

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPI BİLGİ MODELLEME ARACILIĞI İLE ENERJİ ETKİN YAPI
TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ: BİR KONUT PROJESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Damla ELBİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPI BİLGİ MODELLEME ARACILIĞI İLE ENERJİ ETKİN YAPI
TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ: BİR KONUT PROJESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Damla ELBİ
(502161506)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502161506 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Damla ELBİ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YAPI BİLGİ MODELLEME ARACILIĞI İLE ENERJİ ETKİN YAPI TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ: BİR KONUT PROJESİ ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Gül Koçlar ORAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Rana KUTLU
İstanbul Kültür Üniversitesi

Teslim Tarihi : 2 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 12 Haziran 2019





Anneme ve babama,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve çalışmalarım boyunca beni destekleyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Gül Koçlar ORAL'a ve değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Hayallerimin peşinden gitmem için bana yardım eden anneme, babama ve tüm aileme sevgi dolu teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Damla Elbi
(Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tez Çalışmasının Amacı Ve Yöntemi	3
1.2 Tez Çalışmasının Kapsamı	3
2. YAPILARDA ENERJİ ETKİNLİĞİ	5
2.1 Enerji Etkin Yapılar	5
2.2 Enerji Etkin Yapıların Gelişimi	7
2.3 Yapılarda Enerji Etkinliğine İlişkin Hesaplama Yöntemleri	10
2.4 Enerji Etkin Yapılar İle İlgili Yasal Mevzuat	11
2.4.1 Enerji kimlik belgesi (EKB)	12
2.4.2 Bina enerji performansı yazılımı (BEP-TR)	12
2.4.3 AB binalarda enerji performansı direktifi (EPBD)	13
2.5 Enerji Etkin Yapılar İle İlgili Sertifika Sistemleri	14
2.5.1 Uluslararası sertifika sistemleri	15
2.5.2 Ulusal sertifika sistemleri	18
2.6 Enerji Etkin Yapı Hedefleri	18
2.7 Yapıların Enerji Etkin Tasarımı ve Geliştirilmesi	22
2.7.1 Mevcut yapıların enerji etkin geliştirilmesi	23
2.7.1.1 Kullanıcı davranışları	23
2.7.1.2 Pasif sistemler	24
2.7.1.3 Aktif sistemler	26
2.7.2 Yeni binaların enerji etkin olarak tasarlanması	27
3. YAPI BİLGİ MODELLEME VE KONU ALANINDA YAPILAN	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	35
3.1 Yapı Bilgi Modellemenin Özellikleri	35
3.1.1 Yapı bilgi modellemenin tarihçesi	37
3.1.2 Yapı bilgi modelleme düzeyleri	39
3.1.3 Yapı bilgi modelleme boyutları	40
3.1.4 Yapı bilgi modelleme formatları	44
3.2 Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Kullanımı	47
3.2.1 Yapı bilgi modelleme programı kullanıcıları	47
3.2.2 Yapı bilgi modelleme kullanımının avantajları	48
3.2.3 Yapı bilgi modelleme kullanımının dezavantajları	51
3.2.4 Dünyada yapı bilgi modelleme kullanımı	52
3.2.5 Dünyada yapı bilgi modelleme standartları	55

3.3 Yapı Bilgi Modelleme (YBM) ile Sürdürülebilir ve Enerji Etkin Tasarım.....	57
3.3.1 Sürdürülebilir ve enerji etkin tasarımda YBM kavramları	58
3.3.1.1 Bina enerji modeli (BEM) kavramı	58
3.3.1.2 Yeşil yapı YBM kavramı	59
3.3.1.3 Yaşam döngüsü analizi ve yapı bilgi modelleme ilişkisi	60
3.3.2 Yapı bilgi modelleme ile enerji etkin tasarım ve geliştirme	62
4. YAPI BİLGİ MODELLEME ARACILIĞI İLE SİMÜLASYON	
ÇALIŞMASI: BİR KONUT PROJESİ ÖRNEĞİ	67
4.1 Simülasyon Çalışmasının Amacı, Kapsamı ve Adımları	67
4.2 Seçilen proje hakkında genel bilgiler	68
4.2.1 Projenin yapı bilgi modelini oluşturmak için kullanılan rapor bilgileri ve proje verileri	69
4.2.2 Simülasyon yazılımları ve yapı bilgi modelleme programı hakkında genel bilgiler	70
4.3 Referans Bina Yapı Bilgi Modeli Enerji Simülasyon Çalışması	70
4.3.1 Yapı bilgi modelleme öncesi DWG dokümanlarının ve YBM dosyasının hazırlanması	70
4.3.1.1 Yapı bilgi modellemeye ilişkin kabuller	70
4.3.1.2 DWG dosya aktarımı	71
4.3.2 Yapı bilgi modelleme modeli program kabulleri	71
4.3.2.1 Örnek çalışmaya özgü malzemelerinin oluşturulması ve yerlerine atanması	71
4.3.2.2 Örnek çalışmaya özgü malzemelerin termal özellikleri	72
4.3.2.3 Malzeme katmanlı yapı elemanlarının oluşturulması	72
4.3.2.4 Yapı elemanlarına ilişkin bilgiler	72
4.3.2.5 Yapı elemanlarının yalıtım değerleri	73
4.3.3 Örnek çalışma projesinin üç boyutlu yapı bilgi modelinin yapılması	73
4.3.4 Örnek çalışma projesinin yapı bilgi modeli teknik çizimleri ve modeli... ..	74
4.3.5 Örnek çalışma projesinin enerji analizi modeli	78
4.3.5.1 Programa enerji analizine ilişkin verilerin aktarılması	78
4.3.5.2 Enerji analizi modeli kabulleri (ayarları)	79
4.3.5.3 Referans bina modelinde güneş enerjisi potansiyeli analizi	79
4.3.5.4 Referans bina modelinde gün ışığı analizi	80
4.4 Enerji Simülasyon Çalışması ve Senaryolar	82
4.5 Mevcut Hali Koruyan Referans Yapının YBM ile Enerji Etkin Geliştirme Çalışması	83
4.5.1 Senaryo-1 (S-1)	83
4.5.1.1 Senaryo-1 “Referans Yapı”	84
4.5.1.2 Senaryo-1 “Referans Yapı” enerji analizleri	84
4.5.2 Senaryo-2 grubu (S-2.1, S-2.2, S-2.3, S-2.4, S-2.5)	88
4.5.2.1 Senaryo-2.1 “GBS en düşük enerji tüketimi veren alternatif”	88
4.5.2.2 Senaryo-2.2 “Arch 2030 hedefini sağlayan alternatif”	93
4.5.2.3 Senaryo-2.3 “Net sıfır değerini sağlayan alternatif”	95
4.5.2.4 Senaryo-2.4 “ASHRAE 90.1-2010 standardını esas alan alternatif”.....	97
4.5.2.5 Senaryo-2.5 “Önerilen bina”	99
4.5.3 Senaryo-1 “Referans bina” ve senaryo-2 alternatiflerinin karşılaştırılması	101
4.6 Referans Yapının Tasarımında Değişiklikler Yapılarak Elde Edilen Alternatif Tasarıma Sahip Yapının YBM ile Enerji Etkin Geliştirme (İyileştirme) Çalışması	102

4.6.1 Pencere gölgeleme elemanları ve ışık raflarının eklenmesi	103
4.6.2 Alternatif tasarım bina enerji modeli	105
4.6.2.1 Alternatif tasarım modeli ile güneş enerjisinden yararlanma	105
4.6.2.2 Alternatif tasarım bina modelinde gün ışığı analizi	107
4.7 Geliştirilen Alternatif Tasarım Modelinin Yapı Bilgi Modeli Üzerinde	
Enerji Etkin Geliştirme Çalışması	112
4.7.1 Senaryo 3 (S-3)	112
4.7.1.1 Senaryo-3 (S-3) “Tasarım parametrelerine ilişkin değişkenlerin	
değerlendirildiği alternatif”	112
4.7.1.2 Senaryo-3 (S-3) “Tasarım parametrelerine ilişkin değişkenlerin	
değerlendirildiği alternatif” enerji analizleri	112
4.7.2 Senaryo-4 (S-4)	116
4.7.2.1 Senaryo-4 (S-4) “İyileştirilmiş alternatif tasarım bina”	117
4.7.2.2 Senaryo-4 (S-4) “İyileştirilmiş alternatif tasarım bina” enerji	
analizleri	117
4.7.3 Senaryo-3 “Tasarım parametrelerine ilişkin değişkenlerin	
değerlendirildiği alternatif” ve senaryo-4 “İyileştirilmiş alternatif	
tasarım bina” alternatiflerinin karşılaştırılması	119
4.8 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	119
4.8.1 Enerji analizi değişkenlerinin etkileri	122
4.8.2 Senaryoların enerji tüketimleri açısından karşılaştırılması	123
4.8.3 Senaryoların referans yapıya göre enerji etkinlik açısından sağladığı	
enerji tasarruf oranları	126
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	129
KAYNAKLAR	133
EKLER	143
ÖZGEÇMİŞ	157



KISALTMALAR

HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning
CAD	: Computer Aided Design
YBM	: Yapı Bilgi Modelleme
BIM	: Building Information Modelling
İMSAD	: İnşaat Malzemeleri Sanayicileri Derneği
AIA	: American Institute of Architects (Amerikan Mimarlar Enstitüsü)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
TS 825	: Türk Standardı, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları
EKB	: Enerji Kimlik Belgesi
BEP-TR	: Bina Enerji Performansı Hesap Yazılımı
BEP	: Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği
BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method
LEED	: Leadership in Energy and Enviromental Design
SB Tool	: Sustainable Building Tool – Kanada (Sürdürülebilir Bina Aracı)
BEAM	: Building Environmental Assessment Method - Hong Kong
CEPAS	: Comprehensive Environmental Performance Assessment Scheme - Hong Kong
SBAT	: Sustainable Building Assessment Tool - Güney Afrika
CASBEE	: Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency - Japonya
USGBC	: U.S. Green Building Council (Amerikan Yeşil Binalar Konseyi)
DGBN	: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen E.V.
GBCA	: Green Building Council of Australia (Avusturalya Yeşil Bina Konseyi)
JSBC	: Japan Sustainable Building Consortium (Japonya Sürdürülebilir Yapı Konsoryumu)
GBEL	: Green Building Evaliation Standart - Çin
EPA	: ABD Çevre Koruma Ajansı
DOE	: ABD Enerji Bakanlığı
GBI	: Green Building Initiative (Yeşil Bina Girişimi) - Kanada

ÇEDBİK	: Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
WGBC	: (Dünya Yeşil Bina Konseyi)
SEEB-TR	: Sürdürülebilir Enerji Etkin Binalar
nZEB	: near Zero Energy Building (Neredeyse Sıfır Enerji Binası / nSEB)
NZEB	: Net Zero Energy Building (Net Sıfır Enerji Binası / NSEB)
IUA	: Uluslararası Mimarlar Birliği
ILFI	: Uluslararası Yaşayan Gelecek Enstitüsü
TEVSB	: Türkiye Enerji Verimliliği Strateji Belgesi
İDEP	: İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı
MURE	: Mesures d'Utilisation Rationnelle de l'Energie - Fransa
DENA	: Deutsche Energie-Agentur GmbH - Almanya
PCM	: Phase Changing Material (Faz Değiştiren Malzeme)
Low-E	: Low Emmissivity
SHGC	: Solar Heat Gain Coefficient (Güneş Isı Kazanç Katsayısı)
PAS	: Publicly Available Specifications
NIBS	: National Institute of Building Sciences
IPD	: Integrated Building Delivery (Entegre Proje Teslimi)
MMİ	: Mimarlık, Mühendislik, İnşaat (AEC Architecture, Engineering, Construction)
IFC	: Industry Foundation Classes
XML	: Extensible Markup Language
gbXML	: Green Building Extensible Markup Language
ISO	: International Organization for Standardization
BSI	: British Standards Institute
NBIMS	: Ulusal YBM Standartları Proje Komitesi
BEM	: Bina Enerji Modeli
BPA	: Bina Performansı Analizi
LCA	: Life Cycle Analysis (Yaşam Döngüsü Analizi / YDA)
LCI	: Life Cycle Inventory (Yaşam Döngüsü Envanteri/ YDE)
LCIA	: Life Cycle Influence Evaluation (Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi /YDED)
TOKİ	: Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
GBS	: Green Building Studio
WWR	: Window Wall Ratio (Pencere Duvar Oranı/PDO)
EPD	: Energy Power Density
LPD	: Lighting Power Density

ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
d	: Kalınlık (m)
R-değeri	: Isıl İletkenlik Direnci (m^2K/W)
U-değeri	: Isı Geçirgenlik Katsayısı (W/m^2K)
λ	: Isıl İletkenlik Hesap Değeri (W/mK)
PTHP	: Package Terminal Heat Pump (Paket Terminal Isı Pompası)
PV Panel	: Fotovoltaik panel
EUI	: Energy Use Intensity (Enerji Kullanım Yoğunluğu)
Ort.EUI	: Ortalama Enerji Kullanım Yoğunluğu





ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Senaryoların simülasyon (EUI) sonuçları.	120
Çizelge 4.2 : Senaryoların yaşam döngüsü boyunca enerji tüketimi açısından karşılaştırılması	123
Çizelge 4.3 : Senaryoların yıllık toplam enerji tüketimi sonuçları.	124
Çizelge 4.4 : Senaryoların sağladığı yıllık enerji tüketimi sonuçları.	125
Çizelge 4.5 : Senaryoların referans yapıya göre enerji tasarruf oranları.	127
Çizelge A.1 : Referans binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının detayları	144
Çizelge A.2 : Alternatif tasarım binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının detayları	149
Çizelge A.3 : Senaryoların simülasyon enerji analizi değişkenleri	151
Çizelge A.4 : Senaryoların simülasyon enerji analizi değişkenlerinin Ort. EUI üzerindeki etkilerine ilişkin sonuçlar	154
Çizelge A.5 : Senaryoların enerji yükleri sonuçlarına ilişkin ayrıntılı çizelge	155



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : TS 825'e göre, bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri çizelgesi (TS 825).	24
Şekil 3.1 : İngiltere YBM olgunluk düzeyleri modeli (GCCG, 2011)	40
Şekil 3.2 : YBM boyutları, Czmoach ve Pekala, 2014.	42
Şekil 3.3 : Pas1192-2'ye göre bilgi akış şeması (information delivery cycle) (BSI, 2013).	56
Şekil 4.1 : YBM programı yönetim sekmesi altındaki ayarlar.	70
Şekil 4.2 : YBM programı ekle sekmesi altındaki LinkCad aktarım yöntemi.	71
Şekil 4.3 : Referans bina bodrum (Kat -1) planı.	75
Şekil 4.4 : Referans bina zemin kat (Kat 0) planı.	75
Şekil 4.5 : Referans bina ara kat (Kat 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) planı.	75
Şekil 4.6 : Referans bina en üst kat (Kat 10) planı.	76
Şekil 4.7 : Referans bina çatı katı (Kat 11) planı.	76
Şekil 4.8 : Referans bina çatı planı.	76
Şekil 4.9 : Referans bina kuzey-güney ve doğu-batı bina kesitleri.	77
Şekil 4.10 : Referans bina güney ve kuzey cepheleri.	77
Şekil 4.11 : Referans bina doğu ve batı cepheleri.	77
Şekil 4.12 : YBM programı referans bina ara kat modeli ve program ara yüzü.	78
Şekil 4.13 : YBM programı 3 boyutlu referans bina modeli ve program ara yüzü ...	78
Şekil 4.14 : YBM programı enerji analizi ayarlar sekmesi.	78
Şekil 4.15 : Referans bina enerji modeli.	79
Şekil 4.16 : Referans bina kat-2, 21 Aralık saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı. ..	80
Şekil 4.17 : Referans bina kat-2, 21 Haziran saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı.....	80
Şekil 4.18 : Referans bina kat-10, 21 Aralık saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı.....	80
Şekil 4.19 : Referans bina kat-10, 21 Haziran saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı.....	81
Şekil 4.20 : Simülasyon çalışmaları ve senaryo isimleri.	83
Şekil 4.21 : S-1 senaryosu yıllık yakıt ve elektrik tüketimi paylaşım grafikleri.	85
Şekil 4.22 : S-1 senaryosu aylık toplam enerji tüketimi (kwh), aylık toplam elektrik tüketimi (kwh), aylık toplam yakıt/gaz tüketimi (m3) grafikleri.	86
Şekil 4.23 : S-1 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.	88
Şekil 4.24 : S-2.1 senaryosu yıllık yakıt ve elektrik tüketimi paylaşımı grafikleri ...	90
Şekil 4.25 : S-2.1 senaryosu, aylık toplam enerji tüketimi (kwh), aylık toplam elektrik tüketimi (kwh), aylık toplam yakıt/gaz tüketimi (m3) grafikleri.	91
Şekil 4.26 : S-2.1 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.	93
Şekil 4.27 : S-2.2 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.	95
Şekil 4.28 : S-2.3 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.	97

Şekil 4.29 : S-2.4 senaryosu yıllık yakıt ve elektrik tüketimi paylaşımı grafikleri. ..	98
Şekil 4.30 : S-2.4 senaryosu aylık toplam enerji tüketimi (kwh), aylık toplam elektrik tüketimi (kwh), aylık toplam yakıt/gaz tüketimi (m3) grafikleri.	98
Şekil 4.31 : S-2.5 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.	101
Şekil 4.32 : Insight ara yüzünde S-1 ve S-2 alternatiflerinin yıllık enerji tüketimleri açısından karşılaştırması.	101
Şekil 4.33 : Alternatif tasarım bina düşey ve yatay gölgeleme elemanları detay planı.	104
Şekil 4.34 : Alternatif tasarım bina değişiklikleri işaretlenmiş ara kat planı.	104
Şekil 4.35 : Alternatif tasarım bina güney ve kuzey cepheleri.	104
Şekil 4.36 : Alternatif tasarım bina batı ve doğu cepheleri.	105
Şekil 4.37 : Alternatif tasarım bina YBM görselleri.	105
Şekil 4.38 : YBM programı güneş analizi ara yüz sekmesi ve görseli.	106
Şekil 4.39 : Alternatif tasarım bina güneş enerjisi analizi görselleri soldan sağa: toplam güneşlenme (gelen güneş ışıınımı/insolation), sistemin geri ödeme süresi, panellerin yerleştirilebileceği alanların etkinlik düzeyleri.	106
Şekil 4.40 : YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım bina modeli, 21 Haziran, saat 15.00 gün ışığı analizi görseli.	107
Şekil 4.41 : YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım bina güney cephesi, 21 Haziran, saat 15.00 gün ışığı analizi görseli.	107
Şekil 4.42 : YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım bina kuzey cephesi, 21 Haziran, saat 15.00 gün ışığı analizi görseli.	108
Şekil 4.43 : YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım bina, doğu cephesi, 21 Haziran, saat 15.00 gün ışığı analizi görseli.	108
Şekil 4.44 : YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım bina batı cephesi, 21 Haziran, saat 15.00 gün ışığı analizi görseli.	108
Şekil 4.45 : YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım bina güney/doğu cephesi, 21 Haziran, saat 15.00 gün ışığı analizi görseli.	108
Şekil 4.46 : Alternatif tasarım bina kat-2 planı, 21 Aralık saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı.....	109
Şekil 4.47 : Alternatif tasarım bina kat-2 planı, 21 Haziran saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı.....	109
Şekil 4.48 : Alternatif tasarım bina kat-10 planı, 21 Aralık saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı.....	109
Şekil 4.49 : Alternatif tasarım bina kat-10 planı, 21 Haziran saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı.....	110
Şekil 4.50 : Alternatif tasarım bina kat-2 planı, güney yönündeki salonda, yıl boyunca her ayın 21'i saat 15.00'de gün ışığı alımı.	111
Şekil 4.51 : S-3 senaryosu yıllık yakıt ve elektrik tüketimi paylaşımı grafikleri. ...	114
Şekil 4.52 : S-3 senaryosu aylık toplam enerji tüketimi (kwh), aylık toplam elektrik tüketimi (kwh), aylık toplam yakıt/gaz tüketimi (m3) grafikleri.	114
Şekil 4.53 : S-3 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.	116
Şekil 4.54 : S-4 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.	119
Şekil 4.55 : Insight ara yüzünde S-3 ve S-4 alternatiflerinin yıllık enerji tüketimleri açısından karşılaştırması.	119
Şekil 4.56 : Senaryoların simülasyon (EUI) sonuçları.	121

YAPI BİLGİ MODELLEME ARACILIĞI İLE ENERJİ ETKİN YAPI TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ: BİR KONUT PROJESİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Yapılarda enerji etkin tasarım ve geliştirme (enerji etkin iyileştirme) enerji sorunlarının çözümünde ve sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli bir adımdır. Diğer taraftan, mimari projelerde enerji etkinliğin planlanması, gelişen bilgisayarlı modelleme ve simülasyon programları ile gün geçtikçe kolaylaşmaktadır. Yapı bilgi modelleme programları, binalarda çok yönlü, güncel ve etkileşimli bir tasarım aracı olarak enerji etkinlik çalışmalarına katkı sağlayan çeşitli veri saklama ve simülasyon özelliklerine sahiptir.

Bu açıdan tez çalışmasında, giriş bölümünde çalışmanın amacı, kapsamı açıklandıktan sonra, ikinci bölümde öncelikle enerji etkin tasarım ve geliştirme iyileştirme teknikleri, dünyadaki ve ülkemizdeki ilgili yasal mevzuatlar, hedefler, sertifika ve mevcut çalışmalar derlenmiştir. Yapılarda enerji etkin ve iklimle uyumlu tasarımların kullanımı ve endüstri devrimi sonrasında ortaya çıkan çevre sorunlarına duyarlı tarafların ele aldıkları kavramlar ayrıntılı olarak irdelenerek, gelişen bilgisayarlı enerji hesaplamaları açıklanmıştır. Daha sonra ülkemizdeki binalarda uygulanan standartlar ve yasal mevzuat tartışılarak, çevre üzerindeki istenmeyen etkileri azalttığı gibi yapılara değer kazandıran ve dünyanın birçok yerinde uygulanan sertifikasyon sistemleri örneklerle açıklanmıştır. Mimaride enerji korunumunu sağlamak için hazırlanmış uzun süreli enerji hedefleri kapsamında ise, gezegenimizin gelecekte sürdürülebilir ve enerji etkinliği sağlamaya yönelik ulusal ve uluslararası enerji stratejileri ele alınmıştır. Pasif sistemler kapsamında; güneşiği kontrolü, gölgeleme ve ışık yansıtıcı elemanlar, pasif güneş enerjisi kullanımı, yapı elemanlarının yalıtımı, doğal havalandırma tasarımları, aktif sistemler kapsamında ise HVAC sistemleri açıklanmıştır. Yeni inşa edilecek yapılarda, araziye yerleşim, yapının yönlendirilmesi, iklimle göre bina formu ve mekan yerleşimi, termal kütle ve doğrudan güneşiği kazançları da açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, yapı bilgi modelleme kavramı ve gelişimi ele alınmış, konu alanındaki programların çalışma prensipleri incelenmiş, kullanımına ilişkin özellikler açıklanmıştır. Programların vektörel sistemlerden veri taşıyan objelere doğru gelişimi, desteklediği sistemler açısından olgunluk düzeyleri, kullanılabilen veri analizi türleri açısından boyutlarının yanı sıra ortak format ve özgün format özelliklerine açıklanmıştır. Projelerin çeşitli evrelerinde kullanım avantajları, dezavantajları, kullanıcıların yetkinlik ve sorumlulukları ile dünyadan uygulamalara ilişkin çalışma ve standartlar sunulmuştur. Ayrıca, programlar ve simülasyonları aracılığı ile yapılan enerji etkin yapı tasarım ve geliştirme çalışmaları ele alınarak, literatür araştırması içerisinde, bina enerji modeli, yeşil yapı bilgi modelleme, yaşam döngüsü analizi ile ilişki ve benzeri kavramlar ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde, yapı bilgi modelleme aracılığı ile enerji etkinliğin geliştirilmesi için mevcut çok katlı bir konut projesi seçilerek, örnek bir uygulama çalışması

gerçekleştirilmiştir. Seçilen proje, TS 825 ısı yalıtımı standartlarına göre inşa edilmiş, TOKİ (Toplu Konut Dairesi Başkanlığı) tarafından geliştirilmiş bir yapıdır.

Örnek uygulama çalışmasında yapı bilgi modelleme programı ve ilgili simülasyonlar ile referans binanın modeli oluşturulmuş ve yapı, enerji etkinliği açısından irdelenmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli ve gün ışığı alımı çalışmaları sonrasında, referans için enerji etkinliğini geliştirmek hedefine yönelik senaryo oluşturulmuştur. Sekiz senaryo, dört farklı simülasyon stratejisi ve iki yapı bilgi modelinden elde edilmiştir. Senaryo 1 ve 2, referans bina modeline, senaryo 3 ve 4 ise mevcut binaya alternatif olarak sunulan alternatif tasarım bina modeline dayanmaktadır. Simülasyon aracılığı ile elde edilen sonuçlar; referans bina için program içerisinde mevcut olan ve önerilen senaryolar ile yapı bilgi modeli üzerinde tasarım alternatifleri içeren senaryolar açısından karşılaştırılmıştır. Senaryo sonuçları incelenerek, mevcut ve alternatif tasarım modellerinde programın enerji etkin geliştirme (iyileştirme) potansiyeli oranları belirlenmiştir.

Sonuç bölümünde, yapı bilgi modelleme ve simülasyon yöntemleri ile mevcut yapıların enerji etkin geliştirilmesi için çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

ENERGY EFFICIENT DESIGN AND ENHANCE OF BUILDINGS WITH BUILDING INFORMATION MODELLING: THE CASE OF A MULTISTORY RESIDENTIAL BUILDING

SUMMARY

Energy efficient design and enhanced retrofitting of energy efficiency in buildings has taken its part in the construction sector as one of the main objectives of sustainability. Planning energy efficiency in architectural projects gradually facilitates with the advancing computer modelling and simulation programs.

As versatile, contemporary and interactive design tools, building information modelling programs have various data storage and simulation properties that contribute to energy efficiency studies.

Energy efficient design and retrofitting of buildings which include various energy efficiency enhancing retrofitting techniques, relevant legal regulations, objectives, challenges, certifications and academic research are compiled in this thesis.

Research begins with the use of climate responsive and energy efficient design in construction and conceptual approaches of parties concerned about the emerging environmental problems after the industrial revolution and continue with development of computerized energy calculations.

Next, the study proceeds with baseline standards implemented in Turkey, legal statutes and referential official sources. Exemplary certifications which increase the value of buildings as well as minimize the undesirable effects on environment are explained.

Long term energy challenges aspiring to improve energy usages in architecture to preserve the future of our planet include national and international energy strategies. Effects and results of energy challenges are presented alongside energy strategy estimations and projections. Prospective outcomes are compiled on an international scale as well as on a region scale for various countries.

Academic researches and application information are reviewed for energy efficient improvement strategies. Moreover the approaches commonly applied in the energy efficient enhance of buildings as passive systems and active systems are explained.

Energy efficiency approaches and their effects on existing buildings are discussed in sections of; user behavior, passive systems such as insulation and daylighting control and active systems such as HVAC and renewable energy.

Energy efficient design strategies related to climate responsive design methods of new buildings are explained. These strategies are; site selection, building mass organization, building form, building orientation, building envelope and building elements.

Building information modelling systems, programs and operation methods are explained in the following chapter. Building information modelling programs'

evolution from vectorial systems to data carrier objects, maturity levels based on supporting systems, dimensions based on usable data analysis types are touched upon alongside with common and unique file formats.

Advantages and disadvantages of using building information modelling programs in various project phases of a building's lifecycle are mentioned in comparison to traditional methods. Competencies and responsibilities of users along with application studies and standards from the world are presented.

Concepts such as building energy model, green building information modelling, lifecycle analysis relations and so forth are discussed among the literature research with mentions to energy efficient building design and retrofitting methods through programs and simulations.

The essential and optional work steps, program relations, work actions and methods for energy efficient design and retrofitting with building information modelling programs are compiled. Efficiency and applicability of these methods are briefly discussed.

In the following chapter, an example of the application is carried out by selecting an existing high rise residence building project for energy efficient development and retrofitting through building information modelling. Selected project belongs to TOKİ (housing development administration of Turkey) and it is built in accordance with TS 825 heat insulation standards.

Main objective of the application example is to determine building information modelling programs' effect in providing energy efficiency for a building example.

In the application example, firstly, an information model of the building is created. Next, energy efficiency and daylighting analysis of the existing building are presented. Several energy efficient retrofitting scenario alternatives are generated with building information modelling program and related simulation tools.

Energy efficient scenarios are based on the following variables:

Building element variables:

- roof construction,
- wall construction, based on north-south-east-west directions,
- windows, based on north-south-east-west directions,
 - window wall ratio,
 - shading element,
 - glass type,

System variables which have an effect on energy consumption:

- HVAC systems,
- PV panels,
- plug load efficiency,
- lighting efficiency,
- daylighting and occupancy controls,
- infiltration.

Alternative scenarios are based on four types of simulation strategies and two building information models.

First strategy is to select the best option in each energy variable category inside the Green Building Studio tool to obtain the most energy efficient result without any regard to feasibility or user comfort.

Second is to apply the energy variables that transform the reference building to meet the embedded standards and objectives such as net zero energy building (nzeb), Arch 2030 and ASHRAE standard. Objectives and standards used in the simulations are explained in the energy efficiency chapter.

Third is to interpret the previous simulations and select ideal energy variables inside the Insight tool to propose an optimized, user friendly, comfortable energy efficient building. This strategy is primarily based on user's decisions.

Next, an alternative design model is created based on the reference model. For the second model, changes related to energy efficient retrofitting strategies that could not be done through the simulation are applied with building information modelling. Climate, building orientation and solar analysis based design alterations are added to the model and analyzed with simulation variables that were previously listed.

Fourth strategy is to propose another optimized building, combining the building information model changes and applied energy variables of Insight simulation tool.

Eight scenarios are created for different types of comparisons. Scenario 1 and scenario 2 group are based on reference building model, scenario 3 and 4 are based on alternative design building model.

In the application example, lastly, all energy efficiency and energy consumption results of alternative scenarios are reviewed and analyzed for the multistory residential building project.

Energy efficient design and enhanced retrofitting study with building information modelling programs and simulation tools include; different types of reviews based on, effects of energy analysis (performance) variables, energy consumptions and energy conservations of scenarios. Quantitative results are listed in each energy analysis section.

At the end of the study, positive and negative aspects of various methods and strategies applied in the example for energy efficient design and retrofitting of buildings through building information modelling and energy simulation tools are compared and analyzed.

Lastly, the effects and benefits of using building information modelling programs and relevant energy analysis tools are discussed as a part of energy efficient design and enhance of buildings.



1. GİRİŞ

Mimarinin ve yapı sektörünün, teknolojik, canlı, çok yönlü ve etkileşimli tasarım yöntemleri hızla gelişmektedir. Ayrıca, artan nüfusun çevre üzerindeki istenmeyen etkilerinin kontrolsüz biçimde gelişimine verilen bir tepki olarak, tüketime yönelik yöntemlerin yerini artık çevreci ve sürdürülebilir tasarım yaklaşımları almaktadır. Sürdürülebilirlik ekonomi, ekoloji, enerji, doğal yaşam gibi birçok alanda başka sistemlerin mevcut veya gelecekteki kaynaklarını tüketmeden kendi çalışmasını devam ettirebilen sistemlere ilişkin genel bir yaklaşım olarak da görülmektedir.

Yaşam alanları, insanın konforunu sağlamak için giderek daha fazla enerjiye gereksinim duydukça, kişi başı enerji tüketimi de artmaktadır. Enerji üretiminin çeşitlenmesi ve çoğalması, insanların enerjiye erişimini kolaylaştırmıştır. Ancak, artan nüfusun konfor ihtiyacını karşılamak için tükettiği kontrolsüz enerji miktarı, tasarımcıları enerji etkinlik konusunda çalışmaya yöneltmiştir.

Mimaride ekolojik anlamda sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için yapının binanın yaşam döngüsü boyunca çevreye olan zararlı etkisi olabildiğince azaltılmalı ve ihtiyaçları yenilenebilir kaynaklardan karşılanmalıdır. Yapı yaşam döngüsü, malzemelerin çıkartılıp üretilmesi, tasarlanan binanın inşaatı, kullanım ve bakım süreci, yıkımı ve geri dönüşümünü kapsayan her evrede, bir yapının çevreye etkilerini içermektedir. Yapı yaşam döngüsünde sürdürülebilirliği sağlayan en önemli etkenlerden birisi enerji etkin tasarımıdır. Enerji etkin yapı tasarımı, enerji kayıpları ile kullanımlarını azaltmayı ve ihtiyaç duyulan enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan sağlamayı amaçlamaktadır. Yapıların enerji etkinliğini arttırmak için kullanılan yöntemler, malzeme ölçeğinden eleman, bileşen, yapı ve yerleşme ölçeğine kadar birçok ölçekte değişmektedir. Bu yöntemler pasif ve aktif sistemlere ilişkin enerji etkin iyileştirme olarak oldukça geniş kapsama sahiptir.

Yapılarda enerji etkinliğinin değerlendirilmesinde günümüzde çok çeşitli simülasyon programlarının bulunduğu bilinmektedir. Bu programlar binadaki yapı elemanlarına ilişkin verilerin detaylı biçimde sisteme girilmesi ve yapının modellenmesi ile inşaat

öncesinde bitmiş tasarım üzerinden enerji analizleri yapılmasına olanak sağlamaktadır. Yaşam döngüsü boyunca tahmini enerji kullanımlarını öngören simülasyon programları, enerji etkinlik konusundaki yaklaşımların, teoriden uygulamaya geçmesini kolaylaştırmaktadır.

Günümüzde enerji kayıpları, kazançları ve maliyetleri değerleri açısından, bilgisayar desteği ile önceki dönemlere göre daha gerçek verilere yakın sonuçlar elde etmek mümkün olabilmektedir. Ancak iki boyutlu çizim programları binaların enerji etkinliği hakkında çok sınırlı bilgi vermektedir. Tasarlanırken CAD programı ile çizilmiş bir yapının enerji etkinliği, ancak tasarım bittikten sonra binanın dışarıdan bir simülasyon programında üç boyutlu modellenmesiyle veya ilgili mühendisler tarafından hesaplanabilmektedir. Sıklıkla kullanılan bu yöntemlerde tasarım ve enerji etkinlik birbirlerinden ayrılmaktadır. Birçok veri tipinin girilebildiği üç boyutlu yapı bilgi modelleme programları ise tasarımcılara yeni olanaklar sunmaktadır.

Yapı bilgi modelleme, yapı tasarımını çok boyutlu modelleyerek, içinde çeşitli bilgi türlerini içeren tasarımlar yapılabilen programlara verilen genel isimdir. Yapı bilgi modelleme (YBM) programları üç boyutlu modelleme ve etkileşimli değişebilen veri içerme özellikleri ile gün geçtikçe CAD tabanlı vektörel çizim programlarının yerini almaktadır. Enerji etkinlik yöntemlerini tasarım aşaması ile eş zamanlı olarak aynı çatı altında toplayan YBM programları, sürdürülebilirliği bina oluşumunda temel hedeflerden biri haline getirmektedir.

Sürdürülebilirliğin, enerji etkin tasarımın ve yapıların enerji etkin geliştirilmesinin yapı sektöründeki önemi, sektörün enerji harcamalarına ilişkin bilgiler aracılığıyla görülmektedir. Türkiye’de 2017 yılında, kullanılan elektrik enerjisinin yaklaşık yüzde yirmisi yapı sektöründe kullanılmıştır. (EİGM, 2017 yılı genel enerji denge tablosu) Ülkemizde yapılarda kullanılan enerji, büyük oranda yenilenemeyen fosil yakıtlardan sağlanmakta iken birçok ülkede, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları, sınırlı ve tükenmekte olan yakıt tiplerinin yerini alma yolunda ilerlemektedir. Yapılardaki enerji etkinliği geliştirmek için pek çok ülkede çevreci yapı standartları, yalıtım ve enerji kullanım düzeylerine ilişkin yasal mevzuat bulunmaktadır. Ülkemizde de enerji kimlik belgesi, ısı yalıtımı standartları ve çeşitli sertifika ve yönetmelikler aracılığıyla yapıların enerji harcamalarının kontrol altına alınması amaçlanmaktadır. Günümüzde yaşam alanlarının dikey olarak gelişmesi diğer bir deyişle, yapıların yüksek katlı olması

nedeniyle özellikle yüksek ya da çok katlı konut yapılarına ilişkin çalışmalar ön plana alınmaktadır. Enerji etkinliği, yıl boyunca özellikle ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma ihtiyacında olan konutların sürdürülebilirliği için önemli bir tasarım girdisidir.

1.1 Tez Çalışmasının Amacı Ve Yöntemi

Tez çalışmasının amacı, yapılarda enerji etkin tasarım ve yapıların enerji etkin geliştirilmesinde, yapı bilgi modelleme ve yapı bilgi modellemeye dayanan, bilgisayar aracılığı ile yapılan enerji simülasyonlarının etkisini ortaya koymaktır.

Tez çalışmasının yöntemleri, öncelikle yapılarda enerji etkinlik ve yapı bilgi modelleme programları konularında literatür çalışması yapılması ile ilgili enerji analizi yöntemlerinin incelenmesi, daha sonra örnek bir projenin enerji etkinliğinin geliştirilmesinde YBM simülasyonlarının etkisinin örnek bir konut yapısı üzerinden irdelenmesidir.

1.2 Tez Çalışmasının Kapsamı

Tez çalışması kapsamında, enerji etkinlik ve yapı bilgi modelleme incelenmiş, örnek bir projenin, yapı bilgi modelleme ile enerji etkin tasarım ve iyileştirme simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapı bilgi modelleme programı kullanımının, enerji etkin yapı tasarımındaki rolü araştırılmıştır.

Tez çalışmasının giriş bölümünde, çalışmada incelenen konular, tezin amacı, kapsamı ve yöntemleri anlatılmıştır.

İkinci bölümde, enerji etkin yapıların özelliklerinden, ülkemizde ve dünyada enerji etkinliği geliştirmeyi amaçlayan enerji hedefleri, yasal mevzuat, sertifikalar, performans hesaplama yöntemleri ve enerji etkinliği artırma yaklaşımları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, yapı bilgi modelleme programlarının çalışma prensipleri ve enerji etkinlik konularındaki özellikleri ortaya konmuştur. Literatürdeki çalışmalar incelenerek, yapı bilgi modellemenin özelliklerine, kullanımına ve programlarının gelişimine değinilmiştir. YBM ile enerji etkin tasarım ve iyileştirmede, simülasyonların etkisi açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, yapı bilgi modelleme ve program içerisindeki enerji simülasyonları kullanılarak, yapılarda enerji etkinliğin geliştirilmesi için örnek bir proje üzerinde simülasyon çalışması yapılmıştır. İstanbul ilinde mevcut çok katlı bir konut yapısı örnek proje olarak seçilmiştir. Çalışma için öncelikle, seçilen binanın yapı bilgi modeli oluşturulmuş ve enerji simülasyonu ile mevcut enerji harcamalarına ilişkin referans durumun performansı belirlenmiştir. İkinci olarak, yapının enerji etkinliğini geliştirmek amacıyla farklı enerji etkin iyileştirme senaryoları alternatifleri üzerinde çalışılmıştır. Alternatif senaryolar, YBM içindeki simülasyon programının performansına ilişkin değişkenleri aracılığıyla enerji etkinliği geliştirmedeki etkisini göstermektedir. Daha sonra, yapı bilgi modelinde tasarımla ilgili değişiklikler yapılarak alternatif tasarım modeli hazırlanmıştır ve bu modelin enerji harcamaları hesaplanmıştır. Böylece YBM simülasyonu içerisinde hazır bulunan ayarlardan model üzerinde farklı değişiklikler yapılarak bu değişikliklerin enerji harcamalarına etkisi irdelenmiştir. Son olarak alternatif tasarım modelinin enerji etkinliği, yapı bilgi modelinin enerji simülasyonu ile geliştirilmiştir. Örnek proje uygulamasının sonunda sonuç olarak, yapı bilgi modelleme ve simülasyonlar ile enerji etkin iyileştirme çalışmalarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde, tüm çalışmaların sonuçları değerlendirilmiştir ve geliştirilen öneriler sunulmuştur.

2. YAPILARDA ENERJİ ETKİNLİĞİ

Enerjinin yapı sektöründeki etkisi, binaların inşaatı için gerekli malzemelerin şantiye alanına ulaştırılmasıyla başlayarak, binanın kullanımı, yıkımı ve atıkların yönetimi süreçlerinde devam etmektedir. Ekonomik ve ekolojik gelişim açısından günümüzde binaların kullanımı sırasında harcanan enerjinin azaltılması büyük bir ihtiyaçtır. Enerji kullanımında yüksek verime sahip enerji etkin yapılar, yalnızca kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamakla kalmamakta, aynı zamanda kaynakların verimli kullanımı ile yapıların çevreye verdikleri zararı azaltmaktadır. Enerji etkinlik ve çevreci tasarım yaklaşımı, yakından bağlantılı kavramlar olarak ülkemizdeki yapı stoğunun geleceğe yönelik ilerleyişi açısından büyük potansiyele sahip hedeflerdir. Bu açıdan bu bölümde enerji etkin yapılar, ilgili sertifikalar, enerji etkin yapı hedefleri başlıkları altında yapılarda enerji etkinliği irdelenmiştir.

2.1 Enerji Etkin Yapılar

Yapılarda çevreci yaklaşıma sahip tasarımların ana hedeflerinin: iklim ve doğal çevre ile uyumlu, inşaat ve malzeme seçimi, kullanım, bakım, tadilat, yıkım ve atıkların yok edilmesi sürecinde, beşikten beşiğe yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilir, enerji etkin ve yenilenebilir kaynakları kullanarak dünyaya en az düzeyde zarar veren veya iz bırakan binayı oluşturmak olduğu söylenebilmektedir.

Enerji etkinliğin ana hedefleri geçmişten günümüze değişmemektedir ancak ilerleyen teknoloji ile enerji verimliliğinin kapsamı gitgide büyümekte olduğundan, ilgili yapılara ilişkin tanımlar; birçok isimle anılmaktadır. Çeşitli tanımların isimleri: enerji etkin yapı, sürdürülebilir bina, yeşil bina, enerji verimli yapı, çevre dostu yapı gibi farklı kavramlarla ifade edilebilmektedir. Enerji etkin yapı, kullanım süreci boyunca yapının, özellikle pasif yöntemlerle tasarımı, konfor ve sağlık koşullarının sağlanmasında en az düzeyde enerji harcamasını gerçekleştirerek, aktif yöntemlere ihtiyacı azaltan ve ihtiyacı mümkün olduğunca yenilenebilen kaynaklar ile karşılayan yapılar olarak tanımlanabilir.

Sürdürülebilirlik kapsamında yaygın olarak kullanılan bir kavram olan sürdürülebilir kalkınma ise sözcük olarak 1987 yılında Dünya Çevre Kalkınma Komisyonu'nun yayınladığı “Ortak Geleceğimiz / Brundtland Raporu” ile resmiyet kazanmıştır. Rapor sürdürülebilir kalkınmayı “Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma” (Url-1) şeklinde tanımlamıştır.

Benzer kavramları içeren sürdürülebilir yapı tanımı Ringdon ve Kim (1998) tarafından yapılmıştır. Sürdürülebilirlik mimari tasarım bağlamında ele alındığında, kaynakların korunumunu, yaşam döngüsü tasarımı ve insan ölçeğini benimseyen tasarım ilkelerini içermektedir.

Enerji etkinliğe paralel bir kavram olarak sıkça kullanılan, yapılarda enerjinin korunumunun sağlanması amacıyla uygulanabilen çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır; bu yaklaşımlar arasında, asgari düzeyde enerji ihtiyacı gerektiren pasif sistemler tasarlanması, enerjinin uygun yöntemler ile verimli kullanılması ve ihtiyacın yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasından söz edilebilir.

Bu yaklaşımda, iklim ve çevre etkileri dikkate alınarak oluşturulan yüksek enerji performansına sahip mimari tasarım aracılığıyla bina kabuğundan gerçekleşen istenmeyen ısı kazanç ve kayıpları en az düzeyde tutulmakta, iklimlendirme için güneş enerjisi potansiyeli, gün ışığı ile aydınlatma, doğal havalandırma ve benzeri yöntemlerden faydalanarak enerji etkinlik arttırılmaktadır.

Ülkemizde ve yakın çevremizde, yapı sektöründeki enerji tüketiminin durumunun belirlenmesi açısından yapılan çeşitli çalışmalar sonucunda, Binalarda Enerji Verimliliği AB ve ulusal mevzuata (2016) göre “Binalar, Avrupa Birliği’ndeki enerji tüketiminin %40’ından ve CO2 salımının %36’sından sorumludur. Yeni binalar genellikle metre kare başına, yılda üç ila beş litre kalorifer yakıtına ihtiyaç duyarken, eski binalar ortalama 25 litre tüketmektedir.”

Önceki mevzuata 2017 yılında yapılan eklemelere göre, Türkiye’de “mevcut tüketim verileri dikkate alındığında 2020 yılında birincil enerji ihtiyacının günümüze göre %160 artışla dünya artışının 4 katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Bina yaşam döngüsü perspektifinden incelendiğinde ise toplam enerjinin yaklaşık %80’inin binanın kullanım sürecinde tüketildiği tespit edilmektedir.” (Tombak, 2017).

Enerji tüketimi ve enerji etkinliği göz önüne alındığında, çeşitli yapı tiplerinin farklı türde enerji harcamaları yaptığından bahsedilmektedir. Fabrika ve hastane gibi bazı yapı tiplerinde birtakım enerji harcamaları ekipman ve kullanım dolayısıyla kaçınılmaz ve azaltılması zor iken, özellikle ofis ve konut yapılarında enerji harcamalarını minimize ederek enerji etkinliği artırma çalışmaları hız kazanmaktadır. Konut yapıları toplam bina stoğu içinde çok yüksek sayıda olmaları ve genellikle sürekli kullanılmaları sebebi ile enerji harcamalarında büyük paya sahiptir.

İnşaat Malzemeleri Sanayicileri Derneği (İMSAD) tarafından hazırlanan enerji verimliliği raporundan (Acuner, 2014) alınan verilere göre Türkiye’de 2018 yılında mevcut yalıtılmış 643.077 adet konutta, ısıtma amaçlı birim enerji tüketimi: yalıtımsız binalarda 140,5 KWh/m² iken bu rakam yalıtımlı binalarda 28,5 KWh/m²’dir. Yalnızca yalıtım farkıyla bile konutlardaki ısıtma yükünün gösterdiği büyük değişim, enerji etkinliği potansiyelini ortaya çıkarmaktadır.

Çevre ve insan sağlığı açısından enerji tüketiminin hava kirliliği üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir. Özellikle ısıtma için kullanılan yakıtlardan dolayı, insan sağlığına ve doğaya zararlı emisyonların yayılması, enerji ile ilişkili hava kirliliği nedenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Oral ve Manioğlu, 2010).

Enerji etkin (veya enerji verimli) tasarımlar, tüm dünyadaki tükenmekte olan enerji kaynakları sorunu ortaya çıkmadan önce de insan konforu ve sağlığı ile yakından bağlantılı olduğu için mimari tasarımın önemli bir parçası olmuştur.

2.2 Enerji Etkin Yapıların Gelişimi

Enerji kayıp ve kazançlarının tasarımdaki etkisi, geleneksel mimaride antik çağlardan beri kendini göstermektedir. Yerel iklimde yaşamak için en elverişli evler birçok mekânın ısıtılması, havalandırması, aydınlatılması gibi konular yüzlerce yıldır mimarların üzerinde düşündüğü etkenlerdir. İtalyan Mimar Vitruvius’un, M.Ö. 25’de yazdığı tahmin edilen De Architectura adlı kitabında, konut tasarımında iklim ve arazi koşullarının öneminden ve en verimli mekân yerleşimlerinden bahsedilmiştir. Halkın kendi yaptığı evleri daha kolay ısıtmak, havalandırmak veya güneş almasını sağlamak için geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Buna örnek olarak, çok soğuk iklimlerde yurt ve igloların ısıtma amaçlı dairesel ve toplu tasarım biçimi, kuzey

Avrupa'daki ısı koruyan kalın taş duvarlı yapılar, Japonya'da hava akımlarını yakalamak için kayarak açılan büyük kâğıt kapılar, güneş ışığı alan cumbalar, suyu binadan uzak tutmak ve nemi azaltmak için Karadeniz'de ve muson yağışlı iklimlerde direklerin üzerinde yükseltilmiş evler ve Safranbolu evlerinin kışlık-yazlık düzenleri verilebilmektedir.

Yerel mimarinin, iklime uygun doğal kaynakları kullanan konut ve diğer yapıların zengin örneklerine sahip olduğu bilinmektedir. Nüfusun artması, sanayileşme, hızlı üretim ve malzeme çeşitlenmesi ile birlikte, yerel mimarlığın temel prensipleri bir süreliğine kenara bırakılmış ve modern mimarlık olarak da adlandırılan dünyanın her yerinde birbirine benzeyen, en çok kâr imkânı sağlayan yapılar üretilmeye başlanmıştır. Ancak kaynakların sınırsız olmadığı gerçeği yaşamı etkileyecek biçimde kendini göstermeye başladığı zaman, yerel iklime uygun, daha az enerji harcayan yapı tasarımı yaklaşımları yeniden güncel hale gelmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte büyüyen ve yenilenen bu yaklaşımlar son yüzyıllarda, biyoiklimsel mimarlık, sürdürülebilir mimarlık, enerji etkin mimarlık gibi birçok isim almıştır.

Endüstri devrimi sonrası hızla değişen inşaat sektörünün geleceğine ilişkin endişeler araştırmacı ve düşünürlerin farklı fikirler geliştirmesine yol açmıştır. 1962'de Rachel Carson tarafından yazılmış Sessiz Bahar (Silent Spring), 1963'de Victor Olgyay'ca yazılan İklimle Dengeli Tasarım (Design with Climate), 1968'de Ralph Knowles'in yazdığı Biçim ve İstikrar (Form and Stability) gibi kaynaklardan esinlenen çevreciler ve mimarlar 1970'lerde ilerici düşünceleriyle (Cassidy, 2003) binaların doğal çevreye uygunluğunu ve inşaat sektörünün geleceğini sorgulamışlardır. Bu doğrultuda 1970'de ilk Dünya Günü kutlanmıştır, ancak 1973'deki petrol ambargosuna kadar çevreci hareketler önem kazanmamıştır.

1980'lerde mimarlar dünyanın çeşitli yerlerinde modern binalarda geleneksel iklimlendirme tekniklerini yeniden uygulamaya başlamıştır. Enerji verimli duvarlar, günışığından maksimum yararlanma, su geri dönüşümü, hareketli gölgelendirme gibi sistemler, Almanya'dan Thomas Herzog, Malezya'dan Kenneth Yeang, İngiltere'den Norman Foster, ABD'den Vivian Loftness (Cassidy, 2003) gibi birçok isim tarafından yapılan çalışmalarla, modern yapılarda ve modern yapı fikirlerinde kendini gösterdi.

1987 yılında BM Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından oluşturulan Brundtland raporunda sürdürülebilir kalkınma "Bugünün gereksinimlerini, gelecek

nesillerin kendi gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma” olarak tanımlanmıştır (Brundtland raporu, 1987).

“Brundtland Raporu, kısa dönemli ekonomik yararlar yerine çok uzun dönemi bağlayan ve gelecek nesillerin de hem ekonomik hem toplumsal menfaatlerini göz önünde tutulmasını öneren bir çevresel kalkınma stratejisi öngörmüş olup bu strateji, çevre bilincinin oluşturulmasında önemli aşamalardan birisidir.” (Han ve Kaya, 2012).

