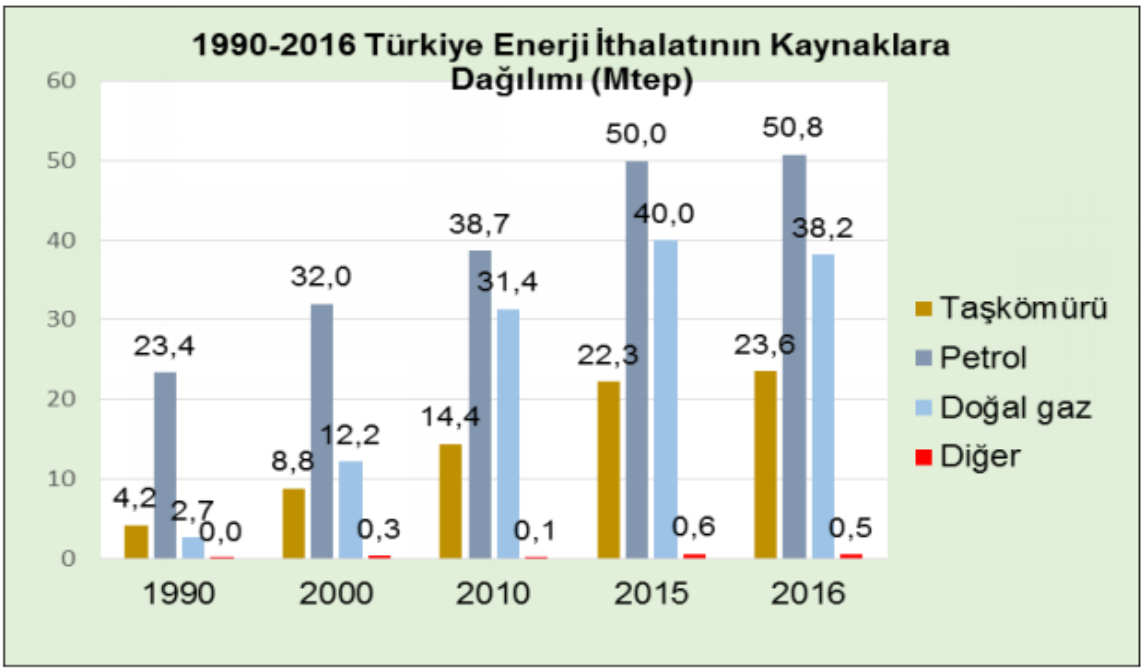
Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, enerji tüketimi hızla artmaktadır. Artan enerji tüketimi, enerjinin daha verimli, daha elverişli kullanılması gerekliliğini meydana getirmektedir. Özellikle enerji ithalatı yapan ülkelerde bu gereklilik büyük önem arz etmektedir.

Tüketimi en hızlı artan enerji kaynaklarının başında elektrik enerjisi gelmektedir. Türkiye'de yıllık ortalama %5 civarında bir elektrik enerjisi tüketim artışı meydana gelmektedir.

Türkiye'nin 2018 yılı ilk yarısı itibarıyla elektrik enerjisi üretim kurulu gücü 87139 MW'a ulaşmıştır. Türkiye'de 2018 yılı ilk yarısı sonunda kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı; % 32,0'ı hidrolik enerji, % 26,4'ü doğal gaz, % 21,4'ü kömür, % 7,7'si rüzgâr, % 5,4'ü güneş, % 1,3'ü jeotermal ve % 5,8'i de diğer kaynaklar şeklindedir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın geliştirdiği politikalar ile doğalgazın elektrik üretimindeki payı düşürülmeye çalışılmıştır. Nitekim 2017'de doğalgazın elektrik enerjisi üretimindeki payı %37 iken 2018 de bu oran %26,4'e düşürülmüştür [1].

Elektrik enerjisi ikincil enerji kaynağıdır. Yani Dünyada hale hazırda var olan birincil enerji kaynakları tarafından üretilmektedir. Türkiye'nin birincil enerji kaynakları bakımından zengin bir ülke olduğu söylenemez bu nedenle enerji ithalatı yapmaktadır. Türkiye'deki enerji ithalatının yıllara ve kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.1.'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi Türkiye'nin enerji ithalatı her geçen yıl artmıştır ve enerji ithalatındaki en büyük pay doğalgaz kaynağındadır.

Artan enerji tüketimi ile enerji kaynaklarının rezervi kritik noktalara gelmeye başlamıştır. Yapılan araştırmalar rezerv miktarlarına göre tüketimin aynı artış oranı ile devam etmesi durumunda kömürün 114 yıl, doğalgazın 53 yıl, petrolün 51 yıllık ömürleri kaldığını göstermektedir [2]. Bu nedenle yakın tarihte enerji ekonomisi ülkelerin en önemli gündem maddesi olmuş ve olmaya devam edecektir.



Şekil 1.1. 1990-2014 Türkiye enerji ithalatında kaynakların miktarı [3]

Avrupa'da yapılan araştırmalara göre tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %40'ı binalar tarafından tüketilmektedir. Ticari binalarda tüketilen enerjinin %32'si iklimlendirme donanımları tarafından tüketilmektedir. Bu oranlar iklimlendirme cihazlarındaki enerji ekonomisini zaruri kılmaktadır.

Enerji ekonomisi, enerji arzının azaltılması veya kısıtlanması şeklinde düşünülmemelidir. Enerji ekonomisi, kullanılan enerji miktarının değil, ürün başına tüketilen enerjinin azaltılmasıdır [4].

Üretici firmalar yeni teknolojilerin de katkısıyla cihazların enerji tüketimini en aza indirme konusuna odaklanmışlardır. İklimlendirme cihazlarındaki enerji tüketiminin azaltılması sadece üretici firmaların inisiyatifine bırakılmamış Avrupa ve Türkiye'de iklimlendirme cihazlarında tüketilen enerjinin verimli kullanımına yönelik birçok direktif ve politikalar da üretilmiştir.

Enerji verimliliği konusunda ülkeler arası yapılan antlaşmalar ile birlikte enerji verimliliğine daha fazla dikkat çekinmek istenmiş ve bu konudaki farkındalık çalışmaları akademik çalışmalar ile de desteklenmiştir.

Karaca tarafından 2012 yılında yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, değişken devirli sirkülasyon pompaları, enerji verimliliği açısından ele alınmıştır. Özellikle paralel çalışan değişken devirli pompaların verimli çalıştırılmaları üzerinde durulmuş ve aynı hidrolik koşullarda değişken devirli sirkülasyon pompalarının paralel çalışma koşulunda eşit frekans ile çalışmalarının enerji açısından en verimli çözüm olacağı değerlendirilmiştir [5].

Ünlü tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında Ankara'da inşası yapılacak olan bir bina için en uygun ve ekonomik iklimlendirme sisteminin bulunması için hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre bu hesaplamaların her proje için yapılması gerekliliği sonuçların ilden ile veya projeden projeye, projenin sahip olduğu özelliklere göre değişeceği sonucu çıkarılmıştır [6].

Bu çalışma ile amaçlanan; binalarda yüksek enerji tüketimine sebep olan iklimlendirme sistemlerinin mevsimsel enerji verimliliği formülü ile yıllık işletme maliyetleri ve enerji tüketimleri açısından değerlendirilmesi, ayrıca Avrupa ve Türkiye'de bu konu hakkında mevcut yönetmeliklerin incelenmesi yapılarak, en uygun yatırım (inşa) ve kullanım esaslarının çıkarılmasıdır. Ayrıca bir hastanenin soğutma grubu ve fan coilleri için enerji tüketim maliyetleri yıllık olarak hesaplanmış, daha verimli bir sitem ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada verimli sistem için ödenecek ilk yatırım maliyetinin geri dönüş sürelerine bakılarak yatırımın gerekliliği değerlendirilmiştir.

2. İKLİMLENDİRME

İklimlendirme, ısıl çevre mühendisliği olarak adlandırılan, ısıl süreç ve sistemlerin kullanımı vasıtasıyla çevresel şartların kontrol edilmesi bilimi ve uygulamasıdır [7]. Bir başka deyişle iklimlendirme; ısıtma, soğutma, nemlendirme, nem alma ve havalandırma ile istenilen iç ortam hava şartlarına ulaşılması işlemidir. Bu işlemi yerine getiren cihazlara 'klima' denir. Sistemin en önemli öğesi havadır. Bu yüzden iklimlendirilecek havanın fiziki ve termodinamik özelliklerini iyi analiz etmek gerekmektedir.

Tarihsel olarak değerlendirildiğinde, iklimlendirmenin başlangıcı 1911 yılında Willis Carrier tarafından psikrometrik diyagramın hazırlanması olarak kabul edilebilir. Willis Carrier aynı yıl Amerikan Makine Mühendisleri Topluluğuna bu formülü bildirmiştir. Bu diyagram hala iklimlendirme endüstrisinde ana hesaplamaların temelini oluşturmaktadır.

İklimlendirme uluslararası piyasalarda; ısıtma, havalandırma, hava şartlandırma (nemlendirme ve nem alma) ve soğutma kelimelerinin İngilizce baş harflerinden oluşan HVAC-R (Heating, Ventilation, Air Conditioning and Refrigeration) kısaltması ile temsil edilmektedir.

2.1. İklimlendirme Sistemlerine Genel Bakış

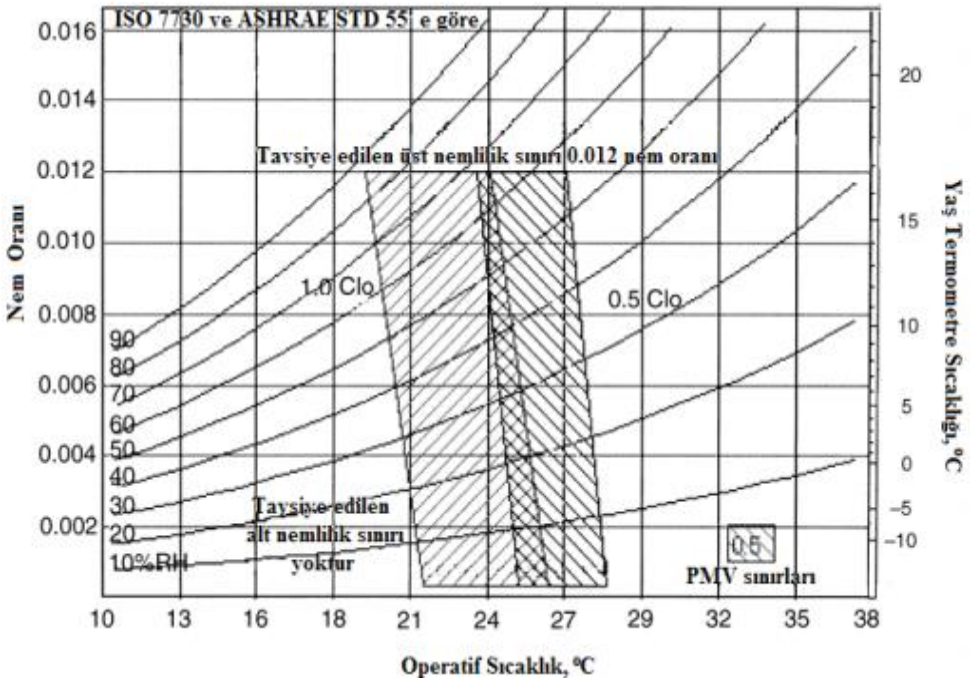
İklimlendirme sitemi, hava ile ilgili bütün işlemleri kapsadığından çok değişik sistem ve cihazlar bir bütünün içinde yer almaktadır. İklimlendirme santrali; basit havalandırma, ısıtma, soğutma, nemlendirme, nem alma ve bu işlemler yapılırken ortaya çıkan gürültüyü de yok etme gibi farklı işlemleri bünyesinde toplamaktadır. Bu işlemlerin tamamı sistem havası üzerinde yapılmaktadır. Çünkü enerjiyi kullanım mahalline taşıyacak olan havadır. Bu hava da tabi ki, mahallin konum ve kullanım amaçlarına göre, önceden debisi ve kullanım şartları belirlenen havadır.

2.1.1. Isıtma

Bütün canlıların yaşayabilmeleri için, yaşadıkları çevrenin, vücut sıcaklık durumlarına göre ihtiyaç duyulan sıcaklık değerlerinde bulunması gerekmektedir. Dolayısıyla canlıların

hayatlarını geçirdikleri ortamlar da vücut sıcaklıkları ile dengeli durumlarda olması gerekmektedir. Kutup ayısını bir çölde yaşatamayacağınız gibi, çöldeki deveyi de kutuplarda yaşatamazsınız. Bunun için her vücudun enerjiye ihtiyacı vardır, ama bu, o vücudun özelliklerine göre az ya da çoktur. İnsanlar sıcakkanlı yaratıklar olduklarından, sadece hayatta kalabilmek için de olsa, daima enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar.

Ateşin kontrollü olarak kullanılmaya başlanmasından itibaren ısıtma sistemleri insanlar tarafından kullanılmaktadır. Huzur ortamı ısıtmasındaki amaç insan vücut sıcaklığının sabit tutulmasıdır. Yapılan araştırmalar ile insanların ihtiyaç duyduğu huzur sıcaklıkları belirlenmiştir. Şekil 2.1.'de ISO 7730 ve ASHRAE STD 55'e göre tavsiye edilen konfor sıcaklık ve nem aralıkları belirtilmiştir. Buna göre, kış şartlarında yani ısıtma dönemi için, uygun sıcaklık 22 °C ± 2 °C ve bağıl nem değerinin %30 ile %70 aralığında olması tavsiye edilmektedir.



Şekil 2.1. Sıcaklık ve nem konfor şartları [8]

Teknolojik gelişmelerle paralel olarak ısıtma sistemlerinin enerji verimliliklerinde de ilerleme kat edilmiştir. Doğalgazlı kombilerde yanan 1 m^3 doğalgaz başına yaklaşık 1,6 kg su kütlesi bulunmaktadır. Her 1 kg su kütlesi başına 541 kcal yoğuşma ısısı açığa çıkmaktadır. Bu ısı, hermetik kombilerde doğrudan bacadan dışarıya atılır ve

faydalanılamaz. Yoğuşmalı kombilerde ise yanma sonucunda oluşan buhar tekrar yanma bölmesine getirilerek yoğuşma gizli ısısından faydalanılır.

Doğalgazlı ısıtma sistemlerinde yoğuşma teknolojisinin kullanım oranı günden güne artmaktadır. Bu konuda Avrupa Birliği'nin politikaları ile yoğuşmalı kombi kullanımı zorunlu hale getirilmeye çalışılmıştır. Türkiye'de Avrupa Birliği uyum yasaları çerçevesinde yoğuşmasız hermetik kombi dışsatım ve üretim yasağını içeren düzenleme Nisan 2018 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu düzenleme ile su ısıtıcılarının ses seviyeleri, verimlilik değerleri ve atık gaz seviyeleri kontrol altına alınmış ve enerjide dışa bağımlı olan Türkiye için ciddi bir enerji tasarrufu imkânı sağlanmıştır.

Isıtma sistemleri; merkezi ve yerel ısıtma sistemleri olarak iki ana başlığa ayrılabilir. Merkezi ısıtma sistemlerinde akışkan (su, hava) ana merkezde bulunan kazan veya başka bir ısıtıcı tarafından ısıtılarak, ısıtılacak bölgedeki ısı dönüştürücülere veya doğrudan radyatöre gönderilir. Yerel ısıtma sistemlerinde ise; adından da anlaşılacağı gibi, merkezi ısıtma sistemlerinden farklı olarak mahalli bir bölgenin kombi cihazı ile bağımsız olarak ısıtılması söz konusudur.

Binalarda Enerji Verimliliği Yönetmeliği'ne göre kullanım alanı 2.000 m^2 ve üzerindeki yapılarda merkezi ısıtma sistemleri zorunlu kılınmıştır.

