

**YAPI BİLGİ MODELLEME VE ENERJİ PERFORMANS YAZILIMLARI
BÜTÜNLEŞMESİNİN ERKEN MİMARİ TASARIMA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ufuk AYDIN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilgisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşin SEV

EKİM 2019

Ufuk AYDIN tarafından hazırlanan YAPI BİLGİ MODELLEME VE ENERJİ PERFORMANS YAZILIMLARI OPTİMİZASYONUNUN adlı bu tezin Y. Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Aysin SEV

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Mimari Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan

: Prof. Dr. AYSIN SEV

Üye

: Prof. Dr. Salih OF WOGU

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Seyhan YARDIMCI

Üye

:

Üye

:

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi *Fen Bilimleri* Enstitüsü tez yazım klavuzuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ücret karşılığı başka kişilere yazdırmadığımı (dikte etme dışında), uygulamalarımı yaptırmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

İhtlak AYDIN
....




**Gaia'ya saygıyla...
Ateşe, Havaya, Suya ve Toprağa,*





Teşekkürler...

Tez danışmanım değerli hocam, çalışma boyunca yönlendirerek bu çalışmanın çıkmasına katkı sağlayan **Prof. Dr. Ayşin SEV**'e,

Tez Jürisi hocalarım, **Prof. Dr. Salih OFLUOĞLU** ve **DR. Öğretim Üyesi Seyhan YARDIMLI**'ya,

Tezi bitirme konusunda “sürekli hatırlatmaları ile” beni destekleyen değerli hocam, **Doç. Dr. Olcay ÇETİNER ÖZDEMİR**'e,

Görüş ve önerileri ile **Canan AKKAYA** ve **Çağda ÖZBAKİ** hoca başta olmak üzere, isimlerini tek tek sayamayacağım, tüm katkı sağlayanlara,

Anlayış ve destekleri için,

Oğlum, **Mehmet Giray AYDIN**'a ve Eşim **Sevim BOZDAĞ AYDIN**'a...



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	27
1.1 Problemin Tanımı	27
1.2 Çalışmanın Amacı	30
1.3 Çalışmanın Yöntemi	30
1.4 Çalışmanın Kapsamı ve Sınırlamalar	31
1.5 Konuya İlişkin Mevcut Çalışmalar	32
2. MİMARİ TASARIM SÜRECİ VE AŞAMALARI	35
2.1 Tasarım Teorisi ve Pratiği	35
2.2 Mimari Tasarım Süreci	37
2.2.1 Üretim öncesi tasarım	41
2.2.2 Üretim sırasında tasarım	41
2.3 Yinelimli Tasarım	42
2.4 Yapı Elde Etme Sürecinde Karşılaşılan Zorluklar	42
2.5 Tasarım ve Yapım Sürecinde Paydaşlar	43
2.6 Bütünleşik Tasarım Süreci	45
3. BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI VE ANALİZİ	49
3.1 Binalarda Enerji Performans Kavramı	50
3.1.1 Binalarda Enerji Tüketimi	50
3.1.2 Enerji Performansı	52
3.1.3 Bina Enerji Performansını Etkileyen Faktörler	55
3.1.4 Performans Analizleri	59
3.1.4.1 Bina Enerji Performansı Ölçme Yöntemleri	63
3.1.4.2 Amaçların Belirlenmesi ve Ölçüm	64
3.1.4.3 Benzetim ve Analiz Araçlarının Seçimi	65
3.1.4.4 Tasarım Optimizasyonu Kararları	65
3.1.4.5 Bina Enerji Performansı Ölçme İçin Uygun Zamanlama	65
3.1.4.6 Bina Performans İzleme	67
3.2 Binalarda Enerji Performansının Benzetim Yoluyla Analizi	69
3.2.1 Bina Performans Benzetimleri	70
3.2.2 Bina Simülasyonu ile Enerji Analiz Yöntemi	72
3.2.3 Enerji Modelleri	75
3.2.3.1 Enerji Modeli Üretim Yöntemleri	76
3.2.3.2 Doğru Miktarda Detaylandırma	79

