

**SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNALAR İÇİN HVAC SİSTEMLERİ SEÇİMİ,
TASARIMI VE ENERJİ ANALİZİ**

Gökhan ÜNLÜ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2010
ANKARA**

Gökhan ÜNLÜ tarafından hazırlanan Sürdürülebilir Binalar İçin HVAC Sistemleri Seçimi, Tasarımı ve Enerji Analizi adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

Makina Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

Makina Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Cemil YAMALI

Makina Mühendisliği, O.D.T.Ü.

Doç. Dr. Atilla BIYIKOĞLU

Makina Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç. Dr. Hüseyin TOPAL

Makina Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tarih: 15/02/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gökhan ÜNLÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNALAR İÇİN HVAC SİSTEMLERİ SEÇİMİ,
TASARIMI VE ENERJİ ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Gökhan ÜNLÜ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2010**

ÖZET

Türkiye’de enerji tüketiminin büyük bir bölümü binalardan kaynaklanmaktadır. Binalarda yaşayan sistemler olan Elektrik ve Mekanik sistemler; binaların enerji harcayan bileşenleridir. Yapı özellikleri, bu bileşenlerin enerji harcama miktarını büyük ölçüde etkilemektedir. Ancak son yıllarda, özellikle Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği’nin 2008 yılında yenilenmesi ile birlikte yeni yapılan binaların yalıtımı ve bina kabuğu özellikleri uluslar arası standartlar seviyesine ulaşmıştır. Enerji verimliliği sağlamak amacı ile bina kabuğu özelliklerini iyileştirdikten sonra, çalışan sistemleri iyileştirmek gerekmektedir. HVAC sistemleri binaların enerji harcamasının büyük bölümünü oluşturmaktadır. Bunu engellemek için alınması gereken önlem, bina tasarlanırken hangi HVAC sisteminin daha uygun ve verimli olduğuna karar vermektir. Bu çalışmada, Türkiye’de bu konuda alınan yasal önlemler ve bu önlemlerin tarihçesi incelenmiş, uluslar arası örnekler ortaya konmuştur. Daha sonra Ankara’da inşa edilmesi planlanan bir ofis binası ele alınmış, bu yapı için en uygun HVAC sisteminin bulunması için hesaplamalar yapılmıştır. Bina ısı yük hesaplamalarında ve ardından yapılan bina enerji simülasyonunda “Hourly Analysis Program” kullanılmıştır.

Bir ofis yapısında uygulanabilecek sistem alternatifleri ele alınmış, bu alternatiflerin enerji harcamaları ortaya konmuştur.

Bilim Kodu	: 914.1.038
Anahtar Kelimeler	: Sürdürülebilir Yapı, Sürdürülebilir HVAC, Yapı Simülasyonu, Bina Isıl Yük Analizi
Sayfa Adedi	: 124
Tez Yöneticisi	:Prof.Dr.MecitSİVRİOĞLU

HVAC SYSTEM SELECTION, DESIGN AND ENERGY ANALYSIS FOR SUSTAINABLE BUILDINGS

(M.Sc. Thesis)

Gökhan ÜNLÜ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

February 2010

ABSTRACT

Buildings have significant effect on Energy Consumption of Turkey. Electromechanical systems are responsible from energy consumption in buildings. Materials of construction and the architectural design affect energy consumption. But after the revision of Building Insulation Regulation in 2008, new buildings have sufficient isolation like other international examples. After renovating buildings isolation, electromechanical systems should be examined to ensure Energy Efficiency. HVAC systems have the biggest portion of energy demand of the buildings. The first precaution for this problem is to decide which HVAC system will be sufficient for the building in design stage. In this study, the historical background of the energy efficiency regulations of Turkey and International examples has been summarized. Consequently, an office building has been examined which will be constructed in Ankara. Heat Load calculations and Energy consumption simulation calculations have been made for this building with the aim of finding best HVAC system. “Hourly Analysis Program” has been used for all these calculations.

HVAC system alternatives for an office building have been examined and energy consumption rates of these alternatives have been calculated.

Science Code	: 914.1.038
Keywords	:Sustainable Buildings, Sustainable HVAC, Building Simulation, Building Load Analysis
Page Number	: 124
Adviser	:Prof.Dr.MecitSİVRİOĞLU

TEŞEKKÜR

Eğitimimin bu aşamasına kadar, bana her türlü imkânı sağlayan Türkiye Cumhuriyeti Devleti'ne, çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Sn. Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU'na, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Bünyamin ÜNLÜ ve Volkan ÜNLÜ'ye, manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme, teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALARIN LİSTESİ	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNA KAVRAMI.....	3
3. GELİŞMİŞ ÜLKELERDE İLGİLİ KURUMLAR VE MEVZUAT	4
3.1. Dünya Yeşil Bina Konseyi.....	4
3.2. Dünya Yeşil Bina Konseyi Üyeleri	4
3.2.1. Amerika Birleşik Devletleri	4
3.2.1. Avustralya	5
3.2.2. Birleşik Arap Emirlikleri	5
3.2.3. Birleşik Krallık	5
3.2.4. Hindistan.....	5
3.2.5. Japonya	5
3.2.6. Kanada	6
3.2.7. Meksika	6
3.2.8. Tayvan.....	6
3.2.9. Yeni Zelanda.....	6
3.3. Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi	6
3.3.1. LEED yeşil bina değerlendirme programı	7
3.3.2. LEED ölçütleri.....	7
3.3.3. HVAC Tasarımında dikkate alınması gereken LEED ölçütleri	9
4. TÜRKİYE'DE İLGİLİ KURUMLAR VE MEVZUAT.....	15
4.1. Tarihçe.....	15

Sayfa

4.2. Yürürlükte Olan Mevzuatlar	20
4.2.1. TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" Standardı:	20
4.2.2. Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği:	22
4.2.3. Enerji Verimliliği Kanunu:	24
4.2.4. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği:	25
4.3. İlgili Kurumlar	27
4.3.1. EİE – Elektrik İşleri Etüd İdaresi	27
4.3.2. ÇEDBİK – Çevre Dostu Binalar Derneği	28
5. BİNA HVAC SİSTEMLERİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI ...	30
5.1. Güneşsel Enerjiler	30
5.2. Isı Pompaları	33
6. ÇALIŞMANIN AMACI VE UYGULAMA YAPILACAK BİNA SEÇİMİ	34
7. SEÇİLEN BİNALARDA UYGULANABİLECEK HVAC SİSTEMLERİ	36
7.1. Tam Havalı İklimlendirme Sistemi – VAV (Variable Air Volume)	37
7.2. FanCoil + Taze Hava	39
7.3. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava	39
8. BİNA ISI HESAPLARI, BİNA SİMÜLASYONU VE KABUL GÖREN YAZILIMLAR	42
8.1. Bina Isı Yüğü Hesapları	42
8.2. Bina Simülasyonu	44
8.3. Kullanılan Yazılımlar	45
8.3.1. EnergyPlus	45
8.3.2. Hourly Analysis Program (HAP – Carrier Co.)	46
8.3.3. Trace 700 (Trane Co.)	46
9. HAP HESAPLAMALARI VE YAZILIM ARAYÜZÜ	47
9.1. Hesap Yöntemi	47
9.1.1. Transfer fonksiyonu hesaplamaları	48
9.2. Yapı Değişkenleri	54
9.3. Simülasyon Değişkenleri	56

Sayfa

10. SİMÜLASYON GİRDİLERİ	58
11. SİMÜLASYON SONUÇLARI.....	60
11.1. Tam Havalı İklimlendirme – VAV Sistemi.....	60
11.1.1. Bileşen bazlı yıllık enerji tüketimi.....	60
11.1.2. Kaynak bazlı yıllık enerji tüketimi.....	61
11.1.3. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyetleri	62
11.1.4. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyeti oranları	63
11.1.5. HVAC bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri.....	64
11.1.6. HVAC dışı bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri.....	65
11.1.7. HVAC enerji maliyetleri	66
11.2. FanCoil + Taze Hava	68
11.2.1. Bileşen bazlı yıllık enerji tüketimi.....	68
11.2.2. Kaynak bazlı yıllık enerji tüketimi.....	69
11.2.3. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyetleri	69
11.2.4. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyeti oranları	70
11.2.5. HVAC bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri.....	71
11.2.6. HVAC dışı bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri.....	73
11.2.7. HVAC enerji maliyetleri	74
11.3. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava.....	76
11.3.1. Bileşen bazlı yıllık enerji tüketimi.....	76
11.3.2. Kaynak bazlı yıllık enerji tüketimi.....	77
11.3.3. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyetleri	78
11.3.4. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyeti oranları	79
11.3.5. HVAC bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri.....	80
11.3.6. HVAC dışı bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri.....	81
11.3.7. HVAC enerji maliyetleri	82
12. SİMÜLASYON KARŞILAŞTIRMASI	84
12.1. Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi Karşılaştırması	84
12.1.1. Havalandırma fanları	85
12.1.2. Soğutma sistemi.....	86
12.1.3. Isıtma sistemi	86

Sayfa

12.1.4. Pompalar	86
12.2. Bileşen Bazlı Yıllık Kaynak Enerji Tüketimi Karşılaştırması	87
12.3. Kaynak Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi Karşılaştırması.....	88
12.4. Havalandırma Fanları Maliyeti Karşılaştırması	90
12.5. Soğutma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması.....	91
12.6. Isıtma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması	92
12.7. Pompa Elektrik Giderleri Karşılaştırması	93
12.8. Toplam HVAC Giderleri Karşılaştırması	95
13. HASSASİYET ANALİZİ	97
13.1. Tam Havalı İklimlendirme – VAV Sistemi	97
13.2. FanCoil + Taze Hava Sistemi	100
13.3. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Sistemi.....	102
13.4. Hassasiyet Analizi Karşılaştırması.....	104
14. TOPLAM MALİYET ANALİZİ	107
14.1. Tam Havalı İklimlendirme - VAV Sistemi Toplam Maliyet Analizi	108
14.2. FanCoil + Taze Hava Sistemi Toplam Maliyet Analizi	109
14.3. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Sistemi Toplam Maliyet Analizi	110
14.4. Toplam Maliyet Analizi Karşılaştırması	111
15. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	113
KAYNAKLAR	117
EKLER	119
EK-1 Yapı Mimari Planları.....	120
EK-2 ASHRAE Handbook Fundamentals Chapter 26.....	121
EK-3 Diğer Chapter Tabloları.....	122
EK-4 Ofis Enerji Giderleri	123
EK-5 Hesap ve Simülasyon Çıktıları.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZGEÇMİŞ.....	124

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Binalarda Isı Yalıtımı Talimatı Kriterleri – 1980	17
Çizelge 4.2. Yalıtım Kalınlıkları - Binalarda Isı Yalıtımı Talimatı: 1980	19
Çizelge 8.1. Ankara Tasarım Sıcaklıkları [21]	43
Çizelge 11.1. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi	60
Çizelge 11.2. Kaynak Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi.....	61
Çizelge 11.3. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri	62
Çizelge 11.4. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları	63
Çizelge 11.5. VAV Sistemi HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri	64
Çizelge 11.6. VAV Sistemi HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri.....	65
Çizelge 11.7. VAV Sistemi HVAC Enerji Maliyetleri	67
Çizelge 11.8. FanCoil+Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi	68
Çizelge 11.9. FanCoil+ Taze Hava Kaynak Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi	69
Çizelge 11.10. FanCoil + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri	69
Çizelge 11.11. FanCoil + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları.....	71
Çizelge 11.12. FanCoil + Taze Hava HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri	71
Çizelge 11.13. FanCoil + Taze Hava HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri	73
Çizelge 11.14. FanCoil + Taze Hava HVAC Enerji Maliyetleri	74
Çizelge 11.15. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi	76
Çizelge 11.16. Kaynak Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi.....	77
Çizelge 11.17. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri	78

Çizelge	Sayfa
Çizelge 11.18. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları	79
Çizelge 11.19. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri	80
Çizelge 11.20. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri	81
Çizelge 11.21. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Enerji Maliyetleri	83
Çizelge 12.1. Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi Karşılaştırması	84
Çizelge 12.2. Bileşen Bazlı Yıllık Kaynak Enerji Tüketimi Karşılaştırması ...	87
Çizelge 12.3. Kaynak Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi Karşılaştırması	88
Çizelge 12.4. Havalandırma Fanları Maliyeti Karşılaştırması.....	90
Çizelge 12.5. Soğutma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması	91
Çizelge 12.6. Isıtma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması.....	93
Çizelge 12.7. Pompa Elektrik Giderleri Karşılaştırması.....	94
Çizelge 12.8. Toplam HVAC Giderleri Karşılaştırması	95
Çizelge 13.1. VAV Sistemi Enerji Fiyatı Hassasiyet Analizi	98
Çizelge 13.2. FanCoil + Taze Hava Sistemi Enerji Fiyatı Hassasiyet Analizi	100
Çizelge 13.3. WSHP + Taze Hava Sistemi Enerji Fiyatı Hassasiyet Analizi	102
Çizelge 14.1. HVAC Sistemleri İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri	107
Çizelge 14.2. VAV Sistemi Toplam Maliyet Analizi	109
Çizelge 14.3. FanCoil + Taze Hava Sistemi Toplam Maliyet Analizi	110
Çizelge 14.4. WSHP + Taze Hava Sistemi Toplam Maliyet Analizi	111

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Tipik bir güneş kolektörünün şematik gösterimi.....	31
Şekil 7.1. Tam Havalı Klima Sistemi - VAV [19]	38
Şekil 7.2. Fancoil + Taze hava Sistemi [19]	40
Şekil 7.3. Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi [20].....	41
Şekil 9.1. ASHRAE Hesap Yöntemleri Karşılaştırması – Carrier Eğitim Notları.....	47
Şekil 9.2. HAP Duvar Bileşenleri Ara yüzü.....	55
Şekil 9.3. HAP Tavan Bileşenleri Ara yüzü	55
Şekil 9.4. HAP Cam Özellikleri Ara yüzü.....	56
Şekil 9.5. HAP İklim Verileri Ara yüzü	57
Şekil 9.6. HAP Zaman Çizelgesi Ara yüzü	57
Şekil 11.1. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi	61
Şekil 11.2. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri	62
Şekil 11.3. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları	63
Şekil 11.4. VAV Sistemi HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri	64
Şekil 11.5. VAV Sistemi HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri .	66
Şekil 11.6. VAV Sistemi HVAC Enerji Maliyetleri	67
Şekil 11.7. FanCoil+Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi	69
Şekil 11.8. FanCoil + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri.....	70
Şekil 11.9. FanCoil + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları	71
Şekil 11.10. FanCoil + Taze Hava HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri.....	72
Şekil 11.11. FanCoil + Taze Hava HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri.....	74
Şekil 11.12. FanCoil + Taze Hava HVAC Enerji Maliyetleri	75

Şekil	Sayfa
Şekil 11.13. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi	77
Şekil 11.14. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri	78
Şekil 11.15. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları.....	79
Şekil 11.16. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri.....	80
Şekil 11.17. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri.....	82
Şekil 11.18. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Enerji Maliyetleri.....	83
Şekil 12.1. Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi Karşılaştırması	85
Şekil 12.2. Bileşen Bazlı Yıllık Kaynak Enerji Tüketimi Karşılaştırması	87
Şekil 12.3. Doğalgaz Tüketimi Karşılaştırması.....	89
Şekil 12.4. Elektrik Tüketimi Karşılaştırması	89
Şekil 12.5. Havalandırma Fanları Maliyeti Karşılaştırması	90
Şekil 12.6. Soğutma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması	92
Şekil 12.7. Isıtma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması.....	93
Şekil 12.8. Pompa Elektrik Giderleri Karşılaştırması.....	94
Şekil 12.9. Toplam HVAC Giderleri Karşılaştırması	95
Şekil 13.1. VAV Sistemi Elektrik ve Doğalgaz Karma Hassasiyet Grafiği	98
Şekil 13.2. VAV Sistemi Elektrik Fiyatı Hassasiyeti.....	99
Şekil 13.3. VAV Sistemi Doğalgaz Fiyatı Hassasiyeti	99
Şekil 13.4. FanCoil + Taze Hava Sistemi Elektrik ve Doğalgaz Karma Hassasiyet Grafiği.....	100
Şekil 13.5. FanCoil + Taze Hava Sistemi Elektrik Fiyatı Hassasiyeti	101
Şekil 13.6. FanCoil + Taze Hava Sistemi Doğalgaz Fiyatı Hassasiyeti.....	101

Şekil	Sayfa
Şekil 13.7. WSHP+ Taze Hava Sistemi Elektrik ve Doğalgaz Karma Hassasiyet Grafiği.....	103
Şekil 13.8. WSHP+ Taze Hava Sistemi Elektrik Fiyatı Hassasiyeti.....	103
Şekil 13.9. WSHP + Taze Hava Sistemi Doğalgaz Fiyatı Hassasiyeti	104
Şekil 13.10. Sistem Alternatifleri Elektrik Fiyatı Hassasiyet Karşılaştırması	105
Şekil 13.11. Sistem Alternatifleri Doğalgaz Fiyatı Hassasiyet Karşılaştırması	106
Şekil 14.1. Yıllık Bazda Toplam Maliyet Karşılaştırması	112

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Almanya Freiburg, Futbol sahasının çatısında uygulanan güneş panelleri.....	32
Resim 5.2. Rüzgâr Türbinleri	33

SİMGELER VE KISALTMALARIN LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
E_f	Verim Faktörü
F_{sa}	Armatür Faktörü
F_{ul}	Kullanma Faktörü
$F_{ua}F_{ra}F_{fl}$	Kullanım, Işınım Ve Kayıp Faktörleri
H_o, H_i	Dış Ve İç Havanın Entalpileri
I_A	Yüzey Üzerine Düşen Toplam Güneş Enerjisi
I_{DT}	Toplam Günlük Güneş Isı Kazancı
t_b	Bitişik Ortam Sıcaklığı
t_g	Güneş-Hava Sıcaklığı
t_{ga}	24 Saat Ortalama Güneş-Hava Sıcaklığı
t_i	İklimlendirilen Ortam Sıcaklığı
t_o	Hesap Anındaki Kuru Termometre Sıcaklığı
t_{oa}	24 Saat Ortalama Kuru Termometre Sıcaklığı

q_c	Sadece Taşınılma Isı Kazancı Sağlayan J Yapı Elemanından Olan Isı Kazancı
Simgeler	Açıklama
$q_{c,n}$	Gizli Isı Kazancı Sağlayan N Bileşenden Her Biri
Q_{if}	Işınım Ve Taşınılma Isı Kazancı Sağlayan Her Yapı Elemanından Olan Isı Kazancı
$q_{is}q_{ii}$	Cihazlardan Gelen Duyulur Ve Gizli Isı Kazancı
q_{θ}	Işınım Bileşeni Olan Her İ Elemandan Olan Isı Kazancı
Q_{sc}	Sadece Taşınılma Isı Kazancı Sağlayan Yapı Elemanlarından Olan Duyulur Soğutma Yüğü
W_o, W_i	Dış Ve İç Ortam Özgöl Nemleri
$\alpha \frac{E}{h_0}$	Yüzey Renk Faktörü
α	Güneş Işınımı İçin Yüzey Yutma Katsayısı
$\frac{\varepsilon \delta R}{h_0}$	Uzun Dalga Işınım Faktörü
θ	Yük Hesaplarının Yapıldığı Saat
δ	Zaman Adımı (1saat)
α	Güneş Işınımı İçin Yüzey Yutma Katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
COP	Coefficient of Performance
EİE	Elektrik İşleri Etüd İdaresi
HES	Hidroelektrik Enerji Santrali
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
USGBC	United States Green Building Council
WSHP	Water Source Heat Pump (Su Kaynaklı Isı Pompası)

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi, Türkiye'nin enerji ihtiyacının büyük bir kısmı yabancı kaynaklardan sağlanmaktadır. Bu bağlamda; değeri ve önemi günden güne artan enerjinin yalnızca ekonomik bir sorun olmakla kalmayıp, siyasi bir güvenlik meselesine dönüştüğü de açıktır. Bu noktada izlenmesi gereken ilk yol mevcut enerji kullanımlarının en aza indirilmesidir. Bu tasarruf çalışmasının birçok gelişmiş ülkede uygulandığı görülmüştür. Örneğin 1970'lerde yaşanan petrol krizi sonrası ABD'nin yıllık büyüme oranlarında hiç azalma olmazken, yıllık enerji tüketimlerinde, yürütülen tasarruf kampanyası sayesinde, ciddi azalmalar meydana gelmiştir. Tasarruf çalışmalarının gerçekleştirilmesinden sonra, uzun vadede ülkenin enerji güvenliğini sağlamak adına mevcut enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması için çalışmalar yapılmalıdır.

Enerji tüketiminde tasarruf sağlanabilmesi için enerjinin en fazla tüketildiği alanları tespit etmek gereklidir. Bu konuda dünya çapında yapılan araştırmalara göre; tüm dünyada tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %50'sini, yapıların tükettiği kısım oluşturmaktadır. Ayrıca Türkiye için yapılan çalışmalarda da ticari yapıların ve ofis yapılarının, tüm elektrik tüketiminin üçte birinden sorumlu olduğu ortaya konmuştur. Bu sebeple enerji korunumu politikalarının üretilmesi gereken ilk sektör, yapı sektörüdür.

Bu ihtiyacı ve açığı gören T.C. Devleti kurumları Enerji Verimliliği Yasası hazırlamış ve yürürlüğe koymuştur; ilgili yönetmeliklerin bir kısmı yürürlüğe konmuş, bir kısmı ise hazırlık aşamasındadır.

Tüm dünyada yeni moda olan ve üzerinde araştırılması için ciddi devlet destekleri verilen enerji korunumu konusunda Türkiye şu anda geç kalmış sayılabilir. Gelişmiş devletler yaklaşık on yıl önce tüm yönetmelik ve yasalarını hazırlayarak devlet desteklerini piyasaya vermiş ve bunun yararlarını görmeye başlamış bulunmaktadır. Türkiye'nin enerji sektöründeki

dışa bağımlılığı ve bulunduğu coğrafya sebebiyle dış güvenliği de tehdit oluşturmaktadır.

Buradan hareketle Türkiye’de sorumluluk alan tüm tasarımcıların ve devlet erkânının konuya önem vermesi gerekmektedir. Havalandırma klima sistemleri yapıda enerji harcayan başlıca sistemlerdir. Her ne kadar enerji verimli yapı tasarımı, mimari tasarımdan başlasa da, çok iyi mimarisi olan bir yapı ihtiyacından fazla enerji harcayabilir. Bu çalışma ile amaçlanan, ülkemizde oldukça sıklıkla uygulanan ofis yapıları için uygun havalandırma klima sistemlerinin hangileri olduğunu ortaya koymaktır.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNA KAVRAMI

Sürdürülebilir yapı, yaşam döngüsü boyunca, dünya kaynakları ve enerji tüketimini en aza indiren, yapının insan sağlığına ve çevreye etkisini azaltırken, daha iyi bir tasarıma, yerleşime ve işletmeye imkân tanıyan yapıya verilen addır [1].

Bir yapının sürdürülebilir olması için, önlemlerin tasarım aşamasında alınması gerekir. Gerçek anlamda sürdürülebilir bir yapı tasarlamak için tüm disiplinlerin (mimari, mekanik, elektrik ve statik) ortak çalışması şarttır.

Bugün sürdürülebilir, ekolojik, yeşil, çevre dostu vb. pek çok isim altında karşımıza çıkan doğayla uyumlu yapılar, yapının arazi seçiminden başlayarak yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirildiği, bütüncül bir anlayışla ve sosyal & çevresel sorumluluk anlayışıyla tasarlandığı, iklim verilerine ve o yere özgü koşullara uygun, ihtiyacı kadar tüketen, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş, doğal ve atık üretmeyen malzemelerin kullanıldığı katılımı teşvik eden, ekosistemlere duyarlı yapılar olarak tariflenebilir [2].

3. GELİŞMİŞ ÜLKELERDE İLGİLİ KURUMLAR VE MEVZUAT

3.1. Dünya Yeşil Bina Konseyi

Dünya Yeşil Bina Konseyi kâr amacı gütmeyen, pazarın değiştirilmesiyle sürdürülebilir bir çevre yaratmak amacıyla, ülkelerin yeşil bina konseylerini (YBK) destekleyen, kurulmasını sağlayan bir kuruluştur.

Dünya Yeşil Bina konseyi ilk defa 1998'de Japonya YBK'nin açılış toplantısında ABD YBK kurucusu David Gottfried tarafından duyurulmuştur. Dünya YBK'nin kuruluş toplantısı 1999 da San Francisco / ABD'de yapılmıştır.

Şu anda 10 ülkenin üye olduğu Dünya YBK, 16 ülkenin de hâlihazırda YBK'ni kurmasına destek vermektedir.

3.2. Dünya Yeşil Bina Konseyi Üyeleri

3.2.1. Amerika Birleşik Devletleri

Washington merkezli konsey kâr amacı gütmeyen, sürdürülebilir ve aydınlık bir gelecek için düşük maliyetli ve az enerji harcayan yeşil binalar yaratmak için kurulmuş bir örgüttür[3].

ABD YBK yapılarda yeşil bina derecelendirmesi yapan LEED programının da sahibidir. ABD YBK ve LEED Türkiye'de de yoğun ilgi gördüğünden daha detaylı olarak incelenecektir.

3.2.1. Avustralya

Avustralya YBK kâr amacı gütmeyen, yeşil binaları ve sürdürülebilir çevreyi desteklemek amacıyla kurulmuş ulusal bir örgüttür. Konsey, GreenStar yeşil bina derecelendirme programından sorumludur [4].

3.2.2. Birleşik Arap Emirlikleri

Çevrenin korunmasını ve yeşil binaların desteklenmesini amaç edinen konsey 2006 yılında Birleşik Arap Emirliklerinde kurulmuştur [5].

3.2.3. Birleşik Krallık

Büyük Britanya ülkelerini kapsayan Birleşik Krallık Yeşil Bina konseyi, Dünya YBK'nin kurucuları arasındadır. Avrupa'da en köklü YBK olan Birleşik Krallık YBK, ülkede hükümet, endüstri ve diğer kolların bir araya gelerek yeşil bina sektörünün genişletilmesini amaçlamaktadır [5].

Birleşik Krallıkta uygulanması amacı ile üretilen ve daha sonra tüm dünyaya yayılan BREEAM yeşil bina derecelendirme programı da Birleşik Krallık YBK'nin ürünüdür[6].

3.2.4. Hindistan

Hindistan YBK'in amacı 2010 yılı itibariyle bu konuda dünya liderleri arasına girmektir. 2001 yılında kurulan konseyin şu anda 120 kurumsal üyesi bulunmaktadır. LEED-INDIA yeşil bina derecelendirme sistemi ülkede yasal olarak kabul edilmiştir.

3.2.5. Japonya

Japonya Sürdürülebilir Bina Konsorsiyumu 2001 yılının Nisan ayında kurulmuştur. Birçok çalışması ve ürünü olan kuruluşun en bilinen programı, Geniş Kapsamlı Bina Çevre Verimliliği Değerlendirme Sistemi'dir [7].

3.2.6. Kanada

Kanada Yeşil Bina Konseyi, LEED-Kanada programından sorumlu olan, yeşil bina tasarımını ve inşasını destekleyen kuruluştur [8].

3.2.7. Meksika

Dünya YBK'nin kurucu üyelerinden olan Meksika YBK 2001'de kurulan, yeşil bina tasarımını ve inşasını destekleyen kuruluştur [9].

3.2.8. Tayvan

Tayvan YBK, Tayvan endüstrisinin ve bina sektörünün yeşil tasarımlarla desteklenmesini ve ülkenin bu sektörlerinin küreselleşmesini hedefleyen bir organizasyondur. Konsey kurulduğundan beri, ülkede 2001 yılında yayınlanan Yeşil Bina Destekleme Programından da sorumludur [10].

3.2.9. Yeni Zelanda

Yeni Zelanda yeşil bina konseyi 2005 yılında kurulmuş ve 2006 yılında statüsü resmileştirilmiştir. 2006 ve 2007 yıllarında kendini oldukça geliştiren konsey, Dünya YBK'ne üye olmuş ve GreenStar NZ programını üretmiştir [11].

3.3. Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi

Washington merkezli konsey kâr amacı gütmeyen, sürdürülebilir ve aydınlık bir gelecek için düşük maliyetli ve az enerji harcayan yeşil binalar yaratmak için kurulmuş bir örgüttür [3].

Yeşil bina konseyi 78 adet iştiraki, 20.000'e yakın şahsi ve kurumsal üyesi olan bir kurum olup, 2010 yılı itibariyle 60 milyar doları bulması beklenen bu iş kolunun itici gücüdür.

ABDYBK'e göre Amerika Birleşik Devletlerinde binalar; CO₂ salınımının %39'u, enerji tüketiminin %40'ı, su tüketiminin %13'ü ve gayri safi yurtiçi hâsılanın %15'inden sorumludur.

Görevi:

Birleşik Devletlerdeki yapıların çevreye ve enerji tüketimine duyarlı tasarımı, inşa edilmesi ve işletilmesini sağlayacak, sağlıklı ve refah dolu bir hayat yaratmak için katkıda bulunmaktadır.

3.3.1. LEED yeşil bina değerlendirme programı

Bina tasarımında ve inşasında enerji tasarrufu, su kullanım etkinliği, CO₂ emisyon azaltımı, iyileştirilmiş iç hava kalitesinin temin edilmesini sağlamak amacıyla uluslararası mecrada tanınmış üçüncü taraf, gönüllü başvuru sertifikalandırma sistemidir. Ülkemizde de en çok tercih edilen yeşil bina değerlendirme programı olan LEED, özellikle HVAC tasarımı için detaylı olarak incelenmiştir.

USGBC tarafından kurulan LEED bina sahiplerine ve işletmecilerine pratik ve ölçülebilir yeşil bina tasarımı, uygulaması ve işletmesinin temin edilmesi için çerçeve bir yol haritası sunmaktadır.

LEED ticari ve konut amaçlı neredeyse tüm yapılar için uygulanabilecek esneklikte bir sistemdir.

3.3.2. LEED ölçütleri

Binaların yeşil bina derecelendirmesini yapan LEED programının dikkate aldığı bazı ölçütler ve puanlama sistemi mevcuttur. Puanlamada dikkate alınan ölçütler aşağıda açıklanmıştır.

Sürdürülebilir Araziler

Binanın yapılacağı araziyi seçmek ve inşaat esnasında bu araziyi yönetmek projenin sürdürülebilirliği için önemlidir. Bu ölçüt daha önce yapılaşmamış arazilerin kullanılmasını önlemekte, binanın su yollarına ve ekosisteme verdiği zararı minimize etmekte, bölgesel olarak uygun arazilerin seçilmesini, alternatif ulaşım kullanımını teşvik etmekte, yağmur suyu akışını kontrol etmekte, erozyonu, nüfus yoğunluğunu, ısı adası etkisini ve inşaat bazlı kirlenmeyi azaltmaktadır.

Su Kullanım Etkinliği

İçilebilir suyun tüketiminde binalar oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bu ölçütün amacı yapı içinde ve dışında su kullanım miktarını azaltmaya yönelik önlemleri desteklemektedir.

Enerji ve Atmosfer

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı'na göre her yıl toplam enerji tüketiminin %39'unu ve toplam elektrik tüketiminin %74'ünü binalar oluşturmaktadır. Bu ölçüt çok geniş bir yelpazede enerji stratejilerini desteklemekte, yenilenebilir ve temiz kaynakların kullanımını ve yaratıcı fikirlerin uygulanmasını teşvik eder.

Malzeme ve Kaynaklar

Binaların inşaatı ve işletmesi sırasında oldukça fazla atık çıkmakta ve kaynak tüketilmektedir. Bu ölçüt sürdürülebilir olarak üretilmiş, işlenmiş ve taşınmış malzemelerin kullanılmasını teşvik etmekte, malzeme geri dönüşümünü, dolayısıyla atık üretiminin kaynağında kesilmesini desteklemektedir.

İç Hava Kalitesi

Amerikan Çevre Koruma Ajansına göre Amerikalılar hayatlarının %80'ini iç mekânlarda geçirmektedir. Bilindiği üzere iç mekânlarda hava kalitesi dış havaya göre oldukça kötü şartlara sahip olabilmektedir. Bu ölçüt, iç hava

kalitesini, doğal aydınlatmayı, manzara olgusunu ve akustik düzeni desteklemektedir.

Tasarımda Yenilik

Bu ölçüt daha önce belirtilen ölçütleri sağlamak amacıyla kullanılan yöntemlerin yaratıcı fikirler ile desteklenmesini teşvik etmektedir.

3.3.3. HVAC Tasarımında dikkate alınması gereken LEED ölçütleri

Sürdürülebilir binalar için HVAC sistemleri tasarımında yukarıda belirtilen LEED ölçütlerinden, Enerji ve Atmosfer ve İç Hava Kalitesi ölçütleri önemle dikkate alınmalıdır.

Enerji ve Atmosfer [12 s. 29-46]

Ön Koşul I – Devreye Alma ve Kabul:

Yapının tasarımında uygulanan sistemlerin ve prensiplerin, inşaat aşamasında yerinde uygulanmasını temin etmek, inşaat aşamasında uyulması gereken standartlar ve kurallara uyulmasını temin etmek ve belgelemek amacıyla, işveren ve tasarımcıdan bağımsız bir üçüncü taraf müşavir firma ile anlaşılmalıdır. Müşavir firma inşaat aşamasında yapılması gereken iş yönetimi, sistem dengelemesi, basınç testleri gibi işleri yerine getirir ve tasarlanan sistemlerin otomasyonlarının uygulanabilmesini sağlar.

Müşavir firma aşağıdaki sistemler için bahsi geçen görevleri üstlenmelidir;

- HVAC&R
- Aydınlatma
- Kullanma sıcak suyu
- Yenilenebilir enerjiler

Ön Koşul II – Minimum Enerji Performansı:

Bu koşulu yerine getirmek için yapılması gereken, tasarım aşamasında binanın, güncel standartlara göre tasarlandığında harcayacağı enerjiden %25 daha az enerji harcayacağını ispatlamaktır. Bunun ispatı için LEED tasarımın ASHRAE Standart 90.1-2007'e uygun olarak yapılmasını ve akredite tasarım programlarından biriyle tüm bina ısı simülasyonunun yapılması gerekmektedir.

Tüm bina ısı simülasyonu yapılarak binanın az enerji harcaması için alınan önlemler, önlem alınmadığı hali ile karşılaştırılmalı, LEED'in belirlediği bazı değerleri (CO₂ salınım miktarı, yıllık kWh harcaması gibi) ortaya koymalıdır.

Ön Koşul III – Temel Soğutucu Akışkan Seçimi:

Ozon tabakasında oluşan hasarlardan ötürü, bu hasarın engellenmesi amacıyla kloroflorokarbon bileşikleri içeren soğutucu akışkanların kullanılmaması gerekmektedir.

