

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YEŞİL BİNA SERTİFİKASYON SİSTEMLERİ VE
BÜTÜNLEŞİK BİNA TASARIMI YAKLAŞIMIYLA ENERJİ
KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif KÜÇÜKKAYA

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Ümit ÜNVER

HAZİRAN 2018

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YEŞİL BİNA SERTİFİKASYON SİSTEMLERİ VE
BÜTÜNLEŞİK BİNA TASARIMI YAKLAŞIMIYLA ENERJİ KULLANIMININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Elif KÜÇÜKKAYA
(155103008)**

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Ümit ÜNVER

HAZİRAN 2018

Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' nün 155103008 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Elif KÜÇÜKKAYA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**YEŞİL BİNA SERTİFİKASYON SİSTEMLERİ VE BÜTÜNLEŞİK BİNA TASARIMI YAKLAŞIMIYLA ENERJİ KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi **Ümit ÜNVER**
Yalova Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Prof. Dr. **Fikret YÜKSEL**
Yalova Üniversitesi




Prof. Dr. **Muhsin KILIÇ**
Uludağ Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi **Ümit ÜNVER**
Yalova Üniversitesi



Teslim Tarihi: 17 Mayıs 2018
Savunma Tarihi: 19 Haziran 2018

*Bu çalışmamın tüm insanlık için hayırlara vesile olmasını diliyorum.
Bana sahip olduğum her Şeyi bahşeden rabbime hamd olsun...*



Biricik aileme ve kardeşim Gökçen ÖZKARA'ya,



ÖNSÖZ

Çalışmalarımız boyunca bilgi ve birikimlerini bana ve tüm öğrencilerine aktaran, bizleri yönlendiren ve teşvik eden saygıdeğer danışman hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Ümit ÜNVER başta olmak üzere eğitim- öğretim sürecimde bana katkı sağlayan bütün kıymetli öğretmenlerime tek tek teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ÇEDBİK Proje Sorumlusu Sayın Ahmet ACAR' a ve Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi Yöneticisi olarak görev yapmış olan Sayın Aslı KARABACAK' a destekleri için teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımda bilgilerini ve gerekli verileri temin etmemde yardımcı olan Yalova Üniversitesi bünyesindeki mühendislerimize ve gerekli olan tüm meteorolojik verileri paylaşarak destek olan Yalova Meteoroloji Müdürlüğü Meteoroloji Mühendisi Sayın Rıdvan Öztoprak'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yaşama dair birçok şeyi birlikte öğrendiğimiz ve paylaştığımız arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Tezimde bilhassa destek olan değerli arkadaşlarım Melis YURTÇU, Özlem KARA ve Alper KELEŞOĞLU' na teşekkür eder, kendilerine hayırlı bir ömür dilerim.

Ve son olarak, bu süreç boyunca irili ufaklı katkı sağlayan, destek olan tüm tanıdıklarına şükranlarımı sunarım.

Bu tez Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) komisyonunca 2017YL0012 numaralı proje olarak desteklenmiştir. Destekleri için BAP Komisyon üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2018

Elif Küçükkaya
(Enerji Sistemleri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR	xv
SEMBOL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. BÜTÜNLEŞİK BİNA TASARIMI YAKLAŞIMI	3
2.1 Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı Tanımı	3
2.2 Yeşil Binalarda BBTY Sürecinde Bina Bilgi Modellemesinin Önemi.....	9
2.3 Yeşil Binalarda Enerji Analizinin Simülasyon Programları Aracılığı ile Yapılması: DesignBuilder Yazılımı	12
3. YEŞİL BİNALAR	15
3.1 Yeşil Bina Tanımı ve Tarihçesi.....	15
3.2 Yeşil Bina Kapsamında Değerlendirmeye Alınan Konular	17
3.2.1 Malzeme ve Kaynaklar	17
3.2.2 Sağlık ve Konfor	17
3.2.3 Arazi Kullanımı.....	19
3.2.4 İşletme ve Bakım	19
3.2.5 Su	20
3.2.5.1 Alternatif su kaynakları kullanımı	22
3.2.5.2 Su kayıp- kaçakların önlenmesi	25
3.2.5.3 İçme- kullanma suyu fiyatlarının düzenlenmesi su kullanımının azaltılması.....	26
3.2.5.4 Etiketleme ve belgelendirme ile suyun verimli kullanılmasının sağlanması	26
3.2.5.5 Su ve enerji.....	27
3.2.6 Enerji	27
3.2.6.1 Yeşil binalarda enerji verimliliğini artırıcı yöntemler	30
3.2.6.2 Yeşil binalarda yenilenebilir enerji uygulama yöntemleri	32
3.3 Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemleri	58
4. MATERYAL VE METOT	65
4.1 Yeşil Binalar İçin Su Verimliliğine Yönelik Pasif Yağmur Suyu Hasat Sistemi Tasarımı	66
4.2 Yeşil Binalar İçin Isı Pompası Sistemi Tasarımı	70
4.3 Yeşil Binalar İçin Elektrik Üretimi Sistemleri: Çatıüstü Fotovoltaik Sistemleri Uygulaması Analizi	77
4.4 Yeşil Binalar İçin Elektrik Üretimi Sistemleri: Mikro RES Uygulaması Analizi	85

4.5 Yeşil Binalar İçin Verimli Aydınlatma Sistemleri Tasarımı.....	93
4.6 Yeşil Bina Uygulamalarında İklimlendirme Sistemlerinin DesingBuilder Yazılımı İle Analizi	95
5. SONUÇLAR.....	103
5.1 Yeşil Binalar İçin Su Verimliliğine Yönelik Pasif Yağmur Suyu Hasat Sistemi Tasarımı	103
5.2 Yeşil Binalar İçin Isı Pompası Sistemi Tasarımı Sonuçları	108
5.3 Yeşil Binalar İçin Elektrik Üretimi Sistemleri: Çatıüstü Fotovoltaik Sistemleri Uygulaması Analizi Sonuçları	118
5.4 Yeşil Binalar İçin Elektrik Üretimi Sistemleri: Mikro RES Uygulaması Analizi Sonuçları	123
5.5 Yeşil Binalar İçin Verimli Aydınlatma Sistemleri Tasarımı Sonuçları.....	126
5.6 Yeşil Bina Uygulamalarında İklimlendirme Sistemlerinin DesingBuilder Yazılımı İle Analizi Sonuçları	128
6. DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER.....	137
KAYNAKLAR.....	143
EKLER.....	151
ÖZGEÇMİŞ.....	229

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: BBM' nin yaşam döngüsü sürecindeki farklı kullanım alanları	10
Çizelge 2.2: Dünya' daki mevcut BBM yönetmelik, planlama ve kılavuz örnekleri.....	11
Çizelge 3.1: Ofis ve eğitim bina örnekleri için $E_{istenen}$ (Ix), $R_{a(min)}$ ve U^* değerleri..	37
Çizelge 3.2: Farklı method ve bölgelere göre COP değerleri.....	47
Çizelge 3.3: Bazı illerimizin ortalama hava sıcaklıkları.....	52
Çizelge 3.4: Bazı illerimizin zamana ve toprak derinliğine bağlı olarak ortalama toprak sıcaklıkları.	53
Çizelge 3.5: Yatay borulama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları	54
Çizelge 3.6: Dikey borulama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	54
Çizelge 3.7: BREEAM sertifikasyon sisteminin dereceleri.	59
Çizelge 3.8: LEED sertifikasyon sisteminin dereceleri.....	59
Çizelge 3.9: CASBEE sertifikasyon sisteminin puanlama yöntemi.....	60
Çizelge 3.10: GREEN STAR sertifikasyon sisteminin dereceleri.....	60
Çizelge 3.11: DGNB sertifikasyon sisteminin dereceleri.....	61
Çizelge 3.12: Başlıca sertifika sisteminin farklı kriterler için birbirleriyle olan kıyaslamaları.....	63
Çizelge 4.1: Kritik hat basınç kayıpları hesabı için suyun kabul edilen özellikleri ve yerel kayıp katsayıları.....	70
Çizelge 4.3: Yalova iline kurulabilecek RES güç kapasitesi.....	89
Çizelge 4.4: Alanlara göre pürüzlülük faktörü değişimi	90
Çizelge 4.4: Binaya dair sabit değerler.....	99
Çizelge 5.1: 2006- 2016 Aylık Ortalama Yağış Miktarları (kg/m^2).....	103
Çizelge 5.2: Yalova ilinde en sık gerçekleşen günlük ortalama yağış miktarı dağılımları ve temsil kabiliyetleri.....	105
Çizelge 5.3: Analizde kullanılan sabit parametreler ve değerleri.....	105
Çizelge 5.4: Günlük yağış miktarı 1- 6 kg/m^2 - gün arası değerleri için tasarım parametreleri, maliyet, tasarruf ve gös.....	106
Çizelge 5.5: Aylık ortalama hava sıcaklıkları.....	108
Çizelge 5.6: Aylık ortalama toprak sıcaklıkları ($^{\circ}C$).	109
Çizelge 5.7: 2.bodrum kat için hesaplanan ısı yükü miktarı (W/ay).	110
Çizelge 5.8: 1.bodrum kat için hesaplanan ısı yükü miktarı (W/ay).	111
Çizelge 5.9: Zemin kat için hesaplanan aylık ısı yükü miktarı (W/ay).	111
Çizelge 5.10: 1.kat için hesaplanan aylık ısı yükü miktarı (W/ay).	112
Çizelge 5.11: 2.kat için hesaplanan ısı yükü miktarı(W/ay).....	112
Çizelge 5.12: Pencere, avlu, temel ve çatı için hesaplanan aylık ısı yükleri miktarı (W/ay).	113
Çizelge 5.13: Katlara göre gerçekleşen toplam ısı yükleri özeti (W/ay).	114
Çizelge 5.14: Açıklık kayıpları ve ısı kazançları ile katlara göre gerçekleşen ısı yükleri özeti (W/ay).	114
Çizelge 5.15: Isı pompası sistemi için hesaplanan veriler.....	115
Çizelge 5.16: Isı pompası sistemi için seçilen kondenser özellikleri.	116

Çizelge 5.17: Isı pompası sistemi için seçilen evaporatör özellikleri.....	116
Çizelge 5.18: Isı pompası sisteminin ısıtma faktörünün hesaplanması.	117
Çizelge 5.19: Boru çapı ve uzunluklarına göre $L_{ısıtma}$ değerleri.	117
Çizelge 5.20: Monokristal, Polikristal ve İnce Film Teknoloji yatırımlarının analiz sonuçları özeti.	122
Çizelge 5.21: Ölçümlenen rüzgar hızlarının görülme sıklığı.....	123
Çizelge 5.22: Rüzgar hızı ve frekans değerleri.....	123
Çizelge 5.23: Weibull fonksiyonu, V ve V_{rmc} değerleri.	124
Çizelge 5.24: Rüzgar gücü potansiyeli, enerji potansiyeli ve teorik üretilebilir enerji.....	125
Çizelge 5.25: ATY2 4x18W ve led armatürlerin kullanılması durumu.	127
Çizelge 5.27: Simülasyondan Model 1 ve Model 2 için elde edilen değerlerin özeti.....	136



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Konutlarda ve ticari binalarda enerji tüketimi.....	1
Şekil 2.1: Yeni binalar için BBTY süreci özeti.....	4
Şekil 2.2: Mevcut binalar için BBTY tadilat süreci özeti.....	5
Şekil 2.3: BBM' nin imkan verdiği analiz ve simülasyon örnekleri.....	11
Şekil 2.4: DesignBuilder yazılımının giriş ekranı görüntüsü.....	14
Şekil 3.1: Çeşitli su kullanıcılarına göre suyun kullanım alanlara göre dağılımı.....	22
Şekil 3.2: Binalardaki enerji tüketim noktaları.....	29
Şekil 3.3: Binalardaki ısı kayıp noktaları ve oranları.....	29
Şekil 3.4: Trombe duvarının gece ve gündüz çalışma prensibi.....	33
Şekil 3.5: İç mekan su duvarı uygulaması örnekleri.....	34
Şekil 3.6: Taş yataklamanın güneş kollektörleri ile birlikte çalışma prensibi.....	35
Şekil 3.7: Solar Bacanın soğutma ve ısıtma uygulaması çalışma prensibi.....	35
Şekil 3.8: Işık rafı uygulaması örneği.....	38
Şekil 3.9: Işık tüpü uygulaması örneği.....	38
Şekil 3.10: Atriyum uygulaması örneği.....	39
Şekil 3.11: Rüzgar kulesi çalışma prensibi.....	40
Şekil 3.12: Isı pompası sistemi çevrimi.....	51
Şekil 3.13: Isı pompası sistemi ekipmanları ve çalışma prensibi.....	52
Şekil 3.14: a) Panel çalışma prensibi ve b) fotovoltaik sistem ekipmanları.....	55
Şekil 3.15: Kollektörün yapısı.....	56
Şekil 3.16: Rüzgar türbini çeşitleri a) yatay eksenli ve b) dikey eksenli.....	57
Şekil 4.1: Yalova Üniversitesi' nin konumu.....	66
Şekil 4.2: PRRS sistemine dair tesisat yerleşim detayları.....	69
Şekil 4.3: ESM binası B-B kesit görüntüsü.....	73
Şekil 4.4: Binalar için ısı yükü hesabı örneği.....	74
Şekil 4.5: Boru tipi ve çapına göre boru dirençlerinin değişimi.....	76
Şekil 4.6: Boru yerleşimi ve çaplarına göre toprak direnci değişimi.....	77
Şekil 4.7: Türkiye yıllık ortalama (2004-2016) global güneş radyasyonu dağılımı (kWh/m ² -gün).....	78
Şekil 4.8: Türkiye yıllık ortalama günlük toplam güneş radyasyonu dağılımı (kWh/m ² -yıl).....	79
Şekil 4.9: Yalova iline dair Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası.....	79
Şekil 4.10: Yalova ili küresel radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün).....	80
Şekil 4.11: Yalova ili güneşlenme süreleri (saat).....	80
Şekil 4.12: Yalova ilinde PV tipi-alan-üretilebilecek enerji değişimleri (kWh/m ² -yıl).....	81
Şekil 4.13: Pvsyst programında elde edilen Yalova ili aylık ışınlam şiddeti, difüz, sıcaklık ve rüzgar değerleri ekran görüntüsü.....	82
Şekil 4.14: Pvsyst programında elde edilen Yalova ili yatay ve eğimli radyasyon değerleri ekran görüntüsü (kWh/m ² -gün).....	82
Şekil 4.15: Azimut açıları ve difuzite katsayısı değerleri Pvsyst programı ekran görüntüsü.....	83
Şekil 4.16: Pvsyst programına bina alanının girilmesine dair ekran görüntüsü.....	84
Şekil 4.17: Pvsyst programında sistem elemanlarının seçimine dair ekran görüntüsü.....	84

Şekil 4.18: Türkiye geneli 50 metre yükseklikteki ortalama yıllık rüzgar hızları dağılımı (m/s). ...	86
Şekil 4.19: Türkiye geneli 50 metre yükseklikteki ortalama yıllık güç yoğunluğu dağılımı (W/m^2 -yıl).	86
Şekil 4.20: Yalova ilini ait Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası	87
Şekil 4.21: Yalova ili için kapasite faktörü.....	87
Şekil 4.22: Yalova ilinde rüzgar kurulabilir ve kullanılamaz alanlar	88
Şekil 4.23: Yalova ili enerji nakil hatları ve trafo merkezleri	88
Şekil 4.24: Rüzgar hızı- yükseklik dağılımı	90
Şekil 4.25: Ele alınan binanın kat holü görüntüsü.	93
Şekil 4.26: Lüksmetre cihazı	94
Şekil 4.27: DesingBuilder yazılımında oluşturulan binanın model görüntüsü.....	96
Şekil 4.28: Bina 2.Bodrum katının DesingBuilder yazılımındaki model görüntüsü.	96
Şekil 4.29: Bina 1.Bodrum katının DesingBuilder yazılımındaki model görüntüsü.....	97
Şekil 4.30: Bina Zemin katının DesingBuilder yazılımındaki model görüntüsü.....	97
Şekil 4.31: Bina 1. katının DesingBuilder yazılımındaki model görüntüsü.	98
Şekil 4.32: Bina 2. katının DesingBuilder yazılımındaki model görüntüsü.	98
Şekil 4.33: DesingBuilder yazılımında bina duvarını oluşturan elemanların görünümü.....	99
Şekil 4.34: Simülasyonda Model 1 için seçilen TKIP sistemi akış şeması görüntüsü.	100
Şekil 4.35: Simülasyonda Model 2 için seçilen KRIS' nin akış şeması görüntüsü.	101
Şekil 5.1: Yalova ili günlük ortalama yağış miktarına bağlı frekans dağılımı (kg/m^2).	104
Şekil 5.2: Günlük ortalama yağış miktarına bağlı btgy- depo hacmi.	106
Şekil 5.3: Günlük yağmur suyu miktarlarına bağlı GÖS değerleri.....	107
Şekil 5.4: Toprak sıcaklığının derinlikle aylara göre değişimi.	109
Şekil 5.5: İdeal ısı pompası çevriminin lnP-h diyagramı.....	115
Şekil 5.6: Select 7.13 programında seçilen kompresörün teknik verilerine dair ekran görüntüsü.	115
Şekil 5.7: Önerilen kuyu biçiminden bir kesit.	118
Şekil 5.8: Pvsyst programında monokristal sisteme dair detaylı sonuç değerleri ekran görüntüsü.	118
Şekil 5.9: Pvsyst programında monokristal sistem yatırımına dair değerlendirmelerin ekran görüntüsü.	119
Şekil 5.10: Pvsyst programında polikristal sistem sisteme dair detaylı sonuç değerleri ekran görüntüsü.	120
Şekil 5.11: Pvsyst programında polikristal yatırımına dair değerlendirmelerin ekran görüntüsü.....	120
Şekil 5.12: Pvsyst programında ince film sisteme dair detaylı sonuç değerleri ekran görüntüsü.....	121
Şekil 5.13: Pvsyst programında ince film sistem yatırımına dair değerlendirmelerin ekran görüntüsü.	122
Şekil 5.14: Ele alınan binanın $\ln(V)$ - $\ln(-\ln(1-F(V)))$ dağılımı	124
Şekil 5.15: Rüzgar hızına bağlı frekans değişimi.	125
Şekil 5.16: Rüzgar hızına bağlı Weibull olasılık fonksiyonu değişimi.	125
Şekil 5.17: Vestel Pro Plus Panel 60x60 ürünü.	127
Şekil 5.18: Simülasyondaki Model 1' in aylık konfor şartları durumu.....	128
Şekil 5.19: Simülasyondaki Model 1' in aylara göre yıllık enerji tüketimi (MWh/yıl).....	129
Şekil 5.20: Model 1' deki koşullarda binanın enerji tüketimi dağılımları (MWh/ yıl).	130
Şekil 5.21: Simülasyondaki Model 1' in aylara göre yıllık CO ₂ üretimi (kg/yıl). ...	131
Şekil 5.22: Simülasyondaki Model 2' nin aylara göre konfor şartları.	132
Şekil 5.23: Simülasyondaki Model 2' nin aylara göre yıllık enerji tüketimi (kWh/yıl).	133
Şekil 5.24: Model 2' deki koşullara göre binanın enerji tüketimleri dağılımı (MWh/ yıl).....	134
Şekil 5.25: Simülasyondaki Model 2' nin aylara göre yıllık CO ₂ üretimi (kg/yıl).	135

KISALTMALAR

ASHRAE	: Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Derneği
BAP	: Bilimsel Araştırma Projesi
BBM	: Bina Bilgi Modellemesi
BBTY	: Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı
BEE	: Çevresel etkinlik değeri
BREEAM	: Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Metodu
CASBEE	: Yapılı Çevre Verimliliği için Kapsamlı Değerlendirme Sistemi
ÇEDBİK	: Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
CFD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CW	: Yapay Sulak Alan
COP	: Performans Katsayısı
DGNB	: Alman Sürdürülebilir Yapı Konseyi
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
EAHE	: Toprak-Hava Isı Değiştirici
EC	: Elektrokoagülasyon
EN	: İngiliz Normları
ESM	: Enerji Sistemleri Mühendisliği
EVO	: Enerji Verimlilik Oranı
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GYBS	: Güvenli Yeşil Bina Sertifikası
HQE	: Yüksek Çevresel Kalite Standartları
HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
ISH	: Isıtma, Soğutma, Havalandırma
KRIS	: Klasik Radyatörlü Isıtma Sistemi
LCA	: Yaşam Döngüsü Analizi
LEED	: Amerikan Yeşil Binalar Konseyi
MBR	: Membran Biyoreaktörler
PCM	: Faz Değişimi Malzemeleri
PRRS	: Pasif Yağmursuyu Toplama ve Yeniden Kullanımı Sistemi
PV	: Foto Voltaj
RBC	: Döner Biyolojik Reaktörler
REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	: Rüzgar Enerjisi Santrali
SBR	: Ardışık Kesikli Reaktörler
TGÜB	: Türkiye Gazbeton Üreticileri Birliği
TKIP	: Toprak Kaynaklı Isı pompası
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
VAV	: Değişken Hava Hacimli Sistemler
VOC	: Uçucu Organik Madde
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü



SEMBOL LİSTESİ

ε	: Boru için pürüzlülük (μm)
λ	: Isıl iletkenlik (W/mK)
μ	: Dinamik viskozite (poise)
μ^*	: Su buharı difüzyon direnç faktörü
B	: Bina için günlük yağmur hasadı (kg/gün)
C_s	: Depo maliyeti (TL)
C_w	: Suyun m^3 fiyatı (TL/m^3)
D	: Günlük ortalama yağış miktarı (kg/m^2)
D'	: Boru çapı (inç)
E	: Aydınlik düzeyi (lx)
F	: Filtre etkinlik katsayısı
f	: Darcy sürtünme faktörü
F₁	: Isıtma çalışma faktörü
GÖS	: Ortalama günlük hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
GÖST	: Ortalama günlük toprak sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
h_{k,toplam}	: Toplam basınç kayıpları (m)
h_{k,yerel}	: Yerel basınç kayıpları (m)
h_k	: Basınç kayıpları (m)
h_{k,sürekli}	: Sürekli basınç kayıpları (m)
K_K	: Kayıp katsayısı
L	: Yapının çevresel yükleri
L*	: Parıltı (cd/m^2)
L_{ısıtma}	: Isıtma için gerekli olan boru uzunluğu (m)
NoR	: Kullanım sayısı (kez)
PP	: Geri ödeme güresi (yıl)
Q	: Yapının çevresel kalitesi ve performansı
Q_{evap}	: Evaporatörün ısı kapasitesi (kW)
Q_{ısıtma}	: Isıtma ihtiyacı (kW)
Q_{kond}	: Kondenserin ısı kapasitesi (kW)
R*	: Çatı katsayısı
R	: Isıl direnç ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_a	: Lambaların renksel geriverim değeri (K)
R_{b, yatay}	: Yatay boru yerleşimi için toprak direnci (mK/W)
R_{b, dikey}	: Dikey boru yerleşimi için toprak direnci (mK/W)
RC	: Rezervuar kapasitesi (lt)
S	: Bir binadan elde edilebilecek yıllık maksimum tasarruf potansiyeli (TL)
S_d	: Su buharı difüzyonuna karşı direnç
U	: Isıl geçirgenlik katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$)
U*	: Aydınlatmanın düzgünlüğü
U_C	: Rezervuarlarda kullanım sayısı (kez)
V	: Akışkanın hızı (m/s)

V_m	: Akışkanın ortalama hızı (m/s)
V_{mod}	: Akışkanın mod hızı (m/s)
V_{rms}	: Akışkanın ortalama küpkök hızı (m/s)
Y	: Yıllık ortalama yağış miktarı (kg/m ²)
W_{komp}	: Gerçek kompresör işi (kW)
$W_{kompteorik}$: Teorik kompresör işi (kW)
Z_o	: Pürüzlülük yüksekliği (mm)
Z_R	: Referans yerin yüksekliği (mm)



YEŞİL BİNA SERTİFİKASYON SİSTEMLERİ VE BÜTÜNLEŞİK BİNA TASARIMI YAKLAŞIMIYLA ENERJİ KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Küresel ölçekte yaşamaya başladığımız kaynaklara ulaşım sıkıntısı, bilinçsiz tüketimle hızla artış gösteren ve çeşitlenen çevre sorunları her geçen gün daha da büyümektedir. Şuan tüketmiş olduğumuz doğal kaynakların geri döndürülebilmesi de söz konusu değildir. Bu durumun üstesinden gelebilmek için bulunan çözümlerden bir tanesi de “sürdürülebilirlik felsefidir”. Sürdürülebilirlik felsefesinin binalardaki uygulanması ise bütünleşik bina tasarımı yaklaşımı ile inşa edilen yeşil binalardır.

Tezde, sürdürülebilir üretim ve tüketim anlayışı ile yaşamsal faaliyetlerden meydana gelen zararlı etkilerin en aza indirilmesi konusu irdelenerek yaşamımızdaki iki olmazsa olmaz unsur olan su ve enerji konusuna odaklanılmıştır. Bu kapsamda, kaynaklarımızın büyük çoğunluğunu tüketen binalar ele alınmıştır. Sürdürülebilirliğin binalardaki uygulaması olan “bütünleşik bina tasarımı” ile “yeşil bina” kavramları tanıtılmıştır. Yeşil bina sertifika sistemlerinin kategorilerine dikkat çekilerek sertifikaların birbirleriyle olan benzer ve farklı özellikleri kıyaslanmıştır.

Tez kapsamında, suyun Dünya’daki durumuna dikkat çekilerek suyun verimli kullanılmasına gerektiği gözler önüne serilmiştir. Kentlerde su verimliliğini artırıcı yöntem ve tekniklerden bahsedilerek yağmursuyu hasadının su verimliliğine olan katkısı vurgulanmıştır.

Çalışmada, binalarda enerji tüketim noktalarının ve enerji kayıp-kaçaklarının neler olduğuna dair tespitler yapılmıştır. Daha sonra, binalarda enerji verimliliğini artırıcı yöntem ve tekniklerden bahsedilmiştir. Binalarda en çok enerji tüketimine neden olan iklimlendirme sistemlerine dikkat çekilmiştir.

Tezin son bölümünde ise, odak noktası olan enerji verimliliğinin artırılmasına dair mühendislik çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla, Yalova Üniversitesi kampüsündeki bir binaya “yeşil bina konsepti” uygulanmıştır. Ele alınan bina için su ve enerji ile ilgili sürdürülebilir yöntem ve tekniklerin uygulanmasına dair çalışmalar yapılmıştır.



EVALUATION OF ENERGY USE BY GREEN BUILDING CERTIFICATION SYSTEMS AND INTEGRATED BUILDING DESIGN APPROACH

SUMMARY

The environmental problems that are rapidly increasing with uncontrolled consumption and the growing variety of environmental problems are getting bigger every day. It is also not possible that the natural resources we have consumed can be returned. One of the solutions for achieving this is "philosophy of sustainability". The implementation of the philosophy of sustainability in buildings is the green buildings built with integrated building design approach.

In the thesis, focusing on sustainable production and consumption agreement and minimizing the harmful effects of vital activities, focusing on the two essential elements of life and water and energy. In this context, buildings that consume the vast majority of our resources are addressed. The concepts of "integrated building design" and "green building", which are the applications of sustainability in the buildings, are introduced. The similarities and differences of the certificates with each other are compared by drawing attention to the categories of green building certification systems.

Within the scope of the thesis, it has been pointed out that the water should be used efficiently by drawing attention to the situation in the world. The methods and techniques that increase the water productivity in the cities are mentioned and the contribution of the rainwater harvest to the water productivity is emphasized.

In the study, determinations were made about the energy consumption points and the energy loss-leaks of the buildings. Later, energy efficiency enhancement methods and techniques were mentioned in the buildings. The buildings emphasize the most energy-efficient climate systems.

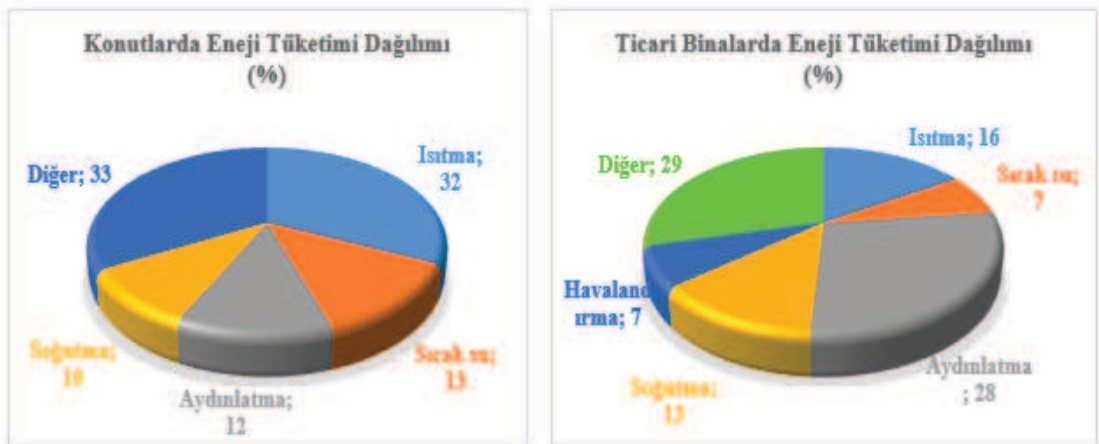
In the last part of the thesis, engineering works have been done to increase energy efficiency which is the focal point. For this purpose, a "green building concept" was applied to a building on the Yalova University campus. Studies have been undertaken to apply sustainable methods and techniques related to water and energy for the considered building.



1. GİRİŞ

Sanayi Devrimi ile birlikte hız kazanan üretim, gelişen teknolojilerle beraber daha da artmıştır. Artan üretimin getirdiği yeniliklerden biri de tüketim odaklı yaşama alışkanlığıdır. Araştırmacılar, tüketim odaklı yaşama alışkanlığı ile birlikte bilinçsizce kullanılan doğal kaynaklarımızın tükenme noktasına geleceğini ve ekolojik sistemin normal işleyişinin bozulacağını öngörmektedir.

Günümüz toplumları yaşamakta olduğu küresel ısınma, çevre kirliliği, kaynaklara erişim güçlüğü gibi sorunlara çözüm olarak sürdürülebilir şekilde gelişmelerini devam ettirebilmek için yeni arayışlar içerisinde. Araştırmalar ise, bu sorunların kaynağının inşaat sektörü olduğuna işaret etmektedir. İnşaat sektörü, karbon salımı en fazla olan sektördür. Bununla birlikte, inşaat sektörü küresel kaynakların % 40' ını, içilebilir su rezervlerinin %12' sini, orman ürünlerinin %55' ini, ham maddelerin %40' ını tüketmekte, atıkların %45-65' ini ve zararlı gaz emisyonlarının % 48' ini üretmektedir [1]. Binalardaki enerji tüketimine detaylı olarak bakıldığında, %39' luk pay ile binalar en çok enerji tüketen sektördür. Bu %39' luk kısmın %21' i konutlarda, %18' i ticari binalarda tüketilmektedir [2]. Bina türüne göre en çok enerji tüketen sistemler Şekil 1.1' de gösterilmektedir.



Şekil 1.1: Konutlarda ve ticari binalarda enerji tüketimi [2].

Doğal kaynaklara ve çevreye yüksek derecede etki eden binaların sürdürülebilir olması için yapılan çalışmalar 'Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı' nı ve 'Yeşil Bina' kavramını ortaya çıkarmıştır.

Son yıllarda araştırmacıların ilgiyle üzerinde çalıştığı Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı (BBTY), binaların enerji ve çevre performanslarında iyileştirmeler yapmaya yönelik süreç odaklı bir yöntemdir. BBTY; bina geliştirme, tasarım, yapım ve yönetimde yer alan temel aktörlerin etkin bir işbirliğinin yapılmasını şart koymaktadır. Kısaca özetlemek gerekirse BBTY' nin amacı, yapılacak binaların proje aşamasında çıkabilecek tüm sorunlara çözümler bulmak ve hedeflenen performans değerlerini yakalamaya yönelik olarak tüm paydaşların birlikte çalışmalarını sağlamaktır [3]. Anlaşıldığı üzere, BBTY Yeşil Bina uygulamalarında yer verilmesi gereken bir yöntemdir.

1980' li yıllarda ortaya çıkan yeşil bina anlayışında ise; binalar, çevrenin insan sağlığı ve doğal çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en az olacak şekilde tasarlanan, işletilen ve yok edilen yapılar olmalıdır. Bu amaçla yapılan binalar; i) enerjinin, suyun ve diğer kaynakların etkin kullanılmasını, ii) kullanıcıların sağlığının korunmasını ve çalışanların verimliliğinin artmasını, iv) atık, kirlilik ve çevresel bozulmanın azaltılmasını sağlamaktadır [4]. Amacına uygun olarak yeşil bina yapılabilmesi için ise yeşil bina kavramının ayrıntılı ve net olarak tanımlanması ve bir standart oluşturulması gerekmektedir. Bu duruma çözüm olarak ise, Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemleri ortaya konulmuştur.

Tez kapsamında; sahip olduğumuz birçok kaynağın en fazla tüketildiği yer olan binaları, tüm yaşam döngüsü süresince sürdürülebilirlik bakış açısı ile değerlendirilerek yeşil bina ile bütünleşik bina tasarımı kavramı irdelenmiştir. Daha sonra, Yalova Üniversitesi bünyesinde bir bina ele alınarak doğal kaynaklarımızın içerisinde oldukça öneme sahip olan su ve enerji kaynaklarının binalarda en etkin şekilde kullanılabilmesi için yeşil bina ve bütünleşik bina tasarımı anlayışı çerçevesinde mühendislik yöntem ve tasarımları geliştirilmiştir.

2. BÜTÜNLEŞİK BİNA TASARIMI YAKLAŞIMI

2.1 Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı Tanımı

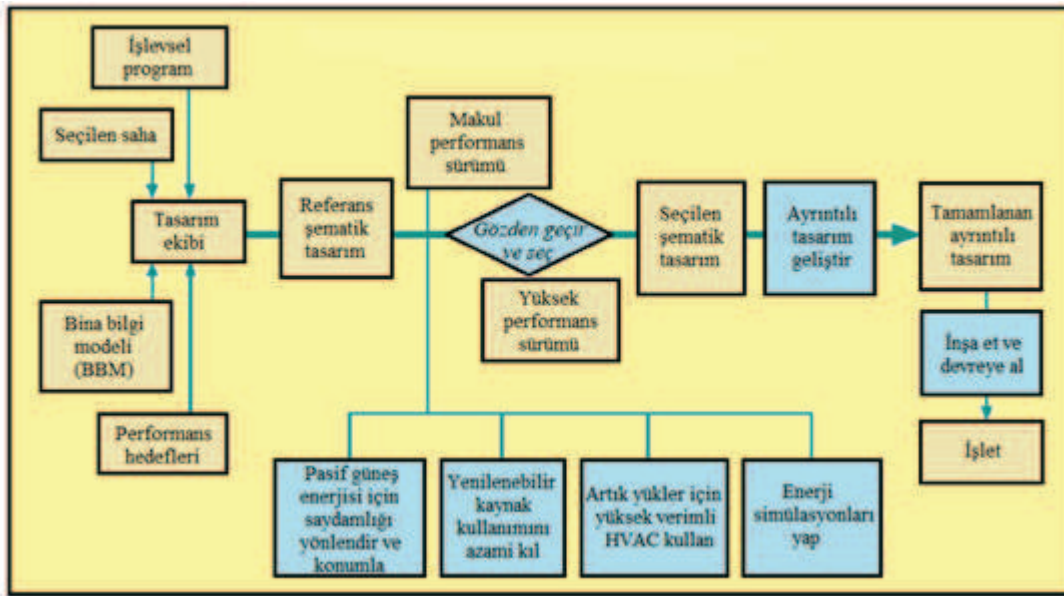
Binalar, yapım ve yıkım süreçlerinde birçok açıdan değerlendirilmektedir. Entegre bir yaklaşıma olan gereksinim inşaat sektöründe birbiriyle ilişkili ekonomik, teknik, politik ve sosyal gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkmıştır ve giderek önem kazanmaktadır.

Bütüncül yapı tasarımı, disiplinler arası paylaşımı esas alan, “bütünleşik tasarım (integrated design)” ve “bütünleşik ekip (integrated team)” olmak üzere iki temel kavrama dayalı yürütülen bir süreçtir [5]. Bu yaklaşım, tasarım sürecinin tüm paydaşlarına ve planlama, tasarım, inşaat aşamasındaki teknik ekibe; projenin hedeflerine, malzeme, sistem ve bileşenlerine pek çok farklı perspektiften bakabilmelerini gerektirir. Bununla birlikte bütünleşik tasarım anlayışı, geleneksel tasarım anlayışının aksine tasarım süreci boyunca söz sahibi olan çeşitli uzmanların, birbirlerinden ayrı olarak yürüttükleri bir yöntemdir [5]. BBTY, bina geliştirme, tasarım, yapım ve yönetiminde görev alan tüm ana paydaşların etkin bir işbirliğinde olmaları için yol göstericidir.

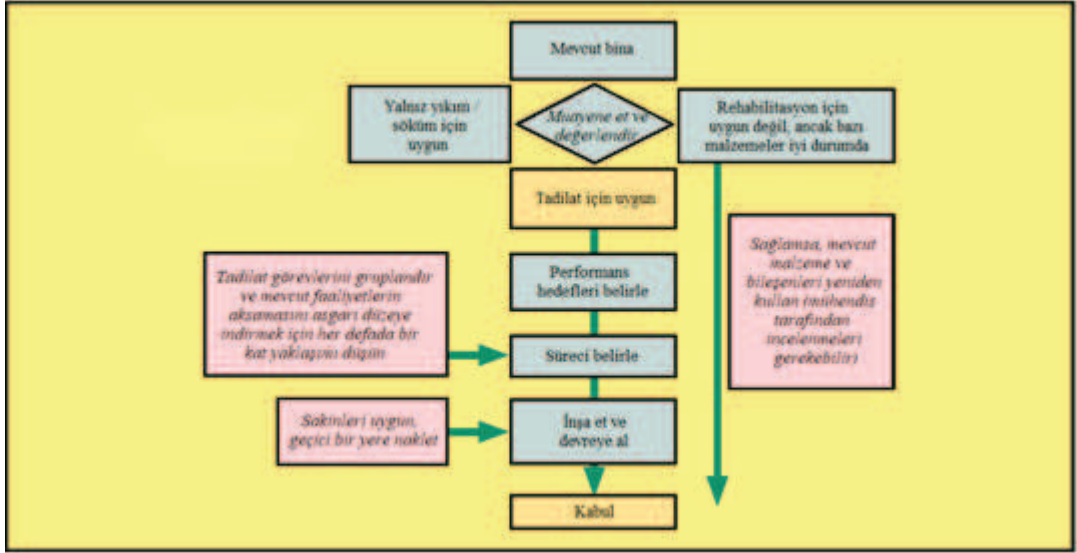
Bina performansı, sadece bina bileşenlerine veya tesisat sistemine dayalı değildir. Bina performansı bunların bütününe dinamik etkileşimine dayalıdır. Bu nedenle tasarım süreci, bütüncül yapı tasarımı esaslarına dayalı olarak ele alınmalıdır [5].

BBTY ilkeleri temel olarak şu şekildedir [3]:

- ❖ BBTY süreci, gelişen durumlara ekip üyeleri arasındaki sinerji sayesinde erken müdahale edebilme imkanını sağlar. Buradaki bakış açısı ise, performansı ve performans alanları arasındaki etkileşimi irdelemektir. BBTY; yer seçimi, tasarım, yapım, işletim ve yıkım-söküm dahil olmak üzere binanın yaşam döngüsünün üzerinde önemle durmaktadır. Başarılı kararlar alıp yerinde adımlar atabilmek için, yaşam döngüsünde olası durumları göz önüne alınmalı, durum tahminlerinde bulunulmalı ve bu olasılıkları düşünülerek karar vermelidir.
- ❖ BBTY modeli; müteahhitler, mimarlar, mühendisler, yükleniciler ve bina yöneticilerinin kültürlerine göre ve bina türlerine göre değişmektedir. Çünkü, her paydaşın binayla ilgili kendi sorun ve çözümleri vardır. Farklı bina türleri farklı performansları sağlamak zorundadır. Bu nedenle, tek ve değişmez bir BBTY modeli yoktur.
- ❖ BBTY yaklaşımı, tadilat projelerine de başarıyla uygulanabilmektedir. Bu durumda, binaların tasarım, yapım yöntemleri ve tadilat geçmişi bilinmelidir. Bu bilgiler ışığında BBTY yaklaşımı mevcut binaların iyileştirilmesinde de etkin bir metottur (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2).



Şekil 2.1: Yeni binalar için BBTY süreci özeti [3].



Şekil 2.2: Mevcut binalar için BBTY tadilat süreci özeti [3].

BBTY yaklaşımına göre, bir binayı oluşturan temel aşamalar, Ön Proje (Avan Proje) Geliştirme Aşaması, Ayrıntılı Tasarım Geliştirme Aşaması ve İnşaat Aşaması, Etkinlikler ve İzleme' den oluşmaktadır. Bu aşamaların basamakları ise şekilde sıralanabilir [3]:

a) Ön Proje (Avan Proje) Geliştirme Aşaması Basamakları

1. Tasarım ve inşaat süreçlerini etkileyen ortam faktörlerinin tanımlanması,
2. Saha seçimi ve saha özelliklerinin değerlendirilmesi,
3. Sahadaki mevcut yapıların değerlendirilmesi,
4. İşlevsel program ve yönetim sürecinin geliştirilmesi,
5. Performansa yönelik öncelik ve hedeflerin geliştirilmesi,
6. Tasarım ve tasarımı geliştirme ekibi üyelerinin seçilmesi,
7. Ön proje fikir toplantılarının düzenlenmesi,
8. Şematik tasarımların geliştirilmesi,
9. İleri düzeyde geliştirmek üzere şematik tasarımlardan birinin seçilmesi,
10. Yerleşim planının geliştirilmesi,

b) Ayrıntılı Tasarım Geliştirme Aşaması Basamakları

11. Bina Bilgi Modeli' nin (BBM) geliştirilmesi,
12. Şematik iç mekan tasarım gereklilerinin geliştirilmesi,
13. Bina statik yapı tasarımının geliştirilmesi,
14. Bina kabuğu tasarımının geliştirilmesi,

15. Gün ışığından yararlanma ve aydınlatma sistemi için ön stratejilerin geliştirilmesi,
 16. Güç sistemi ön tasarımlarının geliştirilmesi,
 17. Havalandırma, ısıtma ve soğutma sistem tasarımlarının geliştirilmesi,
 18. Toprak veya su kaynaklı ısı depolama seçeneklerinin değerlendirilmesi,
 19. Bina yönetim kontrol sistemi için spesifikasyonların geliştirilmesi,
 20. Ayrıntılı enerji simülasyonlarının yapılması,
 21. Tasarım seçeneklerine karar verilmesi,
 22. Yapısal olmayan malzemelerin seçilmesi,
 23. İnşaat yapım süreci öncesi proje dokümantasyonunun tamamlanması,
 24. İnşaat ve faaliyetler için kalite güvence stratejilerinin geliştirilmesi,
- c) İnşaat Aşaması, Etkinlikler ve İzleme Basamakları
25. İnşaatın yapılması, faaliyetler için hazırlık ve işletme,
 26. Sahanın teslim alınması ve hazırlanması, temel işlerinin yapılması,
 27. Sahadaki uyumsuz yapıların yıkılması,
 28. Sökülmüş malzemelerin kullanılması olanaklarının değerlendirilmesi,
 29. Geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılması,
 30. İnşaat atıkları bertarafının yönetilmesi,
 31. Binanın inşaatının yapılması,
 32. Binanın inşa edildiği hali ile enerji simülasyonlarının yapılması,
 33. Devreye alma sürecinin uygulanması,
 34. İşletim personelinin eğitilmesi,
 35. Ticari amaçlı binayı kullanan kiracıların verimli işletim süreci için eğitilmesi,
 36. Bina sakinlerinin verimli işletim süreci için eğitilmesi,
 37. Binanın işletilmesi,
 38. Performansın izlenmesi ve işletmede performansın geliştirilmesi,
 39. İskan sonrası değerlendirmenin yapılmasıdır.

Bu aşamalara gerekli görülmesi durumunda yapının söküm/ yıkım aşamasındaki adımlar da dahil edilebilmektedir. Görüldüğü gibi BBTY, binayı yaşam döngüsü boyunca yaşayabileceği tüm durumlara karşı inceleyerek çözüm önerileri sunmaktadır.

BBTY' na göre verimli bir etkin bina elde edebilmek için çevresel, ekonomik ve sosyal alanlarda ölçüt ve hedefler konulmuştur. Bu ölçüt ve hedefler aşağıdaki şekilde sıralanabilir [3]:

- Sahanın fiziksel ve kültürel ortam ile uyumu/uygunluğu, konumu ve özellikleri,
- İhtiyaç programı işlevselliği,
- Malzemeler ve malzemeleri kullanma verimliliği,
- İnşaatta bina malzemeleri, bileşenleri ve sistemlerinin kullanımından kaynaklanan gömülü enerji,
- İnşaat kalitesi (Kalite kontrol ve devreye alma),
- Katı atık yönetimi (inşaat),
- İnşaatın sahaya ve saha ekolojisine etkileri,
- Düşük karbonlu veya sıfır karbonlu enerji kaynaklarının kullanılabilirliği,
- İşletim esnasında enerji tüketimi,
- İşletim esnasında sera gazı emisyonunun etkileri,
- İşletim esnasında atmosfere diğer emisyonların etkileri,
- Isı adası etkisi,
- Bina ısı enerji depolaması,
- Bina elektrik enerjisi depolaması,
- Su tüketimi ve yönetimi,
- İşletimin sahaya ve saha ekolojisine etkileri,
- Katı atık yönetimi,
- İç Çevre Kalitesi (İÇK) koşullarının yönetimi:
 - o İç hava kalitesi,
 - o Isıl konfor,
 - o Akustik konfor,
 - o Aydınlatma ve görsel konfor,
 - o İç çevre kalitesi bileşeni (koku),
- Bina sistemleri ve iç çevre kalitesinin denetimi,
- Performansa dayalı tesis yönetiminin sürdürülebilirliği,
- Uzun ömürlülük, uyarlanabilirlik ve esneklik özellikleri,
- Mal ve can güvenliği ve bina bütünlüğü,

- Normal işletim faaliyetleri esnasında ikamet edenlerin can güvenliği ve emniyeti,
- Tüm kullanıcılar için erişilebilirlik,
- Binaya ilişkin sosyal ve algısal konular,
- Binanın maliyeti ve ekonomik performansı.

Enerji ile ilgili performans hedefleri daha detaylı olarak incelenecek olursa bu hedefler; performans hedefleri, bina kabuğu, iklimlendirme sistemleri, sıcak su sistemleri, aydınlatma, elektrik sistemleri ve varsa diğer sistemlerin verimliliğinden oluşmaktadır.

Enerji konusundaki performans ölçütleri ise, başlıca şunlardır [6]:

- Alternatif enerji oranı,
- Birincil enerji oranı,
- Fosil yakıt tasarruf oranı,
- CO₂ azaltım oranı,
- Enerji/ kullanılan m³ alan/yıl/derece-saat,
- Ekserji yönetimi ve verimi,
- Güç ve enerji taleplerinde salınım oranı,
- Güç ve enerji oranlarında salınım oranı.

2.2 Yeşil Binalarda BBTY Sürecinde Bina Bilgi Modellemesinin Önemi

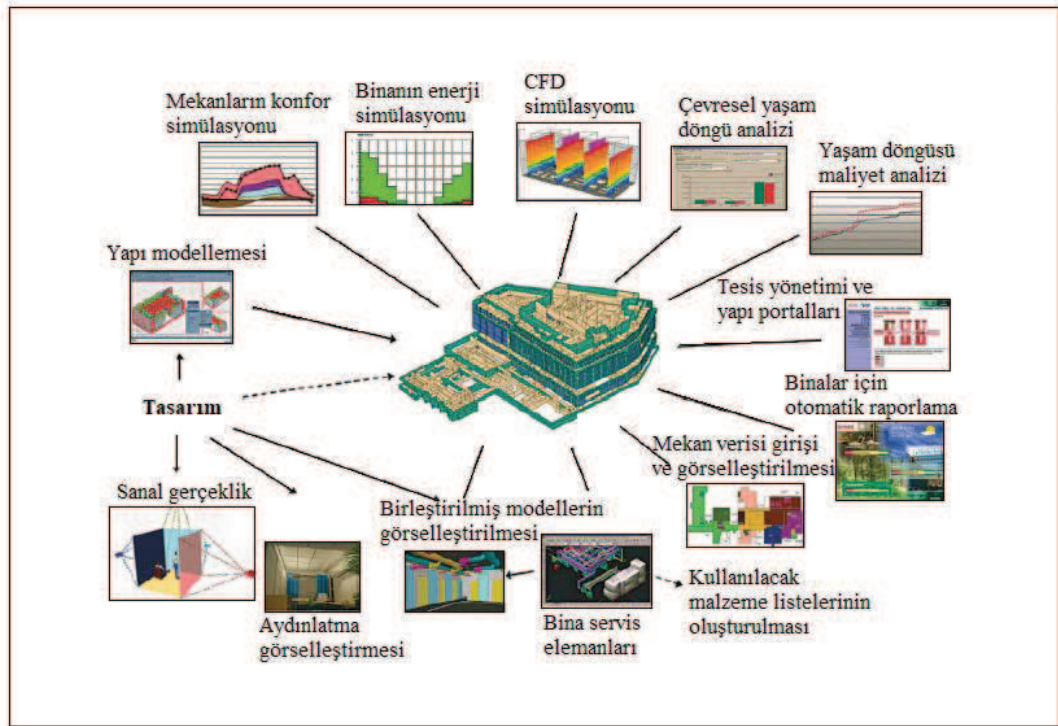
Bina bilgi modellemesi (BBM) kavram olarak yaklaşık otuz yıldan beri varlığını sürdürmektedir. Amerika ve Avrupa’ da yoğun bir şekilde uygulanmasına rağmen ülkemizde inşaat sektöründe son zamanlarda tanınmakta ve uygulanmaktadır. Bina Bilgi Modellemesi Proje Uygulama Kılavuzu (CICRP, 2010), BBM binaların tasarım, inşaat ve yapı yönetimini geliştirmek için, bina projesinin dijital bilgi modelinin geliştirilmesine, kullanılmasına ve transferine odaklı bir süreç olduğunu ifade etmektedir. BBM uygulamalarında bina ile ilgili verilen kararlar ve üretilen bilgiler eksiksiz olarak tüm süreç boyunca her bir paydaşa aktarılmaktadır. Böylece paydaşlar etkili bir iletişim kurarak projeyi ortak hedefler doğrultusunda daha etkin biçimde gerçekleştirmiş olmaktadır. Bununla birlikte, toplanan bilgiler doğrultusunda BBM sürecinde bina ile ilgili modeller ortaya konulmaktadır. Geliştirilen bu modeller ve modellerin olanak sağladığı analiz kabiliyeti, projede yer alan birimlerin kendi tasarım yaklaşımlarını, kısıtlamalarını ve olası kazanımlar içeren çözümlerini diğer birimlere iletebilmeyi sağlamaktadır.

Bu modelleme ve analiz sayesinde BBM ile bina performansı gözlemlenerek daha iyi hale getirilebilmektedir [3]. BBTY uygulamalarında BBM kullanımı, daha etkin proje geliştirmeye ve uygulama sürecinin daha verimli gerçekleştirilmesine olanak vermektedir. BBM yaşam döngüsü sürecinde farklı kullanım alanlarına sahip olmakla birlikte bu alanlar bina modellemesinde de ele alınan ana konulardır (Çizelge 2.1)

Çizelge 2.1: BBM' nin yaşam döngüsü sürecindeki farklı kullanım alanları [3].

PLANLAMA	TASARIM	İNŞAAT	KULLANIM
Mevcut Koşulların Modellenmesi	Mevcut Koşulların Modellenmesi	Mevcut Koşulların Modellenmesi	Mevcut Koşulların Modellenmesi
Maliyet Tahmini Hesaplanması	Maliyet Tahmini Hesaplanması	Maliyet Tahmini Hesaplanması	
Süreç Planlaması	Süreç Planlaması	Süreç Planlaması	
Programlama	Programlama		
Yerleşim Analizi	3D Tasarım Koordinasyonu	3D Tasarım Koordinasyonu	
Tasarımın Gözden Geçirilmesi	Tasarımın Gözden Geçirilmesi	Şantiye Kullanımı ve Planlaması	
	Tasarımın Oluşturulması	Yapım Sistemi Tasarımı	
	Statik Analiz	Fabrikasyon	
	Aydınlatma Analizi	3D Kontrol ve Planlama	
	Enerji Analizi	Yapı Teslim Modeli	Yapı Teslim Modeli
	Mekanik Analiz		Bakım-Onarım Takvimi Yönetimi
	Diğer Mühendislik Analizleri		Yapı-Sistem Analizi
	Yönetmelik Uyum Onaylaması		Portföy Yönetimi
			Mekan Yönetimi
			Afet Planlaması

BBM farklı tasarımların dijital ortama aktarılarak performans analizinin yapılmasını sağlamakta ve bu analizlere göre etkin bir tasarımın ortaya çıkarılmasına imkan vermektedir. BBM' de parametrik modelleme kullanılır. Parametrik modellemenin kullanılması ile farklı analizler daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir [3]. Şekil 2.3' te BBM' nin içerisinde yer alan analiz ve simülasyonlar özetlenmektedir.



Şekil 2.3: BBM' nin imkan verdiği analiz ve simülasyon örnekleri [3].

Çizelge 2.2' de Dünya' da uygulanmakta olan BBM yönetmelik, planlama ve kılavuzlara dair örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.2: Dünya' daki mevcut BBM yönetmelik, planlama ve kılavuz örnekleri [3].

Hazırlayan Kurum	Yayın Adı ve İnternet Adresi
The U.S. Department of Veterans Affairs (VA) Office of Construction & Facilities Management (CFM)	The VA BIM Guide http://www.cfm.va.gov/til/bim/BIMGuide/
US General Services Administration	BIM Guide Series http://www.gsa.gov/portal/content/105075
Wisconsin Department of Administration	BIM Design Guidelines & Standards http://www.doa.state.wi.us/Default.aspx?Page=b1b89cc2-4688-4669-8e2a-47c2234a8179
National BIM Standard (NBIMS)	National BIM Standard-United States http://www.nationalbimstandard.org/
Pennsylvania State University	BIM Project Execution Planning Guide http://bim.psu.edu/
Construction Users Roundtable (CURT)	http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab085571.pdf
AEC (UK) BIM Protocol Project BIM Execution Plan	http://aecuk.files.wordpress.com/2012/09/aecukbimprotocol-bimexecutionplan-v2-0.pdf
Singapore BIM Guide	http://www.corenet.gov.sg/integrated_submission/bim/BIM/Singapore%20BIM%20Guide_V2.pdf

2.3 Yeşil Binalarda Enerji Analizinin Simülasyon Programları Aracılığı ile Yapılması: DesignBuilder Yazılımı

Yeşil bina uygulamalarında, bina için en az tüketim sağlayarak ihtiyaçları karşılayabilen sistemlerini tanımlamak en önemli noktalardan biridir. Gün geçtikçe yaygınlaşan simülasyon programları en akılcı yöntemlerden biridir. Simülasyon araçları, çok kısa sürede ve diğer yöntemlere göre daha az maliyet ile detaylı analizler yapılabilmekte ve böylece binaya en uygun olan sistemler seçilebilmektedir. Diğer yandan, bina uygulamalarında genellikle kullanıcı istekleri ile uygulayıcıların sunduğu imkanlar tam olarak örtüşmemektedir. Kullanıcı istekleri ile uygulayıcıların ortak paydasını bulabilmek için de simülasyon programları oldukça faydalı olmaktadır. Kısa sürede yapılabilen detaylı analizler ile elde edilen sonuçlar, kullanıcılar ile uygulayıcıların ortak bir karar alabilmesini sağlamaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan simülasyon araçlarından bir tanesi DesignBuilder yazılımıdır. DesignBuilder, EnergyPlus programı tabanlı bir yazılım aracıdır. Yazılımın genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir [7]:

- i. EnergyPlus bina ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarını modellemek için Amerikan Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan kapsamlı bir bina enerji simülasyonu programıdır. EnergyPlus programı, BLAST ve DOE-2' nin en çok kullanılan özelliklerine sahiptir. Programda aynı zamanda, kısa süreli simülasyon zaman dilimleri, ısı transferi dengesi bazlı zon simülasyonu, çok zonlu havalandırma sistemleri, termal konfor ve fotovoltaik sistemler gibi birçok özellikler mevcuttur.
- ii. EnergyPlus programının dinamik termal simülasyon motoruna grafiksel arayüz oluşturan ilk kapsamlı yazılımdır. Bu grafiksel arayüzü sayesinde bina tasarımları, enerji performansları ve CFD (Computational Fluid Dynamics) simülasyonlarında 3 boyutlu olarak görüntüleme sağlanabilmektedir.
- iii. Yapı tasarımlarının enerji, karbon, aydınlatma ve konfor açılarından performansları ölçülebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Aynı zamanda yazılım, bina tasarım alternatifleri arasında fonksiyon ve performans bazlı

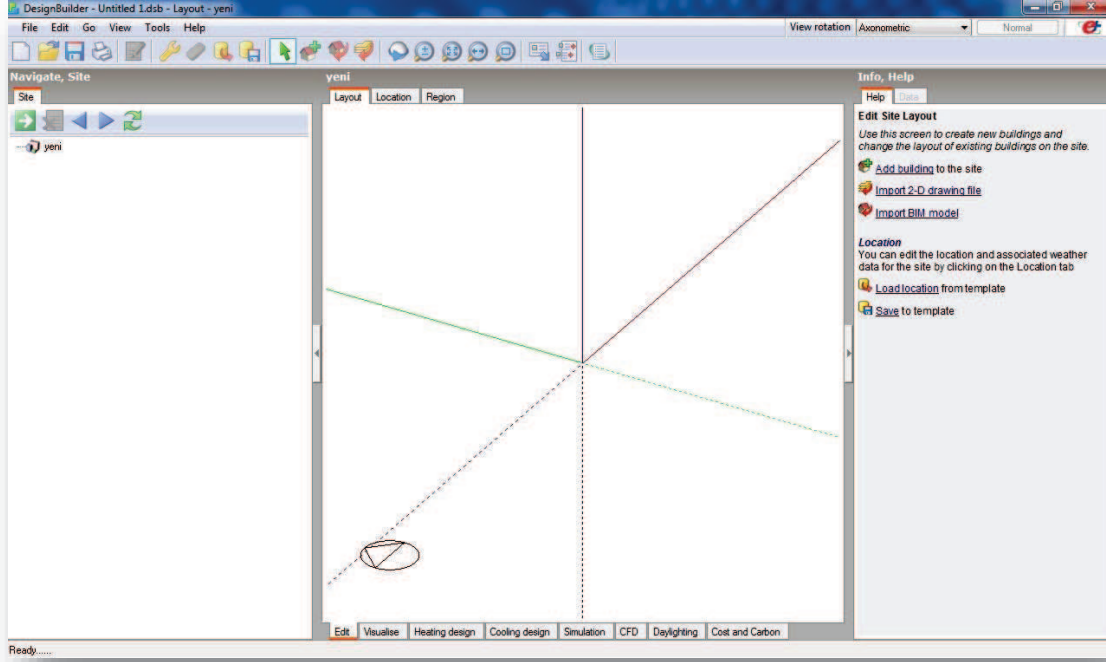
karşılaştırma yöntemiyle analizler yaparak çeşitli sonuçlar çıkarmayı daha hızlı ve ekonomik hale getirmektedir.

- iv. Üç boyutlu bina modellemesini dinamik enerji simülasyonunu kullanım kolaylığı ile birleştirmektedir.
- v. Sadece birkaç parametresi belli olan tasarımlardan çok daha detaylı tasarımlara kadar geniş bir yelpazede çalışma olanağı sağlamaktadır.
- vi. Mimarlar, mühendisler, bina hizmetleri sorumluları, enerji danışmanları ve üniversitelerin ilgili bölümlerinin kullanımına uygun bir yazılımdır.

Yazılımda yapılabilecekler temel olarak şu şekilde sıralanabilir [7] :

- Cephe seçeneklerinin aşırı ısınma, enerji tüketimi ve gölgeleme parametreleri açısından değerlendirilebilir,
- Gün ışığının optimum seviyede kullanımı değerlendirilebilir,
- Aydınlatma kontrol sistemlerinin modellenmesi ve ilgili elektrik enerjisindeki tasarruf oranları belirlenebilir,
- Bina içindeki ve etrafındaki sıcaklık, hız ve basınç dağılımlarının CFD modülü kullanılarak hesaplanabilir,
- Vaziyet planı ve gölgeleme görselleştirilebilir,
- Doğal havalandırma ile havalandırılan binalarda termal simülasyonunun yapılabilir,
- Isıtma ve soğutma ekipmanların kapasitelerinin belirlenmesi konularını da içerecek şekilde iklimlendirme tasarımına yardımcı olabilmektedir,
- Tasarımın oluşturulmasında disiplinler arası iletişimi destekleyici materyal sağlayabilir,
- Üniversite vb. eğitim yerlerinde enerji modellemesi ve simülasyonu derslerinde kullanılabilir.

DesignBuilder yazılımında, geniş içerikli sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu sonuç verileri, kullanıcının ihtiyacına göre filtrelenip grafikler halinde sunulabilmektedir. Aynı zamanda, veriler çizelge biçiminde başka bir ortama transfer edilebilmektedir. Yazılımın giriş ekranı Şekil 2.4' teki gibidir:



Şekil 2.4: DesignBuilder yazılımının giriş ekranı görüntüsü.

Programda binanın temel özelliklerinin girilmesi için *Layout*, *Activity*, *Construction*, *Opening*, *Lighting*, *HVAC*, *Outputs* ve *CFD* bölümleri mevcuttur. Bu bölümler ile ele alınan binalar modellenmektedir. Bina'nın sahip olduğu sistemlerin analizi ise programdaki *Edit*, *Visualize*, *Heating design*, *Cooling design*, *Simulation*, *CFD* ve *Cost and Carbon* bölümlerinden yapılmaktadır. Bu bölümler ile de binanın performansına dair analizler yapılmaktadır.

3. YEŞİL BİNALAR

3.1 Yeşil Bina Tanımı ve Tarihçesi

21. yüzyılda çok hızlı ilerleyen teknolojik gelişmeler, kaynaklara ulaşımı daha kolay hale getirmiştir. Gelişen teknolojiler ile insanlar, gerekli-gereksiz, doğru-yanlış kullanım diye düşünmeden sahip oldukları kaynakları hızlıca tüketmeye başlamışlardır. Bu hızlı ve yanlış kullanımların çevresel sorunları başta olmak üzere birçok soruna sebep olduğu görülmektedir. Günümüzde yaşanan kaynak sıkıntısı, küresel ısınma, iklim değişikliği, hava kirliliği gibi sorunlar insanları çözüm arayışına sürüklemiştir. Toplumlar bu çözüm arayışları içerisinde sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramlarını ortaya çıkarmışlardır [8].

Belirli bir amaç veya hedef için gerekli olan kaynakların, ekolojik dengeye uyumlu olarak en etkin şekilde kullanılmasına “sürdürülebilirlik” denilmektedir. Bilinçsiz ve gereksiz tüketimlerin yaşam kalitesinden ödün vermeden en aza indirilmesi ve böylece insanoğlu var olduğu sürece tüm kaynakların herkese yetebileceği düşüncesi sürdürülebilirliğin temelini oluşturmaktadır. Bu sürdürülebilirlik anlayışının inşaat sektörüne uygulanması çabası sonucunda da “Yeşil Bina” kavramı ortaya konmuştur.

Sürdürülebilirlik; ekonomi, çevre ve sosyal olmak üzere 3 temel alan altında yaşama dair birçok konuyu kapsayan derin bir kavramdır. Yeşil Bina kavramının özünde, sürdürülebilirlik anlayışı bulunmaktadır. Yeşil Bina terimi, daha çok bir etiketleme olarak kullanılmaktadır ve sertifikalandırma sistemleri ile özdeşleşmiş bir terim haline gelmiştir. Yeşil Bina kavramı çoğu zaman sürdürülebilir bina, çevre dostu bina, enerji etkin bina ya da yüksek performanslı bina kavramları ile aynı anlamda kullanılmaktadır [9].

Yeşil bina kavramı yaklaşık olarak 1970’ li yıllarda ortaya çıkmıştır [10]. Kavram son 50 yıldır yapılan araştırmalar ve uygulamalarla kademeli olarak geliştirilmiştir [11]. Günümüzde de gelişimi halen devam etmektedir. Bir binanın yeşil olarak tanımlanabilmesi için sürdürülebilir arazi planlaması, su ve enerji, ekolojik malzeme kullanımı, iç ortam hava kalitesi, kullanıcı sağlığı ve konforu, ulaşım ve atıkların kontrolü, akustik ve kirlilik gibi alanlarda standartlara uygun olması gerekir [4]. Çevre

ve Şehircilik Bakanlığı [12], sürdürülebilir yeşil binayı şu şekilde tanımlamaktadır: “Sürdürülebilir yeşil bina; yer seçimi, tasarım, inşaat, işletme, bakım, tadilat, yıkım ve atıkların bertarafını kapsayan yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilir, enerji verimli, doğayla uyumlu ve çevreye asgari düzeyde zarar veren binadır.”

Yeşil binaların inşaattan yıkıma kadar olan tüm süreçlerinde amaç; kaynakları (enerji, arazi, malzeme, su) en verimli şekilde kullanmak, çevreye olan zararı en az düzeye indirmektir [13]. Bu amaçların içeriği oldukça geniştir. Örneğin; atık minimizasyonu, çevre dostu inşaat malzemelerinin kullanımı, çevre üzerinde sınırlı etki (gürültü, koku düşük emisyon), şehir merkezlerine ve toplu taşımaya yakınlık, sosyal kapasite, enerji tasarrufu yeşil binaların kapsadığı konular arasında gösterilebilir [14]. Dolayısıyla yeşil bina kavramı birçok yönden ele alınıp geliştirilmeye açıktır. Günümüzde gelişmiş ülkeler bu konuda öncülük etmektedir [15].

Yeşil binalar üzerinde yapılan araştırmalar, geleneksel binalara göre enerji kullanımında %24-50, su tüketiminde %30- 50, CO₂ emisyonlarında %33- 39, katı atık miktarında %70, bakım maliyetlerinde ise %13 oranında azalma olabileceğini göstermektedir [4]. Binaların kaynak kullanımında, atık ve emisyon üretimindeki payı göz önüne alındığında, bina alanında yapılacak iyileştirmelerin önemi ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, sürekli bina yapımı artmaktadır ve inşaat sektörünün etkisinin mevcut hale göre daha da artması beklenmektedir [16-19]. Bu nedenle, binalarda yapılacak iyileştirmeler kaynak verimliliğini sağlama konusunda ciddi bir öneme sahiptir.