3.3 Enerji Analiz Yazılımları	80
4. YAPI BİLGİ MODELLEME VE ENERJİ PERFORMANS ANALİZİ İLE İLİŞKİSİ	85
4.1 Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Kavramı	85
4.1.1 YBM Yaklaşımında İşleyiş	90
4.1.2 YBM Sürecinde Kullanılan Yazılımlar ve Dosya Formatları	91
4.1.3 Bina Yaşam Döngüsü Analizi Bağlamında YBM	95
4.1.3.1 Tasarım Aşaması	95
4.1.3.2 Yapım Aşaması	96
4.1.3.3 Yapı Yönetimi ve İşletme Aşaması.....	97
4.1.3.4 Yıkım ve Geri Dönüşüm Aşaması	97
4.1.4 YBM Yaklaşımında Tasarım Seviyesi (Level of Design -LOD) Sistemi.	98
4.1.5 YBM Yaklaşımının Sağladığı Olanaklar	99
4.2 YBM ve Enerji Performans Analizi	104
4.2.1 YBM’de Projelendirme Aşamaları ve Enerji Performans Analizi.....	104
4.2.2 YBM’de Enerji Modelleme.....	107
4.2.3 YBM Yazılımlarının Enerji Yazılımlarıyla Birlikte Çalışabilirliği	109
5. YBM İLE ENERJİ PERFORMANS YAZILIMLARININ BÜTÜNLEŞMESİNE İLİŞKİN DEĞERLENDİRME	117
5.1 Revit – Insight Tipik İş Akışı Örneklemesi.....	118
5.1.1 Mimari Program ve Planlama Gereksinimleri	119
5.1.2 Proje Ortamında Kütsel Elemanlar Yaratılması	120
5.1.3 Yaratılan Kütlelere Döşeme Yüzeyleri Atamak.....	121
5.1.4 Kütleleri Enerji Modeline Çevirmek.....	124
5.1.5 Insight Analizlerin Başlatılması	130
5.1.6 Insight Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	130
5.1.7 Insight Model Optimizasyonları	131
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	137
KAYNAKLAR.....	143
EKLER	153
ÖZGEÇMİŞ	183

KISALTMALAR

3B	:3 Boyutlu
2B	:2 Boyutlu
4B	:4 Boyutlu
5B	:5 Boyutlu
AEC	:Architecture, Engineering and Construction
ASHRAE	:American Society Heating Refrigerating AirConditioning Engineers
ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
ADT	:Architectural Desktop
API	:Application Programming Interface
ANSI	:American National Standards Institute
AIA	:American Institute of Architects
BDT	:Bilgisayar Destekli Tasarım
BIM	:Building Information Modeling
BCF	:BIM Collaboration Format
BREEAM	:Leadership in Energy and Environmental
BLAST	:Battery Lifetime Analysis and Simulation Tool
CO2	:Karbondiyoksit
CFD	:Bilgisayarlı Akışkanlar Dinamiği
COBIE	:Construction Operations Building Information Exchange
CAD	:Computer Aided Design
DOE	:U.S. Department of Energy (Birleşik Devletler Enerji Bakanlığı)
DXF	:Drawing Exchange Format
EUI	:Energy Use Intensity
ESP	:Energy Solution Providers
ERP	:Enterprise Resource Planning
EAM	:Energy Analytical Model
GPS	:Global Positioning System
GSA	:General Services Administration
gbXML	:Green Building XML
GBS	:Green Building Studio
HVAC	:Heating Ventilating and Air Conditioning
HOK	:Hellmuth, Obata + Kassabaum
IPD	:Integrated Project Delivery
IFC	:Industry Foundation Classes
IES	:Illuminating Engineering Society
IDM	:Information Delivery manuals
ISO	:International Organization for Standardization
KAKS	:Kat Alanı Katsayısı
LEED	:Leadership in Energy and Environmental Design
LOD	:Level of Development
MEP	:Mechanical Electrical & Plumbing
NIST	:National Institute of Standards and Technology

ODBC	:Open Database Connectivity
O&M	:Operations and Maintenance
PhD	:Postgraduate Doctoral Degree
RIBA	:Royal Institute of British Architects
Rtc	:Revit Technology Conference
SINTEF	:Stiftelsen for industriell og teknisk forskning
STEP	:Standard for the Exchange of Product model data
SCM	:Supply chain management
TMMOB	:Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TAKS	:Taban Alanı Katsayısı
TMY	:Typical Meteorological Year
USA	:The United States of America
YBM	:Yapı Bilgi Modelleme
Gaia	:Toprak Ana