Kredi 1: Optimum Enerji Performansı

Enerji ve Atmosfer ölçütünün en önemli kredisi olan Enerji optimizasyonu, kısaca enerji tasarrufu için alınan önlemlerin ve bu önlemlerin yarattığı avantajın gösterildiği kısımdır. Bu ölçütün verdiği puanları alabilmek için, yasal mevzuatların zorunlu kıldığı bazı önlemlerin üzerinde önlemler alınmalıdır. Örneğin yalıtım kalınlıkları artırılmalı, pencere seçimleri değiştirilmeli, HVAC sistemlerinde değişikliğe gidilmelidir. Bu kredinin puanları, baz tasarımın üzerinden yapılan enerji tasarrufu yüzdesine bağlı olup, %12'den başlayan ve %48'e kadar yükselen bir enerji tasarrufu skalasında alınabilecek puanlar gösterilmiştir.

Kredi 2: Projede Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Yapının harcadığı toplam enerjini yüzde kaçının yenilenebilir enerjiler ile sağlandığına bağlı olarak verilen puanlardan alabilmek için minimum %1 yenilenebilir enerji kaynağı kullanmak gerekmektedir.

Kredi 3: Geliştirilmiş Devreye Alma ve Kabul

Ön koşul olarak tanımlanan bu hizmetin daha fazla detaylandırılmış biçimini tanımlayan bu madde daha çok işvereni korumaya ve istenilen şartların tasarıma ve inşaatla yansıtılmasını sağlamak içindir.

Müşavir firma bu hizmeti verecek ise, işverenin isteklerini bir şartname haline getirir ve tasarımcı ile sözleşme yapılmasını sağlar. Tasarım aşamasında müdahil olarak sürdürülebilirliği sağlamak adına çalışır. Benzer bir çalışmayı inşaat aşamasında da yapar ve bu sefer taşeron firma ile anlaşılmasını sağlar ve taşeronu işveren adına kontrol eder, tasarımdaki tüm sistemlerin inşaatla yansıtılmasını temin eder.

Kredi 4: Geliştirilmiş Soğutucu Akışkan Yönetimi

Ön koşul olarak tanımlanan bu hizmetin daha fazla detaylandırılmış biçimini tanımlayan bu madde, tasarımda soğutucu akışkan kullanılmış ise, bu akışkanın tipini ve ozon tabakasına verdiği zararları sınıflar, minimum zarar veren akışkanlara maksimum puanı verir.

Kredi 5: Ölçüm ve Doğrulama

Bu kredinin alınabilmesi için otomasyon sistemi ve elektrik panolarındaki sayaçlar vasıtasıyla enerji harcayan sistemlerin ayrı ayrı enerji tüketimini ölçülmesi gerekmektedir. Tasarımda hedeflenen enerji tasarrufunun sağlanıp sağlanmadığını ispat edildiği bu tarz bir sistemde, sistemde oluşan kaçakların tespit edilmesi ve raporlanması gerekir.

Kredi 6: Yeşil Güç

Özellikle karbon salınımının sıfırlanmasını teşvik etmek için konulan bu krediyi alabilmek için karbon sıfır bir tasarıma ve karbon azatlımı satın almaya ihtiyaç duyulmaktadır. Kyoto protokolüne göre karbon piyasasında, karbon salınımını azaltıcı tesisler işletenlerden, karbon azatlımı satın alınabilir. Böylece küresel anlamda yapının ürettiği karbon sıfırlanmış olur. Kyoto protokolüne göre Türkiye’de 2012 yılına kadar bu piyasa ve önlemler yalnızca gönüllü olarak sürdürülecektir.

İç Ortam Kalitesi

Ön Koşul I – Minimum İç Hava Kalitesi:

Bu ön koşul havalandırmanın bina içinde yaşayanların ihtiyacını karşılayacak kadar yapılmasını sağlar. ASHRAE Standart 62.1-2007’de havalandırma sistemlerinin kapasitesini belirlemek için yöntemler tanımlanmış ve tasarımın buna göre yapılması istenmiştir.

Ön Koşul II – Tütün Dumanı Kontrolü:

Havalandırma ihtiyaçlarını oldukça artırdığı ve daha fazla enerji tüketimine sebep olduğu için bina içinde sigara içilmesinin yasaklanmasını veya belirli bölgeler ile sınırlandırılmasını zorunlu kılan bir ön koşuldur.

Kredi 1: Taze Hava Akışının İzlenmesi

Havalandırma yapılan mekânlarda iç hava kalitesinin istenen değere ulaşp ulaşmadığının gözlenmesi için önerilen bu sistem, CO₂ sensörleri ile yapılmaktadır. Bu sensörlerin istenen CO₂ değerinin aşılması durumunda alarm vermesi istenmektedir.

Kredi 2: Artırılmış Havalandırma

İç mekânlarda yaşayan insanların konforunu ve üretkenliğini artırmak amacıyla ASHRAE Standart 62.1-2007’de tanımlanan minimum havalandırma değerlerinin %30 artırılmasıyla bu kredi elde edilmektedir.

Kredi 3: İnşaat Aşaması İç Hava Kalitesi Planı

İnşaat aşamasında oluşan tozdan ve kirlilikten etkilenilmemesi için alınması gereken önlemlerin listelendiği kredidir.

Ayrıca inşaat bittikten sonra yapının içinde ve havalandırma sistemlerinin içinde bulunan toz ve partiküllerin yapı dışına atılması için tüm havalandırma sistemlerinin belirli bir süre bina süpürmesi yapılması.

Kredi 4: Düşük Uçucu Organik Bileşikli Malzemeler – Yapıştırıcı ve Macunlar

Yapı malzemeleri seçilirken, yapıştırıcı, macun, boya, kaplama, halı ve kompozit ahşapların dikkatli seçilerek akredite olmuş üreticilerin malzemelerinin kullanılmasını öneren bir kredidir.

Kredi 5: İç Hava Kirliliğine Yol Açabilecek Malzemelerin Kontrolü

Yapı içinde bulunabilecek kimyasalların, tuvalet egzozunun dışarı atılmasının temin edilmesini öneren kredidir.

Kredi 6: Sistemlerin Kontrol Edilebilirliği

Aydınlatma ve Isıtma – Soğutma ekipmanlarının içerideki kullanıcının ihtiyacı kadar ayarlayabildiği sistemlerin önerildiği kredidir.

Kredi 7: Termal Konfor

Tasarım esnasında ASHRAE Standart 55-2004’ün takip edilmesini öneren, iç ortam termal konforunun sağlanmasını hedefleyen kredidir.

Kredi 8: Gün Işığı

Aydınlatmada gün ışığının daha fazla kullanıldığı binalarda çalışanların üretkenliklerinin artırıldığının tespit edilmesi üzerine eklenmiş bir maddedir. Gün ışığından faydalanma enerji tasarrufu gibi görünse de soğutma yüklerini artırarak dezavantaja dönüşebilmektedir.

4. TÜRKİYE’DE İLGİLİ KURUMLAR VE MEVZUAT

4.1. Tarihçe

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de binalarda enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar yaşanan petrol krizleri ile hız kazanmıştır. O tarihlerde 38 milyon nüfusu ile henüz 50 yaşında genç bir cumhuriyet olan Türkiye, sanayileşme yolunda adımlar atıyordu. Türkiye’nin sanayileşme atağında petrolün rolü oldukça önemliydi. Türkiye 1973 yılında 12,6 Milyon ton petrol tüketirken 3,7 Milyon ton petrol üretebiliyordu [13].

Talebin %70,8’i yurtdışından sağlanıyordu. Kriz sonrası petrol fiyatlarının yükselmesi petrolü ithal eden ülkemizde sanayileşme sürecini ve günlük yaşamı sekteye uğratmıştı. Dünya ekonomisinde 1973-74’de yaşanan krizlerin sonucunda petrol fiyatlarının artması, petrol ithalatçısı Türkiye’yi olumsuz yönde etkilemiş, artan petrol fiyatları sonucu ödemeler dengesi açığının büyümesine neden olarak döviz rezervlerinin hızla erimesine yol açmıştır. Türkiye ekonomisi 1973’de 484 milyon dolar cari fazla ve 769 milyon dolar dış ticaret açığı gösterirken, 1974 yılında 718 milyon dolar cari açık, 2 milyar 245 milyon dolar da dış ticaret açığıyla karşılaşmıştı.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı oluşan krizin etkilerinin hafifletilmesi amacıyla 3 Kasım 1977 tarihinde ‘Isıtma ve Buhar Tesislerinin Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Hava Kirliliğinin Azaltılması Yönetmeliği’ni yayımladı. Bu yönetmeliğin amacı ülke ekonomisi üzerinde önemli etkiye sahip olan yakıt tüketiminde tasarruf edilmesi ve halkın sağlığını tehdit eden hava kirliliğinin azaltılması olarak açıklanmaktaydı. Yönetmelik hem binaları hem de sanayi tesisleri için geçerliydi ve mevcut binalarında bu yönetmelik şartlarını sağlaması isteniyordu.

Türkiye’nin 4 sıcaklık bölgesine bölündüğü bu mevzuatta, tasarımcıların yeni yapılacak binaları yönetmelikte tanımlanan 4 temel şarta uygun olarak projelendirmeleri isteniyordu.

Birinci kriter olarak; yönetmelikte tanımlanan hesaplama metoduna uygun olarak tayin edilen bina zarfının ortalama ısı geçirgenlik katsayısının tüm iller için en düşük dış ortam sıcaklığına bağlı olarak verilen sınır değerlerden düşük olması isteniyordu.

İkinci kriter ise dış cephenin ortalama ısı geçirgenlik katsayısı ile ilgiliydi. Dış cephenin ortalama ısı geçirgenlik katsayısının yönetmelikte verilen sınır değerlerin altında olması gerekiyordu.

Üçüncü kriter; ölçülen en düşük sıcaklık ortalamasının -6°C 'nin altında olduğu illerde çift pencere veya çift camlı pencere kullanılması zorunlu hale getirmekteydi.

Dördüncü kriter ise pencerelerin sızdırmazlığının sağlanması için gerekli olan tedbirlerin alınması ile ilgiliydi.

Projelendirmede dikkat edilecek bu 4 kriterin dışında yönetmelik ayrıca apartman giriş kapılarının çift veya otomatik kapanacak şekilde olmasını zorunlu kılıyordu. Sıcak iklim bölgelerinde bu şarta uyulması zorunlu değildi. O dönemlerde Türkiye'de sadece cam yünü üretilebiliyordu. Bu sebeple; ısıtma tesisatındaki boruların yalıtılması ve radyatörlerin arkasına 3cm kalınlığında camyünü levha konulması yönetmelikle zorunlu hale gelmişti. Yönetmelik, mevcut binaların ise; ölçülen en düşük sıcaklık ortalamasının -6°C 'nin altında olduğu illerde çatıların 5cm cam yünü ile yalıtılması zorunlu kılınmıştı. Ayrıca bu illerdeki binalardaki pencerelerin, çift pencere veya çift camlı pencere üniteleri ile değiştirilmesi isteniyordu.

Sıvı yakıtlı kazanların kullanıldığı yapılarda kazan çıkış suyu sıcaklığını dış hava sıcaklığına göre ayarlayan otomatik kontrol sistemi ile donatılmaları yönetmelikçe zorunlu hale getirilen bir diğer husustur. Ayrıca ısıtma tesisatı borularının; boru çapına bağlı olarak yönetmelikte verilen kalınlıklarda camyünü ile yalıtılması zorunluydu. Yönetmelik ısıtma sistemini kullanan

kişilerin Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca eğitilmiş olması ve 10 yıllık kazanların değiştirilmesini şart koşmakta idi.

1979-1980 yıllarında yaşanan 2. petrol ve döviz krizi neticesinde 24 Ocak 1980'de alınan karar uyarınca Türk Lirası % 48,6 oranında devalüe edilmesiyle Türk ekonomisi büyük bir yara daha aldı. Krizin ardından alınan ilk önlem hiç beklenmeyen bir kurum tarafından hayata geçirildi. Tarım ve Orman Bakanlığı yaşanan enerji dar boğazını büyük bir sorun olarak ortaya koymuş ve yakacak olarak odun kullanılmasının Türkiye'nin orman alanları üzerindeki olumsuz etkisine dikkat çekmiştir. Bakanlık tarafından 07 Aralık 1980 tarihinde yayımlanan binalarda ısı yalıtımı talimatı ile bakanlığa bağlı inşa edilmiş ve edilecek tüm binalarda uyulması gereken ısı yalıtımı şartları tanımlamıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı bu yönetmeliği uygulayarak hem diğer kuruluşlara hem de halka örnek olmayı hedefliyordu. Ayrıca Bakanlığın yalıtım bilincinin artırılması için faaliyet göstermesi kararlaştırılmıştı.

Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan bu talimatnamede Türkiye 4 sıcaklık bölgesine ayrılmıştı. Bakanlıkça yapılacak olan binalar bulundukları sıcaklık bölgelerine göre duvar, çatı ve döşemeler için tanımlanmış olan ısı geçirgenlik katsayılarını aşmayacak şekilde projelendirilecekti.

Çizelge 4.1. Binalarda Isı Yalıtımı Talimatı Kriterleri – 1980

	UDuvar W/m ² K	UÇatı W/m ² K	UDöşeme W/m ² K
1. sıcaklık bölgesi (+3°C/0 °C)	1,76	1,16	1,28
2.sıcaklık bölgesi (-3°C/-6°C/-9°C)	1,30	0,70	1,05
3. sıcaklık bölgesi (-12°C/-15°C/-18°C)	1,05	0,47	0,70
4. sıcaklık bölgesi (-2TC/-24°C/-27°C)	0,87	0,35	0,58

Pencereler için ise alan sınırlaması yapılması düşünülmüş ve pencerelerin taban alanının %15'ini geçmeyecek şekilde tasarlanması zorunlu hale

getirilmişti. 2. 3. ve 4. bölgelerde inşa edilecek olan binalarda pencerelerin çift kasalı veya çift camlı olması pencereler ile ilgili getirilen bir diğer zorunluluktur. Ayrıca soğuk olan 3. ve 4. sıcaklık bölgelerinde inşa edilecek yapılarında metal doğrama kullanılması yasaklanmıştı.

Bu talimatnamede ele alınan en ilginç konulardan birisi de bina çatılarının eğimli yapılmasının zorunlu kılınmasıydı. Öyle ki mevcut binalardaki tüm teras çatıların eğimli hale getirilmesi zorunluydu. Ayrıca ısıtma tesisatı dış duvardan ısı yalıtımı yapılmadan geçirilemiyordu.

Eski bakanlık yapılarının enerji performanslarının iyileştirilmesi için, başta çatı ve pencereler olmak üzere tüm yapı elemanlarına ısı yalıtımı yapılması hedeflenmişti. Taban alanının %15 'inden fazla pencere alanına sahip binalarda pencerelerin sunta veya ahşap plakalar ile kapatılması ve cam ile plaka arasındaki boşluğa yalıtım malzemesi doldurulması isteniyordu. Ayrıca 1. sıcaklık bölgesi dışında yapılan tüm pencerelerin çift kasalı hale getirilmesi zorunluydu. Mevcut yapıların dış duvarlarında ise kolon, kiriş gibi taşıyıcı kısımların öncelikle yalıtılması isteniyordu. Bu amaçla duvarların içten yalıtılması veya 2. bir duvarın örülerek arasına ısı yalıtım malzemelerinin yerleştirilmesi öneriliyordu.

Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan bu talimatnamede sıcaklık bölgelerine göre uygulanacak yalıtım kalınlıkları da tanımlanmıştı. Günümüzde halen kullanılan camyünü, genleştirilmiş perlit ve sentetik köpüklerin kullanılması durumunda çatılarda uygulanacak yalıtım kalınlıkları 2,5-10 cm, döşemelerde ise 2-6 cm arasında değişiyordu. 1. sıcaklık bölgesi dışındaki binaların dış duvarlarında ise yalıtım kalınlıkları 2-3 cm idi.

Çizelge 4.2. Yalıtım Kalınlıkları - Binalarda Isı Yalıtımı Talimatı: 1980

	Duvar (cm)	Çatı (cm)	Döşeme (cm)
1. sıcaklık bölgesi	0	2,5	2
2. sıcaklık bölgesi	2	5	3
3. sıcaklık bölgesi	2	7,5	5
4. sıcaklık bölgesi	3	10	6

1980'li yıllarda enerji verimliliği ve tasarrufu ile ilgili birçok yönetmelik yayımlanmış olsa da atılan en önemli adım idari düzeyde idi. Bu adım, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı Elektrik İşleri Etüd İdaresi'nde "enerji tasarrufu" ile ilgili bir departmanın 1981 yılında kurulmasıydı. Bu departmanın kurulması, Türkiye'de bir resmi kurumun "enerji verimliliği" ve "enerji tasarrufu" konularını sahiplenmesi açısından oldukça önemli bir adımdı. Kurum ilk faaliyet olarak enerji tasarrufu bilincinin kamu ve kamuoyunda artırılması amacıyla 1981 yılında enerji tasarrufu haftası etkinliklerini organize ederek gerçekleştirdi.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı belediyelerin imar yönetmeliklerine ısı yalıtımı ile ilgili hususların eklenmesi ile ilgili 31 Ekim 1981 tarihinde bir yönetmelik yayımladı. 4 sıcaklık bölgesine göre yapı elemanlarının izin verilen en büyük ısıl geçirgenlik dirençlerinin tanımlandığı bu yönetmelikte ayrıca pencere ve dış duvar ortalama ısıl geçirgenlik katsayılarına yönelik sınırlamalar bulunuyordu. Yönetmeliğe göre hesaplamalar TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardına göre yapılacak ve yönetmeliğin şartlarına uyulduğu ısı yalıtım projesi ile belgelendirilecekti.

Yönetmelikte; toplam pencere alanlarının döşeme alanının %15'ini geçmemesi, 2. 3. ve 4. sıcaklık bölgelerindeki binalarda çift pencere veya çift camlı pencere kullanılması isteniyordu. Pencereler ile ilgili gerekliliklere uyulması ve Bakanlık tarafından yayımlanan uygulama detaylarının

gerçekleştirilmesi durumunda ise şartlara uyulduğunu gösteren bir ısı yalıtım raporunun hazırlanması yeterli idi. Bu yönetmelik 1 Ocak 1982 tarihinden sonra yapılacak olan kamu binalarını ve 1 Ocak 1983 yılından sonra yapılacak diğer binaları kapsıyordu.

19 Kasım 1984 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı ile Yakıt Tasarrufu Sağlanması ve Hava Kirliliğinin Azaltılması Yönetmeliği'ni yayımladı. Bu yönetmelik 1980 yılında Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan ve sadece bakanlık binalarını kapsayan talimatname esinlenerek hazırlanmıştı. Böylelikle Tarım Ve Orman Bakanlığı'na bağlı binalarda geçerli olan yalıtım şartları 31 Ekim 1981 tarihli imar yönetmeliklerinde ısı yalıtımı ile ilgili değişiklik yapılmasıyla ilgili yönetmeliğin kapsamına girmeyen tüm eski binaları kapsıyordu. Böylelikle tüm yapıları kapsayan enerji verimliliği ile ilgili düzenlemeler hazırlanmıştı.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 16 Ocak 1985 tarihinde belediyelerin imar yönetmeliklerine ısı yalıtımı ile ilgili hususların eklenmesi ile ilgili yönetmeliği revize ederek tekrar yayımladı. Daha önce 4 sıcaklık bölgesine ayrılmış olan Türkiye bu yönetmelikle 3 iklim bölgesine ayrılıyordu. Bu yönetmelik 1 Ocak 1985 tarihinden sonra yapılacak olan tüm binaları kapsıyordu. Yönetmeliğin en önemli özelliği 2000 yılına kadar uygulanacak olmasıydı.

4.2. Yürürlükte Olan Mevzuatlar

4.2.1. TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" Standardı:

TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardı 1998 yılında Avrupa standartları esas alınarak revize edilmiştir [14]. Bu standart 08 Ağustos 2000 tarihinde yayımlanan Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği ile 14 Haziran 2000 tarihinden sonra yapılan binalar ve toplam oturma alanının %15'inden büyük esaslı tadilatları kapsayacak şekilde zorunlu kılınmıştır. Yapılan bu revizyonla 1981 yılında tanımlanan enerji limitleri $150-310\text{kWh/m}^2/\text{yıl}$

değerlerinden 69-117 kWh/m²/yıl değerine çekilerek önemli bir adım atılmıştır.

Temel olarak TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardı;

Ülkemizdeki enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlayarak enerji tasarrufu sağlamayı, enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve izin verilen limit enerji ihtiyacı değerlerini belirlemeyi, enerji verimli konfor şartları yüksek binalar üretilmesini sağlamayı hedeflemektedir [15].

TS 825, binaları bir bütün olarak ele alarak; çatı, duvar, döşeme ve pencere sistemlerinin enerji verimli tasarlanmasını sağlar. Yeni yapılan binaların TS 825'de verilen hesap metoduna göre, birim alan veya birim hacim başına net ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenir. Hesaplanan değer, standartta verilen limit enerji ihtiyacı değerlerinin altında kalması gerekir. Standartta belirtilen hesap metoduyla binanın enerji ihtiyacının, bu standartta verilen sınır değerlerin altında kalmasını sağlayacak şekilde malzeme seçimi, eleman boyutlandırılması, yalıtım detaylarına ait çözümlerinin projelendirilmesi ve raporlanması gerekir. Ayrıca dış ortam ile temas halinde bulunan tüm yapı bileşenlerinde meydana gelen buhar difüzyonunun analiz edilmesi ve her bir yapı elemanının standartta verilen koşulları sağlayacak şekilde tasarlanması gerekir. TS 825'e göre yoğuşan suyun miktarını, yoğuşmanın meydana geldiği ara kesitteki malzemelere zarar vermeyeceği kabul edilen belirli bir limit değerini aşmaması ve kuruma periyodunda tamamen buharlaşması gereklidir. Enerji limitleri içerisinde kalacak şekilde tasarlanan bir binada bulunan tüm yapı bileşenleri yoğuşma kriterlerini de sağlayabiliyorsa yapılan tasarımın uygun olduğu raporlanır. Yoğuşma veya enerji limitlerinden birini sağlayamayan tasarımlar standarda uygun olmayacağından, yapı ruhsatı alamaz.

Bu standart revize edilerek 22 Mayıs 2008 tarihinde tekrar yayımlanmıştır. Yapılan revizyon çalışmalarının ardından; gerek ısı konfor gerekse de iç yüzeyde küflenme oluşumunun önlenmesine yönelik olarak; dış ortam ile temas halinde olan tüm yapı elemanlarının iç yüzey sıcaklıklarının, iç ortam sıcaklığından en fazla 3°C düşük olacak şekilde tasarlanması zorunlu hale getirilmiştir. Giydirme cepheler gibi çok büyük oranda cam içeren yapılar için özel enerji sınırlamaları getirilmiştir. Diğer yapılarda ise kaplamalı çift cam kullanımı; tüm derece gün bölgelerinde zorunlu hale getirilmiştir. Merkezi ısıtma sistemi bulunmayan ve kat kaloriferi veya kombi ile ısıtmanın yapıldığı binalarda ara kat döşemelerinin ve bitişik duvarların ısı direnci 0,80 m².K/W olacak şekilde tasarlanarak, yalıtılması zorunlu hale gelmiştir.

4.2.2. Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği:

TS 825 'Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı'nın 29 Nisan 1998 tarihinde tavsiye niteliğinde yürürlüğe girmesinin ardından bu standardın paralelinde hazırlanan 08 Mayıs 2000 tarihli 'Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği' yayımlanarak TS 825 standardı 14 Haziran 2000 tarihinde uygulanması zorunlu hale gelmiştir. Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği; binalardaki ısı kayıplarının azaltılması, enerji tasarrufu sağlanması ve uygulama esaslarının belirlenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu yönetmelik hükümleri uyarınca; TS 825 'Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları' standardında belirtilen hesap metoduna uygun ısı yalıtım raporunun ve yetkili makine mühendisi tarafından hazırlanan ısı yalıtım projesinin imara ilişkin mevzuat gereğince yapı ruhsatı verilmesi aşamasında, tesisat projesi ile birlikte ilgili idarelerce istenmesi zorunludur. Bu yönetmelikte; inşaatın her aşamasında ısı yalıtımı ile ilgili denetimlerin belediyeler veya valiliklerce yapılması, yetkili kontrolün projede verilen detayların uygulandığını izleyerek belediye veya valiliklere rapor vermesi gereklidir.

Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği'nde ayrıca, yapının kullanılması sırasında göreceli olarak ihtiyaç duyacağı enerji miktarını, dolayısıyla yakıt faturasının yaklaşık bedelini gösteren 'Isı İhtiyacı Kimlik Belgesi' hayata geçirilmiştir. Bu belge kiralama veya satın alma aşamasında kullanıcıların; yatırım bedelinin yanı sıra işletme bedellerini de göz önüne alabilmelerini sağlar. Isı ihtiyacı kimlik belgesi, aynı kira veya alım bedeline sahip iki yapıdan kullanım boyunca daha az enerji tüketecek olanının seçilmesine olanak vermesiyle, yalıtımlı bina taleplerinin ve arzının oluşmasında önemli role sahiptir.

Yönetmeliğe göre bu belge; yetkili ısı yalıtım projecisi ve uygulamayı yapan makine mühendisleri tarafından doldurulup imzalanacak ve daha sonra belediye veya valilikler tarafından onaylanarak yapı kullanım izin belgelerine eklenecektir. Isı ihtiyacı kimlik belgesinin; bina yöneticisinin dosyasında bulunması ve bir kopyasının bina girişinde görülebilir bir yere asılması zorunludur.

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı'nın 22 Mayıs 2008 tarihinde yayımlanmasını takiben Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Ağustos ayında bu standarda yönelik mecburi standart tebliği yayımladı. Buna karşılık yayımlanan standardın yeni projelerde uygulanabilmesi için 08 Mayıs 2000 tarihinde 24043 sayılı resmi gazetede yayımlanarak ısı yalıtımı uygulamalarını zorunlu hale getiren amir mevzuat olan Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği'nin yenilenmesi gerekiyordu. Yayımlanan standart ile Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği'nin birbirleri ile uyumlu hale getirilmesi amacıyla, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği'ni 09 Ekim 2008 tarih ve 27019 sayılı resmi gazetede yayımlandı. Yönetmelik 1 Kasım 2008 tarihinden itibaren yürürlüğe girdi.

Yönetmeliğin getirdiği en önemli hususlardan birisi de mevcut binalarda yapılan tadilatlarda da yenilenen kısmın TS 825 standardına göre enerji verimli olarak tasarlanarak uygulanmasının gerekmesidir. Artık pencere

değişiminden, binalarda yapılacak ısı yalıtımı uygulamalarına kadar tüm tadilatların standarda uygun olması gerekmektedir.

4.2.3. Enerji Verimliliği Kanunu:

Türkiye'de enerji verimliliği ile ilgili bir diğer yasal gelişme de EIE tarafından hazırlanan Enerji Verimliliği Kanunu'nun 2 Mart 2007 tarihinde yayımlanmasıdır. 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. Kanun kapsamında; enerji verimliliği çalışmalarının ülke genelinde tüm ilgili kuruluşlar nezdinde etkin olarak yürütülmesi, sonuçlarının izlenmesi ve koordinasyonu amacıyla Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu oluşturulmuştur [16].

Toplam inşaat alanı en az yirmi bin metrekare veya yıllık enerji tüketimi beş yüz TEP ve üzerinde olan binalarda enerji yöneticilerinden hizmet alınması gerekmektedir. Bu kanunun yürürlüğe girmesi ile enerji verimliliği danışmanlık şirketlerinin temeli atıldığı gibi AB'deki örneklerine uygun enerji kimlik belgesinin yeniden düzenlenmesi gündeme gelmiştir.

Kanunun ele aldığı konulardan birisi de eğitim ve bilinçlendirme çalışmalarıdır. Ayrıca bu kanunla; kat mülkiyeti kanununda değişiklik yapılarak ısı yalıtımı uygulamaları yapılması ve kat kaloriferinden merkezi ısıtma sistemine geçiş gibi enerji verimliliği oy birliği yerine oy çokluğu esasına göre sağlanmıştır. Enerji verimliliği Kanunu ile birlikte 2008 Yılı Türkiye'de Enerji Verimliliği yılı olarak ilan edilmiş ve enerjinin etkin kullanılması ve israfının önlenmesi amacıyla kamu özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımıyla Başbakanlık tarafından Ulusal Enerji Verimliliği Hareketi başlatılmıştır.

4.2.4. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği:

Enerji verimliliği kanununun devreye girmesinden sonra, HVAC sistemlerini ve tasarımını etkileyen ve bazı sınırlamalar getiren ilk yönetmelik 'Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'dir. 5 Aralık 2008'de Resmi Gazete'de yayınlanan yönetmeliğin amacı; iç mekân gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji ve karbondioksit (CO₂) 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 [17].

HVAC sistemlerine ait radikal önlemler alan yönetmelik, tasarımda daha önce yönetmeliklerde dikkate alınmamış aşağıdaki maddeleri içermektedir.

Madde 13.3: Yeni yapılacak binalarda; toplam kullanım alanının 1.000m²'den büyük olması halinde merkezi ısıtma sistemi yapılır.

Madde 13.4: Merkezi ısıtma ve/veya kullanım alanı 250 m²'nin üstünde olup bireysel ısıtma sistemine sahip gaz yakıt kullanılan binalarda; yoğunlaşmalı tip ısıtıcı cihazlar kullanılır.

Madde 13.6: Binaların ısıtma tesisatında kullanılan pompa grupları, zamana, basınca veya akışkan debisine göre değişken devirli seçilir.

Madde 13.7: Merkezi ısıtma sistemine sahip binalarda, merkezi veya lokal ısı veya sıcaklık kontrol cihazları ile ısınma maliyetlerinin ısı kullanım miktarına bağlı olarak paylaşımını sağlayan sistemler kullanılır.

Madde 17.5: İklimlendirme sistemleri değişken insan yüküne bağlı olarak değişken hava debili çalışacak şekilde iç hava kontrolü sağlayacak mekanik tesisatla donatılır.

Madde 17.9: Konut harici binalarda kullanımı tasarlanan iklimlendirme sisteminde; giriş havası vantilatör debisi, ana kanaldaki basıncı ölçen basınç algılayıcılarına göre değişebilir olmalıdır.

Madde 17.10: Yeni yapılacak binaların 500 m³/h ve üzeri hava debili havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde, ısı geri kazanım sistemlerinin tasarımları yapılarak, yaz ve kış çalışma şartlarında minimum %50 verimliliğe sahip olması, ilk yatırım ve işletme masrafları ile birlikte enerji ekonomisi göz önüne alındığında avantajlı olması durumunda ısı geri kazanım sistemleri yapılması zorunludur. Bu sistemler geçiş mevsimleri için by-pass düzeneğine sahip olmalıdır.

Madde 20.6: 5000m²'nin üzerindeki binalarda ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma için, bilgisayar kontrollü bina otomasyon sistemi kurulması zorunludur.

Yukarıdaki maddelerle konvansiyonel HVAC sistemlerinde ciddi önlemler alan yönetmelik, yenilenebilir enerjilerin yapılarda kullanılmasını da bazı durumlarda zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerjilerin kullanımı ile ilgili maddeler;

Madde 22.2: Yeni yapılacak binalarda yenilenebilir enerji sistemleri için birinci fıkrada belirtilen raporda tespit edilen ilk yatırım maliyeti enerji ekonomisi göz önünde bulundurulmak suretiyle, inşaat alanı 20.000 m²'ye kadar olan binalarda 10 yıl, inşaat alanı 20.000 m² ve daha büyük binalarda 15 yılda geri kazanılması durumunda bu sistemlerin yapılması zorunludur.

Madde 22.3: Yeni yapılacak binalarda hava, toprak ve su kaynaklı ısı pompası sistemleri için birinci fıkrada belirtilen raporda tespit edilen ilk yatırım

maliyeti enerji ekonomisi göz önünde bulundurulmak suretiyle, inşaat alanı 20.000 m² ve üstündeki binalarda 15 yılda geri kazanılması durumunda, bu sistemlerin yapılması zorunludur.

Madde 22.4: Yeni yapılacak olan ve kullanım alanı 1.000 m²'nin üzerindeki oteller, hastaneler, yurtlar ve benzeri konaklama amaçlı konut harici binalar ile spor merkezlerindeki merkezi ısıtma ve sıhhi sıcak su sistemlerinde güneş enerjisi toplayıcıları ile sistemin desteklenmesi zorunludur.

Yönetmelik ayrıca daha önce hiçbir yönetmelik veya kanunda dikkate alınmamış olan kojenerasyon sistemlerini de bazı durumlarda mecbur kılmaktadır. Kojenerasyon ile ilgili maddeler;

Madde 23.1: Toplam inşaat alanı en az 20.000 m²'nin tasarımında kojenerasyon sistemlerinin uygulama imkânları analiz edilir. İnşaat maliyetinin yüzde onunu geçmeyen uygulamalar yapılır.

Binalarda Enerji Performans yönetmeliği her hangi bir uzatma olmadığı takdirde 5 Aralık 2009'da yürürlüğe girecektir. Neredeyse hiçbir Avrupa Ülkesinde olmadığı kadar enerji tasarrufu önlemini mecbur kılan bu yönetmelikle birlikte HVAC sistemler çok daha kapsamlı ve pahalı olacaktır.

4.3. İlgili Kurumlar

4.3.1. EİE – Elektrik İşleri Etüd İdaresi

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), 24.06.1935 tarihinde 2819 sayılı yasa ile kurulmuş, Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim imkânları ile ilgili mühendislik hizmetlerini yürüten, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı, özel hukuk hükümlerine tabi ve ticari usullere göre yönetilen kamu tüzel kişiliğine sahip yatırımcı bir kamu kuruluşudur.

EİE'nin Görevleri:

Türkiye'nin su kaynaklarını ve diğer enerji kaynaklarını etüt ederek elektrik enerjisi üretimine elverişli olanları saptamak, hidrolojik etütler ve jeoteknik araştırmalar yapmak, baraj ve HES tesislerinin istikşaf, master plan, fizibilite ve kesin proje aşamalarından oluşan mühendislik hizmetlerini yürütmek, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili araştırma, etüt ve sunum çalışmaları yapmak, sanayi, konut ve ulaşım sektörlerinde enerji tasarrufuna yönelik etütler, bilinçlendirme ve eğitim çalışmaları yapmak, enerji kaynaklarının rasyonel kullanımı ile ilgili çalışmaları yürütmek, hidroelektrik santrallerin inşaat, işletme denetimi ve danışmanlık hizmetleri ile kamulaştırma işlemlerini yürütmek, görev ve uzmanlık alanı kapsamındaki etüt ve araştırma işlerini kurum ve kuruluşlara ücreti karşılığında yapmaktır.