3.2 Yeşil Bina Kapsamında Değerlendirmeye Alınan Konular

Dünya’ da yeşil bina uygulamalarında temel olarak şu konular ele alınmaktadır [4]:

3.2.1 Malzeme ve Kaynaklar

Yapı malzemeleri yapının sürdürülebilirliği açısından doğrudan veya dolaylı olarak, binanın yapım- işletim- sonlandırma aşamalarının hepsinde önemli bir rol oynar. Yapı malzemeleri, Dünya’ daki kaynakların %40’ ını oluşturmaktadır. Bu malzemeler ise temin edilme, kullanıma hazır hale getirilme, proje alanına taşınması, yok edilmesi veya yeniden kullanılabilir hale getirilmesi gibi aşamalarında oldukça büyük bir çevresel etkiye yol açmaktadır. Üretim maliyeti, nakliye maliyeti ve dışsal maliyet, malzeme ve kaynakların çevreyi nasıl etkilediğini gösteren kriterlerdir. Yeşil binalarda proje maliyetlerini azaltmak ve çevreye verilen zararı en az indirmek için mümkün olduğunca yerel ve geri dönüştürülebilen malzemeler kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kullanılacak malzeme yaşam döngüsü analizi yapılarak seçilebilmektedir. Yeşil binalarda tercih edilecek malzeme ve kaynaklarda başlıca şu hususlara dikkat edilmelidir [4]:

- i) Çevre dostu malzemeler kullanılmalı ve kullanılan malzemelerin CO₂ (karbon ayakizi) gibi çevresel etkilerini gösteren etiketleri olmalı,
- ii) Uluslararası standartlarda tanımlı LCA (Life Cycle Analysis) ilkelerini sağlamalı,
- iii) Sert peyzaj ve çevre duvarını oluşturan yapı malzemeleri alan olarak %80’ inin Yeşil Malzeme Rehberi’ ne göre A veya A⁺ dereceli olmalı,
- iv) Malzemeler uygun yöntemler ile yeniden değerlendirilmeli,
- v) Cephe tasarımında atık malzemelerin kullanımına yer verilmeli,
- vi) Mümkün olduğunda binanın yapıldığı yerdeki yerel malzemeler kullanılmalı,
- vii) Binanın gerekli yerlerinde ısı yalıtım malzemeleri kullanılmalıdır.

3.2.2 Sağlık ve Konfor

İnsanlar zamanlarının %90’ ından fazlasını bina içi ortamlarda geçirmektedir. Bu sebeple insan sağlığı için binaların konforlu olması çok önemlidir. Binaların iç ortamlarında oluşan kirleticiler, kısa ve uzun vadeli sağlık etkileri açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür sağlık etkileri, önemli düzeyde iş-okul saati kaybına yol

açarak hastalıklara sebebiyet verebilmekte ve doğrudan veya dolaylı olarak iş-okul performansı kaybına neden olabilmektedir. Binalarda klima kullanımı, iç hava kalitesini azaltan en önemli faktörlerden biridir. Klimalı ortamlarda iç hava yenilenmek yerine klimadan ortama tekrar geri beslenir ve bu nedenle ortamdaki bakteri, virüs ve zararlı kimyasallar ortamda kalmaya devam eder. İç ortam kalitesini sağlayabilmek için şu konulara dikkat edilmelidir:

- i) Taze hava miktarı: Standartlara uygun olacak şekilde doğal havalandırma yöntemlerine öncelik verilerek minimum enerji tüketen uygulamalar tercih edilmelidir.
- ii) Kirleticilerin kontrolü: Düşük emisyonlu malzeme kullanılmalı, insan sağlığına zarar verebilecek uçucu organik madde (VOC) içeren boya, halı gibi malzemeler tercih edilmemelidir.
- iii) Aydınlatma ve ısı konfor: Aydınlatma ve ısı konfor şartları bireylere göre değişkenlik gösterdiği için hem aydınlatmada hem de ısı uygulamalarda bireysel kontrollü olmalıdır. Bununla birlikte aydınlatmada, mümkün olduğu kadar doğal aydınlatmadan yararlanılmaya çalışılmalıdır. Elektrik tesisatındaki tüm armatürler enerji verimli seçilmeli ve ortak alanlar hareket sensörü ile kontrol edilmelidir.
- iv) İşitsel konfor: Yapıdaki bina cephesinin, bağımsız bölümleri ayıran duvarların, bina içinde bulunan gürültü kaynaklarının (pompa daireleri, tesisat bacaları vb.) yaşam alanlarına bağlandığı duvarların, döşemelerin ve taşıyıcıların akustik yalıtım performansı standartlara uygun olmalıdır.

Sağlık ve konfor konusunda yeşil binalarda geleneksel bir binaya göre aşağıdaki konularda farklılık gösterir:

- Sağlıklı iç ortam hava kalitesinin sağlanması,
- İç ortam kirletici kaynaklarının giderilmesi, azaltılması ve yönetilmesi,
- Isı konfor ve sistem kontrolünün sağlanması,
- Kullanıcının dış ortamla bağlantı kurmasının sağlanması,
- Doğal aydınlatmadan yararlanılması,
- Gürültünün azaltılması amaçlanır.

Bahsedilen iyileştirme çalışmaları sonucunda yeşil binalarda;

- Ofislerde verimliliğin arttığı,
- Okullarda başarı oranının yükseldiği,

- Okul ve işyerlerinde devamsızlık oranının azaldığı,
- İç hava kalitesi ve aydınlatması iyileştirilmiş hastanelerde taburcu süresinin kısaldığı görülmüştür.

3.2.3 Arazi Kullanımı

Arazi kullanımında; arazi eğimi, yönü, topoğrafik durumu ve hakim rüzgar yönleri dikkate alınmalı, doğal kaynak ve kent ekolojisi arazinin bulunduğu bölgenin iklim kuşaklarına göre en iyi şekilde değerlendirmeli ve ekolojik denge gözetilmelidir. Bu noktalar şu başlıklar altında değerlendirilebilir:

- i) Arazi seçiminde güneş ve hakim rüzgar yönü olmak üzere meteorolojik veriler dikkate alınmalıdır. Bu veriler, ısıtma-soğutma, havalandırma ve enerji üretimi alanlarında kullanılarak çevre dostu tasarımlar yapılabilir.
- ii) Arazi seçiminde sel ve taşkın riski gibi doğal afet riskinin düşük yerlerin tercih edilmesi, arazinin su geçiriminin korunması ve önlemler alınması önemlidir.
- iii) Binanın market, hastane gibi kentsel donatılara yakın olması önemlidir. Kentsel donatılara yakın yapılaşmayı sağlamak, uzun yolculukları, çoklu seferleri dolayısıyla karbon emisyonu salınımını azaltır.

3.2.4 İşletme ve Bakım

İşletme ve bakım konusunun amacı, sürdürülebilir stratejilerle tasarlanmış ve inşa edilmiş binanın işletme ve bakım sürecinin de sürdürülebilir yöntemlerle gerçekleştirilmesidir. Binanın işletilmesi ve bakımı, kullanıcıların sağlığı, binanın çevresel etkileri ve işletme maliyeti göz önüne alarak uygulanmalıdır. Bu konuda yapılması gerekenler şu şekilde sıralanabilir:

- i) Bina için atık yönetimi yapılmalıdır. Binanın kullanımı sırasında oluşan atıkların ayrıştırılarak toplanmalı, depolanmalı ve geri dönüşüm/geri kazanımda kullanılacak atıkların değerlendirilmesini sağlanmalıdır.
- ii) Konut kullanıcılarına, bir kullanım kılavuzu sağlanarak ve/ veya bir ön eğitim verilerek, içinde yaşayacakları bina ile sitenin verimli ve etkin kullanılmasına yardımcı olunmalıdır.

- iii) Kullanımı sırasında, binaya dair tüketim değerlerini takip etmek için gerekli sistemler kurulmalı ve böylece tasarımda hedeflenen değerlerin sağlandığına dair kontrol yapılmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.

3.2.5 Su

Su, tüm canlılar için vazgeçilmez olduğu gibi sosyal ve ekonomik gelişmenin de önemli bir unsurudur. Yeryüzündeki su, devamlı olarak bir çevrim içinde olmasına rağmen çeşitli doğal ve yapay nedenlerden ötürü tarımsal, endüstriyel, içme ve kullanma suyunun elde edilmesi ülkeler için giderek zorlaşmaya başlamıştır [20]. Özellikle de bilinçsiz kullanıma bağlı olarak su seviyelerinde yaşanan düşüşler, su kaynaklarının yeterince korunmaması sebebiyle ortaya çıkan su kalitesindeki düşüş ile birleşince su döngüsünde aksamalar kaçınılmaz olmaktadır [21].

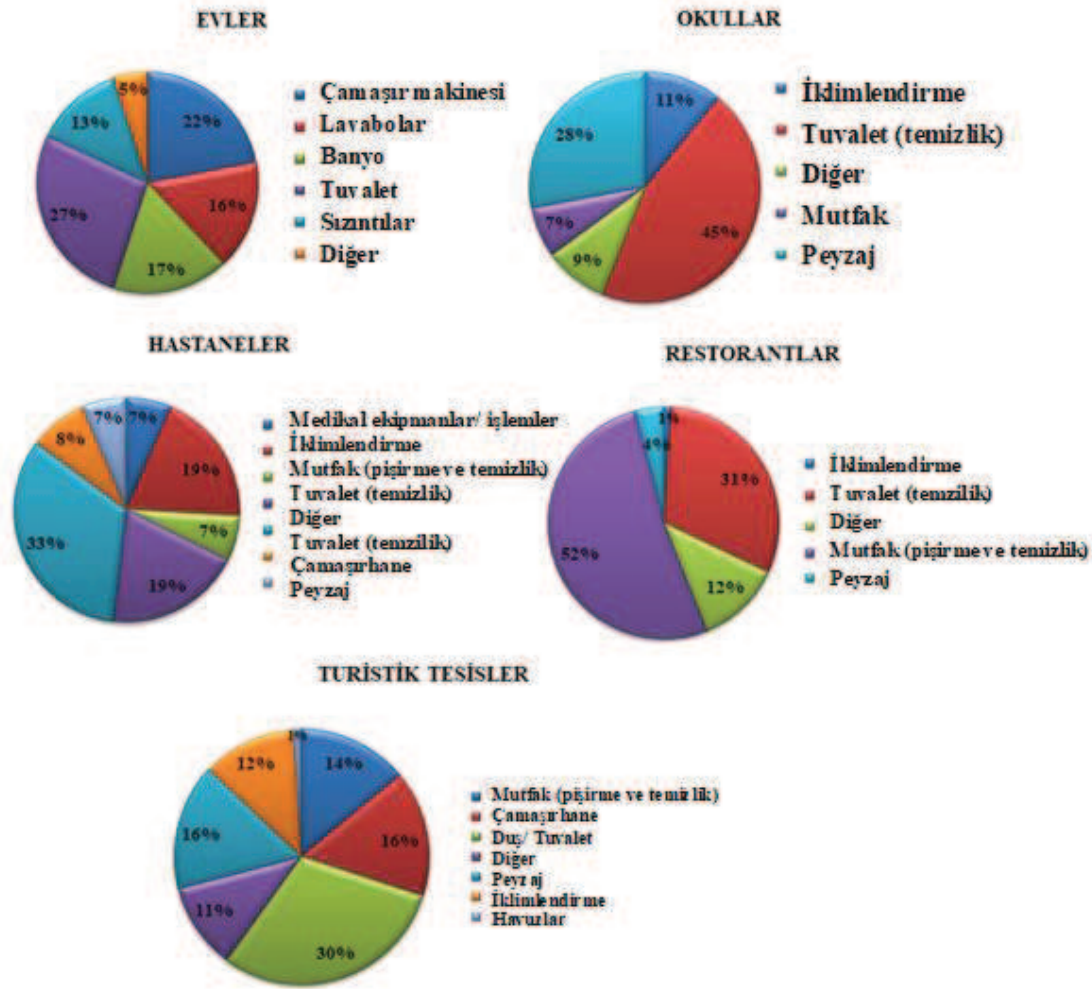
Dünya' daki toplam su miktarı 1 milyar 400 milyon km^3 ' tür ve yerkürenin $\frac{3}{4}$ ' ünü kaplamaktadır. Oldukça fazla görünen bu miktara rağmen su sorunu yaşanmaktadır. Bunun nedeni, Dünyada' ki toplam su miktarının %97,5' inin okyanuslar ve denizlerde tuzlu su olarak yer almasıdır. Kullanılabildiğimiz tatlı sular bu miktarın %2,5' lik kısmını oluşturmaktadır [22]. Tatlı suyun % 69,5' luk bölümü, donmuş toprak tabakası içerisinde veya kutuplarda buzul olarak bulunmaktadır. Tatlı suların geriye kalan kısmı ise yaklaşık %30,1 yeraltı suyu, % 0,4 yüzey ve atmosfer suları olarak tatlı su göllerinde, yüzeysel sularda, sulak alanlarda, atmosferde, toprakta ve canlılarda bulunmaktadır [23]. Araştırmalarda, Dünya üzerinde toplam tatlı su miktarının sadece 35,2 milyon km^3 olduğu görülmüştür. Bu kadar az olan tatlı su kaynaklarının %90' ının kutuplarda ve yer altında hapsedilmiş olarak bulunması; insanoğlunun kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı su miktarının ne kadar az olduğunu göstermektedir [24].

Yeterli miktarda ve iyi kalitedeki suyun varlığı, tatlı su ekosistemlerinin olduğu kadar, gıda güvencesinin ve sürdürülebilir kalkınmanın, dolayısıyla insanlığın geleceğinin de temel koşulu olmaktadır [25]. Bu yaşamsal değer üzerindeki baskı her geçen gün artmaktadır. Dünya nüfusunun neredeyse beşte biri (yaklaşık 1,2 milyar insan) yaşadıkları yerlerde halen su sıkıntısı çekmektedir. Araştırmacılar bu oranın 2025 yılında üçte iki seviyesine çıkabileceğini öngörmektedir [26]. Öte yandan, 1,6 milyar insan uygun altyapı ve bunun için gerekli maddi kaynak yetersizliği yüzünden su sıkıntısı çekmektedir [27].

Ülkemizin yıllık yağış miktarı 449,6 milyar m³ olmasına rağmen 98 milyar m³ yerüstü ve 18 milyar m³ yeraltı suyu olmak üzere toplam 116 milyar m³ kullanabilir su miktarı bulunmakta ve kişi başına 1500 m³ düzeyinde toplam tüketilebilir su potansiyeli ile su sıkıntısı yaşayan bir ülke konumunda yer almaktadır. 2015 yılı sonu itibarıyla kullanılan su miktarı toplam 44 milyar m³ tür. Bunun 40 milyar m³' ü sulamada (%74), 7 milyar m³' ü içme suyunda (%13) ve 7 milyar m³' ü sanayide (%13) kullanılmaktadır [28]. Öngörülere göre, Türkiye nüfusu 2030 yılında 100 milyona ulaşacak ve su potansiyeli kişi başına yıllık 1120 m³' e düşecektir. Türkiye su sıkıntısı yaşayan ülkeler arasında yer alacak ve kaynaklarını çok daha etkin kullanmayı amaçlayan politikalar izlemek durumunda kalacaktır [24].

Pek çok ülke, su sorunları ile karşılaştığında çözüm olarak yeni su kaynakları bulmak, yeraltı sularını kullanmak, su kıtlığı olan bölgelere başka bir bölgeden su getirmek gibi çoğu zaman geçici, sürdürülebilir olmayan uygulamalara yönelmektedir [29]. Su sorunları konusunda sürdürülebilirlik bakış açısı ile etkili çözümler bulmak isteyen ülkeler ise; suyun her alanda daha verimli kullanılmasına yönelmiş ve sürdürülebilir su yönetimi çalışmalarında yoğunlaştırmıştır [29].

Kentlerde su kullanıcıları, çeşitleri ve sayıları bölgelere göre değişmekte fakat kullanılan su miktarları benzerlik göstermektedir. Kentlerdeki su kullanıcıları genel olarak; konutlar, okullar, hastaneler, turistik tesisler, ofisler, restoranlar ve endüstri tesisleri olarak sınıflandırılabilir [29].



Şekil 3.1: Çeşitli su kullanıcılarına göre suyun kullanım alanlarına göre dağılımı [29].

Yeşil binalar kapsamında su konusunda yapılacak işlemler üç başlık altında toplanabilir: Binalardaki su kullanımını azaltma, su kayıplarını önleme ve yağmur suyu gibi alternatif su kaynaklarını değerlendirme.

3.2.5.1 Alternatif su kaynakları kullanımı

- Yağmur suyunun kullanımı

Yağmur suyu yönetim sistemleri ikiye ayrılmaktadır [30]:

i) *Geleneksel Sistemler*: Mazgallar ve borulardan oluşan bu sistemlerin amacı, yağmur suyunun ortamdaki hızlı bir şekilde uzaklaştırılmasıdır. Herhangi bir arıtma işleminde kullanılması düşünülmeyen bu sistemler, suyun alıcı ortama iletilmesinde kullanılırlar.

ii) *Sürdürülebilir Sistemler*: Aşırı yağışların olumsuz etkilerini engellemek, yeraltı ve yüzeysel suları korumak ve alternatif su kaynakları oluşturma amacıyla kullanılan sistemlerdir.

- ❖ Yeşil Çatılar: Çatıların üzerine kat kat yapılan bir sistemdir. En alt katta su geçirmez membran tabakası oluşturulur. Onun üzerindeki kata, bitki gelişimine yardımcı olarak fazla suyun uzaklaştırabildiği bir tabaka hazırlanır. İkinci tabakanın üstüne ise, yerel koşullara ve kullanıcı zevkine en uygun bitki örtüsü yetiştirilebilecek alan yapılır. Bu sisteme, yağmur suyunun fazlasının drenaj edilebileceği bir sistem de eklenerek yeşil çatı oluşturulur [31].
- ❖ Su Geçiren Yüzey Kaplamaları: Yüzey suyu akış miktarının ve hızının azaltılmasını, suyun içerisindeki kentsel kirleticilerin uzaklaştırılmasını, yağış sularının geçici olarak depolanmasını ve yeraltı suyunun takviyesini sağlayan yapılardır. Bu sistemler, kentsel alanlarda geçirimsiz yüzeylerin azaltılması için kullanılmaktadır [30]. Bu sistemler, çim veya çakıl yüzeyli boşluklu beton veya asfalttan oluşan gözenekli kaplamalar ve beton bloklardan oluşan geçirgen kaplamalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu kaplamaların uygulanması ile yüzey akışında % 42' ye varan bir azalma görülmektedir [32].
- ❖ İnfiltrasyon Sistemleri: Bu sistemler, sel ve taşkın riskini azaltmak, suyun kirlilik kontrolünü sağlamak, alternatif su kaynağı oluşturmak için suyun depolanıp kontrol altına alınmasını ve daha sonra zemini çevreleyen toprağa sızdırılarak doğal ortama iletilmesini sağlayan drenaj yöntemidir. Yağmur suyunun infiltrasyon uygulamaları uzun yıllardır sel ve taşkınlardan korunma ve su kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır [29].
- ❖ Sarnıçlar: Sarnıçlar, kullanımı milattan önceki yıllara kadar dayanan, su ihtiyacının karşılanması için yağmur suyunun insanlar tarafından depolandığı çok eski bir yöntemdir [29]. Sarnıçların en bilinen örnekleri 336 sütunlu İmparator Sarnıcı (Yerabatan Sarayı), 224 sütunlu Pileknus Sarnıcı (Bin Bir Direk) ve Acı Musluk Sarnıcı' dır. Bunların yanı sıra eski dönemlerde özellikle tarihi yarımada konutlarının veya saraylarının bodrum katları sarnıç olarak kullanılmıştır [20].
- ❖ Yağmur Bahçeleri: Bu sistemler, suyun kalitesini artırmak amacıyla çevresindeki bölgelerden yağmur suyunun akışını sağlayarak suyun bünyesinde emdirildiği yapılardır. Bu yöntem diğer yöntemlerin aksine yağmur suyunun toplanarak akışını azaltmaktadır. Yağmur bahçeleri, suyun toplandığı ve sızdığı bir bölgeye su tutulmasını sağlayan bitkilere ihtiyaç duymaktadır. Bu bitkiler, kökleri ile sızmayı sağlar ve toprak dayanıklılığını artırmaktadır. Solunum

yapmaları ile de bünyesinde tuttıkları suyu, su buharı olarak atmosfere geri vermektedir [30].

- **Evsel nitelikli atık suyun kullanılması**

Kentsel yerleşkelerde insanların günlük yaşam faaliyetlerindeki ihtiyaç ve kullanımları nedeniyle oluşan atık sular evsel atık sular olarak tanımlanmaktadır. Evsel atık sular gri su ve siyah su olmak üzere iki akımda değerlendirilmektedir. Genellikle duştan, banyodan, lavabodan, çamaşır ve bulaşık makinelerinden gelen sular gri su olarak tanımlanırken geriye kalan tuvalet suları ise siyah su olarak tanımlanmaktadır [33]. Evsel nitelikli atık sular fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtma kademelerinden geçtikten sonra bahçe sulamasında ve/ veya tuvalet rezervuarlarında kullanılabilir. Fiziksel arıtma, atık su içerisindeki yüzen ve çökebilir maddelerin çöktürme ve filtrasyon ile giderildiği işlemdir. Biyolojik arıtma, atık suda çözünmüş ve kolloidal yapıda bulunan kirletici maddelerin aerobik veya anaerobik koşullarda giderilmesi ve organik maddelerin yok edilmesi işlemidir. Kimyasal arıtma ise, normal şartlarda çökelmemiş olan maddelerin kimyasal ilavesi ile çöktürülmesi ve zararlı mikroorganizmaların yok edilmesi işlemidir [34].

- **Gri suyun yeniden kullanılması**

Gri sular az kirli gri su ve çok kirli gri sular olarak iki ayrı şekilde değerlendirilebilmektedir. Az kirli gri sular duş, banyon ve lavabodan gelen atık suları, çok kirli gri sular ise, mutfak ve çamaşır makinesinden gelen atık suları içermektedir [32]. Gri su içerisinde tuz, besin parçaları, evsel deterjan, sabun ya da kimyasalları, bakteri ve hastalık yapıcı mikroplar bulunmaktadır. Gri su %75' lik pay ile hacimsel olarak evsel atık suyun en büyük yüzdesini oluşturmaktadır [35].

- ❖ **Gri suyun arıtılmadan kullanılması:** Banyodan çıkan gri su yüzyıllardır bahçe sulama işlerinde doğrudan kullanılmaktadır. Gri su Avustralya, Suriye ve Güney Afrika' da bahçe ve peyzaj sulamada, İsrail' de ise, meyve ağaçlarını sulamada doğrudan kullanılmaktadır [36]. Bu uygulamada genellikle ek bir sıhhi tesisata ve sulama borusuna gerek duyulurken aynı zamanda suyun dış mekana aktarımı için de elektrikli pompa gerekebilir. Bu durum, bazı basit sistemlerde suyun dış mekana aktarımı elektrikli pompa yerine yerçekimi kuvveti ile sağlanabilmesi ile çözümlenebilmektedir. Her iki uygulamada düşük maliyetlidir ve bu uygulamalarda ek bir araziye gerek duyulmamaktadır. Bu

uygulamanın olumsuz durumu ise, gri suyun doğrudan uzun vadeli sulama amaçlı kullanımı, suda tuzların, yüzey aktif maddelerin, yağ ve gresin birikmesine yol açmasıdır. Bu durum, bitki sağlığını ve toprağın yapısını olumsuz yönde etkilemektedir ve yer altı sularının kirlenmesine neden olmaktadır. Gri su arıtılmadan doğrudan rezervuarlarda da kullanılabilir. Bu uygulamanın da olumsuz tarafı, klozet üzerinde leke bırakmasıdır. Bu durum tüketicileri daha çok miktarda tuvalet temizleyicisi kullanmasına mecbur bırakmaktadır [33].

- ❖ Gri suyun arıtılarak kullanılması: Gri suyun yeniden kullanımı için önemli gri su arıtma teknolojileri; *Yapay Sulak Alan (CW)*, *Döner Biyolojik Reaktörler (RBC)*, *Ardışık Kesikli Reaktörler (SBR)*, *Membran Biyoreaktörler (MBR)*, *Elektrokoagülasyon (EC)*, *Fotokatalitik Oksidasyon* dur. Bunlar vb. teknolojiler ile arıtılmış gri sular, kullanılacağı yerin standartlarını sağladığı takdirde tuvalet rezervuarları, çamaşır yıkama, bahçe sulama, süs havuzlarında kullanılabilir [33].

Bu yöntemler daha çok bireysel olarak uygulanan çalışmalardır. Bu yöntemlerle birlikte aşağıdaki konularda belediyelerce de çalışmalar yapıldığı takdirde önemli derecede su verimliliğine katkı sağlanabilir.

3.2.5.2 Su kayıp- kaçakların önlenmesi

Su kayıplarını genelde borulardaki su kaçakları ve izinsiz bağlantılar oluşturmaktadır. Bu kayıpların miktarı; dağıtım şebekesinin tipine, yaşına, yapıldığı yerin zemin şartlarına, sistemin basıncına, sayaçların ve bağlantı yerlerinin sayısına bağlı olarak değişmektedir. İyi bir işletme ile bu kayıplar kontrol altına alınıp azaltılabilmektedir. İşletimde en önemli nokta, sistemi gerektiği kadar basınçlandırmaktır. Yüksek basınç, vana ve musluk gibi kapama elemanlarının kontrolünü zorlaştırmaktadır. İyi kapanmayan kontrol elemanları ise, sızıntılara neden olmaktadır [29]. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) 2012 Belediye Su İstatistikleri' ne göre ülkemizde kayıp- kaçak oranı %40' ın üzerindedir. Bu oran, gelişmiş ülkeler ile kıyaslandığında çok yüksektir. Bu kayıp- kaçak oranı, su şebekelerinin çok eski olmasından ve su sistemlerinin iyi işletilmemesinden kaynaklanmaktadır. Su sistemlerinde yapılacak iyileştirme çalışmaları ile Türkiye genelinde mevcut kayıp- kaçak oranının % 25' e çekildiğinde yılda yaklaşık 900.388, 781 m³ su israfının önüne geçilebilecektir [29].

3.2.5.3 İçme- kullanma suyu fiyatlarının düzenlenmesi su kullanımının azaltılması

Suyun ücretlendirilmesi suyun daha tasarruflu kullanılması için bir araç olarak kullanılabilir. Az kullandandan düşük, çok kullandandan yüksek ücret almak üzere kademeli tarife uygulanabilmekte ve böylece suyun daha bilinçli olarak tüketilmesi sağlanabilmektedir.

Araştırmalar su fiyatının artması ile su kullanım alışkanlarının değişimi arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir. Örneğin, İspanya’ da 2004 yılında su fiyatları 1 Euro/m³ iken 2009 yılında fiyatları 1,5 Euro/m³ olmuştur. Kişi başı günlük su tüketim ise 2004 yılında 180 l/gün iken 2009 yılında 180 l/gün olmuştur [29].

3.2.5.4 Etiketleme ve belgelendirme ile suyun verimli kullanılmasının sağlanması

WaterSense (ABD), Waterwise (İngiltere), WELS (Avustralya), WELS (Yeni Zelanda) ve WELS (Singapur) gibi çeşitli ülkelerde su verimliliği etiketleme ve belgelendirme çalışmaları yapılmaktadır. Günlük hayatta en çok kullanılan su tüketimli ürünlerin üzerine harcadıkları su miktarının ve su verimliliği derecelerinin yer aldığı etiketler yerleştirilmektedir. Böylece, çevre bilinci oluşmuş bireyler bu etiketleme uygulamalarına dikkat ederek alacağı ürünü seçmektedir. Ülkemizde henüz böyle bir uygulama yapılmamaktadır. Fakat uygulama yapan ülkeler bu çalışmadan fayda görmüşlerdir [29].

Tüm bu yöntem ve bakış açılarının uygulanması ile yeşil bina sertifikasyon sistemlerinde yüksek puanlar alınabilir. Bu konuda Türkiye’ de referans alınabilecek standart ve yönetmelikler ise şu sıralanabilir [37]:

- TS 6 Musluklar
- TS EN 274 Sifonlar, Lavabo ve Küvetler
- TS 325 Bataryalar TS 366 Hela Yıkayıcılar
- TS 378 Sifonlar
- TS EN 411 Sifonlar, Mutfak Evyeleri İçin
- TS EN 817 Bataryalar, Mekanik Karıştırıcı
- TS 823 Rezervuarlar ve Doldurma – Boşaltma Grupları
- TS 3143 Boru Uzatma Parçaları
- TS EN 14688 Sağlık Gereçleri- Lavabolar- İşlevsel Gereker ve Deney Yöntemleri
- TS EN 13407 Asma Pisuarlar - İşlevsel Gereker ve Deney Yöntemleri
- TS 800 EN 997 Tek Parça ve Takım Klozetler- Sifonlu

- TS EN 1112 Sıhhi Tesisat Armatürleri-El Duşları-Bataryalarda Kullanılan-Anma Basıncı PN10
- TS EN 200 Sıhhi Tesisat Armatürleri - Tip 1 Ve Tip 2 Su Besleme Sistemleri İçin Musluk ve Bataryalar- Genel Teknik Özellikler
- Çevre Kanunu
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

3.2.5.5 Su ve enerji

Su, enerji üretimi için çok önemli bir kaynaktır. Birçok enerji sistemi üretim sürecinde suya ihtiyaç duyar. Özellikle hidroelektrik ve jeotermal enerji sektörü, suyu doğrudan girdi olarak kullanır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilen hidroelektrik ve jeotermal enerji, üretim sürecinde küresel iklim değişikliğine neden olan sera gazları salımına neden olmayan yerel enerji kaynaklarıdır [25].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Dokümanı' na göre Türkiye, 2023 yılına kadar, hidroelektrik, rüzgar, güneş, jeotermal gibi bileşenlere sahip yenilenebilir enerjinin payını %30' a çıkarmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda, ülkedeki hidroelektrik potansiyelinin azami düzeyde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Toplam 1598 hidroelektrik santral (HES) projesinin hayata geçirilmesi öngörülmektedir. 2014 yılı itibarıyla 443 HES işletmeye alınmış durumdadır. 173 HES inşaat ve 982 HES planlama aşamasındadır. Benzer şekilde, 600 MW' lık jeotermal enerji potansiyelinin tamamının 2023 yılına kadar kullanılması hedeflenmektedir [25].

Diğer yandan, doğalgaz ve petrolü hidrolik kırma yöntemiyle çıkarmak için çok miktarda su kullanılmaktadır. Kullanılan su miktarı petrol çıkarılan bölgenin jeolojik durumuna göre değişmekle beraber, suyun olup olmadığına ve maliyetine göre de değişmektedir. Petrol ve gaz çıkarmak için yeni geliştirilen ve hiç su gerektirmeyen hidrolik kırma yöntemleri mevcuttur. Kömür çıkarmak için de çok miktarda su kullanılmaktadır. Eğer kömür çok küllüyse, elektrik santralleri ve diğer yerlerde kullanmadan önce bol suyla yıkamak gerekmektedir. Kısacası, enerji üretimini daha verimli hale getirerek çok büyük su ve enerji tasarrufu yapılabilmektedir [38].

3.2.6 Enerji

Yapılan çalışmalarda binalardan çevreye salınan CO₂ ve sera gazı emisyonlarının enerji tüketimine paralel olduğuna değinilmiştir [39]. Enerji talebinin hızla artması ve enerji

tüketiminin doğaya zararlı etkileri ülkelerin ekonomisini de önemli ölçüde etkilemektedir. Yeşil binalarda enerji kriteri, enerji tüketimini azaltmak ve yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmek için birçok yöntem sunmaktadır. Bu yöntemlerde mutlaka, ASHRAE standardı gibi enerji standartları çerçevesinde, enerji tüketimine dayalı yazılımlar kullanılarak modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu modellemeler ışığında bina enerji performansı belirlenir ve bina performansını arttırmak amacıyla çeşitli sistemler ortaya konulmaktadır [4].

Binalarda enerji verimliliğinin artırılması konusunda müdahale edilebilecek konular iki başlık altında toplanabilir. Bunlar;

- i. Binanın enerjisinin verimli şekilde üretilmesi ve
- ii. Binanın enerjisinin verimli şekilde kullanılmasıdır.

Günümüzde binaların enerji kayıplarının azaltılması ve mevcut enerjinin verimli tüketilmesi yalıtım malzemeleri kullanmak, doğru bir bina tasarımı yapmak gibi çeşitli yöntemler ile sağlanabilir [39]. Böylece mevcut enerji korunur ve enerji tüketmeden ısı kazancı sağlanmaktadır. Fakat bu sistemler ısı ihtiyacının tümünü karşılamaya yeterli değildir. Dolayısıyla binanın enerjisinin verimli şekilde üretilmesi de gerekmektedir. Isı ve elektrik enerjisinin yanı sıra yaz mevsiminin şiddetli yaşandığı bölgelerde binanın soğutulması da temel bir ihtiyaçtır. Bu ihtiyaçları karşılamak için yeşil bina anlayışının bir hedefi de “enerji etkin bina” ortaya koymaktır. Enerji etkin bina; tasarım aşamasında alınan önlemlerle daha az enerjiye ihtiyaç duyan, ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan karşılayan, sağlanan enerjiyi en verimli şekilde kullanarak minimum salınım yapan binadır [5].

Binalarda başlıca enerji tüketim noktaları; iklimlendirme (ısıtma, soğutma ve havalandırma), aydınlatma ve elektrikli aletlerdir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Binalardaki enerji tüketim noktaları [40].

Ülkemizde binalarda kullanılan enerjinin %85' i ısıtma ve soğutma amaçlı harcanmaktadır. Bu miktar ülkemizin toplam enerji tüketiminin %25' ine karşılık gelmektedir. Kalan %15' lik kısmını sıcak su temini, aydınlatma ve elektrikli ev aletleri kullanımı oluşturmaktadır [40].



Şekil 3.3: Binalardaki ısı kayıp noktaları ve oranları [40].

Şekil 3.3' te binalardaki ısı kayıp oranları gösterilmiştir. Bu verilerden de anlaşıldığı üzere en fazla enerji tüketimin olduğu ısıtma-soğutma alanında yalıtım konusu oldukça önem arz etmektedir.

3.2.6.1 Yeşil binalarda enerji verimliliğini arttırıcı yöntemler

Yeşil binalarda enerji verimliliğinin arttırılması için uygulanabilecek yöntemler başlıca şu şekildedir [40].

i. Tasarım yöntemleri:

- İklim-mahal tasarımı: İklim'e göre bina tasarımı yapılması, yerel iklimden azami kazanç sağlanması, bitki örtüsü, arazi ve peyzaj durumu, yerleşim, yönelim, hacimlerin uygun belirlenmesi, iklim'e uygun yapı malzemelerinin ve Isıtma- Soğutma- Havalandırma (ISH) sistemlerinin seçimi gibi konular titizlikle değerlendirilmeli ve bu iklimsel verilere göre çevre dostu tasarımlar yapılmalıdır.
- Bina kabuğu tasarımı: Bina kabuğu, dış duvar, çatı, pencere vb. yapı elemanlarından oluşmaktadır. Bu elemanların teknik özellikleri TS 825' e göre yapılan ısı transferi ve yoğuşma tahkiki gibi analizlerde istenen sonuçları sağlamalıdır.
- Bina iklimlendirme sistemlerinin tasarımı: İklimlendirme sistemleri bina tipine göre belirlenen sağlık, güvenlik ve konfor standartlarını sağlamalıdır. İklimlendirme seçimlerinde ısı konfor kriterleri, ısı yük hesaplamaları ve sistem karakteristikleri önem taşımaktadır.
- Aydınlatma sistemleri tasarımı: Aydınlatma fazla veya eksik olmamalı, bina tipine göre belirlenmiş olan standartlara uygun olarak aydınlatma ekipmanları seçilmelidir. Sensör teknolojisi gibi yöntemler kullanılarak gereksiz yanan ışıklar söndürülmelidir. Genel ve kısmi aydınlatma kombinasyonu, gün ışığına entegre elektrikli aydınlatma, enerji verimliliği yüksek lamba ve armatürlerin kullanımı, mahallerin açık renklerle boyanması gibi yollar aydınlatmada enerji tasarrufu sağlayan yöntemlerdendir.
- Enerji harcayan diğer bina sistem elemanları tasarımı: Elektrik tesisatı, asansör, sıhhi tesisat, gaz tesisatı vb. elemanlar doğru seçilmeli, doğru kullanılmalı ve periyodik bakımları eksiksiz olarak yapılmalıdır.

ii. Teknik ve teknolojik yöntemler:

- Pasif soğutma yapılması ve güneşten yararlanma: Kış şartlarında güneş ışınımı kazanımı azami hale getirilmelidir. Yaz döneminde güneş ışınımı kazancı en aza indirgenmelidir. Doğru bina yönelimi yapılmalı ve pencereler doğru kullanılmalıdır. TS 825' e göre uygun miktarda yalıtım yapılmalıdır. Doğal havalandırma sağlanmalıdır.
- Gölgeleme ve güneş kontrolü için stratejilerin belirlenmesi: Binada; dış koruma (sundurmalar vs.), dış sistemler, özel işlem görmüş camlar, iç iyileştirmeler (opak ya da yarı opak perdeler vb.) kullanılması faydalı olmaktadır.
- Gün ışığından azami yararlanma yöntemleri: Gökyüzü koşulları, mahal çevresi, bina hacmi ve şekli, cam sistemleri ve yapay aydınlatma sistemleri dikkate alınmalıdır. Optik özellikleri geliştirilmiş pencere teknolojisi, ışık tüpü, ışık rafları, aynalı sistemler, prizmatik camlar, holografik dağılımlı sistemler gibi yenilikçi teknolojiler mevcuttur.
- İklimlendirme (ISH) sistemleri: Gelişen teknolojiler ile birlikte iklimlendirme sistemlerine ait cihaz ve toplam verim değerleri sürekli gelişim göstermektedir. Bu gelişmeler takip edilerek bina ve kullanıcılar için en uygun iklimlendirme sistemi uygulanmalıdır. Örneğin; fanların enerji harcamasını azaltmak için değişken hava hacimli sistemler (VAV) kullanılabilir, dış hava sıcaklık seviyesi ile cihazların otomatik kontrolü sağlanan teknolojiler seçilebilir. Bunlara ek olarak; binalarda ısı geri kazanım uygulamaları, bina enerji yönetim ve kontrol sistemleri, doğal havalandırma ve soğutma sistemleri ve ısı depolama sistemleri gibi spesifik uygulamalara mutlaka yer verilmelidir.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı: Güneş kolektörleri, PV sistemler, rüzgar türbini, ısı pompası sistemleri kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri bunların başlıcalarıdır.

iii. İzleme ve denetleme yöntemleri:

- Binaya dair ısı ve enerji simülasyonu yapılması: Simülasyon teknikleri binanın henüz tasarım aşamasındayken enerji tüketim biçiminin belirlenmesini sağlamak ve tasarımda yapılan değişiklikler ile birlikte enerji tasarrufuna önemli katkılar sunmaktadır.

- Binada enerji denetlemeleri yapılması: İnşası tamamlanmış ve kullanımda olan bir binanın gerçek enerji tüketimi ölçülmeli ve kaydedilmelidir. Daha sonra, toplanan veriler ışığında verimsiz noktalar tespit edilmelidir. Belirlenen tasarruf noktalarında önce tadilat ve harcama gerektirmeyen tasarruf tedbirler alınmalı, daha sonra da yatırım gerektiren uygulamalara geçilmelidir.

3.2.6.2 Yeşil binalarda yenilenebilir enerji uygulama yöntemleri

Yapılan çalışmalar binaların ısıtılması ve soğutmasının enerji tüketim miktarlarındaki oranının yaklaşık %32-33 olduğunu gösterir [41]. Üstelik binaların enerji üretiminden kaynaklı CO₂ emisyon salınımları da yüksektir [42, 43]. Bu oranların yüksek olması, yeşil ve sürdürülebilir binalar için yenilenebilir enerji sistemleri üzerine araştırma yapılması gerekliliğini doğurmuştur [44].

Binalarda yenilenebilir ısıtma ve soğutma teknolojileri dendiğinde akla gelen ilk sistemler güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve ısı pompası teknolojileri olmaktadır. Gün içerisinde güneşlenme süresi ve rüzgar potansiyeli farklılığından dolayı güneş ve rüzgar enerjisi teknolojisi arz/ talep dengesinde kararsızlık oluşturmaktadır. Ayrıca güneş/ rüzgar enerjisiyle daimi olarak bir iklimlendirme yapılamamaktadır. Toprak sıcaklığının yıl boyunca değişiminin daha az olması ve toprak kaynaklı ısı pompalarının farklı mevsimlerde hem ısıtma hem soğutma amaçlı kullanılmaları, GSHP (Ground Source Heat Pump) toprak kaynaklı ısı pompası teknolojisini daha tercih edilebilir kılmıştır [44].

Yeşil bina uygulamalarında yenilenebilir enerji sistemleri “*pasif ve aktif*” olmak üzere iki grupta incelenebilir.

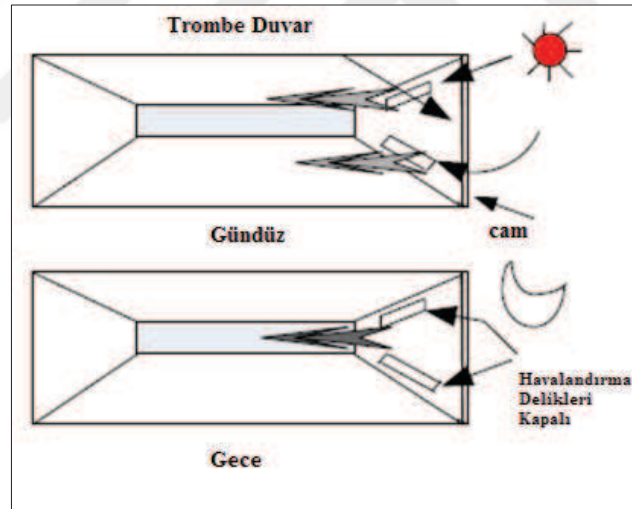
i. Pasif sistemler

Pasif sistemler herhangi bir dış etki olmadan (elektriksel ve mekanik) sistemin doğal yapısı gereği enerjiyi etkin kullanan çevreci sistemlerdir. Birçok avantaja sahiptirler ve binalarda ısının verimli kullanımına ve konforun arttırılmasına katkıda bulunmaktadırlar [45]. Hareketli parçaları olmamakla birlikte güç gerektirmezler ve günde 24 saat çalışabilirler. Çalışma sürecinde ise az bakım gerektirir ya da hiç bakım gerektirmezler. Bununla birlikte, yatırım maliyetleri yüksektir ve sistemden alınan fayda genellikle sabittir [46]. Pasif güneş sistemleri şu şekillerde uygulanmaktadır [6]:

i. Isıl Kütle kullanımı: trombe duvarı

Trombe duvarı, yapı kabuğunda duvar bileşeninde ısının toplanıp depolandığı ve dağıtıldığı sistemlerdir. Sistem Şekil 3.4' te görüldüğü gibi iki havalandırma deliğine sahiptir [35]. Bu duvar yapısı dolaylı olarak güneş kazancına sebep olmaktadır [47]. Güneş enerjisini absorbe eder ve doğal havalandırmayı desteklemektedir. Tüm hava koşullarında ve sürekli olarak kışın ısıtmayı yazın ise soğutmayı sağlamaktadır. Gündüz güneş enerjisini depolar ve geceleri geri bırakmaktadır. Böylece mükemmel bir ısı deposu işlevi görür [48]. Trombe duvarı çoğunlukla ılıman iklimlerde kullanılmaktadır [49]. Fakat kurak iklimlerde kullanımıyla ilgili olarak çok sayıda çalışma bulunmaktadır [50].

Birçok araştırmacı verimli bir trombe duvarın dizaynında duvar ve havalandırma deliklerinin boyutu, konum, cam türü, kullanılan siyah boyanın termal özellikleri gibi faktörlerin önemli olduğunu belirtmiştir [51]. Yapılan çalışmalar iyi tasarlanmış bir trombe duvar ile yıllık 53.631 kWh enerji tasarrufu, 144,267 kg CO₂ emisyonunda azalma, %94 oranında ısıtma yükünde azalma ve %74 oranında soğutma yükünde azalma olabileceğini göstermektedir [52].



Şekil 3.4: Trombe duvarının gece ve gündüz çalışma prensibi [53].

ii. Isıl kütle kullanımı: güneş odası

Güneş odası; sera, yeşil oda gibi farklı isimlerle de adlandırılmaktadır. Güneş odası olarak tasarlanan mekanlarda ısıyı depolamaya yardımcı ısıtma kütleleri bulundurulmaktadır. Bu kütleler; kışın depolanan ısı, gece iç mekanlara taşınım, iletim ve ışınım yoluyla aktarılmaktadır. Yazın ise mekandaki ısı dışarıya aktarılmaktadır.

iii. Isıl kütle kullanımı: çatı havuzu

Bu sistemde su en üst kottaki metal kaplı iletken ve su sızdırmazlığı sağlanmış bir döşeme üzerine siyah zeminli plastik su yatakları yerleştirilerek uygulanılmaktadır. Sistemde, değişen iklimsel koşullara göre açılıp kapanan hareketli, ısı yalıtımlı, yüzeyi yansıtıcı kaplama içeren paneller yer almaktadır. Sistem gece- gündüz sıcaklıklarından yararlanarak kışın ısıtma, yazın soğutma yapmaktadır. Sistemin olumsuz yanı ise, aşırı yağışlı veya soğuk iklim koşullarında ve çok katlı binalarda verimsiz olmaktadır. Bu sebeple, bu sistemlerin daha çok az yağışlı ve ılıman/sıcak iklim koşullarında ve müstakil evlerde uygulanması uygun olmaktadır [6].

- **Isıl kütle kullanımı: su duvarı**

Sistemin çalışma prensibi çatı havuzu sisteminde olduğu gibidir. Çatı havuzu sisteminden farkı, iç mekânlarda dekoratif amaçlı kullanılabilmesi ve ısı tutma kapasitesinin daha yüksek olmasıdır. Şekil 3.5’ te su duvarı uygulamalarına dair örnekler gösterilmektedir.



Şekil 3.5: İç mekân su duvarı uygulaması örnekleri [6].

- **Isıl kütle kullanımı: taş yataklama**

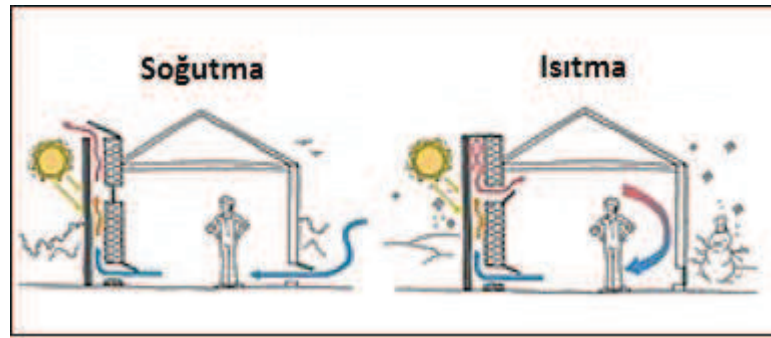
Bu yöntem, doğal taşın ısı depolama özelliğinin kullanılarak dış ortam ile iç ortam arasındaki aşırı sıcaklık farkının oluşmaması ve dengelenmesi için uygulanmaktadır. Uygulama yapılırken bir ara tampon bölge oluşturulmaktadır. Bu sistem, güneş odası gibi farklı sistemlerde yüksek miktarda ısı enerjisinin uzun süreli depolanmasını sağlamaktadır (Şekil 3.6). Günümüzde müstakil ev gruplarında güneş kolektörleri ile ısınan havanın taş yataklama tampon bölgesinden geçerek iç mekâna alınması yönteminin fazlasıyla kullanıldığı görülmektedir [6].



Şekil 3.6: Taş yataklamanın güneş kolektörleri ile birlikte çalışma prensibi [6].

iv. Serinletme: solar baca

Basit ve pratik bir yapıya sahip olan solar baca binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılan bir sistemdir (Şekil 3.7). Binalarda soğutma etkisini artırma amaçlı çeşitli soğutma sistemleriyle birlikte tasarlanmaya elverişlidir. Sistemin kullanımıyla doğal havalandırma, termal konfor ve doğrudan güneş ısı kazancı sağlamaktadır [54]. Sistemin etkinliği sıcaklık farkı esasına dayanmakla birlikte güneşi emen levhanın verimliliği, eğim açısı, giriş ve çıkış boşluğunun kesit alanı, havalandırma oranı gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir [55, 56]. Sistemin genel performansı ise, güneşten gelen radyasyon ve hava akış oranına bağlıdır [57]. Solar bacaların uygulaması basit ve pratiktir. İki çeşit uygulama şekli vardır. Duvar uygulamasında hava kanalı binanın dış duvarına paralel olacak şekilde konumlandırılmıştır. Güneş yüzeyi ısıtır ve sıcaklık farkından kaynaklı hava akışına sebep olur. Bu hava akımı binaların ısıtılması ve soğutulması için kullanılabilir [58]. Çatı uygulamalarında ise, güneş kolektörleri ve solar baca birleşimli olarak kullanılmaktadır. Güneşin enerjisi kolektörlerle birlikte daha iyi emilirken çatının tasarımındaki hava boşlukları ile doğal hava akışı sağlanmaktadır [59].



Şekil 3.7: Solar Bacanın soğutma ve ısıtma uygulaması çalışma prensibi [57].

- Verimli aydınlatma sistemleri tasarımı

Aydınlatma tasarımları, doğal ve yapma aydınlatma sistem elemanlarının uygun bir şekilde seçilmesi, analiz edilmesi ve uygulanması ile oluşturulmaktadır. Aydınlatma tasarımları, uluslararası standartlarca belirlenmiş kriterlerin dikkate alınarak yapılmalıdır. Bununla birlikte, aydınlatma tasarımları binanın tipolojisine ve içinde yapılacak faaliyet türüne göre ihtiyaç duyulan görsel konfor koşullarını sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Aydınlatma tasarımlarında, görsel konfor koşullarının sağlanması, aydınlatma enerjisi gereksinmelerinin en aza indirilmesi, çevresel etkinin minimize edilmesi ve maliyet etkin optimum aydınlatma çözümlerinin ortaya konması konuları incelenmelidir.

EN 12464-1 Işık ve Aydınlatma-Çalışma Alanlarının Aydınlatılması-Bölüm 1: İç Çalışma Alanları, Avrupa için geçerli bir standarttır. Türkiye için de bu standartta belirtilen aydınlatma tasarımı görsel konfor kriterleri esas alınmaktadır. Görsel konfor koşulları kapsamında ilgilenilmesi gereken konular başlıca şunlardır [60, 61]:

Aydınlık düzeyi (E): Birim alana düşen ışık akısıdır. Birimi lux' tür. Mevcut hacimlerdeki aydınlık düzeyi değerlerinin ölçülmesinde ise aydınlıkölçer (lüksmetre) kullanılır. İç mekanlarda görsel konfor koşullarının sağlanabilmesi için gerekli aydınlık düzeyi değerlerinin sağlanması esastır. Günümüzde hacimlerde gerçekleşen aydınlık düzeyi değerleri çeşitli verilere dayanarak hesaplanabilmekte veya çeşitli aydınlatma simülasyon programlarında modellenerek belirlenebilmektedir.

Parıltı (L*): Işık kaynağının belirli bir doğrultudaki ışık şiddetinin görünen alana bölümüne parıltı denilmektedir. Birimi cd/m^2 ' dir. Parıltının yüksek değerlere ulaşması, kamaşma sorununu beraberinde getirmektedir. Aydınlatma tasarımlarında ışık kaynağının görünür olması nedeniyle oluşan kamaşmada, perdeleme ile kamaşmanın önlenmesi söz konusudur. Perdeleme, hem uygun aygıt seçimi ile hem de iç mekan tasarımı ile sağlanabilmektedir.

Renk konusu: Bina iç mekanlarındaki tüm yüzeylerin ışık yansıtma katsayıları ile ilişkilidir. Tavan, duvar ve döşeme yüzeyleri için önerilen ışık yansıtma katsayıları uygun biçimde seçilmelidir.

Işık kaynaklarının renksel özellikleri: Lambaların renksel özellikleri renk sıcaklığı ve renksel geriverim indisi (R_a) değerleri ile ilgilidir. Işık rengi, eylemlere uygun olarak seçilmeli, fizyolojik aydınlatma tasarımında ışığın rengi doğal ışık rengine olabildiğince yakın olmalıdır. Lambaların renkleri sıcak (3300K altı), orta (3300-

5300K) ve soğuk (5300K ve üzeri) olarak kategorize edilir. Lambaların renksel geriverim değeri (R_a), her mekan için farklı bir değere sahip olmaktadır.

Aydınlatmanın düzgünlüğü (U^*) : Mekanlarda gerçekleşen minimum aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranıdır. Düzgün bir aydınlık dağılımı elde edebilmek için hedef çalışma düzlemi ve çevresine yönelik olarak aydınlık düzeyi ilişkisi dikkatle ele alınmalıdır.

Çizelge 3.1: Ofis ve eğitim bina örnekleri için $E_{istenen}$ (lx), $R_{a(min)}$ ve U^* değerleri [6].

Tipoloji	Ele Alınan Hacmin Türü	$E_{istenen}$ (lx)	$R_{a(min)}$	U^*
Ofis Binaları	Ofis mekanları (yazma, okuma vb.)	500	80	0,6
	Ofis mekanları (dosyalama, fotokopi)	300	80	0,4
	Teknik çizim	750	80	0,7
	Bilgisayarlı çalışma ortamları	500	80	0,6
	Giriş holü	300	80	0,6
	Fotokopi odası	300	80	0,4
	Konferans odası	500	80	0,6
	Arşiv	200	80	0,4
	Derslikler (anaokulu)	300	80	0,6
	Derslikler (ilkokul)	300	80	0,6
	Derslikler (lise, üniversite vb.)	500	80	0,6
	Derslikler (teknik çizim)	750	80	0,7
	Derslikler (resim ve eliş)	500	80	0,6
	Derslikler (sanat okulu: resim ve eliş)	750	90	0,7
	Eğitim Binaları	Koridorlar	100	80
Kürsüler		300	80	0,6
Personel odaları		300	80	0,6
Spor salonları		300	80	0,6
Yemekhane		500	80	0,6
Öğretmenler odası		300	80	0,6
Fotokopi odası		300	80	0,4
Mutfak		500	80	0,6
Kütüphane (raflar)		200	80	0,6
Kütüphane (okuma)		500	80	0,6

Çizelge 3.1' de bazı bina tipleri için bu değerlerin ne kadar olması gerektiğine dair örnekler verilmiştir. Çizelge 3.1' de görüldüğü gibi yapılacak faaliyete göre ihtiyaç duyulan aydınlatma kalitesi değişmektedir.

Bu bilgiler ile birlikte binalarda verimli bir aydınlatma sağlayabilmek için yapılan uygulamalar şu şekilde sıralanabilir:

i. Işık rafı uygulaması

Işık rafları, haddeden çekilmiş alüminyum iskelet sistemi ve alüminyum kompozit panellerden yapılmaktadır (Şekil 3.8). Dik ışık yansıtıcı kompozit eleman pencere boşluklarına göz hizasının üstünde konumlandırılır ve yansıtıcı yüzey sayesinde tavana yansıtılan günışığı mekanı aydınlatmaktadır. Işık rafları, pencere üstü ve taban

arasındaki mesafenin 2,5 katı kadar mesafede günışığını içeri alabilirken; gelişmiş ışık rafı sistemlerinde 4 katı mesafeye kadar günışığı mekan içlerine alınabilmektedir. Öte yandan, ışık rafı tasarımlar daha etkin günışığından yararlanma ve doğru güneş açısı hesabıyla ideal gölgeleme sağlamaktadır [6].



Şekil 3.8: Işık rafı uygulaması örneği [Anonim].

ii. Işık tüpü uygulaması

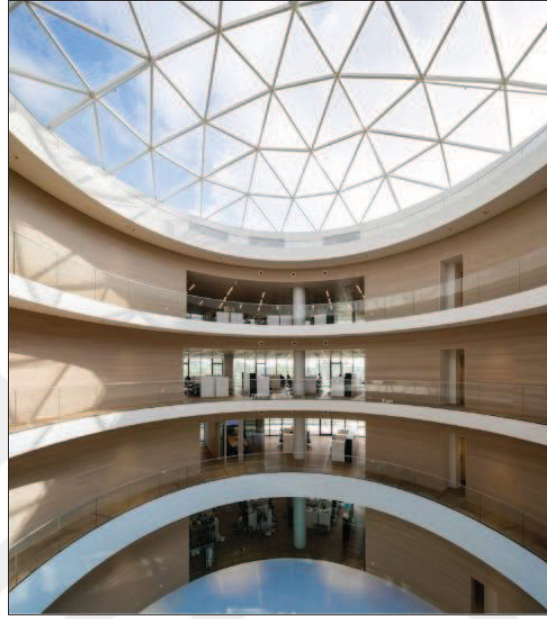
Bu sistemin çalışma prensibi; tüp veya borunun bir yerden başka bir yere taşınırken ışığın kaybının minimumda kalmasını sağlamak, şeffaf tüp veya boruda ışığın yayılırken kesintisiz kontrollü ışık süzmesi oluşturmak ve ışık süzmelerini eşit yaymaktır. Şekil 3.9’ da ışık tüpü uygulamasının bir örneği görülmektedir.



Şekil 3.9: Işık tüpü uygulaması örneği [6].

iv. Atriyum uygulaması

Atriyum mekanların hem aydınlatma hem ısı depolama hem de havalandırma yapılabilecek tampon bir mekandır. Atriyumlar insanların ortak zaman geçirebilecekleri mekanlar olmasının yanısıra, güneşten gelen dolaylı ışığı mekana şeffaf yüzeyler yardımıyla aktararak doğal aydınlatma sağlamaktadır (Şekil 3.10). Bu sistem, kışın tıpkı bir güneş odası gibi çalışmaktadır. Yazın ise, farklı kotlardan aşılmiş boşluklarla çapraz havalandırma yoluyla havalandırma yapmaktadır.



Şekil 3.10: Atriyum uygulaması örneği [Anonim].

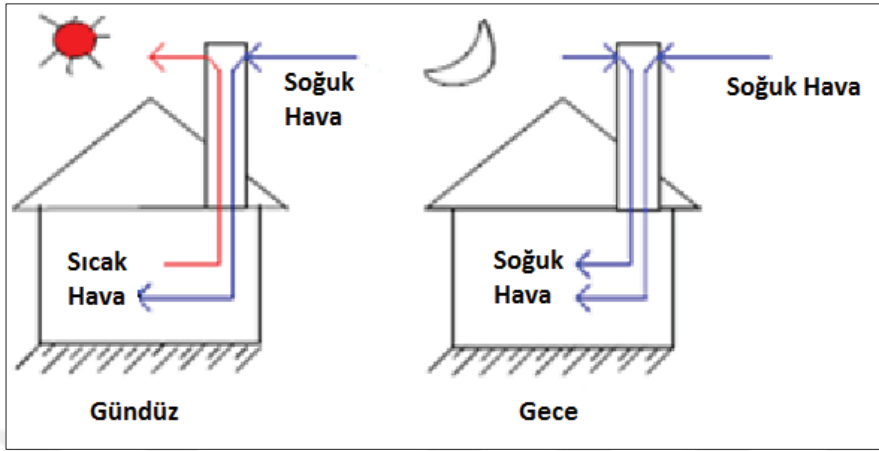
- **Pasif rüzgar sistemleri**

Rüzgar binalarda havalandırma amaçlı olarak iki farklı şekilde kullanılabilir:

- i. Rüzgar kulesi (Wind tower)

Diğer bir adı rüzgar tutucu olan (Wind Catcher) rüzgar kulesi kuru iklimlerde ısıtma ve soğutmaya yardımcı olmak için kullanılır. Rüzgar kulesi uygulamanın yapılacağı binadan bir miktar yüksektedir. Bu tasarım rüzgar tahriki ile havanın daha iyi tutulmasını kolaylaştırır. Böylece hava, bina içine yönlenir [62]. Basit yapısı nedeniyle kolay kurulum avantajına sahiptir. Üstelik elektrik enerjisine ihtiyaç olmamakla beraber çevreye herhangi bir zararı yoktur. Sistemde rüzgarı daha iyi yakalamak için üste konumlanmış bir baca bulunmaktadır [53]. Hava sıcaklıklarının çok yüksek olduğu orta doğu ülkelerinde soğutma ve havalandırma ihtiyacı çoğunlukla mekanik ve elektrikli sistemlerle sağlanır. Rüzgar kulesi bu ülkeler için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Fakat basit tasarımları sebebiyle yetenekleri sınırlıdır. Bu nedenle yaz

aylarında binanın ısı yükünü azaltmak ve termal konforu sağlamak için ek bir sistemle havayı soğutmak gerekir [63]. Şekil 3.11’ de rüzgar kulesinin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Rüzgar kulesi çalışma prensibi [55].

ii. Rüzgar kepçesi

Bu sistem, sıcak kuru iklim bölgelerinde kule boyunca hakim rüzgarın kullanılmasında, üst kotta buharlaşmaya dayalı serinletmeyi arttırmayı sağlayan damla yağmurlama sisteminin, üst kottan alınan hava ile temas etmesiyle ağırlaşmakta pasif yolla atriyum boşluğundan aşağı inmekte ve alt kotlardaki konfor bölgesinde serinletmeyi gerçekleştirmesi ilkesine dayalı olarak çalışmaktadır [6].

Bu yöntemler dışında, güneş ve rüzgar enerjisi dışında enerji depolama yöntemleri ile de pasif iklimlendirme çalışmaları yapılabilmektedir. Bunlar içerisinde günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntem, faz değişim malzemeleri ile yapılan iklimlendirme çalışmalarıdır.

• **Faz değişimi malzemeleri (FDM)**

Faz Değişimi Malzemeleri (FDM) termal enerjiyi depolamak için etkili bir yöntemdir. Adından da anlaşılacağı üzere bu malzemeler sıcaklık değişimiyle fazını değiştirir. Isı depolama süresi temel olarak malzemelerin gizli ısısına bağlıdır. Gizli ısı depolama prensibi şu şekilde tanımlanabilir: FDM ısı aldığı anda sırasıyla katıdan sıvıya, sıvıdan buhar haline geçer. Isı verme işleminde ise, aşamalar tersine döner ve katı faza geçer.

FDM’ in en önemli avantajlarında biri termal enerji depolama kapasitesinin oldukça yüksek olmasıdır. Üstelik şarj etme ve boşaltma faaliyetleri sırasında neredeyse izotermal bir davranış sergilemektedir [64]. Düşük sıcaklık dalgalanmaları ile iç mekan

sıcaklığının konfor aralığında kalmasını sağlamaktadır. FDM uygulamalarında bina tasarımı çok az değişiklik gösterir ve teknik ekipmanların boyutları küçüktür [65]. FDM sistemin olumsuz özellikleri ise pratik uygulamaları ve sistemin etkin kullanılmasının oldukça zor olmasıdır [66]. Faz değişim malzemeleri organik ve inorganik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [67, 68].

- **Isı yalıtımı uygulamaları**

Yapılardaki ısı kayıplarının azaltılması için;

- Binalarımızın dış duvarlarında,
- İç duvarlarda (dıştan ısı yalıtımı yapılamayacak durumlarda),
- Sandviç duvar arasında
- Toprak altı dış duvar ve döşemelerde,
- Çatılarda,
- Balkon ve konsol çıkma altlarında,
- Isıtılmayan bölüme (garaj, depo, sığınak vb.) komşu duvar ya da döşemelerde,
- Pencere doğramalarında ve yalıtım camı ünitelerinde,
- Tesisat kanalları, tesisat elemanları ve vanalarda

yapılan işlemlere “ısı yalıtımı” denir [69]. Bu işlemler ile konutların kışın sıcak ve konforlu, yazın serin ve ferah kalması sağlanmaktadır.

Türkiye’ de, konutlarda 20-22 °C sıcaklık ve %50 bağıl nem değerine sahip olan ortamlarda konforlu bir yaşam sürdürülebilir olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, binaların dışa bakan duvarlarının iç yüzey sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığı arasında ki sıcaklık farkının 3°C ‘ın üzerinde olmaması gereklidir [69].

Türkiye’ de ısı yalıtım çalışmaları şu mevzuatlara göre yapılmaktadır:

- TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı,
- 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu,
- Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği,
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik.

Türkiye’ de ısı yalıtım uygulamaları 5 farklı şekilde yapılmaktadır:

- İnce sıvalı dış cephe ısı yalıtımı (mantolama),
- İçeriden ve çift duvar arası ısı yalıtımı,
- Döşemelerde ısı yalıtımı,

- Çatılarda ısı yalıtımı,
- Toprak altı dış duvarlarda ısı yalıtımı.

Bu uygulamalar ile ısı yalıtımı özetle [69]:

- Yapılacak tasarruf, ithal ettiğimiz enerji miktarının düşmesine ve dışa bağımlılığın azalmasına katkı sağlamaktadır.
- Uygulanacak ısı yalıtımı ile konutun dış duvarlarında meydana gelebilecek yoğunlaşmanın (terlemenin) neden olduğu, bakteri, mantar, siyah leke ve küflenmenin önüne geçilmesi sağlanmaktadır.
- Binanın taşıyıcı sistemini, rutubet ve diğer dış etkenlerden koruyarak binanın ömrünü uzatmaktadır.
- Isıtma ve soğutma amaçlı kullanılan yakıt ve elektrik tüketiminin azalmasına bağlı olarak, sera gazı salım miktarının ve çevre kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

i) Isı yalıtımı hesabı

Isı yalıtımı yapılacak binalarda, yalıtım malzemesinin en az TS 825' te (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı) iklim bölgelerine göre tavsiye edilen, ısıl geçirgenlik katsayılarına (U değeri) eşit ya da daha küçük U değerlerini sağlayacak kalınlıkta olması gerektiği bildirilmektedir. Günümüzde U değeri analizi, çeşitli hesaplama ve simülasyon programlarıyla yapılabilmektedir. Uygun U değerini elde edebilmek için düşük ısı iletkenlik (λ) hesap değerine sahip ısı yalıtım malzemelerinin, binadaki gerekli görülen alanlara tekniğine uygun olarak uygulanması gerekmektedir.

U ve λ değerleri gibi binanın ısıtma ve soğutma yükleri de hesaplanmalıdır. Bu hesaplar materyal metot kısmında detaylı olarak anlatılacaktır. TS 825 Standardı' nda binanın ısıtma ve soğutma ihtiyacını etkileyen faktörler başlıca şunlardır [42]:

Bina özellikleri: Binanın dış kabuğunu oluşturan yapı elemanları; betonarme duvar, dolgu duvar, çatı, taban ve çıkmanın mimari detayları ile pencere doğramaları ve camların özellikleri ile ısı depolama kapasitesi olarak dikkate alınmalıdır.

Isıtma-soğutma sisteminin karakteristikleri: Isıtma ve soğutma sisteminin ve özellikle kontrol sistemlerinin, günün farklı zamanlarındaki farklı ısıtma-soğutma taleplerini karşılayacak şekilde tasarım yapılmalıdır.

İç iklim şartları: Standartlarda belirlenen sıcaklık değerlerinden az olmamak koşulu ile binayı kullananların istediği sıcaklık değeri, binanın farklı bölümlerinde ve günün farklı zamanlarında bu sıcaklık değerlerindeki değişimler dikkate alınmalıdır.

Dış iklim şartları: Dış hava sıcaklığı, hakim rüzgar yönü ve şiddeti, güneşlenme durumu vb. iklim şartları göz önünde bulundurulmalıdır.

İç ısı kazanç kaynakları: Isıtma sistemi dışında, ısıtmaya katkısı olan, yemek pişirme, sıcak su elde etme, aydınlatma gibi amaçlarla kullanılan ve ortama ısıveren cihazlar ve insanlardan kaynaklı ısı kazançları hesaplamalara dahil edilmelidir.