Daha sonra 1992 yılında Rio de Janeiro’da yapılan Yeryüzü Zirvesi’nde, Birleşmiş Milletler ülkelerinin bir kısmı sürdürülebilir kalkınma planlarının altına imzalarını atmışlardır. Amerikan Mimarlar Enstitüsü’nün (AIA) başındaki Susan Maxman 1993 yılında Chicago’da düzenlenen UIA/AIA Dünya Mimarlar Kongresi’nde sürdürülebilirlik konusunu odak noktası haline getirmiştir (Krishan, 2001).

1996 yılında İstanbul’da düzenlenen Habitat II isimli Birleşmiş Milletler konferansında, sürdürülebilir yaşam alanları oluşturmak için eylem planları kabul edilmiştir. “UN-HABITAT, 20 yılda bir konferans düzenleyerek tüm dünyada sürdürülebilir kentsel gelişmeye yönelik gündemi belirler.” (T.C. Şehircilik ve Çevre Bakanlığı, UN-HABITAT Konferansları, 2019) Hemen ardından 1997 yılında Kyoto Protokolü kabul edilmiştir. Ertesi yıl 1998’de kutlanan Dünya Günü’nde AIA/COTE başkanı Gail Lindsey AIA’nın ilk en iyi 10 yeşil proje duyurusunu yapmıştır. Günümüzde de yeşil projelerin prestijini arttıran çalışmaları değerlendirip her yıl tüm dünyadan başarılı sürdürülebilir yapılar seçmektedirler. Ayrıca, 1998 yılı içinde en iddialı uluslararası çalışmalardan biri olan Yeşil Bina Hedefi ortaya çıkmıştır. Yeşil bina hareketine ilişkin bir beyaz bülten raporuna (Cassidy, 2003, s. 6) göre Yeşil Bina Hedefine: Avusturya, Kanada, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Japonya, Hollanda, Norveç, Polonya, İsveç, İsviçre, İngiltere ve ABD olmak üzere 14 ülke katılmıştır. Yine aynı rapora göre 2000’de Hollanda ve 2002’de Norveç’teki devam konferanslarının katılımına: Avusturalya, Brezilya, Şili, Yunanistan, Hong Kong, İsrail, İtalya, Güney Afrika, İspanya ve Galler eklenmiştir. 2005 yılındaki konferansa, Kore, Çin, Tayvan ve Meksika da katılmıştır.

1999’da Amsterdam Antlaşması imzalanmış ve İklim Değişikliği üzerine Hükümetler arası panel (IPCC) raporları yayınlanmış, 2002 yılında Güney Afrika’da Sürdürülebilir Kalkınma hakkında BM konferansı gerçekleştirilmiş ve Yenilenebilir Enerjiler Direktifi yayınlanmıştır.

2010'lu yıllarda, fosil yakıtların tükenmesiyle yenilenebilir enerjinin ön plana çıkması ve insan etkisiyle oluşan iklim değişikliklerinin şiddetlenmesi, enerji verimli, sürdürülebilir veya enerji etkin olarak adlandırılan yapıları desteklemek için ülkelerin attığı adımları hızlandırmıştır. Enerji verimliliği fikirleri artık dünyanın çoğu yerinde gerçeğe dönüşmüş hedefler haline gelmiştir. Günümüzde birçok ülke, yapıları için asgari düzeyde enerji harcaması, yalıtım ve enerji üretimi kanunları koymakta ve enerji sertifika sistemlerini ön plana almaktadır. Sertifika sistemleri ile sağlanması gerekli asgari koşulları sağlayan yapıların yanı sıra üst düzeyde enerji etkinliği sağlayan yapılar için ödüllendirme sistemleri de geliştirilmektedir.

2.3 Yapılarda Enerji Etkinliğine İlişkin Hesaplama Yöntemleri

Günümüzde gelişmiş simülasyon ve yapı bilgi modelleme programları, iki boyutlu çizim programlarının çok daha üzerinde detay ve veri içererek, yüksek doğrulukta tahminler oluşturmaya imkan sağlamaktadır. Mimari tasarımın konsept düzeyinden bitmiş projeye çeşitli aşamalarında bu programlar kullanılarak, alınan kararlara bağlı olarak tasarım aşamasında hızlı geri bildirimler almak mümkündür. Geri bildirimler hem sonuç hakkında bilgi vermekte, hem de tasarımın değerlendirilerek, tasarım aşamasında doğru kararların alınması ve tasarımcının doğru yönlendirilmesini sağlamaktadır.

Turrin ve diğerlerinin (2011) çalışmalarında, tasarımcının, mühendislik hesaplamaları ile performans hakkında bilgi veren sonuç veya tasarım yönlendirmelerini ortaya koyan çeşitli çözümler arasından seçim yapabileceği önerilerin, performans odaklı tasarım alternatiflerini geliştirmeyi kolaylaştırdığından bahsedilmiştir (Turrin ve diğ., 2011). Tasarımcıya alternatifler hakkında geri bildirimler sağlayan ara yüzlere sahip enerji simülasyonu yazılımlarını istenilen performans düzeyine ulaştırmak için eklenen değişkenler hızla artmaktadır.

Programlar tarih veya saat bilgisiyle anlık durumları veya süreçler olarak tüm yıl, yaşam döngüsü gibi uzun süreler için simülasyon yapabilmektedir. Anlık durum simülasyonları, genelde en yüksek ve en düşük enerji yüklerinin olduğu iklimsel olarak alt veya üst sınır değerlerdeki sonuçları ele almaktadır. Uzun süreli simülasyonlar ise birçok analizi birleştirip genel sonuçlar ortaya koymaktadır. Yıllık, aylık, mevsimlik, günlük, saatlik değerlere kolaylıkla ulaşılabilir. Yapılan analizler, verilerin ve sonuçların detayı simülasyon süresini değiştirmektedir.

Geleneksel hesaplama yöntemleri günümüzde oldukça yaygın olsa da yeni teknolojilerin sonuca ulaşmada hız ve kolaylık sağladığı açıktır. Ülkemizde yakın zamanda yapılan binaların çoğu, kaynakları aşırı tükettiği, yüksek düzeylerde enerji harcadığı ve sürdürülebilir olmadığı için, simülasyon programları aracılığıyla enerji etkin iyileştirmeler yapılarak alternatif çözümler üretmek mümkündür.

2.4 Enerji Etkin Yapılar İle İlgili Yasal Mevzuat

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından verilen 2017 yılı istatistik bilgilerine göre, tüm sektörlerin toplam elektrik enerjisi tüketimi, 247.169 GWh iken konut elektrik enerjisi tüketimi, 54.251 GWh'dir. Ülkemizde 2017 yılında elektrik enerjisinin

%21'i konutlarda tüketilmiştir. Elektrik enerjisi üretimi ise 297.278 GWh'dir. Binalarda enerji performansına ilişkin bilgilerin verildiği Enerji Verimliliği Daire Başkanlığı'na göre, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Panelinde iklim değişikliği konusunda enerji verimliliğini yükseltmede en büyük potansiyele sahip sektör, bina sektörü olarak açıklanmıştır (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2017).

“Binalarda enerji verimliliği ile ilgili ilk önemli çalışma 1970’de Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanan TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardıdır. Standardın amacı yapılardaki ısı kayıplarının azaltılması ve yakıt tasarrufunun azaltılmasıdır.” (TS 825).

Türkiye’de bina sektöründeki enerji verimliliği ile ilgili yasal düzenlemeler 2007 yılındaki Enerji Verimliliği Kanunu ile başlamıştır. 2008’de ortaya çıkan Enerji ve Enerji Kaynaklarının Verimli Kullanılması Yönetmeliği 2010 yılında güncellenmiştir. 2009 yılında çıkan ve 2011 de yenilenen Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’nden sonra 2012’de, 2023 yılına kadar planlamalar içeren Enerji Verimliliği Stratejisi yayınlanmıştır.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yetki alanında bulunan binalarla ilgili binaların; Enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonu düzeylerinin sınıflandırılması, sera gazı emisyonlarının belirli sınırlar içinde kalması, bina performansına ilişkin kriterlerin, hesaplama kurallarının, HVAC sistemleri ve uygulama esaslarının belirlenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının incelenmesi, mevcut bina yenilemelerinde enerji etkin iyileştirme performanslarının belirlenmesi ve çevrenin korunması gibi pek çok amacı içeren, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (05.12.2008 tarih ve 27075

sayılı RG) AB'nin 2002/91/EC sayılı "Binaların Enerji Performansı Direktifi" temel alınarak hazırlanmıştır (Enerji Verimliliği Daire Başkanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, BEP İstatistikler, 2019). Bu bağlamda, ülkemiz gündeminde yer alan enerji kimlik belgesi, bina enerji performansı yazılımı ve AB Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD), enerji etkin sertifika sistemleri aşağıda açıklanmıştır.

2.4.1 Enerji kimlik belgesi (EKB)

"Enerji Kimlik Belgesi belgesine sahip olan binanın enerji ihtiyacı; yalıtım özellikleri, ısıtma/soğutma/aydınlatma sistemlerinin verimliliği vb. ölçütlerle enerji tüketimi sınıflandırılmasının niteliği saptanmaktadır." (Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı, 2016) Çevrenin korunmasını ve binalarda enerjinin israf edilmeyerek etkin biçimde kullanılmasını amaçlamaktadır. "Asgari olarak binanın enerji ihtiyacı ve enerji tüketim sınıflandırması, sera gazı salımı seviyesi, yalıtım özellikleri ve ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinin verimi ile ilgili bilgileri içeren EKB," (Url-2) 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği kapsamında her binanın alması gereken bir belgedir.

Enerji verimliliği sınıflandırma dokümanı olan EKB kategorileri en verimli olan A sınıfından, en düşük verimdeki G sınıfına kadar değişmektedir. Yeni yapılacak binaların EKB'si en az C sınıfı olmak zorundadır. Aksi takdirde iskân ruhsatı verilmemektedir. 2011 yılının başından itibaren yapı ruhsatı alan binalar yeni bina sayılmaktadır.

Mevcut binalar ise 2020 yılının başına kadar Enerji Kimlik Belgesi almak zorundadır. 2017'de yayınlanan binalarda enerji performansı yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmeliğe (Şehircilik Bakanlığı, 2017) göre Enerji Kimlik Belgesi, Bina Enerji Performansı Yazılımı (BEP-TR) kullanılarak düzenlenmektedir.

2.4.2 Bina enerji performansı yazılımı (BEP-TR)

"Bina Enerji Performansı Yazılımı (BEP-TR) 2010 yılı sonunda tamamlanmıştır. Ülke genelindeki bina envanterinin oluşturulmasına ve güncel tutulmasına, toplumdaki enerji kültürü ve verimlilik bilincinin geliştirilmesine yönelik eğitim ve bilinçlendirme faaliyetlerine" (Acuner, 2014, s. 15) yardımcı olmaktadır.

BEP-TR'ye göre toplam EKB sahibi yapı sayısı 326063 adettir. Yoğunluklu olarak apartman ve müstakil konutlar, %63,97'lik oranla, en çok C daha sonra %33,92'lik oranla B tipi belge almaktadır (Enerji Verimliliği Daire Başkanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, BEP İstatistikler, 2019). Ülkemizde enerji performansının belgelenmesi çalışmalarının sonucunda görülmüştür ki özellikle konut ve apartman bloklarında enerji etkinliği geliştirmek için önemli imkanlar bulunmaktadır.

2.4.3. AB binalarda enerji performansı direktifi (EPBD)

2010 yılında yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD) ve 2012 yılındaki Enerji Etkinliği Direktifi, Avrupa Birliğindeki yapılarda enerji etkinliği geliştirmek için kullanılan temel yasal araçlar olmuştur.

2016 yılında çıkan Tüm Avrupalılar için Temiz Enerji paketinin sekiz parçasından ilki olan EPBD, akıllı yapı teknolojilerinin kullanımı, enerji etkin renovasyonların güçlendirilmesi amaçlarıyla 2018 yılında güncellenmiştir. Böylece güncel Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2018/844/EU), mevcut direktifi (2010/31/EU) değiştirdi ve mevcut bina restorasyonunun düşük maliyetli renovasyonlarını hızlandırmak, 2050 yılına kadar yapı stoğunu karbondan arınmış hale getirmek gibi amaçlar eklenmiştir (European Commission, Energy Performance of Buildings, 2018). AB ülkeleri kendi kanunlarını 20 ay içerisinde yeni direktife uygun hale getirmekle yükümlüdür.

EPBD'ye (2010/31/EU) göre devam etmekte olan bazı amaçlar aşağıda açıklanmıştır:

- Tüm yeni binaların, 2020'nin sonuna dek (kamu binaları için 2018) yaklaşık sıfır enerji binası olması,
- Bina satışı, kiralanması veya reklamında enerji performansı sertifikasının bildirilmesi,
- HVAC sistemleri için denetimler düzenlenmesi,
- Ülkelerin yeni binalar, büyük renovasyon veya yenilemeleri için uygun maliyetli asgari enerji performansı gereksinimleri belirlemeleri,
- Ülkelerin binalarda enerji etkinliğini geliştirmek için maddi imkânlarını bildirmesidir.

Güncel EPBD'ye (2018/844/EU) göre eklenen bazı amaçlar ise aşağıda açıklanmıştır:

- Ülkeler 2050 yılına kadar bina stoğunu karbondan arındıracak maliyet planlı ve uzun dönemli renovasyon stratejileri belirlemeli,
- Binaların akıllı durumunu sınıflandırmak için ortak Avrupa taslağı başlatılmalı,
- Akıllı teknolojiler (otomasyon, kontrol ve iklimlendirme sistemleri gibi) teşvik edilmeli,
- Binalar için asgari altyapı ve araç parkı gereksinimleri belgelendirilerek elektrikli ulaşım (E-Ulaşım) desteklenmeli,
- Ülkeler ulusal enerji performansı gereksinimlerini uluslararası karşılaştırmaya uygun şekilde sunmalı,
- Bina kullanıcılarının sağlık ve iyiliği, hava kalitesi ve havalandırmaya önem verilmesi ve benzeri yöntemlerle desteklenmelidir (European Commission, Energy Performance of Buildings, 2018).

2.5 Enerji Etkin Yapılar İle İlgili Sertifika Sistemleri

Çeşitli ülkelerde ortaya çıkan sertifika sistemleri, kendi sınırları içerisinde kalmayıp, dünyanın farklı yerlerindeki projeleri sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Sertifika sistemleri ile farklı şartlar altında doğru sınıflandırma yapabilmek için, yerel iklim verileri, standartlar ve yerel gereklilikler sisteme uyarlanarak, bir adet ölçüt bina (benchmark) oluşturulmakta ve proje ortaya konulan ölçüt açısından değerlendirilmektedir.

Sertifikalar yeni yapılan binalar için olduğu kadar mevcut binalar için de önemlidir. Bayhan ve Gurgun'a göre (2016) özellikle yapıların yeniden kullanılmasında mevcut duvarların, döşemelerin, çatının, taşıyıcı olmayan iç elemanların iyileştirilmesi ile malzemelerin yenilenebilir ve sertifikalı olması önemli alt başlıklardır. Ayrıca yağmur suyu kazancı, atık su ayrımı ve atık su geri dönüşümü gibi su kullanımını daha verimli hale getiren sistemler ve çevre düzenlemeleri önerilebilmektedir.

Sürdürülebilir binaları tanımlamak için sertifikalar veren çeşitli ülkelere ait sistemlerden bazıları, "İngiltere'de ortaya çıkan BREEAM ve Amerika'da ortaya

ıkan LEED, Kanada'da ortaya çıkan ancak uluslararası bir sistem olarak kendisini tanımlayan SBTOOL, Hong Kong'ta kullanılan HK-BEAM ve CEPAS, Güney Afrika'da kullanılan SBAT, Avustralya'da kullanılan GREEN STAR, Japonya'da kullanılan CASBEE" şeklinde sıralanabilir (Erdede ve Bektaş 2014).

2.5.1 Uluslararası sertifika sistemleri

Bu bölümde sıkça kullanılan uluslararası sertifika sistemleri aşağıda açıklanmıştır.

LEED: LEED 1998 yılında Amerikan Yeşil Binalar Konseyi (USGBC) tarafından oluşturulmuş, Türkiye'de yeşil binalar için sıklıkla kullanılan uluslararası sürdürülebilirlik sertifikasıdır. Okul, hastane, konut, tarihi yapı gibi çeşitli bina tipleri için farklı değerlendirme kıstasları olan sertifika, geleişen koşullara uygun olarak güncellenmektedir. Enerji, su, malzeme ve kaynakların kullanımı, yerellik, ulaşım ve yenilikçi fikirler gibi çeşitli kategorileri vardır.

Kullanımda, yeni yapılmış, yenilemeden geçmekte olan binalar veya geliştirme projeleri, özel konutlardan mahalle ve şehir boyutuna kadar çeşitli ölçeklerde incelenmektedir. LEED v4.1 en yeni versiyondur (Url-3).

BREEAM: BREEAM binaların (ev ve ticari), toplulukların (master plan) ve altyapı projelerinin (inşaat mühendisliği) sürdürülebilirlik performanslarını sertifikalayan uluslararası, bağımsız bir sistemdir (Url-4). İngiltere kökenlidir ve Yapı Araştırma Kurumu (BRE) tarafından 1990'da yayınlanmıştır. Projenin lokasyonuna göre kategorilerde karşılanması gereken değerlerin ağırlıklarının değişmesi, farklı ülkelere uygulanmasını kolaylaştırmaktadır.

BREEAM sertifikasındaki kategoriler Avrupa sınırlarında aşağıdaki oranlarda uygulanmaktadır. Avrupa'daki ağırlıklar Bina Yönetimi'ne 12%, Sağlık ve İyi Hal'e 15%, Enerji'ye 19%, Ulaşım'a 8%, Su'ya 6%, Malzeme'ye 12.5%, Atıklar'a 7.5%, Arazi Kullanımı ve Ekoloji'ye 10%, Kirliliğe 10% ve İnovasyon'a 10% ağırlık vermektedir (ÇEDBİK, 2017).

DGBN: DGBN (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen E.V.) Almanya kökenli Avrupa enerji standartlarına uygun bir sertifikadır. Ülkelerin zel durumlarına göre değişen uluslararası bir uygulama yöntemi vardır. Ekoloji, Ekonomi, sosyal ve kültürel etkiler, teknoloji, iş akışı yöntemi gibi elliye yakın

kategoride değerlendirilmektedir. Uluslararası sertifikasyonun uygulandığı bazı ülkeler: Türkiye, İspanya, Yunanistan, Ukrayna ve Slovenya'dır (Url-5).

GREENSTAR: Avustralya Yeşil Bina Konseyi (GBCA) 2016 yılında karbon pozitif bir endüstri oluşturmak amacıyla, doğal çevre ve insanlar için sağlıklı, dayanıklı ve pozitif mekanlar yaratmak hedeflerini taşıyan yeni stratejisini yayınlamıştır. İçerdiği dört ana stratejik amaç DGBN (2016) tarafından açıklanmıştır. Gezegen için: karbon pozitif endüstriye liderlik etmek, insanlar için: yaşanabilir ve sürdürülebilir topluluklar ve şehirlere ev sahipliği yapmak, endüstri için: piyasa dönüşümünü genişletmek, bölge için: yerel etkileri arttırmaktır (Url-6).

Yapıların tasarım, inşa ve kullanım aşamalarındaki sürdürülebilirliğini inceleyen GreenStar sertifikalı binalar, sıradan binalara oranla %50'den daha az sera gazı salmakta, elektrik harcamakta ve su kullanmaktadır. İnşaat atıklarında %90'ları geçen dönüşüm oranına sahiptir. Gaz salınımlarının dörtte biri yapılardan kaynaklanmaktadır ancak bugünkü teknolojiler kullanılarak bu sorunların 2050 yılına kadar tamamen ortadan kaldırılabileceğine inanılmaktadır (Url-7) şeklinde DGBN (2016) stratejisinin hedeflerinde belirtilmiştir.

CASBEE: Japonya Sürdürülebilir Yapı Konsorsiyumu (JSBC) ve Yeşil Bina Konseyi (JaGBC) işbirliği ile 2001 yılında başlayan CASBEE sertifikasyonu (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) tasarım öncesi, yeni yapılar, var olan yapılar, renovasyon gibi çeşitli kategoriler için ayrı değerlendirmelere sahiptir. Müstakil yapılar, geçici inşaat, yeni inşaat, renovasyon, kentsel gelişim, şehirleşme, ısı adası etkisi ve yerel yönetim versiyonları bulunmaktadır (Url-8).

BEAM: 2010 yılında Hong Kong'da BSL (BEAM Society Limited) kamu kuruluşu tarafından oluşturulmuş olan BEAM (Building Environmental Assessment Method) sertifikası, yeşil bina değerlendirmesi olan BEAM Plus (eski HK-BEAM), profesyonel kullanıcılar için oluşturulan BEAM pro gibi çeşitli alt kısımlara sahiptir.

Yaşam döngüsü boyunca yapının çevresel performansını geliştirirken, kullanıcılar için daha sağlıklı, kaliteli, dayanıklı ve verimli çalışma ve yaşam ortamları sağlamaktadır (Url-9).

GBEL, China Three Star: Çin'in inşaat sektöründe etkili bir yeşil yapı değerlendirme standardı olan GBEL (Green Building Evaluation Standard) 2008 yılında başlamıştır, Çin Üç Yıldız olarak da bilinmektedir.

Zhang, Kang ve Jin'in (2018) çalışmasına göre, var olan binalar için yeşil iyileştirme değerlendirme standardı 2015 yılında, Yeşil binalar için değerlendirme standardı 2016 yılında, Sağlıklı binalar için değerlendirme standardı 2016 yılında yayınlanmıştır.

Yeşil binalar için değerlendirme standardı Çin'deki ilk ulusal yeşil bina standardıdır. Sağlıklı binalar için değerlendirme standardı ise yeşil binalar standardı temel alınarak oluşturulmuş performansı ve kullanıcı sağlığını önemseyerek, iki kategorinin dengeli biçimde ele alındığı bir sertifikasyondur.

SBTOOL: Uluslararası kar amacı gütmeyen bir organizasyon olan iiSBE, küresel sürdürülebilir inşa çevresi oluşturma amaçlarını destekleyen yöntem, ilke ve araçları teşvik eden bir kuruluştur. Ottawa, Kanada'da küçük bir müdürlüğü olan iiSBE'nin neredeyse her kıtada uluslararası bir yönetim kurulu bulunmaktadır. SB Tool (Sürdürülebilir Bina Aracı) neredeyse her tür yerel şarta ve bina tipine uymak üzere yapılandırılabilen, Excel üzerinden çalışan esnek bir yapıdır (IISBE, 2016). Çoğunlukla sürdürülebilir yapılaşma konusunda ağ kurma, örgütlenme ve destek verme alanlarında çalışmaktadırlar.

ASHRAE: 130'dan fazla ülkede üyeleri bulunan Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Topluluğu sektördeki profesyonellere, bina sistemleri, enerji etkinlik, iç mekan hava kalitesi, sürdürülebilirlik gibi konularda teknik bilgi sağlamaktadır. ASHRAE sertifikasyon programları kaliteyi sağlamaya yardımcı olmak için ANSI/ISO akreditasyon standartları ile ölçüt belirlemektedir (Url-10). HVAC&R tasarımında özelleşmiştir. Türkiye'de 2013 yılından beri çalışmaktadırlar.

Energy Star: Energy Star, Amerikan kökenli, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve ABD Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından oluşturulmuş bir değerlendirme sistemidir. İşletmelerin ve bireylerin üstün enerji verimliliği ile çevreyi korurken maddi harcamalarına yardımcı olmaktadır. Binalarda enerji ve su kullanımını değerlendirmek için kıyaslama yöntemi kullanan Energy Star sertifikasyon da sağlamaktadır.

Green Globes: Kanada menşeli olan Green Globes, Yeşil Bina Girişimi (GBI) tarafından 2004 yılında ABD'ye getirilen bir yeşil sertifikasyon türüdür.

Diğer sertifika sistemleri: Dünyada enerji etkinliği ve sürdürülebilirlik konularında uluslararası veya yerel pek çok sertifikasyon bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmını

sıralamak gerekirse: Singapur'da BCA Green Mark Scheme, ABD'de SITES, Sustainable Sites Initiative ve WELL, Dünya Bankası IFC tarafından çıkarılan EDGE, Güney Afrika'daki Green Star SA ve Birleşik Arap Emirliklerindeki Pearl Rating System for Estidama'dan bahsedilebilmektedir.

2.5.2 Ulusal sertifika sistemleri

Ülkemizde sertifika sistemleri üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Aşağıda geliştirilmiş bazı ulusal sertifika sistemleri açıklanmıştır.

Ulusal yeşil bina sertifikası: Türkiye'de, Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK) tarafından 2007 yılında ortaya çıkarılan Ulusal Yeşil Bina Sertifikası, 2013 yılındaki 2. Uluslararası Yeşil Binalar Zirvesi'nde Yeşil Konut Sertifika Kılavuzu' olarak açıklanmıştır.

“ÇEDBİK, yeni konut projelerinde uygulanmak üzere Türkiye koşullarına uygun sertifika sistemi ÇEDBİK-Konut'u oluşturmuştur. WGBC Dünya Yeşil Bina Konseyi, Türkiye'de kurulan Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği'ni Türkiye'nin Ulusal Yeşil Bina Konseyi ve resmi WGBC üyesi olması için desteklemektedir.” (ÇEDBİK, 2018)

Sürdürülebilir enerji etkin binalar (SEEB-TR) sertifikası: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi (MSGSÜ) tarafından 2014 yılında düzenlenen "Sürdürülebilir Enerji Etkin Binalar" Sempozyumu sonucunda ortaya çıkarılan SEEB-TR, enerji etkin bina sertifikasyonu konusunda yapılan akademik geliştirme çalışmalarının sonucudur.

“SEEB-TR (Sürdürülebilir Enerji Etkin Binalar); pek çok üniversiteden akademisyenler ile STK'lar tarafından aylarca süren çalışma ile BREEAM (İngiltere), LEED (ABD), CASBEE (Japonya) ve DGNB (Almanya) sertifikasyon sistemlerinin incelenmesi sonucunda Türkiye koşullarına en uygun yeşil bina sertifikasyon sistemi olarak yapılandırıldı.” (Url-11)

2.6 Enerji Etkin Yapı Hedefleri

Enerji etkin yapılar için geleceğe dönük hedefler konulmasının önemi açıktır. Aşağıda güncel olan başlıca hedefler açıklanmıştır.

2020 hedefi (20/20/20 hedefi): Avrupa birliğindeki ülkeler gün geçtikçe enerji verimliliği konusundaki kanun ve yönetmeliklerini geliştirmektedir. Aşamalar halinde enerji etkinlik konusunda çözümlerini yukarıya çekerek, ülkelerindeki yapıların enerji performanslarını arttırmaktadırlar. Avrupa Birliğinin “20-20-20 Hedefi” (Uhl-12) olarak da adlandırılan, enerji ve iklim-değişikliği amaçları: 1990 yılı ile karşılaştırıldığında 2020 yılına kadar sera gazı salınımlarını %20 azaltmak, yıllık birincil enerji kullanımını %20 oranında azaltmak ve AB ülkelerinin toplam enerji tüketiminin karşılanmasında yenilenebilir enerji payını %20 arttırmaktır.

2021 yılından itibaren, eski yapıların enerji kullanımını azaltmak için iyileştirme çalışmalarının sayısını artırarak mevcut binaları yenilemeden geçirmek amacı bulunmaktadır.

“nSEB” Yaklaşık sıfır enerji binası (nZEB) hedefi: “nSEB” veya “ySEB” yapım ve işletim yöntemleri sayesinde çok az miktarda enerji tüketen ve tükettiği enerjinin eş değer miktarını binada veya bina yakınındaki yenilenebilir bir enerji kaynağından üretebilen, çok yüksek enerji performansına sahip bir yapı olması dolayısıyla neredeyse sıfır enerjili bir bina olarak adlandırılan yapıların ismidir. Şartlar uygun olduğu müddetçe kendi enerjisini yeterli miktarda üreten “nSEB” gerektiğinde birincil enerjiyi altyapı sisteminden almaktadır. Üretimi ihtiyacından fazla olduğunda sistemden aldığı enerjiyi geri verebilmekte ve yaklaşık sıfır enerji tüketimi sağlamaktadır.

2020 yılından sonra AB ülkelerinde inşa edilecek tüm yeni binaların neredeyse sıfır enerji binası olarak yapılması hedeflenmektedir. Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı’na (2016) göre “nSEB, mevcut yenilenebilir enerji teknolojileri ile enerji verimli yapım tekniklerini en uygun biçimde birleştirebilen tükettiği kadarını üreten yapılardır.”

“NSEB” Net sıfır enerji binası (NZEB) hedefi: Net Sıfır Enerji binası, altyapı sistemine ihtiyaç duymadan yıllık enerji ihtiyacının tamamını yerinde, kendi yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlayabilmektedir. Bir yapının Sıfır Enerji Hedefine ulaşması, enerji üretimine bağlı olduğundan her durumda mümkün olmayabilir. Ulaşılması yaklaşık sıfır enerji binasından daha zor olan bir hedeftir. Sıfır enerji binalarının enerji performansları iklimsel veriler göz önünde bulundurularak yıllık olarak hesaplanmaktadır. Çoğu yıl sıfır enerji durumunu sağlayan bir yapının, sert iklimsel koşulların yaşandığı özel durumlarda yeterli enerji

performansını sağlayamayabileceği kabul edilmekte ve bina bu durumdan dolayı sıfır enerji sınıfını kaybetmemektedir. Aynı zamanda Yaşayan Bina Hedefinin (Living Building Challenge) alt sertifikalarından biridir.

Mimarlık 2030 (Architecture 2030) hedefi: Mimarlık 2030 Hedefi, Edward Manzia tarafından 2002’de ortaya çıkarılmıştır ve 2006 yılında 2030 Hedefini başlatmıştır. Yeni inşa edilen veya büyük ölçüde yenilenen tüm binaların 2030 yılına kadar, Net Sıfır-Enerji ve Net Sıfır-Karbon binası olmasını hedeflemektedir.

2030’a kadar uzayan süreçte, ana amacın altındaki alt amaç başlıkları daha yakın tarihleri hedefleyecek biçimde basamaklara ayrılmıştır. Arch 2030 Hedeflerine (2006) göre yeni yapılan veya önemli yenilemeden geçen tüm binaların fosil yakıt kullanımının 2020’ye kadar %80, 2025’e kadar %85 oranında azalması ile 2030 yılında Net Sıfır-Karbon hale gelmesi (işletme sırasında Sera gazı yayan fosil yakıt kullanmaması) amaçlanmaktadır (Url-13).

Günümüz teknolojileri ile gelecekte elde edilebilir sonuçlar amaçladığı için 2030 hedefi, yurtdışında birçok firma tarafından uygulanma imkanları nedeniyle benimsenmiştir. 2003’de CBECS tarafından farklı iklimlerde yapılmış binalar hakkında uygulanan anketlerle ilk adımı atılan bir çalışmadır. Projenin boyutuna, yerine ve tipine göre karşılaştırma değeri, . Amerikan Enerji Departmanı (DOE) tarafından verilmektedir. Mimarlık 2030 hedeflerinden bazıları Amerikan Mimarlar Enstitüsü (AIA), Uluslararası Mimarlar Birliği (IUA), ABD Belediye Başkanları Konferansı (USCM) ve Çin Antlaşması taraflarınca uygulanmaktadır. Avrupa Konseyi 2014 yılından 2030’a kadar, Avrupa’daki enerji verimliliğinin en az %27 yükseltilmesini amaçlamaktadır.

Yaşayan bina hedefi (Living building challenge): Uluslararası Yaşayan Gelecek Enstitüsünün (International Living Future Institute / ILFI) verdiği hedeflerden biri olan Yaşayan Bina Hedefi (Living building challenge), çok yüksek performansa sahip enerji, su, geri dönüşüm gibi kategorilerin tümünü %100 net biçimde karşılayıp artı üretim yapabilen, yerinde yenilenebilir enerji sistemlerine sahip, kullanıcı sağlığı, mutluluğu ve doğa bağlantısı üzerinden de değerlendirilen yapı tipidir. Uluslararası Yaşayan Gelecek Enstitüsü (ILFI) belirtmiştir ki yaşayan binaların, kendi bölgesinin kaynakları kapsamında ve kendine yeterli olması gerekmektedir. Yaşayan binalar tükettiklerinden fazla enerji üretirler, arazilerindeki suyu toplayıp işleyen sistemlere sahiptirler. Kullanıcıları ışık, hava, yiyecek, doğa ve topluluk

imkânları ile bağlayan canlandırıcı mekânlar bulundurmaktadırlar (Url-14). Vierra (2016) yazısında Yapılar arazi, su, enerji, malzemeler, sağlık, eşitlik ve güzellik açılarından incelenir. Tüm kategoriler zorunludur ve bugün piyasadaki en katı yeşil bina sertifika sistemidir demiştir.

Türkiye enerji verimliliği strateji belgesi, 2023 hedefi: Türkiye Enerji Verimliliği Strateji Belgesi (TEVSB), 2023 yılına kadar, Türkiye’de birim GSYİH başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılmasını ve var olan binaların %25’inin veya daha çoğunun sürdürülebilir yapılara dönüştürülmesini hedeflemiştir.

Bu hedefe göre, yenilenebilir enerji kaynakları kullanan, enerji ihtiyaçları ve karbon salımı azaltılmış, doğa dostu yapılar arttırılacak ve mevcut binalar iyileştirilmesi sağlanacaktır.

Enerji Verimliliği Stratejisi kapsamında, binaların sertifika edinmesi için karşılaştırmalı bir yapı içeren belgeleme sistemi olmalı, yaklaşık sıfır enerjili bina (NSEB) sayısı arttırılmaya çalışılmalı, kamuya ait binalar halka örnek olacak enerji performanslarına sahip olmalı ve enerji harcamayan pasif teknikler geliştirilmelidir.

Yeni yapılan binalar, yüksek enerji performansına sahip olmalı, mevcut binalar yenilemelerle minimum enerji performansı sınıfına yükseltilmelidir.

2012 yılında yayınlanarak 2023 yılına kadar geçerli olan Enerji Verimliliği Strateji Belgesinde (2012) belirtildiği üzere, “Binanın fonksiyonuna (otel, hastane, mesken, okul, AVM vb), bulunduğu bölgenin iklim koşullarına (sıcaklık, rüzgar etkisi vb), mimari tasarımına, (yönlendirme vb) ve yürürlükteki zorunlu standartlara (TS 825 Isı Yalıtım Standardı, vb)” uygun şekilde inşa edilmesi gerekmektedir.

Bu duruma göre iklimlendirme başlıkları altında ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma konularını içeren en az yıllık enerji ihtiyacı belirlenmektedir. Yine aynı belgede enerji talebi ve karbondioksit salımı ile ilgili bilgiler, “Söz konusu enerji talebinin enerji verimli ve/veya temiz enerji kaynaklarından ve teknolojilerinden karşılanması esas alınmak suretiyle atmosfere salımına müsaade edilecek azami CO2 salımı miktarı belirlenerek bu sınır değerleri aşan yeni bina yapımına izin verilmemektedir” (Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, 2012) şeklinde verilmiştir.

Stratejik amaçlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

“Toplam kullanım alanı 10.000 m² ve üzeri olan ticari ve hizmet binalarının ısı yalıtımı ve verimli ısıtma sistemlerine sahip olmaları” (Acuner 2014) sağlanmalıdır ve “kamu kuruluşlarının bina ve tesislerinde yıllık enerji tüketimi, 2015 yılına kadar yüzde on (%10) ve 2023 yılına kadar yüzde yirmi (%20)” (Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012) azaltılmalıdır.

Diğer başlıca enerji ve sürdürülebilirlik hedefleri: “İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı (İDEP) ülke şartları çerçevesinde ilgili tarafların katılımıyla sera gazı emisyon azaltımı ile iklim değişikliğine uyum politika ve tedbirlerini ortaya koymak amacı ile hazırlanmıştır.” (Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı, 2016). Pasif ev (passive house) iklimsel değişikliklere karşı dayanıklı ve enerji verimli binayı yerinde oluşturmayı amaçlamaktadır. ABD Enerji Bakanlığı (DOE) aracılığı ile iklime dayalı pasif yapı standartları ve sertifikalandırma uygulamaktadır. PHIUS + 2015 Pasif Yapı Standardının uluslararası geçerliliği vardır.

Karbon ayak izi azaltma, geniş uygulama alanları olan bir hedeftir. İnsan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın ölçüsü olarak adlandırılan karbon ayak izi, inşaat sektöründe, kullanılan malzemelerin üretilmesi, taşınması ve yıkımı için yapılan enerji harcamaları dolayısıyla salınan karbondioksit veya sera gazının (GHG) azaltılması ile düşürülebilmektedir.

AB komisyonu tarafından başlatılan The BUILD UP girişimi, Mesures d'Utilisation Rationnelle de l'Energie (MURE) ve Deutsche Energie-Agentur (DENA) ve benzeri ülke bazlı komisyonlar, enerji verimliliği veri tabanı oluşturarak, hedef ve uygulamalarının, vatandaş, tasarımcı ve işverenlerce tanınması için çalışan kuruluşlardandır (Url-15) (Url-16) (Url-17).

2050 Hedefi, Enerji Yol Haritası 2050 ismiyle de anılmakta olan uzun vadeli bir hedeftir. Bu hedefe göre “AB, sera gazı emisyonlarını 2050 yılına kadar, 1990 seviyelerinin %80-95'ine kadar azaltmayı taahhüt etmiştir.” (Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı, 2016).

2.7 Yapıların Enerji Etkin Tasarımı ve Geliştirilmesi

Yeni tasarlanacak yapılarda enerji etkinliği açısından yapıların öncelikle optimum pasif sistemler olarak tasarlanması pasif sistemlerin yetersiz kaldığı durumlarda aktif

sistemlerin devreye sokulması önemlidir. Yeni tasarlanacak yapıların yanı sıra ülke ölçeğinde enerji etkinliği sağlamada önemli bir faktör enerji etkin yaklaşımın ihmal edildiği mevcut yapı stoğunun enerji etkin olarak geliştirilmesidir.

2.7.1 Mevcut yapıların enerji etkin geliştirilmesi

Yapıların enerji etkin olarak geliştirilmesi, binada enerji kayıplarına neden olan durumların kontrol altına alınması ve ihtiyaç duyulan enerjinin daha etkin yöntemlerle karşılanmasını sağlayacak tekniklerin uygulanması olarak yorumlanabilir. Bu açıdan ülkemizde özellikle kullanım süreleri uzun olan ve sayıca çok olan konut binalarının enerji etkin iyileştirilmesi önem kazanmaktadır.

Mevcut konut binalarının enerji etkin olarak geliştirilmesinde, genellikle ülkemizde, yapıdaki ısıtma yüklerini azaltmak için ısı yalıtımını uygun kullanmak, soğutma yüklerini azaltmak için güneş kontrolü uygulamak, güneş enerjisini ve doğal gün ışığını daha verimli kullanmak, sağlıklı havalandırma yapmak, iklimlendirme ve HVAC sistemi ile aydınlatma elemanlarını yenilemek veya yenilenebilir enerji kaynaklarını mümkün olduğunca yapıya adapte etmek gibi tasarım yaklaşımları ön planda yer almaktadır.

Yapı kullanıcılarının enerji etkinliği açısından bilinçlendirilmesi de önem taşımaktadır. Aşağıda bu tür yaklaşımlar kısaca açıklanmıştır.

2.7.1.1 Kullanıcı davranışları

Mekânların kullanım saatleri, yoğunlukları, amaçları ve kullanıcı davranışları gün içinde harcanan ve ortaya çıkan enerji harcamalarını belirlemektedir. Kullanıcıların bilinçli davranışı enerji harcamalarını azaltmaktadır.

Örneğin, kullanıcılar, güneş kontrolü elemanlarını hareketli olması durumunda günlük ihtiyaçlarına göre gölgeleme elemanlarının açılarını ayarlayarak gün ışığından faydalanma sürelerini uzatabilmektedir. Pencereelerde yüksek miktarda ısı kaybedilen kış mevsiminde, akşamları dış cephedeki gece panjurları kapatılarak ısıtma yükleri düşürülebilmektedir.

Havalandırma ihtiyacı duyulduğunda tüm pencereler açılarak sıcak havanın kaybedilmesi yerine içeriye kontrollü hava alınarak ısı kayıplarını azaltmak kullanıcıların uygulayabileceği yaklaşımlara örnek olarak verilebilir.

2.7.1.2 Pasif sistemler

Yapıların pasif sistemler olarak enerji etkin geliştirilmesinde sık olarak uygulanan yaklaşımlar aşağıda açıklanmıştır.

Isıtma yüklerinin azaltılmasına yönelik olarak ısı yalıtımı kullanımı: Isıtma yüklerinin azaltılmasında özellikle soğuk ve ılımlı iklim bölgelerinde kabuğun ısı yalıtım değerinin iyileştirilmesi önem kazanmaktadır. Yapı kabuğunu oluşturan çatı, dış cephe duvar ve pencereler ısı kayıplarının en çok gerçekleştiği yüzeylerdir. Bu elemanların ısı geçirgenliğinin düşük olması, iç ve dış mekân arasındaki ısı alışverişini azaltır. uygun yalıtım, kışın iç ortamda konfor koşullarını sağlamak için harcanan ısıtma enerjisini azaltmakta yarar sağlamaktadır.

Yapı elemanının ısı yalıtım değerini U değeri belirlemektedir. Şekil 2.1. TS 825'e göre, bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerlerini (U_D : Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı, U_T : Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı, U_i : Zemine oturan tabanın /döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı, U_P : Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı) vermektedir.

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_i (W/m ² K)	U_P^* (W/m ² K)
1. Bölge	0,70	0,45	0,70	2,4
2. Bölge	0,60	0,40	0,60	2,4
3. Bölge	0,50	0,30	0,45	2,4
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,4

Şekil 2.1: TS 825'e göre, bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri (TS 825).

Genellikle ısı kayıplarının azaltılması için duvarlardaki en yaygın iyileştirme uygulaması dıştan yalıtım kaplamasıdır. Yalıtımsız binalarda ısı kayıplarını azalttığı için tercih edilmektedir.

Mevcut binalarda camların yalıtım değerleri genellikle duvarlara göre düşük olduğundan, saydamlık oranı yüksek cepheler ısı kazançlarının ve kayıplarının etkisini arttırmaktadır. İyileştirme sırasında eski pencereler enerji etkin yeni camlarla değiştirilebilmektedir. Tekli cam yüksek ısı geçirgenliğine sahiptir. Enerji kayıplarını azaltmak için, hava boşluklu veya argon gazlı çift camlar, üçlü camlar ve düşük yayımlı (Low-E) yalıtım filmleri kullanılabilir. Ülkemizde çift tabakalı cam

ve yalıtım film kaplamaları yaygınlaşmıştır. Üçlü camlar ağırlıkları nedeniyle daha az tercih edilmektedir. Camlar seçilirken, görsel geçirgenlik, renk ve güneş ışığından ısı kazanımı katsayısı (SHGC) etkili birer faktördür. Güneş ışınımından ısı kazanım katsayısı düşük camlar iç mekâna ısıyı az ilettiğinden uygun bir seçim yapılmalıdır.

Soğutma yüklerinin azaltılmasına yönelik olarak güneş kontrolü elemanlarının kullanımı: Güneş Kontrolü elemanları yıllık ve günlük güneş hareketlerine göre istenmeyen veya kullanıcıya rahatsızlık veren dönemlerde gün ışığını azaltmakta etkilidir. Güneş kontrolü elemanları saydam malzemelerin aşırı ısı alımına sebep olduğu yaz mevsiminde, dik gelen güneş ışınlarının içeri girmesine engel olmak için enleme uygun tasarlanmalıdır. Genellikle güney cephesinde pencere üstündeki çeşitli uzunluklarda yatay gölgelikler koyulması, doğu ve batıdaki pencerelerin sağ ve sol yanına yerleştirilmiş dikey gölgelikler doğu ve batıda daha verimli bulunmaktadır.

Sabit, el ile (manuel) ayarlanabilen, güneşe göre hareket eden otomatik ve kinetik güneş kontrolü sistemleri bulunmaktadır. En sık rastlanan sabit güneş kontrolü elemanları ve otomatik sistemlerdir.

Ayrıca proje arazisi uygunsa kışın yapraklarını döken ağaç türleri ile ağaçlandırmalar cephelerde kullanılabilir.

Aydınlatma enerjisi yüklerinin azaltılmasına yönelik olarak günışığı kontrolü / güneş kontrol elemanları kullanımı: Gelişen cam teknolojisi ve yapılarda kullanılan pencere oranlarının büyümesiyle, gün ışığı ile doğal aydınlatma kullanımı ve enerji etkinliği sağlama potansiyeli artmıştır. Buna rağmen şehir dokusunun sıkışık düzeni içindeki yüksek katlı binalarda, gün ışığından faydalanmak gittikçe zorlaşmaktadır.

Pencereler gün ışığı alımını yükseltmeli, doğrudan güneş ışığını kontrol altına almalı, kamaşma kontrolü sağlamalıdır (Yener, 2003).

Güneş kontrolü elemanları gün ışığı açısından da önem taşımaktadır. Pencere boyutları ısı kayıp ve kazançlarının yanı sıra, görsellik ve ışık alımı göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

Gün ışığının binada cepheden derinliğe erişme miktarı, yönelim, kat yüksekliği, pencere boyutu, gölgeleme ve yansıtma elemanları ile belirlenir. Yetersiz gün ışığı sağlıksız ve kullanışsız ortamlar yaratacağı gibi fazla gün ışığı da çeşitli zamanlarda kamaşma, ısınma gibi rahatsızlıklara neden olabilmektedir.

Gün ışığı kullanımı, yapay aydınlatma için harcanan elektrik giderlerini azaltmaktadır. İç mekâna doğal ışık alımını arttırmak için birçok teknik bulunmaktadır. Bu tekniklerden pasif olarak en yaygın olarak kullanılanları, düşey açıklıklardaki pencereler ve çatıda bulunan yatay açıklıklardaki saydam elemanlardan oluşan çatı ışıklıklarıdır.

Pencereler aracılığı ile gün ışığından yararlanma: Pencereler, öncelikli olarak dış mekân ile görsel bağlantı kurmak ve içeriye doğal ışık sağlamak amaçlarıyla tasarlanır. Cephenin yeniden tasarlandığı bina yenilemelerinde, mevzuata uygun olarak pencere alanları ve biçimleri değiştirilerek, yapı gün ışığı alımı hedeflerine daha uygun hale getirilebilmektedir.

Ayrıca, aşırı gün ışığı, iyi kontrol edilmezse kamaşma sorunu yaratır. Kamaşmadan kaynaklanan göz rahatsızlıkları, bazen kullanıcıların gün ışığını engelleyip yapay aydınlatma kullanmasına neden olur. Özellikle ofis tasarımlarında günışığı kontrolü ve kullanıcı davranışları elektrik yüklerini etkilemektedir.

Işık rafları ve ışık tüpleri: Işık rafları ve ışık tüpleri gün ışığı alımı için kullanılan gelişmiş aydınlatma sistemleridir. Işık rafları, genellikle yüksek pencerelerin üstten ilk 1/3 oranındaki kısmına yerleştirilen, üst yüzeyleri yansıtıcı güneş kontrolü elemanlarıdır. Dışarıdan gelen güneş ışığının tavandan dağınık biçimde yansıyarak iç mekânın derinliklerine homojen biçimde dağılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda pencere dibinde kendi altlarına gölge attıkları için kamaşmaya engel olmaktadır. Bu elemanlar güneş takip yöntemleri ile açıları ayarlanarak ile daha etkili hale getirilebilmektedir.

Işık tüpleri, yer altı yapıları, geniş mesafeler geçen veya sıkışık doku içerisindeki yapılar için kullanışlı bir tekniktir. Çatı yüzeyindeki çatı penceresini andıran açıklıktan toplanarak yansıtıcı kanal içerisinde aşağıya taşınan ışık, yerüstünden yeraltındaki katın tavanına veya penceresiz mekâna ulaşır. Mekânın ihtiyacına göre ışık dağıtıcı veya toplayıcı elemanlar kullanılabilmektedir.

2.7.1.3 Aktif sistemler

Yapıların aktif sistemler aracılığıyla enerji etkin geliştirilmesinde uygulanan bazı yaklaşımlar aşağıda açıklanmıştır.

HVAC ve yenilenebilir enerji: Bina içerisinde konforu sürekli sağlamak için pasif yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda enerji harcayan ısıtma, soğutma,

havalandırma ve aydınlatma (HVAC) mekanik sistemleri kullanılmaktadır. Seçilen sistemin iklime ve binaya uygun olması gerekir. Pasif teknikler her zaman yeterli değildir ve mekanik iklimlendirme yöntemleri ile desteklenebilirler. Enerji verimli pasif tasarım kararları HVAC sistemlerinin harcayacağı enerjiyi en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Enerjinin fosil yakıtlar yerine yenilenebilir kaynaklardan sağlanması hem doğaya verilen zararı azaltır hem de sistemin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır.

Enerji etkin olarak yapıların geliştirilmesinde PV sistemler sıkça kullanılmaktadır. Güneye bakan çatı ve cephelere konumlandırılarak, şartları uygunsa mevcut binaya panel sistemi kurulup elektrik giderlerinin azaltılması mümkündür.

PV sistemler enerjinin korunumu yasasına uygun olarak, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır.. Işık kaynağı (örneğin güneş) ortadan kalktığında, sistemin ürettiği elektrik de kesilmektedir. Eğer elektrik gece boyunca da kullanılmak isteniyorsa, devreye bir elektrik depolayıcı (akü) eklenmelidir. Gerekli olan yük değerine göre, yer alacak modül sayısı, bağlantı şekilleri (seri veya paralel) bulunmakta ve bu değere göre, akü sayısı hesaplanmaktadır. Kablo bağlantıları, devre kesiciler, sigortalar, topraklama ekipmanları seçilir. Sistemin tek başına veya destekli kullanılıp kullanılmayacağı belirlenir. Bu sistemler, rüzgâr milleri, mikro-hidro jeneratörler veya normal jeneratörlerle destekli olacak şekilde de dizayn edilebilmekte, ayrıca şebeke sistemine de bağlanarak mevcut sistemle birlikte çalışabilmektedirler.

Dinamik cephe sistemleri: İklim, gün ışığı, sıcaklık, rüzgâr gibi değişen çevresel etkenlere karşı, binanın enerji etkinliği destekleyecek biçimde uyum sağlaması için, hareketli cephe sistemleri kullanmak mümkündür. Hareketli cephe sistemleri, aktif cephe, kinetik cephe, akıllı kabuk gibi birçok isimle anılmaktadır. Özellikle doğal aydınlatma, ısı geçişi ve havalandırma kontrolünde kullanılan hareketli cepheler, manuel veya otomatik sistemlerle çalışabilmektedir.

2.7.2 Yeni binaların enerji etkin olarak tasarlanması

Sürdürülebilir çevre için enerji etkin yapı tasarımında amaç konfor koşullarını, çevre kirliliği yaratmayacak şekilde ve minimum enerji ile sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilecek tasarım süreci, tasarım parametreleri için uygun değerlerin belirlenmesini kapsamaktadır.

- Tasarım parametreleri için uygun değerlerin belirlenmesi
- Yerleşme ölçeğinde tasarım parametreleri için uygun değerlerin belirlenmesi
- Binanın yer alacağı uygun yerey parçasının belirlenmesi
- Uygun bina aralıklarının belirlenmesi
- Bina, Hacim ve Eleman ölçeğinde tasarım parametreleri için uygun değerlerin belirlenmesi
- Bina formu, yönlendiriliş durumu ve bina dış kabuğuna ilişkin uygun değerlerin belirlenmesi olarak açıklanabilir.