Ülkemizde ilk planlı enerji tasarrufu çalışmaları 1981 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğüne (EİE), Bakanlığın direktifleri doğrultusunda başlatılmıştır. EİE'nin enerji tasarrufu faaliyetlerinin, yurt çapında daha etkili ve kapsamlı olarak yürütülebilmesi için 1993 yılı başında, EİE bünyesinde Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi (EİE/UETM) oluşturulmuştur. Bugüne kadar UNIDO, Dünya Bankası, AB ve Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) gibi çeşitli uluslararası kuruluşlar tarafından desteklenen projeler kapsamında yabancı uzmanlar tarafından teorik ve pratik olarak eğitilen personel ve en son enerji tasarrufu etüt cihazları ile donatılan Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi, ülke çapında, bina, sanayi ve ulaşım sektörlerinde enerji verimliliğinin artırılması amacıyla birçok çalışmayı etkin bir şekilde yürütmektedir [18].

4.3.2. ÇEDBİK – Çevre Dostu Binalar Derneği

Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği, 2007 yılında yapı sektörünün sürdürülebilir ilkeler ışığında gelişmesine katkı sağlamak amacıyla kurulmuştur.

Dernek, ekolojik sorunların arttığı günümüzde, bütüncül bir yaklaşım ve ekolojik duyarlılıkla inşa edilmiş bina ve yerleşimler aracılığıyla daha sağlıklı yaşam ortamlarına sahip olma amacıyla hareket etmektedir.

ÇEDBİK, toplumsal farkındalığı arttırmak ve inşaat sektörünü bu ilkeler ışığında üretim yapmaya teşvik etmek amacıyla eğitimler düzenlemekte, yerel yönetimler, üniversiteler vb. konunun tüm ilgilileri ile örnek projeler ve çalışma modelleri geliştirmekte ve yaygınlaşması için çalışmaktadır.

Bina ve yerleşimleri çevresel etkilerine göre değerlendiren sistemler, hedeflenen yeşil dönüşüm sürecinde etkili bir araçtır.

ÇEDBİK, Dünya Yeşil Binalar Konseyi (WGBC) ağında yer almakta olup, yeşil bina hareketinin altyapısını oluşturma çalışmalarına giderek artan bir katılımı ile devam etmektedir [2].

ÇEDBİK, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin sahip olduğu yeşil bina konseyi kurumunun bir benzerinin ülkemizde kurulması çabalarını sürdürmekte ve Türkiye’de bulunan önemli bir boşluğu doldurmak amacıyla ulusal koşullara uygun bir Değerlendirme Sistemi ve puanlama otoritesi oluşturma çalışmalarına başlamıştır.

5. BİNA HVAC SİSTEMLERİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI

Tasarım aşamasında alınan yapısal önlemler ve HVAC tasarımında yapılan iyileştirmelerle elde edilen yakıt tüketiminin azaltılmasıdır. Oysa fosil yakıtların gittikçe azaldığı ve hatta stratejik bir koz haline geldiği günümüz dünyasında en büyük amaçlarda biri, kullanılan yakıt kaynağının değiştirilerek, fosil kaynak bağımlılığının azaltılmasıdır.

Bu amaç doğrultusunda bu başlık altında bina HVAC sistemlerini desteklemek amacıyla, binalarda kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları ve kullanım örnekleri özetlenmiştir.

5.1. Güneşsel Enerjiler

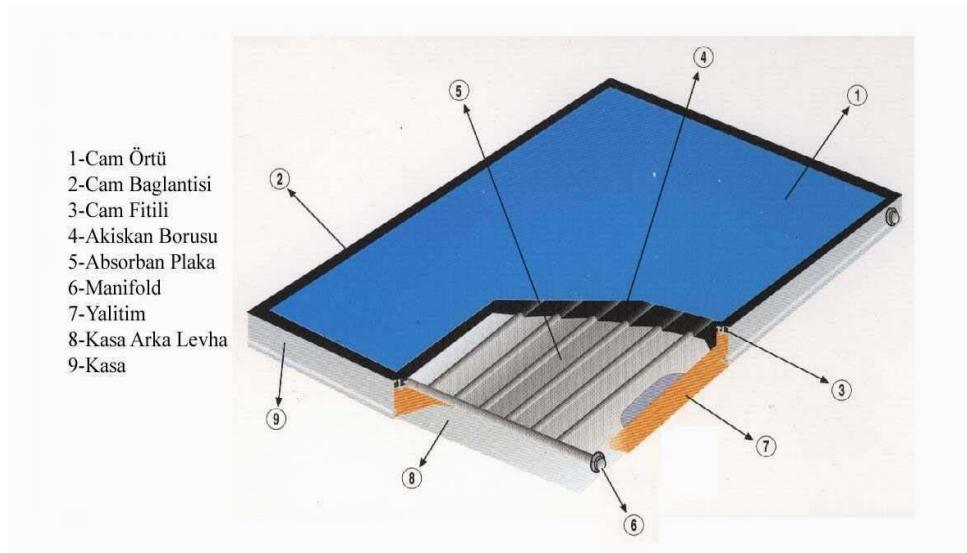
Sonsuz, sınırsız enerji kaynağı olarak tanımlanan güneş enerjisi, aslında birçok yenilenebilir enerji kaynağının da kaynağıdır. Bunlardan en çok kullanılmakta olanı rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr, güneşin yerkürede yarattığı sıcaklık farklarından oluşan atmosfer içi hava hareketidir. Rüzgâr enerjisi ise, bu hava hareketinin enerji kaynağı olarak kullanılmasıdır. Rüzgâr örneğine benzer örnekleri türetmek mümkündür; biokütle, sugücü gibi. Aşağıda güneş enerjisinin binalarda kullanımında en sık uygulanan sistemler irdelenmiştir.

Sıcak Su Eldesi

Türkiye’de birçok konutta görebildiğimiz bu uygulama güneş enerjisinden sıcak su elde edilmesini sağlamaktadır. Kullanılan bir güneş paneli, güneş enerjisini emerek, iç yüzeyindeki borularda dolaşmakta olan akışkana aktarmaktadır. Buradan elde edilen enerji ile konut içinde kullanılan sıcak suyun ısıtılması amaçlanmaktadır.

Son yıllarda bu konuda gelişen teknoloji ile daha yüksek verimle çalışan güneş panelleri üretilmiş, sıcak su eldesinin yanında, ısıtma sistemine de katkı sağlamak amacı ile kullanılmaya başlanmıştır.

Aralık 2009'da uygulamaya girecek olan 'Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği' 1000m²'nin üzerinde alana sahip olan konut haricindeki tüm yapılarda güneş kolektörlerinin, hem merkezi ısıtma sistemini hem de sıcak su temin sistemini desteklemek amacıyla kullanılmasını zorunlu kılmıştır.



Şekil 5.1. Tipik bir güneş kolektörünün şematik gösterimi

Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik paneller hareketsiz, bakım gerektirmeden, çevreyi kirletmeden başka enerji kaynağına ihtiyaç duymadan, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine çeviren panellerdir. İçerisinde oluşan kimyasal reaksiyon sayesinde, elektrik enerjisi üreten panellerin verimlerinin artırılmasına yönelik ciddi araştırmalar yapılmaktadır. Hali hazırda birçok gelişmiş ülkede etkin bir kullanımı mevcuttur. Son yıllarda verimleri oldukça artmış olsa da, halen geri ödeme süreleri 10 yılın üzerinde hesaplanmaktadır. Bu sebeple, bina sahiplerinin kullanım sıklığı daha azdır. Avrupa ülkelerinde verilen devlet teşvikleri sayesinde konutlarda dahi kullanılan sistem, yapılan yasal

düzenlemelerle, binanın fazla elektriğini devlete satmasına da imkân vermektedir. Türkiye’de de bu imkânı sağlayacak yasal düzenlemeler hazırlanmakta olup, bu yasanın fotovoltaik güneş panelleri sektörünü oldukça geliştirmesi beklenmektedir.



Resim 5.1. Almanya Freiburg, Futbol sahasının çatısında uygulanan güneş panelleri

Rüzgâr Enerjisi

Yoğun ve sürekli olarak rüzgâr alan bölgelerde rüzgâr türbinleri vasıtası ile direkt olarak elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Genellikle büyük kanatlı ve santral uygulamalarında kullanılan rüzgâr türbinlerinin konut uygulaması için hazırlanmış olan mikro boyutluları da üretilmiş olmasına karşın, maliyet – geri ödeme dengesi çok uzun süreler gerektiğinden, binalarda sıklıkla kullanılmamaktadır.



Resim 5.2. Rüzgâr Türbinleri

5.2. Isı Pompaları

Isı pompaları, doğal bir kaynaktan aldıkları enerjiyi, kullanılacak ortama taşıyan aracı cihazlardır. Kendi içlerinde ihtiva ettikleri, soğutucu akışkan ve kompresör sistemi sayesinde, sıcaklık farkının ters olduğu durumlarda bile ısı transferinin istenen yönde oluşmasını sağlayabilmektedirler.

Toprak sıcaklığının, belirli bir derinlikten sonra, yaz ve/veya kış mevsiminde değişmemesinden ötürü en verimli olan tipleri toprak kaynaklı ısı pompalarıdır. Kışın toprağın sıcaklığını soğuk ortama, yazın ise toprağın soğukluğunu sıcak ortama taşımaktadırlar. Günümüzde halen bina uygulamaları için ilk yatırım maliyeti oldukça yüksek olan bu sistemlerdeki teknolojik gelişmeler, her türlü yapıya uygulanabilecek gelecek vaat etmektedir.

Bu durumu göz önünde bulunduran ‘Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği’ yeni yapılacak bina tasarım raporlarında bu sistemlerin geri ödeme süresi analizlerinin yapılmasını ve 20.000m²’ye kadar olan yapılarda 10, 20.000m²’nin üzerindeki yapılarda 15 geri ödeme yılını aşmayan tasarımların uygulanmasını zorunlu kılmıştır.

6. ALIŞMANIN AMACI VE UYGULAMA YAPILACAK BİNA SEÇİMİ

Bina sürdürülebilirliğinin sağlanması için tasarım aşamasında alınması gereken önlemler, bu önlemler ile ilgili yayınlara ulusal ve uluslar arası mevzuatlar önceki bölümlerde detaylı olarak incelenmiş ve açıklanmıştır.

Bu çalışma ile amaçlanan önceki bölümlerde irdelenen önlemlerin ve standartların tasarım aşamasında uygulandığı bir yapıda, sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla HVAC sistemlerinin sanal ortamda simüle edilmesi ve en uygun HVAC sisteminin ortaya konmasıdır. HVAC sistemleri karşılaştırılırken temel kıstas alternatif sistemlerin tükettiği enerji miktarları ve bunların maliyetleri olacaktır. Daha sonra sistemlerin enerji girdi fiyatlarına olan hassasiyetleri incelenecek ve son olarak da toplam maliyet analizi yapılacaktır.

Binaların oldukça geniş bir yelpazede kullanım alanları bulunmaktadır. Yapıları konut yapıları ve ticari yapılar olarak sınıflayabiliriz. Ticari yapılar konut yapılarına göre çok daha fazla enerji harcamaktadır. Son yıllarda ekonomik olarak büyüyen firmalar kendi ofis yapılarını inşa etmekte veya mevcut bir yapıyı kendi ofisleri olarak sıklıkla kullanmaktadır. Sayılarının gittikçe artması ve birim enerji yoğunluğunun oldukça yüksek olması sebebiyle bu çalışmada örnek bir ofis yapısı ele alınacaktır.

Örnek alınan yapı Ankara'da inşa edilecek olup yaklaşık 5.800m² kapalı alana sahiptir. Yapı bir inşaat firmasının genel merkezi olarak tasarlanmıştır. Yapı mimarisi Ek-1'de sunulmuştur.

Mimari kat bazında incelendiğinde VIP kat, 3., 2. ve 1. normal katlar, zemin kat ve 3 bodrum kattan oluştuğu görülmektedir.

VIP katı tam kat ofis katı veya konuk ağırlama katı olarak planlanmıştır. Bu katta ayrıca sera (kış bahçesi) tasarlanmıştır.

Tip katlar olan 3., 2. ve 1. katlar ofis katları olarak tasarlanmıştır. Ağırlıklı olarak ofis mekânları bulunmaktadır. Her katta sekretarya, toplantı odası ve ıslak hacimler bulunmaktadır.

Zemin kat giriş katı ve ofis katı olarak planlanmıştır. Girişte sergi alanı bulunmaktadır. Bunun dışındaki mekânlar ofis hacimleri, kat holleri ve ıslak hacimlerdir.

1.Bordum katta binaya hitap eden yemekhane, mutfak, kiler ve mutfak personeli için soyunma mekânları bulunmaktadır. Bu kat ayrıca otopark olarak da kullanılmaktadır.

2. Bodrum kat işçi odası, teknik merkez ve otopark olarak tasarlanmıştır.

3.Bodrum katta depo, kazan dairesi, fitness ve su deposu mekânları projelendirilmiştir. Bu katta ayrıca personel soyunma ve duş mekânları da yer almaktadır. Binaya hitap eden kazan dairesi 3. Bodrum katta tasarlanmıştır. Ayrıca klima ve havalandırma santralleri için gerekli teknik merkezler çatı katında ve 2. bodrum katta tasarlanmıştır.

7. SEÇİLEN BİNALARDA UYGULANABİLECEK HVAC SİSTEMLERİ

HVAC sistem tasarımına başlamadan önce yapılması gereken ilk iş, yapıda uygulanacak HVAC sistemine karar vermektir. Bu seçimin yapılmasında birçok etken vardır. En önemlisi mal sahibinin yapıda nasıl bir konfor istediği, binanın nasıl işletileceği ve binanın çevreye duyarlılık seviyesidir. İhtiyacın ortaya net bir şekilde konulmuş olması doğru HVAC sisteminin seçilmesinde en önemli kriterdir. İhtiyacın ve konfor seviyesinin iyi anlaşılmasının akabinde belirlenen ihtiyacı ve konfor seviyesini karşılayacak sistemler ortaya konmalıdır.

Bu aşamadan sonra yapılması gereken, belirlenen sistemlerin ilk yatırım maliyetlerine ve işletme maliyetlerine göre sistem seçimini gerçekleştirmektir. Tasarımcı her zaman az enerji harcayan dolayısıyla çevresine oldukça duyarlı bir yapı tasarlamayı tercih edecektir. Ancak ilk yatırım maliyetleri de mal sahibinin belirlediği limitler içinde kalmalıdır.

Yukarıda bahsedilen süreç, Türkiye’de ne yazık ki detaylı bir prosedür olarak işlememektedir. Mal sahibinin HVAC sistemleri hakkında bilgi sahibi olmaması çok karşılaşılan bir durumdur. Bu noktada tasarımcı farklı sistemlerin konfor seviyeleri izah ederek, mal sahibinin doğru sistemi seçmesine olanak verir. İlk yatırım ve işletme maliyetleri konusunda tasarımcının tecrübesi devreye girer ve daha önce benzer yapılarda karşılaşılan durumlar dikkate alınarak karar vermeye çalışılır. Yapının çevreye duyarlılığı hakkında bir önlem alınmak isteniyor ise bu noktada tasarımcı da yatırımcıya fazla destek olamamaktadır. Türkiye’de HVAC sistemlerinin çevre duyarlılıklarını, ilk yatırım maliyetlerini de irdelleyerek inceleyen yayınlar henüz sayıca çok azdır ve tasarımcılar tarafından bilinmemektedir. Bu çalışma bu noktadaki açığı kapamaya yönelik olarak hazırlanmıştır. Bahsedilen tüm bu sürecin mal sahibi ile yapılan ve en fazla 2-

3 saat süren ilk toplantıda tamamlandığını düşünürsek, sürecin çok detaylandırılmadığına ve yapılan seçimlerin hatalı olabileceğine karar verebiliriz.

Bu başlık altında ele alınan örnek binada uygulanabilecek HVAC sistemleri açıklanacaktır.

7.1. Tam Havalı İklimlendirme Sistemi – VAV (Variable Air Volume)

Tam havalı iklimlendirme sistemleri, binanın ihtiyacı olan tüm ısıl ihtiyacın (ısıtma – soğutma yükü, nemlendirme ve havalandırma) hava ile karşılandığı sistemlerdir. Binaya beslenen tüm hava yapıdaki ısıtıcı (kazan) sayesinde ısıtılır veya soğutucu (chiller) sayesinde soğutulur. Tam havalı sistemler iki farklı başlıkta sınıflandırılabilir. Öncelikle tam havalı sistemin hava debisinin sabit olmasına veya değişken debili olmasına göre ikiye ayrılır.

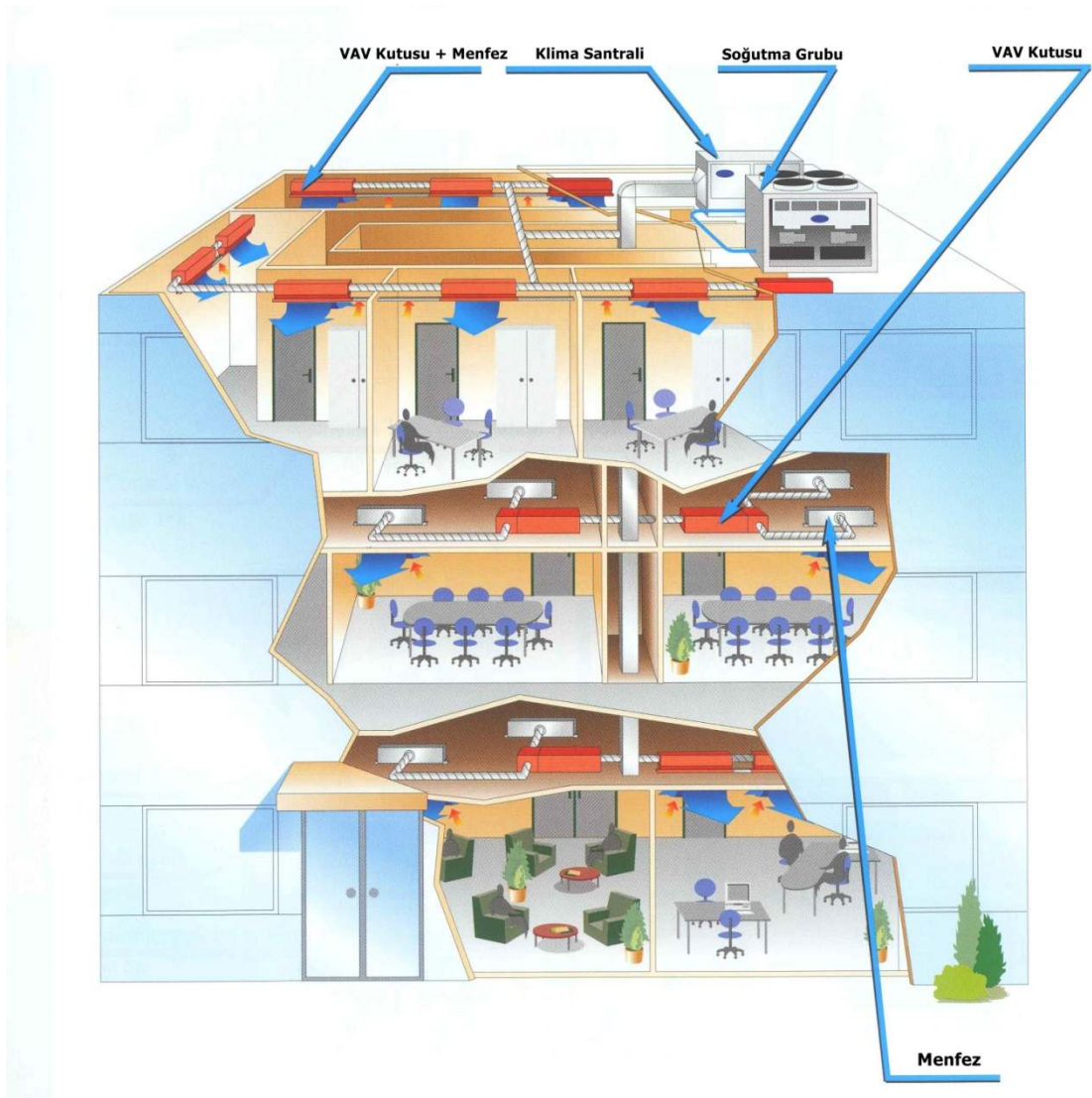
Seçilen örnek bina bir ofis yapısı olduğu için ofis odalarında mekânsal sıcaklık kontrolü yapılması istenmektedir. Bu sebeple her odaya hitap eden hava kanalının üzerine konan bir adet otomatik damper aracılığı ile hava miktarı ayarlanır, ortam kullanıcının istediği sıcaklıkta tutulur.

Diğer bir sınıflama ise sistemin taze hava oranıdır. Tam havalı sistem bina içine beslediği tüm havayı dış ortamdan alıyor ise bu sisteme %100 taze havalı sistem denir. Sistem bina içine beslediği havanın bir kısmını dışarıdan bir kısmını da hacimden emdiği havayı sirküle ederek sağlıyor ise bu sisteme karışım havalı sistem denir.

Seçilen örnek bina bir ofis yapısı olduğu için bina içinde ihtiyaç duyulan taze hava miktarı yoğunluğu çok yüksek olamayacak, sistemimiz karışım havalı olacaktır. Karışım havalı sistemler, tam havalı sistemlere göre, içeride hali hazırda şartlandırılmış havayı filtre edip tekrar içeri verdiği için, daha ekonomiktir. Ancak bu bir seçim değil, tasarım koşullarının ortaya çıkardığı bir durumdur.

VAV sistemi, çalışma ortamında herhangi bir motor veya ekipman olmadığından sessiz ve konforlu bir sistemdir. Ancak taşınan hava miktarı büyük olduğundan hava kanalı boyutları diğer sistemlere göre daha fazla olup, daha fazla yer harcamaktadır. Sistemlerin ekonomik karşılaştırmaları daha sonra yapılacaktır.

Aşağıda bu sistemin şematik gösterimi (Şekil 7.1) sunulmuştur.



Şekil 7.1. Tam Havalı Klima Sistemi - VAV [19]

7.2. FanCoil + Taze Hava

Tam havalı sistemlerden farklı olarak bu sistemde ortamın statik ısıtma ve soğutma yükünü Fancoil adı verilen cihaz karşılar. Taze hava ihtiyacı ise bir adet %100 dış havalı klima santrali ile karşılanır. Ortamın statik ısıtma ve soğutma yükü fancoil tarafından karşılandığından, taze hava yalnızca ortam şartlarına kadar ısıtılır-soğutulur.

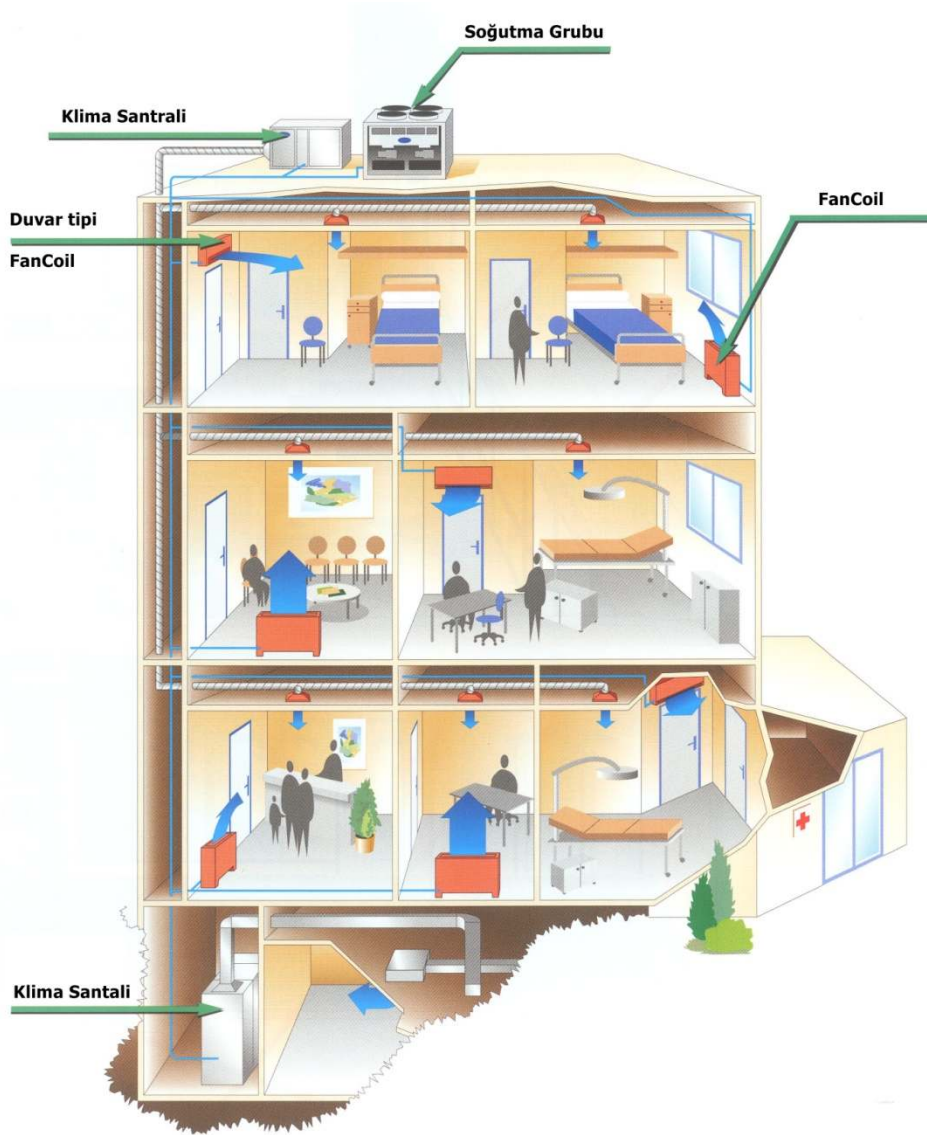
Fancoil cihazı adından da anlaşılacağı üzere içinde bir adet fan ve bir adet serpantin bulunmaktadır. Ortamın havasını bu fan aracılığı ile serpantinden geçiren cihaz, serpantinde sıcak su var ise ortamı ısıtır, soğuk su var ise ortamı soğutur.

Yapıda taşınan hava miktarı tam havalı sisteme göre görece daha az olduğundan az yer kaplar. Ancak oda içine konan Fancoil cihazında bir motor olduğundan görece daha gürültülüdür.

Aşağıda bu sistemin şematik gösterimi (Şekil 7.2) sunulmuştur.

7.3. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava

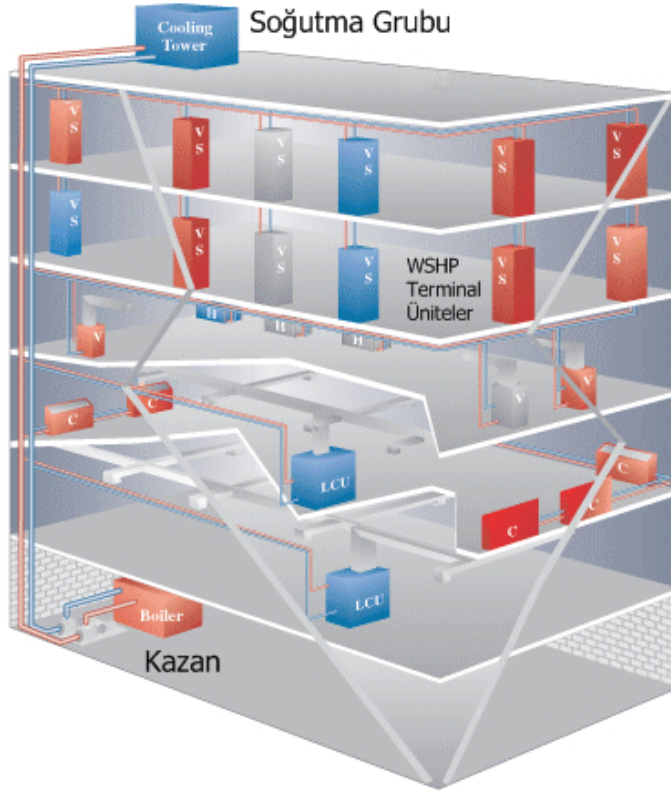
Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi özünde Fancoil + Taze Hava sistemi ile aynı olup, farkı bina içinde yük transferi yapabilmesidir. Isı pompası sisteminin ısıtma ve soğutma devreleri birbirinden ayrılmaz ve aynı anda çalıştırılır. Her terminal üniteye fancoil'den farklı olarak bir adet kompresör ve gaz devresi bulunur. Yapıda çalışan sistem sıcaklığı tasarımda ara bir değere ayarlanır. Buna göre gerektiğinde kazan, gerektiğinde soğutma grubu çalışarak, sistem akışkanını istenen sıcaklıkta tutar. Bu arada ısıtma veya soğutma ihtiyacı olan bir oda olduğunda, terminal ünite içindeki kompresörler odanın içindeki ısıyı ana akışkana transfer eder. Sıcaklık farkları herhangi bir hava kaynaklı ısı pompasına göre çok daha az olduğundan COP'leri yüksek olan cihazlardır.



Şekil 7.2. Fancoil + Taze hava Sistemi [19]

Sistemin yer kaplama açısından fancoil sisteminden bir farkı bulunmamakta, oda içinde fan motoruna ilaveten bir kompresör çalıştığından daha gürültülüdür. Sistemin avantajı yapıda aynı anda soğutma ve ısıtma ihtiyacı olduğunda ortaya çıkar. Diğer sistemlerde böyle bir durumda hem kazan hem soğutma grubu çalışması gerektiği halde bu sistem yapısı gereği, bir odadaki ısıyı diğerine aktarabilmektedir.

Aşağıda bu sistemin şematik gösterimi (Şekil 7.3) sunulmuştur.



Şekil 7.3. Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi [20]

8. BİNA ISI HESAPLARI, BİNA SİMÜLASYONU VE KABUL GÖREN YAZILIMLAR

Yeni inşa edilecek yapıların henüz inşa edilmeden, tasarım aşamasında sürdürülebilir yapılara dönüştürülebilmesi için alınması gereken önlemler ve yapılarda uygulanabilecek HVAC sistemler önceki bölümlerde incelendi.

HVAC tasarımında cihaz boyutlandırılması için gerekli ön bilgi yapının ihtiyacı olan, mekân bazında ısı yükleridir. Her odanın ihtiyacı olabilecek maksimum ısıtma ve soğutma yüklerinin belirlenmesi, HVAC tasarımın temelini oluşturur.

İnşa edilmesi planlanan yapıya hangi HVAC sisteminin uygun olup olmadığını veya hangi mimari önlemin ne kadar tasarruf ettirdiğini el ile hesaplayabilme imkânı bulunmamaktadır.

Bu noktada devreye giren bina simülasyon programları, tasarımcının ve yatımcının işini oldukça kolaylaştırmaktadır. Yapıda alınması planlanan önlemlerin etkilerinin madde madde incelenebildiği bu programlar sayesinde, sürdürülebilirlik amacı ile yapılan yatırımların da feasible (gerçekleştirilebilir) olup olmadı incelenebilmektedir.

8.1. Bina Isı Yüğü Hesapları

Bina ısı yüğü hesapları temel ısı transferi metotlarının basit hesaplara dönüştürülerek mekânların ısıtma ya da soğutma ihtiyaçlarını hesaplamak için kullanılır.

Mekânın ısıtma ya da soğutma ihtiyacını hesaplayabilmek için maksimum ısı farkı koşulları göz önünde bulundurulmaktadır. Yapının tasarlanacağı şehir için belirlenen tasarım değerlerine göre ısı kaybı ve kazancı hesapları yapılmaktadır.

Ankara için tasarım değerleri;

Çizelge 8.1. Ankara Tasarım Sıcaklıkları [21]

Kış; Kuru Termometre: -12°C
Yaz; Kuru Termometre: 34°C Yaş Termometre: 20°C
Enlem: 39,57 Kuzey Boylam: 32,53 Doğu
Rakım: 848m

Isı kazancı hesapları yapılırken, konveksiyon ve kondüksiyon hesapları yapıldıktan sonra, özellikle pencerelerden giren güneş radyasyonu da hesaba katılır.

Isı transferine ek olarak, enfiltrasyon yoluyla yapıya giren soğuk ya da sıcak havanın etkisi de dikkate alınmaktadır.

Isı yükü hesabında her mekân için maksimum ısıtma ve maksimum soğutma yükü hesaplanmaktadır. Bu değerler bulunduktan sonra ana ısıtıcı veya soğutucu seçiminde, tasarımcı bir diversite değeri kabul eder. Bu değerin bir hesap yöntemi olmamakla birlikte tasarımcının tecrübesi ile belirlenir.

Yalnızca ısı yükü hesabı yapılarak tasarlanan yapıların en büyük problemi bu noktada oluşmaktadır. Her oda için hesaplanan maksimum değerler doğrudur ve her oda için seçilen iklimlendirme üniteleri bu değerlere göre seçilmelidir. Ancak, odalar için hesaplanan maksimum yükler 7 gün 24 saat geçerli olmamaktadır. Doğuya bakan odaların gündüz, batıya bakan odaların ise akşamüstü daha sıcak olması gibi. Dolayısıyla ana ısıtıcı veya soğutucu ekipmanın (kazan veya soğutma grubu) seçiminde bu kriter göz önüne alınmalı, odaların maksimum yükleri toplanarak cihaz seçimi yapılmamalıdır. Bu noktada devreye giren diversite değeri seçimi tecrübe ile değil, şehir, iklim ve meteoroloji koşulları dikkate alınarak hesaplamalar ile yapılmalıdır. Bu ihtiyaç simülasyon programlarını doğurmuştur.

8.2. Bina Simülasyonu

Bilgisayar teknolojisinin günden güne oldukça hızlı gelişmesine paralel olarak, artık sıradan bir kullanıcı bilgisayarı ile, saniyede yüzlerce işlem yapılabilir hale gelmiştir. Bilgisayarların bu yeni kabiliyeti, yapı yük hesaplarında farklı bileşenlerin de devreye sokulabilmesine imkân sağlamıştır. Artık Tablo 1’de verilen değerlerde olduğu gibi yalnızca maksimum minimum sıcaklıklar dikkate alınmamaktadır. Her şehir için 365 gün 24 saat meteorolojik değerler bilinmekte ve bunlar iklim data dosyaları olarak simülasyon programlarına girilebilmektedir. Bununla birlikte güneş radyasyonu hesaplanırken yalnızca enlem ve boylam değerleri değil, rakım, şehir bulutluluk değeri, yakın gölge kaynakları gibi oldukça fazla bilgi işlenebilmektedir.

Bu bilgilerin işlenmesi sayesinde yapının, hatta her mekânın saat saat ne kadar ısıtma – soğutma ihtiyacı olduğu bulunabilmektedir. Bunun en büyük faydalarından biri yapı sanki gerçekte çalışıyormuşçasına, yapının ihtiyacı olan anlık maksimum ısıtma ve soğutma yüklerinin belirlenebilmesidir. Böylece ısıtma soğutma ana ekipmanları (kazan, soğutma grubu) doğru diversiteler ile seçiliyor, gereğinden büyük cihazların yerleştirilmemesi sağlanıyor. Bu hem ilk yatırım maliyetini düşüren hem de işletme maliyetini azaltan bir etkidir.