SEMBOLLER

m² : Metre kare (alan)
kWh : Kilowatt saat (Enerji Birimi)
sn : Saniye
lux : Lüks (Aydınlatma şiddeti birimi)
db : Desibel (Ses şiddeti birimi)





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : RIBA Çalışma Planı ve TMMOB Standart Mimarlık Hizmetleri Proje Aşamaları Karşılaştırması (Harputlugil, 2009).	39
Çizelge 3.1 : Ticari ve konut binalarında enerji tüketiminin alanlara göre oransal dağılımı (Mah, 2011).	51
Çizelge 3.2 : Kullanıcı ihtiyacı ve Performans Gereksinimi (Harputlugil, 2009).	54
Çizelge 3.3 : Enerji Modeli Detay Seviyesi (Aydın ve Volpintesta, 2013).	79
Çizelge 4.1 : YBM sürecinde görev alan disiplinlerin kullandıkları yazılımlar .	92
Çizelge 4.2 : Tasarım Araçlarının Kullanım Yüzdeleri (Littlefield, 2008).	93
Çizelge 4.3 : Performans Analizi için Gerekli Veriler	109
Çizelge 4.4 : YBM ve BDT’de Enerji Performans Analizi İçin İş Akışı	111
Çizelge 5.1: Performans Adımları.....	118
Çizelge A.1 : Geleneksel analiz süreci ve Insight Karşılaştırması (Molloy, 2019)	170



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tasarım Süreci (Osterwalder ve diğerleri, 2014).	36
Şekil 2.2 : Geleneksel Tasarım Sürecinde Tipik Aşamalar (Jeong, 2008).	39
Şekil 2.3 : Geleneksel ve Bütünleşik Tasarım Süreci (Özener, 2009).	46
Şekil 2.4 : BTS’de Disiplinlerarası Bilgi Hiyerarşisi (Doherty, 2009).	47
Şekil 2.5 : Disiplinlerin Alanları Dışındaki Konularda Bilgi Seviyeleri.	48
Şekil 3.1 : Tipik Bir Ticari Binanın Enerji Kullanımı (Lin, 2008).	51
Şekil 3.2 : Bina Enerji Tüketiminin Ana Bileşenleri (Ademoğlu, 2005)	52
Şekil 3.3 : Bina Performansı Bileşenleri (Harputlugil, 2010).	53
Şekil 3.4 : Performans ve Sürdürülebilirliği Etkileyen Faktörler (Aydın ve Volpintesta, 2013).	60
Şekil 3.5 : Amaç Belirleme, Ölçüm Ve Analiz Aşamaları	64
Şekil 3.6 : Analiz Aracı ve Simülasyon.	65
Şekil 3.7 : Tasarım Optimizasyonu.	65
Şekil 3.8 : Tasarım Sürecinde Geri Bildirimler (Harputlugil, 2009).	66
Şekil 3.9 : Mevcut ve Olması Gereken Enerji Analiz Süreci	67
Şekil 3.10 : Performans İzleme Sensörleri (Autodesk Research, 2019).	68
Şekil 3.11 : Sensör Verilerinin Gerçek Zamanlı Görselleştirilmesi (Autodesk Research, 2019).	68
Şekil 3.12 : Project Dasher Etkileşimli Ekranı (Autodesk Research, 2019).	69
Şekil 3.13 : Bina Enerji Simülasyonu Ana Bileşenleri (Ademoğlu, 2005).	72
Şekil 3.14 : Enerji Performansı Pasif Bileşenleri ve Bina Sistemi (Harputlugil, 2009).	73
Şekil 3.15 : Enerji Modelleme Süreci.	73
Şekil 3.16 : Enerji Analiz Süreci Gereken Bilgi ve Veriler (Harputlugil, 2010).	74
Şekil 3.17 : Kavramsal Tasarım Enerji Modelleri.	77
Şekil 3.18 : Uygulama Proje Aşaması Enerji Modelleri.	77
Şekil 3.19 : Mevcut Durum Enerji Modelleri.	78
Şekil 3.20 : Detay Seviyeleri ve Analiz Sonuçları Karşılaştırması.	80
Şekil 3.21 : Çeviriye Dayalı Yaklaşım ve BTD Yaklaşımı.	82
Şekil 4.1 : Enerji Analizi Süreci İçin Gerekli Bilgi ve Veriler (Özener, 2009). ..	86
Şekil 4.2 : Proje Üretim Yöntemlerinin Tarihçesi (Osello, 2012).	86
Şekil 4.3 : (Solda) Geleneksel Çizim, (ortada) BDT ve (sağda) YBM.	87
Şekil 4.4 : YBM ve Paydaşlar (Aydın ve Volpintesta, 2013)	87
Şekil 4.5 : Disiplinlere Özel YBM Modeli (IPMS, 2011)	88
Şekil 4.6 : Proje Aşaması ve YBM modeli (Trehen, 2008).	88
Şekil 4.7 : Disiplinlere Ait YBM ve Veritabanı (StroyProekt ve Cloud66, 2019).	88
Şekil 4.8 : YBM Disiplinlerarası Birlikte Çalışabilirlik (Issaad, 2019).	90
Şekil 4.9 : YBM – Farklı Disiplin Modelleri (Aydın ve Volpintesta, 2013).	91
Şekil 4.10 : YBM Yazılımları (AECbytes Special Report, 2007)	94
Şekil 4.11 : YBM ve Bina Yaşam Döngüsü (Baykal ve Aydın 2019).	96
Şekil 4.12 : YBM’in Desteklediği İşler (Krygiel, 2010).	97
Şekil 4.13 : YBM Detay/Üretim Seviyesi (Lucas, 2015).	98
Şekil 4.14 : YBM’in Yararları (DesignIntelligence Survey, 2010).	99
Şekil 4.15 : YBM ve Görselleştirme (Aydın, 2010).	100
Şekil 4.16 : YBM ve Metraj (Aydın, 2010).	100