Güneş enerjisi kaynaklı kazanç: Pencere gibi saydam yapı elemanlarından ısıtılan ya da soğutulan mekana doğrudan ulaşan güneş enerjisi miktarı göz önünde bulundurulmalıdır.

ii) Isı yalıtım malzemelerinde aranması gereken temel özellikler

Isı kayıplarının/ kazançlarının azaltılmasında kullanılan, hafif, kolay uygulanabilen ve yüksek ısı direnç özelliğine sahip ürünlere ısı yalıtım malzemesi denir. Bu malzemelerin özelliği, ısı iletkenliklerinin düşük, ısı geçişine karşı gösterdikleri direncin ise yüksek olmasıdır. Isı yalıtım malzemeleri seçiminde aşağıdaki kavramlar göz önüne alınmalıdır [69]:

▪ Isıl iletkenlik değeri, λ (W/mK)

Birbirine paralel iki yüzeyin sıcaklıkları arasındaki fark 1°C olduğunda birim zamanda (1 saat) birim alan (1 m^2) ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan (1 m) geçen ısı miktarına ısı iletkenlik değeri denir. Her malzeme farklı ısı iletkenlik değerine sahiptir. TS 825 Standardı'nda ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri belirtilmiştir.

▪ Isıl direnç, R ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)

Isı yalıtım malzemeleri, ısı transferine yüksek direnç gösteren özel malzemelerdir. Isıl direnç; kullanılan malzeme kalınlığının, malzemenin ısı iletkenli değerine bölünmesi ile elde edilir. R değerinin 1' den büyük çıkması beklenir. Isıl direncin büyük çıkması yapı bileşenlerindeki ısı transfer katsayısının düşmesini sağlamaktadır.

▪ Yoğunluk (kg/m^3)

Isı yalıtım malzemelerinde yoğunluk ısı iletkenlik değerini pek etkilememekle birlikte malzemenin dayanımı ile doğrudan ilgilidir. Malzeme seçiminde yalıtım uygulanacak bölgeye göre uygun yoğunlukların seçilmesi gerekmektedir. Bu sayede, malzemenin boyutsal olarak deformasyona uğraması engellenmiş olur.

▪ **Sıcaklık dayanımı (°C)**

Her ısı yalıtım malzemesinin özelliklerini kaybetmeye başlayıp deforme olmaya başladığı bir sıcaklık noktası vardır. Bu nedenle malzemenin uygulandığı yerde maruz kalacağı sıcaklık önceden belirlenmeli ve bu sıcaklığa uygun malzeme seçilmelidir.

▪ **Yangın sınıfı**

2009/15316 sayılı “Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik’ e göre yangın sınıfları 4 kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar;

- A sınıfı yangınlar: Kâğıt, ahşap, kumaş, kâğıt gibi katı madde yangınları,
- B sınıfı yangınlar: Akaryakıt, solvent, tiner gibi yanıcı ve parlayıcı sıvı yangınları,
- C sınıfı yangınlar: Metan propan, LPG gibi yanıcı ve parlayıcı gaz yangınları,
- D sınıfı yangınlar: Lityum, Sodyum, Potasyum, Alüminyum ve Magnezyum gibi yanabilen hafif ve aktif metallerle, radyoaktif madde yangınları.

Malzemelerin türlerine göre yangına tepki sınıfları belirlenmektedir. Örneğin, TSE döşemelerde kullanılanların dışındaki yapı malzemelerini şu şekilde sınıflandırmaktadır:

- A1: Hiçbir şekilde yangına katkıda bulunmayan malzemeler
- A2: Yangına aşırı derecede sınırlı boyutlarda katkıda bulunan malzemeler
- B: Yangına çok sınırlı boyutlarda katkıda bulunan malzemeler
- C: Yangına sınırlı boyutlarda katkıda bulunan malzemeler
- D: Yangına makul boyutlarda katkıda bulunan malzemeler
- E: Yangına karşı tepki performansı kabul edilebilir olan malzemeler
- F: Yangına karşı tepki performansı belirlenemeyen malzemeler

Döşemelerde kullanılan yapı malzemelerinin yangına tepki sınıfları ise A1_{FL}, A2_{FL}, B_{FL}, C_{FL}, D_{FL}, E_{FL}, F_{FL} sembolleri ile tanımlanmıştır.

Binalarda kullanılacak yalıtım malzemeleri, standartlarca belirlenen seğenekler arasından kullanılacakları ortam koşullarına göre yangına karşı dayanıklı olacak şekilde seçilmelidir.

- **Boyut stabilitesi**

Yalıtım levhalarının ısı genleşme katsayısı, 17 K' lik sıcaklık farkında yaklaşık 1 mm/m bir değişim göstermesidir. Bu değerden fazla olan değişimler yalıtım uygulamalarında sorun oluşturmaktadır. Çok büyük yalıtım levhalarının büyük sıcaklık farkına maruz kaldığı yerlerde kullanılması halinde gerekli önlemler (derz) alınmalı ve uygulanmalıdır.

- **Mekanik dayanım (Basma dayanımı) (kPa)**

Isı yalıtım malzemelerinin basma dayanımlarının kullanılacak yere göre belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca ısı yalıtım malzemesinin yük altında ya da zamana bağlı olarak kalınlığını kaybetmesi ısı direncin de azalmasına neden olacağından detaya uygun basma dayanımına sahip malzeme seçilmesi önemlidir.

- **Su buharı difüzyon direnç faktörü (μ^*)**

Su buharı direnç faktörü, yapı elemanının durgun havadan kaç kat fazla su buharına geçişine direnç sağladığının ölçüsüdür. Su buharının hareketi esnasında doyma veya düşük sıcaklıktaki bir yüzeyle temas etmesi durumunda buharın bir kısmı yoğuşarak su haline dönüşür. Yoğuşma binada;

- Yapı elemanı yüzeyinde oluştuğunda, dökülmelere, küf oluşumuna, paslanmalara, ahşap çürümesi vb. deformasyonlara,
- Yapı elemanı ara yüzeylerinde, yapımızın taşıyıcı sisteminde bulunan demirlerin paslanmasına ve yapı ömrünün azalmasına,
- Yalıtım malzemelerinin yüzeyinde ve içerisinde su buharı suya dönüşürse bulunduğu yapı malzemesinin yapısını bozar ve ısı iletkenlik değerinin yükselmesine neden olmaktadır.

- **Su buharı difüzyonuna karşı direnç (S_d)**

Bu değer, su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) ile malzeme kalınlığının çarpılması ile elde edilen bir büyüklüktür ve yapı elemanının su buharına geçişine karşı gösterdiği performansı ifade etmektedir.

- **Hacimce su emme (%)**

Hacimce su emme değeri, malzemenin emdiği su hacminin malzemenin boşluklu hacmine oranıdır. Yalıtım malzemesinin içine giren su, ısı yalıtım malzemesinin ısı direncini azaltır. Dolayısıyla bünyesine su almayan ısı yalıtım malzemelerinin

kullanımı detay çözümlerinde avantaj sağlar. Su emme değeri yüksek olan malzemelerin kullanılacağı detaylarda ise malzemeyi neme ve suya karşı koruyacak tedbirler alınması ve detayların bu şekilde çözülmesi gerekmektedir.

ii. Aktif sistemler

Aktif sistemler pasif sistemlerden farklı olarak enerji tüketirler. Bu sistemlerde yenilenebilir ve yenilenemez teknolojiler birlikte kullanılır. Aktif sistemler verimli ve çevre dostu sistemlere yönelimi arttırmaları. Çoğunlukla istenilen düzeyde performans alınabilen ve kullanılacağı çevreye göre özelleştirilebilen esnek sistemlerdir. Sistemin performansı izlenebilir ve kontrol edilebilir. Bu sistemlerin olumsuz özellikleri ise ilk yatırım maliyeti ve bakım maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Pasif sistemlere göre daha hassas, bozulmaya elverişli sistemlerdir. Birçok hareketli parçaya sahiptirler. Sistemlerin gelişiminde yeni ve farklı becerilere ihtiyaç duyulmaktadır [67].

• Isı pompası sistemleri

Isı pompalarının çalışma prensibi ilk defa 1824 yılında Nicolas Léonard Sadi Carnot tarafından ortaya konmuştur. Uygulanabilirlik fikri önce William Thompson tarafından, daha sonra 1852 yılında Lord Kelvin tarafından ortaya atılmıştır. Sistem 1940' lı yıllarda Robert Webberin tarafından geliştirilmiştir. Isı pompası sistemleri, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama taşıyan ve elektrikle beslenen sistemlerdir. Bu sistemler, diğer sistemlerine göre daha az enerji tüketerek ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama taşıyarak ısı ihtiyacını karşılamaktadırlar. Bu sayede, gerekli şartlar sağlandığında yüksek miktarlarda enerji düşük maliyetlerle kullanıma sunulabilmektedir.

1960 ve 1970' li yıllarda ısı pompası sistemlerinin Avrupa ve ABD' de ilk ticari uygulamaları görülmektedir. Günümüzde de bu ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve Avrupa' da toprak kaynaklı ısı pompalarının termal verimliliği ortalama olarak 3,5 civarında seyretmektedir [70].

Uzakdoğu ülkelerinde toprak kaynaklı ısı pompalarının gelişimine bakıldığında, Çin' de ülke çapında ısıtma alanları 2004 yılında 8 milyon m², 2006 yılında 20 milyon m² ve 2007' de 38 milyon m² ye ulaşmıştır [71]. Bina endüstrisi şuan istikrarlı ve etkili olarak ısı pompası sistemlerine odaklı değildir. Fakat Çin' in dünyanın en fazla enerji tüketen ülkelerden biri olma özelliğini de göz önüne alındığında yeşil bina piyasası için büyük ve potansiyel bir gelişme alanı olduğunu söylenebilmektedir [70].

Sistemin Türkiye’deki uygulamalarına bakıldığında, teorik ve deneysel çalışmalar 1980’li yıllara, uygulamaları ise 1990’lı yıllara denk gelmektedir [72]. Bu tarihler göz önüne alındığında, ısı pompası teknolojisi Türkiye için yeni bir teknoloji olarak ifade edilmektedir [53].

Isı pompası sistemlerin planlanmasını etkileyen birçok parametre vardır; uygulanacağı bölgenin jeolojik ve yerel iklim koşulları, sistemin uygulanacağı binanın özellikleri sistematik verimlilik üzerinde büyük farklılıklar oluşturmaktadır. Bu farklılıklar, ısı pompası sistemlerinin planlamasını ve tasarımını daha özellikli ve önemli kılmaktadır [73].

Çizelge 3.2’de de görüldüğü gibi, aynı metot ile aynı bölgelerde yapılan çalışmalarda COP (Coefficient of Performance) değerleri çok farklı çıkabiliyorken farklı bölgeler ve farklı method kullanılarak elde edilen değerler aynı veya yakın değerlerde çıkabilmektedir. Tüm bu özellikleriyle ısı pompası sistemleri gelişime ve araştırmaya oldukça açık bir teknolojidir.

Çizelge 3.2: Farklı method ve bölgelere göre COP değerleri.

Yazar	Sonuçlar		
	COP (ısıtma)	Method	Bölge
Kara [74]	2,8	Simülasyon	Erzurum-Türkiye
Hepbaşlı [75]	1,66	Deneysel	İzmir-Türkiye
Esen [76]	3,6	Deneysel	Elazığ-Türkiye
Doherty P.S [77]	2,8	Deneysel	Nottingham-UK
İnalı [78]	2,66	Deneysel	Erzurum-Türkiye
Bakırcı K. [79]	3,2	Deneysel	Erzurum-Türkiye

Isı pompasının performansı çeşitli faktörlere bağlı olduğundan ısı pompasının seçimi yapılırken şu konular göz önüne alınmalıdır [80]:

- i. Isı kaynağı seçimi: Sistem için ısı kaynağının seçiminde yerleşim yerinin konumu, çevre havası sıcaklığındaki değişiklik, toprak koşulları, yeraltı veya yerüstü sularının bulunabilirliği, mimari yapı, gürültü, yer darlığı ve ekonomik kısıtlamalar gibi pekçok faktör rol oynamaktadır. Bu faktörler incelenerek sistem için en uygun olan ısı kaynağının seçimi yapılır. Isı pompalarında başlıca dört kaynaktan yararlanır. Bunlar, hava, su, toprak ve güneş enerjisidir. Hava, su ve toprak tek başına kaynak olarak

kullanılabilmekte, güneş enerjisi ise genellikle yardımcı kaynak olarak kullanılmaktadır [81].

- ii. Isıtma/ soğutma yüklerinin hesaplanması: Isı pompasının kapasitesinin belirlenmesi için ısıtma/ soğutma yük hesabı belirlenmiş olan standartlara göre yapılır. Türkiye’ de kullanılan standart TS 825 Standardı’ dır.
- iii. Dağıtım sistemi sıcaklığının belirlenmesi: Sistemde kullanılacak iş akışkanına ve uygulanacak tekniğe göre, ihtiyaç duyulan sıcaklıklar farklılık göstermektedir. Hava dağıtım sisteminin çıkış sıcaklığı genellikle 30-50°C arasındadır. Su dağıtım sistemlerinde, geleneksel radyatör sistemleri tipik olarak 60-90°C aralığında yüksek dağıtım sıcaklıkları gerektirmektedirler. Günümüzün düşük sıcaklık radyatörleri ve konvektörlerinde (ısıtıcılarında) maksimum çalışma sıcaklıkları 45-55°C, döşemeden ısıtma sistemlerinde ise 30-45°C arasında değişmektedir.
- iv. Isı pompası işletim sisteminin seçimi: Isı pompaları; monovalent (tekli) işletmeli, bivalent (ikili) işletmeli ve multivalent (çoklu) olmak üzere üç farklı şekilde uygulanabilirler. Monovalent işletim sisteminde; ısı pompası tek başına bütün ısıtma/ soğutma ihtiyacını karşılar. Isı kaynağı olarak çoğunlukla su veya toprak kullanılır. Eğer ısı ihtiyacı iki ısı üreticisi ile karşılanıyorsa bivalent işletme söz konusudur. Isı pompası ve elektrikli ısıtıcı bivalent işletim sisteminde, ısı pompası yıllık ısı ihtiyacının %90' ını karşılayabilmektedir. Elektrikli ısıtıcı gereksinim halinde paralel olarak devreye girer. Isı pompası ve kazanlı bivalent işletim sisteminde ise, ısıtma ihtiyacı iki ayrı sistemden karşılanır. Multivalent işletmede, ısı gereksinimi ikiden fazla ısı üreticisiyle karşılanmaktadır.
- v. Isı pompası tipinin seçimi: Yukarıda bahsedilen durumlarla ilgili kararlar verildikten sonra ısı pompası tipinin seçimi yapılabilir. Genel olarak ısı pompaları hava/hava, hava/su, toprak/hava, su/hava ve su/su ısı pompaları olarak uygulanmaktadır.

Diğer yandan ısı pompası sistemi tasarımlarında aşağıdaki hususlar da dikkate alınmalıdır [13]:

- Isı pompasının enerji verimlilik oranı (EVO) ve performans katsayısı (COP) minimum değerden aşağı olmamalıdır,
- Kritik ihtiyaç durumları da göz önüne alınarak sistem tasarlanmalı ve alternatif yardımcı kaynaklar da ihtiyaç anında devreye girebilmeli.
- Ani ihtiyaç değişimlerine karşı sistem, kullanıcıları ve ekipmanları sıkıntıya sokmamalı, bu durumlara esneklik sağlayabilmelidir,

Isı pompalarının enerji verimliliği bakımından sık tercih edilen ve çevreye duyarlı örneği toprak kaynaklı ısı pompası sistemleridir. Bu sistemlerle topraktan ısı alımı veya toprağa ısı verimi ile enerjiyi doğrudan kullanma fırsatı elde edilir [69, 70]. Ayrıca bazı araştırmacılar, toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin konvansiyonel iklimlendirme, güneş bacası, güneş enerjisi, FDM ve diğer yenilenebilir sistem seçeneklerinden daha iyi olduğunu belirtmektedir.

▪ **Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri (TKIP)**

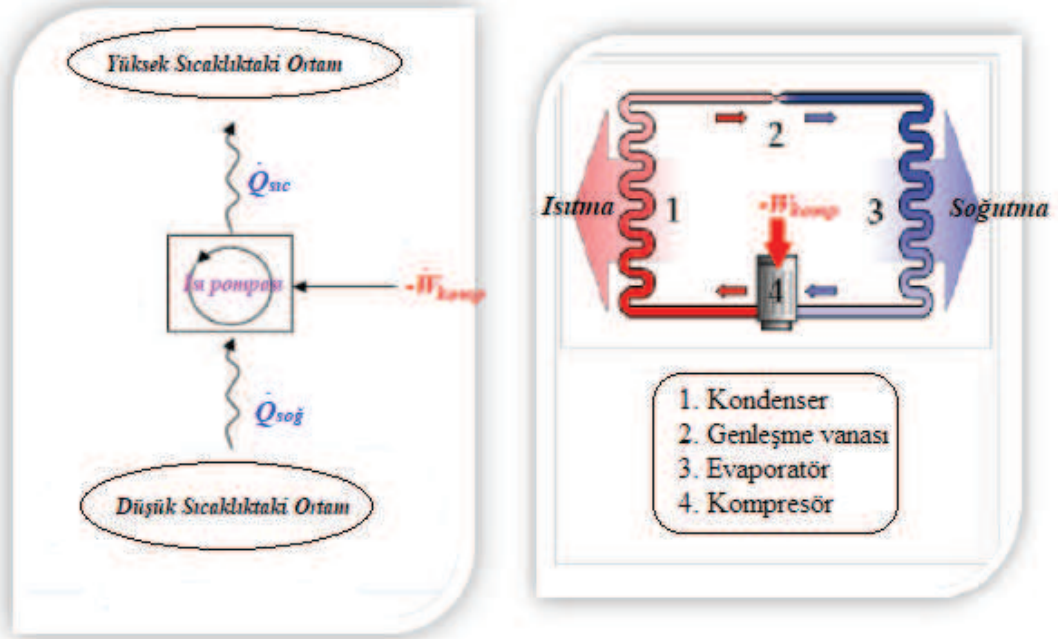
Havayı veya diğer sıvıları ısıtmak ya da soğutmak için toprağın sabit sıcaklığı kullanılır. Bu sistem geleneksel merkezi ısıtma ve klima sistemlerine uygulamak için ekonomik bir alternatiftir ve kompresör, brülör ya da kimyasallara ihtiyaç yoktur. Sadece hava hareketini sağlamak için üfleyici gereklidir [82]. Geçmiş yıllarda yapılan araştırmaların çoğu Avrupa ve Amerika' nın soğuk ülkelerinde gerçekleşmiştir. Fakat geleceğe yönelik mevcut enerji senaryosu doğrultusunda popülerliği Dünya çapında artmaktadır. Hava hızı, gömülü boruların ısı iletkenliği, boru uzunluğu, kesit alanı, zeminin ısı yayılımı, zemin sıcaklığındaki değişim ve zemin derinliği gibi faktörler sistemin performansını etkilemektedir [53].

Bu sistemler pasif sistemleri temsil eden ve aktif teknolojiye de tamamlayıcı olarak kullanılacak teknolojilerdir. Hedef sıfır enerji tüketimli binalardır [83]. TKIP sistemleri çevreyi kirletmezler. Çünkü yeryüzünün doğal enerjisinden yüksek oranda faydalanırlar. İlk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen sağladıkları enerji tasarrufu ile maliyetler kısa zamanda amorti edilir. Klasik yöntemlere bakıldığında ise, üretilen ısı enerjisi için pahalı yakıtlara ihtiyaç duyulur [44].

Bu sistemlerin çalışma prensibi soğutma çevrimleri ile aynıdır. TKIP sistemi alanın ısıtılması ve soğutulması için sabit toprak sıcaklığını kullanır. Temel bileşenleri şu şekildedir (Şekil 3.12); i) Evaporatör, ii) Kompresör, iii) Genleşme vanası ve iv) Kondenser.

Çevrimde ısıyı taşıma görevini üstlenen bir soğutucu akışkan kullanılır. En basit haliyle, soğutucu akışkan sıvı fazdan buhar fazına geçerek ısıyı alır ve sıvı fazdan buhar fazına geçerek ısıyı geri bırakır. Bu iki görevi yukarıda bulunan 4 bileşen ile etkileşimli olarak yapar ve böylece ısının verimli olarak aktarılmasını sağlar. Bu etkileşimlere detaylı olarak bakıldığında aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

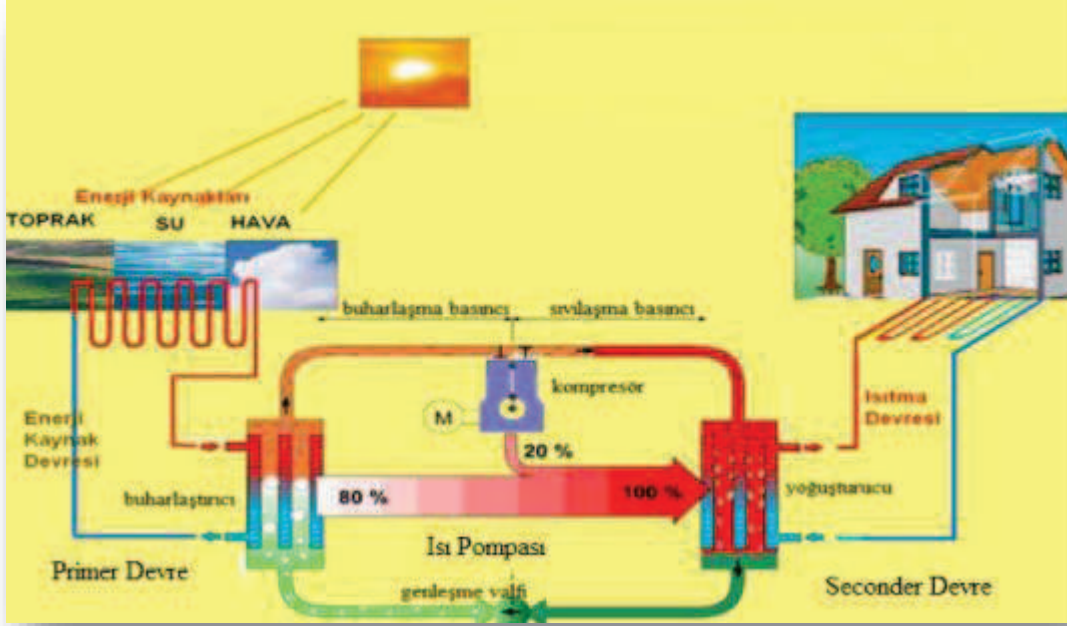
- Isı kaynağından ısının alınması: Toprak altında bulunan eşanjörleri doğada serbest olarak bulunan ısı enerjisini absorbe eder. Absorbe edilen ısı evaporatöre ulaşarak basıncı ve sıcaklığı düşük olan soğutucu akışkanın sıcaklığını artırır.
- Kompresörde sıcaklık artırması: Evaporatörden sıcaklığı artmış ve buhar fazında gelen soğutucu akışkan kompresörde sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı bir üst seviyeye çıkartılır.
- Isıtma sistemine ısı aktarılması: Elektriği dışarıdan girdi olarak aldığımız aşamadır. Kızgın buhar fazında bulunan soğutucu akışkan kondensere ulaşarak ısı enerjisini dış ortama aktarır ve böylece sıvı faza geri döner.
- Genleşme valfinden kısılma: Soğutucu akışkanın kompresöre düşük sıcaklık ve basınçta girmesi gerektiğinden genleşme valfinden geçirilerek bir miktar daha basınç düşümüne uğratılır. Bu işleminden sonra soğutucu akışkan çevrimi tekrar gerçekleştirmek üzere hazırdır [53].



Şekil 3.12: Isı pompası sistemi çevrimi [Anonim].

Isı pompalarının çalışma prensibinde anlaşılacağı üzere, Carnot' un 1824 yılında ortaya attığı prensip geliştirilerek bugünkü ısı pompası sistemleri halini almıştır. Buradaki kritik nokta, yenilenebilir enerji teknolojileri kapsamında sisteme alınan ısı enerjisinin topraktan doğal olarak karşılanabilmesidir.

Isı pompalarının sınıflandırmaya tabi tutuldukları nokta, ısıyı aldıkları kaynaktır. Toprak kaynaklı sistemlerin dışında hava ve su kaynaklı ısı pompası sistemleri de bulunmaktadır (Şekil 3.13). Fakat toprak sıcaklıklarının yıl içerisindeki değişim oranlarının aşağıdaki çizelgelerde (Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4) görüldüğü gibi küçük bir aralıkta seyretmesi uygulayıcıları toprak kaynaklı ısı pompalarını kullanmaya itmektedir.



Şekil 3.13: Isı pompası sistemi ekipmanları ve çalışma prensibi [Anonim].

Isı pompası cihazlarının çalışma şartları yıl boyunca şu şekilde değişmektedir; i) Hava -20' den +50' e kadar, ii) Su +8' den +30' a kadar, iii) Toprak +10' dan +20' ye kadar [84].

Çizelge 3.3: Bazı illerimizin ortalama hava sıcaklıkları [84].

Yer	KIŞ °C	YAZ°C
İstanbul	-3	33
Ankara	-12	35
İzmir	0	37
Antalya	3	39
Adana	0	38

Çizelge 3.4: Bazı illerimizin zamana ve toprak derinliğine bağlı olarak ortalama toprak sıcaklıkları [84].

Yer	Ocak(°C)			Temmuz(°C)		
	5 cm	50 cm	100 cm	5 cm	50 cm	100 cm
İstanbul	0,9	4,3	8,2	27,7	24,4	20,9
Ankara	7,8	10,1	12,3	33,1	31,6	29,8
İzmir	8,9	11,4	14,5	34,8	30,3	27,3
Antalya	5,0	8,0	10,0	28,8	25,6	21,6
Adana	9,6	12,2	13,8	35,4	29,6	26,8

Toprak kaynaklı ısı pompalarında toprağın ya da yeraltı suyunun ısısından yararlanmak için iki teknik kullanılmaktadır:

- **Açık çevrim sistemler**

Göl, nehir, kuyu gibi ortamlarda bulunan su, bir hidrofor sistemi ile ısı pompasına aktarılır, burada yeraltından çekilen suyun ısısı doğrudan çevrime aktarılır [85]. Çevrimin içine alınan akışkan ile ısı aktarımı gerçekleşmektedir. Bu sebeple açık sistemler olarak adlandırılmışlardır.

Açık çevrimli ısı pompası sistemleri kullanılabilir bir yer altı suyu mevcutsa oldukça avantajlıdır. Çünkü bu sistemler az zemin alanı gerektiren ve kuyu suyunun rahatlıkla kullanılabilirdiği sistemlerdir. Üstelik kapalı çevrim ısı pompası sistemlerine göre daha düşük maliyetlidirler. Suyun kullanılabilirliğinin sınırlı olması, kirlilik ve korozyon ise, sistemin olumsuz özellikleri arasındadır [86].

- **Kapalı çevrim sistemler**

Kapalı bir devre toprak altına gömülü borulardan oluşur ve sistemin dışarıyla olan tek etkileşimi ısı alışverişidir. Boru şebekesi ısı taşıyıcı akışkanla doludur. Çoğunlukla akışkan olarak su- antifiriz karışımı kullanılır. Sistem, ısı taşıyıcı akışkanı sirküle etmek için bir sirkülasyon pompasına ihtiyaç duymaktadır. Kapalı bir sistemde toprak kaynaklı ısı pompaları toprağa döşeme biçimine göre; *Yatay Sistemler ve Dikey Sistemler* olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [85]:

Yatay Sistemler: Yatay sistemlerde kullanılacak arsanın uygun olması büyük önem arz eder. Kullanacağımız borular birbirine yakın olacak şekilde spiral veya düz boru şeklinde döşenebilir. Uygulanacak derinlik, boruların çapı ve buna bağlı olarak borular

arası mesafe, m²'ye düşen boru uzunluğu bu sistemlerde tespit edilmesi gereken teknik parametrelerdir.

Çizelge 3.5: Yatay borulama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları [87].

Avantajlar	Dezavantajlar
İlk yatırım maliyetleri daha düşüktür.	Boru yerleşimi için geniş alana ihtiyaç duyulur.
Uygulamaya daha elverişlidir.	Isı değiştirici sistem toprağın yüzeyine daha yakın olduğundan mevsimsel sıcaklık değişimlerine duyarlılığı yüksektir.

Dikey Sistemler: Sistem toprağa dikey olarak uygulanmaktadır. Dolayısıyla uygulamanın yapılacağı arazinin sınırlı olduğu durumlar için oldukça elverişlidir. Uygulanacak boruların uzunluğu dikkate alınarak toprak katmanlarının özellikleri tespit edilmeli ve buna bağlı olarak toprağın direnci bilinmelidir. Boruların toprak altına döşenmesi aşamasında ise sondaj yapılmaz. Sondaj işleminin maliyetli olması dikey sistemler için bir dezavantaj oluşturmaktadır [87]. Sondaj derinliği sistemin spesifik özelliklerine göre 15- 180 m arasında olabilmektedir [85].

Çizelge 3.6: Dikey borulama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları [87].

Avantajları	Dezavantajları
Daha az alan yeterlidir.	Kurulum maliyetleri daha yüksektir.
Toprak yüzeyinden daha derine uygulandığı için mevsimsel sıcaklık değişimlerine duyarlılığı azdır.	İhtiyaç duyulan donanımlar açısından uygulamaya elverişi daha azdır.

Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6' da görüldüğü üzere, borulamanın yatay veya dikey olarak seçilmesi durumunun farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Borulama yapılırken yatay ve dikey uygulamaların özellikleri, borulama yapılacak yerin özellikleri ve kullanıcının istekleri göz önünde bulundurulmalıdır.

- **Güneş enerjisi sistemleri**

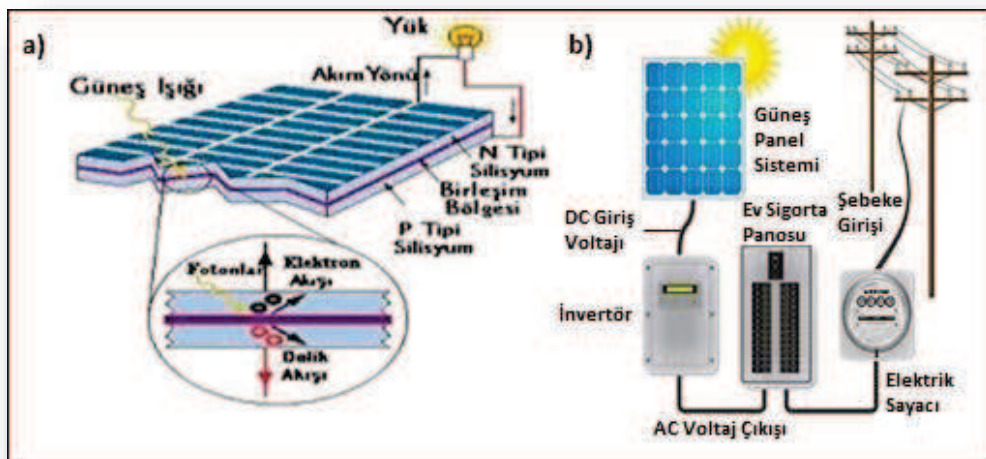
- i) Güneş pili (Fotovoltaik) sistemleri

Güneş ışığından elektrik enerjisi üreten fotovoltaik (PV) sistemler, ilk kez 1839 yılında Henri Becquerel tarafından araştırılmıştır. 1954 yılında ise, modern anlamdaki PV (photo voltaj) hücreler (solar cell) geliştirilerek uzay teknolojisi uydu araçlarında pahalı

bir elektrik üretici olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde teknolojiye gelişmelerle birlikte saat ve hesap makinelerinde, sokak aydınlatmasında gibi pek çok alanda güneş enerjisi teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin binalarda uygulanması ise, ilk kez 1981 yılında gerçekleşmiştir [6].

Fotovoltaik akım üretimi Si, Cd, Te gibi yarı iletken malzemelerden yapılan kare, dikdörtgen veya daire şeklinde biçimlendirilebilen solar hücrelerle sağlanmaktadır. Fotovoltaik akım üretimi basitçe şu şekilde meydana gelmektedir: Yarıiletken malzemelerden yapılan hücrelerdeki elektronlar, güneşten ışınım enerjisi ile hareket etmeye ve iletken hale gelmeye başlamaktadır. Elektronların bu hareketi ile de fotovoltaik akım oluşmakta ve elektrik enerjisi elde edilmektedir. Deniz seviyesinde, güneşli bir günde güneş ışınımının şiddeti 1000 W/m^2 olarak kabul edilmektedir. Bulunulan yere bağlı olarak Dünya’da 1 m^2 ’ye düşen ortalama enerji miktarı yılda 800-2600 kWh arasındadır [6]. Günümüz teknolojisi ile üretilen hücreler yapısına bağlı olarak %5-30 arasında bir verimle güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bir fotovoltaik hücrenin çıkış voltajı yaklaşık olarak 0,5 volt civarındadır. Bu güç çıkışını arttırmak için çok sayıdaki hücreler seri veya paralel bağlanarak “modül”, modüller birleştirilerek panel, ve paneller birleşerek “dizi” elde edilir [88].

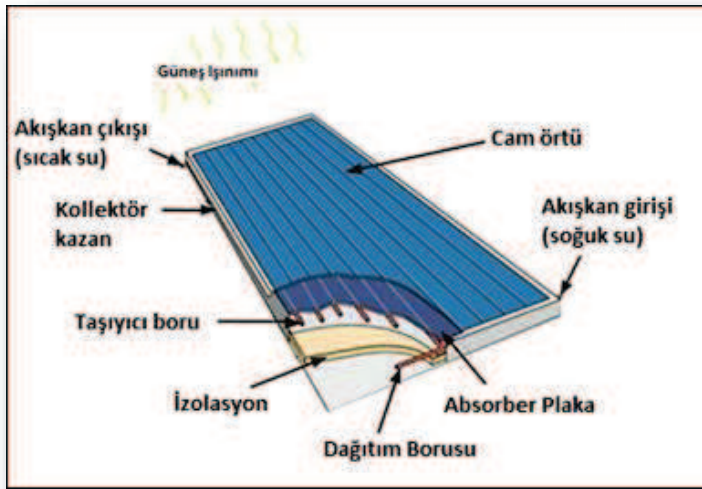
Güneş pilleri, doğru akım (DC) üreten aygıtlardır. Bu akım akülerde depolandıktan ve alternatif akıma (AC) dönüştürüldükten sonra bina gereksinimi için kullanılabilir ya da şehir şebekesine aktarılabilir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: a) Panel çalışma prensibi ve b) fotovoltaik sistem ekipmanları [Anonim].

ii) Kollektör sistemi

Kolektörler, güneş enerjisini bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır [89]. Kollektörler başlıca; cam, cam ile soğutucu plaka arasında uygun miktarda boşluk, metal ve plastik soğurucu plaka, yalıtım ve bunların tamamını saran kasa bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Kollektörün yapısı [Anonim].

Güneş enerjisiyle su ısıtma sistemleri doğal ve basınçlı dolaşım sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal dolaşım sistemleri, su ısısının değişmesi ile suyun yoğunluğunun azalması ve yükselmesi prensibine bağlı olarak çalışmaktadır. Basınçlı dolaşım sistemlerinde ise ıyı taşıyan akışkan, pompanın otomatik kontrol devresinin yönlendirilmesi ile çalışmaktadır [90].

iii. Akıllı cam teknolojileri

Saydamlık özelliği değişkenlik gösteren bu türden camlar farklı uygulamalara açıktırlar ve tasarımda esneklik sağlarlar. Bu yönden iç, dış mekanda bölücü eleman olarak kullanılabilirler gibi projeksiyon perdesi, işaret panosu gibi farklı işlevler için de kullanılabilirler. Akıllı camlar 4 farklı şekilde üretilmektedir:

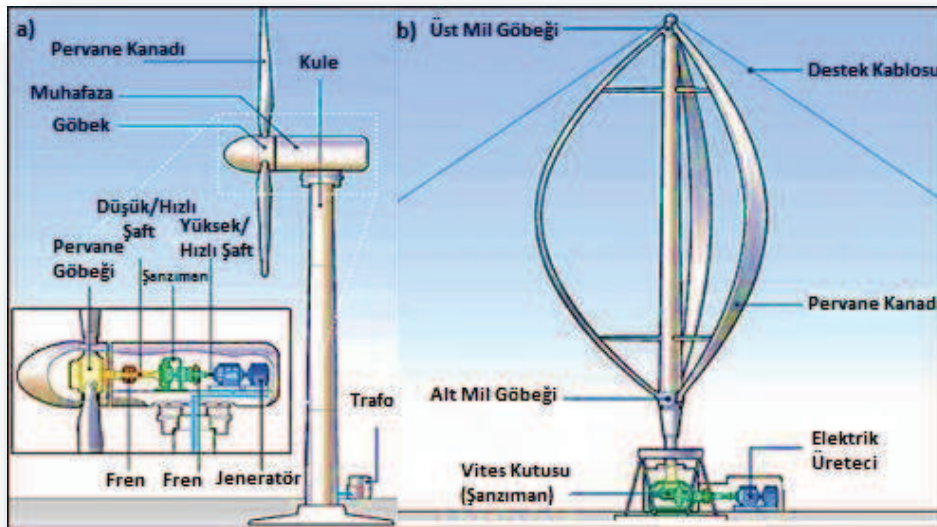
- Elektrokromik camlar (EC)
- Sıvı Kristal Camlar (LC)
- Gazokromik Camlar (GC)
- Fotokromik ya da Termokromik Camlar

Bu camlar çevresel uyarılara (otomatik ya da manuel kontrol ile) tepki vererek bunun sonucunda ışığı geçirgen halden ışığı yansıtıcı, yutucu ya da saçıcı hale geçmektedirler.

- **Rüzgar enerjisi sistemleri**

Hava, sahip olduğu akış enerjisini türbin kanatlarına çarparak mile hareket kazandırmaktadır. Bu hareket daha sonra jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüşmektedir. Oluşan enerjiye dair hesaplama yöntemi materyal- metot bölümünde açıklanmıştır.

Modern rüzgar türbinleri hem yatay hem de dikey şekilde tasarlanabilmektedir. Türbinler yaklaşık 45-60 m arası boyda, ortalama 40 m kanat uzunluğunda üretilmektedir. Bir rüzgar türbininden 500 ile 2000 kW güce kadar enerji elde edilebilmektedir [91]. Rüzgar türbininden elde edilen enerji, güneş enerjisinde olduğu gibi her kule grubunun bitiminde oluşturulan dönüştürücülerde toplanmaktadır. Toplanan bu enerji, doğrudan kullanılabilir veya yüksek gerilim hatları ile çok uzak mesafelere kadar taşınabilmektedir.



Şekil 3.16: Rüzgar türbini çeşitleri a) yatay eksenli ve b) dikey eksenli [Anonim].

Binaya bütünleşik rüzgar türbini uygulamaları henüz AR-GE sürecindedir. Bina uygulamalarında, etkin tasarım çalışmaları mimari faktörler de düşünülerek ele alınmaktadır.

3.3 Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemleri

Yeşil bina hedeflerin gerçekleştirilebilmesindeki en önemli noktalardan biri de konulan hedeflerin sürdürülebilirlik anlayışına uygun olmasıdır. Sürdürülebilirliği sağlayabilmek içinse, bina performansları inşaattan yıkıma kadar olan tüm aşamalarda değerlendirilmelidir. Bununla birlikte, bina performansının değerlendirilmesi sosyoekonomik, çevresel ve teknolojik yönleri de içeren çok boyutlu bir çalışmadır [92, 93]. Bu nedenle, değerlendirme sürecinde standartlar, yönetmelikler ve yönergeler gereklidir. Böylece başta enerji verimliliğiyle ilgili yapılan çalışmalar olmak binalar ile ilgili tüm konulardaki çalışmaların değerlendirme kriterleri daha objektif ve somut hale gelmektedir.

Erten [4], değerlendirme sistemlerini şu şekilde ifade etmektedir: “ Değerlendirme sistemleri, yapı sektörü ile ilgili olan farklı uzmanlık alanlarındaki kişiler tarafından, yeşil bina tanımını, ölçülebilir bir standart ile tanımlayabilmek üzere ortaya çıkarılmıştır. Değerlendirme sistemleri sayesinde binalar, üçüncü şahıs veya kurumlar tarafından standartlaştırılmış bir değerlendirmeye tabi tutulur ve değerlendirme sonucunda binanın performansının ne kadar sürdürülebilir olduğu belgelenir. Bütün binalar aynı değerlendirmeye aynı yöntemle tabi tutulduğu için sistem kendi içinde tutarlıdır ve binalar hakkında sayısal bilgi sunduğu gibi karşılaştırmalı çalışmalar yapma imkanı da sağlamaktadır. ”

Kronolojik olarak günümüzde yaygınca uygulanmakta olan yeşil bina sertifika sistemlerine bakıldığında, Dünya’ da 1980’ lerin sonundan itibaren değerlendirme kriterleri ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanılmıştır. Bu çalışmaların öncülüğünü yapan İngiltere, 1990 yılında BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment) derecelendirme sistemini hayata geçirmiştir. Bu sistem pekçok yeşil bina sistemi için model oluşturmuştur. BREEAM değerlendirme kriterleri; i) malzeme, ii) enerji kullanımı, iii) kirlilik, iv) ulaşım, v) su, vi) ekoloji, vii) yönetim, viii) sağlık ve iyilik kategorilerinden oluşmaktadır [89]. BREEAM sisteminin uyguladığı derecelendirme Çizelge 3.7’ de gösterilmiştir:

Çizelge 3.7: BREEAM sertifikasyon sisteminin dereceleri.

BREEAM Dereceleri	Puanı
Sınıflandırılmış	<30
Geçer	≥30
İyi	≥45
Çok İyi	≥55
Mükemmel	≥70
Olağanüstü	≥85

1996 yılına gelindiğinde Amerika’ da LEED (The Leadership in Energy and Enviromental Design) derecelendirme sistemi kurulmuştur. Değerlendirme kriterleri; i) konum ve ulaşım, ii) sürdürülebilir mekanlar, iii) su verimliliği, iv) enerji ve atmosfer, v) malzeme ve kaynaklar, vi) iç ortam kalitesi, vii) yenilikçilik ve bölgesel öncelik şeklindedir [94]. LEED sisteminin uyguladığı derecelendirme Çizelge 3.8’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8: LEED sertifikasyon sisteminin dereceleri.

LEED Dereceleri	Puanı
Sertifikalı	40-49
Gümüş Sertifikalı	50-59
Altın Sertifikalı	60-79
Platin Sertifikalı	80 ve üzeri

1996 yılında kurulan diğer bir sertifikalandırma sistemi Fransa’ da kurulmuş olan HQE (Haute Qualite Enviromentale)’ dir. Standart kriterleri ikiye ayrılmaktadır. İlk kriter, dış çevre ve etkilerini yönetmektir. Bu kriter binalar ve yakın çevreleri arasındaki uyumlu ilişki, inşaatlarda materyal ve metotların entegre biçimde seçimi, şantiye şartlarının iyileştirilmesi, kullanılan enerjinin azaltılması, operasyon atıklarının en aza indirilmesi, bina bakım ve onarımının en aza indirilmesi konularını içermektedir. Diğer standart kriteri ise, iç çevre üzerindeki etkileri yönetmektir. Bu kriter hidrotermal koşulların iyileştirilmesi, akustik kontrol önlemleri, görsel çekicilik, kötü kokuların giderilmesi, iç mekanlardaki hijyen ve temizlik, hava kalitesi kontrolleri, su kalitesi kontrolleri konularını içermektedir [95].

1998 yılında Kanada’ da uluslararası bir değerlendirme sistemi olan SBTOOL (Sustainable Building Tool) kurulmuştur. Bu sistem genel bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır. Bu bakımdan yapısı, ülkesel ve bölgesel olarak şekillendirilebilir nitelik taşımaktadır. Sistemin hedefi; bölgesel koşullara uygunluk açısından uyarlama yapan

ekibe ve kullanıcılara gerçekçi, objektif bir değerlendirme yapmasını sağlamaktır. Değerlendirme kriterleri 8 kategoriden oluşmaktadır. Bu kategoriler; çevresel yükler, enerji ve kaynak tüketimi, arsa seçimi, servis kalitesi, kültürel ve algısal esaslar, proje planlama ve geliştirme, iç mekan ve çevre kalitesi, sosyal ve ekonomik esaslar şeklindedir [89].

2001 yılında Japonya’ da, binaların çevresel etkinliği için detaylı bir değerlendirme sistemi olan CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) kurulmuştur. Bu sistem sadece Japonya’ nın değil, diğer Asya ülkelerinin sürdürülebilirlik esaslarını da dikkate alınarak hazırlanılmıştır. CASBEE değerlendirme sistemi diğerlerinden oldukça farklıdır. Çizelge 3.9’ da görülen Q ve L değerleri iki kriterin toplam puanıdır. Q/L yapının çevresel etkinlik değerini (BEE) vermektedir. Bu değere göre binalara çeşitli seviyelerde sertifika verilmektedir. CASBEE sisteminin puanlama sistemi Çizelge 3.9’ da gösterilmiştir:

Çizelge 3.9: CASBEE sertifikasyon sisteminin puanlama yöntemi [92].

Yapının Çevresel Kalitesi ve Performansı (Q)	Yapının Çevresel Yükleri (L)	Q/L yapının çevresel etkinliğini (BEE)
-İç mekan çevresi -Servis kalitesi -Arsada dış mekan çevresi	-Enerji -Kaynaklar ve malzemeler -Arsa dışındaki çevre	

2003 yılında gelindiğinde, Avustralya’ da binaların çevresel tasarımı ve yapımı için geliştirmiş bir sistem olan GREEN STAR oluşturulmuştur. Bu sistemle bir binanın ideal koşullarda tasarım, yapım ve yönetim süreçlerinin çevresel potansiyeli ölçülmektedir. Diğer değerlendirme sistemlerinde olan benzer değerlendirme kriterlerine sahiptir. Bunlar; malzeme, enerji, salınım, arazi kullanımı, ulaşım, su, ekoloji ve iç mekan çevre kalitesidir [96]. Çizelge

Çizelge 3.10: GREEN STAR sertifikasyon sisteminin dereceleri.

Yıldızı	Puanı	Durumu
1	10-19	Düşük
2	20-29	Ortalama
3	30-44	İyi
4	45-59	Çok iyi
5	60-74	Avustralya’ nın en iyisi
6	75-100	Dünya’ nın en iyisi

Son olarak Almanya’ da 2009 yılının sonlarına doğru DGNB (Deutsche Gesellschaft für Neuromodulation) sertifika sistemi oluşturulmuştur. Bu sistemin çevre standartları ABD ve diğer ülkelerle karşılaştırıldığında daha yüksek ve daha kapsamlı olduğu görülmektedir. DGNB sisteminde amaç, yalnızca bir binanın çevresel performansını değerlendirmek değil, aynı zamanda Almanya’ da sürdürülebilir binalar için mevcut olan teknoloji ve ürünlere dikkat çekmek ve onlara daha fazla pazar payı oluşturmaktır. Sistemin kapsam kriterleri arasında ekonomik kalite, teknik kalite, süreç kalitesi, sosyo kültürel kalite, arazi kalitesi bulunmaktadır [92, 97].

Çizelge 3.11: DGNB sertifikasyon sisteminin dereceleri.

DGNB Dereceleri	Puanı
Gümüş Sertifikalı	50-64
Altın Sertifikalı	65-79
Platin Sertifikalı	80 ve üzeri

Bu sistemler arasında Dünya çapında en çok kabul gören değerlendirme sistemleri başta LEED olmak üzere, BREEAM ve DGNB değerlendirme sistemleridir [93].

Ülkemizdeki duruma bakıldığında ise, sertifikalandırma alanında çalışmalar yapılmaktadır. Gün geçtikçe daha da gelişmeler yaşanmaktadır. Ülkemizde 2007 yılında çalışmalarına başlayan Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK) önemli katkılar sunmuştur. Türkiye’ ye özel bir değerlendirme sistemi “ÇEDBİK- Konut Sertifikası” nı oluşturmuş ve uygulamaya başlamışlardır. ÇEDBİK- Konut Sertifikası LEED, BREEAM ve DGNB vb. uluslararası sertifika sistemleri örnek alınarak Türkiye’ ye özel Ulusal Yeşil Bina Sertifikası oluşturulmasına yönelik hazırlanmıştır. Bu sertifika sistemi kapsamında değerlendirilen başlıklar şunlardır: i) *Bütünleşik Yeşil Proje Yönetimi*, ii) *Arazi Kullanımı*, iii) *Su Kullanımı*, iv) *Enerji Kullanımı*, v) *Sağlık Ve Konfor*, vi) *Malzeme ve Kaynak Kullanımı*, vii) *Konutta Yaşam*, viii) *İşletme ve Bakım*, ix) *Yenilikçilik*.

Ülkemizde hazırlanan bir diğer sertifika sistemi ise, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından yapılmaktadır. 2015 yılında TSE sertifika hazırlama sürecine girmiş ve Güvenli Yeşil Bina Sertifikası (GYBS)’ nı ortaya koymuştur. GYBS oluşturulmasında LEED ve BREEAM sertifikaları üzerinde yoğunlaşmış ve buradaki başlıkların belgelendirme kapsamında değerlendirilmesi için Türk Standartları referans alınmıştır. Bununla birlikte; yeşil bina belgelendirme sistemleri arasında Dünya’ da sadece

CASBEE sisteminde depreme ilişkin bir kısım kıstasların olduğu belirlenmiştir. Deprem güvenliği ülkemiz için de önem teşkil ettiğinden depreme dair kriterler Güvenli Yeşil Bina Sertifikası'nda yer almıştır.

GYBS' nin ele aldığı konular ise, şu şekildedir: i) *Güvenli – Yeşil Bina Başlangıç Tasarımı*, ii) *Alan Seçimi*, iii) *Yaşamsal Alan Tasarımı*, iv) *Malzeme ve Kaynak Kullanımı*, v) *Sağlık, Güvenlik ve Konfor (Deprem Güvenliği, Yangın Güvenliği, Elektromanyetik Kirlilik, Radyasyon Ölçümü)*, vi) *Suyun Etkin Kullanımı*, vii) *Enerji Verimliliği*, viii) *Karbon Ayak İzi*, viii) *İşletme Yönetimi*, xx) *Ödül Puanı (Ağaçlandırma, Tse Belgeli Ürünlerin Kullanılma*.

Ülkemizde yeşil binalar konusunda atılan önemli adımlardan biri ise, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 23.12.2017 tarihinde yayınlanan “Binalar İle Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği” dir. Bu yönetmelik ile değerlendirme ve belgelendirme sistemlerinin oluşturulmasına, değerlendirme ve belgelendirme sürecinde rol alacakların görev, nitelik ve sorumluluklarının belirlenmesine ilişkin usul ve esaslar ortaya konulmuştur. Böylece yeşil bina kavramının ülkemizde daha da yaygınlaşmasına ve daha kolay uygulama imkanı bulmasına ilişkin katkı sağlanmış olmaktadır.

Ülkelerin kendilerine özgü iklimsel, sosyoekonomik, coğrafik ve beşeri farklılıkları sertifika sistemlerinin birbirinden farklı özelliklere sahip olmasına yol açmıştır. Dolayısıyla her sertifika sisteminin ele aldığı kategoriler farklılık göstermektedir. Çizelge 3.12' de bu farklılıklar gösterilmiştir. Sertifika sistemlerinin, farklı yönleri olduğu kadar ortak yönleri de vardır. Örneğin, enerji kategorisi bütün sertifika sistemlerinde ortak olarak incelenen bir faktördür. Üstelik yapılan çalışmalarda elde edilen sayısal veriler “enerji” konusu üzerinde hassaslıkla durulması gerektiğini göstermektedir. Örneğin, Avrupa Birliği ülkelerinde yapılan çalışmalarda binaların nihai enerji tüketiminde payı yaklaşık %40 olarak bulunmuştur [97]. Aynı zamanda çalışmalar, binalarda enerji tüketimine paralel olarak CO₂ emisyonlarının arttığına vurgu yapmaktadır.

Çizelge 3.12: Başlıca sertifika sisteminin farklı kriterler için birbirleriyle olan kıyaslamaları [97].

SERTİFİKA SİSTEMLERİ	Ülke	LEED	BREEAM	DGNB	HQE	SBTool	CASBEE	GREEN STAR
	USA	UK	Germany	France	Canada	Japonya	Avustralya	
	İsim	Leadership in Energy and Environmental Design	Building Research Establishment Environmental Assessment	German Sustainable Building Certificate	Haute Qualité Environnementale	Sustainable Building Tool	Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency	
	Kuruluş yılı	1996	1990	2009	1996	2002	2001	2003
	Sorumlu Kuruluş	U.S. Green Building Council	BRE	Ministry of Housing	Association pour la HQE	üSBE		
ENERJİ	Düşük emisyon		+	+		+	+	+
	Yenilenebilir	+		+	+	+	+	+
	Verimlilik	+	+	+	+		+	+
	Elektrik talebi	+	+	+	+			
	Düşük karbon					+	+	+
	Soğutucu	+	+		+			
SU	Geri dönüşüm		+	+	+	+	+	+
	Su tüketimi	+	+	+	+		+	+
DİŞ ORTAM KOŞULLARI	Toplu taşıma	+	+	+	+	+	+	
	Yerleşim yeri	+	+	+	+	+	+	+
	Fiziksel görünüm				+		+	+
	Bisiklet tesisleri	+	+	+			+	
KAPALI ORTAM KOŞULLARI	Hava kalitesi	+	+		+	+	+	+
	Aydınlatma	+	+		+	+	+	+
	Akustik		+		+	+	+	+
	Termal konfor			+	+		+	+
	Koku	+	+	+	+	+		+
	Hijyen			+	+			+
MALZEME	Malzemelerin yeniden kullanımı	+	+		+	+	+	+
	Atık yönetimi	+	+	+	+		+	+
	Sağlamlık		+	+			+	+
SÜREC VE YÖNEM	Planlama			+		+	+	
	İnşaat aşaması		+	+			+	+
	Görevlendirme		+	+	+	+		+
EKONOMİK DURUNLAR	Maliyetler			+		+	+	+
	Yaşam döngüsü değerlendirmesi			+			+	+
	Değer istikrarı			+			+	
FONKSİYONELLİK RAHATLIK	Esneklik /Uygulanabilirlik				+	+	+	+
	Engellilere erişim			+			+	
	Emniyet ve güvenlik		+	+		+	+	
YENİLİK	İnovasyon sorunları	+	+				+	+
MİNİMUM GEREKSİNİMLER	Sertifika seviyeleri	LEED Certified LEED Silver LEED Gold LEED Platinum	Pass Good Very Good Excellent Outstanding	Gold Silver Bronze	Basic Level High Level Very High level	Minimum Good Practice Best Practice	C (en düşük) B- B+ A S(en yüksek)	Düşük Ortalama İyi Çok iyi Avustralya'nın en iyisi Dünyanın en iyisi



4. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde Yalova Üniversitesi bünyesinde yapılması planlanan Enerji Sistemleri Mühendisliği (ESM) bölümü binasının su ve enerji performanslarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, yeşil bina anlayışı doğrultusunda ele alınan bina için önerilen mühendislik yaklaşımları şu şekildedir:

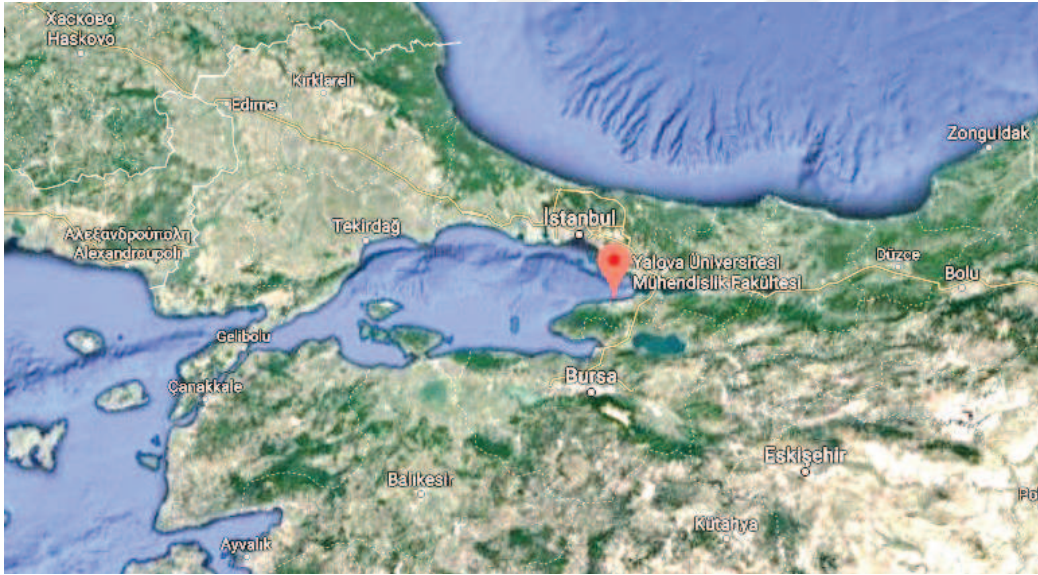
1. Binanın su ihtiyacının bir kısmını karşılamak amacıyla pasif yağmur suyu hasadı sistemi tasarımı yapılmıştır.
2. Binanın ısıtım ihtiyacının bir kısmını karşılamak amacıyla toprak kaynaklı ısı pompası sistemi tasarımı yapılmıştır.
3. Binanın enerji ihtiyacının yerel yenilenebilir kaynaklardan karşılamak amacıyla güneş enerjisi potansiyeli analizi yapılarak örnek bir proje ortaya koyulmuştur.
4. Binanın enerji ihtiyacının yerel yenilenebilir kaynaklardan karşılamak amacıyla rüzgar enerjisi potansiyeli analizi yapılmıştır.
5. Binanın enerji tüketimini azaltabilmek amacıyla verimli aydınlatma sistemi önerisi yapılmıştır.
6. Son olarak ise, yapılması planlanan ESM bölümü binasının enerji tüketimini ve CO₂ salınımını azaltabilmek amacıyla DesignBuilder yazılımında Toprak Kaynaklı Isı pompası ile Klasik Radyatörlü Isıtma iklimlendirme sistemleri analiz edilmiştir.

Tasarımlar için uygulama yapılacak konuma dair gerekli olan coğrafik bilgiler şu şekildedir [98]:

Yalova, 39–40° kuzey enlemi, 29–61° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. İlin denizden yüksekliği 2 metre, en yüksek noktası ise 926 m yüksekliğindeki Beşpınar Tepesi' dir. 847 km²' lik alanı ile Türkiye yüzölçümünün %0,11' lik bölümünü

kaplamaktadır. Yalova doğu kıyılarındaki düzlükler dışında, dağlık bir araziye sahiptir. Bölgenin güneyinde, batıdan doğuya doğru İzmit-Sapanca arasında Kocaeli Sıradağları ile birleşen Samanlı Dağları yer almaktadır.

İlin bitki örtüsünü makiler ve ormanlar oluşturmaktadır. Samanlı dağlarının kuzey ve güneyinde vadi içlerinde bulunan makiler, vadi etekleri boyunca kesintili şeritler ve parçalar halinde bulunurlar. Marmara bölgesinin doğusunda yer alan Yalova ilinin iklimi, makro-klima tipi olarak; Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçiş niteliği taşımaktadır. Yalova ilinin iklimi, kimi dönemlerde karasal iklim özelliklerini yansıtmaktadır. Yalova ili bölgesinde kuzeyden ve güneyden gelenlerle, sakin nitelikli olmak üzere başlıca üç tür hava akımı egemendir. İlde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve bol yağışlıdır. Üniversitenin tam konumu ise Şekil 4.1' de gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Yalova Üniversitesi' nin konumu [99].

4.1 Yeşil Binalar İçin Su Verimliliğine Yönelik Pasif Yağmur Suyu Hasat Sistemi Tasarımı

Yeşil bina felsefesinde suyun önemine özellikle vurgu yapılmaktadır. Sertifikasyonlarının tümünde suya dair kriterler yer almakta ve bu kriterler puanlamada önemli bir payı oluşturmaktadır. Bu sebeple, çalışmamızda Yalova Üniversitesi kampüsünde yapılması planlanan ESM bölümü binası lavabolarındaki su ihtiyacını karşılamak için bir pasif yağmur suyu hasadı sistemi tasarlanılmıştır. Öncelikli olarak, bina çatısından toplanabilecek yağmur suyu potansiyeli araştırılmıştır. Daha sonra,

bulunan potansiyele uygun olarak bir depo seçimi ve tasarımı yapılarak tahmini tasarım maliyeti hesaplanmıştır.

Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de Yalova ilinin deprem bölgesinde olmasıdır. Ortaya koyulan modelde bu durum göz önünde bulundurulmuş ve hasat sistemi binanın mevcut statik özelliklerini bozmayacak şekilde, kendi kaidesinin üzerinde ve bina yan yüzeyine monte edilecek şekilde dizayn edilmiştir. Yağmur suyu geri dönüşüm sistemi (Passive Rain Water Harvest and Recovery System, PRRS) aynı zamanda yağmur suyu toplanacak çatıdan itibaren aşağıda ve en üstteki silonun tabanı en üst katın zemininden 40 cm yukarıda olacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu şekilde, hasat edilen yağmur suyu binaya ekstra yük getirmeyecek, yağmur sularının belirlenen yere kendi cazibesıyla ulaşması sağlanacaktır. Böylelikle sistemin pompa ihtiyacı olmayacağından elektrik sarfıyatı da olmayacaktır. Bu uygulama ile yeşil bina kriterlerine bir adım daha ulaşılması amaçlanılmıştır.

Yağış potansiyeli, toplanılabilecek yağış miktarı, maliyet ve geri ödeme sürelerinin hesaplanabilmesi için gerekli olan yerel yağış verileri Yalova Meteoroloji İl Müdürlüğü' den temin edilmiştir. Yağış potansiyeli Eren ve diğ. [100]' nin yapmış oldukları çalışmada kullanılan metoda benzer şekilde hesaplanmıştır. İstatistiksel analiz ile aylık ortalama, mod, medyan, frekans değerleri (yağışın görülme sıklığı) elde edilmiş ve son 11 yıllık yağış verileri yağmur hasadı bakımından değerlendirilmiştir. Belirlenen bölgede yağış miktarları tespit edildikten sonra bina çatı yüzeyinden ne kadar yağmur suyu toplanabileceğini belirlemek için (D) günlük ortalama yağış miktarı kullanılarak (Y) yıllık ortalama yağış miktarı ($\text{kg/m}^2\text{-yıl}$):

$$Y = D \times 365 \quad (4.1)$$

4.1 eşitliği ile hesaplanılmıştır. Ancak burada hesaplanan yağmur suyunun tamamı kullanılabilir değildir. Kullanılabilir miktarın hesaplanabilmesi için çatı durumu ve filtrasyon değerlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu durumda (B) bir bina için günlük yağmur hasadı (kg/gün):

$$B = R * x F x A x D \quad (4.2)$$

4.2 veya ($\text{m}^3/\text{gün}$) cinsinden:

$$B = \frac{R * x F x A x D}{\rho} \quad (4.3)$$

4.3 denklemi ile hesaplanmıştır. Formülde yer alan (R^*) çatı katsayısı, DIN 1989’ da 0,8 olarak kabul edilmiştir. Bu katsayı, çatı yapısı gibi fiziksel özelliklerden ötürü çatıya düşen tüm yağmurun kullanılmayacağını ifade etmektedir. Filtre etkinlik katsayısı (F) ise, DIN 1989 standartlarınca 0,9 olarak kabul edilmiştir. Toplanan yağmur suyunun görünen katı maddelerden ayrıştırılması için kullanılan ilk filtrenin etkinlik katsayısını ifade etmektedir. Böylece bir binadan toplanabilecek yıllık yağış hasadı (ΣY):

$$\Sigma Y = B \times 365 \text{ (m}^3\text{/yıl)} \quad (4.4)$$

4.4 denklemi ile hesaplanmıştır. “*Bir binadan yapılabilecek yağmur hasadının tamamı lavabo vs. de kullanılabilir ve lavabo rezervuarlarında ne kadar çok yağmur suyu kullanılırsa o kadar şebeke suyundan tasarruf edilir.*” kabulüyle bir binadan elde edilebilecek yıllık maksimum tasarruf potansiyeli (S):

$$S = \Sigma Y \times C_W \quad (4.5)$$

4.5 denklemi ile hesaplanmıştır. Burada C_W suyun m^3 fiyatıdır. Burada dikkat edilmelidir ki, bu çalışmanın ilk kısmındaki yağmur hasadı miktarı istatistiksel yöntemlerle gelecek için tahminde bulunma şeklindedir. Diğer yandan, ikinci kısımdaki hasadın değerlendirmesiyle ilgili bölümde kampüs binasında kullanılan lavabolarda harcanan su göz önüne alındığından ve buralarda kullanılan suların rezervuar hacmi litre cinsinden net ölçüsü hesaplanabildiğinden ekonomik analizdeki hesaplar da net sonuçlar vermektedir. Tasarlanan sisteminin geri ödeme güresi (PP):

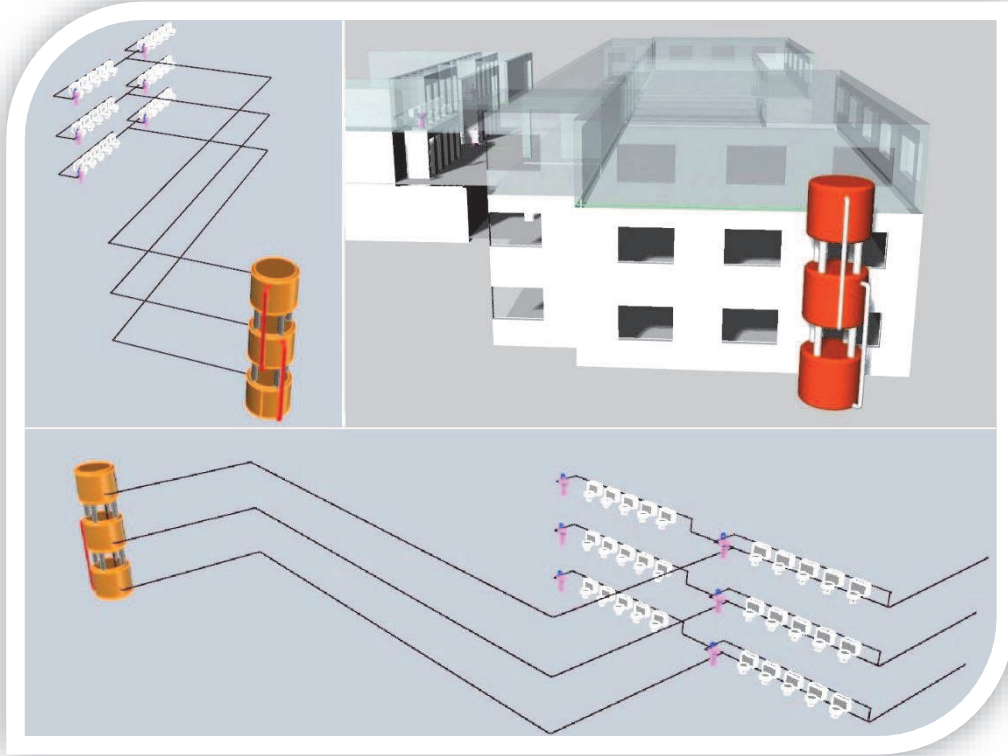
$$PP = \frac{C_S}{S} \quad (4.6)$$

4.6 bağıntısı ile hesaplanılmıştır. Burada C_S depo maliyetidir. Ek bilgi olarak suyun rezervuarlarda kullanım sayısı (U_C):

$$U_C = \frac{B}{RC \times NoR} \text{ (kez)} \quad (4.7)$$

4.7 eşitliğiyle elde edilmiştir. Eşitlikteki RC rezervuar Kapasitesi ve NoR kullanım sayısıdır. Analiz sonucu elde edilen depo ölçülerine göre binanın mimari yapısı göz önüne alınarak yağmur suyu geri dönüşüm sistemi (PRRS) dizayn edilmiştir. Sistem, her bir katın yanına silo şeklinde binanın dışında kendi kaidesi üzerinde duracak şekilde tasarlanmıştır. Böylece deprem bölgesinde olan Yalova’ da inşa edilecek binaya ekstra yağmur suyu yükü taşıtılmaması öngörülmüştür. Deprem esnasında yağmur suyunun

siloların içinde hareket ederek dinamik yük oluşturulacağı göz önüne alındığında, sistemin binaya baskı yapmak yerine kendi kaidesi üzerinde durması son derece önemlidir. Şekil 4.2’ deki tasarlanan sisteme dair detaylar gösterilmiştir.