Binalarda ısıtma (ısı kaybı) yükü hesabı

Isı her zaman yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığı doğru bir akım gösterir. Bu yüzden kış uygulamalarında mahal sıcaklığı dış hava sıcaklığından yüksek olduğu için dışarı yönde bir ısı akışı meydana gelir. Buna "mahallin ısı kaybı" denilmektedir. Mahallin rahatlık sıcaklığında veya istenilen herhangi bir sıcaklıkta sabit tutulabilmesi için ısı kaybı hesabının yapılması gerekmektedir. Isı kaybı hesaplarının bir arada toplanabildiği Çizelge 2.1. ve bu çizelgede kullanılan işaretler de Çizelge 2.2.'de gösterilmiştir

Kapalı bir hacmin ısı yükü taşınım ve havalandırma ısı yükü olarak ikiye ayrılır [9].

$$\dot{Q}_h = \dot{Q}_T + \dot{Q}_H \quad (2.1)$$

$\dot{Q}_h$: Mahallin toplam ısı kaybı yükü (W)

$\dot{Q}_T$: Taşınım (transmisyon) ısı kaybı yükü (W)

$\dot{Q}_H$: Havalandırma ısı yükü (W)

Taşınım (Transmisyon) Isı Yükü ($\dot{Q}_T$) : Hesabı yapılan mahallin kapı pencere ve duvarlarından kaybolan ısı yükleridir ve bunun için;

$$\dot{Q}_o = q_1 + q_2 + \ldots + q_n \quad (W) \tag{2.2}$$

Eşitlikte;

$$q = K \cdot A \cdot \Delta t \quad (W) \tag{2.3}$$

q: Mahallin münferit kısımlarının ısı yükü (W)

k: Toplam ısı transferi katsayısı (k-Değeri) (W/m^2K)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \ldots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_d}} \tag{2.4}$$

α : Yüzey ısı transferi(film) katsayısı (W/m^2K)

λ : Isı iletim katsayısı (W/mK)

d : Kalınlık (m)

A : Hesaba katılan toplam yüzey alanı (m^2)

ΔT: İç ve dış sıcaklık farkı (°C)

olarak verilmiştir.

Havalandırma Isı Yükü ($\dot{Q}_H$): Isıtılacak ortamın ihtiyacı olan taze havadan dolayı dışarıdan alınan taze havanın ısıtılması için gerekli olan ısı miktarıdır. Bu ısı yükü, dış ortam ile iç ortam arasındaki sıcaklık ve basınç farkından dolayı, pencere ve kapılardan meydana gelen hava kaçaklarının ısıtılması için gerekli olan ısı olarak da düşünülebilir.

$$\dot{Q}_H = \sum(a \cdot \ell) \cdot H \cdot R \cdot \Delta t \cdot Z_K \quad (W) \tag{2.5}$$

$\dot{Q}_H$: Havalandırma ısı yükü (W)

A : Yarık geçirgenlik düzeltme katsayısı (m^3/mh)

ℓ : Kanat yarık uzunluğu (m)

H : Bina tanım katsayısı

R : Mahal tanım katsayısı

ΔT : İç ve dış sıcaklık farkı (°C)

Z_K : Köşe pencere tanım katsayısı (-)

Çizelge 2.1. Isı kaybı hesabının çizelgelendirilmesi

Hazıralayan:			ISI YÜKÜ HESABI ÇİZELGESİ Tesisin adı:									SAYFA: ..... KAT: ..... TARIH: ..... / ..... /			
İŞARETİ	YÖNÜ	DUVAR KALINLIĞI	YAPI ÖLÇÜLERİ				ISI KAYBI					ZAMLAR			TOPLAM ISI KAYBI
			GENİŞLİK	YÜKSEKLİK	YÜZEY ALANI	ADEDİ	ÇIKARILAN	HESABA KONAN	k-DEĞERİ	SICAKLIK FARKI	TAŞINIM ISI KAYBI	Z_A+Z_U	YÖN ZAMMI	İLAVE FAKTÖR	$Q_h = Q_T+Q_H$
		cm	m	m	m^2		m^2	m^2	$\frac{W}{m^2K}$	K	W	%	%	1+%	W
Açıklama: ....:															
Taşınım Isı Yükü															
NP															
TP															
ÇP															
ÇÇP															
DK															
İK															
BK															
İD															
DD															
Dö															
Ça															
Ta															
															Q_T =
Havalandırma Isı Yükü															
$Q_H = \Sigma(a \cdot \ell) \cdot H \cdot R \cdot \Delta t \cdot Z_K$															Q_H =
															$\sum Q_h$

Çizelge 2.2**.** Isı Kaybı Çizelgesinde Kullanılan İşaretler

İşaret	Ne İfade Ettiği	İşaret	Ne İfade Ettiği
NP	Normal pencere	BK	Balkon kapısı
TP	Tek pencere	İD	İç duvar
ÇP	Çift pencere	DD	Dış duvar
ÇCP	Çift camlı pencere	Ta	Tavan
DK	Dış kapı	Dö	Döşeme
İK	İç kapı	Ça	Çatı

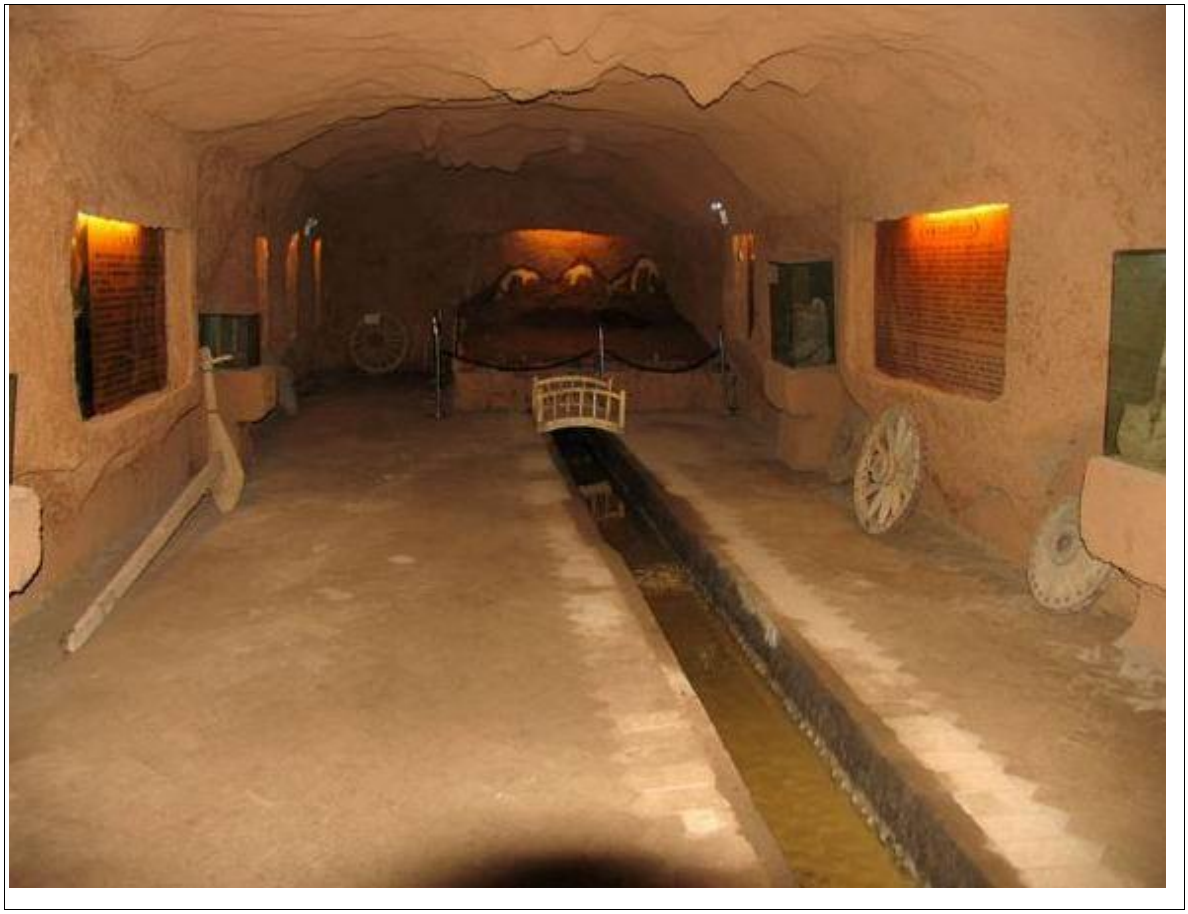
2.1.2. Soğutma

Soğutma; bir ortam ya da maddenin sıcaklığını düşürmek için o madde ya da ortamdan ısı çekme işlemidir. Isı çekme işlemi ihtiyaca bağlı olarak az ya da çok olabilir. Çoğu kere ısı çekilen ortam ya da maddenin sıcaklıkları, ısının çekildiği ortam ya da maddenin sıcaklıklarından daha düşük olduğu için, ısı çekmek mümkün olmadığından, başka bir kaynaktan alınan enerji ve kompresör yardımı ile ısı daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama atılarak soğutma yapılır.

Soğutmanın ilk uygulamaları; kar, havuz ve gölet buzu kullanımı, donma banyosu oluşturmak için kimyasal karışım soğutması ve buharlaşma yoluyla buz üretimi teknikleri şeklindeydi. Türkler, Çinliler, Hintliler ve Mısırlılar, bu metoda dayalı olarak, su dolu kapları soğuk çöl ortamında gece boyunca dışarıda bırakarak buz üretmeyi biliyorlardı [10].

M.Ö. 500 yılında Uygur Türkleri tarafından, Turfan bölgesinde yapılan karız su kanalları da soğutmanın ilk uygulamaları arasındadır. Toplam 5000 km uzunluğundaki yeraltı su şebekesi sayesinde Tanrı Dağlarından getirilen su, Dünya'nın en sıcak yerleşim bölgelerinden biri olan Turfan bölgesinin soğuk su ihtiyacını karşılamıştır. Kanallar yerin 100 m altında inşa edilmiş ve bu sayede çöl sıcaklığında suyun buharlaşması önlenmiştir. Sistem tamamen yerçekimi kuvveti ile çalışmaktadır. Belli aralıklarda yapılan kulular sayesinde de tarım alanları sulanmıştır. Dilimize yerleşen turfanda sözcüğü Turfan kentinden gelmiştir.

Serin Su Sanal Müzesinden bir resim Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Suyun sorunsuz akabilmesi için eğim, yerçekimi kuvveti hesapları kusursuz biçimde yapılmıştır.

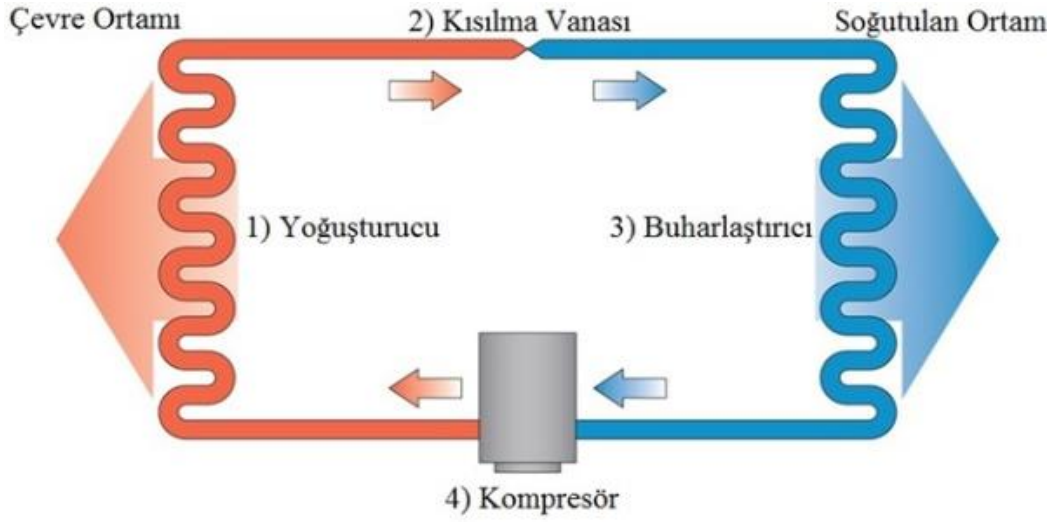


Şekil 2.2. Turfan şehri serin su sanal müzesinden bir görünüm

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan soğutma sistemleri, soğutkanın (soğutucu akışkanın) basınç ve sıcaklığının dışarıdan bir iş verilerek yükseltilmesi esasına dayanmaktadır. Buna mekanik soğutma da denilmektedir. Konfor soğutmasında amaç; yine ısıtma sistemlerinde olduğu gibi insan vücut sıcaklığının sabit tutulmasıdır. Bunun yanında birçok endüstriyel işlemlerde de soğutma sistemleri kullanılmaktadır.

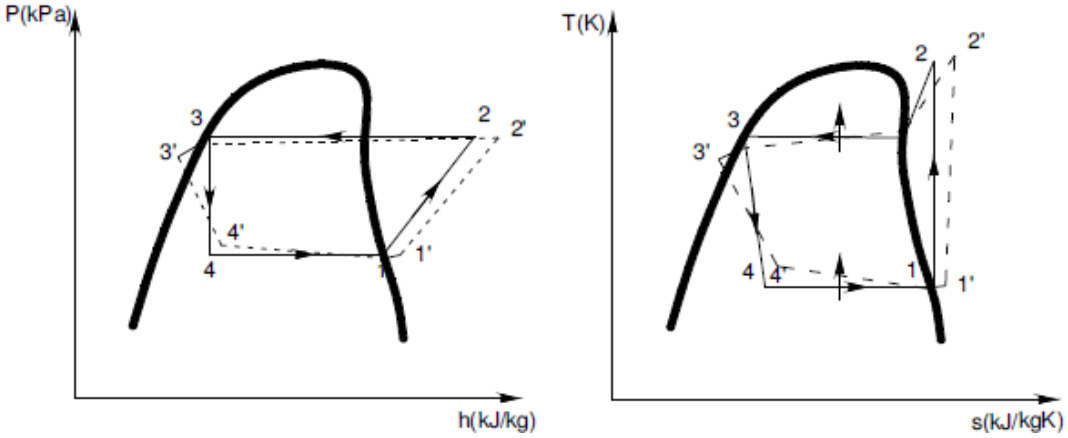
Mekanik soğutma sistemlerinde dört ana eleman bulunmaktadır. Bunlar; kompresör, yoğuşturucu, kısma vanası ve buharlaştırıcıdır. Şekil 2.3.'de soğutma çevrimi gösterilmektedir. Kompresörde mekanik olarak sıkıştırılan soğutucu akışkanın basınç ve sıcaklığı arttırılarak yoğuşturucuya gönderilir. Burada ısısı çekilerek yoğuşturulur. Likit halindeki soğutucu akışkan, kısma vanasından geçerek basıncı düşer. Düşük basınçta

buharlaşmaya başlayan soğutucu akışkan aynı zamanda ortamdan da ısı çeker. Bu sayede ortam soğutulmuş olur.



Şekil 2.3. Soğutma çevirimi

Gerçek çalışma şartları ile ideal çalışma şartları birbirinden farklıdır. Şekil 2.4.'de bu fark P-h ve T-s diyagramları üzerinden gösterilmektedir. Örneğin şekilde 3-4 noktaları arasında gösterilen işlem, yoğuşturucuda yoğuşan soğutkanın genleşme vanasından geçerken izlediği basınç ve entalpi değişimini ifade etmektedir. Düz çizgi olarak gösterilen ideal çevrimde, bu işlem gerçekleştiğinde entalpi değişmezken, kesik çizgilerle gösterilen gerçek çevrimde ise entalpinin değiştiği görülmektedir.



Şekil 2.4. İdeal ve gerçek soğutma çevriminin P-h ve T-s diyagramları

Dünyada kabul edilmiş araştırmalara göre insanların kendilerini rahat hissedecekleri sıcaklık ve nem değerleri belirlenmiştir. Şekil 2.1.'de bu grafik gösterilmiştir. Kış iklimlendirmesinde sıcaklık 22 °C ±2 °C ve bağıl nem %30 - %70 aralığı huzur (konfor) şartları olarak kabul edilirken, yaz iklimlendirmesinde bu değerler sıcaklık 26 °C ±2 °C ve bağıl nem %30 ile %70 aralığındadır.