Şekil 4.17 : YBM ve Koordinasyon (Aydın, 2010).....	101
Şekil 4.18 : YBM ve Planlama (Aydın, 2010).....	101
Şekil 4.19 : YBM ve İmalat/Montaj (Aydın, 2010).....	102
Şekil 4.20 : MacLeamy Eğrisi- HOK (MacLeamy, 2019).....	105
Şekil 4.21 : Analiz İş Akışı ve Önerilerle Çalışma.....	106
Şekil 4.22 : Geleneksel Yapı Elde Etme Aşamaları.....	106
Şekil 4.23 : (Solda) Çok detaylı, (Sağda) Daha Az Detaylandırılmış Kat Planı.....	107
Şekil 4.24 : Revit Room/Space Nesneleri.....	108
Şekil 4.25 : Duvar, Çatı ve Döşeme Elemanları Geometriden Üretilbilir (Mangon, 2004).....	108
Şekil 4.26 : Revit Modeli gbXML Dosyasıyla eQuest İçine Alınmış (Zhao, 2009).	109
Şekil 4.27 : YBM ve BPM Bütünleşmesi (Hamza ve Horne, 2007).....	110
Şekil 4.28 : Revit-Insight Enerji Performansı Optimizasyonu (Dixit, 2019)	112
Şekil 4.29 : ArchiCAD Enerji Performansı Simülasyonu İçin 3. Taraf Yazılımlara Veri İhracatı (Graphisoft, 2019).....	113
Şekil 4.30 : Energos Modülünün Vectorworks ile kullanımı (BillV, 2019).....	114
Şekil 4.31 : Allplan AX3000 Simulasyon (Nemetschek, 2019).....	115
Şekil 4.32 : Tasarım Araçları Ve Kullanıcı Oranları (Littlefield, 2019).	116
Şekil 5.1: Ofis Binası İçin Eskiz Örnekleri.....	118
Şekil 5.2: Ofis Binası Vaziyet Planı.	119
Şekil 5.3: Ofis Binası Tipik Plan ve Kesiti.	120
Şekil 5.4: Revit Kavramsal Kütle Yaratma Aracı.	120
Şekil 5.5: Revit'te 3 Boyutlu Model Yaratma.	121
Şekil 5.6: İtme ve Çekme Özelliği ile Model Düzenlemeleri.	121
Şekil 5.7: Kütlelerdeki Katların Hizaları.	122
Şekil 5.8: Kütlelere Döşeme Tanımlanması.....	122
Şekil 5.9: Döşemeler ve Alanları.....	122
Şekil 5.10: Döşeme, Kot Ve Kat Tanımlamaları.	123
Şekil 5.11: Revit Mass, Döşemeler ve Enerji Modeli.	124
Şekil 5.12: Binanın Coğrafi Konumunun Belirlenmesi.....	124
Şekil 5.13: Binanın Konumunun Haritadan Seçilmesi.....	125
Şekil 5.14: Proje Konumuna Göre İklim Verileri.....	125
Şekil 5.15: Revit Enerji Ayarlamaları Aracı.....	126
Şekil 5.16: Revit Enerji Ayarlamaları Penceresi.	126
Şekil 5.17: Revit İleri Enerji Ayarları.....	127
Şekil 5.18: Revit Enerji Modeli Oluşturma Aracı.	127
Şekil 5.19: Revit Enerji Optimizasyonu.....	128
Şekil 5.20: Örnekleme Yapılacak Farklı Tasarımlar.	129
Şekil 5.21: Enerji Optimizasyonu Komutu.	130
Şekil 5.22: Enerji Analizi Sonuçları.	131
Şekil 5.23: Öneri Tasarımların Enerji Analizi Sonuçları.	131
Şekil 5.24: Insight Ekranı Bileşenleri.....	132
Şekil 5.25: Insight Değişkenleri.	133
Şekil 5.26: Insight Optimizasyon Faktörleri. (Bina Oryantasyonu)	134
Şekil 5.27: Insight Karşılaştırma Kıyaslama Aracı.	135
Şekil 5.28: Insight Faktörlerindeki Değişiklikler ve Model Geçmişi.	135
Şekil A.1 : Architecture 2030 Hedefleri.	155
Şekil A.2 : Mimarın Tasarım Kriterleri.....	156