Bina simülasyon yazılımları geliştikçe, ekonomik maliyet analizleri de programların birer özelliği haline gelmiştir. Artık güncel simülasyon programlarında, yerel elektrik, doğalgaz gibi enerji kaynakları fiyatları girilerek yapının işletme maliyetini hesaplayabilmek mümkün olmaktadır. Hatta yapının tüm bilgileri girilip, gerekli ilk hesaplamalar yapıldıktan sonra, işletme maliyetini düşürmesi öngörülen ek yatırımların, işletme maliyetlerini ne kadar azaltacağını hemen, tasarım aşamasında görmek, geri ödeme süresini hesaplamak mümkün hale gelmiştir.

Küresel ısınmanın Kyoto Protokolü ile birlikte küresel bir bilinç haline gelmesi ile birlikte, özellikle gelişmiş ülkelerde sürdürülebilir yapılara teşvikler verilmeye başlandı. Daha önceki bölümlerde anlattığımız gibi, bu konuda bazı mevzuatlar ve kurumlar oluşturuldu. Yapının henüz tasarım aşamasında ne kadar sürdürülebilir olduğunu görebilmek amacıyla simülasyon yazılımları yeniden düzenlendi ve yapı karbon salınımı miktarı gibi bilgiler de elde edilebilir oldu.

8.3. Kullanılan Yazılımlar

Küresel ölçekte onlarca yapı simülasyonu yazılımı bulunmaktadır. Sadece belirli cihazların seçimini yapabilen yazılımlardan (Örn. güneş kolektörü hesabı), yapı tümleşik simülasyonuna kadar geniş yelpazede yazılım bulunmaktadır [22]. Ancak tasarımcıların kullanabileceği türden, daha önce bahsettiğimiz amaçlara hitap eden yazılım sayısı halen oldukça azdır. Bunlardan en çok kullanılanları aşağıda tanıtılmıştır.

8.3.1. EnergyPlus

EnergyPlus Amerikan Enerji Bakanlığı'nın hazırlamış olduğu bir yapı enerji analizi programıdır. Uzun zamandır üzerinde çalışılan program bu yıl içinde yeni versiyonu ile kullanıcılara sunulmuştur. Önceki versiyonları olan DOE ve BLAST programlarına göre daha kabiliyetli olan program, kullanıcı-dostu bir arayüzü olmayan, girdilerini ve çıktılarını text dosyaları aracılığı ile yapan bir programdır.

Programın açık kaynak kodlu olması, ara yüz eksikliğini ortadan kaldırmak amacıyla Amerikan Enerji Bakanlığı'nın desteklediği ek programlar yaratılmasına olanak vermektedir. Bu tarz üçüncü şahıs firmaların hazırladığı programların yaygınlaşması ile programın kullanılabilirliğinin kullanıcı sayısının da artması beklenmektedir.

8.3.2. Hourly Analysis Program (HAP – Carrier Co.)

Energyplus yazılımından farklı olarak bir firmanın ürettiği HAP yazılı açık kaynak kodlu değildir. Yani yazılımın geliştirilmesi veya yeni özellikler eklenmesi tamamen Carrier firmasının elindedir. Energyplus'a göre en büyük avantajının kullanıcı dostu ara yüzü olarak kabul edilebilir. Ülkemizde de Türk Tesisat Mühendisleri Derneği tarafından eğitimi verilen yazılımı 4-5 gün süren eğitimden sonra temel anlamda kullanabilmek mümkün. Dağıtımını Alarko-carrier firmasının yaptığı yazılım bu amaç uğruna Türkiye'de kullanılan en popüler yazılımdır. Amerika Yeşil Bina Konseyinin tavsiye ettiği yazılımlar arasında bulunmaktadır. Bu çalışmada yapılacak hesaplamalar bu yazılım kullanılarak yapılacaktır.

8.3.3. Trace 700 (Trane Co.)

HAP'a benzer biçimde HVAC sektörünün öncü firmalarından olan Trane'nin geliştirdiği Trace 700 programı da açık kaynak kodlu değildir. Trane mühendisleri tarafından geliştirilen program EnergyPlus ve HAP'ın arasında bir program olarak betimlenebilir. HAP'a göre daha karmaşık olan programda, Hap'tan farklı olarak daha geniş HVAC sisteminin analizini desteklemektedir. (Toprak kaynaklı ısı pompası, ısı depolama gibi.)

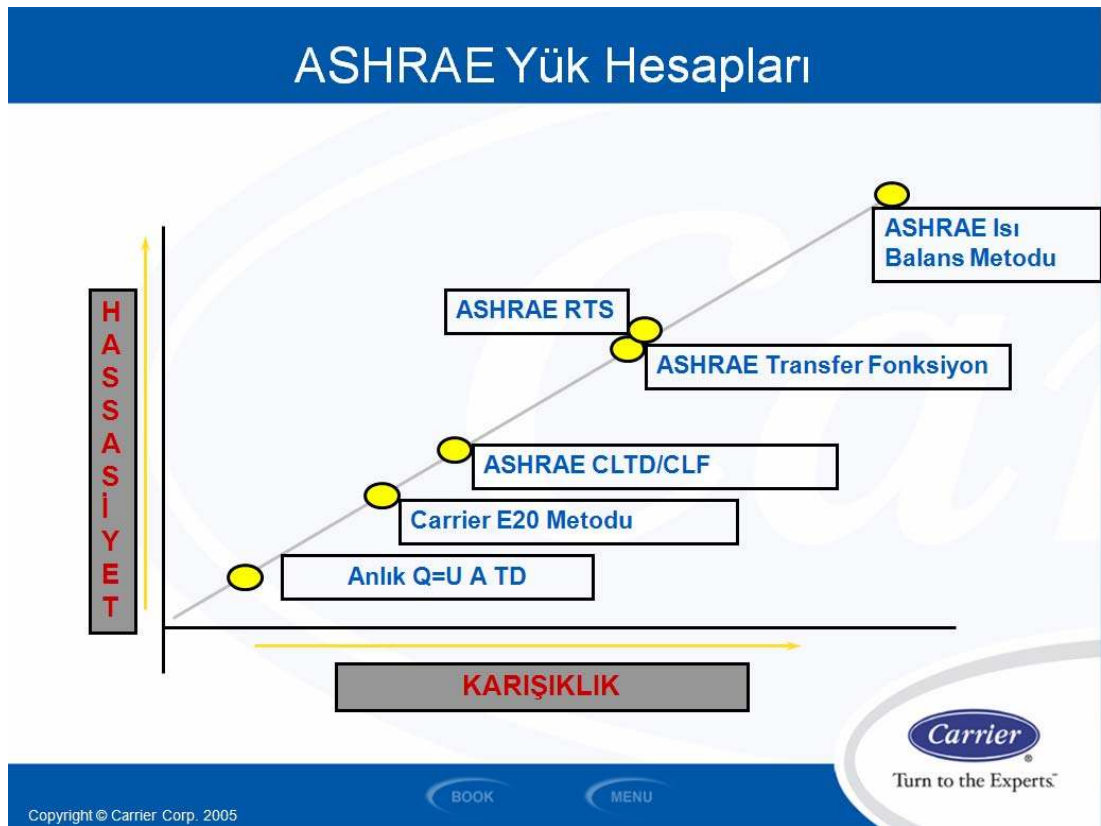
Türkiye'de temsilciliği bulunmayan firmanın yazılımı internet üzerinden satın alınabilir. Ancak yazılımın eğitimini düzenleyen veya dağıtımını yapan bir firma bulunmamaktadır.

9. HAP HESAPLAMALARI VE YAZILIM ARAYÜZÜ

HAP programının kullandığı hesap ara yüzü, hesap yöntemi ve hesap değişkenleri bu bölümde incelenmiştir.

9.1. Hesap Yöntemi

Isı kazancı hesabını yapmak amacı ile üretilmiş birçok hesap yöntemi mevcuttur. Hatta ASHRAE organizasyonunun bile birden fazla hesap yöntemi vardır. Bu yöntemlerde hassasiyet arttıkça hesabın karışıklılığı da artmaktadır. Aşağıda HAP programının eğitim notlarından alınmış bir karşılaştırma tablosu (Resim 9.1) verilmiştir.



Şekil 9.1. ASHRAE Hesap Yöntemleri Karşılaştırması – Carrier Eğitim Notları

HAP programı Ashrae Transfer Fonksiyon Metodunu kullanır. Hesaplamaları sırasında Ashrae Isı Çekimi incelemesi ve düzeltmesi de yapar.

Transfer fonksiyon metodunda yük, ısı kazancına, ısı kazancının şiddetine ve zamana bağlı bir fonksiyondur. Yani bu metot, hacme etki eden ısı kazancının şiddetinin yanında ne kadar etki ettiğini de dikkate alır. Böylece yapı elemanlarının bu ısı kazancından depoladığı ısı miktarını da dikkate almaktadır.

Transfer Fonksiyonu yük hesabında ısı transferinin tüm çeşitlerini (iletim, taşınım ve ışıyım) hesaba katar. Hacimlerin ve sistemin yük değişimini saatlik olarak ele alır.

Dikkate alınan ısı kazancı kaynakları iki ayrı grupta toplanabilir. Hacmin içinde bulunan insanlardan hacim içi aydınlatmasından, hacim içi elektrikli ısıtıcılardan veya çalışan elektrikli ekipmanlardan gelen ısı kazançlarına iç ısı kazancı denir.

Bununla birlikte dış mekânın sıcaklık farkından, güneş radyasyonundan, şeffaf yüzeyler güneş radyasyonundan gelen ısı kazançları ise dış ısı kazançları olarak tanımlanır.

9.1.1. Transfer fonksiyonu hesaplamaları

İklimlendirilen bir ortamın maksimum tasarım soğutma yükünün bulunması için üretilen temel yöntemler, bütün tasarım hesaplarının el ile yapılması hali için geliştirilmiştir. Bu nedenle kapsamlı tasarım analizi ısı yükünün ilk tespitinde yer almamıştır. Günümüzde tasarım hesapları için kullanılan bilgisayarlar sayesinde her ısı yük elemanı, etraflıca değerlendirilebilmekte ve kapsamlı bir tasarım analizi sonuçları ile birlikte verilebilmektedir. Transfer Fonksiyonu Yöntemi iklimlendirilen bir ortamın soğutma yükünün saat-saat bulunmasını, ortamda uygulanacak farklı sistem tipleri, kontrol stratejileri ve

işletme şekilleri için son ortam şartlarının tespit edilmesini mümkün kılmaktadır [23].

HAP programı aşağıda verilen tüm hesaplamaları her hacim için, 365 gün ve 24 saat değerlerini dikkate alarak gerçekleştirmekte ve her hacmin ve hacimlerin bağlı olduğu sistemin maksimum değerlerini sunmaktadır.

Dış Isı Kaynakları

$$t_e = t_o + \alpha \frac{I_t}{h_o} - \frac{\varepsilon \delta R}{h_o} \quad (9.1)$$

$$t_{ea} = t_{oa} + \alpha \frac{\frac{I_{DT}}{24}}{h_o \left(\frac{I_{DT}}{24} \right)} - \frac{\varepsilon \delta R}{h_o} \quad (9.2)$$

t_e = güneş-hava sıcaklığı

t_o = hesap anındaki kuru termometre sıcaklığı¹

α = güneş ışınımı için yüzey yutma katsayısı

$\frac{\varepsilon \delta R}{h_o}$ = yüzey renk faktörü, açık renk yüzeyler için 0,026; koyu renk yüzeyler için 0,052.

I_A = yüzey üzerine düşen toplam güneş enerjisi – 1,15(SHGF)²

$\frac{\varepsilon \delta R}{h_o}$ = uzun dalga ışıma faktörü; yatay yüzeyler için -3,9°C, düşey yüzeyler için 0°C.

¹ Tasarım KT sıcaklığından EK II Tablo 2'de verilen günlük % sapma oranları vasıtasıyla hesaplanır

² EK-3 Tablo 1-7

t_{ea} = 24 saat ortalama güneş-hava sıcaklığı

t_{oa} = 24 saat ortalama kuru termometre sıcaklığı

I_{DT} = toplam günlük güneş ısı kazancı

Çatılar ve Duvarlar

$$q_{e,\theta} = A \left[\sum_{n=0} b_n (t_{e,\theta-n\delta}) - \sum_{n=1} d_n \left\{ \frac{q_{e,\theta-n\delta}}{A} \right\} - t_{rc} \sum_{n=0} c_n \right] \quad (9.3)$$

b ve d= iletimle ısı transferi katsayıları³

c ve U_{tablo} = iletimle ısı transferi katsayıları⁴

U_{gercek} = çatı veya duvar içi tasarım toplam ısı geçiş katsayısı⁵

Çatılar

EK-2 Çizelge 11'den çatıyı teşkil eden tabakalar belirlenir. Dominant olan tabakanın R değerini kullanarak, EK-2 Çizelge 15,16 veya 17'den Duvar Grup numarası ve R değer aralığı sayısı belirlenir. EK-2 Tablo14 ile hesaba devam edilir.

θ = yük hesaplarının yapıldığı saat

δ = zaman adımı (1saat)

n= b ve d değerlerinin önemli olduğu saat sayısı

e= çatı veya duvarda analizi yapılan tabaka

³ Çatı; EkII Tablo 13, Duvar; EkII Tablo 18

⁴ Çatı; EkII Tablo 14, Duvar; EkII Tablo 19

⁵ EkIII Tablo 8'den b ve c katsayıları $\frac{U_{gercek}}{U_{tablo}}$ oranı ile yeniden ayarlanır.

A= analiz edilen tabakanın alanı

Pencereler

$$\text{Taşınım ile ısı geçişi } q = UA(t_o - t_i) \quad (9.4)$$

$$\text{Güneş Isı kazancı } q = A(SC)(SHGF) \quad (9.5)$$

U= Tasarım toplam ısı geçiş katsayısı, cam

SC= gölgeleme katsayısı

SHGF= kuzey enlemine, konuma, saate ve aya bağlı güneş ısı kazanç faktörü

Ayırıcı Panolar, Tavanlar, Döşemeler

$$q = UA(t_b - t_i) \quad (9.6)$$

t_b = bitişik ortam sıcaklığı

t_i = iklimlendirilen ortam sıcaklığı

Dahili Isı kazançları

İnsanlar

$$q_{\text{duyulur}} = N \times \text{Duyulur Isı Kazancı}$$

$$q_{\text{gizli}} = N \times \text{Gizli Isı Kazancı}$$

N= ortamda bulunan insan sayısı

Duyulur ve Gizli Isı kazançları EK-2 Tablo3

Işıklar

$$q_{el} = WF_{ul}F_{sa} \quad (9.7)$$

W= aydınlatma armatürleri verilerinden veya elektrik tesisatı projesinden watt olarak aydınlatma enerjisi

F_{ul} = kullanma faktörü, EK-2 1. Kısım

F_{sa} = armatür faktörü, EK-2 1. Kısım

Güç

$$q_p = PE_f$$

P= elektrik tesisatı projesinden veya üretici verilerinden elde edilen güç değeri

E_f = verim faktörü

Cihazlar

$$q_{duyulur} = q_{is}F_{ua}F_{ra} \quad (9.8)$$

Veya

$$q_{duyulur} = \frac{q_{is}F_{ua}F_{ra}}{F_{fi}} \quad (9.9)$$

$$q_{gizli} = q_{il}F_{ua}$$

$q_{is}q_{il}$ = cihazlardan gelen duyulur ve gizli ısı kazancı⁶

$F_{ua}F_{ra}F_{fi}$ = kullanım, ışıınım ve kayıp faktörleri

Havalandırma ve Enfiltrasyon Havası

⁶ EkII Çizelge 5-9

$$q_{duyulur} = 1,23Q(t_o - t_i) \quad (9.10)$$

$$q_{gizli} = 3010Q(W_o - W_i) \quad (9.11)$$

$$q_{toplam} = 1,20Q(H_o - H_i) \quad (9.12)$$

Q= Havalandırma Debisi

t_o, t_i = dış, iç ortam sıcaklığı

W_o, W_i = dış ve iç ortam özgül nemleri

H_o, H_i = dış ve iç havanın entalpileri, kJ/kg

Soğutma Yüğü

Duyulur

$$Q_{\theta} = Q_{if} + Q_{sc} \quad (9.13)$$

$$Q_{if} = \sum_{i=1} (v_0 q_{\theta,i} + v_1 q_{\theta,i-\delta} + v_2 q_{\theta,i-2\delta} + \dots) - (w_1 Q_{\theta-\delta} + w_2 Q_{\theta-2\delta} + \dots) \quad (9.14)$$

$$Q_{sc} = \sum_{j=1} (q_{c,j}) \quad (9.15)$$

Q_{if} = ışınlm ve taşınılma ısı kazancı sağlayan her yapı elemanından kaynaklanan duyulur soğutma yüğü

V ve w= EK-2 Çizelge 24 ve 25'deki salon geçiş fonksiyonu katsayıları. Her yapı elemanının tipi, dolaşım havası, kütle ve/veya bağlantı biçimine göre seçilir

δ = zaman adımı (1 saat)

q_{θ} = ışınlm bileşeni olan her i elemandan olan ısı kazancı; EK-2 Çizelge 24,25 ve 42'den seçilir.

Q_{sc} = sadece taşınılma ısı kazancı sağlayan yapı elemanlarından olan duyulur soğutma yükü.

q_c = sadece taşınılma ısı kazancı sağlayan j yapı elemanından olan ısı kazancı

Gizli

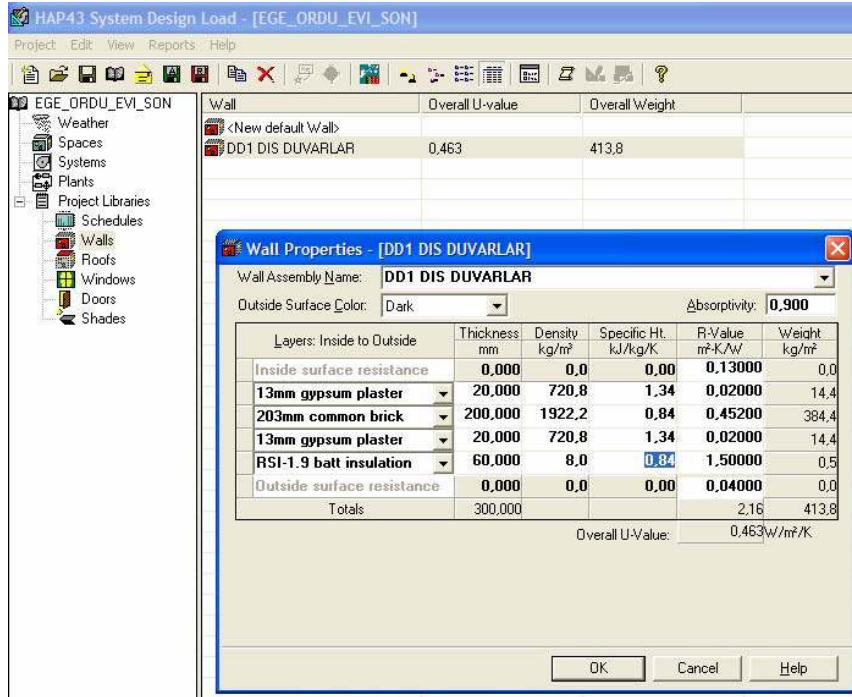
$$Q_l = \sum_{n=1} (q_{c,n}) \quad (9.16)$$

$q_{c,n}$ = gizli ısı kazancı sağlayan n bileşenden her biri

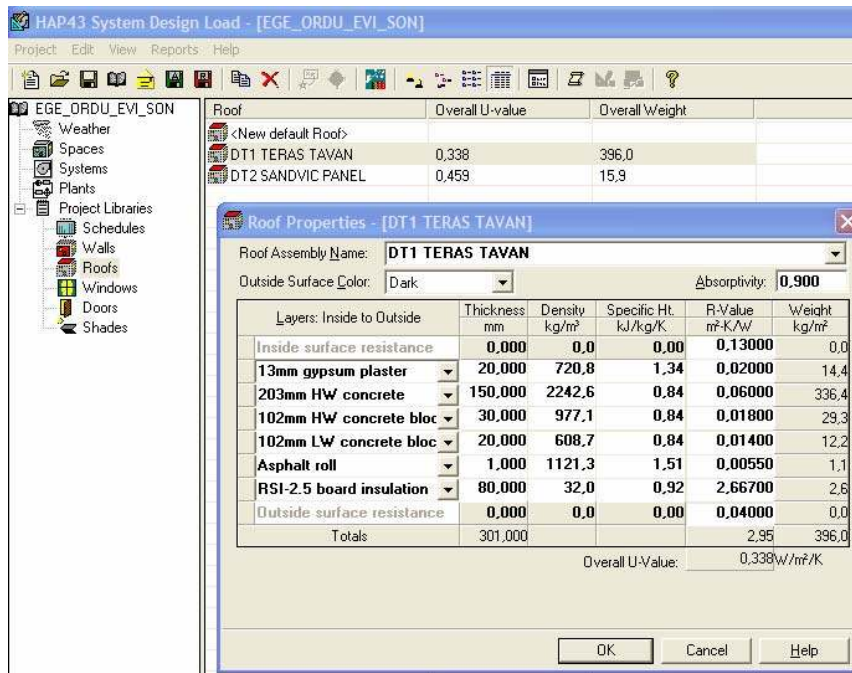
9.2. Yapı Değişkenleri

HAP tasarımı yapılan yapının yapı elemanlarının detaylı özelliklerini bilmek ister. Bu detayları hem ısı kazancı hesabında hem de depolama hesabında kullanmaktadır.

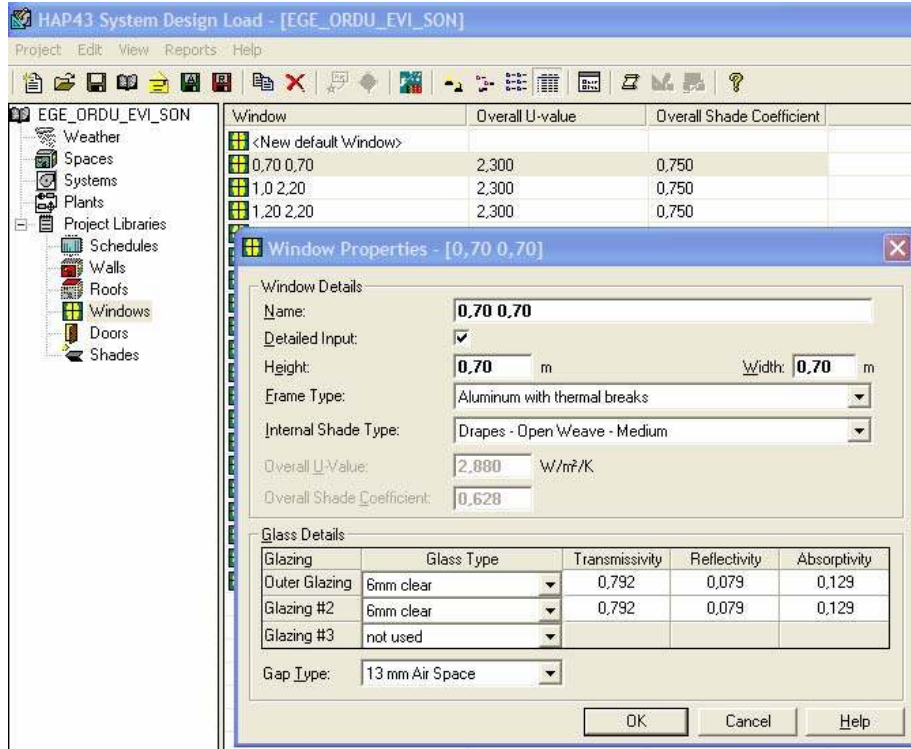
Aşağıda örnek bir yapı için, duvar, çatı ve pencere detaylarının girildiği ara yüz (Resim 9.2 - 9.6) verilmiştir.



Şekil 9.2. HAP Duvar Bileşenleri Ara yüzü



Şekil 9.3. HAP Tavan Bileşenleri Ara yüzü

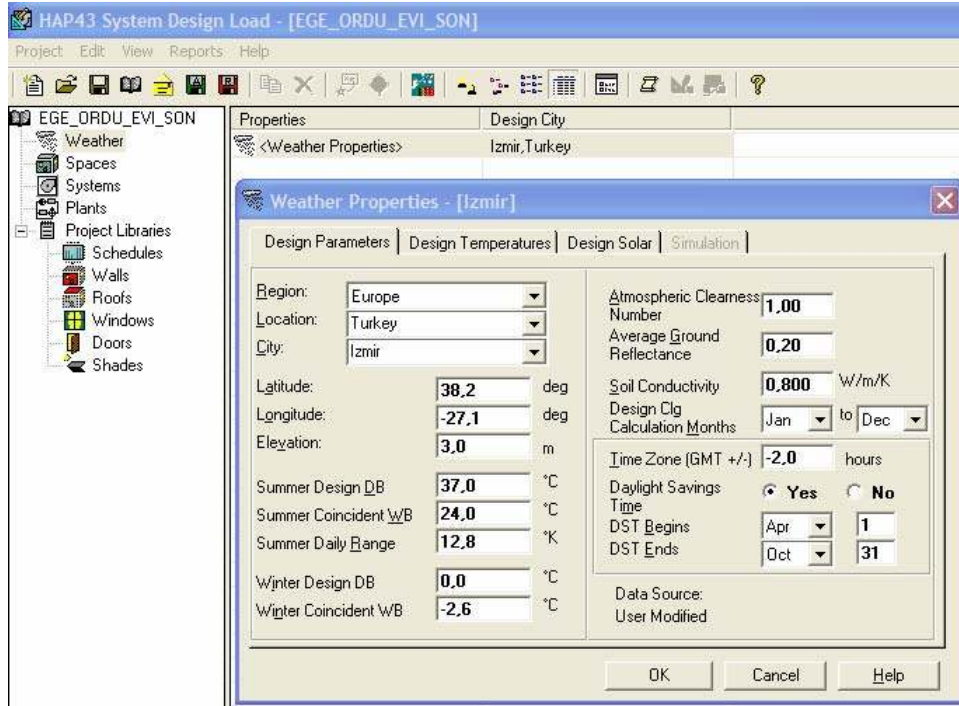


Şekil 9.4. HAP Cam Özellikleri Ara yüzü

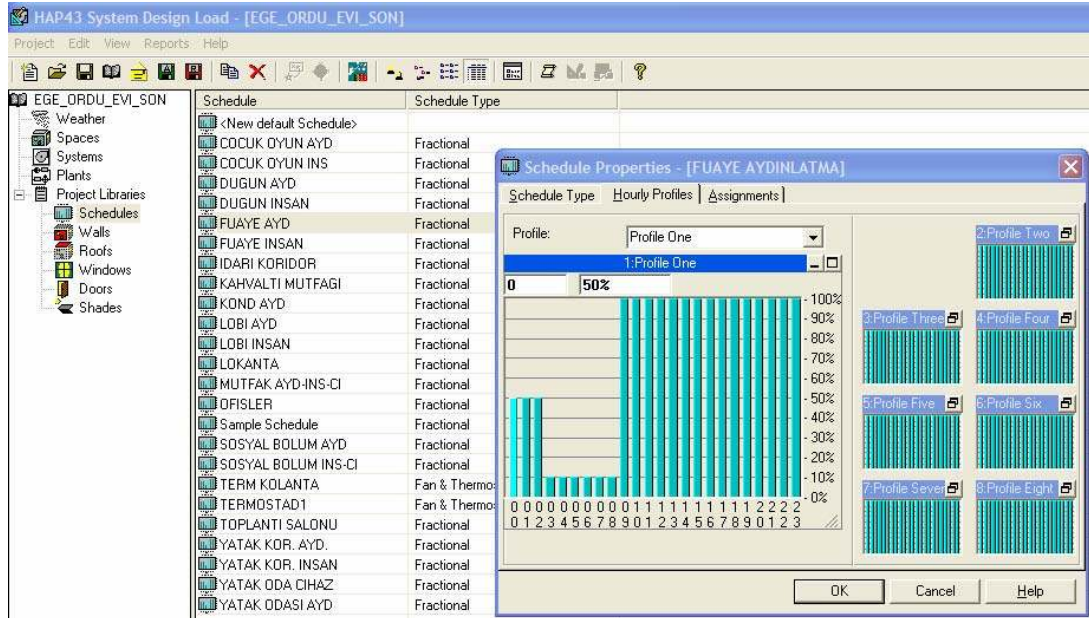
9.3. Simülasyon Değişkenleri

HAP programı hesap yaparken bazı temel verilere ihtiyaç duymaktadır. Bunlardan ilki iklim verileridir. Ashrae'nin kaynaklarına sadık kalınarak hazırlanan iklim verileri veritabanında Türkiye'den Ankara, İstanbul ve İzmir'de bulunmaktadır. Diğer şehirlerde hesap yapılırken ilgili ara yüze meteorolojik bültenden ve TS3419'dan alınan değerler girilmelidir.

Diğer bir simülasyon değişkeni ise, hangi ısı kazancı kaynaklarının kaç saat etkiğini belirleyen zaman çizelgeleridir. Programda sonsuz sayıda zaman çizelgesi üretilebilir ve her bir yük ayrı zaman çizelgesi ile tanımlanabilir [24]. Ya da bazı yükler gruplanabilir. Örneğin bir ofis yapısında ofis içerisinde bulunan insanların zaman çizelgesi ile bu insanların bilgisayarlarının zaman çizelgesi aynı kabul edilebilir.



Şekil 9.5. HAP İklim Verileri Ara yüzü



Şekil 9.6. HAP Zaman Çizelgesi Ara yüzü

10. SİMÜLASYON GİRDİLERİ

Simülasyon hesapları için tasarım programına girilen bilgiler ve tasarım şartları [25], bu bölümde incelenmiştir.

Havalandırma

Ofis yapıların için havalandırma miktarı $30\text{m}^3/\text{h.kişi}$ olarak seçilmiştir [26].

İç Mekan Tasarım Sıcaklıkları

Ofis hacimlerinin kışın minimum 22°C yazın ise maksimum 25°C olması istenmiştir. Ofis hacimlerinde herhangi bir nem kontrolü yapılmamıştır.

İç Isı Kazançları

Ofis mekânlarında çalışan personel sayıları mimari tasarımdan alınmıştır. Her bir kişinin bir adet bilgisayarı olacağı mimari tasarımdan anlaşılmaktadır. Ofislerde kullanılan yeni model bir bilgisayar ve LCD monitör için $150\text{W}/\text{bilgisayar}$ değeri kullanılmıştır [27].

Ofis mekânlarında kullanılması gereken aydınlatma gücü ve bunun ısı kazancına dönen yük miktarı $20\text{W}/\text{m}^2$ olarak alınmıştır [27].

Isıtma

Simülasyon girdilerinde ısıtma sisteminin kaynağı olarak yoğunlaşmalı çelik kazanlar kullanılmış ve verimi %85 olarak kabul edilmiştir.

Soğutma

Simülasyonu yapılan üç seçenekte de soğutma sistemi bir adet kapalı tip su soğutma kulesi ile yapılmıştır. VAV ve FanCoil+Taze hava seçeneklerinde bu kule ile birlikte çalışan bir adet su soğutmalı chiller kullanılmıştır.

Enerji Maliyeti

Enerji maliyetleri girilirken ilgili kurumların yayınladığı değerler yerine, hali hazırda çalışan bir ofisin aylık faturaları baz alınmıştır. Bunun sebebi, yayınlanan değerlerde çeşitli katkı paylarının dikkate alınmamasıdır. (TRT katkı payı, çöp vergisi, atık su gider, v.b.) İlgili faturalar EK-4'de verilmiştir.

Elektrik Fiyatı;

- Aylık Ücret: 5,29 TL
- Fiyat: 0,21852 TL/kWh
- KDV: %18

Doğalgaz Fiyatı;

- Fiyat: 0,51738 TL/m³
- KDV: %18

VAV Sistemi Uygulanan Seçenek İçin Ek Bilgi

Bu sistemde havalandırma miktarı ihtiyaca bağlı olarak değiştirilebilir özellikte seçilmiştir. Bunun için her hacimde bir adet CO₂ algılayıcısı bulunacaktır.

Ayrıca VAV sistemlerinde genel uygulama olarak, çapraz geçişli eşanjörlerin kullanıldığı kabul edilmiştir.

11. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Aynı bina üzerinde farklı seçeneklerin denendiği hesaplamalar ve simülasyonların tüm çıktıları EK-5'te sunulmuştur. Bu bölümde bu sonuçlardan elde edilen özet değerler çizelge ve grafikler ile tanımlanmıştır.

11.1. Tam Havalı İklimlendirme – VAV Sistemi

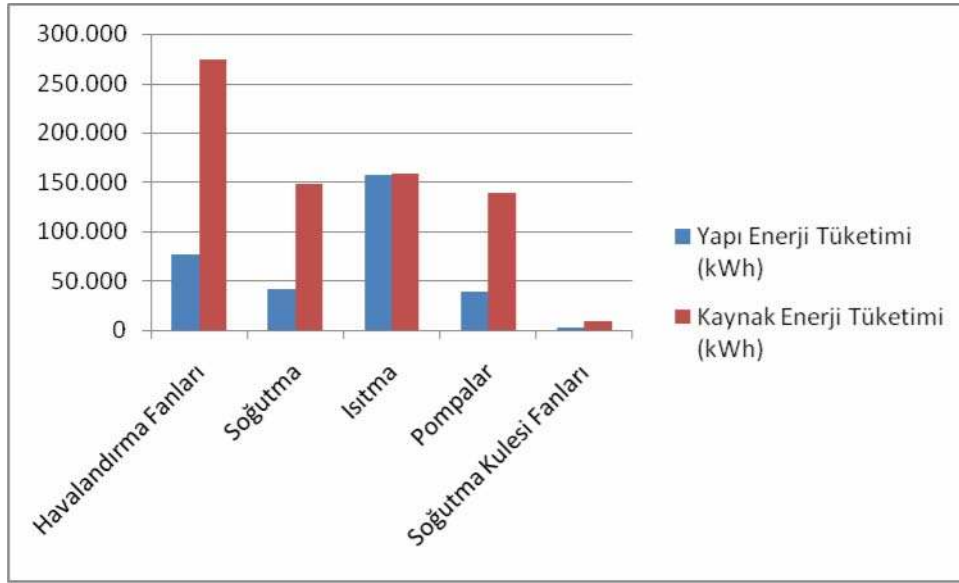
Tam havalı iklimlendirme sistemi için elde edilen tüm simülasyon çıktıları bu başlık altında verilmiştir.

11.1.1. Bileşen bazlı yıllık enerji tüketimi

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim miktarları çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.1 ve Şekil 11.1). “Yapı Enerji Tüketimi” simülasyonu yapılan binanın enerji sayacında ölçülen değeri, “Kaynak Enerji Tüketimi” ise sayaçta okunan enerji miktarını üretmek için gerekli ülke kaynağı enerji miktarını göstermektedir. Aradaki farkı oluşturan temel etken oldukça düşük olan elektriğin taşınma verimidir.