Soğutmada huzur ve rahatlığın değerlendirilebilmesi için; iç mahal hava sıcaklığı kadar soğutma cihazının üfleme hava hızının da etkin bir değişken olduğu değerlendirilmektedir. Nurullah Arslanoğlu (2009)'nun yaptığı çalışmada 24 °C, 26 °C, 28 °C ortam sıcaklıklarında, 0,2 m/s, 0,4 m/s ve 0,6 m/s hava hızlarına göre deneklerin kuru vücut için ense deri sıcaklıkları incelenmiş ve deneklerden alınan bilgilere göre rahatlık düzeyleri belirlenmiştir. Buna göre 26 °C sıcaklık ve 0,2 m/s hava hızı ile iklimlendirilen ortamın soğutmada daha uygun bir uygulama olacağı sonucu çıkartılmıştır.

Bu sonuçtan hareketle yaz şartlarındaki ikametgâh, konut ya da işyeri gibi huzur ortamı gibi yerlerdeki iklimlendirme sistemlerinin projelendirilmesinde mahal sıcaklığının 26 °C olarak belirlenmesi; enerji ekonomisi ve huzur ve rahatlık açısından daha elverişli olacağı çıkarımı yapılmıştır. Bu değerin altında yapılan yaşam alanı iklimlendirme uygulamalarında enerji tüketimi daha fazla olacaktır. Ayrıca 26 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda mahal sıcaklığı uygulamalarında ise rahatlık ve huzur şartları sağlanamayacaktır.

Binalarda soğutma (ısı kazancı) yükü hesabı

Yaz iklimlendirmesinde mahallin ısıtılması yerine serinletilmesine ihtiyaç duyulur. Mahal içinde ısı yayan veya dışardan güneş vasıtasıyla istek dışı mahalle gelen ısıların toplamına ısı kazancı denir. Bu ısı kazançlarının toplamı toplam soğutma yükünü oluşturur. Soğutma yükünün hesabı ne kadar doğru yapılırsa, soğutma yapan cihazın ömrü ve verimliliği o kadar artacak ve kusursuz olarak soğutma işlemini yapabilecektir.

Toplam soğutma yükü ($\Sigma\dot{Q}_K$):

$$\sum \dot{Q}_T = \sum \dot{Q}_İ + \sum \dot{Q}_D \qquad (2.6)$$

$\sum \dot{Q}_T$: Toplam soğutma yükü (W)

$\sum \dot{Q}_İ$: Toplam iç soğutma yükü (W)

$\sum \dot{Q}_D$: Toplam dış soğutma yükü (W)

İç soğutma yükü; dış etkenlerden bağımsız ve mahal içinde ısı yayan etmenlerden meydana gelmektedir.

$$\sum \dot{Q}_İ = \dot{Q}_P + \dot{Q}_A + \dot{Q}_M + \dot{Q}_{Ko} \quad (2.7)$$

$\dot{Q}_P$: İnsanlardan gelen soğutma yükü (W)

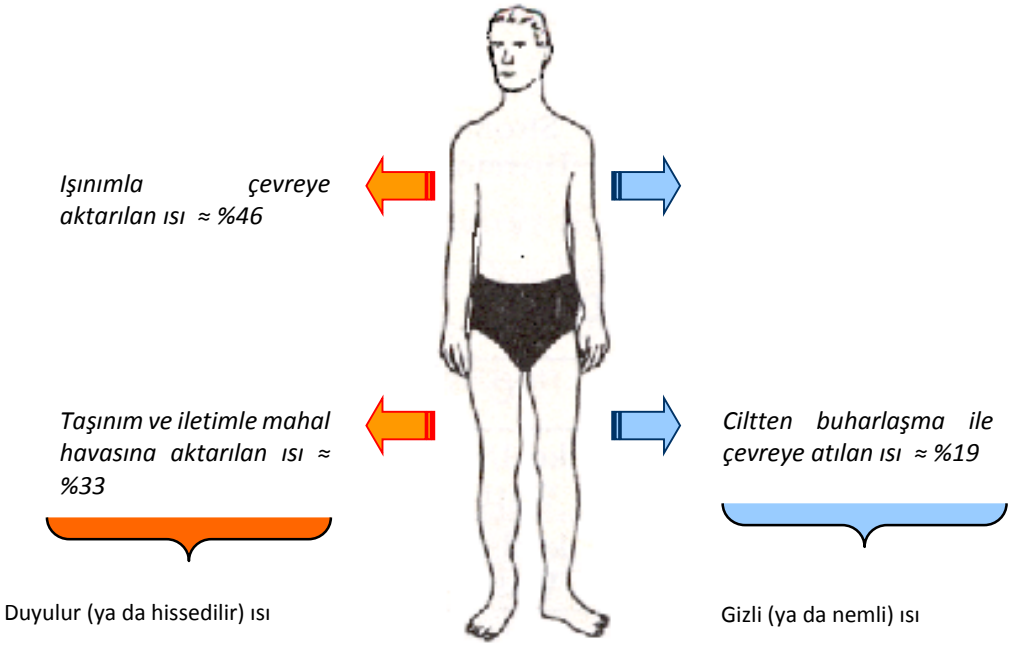
$\dot{Q}_A$: Aydınlatmadan gelen soğutma yükü (W)

$\dot{Q}_M$: Makine ve aletlerden gelen soğutma yükü (W)

$\dot{Q}_{Ko}$: Komşu mahallerle sıcaklık farkından gelen soğutma yükü (W)

İnsanlardan Gelen Soğutma Yükü ($\dot{Q}_P$) : İnsanların vücut sıcaklığı 36,5 ^oC–37 ^oC sıcaklık mertebelerindedir. Yüzey veya cilt sıcaklığı ise 32 ^oC sıcaklığındadır. İklimlendirilen ortamın yaz uygulamasında huzur ve rahatlık sıcaklığı 26 ^oC olduğu düşünülürse, insan vücudundan ortama ısı akışı gerçekleşir, bu ısı ortamın soğutma yükü hesabı yapılırken, insanlardan gelen duyulur soğutma yükü olarak hesaba eklenir. Çizelge 2.3.'de insanlardan yayılan ısı yüklerinin ortam sıcaklığına ve aktivite şekillerine göre yaydıkları ısılar gösterilmiştir

Bununla birlikte bir de insanlardan, ciltte buharlaşma ve nefesle atılan gizli ısı vardır. İnsanların aktivite durumlarına göre bu ısı belirlenerek insanlardan gelen gizli soğutma yükü olarak hesaba katılır. Şekil 2.5.'de insanlardan gelen ısı yüklerinin yaklaşık oranları gösterilmiştir [11].



Şekil 2.5. İnsanlardan atılan yaklaşık ısı oranları [11]

$$\dot{Q}_P = n \cdot \dot{q}_P \tag{2.8}$$

$\dot{Q}_P$: İnsanlardan gelen soğutma yükü (W)

n : Mahalde bulunan insan sayısı

$\dot{q}_P$: Bir kişiden gelen soğutma yükü (W/kişi)

Çizelge 2.3. İnsanlardan gelen duyulur ve gizli soğutma yükleri [11]

	Hafif İş Yapan		*Orta İş Yapan*		Ağır İş Yapan	
T °C	$\dot{q}_{duy}$ *(W/kişi)*	$\dot{q}_{giz}$ *(W/kişi)*	$\dot{q}_{duy}$ *(W/kişi)*	$\dot{q}_{giz}$ *(W/kişi)*	$\dot{q}_{duy}$ *(W/kişi)*	$\dot{q}_{giz}$ *(W/kişi)*
16	105	20	-	-	-	-
18	100	25	125	65	155	115
20	95	25	115	75	140	130
22	90	30	105	85	120	150
23	85	35	100	90	115	155
24	75	40	95	95	110	160
25	75	40	90	100	105	165
26	70	45	85	105	95	170
28	60	70	-	-	-	-

Aydınlatmadan Gelen Soğutma Yükü ($\dot{Q}_A$) : Elektrikli aydınlatma cihazlarında elektrik enerjisinin neredeyse tamamı ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı enerjisi ortamın soğutma yüküne

direk etki eder. Bu yükün hesaplanmasında aydınlatma cihazlarının özgül aydınlatma faktörü, toplam taban yüzey alanı ve eş zaman faktörü kullanılır.

$$\dot{Q}_A = p \,.\, A.\, \ell_1 \qquad (2.9)$$

$\dot{Q}_A$: Aydınlatmadan gelen soğutma yükü (W)
p : Özgül aydınlatma faktörü (W/m^2)
A : Toplam taban yüzey alanı (m^2)
ℓ_1 : Eş zaman faktörü

Makinalardan Gelen Soğutma Yükü ($\dot{Q}_M$) : Mahallerde bulunan makinalar çalıştıkları müddetçe ısı enerjisi açığa çıkarmaktadır. Bazı elektrikli cihazların yaydıkları ısılar Çizelge 2.4.'de gösterilmiştir. Bu ısı; Eşitlik 2.10.'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_M = n \,.\, \left(\frac{P}{\eta}.\, \mu_m\right).\, \ell_2 \,.\, S_i \qquad (2.10)$$

$\dot{Q}_M$: Makinalardan gelen soğutma yükü (W)
n : Makine sayısı
P : Elektrikli makinaların anma gücü (W)
η : Elektrikli makinaların verimi (%)
μ_m : Eşit zamanda çalışan makinaların yük faktörü (%)
ℓ_2 : Eş zaman faktörü (%)
S_i : İç hacimler için soğutma yük faktörü (W)

Çizelge 2.4. Bazı elektrikli cihazların anma güçleri ve yaydıkları ısılar [11]

Elektrikli Cihazlar	Anma Gücü (W)	Kullanım Süresi (dak)	Duyulur Isı Yayımı (W)	Toplam Isı Verişi (W)
Elektrik ocağı	3000	60	1450	3000
	5000	60	2500	5000
Elek. süpürgesi	200	15	50	50
Çamaşır makinası	3000	60	1450	3000
	6000	60	2900	6000
Buz dolabı 100 ℓ	100	60	300	300
200 ℓ	175	60	500	500
Ütü	500	60	230	500
Radyo	40	60	40	40
Televizyon	1000	60	1000	1000
Kahve makinası	500	30	100	180
	3000	30	500	1200
Tost makinası	500	30	200	250
	3000	30	1200	1500
Saç kurutucusu	500	30	175	250
	1000	30	350	500

Komşu Mahallerle Sıcaklık Farkından Gelen Soğutma Yükü ($\dot{Q}_{Ko}$) : İklimlendirilmemiş komşu mahallerden iletim yoluyla gelen ısı kazancı yükleridir. Eşitlik 2.11.'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_{Ko} = K \cdot A \cdot \Delta t \qquad (2.11)$$

$\dot{Q}_{Ko}$: Komşu duvarlardan gelen soğutma yükü (W)

k : Isı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)

A : Hesabı yapılan komşu duvarın yüzey alanı (m^2)

t_d : Dış mahal sıcaklığı (^oC)

t_i : Mahal sıcaklığı (^oC)

Dış soğutma yükü; iklimlendirilecek mahallin dış yüzeyinden içeri güren enerji yüklerinin toplamıdır. Bu enerji yükü güneşten ışıma, taşıma ve yansıma ile oluşmaktadır.

$$\sum \dot{Q}_D = \dot{Q}_{DU} + \dot{Q}_T + \dot{Q}_I \qquad (2.12)$$

$\dot{Q}_{DU}$: Duvar ve çatılardan gelen soğutma yükü (W)

$\dot{Q}_T$: Pencere ve kapılardan taşınımla gelen soğutma yükü (W)

$\dot{Q}_I$: Güneşten ışınım yoluyla gelen soğutma yükü (W)

Duvar ve çatılardan gelen soğutma yükü($\dot{Q}_{DU}$): yapı malzemeleri güneşten gelen ısıyı gün boyunca depolamakta ve bu ısıyı güneş battıktan sonra ısı dengesi sağlanıncaya kadar mahalle veya dış ortama vermektedir. Bu durumda mahalle verilen ısı yükünün dış soğutma yükü olarak hesaplanması gerekmektedir.

$$\dot{Q}_{DU} = K \cdot A \cdot \Delta t_{eş} \quad (2.13)$$

$\dot{Q}_{DU}$: Dış duvar ve çatılardan (damlardan) gelen soğutma yükü (W)
k : Isı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
A : Hesabı yapılan yüzeyin alanı (m^2)
$\Delta t_{eş}$: Eş değer sıcaklık farkı (^oC)

Pencere ve Kapılardan Taşınımla Gelen Soğutma Yükü($\dot{Q}_T$) : Pencere ve kapılardan taşınımla gelen ısı yüklerinin mahal toplam ısı yüküne ilave edilmesi gerekir.

$$\dot{Q}_T = K \cdot A_Y \cdot \Delta t \quad (2.14)$$

$\dot{Q}_T$: Pencere ve kapılardan taşınımla gelen soğutma yükü (W)
k : Pencere ya da kapı ısı geçirgenlik katsayısı ($W/m^2 K$)
A_Y : Pencere ya da kapı inşaat (yapı) açıklık alanı (m^2)
T_i : İç mahal hava sıcaklığı (^oC)
T_d : Dış hava sıcaklığı (^oC)

Güneşten Işınım Yoluyla Gelen Soğutma Yükü($\dot{Q}_I$): Bu soğutma yükü pencerenin yapısı, boyutu bulunduğu cephe ve zamana bağlı değişiklik göstermektedir. Bunun için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$\dot{Q}_I = [A_1 \cdot I_{EF} + (A - A_1) \cdot I_{YaEF}] \cdot b_P \cdot S_D \quad (2.15)$$

$\dot{Q}_I$: Pencerelerden ışınımla gelen soğutma yükü (W)
A : Toplam cam yüzey alanı (m^2)

A_1 : Güneş gören cam yüzey alanı (m^2)

I_{EF} : En fazla güneş ışınımı değeri (W/m^2)

I_{YaEF} : Kuzey yön en fazla yansıma ışınım değeri (W/m^2)

b_P : Pencere geçirgenlik faktörü

S_D : Dışarı ışınım yük faktörü

Soğutma yükü hesabının çizelge halinde gösterilişi Çizelge 2.5.'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Soğutma yükü hesabının çizelgelendirilmesi