Şekil A.3 : Tasarım Kararlarının Birbirine Etkileri.	157
Şekil A.4 : Tasarım Kararları Alan Farklı Paydaşlar.	157
Şekil A.5 : Tasarım Kararları Olasılıkları ve Etkileri.....	158
Şekil A.6 : Tasarım Kararları Analizleri ve Sonuçları.....	159
Şekil A.7 : Geleneksel ve Insight Enerji Modeli Yaratma Süreleri.....	160
Şekil A.8 : Geleneksel ve Revit Enerji Modeli Üretimi Karşılaştırması.	160
Şekil A.9 : Insight Enerji Faktörleri Ekranı.....	161
Şekil A.10 : Insight Aydınlatma Verimliliği Faktörü	161
Şekil A.11 : Insight Enerji Aralığı.	162
Şekil A.12 : Insight Enerji Analizi- Farklı Tasarım Aşamaları.....	162
Şekil A.13 : Autodesk Insight 360.....	163
Şekil A.14 : Dinamik Termal Tüm Bina Enerji Simülasyonu.	165
Şekil A.15 : Enerji Analizi İçin Doğru Bilgi, Kişi ve Zaman	167
Şekil A.16 : Insight 360 Enerji Analizi İçin Bilgi, Kişi ve Zaman	167
Şekil A.17 : Insight 360 Tipik İş Akışı.....	168
Şekil A.18 : Insight 360’da kullanılan Araçlar.....	169
Şekil B.1 : Bina İçi ve Dışı Faktörler ve İlişkileri	171
Şekil B.2 : Enerji Kullanımı Faktörleri ve Autodesk 360 Enerji Veri Setleri...172	
Şekil B.3 : Revit Enerji Parametreleri ve Enerji Kullanımı Faktörleri.....173	
Şekil C.1 : Revit’te Eskizden Kavramsal Modelleme ve Projelendirme (Autodesk DAM, 2010).....	175
Şekil C.2 : Revit Başlangıç Ekranında Kavramsal Tasarım Ortamı.....176	
Şekil C.3 : Revit Kavramsal Tasarım Arayüzü.....176	
Şekil C.4 : Revit Serbest Form Modelleme Araçları.....176	
Şekil C.5 : Revit Proje Arayüzünde Serbest Form Modelleme.....177	
Şekil C.6 : Revit Serbest Formlar ve Bina Elemanlarına Dönüşüm. (Aydın ve Volpintesta, 2013).....	177
Şekil C.7 : Revit Building Maker Araçları.....177	
Şekil C.8 : Katı Formlar ve Enerji Modeli.....178	
Şekil C.9 : Revit Enerji Modelleri (Aydın ve Volpintesta, 2013).....178	
Şekil C.10 : Revit Tasarım Alternatifleri.....179	
Şekil C.11 : Revit Tasarım Bağlamında Farklı Alternatifler.....179	
Şekil C.12 : Öneri Analizleri ve Karşılaştırması (Autodesk DAM, 2010).....180	