Çizelge 11.1. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi

Bileşen	Yapı Enerji Tüketimi (kWh)	Yapı Enerji Birim Tüketimi (kWh/m ²)	Kaynak Enerji Tüketimi (kWh)	Kaynak Enerji Birim Tüketimi (kWh/m ²)
Havalandırma Fanları	76.773	16,959	274.188	60,567
Soğutma	41.426	9,151	147.951	32,682
Isıtma	157.379	34,764	158.603	35,035
Pompalar	38.999	8,615	139.283	30,767
Soğutma Kulesi Fanları	2.377	0,525	8.490	1,876
HVAC Toplam	316.954	70,014	728.515	160,927



Şekil 11.1. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi

Tam havalı iklimlendirme sisteminde yapıdaki tüketime bakıldığında en fazla tüketimin ısıtma sistemine ait olduğu görülmektedir. Ancak kaynak enerji tüketimi dikkate alındığında en çok enerji tüketen bileşenin Havalandırma Fanları olduğu görülmektedir.

11.1.2. Kaynak bazlı yıllık enerji tüketimi

Tam havalı iklimlendirme sisteminin yıl boyunca harcadığı elektrik ve doğalgaz tüketimleri aşağıdaki Çizelge ile verilmiştir (Çizelge 11.2).

Çizelge 11.2. Kaynak Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi

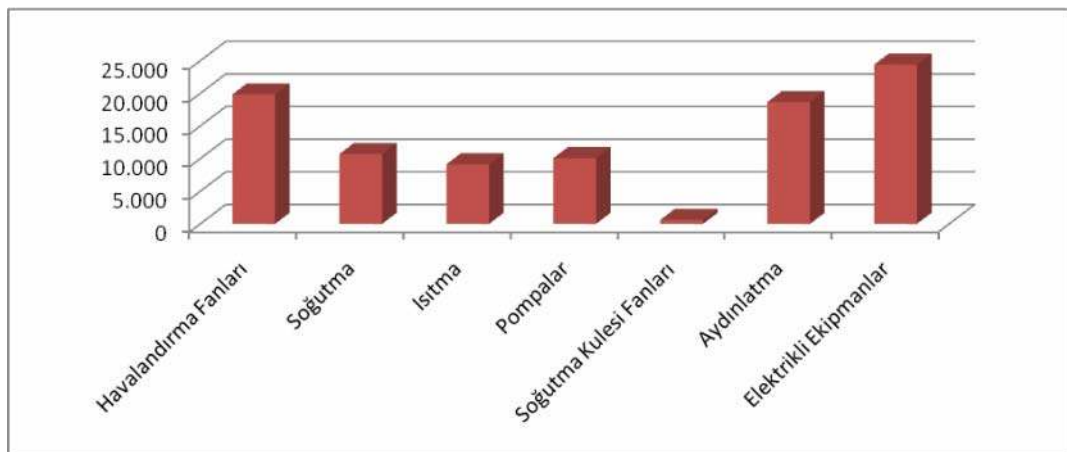
Kaynak	Tüketim
Elektrik (kWh)	160.059
Doğal Gaz (m3)	14.746

11.1.3. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyetleri

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim maliyetleri çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.3 ve Şekil 11.2).

Çizelge 11.3. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri

Bileşen	Yıllık İşletme Maliyeti (TL)
Havalandırma Fanları	19.846
Soğutma	10.706
Isıtma	9.126
Pompalar	10.080
Soğutma Kulesi Fanları	614
HVAC Ara Toplam	50.372
Aydınlatma	18.661
Elektrikli Ekipmanlar	24.414
HVAC Dışı Ara Toplam	43.075
Genel Toplam	93.447



Şekil 11.2. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri

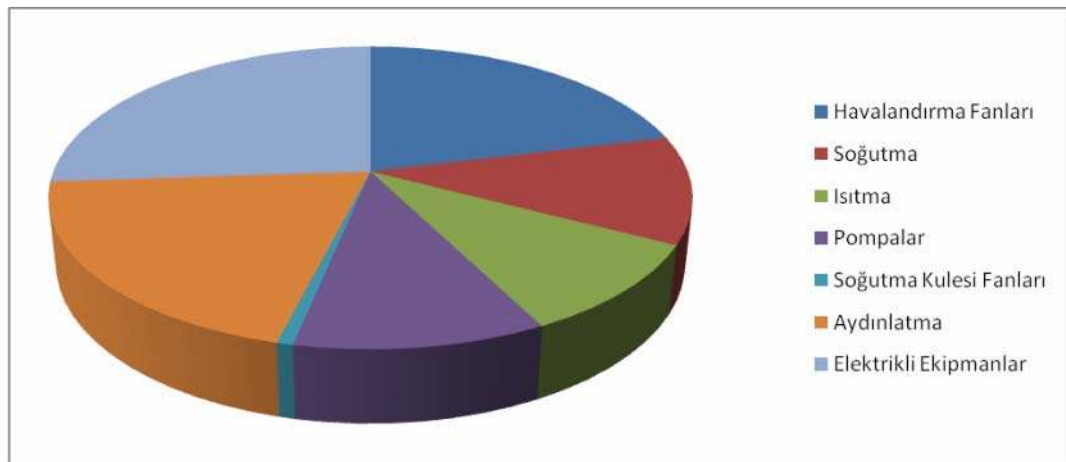
Elektrik birim fiyatlarının doğalgaza göre daha yüksek olması burada etkisini göstermiş, enerji tüketimi Isıtma Sistemine göre daha az olan Havalandırma Fanları'nın işletme maliyeti daha yüksek olmuştur.

11.1.4. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyeti oranları

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim maliyetlerinin yüzde oranları çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.4 ve Şekil 11.3) .

Çizelge 11.4. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları

Bileşen	Yıllık İşletme Maliyeti (%)
Havalandırma Fanları	21,2
Soğutma	11,5
Isıtma	9,8
Pompalar	10,8
Soğutma Kulesi Fanları	0,7
HVAC Ara Toplam	53,9
Aydınlatma	20
Elektrikli Ekipmanlar	26,1
HVAC Dışı Ara Toplam	46,1
Genel Toplam	100



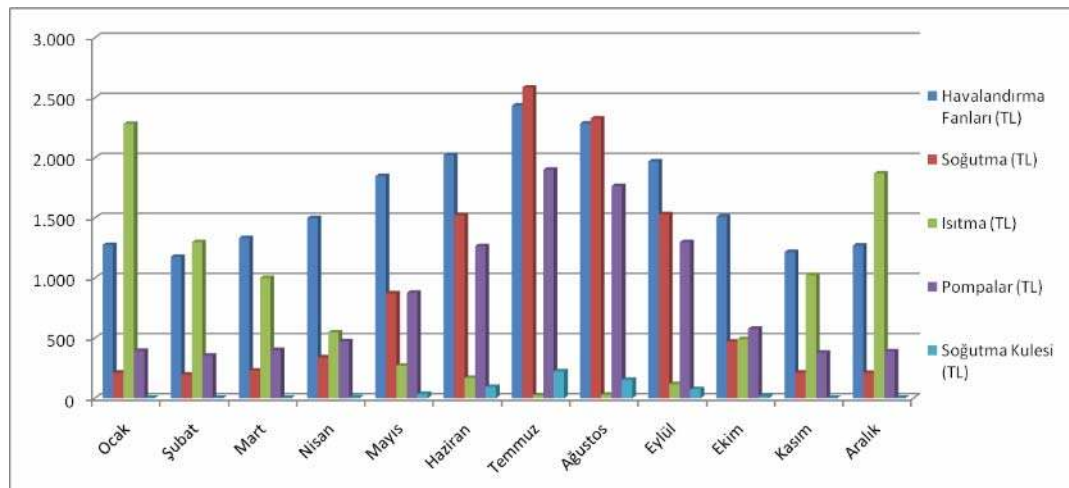
Şekil 11.3. VAV Sistemi Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları

11.1.5. HVAC bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan aylık enerji tüketim maliyetleri çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.5 ve Şekil 11.4).

Çizelge 11.5. VAV Sistemi HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

Ay	Havalandırma Fanları (TL)	Soğutma (TL)	Isıtma (TL)	Pompalar (TL)	Soğutma Kulesi (TL)	HVAC Toplam (TL)
Ocak	1.275	211	2.283	393	3	4.165
Şubat	1.177	196	1.298	354	3	3.028
Mart	1.333	230	1.001	400	3	2.967
Nisan	1.500	340	548	475	6	2.869
Mayıs	1.848	871	272	878	36	3.905
Haziran	2.023	1.523	169	1.266	94	5.075
Temmuz	2.435	2.586	24	1.902	224	7.171
Ağustos	2.286	2.327	29	1.766	153	6.561
Eylül	1.971	1.530	117	1.299	74	4.991
Ekim	1.511	471	491	577	14	3.064
Kasım	1.216	212	1.024	379	3	2.834
Aralık	1.271	210	1.870	390	3	3.744
Toplam	19.846	10.706	9.126	10.080	614	50.372



Şekil 11.4. VAV Sistemi HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

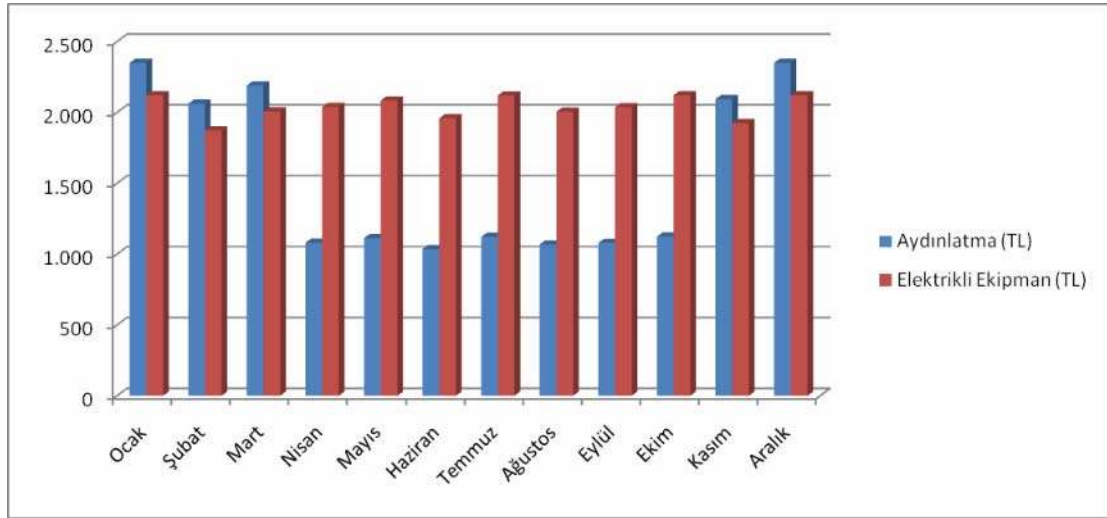
Aylık bazda elde edilen bu tablo ve grafiklerden mevsimsel etkiler açıkça görülebilmektedir. Isıtma ve Soğutma sistemlerinin birbirlerine ters bir biçimde yıllık bazda bir hiperbol yarattığı görülebilmektedir. Soğutma sistemi için elde edilen grafik yaz aylarında oldukça dik bir eğime sahip olmaktadır. Bunun sebebi, Tam Havalı İklimlendirme sisteminin özellikle bahar aylarında “Free Cooling” yaparak tasarrufa geçmesidir.

11.1.6. HVAC dışı bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri

Havalandırma - Klima sistemine ait olmayan ve tasarım programında dikkate alınan tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim maliyetleri aylık bazda çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.6 ve Şekil 11.5).

Çizelge 11.6. VAV Sistemi HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

Ay	Aydınlatma (TL)	Elektrikli Ekipman (TL)	HVAC Dışı Toplam (TL)
Ocak	2.350	2.122	4.472
Şubat	2.061	1.873	3.934
Mart	2.190	2.007	4.196
Nisan	1.080	2.039	3.119
Mayıs	1.112	2.084	3.196
Haziran	1.035	1.959	2.995
Temmuz	1.121	2.120	3.241
Ağustos	1.068	2.005	3.072
Eylül	1.079	2.037	3.116
Ekim	1.123	2.122	3.245
Kasım	2.094	1.924	4.017
Aralık	2.350	2.122	4.472
Toplam	18.661	24.414	43.075



Şekil 11.5. VAV Sistemi HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

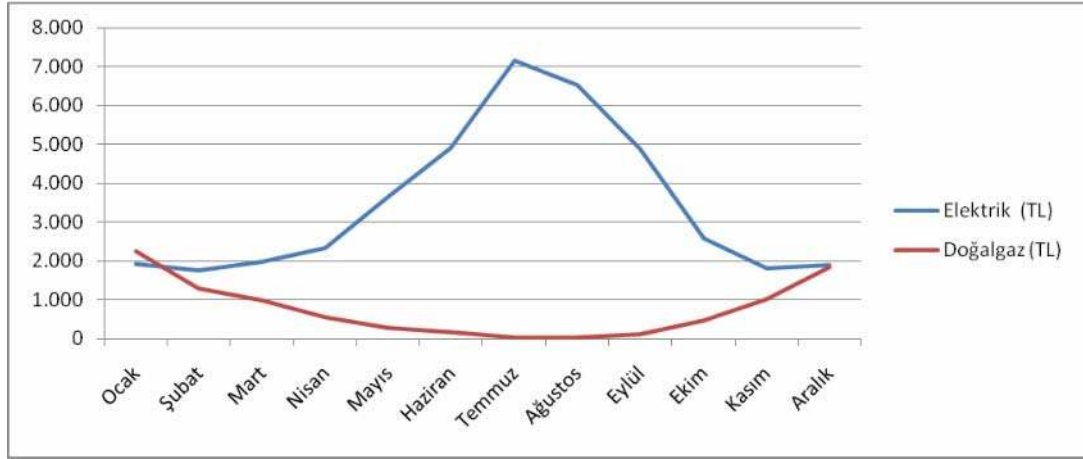
Elektrikli ekipmanların ve aydınlatma sistemini oldukça yüksek bir işletme maliyeti olduğu yukarıdaki grafiklerden görülebilmektedir. Özellikle ofis binalarında devamlı çalışan çok sayıdaki bilgisayar bu tüketimi ciddi oranda artırmaktadır.

11.1.7. HVAC enerji maliyetleri

Tam Havalı İklimlendirme sisteminin HVAC bileşenlerinin Elektrik ve Doğalgaz maliyetleri aylık bazda çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.7 ve Şekil 11.6).

Çizelge 11.7. VAV Sistemi HVAC Enerji Maliyetleri

Ay	Elektrik (TL)	Doğalgaz (TL)
Ocak	1.912	2.252
Şubat	1.748	1.281
Mart	1.980	988
Nisan	2.329	541
Mayıs	3.636	268
Haziran	4.909	167
Temmuz	7.147	24
Ağustos	6.533	29
Eylül	4.875	116
Ekim	2.580	484
Kasım	1.823	1.010
Aralık	1.898	1.844
Toplam	41.369	9.003



Şekil 11.6. VAV Sistemi HVAC Enerji Maliyetleri

Yaz aylarında oldukça yükselen elektrik maliyetinin temel sorumlusu, tamamen elektriğe bağımlı çalışan Soğutma sistemidir.

11.2. FanCoil + Taze Hava

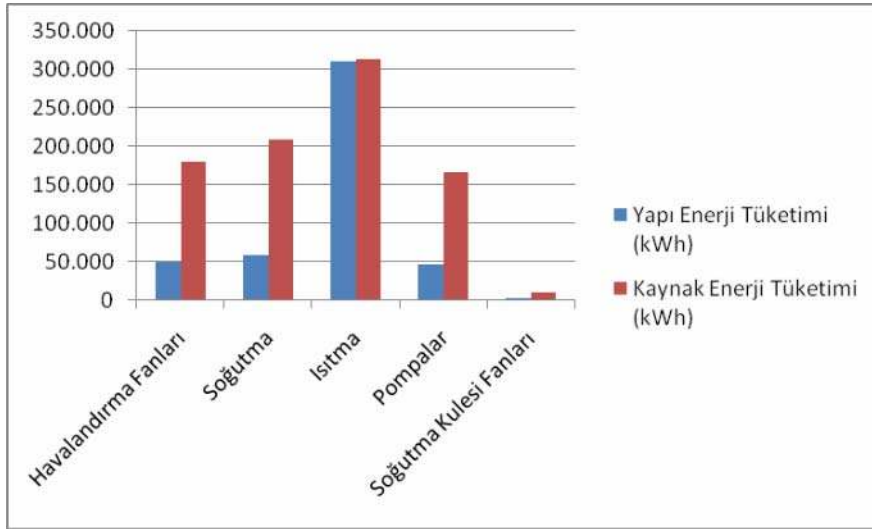
FanCoil + Taze Hava sistemi için elde edilen tüm simülasyon çıktıları bu başlık altında verilmiştir.

11.2.1. Bileşen bazlı yıllık enerji tüketimi

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim miktarları çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.8 ve Şekil 11.7). “Yapı Enerji Tüketimi” simülasyonu yapılan binanın enerji sayacında ölçülen değeri, “Kaynak Enerji Tüketimi” ise sayaçta okunan enerji miktarını üretmek için gerekli ülke kaynağı enerji miktarını göstermektedir. Aradaki farkı oluşturan temel etken oldukça düşük olan elektriğin taşınma verimidir.

Çizelge 11.8. FanCoil+Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi

Bileşen	Yapı Enerji Tüketimi (kWh)	Yapı Enerji Birim Tüketimi (kWh/m ²)	Kaynak Enerji Tüketimi (kWh)	Kaynak Enerji Birim Tüketimi (kWh/m ²)
Havalandırma Fanları	50.456	11,146	180.201	39,806
Soğutma	58.513	12,925	208.974	46,162
Isıtma	310.562	68,602	312.978	69,136
Pompalar	46.765	10,33	167.019	36,894
Soğutma Kulesi Fanları	3.112	0,687	11.114	2,455
HVAC Toplam	469.408	103,691	880.286	194,452



Şekil 11.7. FanCoil+Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi

Fancoil + Taze Hava sisteminde hem Yapı hem de Kaynak Enerji Tüketimi olarak esas etkenin Isıtma sistemi olduğu görülmektedir (Çizelge 11-9).

11.2.2. Kaynak bazlı yıllık enerji tüketimi

Tam havalı iklimlendirme sisteminin yıl boyunca harcadığı elektrik ve doğalgaz tüketimleri aşağıdaki tablo ile verilmiştir.

Çizelge 11.9. FanCoil+ Taze Hava Kaynak Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi

Kaynak	Tüketim
Elektrik (kWh)	159.791
Doğal Gaz (m3)	29.100

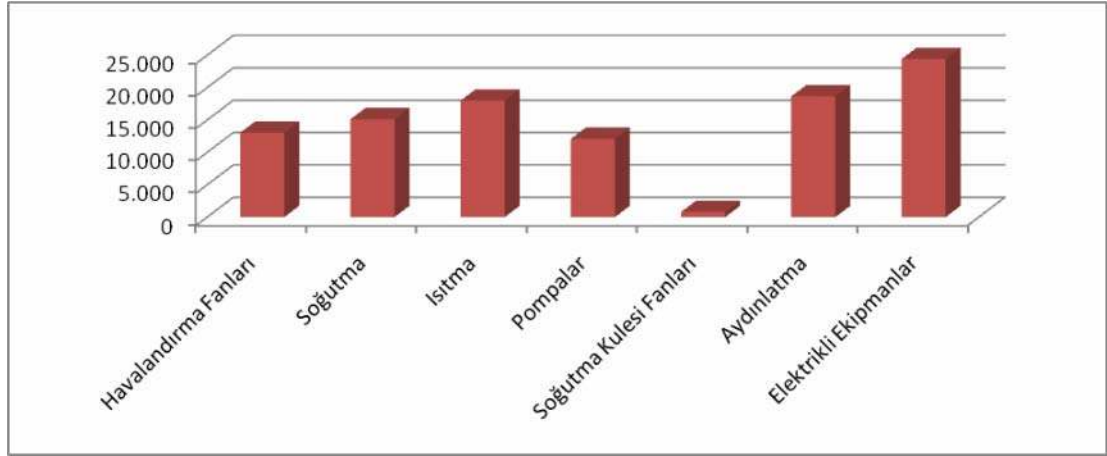
11.2.3. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyetleri

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim maliyetleri çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.10 ve Şekil 11.8).

Çizelge 11.10. FanCoil + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri

Bileşen	Yıllık İşletme Maliyeti
---------	-------------------------

	(TL)
Havalandırma Fanları	13.044
Soğutma	15.124
Isıtma	18.009
Pompalar	12.088
Soğutma Kulesi Fanları	804
HVAC Ara Toplam	59.069
Aydınlatma	18.660
Elektrikli Ekipmanlar	24.412
HVAC Dışı Ara Toplam	43.072
Genel Toplam	102.141



Şekil 11.8. FanCoil + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri

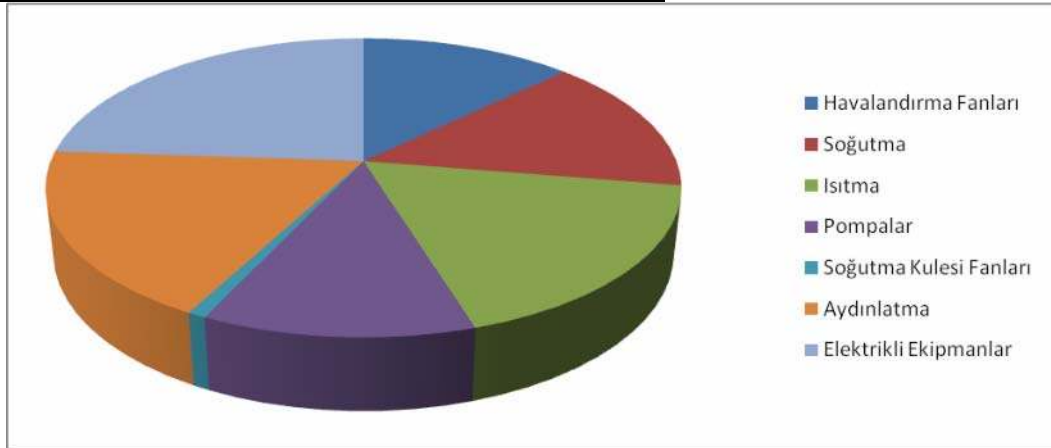
Elektrik birim fiyatlarının doğalgaza göre daha yüksek olması burada etkisini göstermiş, enerji tüketimi Isıtma Sistemine göre çok daha az olan Havalandırma Fanları'nın işletme maliyeti Isıtma Sistemine oldukça yaklaşımıştır.

11.2.4. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyeti oranları

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim maliyetlerinin yüzde oranları çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.11 ve Şekil 11.9).

Çizelge 11.11. FanCoil + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları

Bileşen	Yıllık İşletme Maliyeti (%)
Havalandırma Fanları	12,8
Soğutma	14,8
Isıtma	17,6
Pompalar	11,8
Soğutma Kulesi Fanları	0,8
HVAC Ara Toplam	57,8
Aydınlatma	18,3
Elektrikli Ekipmanlar	23,9
HVAC Dışı Ara Toplam	42,2
Genel Toplam	100



Şekil 11.9. FanCoil + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları

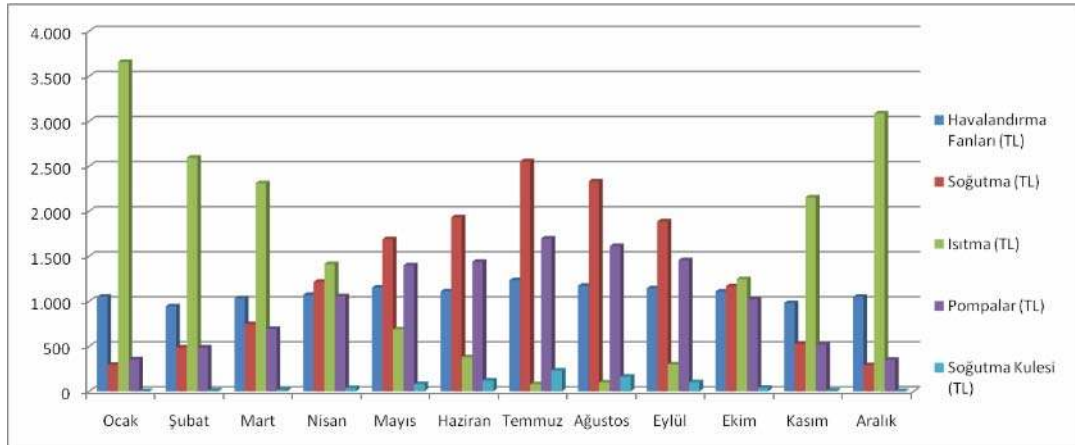
11.2.5. HVAC bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan aylık enerji tüketim maliyetleri çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.12 ve Şekil 11.10).

Çizelge 11.12. FanCoil + Taze Hava HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

Ay	Havalandırma Fanları (TL)	Soğutma (TL)	Isıtma (TL)	Pompalar (TL)	Soğutma Kulesi (TL)	HVAC Toplam (TL)
Ocak	1.050	296	3.659	356	4	5.365

Şubat	944	487	2.596	486	7	4.520
Mart	1.033	746	2.311	693	14	4.797
Nisan	1.071	1.216	1.414	1.057	36	4.794
Mayıs	1.151	1.689	688	1.400	81	5.009
Haziran	1.109	1.933	378	1.439	118	4.977
Temmuz	1.233	2.553	80	1.697	231	5.794
Ağustos	1.172	2.332	98	1.614	162	5.378
Eylül	1.145	1.888	300	1.456	100	4.889
Ekim	1.107	1.168	1.246	1.019	39	4.579
Kasım	980	526	2.154	520	9	4.189
Aralık	1.048	290	3.084	351	4	4.777
Toplam	13.044	15.124	18.009	12.088	804	59.069



Şekil 11.10. FanCoil + Taze Hava HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

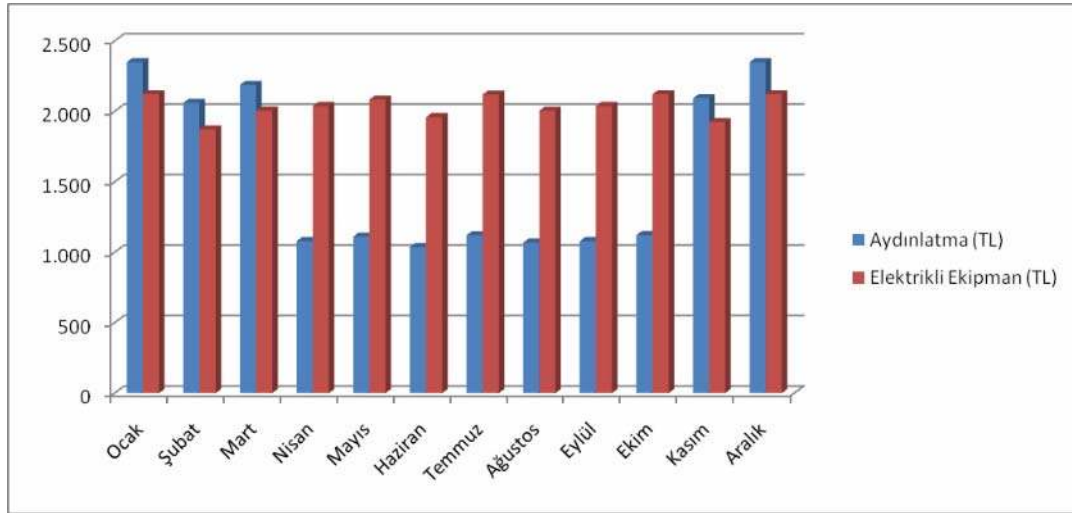
Aylık bazda elde edilen bu tablo ve grafiklerden mevsimsel etkiler açıkça görülebilmektedir. Isıtma ve Soğutma sistemlerinin birbirlerine ters bir biçimde yıllık bazda bir hiperbol yarattığı görülebilmektedir. Tam Havalı iklimlendirme sisteminden farklı olarak Havalandırma Fanları, tüm yıl boyunca sabit bir maliyet oluşturmaktadır. Bunun sebebi bu sistemde hava kanalları ile yalnızca havalandırma ihtiyacı ortama taşınması, statik ısıtma ve soğutma ihtiyacının ise FanCoiller ile sağlanmasıdır.

11.2.6. HVAC dışı bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri

Havalandırma - Klima sistemine ait olmayan ve tasarım programında dikkate alınan tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim maliyetleri aylık bazda çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.13 ve Şekil 11.11).

Çizelge 11.13. FanCoil + Taze Hava HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

Ay	Aydınlatma (TL)	Elektrikli Ekipman (TL)	HVAC Dışı Toplam (TL)
Ocak	2.350	2.122	4.472
Şubat	2.061	1.872	3.933
Mart	2.189	2.006	4.196
Nisan	1.079	2.038	3.118
Mayıs	1.111	2.084	3.195
Haziran	1.036	1.959	2.995
Temmuz	1.121	2.120	3.242
Ağustos	1.068	2.005	3.073
Eylül	1.079	2.038	3.116
Ekim	1.122	2.122	3.244
Kasım	2.093	1.924	4.017
Aralık	2.350	2.122	4.472
Toplam	18.660	24.412	43.072



Şekil 11.11. FanCoil + Taze Hava HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

Elektrikli ekipmanların ve aydınlatma sistemini oldukça yüksek bir işletme maliyeti olduğu yukarıdaki grafiklerden görülebilmektedir. Özellikle ofis binalarında devamlı çalışan çok sayıdaki bilgisayar bu tüketimi ciddi oranda artırmaktadır.

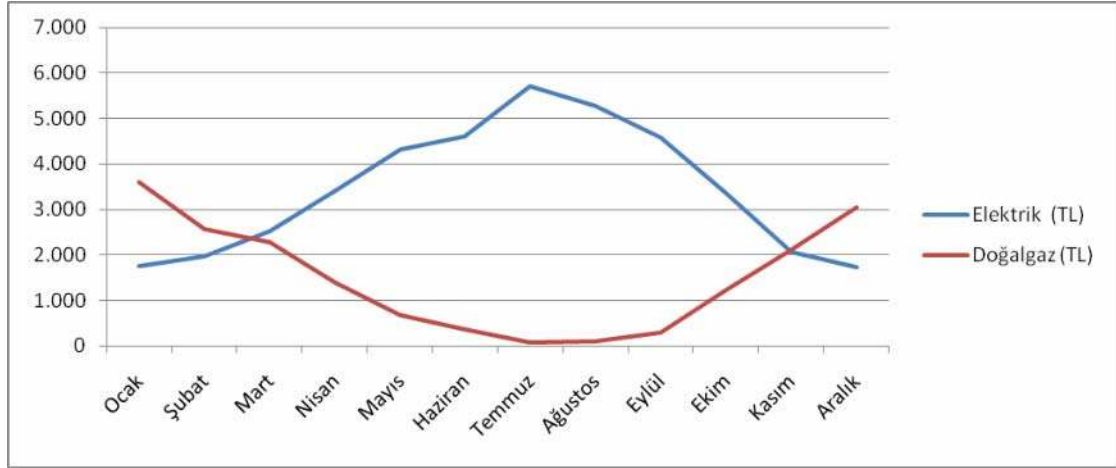
11.2.7. HVAC enerji maliyetleri

FanCoil + Taze Hava sisteminin HVAC bileşenlerinin Elektrik ve Doğalgaz maliyetleri aylık bazda çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.14 ve Şekil 11.12).

Çizelge 11.14. FanCoil + Taze Hava HVAC Enerji Maliyetleri

Ay	Elektrik (TL)	Doğalgaz (TL)
Ocak	1.755	3.610
Şubat	1.960	2.561
Mart	2.516	2.279
Nisan	3.400	1.395
Mayıs	4.330	679
Haziran	4.604	373
Temmuz	5.715	79
Ağustos	5.280	97

Eylül	4.593	296
Ekim	3.350	1.229
Kasım	2.064	2.125
Aralık	1.735	3.043
Toplam	41.303	17.766



Şekil 11.12. FanCoil + Taze Hava HVAC Enerji Maliyetleri

Yaz aylarında oldukça yükselen elektrik maliyetinin temel sorumlusu, tamamen elektriğe bağımlı çalışan Soğutma sistemidir.

11.3. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava

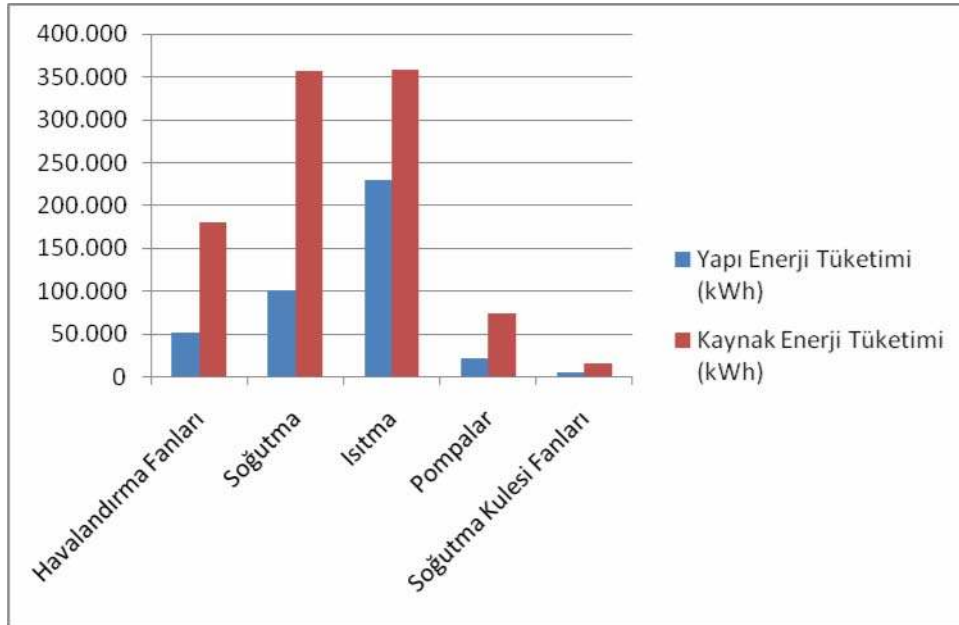
Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (WSHP) için elde edilen tüm simülasyon çıktıları bu başlık altında verilmiştir.

11.3.1. Bileşen bazlı yıllık enerji tüketimi

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim miktarları çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.15 ve Şekil 11.13). “Yapı Enerji Tüketimi” simülasyonu yapılan binanın enerji sayacında ölçülen değeri, “Kaynak Enerji Tüketimi” ise sayaçta okunan enerji miktarını üretmek için gerekli ülke kaynağı enerji miktarını göstermektedir. Aradaki farkı oluşturan temel etken oldukça düşük olan elektriğin taşınma verimidir.