Yer seçimi: Yer seçimi, topografik düzen içerisinde uygun yerleşmenin ve uygun yerey eğimi ve yönünün belirlenmesi ile açıklanmaktadır. Topografik düzene bağlı olarak iklimsel elemanların etkinlik dereceleri değişim göstermektedir. Güneş ışıını ele alındığında deniz düzeyinden yükseldikçe ışıını şiddetinde, atmosfer koşulları, atmosferde kat edilen yol, atmosferin temizliği bakımından bir artış olmaktadır.

Rüzgâr ele alındığında ise deniz düzeyinden yükseldikçe artış olmakta ve yüzeylerdeki farklı ters ışıını şiddeti nedeniyle hava akımları ile dağ ve vadi rüzgârları oluşmaktadır.

İklimsel karakterlere göre yukarıda sözü edilen olaylardan yararlanacak biçimde etkin iklimsel gereksinmeye cevap verebilecek yerey parçaları seçilmelidir. Soğuk iklim bölgeleri için yamacın alt kısımları en uygun yerleşme noktalarıdır. Sıcak kuru iklim bölgelerinde, vadi tabanı, sıcak nemli iklim bölgelerinde ise, tepeler, rüzgar etkisinin fazla olması sebebi ile en uygun yerleşme noktalarıdır.

Yamaçta termal kuşağın alt noktaları ılımlı kuru iklim bölgeleri için en uygun yerleşme noktalarıdır. Termal kuşağın üst noktaları ılımlı nemli iklim bölgeleri için en uygun yerleşme noktalarıdır.

Uygun yerleşme dokusunun belirlenmesi: Uygun yerleşme dokusunun belirlenmesinde binaların birbirlerine göre güneş ışıınından ve rüzgârdan yararlanması veya korunmasını sağlayacak şekilde konumlandırılması ile mümkün olabilir. İklim bölgelerine göre uygun yerleşme dokuları aşağıdaki gibi belirlenebilir:

- Sıcak Nemli İklim Bölgesi için rüzgârın dolaşmasına ve kış döneminde güneş ışıınının alınmasına olanak verecek seyrek doku,

- Sıcak Kuru İklim Bölgesi için yaz döneminde güneş ışınlarından korunmayı sağlayan, rüzgârdan korunmuş (rüzgârın nem getirici etkisi varsa rüzgârdan yararlanılmalıdır) az katlı ve sıkışık doku,
- Ilımlı Kuru İklim Bölgesi için yaz döneminde rüzgârdan yararlanacak, kompakt doku,
- Ilımlı Nemli İklim Bölgesi için yaz döneminde hâkim rüzgârdan yararlanacak, kış döneminde güneş ışınlamından yararlanacak homojen yayılmış doku,
- Soğuk İklim Bölgesi için kış döneminde güneş ışınlamına ve rüzgârdan korunmaya olanak sağlayan kompakt doku seçilmelidir.

Bina aralıklarının belirlenmesi: Binalarda güneş ışınlamı ve rüzgar/hava hareketlerinde pasif iklimlendirme açısından yararlanılabilmesi için binalar arası açık mekan ölçüleri ve binaların boyutlarına bağlı olarak optimal konumları belirlenmelidir.

Güneş ışınlamından maksimum yararlanabilmek için bina aralıkları komşu binaların en uzun gölge boyuna eşit ya da büyük olmalıdır. Bina aralıkları boyutlandırılırken güneşin doğuş ve batış saatleri dışında kalan ara saatler, arazi eğimi, yönü, yerleşme yoğunluğu açısından dikkate alınmalıdır.

Pasif iklimlendirme açısından rüzgâr etkilerinden yararlanmak da söz konusu olduğundan bina aralıklarının hâkim rüzgar doğrultusundaki değişimi binanın ısısal performansını istenilen düzeyde etkileyecek boyutta olmalıdır.

Binalar arası açık mekânların düzenlenmesi: Bu bölümde, binalar arası açık mekânların düzenlenmesi, peyzaj ve uygun yüzey örtü malzemeleri açısından ele alınmıştır.

Binalar arası açık mekânlarda uygun peyzaj: Binalar arası ve binalar grubu çevresindeki açık alanların peyzaj (doğa) düzenlemesinde, güneş ışınlamı ve rüzgâr etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bitki toplulukları ve ağaçların rüzgâr yönlendirici, hızı arttırıcı ya da kesici etkisi düşünülmelidir. Güneş ışınlamı açısından da bitki ve ağaçların gölge ve ısı kazanımı etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

- Sıcak Nemli İklim Bölgesi: Güney cephesinde ağaçlandırmadan kaçınılmalı, kuzey cephesinde, yazın gölge etkisi sağlayan ağaçlandırma, doğu ve batı

cephelerinde güneşi engelleyen, vantilasyona izin veren yüksek gövdeli, yaprak dökken ağaçlar yerleştirilmelidir.

- Sıcak Kuru İklim Bölgesi: Kuzey ve güney yönlerinde ağaçlandırmadan kaçınılmalı, doğu ve batı yönlerinde ise (konumlandırmalar yer değiştirebilir), çalılar, duvarlara yerleştirilmiş sarmaşıklar ve yaprak dökken ağaçlar uygulanmalıdır.
- Ilımlı Kuru ve Ilımlı Nemli İklim Bölgeleri: Kuzey cephesinde soğuk kış rüzgârlarından korunmak için sürekli yeşil ve dalları alçak olan ağaçlar, güneyde alçak çalılar veya yüksek olmayan ağaçlar uygulanmalı, doğu ve batı cephelerinde ise güneşi engelleyen, vantilasyona izin veren yüksek gövdeli, yaprak dökken ağaçlar yerleştirilmelidir.
- Soğuk İklim Bölgesi: Kuzey cephesinde kısmen yükseltilmiş toprak uygulama yararlıdır. Kuzey, doğu ve batı cephelerinde sürekli yeşil olan çalılar ve yeşil, alçak dalları olan ağaçlar tercih edilmeli, güneyde ise rüzgâr kırıcı alçak çalılar ve çim uygulanmalıdır. Binadan uzakta güneydoğu ve güneybatı yönlerinde yaprak dökken ağaçlar kullanılabilir.

Bina yönlendiriliş durumunun belirlenmesi: Binaların yönlendirilmesinde yöne göre değişkenlik gösteren iklim elemanları (güneş ışıınımı, rüzgâr) etkili olmaktadır. Güneş ışıınımından ısıtma istenmeyen dönemde minimum, ısıtma istenilen dönemde maksimum yararlanacak, diğer bir deyişle, güneş ışıınımı etkilerini optimizasyon sağlanacak şekilde bir yönlendirme ele alınmalıdır.

Uygun hacim organizasyonu: Bir binada iklimsel konfor açısından enerji tüketiminin minimize edilmesini sağlamak için hacim organizasyonu uygun bir şekilde yapılmalıdır. Fonksiyonel açıdan 1. derecede önemli mekanlar (kullanıcı sayısı en fazla olan ve gün içerisinde en fazla kullanılan mekanlar) ve binaların geniş yüzeyleri optimum yönlere (güney ve güneye yakın yönler) gelecek şekilde düzenlenmelidir. Fonksiyonel açıdan 2. derece önemli mekânlar, uygun yönlere yerleştirilmelidir. Servis hacimleri, dış yüzeylere, gerektiğinde tampon oluşturacak şekilde yerleştirilmelidir.

Isıtma enerjisi korunumu açısından güneş ışıınımını depolayacak, binanın ısıtmasına katkıda bulunacak mekânlar (seralar, güneş sundurmaları, vb.) düzenlenmelidir.

Bina formunun belirlenmesi: Binaların form ve biçimleri, enerji korunumu açısından ısıtmanın istendiği dönemde minimum ısı kazancı, ısıtmanın istenmediği dönemde maksimum ısı kazancı sağlayacak şekilde seçilmelidir. Rüzgârın ısı kayıplarını arttırıcı etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Soğuk ve sıcak kuru iklim bölgelerinde rüzgâra geniş cephe vermeyen bina formları, sıcak nemli iklim bölgelerinde rüzgâra geniş açıklık veren bina formları, ılımlı nemli iklim bölgelerinde ise ısıtmanın istenmediği dönemde rüzgâra geniş açıklık veren bina formları tercih edilmelidir.

İklim bölgelerine göre uygun bina formları aşağıda açıklanmıştır:

- Sıcak Nemli İklim Bölgesi: Rüzgâra açık yüzeyli, uzun dikdörtgene yakın, yeterli vantilasyon için zeminden kaldırılmış döşeme ve yükseltilmiş çatı
- Sıcak Kuru İklim Bölgesi: Avlulu, kare tabanlı, iç mekana açık yüzeyli
- Ilımlı Kuru İklim Bölgesi: EASD'deki rüzgâra kapalı, kareye yakın kompakt
- Ilımlı Nemli İklim Bölgesi: ESD'deki rüzgâra geniş yüzeyli, dikdörtgen yada serbest planlı
- Soğuk İklim Bölgesi: Rüzgâra az yüzeyle bakan, dış yüzeyi minimize eden, kompakt, kare vb. tabanlı

Bina kabuğunun belirlenmesi: Uygun bina kabuğunun belirlenmesinde, bina elemanlarının (dış duvar, çatı, döşeme, pencere, kapı) her biri ayrı olarak ele alınmalıdır.

Dış duvarlar: Isı kazancı açısından en çok güneş ışıınımı kazanabilecek ya da ışıınımdan korunabilecek dış yüzeylerin oluşturulması iklim bölgelerinin karakteristiğine bağlı olarak ele alınmalıdır. Dış duvarlarda ısı kazanç ve kayıpları düşünülerek toplam ısı geçirgenlik katsayısı iklim bölgesine uygun olarak saptanmalıdır. Özellikle soğuk ve ılımlı bölgelerde kabuk için gerekli ısı yalıtım değeri belirlenmelidir.

Enerji korunumu açısından opak yüzeyler, güneş ışıınımı yoluyla ısı kazancından yararlanabilecek ya da korunabilecek doku ve renkte seçilmelidir.

Sıcak ve ılımlı iklim bölgelerinde uygun güneş kontrolü elemanları tasarlanmalıdır.

İklim bölgelerindeki gece gündüz sıcaklık farkına ve mekânların kullanım sürelerine bağlı olarak duvarın ısı depolama kapasitesi ihmal edilmemelidir.

İklim Bölgelerine göre dış duvar özellikleri aşağıda açıklanmıştır:

- Sıcak Nemli İklim Bölgesi: Isı depolama kapasitesi düşük, açık renkli, yansıtıcılığı yüksek, hafif duvarlar
- Sıcak Kuru İklim Bölgesi: Isı depolama kapasitesi yüksek (termal kütle etkisi sağlayan), açık renk, kalın duvarlar
- Ilımlı Kuru ve Ilımlı Nemli İklim Bölgesi: İç mekânda gerekli konfor koşullarını sağlayan yalıtım değerlerine sahip duvarlar
- Soğuk İklim Bölgesi: Isı depolama kapasitesi yüksek, iyi izole edilmiş, koyu renk, güneş ışınlı yutuculuğu yüksek, masif duvarlar

Çatılar: Çatı tipleri iklim karakteristiği göz önüne alınarak seçilmelidir. Çatıların ısı geçirme dirençleri, eğimi ve baktığı yön iklimsel karaktere uygun, dış yüzey rengi ve katmanlaşma düzeni ise ısı kazanç ve kaybı düşünülerek seçilmelidir.

İklim bölgelerine göre uygun çatı formları aşağıda açıklanmıştır.

- Sıcak Nemli İklim Bölgesi: Hava akışlarına izin veren, yükseltilmiş veya eğimli çatı
- Sıcak Kuru İklim Bölgesi: Güneş ışınlımının etkisini minimize eden düz çatılar
- Ilımlı Kuru ve Ilımlı Nemli İklim Bölgesi: İyi izole edilmiş, eğimli çatı
- Soğuk İklim Bölgesi: İyi izole edilmiş, eğimli çatı

Pencereler: Pencerelerin cam katmanı sayısı, konumu, doğrama cinsi iklimsel karakteristiklere uygun ve direkt güneş ışınlımı kazancından yararlanacak yada korunacak şekilde seçilmelidir. Toplam ısı geçirme katsayısı da kabuğun istenen optimum değerini sağlayacak şekilde belirlenmelidir.

İklim bölgelerine göre uygun pencere açıklıkları aşağıda açıklanmıştır.

- Sıcak Nemli İklim Bölgesi: Güneş kontrolü sağlanan geniş açıklıklar
- Sıcak Kuru İklim Bölgesi: Dış duvarlarda küçük açıklıklar, avlu yönünde gölgelendirilmiş büyük açıklıklar

- Ilımlı Kuru İklim Bölgesi: Isı kontrolü sağlanacak büyüklükte açıklıklar
- Ilımlı Nemli İklim Bölgesi: Isı kontrolü ve vantilasyon sağlanacak büyüklükte açıklıklar
- Soğuk İklim Bölgesi: Isı korunumlu küçük açıklıklar





3. YAPI BİLGİ MODELLEME VE KONU ALANINDA YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapı bilgi modelleme, bir yapının tasarımında, inşaatında veya yaşam döngüsünün herhangi bir kısmında kullanılabilen, üç boyutlu model ile bilgi paylaşan, geri bildirimli ve karşılaştırmalı tasarım aracıdır. Yapı bilgi modeli, binanın ve elemanların, detaylı geometrik ve yapısal bilgilerini içeren interaktif objeler ile tanımlanmasına dayanan modelleme programları ile elde edilmektedir. Gelecekteki sorunların öngörülmesine ve tasarım aşamasından başlayarak başlangıçta ortaya konulan amaca uygun alternatiflerin ortaya çıkmasına yardımcıdır. Birçok bilgi tipini üç boyutlu olarak içerdiği ve değişiklikleri anında gösterdiği için ilgili tarafların tasarım ve yapım üzerinde aynı anda çalışmasına olanak tanımaktadır. Yapı bilgi modellemede: projelendirme öncesi ve yaşam döngüsü boyunca projeye ilişkin tüm tarafların iletişim halinde olması, verilerin bir kez sisteme işlenmesi ve birçok kez kullanılması, proje verilerinin güncelliğinin denetim altında tutulması önemlidir.

Bu bölümde, yapı bilgi modelleme veri sistemleri aşağıda verilen başlıklar altında ayrıntılı olarak açıklanmış ve ilgili konular hakkında yapılan önceki çalışmalara yer verilmiştir.

3.1 Yapı Bilgi Modellemenin Özellikleri

Yapı bilgi modelleme veya bina bilgi modelleme isimleri, İngilizce'deki "Building Information Modelling" kısaca BIM, tanımından çevrilmiştir. Türkçe'de en yaygın kullanılan kısaltmalar: İngilizceden alınmış şekliyle "BIM", yapı bilgi modelleme anlamındaki "YBM" ve bina bilgi modelleme isminin kısaltması olan "BBM" olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada daha geniş kapsamlı bir tanımda bulunduğu düşünüldükçe YBM kısaltması kullanılmaktadır.

YBM bina tasarımı ve yapımında, yönetmek ve verimliliği arttırmak için 3 boyutlu, gerçek zamanlı, dinamik bina modelleme yazılımı kullanılmaktadır. Yapı bilgi modeli, bina parçalarına ilişkin özellikler, bina geometrisi, alansal ilişkiler, mikroklima ve

coğrafiik lokasyonla ilgili tüm verileri kapsamaktadır. Geçmiş çalışmalarda yapı bilgi modeli için kullanılmış en yaygın tanımlarda, üç-boyutlu bilgisayar destekli tasarım ile yaratılmış bir dosya olduğundan bahsedilmiştir. Ancak YBM programları Dünya'nın çeşitli yerlerinde gelişirken, birçok farklı YBM tanımı ortaya çıkmıştır.

Kymmell (2008) çalışmasında YBM'yi ; “Tesisin yaşam döngüsü boyunca tüm taraflara yarar sağlamak için, işbirliği, görsellik ve inşa edilebilirlik incelemesini destekleyen diğer inşaat araçlarına (örn. çizelge, tahminler) bağlı, akıllı görsel modeller geliştiren, bir araç, işlem ve/veya üründür.” olarak tanımlamıştır. YBM, Succar (2009) tarafından, “binanın yaşam döngüsü boyunca asli bina tasarımı ve proje verilerini dijital formatta yönetme metodu” olarak tanımlanmıştır. 2011 yılında Reddy'nin (2011) kitabında yapılan tanım ise şu şekildedir: “Bina yaşam döngüsünün farklı aşamaları boyunca, sonuçları analiz ve tahmin etmek için verileri geliştiren işlem, güçlendirme yöntemi.” Bireysel araştırmaların yanı sıra YBM kullanımının yaygınlaştığı ülkelerde ortaya çıkan standart ve kılavuzlar da çeşitli tanımlar içermektedir. Örneğin, İngiliz Standartları Enstitüsü (BSI) tarafından yayınlanan PAS 1192-2: 2013 dokümanında YBM, “Görsel objeler hakkında bilgi kullanarak, bina ya da tesis altyapısının tasarım, inşa ve kullanım süreci” olarak tanımlanmıştır (British Standards Institution, 2013). Standartlar konusunda çalışan NBIS tarafından yapılan tanım ise şu şekildedir: “Bir tesisin, yaşam döngüsü boyunca yapının güncellenebilen ve paylaşılabilen bilgi repertuarı olarak kullanılan tüm fiziksel ve fonksiyonel karakteristiklerinin dijital temsilidir.” (VA BIM Manual, 2017).

Yapı bilgi modelleme programlarının ilerlemesi ve yaygınlaşması konusunda çok sayıda çalışması olan Eastman yıllar içerisinde YBM hakkında detaylı tanımlarda ve açıklamalarda bulunmuştur. Eastman ve diğ. (2008) YBM'den şu şekilde bahsetmiştir; YBM objeleri parametrik olarak tanımlamaktadır. Objeler parametreler ve diğer objelerle ilişkiler olarak tanımlanır, bu sayede alakalı bir obje değiştiğinde ilk obje de değişmektedir. Parametrik objeler içlerine gömülü kurallara göre otomatik olarak kendilerini yeniden inşa etmektedir. Kurallar bir pencerenin bütünüyle duvarın içinde olması ve duvarla birlikte hareket etmesi gibi basit veya çelik kiriş ile kolon arasındaki fiziksel bağlantı gibi boyut ve detayların tanımları gibi karmaşık olabilmektedir. YBM teknolojisi ile binanın gerçekçi bir görsel modeli dijital olarak inşa edilebilir ve tamamlandığında, bilgisayarla oluşturulmuş model, projeyi

uygulamak için gerekli yapım, fabrikasyon ve temin işlemleri ile ilgili tüm verileri ve doğru geometriyi içermektedir.

Eastman ve diğ. (2008) tarafından daha geniş bir tanım, yapı modelleri üretmek, iletmek ve analiz etmek için bir modelleme teknolojisi ve ilgili işlemler grubu, şeklinde yapılmıştır. Yapı modelleri aşağıdaki gibi karakterize edilmiştir:

- Kendilerini bilen ve bilgisayar grafikleri, veri öznitelikleri ve parametrik kurallarla bağlanabilen, akıllı dijital objeler tarafından temsil edilen yapı elemanları,
- Analizler ve iş akışları için ihtiyaç duyulan davranış biçimlerini betimleyen verileri içeren parçalar. Örn. Yönetmelik ve enerji analizi
- Modelin tüm görünüşlerinin koordine biçimde temsil edildiği koordine veriler.

3.1.1 Yapı bilgi modelleme tarihçesi

Yapı bilgi modelleme tarihi süreçte, teorik fikirleri destekleyebilecek bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile kendini göstermeye başlamıştır. 1960'larda bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları YBM'nin öncüsü olarak yapı sektöründe dijital veri kullanımına zemin oluşturmuştur. Eastman ve diğerlerine (2011) göre 1960 ve 1970'lerde YBM konseptleri hakkında yayınlanmış birçok makale vardı ancak o zamanlar uygulama, imkân dâhilindeki bilgisayar işlem güçlerinden fazlasını gerektirdiği için çok zordu.

1970'lerde bilgisayar destekli tasarım (CAD) tasarımları belirli amaçlarla çizilmiş vektörel çizgi, nokta, yay ve düzlemler olarak ifade edilmiştir. Çizgilerin temsil ettiği amaçlardan katman yönetimi oluştukça bilgi içeriği bölünmesi artmıştır. Danelle Briscoe, CAD sistemi için standart, modüler ve ortogonal çizimlerde kullanılırken en güçlü halinde eleştirisinde bulunmuştur (Briscoe, 2016, s.6). 2 boyutlu CAD çizimlerinin 1970'lerde 3. Boyuta kavuşmaya başlamasıyla, teknik çizim yöntemleri yeni bir döneme girmiştir. Yaklaşık 40 yıl önce C. Eastman (1975), yapı tasarımında çizim yerine bilgisayar kullanımı, adlı makalesinde çok yönlü görsel model olan yapı tanımı sistemi BDS (building description system) dediği, 3 boyutlu bina elemanlarının düzenlenmesine imkân sağlayan mimari modelleme sisteminden bahsetmiştir. Böylece, başlangıçta ayrı oluşturulmuş dokümanlarla ilişki kuramayan

2 boyutlu statik dosyalar sağlayan CAD teknolojisi 3 Boyutlu temsil de sağlayabilmiştir (Ziel ve diğ. 2008).

Günümüzde mimarlık-mühendislik yapı sektöründeki tasarımcılar, parametrik yaklaşım ve topografik alan gibi daha yeni bilgisayar tabanlı tasarım yöntemlerinin işleme konulması gibi performansın da kritik rol oynadığı endüstriyel tasarım, mekanik mühendisliği ve ürün gelişimi sektörlerinden gelen teknolojileri benimsemeye başlamıştır (Abrishami ve diğ. 2014).

CAD'deki geometrik verilerden, karmaşık parametrik verilere geçiş, yüksek miktarlarda veri eklemesi anlamına gelmektedir. Eastman ve diğ. (2011) bunun sebebini YBM içerisindeki parametrik verilerin objelerin, boyut ve şekilleri yanı sıra, fiziksel özelliklerini ve diğer objelerle ilişkili davranışlarını da tanımlaması olarak açıklamaktadır. Charles M. Eastman, YBM'nin öncülerinden olan “Yapı ürün modeli” diye adlandırdığı BPM kavramını kitap ve makalelerinde sıklıkla kullanmıştır.

CAD ve YBM farkları detaylı biçimde Succar'ın çalışmasında tanımlanmıştır. Succar'a (2009) göre: CAD'de yapı elemanları çizgiler ve geometrik şekiller tarafından temsil edilirler, YBM'de elemanlar özelliklerini obje içlerinde bulundurmaktadır. Bir duvarın özelliklerinin tanımı yükseklik, genişlik, taşıyıcı veya taşıyıcı olmama, iç ve dış, yangın dayanıklılığı, tuğla ve pano gibi yıkık veya yeni malzemelerin kullanımı kapsamaktadır. YBM elemanlar arasında, model değişikliğe uğratıldığında bile sürekli korunan bağlantı ve ilişkilerle ilgili parametrik entegrasyon sunmaktadır. YBM ile modellemek için farklılıkların ve düzensizliklerin düzenle birlikte var olabileceği hiyerarşik bir çerçeve kurulmaktadır (Briscoe, 2016). YBM ve CAD'in veri işleme ve depolama farklılıkları programlarının verileri kullandığı alan çeşitliliği ve etkinliğinde de kendisini göstermektedir.

Akademik çalışmaların yanı sıra yazılım üretici platformlar yapı bilgi modellemeye benzeyen ürünlerini çeşitli isimlerle piyasaya sürmüşlerdir. 1970'lerin sonlarına doğru Autodesk, Bentley ve Graphisoft gibi platformlar, geliştirmekte oldukları programlar için yapı bilgi modelleme, görsel bina ve benzeri adlandırmalar yapmıştır.

Yazılım üreticilerinin haricinde çeşitli firmalar da YBM kullanımının gelişimine katkıda bulunmuşlardır.

3.1.2 Yapı bilgi modelleme düzeyleri

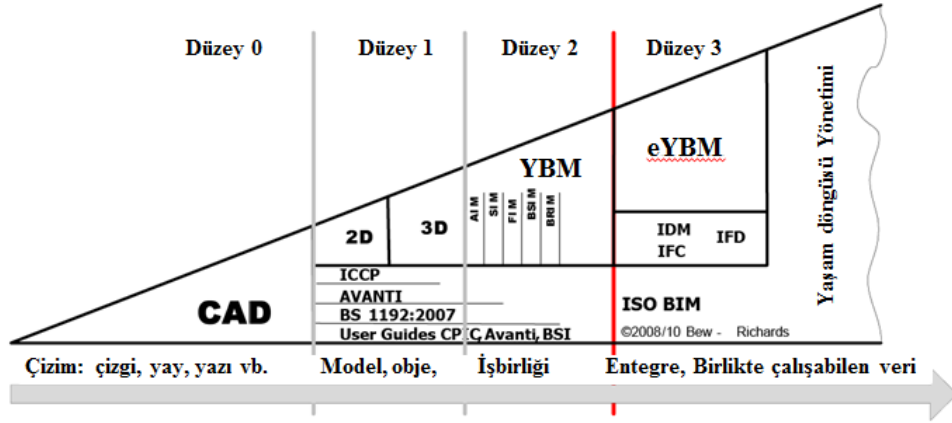
Yapı bilgi modelleme düzeyleri, YBM programlarının kullanımında programın imkân sağladığı sistemlerin ne kadar etkili biçimde kullanıldığını sınıflara ayırarak göstermektedir. Programın potansiyelinden faydalanma miktarını olgunluk olarak tanımlasa da kullanıcının yeteneklerine yönelik bir kategorizasyon değil, içerebileceği sistemler açısından bir öneri kılavuzu olarak görülmelidir. CAD mantığından YBM mantığına değişen evrimleşmede düzey arttıkça, veri miktarı da artmaktadır.

2000’li yılların sonlarında, dünyanın pek çok yerinden YBM sınıflandırması ile ilgili çalışmalar ortaya çıkmıştır. Düzey ayrımı 2008 yılında, Bew ve Richards’ın (2008) YBM sınıfının ve uygulamasının 0-3 düzeyleri arasında değişen olgunluklara sahip olmasını önermesi ile İngiltere’de ve aynı yıl 5 olgunluk düzeyi ve 3 basamaklı lineer sistem öneren Succar (2009) gibi çeşitli araştırmacıların çabaları ile başladı. Mordue (2015) ve Goodhew (2016) YBM düzeylerinin tanımlanması çalışmalarına katkıda bulunmuşlardır.

İngiltere tarafından kabul edilen sisteme göre: en alt düzey olan “Düzey 0”: iki boyutlu CAD çizimleri veya kâğıt üzerinde, yazılı bilgilerle veri aktarımında bulunan daha geleneksel yöntemi tanımlarken, “Düzey 1”: yapı bilgi standartlarına uygun veri ve formatlarla, iki veya üç boyutlu modeller ile paylaşılan müşterek veri ortamı olan CAD tipini tanımlamaktadır. Ayrıca günümüzde sıkça görülen, programların bireyler tarafından bilgi paylaşımı yapmadan yalıtılmış biçimde kullanıldığı “Yalnız YBM” modelini içermektedir.

“Düzey 2”: projedeki üç boyutlu objeye dayalı bilgileri ve çeşitli verileri paylaşan YBM modelini ifade etmektedir. İçerisinde ortak dosya formatları kullanarak, zamanlama yönetimi, maliyet hesabı ve işletme sistemleri bilgileri bulundurabildiği için farklı ekipler arasında işbirliğini desteklemektedir.

En üst düzey olan “Düzey 3” ise: bina yaşam döngüsünü içeren, tümüyle açık ve tam veri entegrasyonunu anlatmaktadır. Düzey 3, Entegre YBM (iBIM/Integrated BIM) olarak da bilinmektedir. Son iki düzey arasında ortak çalışma biçiminden “İşbirlikli YBM” modeli olarak bahsedilmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: İngiltere YBM olgunluk düzeyleri modeli (GCCG, 2011).

Avusturalya’da Succar (2009) tarafından yapılan çalışmada aşamalar, olgunluklar ve adımlardan oluşan üçlü-aks isimli sistem yaklaşımı ortaya atılmıştır. Adımlarda el çizimi, iki boyutlu veya üç boyutlu CAD modeli olan “YBM öncesi” (pre-BIM), obje temelli olan “3B modelleme”, model temelli olan “işbirliği”, ağ (web) temelli olan “entegrasyon” ve uzun dönemli entegre proje teslimi (IPD) olan “YBM sonrası” kavramları ile bunların alt sınıflarından bahsedilmiştir. Her düzey için proje yaşam döngüsü uygulamalarının etkileşimi ve teknolojinin etkinliği incelenmiştir (Succar ve diğ. 2012).

İlgili araştırmacılar ve program üreticileri tarafından kullanılan diğer terimlerden bazıları aşağıdadır.

YBM / Yapı Bilgi Modelleme Autodesk, Graphisoft, Bentley, BuildingSMART (önceki adıyla IAI) ve başka firmalarca kullanılmaktadır (Url-18), (Url-19), (Url-20), (Url- 21).

Entegre Proje Teslimi, Amerikan Mimarlar Enstitüsü (American Institute of Architects) tarafından kullanılmaktadır (AIA California Council, 2007).

Bina Ürün Modelleri (Building Product Models), Charles Eastman tarafından kullanılmaktadır (Eastman, 1999).

3.1.3 Yapı bilgi modelleme boyutları

YBM boyutları yapı bilgi modelleme programlarının kişiler tarafından kullanım amacını ve biçimini kapsayan sınıflandırma sistemidir. Yapı bilgi modelleme programlarındaki bilgi içeriği pek çok çeşitte olabilmektedir.

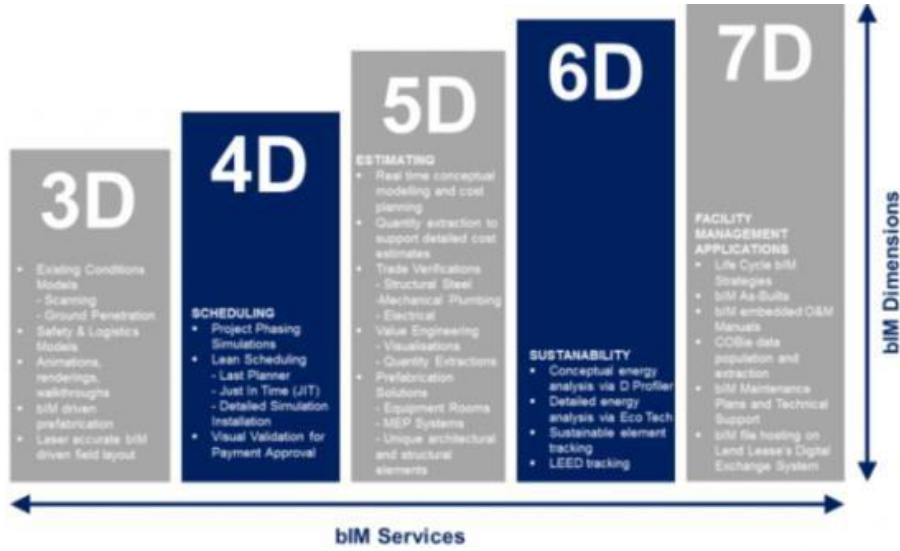
Yapı elemanlarının bağlantı verilerini içeren malzeme detaylarından, malzemelerin inşaat alanına ulaşım sürelerine dek pek çok bilgi çeşidinden faydalanma imkânı vardır. Bilgiler YBM'nin farklı amaçlarını desteklemektedir.

Projenin 3 boyutlu tasarımını göstermenin ötesinde YBM; konum, iklim, malzemelerin yapısal özellikleri, termal özellikleri ve taşınma mesafeleri ile binanın kullanım saatleri gibi birçok veriyi içererek tasarımı destekleyen önemli bilgileri taşımaktadır. Ancak her projede tüm bilgilerin kullanılması mümkün veya gerekli değildir.

Yapı bilgi modelleme, yedi adet boyutu aracılığıyla inşaat projelerini yönetmek ve tasarlamak için sürdürülebilirlik açısından kullanışlı bir araçtır. İlk boyut sadece yazı veya bilgi içermekteyken, 2'inci boyut bilgi ve tasarımın, geçmişte el çizimi, günümüzde CAD çizimleri ile projelendirilmiş ifade edilişi olarak düşünülmüştür. YBM ise kendisine özgü etkin fonksiyonlarını üçüncü boyuttan itibaren kazanmaktadır.

YBM boyutları, Czmooh ve Pekala'nın (2014) çalışmasına göre, aşağıdaki gibi açıklanabilmektedir.

- 3 Boyutlu YBM: 2 boyutlu tasarımın genişletilmiş hali olan, görsel 3 boyutlu parametrik modeli ifade etmektedir.
- 4 Boyutlu YBM: Zaman çizelgeleri oluşturulmasının 3.Boyut fonksiyonlarına eklenmesini ifade etmektedir.
- 5 Boyutlu YBM: Maliyet hesaplamalarının 4.Boyut fonksiyonlarına eklenmesini ifade etmektedir.
- 6 Boyutlu YBM: Sürdürülebilirliğin 5.Boyut fonksiyonlarına eklenmesini ifade etmektedir.
- 7 Boyutlu YBM: Tesis yönetiminin 6.Boyut fonksiyonlarına eklenmesini ifade etmektedir.



Şekil 3.2: YBM boyutları, (Czmoch ve Pekala, 2014).

YBM boyutları genişledikçe, işbirliği ve birlikte çalışmanın yeni aşamaları ortaya çıkmakta ve bu sayede tasarım hataları azaltılarak verimlilik artırılabilir (Succar, 2009).

Geleneksel yöntemde farklı tarafların hataları son aşamalarda ortaya çıkarak düzeltmeler gerektirmekte veya fark edilmeyerek yapım sırasında sorunlara yol açmaktadır. Yapı bilgi modelleme, tarafların çalışmalarını güncel ve ortak bir modelde toplayarak geri dönülemez hatalara engel olmaktadır.

Üç boyutlu YBM, sanal gerçeklik, yapının görselleştirilmesi ve ilgili arazi yeri ve özelliklerini kapsamaktadır. Modelde hareket, bina sisteminin prefabrikasyonu ve çakışma durumlarını algılama bilgilerini içermektedir.

Yalnızca üç boyutlu görselleştirme amacıyla kütle ve hacimleri modellenen bir proje, analize imkân sağlayan, malzeme ve zaman gibi verilerin çoğunu içermemektedir. Kapladığı fiziksel alan ve hacim açısından tam bir model olduğu için çakışma analizlerinde (clash detection / clash analysis) kullanılabilir. Çakışma, farklı modellerin elemanları aynı yeri kapladığında oluşur. Çakışma analizi, geometri veya zaman çizelgesi ile ilgili sorunları tespit edebilir.

Çakışma analizi, üç-boyutlu YBM modeli gelişiminin ayrılmaz bir parçasıdır. Kullanılan yapı bilgileri, mimari, tesisat, mekanik gibi birçok farklı sistemi (disiplini) örtüşürerek, tasarımın bütünsel tarzda tam bir modelini yaratıp, hepsinin aynı anda var olmasına imkân sağlamaktadır. Farklı sistemlere ait, birbiri ile çakışan objelerin

aranması, elemanların aynı fiziksel alanı kaplaması, uyumsuz parametrelere sahip olması veya dört boyutlu modellemede zamanlama çakışmaları olarak sonuç verebilmektedir. Fies ve diğ.'nin (2010) çalışmasına göre çakışmalar üç şekilde gerçekleşir: katı (hard) çakışma, yaklaşık (soft) çakışma ve tehlikeli yaklaşma çakışması. Katı çakışma iki obje fiziksel olarak aynı alanı kapladığında oluşmaktadır. Yaklaşık çakışma objelerin bir başka obje veya kişinin hareketini etkileyebilecek biçimde bulunmasıdır. Tehlikeli yaklaşma çakışması ise gaz ve su borularının arasındaki asgari mesafenin sağlanmaması gibi durumlarda, yönetmeliğe veya imar kanununa uyulmadığı zaman gerçekleşmektedir.

4 Boyutlu YBM, 3. boyut bilgilerine ek olarak zaman etkeninin göz önünde bulundurulmasıdır. İnşaat planlama ve yönetimi ile proje zaman çizelgesinin görselleştirilmesi avantajlarını sağlamaktadır. Zaman boyutlu yapı bilgi modeli, tasarım ve inşaat sırasında malzemelerin ve ürünlerin şantiyeye ulaşma zamanlamasını düzenlemenin yanı sıra çalışan tarafların çeşitli işlerini organize etmesini sağlamaktadır. Birbirine bağlı olan inşaat aşamalarının ertelenmesine veya zamanlama çakışmasına engel olmakta kullanışlıdır.

5 Boyutlu YBM, metraj hesabı ve gerçek zamanlı maliyet tahmini sağlamaktadır. Her iş kalemi ve teslimat için maliyeti hesaplayıp, alternatiflerin karşılaştırılmasıyla en ideal sonuca ulaşılmasına imkân vermektedir. YBM modelinin parametrik yaratım süreci: çakışmaların otomatik tespiti sağlama, model ile planlama programı aşaması (4 Boyutlu model) arasında bağ kurma ve modeli bütçe verileri (5 Boyutlu model) ile birleştirme şansı oluşturmaktadır (Hartmann ve diğ. 2008).

6 boyutlu YBM, yalıtım, tesisat ve enerji verilerinin kullanıldığı çeşitli analizlerle sürdürülebilirliği sağlamaktadır. Sürdürülebilirlik boyutunda: yapının ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma gibi sistemlerinin enerji kullanımları, bina ve çevresinden kaynaklı enerji kayıpları ile kazançları, enerji etkinliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yapı bilgi modelleme programları eklentileri ile enerji, gün ışığı ve benzeri analizleri bulut sistemleri üzerinden yapmaktadır. YBM programlarına bağlı bu yazılımlar, enerji verimliliğini arttırmak amacıyla tasarımcıya çeşitli alternatifler sunmaktadır. Kendi bağlantılı programlarının haricinde 6 boyutlu yapı bilgi modeli, enerji analizi yapan bağımsız programlara uygun formatlarla proje verilerini aktarabilmektedir. Bu çeşit analizler sıklıkla, enerji verimlilik sertifikalarının alınmasında kullanılmaktadır.

7 Boyutlu YBM, yapı teslim süreci sırasında üretilen tüm bilgilerini kapsamaktadır. Bu bilgiler binanın yapımından sonra gerekli bakım, tesis yönetimi, yenileme çalışmaları, bina yaşam döngüsünün uzatılması, yıkım atıklarının kontrolü gibi işlerde kullanılmaktadır. Binanın kullanım süreci boyunca, bakımı ve idaresi için ihtiyaç duyulan veya istenen değişikliklerin doğru biçimde yapılmasına yol göstermektedir. Yapılan değişiklikler zaman içinde yönetmeliklere uygunluk, kullanıcıların güvenliği, sağlığı ve bina konforu güncellemelerini içerebilmektedir. Goedert ve diğ. (2008) sadece planlama ve inşaat aşamaları sırasında değil, bakım sürecinde de üç boyutlu temsille ilişkili geniş bilgi depolama kapasitesi nedeniyle YBM modellerinin mükemmel araçlar olduklarını söylemişlerdir. Bina kullanımı boyunca modelin yapılan değişikliklerle birlikte güncellenmesi, yapı bilgi modelinin tesis yönetiminde kullanılması açısından önem taşımaktadır. Böylelikle bina ömrünü doldurduğunda yüksek oranda malzeme yeniden kullanımı, geri dönüşüm ve atık yönetimi sağlanmaktadır.

3.1.4 Yapı bilgi modelleme formatları

Yapı bilgi modelleme teorisi ortaya çıktıktan sonra YBM teknolojisi rekabet halindeki firmalar tarafından geliştirildikçe, dünyanın çeşitli yerlerindeki farklı programlar kendilerine özgü dosya formatları kullanmaya başlamıştır. Benzer veri depolama yöntemlerine ve dijital temsillere sahip olmalarına rağmen birbirleri ile uyumsuzluk sorunu içinde olan bu kayıt formatlarına karşın, bilgi paylaşımı ve dönüşümünü destekleyen ortak formatlar oluşturulmuştur.

Çizgisel ifade edilen 2 boyutlu CAD çizimlerinin aksine yapı bilgi modelleri içindeki elemanları entegre veri taşıyan 3 boyutlu objeler olarak tanımlamaktadır. Bu veriler YBM programları arasında veya YBM ile analiz programı arasında aktarılabilir. Ortak formatlar belirlemeye yönelik çalışmalarda ana amaç, yapı bilgi modelindeki verileri mümkün olduğunca koruyarak dönüştürmektir.

Langdon'un (2012) çalışmasına göre, dijital proje modelleri genel olarak obje teknolojisi kullanan yazılımlar tarafından yaratılmaktadır. Objeler yapı parçalarının dijital temsilleridir. Bunlar genellikle kapı ve pencerelerin de dahil olduğu fiziksel unsurlar olmakla birlikte, boşluklar gibi daha soyut öğeler olabilmektedir. Eskiden farklı yazılım sağlayıcılar, objeleri tanımlamak ve idare etmek için kendi yöntemlerine sahipti. İçlerinde bilgi bulunan objeler sistemler arasında doğru

biçimde aktarılamadığından ortaklaşa bir çalışma yapılamamaktaydı. Mimari ve inşaat mühendisliği, CAD sistemleri gibi farklı yazılım uygulamaları arasında ortak çalışma ve etkili veri alışverişi YBM içinde önemli bir role sahiptir. Khosrowshahi (2017), ortak formatların inşaatlarda ve tesis yönetimi endüstrisinde bilgi paylaşımı ve süreç gelişimi için genel geçer temeller sağlamayı amaçladığından bahsetmektedir.

Mimarlık, mühendislik ve inşaat (MMI/AEC) kullanılan bazı yaygın YBM ve veri aktarım dosya formatları aşağıda listelenmiştir.

Sıklıkla kullanılan bazı ortak dosya formatları:

- IFC (Industry Foundation Classes) ve türevleri: Ortak dosya formatı olarak geliştirilmiş, CAD ve YBM sistemleri arasında veri taşıyabilen formatlardır.
- XML (Extensible Markup Language) ve türevleri: Ortak dosya formatı olarak geliştirilmiştir, analiz türüne özel, gbXML gibi alt türleri vardır.

Sıklıkla kullanılan bazı programlara özgü dosya formatları:

- PLN: Archicad programına özgü yapı bilgi modeli kayıt formatıdır.
- RVT: Revit programına özgü yapı bilgi modeli kayıt formatıdır.
- NWC: Navisworks programına özgü yapı bilgi modeli kayıt formatıdır.
- DXF-DWG Autocad programına özgü 2B ve 3B CAD modeli kayıt formatıdır.

Ortak dosya formatlarından IFC ve XML, yapı bilgi modellerindeki verileri “Açık YBM” fikri ile analiz yazılımlarına ve diğer programlara aktarabilmeyi amaçlayan en yaygın örneklerdendir. IFC ve XML veri formatları ortak dil oluşturmakta ve aktarımda farklı veri kısımlarının içeriğini/anlamını korumaktadır. Sürece saydamlık kazandırmakta ve binanın her uygulama için yeniden modellenmesi gereğini azaltmaktadır (Url-22).

IFC (Industry Foundation Classes) veri modelleri, Nisbet ve Dinesen (2010) çalışmalarında belirttiklerine göre, inşaatteki tüm somut ve soyut öğelerin (örn. süreç ve mekân) tarafsız bir gösterimini yapan uygulamalar arasında paylaşımı ve iletişimi sağlamak için standart yöntem oluşturan BuildingSMART tarafından geliştirilmiştir. “IAI (BuildingSMART) yapılara özgü objelerin ilişkilerini ve özelliklerini

nitelendirmek için obje-temelli IFC veri modelini geliştirmiştir. IFC bir model içerisindeki elemanın davranışını, ilişki ve kimliğini tanımlayan objeye yönelik veri modelidir.” (Url-22) IFC açık bir formattır. Çok sayıda yerel formatı desteklemesine gerek kalmadan, farklı uygulama yazılımları arasında YBM verisi paylaşmada ve değişiminde kullanılabilir.

IFC birçok alt amaca göre türevlere sahiptir. XML şema dilini kullanan IFC Modelinden ifcXML dosyaları ile veri aktarımı yapılabilir.

XML (Genişletilebilir İşaretleme Dili/Extensible Markup Language), HTML benzeri bir işaretleme dilidir. İnterneti kullanan sistemler arasında iletişimi standartlaştırmak ve veri tabanları arasında aktarımı basitleştirmek için ortaya çıkan bu dil, bugün çok çeşitli yazılım ve sistemlerde değişik türevleri ile kullanılmaktadır.

Ortak formatlar yapı bilgi modeli içerisinde saklanan verilerin tanımlanması için standart yöntemler sağlamaktadır. Daha verimli bir bilgi iletimi için farklı uygulama yazılımları arasında veri işlemini desteklemektedir.

Güncel olarak, yapı endüstrisi için, bina performans analizi ile ilişkili olarak yeşil bina XML (gbXML) ve ifcXML gibi birçok endüstriye-özgü XML-temelli şemalar geliştirilmektedir. Enerji ve kaynak analizi amacıyla binanın detaylı tanımını sağlamaktadır. gbXML formatı karmaşık YBM programları ve bina analiz programları arasında verilerin birlikte çalışmasına imkân vermektedir. YBM/CAD ve enerji performansı uygulamaları arasında en yaygın desteklenen yapı bilgi veri formatıdır (Url-22).

gbXML şeması Green Building Studio tarafından geliştirilmiştir. IFC her biçimdeki bina geometrisini temsil edebiliyorken, gbXML yalnızca enerji simülasyonu için yeterli olan dikdörtgen geometrileri kabul etmektedir. “IFC ve gbXML gibi şemalar, tasarım ve analiz yazılımları arasında veri alışverişi işlemini kolaylaştırmak ve analiz yazılımında aynı projeyi yeniden modelleme gerekliliğini azaltmak için geliştirilmiştir.” (Bahar ve diğ. 2013)

Stirton ve Tree (2015) YBM’nin, tasarımcılar ve proje içerisindeki diğer profesyonel taraflar arasında sınırlı işbirliğiyle, daha yalıtılmış biçimde kullanıldığını savunmuşlardır.

3.2 Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Kullanımı

Bu bölümde, yapı bilgi modelleme kullanımı, program kullanıcıları, yapı bilgi modelleme kullanımının avantajları, dezavantajları, dünyada yapı bilgi modelleme kullanımı ve standartları açılarından irdelenmiştir.

3.2.1 Yapı bilgi modelleme programı kullanıcıları

Yapı bilgi modelleme, inşaat sektöründeki tasarım, projelendirme, yapım ve tesis yönetimi evrelerinde çalışan tüm tarafların işbirliği yapmasına olanak sağlamaktadır. İşbirliğinin ve bilgi aktarımının doğru şekilde sağlanabilmesi için projede görevli mimarların, mühendislerin ve uzmanların YBM konusunda eğitilmiş olması gerekmektedir. Her meslek alanında tüm elemanların YBM konusunda bilgili olması henüz mümkün olmadığından, ofisler yapı bilgi modelleme hakkında uzmanlaşmış çalışanlar bulundurmaya başlamışlardır. Tercih edilen YBM programına hâkim, modelleme ve veri girişini yapma bilgisine sahip bu kişiler, genellikle mimarlar olmakla birlikte, YBM yöneticisi, YBM modelleyicisi ve benzeri isimlerle de anılmaktadırlar.

YBM yöneticisi, proje, inşaa ve bazı durumlarda yaşam döngüsü boyunca, mimar, inşaat mühendisi ve işveren ile tesisat ve sistem mühendisleri gibi taraflar arasında bilgi iletişimin kontrol merkezi konumundadır. Projenin tüm aşamalarında, modelin güncelliğinden, mimari, tesisat, mekanik gibi sistemlerin birlikte çalışabilirliğinden sorumludur. Bu kişi, yapı bilgi modelini, merkezdeki veri kaynağı noktası olarak tüm taraflar için güncel, toplu ve erişilebilir halde bulundurur.

YBM modelleyicisi, yöneticiden farklı olarak taraflar arası koordinasyondan değil, yalnızca modelin doğru olmasından sorumludur. Projeden seçilip alınması gerekebilecek veri, model ve bilgilerin kolayca alınmasını, doğru olmasını ve mühendislik veya kısmi üretim için uygun olmasını sağlamaktadır.

Yapı bilgi modeli üzerinde çalışmaktan sorumlu olan kişilerin yanı sıra YBM programları yaygınlaştıkça, birçok ofis kendi elemanlarını bu konuda eğitimlere göndermekte ve bahsedilen görevleri kendi çalışma ortamları içerisinde tutmayı tercih etmektedir. Succar ve diğerlerinin (2013) çalışmasında, profesyonellerin ve eğitim kurumlarının, evrimleşen pazar gereksinimlerine yetişmek için, YBM

yazılımlarını benimsemeye ve var olan teslim sistemlerini adapte etmeye başladıklarından bahsetmiştir.

Proje teslimindeki adaptasyon sonucunda yapı bilgi modelleme programlarını öğrenmek, piyasadaki rekabetin gerisinde kalmamak için gitgide büyüyen bir gereksinime dönüşmeye başladı. Artık birçok eğitim kurumu mimarlık ve mühendislik eğitimlerinin bir parçası olarak yapı bilgi modelleme sistemlerini öğretmekte ve öğrencilerine kullanıdırılmaktadır. Özel kurumlar konu ile ilgililere, meslek odaları da mezunlarına ve öğrencilere eğitim kursları açmaktadır.

3.2.2 Yapı bilgi modelleme kullanımının avantajları

YBM yazılımı kullanımının, konseptten başlayıp, işletim ve yıkım sonrasına kadar yaşam döngüsü sürecinin farklı evrelerinde, çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

En önemli avantajları arasında:

- Taraflar arasında işbirliğini ortak bir platforma taşıması,
- Bilgilere dayalı yetkin tasarım kararlarının verilmesini kolaylaştırması,
- Belgelendirme ve görselleştirme sağlaması,
- Her evrede kalite kontrolüne olanak tanınması,
- Yapının beşikten beşiğe yaşam döngüsü boyunca güncellenerek geçerliliğini koruması durumunda, toplam çevresel etkisinin zararını azaltabilmesi sayılmaktadır.

Yapı bilgi modelleme kullanımının avantajları beş ana proje süreci evresinde incelenmiştir.

- Konsept ve tasarım evresi,
- Uygulama projesi ve belgelendirme evresi,
- İnşaat evresi,
- Tesis yönetimi evresi,
- Yıkım evresi.

Konsept ve tasarım evresi, projenin başlangıç adımıdır. Herhangi bir yapı projesinin başlangıcı olan konsept, tasarımcıların projeyi etkileyecek arazi, iklim, çevre,

işverenin talepleri ve benzeri verileri edindiği ve bu veriler ışığında fikirlerini oluşturmaya başladığı kısımdır. İlk anda birçok mimar kağıt kalem kullanarak çalışmaya girişse de ana düşüncelerini kararlaştırdıktan sonra bilgisayar ortamında denemeler yapmaya başlamaktadır. Konseptin bilgisayar ortamında geliştirilmesinden itibaren yapı bilgi modelleme programlarının kullanılması mümkündür. Bu noktada çevreye ilişkin veriler çoğunluktadır.

YBM programı kullanan tasarımcı, oluşturduğu şematik modelleri ana verilerine göre değerlendirerek projenin başından itibaren daha gelişmiş kararlar verme imkânına sahip olmaktadır.