YAPI BİLGİ MODELLEME VE ENERJİ PERFORMANS YAZILIMLARI BÜTÜNLEŞMESİNİN ERKEN MİMARİ TASARIMA ETKİSİ

ÖZET

Tez çalışması kapsamında, literatür taramaları ile enerji ve çevresel sorunlar araştırılmış ve konunun teorik arka planı incelenmiştir. Enerji etkinlik kavramının ve enerji etkin “sürdürülebilir tasarım kararı destek sistemlerinin” önemi anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu süreçte mimari tasarımın yeri ve mimarın rolü araştırılmıştır. “Sürdürülebilirlik” kavramı ve yaklaşımları incelenmiş, adına “yeşil bina”, “eko tasarım”, “çevreci yaklaşım”, “enerji nötr bina” vb. gibi birçok terim ve kavramın kullanılabildiği görülmüş, yapı sektöründe ve sektör dışında bu kavramın yaygınlaştığı ve popüler hal aldığı gözlenmiştir. Ancak, aynı zamanda bu kavramların birbirine karıştığı ve anlam karmaşası içinde, neredeyse bilinçli ya da bilinçsiz farklı anlamlarda kullanıldığı da anlaşılmıştır.

Çalışmanın giriş niteliğindeki 1. Bölümünde problem tanımlanmış, amaç ortaya konmuştur. Daha sonra çalışmanın yöntemi hakkında bilgi verilerek, sınırlamalar belirtilmiştir. Bölüm sonunda bu konu kapsamında yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Az sayıdaki çalışmada, mimari tasarım sürecine “tam bütünleşik” olabilecek bir analiz ve karar destek sistemine ihtiyaç olduğu vurgulanarak, önerilerde bulunulmuştur.

İkinci bölümde, tasarım, mimari tasarım ve proje aşamaları ile ilgili bilgiler verilmiş, literatür taramalarında elde edilen veriler ve bulgular aktarılmıştır. Çalışma kapsamında, tasarım ve tasarım ile ilgili sorunlar incelenmiş ve bu konudaki sorunlar tespit edilmiştir. Enerji etkin tasarımda en çok “bütünleşik çalışma”, “multidisipliner çalışma” gibi çok önemli konuların olduğu görülmüştür.

Üçüncü bölüm, enerji, enerji modelleri ve analizleri, ile ilgili konular ele alınmıştır. Bu konuda sektörde kullanılan enerji analiz yazılımları incelenmiş ve mimarların tasarım kararı desteği için kullanabildikleri yazılımlar tespit edilmiştir.

Dördüncü bölüm Yapı Bilgi Modeli (YBM) merkezinde enerji analizi ve tasarım süreçleri ile ilgili konular ele alınmış ve ilişkiler incelenmiştir. YBM ve YBM süreçlerinin koordinasyon ve ekip çalışmasını desteklediği anlaşılmıştır. YBM ile ilgili bölümde bu konudaki sistem ve araçların inşaat sektörüne ne olanaklar sunduğu

üzerinde durulmuştur. İş akışları ve süreçleri hakkında bilgi verilmiş, simülasyon ve analiz araçlarının YBM tasarım süreçleri ile ne kadar bütünleşmiş olduğu/olması gerektiği araştırılmıştır. YBM, enerji etkinlik ve mimari tasarım birbirleri ile nasıl bir ilişki içinde oldukları tartışılmıştır.

Son olarak beşinci bölümde, YBM yazılımları içinde kullanım oranı en fazla ve yaygın olan Revit yazılımı üzerinde bir örneklem gerçekleştirilmiştir. Mimari tasarıma başlayan bir mimarın bakış açısından, kütleli tasarımı yapılan bir ofis binası örneği üzerinden, modelleme, enerji modeli üretimi, analize temel bilgilerin ve verilerin girişlerinin yapılması, analizin yapılması, sonuçların değerlendirilmesi ve optimizasyonların yapılması gösterilmiştir.