Çizelge 11.15. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi

Bileşen	Yapı Enerji Tüketimi (kWh)	Yapı Enerji Birim Tüketimi (kWh/m ²)	Kaynak Enerji Tüketimi (kWh)	Kaynak Enerji Birim Tüketimi (kWh/m ²)
Havalandırma Fanları	50.311	11,114	179.681	39,691
Soğutma	99.946	22,078	356.949	78,849
Isıtma	228.582	50,493	357.776	79,032
Pompalar	20.618	4,554	73.635	16,266
Soğutma Kulesi Fanları	4.388	0,969	15.670	3,461
HVAC Toplam	403.844	89,208	983.712	217,299



Şekil 11.13. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi

WSHP sisteminde yapıdaki tüketime bakıldığında en fazla tüketimin ısıtma sistemine ait olduğu görülmektedir. FanCoil+Taze Hava Sisteminden farklı olarak Isıtma Sisteminde Yapı ve Kaynak Enerji tüketimleri birbirin eşit değildir. Bunun sebebi WSHP sisteminin ısıtma esnasında da kendi üzerindeki ısı pompasını kullanması ve elektrik tüketmesidir.

11.3.2. Kaynak bazlı yıllık enerji tüketimi

WSHP sisteminin yıl boyunca harcadığı elektrik ve doğalgaz tüketimleri aşağıdaki tablo ile verilmiştir (Çizelge 11.16).

Çizelge 11.16. Kaynak Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi

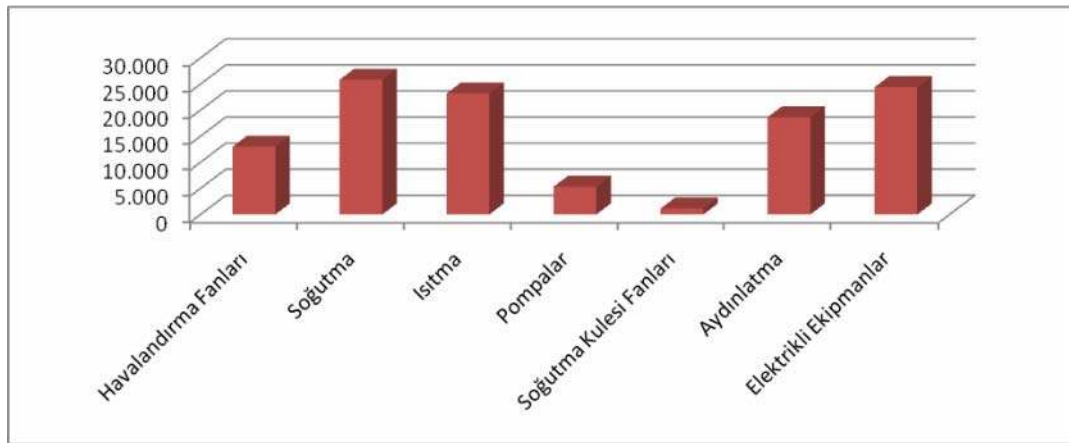
Kaynak	Tüketim
Elektrik (kWh)	225.514
Doğal Gaz (m3)	16.761

11.3.3. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyetleri

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim maliyetleri çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11-17 ve Şekil 11.14).

Çizelge 11.17. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri

Bileşen	Yıllık İşletme Maliyeti (TL)
Havalandırma Fanları	13.001
Soğutma	25.824
Isıtma	23.217
Pompalar	5.328
Soğutma Kulesi Fanları	1.134
HVAC Ara Toplam	68.503
Aydınlatma	18.650
Elektrikli Ekipmanlar	24.401
HVAC Dışı Ara Toplam	43.052
Genel Toplam	111.555



Şekil 11.14. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyetleri

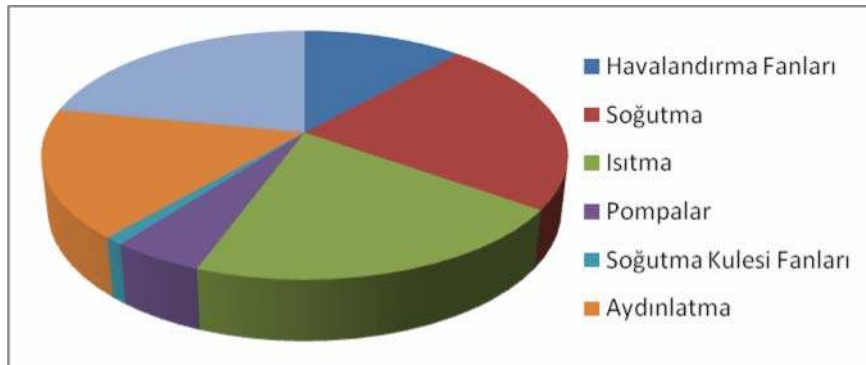
Elektrik birim fiyatlarının doğalgaza göre daha yüksek olması burada etkisini göstermiş, enerji tüketimi Isıtma Sistemine göre daha az olan Soğutma Sistemi'nin işletme maliyeti daha yüksek olmuştur.

11.3.4. Bileşen bazlı yıllık işletme maliyeti oranları

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim maliyetlerinin yüzde oranları çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.18 ve Şekil 11.15).

Çizelge 11.18. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları

Bileşen	Yıllık İşletme Maliyeti (%)
Havalandırma Fanları	11,7
Soğutma	23,1
Isıtma	20,8
Pompalar	4,8
Soğutma Kulesi Fanları	1
HVAC Ara Toplam	61,4
Aydınlatma	16,7
Elektrikli Ekipmanlar	21,9
HVAC Dışı Ara Toplam	38,6
Genel Toplam	100



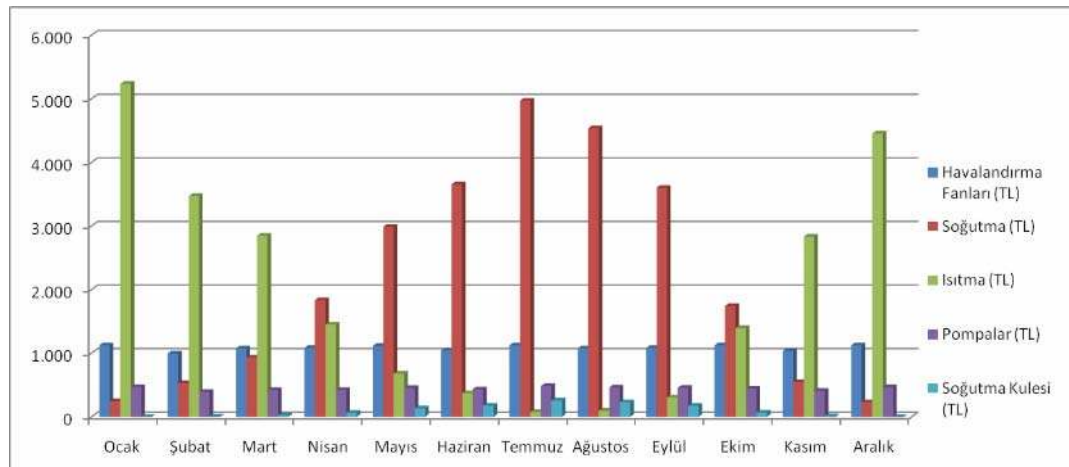
Şekil 11.15. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Bileşen Bazlı Yıllık İşletme Maliyeti Oranları

11.3.5. HVAC bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan aylık enerji tüketim maliyetleri çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.19 ve Şekil 11.16).

Çizelge 11.19. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

Ay	Havalandırma Fanları (TL)	Soğutma (TL)	Isıtma (TL)	Pompalar (TL)	Soğutma Kulesi (TL)	HVAC Toplam (TL)
Ocak	1.124	246	5.236	471	0	7.077
Şubat	997	528	3.470	394	7	5.396
Mart	1.077	931	2.847	424	21	5.300
Nisan	1.082	1.834	1.454	424	63	4.857
Mayıs	1.115	2.989	679	454	132	5.369
Haziran	1.043	3.657	371	433	174	5.678
Temmuz	1.123	4.972	79	485	256	6.915
Ağustos	1.077	4.539	95	463	231	6.405
Eylül	1.081	3.602	304	455	172	5.614
Ekim	1.124	1.743	1.395	444	67	4.773
Kasım	1.035	551	2.834	410	11	4.841
Aralık	1.124	231	4.453	470	0	6.278
Toplam	13.001	25.824	23.217	5.328	1.134	68.503



Şekil 11.16. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

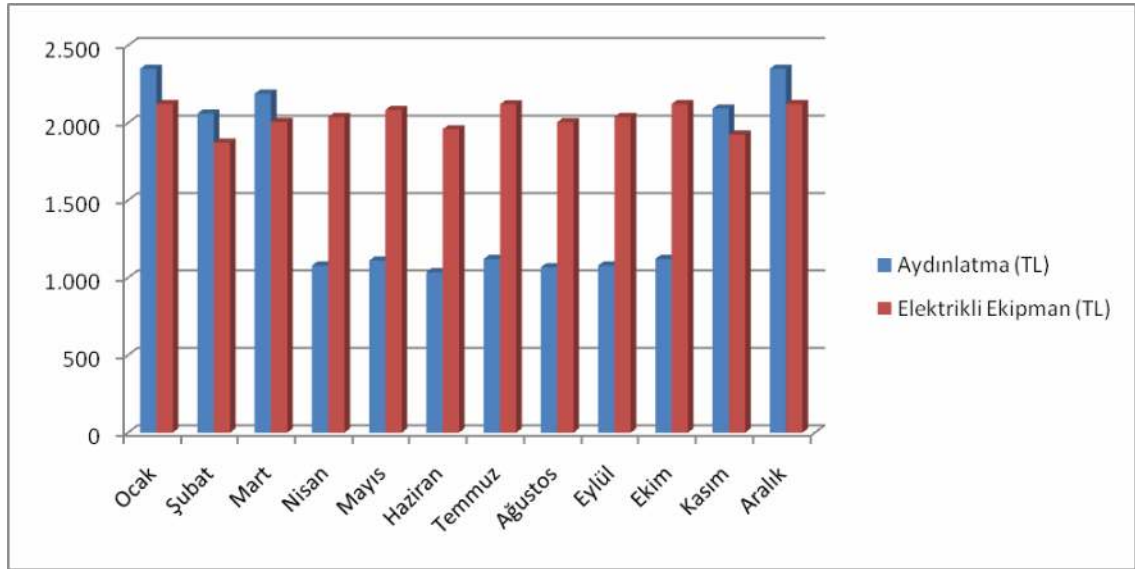
Aylık bazda elde edilen bu tablo ve grafiklerden mevsimsel etkiler açıkça görülebilmektedir. Isıtma ve Soğutma sistemlerinin birbirlerine ters bir biçimde yıllık bazda bir hiperbol yarattığı görülebilmektedir. FanCoil + Taze Hava sistemine benze olarak Havalandırma Fanları, tüm yıl boyunca sabit bir maliyet oluşturmaktadır. Bunun sebebi bu sistemde hava kanalları ile yalnızca havalandırma ihtiyacı ortama taşınması, statik ısıtma ve soğutma ihtiyacının ise Isı Pompaları ile sağlanmasıdır.

11.3.6. HVAC dışı bileşen bazlı aylık işletme maliyetleri

Havalandırma - Klima sistemine ait olmayan ve tasarım programında dikkate alınan tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim maliyetleri aylık bazda çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.20 ve Şekil 11.17).

Çizelge 11.20. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

Ay	Aydınlatma (TL)	Elektrikli Ekipman (TL)	HVAC Dışı Toplam (TL)
Ocak	2.350	2.122	4.472
Şubat	2.061	1.872	3.933
Mart	2.189	2.006	4.196
Nisan	1.079	2.038	3.118
Mayıs	1.111	2.084	3.195
Haziran	1.036	1.959	2.995
Temmuz	1.121	2.120	3.242
Ağustos	1.068	2.005	3.073
Eylül	1.079	2.038	3.116
Ekim	1.122	2.122	3.244
Kasım	2.093	1.924	4.017
Aralık	2.350	2.122	4.472
Toplam	18.660	24.412	43.072



Şekil 11.17. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Dışı Bileşen Bazlı Aylık İşletme Maliyetleri

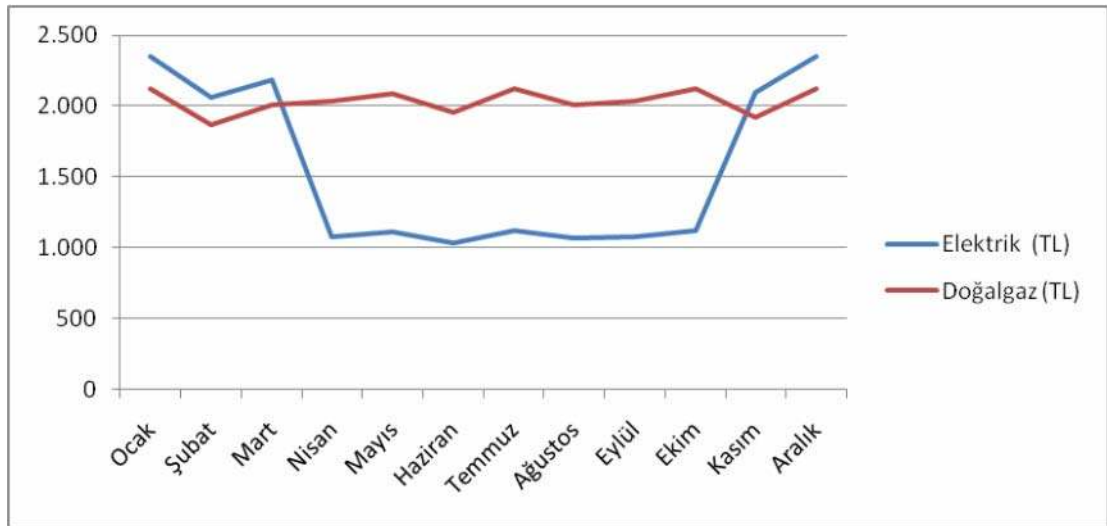
Elektrikli ekipmanların ve aydınlatma sistemini oldukça yüksek bir işletme maliyeti olduğu yukarıdaki grafiklerden görülebilmektedir. Özellikle ofis binalarında devamlı çalışan çok sayıdaki bilgisayar bu tüketimi ciddi oranda artırmaktadır.

11.3.7. HVAC enerji maliyetleri

Tam Havalı İklimlendirme sisteminin HVAC bileşenlerinin Elektrik ve Doğalgaz maliyetleri aylık bazda çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 11.21 ve Şekil 11.18).

Çizelge 11.21. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Enerji Maliyetleri

Ay	Elektrik (TL)	Doğalgaz (TL)
Ocak	2.348	2.120
Şubat	2.060	1.871
Mart	2.188	2.005
Nisan	1.079	2.038
Mayıs	1.111	2.083
Haziran	1.035	1.959
Temmuz	1.121	2.120
Ağustos	1.068	2.005
Eylül	1.078	2.037
Ekim	1.122	2.121
Kasım	2.092	1.922
Aralık	2.348	2.120
Toplam	18.650	24.401



Şekil 11.18. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava HVAC Enerji Maliyetleri

12. SİMÜLASYON KARŞILAŞTIRMASI

Üç ayrı seçenek için yapılan simülasyonların sonuçları bu bölümde grafikler ve tablolar ile karşılaştırılacaktır. Sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koyan bu karşılaştırmalar tezin temel amacına hizmet vermektedir.

Uygulanan üç ayrı seçeneğin Enerji Analizi yapılmış, her seçeneğin harcadığı yıllık enerji miktarları ve kaynak enerji harcamaları karşılaştırılmış, ülke kaynaklarından hangi sistemin göreceli olarak daha az veya daha fazla harcama yaptığı ortaya konmuştur.

Ayrıca örnek ofis binasında, yalnızca işletme maliyetleri dikkate alındığında seçilmesi gereken sistem aşağıda verilen tablolardan çıkarılabilmektedir.

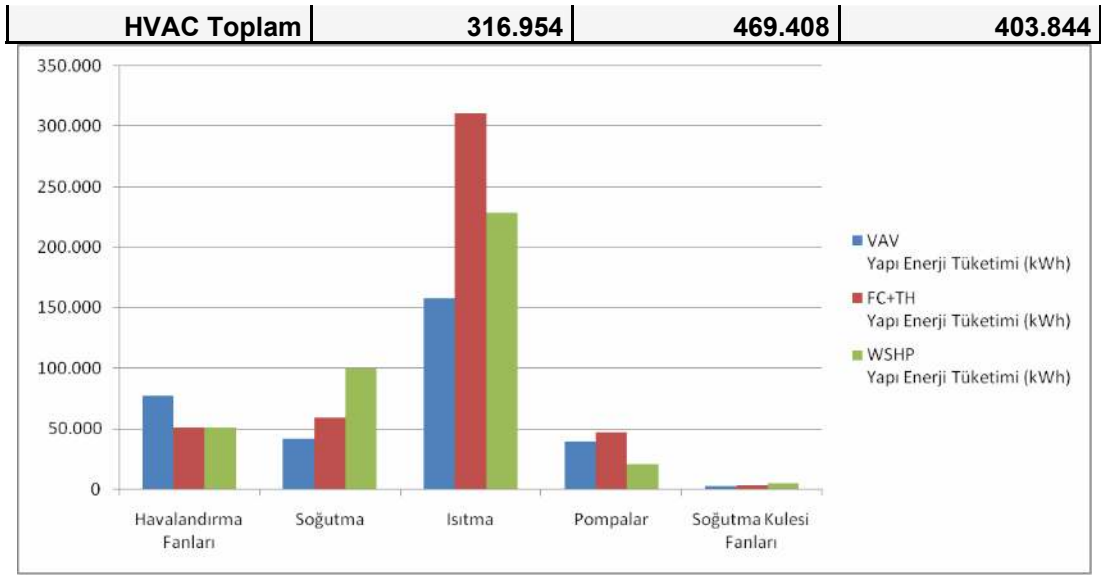
Bu sistemler için piyasadan alınan teklif fiyatlarının, işletme maliyetlerine göre karşılaştırılması ve toplam maliyet analizi bir sonraki bölümde incelenmiştir.

12.1. Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi Karşılaştırması

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim miktarları çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 12.1 ve Şekil 12.1). “Yapı Enerji Tüketimi” simülasyonu yapılan binanın enerji sayacında ölçülen değeri göstermektedir.

Çizelge 12.1. Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi Karşılaştırması

Bileşen	VAV Yapı Enerji Tüketimi (kWh)	FC+TH Yapı Enerji Tüketimi (kWh)	WSHP Yapı Enerji Tüketimi (kWh)
Havalandırma Fanları	76.773	50.456	50.311
Soğutma	41.426	58.513	99.946
Isıtma	157.379	310.562	228.582
Pompalar	38.999	46.765	20.618
Soğutma Kulesi Fanları	2.377	3.112	4.388



Şekil 12.1. Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi Karşılaştırması

Bu başlık altında örnek ofis binasına uygulanması kurgulanan üç ayrı seçeneğin bileşenlerinin ayrı ayrı enerji harcamaları incelenmiştir. Elektrik veya doğalgaz harcamalarının hepsi kWh cinsinden hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

12.1.1. Havalandırma fanları

Havalandırma fanlarının harcadığı enerjiler karşılaştırıldığında VAV sisteminin diğer iki sisteme göre oldukça fazla enerji tükettiği görülmektedir. Bunun sebebi VAV sisteminin statik ısıtma-soğutma cihazlarına sahip olmaması (FanCoil gibi) ve bu sebeple ortam ısıtma soğutma ihtiyacının da hava ile sağlanması ve bu sebeple yüksek hava debilerinin oluşmasıdır.

Diğer iki sistemin ise havalandırma fanı enerji tüketimleri neredeyse aynıdır. Bu sonucun oluşması normaldir. Çünkü iki sistemde de havalandırma fanları yalnızca taze hava ihtiyacı için çalışmakta, statik ısıtma ve soğutma ihtiyacını FanCoil ve Su Kaynaklı Isı Pompaları karşılamaktadır.

12.1.2. Soğutma sistemi

Soğutma Sistemi enerji tüketimleri karşılaştırıldığında birbiri arasında farklılık gösteren bir tablo oluşmaktadır. VAV sisteminin statik ısıtma ve soğutma yüklerini de hava sirkülasyonu ile yapıyor olması Havalandırma Fanları işletme maliyetini artırırken soğutma sistemi işletme maliyetinde ciddi düşüş elde edilmiştir. Bu farkın oluşmasındaki en büyük sebeplerden biri VAV sisteminin bahar aylarında "Free-Cooling" yapabiliyor olması diğeri ise VAV sisteminde Isı Geri Kazanımı uygulanıyor olmasıdır.

Su kaynaklı ısı pompası sisteminde hacmin statik ısıtma-soğutma yükünü, elektrikle çalışan kompresörler vasıtasıyla üreten bu cihazların her odada bir kompresör çalıştırması enerji tüketimini artırmaktadır. Merkezi bir chiller ile elde edilen soğutma enerjisinin dağıtıldığı FanCoil sisteminde ile bu sistem, apartmanlardaki kombi ve merkezi sistem ısıtma tesisatı ile benzeştirilebilir.

12.1.3. Isıtma sistemi

Isıtma sistemi enerji tüketimleri karşılaştırıldığında, VAV sisteminde uygulanan ısı geri kazanımının avantajı açıkça görülebilmektedir. Su Kaynaklı Isı Pompası sisteminde ise soğutma enerji tüketiminde dezavantaj yaratan durum burada avantaja dönüşmüştür. Her hacimde bir kompresör ve gaz devresi ile ısıtma üreten sistem, FanCoil+Taze Hava sisteminde olduğu gibi, tüm ısıtma enerjisini doğalgazdan direk olarak almamakta, belirli bir COP değeri doğrultusunda kaynaktan az enerji tüketmektedir.

12.1.4. Pompalar

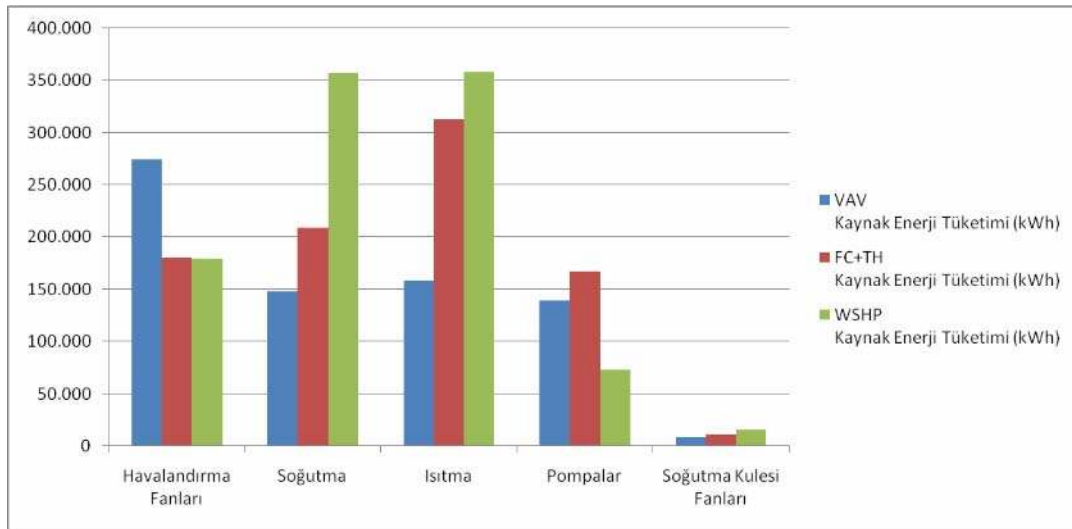
Pompaların genel enerji tüketiminde payı küçük olsa da, Su Kaynaklı ısı Pompası sisteminin burada avantajlı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yukarıda bahsedildiği gibi, Sistemin kullanılan cihazların COP değeri doğrultusunda merkezi sistemden daha az enerji çekmesi ve daha az pompalama ihtiyacı doğurmasıdır.

12.2. Bileşen Bazlı Yıllık Kaynak Enerji Tüketimi Karşılaştırması

Havalandırma - Klima sistemine ait tüm bileşenler için ayrı ayrı hesaplanan enerji tüketim miktarları çizelge ve grafik olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 12.2 ve Şekil 12.2). “Kaynak Enerji Tüketimi” ise sayaçta okunan enerji miktarını üretmek için gerekli ülke kaynağı enerji miktarını göstermektedir.

Çizelge 12.2. Bileşen Bazlı Yıllık Kaynak Enerji Tüketimi Karşılaştırması

Bileşen	VAV Kaynak Enerji Tüketimi (kWh)	FC+TH Kaynak Enerji Tüketimi (kWh)	WSHP Kaynak Enerji Tüketimi (kWh)
Havalandırma Fanları	274.188	180.201	179.681
Soğutma	147.951	208.974	356.949
Isıtma	158.603	312.978	357.776
Pompalar	139.283	167.019	73.635
Soğutma Kulesi Fanları	8.490	11.114	15.670
HVAC Toplam	728.515	880.286	983.712



Şekil 12.2. Bileşen Bazlı Yıllık Kaynak Enerji Tüketimi Karşılaştırması

Bu başlık altında sistemlerin enerji tüketimlerinin, kaynak enerji tüketimlerini ne kadar etkilediği incelenecektir. Türkiye’de elektrik enerjisi dağıtım veriminin %28 olarak kabul edilmesi ile hesaplanan bu değerler, yapıda

harcanan elektrik enerjisinin, ne kadar elektrik enerjisi üretimini doğurduğunu göstermektedir.

Doğalgaz için bu verim %100 olarak alınmıştır.

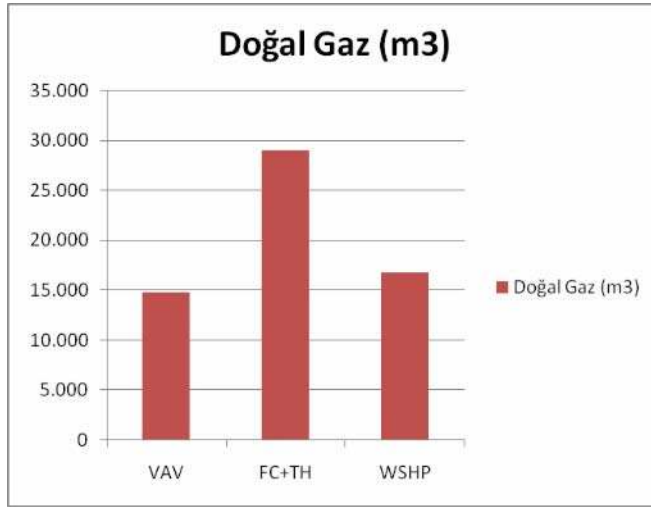
Grafik genel hatlarıyla bir önceki konuda verilen Bileşen Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi Karşılaştırması ile benzerlik göstermektedir. Tek değişiklik ısıtma sisteminde oluşmaktadır. Su Kaynaklı Isı Pompası sisteminin, biz gaz çevrimi kullanarak belirli bir COP oranında merkezi sistemden daha az enerji çektiğini söylemiştik. Yani Bu sistem ısıtma yaparken doğalgazın yanında elektrik enerjisi de tüketmekte idi. Elektriğin taşınma veriminin oldukça düşük olması sebebiyle, yapıda harcanan enerji miktarı (bir önceki başlıkta bahsedildiği gibi) FanCoil + Taze hava sisteminden çok daha azken, kaynak enerjisi tüketim miktarı FanCoil sisteminden daha çok olmuştur. Bu dezavantajın mali etkileri ilerleyen konularda açıklanacaktır.

12.3. Kaynak Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi Karşılaştırması

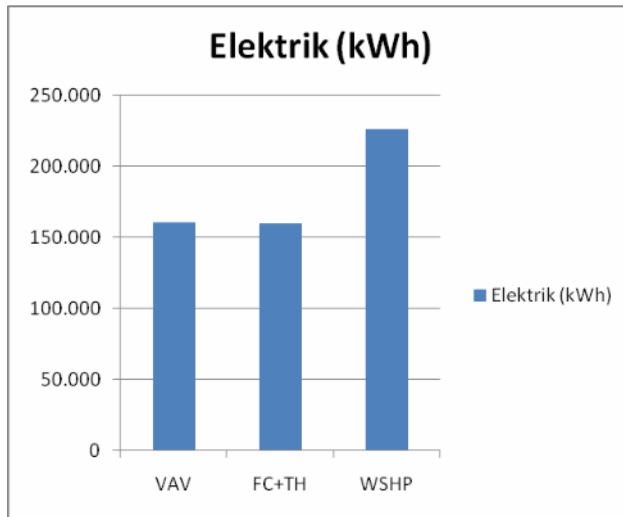
Yapıda uygulanan üç ayrı sistemin yıllık bazda harcadığı elektrik ve doğalgaz miktarları aşağıdaki çizelge ve grafiklerle verilmiştir (Çizelge 12.3, Şekil 12.3 ve 12.4).

Çizelge 12.3. Kaynak Bazlı Yıllık Enerji Tüketimi Karşılaştırması

Kaynak	VAV	FC+TH	WSHP
Elektrik (kWh)	160.059	159.791	225.514
Doğal Gaz (m3)	14.746	29.100	16.761



Şekil 12.3. Doğalgaz Tüketimi Karşılaştırması



Şekil 12.4. Elektrik Tüketimi Karşılaştırması

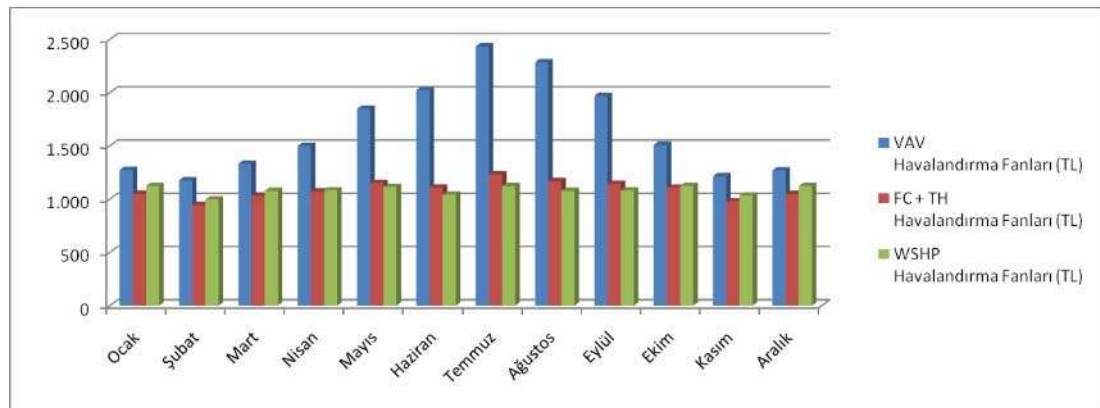
Bu başlıkta sistemlerin harcadığı toplam elektrik enerjileri ve doğalgaz miktarları karşılaştırılmıştır. VAV sisteminin toplamda oluşan avantajı burada da görülmektedir. FanCoil + Taze Hava ve Su Kaynaklı Isı Pompası sistemlerinin avantaj ve dezavantajları bir önceki bölümde anlatıldığı gibi zıt kaynaklarda ortaya çıkmaktadır.

12.4. Havalandırma Fanları Maliyeti Karşılaştırması

Yapıda uygulana üç ayrı sistemin yıllık Havalandırma Fanları maliyetlerinin karşılaştırılması aşağıda tablo ve grafiklerle verilmiştir (Çizelge 12.4 ve Şekil 12.5).

Çizelge 12.4. Havalandırma Fanları Maliyeti Karşılaştırması

Ay	VAV Havalandırma Fanları (TL)	FC + TH Havalandırma Fanları (TL)	WSHP Havalandırma Fanları (TL)
Ocak	1.275	1.050	1.124
Şubat	1.177	944	997
Mart	1.333	1.033	1.077
Nisan	1.500	1.071	1.082
Mayıs	1.848	1.151	1.115
Haziran	2.023	1.109	1.043
Temmuz	2.435	1.233	1.123
Ağustos	2.286	1.172	1.077
Eylül	1.971	1.145	1.081
Ekim	1.511	1.107	1.124
Kasım	1.216	980	1.035
Aralık	1.271	1.048	1.124
Toplam	19.846	13.044	13.001



Şekil 12.5. Havalandırma Fanları Maliyeti Karşılaştırması

Havalandırma fanlarının işletme maliyetleri karşılaştırıldığında, ilk sistemimiz olan VAV sisteminin diğer sistemlere göre oldukça yüksek giderler

oluşturduğunu görebilmekteyiz. Bunun sebebi VAV sisteminin statik ısıtma-soğutma cihazlarına sahip olmaması (FanCoil gibi) ve bu sebeple ortam ısıtma soğutma ihtiyacının da hava ile sağlanması ve bu sebeple yüksek hava debilerinin oluşmasıdır.

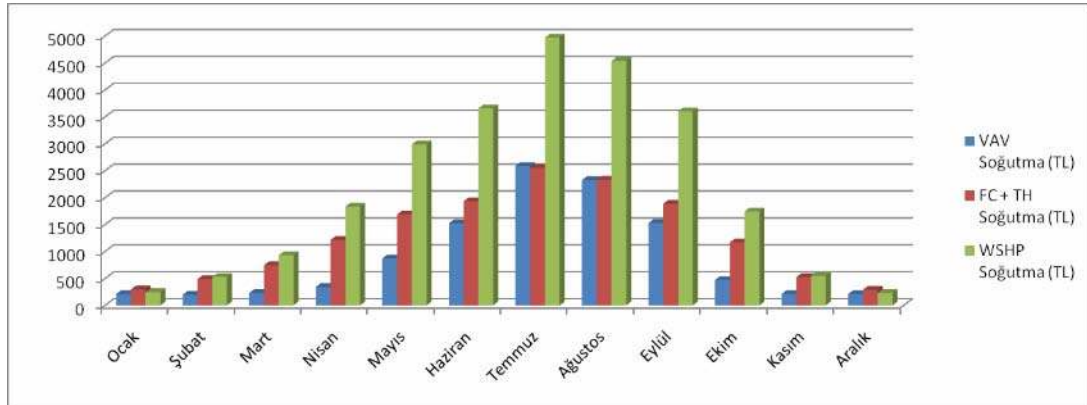
Diğer iki sistemin ise havalandırma fanı elektrik tüketimleri neredeyse aynıdır. Bu sonucun oluşması normaldir. Çünkü iki sistemde de havalandırma fanları yalnızca taze hava ihtiyacı için çalışmakta, statik ısıtma ve soğutma ihtiyacını FanCoil ve Su Kaynaklı Isı Pompaları karşılamaktadır.

12.5. Soğutma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması

Yapıda uygulana üç ayrı sistemin aylık Soğutma Sistemi maliyetlerinin karşılaştırılması aşağıda tablo ve grafiklerle verilmiştir (Çizelge 12.5 ve Şekil 12.6).