Şekil 4.2: PRRS sistemine dair tesisat yerleşim detayları.

Yağmur suyu hasat sisteminin pasif olarak nitelendirilmesinin sebebi yağmur suyunun silolarda toplanması için ekstra bir enerji veya ekipman gerektirmemesidir. Silolardan rezervuarlara kadar olan akış için gerekli basınç, siloların rezervuardan basınç kayıplarını karşılayacak kadar yüksek yapılması ile karşılanmıştır. Bina içerisinde silolardan rezervuarlara planlanan tesisat için basınç kayıpları;

$$h_k = h_{k,toplam} = h_{k,sürekli} + h_{k,yerel} = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_K \right) \frac{V^2}{2g} \quad (4.8)$$

4.8 denkleminle hesaplanmıştır. Kritik hat boyunca kabul edilen değerler ve kayıp katsayıları Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Kritik hat basınç kayıpları hesabı için suyun kabul edilen özellikleri ve yerel kayıp katsayıları.

Element	Birimi	Değeri
Yoğunluk (ρ)	kg/m ³	999,7
Dinamik viskozite (μ)	kg/ms	1,307.10 ⁻³
Ticari çelik boru için pürüzlülük (ϵ)	μm	0,045
Kayıp Katsayıları		
Dirsek		0,3
Keskin giriş		0,5
Dallanan akış		1
Düz akış		0,2
Tam akışlı küresel vana		10
Keskin çıkış		1,06

4.2 Yeşil Binalar İçin Isı Pompası Sistemi Tasarımı

Yeşil bina felsefesinde önemle irdelenen konulardan biri de enerjidir. Sertifikasyonlarının tümünde enerjiye dair kriterler yer almaktadır. Sertifikasyon puanlamalarında yenilenebilir enerji kullanımını teşvik edici şekilde bir değerlendirme yapılmaktadır. Bu doğrultuda, çalışmada binalarda en çok enerji tüketen noktalardan biri olan ısıtma ve soğutma sistemleri ele alınmıştır. Isıtma ve soğutma ihtiyaçlarının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması düşünülmüştür. Bu amaçla, ısı pompası sistemlerinin hem ısıtmaya hem de soğutmaya yardımcı sistemler olmasından dolayı ısı pompası sistemlerine odaklanılmış ve ESM bölümü binası için mevcut ısıtma sistemine yardımcı olacak bir toprak kaynaklı ısı pompası sistemi tasarlanmıştır.

Isı pompası ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında; Özgener ve ark. Türkiye'nin İzmir şehrinde güneş enerjisi sistemi ile birleştirdikleri TKIP sisteminin ısıtma performansını test etmişlerdir [101]. Bir başka bütünlük çalışmada Ma ve ark. [83] binalarda sıfır enerji tüketimi amacıyla kullanılan güneş enerjili termoelektrik soğutma teknolojisinin ısı pompasıyla olan kombinasyonunu incelemişlerdir. Benli [102], Elazığ ilindeki Fırat Üniversitesi'nde TKIP sisteminin performans analizini yapmıştır.

Çalışmada termal enerji depolama performansı göz önüne alınarak bir tasarım yapılmıştır.

Kara [74], Türkiye' nin Erzurum şehrinde 15 mm iç çapa sahip, polietilenden yapılmış U kıvrımlı ısı değiştiricilerde R-134a soğutucu akışkanını kullanarak TKIP sisteminin performansını test etmiştir. Yüzey kum ve kil ile 2 m kalınlığında kapatılmıştır. Bunun sonucunda, farklı toprak ve boru kullanımının TKIP sistemi COP değeri üzerinde etki ettiği sonucuna varmıştır.

Bu çalışmada ise, doğalgaz yakıtlı radyatörlü sistemin TKIP sistemi ile birlikte çalışması düşünölmüştür. Bu kapsamda, öncelikli olarak Yalova ilinin meteorolojik verileri analiz edilmiştir. Hava ve toprak sıcaklıklarının toprak kaynaklı ısı pompası sistemine elverişli olduğu görölmüştür. Yapılan inceleme ve hesaplar ışığında binanın toplam ısıtma ihtiyacının 90 kW' ını toprak kaynaklı ısı pompasıyla karşılanabileceği tespit edilmiştir.

Daha sonra, ısı pompası ekipmanlarına dair boyutlandırma hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamaların validasyonu piyasada bulunan mevcut ekipmanlar ile kıyaslanarak yapılmıştır. Validasyonu sağlanan hesaplamalar doğrultusunda ekipman seçimi yapılarak ısı pompası sistemi tasarlanmıştır. Bu hesaplama ve tasarımlar tamamlandıktan sonra ısı pompasız sistemle ısı pompalı sistem maliyetleri ve gaz emisyonları açasından karşılaştırılmıştır. Bahsedilen bu adımlar aşağdaki şekilde gerçekteşirilmıştir:

İklim verilerinin toplanması: Marmara Bölgesi' nin doğusunda yer alan Yalova, iklimi makro- klima olarak Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçiş niteliği taşımaktadır. Bağımsız bir iklim tipinin kalıpları içerisinde değerlendirilememektedir. Yalova iklimi, kimi dönemlerde karasal iklim özelliklerini yansıtmaktadır. Yalova ili bölgesinde kuzeyden ve güneyden gelenlerle, sakin nitelikte olmak üzere üç tür hava akımı egemendir. İlde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve bol yağışlıdır [98].

Kullanılacak ısı pompası tipine karar verilmesi: Tasarlanacak sistemdeki en önemli parametreler hava ve toprak sıcaklıdır. Hava sıcaklığı, ısı yükü hesabı yapılırken toprak sıcaklığı ise, ısı değeritirici hesabı ve tasarımı yapılırken kullanılmıştır. Yalova ili değeriken iklim özelliklerine sahip olduğu için, hava ve toprak sıcaklığı da değerikenlik göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada, son 10 yıla ait saatlik ortalama

hava ve toprak sıcaklıkları kullanılmıştır. Hava ve toprak sıcaklıklarının toprak kaynaklı ısı pompası sistemine elverişli olduğu görülmüştür.

Isıtma ihtiyacının belirlenmesi: Çalışmada, son 10 yıla ait saatlik ortalama hava ve toprak sıcaklıkları kullanılmış ve sıcaklık değerleri ısıtılma yapılacak gün ve yapılmayacak gün olarak kategorize edilmiştir. Ele alınan binanın yalnızca hafta içleri ve saat 08:00 ile 18:00 saatleri arasında faal olduğu göz önünde bulundurularak, son 10 yıldaki sadece hafta içi günler ve 08:00 ile 18:00 saatleri arasındaki ortalama sıcaklıklar hesaplanmıştır. Ortalama günlük hava sıcaklığı hesaplanırken 4.9 bağıntısı kullanılmıştır.

$$GÖS = \sum_{i=8:00}^{18:00} \frac{T_i}{11} \quad (4.9)$$

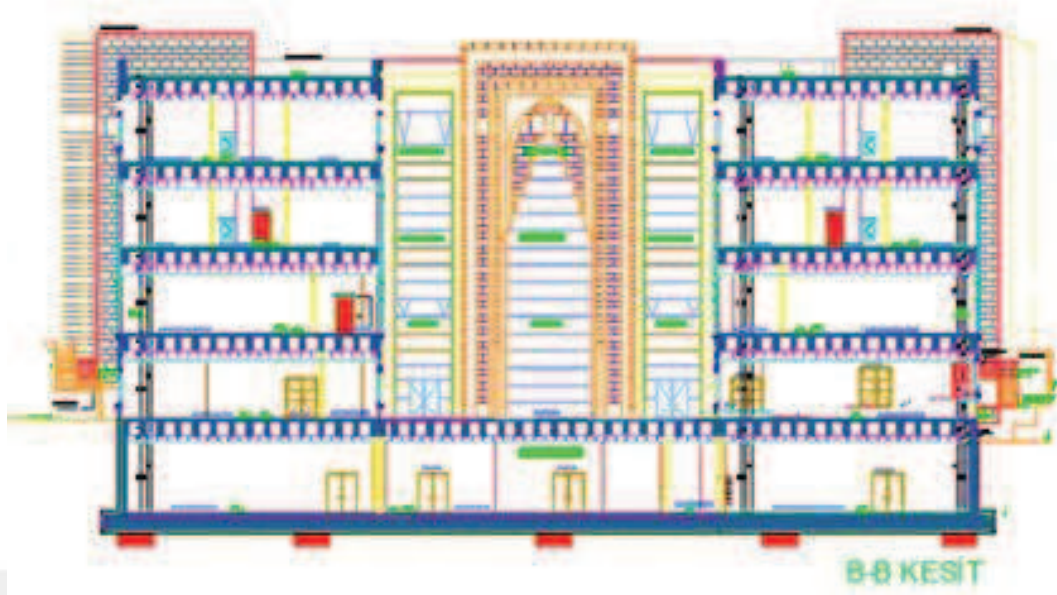
Meteorolojiden elde edilen 10, 20, 50 ve 100 cm derinliklerdeki toprak sıcaklıkları gün içinde fazla değişiklik göstermediği için, toprak sıcaklığı 24 saatlik toprak sıcaklıklarının ortalaması olarak kullanılmıştır:

$$GÖST = \sum_{i=00:00}^{23:00} \frac{T_i}{24} \quad (4.10)$$

4.10 denklemi ile ortalama toprak sıcaklıkları hesaplanmıştır. 2008 yılından 2017 yılı sonuna kadarki tüm verilerin aylık aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Toprak kaynaklı ısı pompasındaki temel amaç, topraktan aldığı ısıyı ısı değiştiriciler ve ısıtma çevrimi sayesinde faydalı enerjiye dönüştürmektir. Bu nedenle toprak sıcaklığı, toprak kaynaklı ısı pompası çalışmaları için kritik noktalardan biridir. Toprak sıcaklığı için 10, 20, 50 ve 100 cm derinliklerden hangisinin daha faydalı olacağı aylık ortalama sıcaklıklar üzerinden mukayese edilmiştir.

Isı pompasının uygulanacağı ESM binası 53 m x 53 m kare bir zemine oturulmuştur. Binada 2 adet bodrum, 1 giriş, 2 adet normal kat olmak üzere toplam 5 kat bulunmaktadır ve bina yüksekliği 25,5 metredir. Binanın B-B Kesit görüntüsü Şekil 4.3' te gösterilmektedir.



Şekil 4.3: ESM binası B-B kesit görüntüsü.

Isı yükü hesabı, ısı pompası uygulanacak binanın duvar, pencere, taban ve çatı detaylarına göre hesaplanılmaktadır. TS 825 Yalıtım Standardı'nda verilen ısı transfer katsayıları kullanılarak, 4.11 bağıntısına [103] göre binanın ısı yükü tespiti yapılmıştır. Isı yükü hesabında duvar ile çevre arasındaki ışıyım ihmal edilmiştir.

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (4.11)$$

Burada A, ısı transferinin gerçekleştiği yüzey alanını (m^2), U toplam ısı transfer katsayısını (W/m^2K) ve ΔT ise iç ortam ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkını belirtmektedir. TS 825 Yalıtım Standardı'nda (Şekil 4.4) ısı iletkenlik katsayısı U tanımlanmıştır. TS 825' Yalıtım Standardı'nda ısı iletkenlik katsayısı (U) duvar için $0,47 W/m^2K$, pencere ve kapılar için $2,8 W/m^2K$ olarak belirtilmiştir. İlgili ısı transferi yüzey alanları (A) ise, bina projelerinden alınan verilere göre hesaplanmıştır. Bina projeleri üzerinden 4 cephe, temel, çatı ve pencere alanları tek tek hesaplanmıştır. Ele alınan binada konfor sıcaklığı $15 \text{ }^\circ\text{C}$, iç mahal sıcaklığı $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ve koridor sıcaklığı $18 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak kabul edilmiştir. Tüm bu veriler göz önünde bulundurularak aylık bazda hesaplanan ortalama sıcaklıklar kullanılarak her ay için ısı yükü hesabı yapılmıştır. Bu ısı yükü, aynı zamanda ısı pompasındaki kondenserin mahale vermesi gereken ısı değerine eşit olmaktadır.

Isı yükü hesabı yapılırken, ısı kayıplarının ölçülmesinin yanı sıra sistemdeki (ele alınan binadaki) ısı kazançlarının da ısı yükü hesabına dahil edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ısı kazançları ihmal edilmiştir.

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Bina'daki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_n (W/mK)	Isıl iletkenlik değeri R_n (m^2K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m^2K)	Isı kaybeden yüzey A (m^2)	Isı kaybı A x U W/K
Duvar Yüzeyleri	R_i			0,130			
	Sıva	0,02	1	0,02			
	DD taşıyıcı tuğla	0,24	0,5	0,48			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,035	1,429			
	R_{e1}	0,006	0,35	0,023			
R_{e1}				0,040			
Toplam				2,122	0,471	179,9	81,62
Duvar Yüzeyleri (betonarme)	R_i			0,130			
	Sıva	0,02	1	0,02			
	Betonarme	0,24	2,5	0,096			
	Isı yalıtım malzemesi	0,05	0,035	1,429			
	R_{e2}	0,006	0,35	0,023			
R_{e2}				0,040			
Toplam				1,798	0,575	13,7	7,98
Tavan	R_i			0,130			
	Sıva	0,02	1	0,02			
	Betonarme	0,12	2,5	0,048			
	Isı yalıtım malzemesi	0,12	0,04	3,000			
	R_{e3}						
Toplam				8,278	0,305 x 0,8	90	21,96
Taban Döşeme	R_i			0,170			
	PVC yer döşemesi	0,005	0,23	0,022			
	Şap	0,030	1,40	0,021			
	Isı yalıtım malzemesi	0,060	0,03	2			
	Tesviye şapı	0,020	1,40	0,014			
	Hafif beton	0,100	1,10	0,091			
	R_{e4}						
Toplam				2,318	0,432 x 0,5	90	19,44
Diş kapı					4	2	8
Pencere					2,4	20	48
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı =							186,9
¹⁾ Çizge 1'den alınmıştır. ²⁾ Ek E Sıra no 4'ten alınmıştır. ³⁾ Ek E Sıra no 7'den alınmıştır. ⁴⁾ Ek E Sıra no 10'dan alınmıştır. ⁵⁾ Ek E Sıra no 5'ten alınmıştır. ⁶⁾ Ek E Sıra no 8'den alınmıştır. ⁷⁾ Ek E Sıra no 4'ten alınmıştır. ⁸⁾ Ek E Sıra no 5'ten alınmıştır.		$\Sigma AU = U_0A_0 + U_1A_1 + 0,8 U_r A_r + 0,5 U_A A_A + U_0A_0 + \dots$ $\Sigma AU = 186,9 \text{ W/K}$ Çözül ısı kaybı ; $H = H_r + H_v$ İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ; $H_i = \Sigma AU + 1 U_0$ Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı $H_v = 0,33 \cdot n_v \cdot V_s = 0,33 \times 0,8 \times 386 = 104,54 \text{ W/K}$ $H = H_r + H_v = 186,9 + 104,54 = 291,44 \text{ W/K}$					

Şekil 4.4: Binalar için ısı yükü hesabı örneği [104].

Enerjinin korunumu prensibi olarak da bilinen termodinamiğin birinci yasası bir işlem süresince enerjinin vardan yok, yoktan var edilemeyeceğini, sadece biçim değiştirebileceğini ifade eder. Bir sistemin toplam enerjisindeki net değişim (artma veya azalma), işlem esnasında sisteme giren ve çıkan toplam enerjiler arasındaki farka eşittir. Bu durumda bir sistem için enerji dengesi;

$$\Delta E = \Delta P_e \times \Delta K_e \times \Delta H \quad (4.12)$$

4.12 denklemi [103] ile ifade edilir. Isı pompası sistemleri, tek giriş ve tek çıkışlı olan sürekli akış sistemi için kontrol hacmi olarak düşünülebilir. Isı pompası sistemlerinde kinetik enerji ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

Isı pompalarındaki enerji değişimi o sisteme ısı ya da iş olarak yansımaktadır. Dolayısıyla ısı pompası sisteminde bulunan kompresör, kondenser ve evaporatörlerin ayrı ayrı kapalı sistem olarak değerlendirilmesi durumunda:

$$\dot{\Delta E} = \dot{Q} = W = \dot{m} x (h_{\text{çıkan}} - h_{\text{giren}}) \quad (4.13)$$

4.13 denklemi [103] ile ifade edilir. Yani, sisteme verilen iş ya da ısı o sistemdeki enerji değişiminin temelini oluşturmaktadır ve o sistemdeki enerji değişimine eşittir. Bu durumda kondenserin mahale atacağı ısı miktarı:

$$\dot{Q}_{\text{kond}} = \dot{m} x (h_3 - h_2) \quad (4.14)$$

4.14 denklemi [103] ile hesaplanılmıştır. Isı yükü hesabı yapılırken mahalın ısı ihtiyacı, kondenserin mahale atacağı ısı miktarı kadar karşılanabilmiş olacaktır. Dolayısıyla;

$$\dot{Q}_{\text{ısıtma}} = \dot{Q}_{\text{kond}} = \dot{m} x (h_3 - h_2) \quad (4.15)$$

4.15 denklemi yazılabilir. Toprak kaynaklı ısı pompalarında temel prensip, topraktan aldığı ısının ısı değiştiriciler yardımıyla ısı pompasındaki soğutucu akışkana aktarılması ve kondenser yardımıyla istenilen mahale ulaştırılması prensibine dayanır.

Evaporatörün kendi işinde kapalı bir sistem olduğu kabulüyle evaporatörün topraktan çekeceği ısı miktarı:

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m} x (h_1 - h_4) \quad (4.16)$$

4.16 denklemi [103] bağıntısıyla hesaplanabilir.

Sistemdeki soğutucu akışkanı istenilen basınçta sıkıştıracak kompresör *Select 7.13* programı yardımıyla seçilmiştir. Kompresöre verilen net iş çevrimdeki 2 ve 1 noktalarındaki entalpi değişimi olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda kompresöre dışarıdan verilmesi gereken teorik net iş 4.17 [103] denklemi ile hesaplanabilir.

$$W_{\text{kompteorik}} = \dot{m} x (h_2 - h_1) \quad (4.17)$$

Teorik gücün yanı sıra kompresörün verimlere bağlı çekeceği güç:

$$W_{\text{komp}} = \frac{W_{\text{kompteorik}}}{\eta_{\text{izantropik}} - \eta_{\text{elektriksel}}} \quad (4.18)$$

4.18 [103] formülünden hesaplanılmıştır. Kompresör gücü hesaplanılmasında **Select 7.13** programı kullanılmıştır. Kompresörün izantropik ve elektriksel verimleri, programın önerdiği değerlerden elde edilmiştir.

Isı pompası sistemlerinin performansı COP (Coefficient of Performance) ile ölçülür. Sistemin COP değeri 4.19 [103] ifadesinden hesaplanılmıştır.

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_{kond}}{W_{komp}} \quad (4.19)$$

Böylelikle sistem ekipmanlarının enerji kapasitesi olarak boyutlandırılmaları yapılmış olmaktadır. Sistemdeki elemanların tasarımı ve hesaplamaları yapıldıktan sonra, toprağın altına gömülecek boruların uzunluğu tespit edilmelidir. Şekil 4.5’ te boru tipi ve çapına göre boru dirençlerinin değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.6’ da boru yerleşimi ve çaplarına göre toprak direnci değişimi gösterilmektedir. Bu veriler yardımıyla boruların yerleşim durumu ve boru çapına göre boru boyu hesaplanılmaktadır.

		$\frac{R_{b,yatay}}{R_{b,dikev}}$			
		PE SCH 40	PE SDR-11	PB SDR-17	PB SDR-13.5
BORU ÇAPI (inch)	¾	$\frac{0.17}{.116}$			
	1	$\frac{.159}{.109}$			
	1-1/4	$\frac{.130}{.089}$	$\frac{.144}{.096}$	$\frac{0.16}{0.11}$	$\frac{0.20}{0.14}$
	1-1/2	$\frac{.117}{.080}$			
	2	$\frac{.098}{.068}$			

Şekil 4.5: Boru tipi ve çapına göre boru dirençlerinin değişimi [105, 106].

R_t ağır nemli toprak

R_t ağır kuru toprak veya hafif (yumuşak) nemli toprak

Borulama Tipi											
3/4	1.02	1.06	1.09	1.11	1.31	1.37	2.05	2.15	2.11	1.88	0.6
	1.38	1.44	1.47	1.49	1.77	1.84	2.75	2.86	2.85	2.53	1.06
1	0.97	1.02	1.04	1.06	1.26	1.32	2	2.1	2.07	1.84	0.57
	1.32	1.37	1.4	1.42	1.7	1.77	2.88	2.79	2.78	2.47	1.01
1 1/2	0.92	0.97	0.99	1.01	1.22	1.27	1.96	2.05	2.02	1.79	0.54
	1.25	1.31	1.34	1.36	1.63	1.7	2.61	2.72	2.71	2.4	0.96
Ç	0.89	0.94	0.97	0.98	1.19	1.25	1.92	2.02	1.99	1.76	0.53
	1.21	1.27	1.3	1.32	1.59	1.66	2.57	2.68	2.67	2.36	0.94
P	0.85	0.89	0.92	0.94	1.14	1.2	1.88	1.98	1.94	1.71	0.5
	1.15	1.2	1.24	1.26	1.53	1.6	2.51	2.62	2.61	2.29	0.89

Şekil 4.6: Boru yerleşimi ve çaplarına göre toprak direnci değişimi [105, 106].

Tasarımda boru tipi olarak Polietilen-SCH40 ve toprak tipi olarak hafif nemli toprak kabul edilerek dikey boru tipi için ve 3/4 , 1 ve 2 inç boru çapı değerleri ile denklem 4.20 [105, 106] ile hesaplanılmıştır:

$$L_{\text{Isıtma}} = \frac{572 \frac{\text{COP}-1}{\text{COP}} [R_b + (R_t \times F_1)]}{T_1 - T_{\text{min}}} \quad (4.20)$$

4.3 Yeşil Binalar İçin Elektrik Üretimi Sistemleri: Çatıüstü Fotovoltaik Sistemleri Uygulaması Analizi

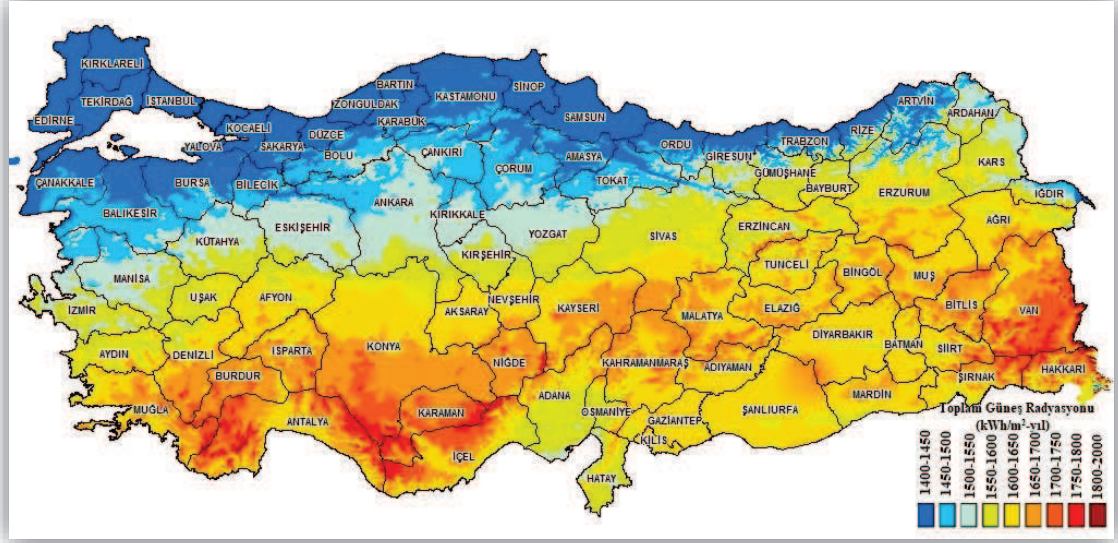
Enerji kriteri de su kriteri gibi tüm sertifikalarda yer almaktadır ve puanlamada önemli bir paya sahiptir. Yeşil binalarda, yenilebilir enerji kullanımının teşvikinin yanısıra enerjinin üretildiği yerde tüketilmesinin yaygınlaştırılması anlayışı hakimdir. Böylece, enerji dağıtımı ve iletilmesi gibi enerjinin taşınması sırasında meydana gelen kayıpların önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Dahası, enerjinin taşınmasından kaynaklı kayıpların önlenmesi çalışmalarının tüm ülke çapında yayılması ile büyük bir enerji kazancı sağlanabileceği öngörülmektedir.

Yeşil bina konseptindeki bu anlayış doğrultusunda, ESM bölümü binası elektrik ihtiyacının karşılanmasında güneş enerjisinden yararlanmak istenmiştir. Öncelikli olarak, kampüs içerisinde güneş enerjisi potansiyeli belirlenerek uygunluk analizi yapılmıştır. Bunun için *PVsyst* programından yararlanılmıştır. Analizlerdeki sonuçlara göre güneş enerjisi yatırımına dair değerlendirmeler yapılmıştır.

Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı Veri Kontrol ve İstatistik Şube Müdürlüğü İstatistik Birimi Türkiye için global güneş radyasyonu haritası hazırlamıştır. Bu haritaya bakıldığında Yalova ili global güneş radyasyonu yaklaşık olarak 4,11- 4,20 (kWh/m²-gün) olmaktadır (Şekil 4.7). YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü)' nin hazırlamış olduğu GEPA (Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası) haritasında ise yıllık toplam güneş radyasyonu değerleri görülmektedir (Şekil 4.8).

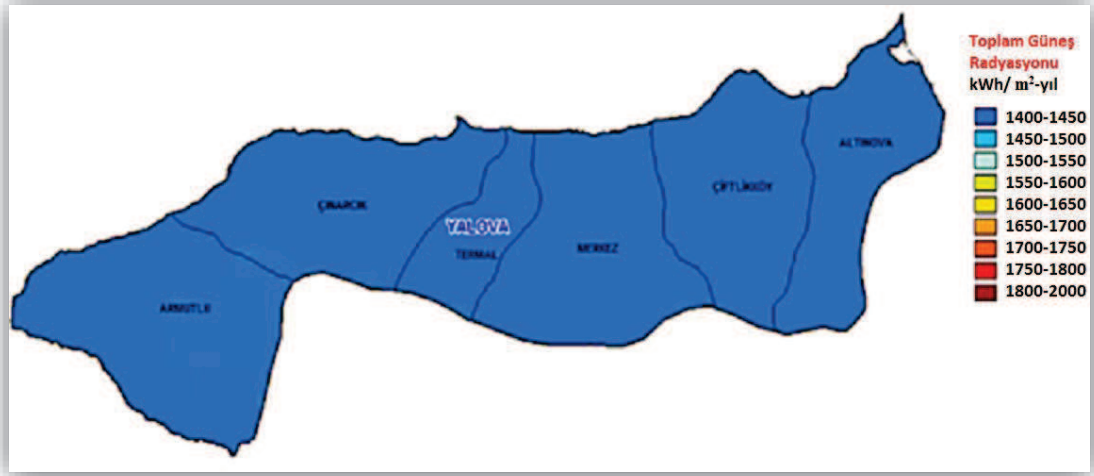


Şekil 4.7: Türkiye yıllık ortalama (2004-2016) global güneş radyasyonu dağılımı (kWh/m²-gün) [107].

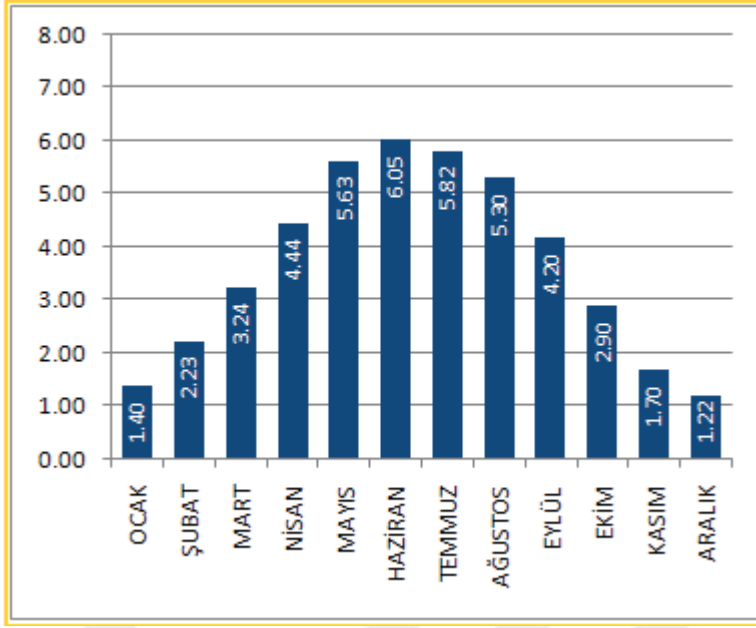


Şekil 4.8: Türkiye yıllık ortalama günlük toplam güneş radyasyonu dağılımı (kWh/m²-yıl) [108].

YEGM' nin hazırlamış olduğu GEPA' ya göre Yalova ili toplam güneş radyasyonu 1400-1450 kWh/m²-yıl olmaktadır (Şekil 4.9).

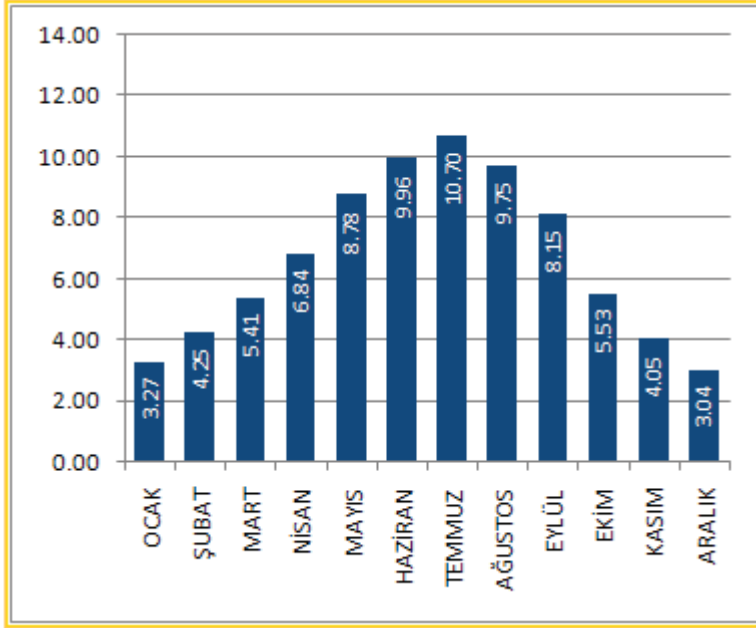


Şekil 4.9: Yalova iline dair Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [108].



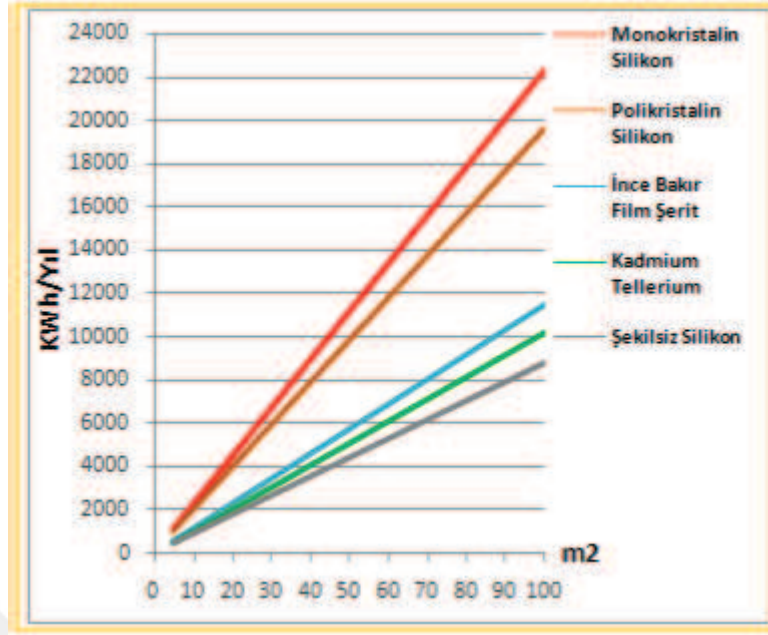
Şekil 4.10: Yalova ili global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [108].

YEGM' nin belirttiğine göre Yalova ili için global radyasyon değerleri maksimum 6,05 kWh/m²-gün ve minimum 1,22 kWh/m²-gün olmaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.11: Yalova ili güneşlenme süreleri (saat) [108].

YEGM' nin belirttiğine göre Yalova ili için güneşlenme süresi Temmuz ayında görülmekte ve maksimum 10,7 saat olmaktadır. Minimum güneşlenme süresi ise Aralık ayında 3,04 saat olarak gerçekleşmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.12: Yalova ilinde PV tipi-alan-üretilebilecek enerji değişimleri (kWh/m²-yıl) [108].

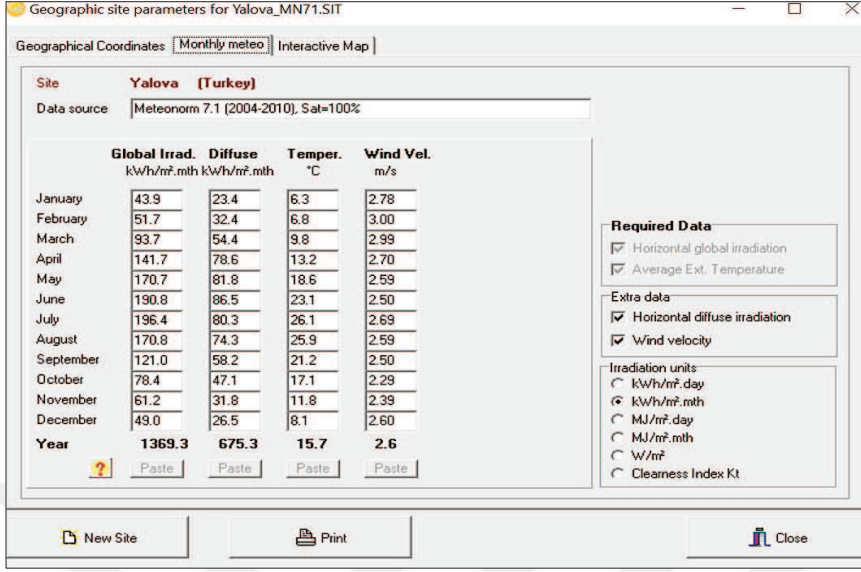
Şekil 4.12’ de güneşten gelen enerji miktarı ile elektrik üretiminin panel tiplerine ve panel alanlarına göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.12’ ye göre en fazla elektrik üretimini sağlayan panel tipleri monokristal, polikristal ve ince film panel tipleri olmaktadır.

Tüm bu değerlere bakıldığında Yalova ili Türkiye içerisinde güneş enerjisi potansiyeli düşük olan illerden bir tanesidir. Buna rağmen Dünya üzerinde yer alan birçok yerden çok daha iyi bir potansiyele sahiptir. Örneğin, Dünya’ da en çok güneş enerjisi kurulu güce sahip olan Almanya’nın güneş enerjisi potansiyeli haritasına bakıldığında maksimum değer 1200 kWh/m²-yıl olduğu görülmektedir. Görüldüğü gibi Yalova ilinin potansiyeli bu değerden yaklaşık 200-250 kWh/m²-yıl daha fazla olmaktadır.

Ele alınan bina için güneş enerjisi tasarımını değerlendirmek için *PVGIS* yazılımından ve *PVsyst* programından yararlanılmıştır. Binanın yükü değişkenlik gösterdiği ve enerji kesintilerinin eğitimi aksatması söz konusu olduğu için sistem tasarımının şebeke bağlantılı olması tercih edilmiştir. *PVsyst* programında şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımının analizi monokristal, polikristal ve ince film panel tipleri için ayrı ayrı incelenmiştir.

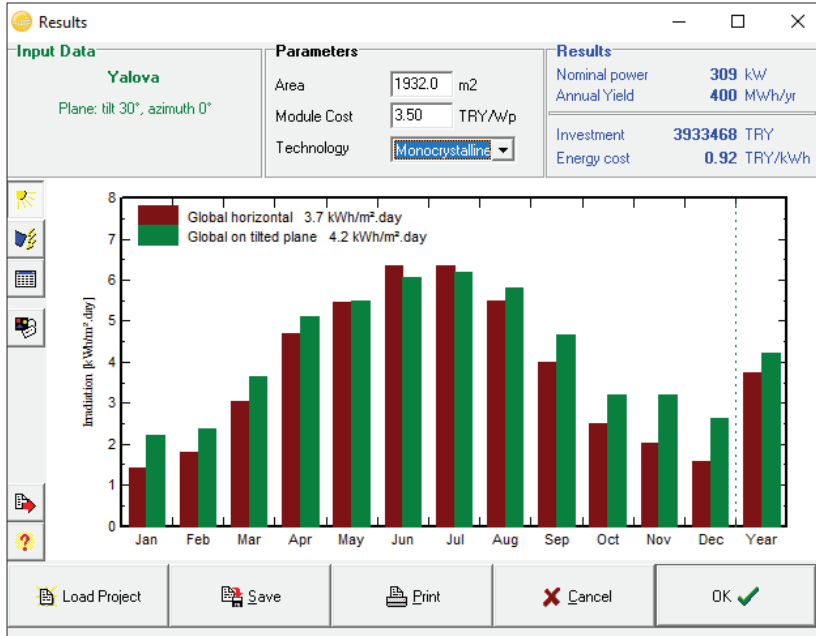
i. Monokristal Tipi Panelin Analizi:

İlk adımda, programın bağlı olduğu meteoroloji istasyonundan Yalova ili için aylık iklim verileri programa girilmiştir.



Şekil 4.13: Pvsyst programında elde edilen Yalova ili aylık ışınım şiddeti, difüz, sıcaklık ve rüzgar değerleri ekran görüntüsü.

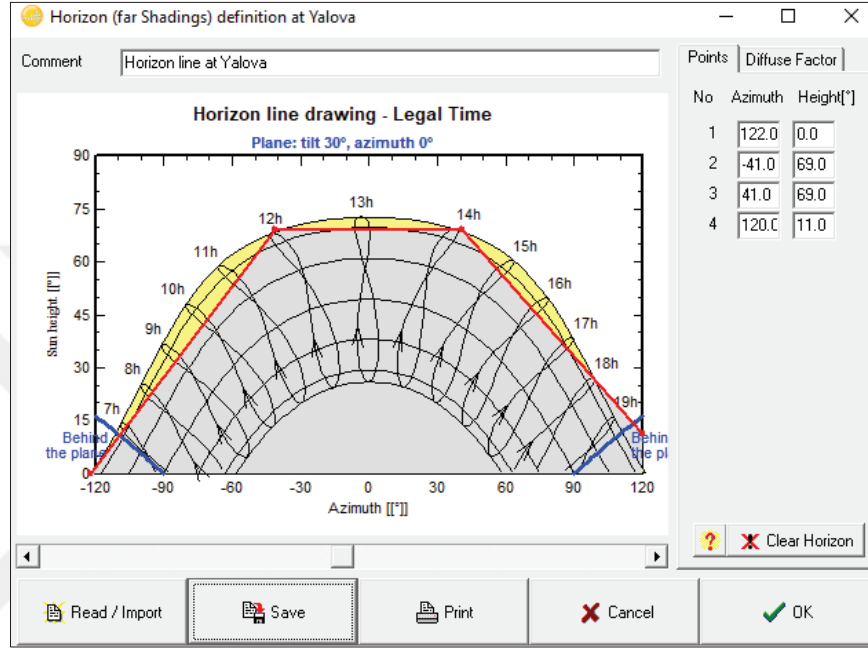
İklim verileri girişi ile yapılan incelemeye göre, Yalova ilinin maksimum küresel radyasyon değeri Temmuz ayında 196,4 kWh/m²-ay, minimum küresel radyasyon değeri Ocak ayında elde edilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.14: Pvsyst programında elde edilen Yalova ili yatay ve eğimli radyasyon değerleri ekran görüntüsü (kWh/m²-gün).

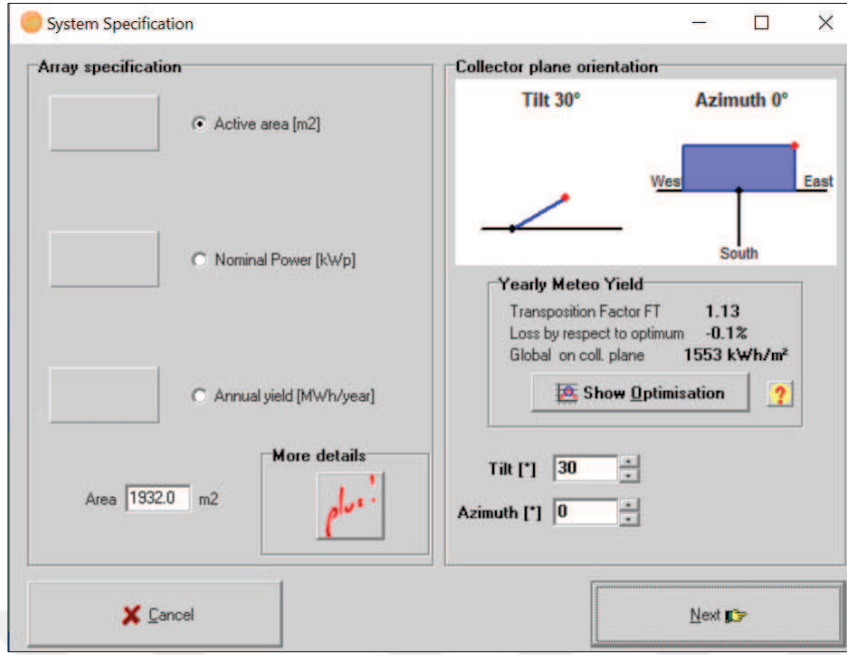
Yalova ilinin yatay (horizontal) ve eğimli (tilted) radyasyon değerleri ise, Haziran ve Temmuz aylarında en yüksek değere ulaşmaktadır. En düşük yatay ve eğimli radyasyon değerleri Ocak ve Aralık aylarında görülmektedir (Şekil 4.14).

İkinci adımda ise, azimut açıları ve difuzite katsayısının durumu belirlenmiştir. Yalova ili için azimut açıları ve difuzite katsayısı Şekil 4.15' te görüldüğü gibi tahmini olarak girilmiştir.



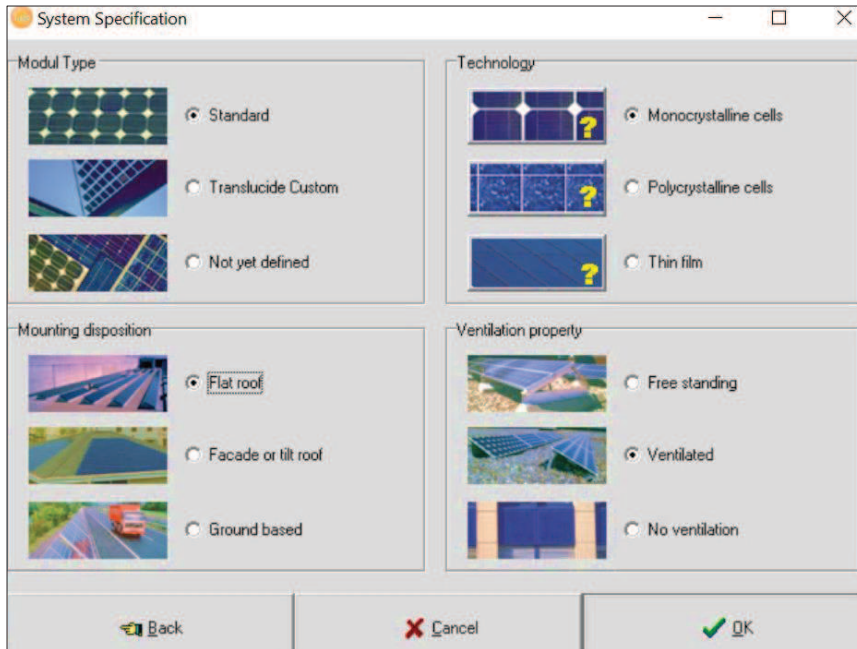
Şekil 4.15: Azimut açıları ve difuzite katsayısı değerleri Pvsyst programı ekran görüntüsü.

Üçüncü adımda ise, bina çatı alanı 2576 m^2 dir. Bu alanın çatı durumu, ekipmanların yerleşimi gibi faktörlerden ötürü %75' inin aktif olarak kullanılacağı varsayılmış ve alan değeri olarak 1932 m^2 programa girilmiştir (Şekil 4.16). Buradaki eğim (tilt) ve azimut açıları, Pvsyst programının vermiş olduğu sistem için optimum radyasyonu sağlayan değerlerdir.



Şekil 4.16: Pvsyst programına bina alanının girilmesine dair ekran görüntüsü.

Dördüncü adımda, Şekil 4.17’ de görüldüğü gibi sistem elemanlarına dair seçimler yapılmıştır. Sistemde kullanılacak modül tipi standart, fotovoltaik panel teknolojisi monokristal, montaj yapılacak alanın durumu düz çatı ve havalandırılmalı olarak giriş yapılmıştır.



Şekil 4.17: Pvsyst programında sistem elemanlarının seçimine dair ekran görüntüsü.

ii. Polikristal Tipi Panelin Analizi:

1.,2., ve 3. adımlar monokristaldeki gibi yapılmıştır. Dördüncü adımda ise; sistemde kullanılacak modül tipi standart, fotovoltaik panel teknolojisi polikristal, montaj yapılacak alanın durumu düz çatı ve havalandırmalı şeklinde sistem elemanları seçilmiştir.

iii. İnce Film Tipi Panelin Analizi:

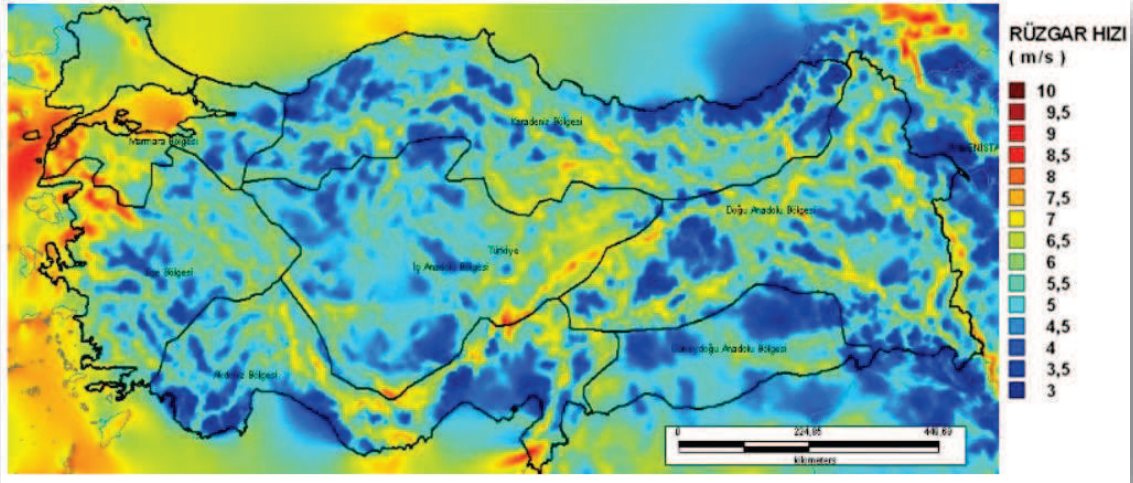
1., 2., ve 3. adımlar monokristaldeki gibi yapılmıştır. Dördüncü adımda ise; sistemde kullanılacak modül tipi standart, fotovoltaik panel teknolojisi ince film, montaj yapılacak alanın durumu düz çatı ve havalandırmalı şeklinde sistem elemanları seçilmiştir.

4.4 Yeşil Binalar İçin Elektrik Üretimi Sistemleri: Mikro RES Uygulaması

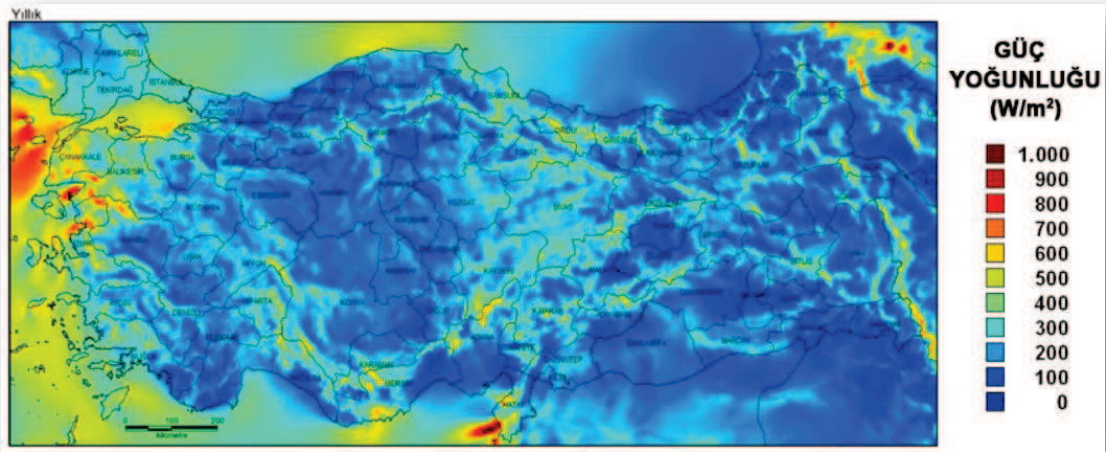
Analizi

Yeşil binalardaki yenilebilir enerji teşviki ve verimsiz tüketimlerin önüne geçilmesi amacı doğrultusunda, ESM bölümü binası için rüzgar enerjisinden yararlanılması düşünülmüştür. Öncelikli olarak, kampüs içerisinde rüzgar potansiyeli belirlenerek uygunluk analizi yapılmıştır. Bunun için Weibull Yöntemi' nden yararlanılmıştır. Analizlerdeki sonuca göre ekonomik rüzgar enerjisi yatırımına dair öngörüler ortaya konulmuştur.

YEGM' nin hazırlamış olduğu REPA (Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası) verilere göre Türkiye geneli 50 metre yükseklikteki ortalama yıllık rüzgar hızları dağılımı Şekil 4.18, güç yoğunluğu ise Şekil 4.19' daki gibidir:



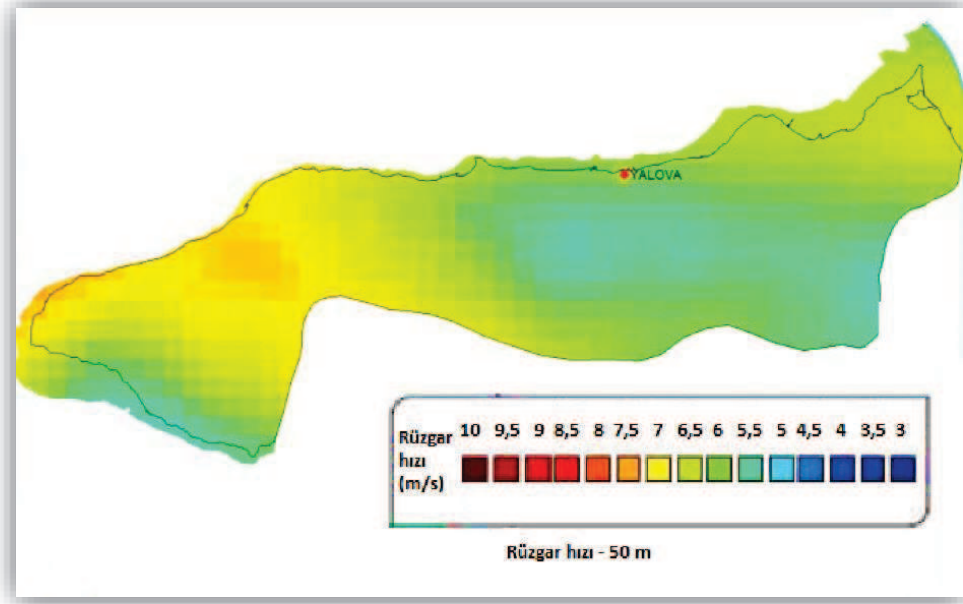
Şekil 4.18: Türkiye geneli 50 metre yükseklikteki ortalama yıllık rüzgar hızları dağılımı (m/s) [109].



Şekil 4.19: Türkiye geneli 50 metre yükseklikteki ortalama yıllık güç yoğunluğu dağılımı (W/m^2 -yıl) [109].

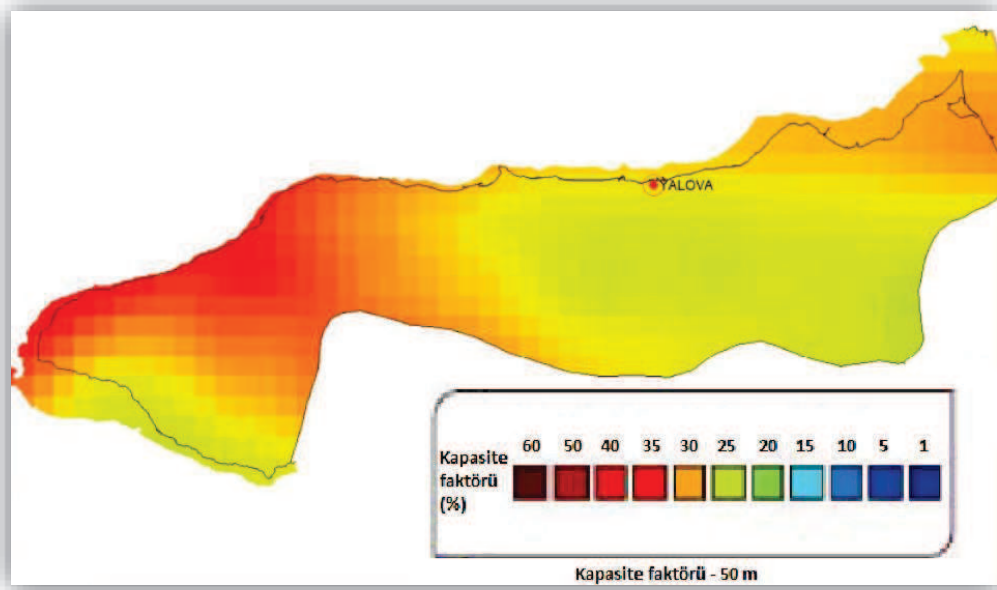
YEGM' nin belirttiğine göre, ekonomik RES (Rüzgar Enerji Santrali) yatırımı için 7 m/s veya üzerinde rüzgar hızı gerekmektedir. Şekil 4.18 ve Şekil 4.19' a bakıldığında Türkiye' nin rüzgar enerjisi potansiyelinin azımsanmayacak büyüklükte olduğu görülmektedir.

YEGM' nin hazırlamış olduğu REPA verilere göre Yalova ilinin rüzgar verileri ise Şekil 4.20- 4.23' teki gibidir:



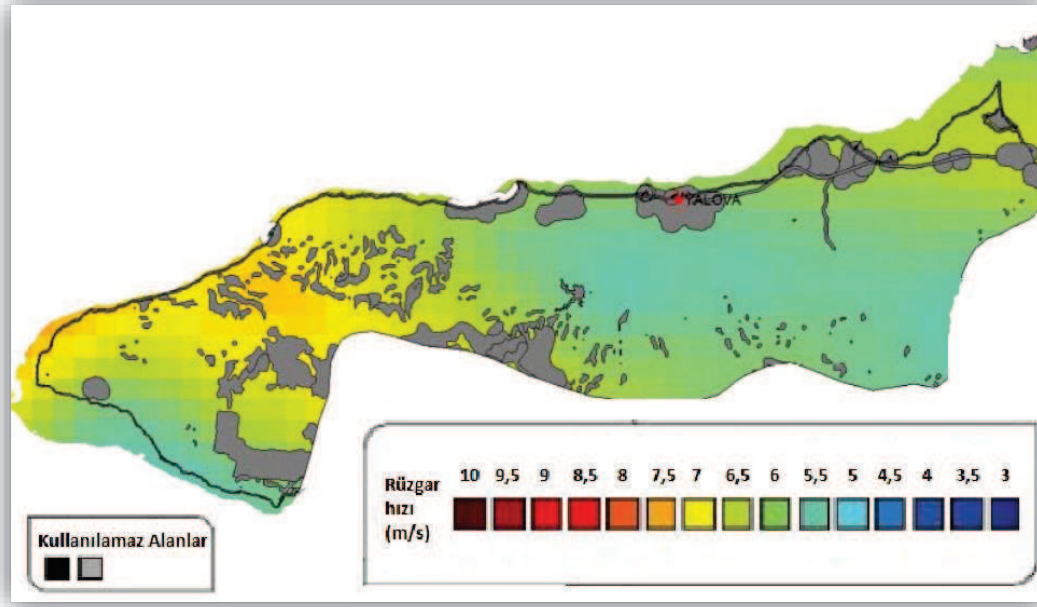
Şekil 4.20: Yalova ilini ait Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası [110].

Şekil 4.20' de Armutlu ve Çınarcık bölgelerinde ekonomik RES yatırımı için uygun olan 7 m/s veya üzerinde rüzgar hızı görülmektedir.

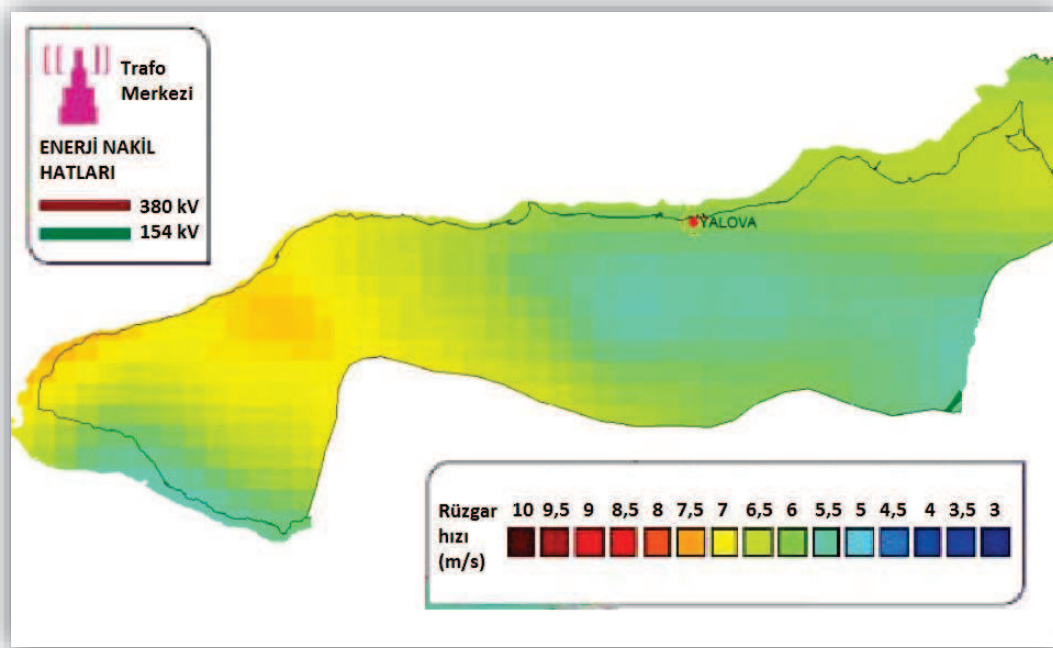


Şekil 4.21: Yalova ili için kapasite faktörü [110].

YEGM' nin belirttiğine göre ekonomik RES yatırımı için %35 veya üzerinde kapasite faktörü gerekmektedir. Şekil 4.21' e bakıldığında Armutlu ve Çınarcık bölgesi bu değere yakın kapasite faktörüne sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.22: Yalova ilinde rüzgar kurulabilir ve kullanılamaz alanlar [110].



Şekil 4.23: Yalova ili enerji nakil hatları ve trafo merkezleri [110].

Yalova için REPA verileri bakıldığında Yalova ilinde RES için en uygun bölgenin Armutlu ve Çınarcık bölgeleri olduğu sonucuna varılmaktadır. YEGM' nin belirttiğine göre Yalova ilinde kurulabilecek RES için toplam alan 106,62 km² ve toplam kurulu güç 533,12 MW' tır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.2: Yalova iline kurulabilecek RES güç kapasitesi [110].

50 m' de Rüzgar Gücü (W/ m ²)	50 m' de Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (km ²)	Toplam Kurulu Güç (MW)
300-400	6,8-7,5	77,36	386,80
400-500	7,5-8,1	29,20	146,00
500-600	8,1-8,6	0,06	0,32
600-800	8,6-9,5	0,00	0,00
>800	>9,5	0,00	0,00
Toplam		106,62	533,12

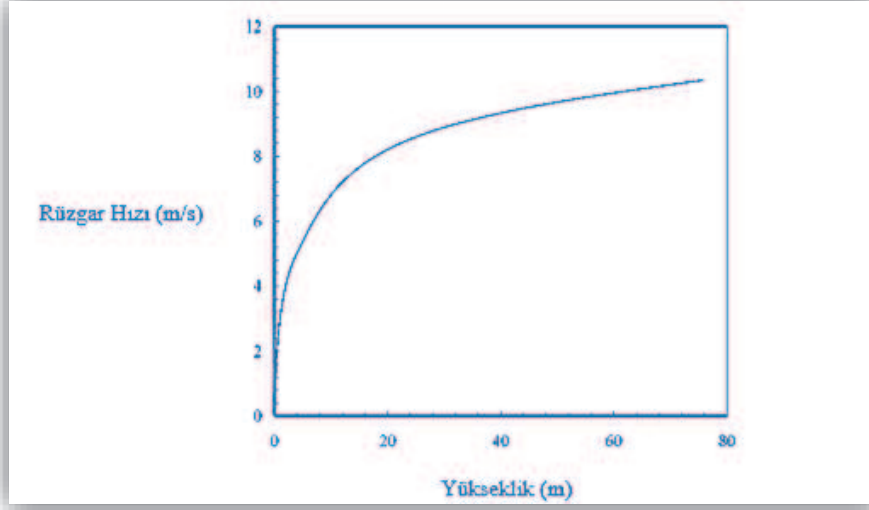
Ele alınan binanın potansiyeline bakabilmek için ise, Yalova MGM' den 2016 yılına ait alınan saatlik ham rüzgar verilerine istatistiksel yöntemler uygulanmıştır:

Bu veriler doğrultusunda ilk olarak 10 m' de ölçümlenmiş olan bu değerler optimum yükseklik değeri olan 50 m' ye ötelenmiştir. Eğer referans yerin yüksekliği Z_R ve pürüzlülük yüksekliği Z_0 ise Z yüksekliğindeki rüzgar hızı denklem 4.21 ile hesaplanmıştır [111]:

$$V(Z) = V(Z_R) \frac{\ln(Z/Z_0)}{\ln(Z_R/Z_0)} \quad (4.21)$$

Ötelenirken pürüzlülük yüksekliği, binanın bir miktar ağaçlık alanda kaldığı düşünülerek 0,1 m olarak kabul edilmiştir (Çizelge 4.4). Daha sonra 50 m' deki verilere Weibull Yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde rüzgar gücü potansiyelini hesaplamak için yer alan denklemler ise şu şekildedir:

10 m' deki verilerin 50 m' deki değerlerinin hesaplayabilmek için pürüzlülük yüksekliğinin göz önünde bulundurulması gerekir. Ayrıca sınır tabaka etkisi nedeniyle yüksekliğe çıkıldıkça rüzgar hızı Şekil 4.24' teki gibi logaritmik olarak artış göstermektedir.



Şekil 4.24: Rüzgar hızı- yükseklik dağılımı [111].

Çizelge 4.3: Alanlara göre pürüzlülük faktörü değişimi [111].

Arazi Açıklaması	Z ₀ (mm)
Çok pürüzsüz, buz yada çamur	0,01
Dalgalı deniz	0,50
Karlı yüzey	3
Engibeli otlak	10
Ekinler	50
Biraz ağaçlık içeren alan	100
Biraz ağaç, çit ve binalar içeren alan	250
Ormanlık ve ağaçlık alan	500
Kenar mahalleler	1500
Yüksek binalar içeren şehir merkezleri	3000

Rüzgar hızı ve yönü anlık olarak değişkendir. Bu yüzden rüzgar gücü ve enerjisi de anlık olarak değişmektedir. Rüzgar hesaplamalarının yapılabilmesi için, ortalama hız hesaplanmalıdır [111].

Rüzgar enerjisi potansiyelini hesaplayabilmek için Weibull Yöntemi kullanılmıştır. Weibull dağılımında rüzgar hızı değişimi iki fonksiyonla karakterize edilir, olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif dağılım fonksiyonu. Olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(V)$, belli bir zaman aralığında (periyot) rüzgarın verilen bir V hızında esme olasılığını veya V hızında estiği süre kesrini (V hızında estiği süre/toplam süre, periyotu) verir. Buna göre Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k \right] \quad (4.22)$$

4.22 bağıntısı ile hesaplanmaktadır [111]. Burada k ve c Weibull parametreleridir, k şekil (shape) faktörü c ise ölçek (scale) faktörü olarak bilinir. Şekil faktörü k birimsizdir, ama ölçek faktörü c m/s birimindedir. Olasılık fonksiyonu eğrisi altında kalan alan 1'e eşittir [111].

$$\int_0^{\infty} f(V)dV = 1 \quad (4.23)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu F(V) ise bize rüzgar hızının (V) belli bir V' değerine eşit veya küçük olduğu süre kesrini veya olasılığını verir. Küümülatif dağılım fonksiyonu olasılık yoğunluk fonksiyonun integralidir [111]:

$$F(V) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (4.24)$$

$x = \left(\frac{V}{c} \right)^k$ kabulü ile Weibull olasılık fonksiyonu veya parametreleri (k, c) bilindiği zaman ortalama hız denklem 4.25' teki gibi hesaplanabilir [111]:

$$V_m = c \int_0^{\infty} (e^{-x}) \left(x^{1/k} \right) dx \quad (4.25)$$

Denklem 4.25 standart Gamma fonksiyonu formudur. Ortalama hız Gamma fonksiyonu kullanılarak denklem 4.26' daki şekilde hesaplanmıştır [111]:

$$V_m = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (4.26)$$

Burada $n = \left(1 + \frac{1}{k} \right)$ olduğuna dikkat edilmelidir. Gamma fonksiyonu yaklaşık olarak denklem 4.27' deki gibi hesaplanır [111]:

$$\Gamma(n) = (\sqrt{2\pi n})(n^{n-1})(e^{-n}) \left(1 + \frac{1}{12n} + \frac{1}{288n^2} - \frac{139}{51840n^3} + \dots \right) \quad (4.27)$$

Küpkök ortalama hız ise denklem 4.28' deki gibi hesaplanmıştır [111]:

$$V_{rmc} = \left[c^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) \right]^{1/3} \quad (4.28)$$

Weibull parametreleri k ve c ise grafik yöntemi ile şu şekilde elde edilir:

- Küümülatif dağılım fonksiyonu denklem 4.29' daki gibidir [111]:

$$1 - F(V) = \exp \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (4.29)$$

- 4.29' daki eşitliğin her iki tarafının 2 kez logaritması alınır,

$$\ln \{ -\ln [1 - F(V)] \} = k \ln(V_i) - k \ln(c) \quad (4.30)$$

denklemler 4.30 elde edilmektedir [111]. Denklemlerdeki terimlerden $\ln(V_i)$ değerlerini x eksenine, $\ln\{-\ln[1-F(V)]\}$ değerlerini ise, y eksenine yerleştirilerek bir grafik hazırlanır. Çizilen eğrinin eğimi k şekil faktörünü verirken, eğrinin Y-eksenini kestiği yer ise $-k[\ln(c)]$ değerine eşit olmaktadır. Grafiği hazırlanan verilere eğri uydurularak, eğrinin denklemi elde edilerek k ve c değerleri bulunabilir [111].