Tasarım ana formuna kavuşup gelişmeye devam ettikçe, yapıya ilişkin bilgiler programın içinde birikmeye başlamaktadır. Detaylara inmeden önce tasarımcının çeşitli tasarım olasılıklarını denemesi YBM programının sağladığı kolaylıklardandır. Kütle modeli biçimindeki tasarım alternatifleri dizayna yönelik analizler ile numerik sonuçlar ortaya koyabilmektedir. Buna örnek olarak, iklimle uyumlu sürdürülebilir tasarım, güneş, rüzgâr ve gün ışığı analizleri, enerji verimliliği ve sistem optimizasyonlarının sağlanmasından bahsedilebilmektedir. Kütle modeli oluşturmak YBM programlarında az miktarda veri girişi ile hızlı sonuç veren bir yöntemdir. İleride değiştirilmesi güçleşecek birçok sorunun erken aşamalarda çözülmesini sağlamaktadır.

Gelişmiş yapı bilgi modeli, tasarımın son aşamalarında, tasarımı açıklayan görseller elde etme, malzeme seçimi ve model içerisinde farklı görsellerin geliştirilmesi açılarından faydalıdır. Üç boyutlu YBM görselleştirme teknikleri, karmaşık biçimleri olan mekânların modellenmesi, iletişim, konsept tartışması, karar mekanizması, proje tasarımı, yapım ve işletim için kullanışlı görseller ortaya konulmasına olanak sağlamaktadır.

Manning ve Messner (2008) ön tasarımın aşamasında YBM kullanımının avantajlarını altı alanda özetlemiştir: hızlı görselleştirme, proje gelişiminde karar verme bilincini artırma, değişikliklerin hızlı ve doğru güncellenmesi, çalışma süresinin kısalması, iletişimin güçlenmesi ve iş kapsamının tamamında artan özgüven.

Artarak biriken bilgilerin sonucunda YBM'ye bağlı simülasyon eklentilerinin de kullanılması ile daha kesin ve gerçekçi simülasyon sonuçlarının elde edilmesi

mümkündür. Tasarımın son aşamasında: maliyet tahminleri, HVAC sistemlerinin etkinliği, doğal gün ışığı ve güneş enerjisi alımı, rüzgâr etkisi, yapının çevresi ile ilişkisinden kaynaklı durumu ve kullanıcı davranışları gibi etkenleri içinde barındıran simülasyonların sonuçları ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan enerji etkinlik hesapları gerekli değişikliklerin yapılmasına yol göstermektedir. İşverenin, görselleştirmelere, analizlere ve öngörülen sonuçlara ilişkin bilgiler edinmesi, proje hakkında daha gerçekçi fikir sahibi olmasına yardımcı olmaktadır.

Uygulama projesi ve belgelendirme evresi, proje tasarımının ortaya çıkmasından sonra gelmektedir. Taraflarca ortaklaşa kullanılan yapı bilgi modeli, projede gelişmiş işbirliği sağlamaktadır. Mimarlar, inşaat mühendisleri, tesisat mühendisleri tarafından tasarlanan ayrı sistemler YBM modelinde birleştirilerek, uyum içinde çalışmaları kontrol altına alınmaktadır. Revizyonların yapılması kolaylaşmaktadır. YBM gelişmiş inşaat dokümantasyonu ve koordinasyonu yaratırken, iki boyutlu çizimlerin tutarlı ve hızlı elde edilmesini sağlayarak proje teslim sürecini hızlandırmaktadır.

Yapım planlaması ve zaman çizelgeleri oluşturma, prefabrikasyon varsa sürecin erken başlaması, sistemler arasındaki çakışmaların engellenmesi ve proje onaylanması sırasında değişiklik talimatlarının azalması yapı bilgi modellemenin diğer avantajlarından. Dört boyutlu simülasyonlarla inşaat planları her aşamada karşılaştırılıp görsel olarak yapım süreci canlandırılabilir. İşveren, tasarımcılar, yapımcılar ve işletmeciler görsel işlemler üzerinden bilgi alışverişi sağlayabilmektedir. Yapım evresinde ortaya çıktığında büyük maddi kayba yol açabilecek hatalar, yapı bilgi modelleme ile hata ne zaman yapılmış olursa olsun yapım öncesindeki sürecin herhangi bir aşamasında kolaylıkla düzeltilebilmektedir.

Yapım evresi, projenin hayata geçirilme sürecidir. Yapım planlamasının yapı bilgi modeli içerisinde hazırlanması: malzemelerin şantiyeye giriş ve çıkış zamanlarını, iş kalemlerinin birbiri ile uyum içinde çalışmasını, projenin öngörülen zamanlama ile ilerlemesini ve beklenmedik durumlarda gelişmiş karar mekanizması sağlaması gibi özellikleri ile yapım sürecinde kolaylık oluşturur. YBM modeli yüksek düzeyde veri detayları sayesinde, her sistemin kurulumuna ilişkin bilgileri kolayca erişilebilir kılarak, inşaat yönetiminin verimliliğini arttırmaktadır. Mühendislik verilerinin obje bazlı aktarımı, karar verme aşamasında maliyet, güvenlik ve kalite gibi konularda hatasız üretimi kolaylaştırmaktadır. YBM, kaynak planlaması yapılmasına imkân

sağlayarak, kullanılan malzemelerde ve işgücünde kayıpları engellemeye yardımcıdır. Ayrıca, işlemlerin kaliteli yapılmasına, projenin gerçek zamanlı maliyet kontrolü yapılmasına olanak vermekte, mimar, mühendis, yüklenici ve işverenlere tahmin edilebilen, güvenli ve etkili bir şantiye ortamı yaratmaktadır. Dolayısıyla inşaat süresinin kısaltması mümkün olabilmektedir.

İşletme yönetimi evresi, yapının bitmesinden sonra binanın kullanıldığı süreci kapsamaktadır. Bu süreç genellikle 50 yıldan daha uzun süren bir zaman dilimidir. Bu süreç sırasında gelişen teknolojiler ve ihtiyaçlar doğrultusunda değişiklikler yapılması gerekebilmektedir. Yapının her türlü bakım ve yenilenme etkinlikleri yapı bilgi modelinden gelen bilgiler ışığında daha güvenli ve ekonomik hale gelmektedir. Etkin yapı yönetimi sayesinde, akıllı enerji kullanım planlaması, kullanıcı konforunun sağlanması ve yapıya ilişkin veri tabanı oluşturulması kolaylaşmaktadır. Tasarım evresinde sürdürülebilirliğe önem verildiyse, yapının uzun kullanım dönemi boyunca enerji verimliliği sağlanması hem çevreye olan zararı hem de kullanıcıların giderlerini azaltacaktır.

Yıkım evresi, yapının yaşam döngüsünün sonunda, kullanımı bittiği veya yenilenmenin yeterli olmayacağı değişiklikler gerektiği hallerde kaçınılmazdır. Dijital modelde saklanmış olan yapı bilgileri ile yıkım sırasında yeniden kullanılabilir veya dönüştürülebilecek malzemeler kolayca belirlenebilmektedir. Atık yönetimi etkili biçimde düzenlenmektedir. Böylelikle yapıdaki malzemelerin beşikten beşiğe yaşam döngüsü desteklenmektedir.

3.2.3 Yapı bilgi modelleme kullanımının dezavantajları

Yapı bilgi modelleme programlarının kullanımı gittikçe artmakta olsa da bilgiye dayalı modellemeye geçişi yavaşlatan ve geliştirilmesi gereken özellikler de bulunmaktadır. Günümüzde ülkemizdeki ofislerin büyük çoğunluğu 2 boyutlu CAD programları ile proje teslimi yapmaktadır. Az sayıda ofis CAD ve YBM programlarını birlikte kullanmakta veya dışarıdan uzman elemanlar almaktayken, daha da az sayıda ofis tamamen YBM programlarına dayanarak iş yapmaktadır.

Alışlagelmiş CAD programlarını kullanan ofislerde YBM'nin yaygınlaşmasını durduran en önemli engeller, yapı sektörünün değişime direnci, geçiş aşamasında öğrenim maliyeti ve yazılım uygulamalarındaki uyum sorunlarıdır. Günümüzde iş yapan ofis ve elemanların büyük çoğunluğu geleneksel iki boyutlu sistemleri

kullanmaya alışkındır. Geleneksel ofisler, YBM uzmanı çalıştırmak ve YBM yazılımı edinmek, fazladan maliyet anlamına geldiğinden yeni yöntemler öğrenip, projelerinde deneme riskini almaya istekli görünmemektedir.

Genç kadrolara sahip veya yeni mezunları bünyelerine katan işyerlerinde, YBM ve CAD programlarının birlikte kullanıldığı görülmektedir. Ancak bu projelerde de sıklıkla YBM tasarımının ilk aşamasından itibaren ele alınmadığı için programdan tam anlamıyla verim sağlanamamaktadır. Abrishami ve diğ. (2014) çalışmasında, YBM ve CAD'in birlikte kullanımı hakkında yaptıkları yoruma göre, tasarımcılar gelişmiş görselleştirme ve modelleme teknolojilerini, en önemli kararların verildiği ön tasarım evresi sırasında değil, ancak son tasarım evrelerinde ele almaktadır.

Günümüzde CAD ile başlanıp YBM ile ilerleyen yapı projelerinde, çeşitli tasarım bilgileri kaybedilebilmektedir. Bu nedenle CAD ve YBM entegrasyonu belirgin değildir. Ara geçiş durumundaki ofislerde YBM konusunda bilgili teknik eleman azlığı dikkat çekmektedir. Enerji modelleme sürecinin yoğun işgücü ve zaman talebi göz önüne alındığında, tasarım kararları sıklıkla enerji modeline danışılmadan verilmektedir (Korkmaz ve diğ. 2010).

Tamamıyla YBM teknolojilerine dayanan ofislerde ise, piyasadaki birçok tarafın CAD teknikleri kullanmasından kaynaklanan bir uyumsuzluk sorunu görülmekte ancak YBM'nin CAD formatlarında doküman oluşturabilmesi sayesinde bu sorunlar kolaylıkla aşılabilmektedir. Düzey 2 olgunluğa erişmeden "Yalnız YBM" kullanımı bu durumda daha yaygındır. Çoğu projede henüz YBM kullanımının tam potansiyeline erişilememektedir. Zhang ve Hu'nun (2001) düşüncesine göre, yapı bilgi modelleme programlarının kullanımı, bir projedeki tüm taraflar için büyük yazılım değişikliği anlamına gelmekte olsa da, hem özel hem de kamu sektöründeki yeni yapı projelerinde işverenler ve hissedarlar için avantajlar artmaktadır.

3.2.4 Dünyada yapı bilgi modelleme kullanımı

Dünyada birçok ülkede yapı bilgi modelleme programları yaygınlaşmaktadır. Çeşitli ülkelerdeki araştırmacılar ve yazılım üreten firmalar, standartlara bağlayarak YBM kullanımının yaygınlığını arttırmak için çalışmaktadır. Yapı bilgi modelleme yazılımlarının yaygın kullanıldığı ülkelerden bazıları: Avrupa'da İngiltere, Fransa, Almanya, İskandinav ülkelerinden Finlandiya, Norveç, Danimarka, İsveç, İsviçre,

Amerika’da Birleşmiş Devletler, Avustralya, Asya’da Malezya, Hindistan, Çin ve Singapur olarak sayılabilmektedir.

İngiltere’de, YBM programlarına adaptasyonun hızlanmasıyla, 2016 yılından itibaren yapı sektöründeki üretim maliyetlerinde %20’lik bir düşüş görülmüştür (Url-23). Yapı bilgi modellemenin yeni duyulduğu yıllarda İngiltere’deki firmalarda YBM kullanımına karşı direnç oluşmuş olsa da, günümüzde düzey 2 YBM kullanımı, kamu üretimiyle yapılan tüm projelerde kısmen de olsa mecburi hale getirilmiştir.

Fransa’da, YBM standartlarının daha entegre bir kullanımı için teşvikte bulunmaktadır. McGraw-Hill’in, anket sonucu ortaya koyduğu SmartMarket raporuna göre 2009 yılında Fransa, yapı sektöründe İngiltere ve Almanya’nın hemen üzerinde %38lik oranla en yüksek YBM kullanım oranına sahip olmuştur. Aynı rapora göre yapı bilgi modellemede; çakışma tespiti %76 oranı ile gelişmiş tasarım anlayışı %71 oranı ile en kullanışlı alanlar olarak görülmüştür (McGraw-Hill, 2009).

2014 yılında Fransa, 500,000 adet evin YBM kullanılarak 2017 yılına dek yapılacağını ilan etmiş olup, 2017 yılından itibaren yapı bilgi modelleme kullanımını zorunlu kılmıştır (Url-24).

Almanya’da SmartMarket raporuna göre (2010) yapı bilgi modelleme programlarını benimseyen firmalar, projelerin %30’u veya fazlasının, %47lik kısmında YBM kullanmaktadır. Yapı bilgi modelleme programlarının kullanımında, %77 oranıyla mimarlar birinci, %53 oranıyla mühendisler ikinci, %10 oranıyla yapımcılar üçüncü sırada gelmektedir. 2015 yılında Alman Dijital Yapı Platformu (German Digital Building Platform) ulusal YBM stratejisi çalışmalarına başlamıştır (Url-24).

2020 yılının sonunda yapı bilgi modellemenin Almanya’daki birçok proje tipi için gerekli kabul edilebileceği öngörülmektedir.

İskandinav ülkeleri Finlandiya, Norveç ve Danimarka, yapı bilgi modelleme uyum sürecine on yılı aşkın bir süre önce geçmeye başlamışlardır.

Finlandiya, YBM’nin tüm kamu alanlarındaki projelerde kullanılmasını gerekli hale getirmiştir. Fin mimarlar, yüzde doksanın üzerinde bir oranla, yapı bilgi modellemeyi en çok kullanan grup olarak belirlenmiştir. 2007’den itibaren tüm tasarım yazılımlarında IFC sertifikasyonu aranmaktadır.

Norveç'teki artan YBM kalitesi ve model kontrolü ihtiyacına cevap olarak, Graphisoft Norway ve Solibri, Inc. ortak çalışmaya başlamışlardır. Norveç 2010'dan beri IFC dosya formatlarını ve YBM sistemlerini projelerinde kullanmaktadır.

Danimarka'da ise 2007 yılından itibaren YBM kullanımı tüm kamu projelerinde mecburi hale getirilmiştir. 2006'da yapılan bir ankete göre, Danimarka'da mimarların yaklaşık %50'si ve mühendislerin %40'ı, YBM'yi 2006 yılındaki projelerinin bir kısmında kullanmıştır (Kiviniemi ve diğ. 2008).

Amerika Birleşik Devletleri'nde yapı bilgi modelleme mecburi tutulmamaktadır. Amerikan eyaletlerinde birbirinden farklı kanunlar geçerli olabildiği için, bu uygulamanın ileride farklı eyalet kanunlarına uyum zorlukları yaşaması beklenmektedir. Öte yandan Pazar Gözlem Raporuna göre 2018'den sonraki 3 yıl içerisinde, inşaat verimliliği, planlı adaptasyon ve dijital teknolojilerde %70'lik bir gelişme beklenmektedir (Url-23).

Asya ülkelerinden, Güney Kore, Hindistan, Çin ve Singapur da yapı bilgi modelleme uygulamaları konularında adımlar atmaktadır.

Güney Kore, 2010 yılından beri YBM kullanımı üzerinde çalışmaktadır ve 2016'dan itibaren 50 milyon doları aşan tüm kamu projelerinde YBM kullanımını mecburi kılmıştır.

Hindistan'da RICS tarafından yapılan bir araştırmaya göre, ülkelerdeki YBM kullanımının yaklaşık %68'inin konut projelerinde uygulandığı görüldü (Url-25).

Çin'in 2010'lardan itibaren sürdürülebilir tasarım odağı ile dünyanın en büyük inşaat sektörü yükselişlerinden birini yaşamaktadır.

Singapur, yapı bilgi modellemenin bina planı onaylanması, yangın güvenlik sertifikasyonları gibi çeşitli alanlarda kullanımını gerekli kılmakta ve YBM "Entegre Plan Kontrolü" kılavuzlarını işletmektedir.

Türkiye'de son yıllarda yapı bilgi modelleme programlarının kullanımı artmaya başlamıştır. Ancak henüz geleneksel CAD çizimlerinin yerini alacak düzeye gelememiştir. Ülkemizde YBM kullanımına ilişkin teşvik veya yasal yaptırımlar bulunmamaktadır.

3.2.5 Dünyada yapı bilgi modelleme standartları

Yeni gelişmekte olan YBM programlarının inşaat sektöründeki kullanımının hızla artması ile birlikte, kamu ve özel firmaları kayda değer oranlarda YBM teknolojisine geçen ülkeler, bu programların kullanımı ve uygulaması ile ilgili standartlar oluşturmaya başlamıştır.

Uluslararası Standartlar Organizasyonun (ISO) yanı sıra, YBM teknolojilerinin geliştiği ülkelerden İngiltere, British Standards Institute (BSI) ve Amerika Birleşik Devletleri, Ulusal YBM Standartları Proje Komitesi (NBIMS), kendi yerel standartlarını yayınlamaktadır.

Standartların genel amacı: YBM modelindeki bilgilerde kayıplar yaşanmadan, paylaşılabılır ve birlikte çalışılabilir olmasını kurallara bağlarken, dokümantasyonun kanunlara uygun ve yasal olmasını sağlamaktır.

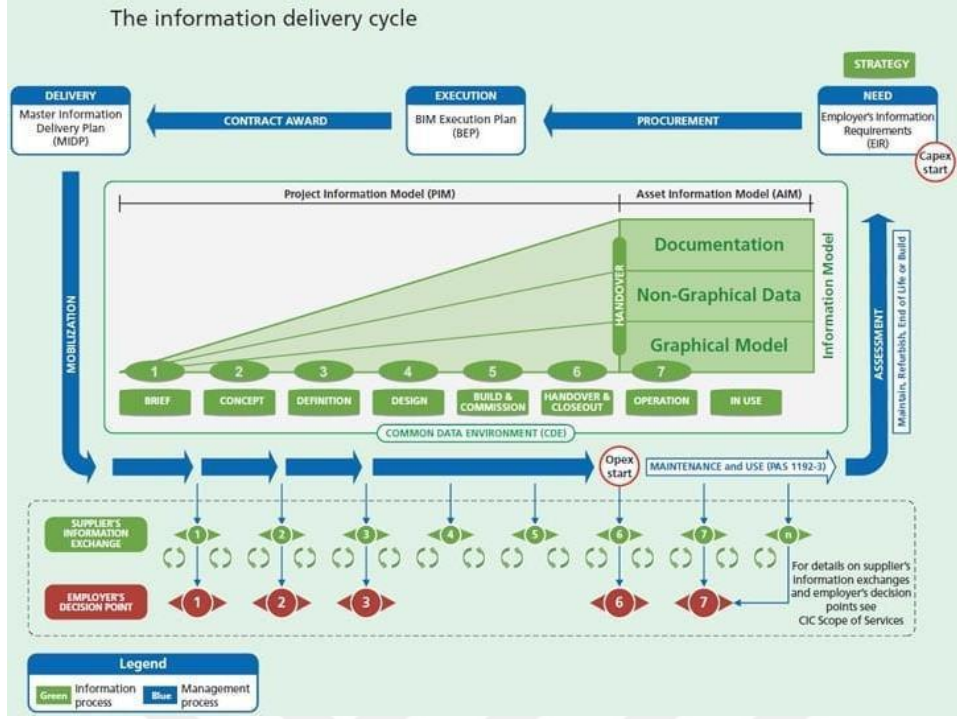
YBM konusunda sıklıkla karşılaşılan standartlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

- IFC çekirdek kısmını içermekte olan uluslararası ISO standartları,
- İngiltere’de 2018’e kadar kullanılan ve ISO ile güncellenen PAS ve BS standartları,
- Kuzey Amerika’da kullanılan Ulusal YBM standartları NBIMS.

İngiltere – PAS, BS ve ISO: 2011 yılında Birleşik Krallık 2016 itibariyle kamu projelerinde çalışılan 3D YBM modellerini şart koşan bir YBM stratejisine geçeceğini duyurmuştur. PAS (Publicly Available Specifications) ve BS standartları sektörün ihtiyaç duyduğu konularda hızlı ve pratik çözümler üretme fikri ile yayınlanan kılavuzlardır.

PAS 1192:2007 Düzey 2 olgunluk seviyesindeki YBM çalışmalarında mimarlık, mühendislik ve inşaat alanlarında işbirliği için ortaya çıkarılmıştır. Standart protokol ve araçlar içeriği: PAS 1192-2:2013 ile ana kısım ve teslimde bilgi yönetimi, PAS 1192- 3:2014 ile işletimde bilgi yönetimi ve PAS 1192-5:2015 ile dijital ortamlarının güvenliği konusunda güncellenmiştir.

İngiliz standartları enstitüsü (British Standards Institution / BSI) tarafından ilki BS 1192-5:1990 yılında çıkartılan kanun 1998’de 2007’de ve 2016’da güncellenerek 2018 sonuna dek kullanılmaya devam edilmiştir.



Şekil 3.3: Pas1192-2'ye göre bilgi akış şeması (information delivery cycle) (BSI, 2013).

2018 yılı sonunda PAS 1192-2 yerine uluslararası BS EN ISO 19650-2 standardının geçmesi ve BS 1192 yerine uluslararası standart BS EN ISO 19650-1'in geçmesi onaylanmıştır.

Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından çıkarılan standartlardan bazıları aşağıdadır.

- BS EN ISO 19650-1: Yapım işlemleri hakkında bilgi yönetimi - yapı bilgi modelleme kullanarak bilgi yönetimi: Konsept ve prensipler (Url-26)
- ISO 19650-1: 2018 standardı bilgilerin değiştirilmesi, kaydı, alternatif oluşturulması ve organizasyonu hakkında tüm taraflara sistem önerisinde bulunmaktadır. Bu doküman her yapının tüm yaşam döngüsü boyunca uygulanabilir; Stratejik planlama, öntasarım, mühendislik, geliştirme, belgeleme ve inşaat, günlük iş yönetimi, bakım, yenileme, tamir ve kullanım sonu bilgileri içermektedir (ISO, 2018).
- BS EN ISO 19650-2: Yapım işlemleri hakkında bilgi yönetimi - yapı bilgi modelleme kullanarak bilgi yönetimi: Teslim aşaması ve varlıklar (Url-26)

- ISO 19650-2: 2018 standardı yönetim süreci açısından, varlıkların teslim aşaması ve verilerinin aktarımında bilgi yönetimini ele almaktadır (ISO 19650-2:2018).

ABD – NBIMS: Amerika Birleşik Devletleri Kuzey Amerika’da kullanılmak üzere Birleşik Devletler Ulusal Bina Bilgi Modeli Standardını ortaya çıkarmıştır. Tesis Bilgi Konseyi olarak geçen FIC’nin komiteleri olan Ulusal YBM Standartları Proje Komitesi (NBIMS) ve Yapı Bilimleri Ulusal Enstitüsü (NIBS), 1992 yılından itibaren mimarlık, mühendislik, inşaat (MMİ) sektörlerinde ortak ve standart bir yaşam döngüsü bilgi modeli, oluşturmak için çalışmalar yapmıştır.

2006 yılından itibaren devlete ait olan ABD Genel Hizmet Yönetim Kurumu (GSA), eyalet yapı projelerinde YBM teslim edilmesini zorunlu kılmıştır.

NBIMS standardında en sık rastlanan işlemler aşağıda listelenmiştir:

- “İlk tasarım bilgilerinin değiştirilmesi ve alınması,
- Otomatik kod denetimi yapmak için gerekli olan değişimler ve tasarım/yapım ve işletim aşamalarında “olduğu gibi” bilgi alışverişi,
- Yapısal çelik ve kanal imalatı/mühendisliği ve beton tasarımı/ mühendisliği için, son zamanlarda endüstri tarafından geliştirilen standartların benimsenmesi” (Url-27)

3.3 Yapı Bilgi Modelleme (YBM) ile Sürdürülebilir ve Enerji Etkin Tasarım

Yapı bilgi modelleme ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişki çok yönlü ve geniş kapsamlıdır. Bina yaşam döngüsünün her aşamasında, sürdürülebilirliği desteklemek için YBM programlarını etkin biçimde kullanmak mümkündür. Bir yapının kullanım süreci boyunca enerji etkin olması, sürdürülebilirlik uygulamalarındaki en önemli unsurlardan biridir. Günümüzde programcılar, yapı bilgi modelleme programlarını, yapılarda enerji performansı çalışmalarını kolaylaştırmak amacıyla geliştirmeye devam etmektedir.

Yapı bilgi modelleme ile yapılan enerji simülasyonları, tasarım aşamasında en ideal sonuçları elde etmek için alternatifler denemek ve hızlı geri bildirimler almakta faydalıdır. Ayrıca binada kullanılacak yapı elemanlarının ve malzemelerin üretimi, kurulumu ve performansı hakkında ön bilgi sağlamaktadır. YBM Yapım ve kullanım

aşamalarındaki enerji etkinliğinin tahmininde ve kontrolünde kullanışlıdır. Yaşam döngüsünün toplam etkisi, çeşitli evrelerdeki enerji ihtiyacı, yenilenebilir kaynakların yerinde enerji üretimi potansiyeli ve atık malzemelerin geri dönüşümü gibi konularda öngörüler oluşturmaktadır. Enerji etkinlik için yapı bilgi modelleme programlarının kullanımının yaygınlaşmasıyla, çeşitli yöntem ve tanımlar ortaya çıkmıştır. Yapı bilgi modelleme programlarındaki enerji analizlerine ilişkin yöntem ve tanımların birçoğu, mevcut enerji performansı uygulamalardan gelmektedir. Bir kısmı ise yapı bilgi modelleme ile birlikte programlara özgü olarak geliştirilmiştir.

3.3.1 Sürdürülebilir ve enerji etkin tasarımda YBM kavramları

3.3.1.1 Bina enerji modeli (BEM) kavramı

Bina Enerji Modeli (BEM) yapının enerjiye ilişkin bilgileri ile yapılan, HVAC sistemleri, ısıtma, soğutma, aydınlatma, yalıtım sistemleri gibi değişkenlerle enerji yüklerini hesaplayan simülasyon modelidir. Enerji modellemesi yapılırken, iklim ve çevre yapılar gibi çevresel etkenler, yapıya ilişkin tasarım parametreleri, enerji yükleri (ısıtma, soğutma, iklimlendirme, aydınlatma) ve aktif sistemlere ilişkin elektrik yükleri ile yerinde enerji üretim imkânlarını içeren yenilenebilir enerji kaynakları göz önünde bulundurulmaktadır.

BEM programı bu verileri, kullanıcı konforu ve enerji maliyetleri gibi ilgili ölçütlerle birlikte hesaplamaktadır. Saat bazında veya daha kısa aralıklarla yıllık hesaplamalarda bulunmaktadır. Aynı zamanda aydınlatma ile ısıtma/soğutma arasındakiler gibi sistem etkileşimlerini hesaba katmaktadır (Url-28).

Enerji simülasyonunda YBM uygulamasının en önemli avantajları arasında: enerji modeli geometrisinin oluşturulmasında harcanan zamanı kısaltmak, maliyetleri düşürmek, malzeme ve teçhizat özelliklerini belirlemek ve BEM aracılığıyla görsel model oluşturmaya dayanan geleneksel enerji modelleme yöntemlerine oranla kullanıcı (insan) hatasını azaltmak bulunmaktadır (Kamel ve Memari, 2019). Yapı bilgi modelleme yapıma odaklanmış iken, bina enerji modeli yapı elemanlarının karakteristiklerine ve ilişkilerine yoğunlaşmaktadır.

YBM ve BEM, aynı tipte veri saklama özelliklerine sahip, farklı odakları olan ancak birlikte çalışma imkânı bulunan sistemlerdir. Kumar (2008) YBM ve BEM arasında birlikte çalışabilirlik boşluklarını araştırmıştır. Çalışmasının amacı, YBM yazılımlarından özellikle Revit'in, Ecotect ve IES<VE> gibi analiz programları ile

hatasız birlikte çalışabilirlik sağlayacak kadar güçlü olup olmadığını test etmektir. Araştırmasında geometri haricinde üç ortak dosya formatını denemiştir: DXF, gbXML ve IFC. YBM tarafından dışa aktarılabilen en yaygın veri modelleri (IFC veya gbXML) ve BEM araçlarınca içe ve dışa aktarımı yapılan veri modellerinin incelenmesiyle, gbXML'nin bilgi aktarımı için en tercih edilen format olduğu sonucuna varılmıştır. Aktarım işlemleri sırasında kullanıcı tarafından görülme de çeşitli bilgilerin enerji yazılımına aktarılırken kaybolduğu da belirlenmiştir (Hijazi ve diğ. 2015).

BEM araçları ve yöntemleri, enerji performansı simülasyonları oluşturmada, enerji ihtiyaçlarının belirlenmesinde ve mimari tasarımın enerji etkinliği gözetilerek adapte edilmesinde kullanılmaktadır. YBM ile BEM arasındaki işbirliği henüz gelişmekte olan bir süreçtir.

3.3.1.2 Yeşil Yapı YBM kavramı

Yeşil Yapı Bilgi Modelleme veya YYBM: entegre tasarım ve analiz işlemleri sağlayan bina performans analizi (BPA) sonuçları ile elde edilmiş çevre dostu yapılar ortaya koymayı amaçlayan yapı bilgi modelleme türüdür. Bir diğer tanımlama, yapı bilgi modelleme (YBM) ve bina performans analizinin (BPA) birlikte kullanıldığı sürdürülebilir yapı tasarım yöntemidir, şeklinde yapılabilmektedir.

Krygiel ve diğerlerinin (2008) “YYBM ve Yapı Bilgi Modelleme ile Başarılı Sürdürülebilir Tasarım” (Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling) kitabı, Yeşil YBM konseptini ilk kez 2008 yılında ortaya atmış ve YBM ile BPA'nın, sürdürülebilir tasarımı desteklemek için entegre uygulanışını açıklamıştır.

Entegre tasarım prosedürleri genellikle YBM platformları içerisindedir. Örneğin, Autodesk'in YBM yazılımı olan Revit içerisinde, gömülü bina performansı analizi (BPA) enerji ve aydınlatma gibi işlevler içermektedir. YBM yazılımı ile modelleme yapıldıktan sonra tasarımcılar, geometrik ve geometri-dışı verileri bulut üzerinden (Revit için Green Building Studio gibi) simülasyon araçlarına aktarmaktadır. Görselleştirilmiş analiz sonuçları YBM yazılımına geri bildirilmektedir. Örneğin verilen YBM platformu kendi içerisindeki eklenti yazılımı ile enerji ve aydınlatma analizleri yapabilmektedir. Ancak gbXML ve benzeri formatlarda dışarıya dosya

aktarımı ile bağımsız programlarda yapılan simülasyonlar entegre sistemler olmadıkları sürece, Yeşil YBM içerisinde kabul edilmemektedir.

YYBM ile bilgisayar ortamında optimizasyonu yapılmış sonuçlar veren tasarım önerisinin sonuçları, Chen'in (2018) çalışmasında, gerçek yapım sonucu elde edilen ölçülmüş verilerden biraz farklı sonuçlar verebilmektedir. Sonuç farklılıkları simülasyon ortamında gerçek ortamdaki tüm etkenlerin değerlendirilememiş olmasından veya yeni ve beklenmeyen etkenlerin ortaya çıkmasından kaynaklanabilmektedir. Göz önünde bulundurulması gereken fark payına rağmen, YYBM sistemleri içerdikleri veri miktarı arttıkça daha doğru sonuçlar vermektedir.

YYBM kavramı bulut üzerinden YBM platformuna bağlı simülasyon sistemleri ile birlikte düşünülmelidir. Yüksek bilgisayar gücü ile bina performans analizini bulut üzerinden yapan eklentiler yapı bilgi modellemenin parçası kabul edilmektedir.

3.3.1.3 Yaşam döngüsü analizi ve yapı bilgi modelleme ilişkisi

Yaşam döngüsü analizi yapı sektöründe çevresel etkileri hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir. İngilizce'de "Life Cycle Analysis" olarak anılan terim LCA olarak kısaltılmaktayken Türkçe'de "Yaşam Döngüsü Analizi" veya YDA olarak bilinmektedir. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) bir yapının inşaatından yıkımına tüm sürecini içeren yaşam döngüsü boyunca, enerji kullanımlarını ve çevresel etkilerini hesaplayan ve sürdürülebilirliğini değerlendiren tam yöntem olarak tanımlanabilmektedir.

YDA, ürünlerin veya yapıların çevresel etkilerini, malzemenin elde edilmesinden başlayıp, ürün kullanımından ömrünün sonuna hesaplayan analitik bir değerlendirme metodudur. ISO 14040'e göre YDA yöntemi dört aşamadan oluşmaktadır: amaç ve kapsam, yaşam döngüsü envanteri (YDE / LCI), yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED/LCIA) ve yorumlama (ISO, 2006).

Yaşam döngüsü analizinin ana adımlarına dayanan bir bilgi akış sistemi tanımlayan Seo ve diğ.'ne (2007) göre bu adımlar: girdi, analiz ve çözümdür. Girdi adımı, yapının 3 boyutlu tanımını yaratırken, tüm malzemeleri, binanın genel çevresel yüklerini tahmin eder ve yaşam döngüsü envanterine bağlı olarak üretilmesi gereken tüm parçaların veri tabanını oluşturur. Analiz adımı, YDA'ya dayanan çevresel göstergelerin hesaplamaları ve alternatif tasarımların analizlerini içermektedir.

Çözüm adımı ise, alternatif tasarımların çevresel etkilerinin karşılaştırılmasını içermekte ve yapı malzemelerin birlikte gelişimini kolaylaştırmayı amaçlamaktadır.

Yaşam döngüsü boyunca bina performansı değerlendirmesi (LBPA) üç ana işleme ayrılabilir. İlk işlem, değerlendirmeye katılacak elemanların; tanımlarının, performans göstergelerinin, tasarım ve ölçüt değerleri ile uygulanan yöntemlerle ilgili verilerinin toplanmasıdır. İkinci işlem, test ve ölçümlerle gerçek performans verilerinin edinilmesidir. Üçüncü işlem ise, binanın hedef performansa ulaşp ulaşmadığını belirlemek için elde edilen performans durumunun değerlendirilmesidir (Gürsel, Sarıyıldız ve diğ., 2009).

Yapı bilgi modelleme ve yaşam döngüsü analizinin birleşimi, çeşitli yazılımlarla veri aktarımının basitleştiği geri bildirimler alma imkanı sağlamaktadır. Bu birleşime yapı bilgi modellemeye dayanan, yaşam döngüsü analizi (YBM temelli YDA) de denilebilmektedir. YBM temelli YDA'da, yapı bilgi modelleme programlarına yüklenebilen eklenti yazılımlar ile analiz ve geri bildirim süreçleri otomatikleştirilerek kolaylaştırılabilmektedir.

YBM ile birleşen YDA pek çok aşamada etki sağlamaktadır. Tasarım aşamasında alternatiflerinin oluşturulması, enerji etkinliğin arttırılabileceği en önemli alanlardan olan ilk aşamadır. Malzemelerin çevreye saygılı seçilmesi, doğadan elde edilmesi, (çıkarılması), işlenmesi ve yapım alanına ulaştırılması için daha az enerji gereken kaynaklardan elde edilmesi de önemli bir etkidir. Örneğin, Lee ve diğ. (2015) çalışmasında, malzeme seçimindeki çevresel etkiyi değerlendirmek için kullandığı YBM yazılımı olan Revit'e özgü veri tabanı sağlayan bir şablon geliştirmiştir. Tasarım aşamasının bir parçası olarak mekanik sistemlerin tasarımı alanında da YDA enerji verimli kararların verilmesinde güçlü bir analitik etkidir.

Bir başka çalışmada YBM'in bina sistemlerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmedeki katkısı iki genel kısma ayrılmıştır: entegre proje teslimi ve (enerji analizine odaklı) tasarım optimizasyonu (Eleftheriadis ve diğ. 2017). İlk kısım inşaat süreciyle ilgili değerlendirmeleri içerirken ikincisi, bu çalışmanın konusu olan tasarım optimizasyonunu ele almaktadır.

Tasarım optimizasyonu, YBM ve YDA yazılımlarının ortaklaşa çalışmasından elde edilen geri bildirimlere dayanmaktadır. Gerçek zamanlı YBM entegre YDA tasarım sırasında hızlı geri bildirim almayı sağlamaktadır (Nwodo ve diğ. 2017). Sonuç

verilerinin analizlerini yorumlamak, bu programlar arasındaki uyuma, gösterim ara yüzlerinin anlaşılabilirliğine ve verilerin doğru iletilmiş olmasına bağlıdır. Sonuç verilerine ilişkin analizler, çevresel veri tabanlarından gelen iklimsel bilgileri, HVAC, güneş alımı gibi enerji tüketimi analizlerini ve YBM ile yaşam döngüsü analizini yapan program arasında aktarılan yapısal bilgileri içermektedir.

Analizlerin sağlıklı sonuç vermesi açısından hesaplamalara katılan verilerin programlar arasında doğru aktarımı gereklidir. Soust-Verdaguer ve diğ. (2017) çalışmalarında varılan sonuç, aynı zamanda verilerin sadeleştirilmesinin de yaşam döngüsü analizlerinde sonuçların anlaşılmasını kolaylaştırmakta olduğu yönündedir. Yaşam Döngüsü Analizi ve Yapı Bilgi Modelleme programlarının bir arada kullanımı günümüzde geliştirilmekte olan bir alan durumundadır. YBM'deki ve YDA'daki işlenmesi gereken verilerin çokluğu, karmaşıklığı ve birbirlerine etkisinin hesaplanması zaman ve bilgisayar gücü gerektirmektedir. Teknolojik imkânlar, yaşam döngüsü analizinin bütünüyle YBM ile birleşik kullanılmasını yaygın hale getirebildiği zaman, her tür yapının tüm aşamalarındaki çevresel etkisi kıyaslanabilir olarak ortaya konabilecektir.

3.3.2 Yapı bilgi modelleme ile enerji etkin tasarım ve geliştirme

Günümüzde YBM araçlarının inşaat sektöründe kullanımı, mimari modellemede iş akışlarını zenginleştirdiği ve taraflar arasında saydamlık sağladığı kadar, çeşitli analizler için obje temelli veri parametrelerini içinde barındıran elemanlarla büyük kolaylık ve işbirliği imkanı sağlamaktadır. Enerji modelleme, yaşam döngüsü analizi, enerji analizi, gün ışığı analizi, bina yönelimi, kütle yerleşimi, bina kabuğu, geri dönüştürülebilir malzemeler ve yenilenebilir enerji potansiyeli gibi birçok kavram ve yöntemin etkisi, YBM teknolojisinin enerji simülasyonu içerisinde incelenebilmektedir. Enerji simülasyonları erken tasarım aşamasından yıkıma kadar bilgi girdileri ile fiziksel çevre hakkında veri toplanmasına katkıda bulunmaktadır.

Yapı bilgi modellemeye bağlı enerji performansı analizi yazılımlarının kullanımındaki amaç, bağlayıcı kararlar vermeden önce hızlı geri bildirimlerle termal ve enerji analizlerini uygulayıp tasarım alternatiflerini deneyebilmektir. Model temelli enerji simülasyonu, YBM'nin geleneksel yöntemlere belirgin gelişme getirdiği en önemli kullanım amaçlarındandır. Yapı bilgi modeli, simülasyon modeli için temel işlevi görmekte ve oluşan tasarım çözümleri ile güncellenebilmektedir.

Schlueter ve Thessling (2008) simülasyon araçları ve YBM ilişkisi hakkında yaptıkları çalışmalarda, EnergyPlus, DOE-2, ve Energy-10 gibi simülasyon araçlarının YBM'nin yayılmasından çok önce geliştirildiğini belirtmişlerdir. YBM'nin enerji simülasyonuna asıl katkısı, daha kesin simülasyon sonuçları sağlayan analizler oluşturabilmek için tasarımcılara daha güvenilir ve sürekli bir yapı bilgi modeli sağlayan bütüncül ara yüzüdür. Parametrik modellemedeki en büyük avantaj, model düzenlemesinde yapılan değişiklikler ile aynı anda yapı bilgisinin güncellenme kapasitesidir. Ön tasarım aşamasında, mimar ve tasarımcılar en iyi sonucu bulmak için farklı tasarım olasılıklarını deneyebilmektedir.

Ceranic (2013) sürdürülebilir tasarım analizini, projenin erken aşamalarında, farklı sürdürülebilirlik senaryolarında ve tasarım ekibinin denemelerinde hızlı ve ölçülebilir geri bildirimler almak olarak tanımlamıştır. Ona göre asıl amaç, yapı malzemeleri ve teknolojileri, enerji kullanımı, enerji kaynakları, su denetimi, atık ve kirlilik yönetimi gibi çevre ve ekoloji sorunlarını ele almaktır ancak ilişkili fonksiyonel (strüktürel, işletimsel), kullanıcıya ilişkin istenenler (güvenlik ve emniyet, sağlık, konfor), sosyokültürel (sosyal, kültürel, estetik) ve ekonomik (kar marjı, çevresel fayda maliyet analizi, yaşam döngüsü maliyeti vb) sorunlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm geri bildirimleri sağlamak için özel yazılım, yazılımı kullanım ve sonuçları yorumlama bilgisi gereklidir.

Enerji analizi tasarlanan projenin her aşamasında gerçekleştirilebilmektedir. Geleneksel proje yöntemlerinde sıklıkla tasarımın ve detayların tamamlanmasına yakın zamanda enerji analizi yapılmaktadır. Azhar ve diğ. (2009) öntasarım aşamasının, sürdürülebilirliğin elde edilmesinde, sonradan yapılacak hataları önlemek açısından en etkili zaman olduğunu belirtmiştir. Ön tasarım aşamasında enerji etkinlik ve sürdürülebilirlik yaklaşımları gelişirken, yapının strüktür, kabuk, hacim, elemanlara ilişkin detayları da gelişerek ortaya çıkmaktadır. Tasarım sırasında analizlerin detayları arttıkça tahminlerin doğruluğu da yükselmektedir. Erken aşamada enerji simülasyonu gerçekleştirildiğinde, kesin proje hazırlanmadan önce düşük maliyetli çözümler bulunabilmektedir. Geliştirilen simülasyon modeli yapının kullanım ve bakım sürecinde de değerlendirilebilmektedir (Langdon, 2012). Ön tasarım aşamasındaki analizler süreci ve karar verme yetkinliğini güçlendirmektedir.

Yapı bilgi modellemenin mimarlık, mühendislik çalışma alanlarına ve yapı sektörüne getirdiği, projelerin tasarımı ve ilerleyişine ilişkin yöntemler, iş akışları ve ilişkileri

de değişmiştir. Yapı bilgi modelleme iş akışı, bilgilerin paylaşılıp biriktirilmesi ve gerekli yerlerde kullanılması ile ilerlemektedir. Geleneksel iş akışı, 2 boyutlu çizimleri temel alarak, tarafların çeşitli yazılım ve yöntemlerle birbirinden bağımsız şekilde projelendirme işlemlerini yaptığı yöntemdir. Enerji analizleri de belirli süreçlerin her analiz için tekrarlanması anlamına gelmektedir. Zaman alıcı, karmaşık ve bilgi aktarımında hataların fark edilmesinin daha zor olduğu bir süreçtir. YBM iş akışı sürecini basitleştirmekte, birleştirmekte, hataları düzeltme maliyetini azaltmakta ve zamandan kazanmaktadır.

Geleneksel yöntemden farklı olarak YBM kullanılan tasarım evrimleşirken, en ideal sonucu belirlemeden önce tüm etkenlerin katkısını değerlendirmek mümkündür. Sakikhailes ve Stravoravdis (2015) iş akışı konusunda birçok yorumda bulunmuştur. Çalışmaları doğrultusunda, geleneksel mimari iş akışı ön tasarım aşamasında, alternatif tasarımları analiz etmek için yeterli destek sağlamamaktadır. Performans analizleri genellikle nihai hale getirilmiş alternatif üzerinden son aşamalarda gerçekteştirilmektedir. Yapı bilgi modelleme ilkeleri, yöntemleri ve araçları ile gelişmiş bina performansı elde etmek için tekrarlayan tasarım denemelerini kolaylaştırma potansiyeline sahiptir (Sakikhailes ve Stravoravdis 2015). Geleneksel iş akışındaki değişim “entegre proje teslimi” (AIA 2007) ismiyle de anılmaktadır.

YBM ve enerji analizi arasında kolaylaşan iletişim ve tekniklere rağmen, Hirsch (2011) henüz simülasyon işlemlerinin tasarım ve modelleme iş akışına tam anlamıyla dahil olamadığını belirtmiştir (Hirsch ve diğ., 2011). Günümüzde de birçok durumda, projede hazır olarak kullanılabilecek veriler, analizler için yeniden oluşturulmaktadır. Enerji analizinin ve geri bildirimin etkileri süreçte yeterince kendini gösterememektedir.

Enerji etkin yenileme veya enerji etkin iyileştirme, mevcut bir yapının kullanımı sürecindeki enerji harcamalarını azaltma amacıyla yapılan; yalıtımın geliştirilmesi, mekanik iklimlendirme sistemlerinin güncellenmesi, mümkün ise uygun değişikliklerle pasif iklimlendirmenin güçlendirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının eklenmesi gibi çeşitli enerji etkin senaryolardır (Beetz ve diğ., 2011). YBM ile modele bağlanan veri ve özellikler sayesinde, özellikle enerji etkin yenileme projelerinde entegre analiz ve simülasyonlar sağlanabildiğinden bahsetmişlerdir.

YBM, işbirliği ortamının gerektiği enerji etkin yenileme projelerinde etkili biçimde uygulandığında, sürdürülebilirliği sağlama potansiyeline sahiptir (Alhusban ve diğ. 2017). Sunikka'ya (2003) göre sektördeki enerji etkin yenileme, küresel enerji harcamalarını azaltmakta ve çevresel bozulmayı minimize etmektedir (Sunikka, 2003). Sürdürülebilir ve enerji etkin iyileştirme sonucunda yapının enerji etkinliği, maddi ve sosyal değeri, kullanım süresi ve kullanıcı sağlığına pozitif etkisi artmaktadır.

Sürdürülebilir ve enerji etkin iyileştirme projelerinin sonucunda beklentiler: enerji etkinliğin gelişmesi, konfor artışı, bina yaşam süresinin uzaması ve sera gazları salımı azalmasıdır. En büyük engellerse, maliyet artışı ve enerji etkinlik için yapılan yatırımın geri dönüş süresidir (Eastman ve diğ. 2011). Enerji etkinliği ve termal konforun sürekliliği için kullanım sürecindeki bakım ve kontroller de göz önünde bulundurulmalıdır.

Mevcut yapı için erişilebilir bir YBM modeli yoksa enerji etkin yenileme için YBM modelleyicileri ve mimarlar ile birlikte çalışarak bir yapı bilgi modeli oluşturmalıdır. Yapı bilgi modelini sıfırdan oluşturmak, oldukça büyük bir veri toplama işidir (Khaddaj ve Srouf 2016). Enerji etkin iyileştirmede yapı bilgi modeli sonuçlarının görülmesinde kullanılan performans değerlendirme araçları, Lee ve Burnett'in (2008) çalışmasına göre, mevcut yapının, nicel ve nitel enerji performansını, ölçüt değerlerle karşılaştıran belgelendirme sistemlerinin gelişmesiyle popülerlik kazanmaktadır.

Yapı bilgi modelleme ile enerji etkin tasarım ve iyileştirme sürecinde aşağıdaki aşamalar izlenmektedir:

- Yapı bilgi modeli oluşturulması: Bu aşamada, yeni tasarım ise YBM programında çizim yapılmakta, iyileştirme ise yapının CAD çizimi YBM programına aktararak, üç boyutlu verileri içeren yapı bilgi modeli oluşturulmaktadır. Ön tasarım aşamasında kütle modelleri oluşturularak tasarım kararlarının enerji etkinliğe ilişkin geri bildirimleri alınmaktadır.
- Yapı enerji modeli oluşturulması: Bu aşamada, enerji analizi için gerekli verilerin girilmesi ile oluşan geometrik enerji modelinin, sistem, tesisat, iklimlendirme, yapı kabuğu, hacim ve alan koşullandırma gibi ayarları kontrol edilmektedir.

- Enerji simülasyonunun yapılması: Bu aşamada, istenen süre ve şartlardaki analiz bulut üzerinden gerçekleştirilir, sonuçlar YBM ve internet ara yüzlerinden incelenmekte, projenin enerji analizi geri bildirimi alınmaktadır.
- Enerji etkin alternatifler geliştirilmesi: Bu aşamada, simülasyon değişkenlerinin etkisi incelendikten sonra en etkili stratejiler belirlenir, konfor, maliyet, uygulama ve benzeri kıstaslar göz önünde bulundurularak değişiklikler yapılmaktadır.
- Tasarıma ilişkin değişiklikler: Bu aşamada alternatif simülasyon uygulanıp geri bildirimler doğrultusunda tasarım değiştirilebilmektedir.

Yapı bilgi modellemenin sürdürülebilirliğe katkısı yaşam döngüsünün her kısmına yayılan geniş bir kapsama sahiptir. Yapının enerji etkin olması veya enerji etkin iyileştirmesi sürdürülebilirliğin önemli bir parçasıdır. YBM yöntem ve tekniklerinin kullanılması, taraflar arasındaki bilgi iletişimini, iş akışını, ve tasarım-simülasyon ara yüzlerini sadeleştirerek, enerji etkin tasarımın geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır.

4. YAPI BİLGİ MODELLEME ARACILIĞI İLE SİMÜLASYON ÇALIŞMASI: BİR KONUT PROJESİ ÖRNEĞİ

Bu bölümde yapı bilgi modellemenin enerji etkin yapı tasarımı ve yapıların enerji etkin geliştirmelerindeki etkililiğini araştırmak üzere çok katlı bir konut yapısı üzerinde yapılan uygulama çalışması ele alınmıştır.

Yapı bilgi modelleme programları ve programların kapsadığı enerji simülasyonları ile yapıların enerji etkinliğinin artırılması hedefine yönelik olarak örnek simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma için yapımı tamamlanmış bir konut yapısının yapı bilgi modeli Revit programı ile oluşturularak, binaya ilişkin geliştirilen alternatiflerin Green Building Studio ve Insight yazılımları aracılığıyla enerji analizleri yapılmıştır. Daha sonra yapı bilgi modelinde tasarım geliştirmeleri yapılarak oluşturulan alternatif model üzerinde enerji analizleri çalışılmıştır.

4.1 Simülasyon Çalışmasının Amacı, Kapsamı Ve Adımları

Simülasyon çalışmasının amacı, yapı bilgi modelleme programlarının ve eklentili enerji analizinin, gerçek bina örneğinde enerji etkinliği sağlamakta ve geliştirmekteki kapasitesini, sayısal değerlerle karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktır.

Simülasyon çalışmasının kapsamı:

- Yapı bilgi modelleme programı ile gerçek bir binanın modellenmesi ve enerji analizinin yapılması aracılığıyla (senaryo 1), programın ve eklentili simülasyonun enerji etkinliğini ne düzeyde geliştirebildiğini ortaya koymak (senaryo 2) ve
- Yapı bilgi modelindeki tasarımsal değişikliklerin enerji etkinliğinin (senaryo 3) üzerine geliştirmek için YBM enerji simülasyonunun uygulanmasının (senaryo 4) sonuçlarını karşılaştırmaktır.

Örnek çalışmadaki aşamalar, temel işlevlerine göre ana başlıklara ayrılmıştır. Bu adımların uygulanması çalışmanın anlatımı sırasında detaylı olarak açıklanmıştır.

Örnek çalışma için seçilen, “yapımı tamamlanmış çok katlı konut projesinin” teknik çizim dokümanları ile ısı yalıtımı raporu ve ısı kaybı bilgilerini içeren hesap raporu TOKİ’den elde edilmiştir. Simülasyon çalışması;

- doküman ve raporlara uygun, yapımı tamamlanmış gerçek binanın dijital kopyası olan yapı bilgi modelinin (referans bina) Revit programında oluşturulması
- yapının enerji etkinliğinin geliştirilmesi için senaryoların oluşturulmasını ve
- sonuçlarının karşılaştırılmasını kapsamaktadır.