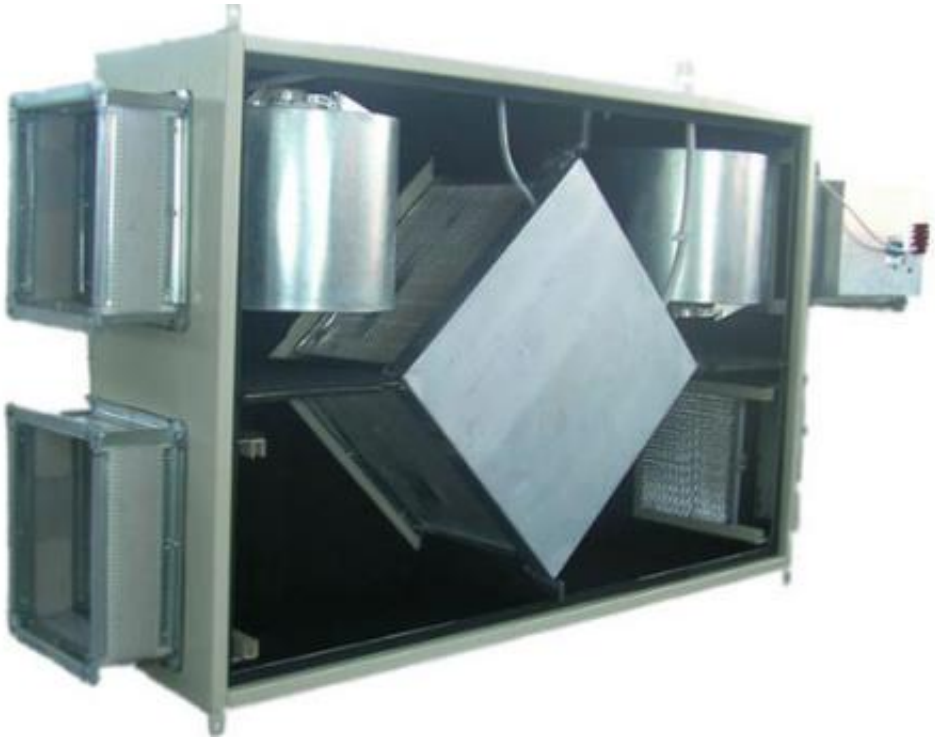
			SOĞUTMA YÜKÜ HESABI				Tesisin Adı :		
							Tarih		
İÇ SOĞUTMA YÜKÜ $Q_i = Q_P + Q_A + Q_M + Q_G + Q_{İÖ} + Q_{Ko}$	İnsanlardan Gelen Soğutma Yükü ($\dot{Q}_P$)						($\dot{Q}_D$)	($\dot{Q}_G$)	Yeri:
	Adet	q_p/kişi				S_i	(W)	(W)	
									İç sıcaklık:
	Aydınlatmadan Gelen Soğutma Yükü ($\dot{Q}_A$)								
	P			ℓ	μ_a	S_i			
	E_N	p	A	-	-	-			Dış Sıcaklık:
	İlave aydınlatma			Adet	Lamb g.				
									Y.Ter.Sıcak.:
	Makinalardan Gelen Soğutma Yükü ($\dot{Q}_M$)								
	n	P	η	μ	ℓ	S_i			
									Bağıl nem:
	Komşu Mahallerden Gelen Soğ. yükü $\dot{Q}_{Ko}$								
	$\dot{m}$	k	c	A	t_i	t_d			
									Hava Debisi:
									$\dot{Q} = \dot{V} \cdot c \cdot \rho \cdot \Delta$
Toplam İç Soğutma Yükü ($\Sigma \dot{Q}_I$)									$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{v \cdot \rho \cdot \Delta t}$
DIŞ SOĞUTMA YÜKÜ $Q_A = Q_W + Q_T + Q_I + Q_{Dö}$	Duvar ve Çatılardan Gelen Soğ. Yükü ($\dot{Q}_{DU}$)								
	İşareti	Yön	A	k	Δt	$\Delta t_{eş}$			$\dot{V}$=
									Fan Gücü:
	Pencereden Taşınımla Gelen Soğ. Yükü ($\dot{Q}_T$)								P= $\frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta}$
			A_M	k	Δt				
									P =
	Pencereden Işınımla Gelen Soğutma Yükü ($\dot{Q}_I$)								
	A_1	I_{max}	$A-A_1$	$I_{dif.max}$	B	S_a			Özel:
Toplam Dış Soğutma Yükü ($\Sigma \dot{Q}_D$)									
Toplam Soğutma Yükü ($\Sigma \dot{Q}_K$)									

2.1.3. Havalandırma

Havalandırma; mahal havasının dış ve temiz hava ile değiştirilmesi işlemidir. Ancak, kısmen tanımlanan amaca hizmet etse dahi yaşanılan mahallin kapı pencerelerinin açılması ve vantilatörler ile içeriye temiz hava basılması veya aspiratörler ile içerideki kirli havanın dışarıya atılmaya çalışılması havalandırma olarak algılanmamalıdır. Kirli havanın kontrolsüz olarak dışarı atılması veya temiz havanın kontrolsüz olarak içeriye basılması, beraberinde başka ciddi sorunlar yaratabilir. Gerçek bir havalandırmadan bahsedilebilmesi için, aspiratörün ve vantilatörün birlikte kullanıldığı sistemler kurulmalıdır.

Havalandırmayı iklimlendirmeden ayıran şey; sistem havası üzerinde termodinamik işlemlerin yapılmamasıdır. Oda havasını huzur ve rahatlık şartlarında tutabilmemiz için dış hava ile oda havasının değiştirilmesi yeterli olabilir. Bu durumlara havalandırma denilmektedir. Fakat eğer oda havasını istenilen şartlarda tutabilmemiz için hava üzerinde bir takım işlemler yapmamız gerekiyorsa (soğutma, ısıtma, nemlendirme, nem alma gibi) bu durumlara iklimlendirme denilmektedir.

Havalandırma santralleri konfor ve endüstri uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlar taze hava ihtiyacını sağlamaktadırlar. Şekil 2.6.'da ısı geri kazanımlı, filtreli, aspiratör ve vantilatörü olan bir havalandırma santrali gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Isı geri kazanım cihazlı havalandırma santrali

Havalandırma sistemlerinde dış hava miktarı tayini

Havalandırma yapılan mahallerde dışardan belli bir debide hava alınması gerekmektedir. Bu debinin hesaplanması yapılırken bazı parametreler göz önünde bulundurulmaktadır. Bunlardan bazıları; mahallin kullanım amacı, mahalde bulunan canlıların aktivite durumları, mahallin istenilen sıcaklık ve nemi gibidir.

Mahaldeki insan sayısına göre dış hava miktarı tayini: Bu usûl (yöntem) için Çizelge 2.6.'dan faydalanılır. Burada mahal kullanım amacına göre insanların ihtiyaç duyacağı kişi başı taze hava ihtiyaçları belirtilmiştir.

Çizelgeye göre örneğin konser salonu olarak kullanılacak bir alanın kişi başına düşen taze hava miktarı 20 m^3/h olarak belirtilmiştir. Salonda 1 000 kişi olacağı düşünülürse 20 000 m^3/h taze havaya ihtiyaç olacaktır.

Çizelge 2.6. Mahal kullanım amacına göre insan başına düşen taze hava ihtiyacı [11]

Hava kullanım yeri	Hava miktarı (m^3/h,kişi)	Hava kullanım yeri	Hava miktarı (m^3/h,kişi)
Tiyatro	20	Kutlama salonları	20
Konser salonu	20	Sınıflar	30
Sinema	20	Teneffüs odası	30
Okuma salonu	20	Özel büro	30
Fuar alanı	20	Otel odası	30
Satış mağazası	20	Kantin	30
Müzeler	20	Konferans salonu	30
Spor salonları	20	Lokantalar	40
Seyircili spor salonu	20	Büyük bürolar	50

$\dot{V}_d = n \cdot \dot{V}_{kişi}$

$\dot{V}_d$: Toplam dış hava debisi (m^3/h)

$\dot{V}_{kişi}$: İnsanlar tarafından ihtiyaç duyulan temiz hava miktarı (m^3/h,kişi) (Çizelge 2.6.)

n : Mahalde bulunan insan sayısı

Saatlik hava değişim sayısına göre dış hava miktarı tayini:Hava değişim sayısı; mahallin hacmi kadar dış havanın, mahalde bulunan hava ile değiştirilerek mahal havasının yenilenmesidir. Çizelge 2.7.'de mahallerin kullanım amacına göre hava değişim sayıları gösterilmiştir.

Çizelge 2.7. Çeşitli mahallerin saatlik hava değişim sayıları [11]

Mahal Tipi	Hava Değişim Sayısı L(defa/h)	Mahal Tipi	Hava Değişim Sayısı L(defa/h)
Ameliyathane	15 - 20	Kantinler	6 - 10
Atölyeler:		Koridor	1 - 4
Kirleticisi yok	3- 6	Kurutma sistemleri:	
Kirletici var	6 - 12	Büyük	20 - 30
Banyolar	4 - 6	Orta	30 - 80
Basınç odası:		Küçük	- 350
Toz girişini önleme	4 - 8	Kütüphaneler	3 - 5
Koku girişini önleme	1 - 3	Laboratuvarlar	6 - 15
Bekleme odası	4 - 7	Mal deposu	4 - 6
Bilgisayar odaları	10 - 40	Market angarı	1,5 - 3
Boya dükkanı	15 - 40	Meskenler (konutlar)	(0,5 - > 4)
Boyahaneler:		Misafir odası	5 - 10
Kumaş	5 - 15	Montaj odası	5 - 7
Püskürtme	20 - 50	Mutfaklar:	
Bürolar	3 - 6	Hazırlık kısmı	4 - 8
Camiler	1,5 - 4	Orta ve büyük	10 - 25
Çamaşır kurutma	20 - 40	Okul (Salonları)	3 - 7
Çamaşırhane	10 - 15	Otel odası	3 - 5
Dinleme salonları	8 - 10	Oturma odası	6 - 8
Dökümhaneler	8 - 15	Ölçüm ve test odası	8 - 10
Duş odaları	10 - 30	Spor salonları	4 - 6
Dükkan	4 - 8	Satış odaları	4 - 8
Fabrikalar:		Seralar	3 - 5
Büyük	1,5 - 3	Sergi salonu	1,5 - 3
Küçük	2 - 4	Sertleştirme odaları	60 - 100
Fırın odası	6 - 15	Sınıflar	3 - 6
Tuvaletler:		Soyunma odası (havuz)	6 - 8
Büro	5 - 8	Telefon santrali	5 - 10
Fabrika	8 - 10	Toplantı odası (genel.)	5 - 10
Okul	5 - 8	Tuğla kurutma	10 - 30
Umum	10 - 15	Ütühaneler	8 - 15

Hava değişim sayısına (L) göre, mahal üfleme havası hacimsel debisini ($\dot{V}_ü$) bulmak için;

$$\dot{V}_ü = L \cdot V_m$$

eşitliği kullanılır. Bu eşitlikte;

$\dot{V}_ü$: Mahal üfleme havası debisi (m^3/h)
L : Hava değişim sayısı (defa/h = 1/h = h^{-1})
V_m : Mahalin toplam hacmi (m^3)

2.1.4. Nemlendirme ve nem alma

Konfor şartlarında mahalle verilen havanın bağıl neminin %30-70 civarında olması gerekmektedir. Sisteme verilen havanın sahip olduğu bağıl nem bu değerlerin altında olduğunda nemlendirme, üstünde olduğunda da nem alma işlemlerinin yapılması gerekmektedir.

Nemlendirme usulleri olarak sulu ve buharlı nemlendirme örnek verilebilir. Nem alma usullerine ise soğurulma ve soğutma usulü ile nem alma örnek verilebilir.

Soğutma ve nem alma şeklinde hava şartlandırmanın bina uygulaması, ilk olarak "hava şartlandırmanın babası" olarak isimlendirilen Willis Carrier tarafından geliştirilmiş ve yaygın olarak desteklenmiştir. Carrier'in çalışması, 20. yüzyılın başında, mekanik buhar-sıkıştırmalı soğutma makinalarının geliştirilmesi ve nem kontrol süreçlerinin daha iyi anlaşılması ile sonuçlanmıştır [16].

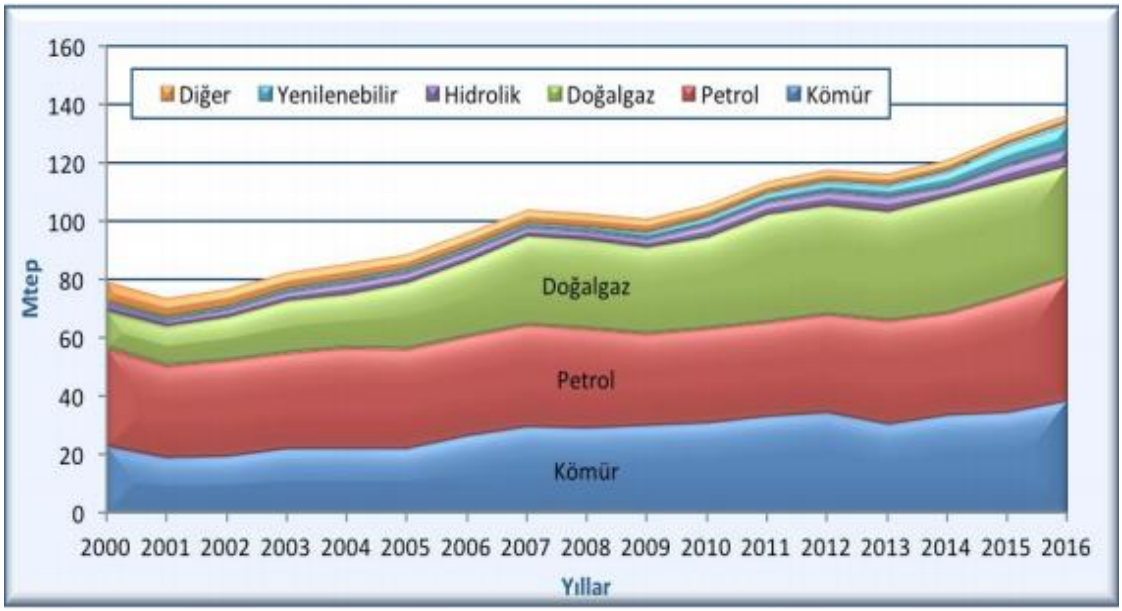
İngilizce 'Air Conditioning' olarak bilinen ve Türkçe'ye "Hava Şartlandırma" olarak çevrilen bu söylem, Türkçe'de iklimlendirme olarak kullanılmaktadır.

2.2. Türkiye'de Enerji ile İlgili Mevzuatlar

Enerji; iç anlamına gelen "en" ve iş anlamına gelen "ergon" kelimelerinden oluşan Yunanca kökenli bir sözcüktür. Dolayısıyla enerjinin sözcük anlamı, içeride oluşan "iç iş"tir. Bir

cismin; konumu, hareketi, taşıdığı elektrik yükü, içinde bulunduğu ortamdan daha yüksek sıcaklığa sahip olması sebebiyle iş yapabilme yeteneğine sahip olmasına enerji denir.

Enerjinin üretimi Dünyada hale hazırda var olan kaynaklar tarafından yapılır. Enerji kaynakları kendi içinde birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır. Birincil enerji kaynakları, kaynağından çıktığı gibi kullanılan enerji kaynaklarıdır. Bunlara örnek; petrol, kömür, doğalgaz, güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik, nükleer enerji gibi kaynaklarıdır. Birincil enerji kaynaklarını kendi içinde yenilenebilir (güneş, rüzgâr, jeotermal vb.) ve yenilenemez (doğalgaz, petrol, kömür, nükleer vb.) enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır. İkincil enerji kaynakları ise birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesi ile elde edilir. Bunlara; biokütle, biyogaz, elektrik, benzin, motorin, LPG örnek verilebilir. İklimlendirme sistemlerinde en yaygın kullanılan enerji kaynakları doğalgaz ve elektriktir. Türkiye'deki birincil enerji tüketiminin yıllara göre dağılımı Şekil 2.7.'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi tüm enerji kaynaklarının tüketiminde her yıl artış meydana gelmiştir.