Weibull yaklaşımı ile ulaştığımız ortalama hız değeri ile rüzgar enerjisi hesabı aşağıdaki gibi yapılır:

- Birim rotor alanı başına rüzgâr gücü potansiyeli, V rüzgâr hızı olmak üzere;

$$P_V = \frac{1}{2} \rho_a A V^3 \quad (4.31)$$

4.31 bağıntısı ile hesaplanır [111]. Rüzgar hızı V' nin hüküm sürdüğü zaman oranı ise f(V) ile verilmiştir. V hızının katkısıyla birim zamandaki enerji potansiyeli $P_V \times f(V)$ şeklinde hesaplanmaktadır. Rüzgar rejimindeki bütün hız değerlerinin katkısıyla birim zamanda ve birim rotor alanı başına toplam güç potansiyeli 'enerji yoğunluğu potansiyeli' olarak ifade edilir.

- Enerji yoğunluğu potansiyeli (birim rotor alanı başına güç potansiyeli) denklem 4.32' deki gibi hesaplanmıştır [111]:

$$E_D = \frac{\rho_a}{2} (V_{rmc})^3 (W) \quad (4.32)$$

- Belli bir periyottaki enerji potansiyeli denklem 4.33' teki hesaplanmıştır [111]:

$$E_I = E_D T (J) \quad (4.33)$$

4.32 bağıntısından bulunur [111]. Burada T periyot uzunluğudur. Eğer T = 24 alınırsa, E_I günlük enerji değerini, T = 8760 alınırsa E_I enerji yıllık miktarını verir.

- Mod hızı (en sık görülen hız) denklem 4.34' teki hesaplanmıştır [111]:

$$V_{mod} = c \left(\frac{k-1}{k} \right)^{1/k} \quad (4.34)$$

Diğer yandan, rüzgar rejiminde hız değerleri değişkendir ve toplam enerji hesaplanırken, bütün hızlar hesaba dahil edilir. En fazla enerjiye katkı veren hız denklem 4.35 ile hesaplanmıştır [111]:

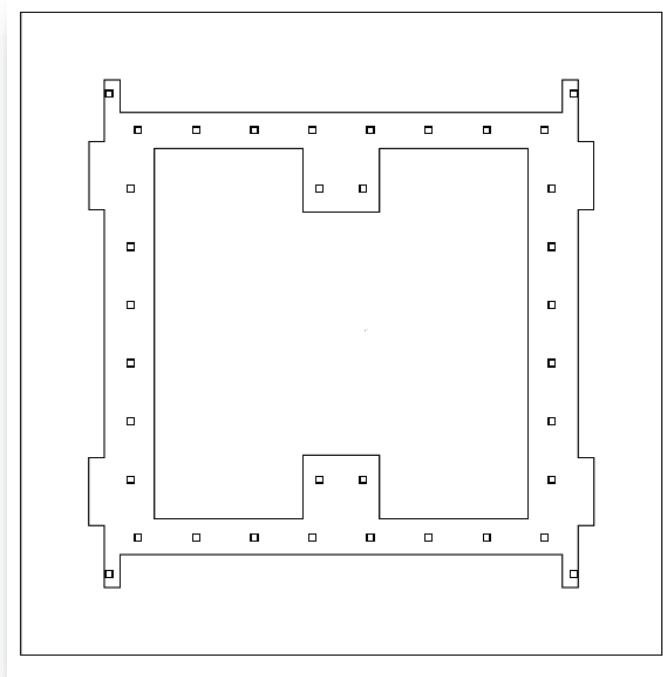
- Rejime maksimum enerjiyi sağlayan hız:

$$V_{E,MAX} = \frac{c(k+2)^{1/k}}{k^{1/k}} \quad (4.35)$$

Böylelikle ele alınan konumdaki rüzgar enerjisi potansiyeline dair tüm veriler hesaplanmış olmaktadır.

4.5 Yeşil Binalar İçin Verimli Aydınlatma Sistemleri Tasarımı

Binalarda enerji tüketen noktalardan biri de aydınlatmalardır. Yeşil binalarda, enerjinin en etkin şekilde kullanılması amacı doğrultusunda tez kapsamında aydınlatma sistemlerinin verimliliştirilmesine dair bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, Vestel firmasının başlatmış olduğu *Proje Ortağım* uygulamasından yararlanılmış ve aydınlatmanın verimliliştirilmesi konusunda destek alınmıştır. İlk aşamada yapılması planlanan ESM binası ile aynı mimari özelliklere sahip olan Mühendislik Fakültesi binasının mevcut aydınlatma durumu incelenmiştir. Böylelikle, yapılması planlanan ESM binasına aynı aydınlatma projesi uygulanıldığı takdirdeki sonuçlar ortaya konulmuştur.



Şekil 4.25: Ele alınan binanın kat holü görüntüsü.

Keşif aşamasında, binanın mevcut durumdaki mimarisi ve aydınlatma durumları gözlemlenmiştir. Şekil 4.25’ te kat holünün görüntüsü verilmiştir. Hol ve odalardaki

lux değerleri lüksmetre yardımı ile ölçülerek uygun değerlerde olup olmadığının tespiti lüksmetre ile ölçülmüştür (Şekil 4.26).



Şekil 4.26: Lüksmetre cihazı [Anonim].

Daha sonra, binanın elektrik projesi *AUTOCAD* programının *DIALux* yazılımına aktarılarak mevcut eski tip ATY2-4x18W özelliğine sahip elektronik balastlı armatürlerin led teknolojili 22W ve 27W değiştirilmesi durumları ayrı ayrı analiz edilmiştir. Bu kapsamda, “Kat 1 holü, Z11-Derslik 8, Z17-Derslik 13, Z15-Derslik 11, 1B15-Derslik 3-Polimer Araş. Lab.3, 1B13- Derslik 1-Polimer Araş. Lab.1, 128-Araş. Gör. ve 116- Dr. Öğretim Üyesi” odalarının aydınlatma simülasyonları yapılmıştır.

Daha sonra, ATY2-4x18W ile 22W ve 27W led ürünlerinin enerji tüketimi ve fiyat karşılaştırılmaları yapılmıştır. Led armatürlerin teknik özellikleri **EK A.1** ve **EK A.2**’de verilmiştir. Bu çalışmada günlük çalışma süresi ortalama 8 saat, 1 ay 20 iş günü ve enerji birim fiyatı 0,314422 TL/ kWh olarak kabul edilmiştir. Bu kabullerle lambaların aylık tüketimi:

$$\text{Aylık Tüketim (kWh/ay)} = \text{Lamba Adedi} \times \text{Çalışma Süresi} \quad (4.36)$$

denklem 4.36 ile hesaplanabilir. Lambaların tüketim maliyeti ise;

$$\text{Tüketim Maliyeti (TL/ ay)} = \text{Aylık Tüketim} \times \text{Elektriğin Birim Fiyatı} \quad (4.37)$$

denklem 4.37 ile hesaplanmıştır. Yatırım geri ödemesi süresi ise;

$$\text{GÖS} = \frac{\text{Yatırımın Maliyeti}}{\text{Tasarruf Potansiyeli}} \quad (4.38)$$

denklem 4.38 ile hesaplanmıştır. Buradaki tasarruf potansiyeli denklem 4.39 ile hesaplanmıştır:

Tasarruf Potansiyeli (kWh/ay)= Aylık Tüketim_{ATY2-4x18W} - Aylık Tüketim_{Led 22w veya Led 27W} (4.39)

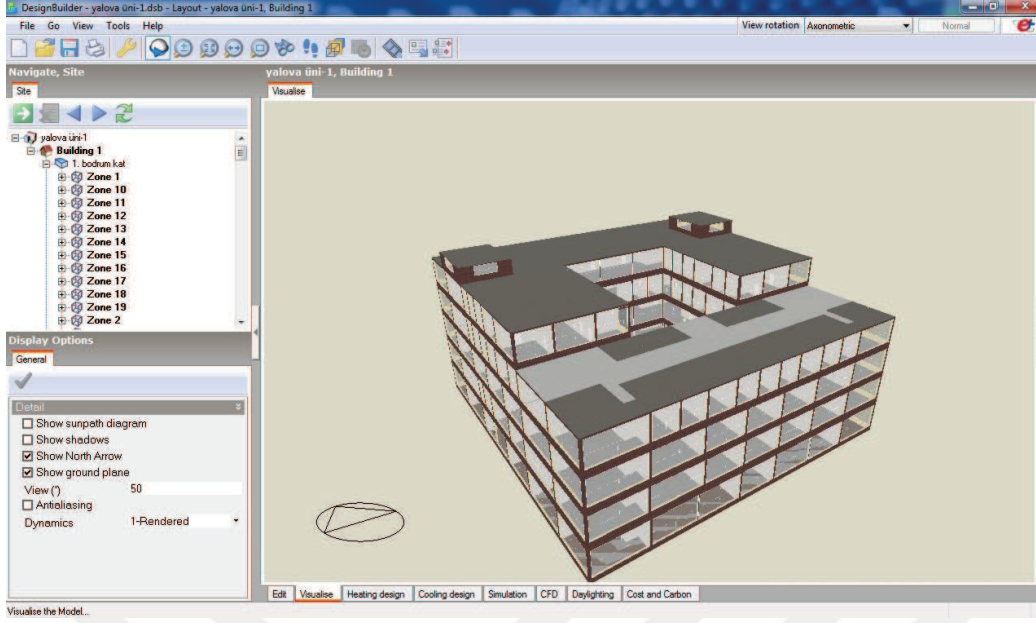
Burada, aynı ölçülerde led armatür seçilmesinin sebebi yerleşkedeki binaların asma tavan sisteminde olması ve asma tavanı oluşturan her bir plakanın 60x60 cm ebatında olmasıdır. Böylelikle, ekstra bir işçilik ücretinden tasarruf edilecektir.

4.6 Yeşil Bina Uygulamalarında İklimlendirme Sistemlerinin DesignBuilder

Yazılımı İle Analizi

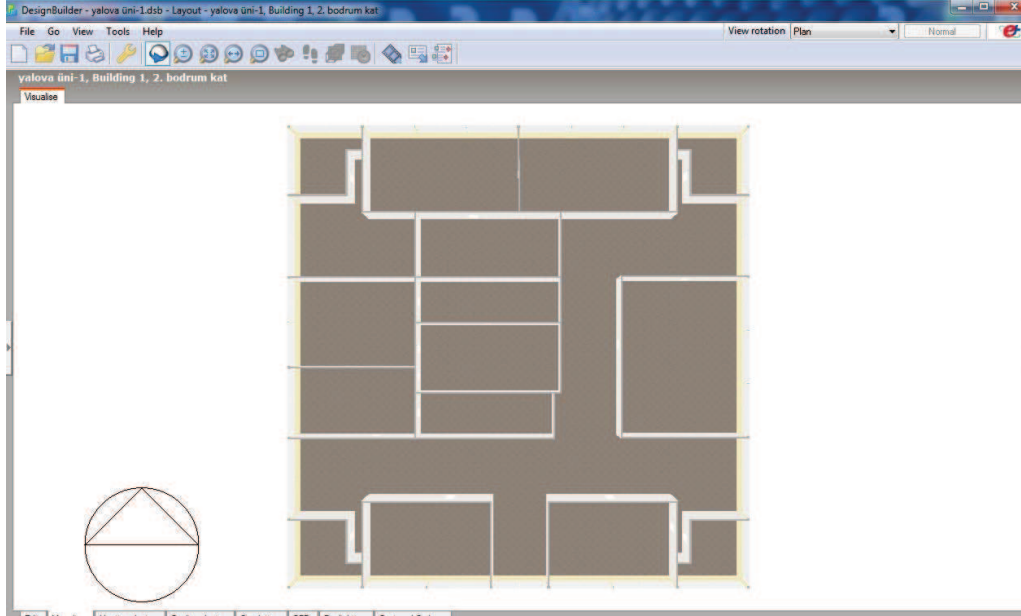
Yeşil bina uygulamalarında, bina için en az tüketim sağlayarak ihtiyaçları karşılayabilen sistemlerin ne olduğuna karar verebilmek en önemli noktalardan biridir. Günümüzde gün geçtikçe yaygınlaşmaya başlayan simülasyon programları bu bağlamda en akılcı yöntem olmaktadır. DesignBuilder gibi yazılım araçları ile çok kısa sürelerde ve diğer yöntemlere daha az maliyet ile detaylı analizler yapılarak binaya en uygun olan sistemlerin seçilmesi gerçekleştirilebilmektedir. Yeşil bina uygulayıcılarına simülasyon programlarının işlevselliğini ve doğru karar almadaki etkinliğini gösterebilmek için çalışmanın bu kısmında DesignBuilder yazılımında iklimlendirme sistemlerine dair bir analiz yapılmıştır.

DesignBuilder yazılımında, ilk önce yapılması planlanan Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü binası modellenmiştir. Ele alınan bina daha önce de belirtildiği üzere 25,5 m yüksekliğinde 53 x 53 m² alana sahiptir. Modellemede binanın tüm odalarının ofis amaçlı olarak kullanılacağı kabul edilmiştir. Ele alınan bina “Model 1” olarak modellenmiştir. Programda binanın temel özelliklerinin girilmesi için *Layout, Activity, Construction, Opening, Lighting, HVAC, Outputs* ve *CFD* bölümleri mevcuttur. Layout bölümünden Model 1’ in çizimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.27).

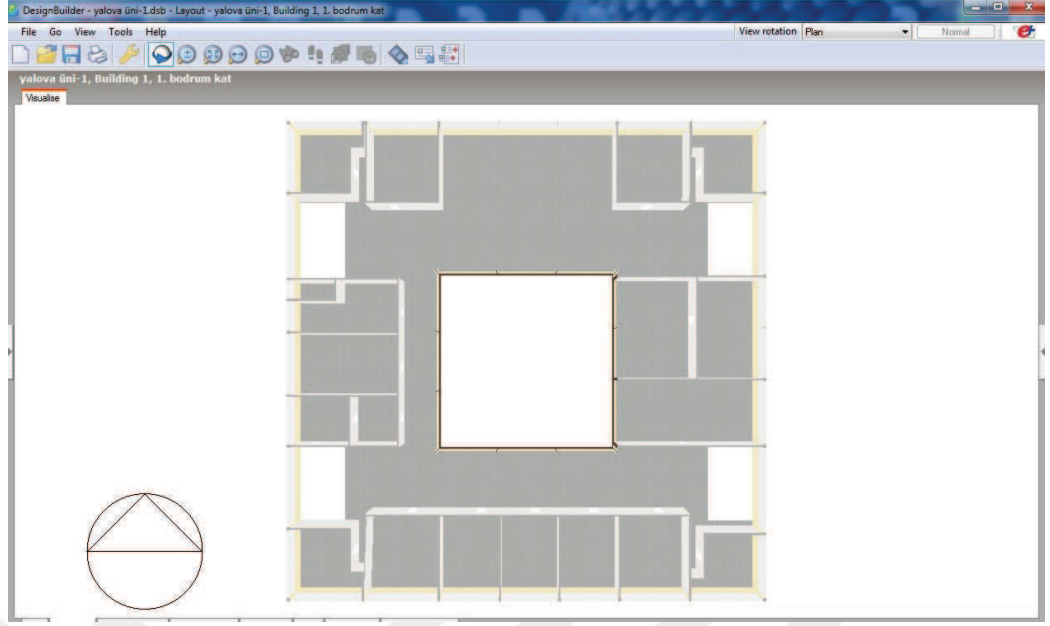


Şekil 4.27: DesingBuilder yazılımında oluşturulan binanın model görüntüsü.

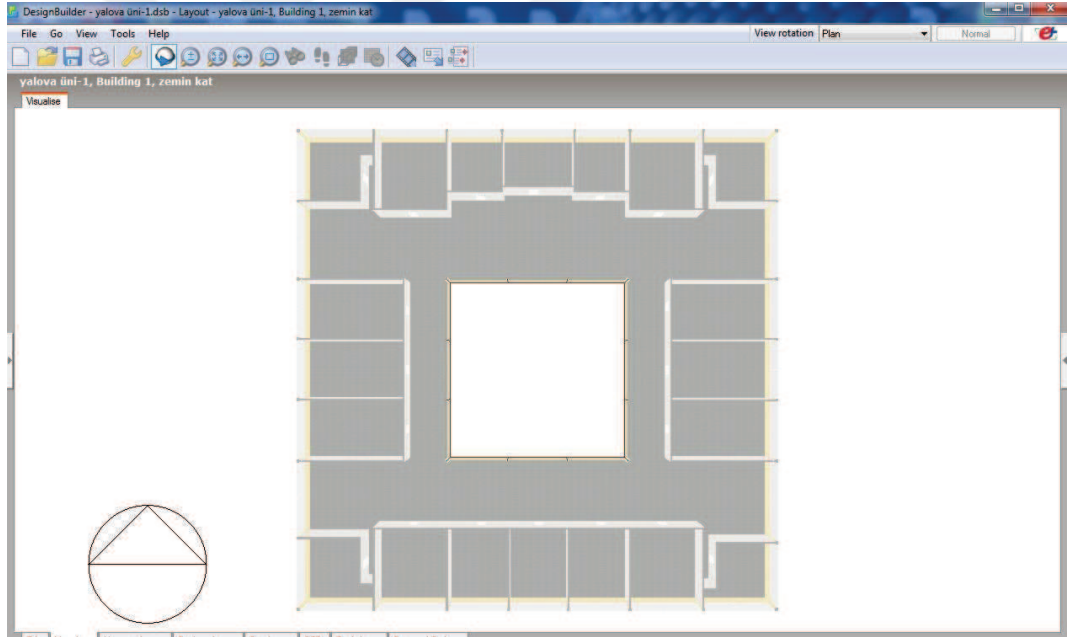
Ele alınan bina 2. Bodrum, 1. Bodrum, Zemin, 1. ve 2. katlardan oluşmaktadır. Bu katların model görüntüleri Şekil 4.28-4.32' deki gibidir:



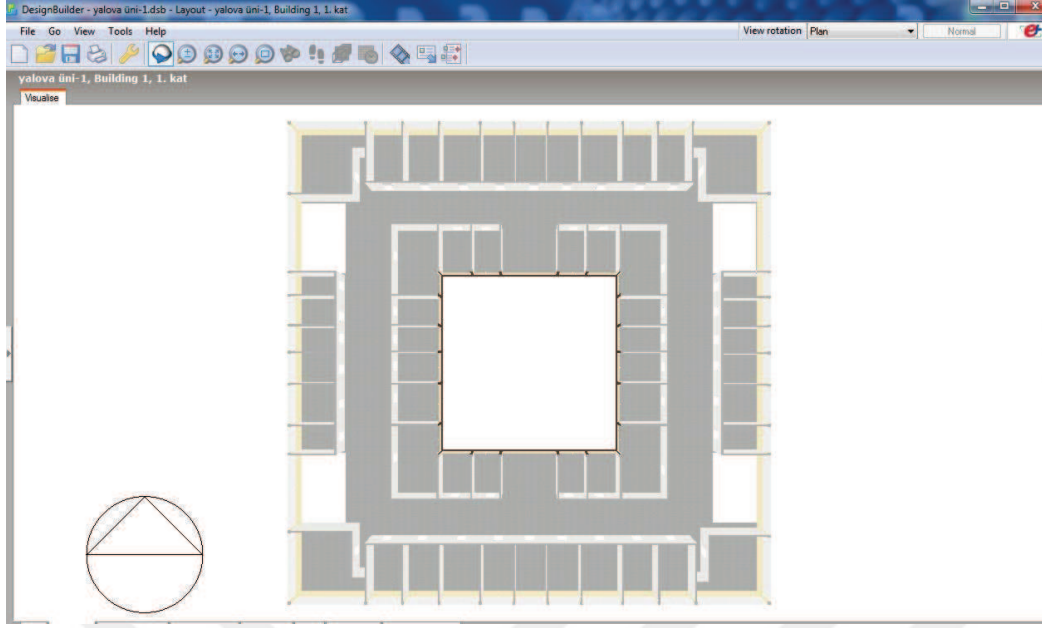
Şekil 4.28: Bina 2.Bodrum katının DesingBuilder yazılımındaki model görüntüsü.



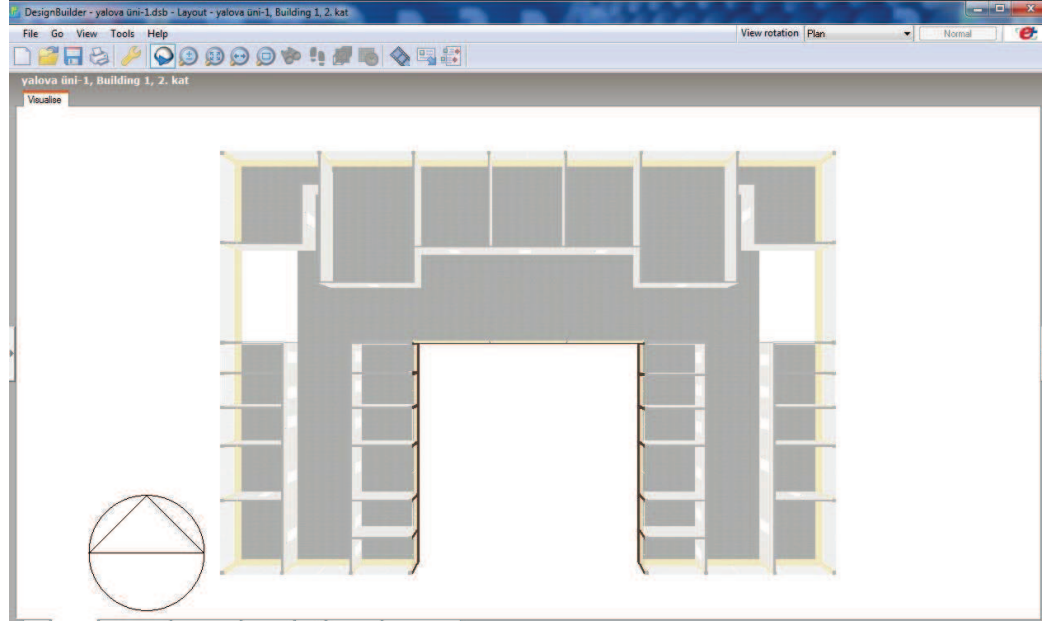
Şekil 4.29: Bina 1.Bodrum katının DesingBuilder yazılımındaki model görüntüsü.



Şekil 4.30: Bina Zemin katının DesingBuilder yazılımındaki model görüntüsü.

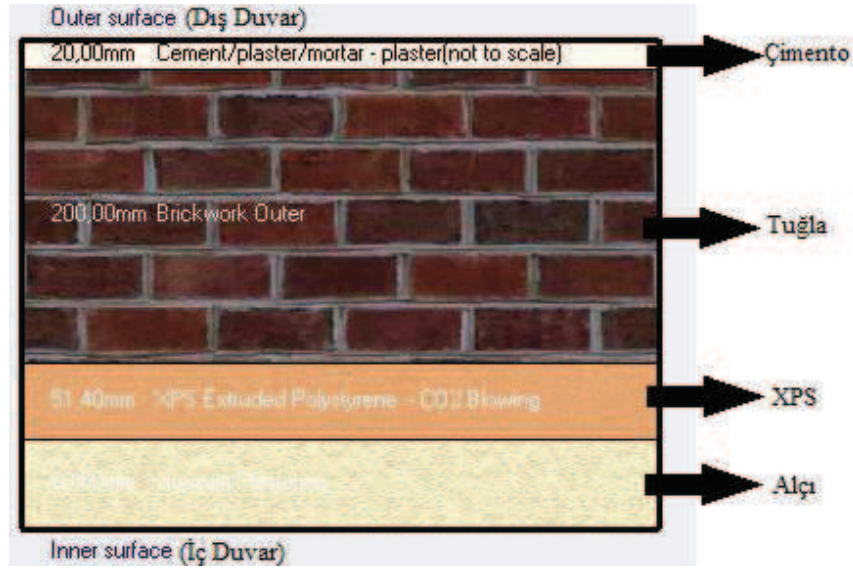


Şekil 4.31: Bina 1. katının DesingBuilder yazılımındaki model görüntüsü.



Şekil 4.32: Bina 2. katının DesingBuilder yazılımındaki model görüntüsü.

Model 1' de, dış duvar 4 katmandan oluşturulmuştur. Dış ortamdan itibaren ilk katman çimento ve sıva karışımı olmak üzere sırasıyla tuğla, XPS yalıtım malzemesi ve alçı sıvadan oluşmaktadır (Şekil 4.33). Bu yapı bileşenleri ile dış duvarın ısı iletkenlik değerinin (U), TS 825' te kabul edilen $0,47 \text{ W/ m}^2\text{K}$ değerine eşit olduğu görülmektedir.



Şekil 4.33: DesingBuilder yazılımında bina duvarını oluşturan elemanların görünümü.

Modellemede kabul edilen sabit değerler Çizelge 4.4’ teki gibidir:

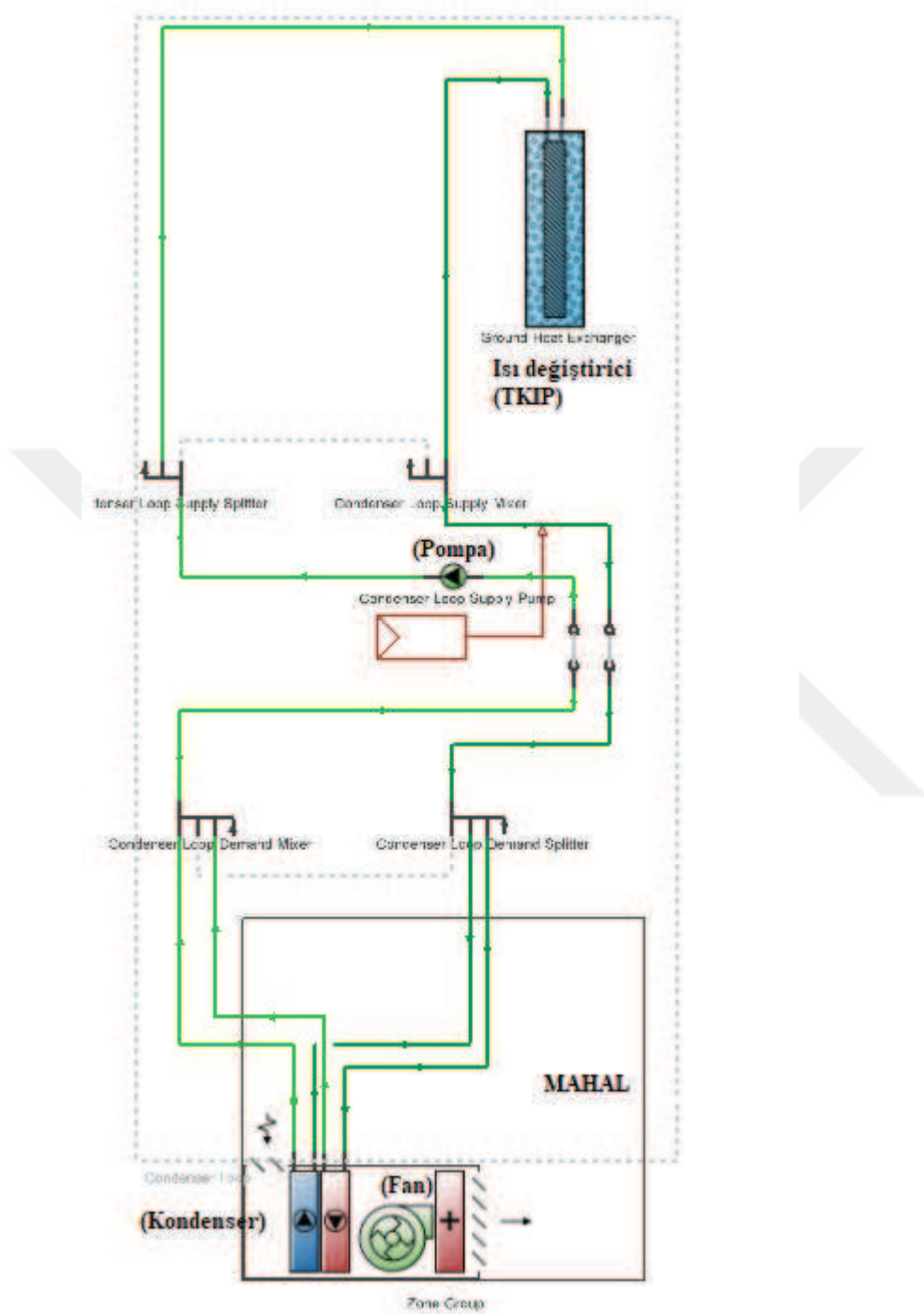
Çizelge 4.4: Binaya dair sabit değerler.

SABİTLER		
Yer	Bursa	
Isıtma	İstenilen:	22 °C
	Set değeri:	12 °C
Soğutma	İstenilen:	24 °C
	Set değeri:	28 °C
Aydınlatma	500 lüks	

Yazılımda iki tane iklimlendirme sisteminin karşılaştırılması için Model 1 ve Model 2 oluşturulmuştur. Yazılımda mevcut olan 40 adet iklimlendirme sistemi içerisinde günümüzde pratik olarak uygulanan sistemler arasından iki tanesi seçilmiştir. ESM binası Eylül- Haziran aylarında haftaiçi 8:00-18:00 arasında aktif olarak kullanılmakta, resmi tatillerde ve eğitim-öğretim dönemleri dışında kullanılmamaktadır. Fakat simülasyonda binanın 7 gün 24 saat çalıştığındaki durum analiz edilmiştir.

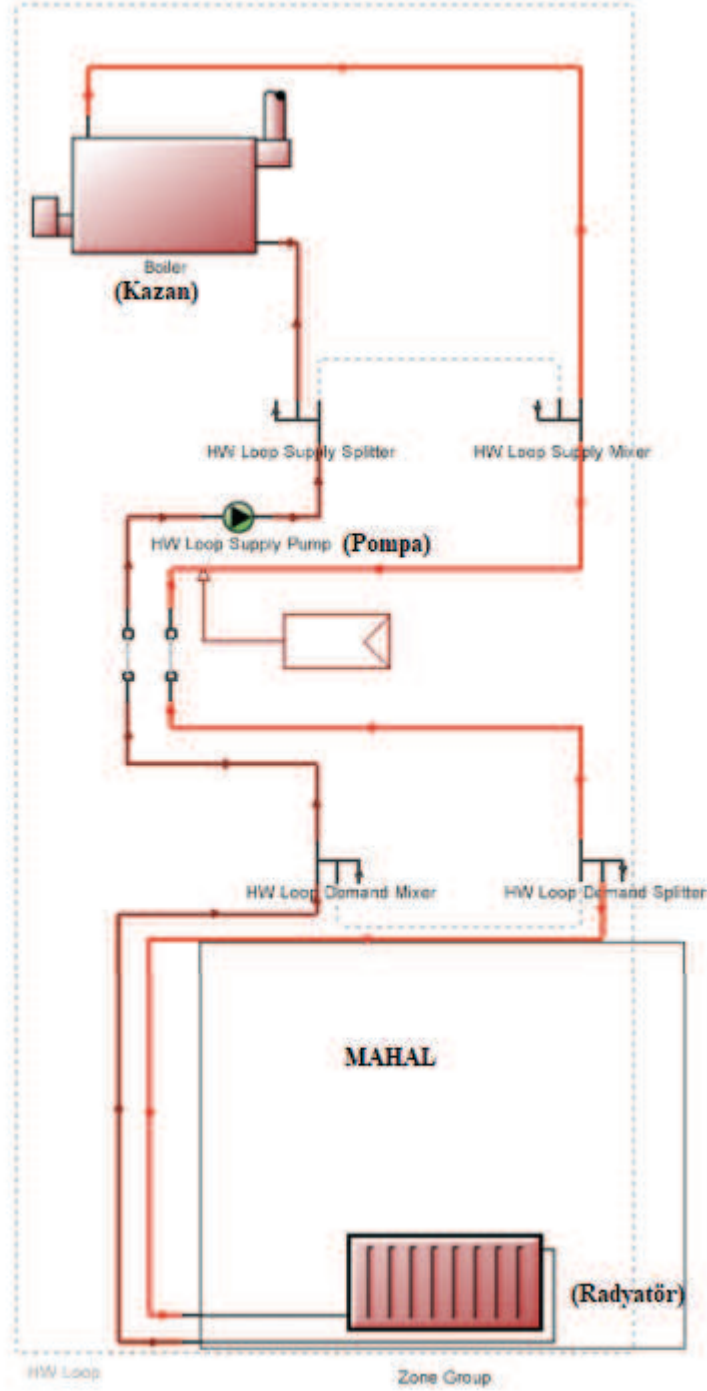
Model 1’ in iklimlendirme durumu analizi için, enerji tüketiminin ve CO₂ salınımının minimum seviyede olması göz önünde bulundurularak mevcut 40 iklimlendirme sistemi içerisinde bir sistem seçimi yapılmıştır. Yapılan seçimde en az enerji tüketen

ve CO₂ salınımı en az olan iklimlendirme sistemlerinden biri olan TKIP sistemi seçilmiştir. Kullanılan TKIP sisteminin akış şeması Şekil 4.34' te görülmektedir:



Şekil 4.34: Simülasyonda Model 1 için seçilen TKIP sistemi akış şeması görüntüsü.

İklimlendirme sistemlerini karşılaştırabilmek için Model 1' in diğer tüm özellikleri sabit tutularak Model 2' de Klasik Radyatörlü Isıtma Sistemi (KRIS) seçilmiştir. KRIS' nin akış şeması Şekil 4.35' teki gibidir:



Şekil 4.35: Simülasyonda Model 2 için seçilen KRIS' nin akış şeması görüntüsü.

TKIP sistemi binanın hem ısıtma hem soğutma ihtiyacını karşılarken KRI sistemi binanın sadece ısıtma ihtiyacını karşılamaktadır. Bu yüzden KRI sisteminin ek bir soğutma sistemine ihtiyaç duyulan bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple, KRI sistemine dair analiz sonuçları incelenirken soğutma ihtiyacının karşılanamadığı göz önünde bulundurulmuştur.



5. SONUÇLAR

5.1 Yeşil Binalar İçin Su Verimliliğine Yönelik Pasif Yağmur Suyu Hasat Sistemi Tasarımı

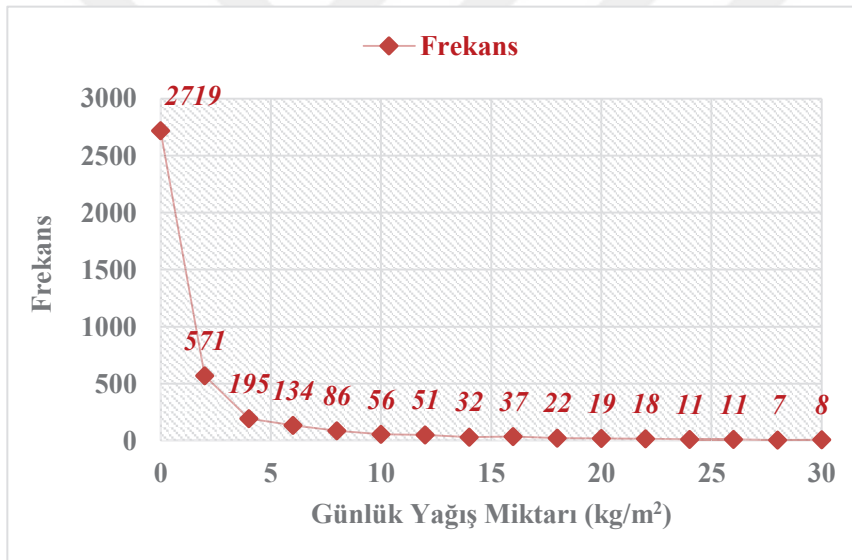
Yalova için 2006-2016 yılları arasında aylara göre yağış ortalaması analizi Çizelge 5.1’ de verilmiştir. Yalova Üniversitesi’ nin Yeşil Kampüs hedefine yönelik yapılan bu çalışmada günlük ortalama yağış potansiyelini belirlemek için elde edilen 11 yıllık toplam 4015 veri analiz edilmiştir. Çizelge 5.1 incelendiğinde son 11 yılın yağış ortalamalarına göre maksimum aylık ortalama yağış 11,38 kg/m² olarak 2010 yılı Ekim ayında, minimum aylık ortalama yağış ise 0,01 kg/m² olarak 2008 yılı Ağustos ayında gerçekleşmiştir. Son 11 yılın en düşük yıllık ortalama yağışı 1,32 kg/m² olarak 2008 yılında, en yüksek yağış miktarı ise 3,55 kg/m² olarak 2010 yılında kaydedilmiştir. Bunlarla birlikte yapılan analizde, Yalova için son 11 yılın yağış ortalaması, 2,06 kg/m², en az yağış alan ayın 11 yıllık ortalama yağış miktarından sapması 0,64, en fazla yağış alan ayın 11 yılın ortalamasından sapması 0,73 olarak hesaplanmıştır.

İstatiksel analiz sonucunda en sık tekrar eden günlük yağış miktarı (mod) ve yağış verilerinin ortasındaki (medyan) değeri 0 çıkmıştır. Frekans dağılımı (yağışların gerçekleşme sıklığı) ise Şekil 5.1’ deki gibidir. 30 kg/m², nin üzerindeki günlük yağış miktarı ihmal edilebilecek kadar az olduğundan grafiğe dahil edilmemiştir.

Çizelge 5.1: 2006- 2016 Aylık Ortalama Yağış Miktarları (kg/m²).

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ortalama
-------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----------

Yıllar													
2006	2,86	3,71	2,23	0,42	0,54	2,97	0,06	0,20	2,02	1,01	4,37	0,98	1,78
2007	3,92	0,41	1,02	1,35	0,82	0,49	0,54	1,08	0,77	2,59	3,69	4,60	1,77
2008	1,55	1,39	3,66	0,46	1,17	0,65	0,90	0,01	4,81	2,44	2,61	2,08	1,81
2009	3,59	5,29	3,57	1,04	0,44	0,47	0,37	0,18	1,47	1,96	3,44	4,89	2,23
2010	5,35	5,77	2,75	1,83	1,18	7,37	0,07	0,02	2,17	11,38	0,57	4,19	3,55
2011	2,29	0,50	1,38	1,92	1,13	0,80	0,73	0,20	0,20	3,43	0,44	2,85	1,32
2012	3,96	3,17	1,87	2,83	1,56	0,55	0,92	1,12	1,10	1,43	2,76	5,17	2,20
2013	2,04	2,79	3,18	1,11	0,61	1,26	0,05	0,10	0,32	2,80	1,60	1,50	1,45
2014	0,94	0,65	2,58	1,02	2,18	1,59	2,32	0,37	6,28	2,75	2,29	4,27	2,27
2015	3,81	2,97	1,51	3,01	1,19	1,73	0,00	0,76	2,81	5,78	0,68	0,28	2,04
2016	4,40	2,70	3,00	1,10	1,80	1,00	0,10	1,70	1,30	1,10	3,20	4,90	2,19



Şekil 5.1: Yalova ili günlük ortalama yağış miktarına bağlı frekans dağılımı (kg/m²).

Çizelge 5.1 ve Şekil 5.1' de elde edilen verilere göre Yalova ilinde en sık gerçekleşen günlük ortalama yağış miktarları Çizelge 5.2' deki gibi ortaya çıkmaktadır. Yalova ilinde su yönetimi için kullanılabilecek uygun yağış değerleri 0- 6 kg/ m²- gün olarak tespit edildiğinden ve 6 kg/m² nin üzerindeki değerlerin sıklığı çok az olduğundan Çizelge 5.2' ye dahil edilmemiştir.

Çizelge 5.2: Yalova ilinde en sık gerçekleşen günlük ortalama yağış miktarı dağılımları ve temsil kabiliyetleri.

Yağış Mikarı (kg/m ² - gün)	Frekans	% Frekans
0	2719	67,72
1	409	10,18
2	162	4,03
3	106	2,64
4	89	2,22
5	70	1,74
6	64	1,6

Çizelge 5.2’ de paylaşılan bilgilere göre 4015 günün yaklaşık %68’ i yağışsız geçmiştir. Bu sonuç, Çizelge 5.1’ deki verileri de destekleyecek şekilde Yalova’nın su zengini olmadığını ve su yönetimi üzerinde önemle durulması gerektiğini ifade eden göstergelerden biridir. Sonuçlara bakıldığında; *Yalova ilinde en çok gerçekleşen yağış değeri 1 kg/m²-gün’ dür. Bu yağışın gerçekleşme sıklığı %10,18’ dir.* En çok gerçekleşen yağışlar için analizde kullanılan sabit parametreler Çizelge 5.3’ te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3: Analizde kullanılan sabit parametreler ve değerleri.

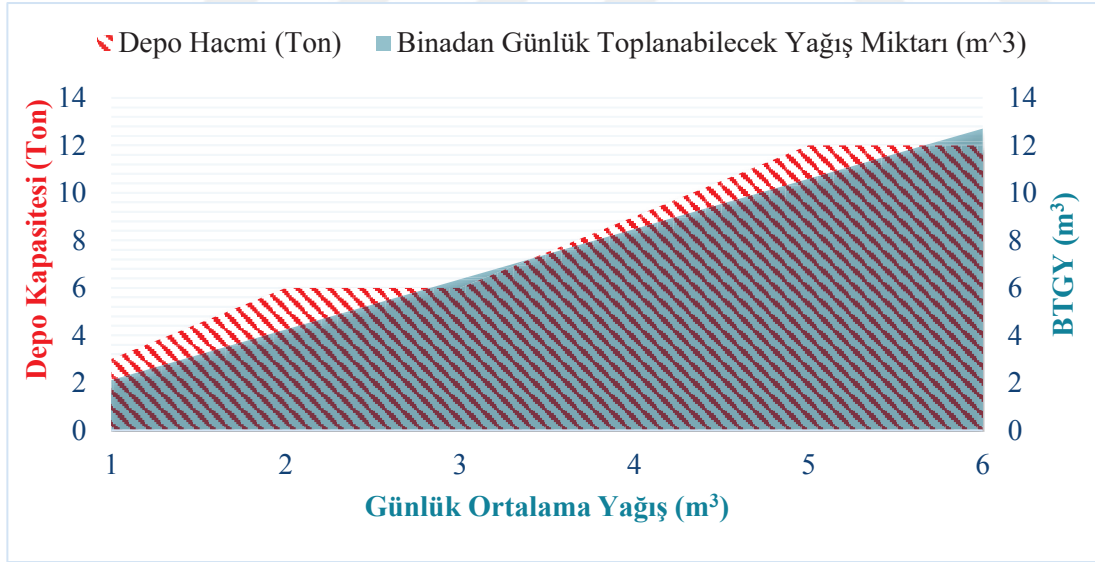
Sabit Parametre	Değeri
Bina çatı alanı (m ²)	2941,80
Bina kat adedi	3
Çatı katsayısı (DIN 1989)	0,80
Filtre katsayısı (DIN 1989)	0,90
Yağmur suyunun yoğunluğu (kg/ m ³)	999,97
Potansiyeli karşılayabilecek depo adedi	3
Rezervuar kapasitesi (litre)	5
Her kattaki lavabo sayısı (adet)	4
Her kattaki rezervuar sayısı (adet)	20
Rezervuarlardaki toplam tek seferlik su tüketimi (litre)	300

Analizde lavabolardaki her bir rezervuarın kapasitesi olarak 5 lt olarak kabul edilmiştir. Çizelge 5.4’ teki sonuçlar, tespit edilen sonuçlar arasında en çok gerçekleşen günlük ortalama yağış değerlerinin ve Çizelge 5.3’ teki sabit değerlerin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Çizelge 5.4’ teki sonuçlar hesaplamalarda günlük ortalama (GO) yağış değeri baz alınarak elde edilmiştir.

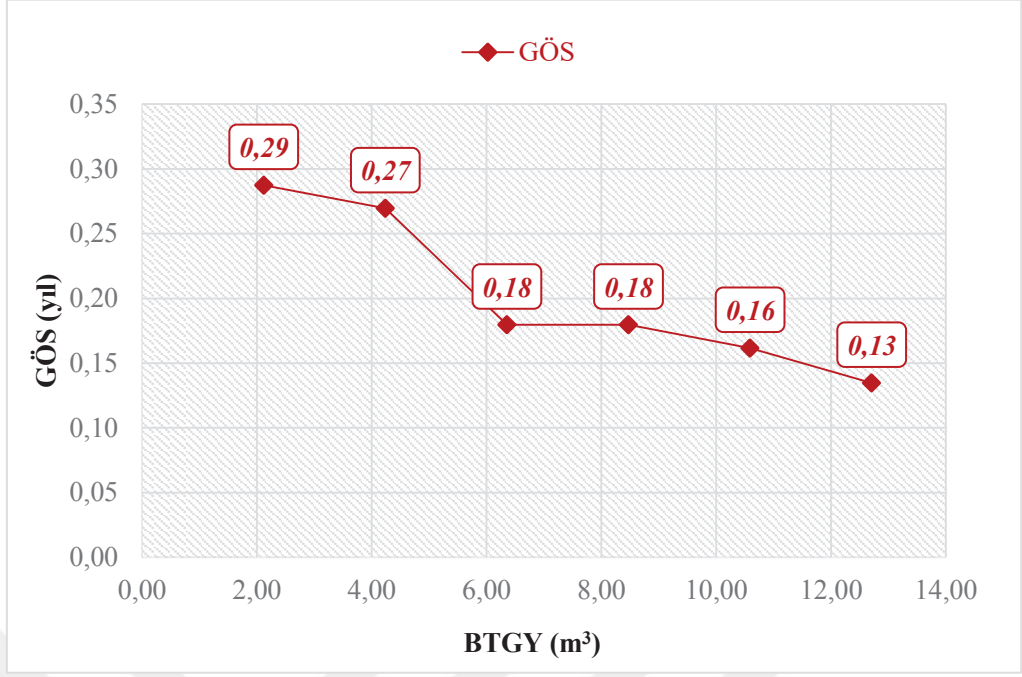
Çizelge 5.4: Günlük yağış miktarı 1- 6 kg/m²- gün arası değerleri için tasarım parametreleri, maliyet, tasarruf ve gös.

GO	1	2	3	4	5	6
Yağışın Temsil Kabiliyeti	77,9	81,93	84,57	86,79	88,53	90,13
Y (kg/m ²)	365,00	730,00	1.095,00	1.460,00	1.825,00	2.190,00
B (kg)	2.118,10	4.236,19	6.354,29	8.472,38	10.590,48	12.708,58
B (m ³)	2,12	4,24	6,35	8,47	10,59	12,71
B (litre)	2.118,16	4.236,32	6.354,48	8.472,64	10.590,80	12.708,96
ΣY (kg)	773.105	1.546.210	2.319.315	3.092.420	3.865.525	4.638.630
ΣY (m ³)	773,13	1.546,256	2.319,39	3.092,51	3.865,64	4.638,77
U (kez)	7,06	14,12	21,18	28,24	35,30	42,36
C _D (TL)	320,00	600,00	600,00	800,00	900,00	900,00
ΣC _D (TL)	960,00	1.800,00	1.800,00	2.400,00	2.700,00	2.700,00
S (TL)	3.339,91	6.679,83	10.019,74	13.359,66	16.699,57	20.039,48

Yalova ilinde en çok gerçekleşen 1-6 kg/m²-gün günlük ortalama yağış miktarlarına bağlı olarak günlük toplanabilecek yağmur suyu hacmi ve bu miktara en yakın standart depo hacimleri Şekil 5.2' de verilmiştir. Yapılan hesaplamalarda öngörülen sistemlere ait binadan toplanabilecek günlük yağmur suyu miktarları (BTGY)- GÖS değerleri Şekil 5. 3' teki gibidir.



Şekil 5.2: Günlük ortalama yağış miktarına bağlı btgy- depo hacmi.



Şekil 5.3: Günlük yağmur suyu miktarlarına bağlı GÖS değerleri.

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’ te paylaşılan sonuçlara göre, Yalova ilinde en çok gerçekleşen ortalama yağış miktarı $1 \text{ kg/m}^2\text{-gün}$ için piyasadaki standart ölçüler arasından depo hacmi 3 ton olarak seçildiğinde geri ödeme süresi değeri 0,29 hesaplanmıştır. Yalova için en az gerçekleşen ortalama yağış miktarı $6 \text{ kg/m}^2\text{-gün}$ için piyasadaki standart ölçüler arasından depo hacmi 12 ton olarak seçildiğinde GÖS değeri 0,13 yıl olmaktadır. Depo, piyasadaki standart plastik silo ölçüleri arasından seçildiğinde 1, 2, 4 ve 5 $\text{kg/m}^2\text{-gün}$ ortalama yağış değerleri için yağmur suyunun tamamını toplanabilecek kadar büyük olmaktadır. 3 ve 6 $\text{kg/m}^2\text{-gün}$ ortalama yağış değerlerinde ise standart ölçüler arasından seçilecek olan deponun, toplanılan suyu tutmakta yetersiz kalacağı görülmektedir. Bu durumda depo standart ölçü yerine, hesaplanan ölçülere uygun olarak yaptırılabilir. Ancak, standart dışı üretimin maliyeti, standart seçime göre daha pahalı olmaktadır. Bu noktada standart depolar içerisinde su toplama ve maliyet açısından en uygun seçenekleri seçmek en makul yöntemdir.

Günlük ortalama 5 ve 6 $\text{kg/m}^2\text{-gün}$ için daha kısa süreli GÖS elde edilmektedir. Bununla birlikte, bu değerlerin Yalova’ da gerçekleşme sıklığı azdır. Bu nedenle, GÖS ve yağış sıklığı göz önüne alınarak toplanabilecek günlük ortalama yağış miktarının 4 $\text{kg/m}^2\text{-gün}$ olarak seçilmesi uygun olmaktadır. Bu ölçülerdeki depo sistemi ile ilgili veriler denklem 4.4’ teki yerine konulduğunda, binadan günlük toplanabilecek yağış miktarı yaklaşık olarak 8470 litre/yıl olmaktadır. Bu tasarrufun mali karşılığı ise, denklem 4.5 yardımıyla yıllık 13.360 TL olarak hesaplanmaktadır.

5.2 Yeşil Binalar İçin Isı Pompası Sistemi Tasarımı Sonuçları

Isı yükü hesabının ilk adımı iklimsel ortalama hava sıcaklığının tespitidir. Denklem 4.9 yardımıyla hesaplanan aylık bazda ortalama hava sıcaklıkları Çizelge 5.5' te verilmiştir.

Çizelge 5.5: Aylık ortalama hava sıcaklıkları.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan İlk 2	Nisan Son 2	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim İlk 2	Ekim Son 2	Kasım	Aralık
2008	7,06	8,05	13,65	15,31	18,23	20,72	25,74	26,88	28,24	23,19	19,59	17,81	14,55	10,73
2009	9,93	9,08	10,57	13,61	14,17	19,81	25,33	27,30	26,77	22,80	21,31	18,38	13,93	12,20
2010	8,05	10,07	10,81	14,11	16,24	21,16	23,73	27,31	29,27	23,29	16,87	17,35	17,93	11,89
2011	7,72	7,55	8,94	11,56	11,62	17,95	23,85	28,28	26,54	24,37	18,25	13,33	10,32	10,42
2012	5,38	4,39	8,91	13,11	19,44	19,56	26,27	28,25	27,84	23,96	21,67	20,28	15,75	8,46
2013	8,84	9,40	12,64	14,38	15,14	21,89	25,05	26,49	28,01	23,30	16,14	16,24	14,60	7,50
2014	10,51	10,49	13,12	14,69	17,88	20,86	24,82	28,15	28,15	23,83	19,57	17,73	13,69	11,12
2015	7,48	8,56	10,55	12,18	15,10	20,66	23,17	28,29	28,58	25,10	19,21	17,30	15,54	9,25
2016	7,91	12,69	13,23	17,66	18,22	20,16	26,06	27,75	28,08	23,60	20,37	15,12	13,37	5,60
2017	5,56	8,57	11,04	13,35	15,55	19,79	25,39	27,27	26,88	24,93	18,16	17,07	13,68	11,68
Ort	7,84	8,88	11,35	14,00	16,16	20,26	24,94	27,60	27,84	23,84	19,11	17,06	14,34	9,89
Min	-2,5	-2,1	0,3	5,4	5,4	9,9	16,1	19	18,5	13,8	6	6	5	-0,9
Max	24,8	25,2	24,5	30,1	30,1	36,5	34,6	38	34,5	31,6	30,6	30,6	28	27,2

Konfor koşullarına göre 15 °C' nin altındaki sıcaklıkta ısıtılma yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, mevsim geçişleri olan Nisan ve Ekim ayları ilk 2 hafta ve son 2 hafta olarak iki ayrı kategoride incelenmiştir. Aylık bazda son 10 yıllık sıcaklık ortalamalarına bakıldığında, Ocak, Şubat, Mart Kasım ve Aralık aylarının tamamında, Nisan ayının ise ilk iki haftasında ısıtma yapılması gerekmektedir.

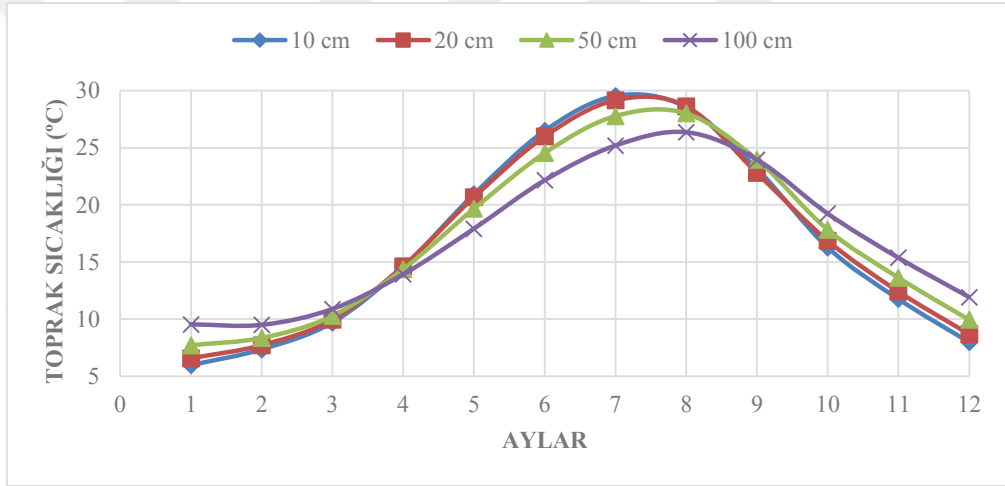
Isı pompası sistemi için minimum kritik sıcaklıklara göre tasarım yapıldığında, en fazla ısıtma yapılan Ocak ayı için ısı yükü yaklaşık olarak 202 kW olmaktadır. Bu ısı kapasitesi ise boru uzunluğunu oldukça arttırmaktadır. Bu durum, başta sondaj olmak üzere sistemin maliyetlerini makul olmayan değerlere yükseltmektedir. Bu nedenle, çalışmada aylık ortalama değerler baz alınarak sistem tasarımı yapılmıştır.

Isı kaynağı olarak toprağı kullanan sistemde, meteorolojiden alınan 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinliklerdeki saatlik ortalama sıcaklıkların aylık bazda ortalaması alınmıştır. Her bir derinlik için aylık ortalama sıcaklıklar Çizelge 5.6' da özetlenmiştir.

Çizelge 5.6: Aylık ortalama toprak sıcaklıkları (°C).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
10 cm	5,97	7,36	9,71	14,57	20,93	26,48	29,53	28,57	23,17	16,28	11,76	7,98
20 cm	6,57	7,72	9,96	14,64	20,67	25,99	29,16	28,63	22,79	16,86	12,41	8,68
50 cm	7,72	8,35	10,29	14,38	19,66	24,54	27,77	28,01	23,96	17,83	13,63	9,94
100 cm	9,54	9,50	10,89	13,92	17,92	22,15	25,20	26,36	23,97	19,24	15,37	11,93

Çizelge 5.6' da belirtilen veriler değerlendirildiğinde Şekil 5.4 elde edilmiştir.



Şekil 5.4: Toprak sıcaklığının derinlikle aylara göre değişimi.

Şekil 5.4' te ısıtma yapılacak Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarına bakıldığında, toprak sıcaklığının en yüksek 100 cm derinlikte olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle yapılan tasarım hesaplamalarında 100 cm derinlikteki toprak sıcaklıkları esas alınmıştır.

Hava sıcaklık ortalamalarından yola çıkarak binada bulunan her bir kat için ısı yükü ayrı ayrı hesaplanmıştır. Proje planlarına bakıldığında, 2. Bodrum katın tamamının toprak altında olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle 2. Bodrum kat için mahal ile dış ortam sıcaklık farkı, toprak sıcaklığı ile kabul edilen iç mahal sıcaklığı arasındaki fark olmaktadır.

2. Bodrum katta, dış ortama bakan duvar yüzey alanı 1114,3 m², koridora bakan ısı transfer yüzey alanı ise 1068,85 m² olarak hesaplanmıştır. Bu yüzeylerin yanı sıra kapılardan da koridora bir ısı transferi olmaktadır. İç mahalden koridora ısı transferi gerçekleştiren kapıların toplam ısı transfer yüzey alanı 61,4 m² olarak hesaplanmıştır.

Konfor şartlarında da belirtildiği gibi, iç mahalin sıcaklığı 20 °C, koridor sıcaklığının ise 18 °C olması gerekmektedir. 2. Bodrum katın tamamı toprak altında olduğu için, dış ortam sıcaklığı toprak sıcaklığına eşittir. Bu durumda 2. Bodrum kat için ısı yükü miktarı Çizelge 5.7' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7: 2.bodrum kat için hesaplanan ısı yükü miktarı (W/ay).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık(°C)	7,84	8,88	11,35	14,00	14,34	9,89
Ortalama Toprak Sıcaklığı (°C)	9,54	9,50	10,89	13,92	15,37	11,93
ΔT_1 (İç-dış) (°C)	10,46	10,50	9,11	6,08	4,63	8,07
ΔT_2 (İç -koridor) (°C)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
ΔT_3 (Koridor-dış) (°C)	8,46	8,50	7,11	4,08	2,63	6,07
Q_1 (İç-dış)	5475,97	5499,27	4772,50	3185,07	2423,60	4228,49
Q_2 (İç-koridor)	1004,72	1004,72	1004,72	1004,72	1004,72	1004,72
Q_3 (Kapı-koridor)	244,02	245,30	205,26	117,79	75,83	175,28
Q_{toplam}	6724,71	6749,30	5982,48	4307,58	3504,15	5408,49

1. Bodrum kata ait ısı transferi hesaplanırken 3 cephesinin toprak altında arka cephesinin ise hava ile temas halinde olması göz önünde bulundurulmuştur. Toprak altında kalan ve toprakla temas halinde olan duvardan toprağa ısı transfer yüzey alanı 874,5 m², toprak üstünde olan ve hava ile temas halinde olan ısı transfer yüzey alanı 177 m² olarak hesaplanmıştır. 1. Bodrum katın mahal ile koridor arasındaki ısı transfer yüzey alanı 1125 m² ve kapılardan olan ısı transferinin yüzey alanı 47 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda 1. Bodrum kattan olan ısı transferinin aylara göre olan ısı yükü hesabının özeti Çizelge 5.8' de verilmiştir.

Çizelge 5.8: 1.bodrum kat için hesaplanan ısı yükü miktarı (W/ay).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık(°C)	7,84	8,88	11,35	14,00	14,34	9,89
Ortalama Toprak Sıcaklığı(°C)	9,54	9,50	10,89	13,92	15,37	11,93
ΔT_1 (İç-dış) (°C)	12,16	11,12	8,65	6,00	5,66	10,11
ΔT_2 (İç -koridor) (°C)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
ΔT_3 (İç-toprak) (°C)	10,46	10,50	9,11	6,08	4,63	8,07
Q_1 (İç-dış)	1011,24	924,71	719,90	499,46	471,08	841,45
Q_2 (İç-toprak)	3922,77	3904,48	4474,85	5720,66	6318,27	4901,79
Q_3 (İç-koridor)	1057,50	1057,50	1057,50	1057,50	1057,50	1057,50
Q_4 (Kapı-koridor)	263,20	263,20	263,20	263,20	263,20	263,20
Q_{toplaml}	6254,71	6149,89	6515,46	7540,83	8110,04	7063,94

Zemin kat, 1. Kat ve 2. Kat' ın tüm yüzeyleri hava ile temas halindedir. Zemin katın dış ortam ile temas halindeki ısı transfer yüzey alanı 1022 m², koridora bakan ısı transfer yüzey alanı 728,1 m² ve kapıdan koridora olan ısı transfer yüzey alanı 51,4 m² olarak hesaplanmıştır. Bu alanlar göz önünde bulundurularak Çizelge 5.9' da hesaplanmıştır.

Çizelge 5.9: Zemin kat için hesaplanan aylık ısı yükü miktarı (W/ay).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	7,84	8,88	11,35	14,00	14,34	9,89
ΔT_1 (İç-dış) (°C)	12,16	11,12	8,65	6,00	5,66	10,11
ΔT_2 (İç-koridor) (°C)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
ΔT_3 (Koridor-dış) (°C)	10,16	9,12	6,65	4,00	3,66	8,11
Q_1 (İç-dış)	5838,92	5339,27	4156,74	2883,91	2720,01	4858,51
Q_2 (İç-koridor)	684,41	684,41	684,41	684,41	684,41	684,41
Q_3 (Kapı-koridor)	287,84	287,84	287,84	287,84	287,84	287,84
Q_{toplaml}	6811,17	6311,53	5128,99	3856,17	3692,266	5830,768

1.Kata ait planlara göre, dış ortamla temas halinde olan ısı transfer yüzey alanı 1028 m², koridor ile olan ısı transfer yüzey alanı 1578,8 m² ve kapıdan koridora olan ısı transfer yüzey alanı 97,2 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda 1. Kat için aylık ısı yükü hesabı Çizelge 5.10' da verilmiştir.

Çizelge 5.10: 1.kat için hesaplanan aylık ısı yükü miktarı (W/ay).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	7,84	8,88	11,35	14,00	14,34	9,89
ΔT_1 (İç-dış) (°C)	12,16	11,12	8,65	6,00	5,66	10,11
ΔT_2 (İç-Koridor) (°C)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Q_1 (İç-dış)	5873,20	5370,62	4181,14	2900,84	2735,98	4887,04
Q_2 (İç-koridor)	1484,07	1484,07	1484,07	1484,07	1484,07	1484,07
Q_3 (Kapı-koridor)	544,32	544,32	544,32	544,32	544,32	544,32
Q_{toplam}	7901,59	7399,01	6209,53	4929,24	4764,34	6915,43

2. Kat için, hava ile transfer halinde olan ısı transfer yüzey alanı 851 m², koridor ile olan ısı transfer yüzey alanı 964,8 m² ve kapıdan koridora olan ısı transfer yüzey alanı 45 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda aylara göre ısı yükü ihtiyacı hesabı Çizelge 5.11' de verilmiştir.

Çizelge 5.11: 2.kat için hesaplanan ısı yükü miktarı(W/ay).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	7,84	8,88	11,35	14,00	14,34	9,89
ΔT_1 (İç-dış) (°C)	12,16	11,12	8,65	6,00	5,66	10,11
ΔT_2 (İç-koridor) (°C)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Q_1 (İç-dış)	4861,96	4445,91	3461,24	2401,38	2264,90	4045,59
Q_2 (İç-koridor)	906,91	906,91	906,91	906,91	906,91	906,91
Q_3 (Kapı-koridor)	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00
Q_{toplam}	6020,87	5604,82	4620,15	3560,29	3423,81	5204,50

5 kata ait iç mahalden dışarıya, iç mahalden koridora olan ısı yüklerinin yanı sıra, 1. Bodrum kattan itibaren binada bulunan avluya koridordan olan ısı transferinin de hesaplamaları yapılmıştır. Yapılacak ESM binası için avlu 20 m x 20 m x 20 m ölçülerindedir. Avlunun ön cephesinde, 1,16 m x 1,24 m boyutlarındaki pencerelerden 130 adet, 1,24m x 1,40 m boyutlarındaki pencerelerden 30 adet bulunmaktadır. Avlunun arka cephesinde, 1,16 m x 1,24 m boyutlarındaki pencerelerden 100 adet, 1,24 m x 1,40 m boyutlarındaki pencerelerden 20 adet bulunmaktadır. Avlunun sağ cephesinde, 1.16 m x 1.46 m boyutlarındaki pencerelerden 42 adet, 1,40 m x 1,46 m boyutlarındaki pencerelerden ise 6 adet bulunmaktadır. Binada avlunun sağ cephesi ile sol cephesi simetrik dizayn edildiği için sol cephede de 1,16 m x 1,46 m boyutlarındaki pencerelerden 42 adet, 1,40 m x 1,46 m boyutlarındaki pencerelerden ise 6 adet bulunmaktadır. Bu pencerelerin haricinde, avluda 1,40 m x 2,04 m boyutlarına sahip 24 adet pencere bulunmaktadır.

Binada avludaki pencereler haricinde dış cephelerde de pencereler bulunmaktadır. Her bir cephe için tüm pencerelerin ısı transfer yüzey alanı 1311,18 m² olarak tespit

edilmiştir. TS 825 standardına göre, pencerelerden olan ısı transferi için ısı iletkenlik katsayısı 2,8 W/m²K olarak belirtilmiştir.

Binanın dış yüzeylerinden olan ısı transferinin yanı sıra, temelden ve tavandan da ısı transferi gerçekleşmektedir. Temeldeki olan ısı transfer yüzeyleri toprakla temas halindedir. Binanın 53 m x 53 m' lik bir temele oturmaktadır. Bu durumda tabandan olan ısı transfer yüzey alanı 2809 m² olmaktadır. TS 825 standardına göre, temelden olan ısı transferleri için ısı iletkenlik katsayısı, 0,43 x 0,5' ten 0,215 W/m²K olarak tespit edilmiştir.

Binanın tavandan olan ısı transfer yüzey alanları hava ile temas halindedir. Bina 53 m x 53 m boyutlarına sahiptir fakat 20 m x 20 m' lik avlunun üstü açık olduğu için, tavandan olan ısı transfer yüzey alanı, 2409 m² dir. TS 825 standardına göre tavandan olan ısı transferi için ısı iletkenlik katsayısı, 0,3 x 0,8 yani 0,24 W/m²K olarak tespit edilmiştir.