Çalışmada ele alınan senaryolar aşağıda açıklanmıştır:

- Senaryo-1 (S-1): Mevcut yapının, yapı bilgi modelinin enerji analizinin yapılması ve analiz programları ile (GBS ve Insight) enerji analizlerinin oluşturulması,
- Senaryo-2 (S-2): Yapı bilgi modeline bağlı enerji etkinliğini geliştirme programları (GBS ve Insight) ile yapıya ilişkin çok sayıda enerji etkin alternatiflerin oluşturulması,
- Senaryo-3 (S-3): Yapı bilgi modeli üzerinde, enerji etkinliğin artırılmasına yönelik, tasarıma ilişkin değişiklikler yapılması ve ortaya çıkan “alternatif tasarım modeli” için enerji analizinin yapılması,
- Senaryo-4 (S-4): Alternatif tasarım modeli için, enerji etkinliğini geliştirme programları (GBS ve Insight) ile enerji etkin alternatiflerin oluşturulması,

4.2 Seçilen Proje Hakkında Genel Bilgiler

Yapı bilgi modellemesinin ve enerji analizinin yapılması için örnek olarak inşa edilmiş bir proje seçilmiştir. Yapı çok katlı bir konut yapısı olup, konut haricinde herhangi bir ek işlev (zeminde işyeri gibi) içermemektedir. Seçilen konut yapısı, İstanbul ilinde 2017/2018 yıllarında inşa edilmiş, 10 katlı, orta ve orta üstü gelir grubuna yönelik bir toplu konut projesi kapsamındadır. Yapının kullanım tipi çok aileli konut yapısı olduğundan yapıda 7/24 sürekli yaşandığı kabul edilmektedir.

Seçilen yapının alındığı projenin tam ismi: “İstanbul ili, Başakşehir ilçesindeki, 523 adet HAİT, 1’er adet sosyal hizmetler binası ve idari bina inşaatı, 2 adet kapalı garaj, 1 adet nizamiye, nöbetçi kulübeleri inşaatı ile altyapı ve çevre düzenlemesi işi”

şeklindedir. Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) tarafından yaptırılmıştır. Bu proje içerisinde askeri lojman olarak kullanılan bir adet yüksek katlı konut binası (hait) incelenmek üzere seçilmiştir. Yapının coğrafi konumuna ilişkin koordinatları: enlem ve boylam: 40 dr. 58 dk. K, 29 dr. 5 dk. D şeklindedir.

4.2.1 Projenin yapı bilgi modelini oluşturmak için kullanılan rapor bilgileri ve proje verileri

TOKİ'den, binanın mühendisler tarafından onaylanmış teknik çizim dokümanları, ısı yalıtımı içeren hesap raporu ve ısı kaybı bilgileri ile tesisat sistemlerini içeren mekanik hesap raporu alınmıştır. Bina Türk Standartlarına (TS) uygun biçimde inşa edilmiştir. Projenin hesap raporunun aşağıda verilen standartlara uygun olarak hazırlandığı belirlenmiştir:

- Binalarda Isı Yalıtım Kuralları TS 825,
- Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları TS 2164,
- Havalandırma Ve iklimlendirme Tesisleri - Projelendirme Kuralları TS 3419,
- Isıtma sistemleri- Binalar için-Isı yükünün hesaplanması ve tasarımı için metot TS EN12831.

Binanın yalıtımı, TS 825'e göre, ikinci bölge derece gün illerinden İstanbul için uygun U değerleri ile yapılmıştır (TS 825, 2008).

Proje hesap raporuna göre tesisat bilgileri: Isıtma sistemi 70/50°C sıcak sulu, pompalı, alttan dağıtıp, alttan toplamalı olarak seçilmiştir. Isıtıcı eleman olarak PKKIP tipi panel radyatör kullanılmıştır. Isı kaybı hesapları DIN - 4701'in yeni sekline göre yapılmıştır (Enfiltrasyon Metodu). Isıtıcı eleman verimleri DIN - 4703'e göre seçilmiştir. Isıtılmayan mahal sıcaklıkları santigrat derece biriminden aşağıdaki gibi alınmıştır: Isı Santralı 20°C, Döşeme altı toprak 9°C, Toprağa bitişik duvar 3°C, Çatı arası 1°C (TOKİ, Mekanik Tesisat Projesi Hesap Raporu).

Vaziyet planına göre çevre yapılar TOKİ projesinin parçasıdır. En uç noktadaki konut yapısının üç yanı tamamen açıkken en yakınındaki yapı 20m'den uzakta bulunmaktadır. Analizler yapılırken çevre yapıların etkisi göz önünde bulundurulmamıştır. Binanın kuzey-güney doğrultusundaki açısız yöneliminde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

4.2.2 Simülasyon yazılımları ve yapı bilgi modelleme programı hakkında genel bilgiler

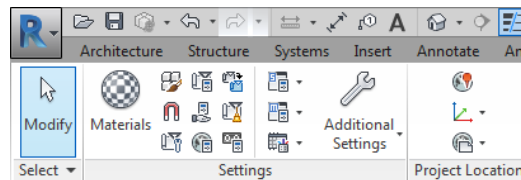
YBM ile örnek simülasyon çalışması için yapı bilgi modellemesi yapan Revit programı ve program ara yüzüne bağlantılı bulut üzerinden çalışan GBS ve Insight yazılımları kullanılmıştır. Projenin gerçekçi bir analizinin yapılabilmesi için hesap raporu ve teknik çizimlerden elde edilen bilgiler yapı bilgi modeline veri olarak aktarılmıştır. Model teknik çizimlerden 3 boyutlu hale getirilmiştir. Projenin temel verilerinin yanı sıra yapı bilgi modeline meteoroloji istasyonundan alınan iklim verileri gibi gerekli tüm bilgiler sisteme veri olarak tanıtılmıştır. Simülasyon çalışmasına ilişkin kabuller (seçilen ayarlar) ve yapı bilgi modeline girilen veriler detaylı olarak sırasıyla açıklanmıştır.

4.3 Referans Bina Yapı Bilgi Modeli Enerji Simülasyon Çalışması

4.3.1 Yapı bilgi modelleme öncesi DWG dokümanlarının ve YBM dosyasının hazırlanması

4.3.1.1 Yapı bilgi modellemeye ilişkin kabuller

Yapı bilgi modellemesi tasarım öncesi evrelerden başlamaktadır. İş sırası klasik çizim programlarından farklıdır. Tasarımın proje olarak çizilmesinden önce, proje bilgilerine ilişkin çeşitli detaylar, Şekil 4.1’de görülen yönetim sekmesi (manage tab) aracılığıyla programa girilebilmektedir. Bu bilgiler ileriki aşamalarda da değiştirilebilir olmasına rağmen özellikle birim ayarları, kat sayısı gibi seçeneklerin önceden belirlenmesi modelde hatalar oluşmaması için faydalı bulunmuştur. Bu veriler, çalışma ile ilgili yapı bilgi modellemesi tanımındaki yapı bilgileridir.



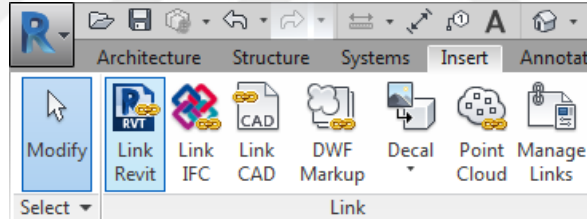
Şekil 4.1: YBM programı yönetim sekmesi altındaki ayarlar.

Tasarım ve modelleme aşamasından önce, projenin simülasyonu için Revit’e aktarılan gerekli proje bilgileri: bina katlarının sayısı ve tipi, kat yükseklikleri, bina yönelimi, yer düzlemi yüksekliği, proje lokasyonu, meteoroloji istasyonu seçimi ve

ayarları, HVAC sistem seçimi, ısı analiz yönteminin belirlenmesi, kullanıcı bilgisi ve kullanım zaman çizelgesi ile dosya birim ayarlarıdır. Son olarak ayarlardan alanları çevreleyen yapı elemanları mekân oluşturucu değişkenler olarak belirlenmiştir. Yapı bilgilerinden enerji simülasyonuna ilişkin detaylar ilgili kısımlarda açıklanmıştır.

4.3.1.2 DWG dosya aktarımı

Projenin teknik çizimleri TOKİ'den tek bir DWG dosyası içinde alınmıştır. YBM programı her katı ayrı algıladığı için her kat planını kendi kısmında çizmektedir. Yapı bilgi modelinde katlar, düşey düzlemde hizalanarak, planları bağlantılı olarak üst üste dizmektedir. Sistemlerin çalışma mantığı arasındaki farklılıktan dolayı öncelikle, aktarım işlemini kolaylaştırmak için her kat planı Autocad içinde ayrı DWG dosyaları halinde kaydedilmiştir. Bağımsız kaydedilmiş planların DWG dosyaları, LinkCAD yöntemi kullanılarak, Revit'te ait oldukları katlarına aktarılmış ve kaydedilmiştir. Şekil 4.2'de gösterilen LinkCad yöntemi herhangi bir DWG dosyasını Revit içine aktarmak için en iyi uygulama yöntemi kabul edilmektedir (Url-29).



Şekil 4.2: YBM programı ekle sekmesi altındaki LinkCad aktarım yöntemi.

4.3.2 Yapı bilgi modelleme modeli program kabulleri

4.3.2.1 Örnek çalışmaya özgü malzemelerin oluşturulması ve yerlerine atanması

Obje temelli çalışma mantığına sahip olan YBM programı içerisinde, 3 boyutlu model ve kütleleri modellemekten önce yapı parçaları olan elemanları oluşturan materyaller, sisteme gerçek değerleri girilerek, kullanılacak malzemeler haline getirilmiştir. YBM programının kendi kütüphanesi içerisinde pek çok malzeme hazır olarak bulunmaktadır. Ancak bu malzemelerin büyük çoğunluğu yurtdışındaki standart ve özelliklere uygun tanımlanmıştır. Bu açıdan kütüphaneye dışarıdan yeni malzemeler eklemek mümkündür.

Yapıda kullanılan malzemeler ve malzemelere ilişkin fiziksel özellikler yapının ısı yalıtım ve mekanik hesap raporundan alınmıştır.

4.3.2.2 Örnek çalışmaya özgü malzemelerin termal özellikleri

Revit programı içinde hazır bulunan birçok malzemenin fiziksel, görsel ve termal özellikleri, yönetim sekmesi (Manage tab), altındaki ayarların malzemeler seçeneğinden görülebilmektedir.

Program içerisinde, çeşitli verileri girilmiş olarak bulunan malzemelerin yanı sıra malzemeler için veri eklemesi yapılabilmektedir.

Projede, yapı elemanlarının katmanlarını oluşturan her malzeme hesap raporunda TS825 standardına göre belirtilmiştir. Bu projedeki tüm malzemeler, projedeki kodları ile TS 825’de yer alan değerleri programa girilerek oluşturulmuştur.

4.3.2.3 Malzeme katmanlı yapı elemanlarının oluşturulması

Isı yalıtım ve mekanik hesap raporunda enerji analizleri için hesaplanan 11 adet farklı yapı elemanı bulunmaktadır. Tüm yapı elemanları; duvarlar, döşemeler, çatı tipleri ile kullanılan pencereler ve kapılar hesap raporu verileri girilerek, malzeme katmanları ile YBM programında modellenmiştir. Bu yapı elemanları YBM programı içinde rapordaki isimleri ile kaydedilmiştir.

Yapı bilgi modeli yaratılırken, gerçekçi bir simülasyon modeli oluşturmak adına, DWG çizimlerindeki tüm elemanlar eksiksiz modellenmiş ve tüm yapı elemanlarının yalıtım değerleri girilmiştir. Bu çalışma sonucunda mevcut binanın yapı bilgi modelinde 16 adet farklı yapı elemanı objesi oluşturulmuştur.

Uygulama projesi ile hesap raporu arasındaki malzeme verisi farklılıklarında ısı yalıtım ve mekanik hesap raporu ana kaynak kabul edilmiştir.

4.3.2.4 Yapı elemanlarına ilişkin bilgiler

Projedeki yapı elemanları aşağıda açıklanmıştır:

- Duvarlar – Dış havaya açık: DD1 (Tuğla Dış Duvar), DD2 (Betonarme Dış Duvar), DD3 (iklimlendirilmeyen balkon kenar duvarı), DD4 (iklimlendirilmeyen sığınak iç duvarı)

- Duvarlar – İç mekân: DD1 iç duvar 10cm, DD1 iç duvar 15cm, DD1 iç duvar 20cm, DD2 iç duvar 20cm, (ısı yalıtımı analizi görülmeyen iç duvarlar uygulama projesine göre modellenmiştir)
- Duvarlar – Toprağa temaslı betonarme duvar: DDT,
- Tabanlar – Isıtılmayan iç (döşeme) : DÖ
- Tabanlar - Toprak temaslı döşeme: DAT
- Tavanlar - Çatılı: TA
- Kapı ve Pencereleler - Dış kapı1, Dış kapı2, Dış Pencere1
- Rüzgârlık – Giriş alanı rüzgâr engelleyici paneller

4.3.2.5 Yapı elemanlarının yalıtım değerleri

Yapı elemanları ve elemanları oluşturulan malzeme veya bileşenlerin çeşitli değerleri rapordaki kodları ile TS 825'den alınmıştır. Malzemelerin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri ve su buharı difüzyon direnç faktörü değerleri standartlardan, kalınlıkları ise proje hesap raporundan veri olarak kullanılmıştır.

Referans binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının isimleri, kesitleri ve yalıtım değerleri tablosu EK-A (Çizelge A.1: Referans binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının detayları.) kısmında gösterilmiştir.

4.3.3 Örnek çalışma projesinin 3 boyutlu yapı bilgi modelinin yapılması

Yapı elemanlarının tamamlanmasının ardından, YBM programına aktarılan DWG kat planı üzerinden duvar, döşeme, kapı ve pencereler yerleştirilerek ara kat modellemesi ve sonuç olarak dijital model oluşturulmuştur.

Yalıtım değeri içermeyen bina elemanlarının boşluk oluşturma, hava akımı yaratma ve gölge atma gibi dolaylı etkilerinin simülasyonlarda doğru hesaplanması için yapı elemanlarının yanı sıra binanın: balkon zeminleri ve korkulukları, günlük kullanılan merdivenler, yangın merdiveni, asansör boşlukları, çatı altı boşlukları, çatı çıkıntıları, yapı giriş alanı, giriş merdivenleri de modellenmiştir.

Yapı bilgi modelleme programında, inşa edilmiş yapıya ilişkin veriler, aynı ölçüleri ve değerleri ile “Referans Bina” isminde 3 boyutlu dijital bir model haline getirilmiştir.

Yüksek katlı konut binasının zemin ve ara katlarında simetrik yerleştirilmiş 134 m²'lik dörder daire bulunmaktadır. Toplam alan 5,659m², Kat yüksekliği, 2,91m'dir.

Mahal listesine göre her dairede: salon (26,52 m²), mutfak (10,84m²), 3 adet oda (15,37m², 9,88m², 15,90m²), 3 adet banyo veya tuvalet (2,80m², 1,73m², 6,23m²), ütü-kiler odası (2,25m²), antre (7,52m²) ve kat holü (26,82m²) bulunmaktadır.

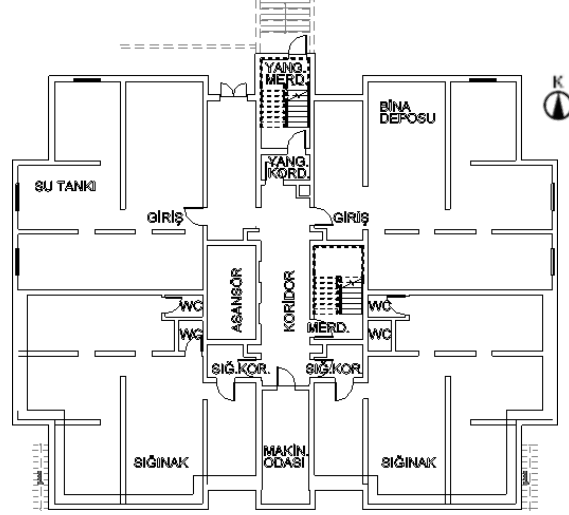
Onuncu katta birleştirilmiş 2 daire bulunmaktadır. Onuncu kattaki daireler üç, diğer tüm daireler iki cepheye sahiptir. Her kattan geçen 2 adet asansör, biri yangın merdiveni olmak üzere 2 merdiven bulunmaktadır.

Bodrum katı, toprak altındaki ısıtma bulunmayan sığınak ve depo alanlarına ayrılmıştır. Çatı katlarından ilki bakım amaçlı çıkılabilen, ısıtma olmayan bir teknik odaya sahiptir.

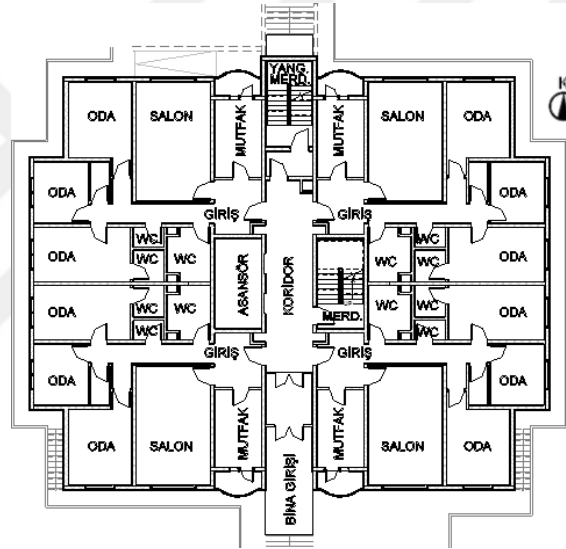
4.3.4 Örnek çalışma projesinin yapı bilgi modeli teknik çizimleri ve modeli

Referans bina modeline ilişkin teknik çizimler, YBM programından alınan planlar ve kesitler, mekân isimleri eklenerek aşağıda sunulmaktadır.

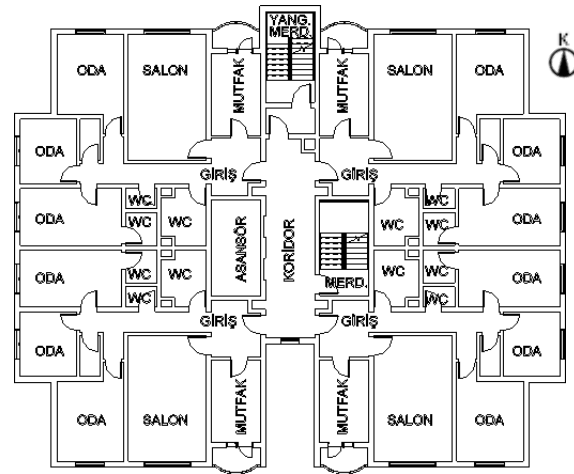
- Şekil 4.3: Referans bina bodrum (kat -1) planı,
- Şekil 4.4: Referans bina zemin kat (kat 0) planı,
- Şekil 4.5: Referans bina ara kat (kat 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) planı,
- Şekil 4.6: Referans bina en üst kat (kat 10) planı,
- Şekil 4.7: Referans bina çatı katı (kat 11) planı,
- Şekil 4.8: Referans bina çatı planı,
- Şekil 4.9: Referans bina kuzey-güney ve doğu-batı bina kesitleri,
- Şekil 4.10: Referans bina güney ve kuzey cepheleri,
- Şekil 4.11: Referans bina doğu ve batı cepheleri,
- Şekil 4.12: YBM programı referans bina ara kat modeli ve program ara yüzü,
- Şekil 4.13: YBM programı 3 boyutlu referans bina modeli ve program ara yüzü.



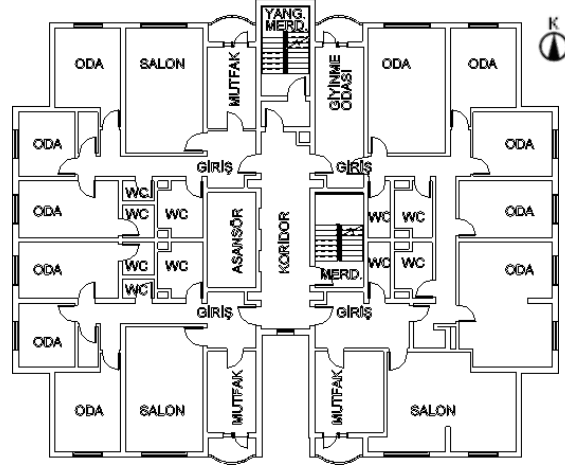
Şekil 4.3: Referans bina bodrum (Kat -1) planı.



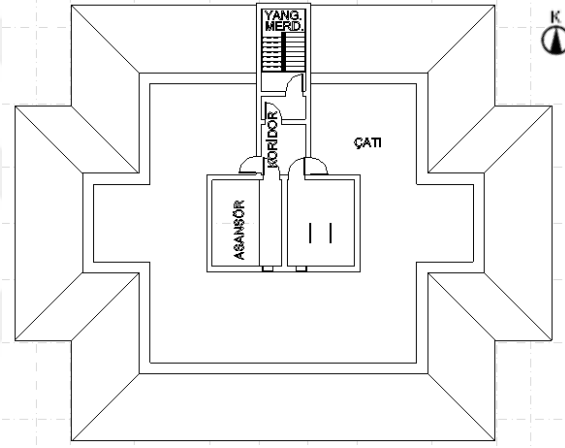
Şekil 4.4: Referans bina zemin kat (Kat 0) planı.



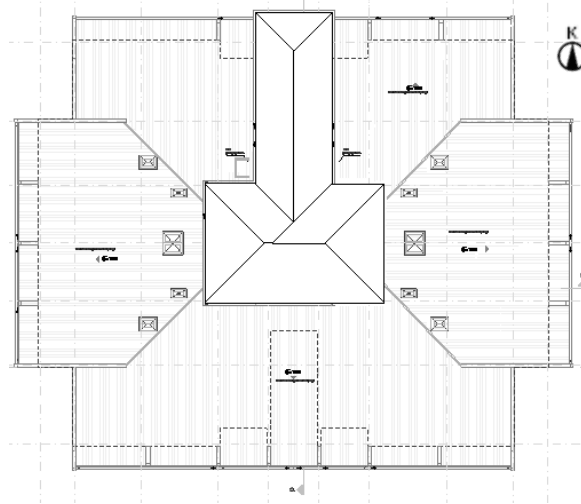
Şekil 4.5: Referans bina ara kat (Kat 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) planı.



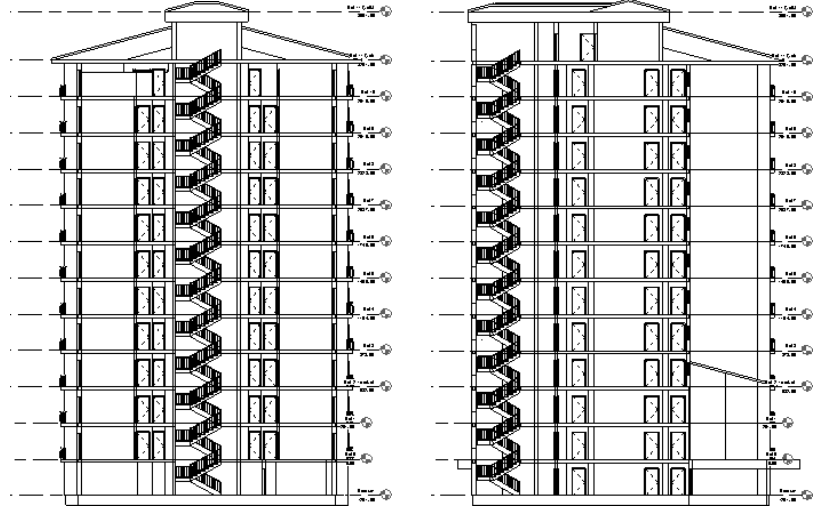
Şekil 4.6: Referans bina en üst kat (Kat 10) planı.



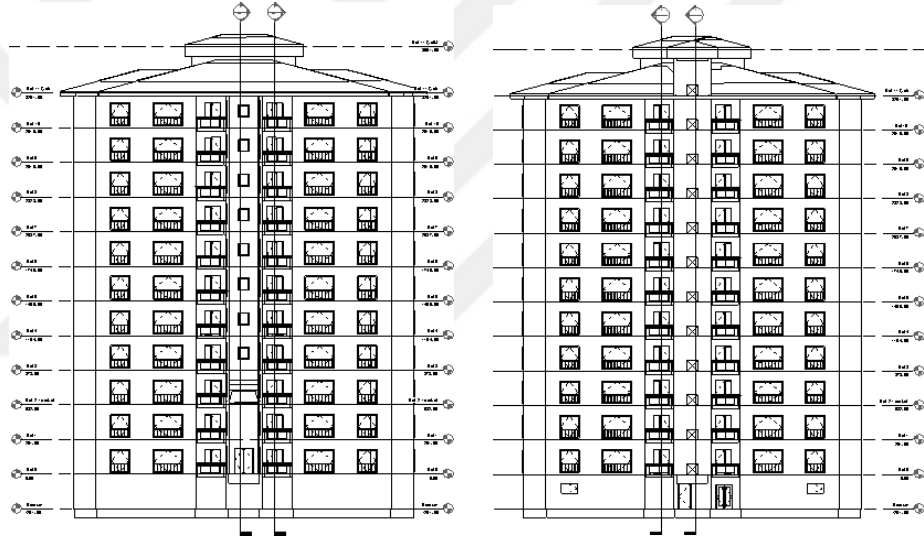
Şekil 4.7: Referans bina çatı katı (Kat 11) planı.



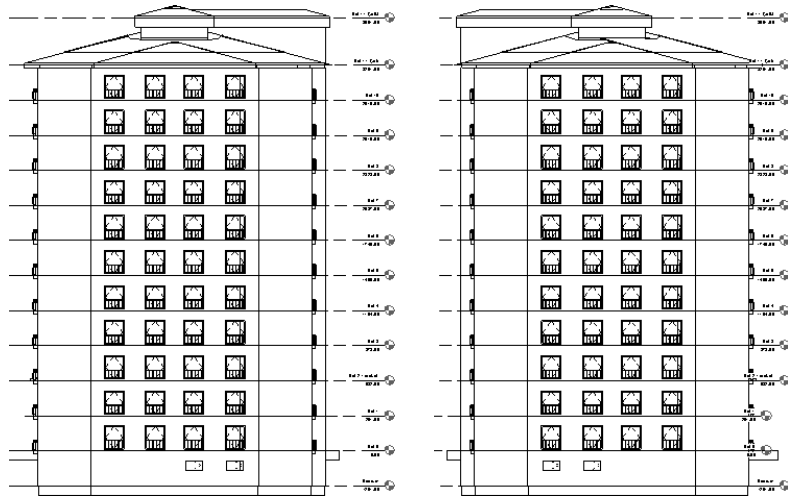
Şekil 4.8: Referans bina çatı planı.



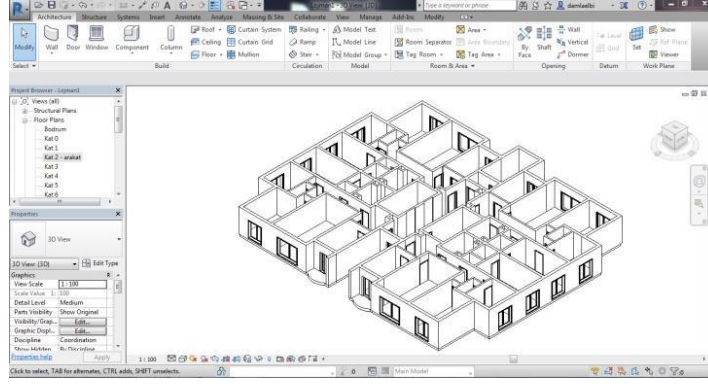
Şekil 4.9: Referans bina kuzey-güney ve doğu-batı bina kesitleri.



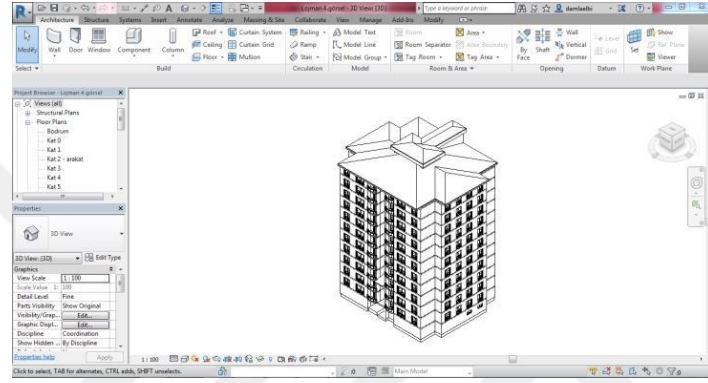
Şekil 4.10: Referans bina güney ve kuzey cepheleri.



Şekil 4.11: Referans bina doğu ve batı cepheleri.



Şekil 4.12: YBM programı referans bina ara kat modeli ve program ara yüzü.



Şekil 4.13: YBM programı 3 boyutlu referans bina modeli ve program ara yüzü.

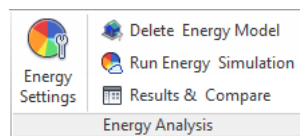
YBM yazılımı Revit'te oluşturulan 3 boyutlu dijital modelin, program ara yüzü ile birlikte verilmiş görselleridir.

4.3.5 Örnek çalışma projesinin enerji analizi modeli

Yapı bilgi modelinin tamamlanmasından sonra enerji analizleri için gerekli kabullerin (ayarların) yapılması ve enerji modelinin oluşturulması gerekmektedir.

4.3.5.1 Programa enerji analizine ilişkin verilerin aktarılması

Revit modelinde enerji analizi için özel olarak gerekli veriler analiz sekmesinde enerji ayarları başlığı altında (Şekil 4.14) girilmiştir. Enerji ayarları başlığı altında projenin lokasyon bilgisi ve İstanbul Atatürk Meteoroloji Veri İstasyonu'ndan alınan iklim bilgileri işlenmiştir.



Şekil 4.14: YBM programı enerji analizi ayarlar sekmesi.

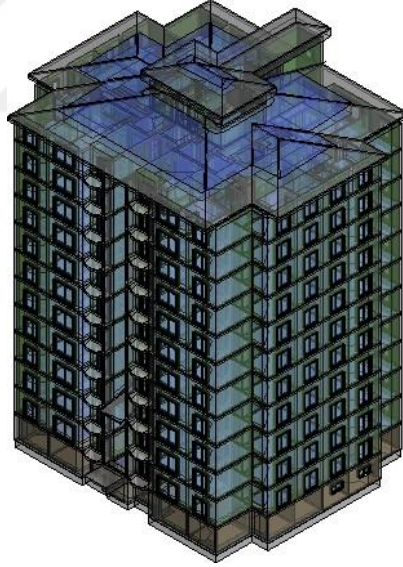
Proje Lokasyon bilgileri: İstanbul Türkiye, Enlem: 41.0186°, Boylam: 28.9647°
Meteoroloji İstasyonu bilgileri: İstanbul/Atatürk AB ID: 186777

İklimsel bilgiler simülasyonda kullanılacak çevre şartlarının doğru belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

4.3.5.2 Enerji analizi modeli kabulleri (ayarları)

Yapı bilgi modeli, enerji analizi modeline dönüştürülmeden önce simülasyonların doğru sonuçlar verebilmesi için çeşitli kabuller (ayarlar) yapılmıştır.

Geliştirilmiş seçenekler kısmında, yapıya ve kullanıma ilişkin bilgiler girilmiştir. Bina tipi, kullanıcı profiline göre çok aileli konut (multi family), bina zaman çizelgesi, aile yaşam alanı olmasından dolayı 24/7 işletimde olarak belirlenmiştir. HVAC sistemi olarak merkezi ısıtma sistemi ve havalandırma içeren, 11.3 EER Packaged VAV (84.4% boiler heating) sistemi seçilmiştir. Revit içerisinde projeye uygun olarak seçilebilecek radyatörlü sistem bulunamamıştır. Şekil 4.15 referans bina enerji modelini göstermektedir.



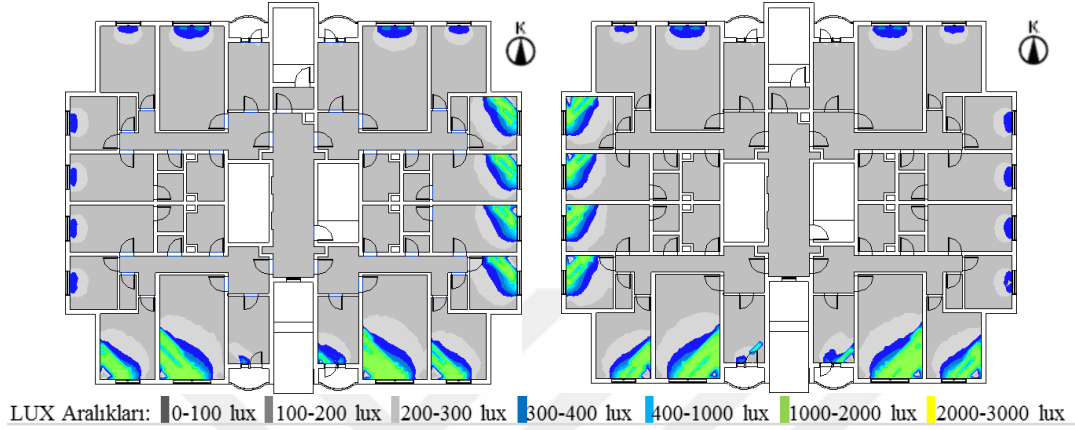
Şekil 4.15: Referans bina enerji modeli.

4.3.5.3 Referans bina modelinde güneş enerjisi potansiyeli analizi

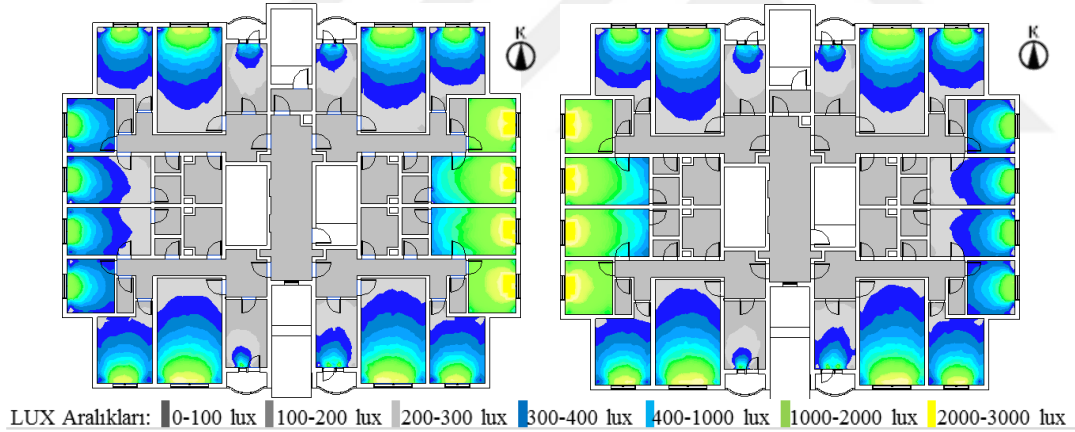
Enerji analizinden önce, güneş kaynaklı ısı kazancı ve gün ışığı değerlerinin simülasyona eklenebilmesi için Revit içerisine yüklenmiş olan Insight yazılımı sekmesinde ısıtma-soğutma, aydınlatma ve güneş enerjisi analizleri seçenekleri ele alınmıştır.

4.3.5.4 Referans bina modelinde gün ışığı analizi

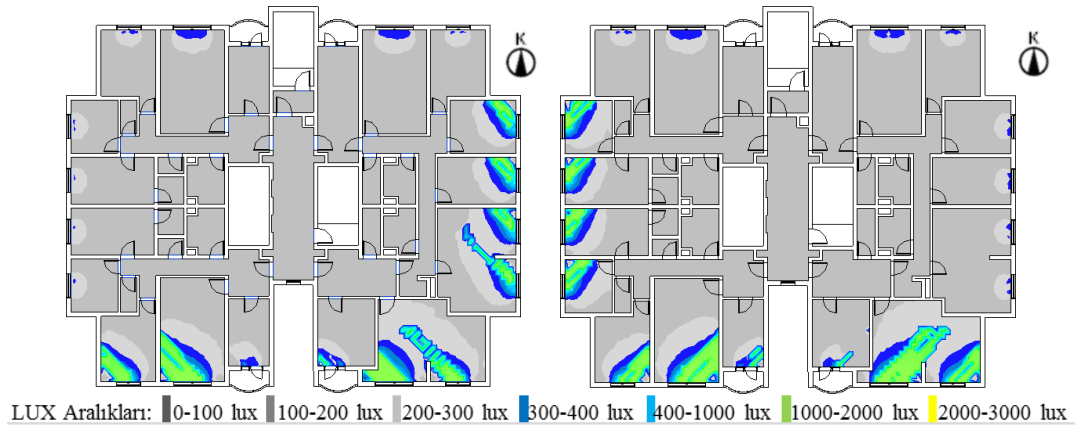
Gün ışığı analizi için Revit içerisindeki Insight kullanılmıştır. Gün ışığı analizleri, 21 Aralık tarihinde 09.00 ve 15.00 saatleri ile 21 Haziran tarihinde 09.00 ve 15.00 saatleri için yapılmıştır. Şekiller 4.16,4.17, 2.kat, Şekiller 4.18, 4.19 farklı plana sahip en üst kat olan 10.kat için gün ışığı dağılımlarını vermektedir.



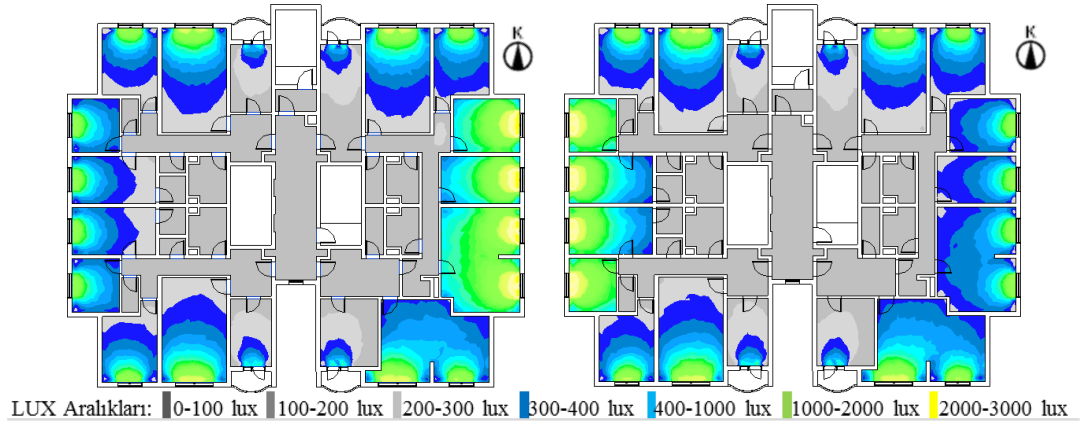
Şekil 4.16: Referans bina 2. kat, 21 Aralık saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı.



Şekil 4.17: Referans bina 2. kat, 21 Haziran saat 09.00 ve 15.00 için gün ışığı dağılımı.



Şekil 4.18: Referans bina 10.kat, 21 Aralık saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı



Şekil 4.19: Referans bina 10.kat, 21 Haziran saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı.

Planların alt tarafında Revit programı içerisinde Insight ile hazırlanan gün ışığı analizi lejantının renklere bağlı olarak açıklaması verilmektedir. Konut yapı mekânlarında yeterli gün ışığı miktarı için okuma-çalışma işlevine bağlı aydınlık düzeyi alt eşik değeri 300 Lux olarak belirlenmiştir (IESNA, 2011).

Aydınlık düzeyi 300 lux'ün altındaki bölgeler gri tonlamalar ile gösterilmektedir. 300 lux'un üzerindeki değerler lejantta 100 lux artarak, mavi, yeşil ve sarı renkler ile gösterilmiştir.

Gün ışığı analizleri tüm katlar hesaplanarak bina ölçeğinde irdelendiğinde, 21 Aralık tarihinde, saat 09.00 ve 15.00'da, referans bina kat taban alanının %94'ü 300 lux alt eşik değerinin altında kalmaktadır ve yeterince aydınlanmamaktadır. Yeterli aydınlanmaya ulaşan alan %6'dır. 21 Haziran tarihinde, saat 09.00 ve 15.00'da referans bina kat taban alanının %60'ı 300 lux alt eşik değerinin altında kalmaktadır ve yeterince aydınlanmamaktadır. Saat 09.00'da yeterli aydınlanmaya ulaşan alan %39'dur. Saat 15.00'da yeterli aydınlanmaya ulaşan alan %40'dır.

Doğal aydınlatmanın mümkün olmadığı iç mekânların yanı sıra, dış cepheden merkeze doğru ilerledikçe gün ışığı ile aydınlatma, özellikle kuzey cephesinde yetersiz kalmaktadır. Yaz mevsiminde gün ışığı alımı artmakta olmasına rağmen bazı odaların yeterince aydınlanmadığı görülmüştür. Gün ışığı alımı yetersizliği gün içerisinde aydınlatma elemanlarının kullanılmasına ve elektrik yüklerinin artmasına sebep olabilmektedir.

4.4 Enerji Simülasyonu Çalışması ve Senaryolar

Çalışmanın simülasyon aşamasında yapı bilgi modelleme programı Revit, enerji analizi simülasyonu yazılımları olan Green Building Studio ve Insight programları birlikte kullanılmıştır. Örnek yapının enerji etkinliği performansını yükseltmek için farklı senaryolar oluşturulmuş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Toplam 8 adet senaryo, iki farklı yapı bilgi modeli üzerinde uygulanarak simülasyon sonuçları ortaya konmuştur.

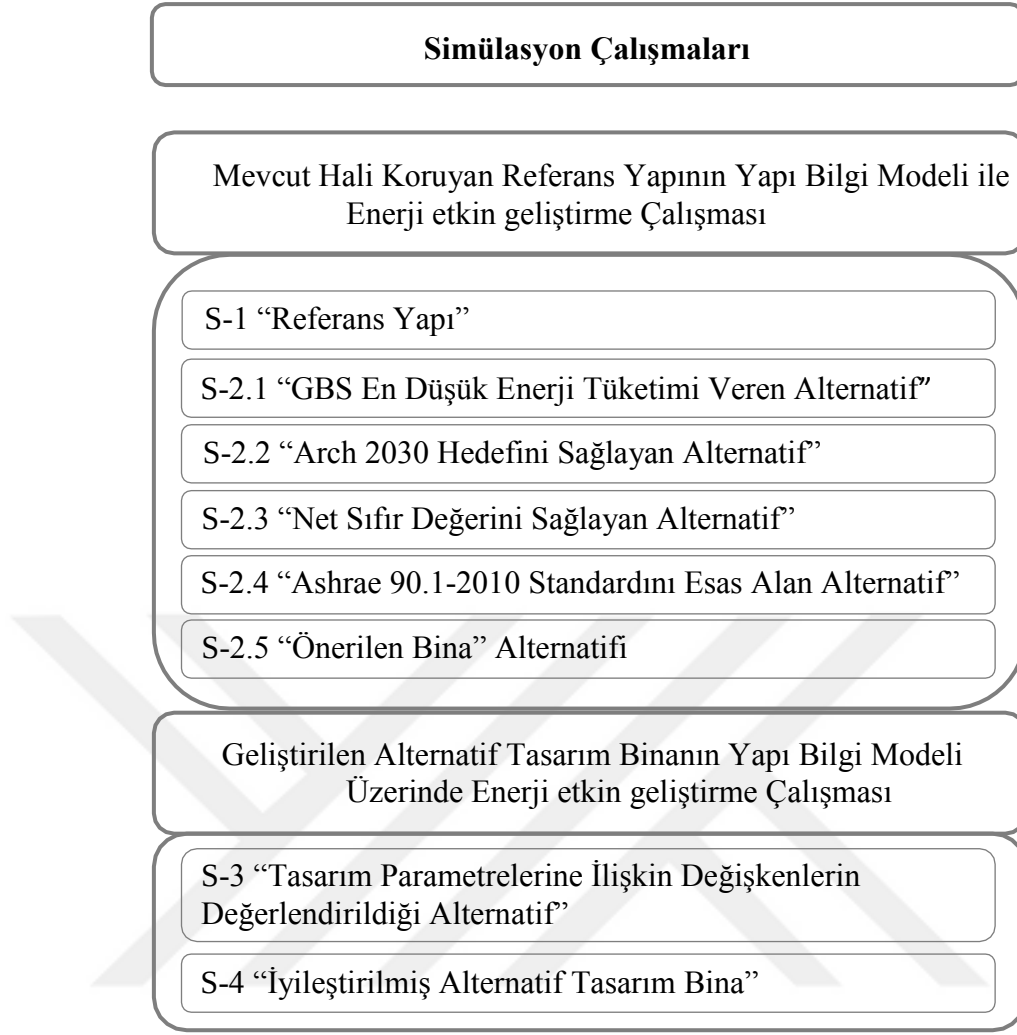
Ele alınan konut yapısının enerji etkin geliştirme çalışması;

1. Mevcut hali koruyan referans yapının YBM ile enerji etkin geliştirme çalışması,
2. Referans yapının tasarımında değişiklikler yapılarak elde edilen alternatif tasarıma sahip yapının YBM ile enerji etkin geliştirme çalışması,

olarak başlıca iki temel çalışmadan oluşmaktadır.

1. Mevcut hali koruyan referans yapının YBM ile enerji etkin geliştirme çalışmasını ele alan senaryolar aşağıda açıklanmıştır:
 - Senaryo-1 (S-1): Referans yapının YBM ile enerji analizi değerlerinin karşılaştırılması,
 - Senaryo-2 grubu (S-2.1, S-2.2, S-2.3, S-2.4, S-2.5): Yapıya ilişkin enerji analizi değerlerinin simülasyon ile geliştirilmesini içermektedir.
2. Referans yapının tasarımında değişiklikler yapılarak elde edilen alternatif tasarıma sahip yapının YBM ile enerji etkin geliştirme çalışmasını ele alan senaryolar aşağıda açıklanmıştır:
 - Senaryo-3 (S-3): Alternatif tasarıma sahip yapının YBM ile enerji analizi değerlerinin karşılaştırılması,
 - Senaryo-4 (S-4): Alternatif tasarıma sahip yapıya ilişkin enerji analizi değerlerinin simülasyon ile geliştirilmesini içermektedir.

Şekil 4.20 de çalışmada ele alınan tüm senaryolar gösterilmektedir.



Şekil 4.20: Simülasyon çalışmaları ve senaryo isimleri.

4.5 Mevcut Hali Koruyan Referans Yapının YBM İle Enerji Etkin Geliştirme Çalışması

Mevcut hali koruyan referans yapının YBM ile enerji etkin geliştirme çalışması senaryolara bağlı olarak açıklanmıştır.

4.5.1 Senaryo-1 (S-1)

Mevcut hali koruyan referans yapının YBM ile enerji etkin geliştirme çalışmasındaki Senaryo-1 (S-1), tüm sonuçların sağlıklı karşılaştırılabilmesi için değerlerin temelini oluşturan başlangıç simülasyonudur. Birçok alternatifin incelenmesi ve enerji etkinliğinin belirlenmesi için baz olarak ortaya koyulan referans enerji harcamalarını veren durumdur.

4.5.1.1 Senaryo-1 “Referans Yapı”

Mevcut yapının enerji analizi sonuçlarını ortaya koyan senaryodur. Senaryo ismi GBS tarafından, temel simülasyon (Base Run) olarak adlandırılmakta, çalışmada “Referans Bina” olarak ele alınmaktadır. Yapılan ilk çalışmada model olabildiğince gerçeğe yakın oluşturulmuştur. Binanın inşa edilmiş durumuna uygun şekilde hazırlanmış yapı bilgi modelidir.

4.5.1.2 Senaryo-1 “Referans Yapı” enerji analizleri

Green Building Studio programı ile oluşturulan S-1 “Referans Yapı” senaryosu karşılaştırma amacıyla hiçbir değişikliğe uğratılmadan, GBS programından Insight programına aktarılmıştır. S-1 için elde edilen sonuçlar, Revit programının içindeki sonuçlar kısmından, GBS internet ara yüzü üzerinden ve Insight internet ara yüzü üzerinden elde edilmiştir. Farklı ara yüzlerden elde edilmiş görsellerin hepsi aynı sonuçları vermektedir ve birbiri ile bağlantılıdır ancak sonuçları farklı birimlerden verdikleri durumlar olmaktadır. GBS Megajule (MJ) ve kilovatsaat (kWh) cinsinden sonuçlar vermekte iken Insight’ın tüm sonuçları kilovatsaat (kWh) cinsindendir. Revit ve GBS enerji harcamalarıyla ilgili sonuçları daha detaylı verirken, Insight karşılaştırmaya uygun sade sonuçlar vermektedir.

S-1 “Referans Yapı” için Green building studio analizleri

S-1 “Referans Yapı” senaryosu, Revit ve GBS, analizleri için aşağıdaki değerleri kapsamaktadır:

- Taban alanı: 5,659m²
- Dış duvar alanı: 2,950m²
- Kişi sayısı: 137
- Pencere/Duvar oranı: 0,22
- Ortalama aydınlatma güç yoğunluğu (ort. LPD): 11,63 W/m²
- Ortalama ekipman güç yoğunluğu (ort. EPD): 5,78 W/m²

Binanın inşa edildiği biçimde yapılmış yapı bilgi modeline göre, S-1 “Referans Yapı” GBS senaryosunun enerji tüketimine ilişkin değerler aşağıdaki gibidir.

Genel enerji tüketimi ile ilgili sonuçlar.

- Toplam EUI (Enerji Kullanım Yoğunluğu): **198.9 kWh/m²/yıl**

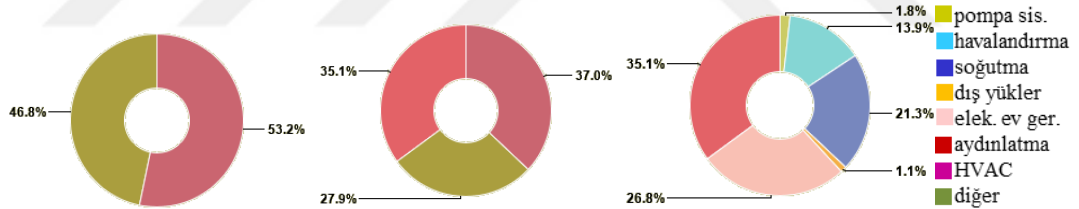
- Yıllık Yakıt Tüketimi: 703.943 kWh
- Yıllık Elektrik Tüketimi: 317.600 kWh (EUI: 62 kWh/ m²/yıl)
- Yıllık CO2 Emisyonu: (yerinde) Yakıt: 126,4 Mg

Yaşam döngüsü boyunca enerji harcamaları ile ilgili sonuçlar.

- Elektrik Enerjisi Tüketimi: 9.528.009 kWh
- Yakıt Tüketimi: 21.118.292 kWh Yenilenebilir Enerji Potansiyeli.
- Çatıya monte PV sistemi %15 verim: 61,004 kWh/yıl
- Tek 15' Rüzgâr Tribünü potansiyeli: 2,154 kWh/yıl

Yıl boyunca harcanan toplam enerjinin, yakıt ve elektrik kategorilerinde hangi alanlarda kullanıldığını gösteren dairesel grafiklere (Şekil 4.21) göre: Yıllık yakıtın: %53,2'lik kısmı ısıtma, %46,8'lik kısmı sıcak su ihtiyacı için kullanılmaktadır.