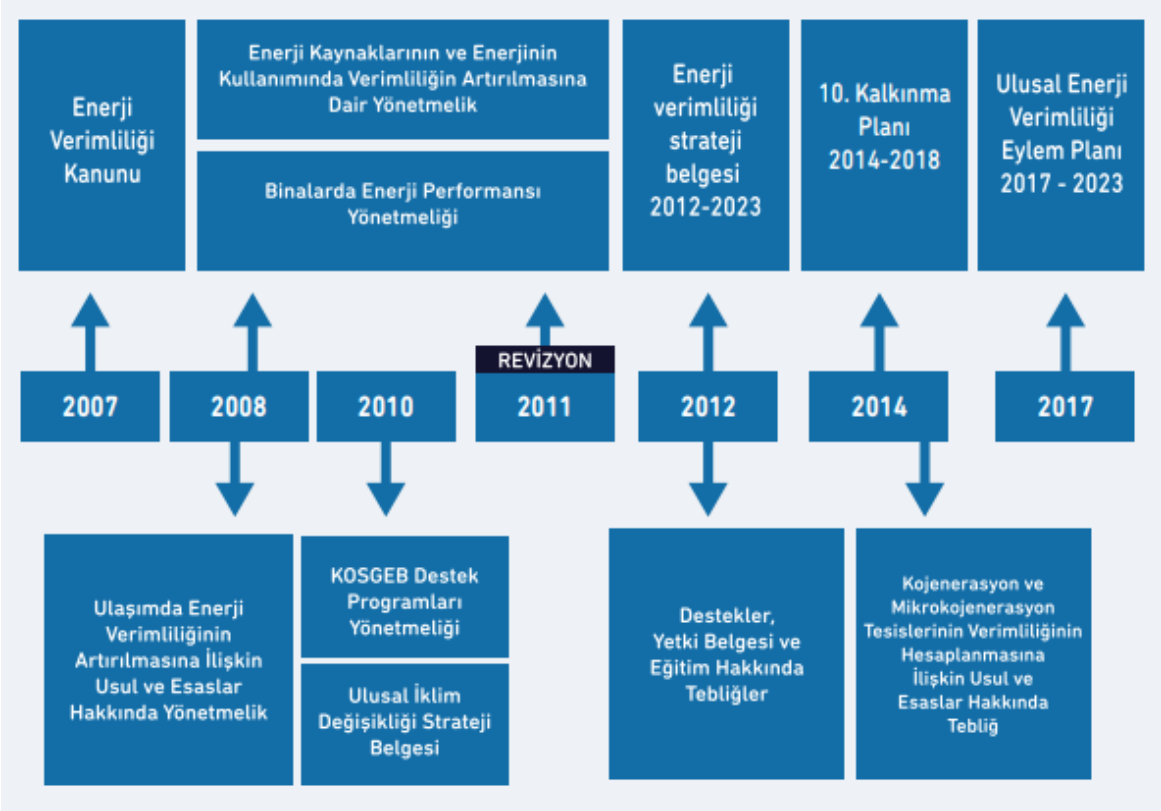
Şekil 2.7. Kaynak bazında birincil enerji tüketimi [12]

Enerji kaynaklarının ve üretilen enerjinin tek bir elden idare edilmesi ve enerji politikalarını belirlemek, uygulamak amacıyla Türkiye'de 1963 yılında "Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı" kurulmuştur.

Enerji politikalarını yönlendiren en önemli unsurlar olarak; yenilenemez enerji kaynaklarının verimli ve çevreye duyarlı bir şekilde kullanılması, artan nüfus ve sanayileşme

ile birlikte enerji tüketiminin günden güne hızlanmasına ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasına yönelik alınacak tedbirler söylenebilir.

Tüketilen enerjinin %40'ını binaların ve binalarda tüketilen enerjinin üçte birini iklimlendirme cihazlarının tükettiğini biliyoruz. Bu nedenle bu tüketimin kontrol altına alınmasına yönelik Dünya'da ve Türkiye'de bazı mevzuatlar ve yönetmelikler hazırlanmıştır. Türkiye'de 2007 yılından bu yana hazırlanan mevzuatlar Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Enerji verimliliği mevzuatı [13]

2.2.1. Enerji verimliliği kanunu

Enerji verimliliği kanunu 02/05/2007'de yürürlüğe girmiştir. Kanun 5 bölümden oluşmaktadır. 1. Bölümde kanunun amaç kapsam ve tanımlamaları yapılmıştır. Bu kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır. Bu kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim

tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usûl ve esasları kapsar [14].

Kanunun 2. Bölümünde kurul ve yetkilendirmeler ele alınmıştır. Buna göre 'Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu' oluşturulmuştur. Bu kurulun amacı ise ülke genelinde enerji verimliliği çalışmalarının yürütülmesi ve sonuçlarının incelenmesi olarak belirlenmiştir.

Kanunun 3. Bölümünde ise eğitim ve bilinçlendirme çalışmalarıdır. Günlük hayatta enerjinin verimli kullanımı ve çevrenin korunmasına yönelik teorik ve pratik bilgiler verilmek üzere ilgili kurum ve kuruluşlarda düzenlemeler yapılacağı belirtilmiştir.

Kanunun bir diğer bölümünde de enerji verimliliğini arttırıcı uygulama projelerinin desteklenmesi konusu belirtilmiştir. Buna göre herhangi bir endüstriyel tesiste 3 yıl içinde enerji yoğunluğunu yüzde 10 oranında azaltmayı taahhüt eden ve Genel Müdürlük ile gönüllü anlaşma yapan gerçek veya tüzel kişiliklerin, taahhüdünü yerine getirmesi ile anlaşma yapılan yıla ait enerji giderlerinin yüzde 20'si (200 000 TL'yi geçmemek kaydıyla) karşılanır.

Özet olarak Türkiye'de 2008'de yürürlüğe giren enerji verimliliği kanunu ile enerjinin tasarruflu kullanımı ve enerji verimliliğinin arttırılması yasal olarak desteklenmiştir. Kurulan koordinasyon kurulu ile çalışmalar ve sonuçları takip edilmiştir. Enerji verimliliği hakkında toplumun bilinçlendirilmesi hedeflenmiş, özellikle endüstriyel tesislerde verimliliği arttırıcı projeler teşvik edilmiş ve kanuna aykırı hareket eden kurum ve kuruluşlara idari yaptırımlar uygulanacağı belirtilmiştir.

2.2.2. Binalarda enerji performansı yönetmeliği

Enerji verimliliği kanunu ile birlikte özellikle iklimlendirme sistemlerinin tasarım ve uygulamalarına yönelik kısıtlamalar getirilmesi gerektiği için 5 Aralık 2008 de Resmî Gazetede 'Binalarda Enerji Verimliliği Yönetmeliği' yayınlanmıştır.

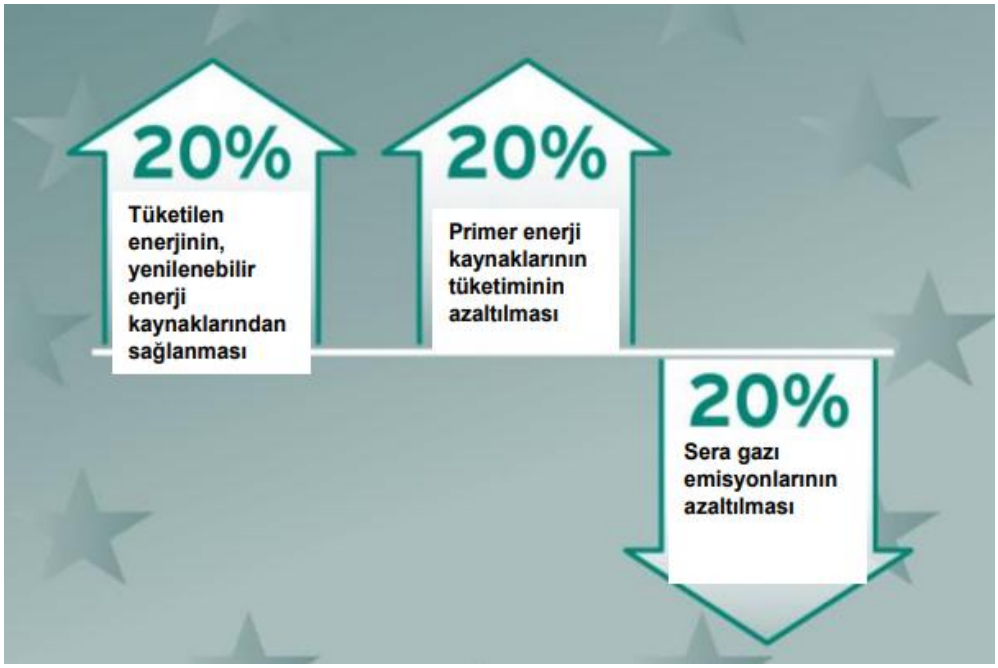
Bu Yönetmeliğin amacı dış iklim şartlarını, iç mekan gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji ve karbondioksit (CO_2) emisyonu açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemektir [15].

2.3. Avrupa'da İlgili Mevzuatlar

Avrupa Birliği, Kyoto Protokolünün kabul edilmesiyle birlikte, CO_2 emisyonlarının 2020 yılı itibarıyla en az yüzde 20 azaltılmasını taahhüt etmiştir. Bu hedefi tutturmak için, 2005 yılında Enerji Kullanan Ürünler Yönergesi (EuP Direktive) onaylamıştır. Bu direktifin adı 2009'da ErP Direktifi (Çevreye Duyarlı Tasarım Direktifi) olarak değiştirilmiştir. Genellikle "Ecodesign" direktifi olarak anılmaktadır. Özel olarak belirtildiğinde, bu durum 2009/125/AT sayılı direktifi ilgilendirir. Geleneksel akkor ampullerin aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması veya buzdolaplarına, çamaşır makinelerine enerji verimliliği etiketleri yerleştirilmesi, vb. gibi durumlar, Ecodesign direktifinin günlük hayatta karşımıza çıkan, yansımalarıdır [21].

Avrupa konseyi tarafından, piyasadaki düşük enerji verimli ürünlerin, yüksek verimli olanları ile yer değiştirmesi amaçlanarak hazırlanan Ecodesign direktifleri CE sertifikası için ön şart olarak kabul edilmiş ve uygun olmayan cihazların AB ülkelerine girişini kısıtlamıştır. Türkiye'de Avrupa Birliği ile imzalanan Gümrük Birliği Anlaşmasından dolayı bu direktiflerden etkilenmektedir.

Avrupa Birliği Enerji Politikaları kapsamında bu direktifler ile 2020 yılında Şekil 2.9.'da gösterildiği gibi bir iyileşme hedeflemiştir. 2030 yılı için bu hedef; %40 sera gazı emisyonunun azaltılması, %27 birincil enerji kaynaklarının kullanımının azaltılması ve %27 yenilenebilir enerji kullanım oranı şeklinde revize edilmiştir.



Şekil 2.9**.** Avrupa Birliği enerji politikalarının 2020 yılı hedefi

ERP (Energy Related Product) yönergeleri ile hedeflenen birincil enerji kaynaklarının tüketiminin azaltılması için enerjinin verimli kullanılması gerekmektedir. ERP yönergeleri ile birçok ürün için en az enerji verimliliğine sahip olma şartı belirlenmiştir.

2.4. İklimlendirme Sektörünün Türkiye Ekonomisindeki Yeri

Bilim Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'ndan temin edilen bilgiler ışığında 2016 yılı itibari ile iklimlendirme sektöründe faaliyet gösteren firmalar ve ürettikleri veya dış alım yaptıkları (ithal ettikleri) ürünler adetsel olarak belirtilmiştir. İklimlendirme sektöründe, sektör kapsamındaki 49 ürün üzerinde gerçekleştirilen araştırma sonucunda Türkiye genelinde faaliyet gösteren toplam 6 697 firma olduğu tespit edilmiştir. Bu tesislerde istihdam edilen toplam çalışan sayısı, 256 486 adettir [17].

Çizelge 2.8.'de iklimlendirme sektörünün 2013-2016 yılları arasındaki ticaret verileri ile Türkiye sanayi ticaret verileri milyar USD cinsinden ve iklimlendirme sektörünün Türkiye sanayisindeki payı yüzde olarak belirtilmiştir. Bu verilere göre, 2013 yılında iklimlendirme sektörü ticaret hacmi, Türkiye sanayi ticaret hacminin %2,5, ihracatının %2,7 ve ithalatının %2,5'ini oluşturmaktadır. 2014 yılına gelindiğinde ise, iklimlendirme sektörü ihracatının Türkiye sanayisinin toplam ihracatındaki payı %2,8'ye yükselmiştir. Buna karşılık iklimlendirme sektörü ithalatının Türkiye sanayisi toplam ithalatındaki payı binde 4 azalarak

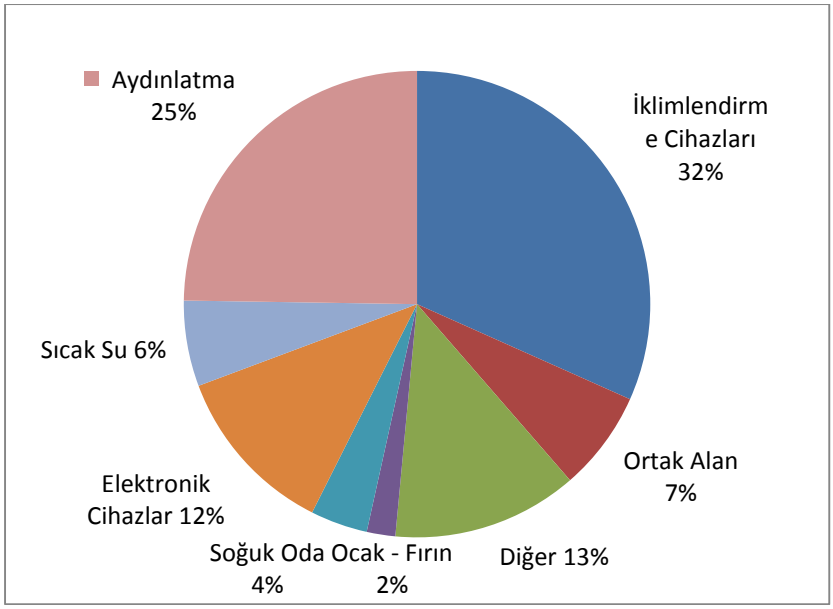
%2,1'e düşmüştür. İklimlendirme sektörü ticaret hacminin Türkiye sanayi ticaret hacmindeki payı ise binde 1 azalarak %2,4'e düşmüştür. 2015 yılı iklimlendirme sanayi ticaret verileri 2014 yılı ile karşılaştırıldığında, iklimlendirme sektörü ihracatının Türkiye sanayisinin toplam ihracatındaki payı binde 3 azalarak %2,5'e düşmüştür. Buna karşılık iklimlendirme sektörü ithalatının Türkiye sanayi toplam ithalatındaki payı binde 3 artarak %2,5'e yükselmiştir. İklimlendirme sektörü ticaret hacminin Türkiye sanayi ticaret hacmindeki payı ise binde 1 artarak %2,5'e yükselmiştir. 2016 yılına gelindiğinde, bir önceki yıla göre iklimlendirme sektörü ihracatının Türkiye sanayisinin toplam ihracatındaki payı binde 1 azalarak %2,4'e ithalatın payı binde 4 artarak %2,9'e, ticaret hacmi olarak ise binde 2 artarak %2,7'ye yükselmiştir.

Çizelge 2.8. İklimlendirme sektörü ticaret verileri [18]

Ticaret Türü	İklimlendirme Sektörü Ticaret Verileri (Milyar USD)				Türkiye Sanayi Ticaret Verileri (Milyar USD)				İklimlendirme Sektörünün Türkiye Sanayisindeki Payı (%)			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
İhracat	4,1	4,4	3,6	3,5	152	158	144	143	2,7	2,8	2,5	2,4
İthalat	6,2	5,2	5,1	5,7	252	242	207	199	2,5	2,1	2,5	2,9
Ticaret Hacmi	10,3	9,5	8,7	9,2	404	400	351	342	2,5	2,4	2,5	2,7

3. İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE DOĞRU CİHAZ SEÇİMİ ve ENERJİ EKONOMİSİ

İklimlendirme sistemlerinin, bina toplam enerji tüketimindeki oranının yüksek olduğu endüstriyel binalardaki (hastane, alışveriş merkezi gibi) enerji tasarrufu, tasarım aşamasındaki en önemli değişkenler (parametre) olmalıdır. Şekil 3.1.'de bu oranın %32 civarında olduğu gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Ticari binalarda enerji dağılımı [19]

Avrupa ve Türkiye'de yayınlanan bazı mevzuatlar ile bu enerji tasarrufu zorunlu hale getirilmeye çalışılmıştır fakat bu yeterli değildir. Sistemin azami verimlilik şartlarına göre tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca teorik olarak belirli bir verimlilik ile tasarlanan sistemin devreye alınmasından sonra uygulamada da aynı sonucu vermesi için takip edilmesi gerekmektedir.