Yukarıdaki veriler doğrultusunda, pencerelerden, avludan, temelden ve çatıdan olan ısı transferleri hesaplanmış ve Çizelge 5.12' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12: Pencere, avlu, temel ve çatı için hesaplanan aylık ısı yükleri miktarı (W/ay).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	7,84	8,88	11,35	14,00	14,34	9,89
Toprak Sıcaklıkları(°C)	9,54	9,50	10,89	13,92	15,37	11,93
ΔT_1 (İç dış) (°C)	12,16	11,12	8,65	6,00	5,66	10,11
ΔT_2 (İç-Toprak) (°C)	10,46	10,50	9,11	6,08	4,63	8,07
ΔT_3 (Koridordan Avluya)	10,16	9,12	6,65	4,00	3,66	8,11
Q ₁ (Temel Isı Transferi)	6314,68	6341,55	5503,47	3672,90	2794,80	4876,13
Q ₂ (Çatı Isı Transferi)	4535,20	5136,60	6559,95	8091,98	8289,26	5715,26
Q ₃ (Pencere)	44627,65	40808,78	31770,51	22042,15	20789,42	37134,28
Q ₄ (Koridordan Avluya)	22988,83	20634,23	15061,51	9063,29	8290,90	18368,64
Q _{toplam}	78466,36	72921,16	58895,44	42870,32	40164,38	66094,32

Böylece binanın tüm katları için ısı transferleri (ısı yükleri) hesaplanılmıştır. Aylara göre ısı yükü değerleri Çizelge 5.13' te özetlenmiştir.

Çizelge 5.13: Katlara göre gerçekleşen toplam ısı yükleri özeti (W/ay).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Kasım	Aralık
Q _{Bodrum2}	6724,71	6749,30	5982,48	4307,58	3504,15	5408,49
Q _{Bodrum1}	6254,71	6149,89	6515,46	7540,83	8110,04	7063,94
Q _{Zemin}	6811,173	6311,526	5128,992	3856,168	3692,266	5830,768
Q _{1.Kat}	7901,591	7399,01	6209,534	4929,237	4764,373	6915,429
Q _{2.Kat}	6020,869	5604,823	4620,149	3560,292	3423,814	5204,504
Q _{Ara Katlar ve Pencereleler}	78466,36	72921,16	58895,44	42870,32	40164,38	66094,32
Q Toplam	112179,42	105135,7	87352,05	67064,42	63659,03	96517,45

Bu ısıtma ihtiyacına ek olarak, her bir ay için %20' lik açıklık ve cephe kayıpları öngörülmektedir.

Çizelge 5.14: Açıklık kayıpları ve ısı kazançları ile katlara göre gerçekleşen ısı yükleri özeti (W/ay).

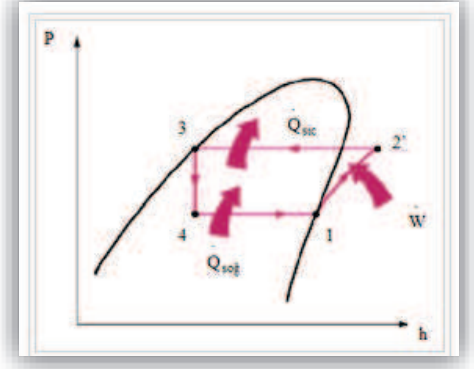
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Kasım	Aralık
Q _{Bodrum2}	6724,71	6749,30	5982,48	4307,58	3504,15	5408,49
Q _{Bodrum1}	6254,71	6149,89	6515,46	7540,83	8110,04	7063,94
Q _{Zemin}	6811,17	6311,53	5128,99	3856,17	3692,27	5830,77
Q _{1.Kat}	7901,59	7399,01	6209,53	4929,24	4764,37	6915,43
Q _{2.Kat}	6020,87	5604,82	4620,15	3560,29	3423,81	5204,50
Q _{Ara Katlar ve Pencereleler}	78466,36	72921,16	58895,44	42870,32	40164,38	66094,32
Q _{Toplam}	112179,4	105135,7	87352,05	67064,42	63659,03	96517,45
%20' lik Açıklık kayıpları dahil toplam ısı yükü	134615,3	126162,8	104822,5	80477,31	76390,83	115820,9

Tasarımda ele alınan binanın ısı kazançları ihmal edilerek toplam ısıtma ihtiyacı belirlenmiştir. Çizelge 5.14' e bakıldığında, yıllık ısıtma ihtiyacının en çok hissedileceği ay Ocak ayı olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle de sistemin maksimum ısıtma talebine yani Ocak ayına göre tasarlanması uygun olacaktır.

Tez kapsamında, mevcut ısıtma sistemine destek olmak amacıyla 90 kW' lık toprak kaynaklı ısı pompası tasarlanmıştır. Sistem için kompresöre giriş sıcaklığının 5 °C, çıkış sıcaklığının ise 35 °C olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda, kondensere giriş sıcaklığı da 35 °C olacaktır. Hal değişimi süresince sıcaklık ve basıncın sabit kaldığı bilindiğine göre kondenser çıkış sıcaklığı da 35 °C' dir. Kompresör çıkışında basıncı artmış soğutucu akışkan 35 °C' de kızgın buhar fazındadır. Bu bilgiler doğrultusunda lnP-h diyagramları (Şekil 5.5) ya da termodinamik çizelgeleri kullanılarak tespit edilmiştir. Tespit edilen entalpiler Çizelge 5.15' te belirtilmiştir.

Çizelge 5.15: Isı pompası sistemi için hesaplanan veriler.

	1	2	3	4
	Noktası	Noktası	Noktası	Noktası
Faz Durumu	Doymuş Buhar	Kızgın Buhar	Doymuş Sıvı	Islak Buhar
Sıcaklık (°C)	5	35	35	4,98
Basınç (kPa)	350,065	887,86	887,86	350,065
Entalpi (kJ/kg)	253,34	269,5	100,87	100,87



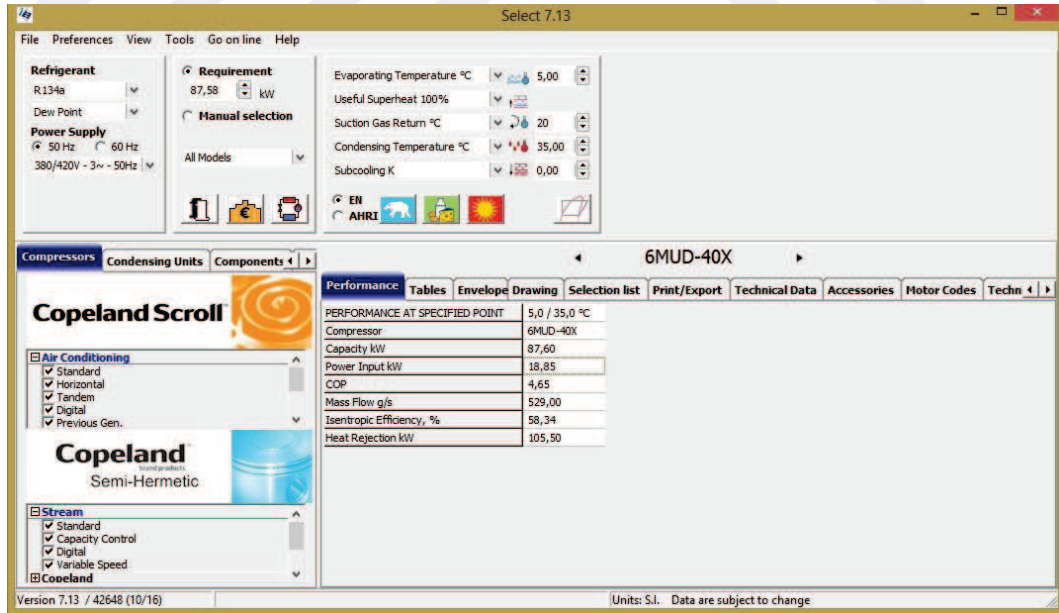
Şekil 5.5: İdeal ısı pompası çevriminin lnP-h diyagramı [Anonim].

Isı yükü hesabı ve yukarıdaki bağıntılardan yola

çıkılarak kondenserin gücü 88,01 kW olarak bulunmuştur. 4.14 denklemleri kullanılarak sistemde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi 0,5219 kg/sn olarak hesaplanır.

Kütleli debi değeri tespit edildikten sonra 4.16 bağıntısı kullanılarak evaporatörün toprak kaynağından çekmesi gereken ısı gücü 79,5741 kW olarak hesaplanır.

Sistemdeki soğutucu akışkanı 350,065 kPa basıncından 887,73 kPa sıkıştırarak kompresör *Select 7.13* programı yardımıyla seçilmiştir. Sistem parametreleri kompresör seçim programına girildiğinde programın kullanıcıya önerdiği kompresörün teknik özellikleri Şekil 5.6' da verilmiştir:



Şekil 5.6: Select 7.13 programında seçilen kompresörün teknik verilerine dair ekran görüntüsü.

Kompresöre verilmesi gereken teorik güç 4.17 denklemine göre 8,4339 kW olarak hesaplanmıştır. Kompresörün izentropik verimi %58,34 ve elektriksel verimin %76 kabul edildiğinde; kompresörün gerçek gücü 18,93 kW olarak hesaplanmıştır.

Programın verdiği gerçek kompresör gücüne bakıldığında 18,35 kW olduğu görülmektedir. Bu değer hesaplamalardan elde edilen 18,93 kW değerine oldukça yakındır. Böylece yapılan hesaplamalar ile kompresör seçim programının verdiği sonuçların birbirini desteklediği görülmektedir. Bu verilere göre COP_{IP} 4,65 olarak tespit edilmiştir.

Kondenser ve evaporatör boyutlandırılması için, kondenser ve evaporatör üreticisi olan *Alfa Enerji* firması firmasından yazılım/ simülasyon desteği sağlanmıştır. Firma tarafından sağlanan simülasyon sonuçları ile tez kapsamında hesaplanan değerlerin uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Böylece sonuçların doğrulaması da sağlanmıştır.

Sistemde, tasarım kolaylığı ve maliyet uygunluğu açısından gövde borulu evaporatör ve kondenser kullanılması uygun olacağı değerlendirilmektedir. Tasarlanan kondensere ait veriler Çizelge 5.16' da verilmiştir.

Çizelge 5.16: Isı pompası sistemi için seçilen kondenser özellikleri.

	Boru Tarafı (R134A)	Gövde Tarafı (Su)
Kütleli Debi (kg/sn)	0,5219	4,3056
Basınç (bar)	8,88	2
Dış Çapı (mm)	10	323,9
İç Çap (mm)	8,5	312,7
Et Kalınlığı (mm)	5,6	0,75
Basınç Düşümü (Pa)	32586	1047
İç Nozul	DN50	DN80
İç Nozuldaki Hız (m/s)	0,8083	5,268

Yapılan hesaplamalara göre evaporatör gücünün 79,57 kW olacağı tespit edilmiştir. Giriş ve çıkış sıcaklıklarına göre tasarlanan evaporatöre ait veriler Çizelge 5.17' de verilmiştir.

Çizelge 5.17: Isı pompası sistemi için seçilen evaporatör özellikleri.

	Boru Tarafı (Su)	Gövde Tarafı (R134A)
Kütleli Debi (kg/sn)	3,81	0,4111
Basınç (bar)	2	3,5
Dış Çapı (mm)	10	610
İç Çap (mm)	8,5	597,4
Et Kalınlığı (mm)	0,75	6,3

Kondenser ve evaporatör boyutlandırması tamamlandıktan sonra, toprak altındaki sistemin tasarlanması ve boru uzunluğunun saptanması gerekmektedir.

Çizelge 5.18: Isı pompası sisteminin ısıtma faktörünün hesaplanması.

Sıcaklık Aralığı (°C)	(A) Hava Verileri (h/yıl)	(B) Kayıp/Kazanç (kW/h)	(C=AxB) Toplam Isı Kaybı/Kazancı (kW/yıl)	(D) Isıtma Toplam Isı Kaybı (kW/yıl)	(E) Toplam Saatler (h/yıl)	F= D/E (kW/yıl)	F = G (kW/yıl)	(H) Cihazın ısıtma kapasitesi (kW)	I= F ₁
-5 - 0	276	78	21528						
0 - 5	804	62,56	50298,24	187.061,76	4066	46,01	46,01	90	0,53
5 - 10	1396	46,92	65500,32						
10 - 15	1590	31,28	49735,2						

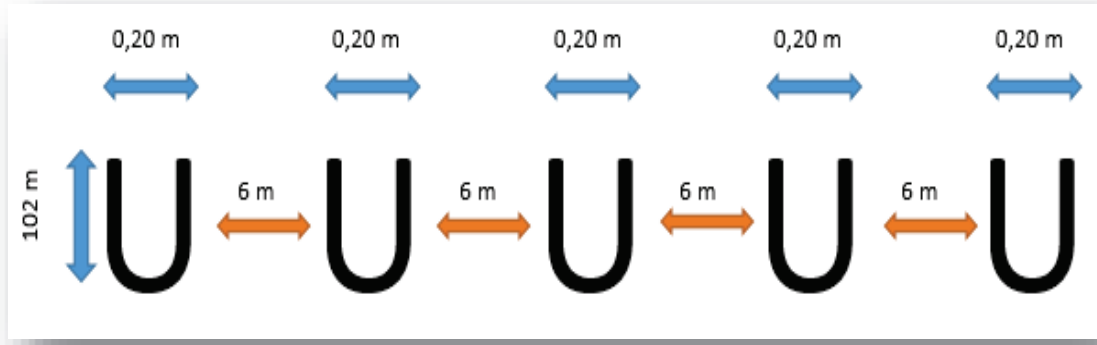
Çizelge 5.18’ de bir yıla ait sıcaklıkların frekansları (Hava Verileri, A) kayıp kazanç ile çarpılarak Toplam ısı kaybı/kazancı bulunur (C). Toplam saatler (E) ise hava datalarının toplamıdır. (F) değerini bulurken Isıtma toplam ısı kaybı toplam saatlere bölünür. Bulunan (F) değerini ise cihazın ısıtma kapasitesi olan 90 kW’ a bölünür. Sonucunda ısıtma çalışma faktörü bulunur.

Çizelge 5.19: Boru çapı ve uzunluklarına göre $L_{\text{ısıtma}}$ değerleri.

	3/4 "	1 "	2 "
COP	4,65	4,65	4,65
T_1 (°C)	12	12	12
T_{min} (°C)	4,98	4,98	4,98
R_t	0,17	0,159	0,098
R_t	0,6	0,57	0,5
F_1	0,51	0,51	0,51
$L_{\text{ısıtma}}$ (m)	30,44	28,76	22,58

Çizelge 5.19’ daki değerler kullanılarak 4.23 numaralı denklem yardımıyla 3 farklı boru çapı için kW başına uzunluk değerleri $L_{\text{ısıtma}}$ hesaplanır. $L_{\text{ısıtma}}$ kondenser kapasitesi (87,58) ile çarpılarak boru uzunlukları değerleri elde edilir.

Sistemde 2” boru kullanılacağı öngörülmektedir. Literatürdeki kaynaklara bakıldığında, bu tip ısı pompası sistemleri için her bir kuyunun ortalama genişliğinin 0,15 ila 0,20 metre arasında olduğu ve ısı transferinin doğru bir şekilde gerçekleşebilmesi için her bir kuyu arasında 6 metre bulunması gerektiği belirtilmektedir. Bu durumda Şekil 5.7’ de gösterildiği gibi derinliği 102 metre, her birinin genişliği 0,20 metre olan kuyulardan 10 adet açılması öngörülmektedir.



Şekil 5.7: Önerilen kuyu biçiminden bir kesit.

5.3 Yeşil Binalar İçin Elektrik Üretimi Sistemleri: Çatıüstü Fotovoltaik Sistemleri Uygulaması Analizi Sonuçları

i. Monokristal Tipi Panelin Analiz Sonuçları:

Monokristal panel kullanılan tasarımımıza dair sonuçlar Şekil 5.8-5.13' te gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Input Data		Parameters		Results	
Yalova Plane: tilt 30°, azimuth 0°		Area	1932.0 m ²	Nominal power	309 kW
		Module Cost	3.50 TRY/Wp	Annual Yield	400 MWh/yr
		Technology	Monocrystalline	Investment	3933468 TRY
				Energy cost	0.92 TRY/kWh
	Gl. horiz. kWh/m ² .day	Coll. Plane kWh/m ² .day	System output kWh/day	System output kWh	
Jan.	1.41	2.20	572.5	17748	
Feb.	1.81	2.38	617.5	17289	
Mar.	3.03	3.64	946.9	29354	
Apr.	4.69	5.12	1330	39890	
May	5.47	5.49	1426	44191	
June	6.33	6.06	1574	47232	
July	6.35	6.19	1808	49863	
Aug.	5.49	5.81	1509	46770	
Sep.	3.98	4.66	1211	36324	
Oct.	2.49	3.20	831.3	25770	
Nov.	2.03	3.20	830.1	24904	
Dec.	1.56	2.61	679.2	21056	
Year	3.73	4.22	1097	400392	

Şekil 5.8: Pvsyst programında monokristal sisteme dair detaylı sonuç değerleri ekran görüntüsü.

Şekil 5.8' de de görüldüğü gibi en yüksek çıkış enerjisi Haziran ve Temmuz aylarında olmaktadır. En düşük çıkış enerjisi ise Ocak ve Şubat aylarında görülmektedir.

Üretilen yıllık ortalama günlük enerjisi değeri ise, yaklaşık 1097 kWh/gün olmaktadır. Sistemden yılda toplam 400.392 kWh/yıl enerji üretilmektedir.

The screenshot displays the 'Results' window in Pvsyst software. It is divided into several sections:

- Input Data:** Location: Yalova, Plane: tilt 30°, azimuth 0°.
- Parameters:** Area: 1932.0 m², Module Cost: 3.50 TRY/Wp, Technology: Monocrystalline.
- Results:** Nominal power: 309 kW, Annual Yield: 400 MWh/yr, Investment: 3933468 TRY, Energy cost: 0.92 TRY/kWh.
- Economic gross evaluation (excluding taxes and subsidies):**

Module cost	1081920 TRY
Supports cost	1545600 TRY
Inverter and wiring	289800 TRY
Transport/Mounting	1016148 TRY
Total investment	3933468 TRY
Annuities	315632 TRY/yr
Maintenance costs	54195 TRY/yr
Total Yearly cost	369826 TRY/yr
Energy cost	0.92 TRY/kWh
- Currency:** Turkey, TRY.
- Loan:** Duration: 20 years, Rate: 5.0%, Ann. factor: 0.080.

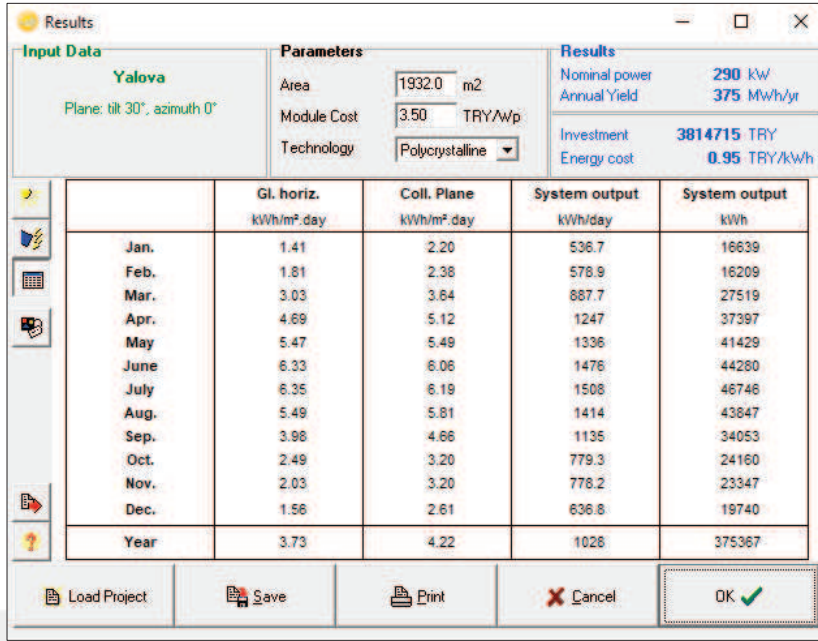
A warning message at the bottom of the economic evaluation section states: "These values should only be considered as an order of magnitude. More precise evaluations will be available with detailed simulation." The window includes buttons for 'Load Project', 'Save', 'Print', 'Cancel', and 'OK'.

Şekil 5.9: Pvsyst programında monokristal sistem yatırımına dair değerlendirmelerin ekran görüntüsü.

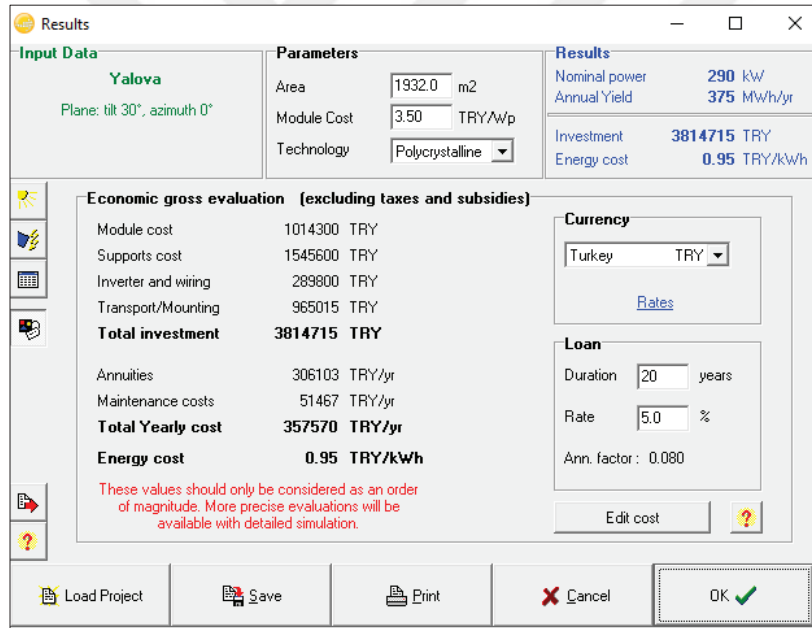
Şekil 5.9’ da ise, ekonomik analize dair bilgiler yer almaktadır. Buna göre, toplam 3.933.468 TL’ lik bir yatırım gerekmektedir. Bu yatırımla 1 kWh’ lık enerjinin maliyeti ise, yaklaşık olarak 0,92 TL olmaktadır.

ii. Polikristal Tipi Panelin Analiz Sonuçları:

Burada sadece hücre tipi, polikristal olarak değiştirilmiş ve analiz gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.10’ da polikristal panel sisteminin detaylı sonuçları gösterilmektedir. Enerji çıkış değerleri monokristaldekine benzerdir. Bununla birlikte, polikristal sistemin yıllık ortalama günlük çıkış enerjisi değeri ise, yaklaşık 1028 kWh/gün olmaktadır. Sistemden yılda toplam 375.367 kWh enerji üretilmektedir. Bu değerler, monokristal sistemden elde edilen değerlerden daha düşüktür.



Şekil 5.10: Pvsyst programında polikristal sistem sisteme dair detaylı sonuç değerleri ekran görüntüsü.

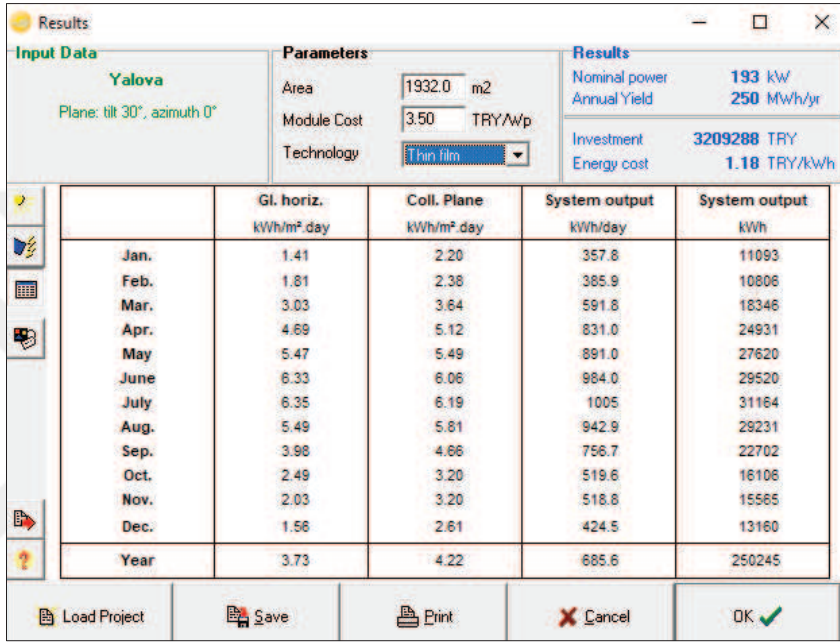


Şekil 5.11: Pvsyst programında polikristal yatırımına dair değerlendirmelerin ekran görüntüsü.

Şekil 5.11' de sistemin ekonomik analize dair bilgiler yer almaktadır. Buna göre, toplam 3.814.715 TL' lik bir yatırım gerekmektedir. 1 kWh' lık enerji üretiminin maliyeti ise, yaklaşık olarak 0,95 TL olmaktadır.

iii. İnce Film Tipi Panelin Analiz Sonuçları:

Analizde sadece hücre tipi, ince film olarak değiştirilmiştir. Şekil 5.12’ de ince film panel sisteminin detaylı sonuçları gösterilmektedir. Enerji çıkış değerleri monokristal ve polikristaldekine benzerdir. Bununla birlikte, ince film sistemin yıllık ortalama günlük çıkış enerjisi değeri ise, yaklaşık 685,6 kWh/gün olmaktadır. Sistemden yılda toplam 250.245 kWh enerji üretilebilmektedir. Bu değerler, monokristal sistemden elde edilen değerlerden çok daha düşüktür.



Results

Input Data
Yalova
Plane: tilt 30°, azimuth 0°

Parameters
Area: 1932.0 m²
Module Cost: 3.50 TRY/Wp
Technology: Thin film

Results
Nominal power: 193 kW
Annual Yield: 250 MWh/yr
Investment: 3209288 TRY
Energy cost: 1.18 TRY/kWh

	Gl. horiz. kWh/m ² .day	Coll. Plane kWh/m ² .day	System output kWh/day	System output kWh
Jan.	1.41	2.20	357.8	11093
Feb.	1.81	2.38	385.9	10806
Mar.	3.03	3.64	591.8	18346
Apr.	4.69	5.12	831.0	24931
May	5.47	5.49	891.0	27620
June	6.33	6.08	984.0	29520
July	6.35	6.19	1005	31164
Aug.	5.49	5.81	942.9	28231
Sep.	3.98	4.66	756.7	22702
Oct.	2.49	3.20	519.6	16108
Nov.	2.03	3.20	518.8	15585
Dec.	1.56	2.61	424.5	13160
Year	3.73	4.22	685.6	250245

Buttons: Load Project, Save, Print, Cancel, OK

Şekil 5.12: Pvsyst programında ince film sisteme dair detaylı sonuç değerleri ekran görüntüsü.

Şekil 5.13’ te sistemin ekonomik analize dair bilgiler yer almaktadır. Buna göre, toplam 3.209.288 TL’ lik bir yatırım gerekmektedir. 1 kWh’ lık enerji üretiminin maliyeti ise, yaklaşık olarak 1,18 TL olmaktadır.

Results

Input Data
Yalova
Plane: tilt 30°, azimuth 0°

Parameters
Area: 1932.0 m2
Module Cost: 3.50 TRY/Wp
Technology: Thin film

Results
Nominal power: 193 kW
Annual Yield: 250 MWh/yr
Investment: 3209288 TRY
Energy cost: 1.18 TRY/kWh

Economic gross evaluation (excluding taxes and subsidies)

Module cost	676200 TRY
Supports cost	1545600 TRY
Inverter and wiring	289800 TRY
Transport/Mounting	697688 TRY
Total investment	3209288 TRY
Annuitities	257522 TRY/yr
Maintenance costs	37210 TRY/yr
Total Yearly cost	294732 TRY/yr
Energy cost	1.18 TRY/kWh

These values should only be considered as an order of magnitude. More precise evaluations will be available with detailed simulation.

Currency
Turkey TRY

Loan
Duration: 20 years
Rate: 5.0 %
Ann. factor: 0.080

Buttons: Load Project, Save, Print, Cancel, OK

Şekil 5.13: Pvsyst programında ince film sistem yatırımına dair değerlendirmelerin ekran görüntüsü.

Çizelge 5.20’ de sistem analizinde elde edilen sonuçların özeti yer almaktadır. Bu sonuçlar en üretilen güç ve GÖS değerleri açısından uygun olan sistemin monokristal sistem olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.20: Monokristal, Polikristal ve İnce Film Teknoloji yatırımlarının analiz sonuçları özeti.

	Monokristal	Polikristal	İnce Film
Yıllık Elde Edilebilecek Enerji (MWh/yıl)	400	375	250
Yıllık Üretilen Enerjinin Mali Karşılığı (TL/Yıl)	184.480	172.950	115.300
Toplam Yatırım Maliyeti (TL)	3.933.468	3.814.715	3.209.288
Enerji Maliyeti (TL/kWh)	0,92	0,95	1,15
Sistem Ömrü (Yıl)	25	25	25
GÖS (Yıl)	21,32	22,06	27,83

5.4 Yeşil Binalar İçin Elektrik Üretimi Sistemleri: Mikro RES Uygulaması

Analizi Sonuçları

Yalova MGM' den 2016 yılına ait alınan saatlik rüzgar verileri ham verilerine istatistiksel yöntemler uygulanmıştır. 8701 veri içerisinde mod değeri 0,7 m/s, medyan değeri 1,3 m/s ve maksimum rüzgar hızı ise 6,4 m/s olarak elde edilmiştir. Bu verilerin görülme sıklığı ise Çizelge 5.21' deki gibidir.

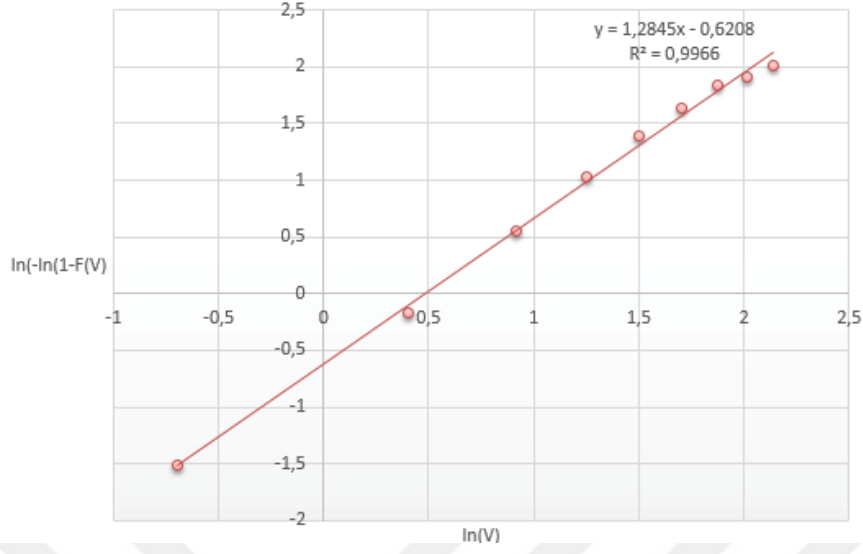
Çizelge 5.21: Ölçümlenen rüzgar hızlarının görülme sıklığı.

Rüzgar Hızı (m/s)	Frekans
1	3263
2	3477
3	1512
4	361
5	73
6	10
7	5
8	0
9	0
10	0

Ele alınan binanın konumunda gerçekleşen rüzgara Weibull Yöntemi uygulandığında elde edilen bilgiler Çizelge 5.22' deki gibi olmaktadır.

Çizelge 5.22: Rüzgar hızı ve frekans değerleri.

Rüzgar Hızı Aralığı (m/s)	V (m/s)	saat	Σsaat	Frekans (fi)	F(V)	ln(V)	ln(-ln(1-F(V)))
0-1	0,5	1728	1728	0,197260274	0,19726	-0,69315	-1,515379677
1-2	1,5	3282	5010	0,374657534	0,571918	0,405465	-0,164355833
2-3	2,5	2209	7219	0,25216895	0,824087	0,916291	0,55259943
3-4	3,5	1010	8229	0,115296804	0,939384	1,252763	1,030757756
4-5	4,5	378	8607	0,043150685	0,982534	1,504077	1,398102683
5-6	5,5	101	8708	0,01152968	0,994064	1,704748	1,634463634
6-7	6,5	35	8743	0,003995434	0,998059	1,871802	1,831739163
7-8	7,5	7	8750	0,000799087	0,998858	2,014903	1,913293401
8-9	8,5	5	8755	0,000570776	0,999429	2,140066	2,010695953



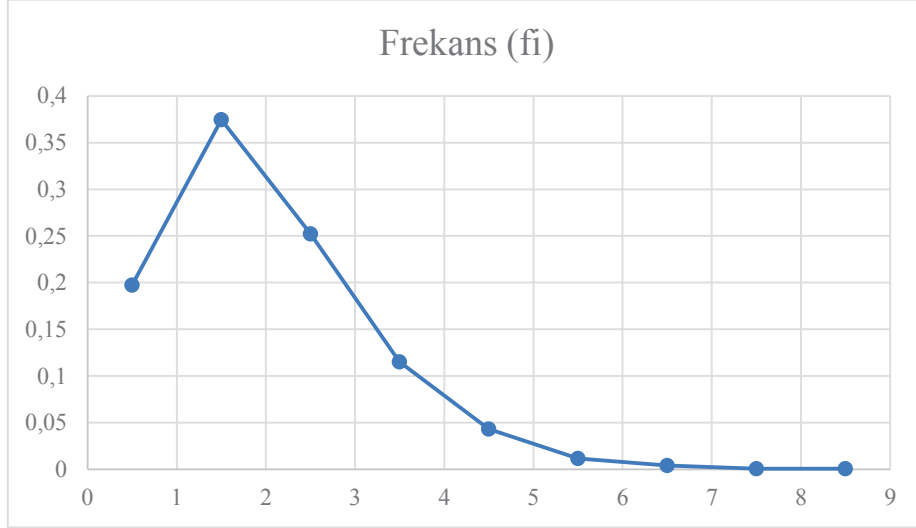
Şekil 5.14: Ele alınan binanın $\ln(V)$ - $\ln(-\ln(1-F(V)))$ dağılımı.

Ele alınan bina için k ve c değerleri Şekil 5.14' teki gibidir: Eğri uydurma tekniği ile $y = 1,2845x - 0,6208$ ve $R^2 = 0,9966$ denklemleri elde edilmiştir. Buradan k değeri 1,2845 ve c değeri 1,621418 olarak bulunmuştur. Bu değerleri kullanarak Weibull fonksiyonu, V , V_{rmc} değerleri Çizelge 5.23' teki gibidir:

Çizelge 5.23: Weibull fonksiyonu, V ve V_{rmc} değerleri.

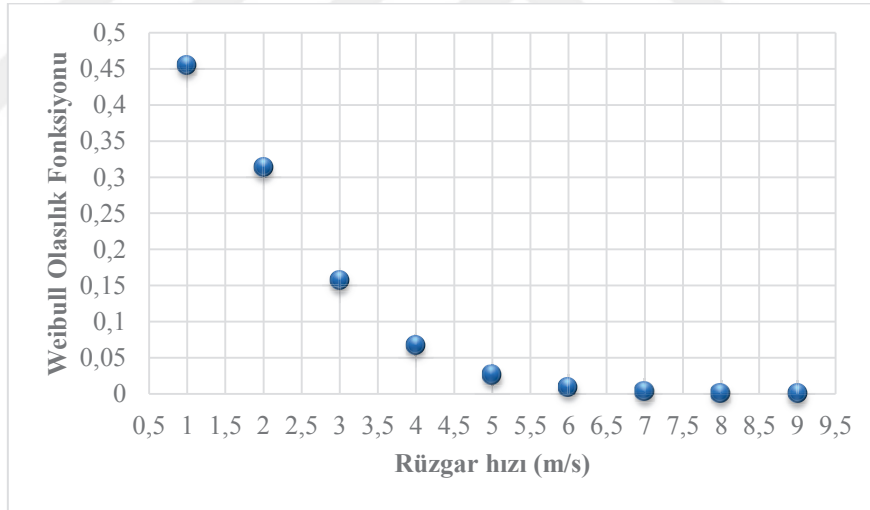
Rüzgar Hızı Aralığı (m/s)	0-1
Weibull $f(V)$	0,454623
n	3,3355
$\Gamma(n)$	2,7839
V_m	1,5008
V_{rmc}	2,2809
V_{mod}	1,5008
$V_{E,max}$	3,3676

Rüzgar hızı- Frekans dağılımı ise Şekil 5.15' te verilmiştir. Rüzgar hızı- Frekans dağılımı grafiğine bakıldığında, 1- 4 m/s hızlara kadar logaritmik bir artış gözlenirken 4 m/s' den sonra 6 m/s hıza kadar hafif bir artış gösterdikten sonra frekans değeri değişmemektedir.



Şekil 5.15: Rüzgar hızına bağlı frekans değişimi.

Rüzgar hızına bağlı Weibull olasılık fonksiyonunun değişimi Şekil 5.16’ da gösterilmektedir. 1- 1,5 m/s hızları arasında olasılık fonksiyonu lineer olarak artış eğiliminde iken 1,5 m/s’ den sonra olasılık fonksiyonu logaritmik olarak 0 değerine ulaşmaktadır.



Şekil 5.16: Rüzgar hızına bağlı Weibull olasılık fonksiyonu değişimi.

Çizelge 5.24: Rüzgar gücü potansiyeli, enerji potansiyeli ve teorik üretilebilir enerji.

Rüzgar gücü potansiyeli, E_D (W/m ²)	7,268
Enerji potansiyeli, E_I (kWh/m ² -yıl)	63,671
Teorik üretilebilir Enerji, $E_I \times \text{betz}$ (kWh/m ² -yıl)	37,566

Burada Betz limiti 0,59 olarak kabul edilmiştir.

5.5 Yeşil Binalar İçin Verimli Aydınlatma Sistemleri Tasarımı Sonuçları

Keşif sırasındaki gözlem ve elektrik projesinden aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir:

- Yalova Üniversitesi Merkez Yerleşkesi'nde hali hazırda kullanımda olan idari ve eğitim binalarında yapılan çalışma neticesinde genellikle ofis ve dersliklerde ATY2-4x18 Watt dekoratif floresan aydınlatma tipi kullanıldığı tespit edilmiştir. Bunun yanında bodrum katlarda yoğunlukla U2x36 Watt floresan armatür, tuvaletlerde ise PL1x18 Watt kare armatür merdivenler aydınlatmasında ise S tipi 20 Watt'lık sensörlü armatür kullanılmıştır. Merdiven ve tuvaletlerdeki aydınlatmalarda armatür tipleri için sensör özellikli olanından kullanımı; ofis, derslik ve koridorlarda kullanılan ATY2-4x18 Watt armatürlerde ise, mekânın niteliğine göre normal aydınlatma sortisi, komütatör aydınlatma sortisi, vavien aydınlatma sortisi kullanılmıştır.

Keşif sırasında ölçümlerle şu tespitler yapılmıştır:

- Bina aydınlatmasının genel itibari ile gerekli aydınlatma değerlerini yakaladığı görülmüştür.
- Binanın bazı noktalarındaki armatürlerin yanlış konumlandırıldığı gözlemlenmiştir.
- Bazı sensörlerin çalışmadığı görülmüştür.
- Bazı mahallerdeki aydınlatmanın yetersiz olduğu tespit edilmiştir.
- Aydınlatma enerjisinin çoğunu tüketen eski tip ATY2-4x18 armatürüdür.

Yapılan bu tespitler doğrultusunda, yapılması planlanan ESM bölümü binası için yukarıdakilere ek olarak dikkat edilmesi gereken en önemli noktanın armatürlerin yeni teknoloji led ürünlerinden tercih edilmesi gerektiğidir. 22W ve 27W Vestel - Pro Plus Panel 60x60 armatürlerin “Kat 1 holü, Z11-Derslik 8, Z17-Derslik 13, Z15-Derslik 11, 1B15-Derslik 3-Polimer Araş. Lab.3, 1B13- Derslik 1-Polimer Araş. Lab.1, 128-Araş. Gör. ve 116- Dr. Öğretim Üyesi” odalarına uygulanması ile ilgili aydınlatma simülasyonları **EK B.1 ve EK B.2'** de verilmiştir.

Simülasyonlarda, yapılması planlanan binada eski tip ATY2-4x18 armatürlerin yerine led tipi armatürlerin kullanılmasının verimliliğe katkısının önemli derecede olacağı görülmüştür. ATY2-4x18 elektronik balastlı lambaların yerine led teknolojili 22W ve

27W Vestel - Pro Plus Panel 60x60 (Şekil 5.17) ürünlerinin ihtiyaç duyulan aydınlatmayı daha verimli bir şekilde karşılayabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.17: Vestel Pro Plus Panel 60x60 ürünü.

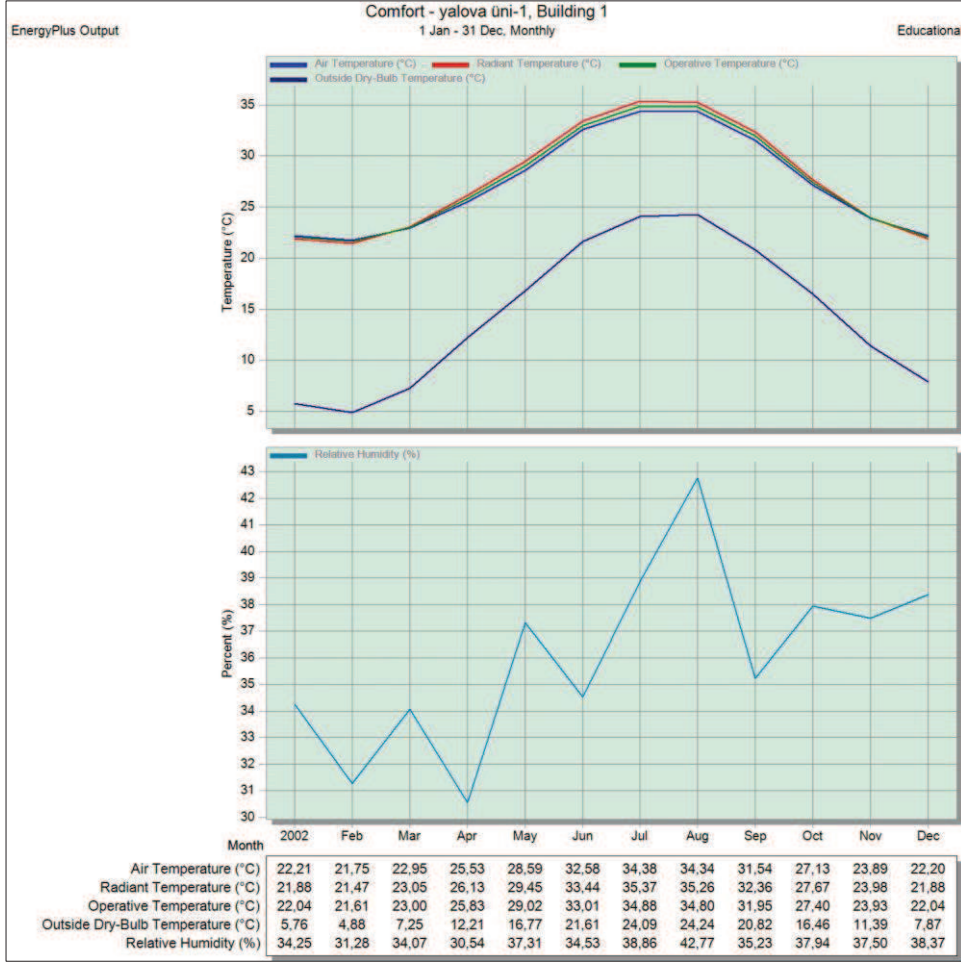
Örneğin; mevcut 911 adet ATY2-4x18 elektronik balastlı lambaların yerine led teknolojili 22W ve 27W Vestel-Pro Plus Panel 60x60 kullanıldığında benzer nitelikteki aydınlatma performansı, led armatürler ile daha az güç tüketerek sağlanabilmektedir. Diğer yandan, led armatürler daha uzun ömürlüdür ve bakım maliyeti daha düşüktür. Diğer gider kalemlerinin ihmal edilerek yalnızca tasarruf potansiyeli ve 991 adet led armatür alımı kalemleri işleme alınarak geri ödeme süresine (GÖS) bakıldığında ise, yatırım oldukça makul olarak karşımıza çıkmaktadır (Çizelge 5.25).

Çizelge 5.25: ATY2 4x18W ve led armatürlerin kullanılması durumu.

Armatür tipi	İhtiyaç duyulan adet	Güç (kW)	Kullanım ömrü (saat)	Adet fiyatı (TL)	Çalışma saati	Tüketim (aylık)	Tüketim maliyeti (TL/ay)	Tasarruf potansiyeli (TL/ay)	GÖS (ay)
ATY2 4x18W	911	0,08	12000	70	8	11660,8	3666,412	-	-
22W Pro Plus Panel 60x60	911	0,022	50000	133	8	3206,72	1008,263	2658,149	0,022
27W Pro Plus Panel 60x60	911	0,027	50000	150	8	3935,52	1237,414	2428,998	0,018

5.6 Yeşil Bina Uygulamalarında İklimlendirme Sistemlerinin DesingBuilder Yazılımı İle Analizi Sonuçları

Model 1’ deki duruma göre binanın konfor şartları Şekil 5.18’ deki gibidir:



Şekil 5.18: Simülasyondaki Model 1’ in aylık konfor şartları durumu.

Grafığe bakıldığında, Yalova ilinde daha çok sıcak ayların (Mart- Ekim) hakim olduğu görülmektedir. Kışın ortalama sıcaklık değerlerinin en düşük 5 °C’ lere, yazın ise en fazla 24 °C’ lere olduğu görülmektedir. Bu durum, yazın soğutma ihtiyacının kışın ısıtma ihtiyacından daha fazla olacağını göstermektedir.

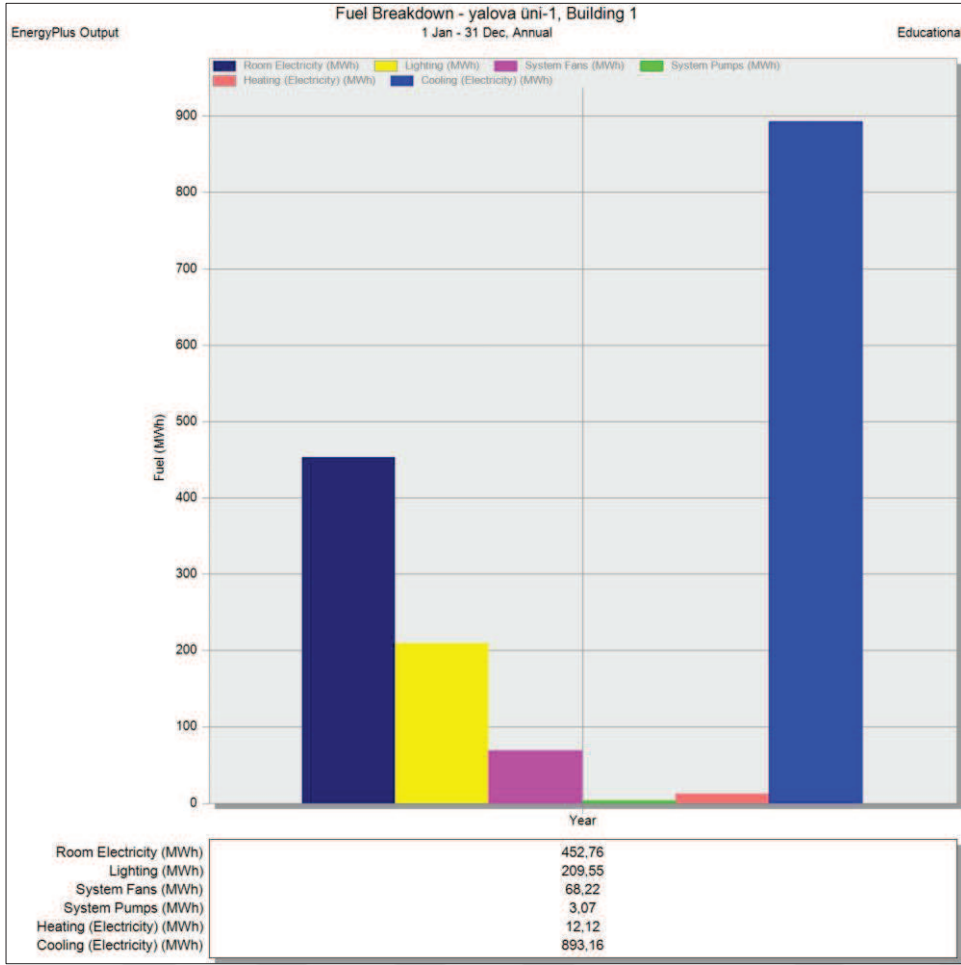
Model 1’ deki duruma göre binanın yıllık enerji tüketimi ise Şekil 5.19’ daki gibi olmaktadır:



Şekil 5.19: Simülasyondaki Model 1' in aylara göre yıllık enerji tüketimi (MWh/yıl).

Model 1' deki iklimlendirme sistemi ile yıllık toplam 1640 MWh enerji tüketimi gerçekleşmektedir. En fazla enerji (elektrik) tüketimi Nisan- Ağustos ayları arasında görülmektedir. Bu aylar Yalova ilinde en fazla soğutma ihtiyacının duyulduğu aylardır. Yalova ilinde kışlar çok sert geçmediği için ısıtma ihtiyacı soğutmanınki kadar yüksek olmamaktadır.

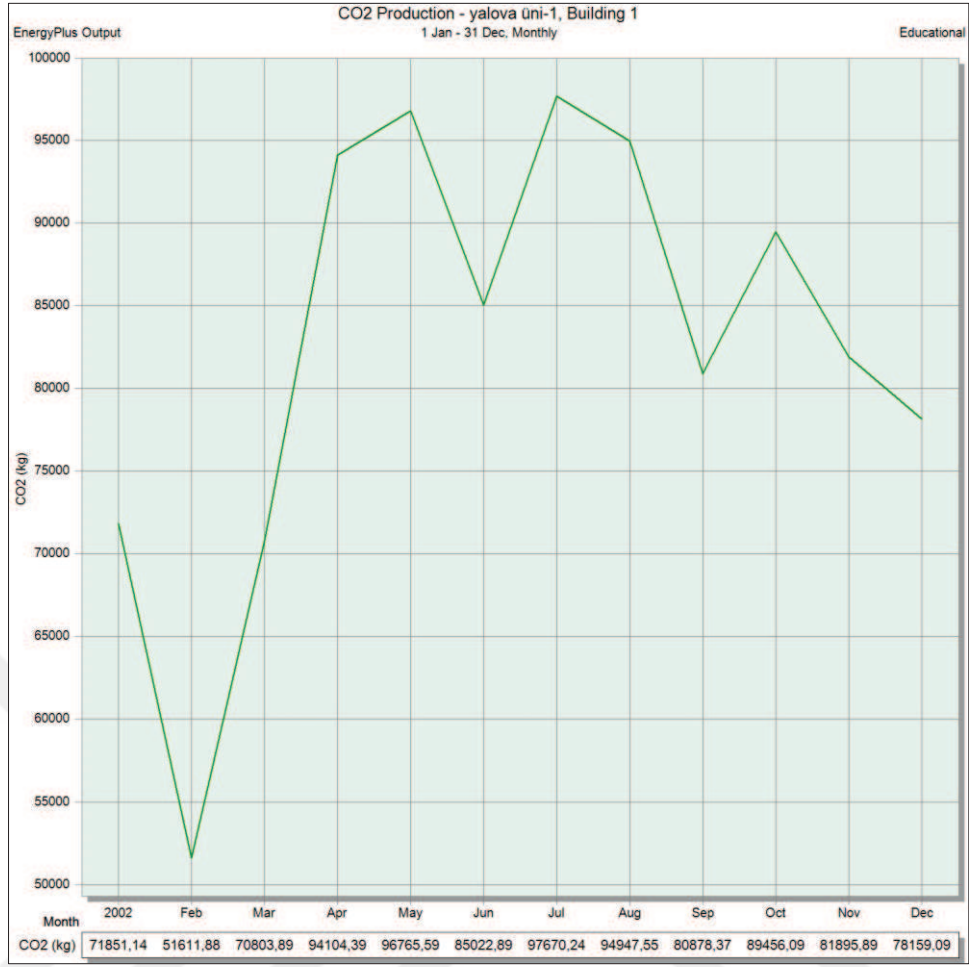
Model 1' deki koşullara göre binanın enerji tüketimi dağılımları Şekil 5.20' deki gibi olmaktadır:



Şekil 5.20: Model 1’ deki koşullarda binanın enerji tüketimi dağılımları (MWh/ yıl).

Enerji tüketimi dağılımlarına bakıldığında, 893, 16 MWh/yıl ile en fazla soğutma için enerjiye ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Isıtma için ihtiyaç duyulan ihtiyaç ise 12,12 MWh/yıl’ dır. Bu sonuçlar Yalova ilinin iklim şartları ile paralellik göstermektedir.

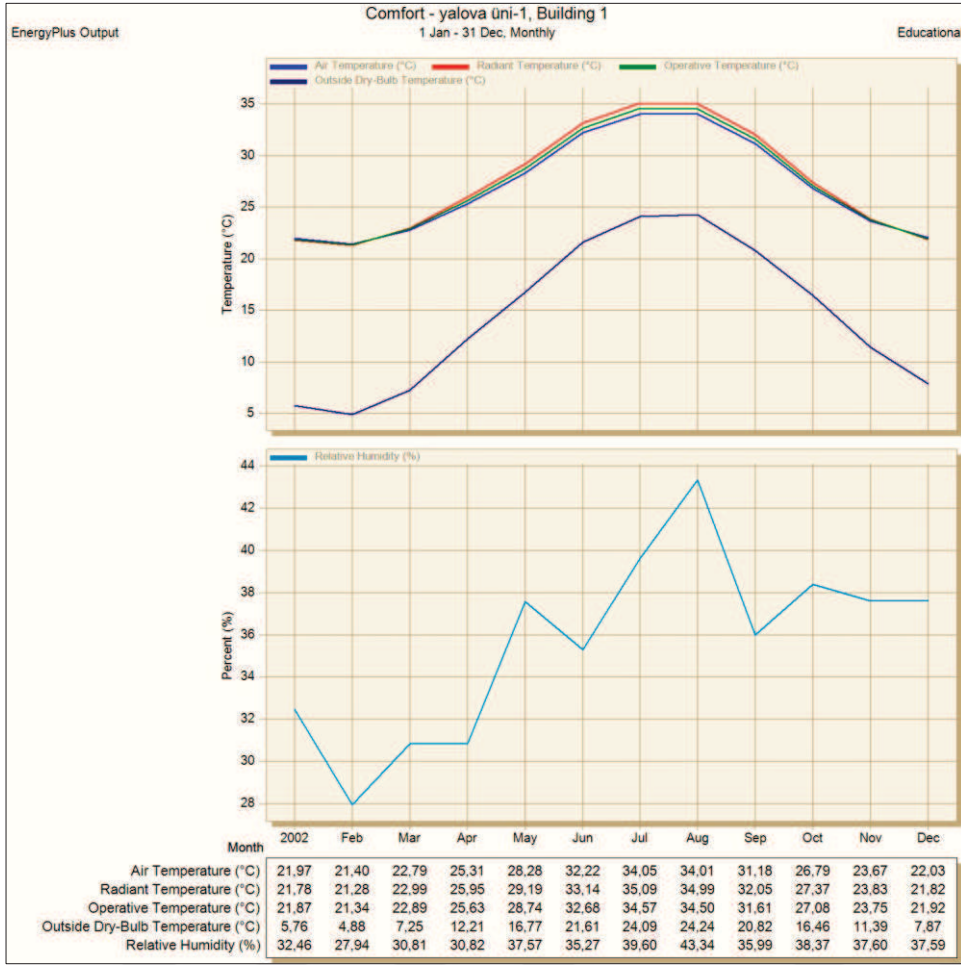
Model 1’ deki koşullarda binanın yıllık CO₂ üretimi ise Şekil 5.21’ deki gibi olmaktadır:



Şekil 5.21: Simülasyondaki Model 1' in aylara göre yıllık CO₂ üretimi (kg/yıl).

Şekil 5.21' de görüldüğü gibi CO₂ üretimi grafiği enerji tüketimi ile grafiği ile paralel bir seyir izlemektedir. En fazla enerji tüketimi yapılan Nisan- Ağustos aylarında CO₂ üretimi en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Yıllık toplam CO₂ üretimi ise 990 Ton olmaktadır.

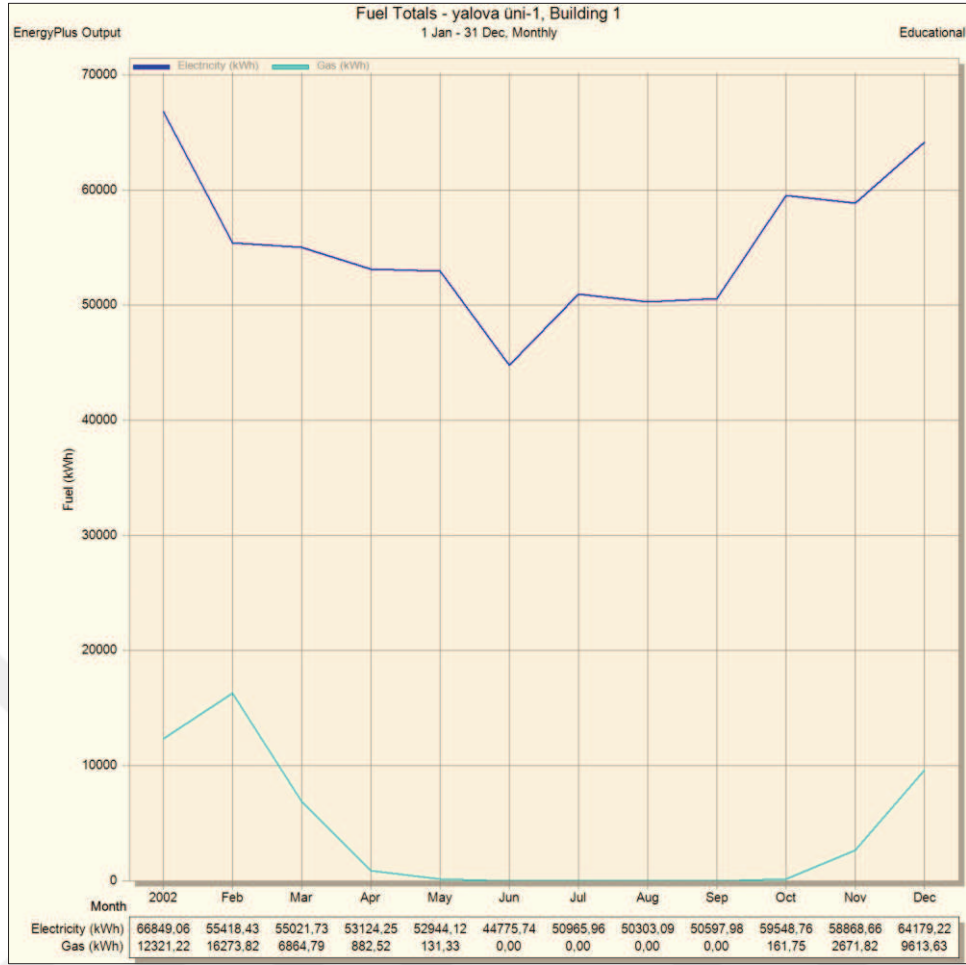
Model 2' deki koşullara göre binanın konfor şartları Şekil 5.22' deki gibi olmaktadır:



Şekil 5.22: Simülasyondaki Model 2' nin aylara göre konfor şartları.

Model 1'in konfor şartlarına dair Şekil 5.18 ile Model 2' nin konfor şartlarına dair Şekil 5.22' ye bakıldığında, konfor şartları değerlerinde çok az bir farklılık olduğu ve grafiklerin çok benzer bir seyir izledikleri görülmektedir.

Model 2' deki koşullara göre binanın aylara göre yıllık enerji tüketimi ise Şekil 5.23' teki gibi olmaktadır:

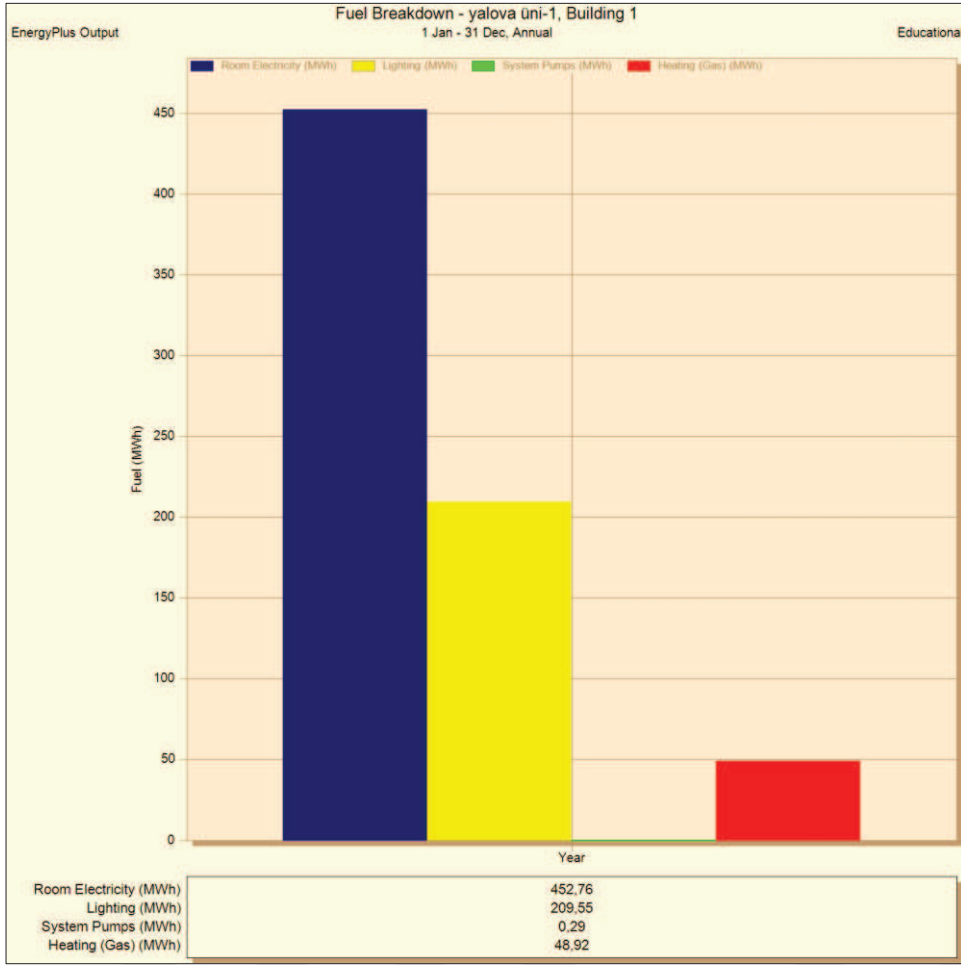


Şekil 5.23: Simülasyondaki Model 2' nin aylara göre yıllık enerji tüketimi (kWh/yıl).

Model 2' de kullanılan KRI sistemi sadece ısıtma yapmakta ve soğutma için ayrı bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan analizde ayrı bir soğutma sistemi dahil edilmediğinden Model 2' deki enerji tüketim değerleri Model 1' deki değerlerden çok daha düşük olmaktadır.

TKIP ve KRI sisteminin ısıtma durumlarına bakıldığında ise, aynı konfor şartları için KRI sistemi 48,92 MWh/yıl enerji harcarken TKIP sistemi 12,12 MWh/yıl harcamaktadır. Görüldüğü gibi, TKIP sistemi KRI sistemine göre yaklaşık %75 daha az enerji tüketmektedir.

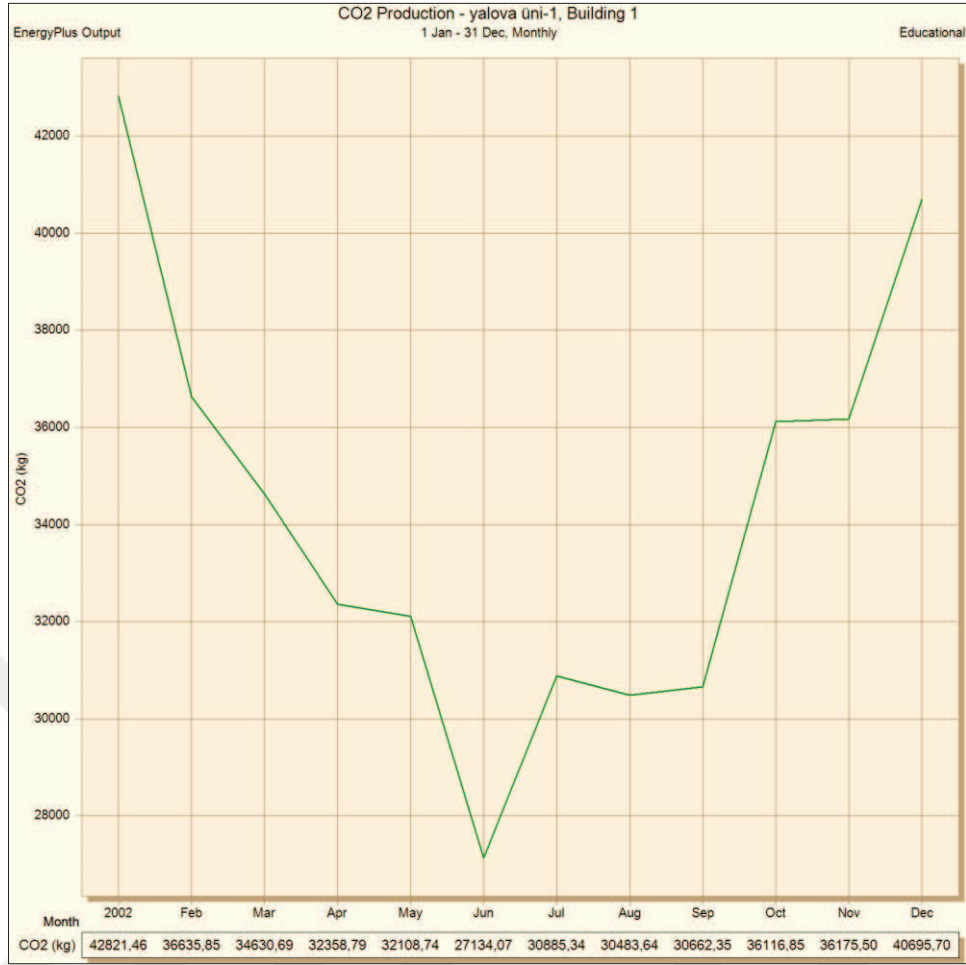
Model 2' deki koşullara göre binanın enerji tüketimi dağılımları Şekil 5.24' teki gibi olmaktadır:



Şekil 5.24: Model 2' deki koşullara göre binanın enerji tüketimleri dağılımı (MWh/ yıl).

Model 2' deki yıllık toplam enerji tüketimi 711,52 MWh/yıl olmaktadır. Enerji tüketimi dağılımlarına bakıldığında, 452,76 MWh/yıl ile en fazla elektrikli alet kullanımında olduğu tespit edilmiştir. Isıtma için ihtiyaç duyulan ihtiyaç ise 48,92 MWh/yıl' dır.