Analiz yazılımı olarak Insight'ın Revit içinde doğrudan çalışabildiği literatür taramalarında tespit edilmiştir. Insight yazılımının arkasında enerji analizini yapan motorun, DOE2 ve Energy Plus yazılımları olduğu bilgilerine ulaşılmıştır.

Çalışma genelinde erken aşama mimari tasarım sürecinde, enerji etkin ve sürdürülebilir binalar için, YBM yazılımları ve araçları ile enerji analizi ve simülasyon yazılımlarının ne düzeyde bütünleştiği irdelenmiş ve güncel iş akışı örneklenerek elde edilen bulgular ile sonuçlar ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yapı Bilgi Modelleme, YBM, Enerji Performans Analizi, Kavramsal Mimari Tasarım, Revit, Insight.

THE EFFECT OF BUILDING INFORMATION MODELING AND ENERGY PERFORMANCE SOFTWARE INTEGRATION ON EARLY ARCHITECTURAL DESIGN

SUMMARY

Within the scope of the thesis, energy and environmental problems have been researched with literature reviews and theoretical background of the subject has been examined. The concept of energy efficiency and the importance of energy efficient tasarım sustainable design decision support systems çalış have been tried to be understood. In this process, the place of architectural design and the role of the architect were investigated. The concept and approaches of "sustainability miş were examined, and. Green building", "eco design", "environmentalist approach", "energy neutral building" and so on. It has been observed that many terms and concepts can be used and such concept has become widespread and popular in the sector and outside the sector. However, it is also understood that these concepts are mixed and used in different meanings, almost consciously or unconsciously, in the confusion of meaning.

In the introductory part 1 of the study, the problem is defined and the aim is set out. Then, information was given about the method of the study and limitations were stated. At the end of the chapter, information about the studies carried out within this scope is given. Few studies have emphasized the need for an analysis and decision support system that can be "fully integrated" into the architectural design process and made recommendations.

In the second chapter, information about design, architectural design and project phases are given and the data and findings obtained from literature surveys are presented. Within the scope of the study, problems related to design and design were examined and problems were determined. In energy efficient design, most important issues such as numerous integrated work and multidisciplinary work were found.

The third chapter deals with energy, energy models and analysis. In this regard, the energy analysis software used in the sector is examined and the software that architects can use to support the design decision is determined.

The fourth chapter deals with the topics related to energy analysis and design processes in the Building Information Model (BIM) center and examines the relationships. It is understood that the BIM and BIM processes support coordination and teamwork. In the section related to BIM, it has been emphasized what the systems and tools on this subject offer to the construction sector. Information was given about workflows and processes, and the integration of simulation and analysis tools with BIM design processes was investigated. The relationship between BIM, energy efficiency and architectural design is discussed.

Finally, in the fifth chapter, a sample has been performed on Revit software which has the highest usage rate among the BIM software. From the point of view of an architect who started architectural design, modeling, energy model production, input of basic information and data to the analysis, analysis, evaluation of results and optimizations were shown over a mass designed office building.

It has been found in the literature that Insight can run directly in Revit as analysis software. Behind the Insight software, the engine that performs energy analysis is DOE2 and Energy Plus.

Throughout the study, in the early stage architectural design process, the level of integration of energy analysis and simulation software with BIM software and tools for energy efficient and sustainable buildings was examined and the results obtained by sampling the current work flow were presented.

Keywords: Building Information Modeling, BIM, Energy Performance Analysis, Conceptual Architectural Design, Revit, Insight

1. GİRİŞ

*"İnsan,
doğayı en çok kirleten canlıdır.
Aynı zamanda kendi geleceğini planlama ve
yönetme yeteneğine sahip tek türdür.
Bu yeteneğin harekete geçirilmesi
gerekmektedir."*

Ken Yeang

Avrupa Birliğindeki binaların enerji tüketimi %40 ve karbon salımı ise %36 olup, toplam enerji tüketimi açısından binalar diğer enerji tüketen kaynaklardan daha fazla sorumludur (European Commission, 2019). Bu açıdan bakıldığında, çoğunlukla fosil yakıt kullanılarak üretilen enerjinin büyük bir bölümünü binaların tükettiği açıktır.