Enerjinin en elverişli kullanıldığı proje tasarımı için neler yapılabilir;

1. Müteahhit veya yatırımcılara işletme giderleri konusunda doyurucu bilgi ve hesaplar verilerek yalnızca ilk yatırım maliyeti açısından bakılmasının sakıncaları aktarılmalıdır. Projelerde ısı kaybı, ısı kazancı, havalandırma ve nem hesaplamaları Bölüm 2'de belirtilen teorik bilgilere uygun olarak yapılmalı ve sistemin ihtiyacı olan kapasiteler

doğru bir şekilde hesaplanmalıdır. Isı kaybı, kazancı hesaplamalarının proje firmaları tarafından yüksek toleranslarla yapıldığı birçok projede gözlemlenmiştir. Günün sonunda müteahhit yüksek ilk yatırım bedelleri ödemek zorunda kalmakta ve sınırlı bütçeden dolayı enerji verimliliği ikinci plana atılmaktadır.

2. Sistem seçimlerinin tesis ihtiyaçlarına ve işletme özelliklerine göre yapılması gerekir.

3. Kullanılacak donanımların ve malzemelerin seçilen sisteme uygunluğu kontrol edilmelidir.

4. İşletmecilerin tesisin ekonomik işletme şartlarından haberdar olması ve buna göre işletme yapmaları gerekir.

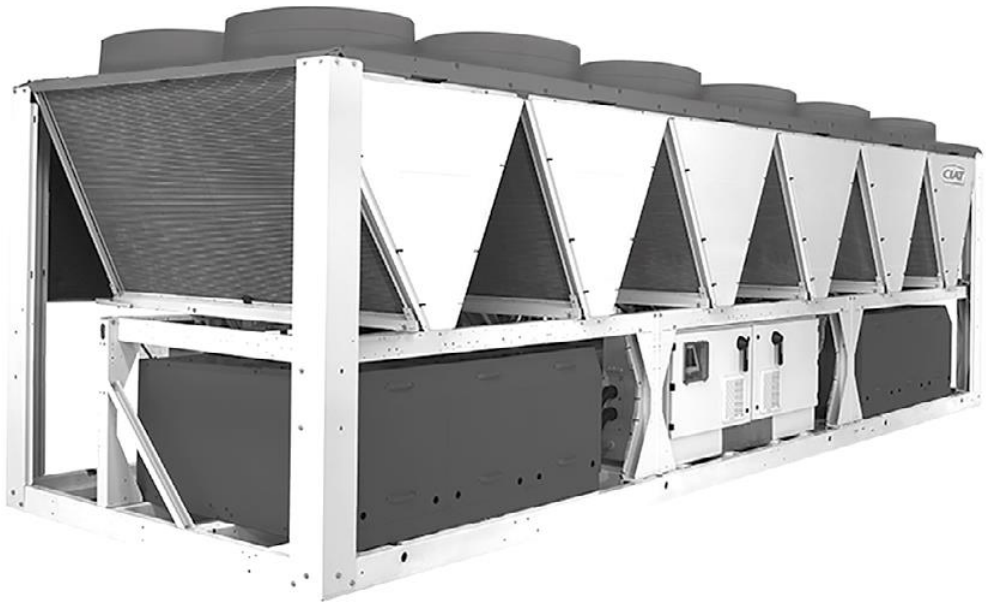
5. Kullanılacak donanımların çevreye zarar vermeyen ürünler olduğuna ve bu konularda çıkarılan yönetmeliklere (ErP, F-gas regulasyonu) uygunluğuna dikkat edilmelidir.

Enerji ekonomisi konusundaki tüketici farkındalığı arttıkça üretici firmalarda kendilerini bu konuda daha da geliştirmeye zorlamaktadırlar. Teknolojinin çok hızlı ilerlediği çağımızda güncel gelişmeleri yakından takip etmek de enerji ekonomisi için bir zorunluluk olarak düşünülebilir.

3.1. Bir Hastanenin Soğutma Grubu ve Fan Coil Cihazları İçin Yıllık İşletme Maliyeti Üzerinden Enerji Ekonomisi

Bu çalışmada inşası yapılan bir hastanede kullanılan fan coil ve soğutma grubu cihazlarının en uygun verimlilik ile seçildiğinde mevsimsel enerji verimlilikleri üzerinden işletme enerji maliyeti karşılaştırılması yapılacaktır.

Hastanede 1100 kW gücünde 6 adet hava soğutmalı soğutma grubu kullanılmıştır. Farklı mevsimsel enerji verimliliği değerine sahip iki farklı soğutma grubunun yıllık işletme enerji maliyetleri karşılaştırılacaktır. Şekil 3.2.'de hava soğutmalı vidalı kompresörlü soğutma grubu gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Hava soğutmalı soğutma grubu görseli

Ayrıca projede 749 adet kaset tip (4 Yöne Üflemeli) fancoil cihazı kullanılmıştır. Fan coil cihazlarının yüksek mevsimsel verimlilik ile seçilmesi durumunda nasıl bir işletme maliyeti farkı oluşacağı incelenmiştir.

Fan coil cihazları sulu sistem cihazlardır. Cihazın bataryasında, soğutma grubunda üretilen soğuk su dolaşmaktadır. Ortam havası, içinde soğuk su dolaşan batarya üzerinden fan yardımı ile geçirilir, bu esnada ortam havasından batarya içindeki suya ısı transferi gerçekleşir ve ortam soğumaya başlar. Ortam havasında çekilen ısı, su aracılığı ile soğutma grubuna gider ve burada mekanik soğutma çevrimi ile dış çevreye atılır.

Fan coil cihazları kendi içinde 4 borulu ve 2 borulu olarak ikiye ayrılır. 2 borulu fan coil cihazlarında cihaz içinde tek batarya bulunmaktadır. Cihaz ısıtma veya soğutma yaparken aynı batarya kullanılır. 4 borulu fan coillerde ise iki batarya bulunmaktadır. Isıtma ve soğutma boru hatları ayrıdır, bu sayede özellikle geçiş mevsimlerinde istenilen hacimlerde ısıtma, istenilen hacimlerde ise soğutma yapılabilmektedir. 2 borulu cihazlarda tek hat olduğu için ısıtma veya soğutmadan yalnızca biri yapılabilmektedir. Şekil 3.3.'de kaset tip fan coil görseli gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Kaset tipi fan coil görseli

3.2. Mevsimsel Verimlilik İfadesi

Soğutma sistemi tasarım aşamasında soğutma grubu seçimi, enerji tüketimleri ve sera etkisinin yanı sıra, tüm ünitelerde ESEER değerlerine göre yapılmalıdır [20].

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde de açıkça belirtildiği üzere soğutma grubu seçiminin esası mevsimsel verimliliğe dayandırılmalıdır.

Avrupa Birliği Enerji Politikaları kapsamında çıkartılan mevzuatlar neticesinde mevsimsel enerji verimliliği için minimum bir değer belirlenmiş ve bu değerin altında olan cihazların kullanılması Avrupa'da ve Avrupa gümrük birliği anlaşmasına sahip ülkelerde yasaklanmıştır.

Avrupa Birliği enerji politikaları mevzuatlarına göre hava ve su soğutmalı soğutma grupları için minimum mevsimsel verimlilik değerleri Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir. Buna göre 400 kW ve üzeri kapasitelerdeki konfor uygulamalarında hava soğutmalı soğutma grupları için 01 Ocak 2018 tarihinden itibaren en düşük mevsimsel verimlilik (SEER) 4,10 olması gerekirken bu değerin 01 Ocak 2021 tarihinden itibaren en düşük 4,55 olması gerekmektedir.

Çizelge 3.1. Soğutma grubu minimum SEER değerleri [21]

Konfor Soğutma Grubu	01/2018'den itibaren		01/2021' den itibaren	
	η_s Soğutma %	SEER 12/7	η_s Soğutma %	SEER 12/7
Hava Soğutmalı < 400 kW	149	3,80	161	4,10
Hava Soğutmalı 400 - 2000 kW	161	4,10	179	4,55
Su Soğutmalı < 400 kW	196	4,98	200	5,08
Su Soğutmalı 400 to 1500 kW	227	5,75	252	6,38
Su Soğutmalı 1500 to 2000 kW	245	6,20	272	6,88

Kasım 2016 tarihinde yayınlanan ERP yönergesi LOT 21 ile birlikte, Avrupa'daki bütün üreticiler, ürettikleri soğutma gruplarını yeni enerji verimliliği değerlerinin üzerinde üretmek için faaliyete başlamışlardır. Yeni mevsimsel enerji verimliliği (SEER) değeri hesabı için birçok ifade ve çizelge bu yönergede yayınlanmıştır. Bunlardan bir tanesi olan soğutma grubunun dış hava sıcaklıklarına göre yılda kaç saat çalıştığını gösteren değerler Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir. ERP yönergesine göre bir yıllık soğutma sezonunun 17 °C ile 39 °C sıcaklıkları arasında arasında olduğu kabul edilmiştir ve hesaplamalar bu sıcaklıklar arasında yapılmaktadır.

Avrupa'da yapılan araştırmalara göre bir soğutma grubunun bir yıl içinde ortalama 2602 saat çalıştığı gözlemlenmiştir. Çizelge 3.2.'de bu 2602 saatin dış hava sıcaklıklarına göre dağılımı gösterilmiştir. Cihazın yıllık çalışma saatlerine bakıldığında, yılın %73'ünü 17 °C ile 25 °C dış hava sıcaklığı arasında çalışarak geçirmekte, %26'sını 25 °C ile 35 °C üzerinde çalışarak geçirmekte ve yıllık çalışma saatinin sadece %1'ini tam yükte çalışarak geçirmektedir.

Soğutma grubu tam yükte çalışırken ki enerji verimliliği anlamına gelen EER değeri soğutma grubunun %1'lik çalışma verimliliğini ifade ettiği için verimlilik karşılaştırmalarında kullanılması doğru değildir. Bunun yerine tüm yıllık çalışma verimliliklerini kapsayan mevsimsel enerji verimliliği üzerinden karşılaştırma yapılması daha doğru olacaktır.

Çizelge 3.2. Hava soğutmalı soğutma gruplarında kısmi yüklere göre dış hava sıcaklığı – çalışma saati çizelgesi [21]

J	Soğutma Grubu için Avrupa Soğutma Sezonu		
	Dış Hava Sıcaklığı °C	Çalıştığı Saat (sa)	EER Değeri
1	17	205	*EER(D)*
2	18	227	*EER(D)*
3	19	225	*EER(D)*
4	20	225	D — EER
5	21	216	Lineer İnterpolasyon
6	22	215	Lineer İnterpolasyon
7	23	218	Lineer İnterpolasyon
8	24	197	Lineer İnterpolasyon
9	25	178	C — EER
10	26	158	Lineer İnterpolasyon
11	27	137	Lineer İnterpolasyon
12	28	109	Lineer İnterpolasyon
13	29	88	Lineer İnterpolasyon
14	30	63	B — EER
15	31	39	Lineer İnterpolasyon
16	32	31	Lineer İnterpolasyon
17	33	24	Lineer İnterpolasyon
18	34	17	Lineer İnterpolasyon
19	35	13	A — EER
20	36	9	*EER(A)*
21	37	4	*EER(A)*
22	38	3	*EER(A)*
23	39	1	*EER(A)*

Avrupa'nın bir yıllık soğutma sezonundaki soğutma grubu çalışma saatlerinin dış hava sıcaklıklarına göre dağılımı Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir. Çizelgede belirtilen A,B,C,D değerleri soğutma grubunun kısmi yüklerdeki enerji verimliliğini ifade etmektedir. Buna göre dış hava sıcaklığı 35 °C'de iken soğutma grubunun %100 kapasitede, 30 °C'de iken %74 kapasitede, 25 °C'de iken %47 kapasitede, 20 °C'de iken ise %21 kapasitede çalışacağı

ön görülmüştür. Arada kalan dış hava sıcaklıklarındaki enerji verimliliği değerleri lineer interpolasyonla hesaplanır. Bu değerler SEER değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Çizelge 3.3.'de dış hava sıcaklığına göre kısmi yüklerin çizelgesi gösterilmiştir. Hesaplamalarda iç ortam sabit 27 °C KT ve 19 °C YT kabul edilmiştir.

Çizelge 3.3. Soğutma grubu kısmi yükler – dış hava sıcaklığı [21]

j	Yüzde	T_j, Dış Hava Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Havası Kuru Termometre (Yaş Termometre) Sıcaklığı (°C)
A	%100	35	27 (19)
B	%74	30	27 (19)
C	%47	25	27 (19)
D	%21	20	27 (19)

Mevsimsel enerji verimliliği (SEER) değeri özetle; yıllık soğutma talebinin, yıllık soğutma yaparken çektiği güce oranıdır ve bunun için;

$$\text{SEER} = \frac{Q_C\ (\text{kWh})}{Q_{CE}\ (\text{kWh})} \tag{3.1}$$

Q_C : Referans Yıllık Toplam Soğutma Talebi (kWh)

Q_{CE} : Referans Yıllık Enerji Tüketimi (kWh)

$$Q_C = P_{desing\ c} \times H_{CE} \tag{3.2}$$

$P_{tasarım\ c}$: Soğutma Grubu Kapasitesi

H_{CE} : Soğutmadaki Aktif Çalışma Saati (Çizelge 3.4.)

Eşitlikleri kullanılmaktadır.

Çizelge 3.4. Konfor soğutma grupları için referans çalışma saatleri [21]

Sezon		Çalışma Saati				
		Aktif Durum	Soğutma Yükü Yok	Bekleme Modu	Kapalı Durum	Krank Isıtıcı Modu
		H_{CE}(cooling);H_{HE}(heating)	H_{TO}	H_{SB}	H_{OFF}	H_{CK}
Soğutma	Ortalama	600	659	1377	0	2036
	Soğuk	300	436	828	0	1264
	Ilık	900	767	1647	0	2414

Referans Yıllık Enerji Tüketimi (Q_{CE}) için de;

$$Q_{CE} = \frac{Q_C}{SEER_{on}} + P_{TO} \cdot H_{TO} + P_{SB} \cdot H_{SB} + P_{CK} \cdot H_{CK} \quad (3.3)$$

P_{TO} : Soğutma yükü olmadığında cihazın çektiği güç (kW)

H_{TO} : Soğutma yükü olmadığında referans saat (Çizelge 3.4.)

P_{SB} : Bekleme modunda cihazın çektiği güç (kW)

H_{SB} : Bekleme modu için referans saat (Çizelge 3.4.)

P_{CK} : Krank ısıtıcısı çalıştığında çekilen güç (kW)

H_{CK} : Krank ısıtıcısı için referans saat (Çizelge 3.4.)

$$SEER_{on} = \frac{\sum_{j=1}^{n} h_j \cdot P_R(T_j)}{\sum_{j=1}^{n} h_j \cdot \left(\frac{P_R(T_j)}{EER_{bin}(T_j)}\right)} \quad (3.4)$$

$SEER_{on}$: Çalışır Durumdaki Soğutma Grubu Verimliliği

Tj : Sıcaklık (°C)

j : j = {1,2, … n}

P_R (Tj) : T_j sıcaklığındaki Soğutma Kapasitesi

h_j (T_j) : T_j sıcaklığındaki yıllık saat miktarı

EER_{bin} (T_j): T_j sıcaklığındaki EER değeri

eşitliklerinden faydalanılır.

3.3. Mevsimsel Enerji Verimliliği ile Soğutma Grubu İşletme Maliyeti Analizi

Hastanede kullanılan 6 adet 1100 kW soğutma gücüne sahip hava soğutmalı soğutma grubu için *standart* ve *yüksek sezonsa enerji verimliliğine sahip* iki farklı modelin verimlikleri (SEER) hesaplanarak, ortalama çektiği güçler üzerinden yıllık soğutma sezonu için işletme maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Avrupa soğutma sezonu verilerine göre cihazların yılda 2602 saat çalışacağı ön görülmüş buna göre işletme maliyeti hesabı yapılmıştır.