Model 2' deki duruma göre binanın aylara göre yıllık CO₂ üretimi ise Şekil 5.25' teki gibi olmaktadır:



Şekil 5.25: Simülasyondaki Model 2' nin aylara göre yıllık CO₂ üretimi (kg/yıl).

Model 2' deki sistemin yıllık toplam CO₂ üretimi 410,71 Ton olmaktadır. En düşük CO₂ üretimi Haziran ayında, en yüksek CO₂ üretimi ise Ocak ayında görülmektedir. Model 1' de CO₂ üretimi grafiği Model 2' deki grafikten oldukça farklıdır. Model 1' de en düşük CO₂ üretimi Şubat ayında, en yüksek CO₂ üretimi ise Temmuz ayında görülmektedir. Aylara göre CO₂ üretimi Model 1' de Model 2' deki değerlerden daha fazla olmaktadır. Bu durum yine, Yalova ilinin sıcak bir iklime sahip olmasından, binaların daha çok soğutulmasına ihtiyaç duyulmasından ve Model 2' deki simülasyona soğutma sistemi dahil edilmemesinden kaynaklanmaktadır. Model 2' ye klima gibi bir soğutma sistemi eklenildiğinde CO₂ üretimi değerlerin daha yüksek değerlere çıkacaktır.

İki modelin enerji tüketimleri ve CO₂ üretimlerinin karşılaştırılması Çizgelde 5.26' da özetlenmiştir:

Çizelge 5.26: Simülasyondan Model 1 ve Model 2 için elde edilen değerlerin özeti.

Durum	Enerji Tüketimi Dağılımları	Enerji Tüketimi (MWh/yıl)	CO ₂ Üretimi (Ton/yıl)
Model 1 (TKIPS)	Elektrikli aletler	452,76	
	Aydınlatma	209,55	
	Sistem fanları	68,22	
	Sistem pompaları	3,07	
	Isıtma (Elektrik ile)	12,12	990
	Soğutma (Elektrik ile)	893,16	
	Toplam	1640 (elektrik)	
Model 2 (KRIS)	Elektrikli aletler	452,76	
	Aydınlatma	209,55	
	Sistemin pompaları	0,29	410,71
	Isıtma (Gaz ile)	48,92	
	Toplam	711,52	

6. DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER

Küresel ölçekte enerji kaynaklarına olan ulaşım sıkıntısı, bilinçsiz tüketimle hızla artış gösteren ve çeşitlenen çevre sorunları her geçen gün daha da büyüyerek karşımıza çıkmaktadır. Günümüze kadar tüketilen doğal kaynakların geri dönüşümü de söz konusu değildir. Bu durumun üstesinden gelebilmek için bulunan çözümlerden biri “sürdürülebilirlik felsefesi” ve bunun binalarda uygulaması olan “yeşil binalar” kavramı tüm ülkelerin üzerinde durması ve yaygınlaştırması gereken bir konudur. Çalışma kapsamında da, sahip olduğumuz teknolojilerle ekolojik dengeye en uygun olan bina yapımının Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı ile Yeşil Bina konsepti çerçevesinde yapılması gerekliliği sonucuna varılmıştır.

Bu tez kapsamında, ESM bölümü binasına mühendislik bakış açısı ile “yeşil bina konsepti” uygulanmaya çalışılmıştır. Özellikle bir kamu binası ele alınarak kamunun bu konuda lokomotif rolünün olduğuna dikkat çekilmek istenmiştir. Diğer yandan, yeşil bina sertifika sistemlerinin kategorileri incelenmiş, sertifikaların birbirleriyle olan farklı ve ortak özellikleri göz önüne serilerek kriterler arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Kıyaslama sonucunda “su ve enerji” başlıklarının sertifikalandırma çalışmalarında en çok puan getiren kriterlerden olduğu tespit edilmiştir.

Artan enerji ve su talebinin karşılanabilmesi önemli bir husustur. Bu ihtiyaç karşılanırken sürdürülebilir teknolojiler kullanmak kritik bir önem taşır. Fakat daha da önemlisi sürdürülebilir teknolojiyi kullanabileceğimiz kritik alanların tespit edilmesi ve alternatiflerin geliştirilmesidir. Kritik alanların tespit edilmesinde kaynaklarımızın büyük bir kısmını tükettiğimiz binaların, en çok odaklanması gereken noktalardan olduğu bir kez daha gösterilmiştir.

Su verimliliği üzerine yapılan çalışmalar ile şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- ✓ Ele alınan binanın çatısından (2941,8 m² den) yıllık 13 bin TL ve 8470 litre su tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır. Üniversite bünyesindeki tüm binaların 2014 yılındaki toplam fiziksel alanı 102.102 m² dir. Bu alan, tez kapsamında ele alınan alanın yaklaşık 34 katıdır. Bina alanı ile tasarruf potansiyelinin lineer

olarak artıyor olması göz önüne alındığında üniversitenin toplam tasarruf potansiyeli yaklaşık olarak 442 bin TL/yıl olmaktadır. Bu sonuçlar ise, üniversitenin Yeşil Kampüs hedefi için ortaya konulan yöntemin fayda sağlayabileceğini göstermektedir. Türkiye geneline bakıldığında ise, TÜİK' nin 2000 yılında yapmış olduğu sayıma göre belediye sınırları içerisinde 16.235.830 adet bina bulunmaktadır ve ülkemizde bina sayıları artan bir eğilim göstermektedir. Türkiye'de bu model ve benzeri sürdürülebilir su yönetimi uygulamaları yapıldığında ciddi miktarda su ve mali tasarruf potansiyelinin olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, sürdürülebilir su yönetimi uygulamaları yapıldığında ülke kalkınmasına önemli katkı sağlanabileceğini ortaya koymaktadır.

- ✓ Su yönetiminin etkin bir şekilde gerçekleştirebilmesi için tasarımın yanı sıra, devlet politikası boyutu da vardır. Bu boyutta ülkelerdeki siyasi mekanizmalar, binalarda su korunumuna ilişkin kriterlerin belirlenerek yaygınlaştırılabilmesi için teşvikler getirmelidir. Binalarda su tüketiminin azaltılmasına ilişkin susuz pisuar, çift akışlı rezervuar, perlatörlü duş ve musluk başlıkları kullanımının yaygınlaştırılmasını teşvik etmelidirler. Yeni binalarda, su tasarrufu sağlayan bu ürünlerin kullanımının zorunlu olması, mevcut binalarda ise sağlık gereçleri ve akış organları elemanlarının, su tasarruflu ürünler ile belli bir süre içerisinde değiştirilmesi için yönetmelikler hazırlanmalıdır. Devletler, binalarda yağmur suyu kullanım sistemleri ve kullanılmış suların (gri suların) arıtılarak kullanılması konularında tasarım ve uygulamalara ilişkin standart ve yönetmeliklerin oluşturmalıdırlar. Bu konuda, sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılması için vergi indirimleri vb. yöntemlerle finansal teşviklerin yapılması da sağlanabilir. Böylelikle, teknik ve teşvik boyutun sürdürülebilirlik anlayışı ile uygulanması sonucunda geleneksel binaların sebep olduğu çevresel, sosyal ve ekonomik sıkıntıların azaltılmasına önemli derecede katkı sağlayacaktır.

Isı pompası sistemi tasarımı çalışmaları sonucunda şu tespitler yapılmıştır:

- ✓ ESM bölümü binasının ısıtma ihtiyacını karşılamaya yardımcı olmak için toprak kaynaklı ısı pompası sistemi önerilmiştir. Bu amaçla 90 kW' lık toprak kaynaklı bir ısı pompası sistemi tasarlanmıştır. Sisteme dışarıdan verilecek

kompresör gücü 18,93 kW tespit edilmiştir. Tasarlanan sistemin performans tesir katsayısı 4,65 olarak tespit edilmiştir.

Çatı üstü fotovoltaik sistemi uygulamasına dair çalışmalar sonucunda şu tespitlere ulaşılmıştır:

- ✓ Yalova ili ve Yalova Üniversitesi yerleşkesi güneş enerjisi potansiyeli bakımından yatırım için uygun durumdadır. Monokristal, polikristal ve İnce film uygulamalarından sırasıyla yaklaşık olarak yıllık 400: 375: 250 MWh enerji üretilmektedir. Üretilen bu enerjilerin mali karşılığı ise sırasıyla 184.480: 172.950: 115.300 TL/yıl olmaktadır.
- ✓ Monokristal panel sistemin toplam yatırım maliyeti 3.933.468 TL, Polikristal panel sistemin toplam yatırım maliyeti 3.814.715 TL, İnce film panel sistemin toplam yatırım maliyeti ise 3.209.288 TL' dir. Sistemlerin GÖS değerleri ise sırasıyla yaklaşık olarak 21,3: 22: 27,8 yıldır.
- ✓ Bununla birlikte enerji üretimi beklentisini bir miktar düşürerek daha az yatırım maliyetine sahip olan polikristal teknolojisi de tercih edilebilir. İnce film teknolojisindeki en olumsuz yön, birim alandan üretilen enerjinin monokristal ve polikristale göre düşük olmasıdır. Öte yandan, ince film panellerin piyasada bulunabilirliğinin ve uygulayıcılarının az olması da bir diğer olumsuz yöndür.
- ✓ Yapılan analizler sonucunda monokristal, polikristal ve ince film teknolojilerinden yatırım için en uygun olanı monokristal olarak tespit edilmiştir.
- ✓ Ele alınan binanın yıllık enerji tüketimi yaklaşık olarak 155,830 MWh olarak öngörülmüştür. Ele alınan üç fotovoltaik sistem de bu ihtiyacı fazlasıyla karşılayabilecek durumdadır. Her üç sistem için de üretilen enerjinin fazla olan kısmı diğer binalara verilebilir, böylece sistem çok daha verimli şekilde kullanılabilir.
- ✓ Güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarından çok daha büyük bir kullanılabilirliğe sahiptir. Her geçen gün gelişen teknolojilerle birlikte ülkeler bu enerjiye daha ciddiyle yönelmektedirler.

Mikro RES uygulamasına dair çalışmalar sonucunda şu tespitler yapılmıştır:

- ✓ Ölçümlenen yer Yalova Üniversitesi' nin tam konumuna ait değildir, bu yüzden hesaplamalar bir öngörü şeklindedir. Yerleşkenin bulunduğu yerdeki rüzgar hızı ve rüzgar gücü potansiyeli burada ele alınan değerlerden daha yüksek olacaktır.
- ✓ $V(m)$ değeri yaklaşık 1,5, V_{rnc} değeri yaklaşık 2,29, V_{mod} yaklaşık 1,5 ve maksimum rüzgar hızı ise yaklaşık 3,368 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu değerler YEGM' in ekonomik RES yatırımı olarak belirttiği 7 m/s' nin altında kalmaktadır.
- ✓ Rüzgar Gücü Potansiyeli, 7,268 W/m², Enerji Potansiyeli 63,671 (kWh/m²-yıl) ve Teorik Üretilbilir Enerji 37,566 (kWh/m²-yıl) olarak hesaplanmıştır. Bu değerler ekonomik yatırım açısından geri ödeme süresi yüksek olan bir yatırım olacağını göstermektedir.

Aydınlatma durumu ile ilgili yapılan çalışmalarda şu sonuçlara varılmıştır:

- ✓ Yapılan analiz sonucunda, led armatürlerle karşılaştırıldığında eski tip armatürlerin kullanımının dezavantajlı bir uygulama olduğu görülmüştür.
- ✓ Yapılacak olan binada yeni teknoloji led sistemlerinin kullanılması enerji tüketiminin ve aydınlatma için ödenen faturanın azalmasına ciddi derece etki etmektedir. Bu yüzden, binada yeni teknoloji led aydınlatma sistemi kullanılması önerilmektedir.

İklimlendirme sistemleri analizine dair yapılan simülasyon ile şu tespitler yapılmıştır:

- ✓ Tez kapsamında, enerji analizlerinin EnergyPlus gibi programlar ve DesingBuilder gibi yazılımlar aracılığıyla çok kolay bir şekilde yapıldığı, elde edilen sonuçların hızlı bir şekilde ve herkesin anlayabildiği ortak bir dille raporu alınabildiği bir kez daha ortaya koyulmuştur.
- ✓ TKIP sistemi hem ısıtma hem de soğutma ihtiyacını karşılamaktadır. Bunun için sistem yıllık 976,57 MWh elektrik enerjisi tüketmektedir. KRI sistemi ise sadece gaz yakarak yalnızca ısıtma ihtiyacını karşılamaktadır. Isıtma ihtiyacını karşılamak için sistem yıllık 48,92 MWh gaz ve 0,29 MWh elektrik enerjisi tüketmektedir.

- ✓ TKIP ve KRI sisteminin ısıtma durumlarına bakıldığında ise, aynı konfor şartları için KRI sistemi 48,92 MWh/yıl enerji harcarken TKIP sistemi 12,12 MWh/yıl harcamaktadır. Görüldüğü gibi, TKIP sistemi KRI sistemine göre yaklaşık %75 daha az enerji tüketmektedir.
- ✓ TKIP sisteminin yıllık CO₂ üretimi 990 Ton iken KRI sisteminin 410, 71 Ton olmaktadır. KRI sisteminin soğutma ihtiyacı karşılanmadan 410,71 Ton CO₂ üretmesi bu sistemin TKIP sistemi kadar çevreci olmayacağını göstermektedir.
- ✓ KRI sisteminin yalnızca ısıtma ihtiyacını karşılamak için bu kadar enerji tüketimine ve CO₂ üretimine sahip olması TKIP sisteminin bu noktada daha tercih edilebilir olduğunu göstermektedir.
- ✓ TKIP sistemi, KRI sistemine göre işletim ve bakım masrafları daha pahalı olan bir sistemdir. Bu noktada ise, ek soğutma sistemi de eklenerek KRI sistemi kullanıcılar için tercih edilebilir hale gelebilmektedir.
- ✓ Elde edilen sonuçlar, gelişmekte olan TKIP sistemi gibi ısı pompası sistemlerinin yakın gelecekte günümüzdeki yaygın kullanılan iklimlendirme sistemlerinin yerini alabileceğini göstermektedir.

Enerjide büyük oranda dışa bağımlı olan ülkemiz için yenilenebilir, yerli enerji kullanımının katkısı çok büyük faydaları beraberinde getirmektedir. Öte yandan, bir eğitim kurumu olan Yalova Üniversitesi' nin böyle bir uygulama ile akademik ve mesleki olarak öğrencilerin bilgilerinin daha da artmasını sağlayacaktır. Ayrıca, bir kamu kurumu olan üniversitenin böyle bir uygulamayı gerçekleştirmesi ile diğer kamu ve özel kurum ve kuruluşlar için örnek teşkil ederek yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır. Bu yüzden çok ekonomik olmamasına rağmen bu yatırımın gerçekleşmesi durumunda birçok yönden özelde ve genelde olumlu faydaları olacağı öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **Süzer, O.**, 2015: A comparative review of environmental concern prioritization: LEED vs other major certification systems, *Journal of Environmental Management*, 154:266-283.
- [2] **Ünlü, G.**, 2016: Binalarda Enerji Sitemleri. Alındığı tarih: 19.03.2018, Adres: <http://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler>
- [3] **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı**, 2016: BBTY ile Proje Geliştirme Süreci Uygulama Kılavuzu. Alındığı tarih: 19.03.2018, Adres: <http://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler>
- [4] **Erten, D.**, 2016: Yeşil Binalar El Kitabı.
- [5] **Harputlugil, G. U.**, 2016: Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri El Kitabı. Alındığı tarih: 19.03.2018, Adres: <http://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler>
- [6] **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı**, 2016: BBTY Bina Performansına Yönelik Öncelik ve Hedeflerin Belirlenmesi. Alındığı tarih: 19.03.2018, Adres: <http://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler>
- [7] **Url** <<http://www.altensis.com/hizmetler/designbuilder-software>>, Alındığı tarih: 24.04.2018.
- [8] **Özmehmet E.**, 2005: Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Akdeniz İklim Tipi İçin Bir Bina Modeli Önerisi, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [9] **Çelik, E.**, 2009: Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinin İncelenmesi Türkiye’de Uygulanabilirliklerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [10] **Haapio, A. and Viitaniemi, P.**, 2008: A critical review of building environmental assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review* 28(2008),469-482).
- [11] **S. Sedlacek, G. Maier**, 2012: Can green building councils serve as third partygovernance institutions? An economic and institutional analysis, *EnergyPolicy* 49 (2012) 479–487.
- [12] **Resmi Gazete**, 2014: Sürdürülebilir Yeşil Binalar İle Sürdürülebilir Yerleşmelerin Belgelendirilmesine Dair Yönetmelik. Sayı: 29199.
- [13] **Todd, J.A., Crawley, D., Geissler, S. and Lindsey, G.**, 2001: Comparative assessment of environmental performance tools and the role of the Green BuildingChallenge, *Buil. Res. Inf.* 29 (5) (2001) 324–335.
- [14] **Nelson, A.**, 2008: Globalization and Global Trends in Green Real Estate. RREEF Research. San Francisco, USA.

- [15] **Vucicevic B., Stojiljkovic M., Afgan N., Turanjanin V., Jovanovic M. And Bakic V**, 2013: Sustainability Assessment of Residential Buildings by Non-linear Normalization Procedure, *Energy Build.* 58 (2013) 348–354.
- [16] **USA Environmental Protection Agency (EPA)**. Alındığı tarih: 19.03.2018, Adres: <https://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/>
- [17] **USGBC**, 2007: Press release: Building Desing Leaders Collaborating on Carbon-Neutral Buildings by 2030.
- [18] **Cole, J. R.**, 2003: *Building Enviromental Assessment Methods: A Measuer of Success* s.5. ISBN 1-886431-09-4.
- [19] **Eren, D., Henderson, K. and Kobaş, B.**, 2009: A Review of International Green Building Certification Methods: A Roadmap for a certification system in Turkey. Fifth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-V) “Collaboration and Integration in Engineering, Management and Technology”. Mayıs 20-22, İstanbul, Türkiye.
- [20] **Şahin, N.İ. ve Manioğlu, G.**, 2011: Binalarda Yağmur Suyunun Kullanılması. *Tesisat Mühendisliği Dergisi* 5 (125): 21 -32.
- [21] **Durmuş, Ö.**, 2013: T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü Yayın No: 720, Su Verimliliği, Ankara.
- [22] **Shiklomanov, I. A. and Rodda J. C.**, 2003: *World Water Resources at the Begining of the 21st Century*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- [23] **Alpaslan, N., Tanık A., Dölgen, D.**, 2008: Türkiye’ de Su Yönetimi Sorunlar ve Öneriler. TÜSİAD Yayın No: T/2008-09/469.
- [24] **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı**, 2016: Türkiye Çevre Durum Raporu. Ankara.
- [25] **World Wildlife Found (WWF)**, 2014: Türkiye’ nin Su Riskleri Raporu, İstanbul.
- [26] **Food and Agriculture Organisation (FAO)**, AQUASTAT, 2013.
- [27] **World Water Development Report (WWDR)**, 2003: *Water For People, Water For Life Executive Summary*, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO), UN Water, World Water Assesment Programme. UNESCO Publishing, ISBN: 92-3103881-8.
- [28] **Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü**, 2017: Stratejik Plan 2017-2021. Ankara.
- [29] **Ekinci, B.**, 2015: Su Kaynaklarının Verimli Kullanılmasına Yönelik Örnek Ülke Uygulamaları ve Ülkemizde Bu Çalışmaların Uygulanabilirliği. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Uzmanlık Tezi, Ankara.
- [30] **Demir, D.**, 2012: Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri ile Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [31] **Levi, S.**, 2007: Yağış Sularının Sürdürülebilir Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [32] **Scholz, M. and Grabowiecki, P.**, 2007: *Review of Permeable Pavement Systems. Building and Enviroment*. Elsevier Science, UK.

- [33] **Üstün, G.E., ve Tırpancı, A.**, 2015: *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 20 (2): 119-139.
- [34] **Samsunlu, A.**, 2006: Atık Suların Arıtılması. Birsen Yayınevi.
- [35] **Karahan, A.**, 2009: Gri Suyun Değerlendirilmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- [36] **Boyjoo, Y., Pareek, V. K. and Ang, M.**, 2013: A Review Of Greywater Characteristics and Treatment Processes. *Water Science & Technology*, 67: 1403-1422.
- [37] ÇEDBİK-Konut Sertifika Kılavuzu- Yeni Konutlar Versiyon 2016.
- [38] **Sullian, P.**, 2013: Alındığı tarih: 28.12.2017, Adres: <http://enerjienstitusu.com/2013/03/30/ayni-anda-su-ve-enerji-tasarrufu-yapmak>
- [39] **Bob C. Dencsak T. And Bob L.**, 2010: Sustainability of buildings. Fourth WSEAS International Conference on Renewable Energy Sources (RES '10), in: *Advances in Energy Planning, Environmental Education and Renewable Energy Sources*, WSEAS Press, Kantaoui, Sousse, Tunisia, pp. 69–74.
- [40] **Akbulut, U.**, 2015: Binalarda Enerji Tasarrufu Nasıl Yapılır? Alındığı tarih: 19.03.2018, Adres: <http://webdosya.csb.gov.tr/db/mesleki hizmetler>
- [41] **Nejat P., Jomeh zadeh F., Taheri M. M., Gohari M. and Majid M.Z.A.**, 2015: A Global Review of Energy Consumption, CO2 Emissions and Policy in The Residential Sector (with an over view of the toptenCO2 emitting countries). *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 43: 843
- [42] **Vucicevic B., Stojiljkovic M., Afgan N., Turanjanin V., Jovanovic M. and Bakic V.**, 2013: Sustainability Assessment of Residential Buildings by Non-linear Normalization Procedure, *Energy Build.* 58 (2013) 348–354.
- [43] **Bob C. Dencsak T., Bob L.**, 2010: Sustainability of buildings. Fourth WSEAS International Conference on Renewable Energy Sources (RES '10), in: *Advances in Energy Planning, Environmental Education and Renewable Energy Sources*, WSEAS Press, Kantaoui, Sousse, Tunisia, pp. 69–74.
- [44] **Molavi J. and McDaniel J.** 2016: A Review of the Benefits of Geothermal Heat Pump Systems in Reatil Buildings *Procedia Engineering* 145 (2016) 1135 – 1143.
- [45] **Diez D., Santos, A., Mur-Pérez, F. and Castro-Gil M.**, 2013: Impact of passive techniques and clean conditioning systems on comfort and economic feasibility in low-cost shelters. *Energy and building* 62 (2013) 414-426.
- [46] **Blumenfeld A., Thumm W.**, 2014: Passive Building Systems vs Active Building Systems and the Return On Investment. Building innovation, National Institute Building Sciences Conference&Expo.
- [47] **Kachadorian, J.**, 2006: *The Passive Solar House: [The Complete Guide to Heating and Cooling Your Home]*, Ny rev. utg. ed. Chelsea Green Publishing Company, White River Junction, Vt.

- [48] **Gan, G.**, 1998: A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings. *Energy Build.* 27, 37–43. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00024-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00024-8).
- [49] **Haggard, K., Bainbridge, D. and Aljilani, R.**, 2009: *Passive Solar Architecture Pocket Reference*. Earthscan, London.
- [50] **Tasdemiroglu, E., Berjano, F.R. and Tinaut, D.**, 1983: The performance results of Trombe-Wall passive systems under Aegean Sea climatic conditions. *Sol. Energy* 30, 181–189.
- [51] **Saadatian, O., Sopian, K., Lim, C.H., Asim, N., Sulaiman, M.Y.**, 2012: Trombe walls: a review of opportunities and challenges in research and development. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 6340–6351. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.032>.
- [52] **Dabaieh M., Elbably A.**, 2015: Ventilated Trombe wall as a passive solar heating and cooling retrofitting approach; a low-tech design for off-grid settlements in semi-arid climate. *Science Direct Solar Energy* 122 (2015) 820–833.
- [53] **Soni, S. K. and M. Pandey, V.N.**, 2016: Bartaria Hybrid Ground Coupled Heat Exchanger Systems For Space Heating/Cooling Applications: A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60(2016)724–738.
- [54] **Zhai, X.Q., Song, Z.P. and Wang R.Z.**, 2011: A review for the applications of solar chimneys in buildings. *ScienceDirect Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 3757–3767.
- [55] **Kishore VVN.**, 2009: *Elements of Passive Solar Architecture*. New Delhi, India: TERI press, ISBN: 10:8179930939.
- [56] **Shahreza AR, Imani H.**, 2015: Experimental and Numerical Investigation on an Innovative Solar Chimney. *Energy Conserv Manag* 2015; 95: 446–52.
- [57] **Url** <<http://ae390-systemsvariety-group6.weebly.com/solarthermal-chimney.html>>, Alındığı tarih: 15.12.2017.
- [58] **Yanik B. and Louis G.**, 2009: Optimal mixed convection for maximal energy recovery with vertical porous channel (solar wall). *Renew Energy* 2009;34(12):2714–21.
- [59] **Khedari, J., Hirunlabh, J. and Bunnag, T.**, 1997: Experimental study of a roof solar collector towards the natural ventilation of new houses. *Energy Build* 1997;26(2):159–64.
- [60] **Yılmaz F.Ş. ve Yener A.K.**, 2013: Aydınlatma Tasarımında Görsel Konfor, Enerji Performansı ve Çevresel Etki Değerlendirmesi, 2013, 7. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- [61] **Özkaya, M.**, 2004: *Aydınlatma Tekniği*, Birsen Yayınevi, 2004.
- [62] **Hughes, B.R., Calautit J.K., Ghani S.A.**, 2012: The Development of Commercial Wind Towers for Natural Ventilation: a review. *Applied Energy* 2012; 92: 606-27.
- [63] **Calautit J.K., Hughes B.R. and Ghani S.A.**, 2013: A Numerical Investigation into the Feasibility of Integrating Green Building Technologies into

Row Houses in the Middle East. *Architectural Science Review* 2013;56:279-296.

- [64] **Mehling H. and Cabeza, L.F.**, 2008: Heat and Cold Storage with PCM: An up to Date Introduction in to Basics and Applications, Springer.
- [65] **Ko'sny J.**, 2015: PCM-Enhanced Building Components, Springer International Publishing, Cham.
- [66] **Souayfane F., Fardoun F. and Biwole P.**, 2016: Phase change materials (PCM) for cooling applications in buildings: A review. *Science Direct Energy and Buildings* 129 (2016) 396–431.
- [67] **Kamble A.A and Karale S.R.**, 2013: Are View Thermal Energy Storage Based Dual Mode Air Conditioning System. *IntJ Eng Res Appl* 2013;3(2):1600–4.
- [68] **Akeiber H.J., Wahid M.A., Hussen H.M. and Mohammad A.T.** 2013: Review of Development Survey of Phase Change Material Models in Building Applications. *SciWorldJ* 2013:0–11.
- [69] **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı**, 2017: Isı Yalıtım Yol Haritası-Bina Sahipleri İçin El kitabı. Alındığı tarih: 19.03.2018, Adres: <http://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler>
- [70] **Yunna, W. and Ruhang X.**, 2013: Green building Development in China-Based on Heat Pump Demostration Projects *Renewable Energy* 53 (2013) 211e219.
- [71] **Gong, C.S.**, 2011: Brief Analysis of The Ground Source Heat Pump İndustry Development in China. *Chinese Market* 2011;45:132e5.
- [72] **Erdim, B.**, 2010: Binalarda Enerji Korunumu Açısından Isı Pompalarının Farklı İklim Bölgelerinde Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [73] **Tan H., Lei Y., Chen Y.**, 2016: Renewable Energy Development for Buildings *Energy Procedia* 103 (2016) 88– 93.
- [74] **Kara, Y. A.**, 2007: .Experimental Performance Evaluation of a Closed-Loop Vertical Ground Source Heat Pump in the Heating Mode Using Energy Analysis Method. *IntJEnergyRes* 2007;31:1504–16.
- [75] **Hepbaşlı, A., Akdemir, O. and Hancıoğlu, E.**, 2003: Experimental study of a closed loop vertical ground source heat pump system. Elsevier, *Permagon Energy Conversion and Management* 44 (2003) 527–548
- [76] **Esen, H., İnalı, M. and Esen M.**, 2006: Technoeconomic appraisal of a ground source heat pump system for a heating season in eastern Turkey. Elsevier *Energy Conversion and Management* 47 (2006) 1281–1297.
- [77] **Doherty, P.S, Al-Huthaili, S., Riffat, S.B. and Abodahab N.**, 2004: Ground source heat pump—description and preliminary results of the Eco House system. Elsevier, *Applied Thermal Engineering* 24 (2004) 2627–2641.
- [78] **İnalı M. and Esen H.**, 2004: Experimental thermal performance evaluation of a horizontal ground-source heat pump system. Elsevier, *Applied Thermal Engineering* 24 (2004) 2219–2232.
- [79] **Bakırcı, K., Ozyurt, O., Comaklı, K. and Comaklı O.**, 2011: Energy analysis of a solar-ground source heat pump system with vertical closed-loop for heating applications. Department of Mechanical Engineering, Atatürk University, Erzurum, Turkey.

- [80] **Erdoğan S., Yılmaz M., Şahin, B. Ve Özyurt, Ö.**, 2006: Isı Pompası Seçimi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi* 2006; 92:40-49.
- [81] **Yerlibucak, Ş.M.**, 2007: Isı Pompaları, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.
- [82] **Url**
<<http://www.wikizero.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvR3JvdW5kLWNvdXBsZWRfaGVhdF9leGN0YW5nZXI>>, Alındığı tarih: 04.12.2017.
- [83] **Ma, H., Zhou, W., Lu ,X., Ding, Z. and Cao, Y.**, 2016: Application of Low Cost Active and Passive Energy Saving Technologies in an Ultra-Low Energy Consumption building *Energy Procedia* 88 (2016) 807 – 813.
- [84] **Engin, E.:** Engin Mühendislik Toprak, Su ve Hava Kaynaklı Isı Pompaları. Alındığı tarih: 14.12.2017, Adres: <http://www.nibeisipompasi.com>.
- [85] **Dikenoğlu, N.:** Jeotermal Isı Pompaları Kullanım Alanları ve Jeoloji Mühendisinin Bu Çalışmadaki Yeri ve Önemi, DSİ Genel Müdürlüğü, Jeoloji Mühendisleri Odası, Jeotermal Enerji Kaynakları Komisyon Sekreteri.
- [86] **Rawlings, R.**, 2004: Energy Efficiency Best Practice in Housing Domestic Ground Source Heat Pumps: Design and installation of closed-loop systems. Energy Saving Trust. E&OE. CE82.
- [87] **Goetzler, W., Zogg, R., Lisle, H. and Burgos, J.**, 2009: Ground source heat pumps: overview of market status, barriers to adoption, and options for overcoming barriers,” pp.17-19.
- [88] **Çelebi, G.**, 2002: Bina düzeyinde fotovoltaik panellerin kullanım ilkeleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 3 (2002) 17-33.
- [89] **Yetkin E.G.**, 2014: Mevcut Yapılar Kapsamında Yeşil Bina Sertifika Sistemleri Enerji Kriterlerinin Belirlenmesi için LEED, BREEAM ve DGNB Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2014.
- [90] **Öztürk, H.**, 2008: Güneş enerjisi ve uygulamaları, Birsen Yayınevi, s.4
- [91] **Britannica**, 2008: Energy and movement, Illustrated Science Library Books, 50-51 p.
- [92] **Pombinho M. José A.**, 2013: Weighting Factors For The Criteria Of A Building Sustainability Assessment Tool (DGNB), Yüksek Lisans Tezi, Porto Üniversitesi, Porto.
- [93] **Sturge, K.**, 2009: European Property Sustainability Matters-Benchmark Tools and Legal Requirements.
- [94] **LEED Credit Library:** United States Green Building Council. Alındığı tarih: 16.12 2017, Adres: <http://www.justfacts.com/energy.asp>
- [95] **Url**<<http://www.wikizero.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvSGF1dGVfUXVhbGl0w6lFRW52aXJvbm5lbWVudGFsZQ>>, Alındığı tarih: 15 Aralık 2017
- [96] **Demir, İ. H. ve Giran, Ö. ve Anbarcı, M.**, 2012: Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ile Türkiye’deki Bina Enerji Verimliliği Uygulaması, İstanbul.
- [97] **Deutsche Bank Research, Green Building**, 2010: A Niche Becomes Mainstream April 12, 2010.
- [98] **Url** <<http://www.yalova.org/iklim>> Alındığı tarih: 5 Haziran 2017

- [99] **Url** <<https://www.google.com.tr/maps/place/Yalova+Üniversitesi+Mühendislik+Fakültesi/@40.652182,29.2188109,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x14cafaceac849c33:0xcb13be07dfb0baa9!8m2!3d40.652182!4d29.2209996>> Alındığı tarih: 5 Haziran 2017.
- [100] **Eren B. vd.**, 2016: Yağmur Suyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüs Örneği. 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 3-5 November 2016 (ISITES2016 Alanya/Antalya - Turkey).
- [101] **Ozgener, O., Hepbasli, A.**, 2005: Experimental Investigation of The Performance of a Solar-Assisted Ground-Source Heat Pump System for Greenhouse Heating. *IntJ Energy Res* 2005;29:217–31.
- [102] **Benli, H.**, 2010: Energetic Performance Analysis of a Ground Search Heat Pump System With Latent Heat Storage For a Greenhouse Heating Department of Technical and Vocational Education, Fırat University, TR-23119 Elazığ, Turkey.
- [103] **Çengel A. Y., Boles A. M.** (2012). Termodinamik - Mühendislik Yaklaşımıyla (5. Baskı). Güven Kitapevi, İzmir, Türkiye.
- [104] **Url** <<http://www.izoder.org.tr/sayfa/30/ts-825-hesap-programi>>, Alındığı tarih: 5 Haziran 2017
- [105] **Hancıoğlu, E.**, 2000: Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Bir Hacmin Isıtılması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye.
- [106] **Miles, L.**, 1994: Heat Pumps: Theory and Service, Delmar Publishers Inc., NY.
- [107] **Url** <<https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/Turkiye-Gunluk-Guneslenme-Siddeti.pdf>>, Alındığı tarih: 5 Haziran 2017
- [108] **Url** <<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>>, Alındığı tarih: 5 Haziran 2017.
- [109] **Url** <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html>, Alındığı tarih: 5 Haziran 2017.
- [110] **Url** <<http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/YALOVA-REPA.pdf>>, Alındığı tarih: 5 Haziran 2017
- [111] **Kara, Y. A.**, 2012: Yalova Üniversitesi Rüzgar Enerjisi Ders Notları.
- [112] **Kim M.J., Oh M.W. and Kim J.T.**, 2013: A Method for Evaluating the Performance of Greenbuildings with a Focus on User Experience, *Energy Build.* 66 (2013) 203–210.
- [113] **Cole, R.J.**, 1998: Emerging Trends in Building Environmental Assessment Methods, *Build. Res. Inf.* 26 (1) (1998) 3–16.
- [114] **Resmi Gazete**, 2017: Binalar İle Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği. Sayı: 30279.



EKLER

EK A.1: 22W 2650LM Vestel Pro Plus 60x60 Teknik Özellikleri

EK A.2: 27W 3400LM Vestel Pro 60x60 Teknik Özellikleri

EK B.1.1: 22W 2650LM Vestel Pro Plus 60x60 ürünü uygulaması ile Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kat Holü Aydınlatma Raporu

EK B.1.2: 22W 2650LM Vestel Pro Plus 60x60 ürünü uygulaması ile Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yanlış Renkler Görüntülemesi

EK B.2.1: 27W 3400LM Vestel Pro 60x60 ürünü uygulaması ile Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kat Holü Aydınlatma Raporu

EK B.2.2: 27W 3400LM Vestel Pro 60x60 ürünü uygulaması ile Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yanlış Renkler Görüntülemesi

EK A1: 22W 2600LM Vestel Pro Plus 60x60 Teknik Özellikleri

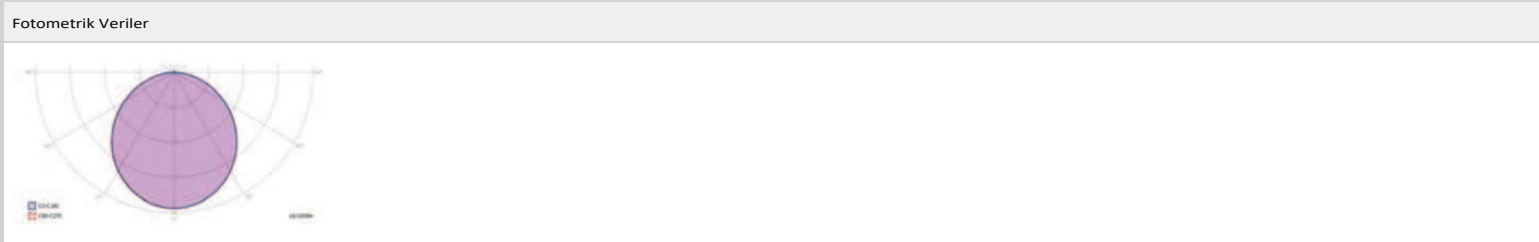
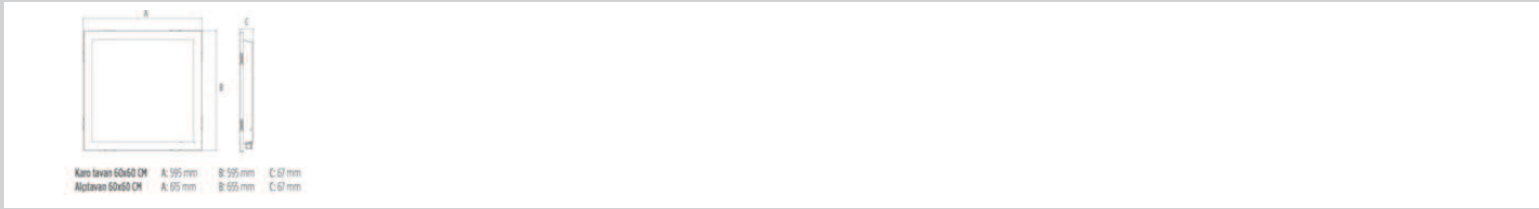


Panel Pro Plus

LED Aydınlatma Ürünleri > Panel Pro Plus



Panel PRO Plus 60x60	
Teknik Özellikler	
Güç	27W
Işık Akısı	3400lm
Renk Sıcaklığı	3000K/4000K/6500K
Etkinlik Faktörü	125lm/W
Hüzme Açısı	110°
Renkssel Geriverim(CRI)	>80
Ömür	50000 saat
Garanti Süresi	4 yıl
Dim	Opsiyonel
Acil Durum Kiti	Opsiyonel
Elektronik Özellikler	
Güç Kaynağı	1 ürün için 1 adet
Giriş Gerilimi(AC)	220-240V
Çıkış Gerilimi(DC)	12V - 36V
Çıkış Akımı(DC)(Idc)	1050mA± %5
Frekans	50-60Hz
Çalışma Modu	Sabit Akım
Mekanik Özellikler	
Çalışma Sıcaklığı	0°C/ +40°C
Dış Malzeme	Alüminyum
Montaj Opsiyonu	Clip in / Alçı / Karo / Sıvaüstü
Boyutlar	595x595x67 mm
Paket Boyutları	700*700*120 mm
Net Ağırlık	5,1 kg



EK A2: 27W 3400LM Vestel Pro 60x60 Teknik Özellikleri



Panel Pro

LED Aydınlatma Ürünleri > Panel Pro



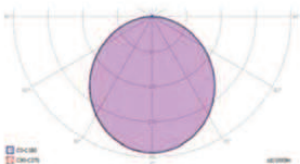
	Panel Pro 60x60	Panel Pro 30x30	Panel Pro 30x120	Panel Pro 60x120
Teknik Özellikler				
Güç	22W	10W	27W	45W
Işık Akısı	2650lm	1000lm	3200lm	5400lm
Renk Sıcaklığı	3000K/4000K/6500K	3000K/4000K/6500K	3000K/4000K/6500K	3000K/4000K/6500K
Etkinlik Faktörü	120lm/W	100lm/W	118lm/W	120lm/W
Hüzme Açısı	110°	110°	110°	110°
Renksel Geriverim(CRI)	>80	>80	>80	>80
Ömür	50000 saat	50000 saat	50000 saat	50000 saat
Garanti Süresi	4 yıl	4 yıl	4 yıl	4 yıl
Dim	Opsiyonel	Opsiyonel	Opsiyonel	Opsiyonel
Acil Durum Kiti	Opsiyonel	Opsiyonel	Opsiyonel	Opsiyonel
Elektronik Özellikler				
Güç Kaynağı	1 ürün için 1 adet	1 ürün için 1 adet	1 ürün için 1 adet	1 ürün için 1 adet
Giriş Gerilimi(AC)	220-240V	220-240V	220-240V	220-240V
Çıkış Gerilimi(DC)	18V - 44V	20V - 38V	20V - 38V	20V - 38V
Çıkış Akımı(DC)(Idc)	900mA± %5	1050mA± %5	1050mA± %5	1200mA± %5
Frekans	50-60Hz	50-60Hz	50-60Hz	50-60Hz
Çalışma Modu	Sabit Akım	Sabit Akım	Sabit Akım	Sabit Akım
Mekanik Özellikler				
Çalışma Sıcaklığı	0°C/ +40°C	0°C/ +40°C	0°C/ +40°C	0°C/ +40°C
Dış Malzeme	Alüminyum	Alüminyum	Alüminyum	Alüminyum
Montaj Opsiyonu	Clip in / Alçı / Karo / Sivaüstü	Clip / Alçı / Karo	Alçı / Karo	Alçı / Karo
Boyutlar	595x595x67 mm	295x295x67 mm	1198x295x67.3 mm	1192.6x595x67.2 mm
Paket Boyutları	700*700*120mm	355*355*130mm	1260*355*125mm	700*1300*120mm
Net Ağırlık	5.1 kg	1.5 kg	5.1 kg	9.5 kg

Teknik Çizim



Karo Tavane 30x30 CM A: 295 mm B: 295 mm C: 67 mm
Karo Tavane 60x60 CM A: 595 mm B: 595 mm C: 67 mm
Alüminyum 60x60 CM A: 595 mm B: 605 mm C: 67 mm

Fotometrik Veriler



EK B1.1:
22W 2600LM Vestel Pro Plus 60x60 Ürün Uygulaması ile Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Kat Holü Aydınlatma Raporu

İşleyen:
Selcen AKBAY
VESTEL
Levent 199, İstanbul
+90 (212) 456 32 14
selcen.akbay@vestel.com.tr

Tarih:
21.02.2018

VESTEL

Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi_Kat Holü



İçindekiler

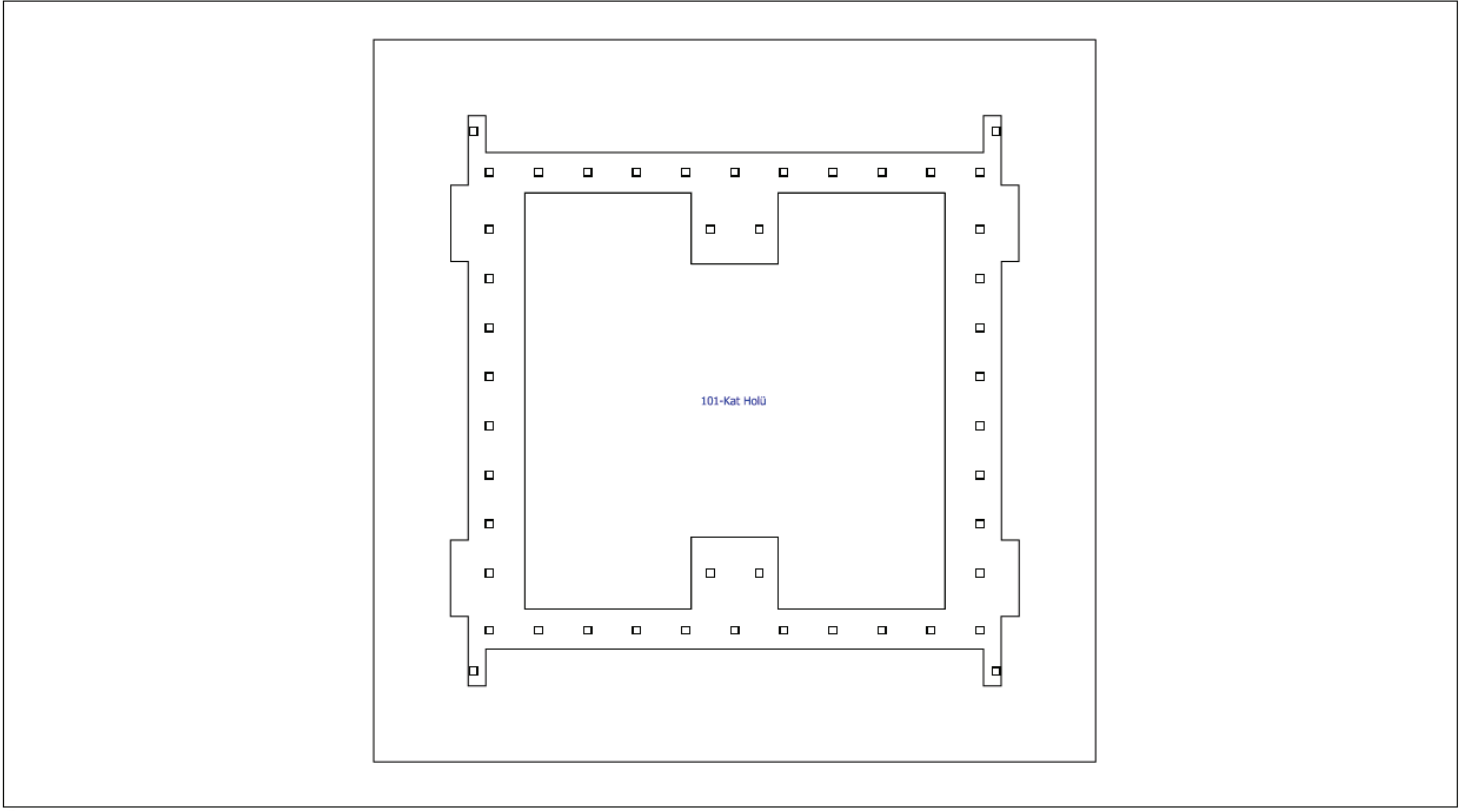
Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi_Kat Holü

Görünümler.....	3
Alan 1	
Yapı 1	
Kat 1	
101-Kat Holü	
Oda özeti	5
Çalışma düzlemi 1 / Dikey aydınlık (adaptif).....	6



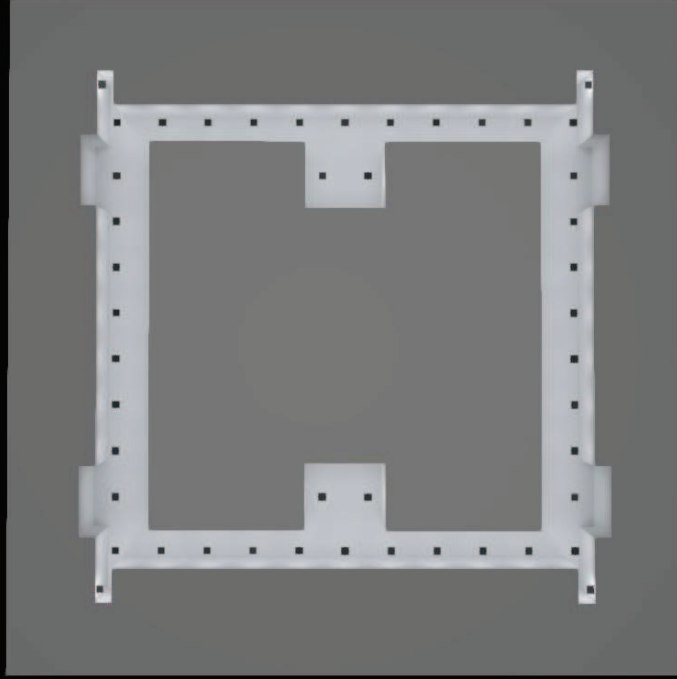
Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi_Kat Holü

Kat 1 (3)

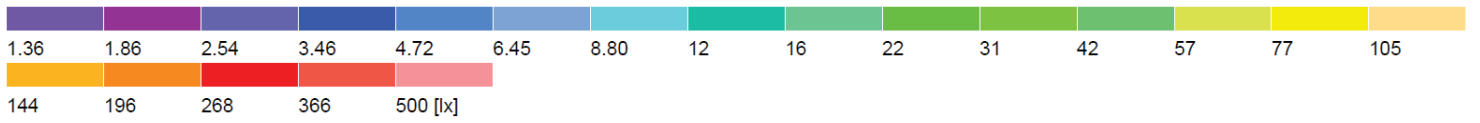
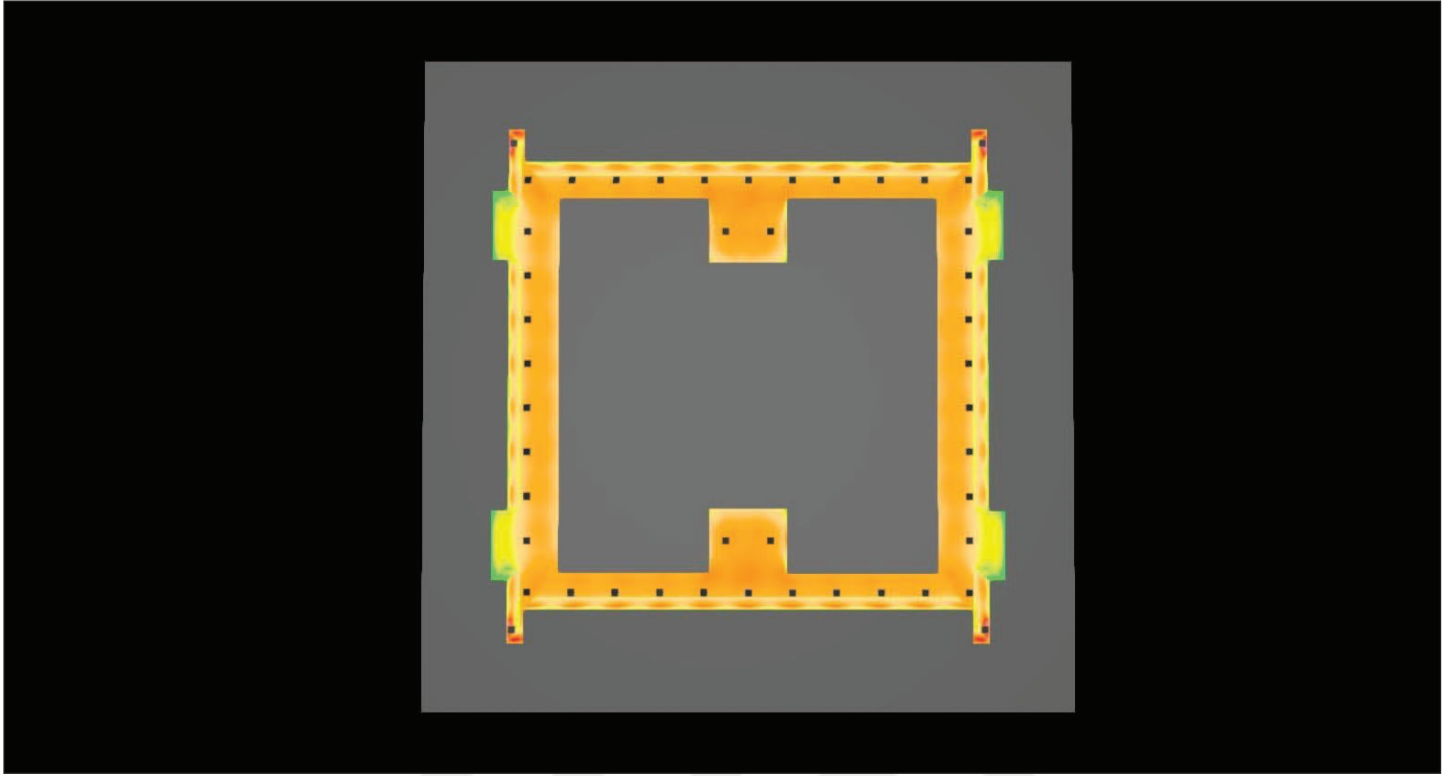


Ölçek: 1 : 562

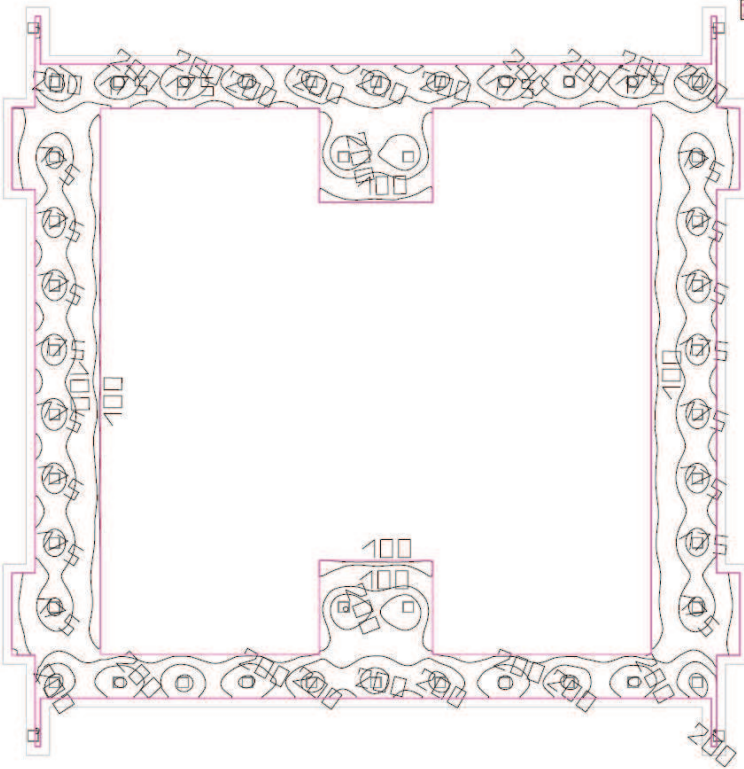
Kat 1 (4)



Kat 1 (5), Aydınlıklar [lx]



101-Kat Holü



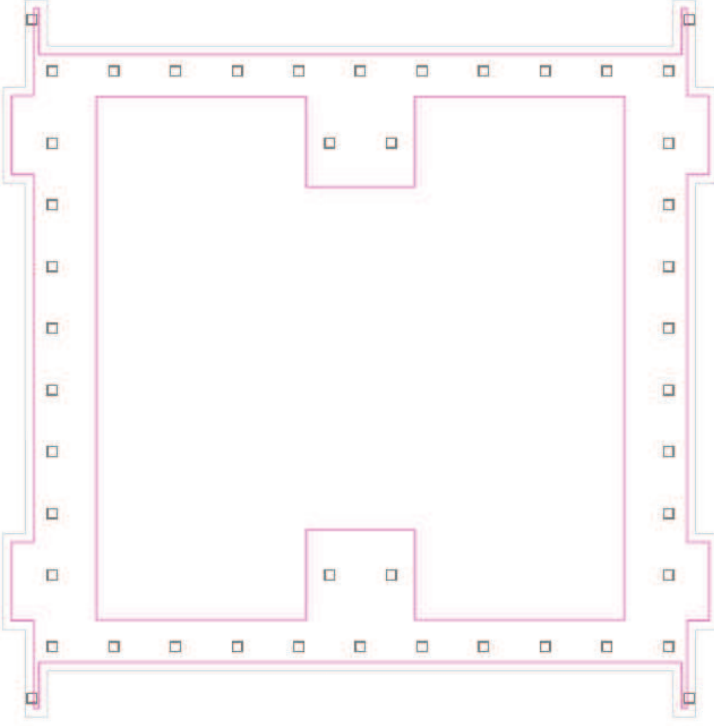
Boş alan yüksekliği: 3.500 m, Yansımaya derecesi: Tavan 80.0%, Duvarlar 54.4%, Zemin 40.0%, Bakım çarpanı: 0.90

Çalışma düzlemi

Yüzey	Sonuç	Orta (Nominal)	Min	Maks	Min/orta	Min/maks
1 Çalışma düzlemi 1	Dikey aydınlık (adaptif) [lx] Yükseklik: 0.800 m, Sınır bölgesi: 0.500 m	155 (≥ 500)	72.2	216	0.47	0.33

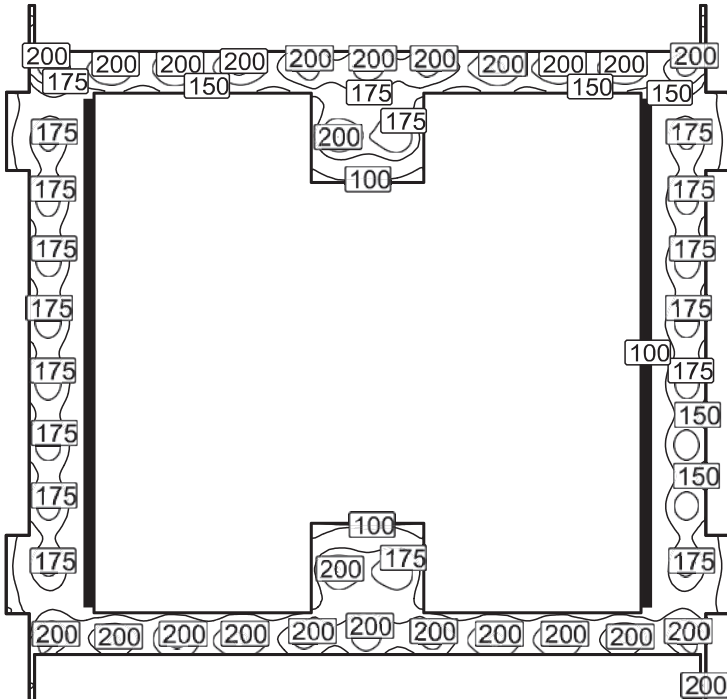
#	Işıklık	Φ(Işıklık) [lm]	Güç [W]	Işık verimi [lm/W]
46	Vestel - Pro Panel 60x60	2650	22.0	120.5
	Tüm aydınlatma aygıtlarının toplamı	121900	1012.0	120.5

Çalışma düzlemi 1 / Dikey aydınlık (adaptif)



Çalışma düzlemi 1: Dikey aydınlık (adaptif) (Yüzey)
Işık çevresi: Işık çevresi 1
Orta: 155 lx, Min: 72.2 lx, Maks: 216 lx, Min/orta: 0.47, Min/maks: 0.33
Yükseklik: 0.800 m, Sınır bölgesi: 0.500 m

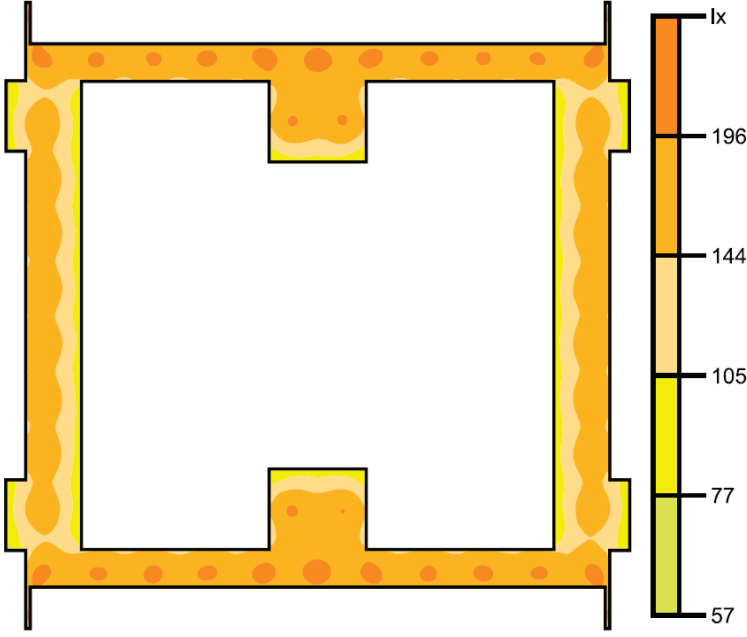
Değer eğrileri [lx]



Ölçek: 1 : 500



Yanış renkler [lx]



Ölçek: 1 : 500

EK B1.2:
22W 2600LM Vestel Pro Plus 60x60 Ürün Uygulaması ile
Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yanlış Renkler Görüntülemesi

YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ



Tarih: 21.02.2018
İşleyen: Selcen AKBAY

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

İçindekiler

YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

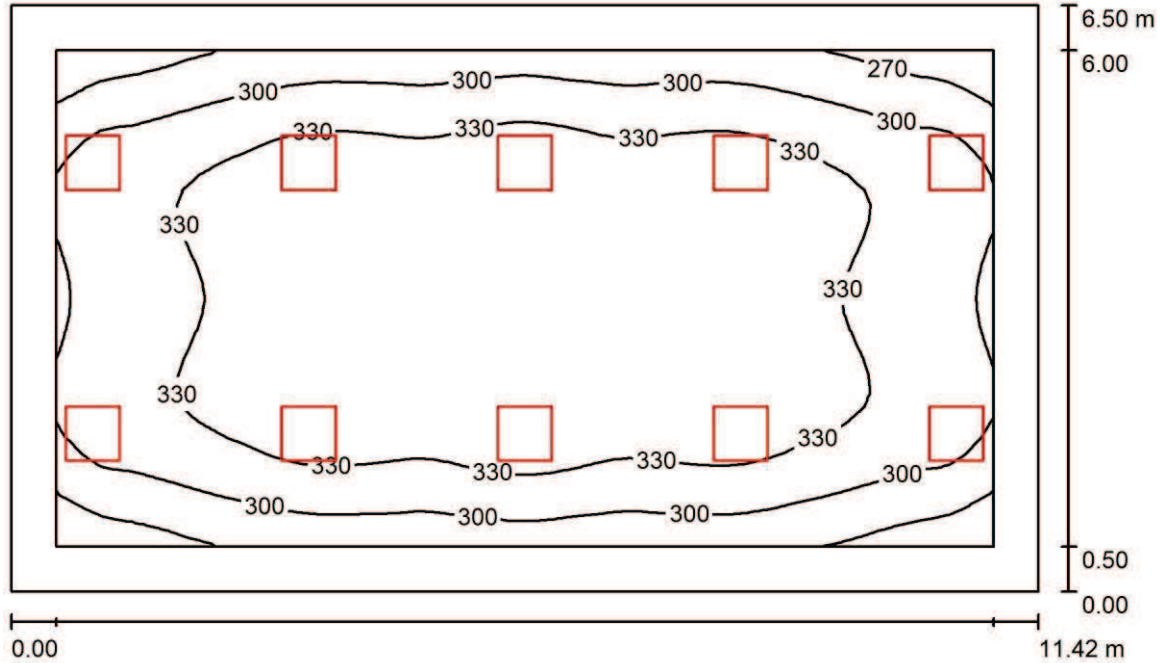
Proje kapak sayfası	1
İçindekiler	2
Z11-Derslik 8	
Özet	3
Yanlış renkler görüntülemesi	4
Z17-Derslik 13	
Özet	5
Yanlış renkler görüntülemesi	6
Z15-Derslik 11	
Özet	7
Yanlış renkler görüntülemesi	8
1B15-Derslik 3-Polimer Araş.Lab.3	
Özet	9
Yanlış renkler görüntülemesi	10
1B13-Derslik 1-Polimer Araş.Lab.1	
Özet	11
Yanlış renkler görüntülemesi	12
128-Araş.Gör.	
Özet	13
Yanlış renkler görüntülemesi	14
116-Doçent	
Özet	15
Yanlış renkler görüntülemesi	16

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z11-Derslik 8 / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m,
 Bakım çarpanı: 0.90

... birimde değerler Lux, Ölçek 1:84

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	322	243	357	0.754
Zemin	40	273	188	320	0.689
Tavan	80	117	87	180	0.742
Duvarlar (4)	60	197	107	408	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 64 x 32 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşıklık parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (İşıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	10	Vestel Pro Panel 60x60 (1.000)	2650	2650	22.0
			Toplam: 26500	Toplam: 26500	220.0

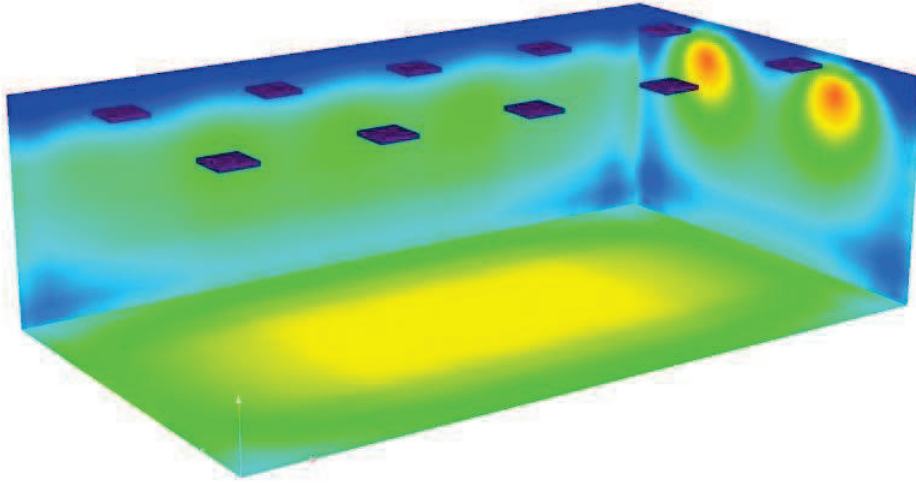
Özgül bağlantı değeri: $2.96 \text{ W/m}^2 = 0.92 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 74.23 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z11-Derslik 8 / Yanlış renk görüntülemesi



0

62.50

125

187.50

250

312.50

375

437.50

500

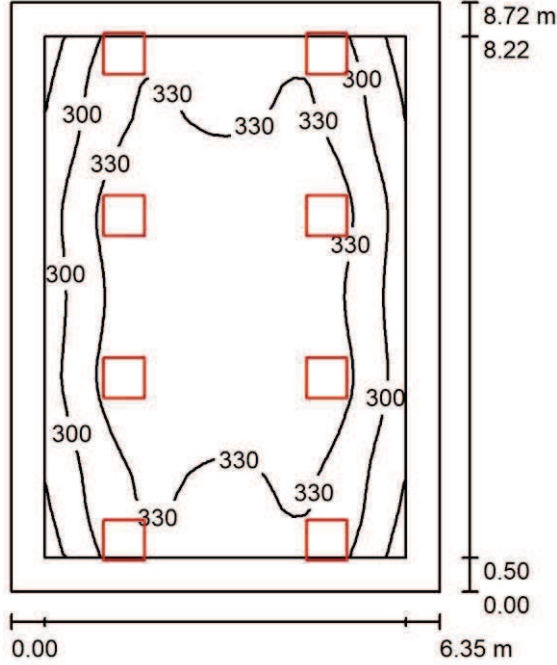
lx

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z17-Derslik 13 / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m,
 Bakım çarpanı: 0.90

... birimde değerler Lux, Ölçek 1:112

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	325	256	356	0.789
Zemin	40	272	190	315	0.699
Tavan	80	121	94	193	0.780
Duvarlar (4)	60	205	108	542	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 32 x 32 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşıklık parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	8	Vestel Pro Panel 60x60 (1.000)	2650	2650	22.0
			Toplam: 21200	Toplam: 21200	176.0