Çizelge 12.5. Soğutma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması

Ay	VAV Soğutma (TL)	FC + TH Soğutma (TL)	WSHP Soğutma (TL)
Ocak	211	296	246
Şubat	196	487	528
Mart	230	746	931
Nisan	340	1.216	1.834
Mayıs	871	1.689	2.989
Haziran	1.523	1.933	3.657
Temmuz	2.586	2.553	4.972
Ağustos	2.327	2.332	4.539
Eylül	1.530	1.888	3.602
Ekim	471	1.168	1.743
Kasım	212	526	551
Aralık	210	290	231
Toplam	10.706	15.124	25.824



Şekil 12.6. Soğutma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması

Soğutma Sistemi işletme maliyetleri karşılaştırıldığında birbiri arasında oldukça büyük farklılık gösteren bir tablo oluşmaktadır. VAV sisteminin statik ısıtma ve soğutma yüklerini de hava sirkülasyonu ile yapıyor olması Havalandırma Fanları işletme maliyetini artırırken soğutma sistemi işletme maliyetinde ciddi düşüş elde edilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi FanCoil sistemi ile karşılaştırıldığında bu fark bahar aylarında ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi bahar aylarında dış havanın direkt kullanımı ile “Free Cooling” yapılmasını sağlamasıdır.

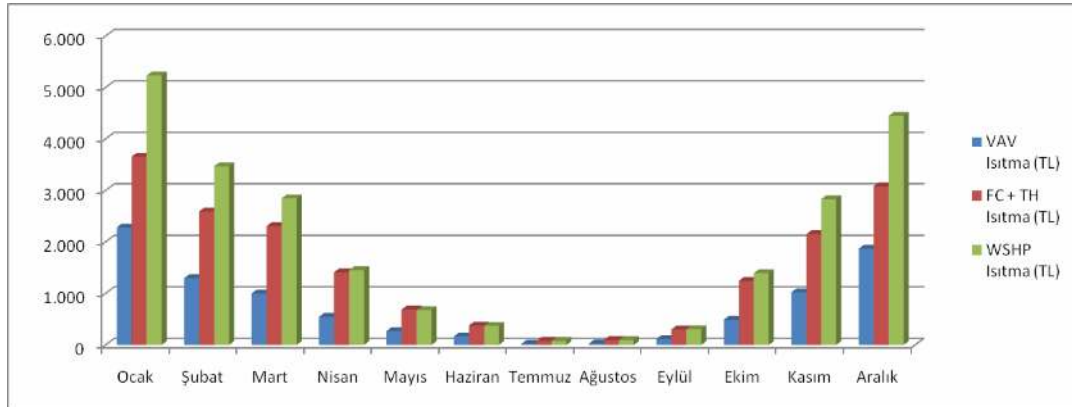
Su kaynaklı ısı pompası sisteminin en büyük dezavantajı soğutma sistemi işletme maliyetinde ortaya çıkmaktadır. Hacmin statik ısıtma-soğutma yükünü, elektrikle çalışan kompresörler vasıtasıyla üreten bu cihazların her odada bir kompresör çalıştırması işletme maliyetini oldukça artırmaktadır. Merkezi bir chiller ile elde edilen soğutma enerjisinin dağıtıldığı FanCoil sisteminde ile bu sistem, apartmanlardaki kombi ve merkezi sistem ısıtma tesisatı ile benzeştirilebilir.

12.6. Isıtma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması

Yapıda uygulana üç ayrı sistemin aylık Isıtma Sistemi maliyetlerinin karşılaştırılması aşağıda tablo ve grafiklerle verilmiştir (Çizelge 12.6 ve Şekil 12.7).

Çizelge 12.6. Isıtma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması

Ay	VAV Isıtma (TL)	FC + TH Isıtma (TL)	WSHP Isıtma (TL)
Ocak	2.283	3.659	5.236
Şubat	1.298	2.596	3.470
Mart	1.001	2.311	2.847
Nisan	548	1.414	1.454
Mayıs	272	688	679
Haziran	169	378	371
Temmuz	24	80	79
Ağustos	29	98	95
Eylül	117	300	304
Ekim	491	1.246	1.395
Kasım	1.024	2.154	2.834
Aralık	1.870	3.084	4.453
Toplam	9.126	18.009	23.217



Şekil 12.7. Isıtma Sistemi Maliyeti Karşılaştırması

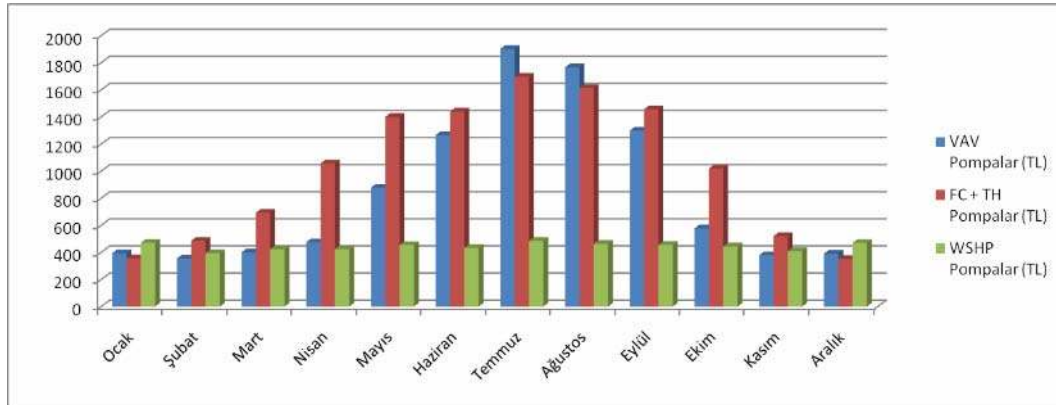
Soğutma sistemi maliyeti karşılaştırmasındaki temel hususların hepsi ısıtma sisteminde de nüksetmiştir. Ayrıca VAV sistemindeki görece yüksek hava debilerinin havadan havaya ısı geri kazanım eşanjörü ile ısı geri kazanım yapması da avantaj sağlamaktadır.

12.7. Pompa Elektrik Giderleri Karşılaştırması

Yapıda uygulana üç ayrı sistemin aylık Pompa maliyetlerinin karşılaştırılması aşağıda tablo ve grafiklerle verilmiştir (Çizelge 12.7 ve Şekil 12.8).

Çizelge 12.7. Pompa Elektrik Giderleri Karşılaştırması

Ay	VAV Pompalar (TL)	FC + TH Pompalar (TL)	WSHP Pompalar (TL)
Ocak	393	356	471
Şubat	354	486	394
Mart	400	693	424
Nisan	475	1.057	424
Mayıs	878	1.400	454
Haziran	1.266	1.439	433
Temmuz	1.902	1.697	485
Ağustos	1.766	1.614	463
Eylül	1.299	1.456	455
Ekim	577	1.019	444
Kasım	379	520	410
Aralık	390	351	470
Toplam	10.080	12.088	5.328



Şekil 12.8. Pompa Elektrik Giderleri Karşılaştırması

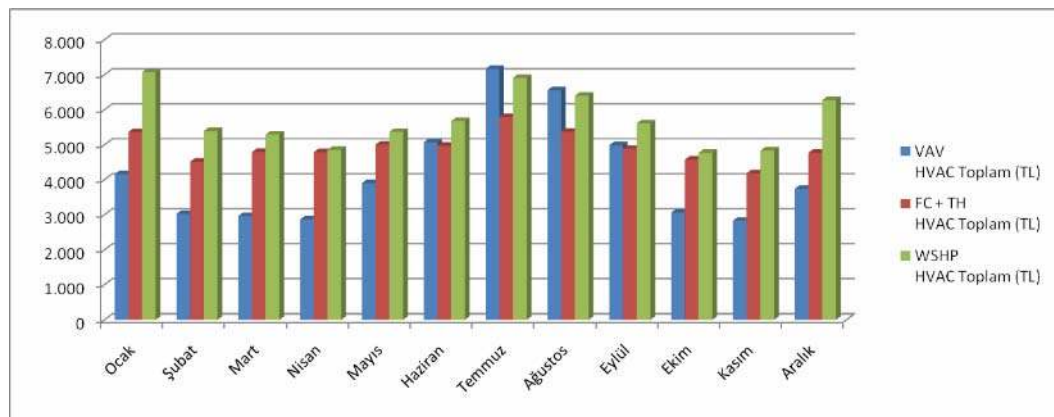
Merkezi soğutma ve merkezi ısıtma, VAV ve FanCoil sistemlerine ısıtma ve soğutmada avantaj sağlarken, merkezde elde edilen ısıtma ve soğutma enerjisini taşıma maliyetlerinde dezavantaj oluşturmuştur. Hâlbuki ısıtma-soğutma yükünü her mekânda elektrik ile çalışan kompresörler ile üreten Su Kaynaklı Isı Pompası sistemi pompa maliyetlerinde ciddi avantaj sağlamıştır.

12.8. Toplam HVAC Giderleri Karşılaştırması

Yapıda uygulana üç ayrı sistemin aylık Toplam Havalandırma sistemi maliyetlerinin karşılaştırılması aşağıda tablo ve grafiklerle verilmiştir (Çizelge 12.8 ve Şekil 12.9).

Çizelge 12.8. Toplam HVAC Giderleri Karşılaştırması

Ay	VAV HVAC Toplam (TL)	FC + TH HVAC Toplam (TL)	WSHP HVAC Toplam (TL)
Ocak	4.165	5.365	7.077
Şubat	3.028	4.520	5.396
Mart	2.967	4.797	5.300
Nisan	2.869	4.794	4.857
Mayıs	3.905	5.009	5.369
Haziran	5.075	4.977	5.678
Temmuz	7.171	5.794	6.915
Ağustos	6.561	5.378	6.405
Eylül	4.991	4.889	5.614
Ekim	3.064	4.579	4.773
Kasım	2.834	4.189	4.841
Aralık	3.744	4.777	6.278
Toplam	50.372	59.069	68.503



Şekil 12.9. Toplam HVAC Giderleri Karşılaştırması

Simülasyonu yapılan üç sistemin HVAC ilintili enerji maliyetleri yukarıdaki tablo ve grafikler ile karşılaştırılmıştır.

VAV sistemi, yukarıda bahsedildiği gibi, ısı geri kazanım ve “Free Cooling” kabiliyetlerinin sonucu olarak en az işletme maliyetini yaratmıştır. Ofis yapılarında en çok tercih edilen sistem olan FanCoil sistemi, VAV sistemine göre yıllık 9.000TL daha fazla harcamıştır. Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi ise ısıtma ve soğutma yüklerini merkezi değil yerel üretmesi sebebiyle diğer sistemlerden daha fazla işletme maliyeti oluşturmuştur.

13. HASSASİYET ANALİZİ

Örnek olarak ele anılan ofis binasında uygulanan üç ayrı HVAC sistemi için, bugün ki enerji fiyatları dikkate alınarak simülasyon yapılmış ve önceki bölümlerde ilgili sonuçlar listelenmiştir.

Enerji fiyatlarının oldukça değişken olduğu bugünlerde, elde edilen simülasyon değer ve sonuçlarının farklı enerji maliyet girdileri ile nasıl şekillendiğini görmek amacıyla hassasiyet analizi yapılmıştır.

Temel enerji girdileri olan elektrik ve doğalgaz fiyatlarının artması söz konusu olduğundan, bugün ki fiyat temel alınarak her sistemin işletme maliyeti yeniden hesaplanmıştır.

Enerji maliyetleri için bugün ki değer baz alınarak, %10'luk dilimler ile artış dikkate alınmış, en fazla %50 artış ile analiz yapılmıştır.

Buradan hareketle her sistem için 36 adet simülasyon yapılmış olup, üç ayrı sistem için toplam 108 adet simülasyon yapılmış ve sonuçları aşağıda sunulmuştur.

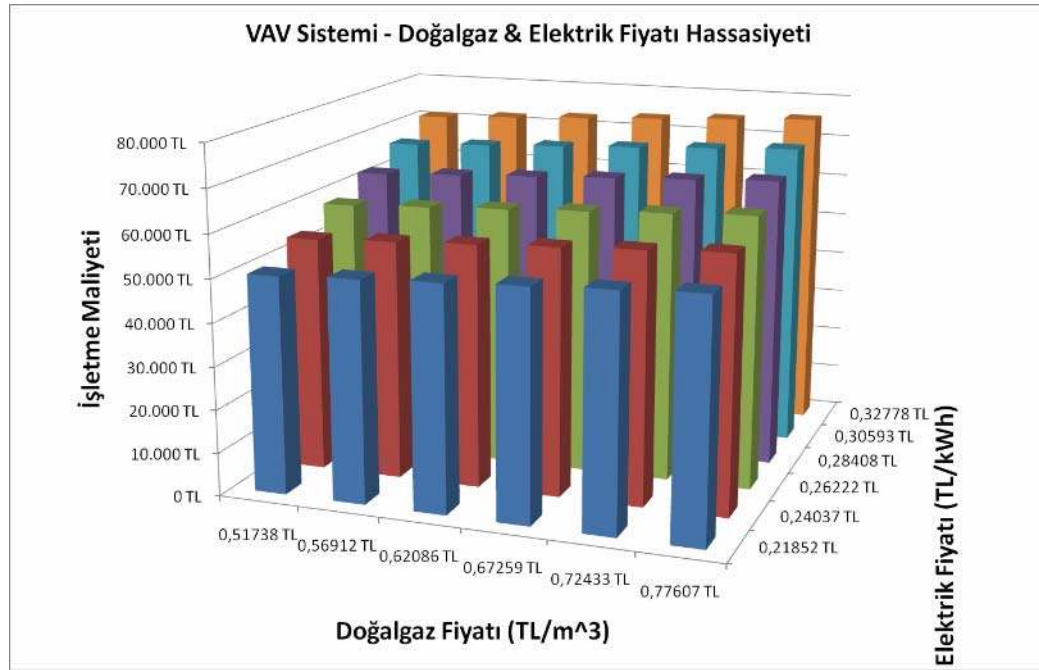
13.1. Tam Havalı İklimlendirme – VAV Sistemi

VAV sistemi için yapılan hassasiyet analizi çalışmaları bu başlık altında sunulmuştur. Aşağıda sunulan çizelge (Çizelge 13.1) ile VAV sistemi için elde edilen tüm işletme maliyeti sonuçları listelenmiştir.

Çizelge 13.1. VAV Sistemi Enerji Fiyatı Hassasiyet Analizi

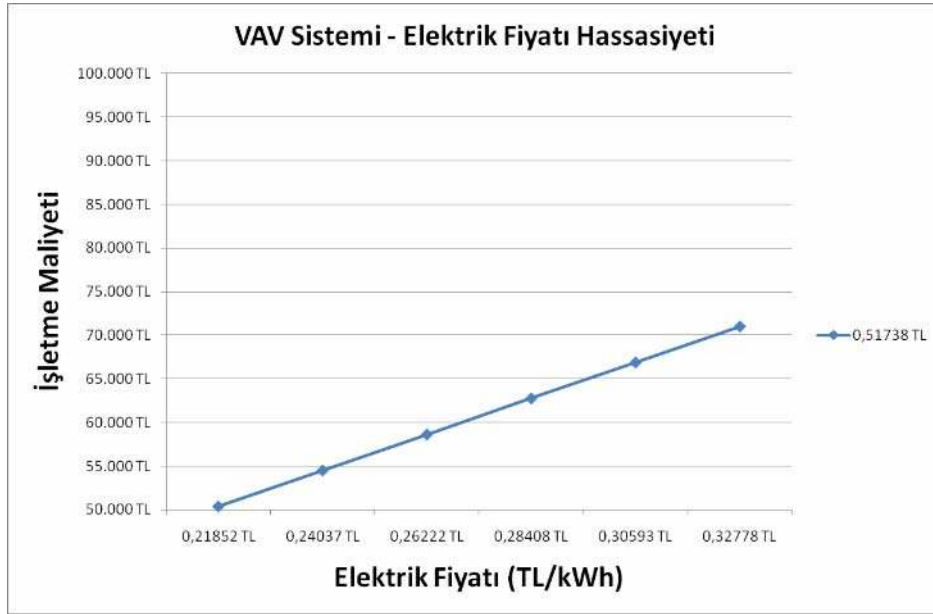
		VAV SİSTEMİ					
		Doğalgaz Fiyatı (TL)					
		0%	10%	20%	30%	40%	50%
Elektrik Fiyatı (TL/kWh)		0,51738 TL	0,56912 TL	0,62086 TL	0,67259 TL	0,72433 TL	0,77607 TL
0%	0,21852 TL	50.372 TL	51.272 TL	52.173 TL	53.073 TL	53.973 TL	54.873 TL
10%	0,24037 TL	54.499 TL	55.399 TL	56.299 TL	57.200 TL	58.100 TL	59.000 TL
20%	0,26222 TL	58.626 TL	59.526 TL	60.426 TL	61.326 TL	62.227 TL	63.127 TL
30%	0,28408 TL	62.754 TL	63.655 TL	64.555 TL	65.455 TL	66.355 TL	67.256 TL
40%	0,30593 TL	66.881 TL	67.781 TL	68.682 TL	69.582 TL	70.482 TL	71.382 TL
50%	0,32778 TL	71.008 TL	71.908 TL	72.808 TL	73.709 TL	74.609 TL	75.509 TL

Yukarıda verilen çizelgede tanımlanan tüm değerlerin sunulduğu üç boyutlu karma hassasiyet grafiği (Şekil 13.1) aşağıda verilmiştir.

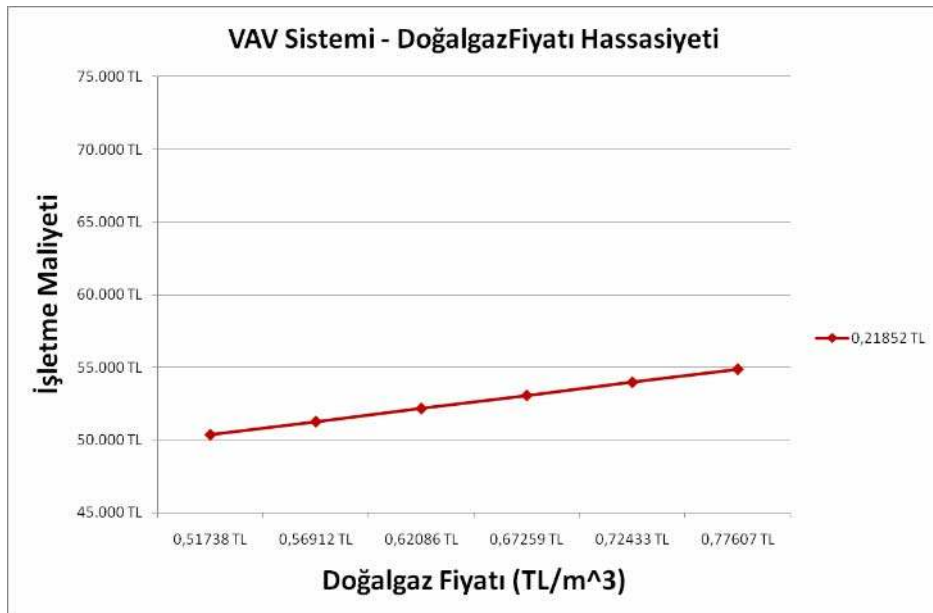


Şekil 13.1. VAV Sistemi Elektrik ve Doğalgaz Karma Hassasiyet Grafiği

Enerji tipine göre de hassasiyet grafikleri (Şekil 13.2-3) hazırlanmış, aşağıda sunulmuştur.



Şekil 13.2. VAV Sistemi Elektrik Fiyatı Hassasiyeti



Şekil 13.3. VAV Sistemi Doğalgaz Fiyatı Hassasiyeti

Şekil 13.2 ve 13.3'te verilen grafiklerden de anlaşılacağı üzere VAV sisteminin elektriğe olan hassasiyeti doğalgaza göre oldukça yüksektir. Bu grafiklerde görülebilen eğimin büyüklüğü, hassasiyetinde büyüklüğü olarak tanımlanabilir.

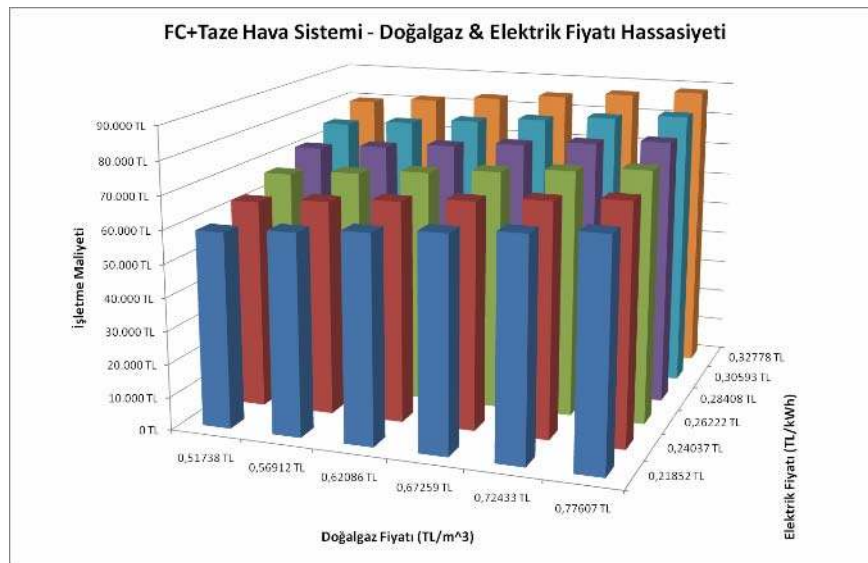
13.2. FanCoil + Taze Hava Sistemi

FanCoil + Taze Hava sistemi için yapılan hassasiyet analizi çalışmaları bu başlık altında sunulmuştur. Aşağıda sunulan çizelge (Çizelge 13.2) ile FanCoil + Taze Hava sistemi için elde edilen tüm işletme maliyeti sonuçları listelenmiştir.

Çizelge 13.2. FanCoil + Taze Hava Sistemi Enerji Fiyatı Hassasiyet Analizi

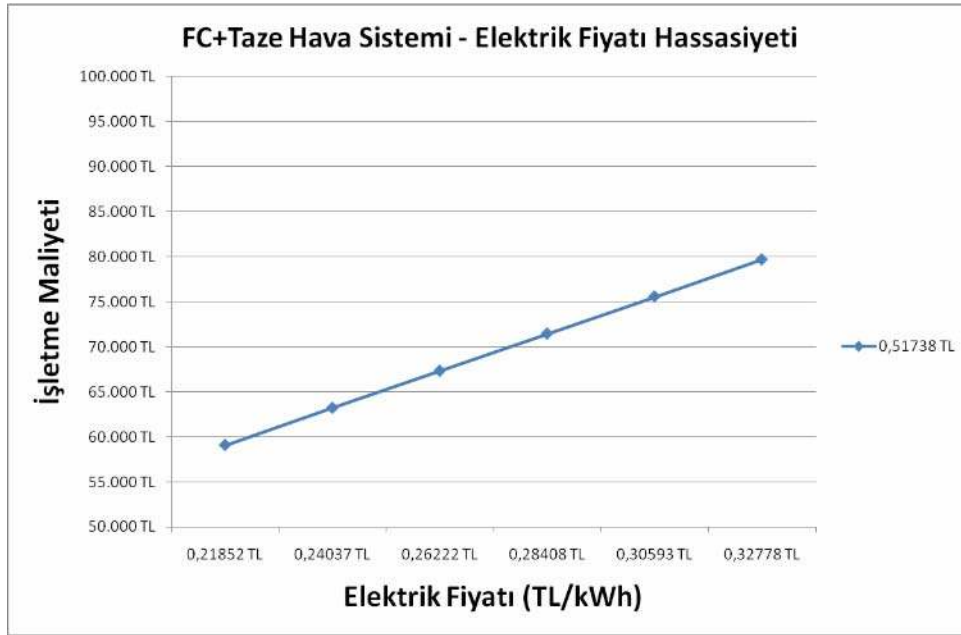
		FC+TAZE HAVA SİSTEMİ					
		Doğalgaz Fiyatı (TL)					
		0%	10%	20%	30%	40%	50%
Elektrik Fiyatı (TL/kWh)		0,51738 TL	0,56912 TL	0,62086 TL	0,67259 TL	0,72433 TL	0,77607 TL
0%	0,21852 TL	59.068 TL	60.845 TL	62.622 TL	64.398 TL	66.175 TL	67.951 TL
10%	0,24037 TL	63.188 TL	64.965 TL	66.742 TL	68.518 TL	70.294 TL	72.071 TL
20%	0,26222 TL	67.308 TL	69.085 TL	70.861 TL	72.638 TL	74.414 TL	76.191 TL
30%	0,28408 TL	71.430 TL	73.207 TL	74.983 TL	76.759 TL	78.536 TL	80.313 TL
40%	0,30593 TL	75.550 TL	77.326 TL	79.103 TL	80.879 TL	82.656 TL	84.433 TL
50%	0,32778 TL	79.670 TL	81.446 TL	83.223 TL	84.999 TL	86.776 TL	88.553 TL

Yukarıda verilen çizelgede tanımlanan tüm değerlerin sunulduğu üç boyutlu karma hassasiyet grafiği (Şekil 13.4) aşağıda verilmiştir.

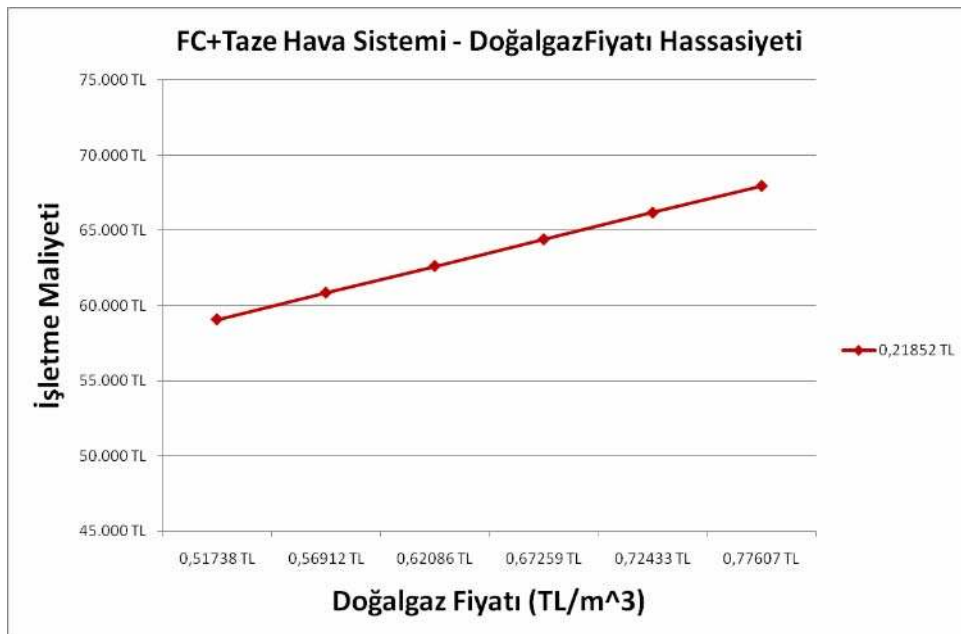


Şekil 13.4. FanCoil + Taze Hava Sistemi Elektrik ve Doğalgaz Karma Hassasiyet Grafiği

Enerji tipine göre de hassasiyet grafikleri (Şekil 13.5-6) hazırlanmış, aşağıda sunulmuştur.



Şekil 13.5. FanCoil + Taze Hava Sistemi Elektrik Fiyatı Hassasiyeti



Şekil 13.6. FanCoil + Taze Hava Sistemi Doğalgaz Fiyatı Hassasiyeti

Şekil13.5 ve 13.6'de verilen grafiklerden de anlaşılacağı üzere FanCoil + Taze Hava sisteminin elektriğe olan hassasiyeti ile doğalgaza olan hassasiyeti yaklaşık olarak aynı çıkmaktadır. Bu da bu sistemin VAV sistemine göre doğalgaza daha hassas olduğunu ortaya koymaktadır.

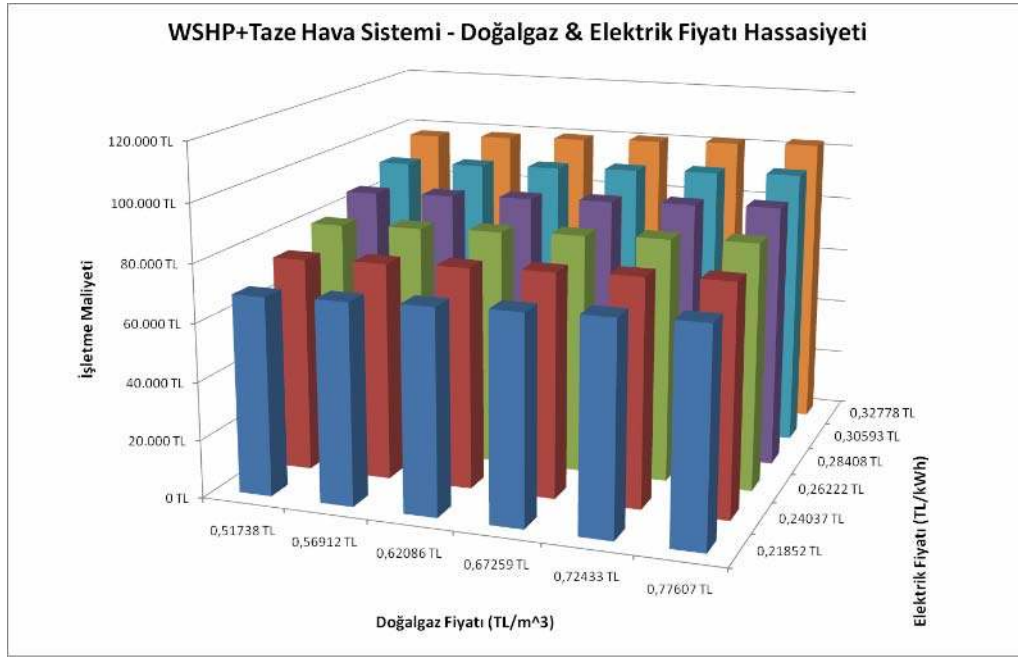
13.3. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Sistemi

WSHP + Taze Hava sistemi için yapılan hassasiyet analizi çalışmaları bu başlık altında sunulmuştur. Aşağıda sunulan çizelge (Çizelge 13.3) ile WSHP sistemi için elde edilen tüm işletme maliyeti sonuçları listelenmiştir.

Çizelge 13.3. WSHP + Taze Hava Sistemi Enerji Fiyatı Hassasiyet Analizi

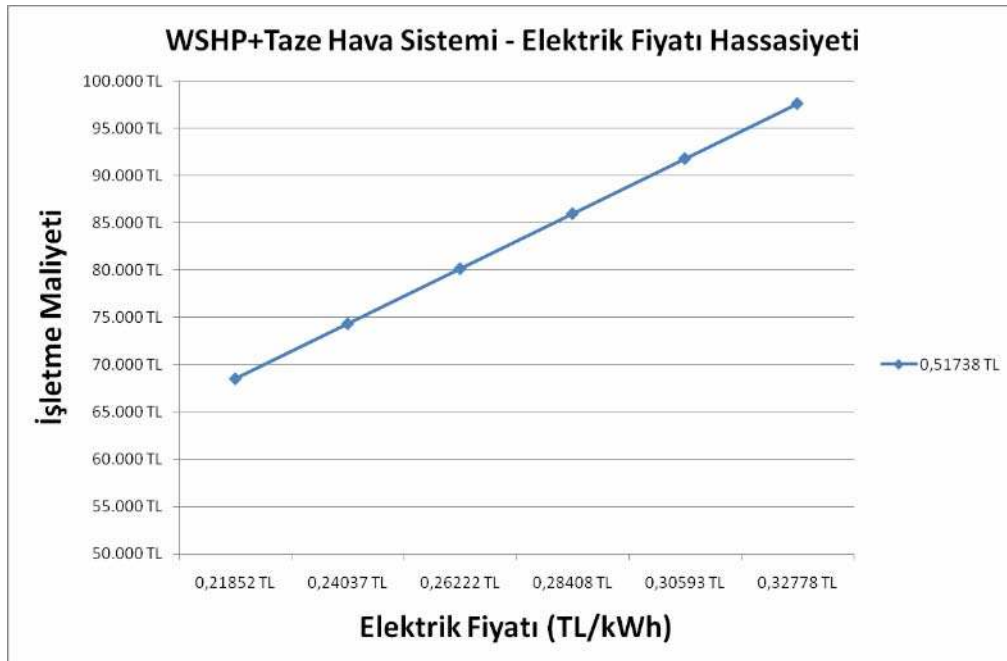
		WSHP+TAZE HAVA SİSTEMİ					
		Doğalgaz Fiyatı (TL/m ³)					
		0%	10%	20%	30%	40%	50%
Elektrik Fiyatı (TL/kWh)		0,51738 TL	0,56912 TL	0,62086 TL	0,67259 TL	0,72433 TL	0,77607 TL
0%	0,21852 TL	68.503 TL	69.526 TL	70.550 TL	71.573 TL	72.596 TL	73.619 TL
10%	0,24037 TL	74.317 TL	75.341 TL	76.364 TL	77.387 TL	78.410 TL	79.434 TL
20%	0,26222 TL	80.132 TL	81.155 TL	82.178 TL	83.202 TL	84.225 TL	85.248 TL
30%	0,28408 TL	85.949 TL	86.972 TL	87.996 TL	89.019 TL	90.042 TL	91.065 TL
40%	0,30593 TL	91.763 TL	92.787 TL	93.810 TL	94.833 TL	95.856 TL	96.880 TL
50%	0,32778 TL	97.578 TL	98.601 TL	99.624 TL	100.648 TL	101.671 TL	102.694 TL

Yukarıda verilen çizelgede tanımlanan tüm değerlerin sunulduğu üç boyutlu karma hassasiyet grafiği (Şekil 13.7) aşağıda verilmiştir.