Standart verimliliğe sahip cihazın SEER değeri hesabı

Tam yükte çalışırken 1144 kW soğutma kapasitesine ve standart verimliliğe sahip bir soğutma grubunun kısmi yüklerdeki kapasite ve çektiği güçler aşağıdaki Çizelge 3.5.'deki gibidir.

Cihazın belli bir yükteki kapasitesi o yükteki EER değerine bölünerek cihazın yine o yükteki çektiği gücü bulabiliriz.

Çizelge 3.5. Soğutma grubu kısmi yük tablosu

Dış Hava Sıcaklığı (°C)	Kapasite (kW)	Kısmi Yük	Çektiği Güç (kW)	EER
35	1144	%100	349	3,27
30	843	%74	213	3,95
25	542	%47	132	4,10
20	241	%21	51	4,70

Standart verimliliğe sahip soğutma grubunun 17 °C ile 39 °C dışa hava sıcaklıkları arasında bir yıllık soğutma sezonunda ne kadar saat çalıştığına dair bilgiler Çizelge 3.2.'den alınmıştır. A,B,C,D değerleri Çizelge 3.3.'den alınan ara yüklerdeki (A=EERa @%100, B=EERb @%74, C=EERc @%47, D=EERd @%21) verimlilikleri ifade etmektedir, arada kalan değerler interpolasyonla hesaplanmıştır.

Çizelge 3.6. Kısmi yüklerdeki EER değerleri

j	Dış Hava Sıcaklığı °C	Cihaz Kapasitesi (kW)	Çalışma Saati	EER Değeri	
1	17	240,0	205	*EER(D)*	4,70
2	18	240,0	227	*EER(D)*	4,70
3	19	240,0	225	*EER(D)*	4,70
4	20	240,0	225	D — Measured value	4,70
5	21	299,7	216	Linear interpolation	4,58
6	22	359,2	215	Linear interpolation	4,46
7	23	418,7	218	Linear interpolation	4,34
8	24	478,2	197	Linear interpolation	4,22
9	25	542,0	178	C — Measured value	4,10
10	26	599,5	158	Linear interpolation	4,07
11	27	661,2	137	Linear interpolation	4,04
12	28	723,0	109	Linear interpolation	4,01
13	29	784,8	88	Linear interpolation	3,98
14	30	843,0	63	B — Measured value	3,95
15	31	915,2	39	Linear interpolation	3,81
16	32	972,4	31	Linear interpolation	3,68
17	33	1029,6	24	Linear interpolation	3,54
18	34	1086,8	17	Linear interpolation	3,41
19	35	1144,0	13	A — Measured value	3,27
20	36	1144,0	9	*EER(A)*	3,27
21	37	1144,0	4	*EER(A)*	3,27
22	38	1144,0	3	*EER(A)*	3,27
23	39	1144,0	1	*EER(A)*	3,27

Üretici firmalardan %0, %25, %50, %75 ve %100 yükteki EER değerlerine göre arada kalan kapasitelerdeki EER değerleri interpolasyon metodu ile hesaplanmaktadır.

Hava sıcaklığı düştükçe ihtiyaç olan soğutma kapasitesi ihtiyacı da düşeceği için cihaz düşük sıcaklıklarda düşük soğutma yükünde çalışacaktır.

Her bir sıcaklıktaki toplam soğutma ihtiyacı ve o sıcaklıkta çalışan cihazın çektiği enerji miktarlarını gösteren tablo Çizelge 3.7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Yıllık toplam soğutma ihtiyacı ve yıllık toplam enerji tüketimi tablosu

	Dış Hava Sıcaklığı°C	Soğutma İhtiyacı (kWh)	Cihaz Kapasitesi (kW)	Çekilen Güç (kW)	Tüketilen Enerji (kWh)	Ortalama Saat	EER
1	17	49200,0	240,0	51,06	10468,1	205	4,70
2	18	54480,0	240,0	51,06	11591,5	227	4,70
3	19	54000,0	240,0	51,06	11489,4	225	4,70
4	20	54000,0	240,0	51,06	11489,4	225	4,70
5	21	64741,2	299,7	65,44	14135,6	216	4,58
6	22	77231,4	359,2	80,54	17316,5	215	4,46
7	23	91277,5	418,7	96,48	21031,7	218	4,34
8	24	94203,8	478,2	113,32	22323,2	197	4,22
9	25	96476,0	542,0	132,20	23530,7	178	4,10
10	26	94714,0	599,5	147,29	23271,3	158	4,07
11	27	90588,8	661,2	163,67	22423,0	137	4,04
12	28	78807,9	723,0	180,30	19652,8	109	4,01
13	29	69061,0	784,8	197,18	17352,0	88	3,98
14	30	53109,0	843,0	213,42	13445,3	63	3,95
15	31	35692,8	915,2	239,96	9358,4	39	3,81
16	32	30144,4	972,4	264,38	8195,9	31	3,68
17	33	24710,4	1029,6	290,68	6976,4	24	3,54
18	34	18475,6	1086,8	319,08	5424,4	17	3,41
19	35	14872,0	1144,0	349,85	4548,0	13	3,27
20	36	10296,0	1144,0	349,85	3148,6	9	3,27
21	37	4576,0	1144,0	349,85	1399,4	4	3,27
22	38	3432,0	1144,0	349,85	1049,5	3	3,27
23	39	1144,0	1144,0	349,85	349,8	1	3,27
	TOPLAM	1165233,9		TOPLAM	279970,9	SEERon	4,161983

Çizelgede de görüleceği gibi belirli bir sıcaklıktaki yıllık ortalama çalışma saati ile cihaz kapasitesi çarpılarak o sıcaklıktaki soğutma ihtiyacı hesaplanmış ve bu işlem tüm dış hava sıcaklıklarında yapılarak birikmiş toplam yıllık soğutma ihtiyacı 1 165 233 kWh olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde cihazın belirli bir sıcaklıktaki soğutma kapasitesi EERj değerine bölünerek o sıcaklıktaki tüketilen enerji değeri hesaplanmış ve yine yıllık ortalama

çalışma saati ile çarpılarak tüm dış hava sıcaklıklarındaki alt toplam yıllık çekilen güç değeri 279 971 kWh olarak hesaplanmıştır. Eşitlik 3.4'e göre toplam soğutma ihtiyacının, toplam enerji tüketimine bölünmesi ile de aktif mevsimsel enerji verimliliği ($SEER_{on}$) değeri 4,16 olarak hesaplanmıştır.

Q_{CE}'yi hesaplayabilmemiz için gerekli olan aktif soğutma durumu dışında cihazın çektiği güçleri gösteren bilgiler Çizelge 3.8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Standart verimliliğe sahip cihazın aktif çalışma durumu dışında çektiği güçler [22]

Durum		Çalışma Saati	Çektiği güç W
Kapalı Durum W	P_{OFF}	600	0
Soğutma Yükü Yok W	P_{TO}	600	1052
Bekleme Durumu W	P_{SB}	600	240
Krank Isıtıcısı W*	P_{SB}	600	550

*Kompresörün çalışmadığı durumlarda soğutucu akışkan içinde çözünen yağın ayrışması için krank ısıtıcısı kullanılır.

Buna göre Eşitlik 3.3'e göre;

$$Q_{CE} = \frac{Q_C}{SEER_{on}} + P_{TO}.H_{TO} + P_{SB}.H_{SB} + P_{CK}.H_{CK}$$

Q_{CE}= 167 637 kWh olarak hesaplanmıştır.

Q_C değeri, cihaz kapasitesi (1144 kW) ile referans ortalama aktif durum soğutma saati (600 saat) çarpılarak hesaplanmıştır. Buna göre Eşitlik 3.2.'ye göre;

Q_C= 686 400 kWh,

Değerinden, Eşitlik 3.1 'den **SEER = 4,09** olarak hesaplanmaktadır.

Yüksek verimliliğe sahip cihazın SEER değeri hesabı;

Tam yükte çalışırken 1150 kW soğutma kapasitesine ve yüksek verimliliğe sahip diğer bir soğutma grubunun kısmi yüklerdeki kapasite ve çektiği güçler aşağıdaki Çizelge 3.9.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Soğutma grubu kısmi yük çizelgesi

Dış Hava Sıcaklığı (°C)	Kapasite (kW)	Kısmi Yük	Çektiği Güç (kW)	EER
35	1150	%100	349	3,36
30	851	%74	213	4,16
25	540	%47	132	4,60
20	241	%21	51	5,47

Yüksek verimliliğe sahip soğutma grubunun 17 °C ile 39 °C dışa hava sıcaklıkları arasında bir yıllık soğutma sezonunda ne kadar saat çalıştığına dair bilgiler Çizelge 3.2.'den alınmıştır. A,B,C,D değerleri Çizelge 3.3.'den alınan ara yüklerdeki (A=EERa @%100, B=EERb @%74, C=EERc @%47, D=EERd @%21) verimlilikleri ifade etmektedir, arada kalan değerler interpolasyonla hesaplanmıştır.

Standart verimliliğe sahip cihazdaki gibi yüksek verimlilikteki cihazın da %0, %25, %50, %75 ve %100 yükteki EER değerleri üretici firmadan alınmıştır ara kapasitelerdeki soğutma verimliliği olan EER değeri yine interpolasyon metodu ile hesaplanmıştır.

Çizelge 3.10'da interpolasyon ile hesaplanan ara kapasitelerdeki EER değerleri gösterilmiştir. Örneğin 23 °C'de soğutma grubu 420,9 kW soğutma gücünde çalışmaktadır. Bu kapasitede cihaz çalışırken sahip olduğu EER verimlilik değeri 4,95 dir. Soğutma kapasitesinin EER değerine bölünmesi ile de soğutma grubunun bu sıcaklıktaki çektiği güç 218 kW olarak hesaplanmıştır. Avrupa'da yapılan deneyler ile bir soğutma grubu 23 °C dış hava şartlarında bir yıl içerisinde 218 saat çalışmaktadır. Tabloda diğer hava sıcaklıklarında da soğutma grubunun bir yıllık soğutma sezonu içerisinde kaç saat çalışacağı bilgisi verilmiştir.

Çizelge 3.10. Kısmi yüklerdeki EER değerleri

j	Dış Hava Sıcaklığı	Cihaz Kapasitesi	Ortalama Saat	EER Değeri	
1	17	241	205	*EER(D)*	5,47
2	18	241	227	*EER(D)*	5,47
3	19	241	225	*EER(D)*	5,47
4	20	241	225	D— Measured value	5,47
5	21	301,3	216	Linear interpolation	5,30
6	22	361,1	215	Linear interpolation	5,12
7	23	420,9	218	Linear interpolation	4,95
8	24	480,7	197	Linear interpolation	4,77
9	25	540	178	C— Measured value	4,60
10	26	602,6	158	Linear interpolation	4,51
11	27	664,7	137	Linear interpolation	4,42
12	28	726,8	109	Linear interpolation	4,34
13	29	788,9	88	Linear interpolation	4,25
14	30	851	63	B— Measured value	4,16
15	31	920	39	Linear interpolation	4,00
16	32	977,5	31	Linear interpolation	3,84
17	33	1035	24	Linear interpolation	3,68
18	34	1092,5	17	Linear interpolation	3,52
19	35	1150	13	A— Measured value	3,36
20	36	1150	9	*EER(A)*	3,36
21	37	1150	4	*EER(A)*	3,36
22	38	1150	3	*EER(A)*	3,36
23	39	1150	1	*EER(A)*	3,36

Her bir sıcaklıktaki toplam soğutma ihtiyacı ve o sıcaklıkta çalışan cihazın çektiği enerji miktarlarını gösteren tablo çizelge 3.11.'de gösterilmiştir. Yıllık çekilen güç cihazın belirli sıcaklıkta çektiği güç ve yıllık soğutma sezonundaki belirli bir sıcaklıktaki çalışma saati ile çarpılarak bulunmaktadır.

Çizelge 3.11. Yıllık toplam soğutma ihtiyacı ve yıllık toplam enerji tüketimi tablosu

j	Dış Hava Sıcaklığı °C	Soğutma İhtiyacı (kWh)	Cihaz Kapasitesi (kW)	Çekilen Güç (kW)	Yıllık çekilen güç (kWh)	Ortalama Saat	EER
1	17	49405	241	44,06	9031,99	205	5,47
2	18	54707	241	44,06	10001,28	227	5,47
3	19	54225	241	44,06	9913,16	225	5,47
4	20	54225	241	44,06	9913,16	225	5,47
5	21	65080,8	301,3	56,89	12288,67	216	5,30
6	22	77636,5	361,1	70,50	15157,46	215	5,12
7	23	91756,2	420,9	85,06	18544,10	218	4,95
8	24	94697,9	480,7	100,69	19836,18	197	4,77
9	25	96120	540	117,39	20895,65	178	4,60
10	26	95210,8	602,6	133,55	21101,68	158	4,51
11	27	91063,9	664,7	150,25	20584,06	137	4,42
12	28	79221,2	726,8	167,62	18270,57	109	4,34
13	29	69423,2	788,9	185,71	16342,56	88	4,25
14	30	53613	851	204,57	12887,74	63	4,16
15	31	35880	920	230,00	8970,00	39	4,00
16	32	30302,5	977,5	254,56	7891,28	31	3,84
17	33	24840	1035	281,25	6750,00	24	3,68
18	34	18572,5	1092,5	310,37	5276,28	17	3,52
19	35	14950	1150	342,26	4449,40	13	3,36
20	36	10350	1150	342,26	3080,36	9	3,36
21	37	4600	1150	342,26	1369,05	4	3,36
22	38	3450	1150	342,26	1026,79	3	3,36
23	39	1150	1150	342,26	342,26	1	3,36
	TOPLAM	1170480,5		TOPLAM	253923,69	SEERon	4,61

Çizelgeden de görüleceği gibi belirli bir sıcaklıktaki yıllık ortalama saat ile cihaz kapasitesi çarpılarak o sıcaklıktaki soğutma ihtiyacı hesaplanmış ve bu işlem tüm dış hava sıcaklıklarında yapılarak birikmiş toplam yıllık soğutma ihtiyacı 1 170 480 kWh olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde cihazın belirli bir sıcaklıktaki soğutma kapasitesi EERj değerine bölünerek o sıcaklıktaki çekilen enerji değeri hesaplanmış ve yine yıllık ortalama saat ile çarpılarak tüm dış hava sıcaklıklarındaki alt toplam değeri 253 923 kWh olarak hesaplanmıştır. Eşitlik 3.4'e göre toplam soğutma ihtiyacının, toplam enerji tüketimine

bölünmesi ile de aktif mevsimsel enerji verimliliği ($SEER_{on}$) değeri 4,61 olarak hesaplanmıştır.

Eşitlik 3.4.'e göre Q_{CE}'yi hesaplayabilmemiz için gerekli olan aktif soğutma durumu dışında cihazın çektiği güçleri (Soğutma yükü yokken çektiği güç, bekleme modunda çektiği güç ve karter ısıtıcısının çektiği güç) gösteren bilgiler Çizelge 3.12.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Soğutma grubu performans ve aktif durum dışında çektiği güçler [22]

Durum		Çalışma Saati	Çektiği güç W
Kapalı Durum W	P_{OFF}	600	0
Soğutma Yükü Yok W	P_{TO}	600	1944
Bekleme Durumu W	P_{SB}	600	200
Krank Isıtıcısı W*	P_{SB}	600	550

Buna göre;

Q_{CE}= 152 362 kWh olarak hesaplanmıştır.

Eşitlik 3.2'ye göre Q_C değeri, cihaz kapasitesi ile referans aktif durum soğutma saati çarpılarak hesaplanmıştır. Buna göre;
Q_C= 690 000 kWh,

Değerinden, Eşitlik 3.1.'den **SEER = 4,53** olarak hesaplanmaktadır. Bu cihazın diğer cihaza göre SEER değerinin yüksek olmasının sebebi; cihazın daha verimli bir kompresöre (invertör kontrollü) ve kondanser fanına sahip olmasıdır.