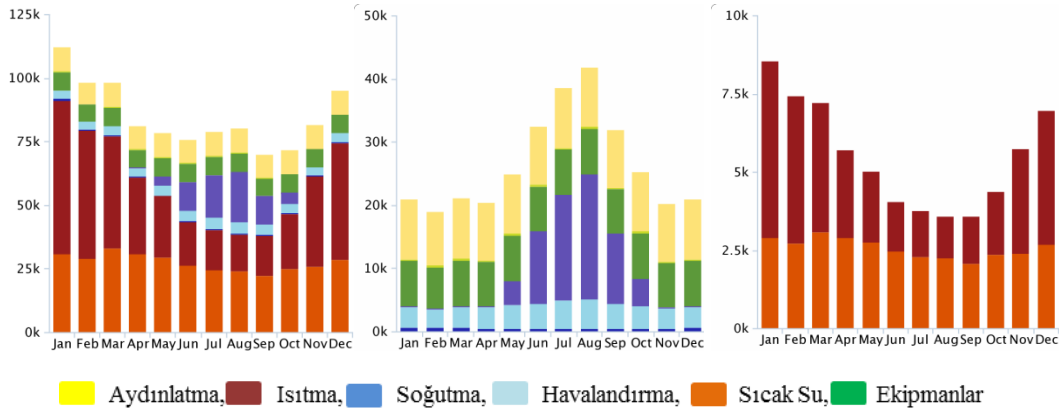
Yıllık elektriğin; %35,1'lik kısmı aydınlatma, %26,8'lik kısmı elektronik ev gereçleri, %21,3'lük kısmı soğutma, %13,9'luk kısmı havalandırma, %1,8'lik kısmı pompa ve sistemleri, %1,1'lik kısmı dış yükler için kullanılmaktadır.



Şekil 4.21: S-1 senaryosu yıllık yakıt ve elektrik tüketimi paylaşım grafikleri

Bir yıl boyunca doğal gaz yakıtı ve elektrik kullanımlarının her aya bölünmüş değerlerini gösteren grafikler, hangi yüklerin hangi dönemlerde arttığını ve azaldığını ortaya koymaktadır. Grafiklere göre, iklime uygun şekilde beklendiği üzere, kışın özellikle ocak ayında ısıtma kaynaklı doğal gaz kullanımının arttığı, yazın ağustos ayı başta olmak üzere soğutma tüketiminin yükseldiği görülmektedir. Aydınlatma ve havalandırma için tüketilen enerji yıl boyunca çok az değişikliğe uğramaktadır. Enerji tüketimindeki en büyük değişikliklere ısıtma ve soğutma sebep olmaktadır.

Şekil 4.22, Yıl boyunca toplam enerji, toplam elektrik, toplam yakıt tüketimlerinin aylık değişimlerini vermektedir.



Şekil 4.22: S-1 senaryosu aylık toplam enerji tüketimi (kwh), aylık toplam elektrik tüketimi (kwh), aylık toplam yakıt/gaz tüketimi (m³) grafikleri.

S-1 “Referans Bina” Insight analizleri

S-1 “Referans Bina” senaryosu, Insight enerji analizi için değişkenlerin değerleri ayarları aşağıda belirtildiği gibidir.

Yapı elemanlarına ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- Çatı Elemanı: Kırmı Çatı Tavan ($U=0.38 \text{ W/ m}^2\text{K}$)
- Duvar Elemanı (Kuzey/Güney/Doğu/Batı): DD1/ Tuğla Dış Duvar ($U=0.50 \text{ W/ m}^2\text{K}$) ve DD2/ Betonarme Dış Duvar ($U=0.72 \text{ W/ m}^2\text{K}$)
- Pencere Elemanları

Kuzey Pencereleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 26%
- Gölgeleme Elemanı: Yok
- Cam ve Doğrama: Çift camlı PVC çerçeveli pencere (İki cam arası 12mm) ($U=0.98 \text{ W/ m}^2\text{K}$)

Güney Pencereleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 27%
- Gölgeleme Elemanı: Yok
- Cam ve Doğrama: Çift camlı PVC çerçeveli pencere (İki cam arası 12mm) ($U=0.98 \text{ W/ m}^2\text{K}$)

Doğu Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 13%
- Gölgeleme Elemanı: Yok
- Cam ve Doğrama: Çift camlı PVC çerçeveli pencere (İki cam arası 12mm) ($U=0.98 \text{ W/ m}^2\text{K}$)

Batı Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 13%
- Gölgeleme Elemanı: Yok
- Cam ve Doğrama: Çift camlı PVC çerçeveli pencere (İki cam arası 12mm) ($U=0.98 \text{ W/ m}^2\text{K}$)

Yükler ve sistemlere ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- HVAC Sistemi: Doğalgaz yakıtlı duvar tipi yoğuşmalı kazan
- Ortalama ekipman güç yoğunluğu: 10.76 W/ m^2 (EPD: 1 W/ft^2)
- Ortalama Aydınlatma Güç Yoğunluğu: 7.75 W/ m^2 (LPD: 0.7 W/ft^2)
- Gün Işığı ve Aydınlatma Otomasyon Sistemleri: Yok
- İnfiltrasyon Oranı (değeri): 0.25 Ach

Çok aileli konut tipi için YBM standart değerleri Autodesk internet sitesinden kontrol edilmiştir (Url-30).

PV güneş panellerine ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır: Bu senaryoda güneş paneli bulunmamaktadır.

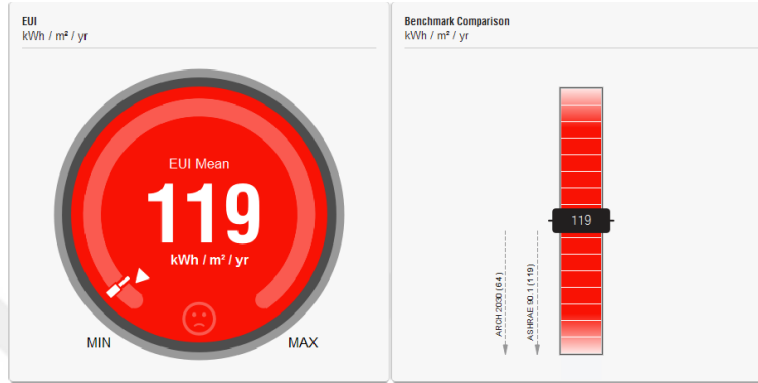
- Güneş Paneli Verimliliği: Yok
- Geri Ödeme Süresi: Yok
- Güneş Paneli Yüzey Alanı: Yok

Insight programı Green Building Studio'dan farklı olarak tüm sonuçları alt bölümlerine ayırarak detaylı olarak tablolarla vermemekte, bunun yerine her değişkeni ayarlarken interaktif olarak toplam enerji değerine etkisini göstermektedir. Enerji Kullanım Yoğunluğu, EUI değeri üzerinden ölçüt (benchmark) değerler ve diğer alternatif senaryolarla karşılaştırmalar yapmaktadır. Sonuçlar kötüden iyiye

simülasyon sonucunun durumuna göre kırmızı, turuncu veya yeşil renklerle ifade edilmektedir.

Yapının inşa edilmiş durumunu belirlemek için gerçekçi değerler girilerek yapılan analiz sonucunu ortaya koyan Insight simülasyonuna (Şekil 4.23) göre:

“Referans Bina” (S-1) senaryosundan elde edilen sonuç: **118,9 kWh/ m²/yıl**



Şekil 4.23: S-1 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.

4.5.2 Senaryo-2 grubu (S-2.1, S-2.2, S-2.3, S-2.4 S-2.5)

S-2 grubu senaryolarının amacı, yapı bilgi modelinin enerji analizi programları ile hangi düzeyde geliştirilebileceğini gösteren alternatifler oluşturmaktır. S-2 grubu, referans yapının, enerji analiz programları GBS ve Insight ile geliştirilmesi sonucunda elde edilmiş 5 adet alternatif simülasyon senaryosundan oluşmaktadır.

4.5.2.1 Senaryo-2 (S-2.1) “GBS En Düşük Enerji Tüketimi Veren Alternatif”

Bu senaryo, doğrudan GBS programından elde edilen tek alternatiftir. Green Building Studio programının verdiği 258 adet geliştirme olasılığından her kategoride (13 kategori bulunmaktadır) en düşük enerji harcaması sonucunu ortaya koyan seçeneklerin seçilmesi ve 13 değişkenin birleştirilmesinin tasarım alternatifi, araştırmacı tarafından oluşturulmuştur. Tekil olarak uygulanabilen bu alternatiflerin birleştirilerek daha etkili oldukları görülmüştür.

GBS en düşük enerji tüketimi veren alternatif senaryosu, binada mümkün olan tüm enerji iyileştirmelerinin en yüksek düzeyde yapılması anlamına gelmektedir. Enerji etkinliğini yükselten bir sonuç olmasına rağmen, bu alternatifin uygulamasında bazı sorunlar bulunmaktadır. Enerji harcama değerleri açısından en düşük sonuçlar birleştirilirken, tasarım, kullanıcı ihtiyaçları ya da dolaylı etkilerin sonuçları

önemsenmemiştir. Binada elde edilmesi mümkün olan en düşük enerji tüketimini, bir cephedeki pencerelerin tamamen kaldırılması gibi bu projede uygulanması mümkün olmayan yöntemlerle sağlamaktadır.

Green Building Studio aracılığı ile oluşturulan “Sim2.1 GBS En Düşük” karşılaştırma amacıyla değişikliğe uğratılmadan, GBS programından Insight programına aktarılmıştır. Enerji analizi değişikliklerine ilişkin veriler Insight programından alınmıştır.

S-2.1 “GBS En Düşük Enerji Tüketimi Veren Alternatif” Green building studio analizi

S-2.1 “GBS En Düşük Enerji Tüketimi Veren Alternatif” senaryosunun GBS enerji analizi değişkenleri aşağıdaki gibidir.

Yapı elemanlarına ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- Çatı Elemanı: R60 Süper Yüksek Yalıtımlı Ahşap İskeletli Çatı ($U=0.08 \text{ W/ m}^2\text{K}$)
- Duvar Elemanları: Kuzey/Güney/Doğu/Batı Duvarı: R30 Ahşap İskeletli Duvar ($U=0.21 \text{ W/ m}^2\text{K}$)
- Pencere Elemanları:
 - Güney/Doğu/Batı Pencere Camı: Süper Yalıtımlı Üçlü Isı Cam (Low-E) ($U=1.26 \text{ W/ m}^2\text{K}$), SHGC: 0.4, Vlt: 0.64,
 - Kuzey Pencere Camı: yok
 - Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): Kuzey: 0% , Güney: 65%, Doğu: 30%, Batı: 30%,
 - Gölgeleme Elemanı: Güney: Pencere yüksekliğinin 1/3 katı kadar derinlikte (1/3 Win. Ht.) yatay, Doğu/Batı: Pencere yüksekliğinin 2/3 katı kadar derinlikte (2/3 Win. Ht.) yatay, Kuzey: yok

Yüklere ve sistemlere ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- HVAC Sistemi: Ashrae90.1-2007 standardında ısı pompası (PTHP, ASHRAE 90.1- 2010, 11 EER Electric Heat)

- Ortalama Aydınlatma Güç Yoğunluğu: LPD Referans binadan (S-1) 90% daha az
- Gün Işığ ve Aydınlatma Otomasyon Sistemleri: Oturum kontrolü ve gün ışığı kontrolü var (daylighting/occupancy automation control)

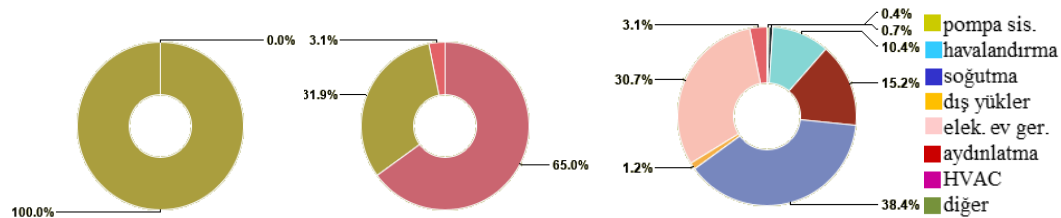
Genel enerji kullanımları ile ilgili sonuçlar.

- Toplam EUI (Enerji Kullanım Yoğunluğu): **118.3 kWh/ m²/yıl**
- Yıllık Yakıt Tüketimi: 329.176 kWh
- Yıllık Elektrik Tüketimi: 277.917 kWh
- Yıllık CO2 Emisyonu: (yerinde) Yakıt: 59,1 Mg

Yaşam döngüsü boyunca enerji Tüketimi ile ilgili sonuçlar.

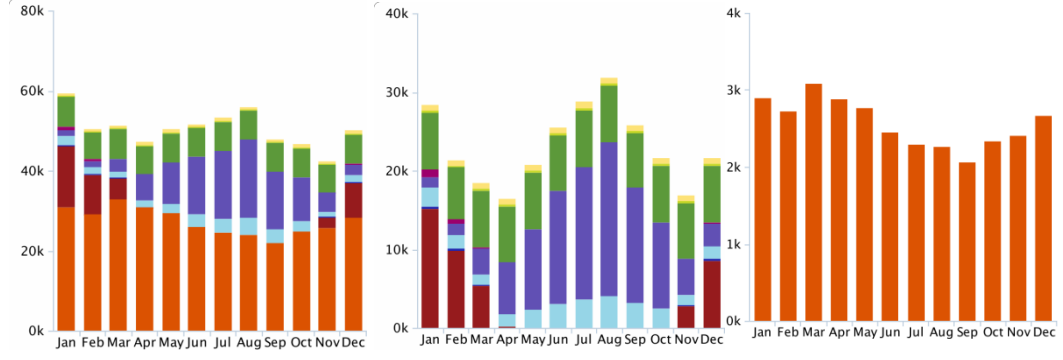
- Elektrik Enerjisi Tüketimi: 8.337.495 kWh
- Yakıt Tüketimi: 9.875.283 kWh

Yıl boyunca harcanan toplam enerjinin, yakıt ve elektrik tüketimlerinde hangi alanlarda kullanıldığını gösteren dairesel grafiklere (Şekil 4.24) göre, yıllık yakıtın: %100'lük kısmı sıcak su ihtiyacı için kullanılmaktadır. Isı pompası kullanılması dolayısıyla yakıtın ısıtma ve sıcak su paylaşımında yalnızca sıcak su harcaması sonucu elde edilmektedir. Yıllık elektriğin, %38,4'lük kısmı soğutma, %30,7'lik kısmı ev gereçleri, %15,2'lük kısmı ısıtma, %10,4'lük kısmı havalandırma, %3,1'lik kısmı aydınlatma %1,2'lik kısmı dış yükler için kullanılmaktadır. Isı pompası kullanımı, %0,7'lik elektrik yükü oluşturmaya rağmen ısıtma için harcanan yakıtı sıfırlayarak toplam enerji harcamasını azaltmaktadır.



Şekil 4.24: S-2.1 senaryosu yıllık yakıt ve elektrik tüketimi paylaşımı grafikleri.

Şekil 4.25 yıl boyunca doğal gaz yakıtı ve elektrik tüketimlerinin aylara bölünmüş değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.25: S-2.1 senaryosu, aylık toplam enerji tüketimi (kwh), aylık toplam elektrik tüketimi (kwh), aylık toplam yakıt/gaz tüketimi (m3) grafikleri.

S-2.1 “GBS En Düşük Enerji Tüketimi Veren Alternatif” Insight analizi

S-2.1 “GBS En Düşük Enerji Tüketimi Veren Alternatif” senaryosunun Insight enerji analizi değişkenleri aşağıdaki gibidir.

Yapı elemanlarına ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- Çatı Elemanı: R60 yalıtım
- Duvar Elemanları: Kuzey/Güney/Doğu/Batı Duvarı: Ahşap R38 Duvar
- Pencere Elemanları

Kuzey Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 0%
- Gölgeleme Elemanı: Yok
- Cam ve Doğrama: Yok

Güney Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 65%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 1/3 katı kadar derinlikte (1/3 Win. Ht.) yatay,
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Doğu Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 30%

- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 2/3 katı kadar derinlikte (2/3 Win. Ht.) yatay,

- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Batı Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 30%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 2/3 katı kadar derinlikte (2/3 Win. Ht.) yatay,
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Yükler ve sistemlere ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

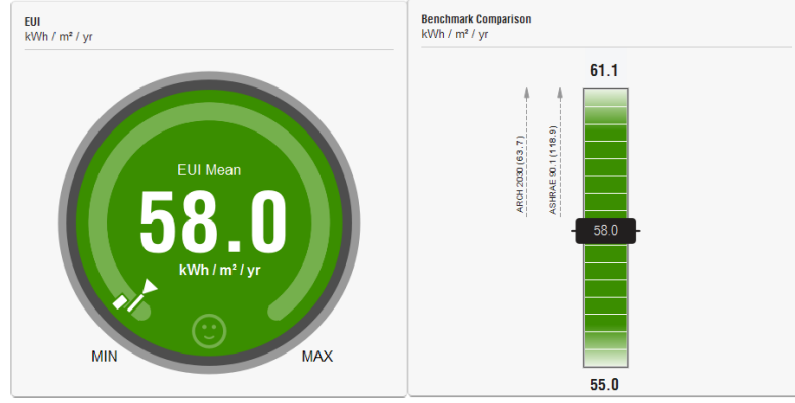
- HVAC Sistemi: Ashrae90.1-2010 standardında ısı pompası (Ashrae Package Terminal Heat Pump)
- Priz Yüklerinin Güç Yoğunluğu: 10.76 W/ m²
- Ortalama Aydınlatma Güç Yoğunluğu: (Referans Bina değeri) 11,63 W/ m² - 7.53 W/ m² aralığında
- Gün Işığı ve Aydınlatma Otomasyon Sistemleri: Oturum ve gün ışığı kontrolü var (oc/da auto)
- İnfiltrasyon Oranı (değeri): 0.4 Ach

PV Güneş Panellerine ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- Güneş Paneli Verimliliği: 16%-20.4% aralığında
- Sistemin Geri Ödeme Süresi: 10 yıl-30 yıl aralığında
- Güneş Paneli Yüzey Alanı: 0%-90% aralığında

Green Building Studio programında en enerji etkin sonuçları veren alternatiflerin birleştirilmesi ile oluşturulmuş ve Insight'a aktarılmış simülasyona (Şekil 4.26) göre:

“GBS En Düşük Enerji Tüketimi Veren Alternatif” (S-2.1) senaryosundan elde edilen sonuç: **58 kWh/ m²/yıl**



Şekil 4.26: S-2.1 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.

4.5.2.2 Senaryo-2.2 (S-2.2) “Arch 2030 Hedefini Sağlayan Alternatif”

Fosil yakıt kullanımını kaldırarak karbon nötr binalar oluşturmayı amaçlayan Arch2030 hedefi kapsamında belirlenen kıstasların (enerji bölümünde açıklanmıştır), Insight programı tarafından binaya uygulandığı senaryodur. Değişkenler Insight programının kullandığı uluslararası standartlar tarafından belirlenmektedir. Araştırmacının verilere müdahalesi bulunmadan alınan bu senaryonun değişkenleri ve sonuçları karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır.

S-2.2 “Arch 2030 Hedefini Sağlayan Alternatif” Insight analizi

S-2.2 “Arch 2030 Hedefini Sağlayan Alternatif” senaryosunun Insight enerji analizi değişkenleri aşağıdaki gibidir.

Yapı elemanları ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- Çatı Elemanı: R38 yalıtım
- Duvar Elemanları: Kuzey/Güney/Doğu/Batı Duvarı: R38 yalıtım
- Pencere Elemanları:

Kuzey Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 40%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 2/3 katı kadar derinlikte (2/3 Win. Ht.) yatay,
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Güney Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 27% (Referans Bina değeri)
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 2/3 katı kadar derinlikte (2/3 Win. Ht.) yatay,
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Doğu Pencereleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 30%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 2/3 katı kadar derinlikte (2/3 Win. Ht.) yatay,
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Batı Pencereleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 15%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 2/3 katı kadar derinlikte (2/3 Win. Ht.) yatay,
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Yükler ve sistemlere ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

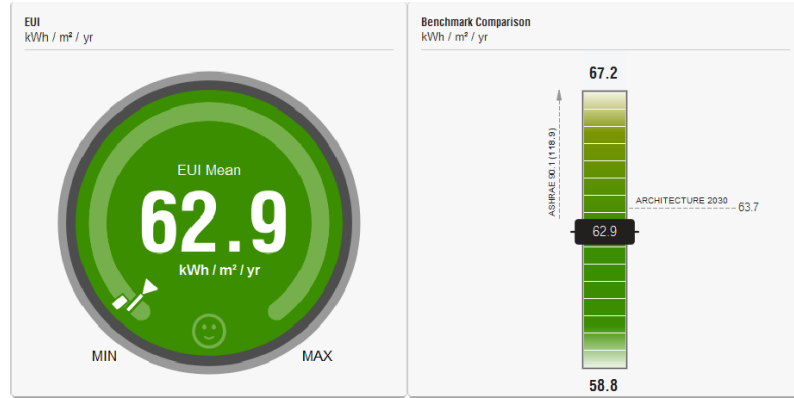
- HVAC Sistemi: Ashrae Paket Isı Pompası (Ashrae Packaged Terminal Heat Pump)
- Priz Yüklerinin Güç Yoğunluğu: 10.76 W/ m²
- Ortalama Aydınlatma Güç Yoğunluğu: 11,84W/ m² -7.53 W/ m² aralığında
- Gün Işığı ve Aydınlatma Otomasyon Sistemleri: Oturum kontrolü var (oc auto)
- İnfiltrasyon Oranı (değeri): 0,4 Ach

PV güneş panellerine ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- Güneş Paneli Verimliliği: 16%-20.4% aralığında
- Sistemin Geri Ödeme Süresi: 10 yıl-30 yıl aralığında
- Güneş Paneli Yüzey Alanı: 0%-90% aralığında

Mimari açıdan Arch 2030 hedeflerine erişebilen enerji etkinlikte yapılar oluşturmayı amaçlayan ve bu amaçlar doğrultusunda değişkenler belirleyen Insight

simülasyonuna (Şekil 4.27) göre: “Arch 2030 Hedefini Sağlayan Alternatif” (S-2.2) senaryosundan elde edilen sonuç: **62,93 kWh/ m²/yıl**



Şekil 4.27: S-2.2 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.

4.5.2.3 Senaryo-2.3 (S-2.3) “Net Sıfır Değerini Sağlayan Alternatif”

World Green Building Council işbirliği ile sürdürülebilir gelişim amacıyla, 2050 yılına kadar eski ve yeni tüm yapılar içinde, 100% net sıfır karbon binalarını arttırmak amacını taşıyan, “Net Sıfır Değerini Sağlayan Alternatif” veya “Net Zero” hedefi kapsamında belirlenen kıstasların Insight programı tarafından binaya uygulandığı senaryodur. Çalışma projesinde inşa edilmiş bir yapıyı net sıfır karbon yapısına dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Araştırmacı tarafından verilere müdahale edilmemiştir.

S-2.3 “Net Sıfır Değerini Sağlayan Alternatif” Insight analizi

S-2.3 “Net Sıfır Değerini Sağlayan Alternatif” senaryosunun Insight enerji analizi değişkenleri aşağıdaki gibidir.

Yapı elemanlarına ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- Çatı Elemanı: R38 yalıtım
- Duvar Elemanları: Kuzey/Güney/Doğu/Batı Duvarı: R38 yalıtım
- Pencere Elemanları:

Kuzey Pencereleleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 30%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 2/3 katı kadar derinlikte (2/3 Win. Ht.) yatay,

- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Güney Pencereleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 27% (Referans Bina değeri)
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 1/2 katı kadar derinlikte (1/2 Win. Ht.) yatay
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Doğu Pencereleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 15%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 2/3 katı kadar derinlikte (2/3 Win. Ht.) yatay,
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Batı Pencereleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 15%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 2/3 katı kadar derinlikte (2/3 Win. Ht.) yatay
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Yükler ve sistemlere ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- HVAC Sistemi: Yüksek verimli iklimlendirme sistemi (High Eff. Package Terminal AC)
- Priz Yüklerinin Güç Yoğunluğu: 6.46 W/ m²
- Ortalama Aydınlatma Güç Yoğunluğu: 7.53 W/ m²
- Gün Işığı ve Aydınlatma Otomasyon Sistemleri: Oturum kontrolü var (oc auto)
- İnfiltrasyon Oranı (değeri): 0,4 Ach

PV güneş panellerine ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

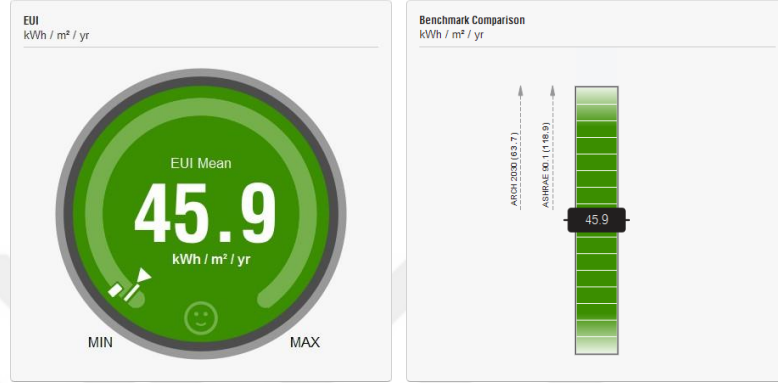
- Güneş Paneli Verimliliği: 20,4%
- Sistemin Geri Ödeme Süresi: 30 yıl

- Güneş Paneli Yüzey Alanı: 90%

Binaların 100% net sıfır karbon olma hedefine 2050 yılına kadar ulaşmayı amaçlayan değişkenlerle alınmış olan Insight simülasyonuna (Şekil 4.28) göre:

“Net Sıfır Değerini Sağlayan Alternatif” (S-2.3) senaryosundan elde edilen sonuç:

45,89 kWh/ m²/yıl



Şekil 4.28: S-2.3 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.

4.5.2.4 Senaryo-2.4 (S-2.4) “Ashrae 90.1-2010 Standardını Esas Alan Alternatif”

Binayı Ashrae90.1 standartlarına uygun hale getiren değişikliklerin, Insight programı tarafından, araştırmacının verilere müdahalesi olmadan yapıya uygulandığı simülasyon senaryosudur. Standartların binaya uygulanması programcılar tarafından zaman içinde daha gelişkin hale getirilmektedir. Ashrae90.1-2010 standartlarına uygun enerji analizi değişkenlerinin program tarafından projeye uygulanmasıyla elde edilen simülasyondur.

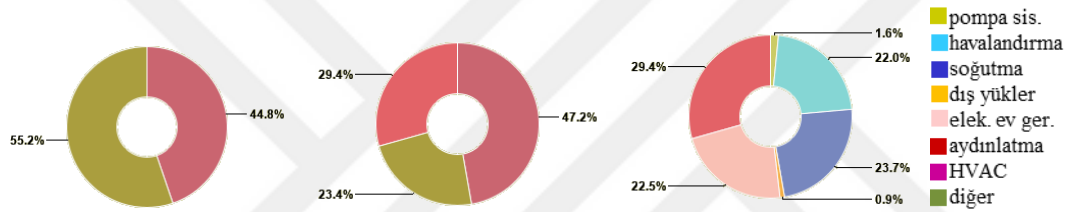
S-2.4 “Ashrae 90.1-2010 Standardını Esas Alan Alternatif” Green building studio analizi

S-2.4 “Ashrae 90.1-2010 Standardını Esas Alan Alternatif” senaryosunun bilinen GBS enerji analizi değerleri aşağıdaki gibidir.

- HVAC Sistemi: PVAV 11 EER %85 Gas Boiler 68F Economizer Genel enerji tüketimleri ile ilgili sonuçlar.
- Toplam EUI (Enerji Kullanım Yoğunluğu): **190.0 kWh/ m²/yıl**
- Yıllık Yakıt Tüketimi: 596.078 kWh
- Yıllık Elektrik Tüketimi: 379.072 kWh

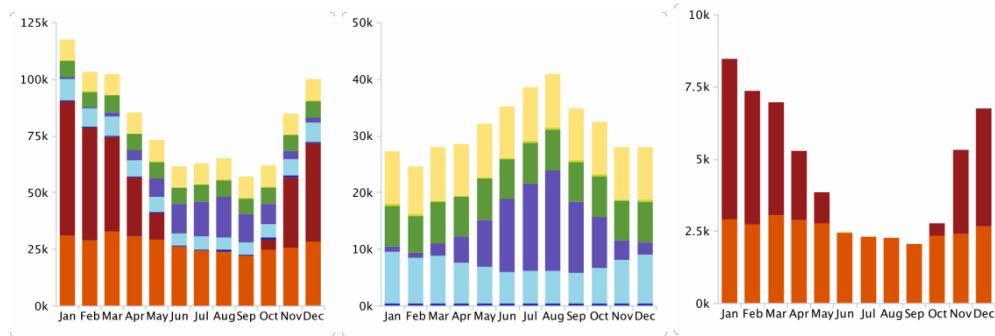
- Yıllık C02 Emisyonu: (yerinde) Yakıt Tüketimi: 107,0 Mg Yaşam döngüsü boyunca enerji kullanımları ile ilgili sonuçlar.
- Elektrik Enerjisi Tüketimi: 11.372.157 kWh
- Yakıt Tüketimi: 17.882.355 kWh

Yıl boyunca harcanan toplam enerjinin, yakıt ve elektrik kategorilerinde hangi alanlarda tüketildiğini gösteren grafiklere (Şekil 4.29) göre, yıllık yakıtın, %55,2'lik kısmı ısıtma, %44,8'lik kısmı sıcak su ihtiyacı için tüketilmektedir. Yıllık elektriğin, %29,4'lük kısmı aydınlatma, %23,7'lik kısmı soğutma, %22,5'lik kısmı ev gereçleri, %22'lik kısmı havalandırma, %1,6'lık kısmı pompa ve sistemler, %0,9'lük kısmı dış yükler için tüketilmektedir. Elektrik tüketiminde en yüksek yük aydınlatmaya ve ev gereçlerine aittir.



Şekil 4.29: S-2.4 senaryosu yıllık yakıt ve elektrik tüketimi paylaşımı grafikleri.

Şekil 4.30 yıl boyunca doğal gaz yakıtı ve elektrik tüketimlerinin aylık değişimlerini vermektedir.



Şekil 4.30: S-2.4 senaryosu aylık toplam enerji tüketimi (kwh), aylık toplam elektrik tüketimi (kwh), aylık toplam yakıt/gaz tüketimi (m3) grafikleri.

Yapının enerji etkinliği değerlerini, Ashrae tarafından Ashrae90.1-2010 standartlarına getirmeyi amaçlayan ölçüt değeri karşılaştırma imkanı sağlayan Insight simülasyonuna göre, “Ashrae 90.1-2010 Standardını Esas Alan Alternatif” (S-2.4) senaryosundan elde edilen sonuç: **118,9 kWh/ m²/yıl** ‘dır.

4.5.2.5 Senaryo-2.5 (S-2.5) “Önerilen Bina”

Referans bina ve alternatiflerden elde edilen enerji verimliliği sonuçları göz önünde bulundurularak ve uygulanması mümkün değişikliklerin araştırmacı tarafından belirlendiği simülasyon senaryosudur.

Güney cephesinde %80 cam oranı, pencere yüksekliğinin 1/3’ü oranında gölgeleme elemanları ile Kuzey cephesinde %30 cam oranı, gölgeleme elemanları olmadan, Batı ve Doğu cephelerinde %50 cam oranı, pencere yüksekliğinin 1/6’sı oranında gölgeleme elemanları ile üçlü ısı camlı (Trp LoE) pencereler kullanılmıştır.

Çatı ve Duvar yalıtım değerleri iyileştirilmiştir. Gün ışığı ve aydınlatma, elektronik kontrol sistemleri kullanılmış ve HVAC sistemi Ashrae’nin standart ısı pompası ile değiştirilmiştir.

S-2.5 “Önerilen Bina” Insight analizi

S-2.5 “Önerilen Bina” senaryosunun Insight enerji analizi değişkenleri aşağıdaki gibidir.

Yapı Elemanları

- Çatı Elemanı: R38 yalıtım
- Duvar Elemanları: Kuzey/Güney/Doğu/Batı Duvarı: R38 yalıtım
- Pencere Elemanları:

Kuzey Pencereleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 30%
- Gölgeleme Elemanı: Yok
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Güney Pencereleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 80%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 1/3 katı kadar derinlikte (1/3 Win. Ht.) yatay,
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Doğu Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 50%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 1/6 katı kadar derinlikte (1/6 Win. Ht.) yatay,
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Batı Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 50%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere yüksekliğinin 1/6 katı uzunluğunda (1/6 Win. Ht.) yatay,
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Yükler ve sistemlere ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

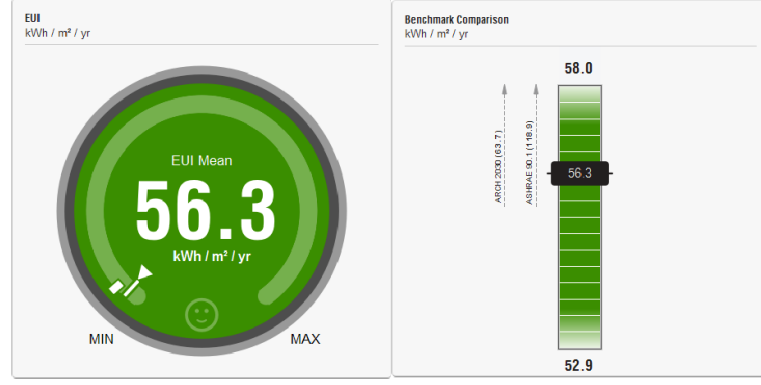
- HVAC Sistemi: Ashrae90.1-2010 standardında ısı pompası (Ashrae Package Terminal Heat Pump)
- Priz Yüklerinin Güç Yoğunluğu: 5,78 W/ m²
- Ortalama Aydınlatma Güç Yoğunluğu: 3.23 W/ m²
- Gün Işığı ve Aydınlatma Otomasyon Sistemleri: Oturum kontrolü ve gün ışığı kontrolü var (da/oc auto)
- İnfiltrasyon Oranı (değeri): 0,17 Ach

PV güneş panellerine ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- Güneş Paneli Verimliliği: 20.4%
- Sistemin Geri Ödeme Süresi: 20 yıl
- Güneş Paneli Yüzey Alanı: 0%-60% aralığında

Araştırmacı tarafından, referans bina ve alternatiflerin incelenmesiyle, enerji etkin değişkenlerin kullanıcı konforu düşünülerek ayarlandığı Insight simülasyonuna (Şekil 4.31) göre:

“Önerilen Bina” (S-2.5) senaryosundan elde edilen sonuç: **56,27 kWh/ m²/yıl**

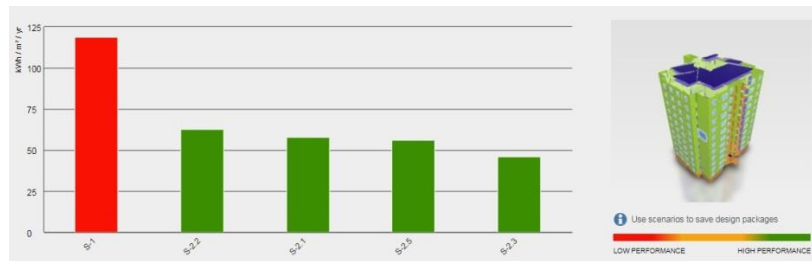


Şekil 4.31: S-2.5 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.

4.5.3 Senaryo-1 “Referans Bina” ve senaryo-2 alternatiflerinin karşılaştırılması

GBS analizleri daha detaylı sonuçlar ortaya koyduğu için çalışmanın içinde ilgili değerlere yer verilmiştir ancak karşılaştırma amacıyla kullanılan sonuçlar Insight simülasyon programına aittir. Insight ara yüzünde, referans bina modeline ait enerji analizi ve alternatif senaryoların karşılaştırmalı sonuçlarını görmek mümkündür. Aşağıda Şekil 4.32: Insight S-1 ve S-2 karşılaştırmalarında görüldüğü üzere, enerji etkinlik açısından en düşük değere dolayısıyla en yüksek enerji kayıplarına sahip olan sonuç, S-1 “Referans Bina” senaryosudur. Çalışmada referans binanın enerji etkinliğinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

S-2 grubu senaryoları sayısal sonuç olarak yüksek enerji tüketiminden düşük enerji tüketimi değerlerindeki sonuçlara doğru sıralandığında, en kötü sonucun S-2.2 “Arch 2030 Hedefini Sağlayan Alternatif”, en iyi sonucun S-2.3 “Net Sıfır Değerini Sağlayan Alternatif” olduğu, S-2.5 “Önerilen Bina” senaryosunun ikinci sırada bulunduğu, sonra S-2.1 “GBS En Düşük Enerji Tüketimi Veren Alternatif” geldiği görülmektedir.



Şekil 4.32: Insight ara yüzünde S-1 ve S-2 alternatiflerinin yıllık enerji tüketimleri açısından karşılaştırması.

4.6. Referans Yapının Tasarımında Değişiklikler Yapılarak Elde Edilen Alternatif Tasarıma Sahip Yapının YBM İle Enerji Etkin Geliştirme (İyileştirme) Çalışması

Referans yapının tasarımında değişiklikler yapılarak elde edilen alternatif tasarıma sahip yapının YBM ile enerji etkin geliştirme (iyileştirme) çalışması kapsamında, YBM programı içerisinde mevcut yapıda tasarımsal değişiklikler yapılarak enerji analizleri sonucunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu model “alternatif tasarım modeli” olarak adlandırılmıştır.

Alternatif tasarım modeli ile referans yapı ve alternatifleri arasında sağlıklı karşılaştırma yapabilmek için, yapı üzerinde yapılan değişiklikler, uygulanabilir özelliklerle sınırlı tutulmuştur. Bu modelde enerji etkinliğinin artırılmasının yanı sıra kullanıcı konforu ve sağlığı da göz önünde bulundurulmuştur. Alternatif tasarım modelinde cephede değişiklikler yapılmıştır. Bu kapsamda yönler göre duvar yalıtımları, pencere yerleşimleri, pencere boyutlarında değişiklikler yapılmış, gölgeleme elemanları ve ışık rafı elemanları eklenmiştir.

Alternatif tasarım modelinde değişiklik yapılan cepheye ilişkin yapı elemanları özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Duvarlar – Dış havaya açık: DD1-2TAS Kuzey, DD1-2TAS, DD2- 2TAS duvarları
- Pencereleler – Dış havaya açık: Kuzey Salon, Kuzey Mutfak, Güney Salon, Güney Mutfak, Güney Oda, Güney Işık Rafı Oda ve Doğu/Batı Oda Pencereleleri,

Cepheyi ilişkin yapı elemanlarının yalıtımlarında yapılan değişiklikler olarak güney, doğu ve batı cephelerine bakan, var olan yapıda “DD1” kodlu, pencereli dış duvarların yalıtımına 3cm’lik taş yünü eklenerek duvar ismi “DD1 2TAS” olarak sisteme kaydedilmiştir. Kuzey cephesine bakan pencereli dış duvarlara (DD1), 7cm’lik taş yünü yalıtım eklenerek “DD1 2TAS Kuzey” ismini almıştır. “DD2” ismindeki, kuzey cephesine bakan, penceresiz köşe duvarlarına 3cm’lik taş yünü yalıtım eklenmiştir ve ismi “DD2 2TAS” olmuştur. Alternatif tasarım Bina modelinde kullanılan yapı elemanlarının isimleri, kesitleri ve yalıtım değerlerine ilişkin bilgiler tablo halinde EK-A (Çizelge A.2: Alternatif tasarım binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının detayları.) kısmında verilmiştir.

Alternatif tasarım modelinde pencere yerleşimlerinde yapılan değişiklikler Şekil 4.34’de gösterilmektedir.

Referans binanın yapı tasarımında olduğu gibi pencereler de tamamen simetrik biçimde konumlandırılmıştır. 4 adet oda penceresi doğu ve batıya, 1 oda, salon ve mutfak pencereleri ise güney ve kuzeye bakmaktadır. Doğü ve batı cephelerine bakan yatak odalarının pencerelerini konumlandırmak için herhangi bir yön alternatifi bulunmamaktadır. Kuzey cephesine bakan yatak odalarının pencereleri simetrik olarak doğu ve batı cephelerine alınmıştır. Güneye bakan yatak odalarının pencere konumu değiştirilmemiştir.

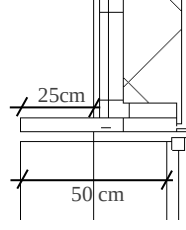
Güney, doğu ve batı cephelerine açılabilir pencerelerin üst kısmına enleri boyunca uzanan, ışık raflı sabit camlı pencere elemanları eklenmiştir. Güney doğu ve güney batı köşelerinde bulunup, tek penceresi doğuya veya batıya bakan yatak odalarının güneye bakan duvar cephelerine, ışık raflı pencereler eklenmiştir. Bu amaçla yapı bilgi modelleme programı kütüphanesinde bulunan ışık raflı pencere objesi kullanılmıştır.

Kuzey haricindeki tüm yönlerde Pencere/Duvar oranı yükseltilerek, güney öncelikli olmak üzere 3 yönde de gün ışığı kullanımı arttırılmıştır. Güney, doğu ve batı cephelerinde çift ısı cam (low-e) kullanılırken, kuzey cephesinde ısı yalıtımı (low-e) özellikli üçlü cam pencereler kullanılmıştır.

4.6.1 Pencere gölgeleme elemanları ve ışık raflarının eklenmesi

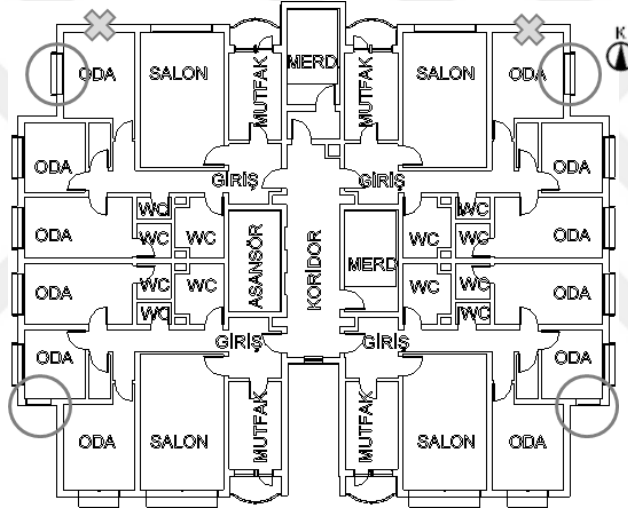
Aşırı ısınmaya engel olmak için dik açıyla gelen yaz güneşini engelleyen ancak eğik açılı kış güneşinin ısıtma potansiyelinden faydalanan gölgeleme ve ışık rafı elemanları tasarlanmıştır. Güney, doğu ve batı cephesindeki pencerelerde, pencerenin üst kısmında, 205 cm yükseklik seviyesine, açılabilir pencere eni boyunca uzanan ışık raflı pencereler ve gölgeleme elemanları yerleştirilmiştir. Işık rafı YBM programı içerisinde bulunabilen veya dışarıdan yüklenebilen bir objedir. Kuzey cephesinde ışık rafı veya gölgeleme elemanı kullanılmamıştır.

Doğu ve batı cephelerinde 25 cm derinliğinde düşey gölgeleme elemanları (Şekil 4.33) oluşturulmuş ve pencerelerin iki yanına yerleştirilmiştir. Düşey gölgeleme elemanları tüm katlarda pencerelerin iki yanında boylu boyunca devam etmektedir. Güney cephesinde, ışık raflarının altında 50cm derinlikte yatay gölgeleme elemanları bulunmaktadır.



Şekil 4.33: Alternatif tasarım bina düşey ve yatay gölgeleme elemanları detay planı.

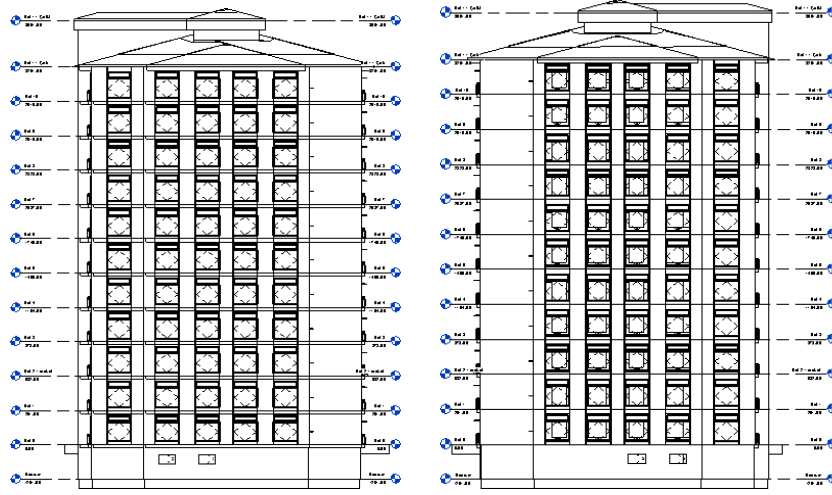
Şekiller 4.36-4.39 Alternatif tasarım modeline ilişkin değişiklikleri göstermektedir. Şekil 4.34, değişikliklerin işaretlenmiş olduğu alternatif tasarım modeli için yapı ara kat planını, Şekil 4.35, değişiklik yapılan güney ve kuzey cephelerini, Şekil 4.36, batı ve doğu cephelerini, Şekil 4.37, alternatif tasarım modeline ilişkin YBM görsellerini vermektedir.



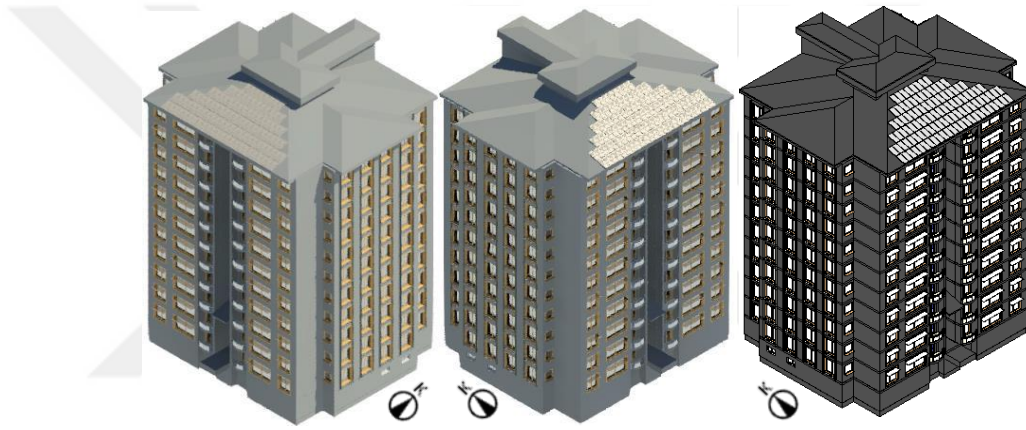
Şekil 4.34: Alternatif tasarım bina değişiklikleri işaretlenmiş ara kat planı.



Şekil 4.35: Alternatif tasarım modeli güney ve kuzey cepheleri.



Şekil 4.36: Alternatif tasarım modeli batı ve doğu cepheleri.



Şekil 4.37: Alternatif tasarım modeli YBM görselleri.

4.6.2 Alternatif tasarım bina enerji modeli

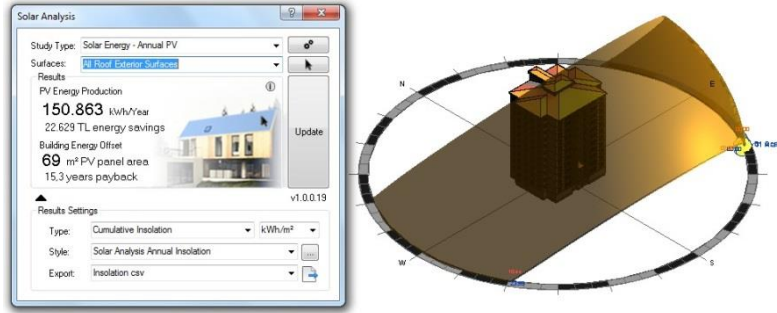
Alternatif tasarım modelinin enerji analizine gönderilebilmesi için YBM programı içerisinde enerji modeli oluşturulmuştur. Analiz değişkenleri kontrol edilmiş, “Alternatif tasarım modeli” enerji modeli Insight programına aktarılmıştır.

Oluşan enerji modelinde, yapı bilgi modelinden farklı bir durum ortaya çıkmıştır. Doğu ve batı cephelerinin pencereleri tam olarak aynı modellenmesine rağmen, saydamlık oranı hesaplarında %6’lık farklılık göstermişlerdir. Bu durum, simülasyondaki enerji hesaplamalarının sonuçlarına %1’den az hata payı olarak yansımaktadır.

4.6.2.1 Alternatif tasarım modeli ile güneş enerjisinden yararlanma

Alternatif tasarım bina modelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından güneşi kullanarak enerji üretme potansiyelini belirlemek için güneşlenme ve güneş paneli

analizleri yapılmıştır. Bu analizlere ilişkin seçenekler, Analiz sekmesinde, Insight yazılımının Revit'e eklendiği kısım içerisinde “Solar” ismiyle bulunmaktadır. Güneş analizi çeşitlerinde, tüm çatı alanlarını veya kütle yüzeylerini seçmek mümkündür. Bu çalışma için tüm çatı alanları seçilmiştir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38: YBM programı güneş analizi ara yüz sekmesi ve görseli.

Güneş enerjisi analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.

- Güneş paneli sisteminin enerji üretimi 150.863 kWh/yıl
- Güneş paneline (PV) uygun alan: 69 m² (760 m²'lik toplam çatı alanından)
- Güneş Paneli Sisteminin Geri Ödeme Süresi: 15,3 yıl

Alternatif tasarım bina yapı bilgi modelinden elde edilen sonuçlara (Şekil 4.39) göre, bina çatısındaki 760 m²'lik alanda, güneş panellerinin kendi maliyetlerini yaklaşık 15 yılda geri döndüreceği, gün ışığı alımının panel verimi için yeterli yükseklikte olduğu 69 m²'lik alan bulunmaktadır. Bu alanın güneşlenmenin yüksek olduğu güney cephesinde yoğunlaşmış olduğu analiz görsellerinde ortaya koyulmaktadır.

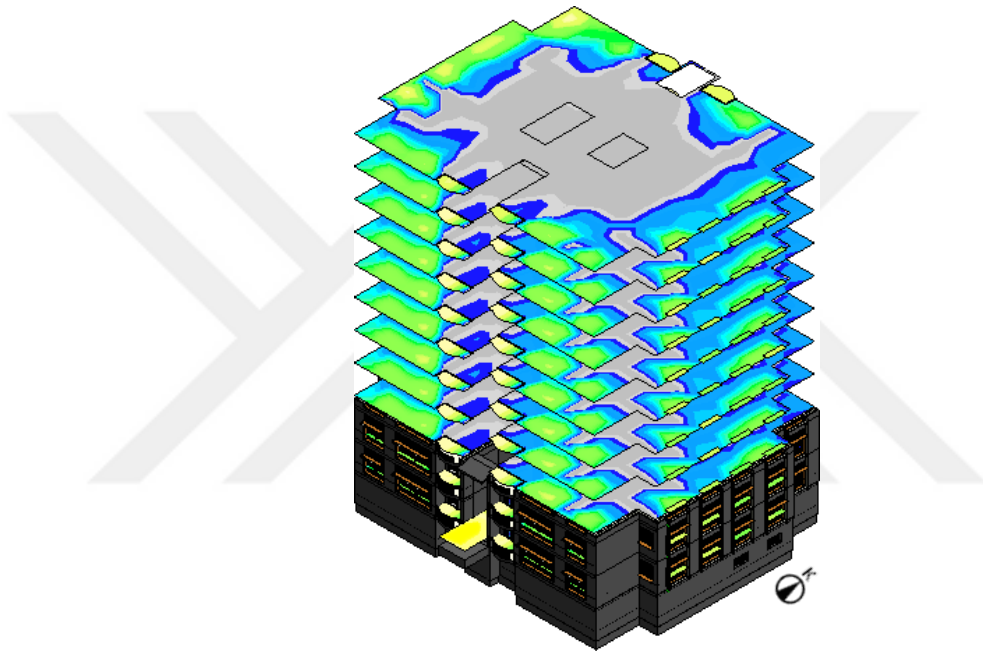


Şekil 4.39: Alternatif tasarım bina güneş enerjisi analizi görselleri, soldan sağa: toplam güneşlenme (gelen güneş ışınlamı/insolation), sistemin geri ödeme süresi, PV panellerin yerleştirilebileceği alanların etkinlik düzeyleri.