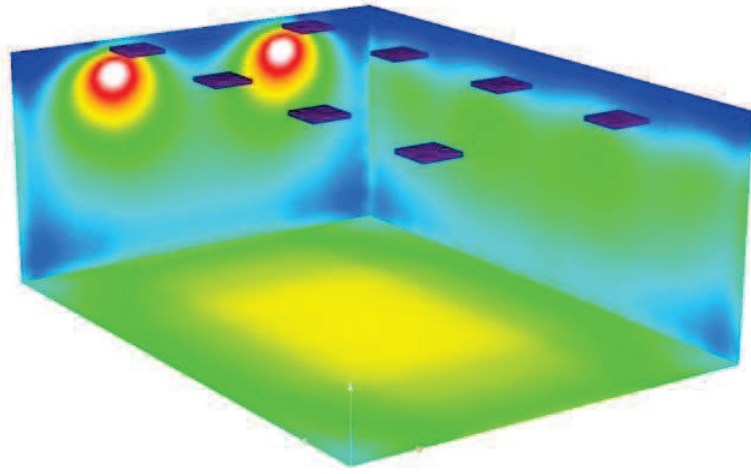
Özgül bağlantı değeri: $3.18 \text{ W/m}^2 = 0.98 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 55.37 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z17-Derslik 13 / Yanlış renk görüntülemesi



0 62.50 125 187.50 250 312.50 375 437.50 500

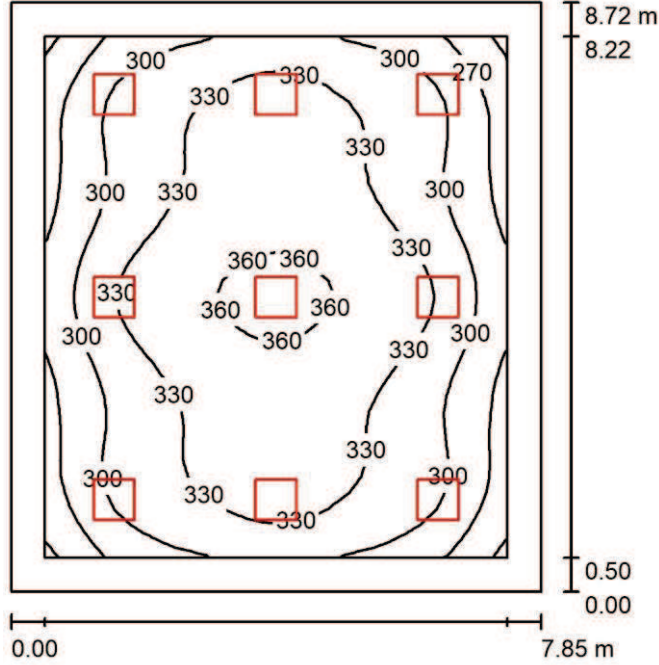
lx

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z15-Derslik 11 / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m,
 Bakım çarpanı: 0.90

... birimde değerler Lux, Ölçek 1:112

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	317	234	371	0.739
Zemin	40	268	175	325	0.652
Tavan	80	114	84	179	0.732
Duvarlar (4)	60	191	100	272	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 32 x 32 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşıklık parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (İşıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	9	Vestel Pro Panel 60x60 (1.000)	2650	2650	22.0
			Toplam: 23850	Toplam: 23850	198.0

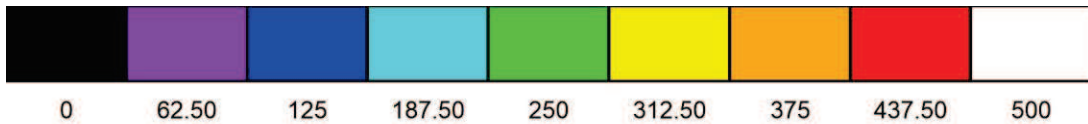
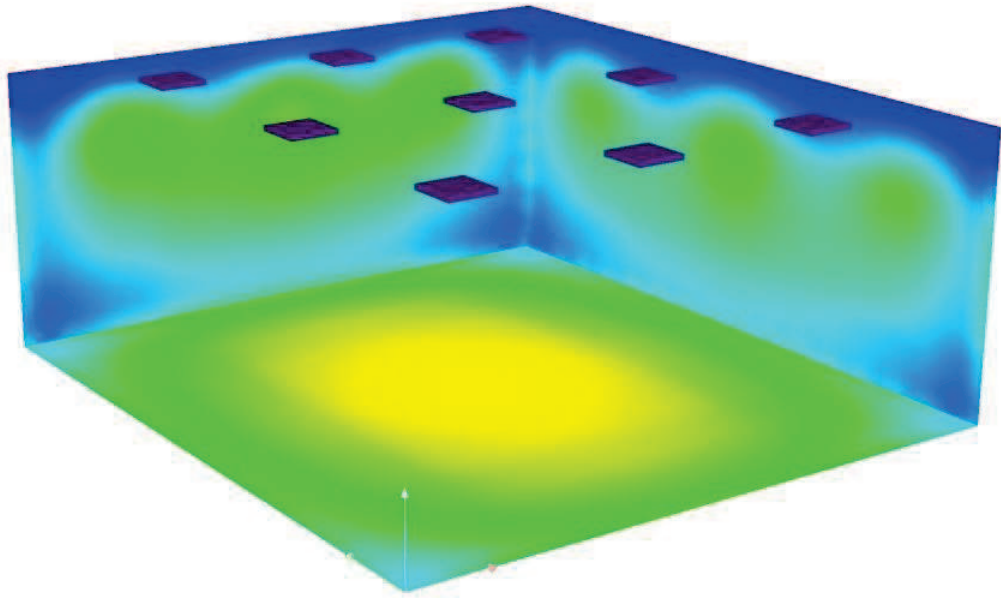
Özgül bağlantı değeri: $2.89 \text{ W/m}^2 = 0.91 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 68.45 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z15-Derslik 11 / Yanlış renk görüntülemesi



lx

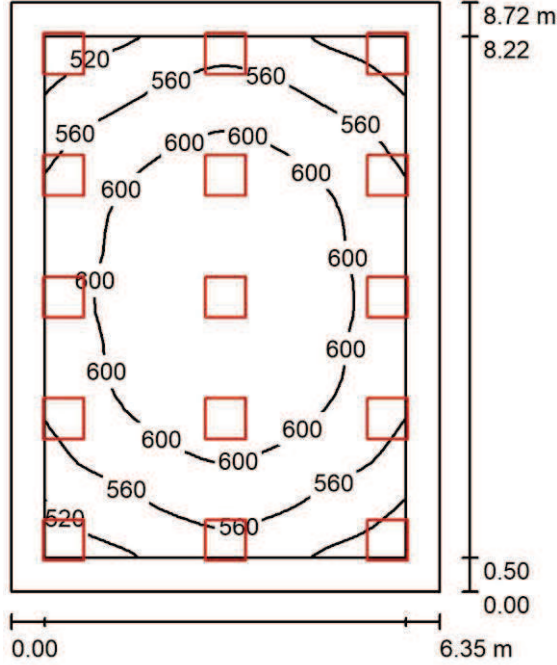


VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

1B15-Derslik 3-Polimer Araş.Lab.3 / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m,
 Bakım çarpanı: 0.90

... birimde değerler Lux, Ölçek 1:112

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	583	484	638	0.830
Zemin	40	497	357	573	0.718
Tavan	80	230	202	301	0.876
Duvarlar (4)	60	394	244	681	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 32 x 32 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşıklık parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	15	Vestel Pro Panel 60x60 (1.000)	2650	2650	22.0
			Toplam: 39750	Toplam: 39750	330.0

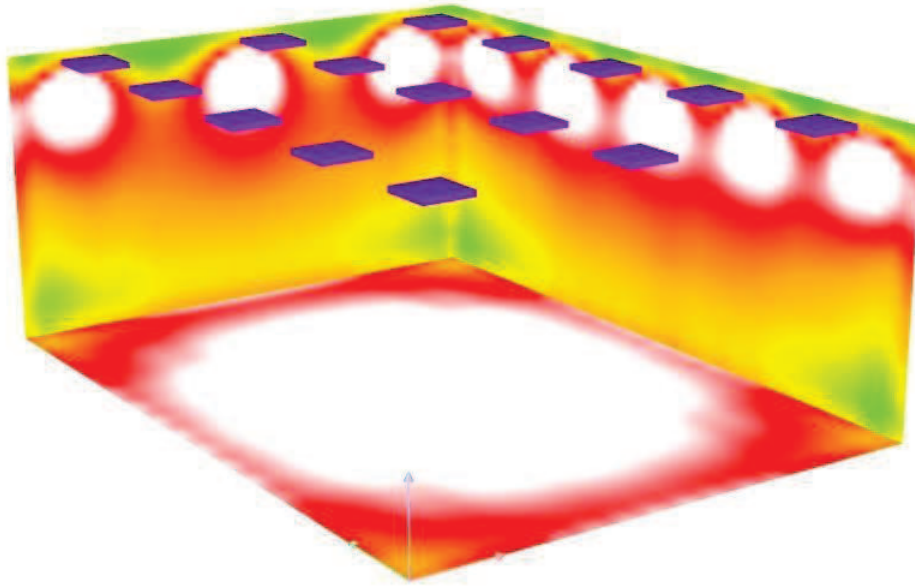
Özgül bağlantı değeri: $5.96 \text{ W/m}^2 = 1.02 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 55.37 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

1B15-Derslik 3-Polimer Araş.Lab.3 / Yanlış renkler görüntülemesi



0

62.50

125

187.50

250

312.50

375

437.50

500

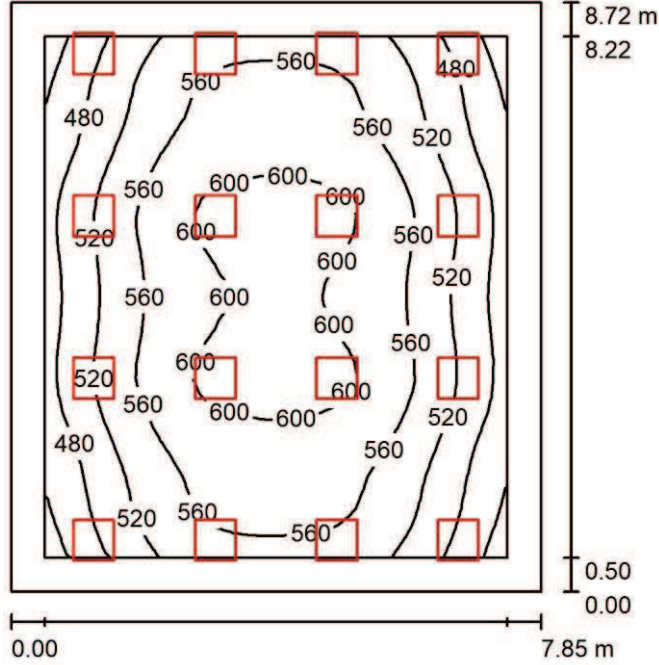
lx

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

1B13-Derslik 1-Polimer Araş.Lab.1 / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m,
 Bakım çarpanı:0.90

... birimde değerler Lux, Ölçek 1:112

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	545	420	614	0.771
Zemin	40	466	319	551	0.684
Tavan	80	206	166	278	0.806
Duvarlar (4)	60	348	197	661	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 32 x 32 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşıklık parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (İşıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	16	Vestel Pro Panel 60x60 (1.000)	2650	2650	22.0
			Toplam: 42400	Toplam: 42400	352.0

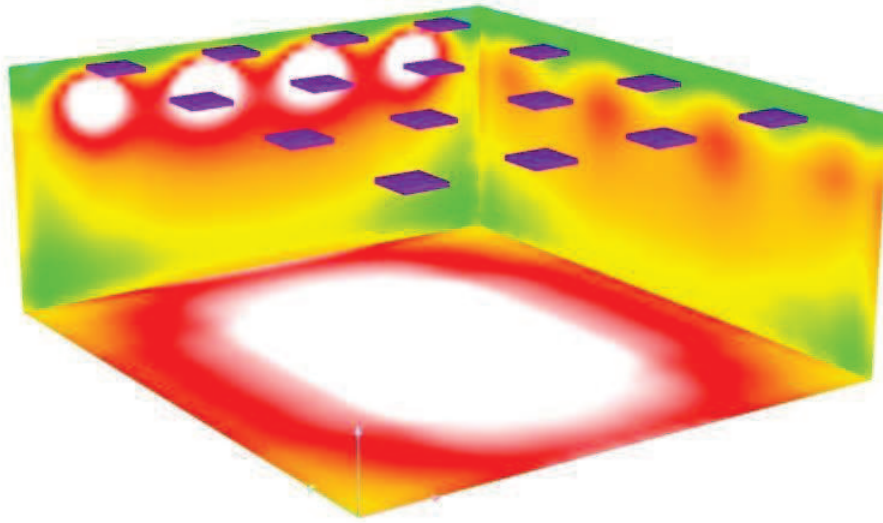
Özgül bağlantı değeri: $5.14 \text{ W/m}^2 = 0.94 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 68.45 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

1B13-Derslik 1-Polimer Araş.Lab.1 / Yanlış renkler görüntülemesi



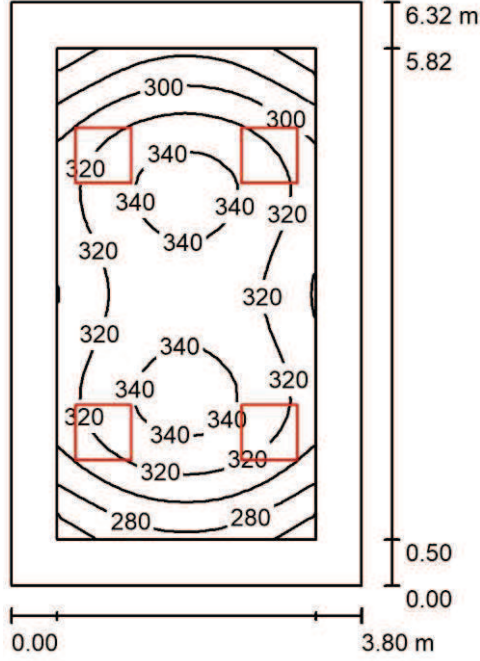
lx

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

128-Araş.Gör. / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m,
 Bakım çarpanı: 0.90

... birimde değerler Lux, Ölçek 1:82

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	316	249	348	0.789
Zemin	40	243	175	282	0.722
Tavan	80	117	85	185	0.728
Duvarlar (4)	60	194	98	367	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 32 x 16 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşıklık parça listesi

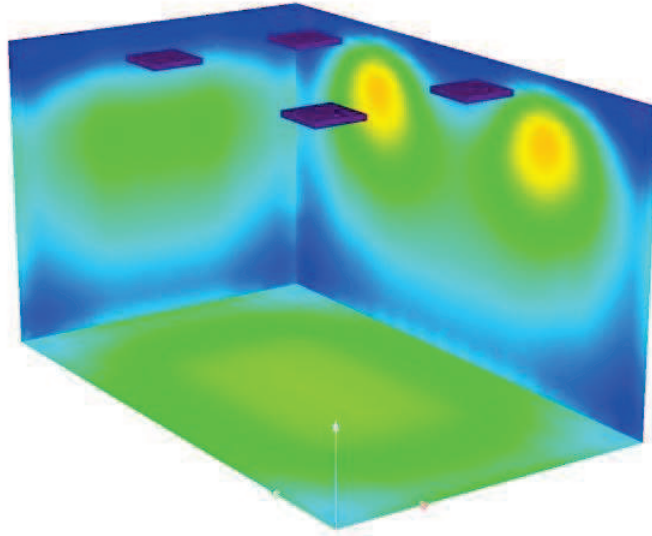
Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	4	Vestel Pro Panel 60x60 (1.000)	2650	2650	22.0
			Toplam: 10600	Toplam: 10600	88.0

Özgül bağlantı değeri: $3.66 \text{ W/m}^2 = 1.16 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 24.02 m^2)

VESTEL
Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

128-Araş.Gör. / Yanlış renk görüntülemesi



0 62.50 125 187.50 250 312.50 375 437.50 500

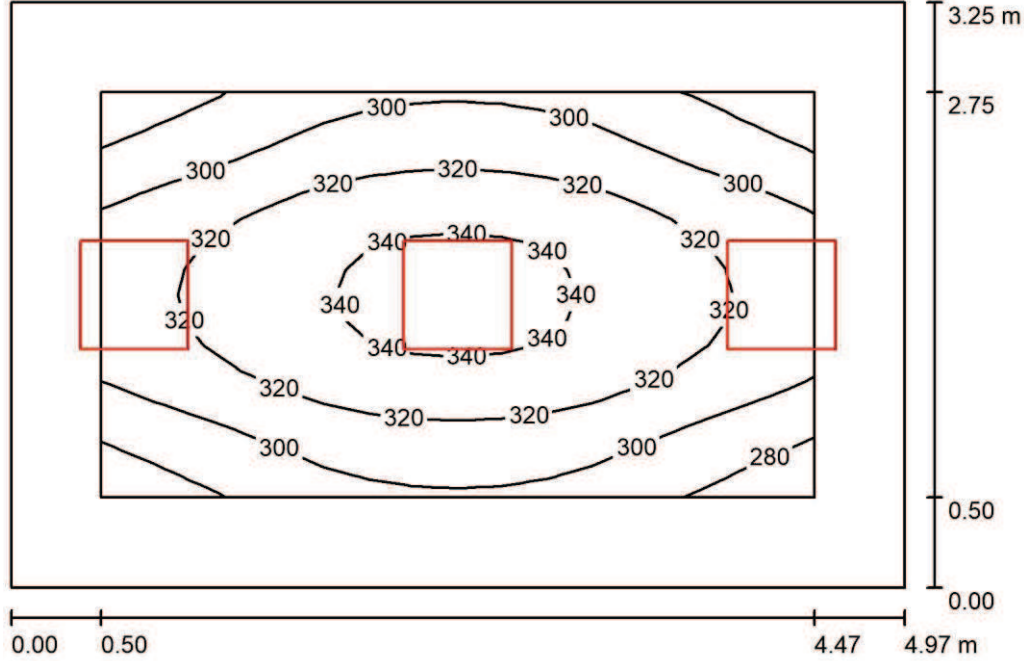
lx

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

116-Doçent / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m,
 Bakım çarpanı: 0.90

... birimde değerler Lux, Ölçek 1:42

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	313	265	347	0.847
Zemin	40	230	178	265	0.774
Tavan	80	120	83	205	0.686
Duvarlar (4)	60	198	98	645	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 16 x 16 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşiklik parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (İşiklik) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	3	Vestel Pro Panel 60x60 (1.000)	2650	2650	22.0
			Toplam: 7950	Toplam: 7950	66.0

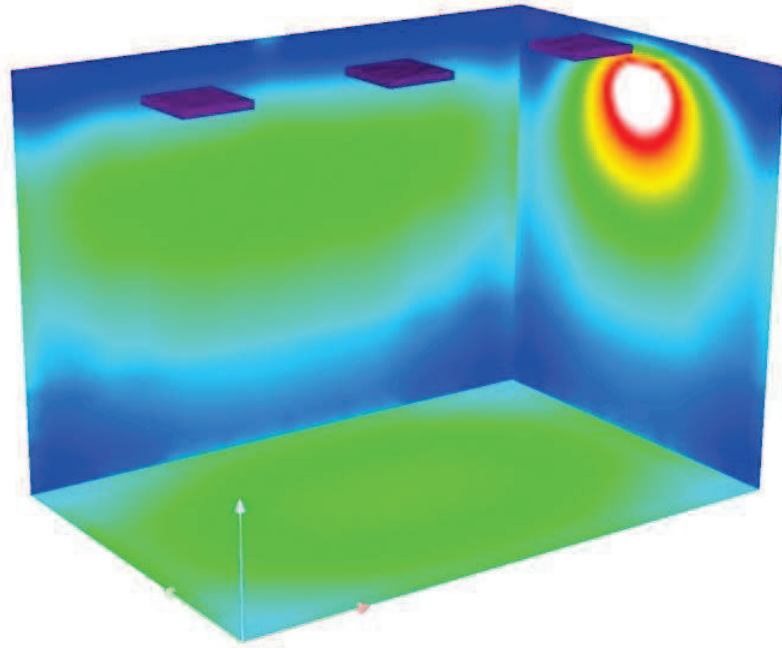
Özgül bağlantı değeri: $4.09 \text{ W/m}^2 = 1.31 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 16.15 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

116-Doçent / Yanlış renk görüntülemesi



lx



EK B2.1:
27W 3400LM Vestel Pro 60x60 Ürün Uygulaması ile Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Kat Holü Aydınlatma Raporu

İşleyen:
Selcen AKBAY
VESTEL
Levent 199, İstanbul
+90 (212) 456 32 14
selcen.akbay@vestel.com.tr

Tarih:
21.02.2018

VESTEL

Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi_Kat Holü



İçindekiler

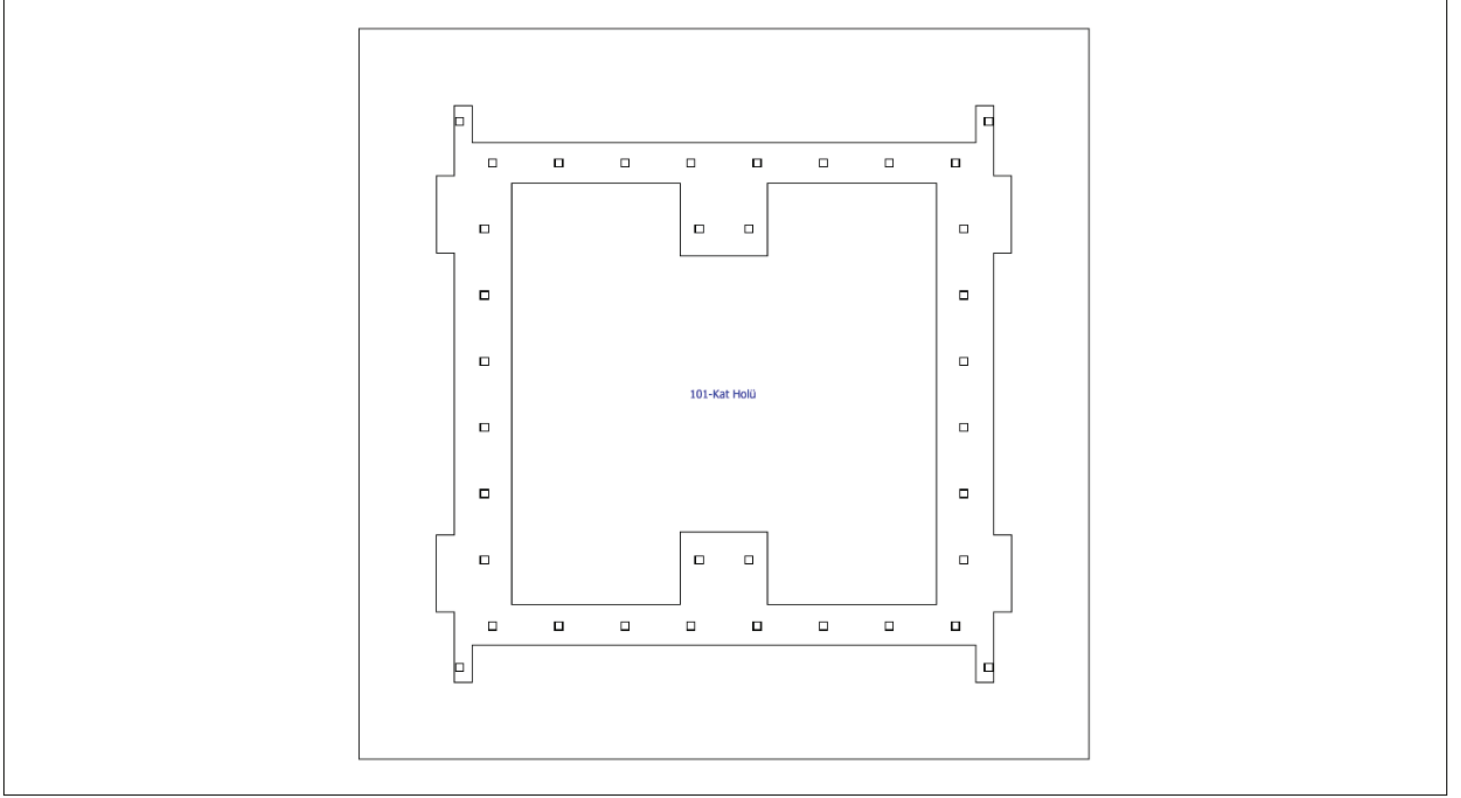
Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi_Kat Holü

Görünümler.....	3
Alan 1	
Yapı 1	
Kat 1	
101-Kat Holü	
Oda özeti	5
Çalışma düzlemi 1 / Dikey aydınlık (adaptif).....	6



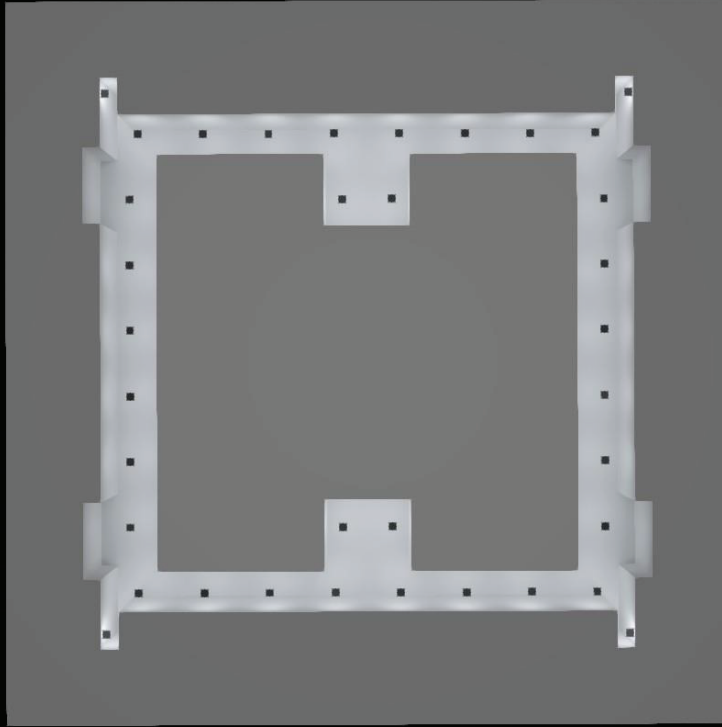
Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi_Kat Holü

Kat 1 (4)

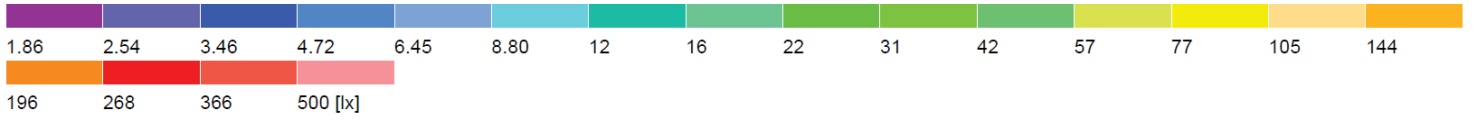
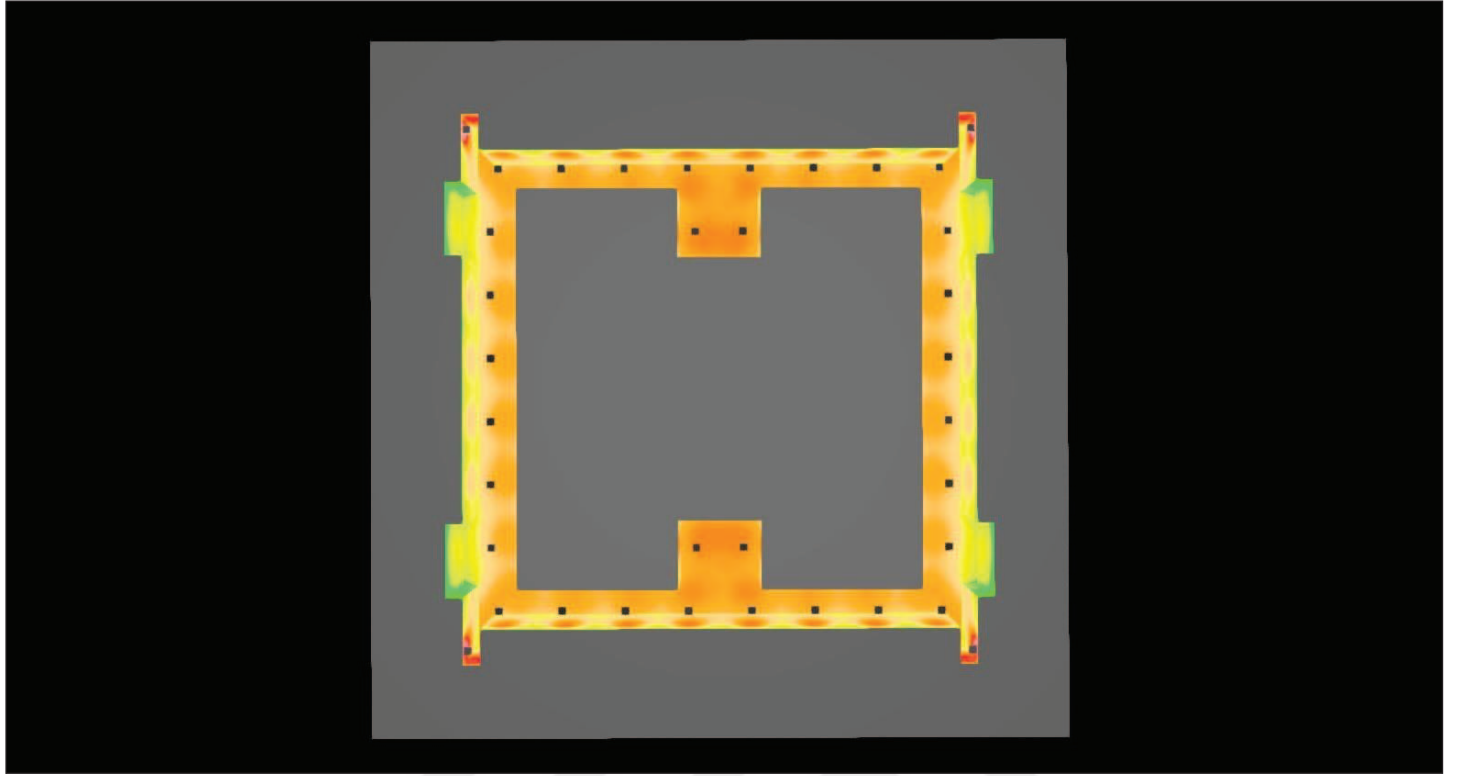


Ölçek: 1 : 609

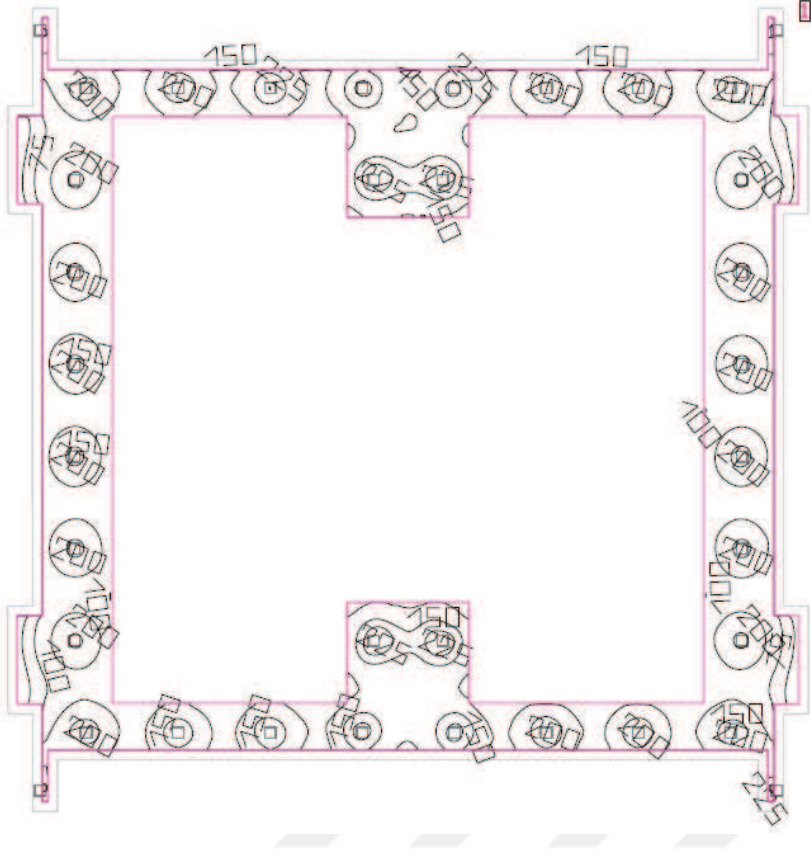
Kat 1 (5)



Kat 1 (6), Aydınlıklar [lx]



101-Kat Holü



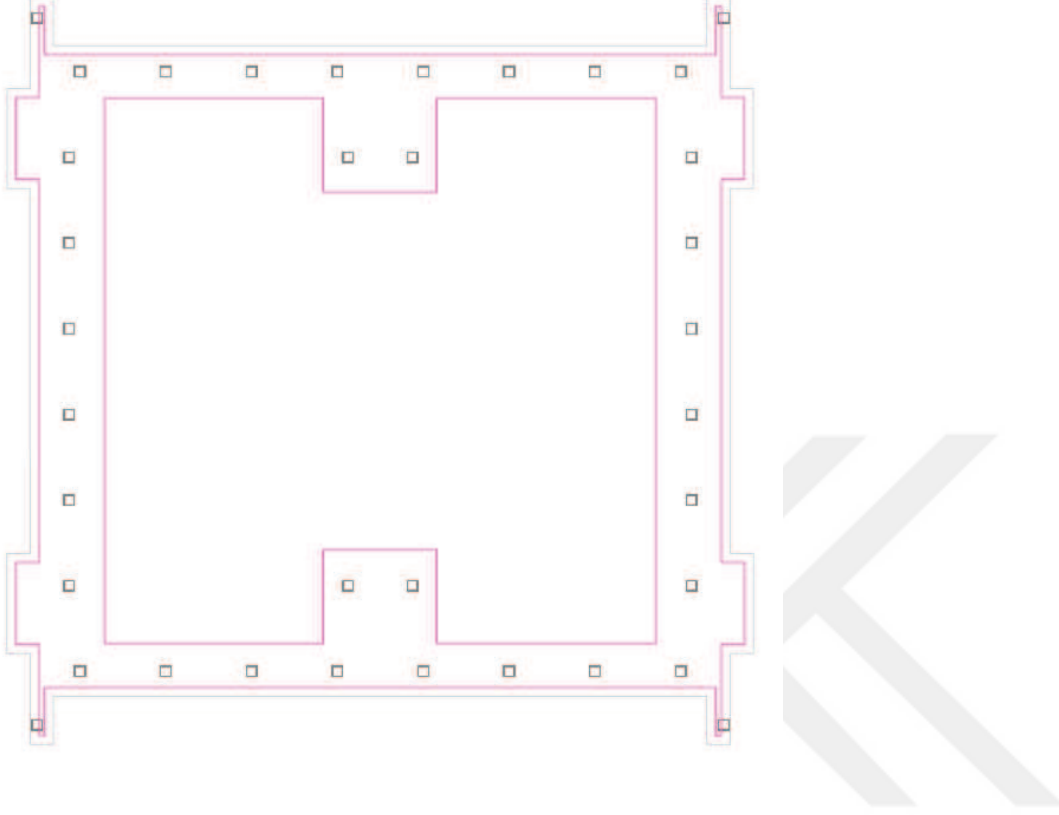
Boş alan yüksekliği: 3.500 m, Yansımaya derecesi: Tavan 80.0%, Duvarlar 54.4%, Zemin 40.0%, Bakım çarpanı: 0.90

Çalışma düzlemi

Yüzey	Sonuç	Orta (Nominal)	Min	Maks	Min/orta	Min/maks
1 Çalışma düzlemi 1	Dikey aydınlık (adaptif) [lx] Yükseklik: 0.800 m, Sınır bölgesi: 0.500 m	156 (≥ 500)	55.3	247	0.35	0.22

#	Işıklık	Φ (Işıklık) [lm]	Güç [W]	Işık verimi [lm/W]
36	Vestel - Pro Plus Panel 60x60	3400	27.0	125.9
	Tüm aydınlatma aygıtlarının toplamı	122400	972.0	125.9

Çalışma düzlemi 1 / Dikey aydınlık (adaptif)



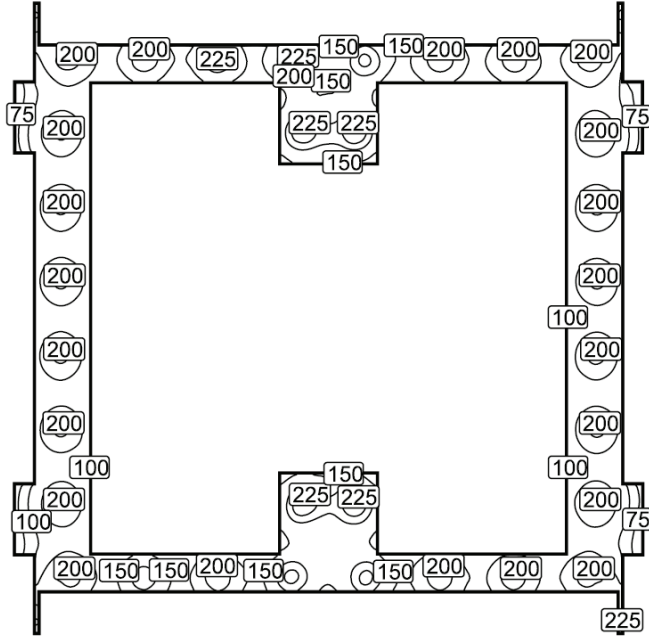
Çalışma düzlemi 1: Dikey aydınlık (adaptif) (Yüzey)

Işık çevresi: Işık çevresi 1

Orta: 156 lx, Min: 55.3 lx, Maks: 247 lx, Min/orta: 0.35, Min/maks: 0.22

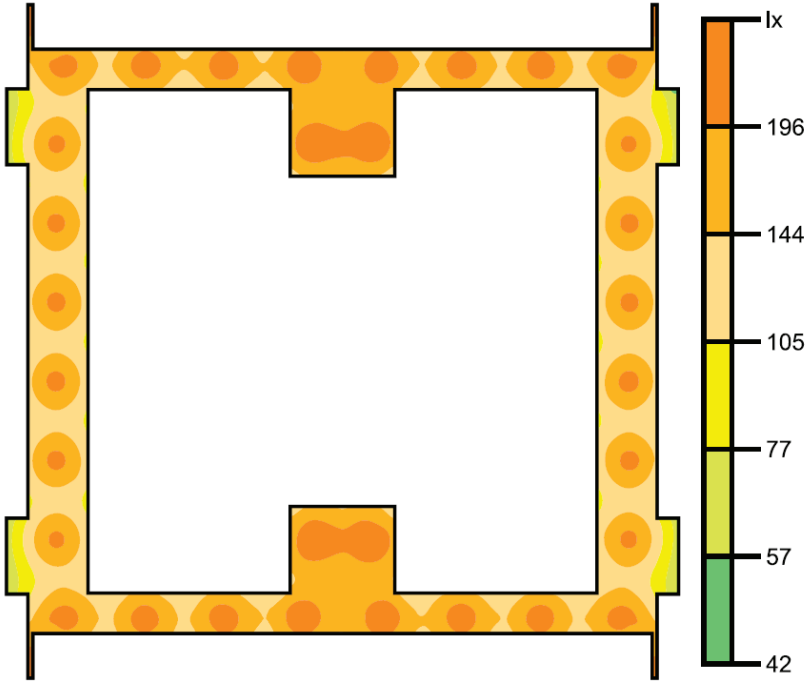
Yükseklik: 0.800 m, Sınır bölgesi: 0.500 m

Değer eğrileri [lx]



Ölçek: 1 : 500

Yanlış renkler [lx]



Ölçek: 1 : 500

EK B2.2:

27W 3400LM Vestel Pro 60x60 Ürün Uygulaması ile Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Yanlış Renkler Görüntülemesi

YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ



Tarih: 21.02.2018
İşleyen: Selcen AKBAY

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

İçindekiler

YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

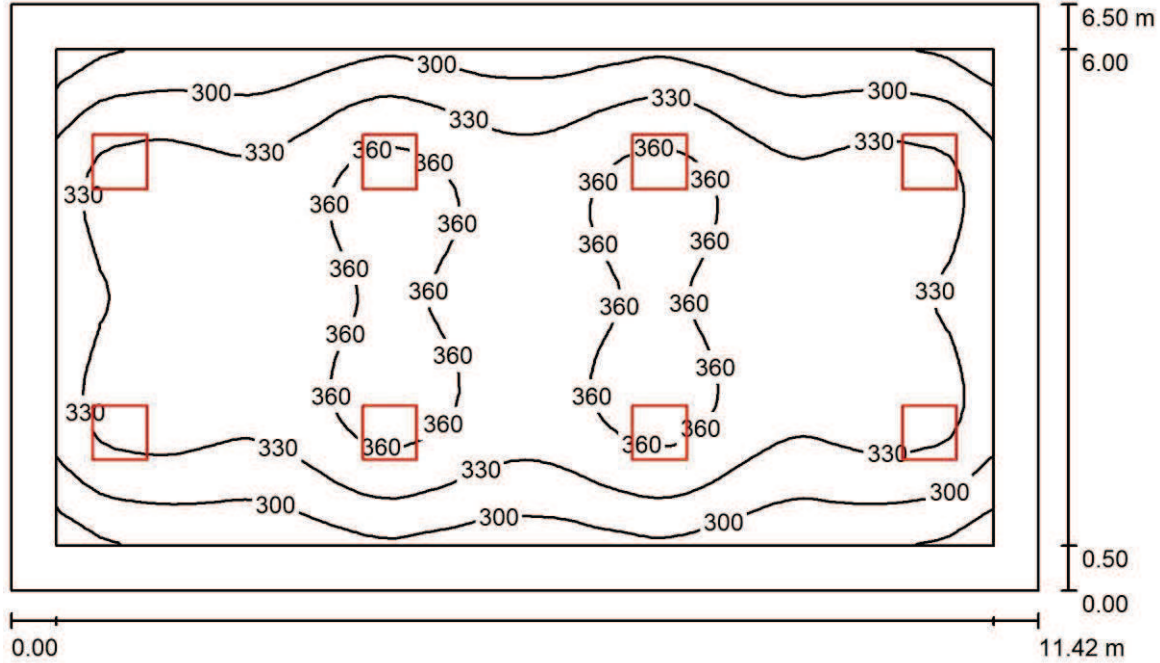
Proje kapak sayfası	1
İçindekiler	2
Z11-Derslik 8	
Özet	3
Yanlış renkler görüntülemesi	4
Z17-Derslik 13	
Özet	5
Yanlış renkler görüntülemesi	6
Z15-Derslik 11	
Özet	7
Yanlış renkler görüntülemesi	8
1B15-Derslik 3-Polimer Araş.Lab.3	
Özet	9
Yanlış renkler görüntülemesi	10
1B13-Derslik 1-Polimer Araş.Lab.1	
Özet	11
Yanlış renkler görüntülemesi	12
128-Araş.Gör.	
Özet	13
Yanlış renkler görüntülemesi	14
116-Doçent	
Özet	15
Yanlış renkler görüntülemesi	16

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z11-Derslik 8 / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m, Bakım çarpanı: ... birimde değerler Lux, Ölçek 1:84
 0.90

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	332	252	374	0.758
Zemin	40	281	195	329	0.694
Tavan	80	120	91	201	0.754
Duvarlar (4)	60	201	114	337	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 64 x 32 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşıklık parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (İşıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	8	Vestel Pro Plus Panel 60x60 (1.000)	3400	3400	27.0
			Toplam: 27200	Toplam: 27200	216.0

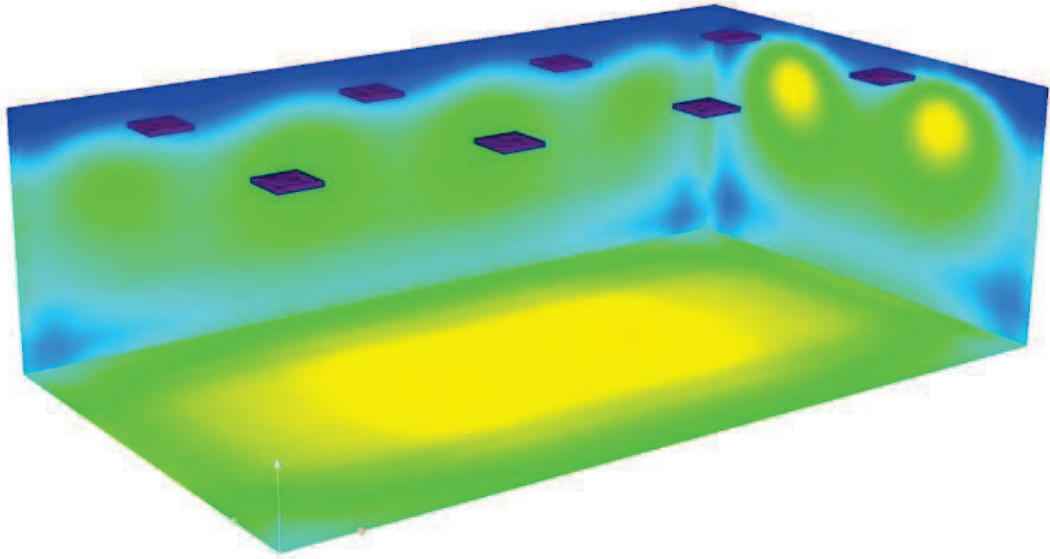
Özgül bağlantı değeri: $2.91 \text{ W/m}^2 = 0.88 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 74.23 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z11-Derslik 8 / Yanlış renkler görüntülemesi



0

62.50

125

187.50

250

312.50

375

437.50

500

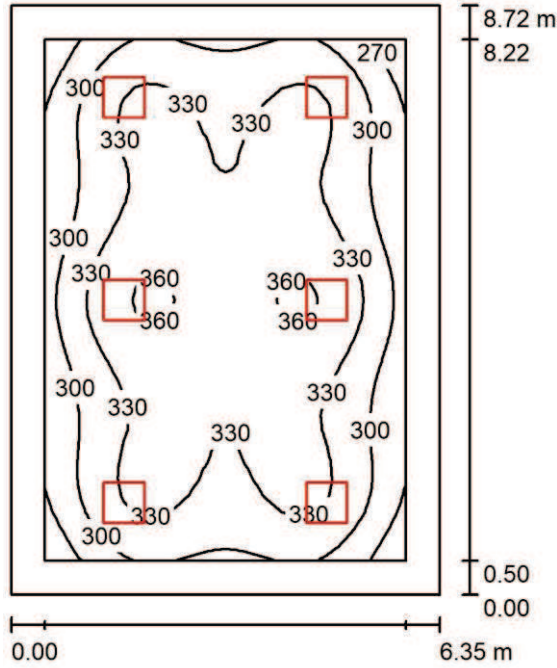
lx

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z17-Derslik 13 / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m, Bakım çarpanı: ... birimde değerler Lux, Ölçek 1:112
 0.90

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	321	244	365	0.760
Zemin	40	267	181	315	0.677
Tavan	80	115	85	197	0.742
Duvarlar (4)	60	193	101	291	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 32 x 32 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

Işıklık parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	6	Vestel Pro Plus Panel 60x60 (1.000)	3400	3400	27.0
			Toplam: 20400	Toplam: 20400	162.0

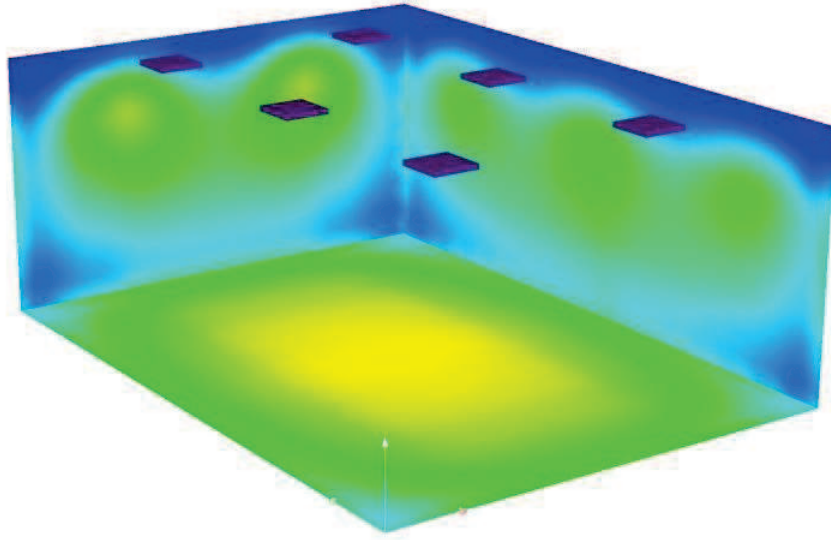
Özgül bağlantı değeri: $2.93 \text{ W/m}^2 = 0.91 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 55.37 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z17-Derslik 13 / Yanlış renk görüntülemesi



0 62.50 125 187.50 250 312.50 375 437.50 500

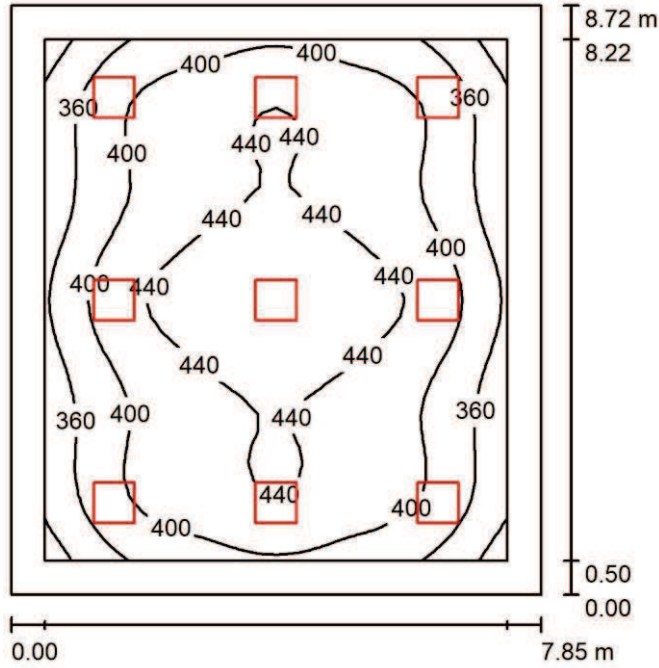
lx

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z15-Derslik 11 / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m, Bakım çarpanı: ... birimde değerler Lux, Ölçek 1:112
 0.90

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	407	300	476	0.739
Zemin	40	344	224	417	0.652
Tavan	80	147	107	229	0.732
Duvarlar (4)	60	245	128	349	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 32 x 32 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşiklik parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (İşiklik) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	9	Vestel Pro Plus Panel 60x60 (1.000)	3400	3400	27.0
			Toplam: 30600	Toplam: 30600	243.0

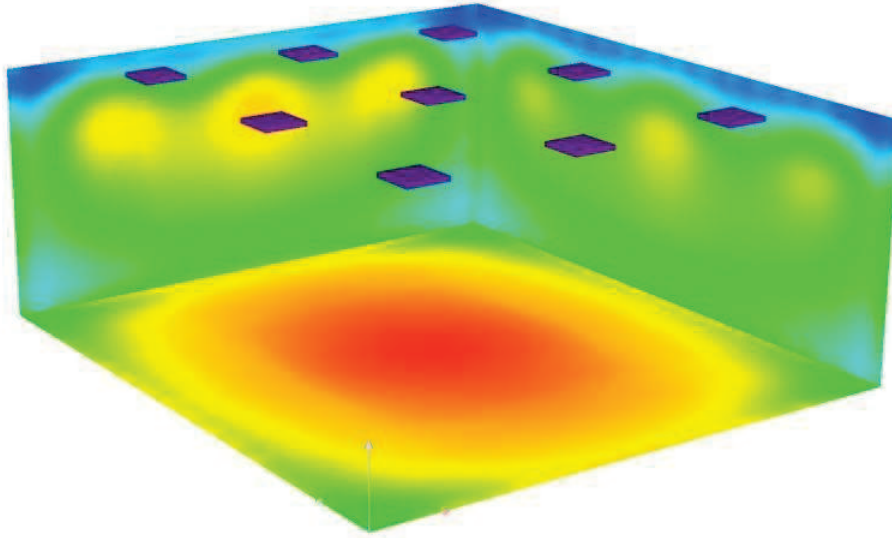
Özgül bağlantı değeri: $3.55 \text{ W/m}^2 = 0.87 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 68.45 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

Z15-Derslik 11 / Yanlış renk görüntülemesi



0 62.50 125 187.50 250 312.50 375 437.50 500

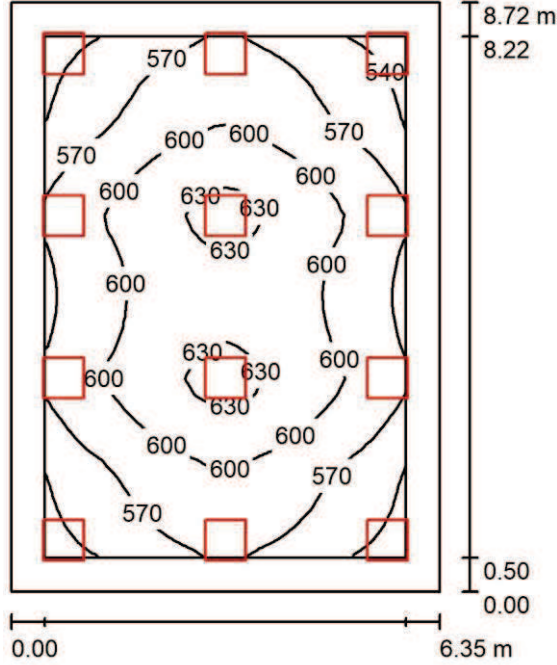
lx

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

1B15-Derslik 3-Polimer Araş.Lab.3 / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m, Bakım çarpanı: ... birimde değerler Lux, Ölçek 1:112
 0.90

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	588	517	640	0.879
Zemin	40	504	374	571	0.741
Tavan	80	237	205	334	0.865
Duvarlar (4)	60	409	242	801	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 32 x 32 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşiklik parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (İşiklik) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	12	Vestel Pro Plus Panel 60x60 (1.000)	3400	3400	27.0
			Toplam: 40800	Toplam: 40800	324.0

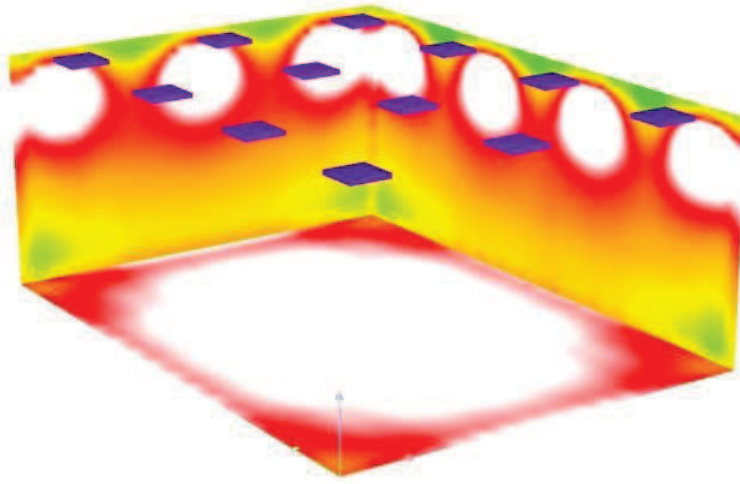
Özgül bağlantı değeri: $5.85 \text{ W/m}^2 = 0.99 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 55.37 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

1B15-Derslik 3-Polimer Araş.Lab.3 / Yanlış renkler görüntülemesi



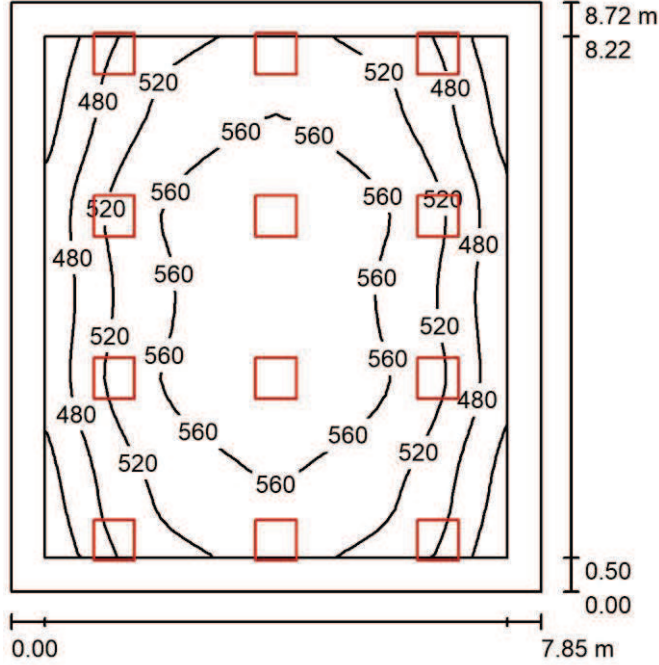
lx

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

1B13-Derslik 1-Polimer Araş.Lab.1 / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m, Bakım çarpanı: ... birimde değerler Lux, Ölçek 1:112
 0.90

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	527	404	599	0.767
Zemin	40	450	303	532	0.673
Tavan	80	198	154	294	0.777
Duvarlar (4)	60	333	174	746	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 32 x 32 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşiklik parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (İşiklik) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	12	Vestel Pro Plus Panel 60x60 (1.000)	3400	3400	27.0
			Toplam: 40800	Toplam: 40800	324.0

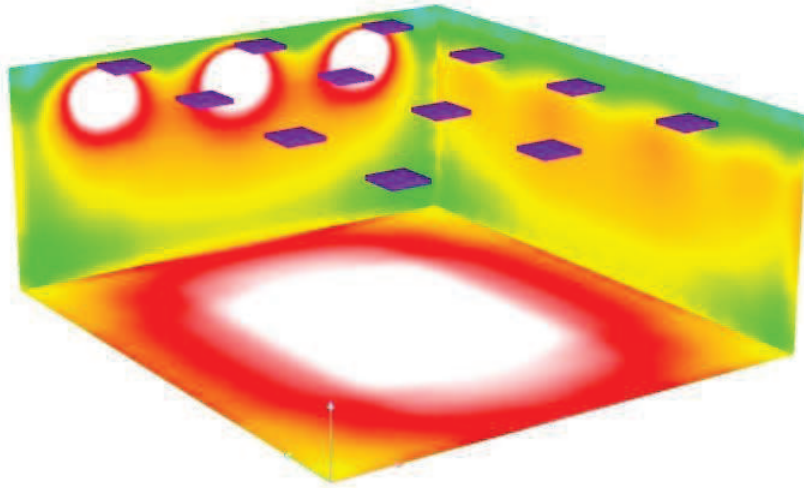
Özgül bağlantı değeri: $4.73 \text{ W/m}^2 = 0.90 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 68.45 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

1B13-Derslik 1-Polimer Araş.Lab.1 / Yanlış renkler görüntülemesi



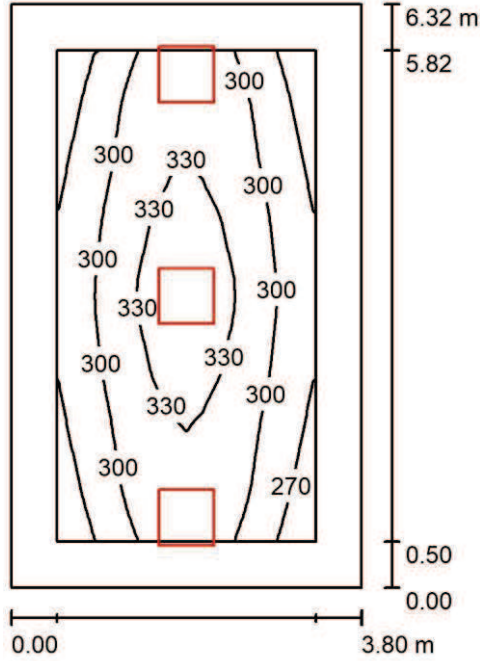
lx



VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

128-Araş.Gör. / Özet

Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m, Bakım çarpanı: ... birimde değerler Lux, Ölçek 1:82
 0.90

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	304	247	348	0.811
Zemin	40	233	170	272	0.729
Tavan	80	112	81	214	0.722
Duvarlar (4)	60	187	88	648	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 32 x 16 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşiklik parça listesi

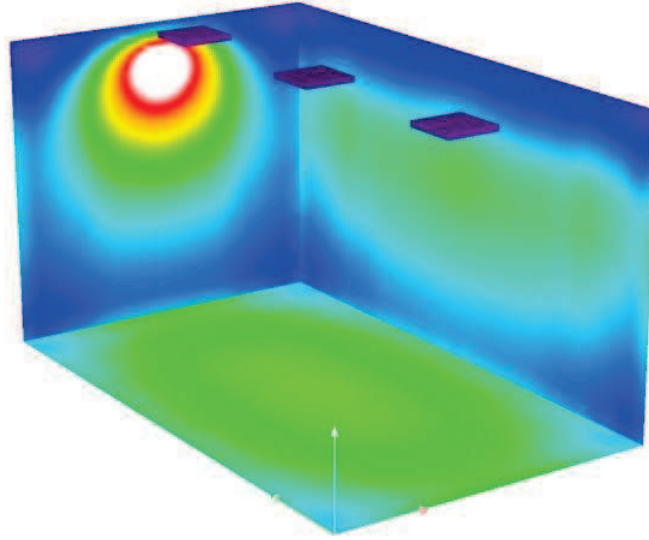
Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (İşiklik) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	3	Vestel Pro Plus Panel 60x60 (1.000)	3400	3400	27.0
			Toplam: 10200	Toplam: 10200	81.0

Özgül bağlantı değeri: $3.37 \text{ W/m}^2 = 1.11 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 24.02 m^2)

VESTEL
Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

128-Araş.Gör. / Yanlış renk görüntülemesi



0 62.50 125 187.50 250 312.50 375 437.50 500

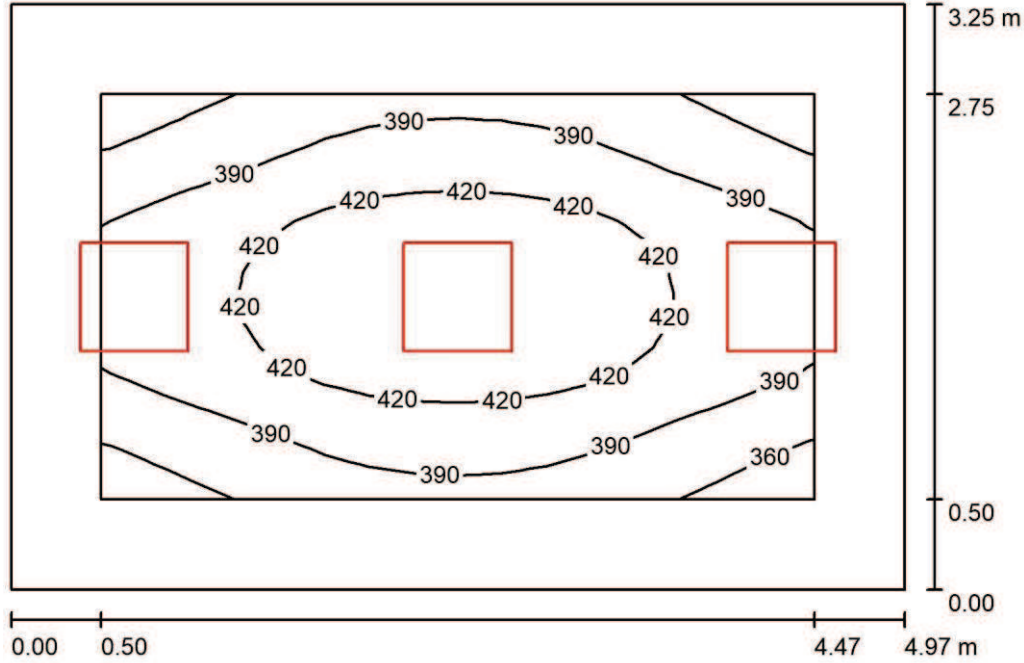
lx

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
 Telefon +90 (212) 456 32 14
 Faks
 e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

116-Doçent / Özet



Oda yüksekliği: 3.500 m, Tutturma yüksekliği: 3.500 m, Bakım çarpanı: ... birimde değerler Lux, Ölçek 1:42
 0.90

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	402	340	445	0.847
Zemin	40	295	229	340	0.774
Tavan	80	154	106	263	0.686
Duvarlar (4)	60	254	126	828	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
 Ağ: 16 x 16 Noktalar
 Sınır bölgesi: 0.500 m

İşiklik parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (İşiklik) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	3	Vestel Pro Plus Panel 60x60 (1.000)	3400	3400	27.0
			Toplam: 10200	Toplam: 10200	81.0

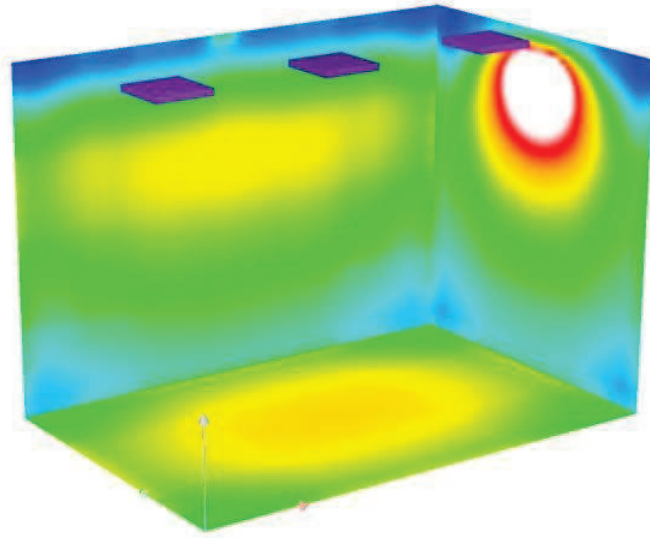
Özgül bağlantı değeri: $5.01 \text{ W/m}^2 = 1.25 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 16.15 m^2)

VESTEL

Levent 199, İstanbul

İşleyen Selcen AKBAY
Telefon +90 (212) 456 32 14
Faks
e-Posta selcen.akbay@vestel.com.tr

116-Doçent / Yanlış renkler görüntülemesi



lx



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Elif KÜÇÜKKAYA

Doğum Yeri ve Tarihi: Bolu/ 11.03.1992

E-Posta: kucukkaya.elif@gmail.com

Lisans: Yalova Üniversitesi/ Enerji Sistemleri Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Enerji Yöneticisi, Sanayi ve Bina Etüt Proje Uzmanı

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Kucukkaya E.**, Yurtcu M., Kara O. and Unver U., **2018:** Sustainable Water Management A Review Study On Efficient Use Of Water. *7th International Conference on Advanced Technologies*, Apr 28-01 May, 2018, Antalya, Turkey.
- Yurtcu M., Kara O., **Kucukkaya E.** and Unver U., and **2018:** A Comprehensive Review On Heat Pumps Systems For Green Building Concept. *7th International Conference on Advanced Technologies*, Apr 28-01, 2018, Antalya, Turkey.
- Kara, O., Unver U., Yurtcu M., **Kucukkaya, E.**, and Kelesoglu, A., **2018:** A Heat Pump System Design for the Green Campus of University of Yalova. *3rd International Conference on Smart and Sustainable Technologies*, 26-29 June 2018, Split, Croatia.
- Ünver, Ü., Keleşoğlu, A., **Küçükaya, E.**, **2017:** Mühendislik Disiplinleri İçin Bilimsel Makale Yazımının Temel Bileşenleri. *Yalova Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi. Cilt:7, Sayı:13, S: 235-247.*