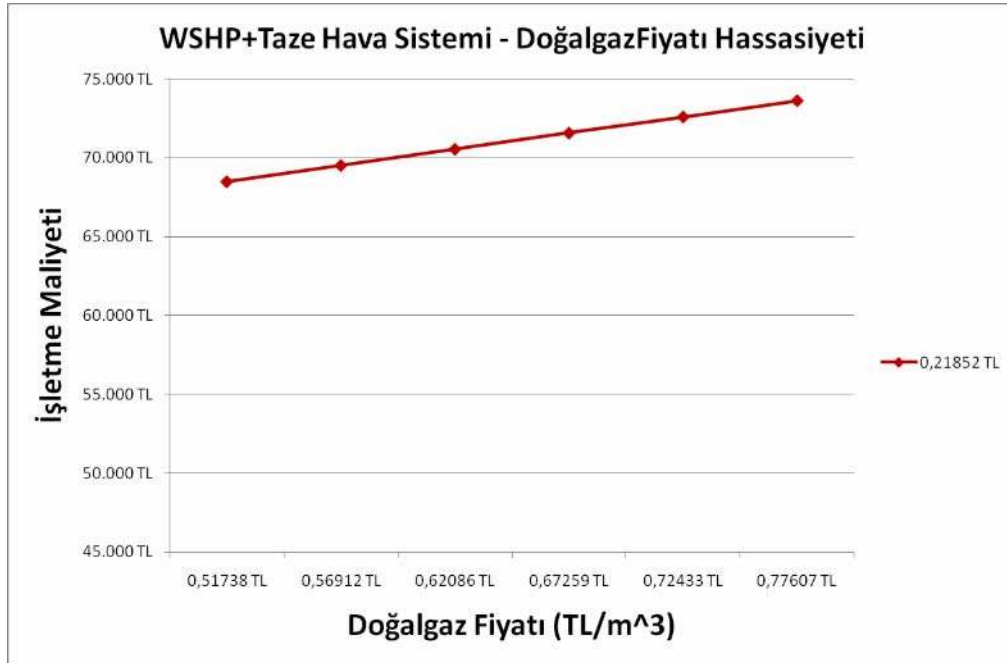


Şekil 13.7. WSHP+ Taze Hava Sistemi Elektrik ve Doğalgaz Karma Hassasiyet Grafiği

Enerji tipine göre de hassasiyet grafikleri (Şekil 13.8-9) hazırlanmış, aşağıda sunulmuştur.



Şekil 13.8. WSHP+ Taze Hava Sistemi Elektrik Fiyatı Hassasiyeti



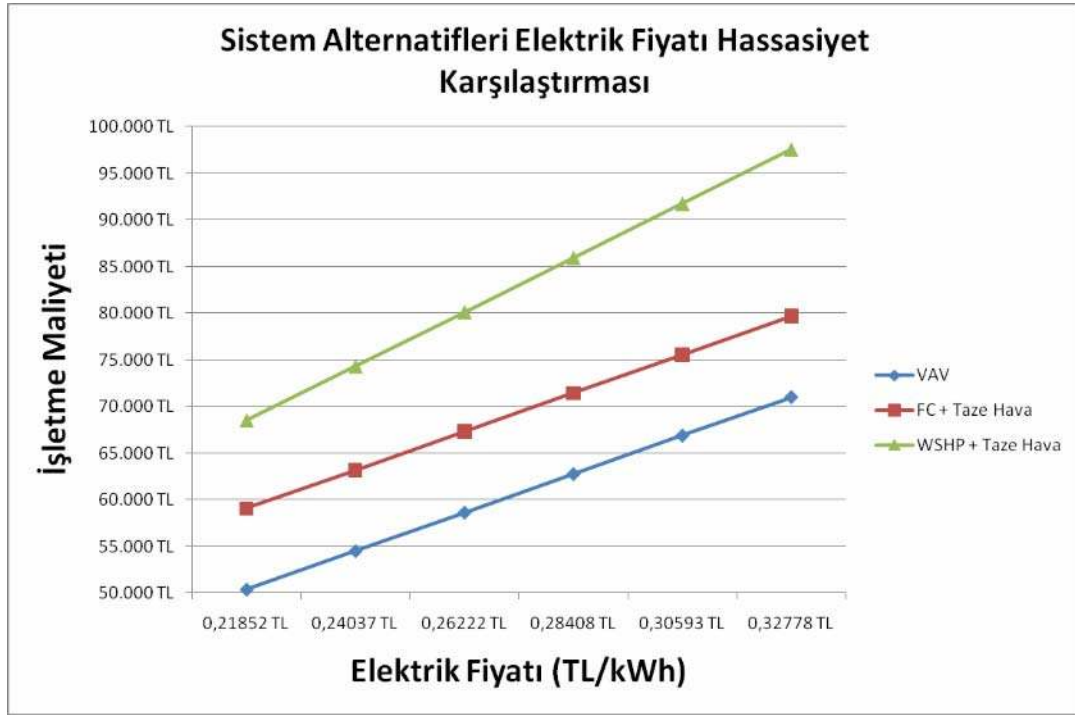
Şekil 13.9. WSHP + Taze Hava Sistemi Doğalgaz Fiyatı Hassasiyeti

Şekil 13.8 ve 13.9’de verilen grafiklerden de anlaşılacağı üzere WSHP+ Taze Hava sisteminin elektriğe olan hassasiyeti diğer iki sistemden de çok daha fazla ancak doğalgaza olan bağımlılığı ise daha azdır. Bunun temel sebebi bu cihazların kış şartlarında da bünyelerindeki kompresörleri kullanarak ısıtma yapmasıdır.

13.4. Hassasiyet Analizi Karşılaştırması

Örnek binada simüle edilen üç ayrı HVAC sistemine ait hassasiyet analizi tabloları önceki bölümlerde verilmiştir. Bu bölümde sistemlerin doğalgaz ve elektrik fiyatlarına göre incelenen hassasiyetlerini karşılaştıran grafikler sunulacaktır.

Aşağıda elektrik fiyatı hassasiyeti karşılaştırma grafiği sunulmuştur (Şekil 13.10).

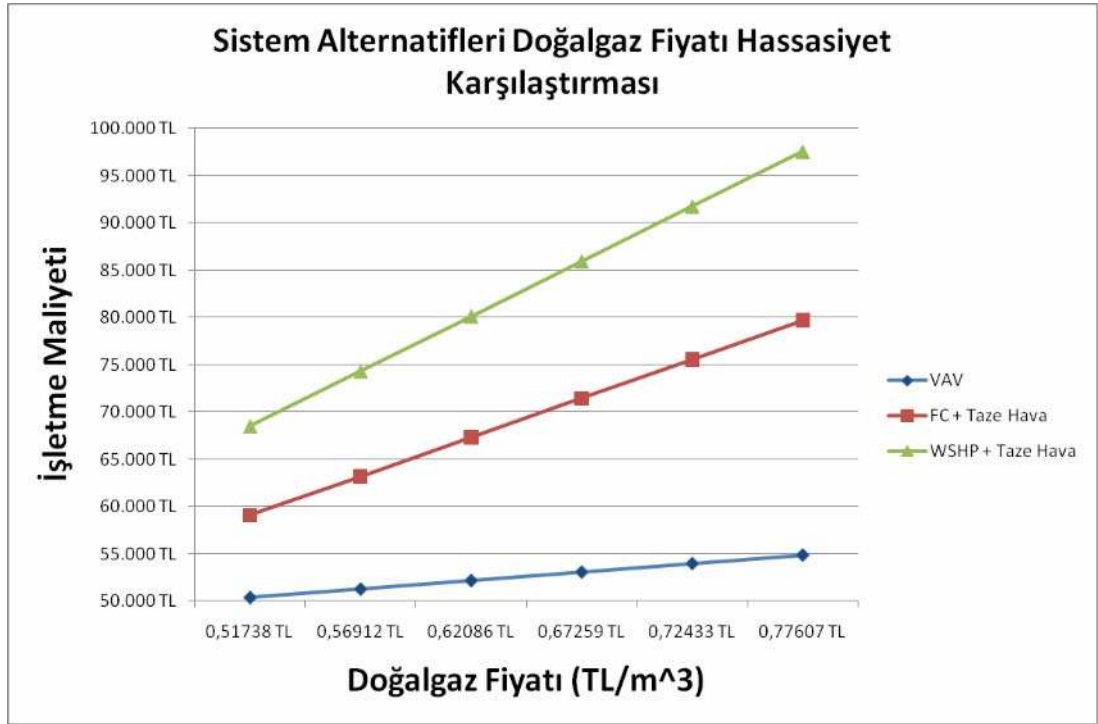


Şekil 13.10. Sistem Alternatifleri Elektrik Fiyatı Hassasiyet Karşılaştırması

Grafikte çizilen doğruların eğimi sistemin elektrik fiyatına olan hassasiyetini ortaya koymaktadır. Açıkça görülebildiği gibi FanCoil + Taze Hava sistemi ve VAV sisteminin hassasiyetleri yaklaşık aynı olup, WSHP + Taze Hava sisteminin elektrik fiyatı hassasiyeti nispeten daha yüksektir.

Aşağıda elektrik fiyatı hassasiyeti karşılaştırma grafiği sunulmuştur (Şekil 13.11).

Grafikten de açıkça görülebildiği üzere VAV sisteminin doğalgaz hassasiyeti diğer sistemlere göre oldukça düşük olmaktadır. WSHP sisteminin doğalgaz hassasiyeti FC + Taze Hava sistemine göre az bir miktar yüksek olup, yaklaşık kabul edilebilir.



Şekil 13.11. Sistem Alternatifleri Doğalgaz Fiyatı Hassasiyet Karşılaştırması

14. TOPLAM MALİYET ANALİZİ

Ele alınan örnek ofis binasına uygulanması kurgulanan üç ayrı HVAC sistemi için tüm işletme maliyetleri ve bu maliyetlerin enerji fiyat girdilerine göre hassasiyetleri önceki bölümlerde ortaya konmuştur.

Bir yapıda hangi sistemin uygulanacağına karar vermek için alternatiflerin toplam maliyetlerinin ortaya konması gerekmektedir. Toplam Maliyet ancak geleceğe yönelik bir projeksiyon yapılarak elde edilebilir. Bu sebeple bu çalışmada geleceğe yönelik 15 yıllık bir senaryo kurgulanmıştır.

Kabul edilen öngörüye göre, önümüzdeki 15 yıllık süreç boyunca Türkiye'de enflasyon oranı %7 olarak sabit kalacaktır. Ancak enerji maliyetleri her sene düzenli biçimde artacak, elektrik her yıl %3, doğalgaz ise her yıl %5 zam görecektir.

Örnek yapıda uygulanması kurgulanan HVAC sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri ve yıllık bakım maliyetleri için piyasada çalışan firmalardan teklifler alınmıştır. Aşağıdaki tablo (Çizelge 14.1) bu değerleri özetlemektedir.

Çizelge 14.1. HVAC Sistemleri İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri

HVAC Sistemi	İlk Yatırım Maliyeti (TL)	Bakım Maliyeti (TL/Yıl)
VAV	958.346 TL	9.000 TL
FC+ Taze Hava	587.984 TL	8.000 TL
WSHP+ Taze Hava	1.207.515 TL	12.000 TL

Öngörülen senaryoya göre elektrik ve doğalgaz fiyatları her yıl belirli bir oranda artmakta ve işletme maliyetlerini etkilemektedir. Her sistemin gelecekteki her yıl geçerli olacak işletme maliyetinin hesaplanması için bir önceki bölümde sunulan hassasiyet analizi tabloları kullanılmıştır. Hassasiyet analizi tabloları, enerji fiyatlarının %10'luk dilimlerdeki artışlarına göre,

işletme maliyetlerini sunmaktadır. Ancak elektrik her yıl %3, doğalgaz ise her yıl %5 arttığından, her yılın işletme maliyetinin hesaplanması için 2'li enterpolasyonlar yapılmıştır.

Çizelge ile verilen yıllık işletme maliyetleri ise, enerji fiyatlarına göre değil, geçerli olan enflasyon oranına göre değişmektedir.

Her yıl için enflasyon ve enerji fiyatları etkileri göz önüne alınarak hesaplanan işletme ve bakım maliyetleri toplanmış, 15 yılın projeksiyonu elde edilmiştir. Ancak toplam maliyet analizinde paranın zaman değerini de hesaba katmak gereklidir. Bugün ki fiyatlara göre yapılan hesaplar yanıltıcı olacaktır. Paranın zaman değeri yıllık enflasyona göre etkilenmektedir. Bu sebeple hesaplanan yıllık giderlerin, senaryonun bittiği 15. Yılın sonundaki zaman değerine taşınması gerekmektedir. Paranın gelecekteki değerinin hesabı için aşağıda verilen formül kullanılmıştır.

$$FV = PV \cdot (1 + F)^n \quad (14.1)$$

FV: Gelecekteki Değer (Future Value)

PV: Bugün ki Değer (Present Value)

F: Yıllık Uygulanan Faiz Oranı - Enflasyon (%)

n: Projekte edilen yıl sayısı

Çizelge ile sunulan ilk yatırım maliyetleri de, hesaplanan yıllık maliyetler gibi aynı yöntemle 15 yıl sonrasına taşınmıştır.

14.1. Tam Havalı İklimlendirme - VAV Sistemi Toplam Maliyet Analizi

VAV Sistemi için elde edilen ve önceki bölümlerde sunulan maliyet değerleri dikkate alınarak, paranın gelecek değeri de göz önünde bulundurularak toplam maliyet elde edilmiş ve aşağıdaki çizelge (Çizelge 14.2) ile sunulmuştur.

Listelenen yıllık işletme maliyetleri uygulanan senaryoya göre, hassasiyet analizinden elde edilen değerler üzerinden enterpolasyon yapılarak elde edilmiştir.

Çizelge 14.2. VAV Sistemi Toplam Maliyet Analizi

YIL	YILLIK BAKIM MALİYETİ	YILLIK İŞLETME MALİYETİ	TOPLAM YILLIK MALİYET	GELECEK DEĞERİ
1	9.000 TL	50.372 TL	59.372 TL	153.093 TL
2	9.630 TL	52.060 TL	61.690 TL	148.664 TL
3	10.304 TL	53.808 TL	64.112 TL	144.392 TL
4	11.025 TL	55.618 TL	66.643 TL	140.273 TL
5	11.797 TL	57.491 TL	69.289 TL	136.301 TL
6	12.623 TL	59.432 TL	72.055 TL	132.470 TL
7	13.507 TL	61.442 TL	74.948 TL	128.775 TL
8	14.452 TL	63.524 TL	77.976 TL	125.213 TL
9	15.464 TL	65.681 TL	81.145 TL	121.776 TL
10	16.546 TL	68.017 TL	84.563 TL	118.605 TL
11	17.704 TL	70.524 TL	88.229 TL	115.650 TL
12	18.944 TL	73.179 TL	92.123 TL	112.855 TL
13	20.270 TL	75.995 TL	96.265 TL	110.214 TL
14	21.689 TL	78.986 TL	100.675 TL	107.722 TL
15	23.207 TL	81.603 TL	104.810 TL	104.810 TL
		İLK YATIRIM MALİYETİ:	958.346 TL	2.644.107 TL
			TOPLAM:	4.544.920 TL

Yukarıdaki tablodan da görülebileceği gibi elde edilen toplam maliyet değeri, önceki bölümlerde sunulan değerlerden oldukça yüksek olup, paranın zaman değerinin etkisinin büyüklüğünü ve toplam maliyet analizinin önemini göstermektedir.

Bu yapı için uygulanacak HVAC sisteminin VAV olarak seçilmesi durumunda firma, paranın 15 yıl sonraki değeri ile 4.544.920 TL'yi gözden çıkarmalıdır.

14.2. FanCoil + Taze Hava Sistemi Toplam Maliyet Analizi

FanCoil + Taze Hava Sistemi için elde edilen ve önceki bölümlerde sunulan maliyet değerleri dikkate alınarak, paranın gelecek değeri de göz önünde

bulundurularak toplam maliyet elde edilmiş ve aşağıdaki çizelge (Çizelge 14.3) ile sunulmuştur.

Listelenen yıllık işletme maliyetleri uygulanan senaryoya göre, hassasiyet analizinden elde edilen değerler üzerinden enterpolasyon yapılarak elde edilmiştir.

Çizelge 14.3. FanCoil + Taze Hava Sistemi Toplam Maliyet Analizi

YIL	YILLIK BAKIM MALİYETİ	YILLIK İŞLETME MALİYETİ	TOPLAM YILLIK MALİYET	GELECEK DEĞERİ
1	8.000 TL	59.068 TL	67.068 TL	172.937 TL
2	8.560 TL	61.193 TL	69.753 TL	168.093 TL
3	9.159 TL	63.399 TL	72.558 TL	163.414 TL
4	9.800 TL	65.689 TL	75.490 TL	158.895 TL
5	10.486 TL	68.068 TL	78.555 TL	154.529 TL
6	11.220 TL	70.539 TL	81.759 TL	150.311 TL
7	12.006 TL	73.105 TL	85.111 TL	146.236 TL
8	12.846 TL	75.772 TL	88.618 TL	142.301 TL
9	13.745 TL	78.543 TL	92.288 TL	138.500 TL
10	14.708 TL	81.563 TL	96.271 TL	135.025 TL
11	15.737 TL	84.813 TL	100.550 TL	131.800 TL
12	16.839 TL	88.239 TL	105.078 TL	128.725 TL
13	18.018 TL	91.846 TL	109.863 TL	125.783 TL
14	19.279 TL	95.636 TL	114.915 TL	122.959 TL
15	20.628 TL	99.038 TL	119.666 TL	119.666 TL
		İLK YATIRIM MALİYETİ:	587.984 TL	1.622.266 TL
			TOPLAM:	3.781.439 TL

Bu yapı için uygulanacak HVAC sisteminin FanCoil + Taze Hava olarak seçilmesi durumunda firma, paranın 15 yıl sonraki değeri ile 3.781.439 TL'yi gözden çıkarmalıdır.

14.3. Su Kaynaklı Isı Pompası + Taze Hava Sistemi Toplam Maliyet Analizi

WSHP + Taze Hava Sistemi için elde edilen ve önceki bölümlerde sunulan maliyet değerleri dikkate alınarak, paranın gelecek değeri de göz önünde

bulundurularak toplam maliyet elde edilmiş ve aşağıdaki çizelge (Çizelge 14.4) ile sunulmuştur.

Listelenen yıllık işletme maliyetleri uygulanan senaryoya göre, hassasiyet analizinden elde edilen değerler üzerinden enterpolasyon yapılarak elde edilmiştir.

Çizelge 14.4. WSHP + Taze Hava Sistemi Toplam Maliyet Analizi

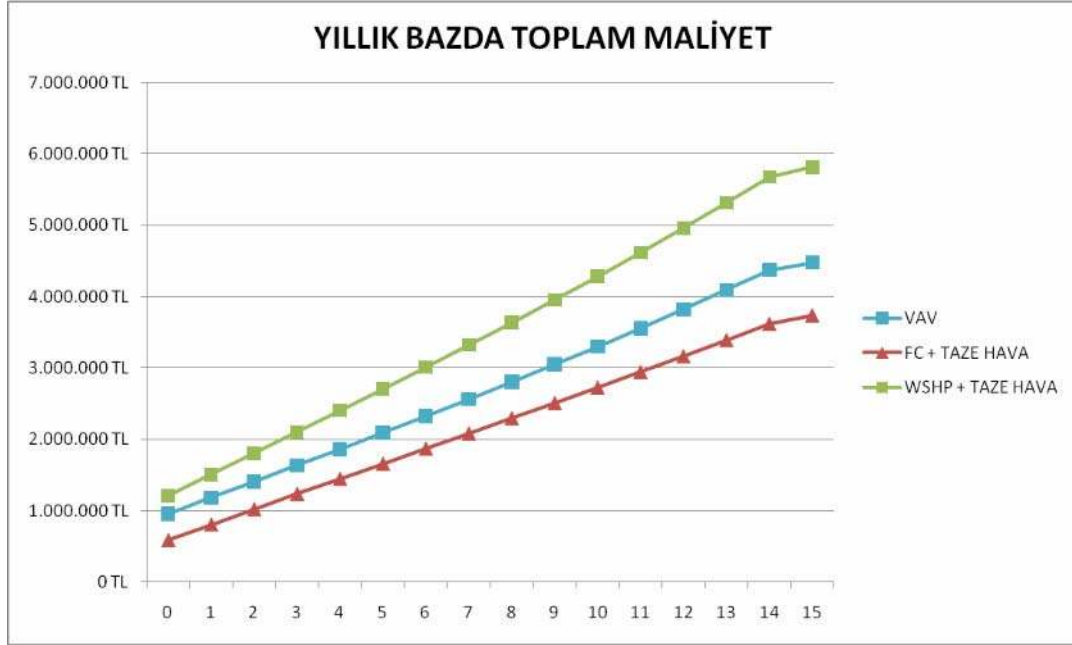
YIL	YILLIK BAKIM MALİYETİ	YILLIK İŞLETME MALİYETİ	TOPLAM YILLIK MALİYET	GELECEK DEĞERİ
1	12.000 TL	68.503 TL	80.503 TL	207.580 TL
2	12.840 TL	70.759 TL	83.599 TL	201.460 TL
3	13.739 TL	73.093 TL	86.832 TL	195.562 TL
4	14.701 TL	75.508 TL	90.208 TL	189.875 TL
5	15.730 TL	78.006 TL	93.735 TL	184.392 TL
6	16.831 TL	80.591 TL	97.422 TL	179.106 TL
7	18.009 TL	83.266 TL	101.275 TL	174.009 TL
8	19.269 TL	86.035 TL	105.305 TL	169.096 TL
9	20.618 TL	88.901 TL	109.520 TL	164.359 TL
10	22.062 TL	91.985 TL	114.046 TL	159.956 TL
11	23.606 TL	95.269 TL	118.875 TL	155.820 TL
12	25.258 TL	98.715 TL	123.973 TL	151.872 TL
13	27.026 TL	102.331 TL	129.357 TL	148.101 TL
14	28.918 TL	106.125 TL	135.043 TL	144.496 TL
15	30.942 TL	109.327 TL	140.270 TL	140.270 TL
		İLK YATIRIM MALİYETİ:	1.207.515 TL	3.331.572 TL
			TOPLAM:	5.897.526 TL

Bu yapı için uygulanacak HVAC sisteminin WSHP + Taze Hava olarak seçilmesi durumunda firma, paranın 15 yıl sonraki değeri ile 5.897.526 TL'yi gözden çıkarmalıdır.

14.4. Toplam Maliyet Analizi Karşılaştırması

Paranın zaman değeri dikkate alınarak hazırlanan toplam maliyet analizi tabloları önceki bölümlerde verilmiştir. Belirlenen bir senaryoya göre elde

edilen toplam maliyet analizi değerleri karşılaştırmak amacıyla aynı grafiğe işlenmiş, yıllık gelişimi gösterilmiştir (Şekil 14.1).



Şekil 14.1. Yıllık Bazda Toplam Maliyet Karşılaştırması

Hassasiyet analizi tablo ve grafiklerinde incelenen, WSHP sisteminin hem doğalgaza hem de elektriğe olan hassasiyetinin diğer sistemlere göre daha fazla olması durumu, toplam maliyette de kendini göstermiş, hem toplam maliyet hem de yıllık maliyet artışı olarak iki sistemi geride bırakmıştır.

VAV ve FanCoil + Taze Hava sistemlerinin yıllık bazda maliyet artışları yaklaşık aynı olmakla birlikte FanCoil + Taze hava Sistemi ekonomik olarak en avantajlı sistem olarak karşımıza çıkmaktadır.

15. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji maliyetlerinin durmadan ve hızla arttığı, küresel ısınmanın önüne geçilemediği, doğal kaynak harcamasının minimize edilmeye çalışıldığı günümüzde, sürdürülebilir bir yaşam sağlayabilmek için doğal kaynak tüketimlerimizi azaltmak zorunda olduğumuz görünmektedir.

Türkiye imzaladığı Kyoto Protokolü ile 2012'den itibaren salınım değerlerini kontrol altında tutmak zorundadır. Enerjinin verimli kullanılması enerji maliyetlerini düşürürken, salınımı da azaltmaktadır. Ancak enerji verimliliği önlemlerinin alınması için gerekli teknoloji ithal edildiği takdirde, enerji için oluşan dış kaynak bağımlılığımız bu sefer teknoloji için oluşacaktır.

Türkiye Cumhuriyeti devletinin hazırlamış olduğu Enerji Verimliliği Kanunu ve 5 Aralık 2009'da yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Türkiye'nin enerji verimliliği önlemlerindeki açığı kapatmak adına önemli ve büyük bir adımdır. Ancak çıkarılan Kanun ve Yönetmelik tüm yapılar için genel bir çerçeve çizmekte ve kurallar koymaktadır. Bu kuralların binanın kullanım amacına, tasarlanan mekanik sisteme ve mimari yapıya bakılmaksızın her yapıya uygulanması doğru olmayan sonuçlar doğuracak, hatta gereksiz yatırımlar yapılması söz konusu olacaktır. Bu sebeple Türkiye'nin de gelişmiş ülkelerdeki gibi, enerji verimliliği önlemlerini bir standart program çerçevesinde takip etmelidir.

Enerji verimliliği önlemlerini ülke geneline yaymak ve yerinde yapılan yatırımların, alınan önlemlerin geçerliliğini uzun yıllar boyunca korumasını sağlamak ve takip etmek için bir Ulusal Enerji Verimliliği Programına ihtiyaç vardır. Bu da Uluslar arası örneklerini sıraladığımız, bağımsız bir Yeşil Bina Konseyi kurularak yapılabilir. Ulusal çıkarları gözetken, uluslar arası örneklerini dikkate alarak, Türkiye'ye özgü bir program hazırlanmalı ve binalar için takip edilmesi zorunlu kılınmalıdır.

Bu programın hayata geçirilebilmesi için ise, tasarım aşamasında hangi önlemlerin ne kadar tasarruf sağlayacağını ortaya koyabilen yazılımlara ihtiyaç vardır. Aynı Amerikan Enerji Bakanlığı'nın hazırladığı gibi Ulusal bir tasarım-simülasyon yazılımına ihtiyaç vardır. Türkçe olması, kullanıcı dostu olması gibi özellikler ülke geneline yayılmasında ve tasarımcıların alışkanlıklarının değiştirilmesinde faydalı olacaktır.

Ulusal bir tasarım yazılımının ve Enerji Verimliliği İzleme Programının eksikliğinde, gelişmiş ülkelerde neredeyse her yapı için yapılan ve optimum tasarımı ortaya koyan çalışmayı, şimdiden ülkemizde yapmayı amaçlayan bu çalışmada, Türkiye'de sayıları oldukça artan ofis yapıları dikkate alınmıştır.

Ankara'da yapılması planlanan bir inşaat firması genel merkezi olan örnek yapının özellikleri yukarıda verilmiştir. Bu yapı için uygulanabilecek HVAC sistemleri ele alınmış, bu sistemlerin enerji maliyetleri ve ilk yatırım maliyetleri ortaya konmuştur.

Uygulanabilecek HVAC sistemlerinden olan Su Kaynaklı Isı Pompası sistemi toplam maliyetinin diğer sistemlere göre oldukça yüksekliği sebebiyle tercih edilmemektedir. İthalatçı firmaların bahsettiği gibi çok düşük enerji harcamaları olması gerektiği ortaya konan bu sistem, daha ılıman iklimlerde ve yapı içinde hem ısıtma hem soğutma olan örnekler için daha ekonomik olabilir. Esas olan bu tarz sistemlerin bir doğal kaynak ile desteklenmesidir. Arazide herhangi bir yer altı suyu veya toprak kaynağına ulaşılabilirdiği ve sistemin bu kaynaktan desteklendiği durumda bu sistemin işletme maliyeti diğer sistemlere göre oldukça düşük olacaktır. Özetle, enerji kaynağını değiştirerek, enerji girdi maliyeti azaltılmadıkça, işletme maliyeti düşürmek pek mümkün değildir.

Diğer iki sistem ise piyasada genellikle kullanılan sistemlerdir. Ofis yapılarında her ikisi de görülebilmekle birlikte ilk yatırım maliyeti oldukça

düşük olan FanCoil + Taze Hava sistemi özellikle tercih edilmektedir. VAV sistemi genellikle yurt dışında uygulanmaktadır. Bu iki sistem arasındaki temel fark, satın alınan konfordur. Bu da toplam maliyetleri etkilemektedir.

VAV sisteminde ortamda çalışan hiçbir motor veya fan bulunmamaktadır. Ortam sıcaklığı ve CO₂ değeri sürekli olarak ölçülmekte ve hava debisi ile kontrol edilmektedir. Bu durum ortamda eş dağılıma sahip hava sıcaklığı ve sessizlik yaratarak İç Ortam Kalitesini artırmakta ve konfor sağlamaktadır.

FanCoil + Taze hava sisteminde ise her odanın istenen sıcaklıkta tutulmasını sağlama görevi FanCoil cihazındadır. Her cihazda bir fan bulunduğundan ortamda bir motor sesi oluşmaktadır. FanCoil fanları modülasyonlu çalışmadığı, dur-kalk operasyonu ile çalıştığı için, hacim sıcaklığı hacmin belirli bölgelerinde ve zamana bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu dezavantajlar İç Ortam Kalitesini etkilemekte, konfor da düşüş yaratmaktadır.

VAV sisteminin işletme maliyeti, diğer sistemlere göre her ne kadar düşük olsa da, ciddi büyüklükteki ilk yatırım farkından ötürü, toplam maliyeti FanCoil sistemine göre yüksek çıkmıştır. Toplam maliyetler karşılaştırıldığında ortaya çıkan yaklaşık 750.000 TL'lik fark esas olarak satın alınan konfor farkıdır. Karar aşamasında ayrıca İç Ortam Kalitesinden etkilenen personelin iş kaybı ve çalışma performansı da hesaba katılmaktadır. Bu yaklaşımlar VAV sisteminin yurt dışında daha fazla tercih edilmesini sağlamaktadır.

Binaların ve bina içinde uygulanan HVAC sistemlerinin Sürdürülebilirliğini kıyaslamada en etkin yol yapıların ve sistemlerin harcadıkları kaynak enerjisini kıyaslamaktır. Elektrik enerjisi dağıtım verimi oldukça düşük olduğundan, binada harcanan elektriğin 3-4 katını üretmek gerekmektedir. Bu oran doğalgaz gibi yakıt enerjilerinde 1'e 1 olarak kabul edilmektedir. Toprak veya su kaynaklı ısı pompasının entegre edildiği sistemlerde ise bu oran 0.3-0.4 aralığında oluşmaktadır. Bu oranlar, dağıtım verimsizliğini ortadan kaldıran kojenerasyon, veya kaynak tüketimini oldukça azaltan yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini ortaya çıkarmaktadır.

Ele alınan örnek yapıda ise VAV sisteminin kaynak enerji tüketimi; FanCoil + Taze Hava sistemine göre %17, Su Kaynaklı ısı Pompası + Taze Hava sistemine göre %25 daha azdır. Diğer örneklere göre sürdürülebilirliği öne çıkan VAV sisteminin ekonomik dezavantajını avantaja dönüştürecek herhangi bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. Ancak çıkarılan kanun ve yönetmelikler, Bina Enerji Etiketlemesi uygulaması ile, gelecekte bu tarz teşvik ve vergi avantajları uygulanacağını sinyali vermektedir.

Sonuç olarak, Türkiye’de tasarlanacak yeni bir yapının HVAC sistemine karar vermeden önce mutlaka ön hesaplamalar yapılmalı, toplam maliyet analizi yapılmalıdır. Sahanın ve binanın özellikleri iyi irdelenmeli, yer altı kaynaklarının varlığı kontrol edilmelidir. Her yapı için yapılması gereken bu çalışma her bina ve şehir için farklı sistemlerin uygulanmasını sağlayacaktır. Bu tarz bir ön çalışma ile tasarlanan yapılar, ileride takip edilmek istenecek bir Ulusal Enerji Verimliliği Programına da uyum sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Frej, A. B., "Green Office Buildings: A Practical Guide to Development", **Urban Land Institute**, Washington, D.C., 115 - 155 (2005).
2. İnternet: Çevresel Etkin Binalar Derneği "Yeşil Bina Nedir?" <http://www.cedbik.org/YesilBinaNedir.asp>, (2009)
3. İnternet: "United States Green Building Council", www.usgbc.org, (2009).
4. İnternet: "Canada Green Building Council", <http://www.gbca.org.au/about>, (2009)
5. İnternet: "United Kingdom Green Building Council", <http://www.ukgbc.org/site/worldgbc>, (2009)
6. İnternet: "BREEAM", <http://www.breeam.org/index.jsp>, (2009)
7. İnternet: "Comprehensive Assesment System for Built Environment Efficiency", <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm>, (2009)
8. İnternet: "Canada Green Building Council", <http://www.cagbc.org/cagbc/index.htm>, (2009)
9. İnternet: "Mexico Green Building Council", http://www.mexicogbc.org/mexicogbc/bienvenida_e.htm, (2009)
10. İnternet: "Taiwan Green Building Council", <http://www.taiwangbc.org.tw/english/about.php>, (2009)
11. İnternet: "NewZeland Green Building Council", <http://www.nzgbc.org.nz/main/about>, (2009)
12. İnternet: United States Green Building Council "LEED 2009 for New Construction", (2009)
13. Diz, T., "AB ve Türkiye'de Enerji Verimliliği", **MMO, 2009. MMO II. Enerji Verimliliği Kongresi**, Kocaeli, 248-261, (2009).
14. "TS 825", **TSE**, Ankara, (1998).
15. "TS 825", **TSE**, Ankara, (2008).

16. "Enerji Verimliliği Kanunu", Resmi Gazete, 26510, (2007).
17. "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği", Resmi Gazete, 27075, (2008).
18. İnternet: Elektrik İşleri Etüd İdaresi, "Enerji Verimliliği Çalışmaları" <http://www.eie.gov.tr/turkce/ozet/ozet.html>, (2009)
19. "Catalogue 2009", **Carrier**, (2009).
20. İnternet: VirginiaTech. "Heat Pumps, Geo4VA" <http://www.geo4va.vt.edu/A3/A3.htm>, (2009)
21. TSE, "TS 3419", **TSE**, Ankara, (1980)
22. Crawley DB, Hand JW, Kummert M, Griffith BT., "Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs", **Building and Environment**, 43: 661-673 (2008)
23. "Fundamentals", **TTMD - Ashrae**, Ankara, (1996).
24. Ardehali M.M., Smith T.F., "Evaluation of HVAC system operational strategies for commercial buildings", **Energy Conversion and Management** 38: 225–236 (1997).
25. Iqbal I., Al-Homoud M., "Parametric analysis of alternative energy conservation measures in an office building in hot and humid climate", **Building and Environment** 42: 2166-2177 (2007).
26. Ashrae, "Standart 62.1 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", **Ashrae**, (2007).
27. "Fundamentals", **Ashrae**, 17-18 (2009).
28. Ardehali M.M., Smith T.F., "Evaluation of HVAC system operational strategies for commercial buildings", **Energy Conversion and Management** 38: 225–236 (1997).

EKLER

EK-1 Yapı Mimari Planları

Yapı mimari planları CD ile birlikte verilmiştir.

EK-2 ASHRAE Handbook Fundamentals Chapter 26

Handbook CD ile birlikte verilmiştir.

EK-3 Diğer Chapter Tabloları

Tablolar CD ile birlikte verilmiştir.

EK-4 Ofis Enerji Giderleri

Ofis enerji giderleri CD ile birlikte verilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Soyadı, adı : ÜNLÜ, Gökhan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 27.06.1984 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 440 27 44
Faks : 0 (312) 442 17 62
e-mail : unlu.gokhan@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Müh.	2010
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Müh.	2005
Lise	Gazi Anadolu Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2010	Ünlü Mühendislik	Proje Müdürü

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Fotograf Sanatı