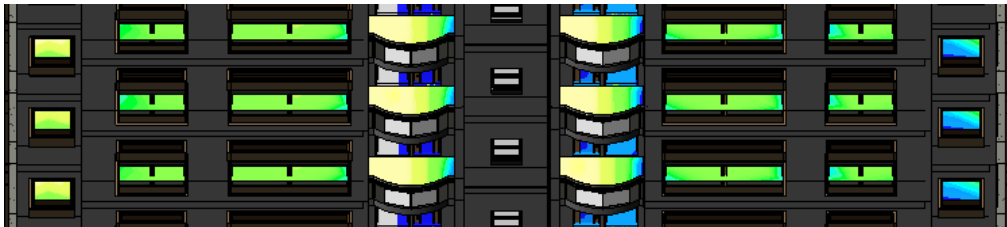
4.6.2.2 Alternatif tasarım bina modelinde gün ışığı analizi

Gün ışığı analizi 21 Aralık tarihinde 09.00 ve 15.00 saatleri ile 21 Haziran tarihinde 09.00 ve 15.00 saatleri için yapılmıştır.

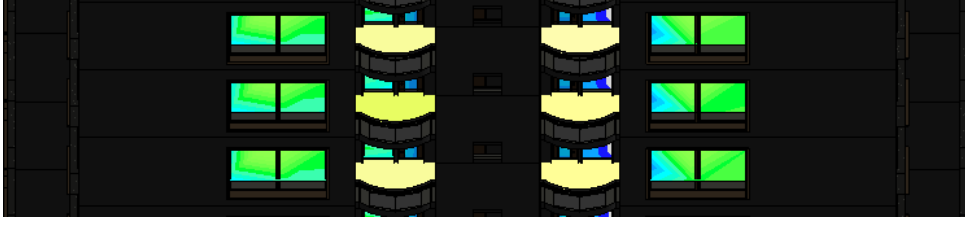
Şekil 4.40 alternatif tasarım modelinde gün ışığı analizini vermektedir. Yönlere göre güneşin farklı etkileri cephe elemanlarında (Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44, Şekil 4.45) ve planlarda (Şekil 4.46, Şekil 4.47, Şekil 4.48, Şekil 4.49) görülebilmektedir. Planlarda güney, doğu ve batı cephelerindeki ışık rafı elemanlarından yansıyan gün ışığının iç mekândaki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.40: YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım modeli, 21 Haziran, saat 15.00 gün ışığı analizi görseli.



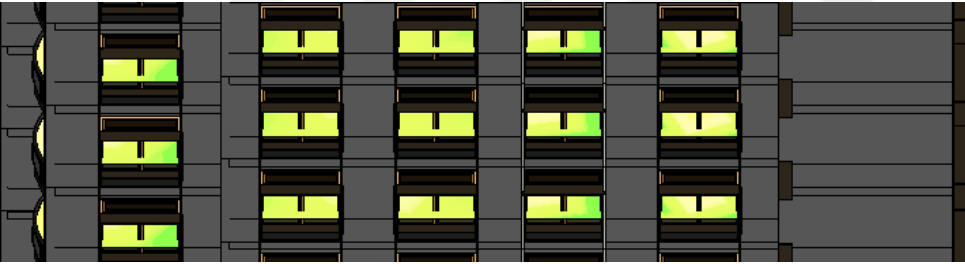
Şekil 4.41: YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım bina güney cephesi, 21 Haziran, saat 15.00.



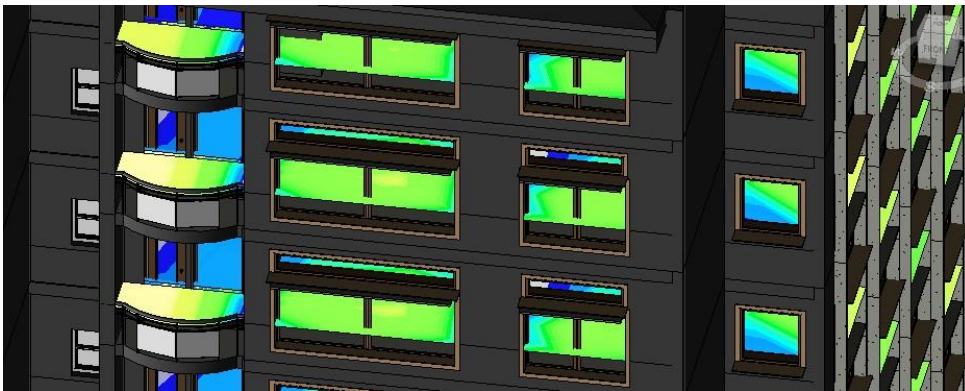
Şekil 4.42: YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım bina kuzey cephesi, 21 Haziran, saat 15.00 gün ışığı analizi görseli.



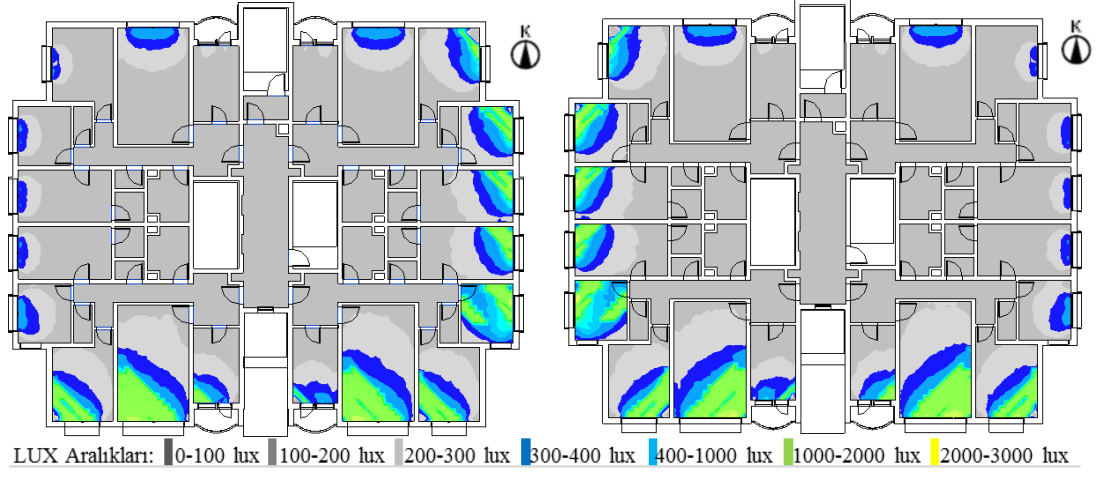
Şekil 4.43: YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım bina, doğu cephesi, 21 Haziran, saat 15.00 gün ışığı analizi görseli.



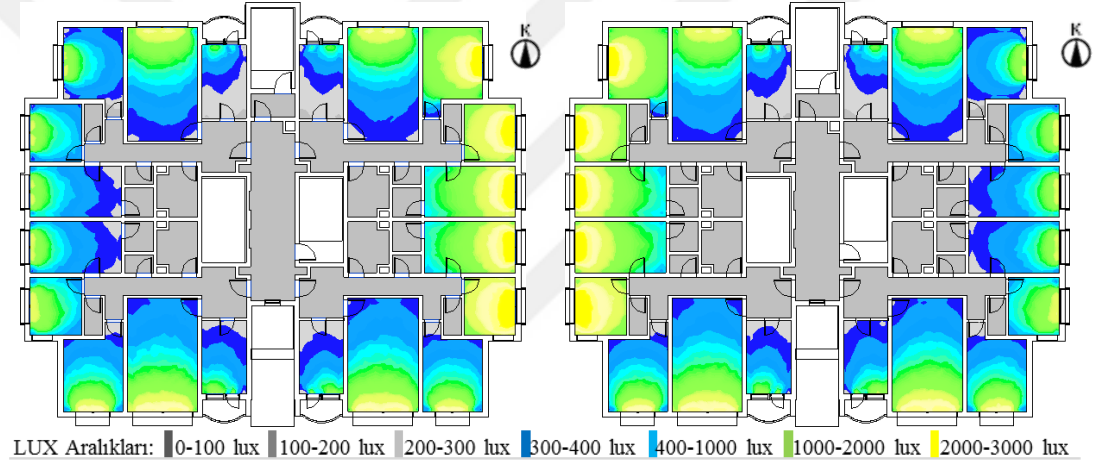
Şekil 4.44: YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım bina batı cephesi, 21 Haziran, saat 15.00 gün ışığı analizi görseli.



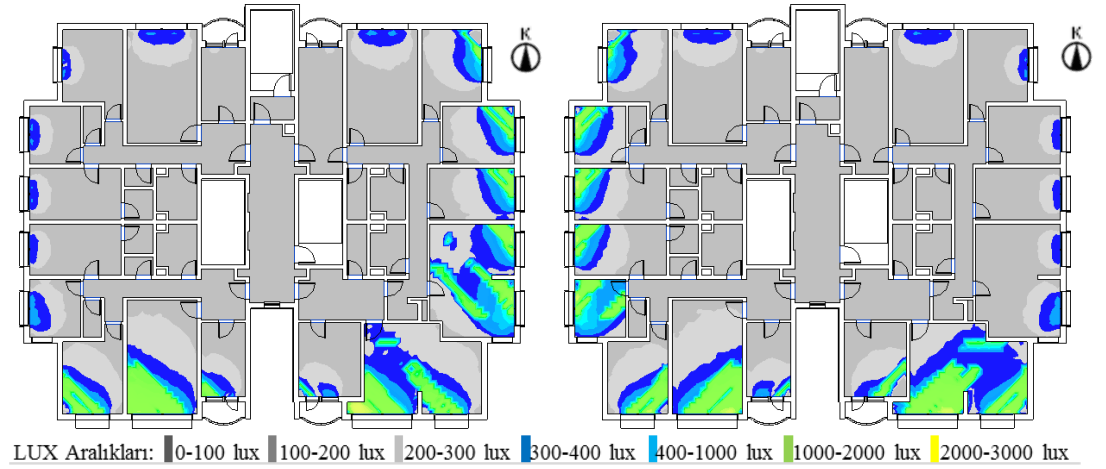
Şekil 4.45: YBM programı ara yüzünde: Alternatif tasarım bina güney/doğu cephesi, 21 Haziran, saat 15.00 gün ışığı analizi görseli.



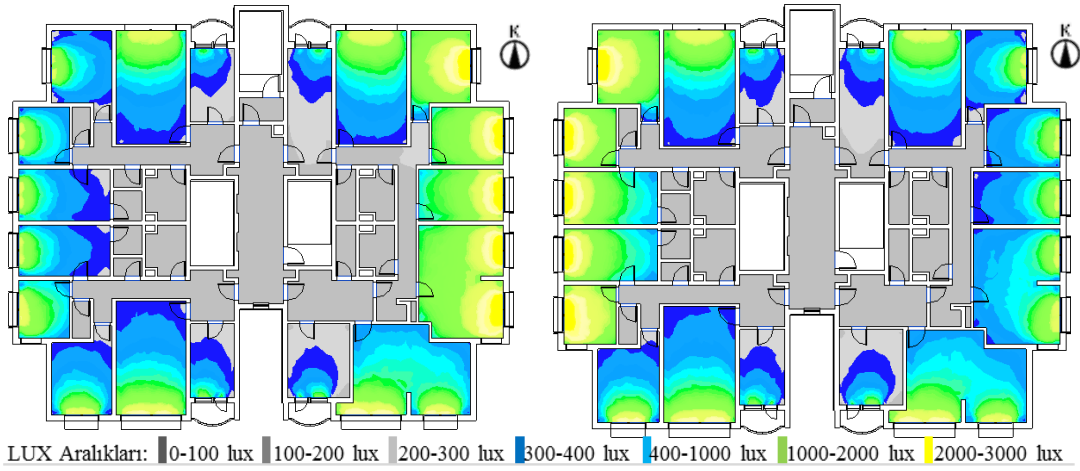
Şekil 4.46: Alternatif tasarım bina kat-2 planı, 21 Aralık saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı



Şekil 4.47: Alternatif tasarım bina kat-2 planı, 21 Haziran saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı



Şekil 4.48: Alternatif tasarım bina kat-10 planı, 21 Aralık saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı



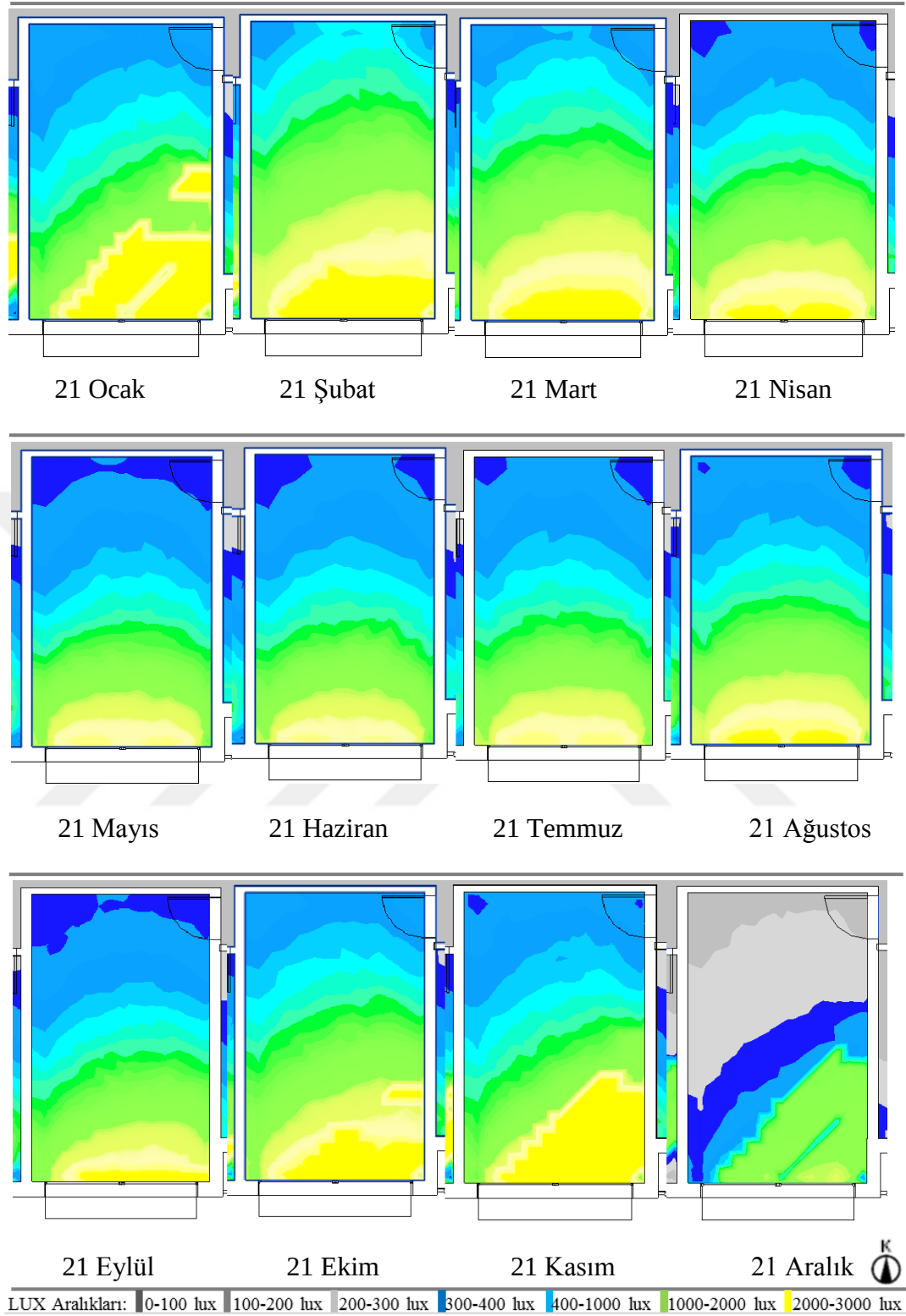
Şekil 4.49: Alternatif tasarım bina kat-10 planı, 21 Haziran saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı.

Gün ışığı alımı analizine göre tüm katlarda, 21 Aralık tarihinde, saat 09.00 ve 15.00'da, alternatif tasarım bina kat taban alanının %89'u 300 lux alt eşik değerinin altında kalmaktadır ve yeterince aydınlanmamaktadır. Yeterli aydınlanmaya ulaşan alan %11'dir.

21 Haziran tarihinde, saat 09.00'da alternatif tasarım bina kat taban alanının %45'i 300 lux alt eşik değerinin altında kalmaktadır. Yeterli aydınlanmaya ulaşan alan %54'tür. Saat 15.00'da ise alternatif tasarım bina kat taban alanının %44'ü 300 lux alt eşik değerinin altında kalmaktadır. Yeterli aydınlanmaya ulaşan alan %56'dur.

Referans binada, kuzey yönünde olan birer oda pencerelerinin doğu ve batı cephelerine alınmasının ve güney-doğu ve güney-batı köşelerinde bulunan odalara, güney yönünde ışık raflı pencere eklentisi yapılmasının doğal aydınlanmada etkinliği arttırdığı görülmektedir.

Alternatif tasarım bina modelinde uygulanan cephe değişikliklerinden özellikle, eklenen ışık raflarının etkisinin görülebilmesi için 2. Kat planında, güney yönündeki salon mekânının yıl boyunca gün ışığı dağılımı karşılaştırılmıştır. Her ayın 21'i için yapılan yıllık analizlerin sonuçları Şekil 4.50'de verilmiştir.



Şekil 4.50: Alternatif tasarım modeli 2.kat planı, güney yönündeki salonda, yıl boyunca her ayın 21'i saat 15.00'de gün ışığı dağılımı

Pencere alanının büyümesi ile salonun yıl boyunca gün ışığı alımı düzeyleri artmıştır. Işık rafları, kış aylarında iç mekândaki aydınlık düzeyini arttırmaktadır. Etkisi

özellikle, ekim, kasım, aralık ve ocak aylarında görülmektedir. Yaz aylarında ise ışıık düzeyinin rahatsız edici seviyelere yükselmediğı görülmüştür. Alternatif tasarım bina modelindeki cephe değışikliklerinin etkileri, senaryoların enerji analizlerindeki aydınlatma, ısıtma, soğutma ve havalandırma yüklerinin incelenmesi ile net bir biçimde ortaya konmuştur.

4.7 Geliştirilen Alternatif Tasarım modelinin Yapı Bilgi Modeli Üzerinde Enerji Etkin Geliştirme Çalışması

Bu adımda alternatif tasarım modelinin enerji etkin geliştirilmesi ele alınan senaryolara bağılı olarak açıklanmıştır. Çalışmanın üçüncü aşamasında yapının enerji etkinliğini geliştirmek için YBM yazılımı içerisindeki modelde tasarımsal değışiklikler yapılması yöntemi uygulanmıştır.

4.7.1 Senaryo-3 (S-3)

Enerji etkinliğı geliştirme amaçlı tasarım parametreleri değışiklikleri, yönlere ve iklime dayanan enerji stratejileri göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Bu senaryonun elde edildiğı model “Alternatif tasarım modeli” isimli yapı bilgi modelidir.

4.7.1.1 Senaryo-3 (S-3) “Tasarım Parametrelerine İlişkin Değışkenlerin Değıerlendirildiğı Alternatif”

YBM ile enerji etkin geliştirme (iyileştirme) çalışması kapsamında, alternatif tasarıma sahip yapı modeli, referans bina modeli üzerinden değışiklikler ile hazırlanmış ve kullanıcı kararları ön planda tutularak, Senaryo-3 (S-3) “Tasarım Parametrelerine İlişkin Değışkenlerin Değıerlendirildiğı Alternatif” senaryosu elde edilmiştir.

4.7.1.2 Senaryo-3 (S-3) “Tasarım Parametrelerine İlişkin Değışkenlerin Değıerlendirildiğı Alternatif” enerji analizleri

Tasarım parametrelerine ilişkin değışkenlerin üzerinde çalışılan yapı bilgi modelinden oluşturulan enerji modeli Revit içerisinde tamamlandıktan sonra enerji analizi için simülasyon yazılımları GBS ve Insight’a aktarılmıştır.

S-3 “Tasarım Parametrelerine İlişkin Değişkenlerin Değerlendirildiği Alternatif” Green building studio analizleri

S-3 “Tasarım Parametrelerine İlişkin Değişkenlerin Değerlendirildiği Alternatif” senaryosu, Revit ve GBS, bina performansı değişkenleri aşağıdaki gibidir.

- Taban alanı: 5,659 m²
- Dış duvar alanı: 2,950 m²
- Kişi sayısı: 134
- Duvar/pencere oranı: 0.43
- Ortalama aydınlatma güç yoğunluğu (ave. LPD): 7,53 W/ m²
- Ortalama ekipman güç yoğunluğu (ave. EPD): 10,71 W/ m²

Binanın YBM programında değiştirilmiş yapı bilgi modeline göre, S-3 “Tasarım Parametrelerine İlişkin Değişkenlerin Değerlendirildiği Alternatif” GBS senaryosunun enerji harcamalarına ilişkin bilgiler aşağıdaki gibidir.

Genel enerji kullanımları ile ilgili sonuçlar.

- Toplam EUI (Enerji Kullanım Yoğunluğu): **156.4** kWh/ m²/yıl
- Yıllık Yakıt Tüketimi: 285.537 kWh
- Yıllık Elektrik Tüketimi: 495.263 kWh
- Yıllık CO2 Emisyonu: (yerinde) Yakıt: 51,3 Mg

Yaşam döngüsü boyunca enerji kullanımları ile ilgili sonuçlar.

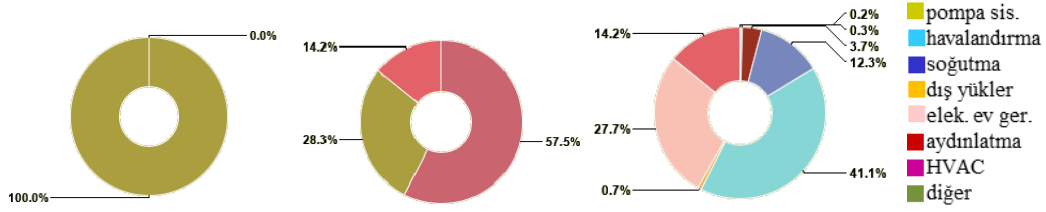
- Elektrik Enerjisi Kullanımı: 14.857.887 kWh
- Yakıt Kullanımı: 8.566.117 kWh

Yenilenebilir Enerji Potansiyeli

- Çatıya monte PV sistemi %15 verim: 61,045 kWh/yıl
- Tek 15’ Rüzgâr Tribünü potansiyeli: 2,154 kWh/yıl

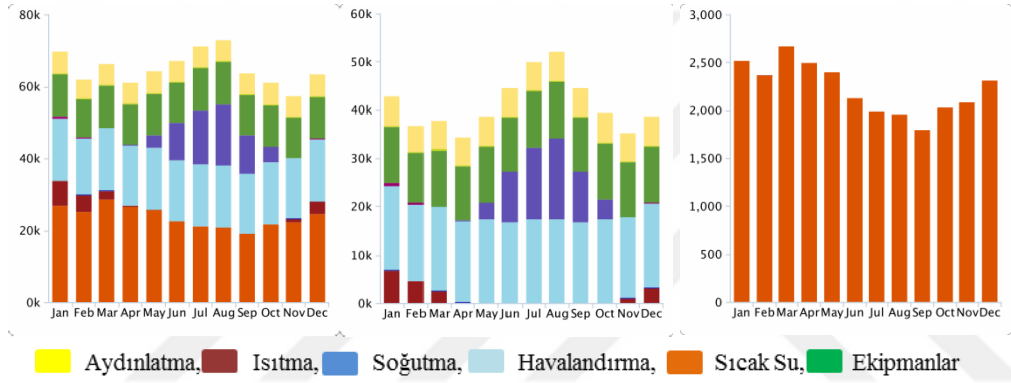
Yıl boyunca tüketilen toplam enerjinin, yakıt ve elektrik kategorilerinde hangi alanlarda kullanıldığını gösteren dairesel grafiklere (Şekil 4.51) göre: Yıllık yakıtın: %100’lük kısmı sıcak su için tüketilmektedir. Isı pompası ile ısıtma için ayrıca yakıt harcanmasına gerek bulunmamaktadır. Yıllık elektriğin: %41,1’lik kısmı

havalandırma, %27,7'lük kısmı ekipmanlar, %14,2'lik kısmı aydınlatma, %12,3'lük kısmı soğutma, %3,7'lik kısmı ısıtma, %0,7'lik kısmı dış yükler, %0,3'lik kısmı ısı pompası, %0,2'lük kısmı pompa ve sistemleri için tüketilmektedir.



Şekil 4.51: S-3 senaryosu yıllık yakıt ve elektrik tüketimi paylaşımı grafikleri.

Şekil 4.52 S-3 senaryosu için aylık toplam enerji tüketimlerini vermektedir.



Şekil 4.52: S-3 senaryosu aylık toplam enerji tüketimi (kwh), aylık toplam elektrik tüketimi (kwh), aylık toplam yakıt/gaz tüketimi (m3) grafikleri.

S-3 “Tasarım Parametrelerine İlişkin Değişkenlerin Değerlendirildiği Alternatif” Insight analizleri

S-3 “Tasarım Parametrelerine İlişkin Değişkenlerin Değerlendirildiği Alternatif” senaryosunun Insight enerji analizi değişkenleri aşağıdaki gibidir.

Yapı Elemanları

- Çatı Elemanı: Kırmı Çatı Tavan (yalıtım: $U=0.38 \text{ W/ m}^2\text{K}$) (yaklaşık simülasyon karşılığı R19 yalıtım) (Referans Bina değeri)
- Duvar Elemanları:
 - Kuzey Duvarı: DD1-2TAS Kuzey ($U=0.26 \text{ W/ m}^2\text{K}$)
 - Güney/Doğu/Batı Duvarı: DD1-2TAS ($U=0.36 \text{ W/ m}^2\text{K}$), DD2-2TAS ($U=0.47 \text{ W/ m}^2\text{K}$)

– Pencere Elemanları:

Kuzey Pencereleleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 26%
- Gölgeleme Elemanı: Yok
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam

Güney Pencereleleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 44%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere eni boyutunda, pencerenin 200cm yüksekliğinde, yatay 50cm derinlikte gölgeleme elemanı
- Cam ve Doğrama: Çift Isı Cam

Doğu Pencereleleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 26% (Alternatif tasarım bina değeri %32)
- Gölgeleme Elemanı: Kat boyunca, pencerenin iki yanında düşey, 25cm derinlikte gölgeleme elemanı
- Cam ve Doğrama: Çift Isı Cam

Batı Pencereleleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): %32
- Gölgeleme Elemanı: Kat boyunca, pencerenin iki yanında düşey, 25cm derinlikte gölgeleme elemanı
- Cam ve Doğrama: Çift Isı Cam

Yükler ve sistemlere ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- HVAC Sistemi: Ashrae90.1-2010 standardında ısı pompası (Ashrae Package Terminal Heat Pump)
- Priz Yüklerinin Güç Yoğunluğu: 10.76 W/ m²
- Ortalama Aydınlatma Güç Yoğunluğu: 7.75W/ m²
- Gün Işığı ve Aydınlatma Otomasyon Sistemleri: Yok

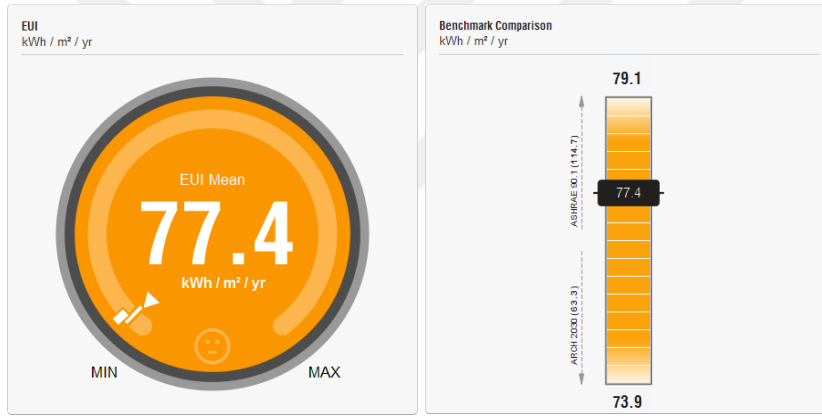
- İnfiltasyon Oranı (değeri): 0,4 Ach- 0,17 Ach aralığında

PV güneş panellerine ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- Güneş Paneli Verimliliği: 20,4%
- Sistemin Geri Ödeme Süresi: 20 yıl
- Güneş Paneli Yüzey Alanı: 0%-60% aralığında

Tasarlanmış binanın YBM programından değişikliğe uğratılmadan aktarıldığı ve yapı bilgi modelindeki tasarımsal değişikliklerin enerji etkinlik üzerindeki etkisini göstermeyi amaçlayan analiz sonucunu ortaya koyan Insight simülasyonuna (Şekil 4.53) göre:

“Tasarım Parametrelerine İlişkin Değişkenlerin Değerlendirildiği Alternatif” (S-3) senaryosundan elde edilen sonuç: **77,4 kWh/ m²/yıl**



Şekil 4.53: S-3 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.

Tasarımsal değişikliklerle elde edilen değer, referans binanın enerji değerlerine (S-1) göre daha verimli bir sonuç ortaya koymuştur. Ancak referans binanın geliştirilmiş alternatiflerinden daha yüksek bir sayısal değer çıkması nedeniyle, yapı bilgi modeli sonrasında enerji analizi simülasyonu ile geliştirilmiş bir alternatif daha oluşturulmuştur.

4.7.2 Senaryo-4 (S-4)

Son senaryoda, doğrudan yapı bilgi modelleme programından alınmış alternatif tasarım modelin enerji etkinliğinin yükseltilmesi için analiz yazılımında programın önerdiği ve tasarıma uygun geliştirmeler yapılmıştır.

4.7.2.1 Senaryo-4 (S-4) “İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina”

Bu senaryonun amacı hem YBM yazılımı hem enerji analiz programının birlikte kullanılması durumunda elde edilecek sonuçları görmek ve karşılaştırmaktır.

4.7.2.2 Senaryo-4 (S-4) “İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina” enerji analizleri

Yapı bilgi modelleme programında hazırlanmış “Alternatif Tasarım Modeli” ile enerji etkinliğin geliştirilmesi için Insight yazılımı kullanılmıştır. Böylelikle enerji etkin tasarım parametrelerine sahip modelin, simülasyon yazılımı ile birlikte hangi düzeyde enerji etkin geliştirilebileceği (iyileştirilebileceği) incelenmiştir.

S-4 “İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina” Insight analizi

“S-4 “İyileştirilmiş alternatif tasarım bina” senaryosunun Insight enerji analizi değişkenleri aşağıdaki gibidir.

Yapı elemanlarına ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- Çatı Elemanı: Kırmı Çatı Tavan (yalıtım: $U=0.38 \text{ W/ m}^2\text{K}$)
- Duvar Elemanları: Kuzey/Güney/Doğu/Batı Duvarı: R38 yalıtım
- Pencere Elemanları:

Kuzey Pencereleleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 26% (Alternatif tasarım bina değeri)
- Gölgeleme Elemanı: Yok (Alternatif tasarım bina Değeri)
- Cam ve Doğrama: Üçlü Isı Cam ($U=1.53 \text{ W/ m}^2\text{K}$) (Alternatif tasarım bina değeri)

Güney Pencereleleri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 44%
- Gölgeleme Elemanı: Pencere eni boyutunda, pencerenin 200cm yüksekliğinde, yatay 50cm derinlikte gölgeleme elemanı ve pencere yüksekliğinin 1/3 katı kadar derinlikte (1/3 Win. Ht.) yatay gölgeleme elemanı
- Cam ve Doğrama: Çift Isı Cam ($U=1.53 \text{ W/ m}^2\text{K}$)

Doğu Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): 26% (Alternatif tasarım bina değeri %32)
- Gölgeleme Elemanı: Kat boyunca, pencerenin iki yanında düşey, 25cm derinlikte gölgeleme elemanı
- Cam ve Doğrama: İkili Isı Cam ($U=1.53 \text{ W/ m}^2\text{K}$) (Alternatif tasarım bina değeri)

Batı Pencereleeri:

- Pencere/Duvar Oranı (PDO/WWR): %32 (Alternatif tasarım bina değeri)
- Gölgeleme Elemanı: Kat boyunca, pencerenin iki yanında düşey, 25cm derinlikte gölgeleme elemanı ve pencere yüksekliğinin 2/3 katı kadar derinlikte (2/3 Win. Ht.) yatay gölgeleme elemanı
- Cam ve Doğrama: İkili Isı Cam ($U=1.53 \text{ W/ m}^2\text{K}$) (Alternatif tasarım bina değeri)

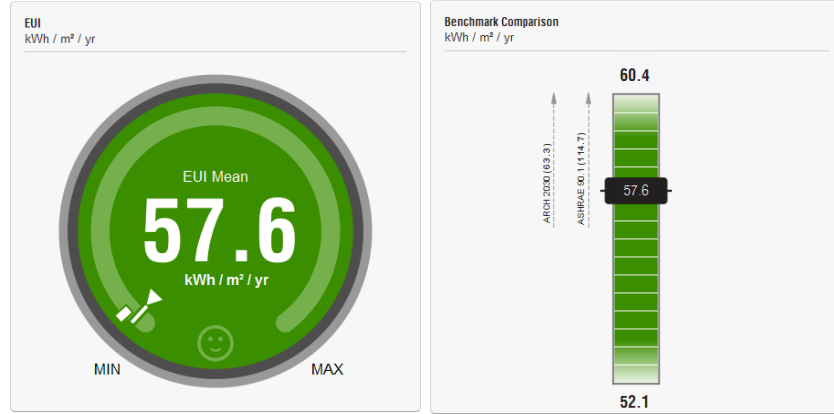
Yükler ve sistemlere ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- HVAC Sistemi: Ashrae90.1-2010 standardında ısı pompası (Ashrae Package Terminal Heat Pump)
- Priz Yüklerinin Güç Yoğunluğu: 6.46 W/ m^2
- Ortalama Aydınlatma Güç Yoğunluğu: 3.23 W/ m^2
- Gün Işığı ve Aydınlatma Otomasyon Sistemleri: Oturum kontrolü ve gün ışığı kontrolü var (da/oc auto)
- İnfiltrasyon Oranı (değeri): 0,17 Ach

PV güneş panellerine ilişkin değişkenler aşağıda bulunmaktadır.

- Güneş Paneli Verimliliği: 18,6%
- Sistemin Geri Ödeme Süresi: 20 yıl
- Güneş Paneli Yüzey Alanı: 0%-60% aralığında

“İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina” (S-4) senaryosundan elde edilen sonuç şekil 4.54’da verilmiştir ve 57,6 kWh/ m²/yıl şeklindedir.

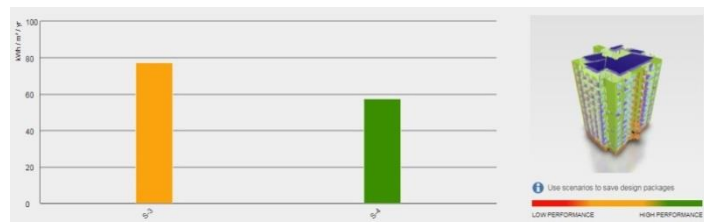


Şekil 4.54: S-4 Insight simülasyonundan sonuç görselleri.

4.7.3 Senaryo-3 “Tasarım Parametrelerine İlişkin Değişkenlerin Değerlendirildiği Alternatif” ve senaryo-4 “İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina” alternatiflerinin karşılaştırılması

S-4 “İyileştirilmiş alternatif tasarım bina” alternatifinin enerji etkinliği YBM ile geliştirildikten sonra simülasyon ile tekrar geliştirerek alternatif tasarım modelinin olabilecek en enerji etkin sonuçlarını ortaya koymuştur.

Şekil 4.55’de Insight S-3 ve S-4 senaryolarının sonuçları karşılaştırılmaktadır. S-4 daha düşük enerji tüketimi sağlamaktadır.



Şekil 4.55: Insight ara yüzünde S-3 ve S-4 alternatiflerinin yıllık enerji tüketimleri açısından karşılaştırması.

4.8 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Simülasyon senaryolarının sonuçlarının karşılaştırılması ile referans binanın ve alternatiflerinin enerji etkinliği değerleri ortaya konmuştur. S-1 ve S-2’ler referans model üzerinde, S-3 ve S-4 alternatif tasarım model üzerinde çalışılmıştır.

Farklı enerji analizi değişkenlerinin denendiği tüm senaryoların simülasyon sonuçları aşağıda Çizelge 4.1: Senaryoların simülasyon sonuçları tablosunda görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.1: Senaryoların simülasyon (EUI/ kwh/m²/yıl) sonuçları

	Senaryolar	EUI Ort.	EUI Top.	Birim
S-1	S-1 Referans Bina	118,9	198,9	kWh/m2/yıl
	GBS En Düşük Enerji			
	S-2.1 Tüketimi Veren Alternatif	58	118,3	kWh/m2/yıl
	S-2.2 Arch 2030 Hedefini Sağlayan Alternatif	62,93	-	kWh/m2/yıl
S-2	S-2.3 Net Sıfır Değerini Sağlayan Alternatif	45,89	-	kWh/m2/yıl
	Ashrae 90.1-2010			
	S-2.4 Standardını Esas Alan Alternatif	118,9	190	kWh/m2/yıl
	S-2.5 Önerilen Bina	56,27	-	kWh/m2/yıl
S-3	S-3 Tasarım Parametrelerine İlişkin Değişkenlerin Değerlendirildiği Alternatif	77,4	156,4	kWh/m2/yıl
S-4	S-4 İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina	57,6	-	kWh/m2/yıl

Sonuçlar karşılaştırıldığında en düşük enerji kullanım yoğunluğu (en düşük enerji tüketimi) sağlayan alternatif S-2.3 senaryosu, en yüksek enerji kullanım yoğunluğu değeri (en yüksek enerji tüketimi) sağlayan alternatif ise S-2.4 senaryosudur.

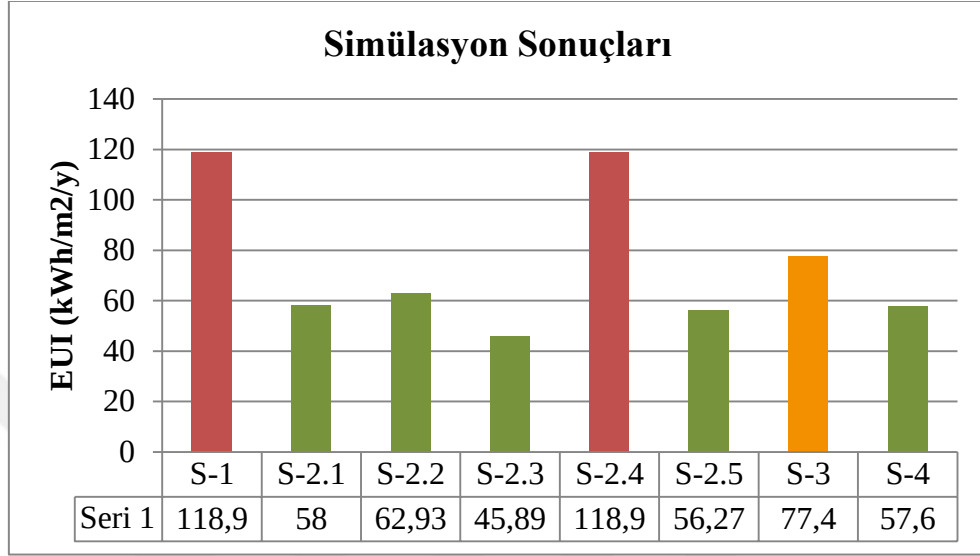
İlk sırada en düşük enerji harcaması ortaya koyan, S-2.3 “Net Sıfır Değerini Sağlayan Alternatif” senaryosu bulunmaktadır. Bu senaryonun değişkenleri net sıfır hedeflerine uygunluğu sağlamak için simülasyon tarafından ayarlanmıştır.

Net sıfır durumu günümüzde bir bina için enerji etkinliğinin üst değerini vermektedir. Diğer hiçbir alternatifin net sıfır değerini sağlayan alternatiften daha enerji etkin sonuçlar vermemiş olması, diğer simülasyonların net sıfır gereksinimlerini karşılamadığını belli etmektedir.

S-2.4 “Ashrae90.1-2010 Standardını Esas Alan Alternatif” ismiyle simülasyon programı tarafından verilen, ölçüt değer senaryosu bulunmaktadır. Ortalama enerji kullanım yoğunlukları (EUI mean) açısından referans bina durumu ile aynı gözükürken

bu senaryonun kWh cinsinden yıllık enerji kullanımı durumuna bakıldığında referans yapıdan daha enerji etkin olduğu görülmektedir.

Şekil 4.56, Simülasyon sonuçlarının grafik sistem olarak karşılaştırılmasını vermektedir.



Şekil 4.56: Senaryoların simülasyon (EUI) sonuçları.

Yapı bilgi modellemesi ve enerji simülasyonu çalışmalarının sonucunda, yapımı tamamlanmış yüksek katlı bir konut yapısının referans durumunun enerji performansının analizi yapılmış ve simülasyon programındaki uygulanabilir değişiklikler ile çeşitli senaryolar oluşturularak, enerji etkinliğin hangi seviyelere yükseltilebileceği gösterilmiştir.

Daha sonra aynı binanın yapı bilgi modelinde, enerji etkinliği amaçlayan dışarıdan uygulanabilir tasarım değişiklikleri yapılmıştır. Alternatif tasarım modeli üzerinde referans model üzerinde uygulanan, gün ışığı alımı ve güneş enerjisi potansiyeli analizleri yapılmıştır.

Oluşan alternatif tasarım modelinin enerji performansı analizi yapılmış ve enerji etkinliği simülasyon programında geliştirilerek iyileştirmelerin sonuçları elde edilmiştir.

Böylelikle hem model üzerinde yapılan değişikliklerin tek başına etkisi hem de enerji simülasyonu değişkenlerinin eklenmesi ile enerji etkinliğin geliştirilme düzeyi, simülasyon çalışmaları sonucunda sayısal olarak ortaya konmuştur.

4.8.1 Enerji analizi değişkenlerinin etkileri

Simölasyon alışmaları için oluşturulan senaryolarda, birbirinden farklı enerji analizi değişkenlerinin etkileri denenmiştir. Referans bina modelinden yapılan senaryolarda, yalnızca enerji simölasyonu yazılımındaki enerji analizi değişkenlerinin etkileri incelenmiştir. Alternatif tasarım modelinden yapılan senaryolarda ise yapı bilgi programındaki tasarımsal değişikliklerin etkileri tek başına ve simölasyon yazılımının katılmasıyla birlikte olmak üzere iki şekilde incelenmiştir.

Her senaryo için toplam enerji tüketiimi değerleri ve aktif sistemlerin yıllık enerji tüketimleri ortaya çıkmaktadır. Böylelikle verilen kararların sonuçları, sayısal olarak değerlendirilebilmektedir.

Toplam enerji tüketiimi ve yıllık enerji tüketiimi karşılaştırılmasının yanı sıra, değişkenlerin tek başına etkisinin ort. EUI değeri üzerindeki etkisi de görölmektedir. Bu özellik, değişkenlerin en etkili oldukları değer aralıklarının belirlenmesine de yardımcı olmaktadır. Ortalama EUI üzerindeki etki, tüm alternatif değerler için yapı bilgi modeli (YBM) değeri ile farkları alınarak hesaplanmaktadır.

Senaryoların simölasyon enerji analizi değişkenlerinin etkilerine ilişkin sonuçlar Ek-A (izelge A.4: Senaryoların simölasyon enerji analizi değişkenlerinin Ort. EUI üzerindeki etkilerine ilişkin sonuçlar.) kısmında gösterilmiştir.

Her bir değişken üzerinde tek tek değişiklik yapılabilmesi ve anında sonuçların görölebilmesi sayesinde, hangi değişkenin daha etkili hangisinin daha az etkili olduğunu yorumlamak mümkündür.

atı yalıtımı önerilerinde görölen en büyük ort. EUI azaltımını, $-0,38 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$ değeri ile süper yüksek yalıtımlı ahşap iskeletli çatı önerisi sağlamıştır.

Duvarların yalıtımı önerilerinde görölen, en büyük ort. EUI azaltımını, $-17,76 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$ değeri ile ahşap iskeletli duvar elemanı önerisi sağlamıştır.

Pencere önerilerinde, Pencere/Duvar oranı, gölgeleme elemanı ve cam yalıtımı bir arada hesaplanmaktadır.

Pencere önerilerinde görölen en büyük ort. EUI azaltımını;

- Güney cephesinde $-2,69 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$ değeri ile Pencere/Duvar oranının %65 olduğu öneri, üçlü ısı cam önerisi ve gölgeleme elemanı derinliğinin pencere yüksekliğinin 3'te 1'i değerinde olduğu öneri,

- Kuzey cephesinde, -2,00 kWh/m²/yıl değeri ile Pencere/Duvar oranının %0 olduğu öneri, süper yalıtımlı üçlü cam önerisi ve gölgeleme elemanı kullanılmaması önerisi,
- Doğu cephesinde, -1,68 kWh/m²/yıl değeri ile Pencere/Duvar oranının %26 olduğu öneri, üçlü ısı cam önerisi ve gölgeleme elemanı derinliğinin pencere yüksekliğinin 3'te 2'si değerinde olduğu öneri,
- Batı cephesinde, -5,42 kWh/ m²/yıl değeri ile Pencere/Duvar oranının %32 olduğu öneri, üçlü ısı cam önerisi ve gölgeleme elemanı derinliğinin pencere yüksekliğinin 3'te 2'si değerinde olduğu öneri sağlamıştır.

4.8.2 Senaryoların enerji tüketimleri açısından karşılaştırılmaları

Senaryoların enerji sonuçlarına ilişkin ayrıntılı çizelge EK-A (Çizelge A.5: Senaryoların enerji yükleri sonuçları ilişkin ayrıntılı çizelge.) kısmında bulunmaktadır.

Çizelge 4.2, yaşam döngüsü boyunca elektrik ve yakıt tüketimleri açısından senaryoların karşılaştırılmasını vermektedir.

Çizelge 4.2: Senaryoların yaşam döngüsü boyunca enerji tüketimi açısından karşılaştırılması.

Senaryo	Yaşam Döngüsü Boyunca Enerji Kullanımları	
	Elektrik Enerjisi Kullanımı (kWh)	Yakıt Enerjisi Kullanımı (kWh)
S-1	9.528.009	21.118.292
S-2.1	8.337.495	9.875.283
S-2.2	-	-
S-2.3	-	-
S-2.4	11.372.157	17.882.355
S-2.5	-	-
S-3	14.857.887	8.566.117
S-4	-	-

Yaşam döngüsü boyunca elektrik tüketiminde en düşük değer, 8.337.495 kWh ile S-2.1 senaryosunda, en yüksek değer ise 14.857.887 kWh ile S-3 senaryosunda ortaya çıkmıştır.

Yaşam döngüsü boyunca yakıt tüketiminde en düşük değer 8.566.117 kWh ile S-3 senaryosunda, en yüksek değer 21.118.292 kWh ile S-1 senaryosunda görülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre mevcut yapının yaşam döngüsü yakıt tüketimi alternatif tasarım modeli ile yarıdan fazla azaltılmıştır

Yıllık toplam enerjisi tüketimleri Çizelge 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.3: Senaryoların yıllık toplam enerji tüketimi sonuçları.

Senaryo	Yıllık Toplam Enerji Kullanımları				
	Enerji (elektrik+yakıt) Kullanımı	Yakıt Enerjisi Kullanımı	Elektrik Enerjisi Kullanımı	CO2 Emisyonu	Yenilenebilir Enerji Potansiyeli
S-1	1.021.543,00	703.943	317.600	126,4	61.004
S-2.1	607.093,00	329.176	277.917	59,1	61.004
S-2.2	-	-	-	-	-
S-2.3	-	-	-	-	-
S-2.4	975.150,00	596.078	379.072	107	61.004
S-2.5	-	-	-	-	-
S-3	780.800,00	285.537	495.263	51,3	61.004
S-4	-	-	-	-	-
Birim	kWh	kWh	kWh	Mg	kWh/yıl

Yıllık toplam enerji tüketimi elektrik ve yakıt tüketimlerinin toplamı olarak hesaplanmıştır. En düşük değer, 607.093,00 kWh ile S-2.1 senaryosuna, en yüksek değer, 1.021.543,00 kWh ile S-1 Referans bina senaryosuna aittir.

Yakıt ve elektrik tüketimi ayrı ayrı incelendiğinde en düşük yakıt değeri, 285.537 kWh ile S-3 senaryosunda, en yüksek değer, 703.943 kWh ile S-1 senaryosundadır.

Elektrik tüketiminde en düşük değer, 277.917 kWh ile S-2.1 senaryosu tarafından sağlanmakta iken, en yüksek değer, 495.263 kWh ile S-3 senaryosu ile sağlanmaktadır.

Senaryoların CO2 emisyonlarına bakıldığında, mevcut bina S-1 senaryosu değeri, 126,4 Mg ile en yüksek değer, S-3 senaryosu 51,3 Mg ile en düşük değer olarak tespit edilmiştir.

Enerji tüketimlerinin yıllık toplamaları; ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma başlıkları altında Çizelge 4.4’de incelenmiştir.

Çizelge 4.4: Senaryoların sağladığı yıllık enerji tüketimi sonuçları.

Yüklere Göre Yıllık Enerji Kullanımları (kWh)						
Senaryo		Isıtma Enerjisi Kullanımı	Soğutma Enerjisi Kullanımı	Havalandırma Fan Enerjisi Kullanımı	Sıcak Su Enerjisi Kullanımı	Aydınlatma Enerjisi Kullanımı
S-1	miktar	347.767	67.780	44.181	329.176	111.395
	oran	37%	7%	4%	32%	11%
S-2.1	miktar	42.136	106.662	28.839	329.176	8.688
	oran	7%	18%	5%	54%	1%
S-2.2		-	-	-	-	-
S-2.3		-	-	-	-	-
S-2.4	miktar	266.902	89.675	83.409	329.176	111.395
	oran	27%	9%	9%	34%	11%
S-2.5		-	-	-	-	-
S-3	miktar	18.100	60.810	203.558	285.537	70.228
	oran	2%	8%	26%	39%	9%
S-4		-	-	-	-	-

Isıtma ve soğutma enerjisi tüketiminde en düşük değerler, 18.100 kWh ve 60.810 kWh ile S-3 senaryosu tarafından sağlanmıştır. En yüksek değerler, ısıtmada 347.767 kWh ile S-1 senaryosunda, soğutmada 106.662 kWh ile S-2.1 senaryosunda görülmüştür.

Havalandırma fanlarının enerji tüketimi açısından en düşük değeri, 28.839 kWh ise S-2.1 senaryosu, en yüksek değeri 203.558 kWh ile S-3 senaryosu sağlamaktadır.