Çizelge 3.13.'de cihazların soğutma kapasiteleri SEER değerine bölünerek ortalama çektiği güçler hesaplanmış, bir yıllık soğutma sezonu için (2602 saat/yıl) kWh elektirik fiyatı üzerinden yıllık enerji tüketim maliyetleri hesaplanmıştır. Bu iki tip soğutma grubu arasındaki yıllık işletme maliyeti farkının 26 898 TL/adet olacağı hesaplanmıştır. Toplamda ise 6 cihaz için bu fark 161 388 TL'dir. Buna göre aynı kapasite soğutma ihtiyacının karşılanması için ödenecek tutarın 161 388 TL olacağı sonucu çıkarılmıştır.

Çizelge 3.13. Soğutma grubu yıllık işletme maliyeti

Özellikler	Standart Verimlikle Soğutma Grubu	Yüksek Verimlikle Soğutma Grubu
Soğutma Kapasitesi (kW)	1144	1150
SEER	4,09	4,53
Yıllık Ortalama Çektiği Güç (kW)	279	253
Yıllık Çalışma Saati	2602	2602
1 kwh Elektrik Fiyatı (TL)*	0,4	0,4
Yıllık İşletme Maliyeti (TL)	291 119	264 221
Fark (TL)	26 898 TL/adet	
Toplam 6 Cihaz için Fark	161 388 TL	

* Ankara ili için vergiler hariç ortalama kWh fiyatı [23]

Çizelge 3.14.'de iki model arasındaki yatırım maliyeti farkı ile elektrik tüketim maliyetleri arasındaki farkın NBD yöntemi ile geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Yüksek sezonsal verimliliğe sahip cihazın ilk yatırım maliyetinin, standart verimliliğe sahip cihaza göre 6 cihazda toplam 480 000 TL olduğu üretici firmalardan alınan bilgiler neticesinde çizelgeye yatırım maliyeti (-) olarak işlenmiştir. Çizelge 3.13.'de yapılan elektrik tüketim maliyetlerine göre iki model arasında elektrik tüketim maliyeti farkı 6 adet cihaz için 161 388 TL'dir ve çizelgeye (+) eklenmiştir. Böylece yatırımcı 4. Yılda pozitif, karlı noktaya gelmektedir. Yatırım kendini yaklaşık 4 yılda geri ödemiştir.

Çizelge 3.14. Yatırım maliyetinin NBD ile geri dönüşümünün hesaplanması

İ=%8					
YIL	0	1	2	3	4
İLK YATIRIM MALİYETİ	- 480.000,00 ₺				
ELEKTRİK TASARRUFU*		161.388,00 ₺	177.526,80 ₺	195.279,48 ₺	214.807,43 ₺
NET NAKİT AKIŞI	- 480.000,00 ₺	161.388,00 ₺	177.526,80 ₺	195.279,48 ₺	214.807,43 ₺
NBD	- 480.000,00 ₺	149.433,33 ₺	152.200,62 ₺	155.019,15 ₺	157.889,87 ₺
Toplam	- 480.000,00 ₺	- 330.566,67 ₺	- 178.366,05 ₺	- 23.346,90 ₺	134.542,97 ₺

* Yıllık elektrik zammı %10 kabul edilmiştir.

NBD hesabı aşağıdaki formüle göre yapılmıştır.

$$NBD = \frac{R_1}{(1+i)^n} \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

NBD : Net bugünkü değer
R_1 : Net nakit girişleri
i : Marjinal sermaye maliyeti (%8)
n : Yıl

olarak verilmiştir.

3.4. Mevsimsel Enerji Verimliliği ile Fan Coil Cihazları İşletme Maliyet Analizi

Fan coil cihazlarında mevsimsel enerji verimliliği ifadesi olan FCEER değeri üzerinden enerji tüketimleri ve yıllık soğutma sezonu için işletme maliyeti hesaplanmıştır. Fan coil cihazlarında sezonsal enerji verimliliğini etkileyen en büyük faktör, seçilen fan coillerin AC veya EC fan olması durumudur. AC fan motur yerine EC fan motoru kullanılması durumunda mevsimsel enerji verimliliği %60 oranında artmaktadır. Bu da doğrudan işletme maliyetlerini etkilenmektedir.

EC motorlar elektronik değişkenli motorlardır. Elektrik akımı, elektronik olarak değiştirilebilmektedir. AC motorlarda ise bu işlem mekanik olarak yapılmaktadır. EC motorlar sabit mıknatıslı olup akıma göre dönüş yönünü elektronik olarak ayarlar. Bu nedenle AC motorlarda olduğu gibi akım değişimlerinde güç kaybına neden olmaz [24].

Kullanılan fan coillere ait kapasite, adet çizelgesi aşağıda Çizelge 3.15.'de gösterilmiştir. Fan coiller orta devir kapasitede, 27 °C mahal sıcaklığı, 7-12 °C su rejimi sıcaklığı şartlarına göre seçilmiştir.

Projede toplamda 749 adet fan coil cihazı kullanılmıştır.

Çizelge 3.15. Fan coil kapasite – adet çizelgesi

POZ	Soğutma Kapasitesi kW	Adet
TIP1	1,8	218
TIP2	2,8	192
TIP3	3,8	129
TIP4	5,5	148
TIP5	7	62

Fan coillerin AC ve EC fanlı olması durumunda çektiği güçlere göre bir yıllık soğutma sezonu için işletme maliyetleri ve aradaki fark çizelge 3.16.'da gösterilmiştir [25].

Çizelge 3.16. Fan coil işletme maliyeti Analizi

POZ	Soğutma Kapasitesi (kW)	Adet	FCEER AC	FCEER EC	AC Fan Çektiği Güç (kW)	EC Fan Çektiği Güç (kW)	Soğutma Sezonu (sa)	Elektrik kWh Fiyatı (TL)	AC Fan işletme Maliyeti (TL)	EC Fan işletme Maliyeti (TL)
1	1,8	218	56	148	0,032	0,012	2.602	0,4	7.293	2.760
2	2,8	192	94	220	0,030	0,013	2.602	0,4	5.952	2.543
3	3,8	129	66	170	0,058	0,022	2.602	0,4	7.730	3.001
4	5,5	148	98	294	0,056	0,019	2.602	0,4	8.645	2.882
5	7	62	80	203	0,088	0,034	2.602	0,4	5.646	2.225
								TOPLAM	35.267	13.411
								FARK	21.856	

Fan coil cihazlarının soğutma kapasitesi, FCEER verimlilik değerine bölünerek cihazın ortalama çektiği güç hesaplanmıştır. Daha sonra ortalama çektiği güç; yıllık soğutma sezonu için çalışma saati (2602 saat), adet ve elektrik kWh birim fiyatı (0,4 TL) ile çarpılarak her poz numaralı cihaz için işletme maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmış ve toplamları alınmıştır. Bu hesaplama sonucunda EC fana sahip fan coillerin yıllık 21 856 TL daha az işletme maliyetine sahip olacağı görülmüştür.

Bunun için de;

$$\text{FCEER} = \frac{\%65 \text{ x } \text{Pc}_{\text{Düşük}} + \%30 \text{ x } \text{Pc}_{\text{Orta}} + \%5 \text{ x } \text{Pc}_{\text{Yüksek}}}{\%65 \text{ x } \text{Pec}_{\text{Düşük}} + \%30 \text{ x } \text{Pec}_{\text{Orta}} + \%5 \text{ x } \text{Pec}_{\text{Yüksek}}} \quad (3.6)$$

Eşitliği kullanılmıştır ve bu eşitlikte de;

FCEER : Fan coil enerji verimliliği

$Pc_{Düşük}$: Düşük devir soğutma kapasitesi

Pc_{Orta} : Orta devir soğutma kapasitesi

$Pc_{Yüksek}$: Yüksek devir soğutma kapasitesi

$Pec_{Düşük}$: Düşük devir çektiği güç

Pec_{Orta} : Orta devir çektiği güç

$Pec_{Yüksek}$: Yüksek devir çektiği güç

olarak verilmiştir.

Üreticilerden alınan bilgiler doğrultusunda EC ve AC fanlı fan coiller arasında 749 adet cihaz için toplam 177 000 TL ilk yatırım maliyeti farkı olmaktadır. Bu yatırım yıllık işletme maliyeti geliri üzerinden NBD ile hesaplandığında 9 yılda geri dönebilmektedir. Çizelge 3.17.'de NBD hesap çizelgesi gösterilmiştir. Fan coil cihazlarının kullanım ömürlerinin 12-15 yıl arasında değiştiği göz önüne alındığında yatırım uygun bulunmaktadır.

Çizelge 3.17. Fan coil yatırım maliyetinin NBD ile geri dönüşümünün hesaplanması

İ = %8	Maliyet (TL)				
YIL	0	1	2	…	9
İlk Yatırım Maliyeti	-177.000 ₺			…	
Elektrik Tasarrufu *		21.856 ₺	24.042 ₺	…	46.850 ₺
Net Nakit Akışı	-177.000 ₺	21.856 ₺	24.042 ₺	…	46.850 ₺
NBD	-177.000 ₺	20.237 ₺	20.612 ₺	…	23.437 ₺
Toplam	-177.000 ₺	-156.763 ₺	-136.151 ₺	…	19.224 ₺

4. SONUÇ

Yapılan çalışmada incelemesi yapılan hastanenin fan coil ve soğutma gruplarının sezonsal enerji verimliliği ifadeleri üzerinden yıllık tükettikleri enerji hesaplanmış ve daha verimli ürünler kullanıldığında ilk yatırım maliyetlerinin geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Buna göre soğutma grupları için mevsimsel verimliliği yüksek olan model tercih edildiğinde 6 adet cihazda toplam 161 388 TL tasarruf yapılacağı hesaplanmıştır. Verimli modelin ilk yatırım maliyet farkının 480 000 TL olduğu düşünülerek NBD metodu ile yatırımın 4 yıl içinde geri ödeneceği sonucu çıkartılmıştır. Soğutma gruplarının ömürleri 10-12 yıl arasında değiştiği düşünülürse 4. yıldan sonra yatırım kâr etmeye başlayacaktır.

Yüksek soğutma yüküne sahip binalarda su soğutmalı soğutma grupları da tercih edilebilir. Su soğutmalı soğutma gruplarında verimlilikler hava soğutmalı gruplara göre daha yüksektir. Hastanede tasarımcı, hava soğutmalı soğutma grupları ile çalışma yaptığı için bu cihazlara muadil, daha verimli hava soğutmalı cihazlar ile karşılaştırma yapılmıştır.

Fan coil cihazları için ise mevsimsel verimliliği daha yüksek olan EC motorlu modeller ile AC motorlu modeller arasında karşılaştırma yapılmıştır. Sistemde749 adet kaset tip (4 yöne üflemeli) fan coil cihazı kullanıldığında EC motorlu fan coillerin yıllık toplamda 21 856 TL daha az enerji maliyeti olacağı hesaplanmıştır. EC motorlu fan coiller tercih edildiğinde, AC motorlu fan coillere göre ilk yatırım maliyeti arasında farkın 177 000 TL olduğu düşünülerek NBD ile yatırım geri dönüş süresi 9 yıl olarak hesaplanmıştır. Soğutma gruplarına göre geri dönüş süresi daha uzun olsa da fan coil cihazlarının da ömürlerinin 10-12 yıl arasında olduğu kabul edilirse; daha verimli cihazla yatırımın yapılabilir olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Bu çalışmanın sonunda; yüksek elektrik enerjisi tüketen iklimlendirme cihazlarında, cihazın ömrü boyunca tüketeceği enerji ve enerji maliyetinin mevsimsel enerji verimliliği yaklaşımı ile hesaplanması ve yatırımcıların bu hususları göz ardı etmeden ilk yatırımları yapmaları daha uygun olacağı kanaati oluşmuştur.

KAYNAKLAR

1. Internet : TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi. URL: http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik, Son Erişim Tarihi :12.01.2019

2. Internet : Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynakları Görünümü 2017, TC Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı. URL:https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FEnerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC%2FSayi_15.pdf, Son Erişim Tarihi :16.02.2019

3. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018, Oda Raporu, Yayın No: MMO/691, URL : https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/EnerjiGorunumu2018_1.pdf, Son Erişim Tarihi : 28.02.2019

4. Baba, E. (2009) *Klima Santrallerinde Enerji Ekonomisi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 12

5. Karaca, M. (2012) *Değişken Devirli Sirkülasyon Pompalarında Enerji Verimliliği,* Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

6. Ünlü, G. (2010) *Sürdürülebilir Binalar İçin HVAC Sistemleri Seçimi, Tasarımı ve Enerji Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

7. Thomas H. Kuehn, J.W. Ramsey, J. L. Threlkeld, (1998) *Thermal Environmental Engineering*, 3rd Edition, ABD : Prentice Hall, NJ, 88

8. ANSI / ASHRAE Standard 55 – 2004, Thermal environmental conditions for human occupancy, 5.

9. Doğan, H. (2016) *Uygulamalı Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği* (Beşinci Baskı) Türkiye: Seçkin Yayınevi, 41

10. Bıyıkoğlu, A. (2018). *TOBB İklimlendirme Meclisi, Türkiye İklimlendirme Sanayi Sektör Raporu*, 5

11. Doğan, H. (2016) *Uygulamalı Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği* (Beşinci Baskı) Türkiye: Seçkin Yayınevi, 83 - 109 – 110 – 122

12. Bıyıkoğlu, A. (2018). *TOBB İklimlendirme Meclisi, Türkiye İklimlendirme Sanayi Sektör Raporu*, Ankara: Türkiye Odalar Borsalar Birliği, 7

13. Yenilenebilir Enerji Genel Müd. (2008), *2000-2016 Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu*, Ankara: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 26

14. Resmi Gazete (2007) *Enerji Verimliliği Kanunu*, 26510.

15. Resmi Gazete (2008) *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*, 27075.

16. İnternet : AB - Eco Design Direktifi ve Hakkında Bilmeniz Gerekenler. URL : https://www.systemair.com/globalassets/downloads/tr/kataloglar/ecodesign-brour.pdf, Son Erişim Tarihi : 24.02.2019

17. Bıyıkoğlu, A. (2018). *TOBB İklimlendirme Meclisi, Türkiye İklimlendirme Sanayi Sektör Raporu*, Ankara: Türkiye Odalar Borsalar Birliği, 42

18. Bıyıkoğlu, A. (2018). *TOBB İklimlendirme Meclisi, Türkiye İklimlendirme Sanayi Sektör Raporu*, Ankara: Türkiye Odalar Borsalar Birliği, 79

19. Energy Information Administration (2009), *Mounthly Energy Reviev* October, 44

20. Resmi gazete (2008), *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*, Madde 15,27075.

21. Implementing Directive (2009) '2009 125/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products, with regard to ecodesign requirements for air heating products, cooling products, high temperature process chillers and fan coil units', 19

22. Internet : Powerciat LX ERP Raporu URL : http://www.ciat.com/, Son Erişim Tarihi : 24.04.2019

23. Internet : Elektrik Birim Fiyatları URL : https://enerjienstitusu.org/elektrik-fiyatlari/ Son Erişim Tarihi :23.04.2019

24. Internet : AC ve EC Fan Motorları Arasındaki Fark URL http://www.tesisatmarket.com, Son Erişim Tarihi :12.03.2019

25. Internet : Fan Coil Sezonsal Verimlilik Değerleri URL: http://www.eurovent-certification.com Son Erişim Tarihi : 28.05.2019

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKYAKA, Burak
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 29.10.1990, Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (544) 278 10 32
e-mail : burakakyaka@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Müh.	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2013
Lise	Mehmet Emin Resulzade Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	Arçelik A.Ş.	Uzman Servis Yönetmeni
2016-2019	Ciat Türkiye	Ankara Bölge Müdürü
2014-2016	Johnson Controls Türkiye	Proje ve Satış Mühendisi
2013-2014	Üntes A.Ş.	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Akyaka, B., Doğan, H. (2019). İklimlendirme Sistemlerinde Doğru Cihaz Seçimi ve Enerji Ekonomisi, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 109

Hobiler

Futbol, seyahat etmek.



GAZİ GELECEKTİR...