Aydınlatmada en düşük değeri, 8.688 kWh ile S-2.1 senaryosu, en düşük değeri, 111.395 kWh ile S-1 senaryosu sağlamaktadır. Aydınlatmadaki elektrik tüketiminin düşmesi, cephelerde Pencere/Duvar oranının yükseltilmesine ve ışık raflarının kullanılmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Senaryolardaki farklı değişkenlerin enerji tüketimlerine etkileri, projede uzun süreli gelecek tahminleri yapılmasına imkân sağlamaktadır. Çalışma, enerji etkinliğin artırılması için yapılabilecek değişimleri sayısal verilerle ifade etmektedir. Farklı senaryoların simülasyonları ile elde edilen sonuçlar, çalışmayı enerji etkinlik stratejilerinin belirlenmesi ve enerji etkinliğin uzun süreli sonuçlarının tahmin edilebilmesi yönlerinden faydalı kılmaktadır.

4.8.3 Senaryoların referans yapıya göre enerji etkinli açısından sağladığı enerji tasarruf oranları

Senaryolara bağlı olarak elde edilen enerji tüketimi değerleri referans yapının enerji tüketimi değerine bölünerek, referans yapıya göre senaryoların sağladığı enerji tasarruf oranları belirlenmiştir.

Bu bağlamda S-1 referans yapıya göre; S-2.1 senaryosu %48, S-2.2 senaryosu %52 oranında, S-2.3 senaryosu, %38, S-2.5 alternatif senaryosu, %47 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır.

Yapı bilgi modelinde, alternatif tasarım modeli ile S-3 senaryosunun S-1'e göre enerji tasarruf oranı ise %65'dir.

Bir sonraki adımda, hem yapı bilgi modelinde tasarım geliştirmesi hem simülasyon yönteminin birlikte kullanıldığı S-4 alternatif senaryosunun S-1'e ve S-3'e göre enerji tasarruf oranları hesaplanmıştır.

Buna göre S-4 senaryosu, S-3 referans duruma göre, % 74 oranında, S-4 senaryosu, S-1 referans duruma göre ise, % 48 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır.

Çizelge 4.5, senaryoların referans yapıya göre enerji tasarruf oranlarını vermektedir.

Çizelge 4.5: Senaryoların referans yapıya göre enerji tasarruf oranları

	Senaryolar	EUI Ort.	Enerji Etkinlik İyileştirme Oranı
S-1	Referans Bina	118,9	-
S-2.1	GBS En Düşük Enerji Tüketimi Veren Alternatif	58	48%
S-2.2	Arch 2030 Hedefini Sağlayan Alternatif	62,93	52%
S-2.3	Net Sıfır Değerini Sağlayan Alternatif	45,89	38%
S-2.4	Ashrae 90.1-2010 Standartını Esas Alan Alternatif	118,9	-
S-2.5	Önerilen Bina Alternatifi	56,27	47%
S-3	Tasarım Parametrelerine İlişkin Değişkenlerin Değerlendirildiği Alternatif	77,4	65%
S-4	İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina	57,6	74%
S-4	İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina	57,6	48%

Çalışma sonucunda çok katlı konut yapısının enerji tasarrufu oranları diğer bir deyişle enerji etkin iyileştirme oranları %38 ile %74 arasında değişmektedir. Tüm senaryo sonuçları incelendiğinde %48 oranında enerji etkin iyileştirme alternatifi, en iyi seçenek olarak görülmüştür. Sonuçlar gerek yapımı bitmiş bir yapıda gerekse tasarım aşamasında yapılabilecek değişikliklerle enerji etkinliğini yüksek düzeyde arttırmanın mümkün olduğunu göstermiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapıların enerji etkinliği açısından geliştirilmesinde, YBM (yapı bilgi modelleme) programlarının ve YBM ile ilişkili enerji simülasyonlarının etkisini irdelemeyi amaçlayan tez çalışmasında, sözü edilen sayısal irdeleme çok katlı bir toplu konut yapısında örnek uygulama ile ortaya konulmuştur.

Yapılan simülasyon çalışmasının sonucunda, yapı bilgi modellemesi yapılan bir projenin enerji etkinliğini geliştirmek için kullanılabilecek çeşitli yöntemler olduğu görülmüştür.

Yöntemlerden ilki, oluşturulan yapı bilgi modelini enerji modeline dönüştürüp, programa bağlı enerji simülasyonu yazılımı ile bulut üzerinden sürdürülen hesaplamalar aracılığıyla enerji etkinliği arttırmaktır.

Bu yöntemde simülasyon yazılımı, referans modelin enerji etkin iyileştirmesi için çeşitli önerilerde bulunmaktadır. Duvar ve cam yalıtımı, gölgeleme elemanları, HVAC sistemleri gibi birçok parametre için alternatifler öneren program, parametreleri birleştirme yolu ile de farklı senaryolar ortaya çıkartmaktadır. Senaryoları oluşturan parametreler, program önerilerine veya kullanıcının kişisel tercihlerine göre ayarlanabilmektedir. Ancak parametrelerin sayısı veya türü program tarafından belirlenmektedir ve değiştirilememektedir. Bu durum, simülasyon programının içinde bulunmayan hiçbir değişikliğin yapılmasına izin vermediğinden, enerji etkin geliştirme (iyileştirme) projeleri için etkili ancak yeni tasarlanan projeler için eksik bulunmuştur.

Projenin hedeflerine göre kullanıcı tarafından öncelikli enerji etkinliği hedeflerine karar verilmesi ve bu hedeflere uygun olarak tasarım değişkenleri için istenilen değişikliklerin yapılması sürdürülebilir sağlıklı, konforlu, enerji etkin yapıların gerçekleştirilebilmesi için önem taşımaktadır.

Diğer taraftan programın, senaryoları birbiri ile karşılaştırabilmesi ve belirli senaryolarda projeyi çeşitli hedef ve sertifikalara uygun standarda getirmek için uygun değişkenleri otomatik ataması özelliği kullanışlı bulunmuştur. Çalışmanın ilk

kısmı sonucunda, yapı bilgi modelleme ile oluşturulmuş mevcut yapıların enerji etkin geliştirilmeleri için başarılı bir yöntem olarak görülmektedir.

Yöntemlerden ikincisi, oluşturulan yapı bilgi modelini enerji modeline dönüştürüp, simülasyon yazılımı ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda, model üzerinde enerji etkinliği arttırmaya yönelik tasarımsal değişiklikler yapmaktır.

Bu yöntemde, simülasyondan elde edilen referans duruma ilişkin sonuç ve enerji etkinliği iyileştiren değişkenler, modelde yapılabilecek enerji etkin tasarım geliştirmelerine yol göstermektedir. Simülasyon programının ara yüzünde ayarlanabilen enerji etkinliğini sağlamada etkili olan değişkenlerin büyük çoğunluğu, yapı bilgi modelleme programı içerisinde de ayarlanabilmektedir. Ancak farklı ayar sekmeleri altına dağılmış olduklarından işlem daha sorunlu olmaktadır. Enerji etkinliğini etkileyen değişkenlerden elde edilen geri bildirim sonucunda, simülasyon modelinde yapılabilecek birçok değişiklik vardır ve bu değişiklikler simülasyondakilerle sınırlı değildir. Örneğin, doğu ve batı yönlerine simülasyon programında var olmayan dikey gölgeleme elemanları eklenmesi, ışık raflı pencerelerin eklenmesi gibi basit değişiklikler ya da enerji kayıplarına ve gün ışığı alımına göre mekanların yeniden organizasyonu gibi büyük değişiklikler yapılabilmektedir.

Çok katlı konut projesi uygulamasında, ilk kısımda elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak tasarımsal değişiklikler yapılmış ve alternatif bir tasarım modeli oluşturulmuştur. Alternatif tasarım modelinin enerji analizi simülasyon ile belirlendiğinde, referans duruma göre daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür. Bu sonuç, enerji etkinliği değerlendirmesinin simülasyon programının yapabildiklerinin ötesinde, yapı bilgi modeli üzerinde geliştirilmesinin kullanışlı olduğunu açıkça göstermektedir.

Enerji etkinliğin, yapı bilgi modelinin alternatif tasarımı ile geliştirilmesinin ardından model yeniden simülasyon yazılımına gönderilmiş ve enerji performansı değişkenleri ayarlanmıştır. Simülasyon programı alternatif tasarım modelini, önemli ölçüde daha enerji etkin hale getirmiştir. Tasarımcının istek ve kararlarına dayanan bu yöntemde, enerji etkin bir bina oluşturmak için yapı bilgi modeli ve simülasyonda enerji etkinliğini etkileyen değişkenlerin birlikte kullanılması en başarılı yöntem olarak görülmüştür.

Alternatif senaryoların detaylı biçimde karşılaştırıldığı sonuçlara göre, mevcut çok katlı bir konut yapısındaki enerji tasarrufu oranları (enerji etkin iyileşme oranları) dikkate değer bulunmuştur. Türkiye’de TS 825 standartlarında yapılmış çok sayıda benzer konut yapısı bulunmaktadır. Bu tür yapılar için tez çalışmasındakine benzer uygulamaların yapılması, enerji etkinliğinin sağlanması için büyük bir potansiyel barındırmaktadır. Çok katlı konut yapılarının yapı bilgi modellerinin oluşturulması ile enerji etkin iyileştirme ve denetlemeyi kolaylaştırmak mümkündür. Ülke genelinde, yapı bilgi modeli ile binalarda çeşitli oranlarda enerji tasarrufu sağlama imkânı bulunmaktadır.

Mevcut bir proje yapı bilgi modelleme ile oluşturulmamışsa ve enerji etkin iyileştirme yapılacaksa, öncelikle yapı bilgi modelinin yapılması gerekmektedir. Yapı bilgi modeli programlarından ve ilişkili simülasyonlardan, gerekli sonuçları elde etmek için doğru belirlenmesi gereken birçok ayar bulunmaktadır. Tasarımcının enerji performansı hesaplamaları ve program hakkında bilgi sahibi ve deneyimli olması durumunda süreç kolaylaşmaktadır. Aksi durumda ise günümüzde pek çok ofisin yaptığı gibi dışarıdan yardım alınması önerilmektedir. Yapı bilgi modelleme enerji etkin iyileştirme için başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır.

Mevcut bir proje yapı bilgi modelleme ile oluşturulmuşsa ve enerji etkin iyileştirme yapılacaksa, doğrudan simülasyon aşamasına geçilip enerji etkinlik konusunda geri bildirim alınabilir. Yapı bilgi modelinin termal özellikleri ve enerji etkinliği konusundaki ayarları doğru yapılmış ise işlem oldukça kolaydır. Ancak bu ayarlar her yapı bilgi modelinde belirlenmiş olmayabileceği için ayarların doğruluğu ve eksiksizliği kontrol edilmelidir. Yapı bilgi modelleme ile enerji etkin iyileştirme için modelin mevcut olması, en kolay ve hızlı sonuç alma başarısını ortaya koymaktadır.

Yeni bir proje, yapı bilgi modelleme ile enerji etkin biçimde oluşturuluyor ise, en iyi sonucu elde etmek için, programın içerisindeki simülasyon yazılımları ve enerji analizleri tasarımın ilk evresinden itibaren sürekli kullanılmalıdır. Yapı bilgi modellemesinin sürekli geri bildirim sağlama ve projeyi tüm tarafların değişikliklerini katarak güncel tutma özelliği sayesinde, enerji etkinlik hedeflerine ulaşmak geleneksel yöntemlerden daha kolay ve hızlı biçimde sağlanabilmektedir.

Enerji etkin bir bina tasarımı elde etmek için projenin, başlangıcından itibaren yapı bilgi modelleme kullanılarak oluşturulması, gerekli ayarların yapılmasını modelleme süreci içinde akışkan biçimde sağlayacağından başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır.

Enerji etkin olarak geliştirilen yapılar için yapı bilgi modelleme kullanımı, yapının enerji etkinliğini etkileyen değişkenler için verdiği öneriler ve binanın yaşam döngüsünün geleceğinde tekrar kullanılabilmesi nedenleriyle kullanışlıdır.

Tasarımcıları, kararlarının etkileri konusunda hızlı geri bildirimlerle bilgilendiren yapı bilgi modelleme, yapılarda enerji etkinliği sağlamak için gelişmekte olan yararlı bir programlama teknolojisidir. Bilgisayarlardaki işlem gücü ve programların teknolojisi geliştikçe, yapı bilgi modelleme ve simülasyonları gelişmeye devam edecektir ve bu sistemler ile denetim ve iyileştirme uygulamaları yaygınlaşacaktır. Gelecekte tüm binaların yapı bilgi modellerinin oluşturulması ile yapının istenilen performans gereksinimlerini sağlamadaki yeterliliği kontrol edilebilecek, sağlıklı, konforlu, enerji etkin ve sürdürülebilir yapıların gerçekleştirilmesi olanaklı olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Abrishami, S., Goulding, J.S., Rahimian, F.P. ve Ganah, A.** (2014) Integration of BIM and generative design to exploit AEC conceptual design innovation. *J Inf Technol Constr (ITcon)*. Cilt 19. Special issue BIM cloud-based technology in the AEC sector: present status and future trends. s. 350– 359. Erişim adresi: <http://www.itcon.org/2014/21>
- Acuner, E.** (2014). *Binalarda Enerji Verimliliği Ve Finansmanı Raporu*. (s.15). Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği Yayını
- AIA California Council.** (2007). *Integrated Project Delivery: A Guide Ver 2.* (güncelleme 2010)
- Alhusban, M., Al-Bizri, S., Danso-Amoako, M. ve Gaterell, M.** (2017). Procurement Route and Building Information Modelling (BIM) Implementation Effect on Sustainable Higher Education Refurbishment Projects. (b. 8, s.1110). DOI: 10.1007/978-3-319-50346-2_8.
- Anderson, K.** (2014). *Design Energy Simulation for Architects: Guide to 3D Graphics*. (s.50). New York: Routledge
- Azhar, S., Brown, J. and Farooqui, R.** (2009) BIM-Based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software. *Proceedings of the 45th ASC Annual Conference*, Gainesville.
- Bahar, Y. N., Landrieu, J., Pére, C., & Nicolle, C.** (2014). CAD Data Workflow Toward The Thermal Simulation and Visualization in Virtual Reality. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 8(4), s. 283-292.
- Bayhan H. G., Gurgun, A. P.** (2016). Evaluation of LEED Certified Green Buildings. Komurlu, R., Gurgun, A. P., Singh, A., and Yazdani, S. (Ed.). *Interaction between Theory and Practice in Civil Engineering and Construction*, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey: ISEC Press
- Beetz, J., Berlo, L. v., Laat, R. d. and Bonsma, P.,** (2011). Advances in the development and application of an open source model server for building information. *In Proceedings of the CIP W78 Conference*, Nice. BIMserver 1.1 beta
- Bew, M., Richards, M.** (2008). Bew-Richards BIM maturity model. In *BuildingSMART Construct IT*. Autumn Members Meeting, Brighton, UK.
- Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı.** (2016). *Binalarda Enerji Verimliliğinin Arttırılması için Teknik Yardım Projesi*.

- Briscoe, D.** (2016). *Beyond BIM: Architecture Information Modeling*. (s. 6-9). London: Routledge, Taylor & Francis Group.
- BSI.** (2013). *PAS 1192-2:2013*. British Standards Institution. Erişim adresi: <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030281435>
- Brundtland Raporu.** (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Towards Sustainable Development*, (Bölüm 2, s 54). Erişim adresi: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> son erişim 20.02.19
- Cassidy, R.** (2003). *Building Design & Construction: White Paper on Sustainability*. (s.4-6) Building Design & Construction. (Sayı 48).
- Ceranic, B.** (2013). *Chapter Three, Sustainable Design Analysis and BIM Integration*, Architectural Technology, Research & Practice (s.91). UK: John Wiley & Sons, Ltd, , School of Technology, University of Derby,
- Chen, S.Y.** (2018). Use of neural network supervised learning to enhance the light environment adaptation ability and validity of Green BIM, *Computer-Aided Design and Applications*, 15:6. S. 831-840. DOI: 10.1080/16864360.2018.1462566
- Czmoch, I., Pekala, A.** (2014). Traditional Design versus BIM Based Design. *Procedia Engineering*. 91. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.048
- ÇEDBİK.** (2018). *Konut Sertifika Kılavuzu 2018 V.1*. Erişim adresi: <https://cedbik.org/tr/yesil-bina-7-pg/yesil-bina-degerlendirme-sistemleri-8-pg/cedbik-konut-sertifikasi-12-pg> son erişim: 20.02.2019
- ÇEDBİK.** (2017). Yeşil bina. Erişim adresi: <https://cedbik.org/tr/yesil-bina-7-pg/breeam-10-pg>. son erişim 20.02.19
- Eastman, C. M.** (1975). The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. *AIA Journal*. 63.
- Eastman, C.** (1999). *Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction*. Florida, USA: CRC Press LLC.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K.** (2008). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. New York: Wiley.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K.** (2011). *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (2.bs). Indianapolis: Wiley.
- EİGM, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü,** (2017). *2017 Yılı Genel Enerji Denge Tablosu*. Erişim adresi: <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>. son erişim: 30.03.2019
- Elbi, D., Ekim, H. F., ve Dursun, O.** (2016). Optimizing natural ventilation strategy in existing buildings using differential evolution: Case of architectural studio classrooms. In *2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)* Vancouver, BC, 2016 (s. 3895-3900). DOI:10.1109/CEC.2016.7744283

- Eleftheriadis, Stathis & Mumovic, D & Greening, P.** (2017). Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 67. s. 811–825. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.028.
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü.** (2017). *2017 Yılı Genel Enerji Denge Tablosu*. Erişim adresi: <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari> son erişim: 30.03.2019
- Enerji Verimliliği Daire Başkanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü.** (2019). *Binalarda Enerji Verimliliği, BEP İstatistikleri*, Erişim adresi: http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/istatistikler.aspx#.W_lvLTgzbiU. son erişim 20.02.19
- Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012- 2023.** (2012, 25 Şubat). Resmî Gazete (sayı : 28215) Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/02/20120225-7.htm>
- Erdede S.B., Bektaş S.** (2014). Ekolojik Açıdan Sürdürülebilir Taşınmaz Geliştirme ve Yeşil Bina Sertifika Sistemleri. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 6(1) s. 1-12
- European Comission.** (2018). *Energy Performance of Buildings*. Erişim adresi: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings>
- Fies B, Benning P, Dumoulin C, Houbaux P** (2010). *Use of standards for filling the gaps towards integrated BIM based ways of working: the inpro example, e-work and e-business in architecture, engineering and construction*. (s. 125–130). In: Menzel and Scherer (Ed). London : Taylor & Francis Group.
- GCCG.** (2011). *BIM Management for value, cost & carbon improvement. A report for the Government Construction Client Group - Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper*. UK. Erişim adresi: <https://www.cdbb.cam.ac.uk/Resources/ResoucePublications/BISBIMstrategyReport.pdf> son erişim: 09.04.2019
- Goedert J, Meadati P.** (2008). Integrating construction process documentation into building information modelling. *J Constr Eng Manage* 134(7). s. 509–516 , DOI: 10.1061/ASCE0733-93642008134:7509
- Goodhew, S.** (2016). *Sustainable construction processes: A resource text*. (1.bs). West Sussex: Wiley-Blackwell
- Gönülol, O., Altın, M.** (2013). Binaların Enerji Etkinlik Bakımından İyileştirme Uygulamalarının Örnekler Üzerinden İrdelenmesi, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı. 601-1.
- Gürsel, I., Sarıyıldız, S., Akın, Ö., & Stouffs, R.** (2009). Modeling and visualization of lifecycle building performance assessment. *Advanced Engineering Informatics*, 23(4), 396-417.
- Han, E. Kaya, A. A.** (2012) *Kalkınma Ekonomisi Teori ve Politika*. (s. 256-268). Ankara: Nobel Yayınevi. 9. Baskı

- Hartmann, T., Gao, J. ve Fischer, M.** (2008). Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management-asce* - J Constr Eng Manage-Asce. 134. s. 776-785. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:10(776).
- Hijazi, M., Kensek, K. ve Konis, K.** (2015). Bridging the gap: Supporting data transparency from BIM to BEM. *ARCC Future of Architectural Research*. DOI: 10.1049/etr.2015.0047. Online ISSN 2056-4007. University of Southern California, Los Angeles, CA
- Hirsch, A., Pless, S., Guglielmetti, R. and Torcellini, P.A.** (2011). The Role of Modeling When Designing for Absolute Energy Use Intensity Requirements in a Design-Build Framework. *Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory*. NREL/CP-5500-49067.
- IESNA.** (2011). *The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application, 10th Edition*, New York: Illuminating Engineering Society of North America, ABD.
- IISBE.** (2016). International Initiative for a Sustainable Built Environment. Erişim adresi: <http://www.iisbe.org/about>. son erişim 20.02.19
- ISO.** (2006). *ISO 14040 Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*, (güncelleme 2016). DOI:10.1002/jtr. Geneva, Switzerland. Erişim adresi: <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- ISO.** (2018). *ISO 19650-2:2018* Erişim adresi: <https://www.iso.org/standard/68080.html>. son erişim 07.04.19
- Kamel, E., Memari, A. M.** (2019). Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. *Automation in Construction*. 97. s. 164-180. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>
- Khaddaj, M., Srour, I.** (2016). Using BIM to Retrofit Existing Buildings. *Procedia Engineering*. 145. s. 1526-1533. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.04.192.
- Khosrowshahi, F.** (2017). Building Information Modelling (BIM) a Paradigm Shift in Construction. *Design and Smart Construction*. (b. 4), DOI: 10.1007/978-3-319-50346-2_4.
- Kim, J.J. and Rigdon, B.** (1998). *Sustainable Architecture Module: Introduction to Sustainable Design*. Michigan: National Pollution Prevention Center for Higher Education. The University of Michigan. (s. 8-15.)
- Kiviniemi, A., Karlshøj, J., Tarandi, V., Bell, H., ve Karud, O. J.** (2008). Review of the development and implementation of IFC compatible BIM. Erişim adresi: <http://orbit.dtu.dk/files/131997343/Untitled.pdf>
- Korkmaz, S., Messner, J., Riley, II, D. R., ve Magent, C.** (2010). High-performance green building design process modeling and integrated use of visualization tools. *Journal of Architectural Engineering*, 16(1). s. 37-45. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0431\(2010\)16:1\(37\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0431(2010)16:1(37))

- Krishan, A.** (2001). *Climate Responsive Architecture: A Design Handbook for Energy Efficient Buildings*. (s. 19). New York: McGraw-Hill
- Krygiel, E.; Nies, B.; McDowell, S.** (2008). *Green BIM-Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*. Indianapolis, (s. 178–195, 215–218). Indiana: Wiley Publishing, Inc.,
- Kumar, S.** (2008). *Interoperability between Building Information Models (BIM) and Energy Analysis Programs*. (Yüksek lisans Tezi). University of Southern California. Erişim adresi: <http://digitallibrary.usc.edu/cdm/ref/collection/p15799coll127/id/64743>
- Kymmell, W.** (2008). *Building information modelling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulation*. New York: McGraw Hill.
- Langdon, D.** (2012). *Getting the most out of BIM, A guide for clients*, London: AECOM
- Lee, S., Tae, S., Roh, S., & Kim, T.** (2015). Green Template for Life Cycle Assessment of Buildings Based on Building Information Modeling: Focus on Embodied Environmental Impact. *Sustainability*, 7(12). s.16498–16512. DOI:10.3390/su71215830
- Manning R, Messner J.** (2008). Case studies in BIM implementation for programming of healthcare facilities, *ITcon Vol. 13, Special issue Case studies of BIM use*. s. 246-257. Erişim adresi: <http://www.itcon.org/2008/18>
- McGraw Hill Construction.** (2009). *SmartMarket Report, The Business Value of BIM: Getting Building Information Modeling to the Bottom Line*. Erişim adresi: http://users.wpi.edu/~salazar/BIMForumAcademicEMorse/downloads/cs/sustainability/mhc_bim_smartmarket.pdf son erişim 19.03.19
- Mordue, S., Swaddle, P., & Philp, D.** (2015). *Building information modeling for dummies*. Hoboken, NJ: Wiley.
- NIBS.** (2014). *The National BIM Standard. US*. Erişim adresi: <https://www.nibs.org/page/standards>
- Nisbet, N., & Dinesen, B.** (2010). *Constructing the business case: Building information modelling*. London: British Standards Institution. (Teknik rapor)
- Nwodo, M. N., Anumba, C. J. ve Asadi, S.** (2017). BIM-Based Life Cycle Assessment and Costing of Buildings: Current Trends and Opportunities. s. 51-59. *ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering 2017*. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1061/9780784480847.007>.
- Oral, G. K., & Manioğlu, G.** (2010). Bina Cephelelerinde Enerji Etkinliği ve Isı Yalıtımı. *Proceedings of the 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Dokuz Eylül University Department of Architecture Buca, İzmir*.
- Reddy, K. P.** (2011). *BIM for Building Owners and Developers: Making a Business Case for Using BIM on Projects*, Hoboken. New Jersey: John Wiley

& Sons, Inc. Erişim adresi: https://uacg.bg/filebank/att_10831.pdf son erişim 08.04.19

- Sakikhales, M. H., & Stravoravdis, S.** (2015). Using BIM to facilitate iterative design. *Building Information Modelling (BIM) in Design. Construction and Operations*, 149, s. 9–19.
- Seo, S., Tucker, S. ve Newton, P.** (2007) Automated Material Selection and Environmental Assessment in the Context of 3D Building Modelling. *Journal of Green Building: Spring 2007, Vol. 2, No. 2.* s.51-61. Erişim adresi: <https://doi.org/10.3992/jgb.2.2.51>
- Schlueter, A & Thessling, F.** (2008). Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in Construction*. 18. s. 153-163.
- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C. ve García-Martínez, A.** (2017). Critical review of BIM-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings*. s.136. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.12.009.
- Stirton, L., & Tree, J.** (2015). IPD and BIM: A new dimension to collaboration. Dastbaz, M., Gorse, C. ve Moncaster, A. (Ed.), *Building Information Modelling, Building Performance, Design and Smart Construction*. İsviçre: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-50346-2
- Succar, B.** (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), s. 357–375. DOI:10.1016/j.autcon.2008.10.003.
- Succar, B. & Sher, W. ve Williams, A.** (2012). Measuring BIM Performance: Five Metrics. *Architectural Engineering and Design Management*. 8. s. 120-142. 10.1080/17452007.2012.659506.
- Succar, B., Sher, W. ve Williams, A.** (2013). An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application. *Automation in Construction*. 35. s. 174-189. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.05.016.
- Sunikka M.** (2003). Sustainable Housing Policies for the Existing Housing Stock in Europe. *Open House International* 2003; vol28. no1. s. 4-11.
- Şehircilik Bakanlığı.** (2017). 05.12.2008 tarih ve 27075 sayılı RG Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, (sayı : 30051)
- T.C. Şehircilik ve Çevre Bakanlığı.** (2019). *UN-HABITAT konferansları, Birleşmiş Milletler Programı.* Erişim adresi: <http://habitat.csb.gov.tr/habitat-konferanslari-i-5746>, son erişim 20.02.2019.
- TOKİ,** (2016). Mekanik Tesisat Projesi Hesap Raporu, Lojman Binası. İstanbul
- Tombak, E. T.** (2017). *Binalarda Enerji Verimliliği ile İlgili Türk Mevzuatı*, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği dergisi (Mart-Nisan), Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/52810138-Binalarda-enerji-verimliliği-ile-ilgili-turk-mevzuati.html> son erişim 29.03.19

- TS 825.** (2008). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Mecburi Standart Tebliği, Ankara.
- Turrin, M., Von Buelow, P., ve Stouffs, R.** (2011). Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 656-675. DOI:10.1016/j.aei.2011.07.009
- VA BIM Manual V 2.0.** (güncelleme 02/2017). National institute of building sciences, Erişim adresi: http://www.wbdg.org/FFC/VA/VABIM/bim_manual.pdf son erişim:27.03.19
- Vierra, S.** (2016). *Green Building Standards And Certification Systems*, WBDG, National Institute of Building Sciences, Erişim adresi: <https://www.wbdg.org/resources/green-building-standards-and-certification-systems>, son erişim: 20.02.2019
- Yener, A. K.** (2003). Performance analysis of window glazing from visual comfort and energy conservation points of view. *Architectural Science Review*, 46(4), s. 395-401.
- Zhang, J. P., & Hu, Z. Z.** (2011). BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. *Automation in construction*, 20(2), s.155-166.
- Zhang, Y. Kang, J. ve Jin, H.** (2018). A Review of Green Building Development in China from the Perspective of Energy Saving, , *Energies*, 11, s. 334. DOI:10.3390/en11020334
- Ziel, R., Haus, A., & Tulke, A.** (2008). Quantification of the pore size distribution (porosity profiles) in microfiltration membranes by SEM, TEM and computer image analysis. *Journal of membrane science*, 323(2), s. 241–246.
- W. Lee and J. Burnett.** (2008). Benchmarking energy use assessment of HK-BEAM, BREEAM and LEED. *Building and Environment*, vol. 43. s. 1882-1891.
- (Url-1) <http://www.mfa.gov.tr/dunya-surdurebilir-kalkinma-zirvesi_johannesburg_-26-agustos---4-eylul-2002_.tr.mfa>, son erişim: 08.04.2019
- (Url-2) <<http://www.enerjikimlikbelgesi.com>>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-3) <<https://new.usgbc.org/leed>>, son erişim 20.02.2019
- (Url-4) <<https://www.breeam.com/discover/how-breeam-certification-works>>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-5) <https://www.dgnb-system.de/en/system/certification_system>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-6) <<https://new.gbca.org.au/about>>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-7) <<https://gbca-web.s3.amazonaws.com/media/documents/strategic-plan-poster-infographic-a3-v4.pdf>>, son erişim: 20.02.2019

- (Url-8) <<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm>>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-9) <https://www.beamsociety.org.hk/en_about_us_0.php>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-10) <<https://www.ashrae.org/professional-development/ashrae-certification/why-get-certified>>, son erişim: 21.02.2019
- (Url-11) <<http://www.arkitera.com/haber/19221/turk-yesil-bina-sertifikasi-olusturuldu>>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-12) <<http://ec.europa.eu/energy>>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-13) <https://architecture2030.org/2030_challenges/2030-challenge/#toggle-id-1>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-14) <<https://living-future.org/lbc/basics>>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-15) <<http://www.measures-odyssee-mure.eu>>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-16) <<http://www.buildup.eu/en>>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-17) <<https://www.dena.de/en/home>>, son erişim: 20.02.2019
- (Url-18) <<https://www.autodesk.com/solutions/bim/hub/what-is-bim>>, son erişim: 21.02.2019
- (Url-19) <https://www.graphisoft.com/archicad/open_bim/about_bim>, son erişim: 21.02.2019
- (Url-20) <<https://www.bentley.com/en/solutions/building-design-and-analysis>>, son erişim: 21.02.2019
- (Url-21) <<https://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history>>, son erişim: 21.02.2019
- (Url-22) <<https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling>> son erişim: 20.03.2019
- (Url-23) <<https://constructible.trimble.com/construction-industry/global-bim-standards-is-your-country-next>>, son erişim: 21.02.2019
- (Url-24) <<https://cupastone.com/bim-countries-world>>, son erişim: 21.02.2019
- (Url-25) <<https://www.geospatialworld.net/blogs/bim-adoption-around-the-world>>, son erişim: 21.02.2019
- (Url-26) <<http://bim-level2.org/en/standards>>, son erişim: 21.02.2019
- (Url-27) <<http://www.autocadbeyni.com/abd-ulusal-bim-standardi-ile-ilgili-sikca-sorulan-sorular>>, son erişim: 21.02.2019
- (Url-28) <<https://www.energy.gov/eere/buildings/about-building-energy-modeling>>, son erişim: 21.02.2019
- (Url-29) <<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Best-practices-when-importing-RVT-and-DWG-files-into-Revit.html>>, son erişim: 21.02.2019, Autodesk knowledge network, 2013, Best practices when linking DWG files into Revit.

(Url-30) <https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BPA-GBSWebService/files/GUID-C0C535DB-D276-43C1-8F27-E69DE4D6FB85-htm.html>>, son erişim: 21.02.2019





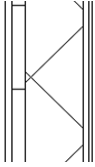
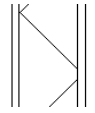
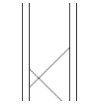
EKLER

EK-A: Çizelgeler

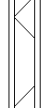
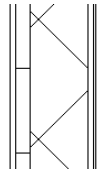


EK-A

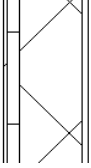
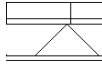
Çizelge A.1: Referans binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının detayları.

Yapı Elemanı	YBM Yapı Elemanı Kesiti	Yapı elemanları ve TS 825 kodları	Yapı Elemanı Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U Değeri (W/m ² K)
Duvar Tip 1 Dış (DD1)		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,01	0,51	1200	0,464
		4.2. Çimento harcı	0,02	1,6	2000	
		7.4.2.2 Doğal bims betondan dolu blok TS-EN 771-3 DB tipi	0,2	0,29	500	
		10.5.2 Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtımı (taşyünü) TS 901-1	0,05	0,04	200	
		4.2. Çimento harcı	0,02	1,6	2000	
Toplam			0,3			
*Duvar Tip 1 İç (DD1 20cm)		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,025	0,51	1200	1,2695
		7.4.2.2 Doğal bims betondan dolu blok TS-EN 771-3 DB tipi	0,2	0,29	500	
		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,025	0,51	1200	
Toplam			0,25			
*Duvar Tip 1 İç (DD1 15cm)		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,025	0,51	1200	1,6253
		7.4.2.2 Doğal bims betondan dolu blok TS-EN 771-3 DB tipi	0,15	0,29	500	
		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,025	0,51	1200	
Toplam			0,2			

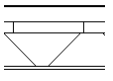
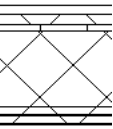
Çizelge A.1 (devam): Referans binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının detayları.

Yapı Elemanı	YBM Yapı Elemanı Kesiti	Yapı elemanları ve TS 825 kodları	Yapı Elemanı Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U Değeri (W/m ² K)
*Duvar Tip 1 İç (DD1 10cm)		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,025	0,51	1200	
		7.4.2.2 Doğal bims betondan dolu blok TS-EN 771-3 DB tipi	0,1	0,29	500	
		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,025	0,51	1200	
Toplam			0,15			2,258
Duvar Tip 2 Dış (DD2)		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,01	0,51	1200	
		4.2. Çimento harcı	0,02	1,6	2000	
		5.1.1 Donatılı (TS 500 normal micirli beton)	0,2	2,5	2400	
		10.5.2 Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtımı (taşyünü)	0,05	0,04	200	
		4.2. Çimento harcı	0,02	1,6	2000	
Toplam			0,3			0,647
*Duvar Tip 2 İç (DD2 20cm)		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,025	0,51	1200	
		5.1.1 Donatılı (TS 500 normal micirli beton)	0,2	2,5	2400	
		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,025	0,51	1200	
Toplam			2,5			5,6167

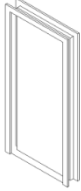
Çizelge A.1 (devam): Referans binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının detayları.

Yapı Elemanı	YBM Yapı Elemanı Kesiti	Yapı elemanları ve TS 825 kodları	Yapı Elemanı Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U Değeri (W/m ² K)
		4.2. Çimento harcı	0,02	1,6	2000	
Duvar Tip 3		5.1.1 Donatılı (TS 500 normal mıcırli beton)	0,2	2,5	2400	
Toprak Temaslı (DDT)		9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtımı örtüleri	0,006	0,19	2000- 5000	
		10.3.2.1.2 Ekstrüde polistren köpüğü - TS	0,04	0,035	≥30	
		7.1.5.5 Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar	0,085	0,45	1000	
Toplam			0,351			0,631
*Duvar Tip 4		5.1.1 Donatılı (TS 500 normal mıcırli beton)	0,5	2,5	2400	
Sığınak Duvarı (DDS)						
Toplam			0,5			
Tavan (TA)		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,02	0,51	1200	
Çatı Altı		5.1.1 Donatılı (TS 500 normal mıcırli beton)	0,15	2,5	2400	
		10.5.2 Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtımı (taşyünü)	0,1	0,04	200	
Toplam			27			0,356

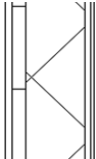
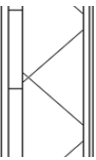
Çizelge A.1 (devam): Referans binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının detayları.

Yapı Elemanı	YBM Yapı Elemanı Kesiti	Yapı elemanları ve TS 825 kodları	Yapı Elemanı Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U Değeri (W/m ² K)
Döşeme Tip 1 (Isıtılmayan İç) (DÖ)		9.1.4 Halı vb kaplamalar	0,006	0,06		
		4.2. Çimento harcı	0,06	1,6	2000	
		5.1.1 Donatılı (TS 500 normal micirli beton)	0,14	2,5	2400	
		10.3.1.1.5 Polistren - Partiküler Köpük - TS	0,05	0,04	≥30	
		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,01	0,51	1200	
Toplam			26,6			0,555
Döşeme Tip 2 Toprak Temaslı (DAT)		4.6 Çimento harçlı şap	0,06	1,4		
		5.1.2 Donatısız	0,06	1,65		
		10.3.2.1.2 Ekstrüde polistren köpüğü - TS	0,05	0,035		
		5.1.1 Donatılı (TS 500 normal micirli beton)	0,5	2,5	2400	
		5.1.2 Donatısız	0,05	1,65		
		9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtımı örtüleri	0,006	0,19	2000-5000	
		5.1.2 Donatısız	0,05	1,65		
Toplam		3.1 Kum, çakıl, kırma taş (micir)	0,1	0,7		
			78,6			0,473

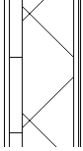
Çizelge A.1 (devam): Referans binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının detayları.

Yapı Elemanı	YBM Yapı Elemanı Kesiti	Yapı elemanları ve TS 825 kodları	Yapı Elemanı Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U Değeri (W/m ² K)
Pencere						1,9
Kapı Tip1						5,5
Kapı Tip2						4

Çizelge A.2: Alternatif tasarım binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının detayları.

Yapı Elemanı	YBM Yapı Elemanı Kesiti	Yapı elemanları ve TS 825 kodları	Yapı Elemanı Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/mK)	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U Değeri (W/m ² K)
Duvar Tip 1 Dış (DD1-2TAS)		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,01	0,51	0,3657
		4.2. Çimento harcı	0,02	1,6	
		7.4.2.2 Doğal bims betondan dolu blok TS-EN 771-3 DB tipi	0,2	0,29	
		10.5.2 Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtımı (taşyünü) TS 901-1	0,08		
		4.2. Çimento harcı	0,02	1,6	
Toplam			0,33		
Duvar Tip 1 Dış (DD1-2TAS Kuzey)		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,01	0,51	0,2678
		4.2. Çimento harcı	0,02	1,6	
		7.4.2.2 Doğal bims betondan dolu blok TS-EN 771-3 DB tipi	0,2	0,29	
		10.5.2 Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtımı (taşyünü) TS 901-1	0,12		
		4.2. Çimento harcı	0,02	1,6	
Toplam			0,37		

Çizelge A.2 (devam): Alternatif tasarım binanın enerji simülasyonunda kullanılan yapı elemanlarının detayları.

Yapı Elemanı	YBM Yapı Elemanı Kesiti	Yapı elemanları ve TS 825 kodları	Yapı Elemanı Kalınlığı d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/mK)	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U Değeri (W/m ² K)
Duvar Tip 2 Dış (DD2-2TAS)		4.4 Yalnız alçı kullanarak sıva (Agregasız)	0,01	0,51	0,4707
		4.2. Çimento harcı	0,02	1,6	
		5.1.1 Donatılı (TS 500 normal mıcırılı beton)	0,2	2,5	
		10.5.2 Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtımı (taşyünü)	0,08		
		4.2. Çimento harcı	0,02	1,6	
Toplam			0,33		
Kuzey Pencere Üçlü Isıcam					1,533
Işık Rafı Pencere					

Çizelge A.3: Senaryoların simülasyon enerji analizi değişkenleri.

Simülasyon Senaryoları	Simülasyon Modeli		Referans Bina Modeli						Alternatif Tasarım Bina Modeli	
	Senaryo Adı		S-1 Referans Bina	S-2.1 GBS En Düşük Enerji Tük. Veren Alter.	S-2.2 Arch 2030 Hedefini Sağlayan Alter.	S-2.3 Net Sıfır Değerini Sağlayan Alter.	S-2.4 Ashrae 90.1-2010 Stan. Esas Alan Alter.	S-2.5 Önerilen Bina	S-3 Tasarım Param. İlişkin Değişkenlerin Değerlen. Alter.	S-4 İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina
EUI Değerini Etkileyen Enerji Analizi Değişkenleri	HVAC		(Doğalgazlı yoğuşmalı kazan) 11.3 EER Packaged VAV, 84.4% boiler heating	PTHP, ASHRAE 90.1-2010, 11 EER Electric Heat	Ashrae Packaged Terminal Heat Pump	Ashrae Packaged Terminal Heat Pump	PVAV 11 EER %85 Gas Boiler 68F Economizer	Ashrae Packaged Terminal Heat Pump	Ashrae Packaged Terminal Heat Pump	Ashrae Packaged Terminal Heat Pump
	Çatı Elemanı		Kırma Çatı ve Tavan	R60 Süper Yüksek Yalıtımlı Ahşap İskeletli Çatı	R38 Yalıtımlı Çatı	R38 Yalıtımlı Çatı	-	R38 Yalıtımlı Çatı	Kırma Çatı ve Tavan	Kırma Çatı ve Tavan
	Duvar Elemanı	Kuzey Duvarı	DD1 (Tuğla)	R30 / R38 Ahşap İskeletli Duvar	R38 Ahşap İskeletli Duvar	R38 Ahşap İskeletli Duvar	-	R38 Ahşap İskeletli Duvar	DD1-2Tas Kuz. (Tuğla)	R38 Ahşap İskeletli Duvar
		Güney, Doğu, Batı Duvarları	DD2 (Betonarme)						DD1-2Tas (Tuğla)	
									DD2-2Tas (Betonarme)	

Çizelge A.3 (devam): Senaryoların simülasyon enerji analizi değişkenleri.

Simülasyon Senaryoları	Simülasyon Modeli			Referans Bina Modeli						Alternatif Tasarım Bina Modeli	
				S-1	S-2.1	S-2.2	S-2.3	S-2.4	S-2.5	S-3	S-4
	Senaryo Adı	Referans Bina	GBS En Düşük Enerji Tük. Veren Alter.	Arch 2030 Hedefini Sağlayan Alter.	Net Sıfır Değerini Sağlayan Alter.	Ashrae 90.1-2010 Stan. Esas Alan Alter.	Önerilen Bina	Tasarım Param. İlişkin Değişkenlerin Değerlen. Alter.	İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina		
EUI Değerini Etkileyen Enerji Analizi Değişkenleri	Pencere Elemanı	Kuzey	WWR/CDO	26%	0%	40%	30%	-	30%	26%	26% (tas.)
			Gölgeleme	0	0	2/3 Pen. Yüks.	2/3 Pen. Yüks.	-	0%	0%	0%
			Cam	Çift cam	yok	Üçlü Isı Cam	Üçlü Isı Cam	-	Üçlü Isı Cam	Üçlü Isı Cam	Üçlü Isı Cam (tas.)
		Güney	WWR/CDO	27%	65%	27% (Ref.)	27% (Ref.)	-	80%	44%	44% (tas.)
			Gölgeleme	0	1/3 Pen. yüks.	2/3 Pen. Yüks.	1/2 Pen. Yüks.	-	1/3 Pen. Yüks.	Yatay 50cm (tas.)	Yatay 50cm (tas.) +1/3 Pen. Yüks.
			Cam	Çift cam	S. Yal. Üçlü Cam	Üçlü Isı Cam	Üçlü Isı Cam	-	Üçlü Isı Cam	Çift Isı Cam	Çift Isı Cam (tas.)
		Doğu	WWR/CDO	13%	30%	30%	15%	-	50%	26%	26% (tas.)
			Gölgeleme	0	2/3 Pen. Yüks	2/3 Pen. Yüks	2/3 Pen. yüks	-	1/6 Pen. Yüks	Dik 25cm (tas.)	Dik 25cm (tas.)
			Cam	Çift cam	Süper Yal. Üçlü Cam	Üçlü Isı Cam	Üçlü Isı Cam	-	Üçlü Isı Cam	Çift Isı Cam	Üçlü Isı Cam
		Batı	WWR/CDO	13%	30%	15%	15%	-	50%	32%	32% (tas.)
			Gölgeleme	0	2/3 Pen. Yüks	2/3 Pen. Yüks	2/3 Pen. Yüks	-	1/6 Pen. Yüks	Dik 25cm (tas.)	Dik 25cm (tas.) +2/3 Pen. Yüks
			Cam	Çift cam	S. Yal. Üçlü Cam	Üçlü Isı Cam	Üçlü Isı Cam	-	Üçlü Isı Cam	Çift Isı Cam	Üçlü Isı Cam

Çizelge A.3 (devam): Senaryoların simülasyon enerji analizi değişkenleri.

Simülasyon Senaryoları ve Enerji Analizi Değişkenleri									
Simülasyon Senaryoları	Simülasyon Modeli		Referans Bina Modeli						Alternatif Tasarım Bina Modeli
	Senaryo Adı		S-1	S-2.1	S-2.2	S-2.3	S-2.4	S-2.5	S-3
			Referans Bina	GBS En Düşük Enerji Tük. Veren Alter.	Arch 2030 Hedefini Sağlayan Alter.	Net Sıfır Değerini Sağlayan Alter.	Ashrae 90.1-2010 Stan. Esas Alan Alter.	Önerilen Bina	Tasarım Param. İlişkin Değerlen. Alter.
									İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina
EUI Değerini Etkileyen Enerji Analizi Değişkenleri	Priz yükleri		10.76 W/m2	10.76 W/m2	10.76 W/m2	6,46 W/m2	-	6,46 W/m2 - 5,81W/m2	10.76 W/m2
	Aydınlatma Etkinliği		7.75 W/m2	11,84W/m2-7,53W/m2 (LPD %90 az)	11,84W/m2-7,53 W/m2	7,53 W/m2	-	3,23 W/m2	7.75W/m2
	Güneş Otomasyonu		Yok	Oturum ve gün ışığı kontrolü	Oturum kontrolü	Oturum kontrolü	-	Oturum ve gün ışığı kontrolü	Yok
	Infiltrasyon		0,25 Ach	0,4 Ach	0,4 Ach	0,4 Ach	-	0,17 Ach	0,17Ach- 0,4 Ach
	PV Güneş Paneli	Panel Verimliliği	Yok	16%-20.4%	16%-20.4%	20.4%	-	20.4%	20.4%
		Geri Ödeme	Yok	10yıl-30yıl	10yıl-30yıl	30yıl	-	20 yıl	20 yıl
		Yüzey Alanı	Yok	0%-90%	0%-90%	90%	-	0%-60%	0%-60%
EUI Sonuç kWh/m2/yr	GBS	Toplam EUI	198.9	118.3	-	-	190.0	-	156.4
	Insight	Ortalama EUI	118,9	58	62,9	45,89	118,9	56,27	77,4

Çizelge A.4: Senaryoların simülasyon enerji analizi değişkenlerinin Ort. EUI üzerindeki etkilerine ilişkin sonuçlar.

Simülasyon Senaryoları	Simülasyon Modeli		Referans Bina Modeli						Alternatif Tasarım Bina Modeli	
	Senaryo Adı		S-1 Referans Bina	S-2.1 GBS En Düşük Enerji Tüketimi Veren Alter.	S-2.2 Arch 2030 Hedefini Sağlayan Alter.	S-2.3 Net Sıfır Değerini Sağlayan Alter.	S-2.4 Ashrae 90.1-2010 Standardını Esas Alan Alter.	S-2.5 Önerilen Bina	S-3 Tasarım Parametrelerine İlişkin Değişkenlerin Değerlen. Alter.	S-4 İyileştirilmiş Alternatif Tasarım Bina
EUI Değerini Etkileyen Enerji Analizi Değişkenleri	HVAC		0,00	-43,1	-43,1	-43,1	-	-43,1	0,00	-35,62
	Çatı Elemanı		0,00	-0,38	-0,28	-0,28	-	-0,28	0,00	-0,34
	Duvar Elemanı		0,00	-17,76	-17,76	-17,76	-	-17,76	0,00	-7,53
	Pencere Elemanı WWR/CDO, Gölgeleme, Cam	Kuzey	0,00	-2,00	0,22	-0,21	-	-0,42	0,00	0,00
		Güney	0,00	-2,69	-0,16	-0,60	-	-2,63	0,00	-1,62
		Doğu	0,00	-0,74	-0,74	-1,16	-	0,51	0,00	-1,68
		Batı	0,00	-1,67	-1,78	-1,78	-	0,48	0,00	-5,42
	Priz yükleri		0,00	0,00	7,26	0,03	-	0,00	0,00	-6,58
	Aydınlatma Etkinliği		0,00	0,00	-1,20	-3,72	-	-6,56	0,00	-5,09
	Güneşli Otomasyonu		0,00	-2,08	-1,66	-1,66	-	-2,08	0,00	-1,87
	Infiltrasyon		0,00	0,00	-0,01	-0,01	-	-1,82	0,00	-1,74
	pV Güneş Paneli	Panel Verim.	0,00	-	-	-14,40	-	-1,27	0,00	-2,09
		Geri Ödeme	0,00	-	-	-14,40	-	-1,27	0,00	-2,09
		Yüzey Alanı	0,00	-	-	-14,40	-	-	0,00	-2,09
EUI Sonuç kWh/m2/yr	GBS	Toplam EUI	198,9	118,3	-	-	190,0	-	156,4	-
	Insight	Ortalama EUI	118,9	58	62,9	45,89	118,9	56,27	77,4	57,6

Çizelge A.5: Senaryoların enerji yükleri sonuçlarına ilişkin ayrıntılı çizelge.

Senaryo Adı		S-1	%	S-2.1	%	S-2.2	S-2.3	S-2.4	%	S-2.5	S-3	%	S-4	birim
Insight	EUI ort.	118,9		58		62,93	45,89	118,9		56,27	77,4		57,6	kWh/m2/y
GBS	Toplam EUI	198.9		118.3				190.0			156.4			kWh/m2/y
Enerji Kullanımları Yıllık Toplam	Enerji (elektrik+yakıt)	1.021.543,00		607.093,00				975.150,00			780.800,00			kWh
	Yakıt	703.943	69	329.176				596.078			285.537	37		kWh
	Elektrik	317.600	31	277.917				379.072			495.263	63		kWh
	CO2 Emisyonu	126,4		59,1				107			51,3			Mg
	Yenilen. Enerji Pot.	61.004		61.004				61.004			61.004			kWh/y
Yaşam Döng. Boy.	Elektrik Kullanımı	9.528.009		8.337.495				11.372.157			14.857.887			kWh
	Yakıt Kullanımı	21.118.292		9.875.283				17.882.355			8.566.117			kWh
Enerji Yükleri Yıllık Toplam	Isıtma	347.767	37	42.136	7			266.902	27		18.100	2		kWh
	Soğutma	67.780	7	106.662	18			89.675	9		60.810	8		kWh
	Havalandırma Fanları	44.181	4	28.839	5			83.409	9		203.558	26		kWh
	Sıcak Su	329.176	32	329.176	54			329.176	34		285.537	39		kWh
	Aydınlatma	111.395	11	8.688	1			111.395	11		70.228	9		kWh



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Damla ELBİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 1991, Bursa
E-posta : damlaelbi@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Yaşar Üniversitesi, Mimarlık Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016 yılından beri, Ayrıkada Ekoloji ve Sanat Topluluğu kurucu/gönüllüsüdür.
- 2015 yılından beri, ışık ile algı ve çevreci mimarlık atölyeleri düzenlemektedir.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Elbi, D., Ekim, H. F., ve Dursun, O.** 2016. Optimizing natural ventilation strategy in existing buildings using differential evolution: Case of architectural studio classrooms. In *2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)* Vancouver, BC, 2016. 3895-3900. DOI:10.1109/CEC.2016.7744283