Fosil yakıtlar kullanılarak üretilen enerji sonucunda önemli ölçüde sera gazı salımı gerçekleştiği de bilinmektedir. Binaların harcadıkları enerji oranında sera gazı salımına katkısı göz önüne alınınca enerji tüketimin azaltılmasına yönelik her tür önlem, öneri ve iyileştirme çalışmaları çok büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda çevreye duyarlı ve enerji etkin tasarım ilkelerinin uygulanabilirliği açısından büyük potansiyele sahip yapı endüstrisi, sürdürülebilir bir kalkınmaya önemli ölçüde katkıda bulunmalı, bu doğrultuda tasarım ekibinden yapım ekibine, endüstrinin tüm paydaşlar üzerine düşen görev ve sorumlulukları yerine getirmelidir.

1.1 Problemin Tanımı

Enerji performansı yüksek, sürdürülebilir binalar doğal kaynakları korumakta, çevresel kirliliğinin azaltılması amacıyla alınan desteklere önemli katkıda bulunmakta, ayrıca zamanının %90'ını iç mekanda geçiren insanların sağlık ve konforunu da desteklemektedir.

Künar'a (2012) göre başlıca iki çevresel sorun şöyle özetlenmektedir;

"İlki, yaşamımızın en önemli ve fazla zamanı geçirdiğimiz konutlar, işyerleri, okullar, hastaneler vb. en enerji verimsiz mekanlar olması, iç ortam kalitesi

ve konfor düzeylerinin hijyen ve insan biyolojisi-fizyolojisi-psikolojisi kriterlerine göre en yetersiz-sağlıksız şekilde yapılmış ve hala yapılıyor olmasıdır. Diğeri de; ülkemizi, çevremizi, ekosistemimizi ve aslında gezegenimizi, gelecek nesilleri, tüm canlıları yok eden küresel iklim değişikliği ve karbon salınımını artıran, enerji üretimi-tüketimi sorunudur.”

Enerji etkin, sürdürülebilir, pasif/sıfır enerjili binalar geliştirmek ve bunlardan oluşan yeşil şehirler kurmak gerektiğini de belirten Künar (2012), pasif enerji tasarımının önemini vurgulamakta, Almanya'da 100 metrekarelik pasif bir evde yaşayan 4 kişilik bir ailenin yıllık ısıtma giderinin 38 Euro olduğunu, aynı büyüklükteki bir konutta yaşayan, 4 kişilik Erzurumlu bir ailenin ısıtma giderinin yaklaşık 400 Euro olup, arada 20-30 kat bir fark olduğunu belirtmektedir.

Performansı yüksek binalar tasarlamak için, tasarıma bütüncül olarak bakmak gerekliliği açıktır. Bina tasarımına başlayan mimarların diğer disiplinler ile birlikte çalışması önem taşımaktadır. Farklı sebeplerden dolayı günümüz uygulamalarında, bu ender görülen bir durumdur. Buna karşılık, yüksek performanslı bir bina, yapı sahibi, yüklenici, mimarın başlıca rol oynadığı ve çok sayıda uzmanın görev aldığı bağımsız ve/veya bütünleşik bir süreç sonucu ortaya çıkmaktadır (Künar, 2012). Dengeli ve bütüncül bir yaklaşım ile enerji, su ve diğer doğal kaynakları korumak, iç mekân hava kalitesini artırmak, çevreye duyarlı tasarım ve inşaat teknikleri ile atıkları azaltmak mümkün hale gelmektedir.

Yapı Bilgi Modelleme (YBM) sistemleri bu konuda da büyük yarar sağlamaktadır. Yapı Bilgi Modellemesi en genel anlamda 3 boyutlu akıllı bir bina modelinin üzerine sayısal olarak bina ile ilgili veri ve bilgilerin, farklı aşamalarda farklı paydaşlar tarafından yüklenmesi ile oluşturulan ve yönetilebilen bir süreçtir. Bu süreçte tüm paydaşlar, bu ortak süperpoze 3 Boyutlu (3B) model üzerinden çalışır ve paylaşım yaparlar. Özetle YBM, binanın gerçek hayattaki fiziksel ve işlevsel tüm özelliklerinin sanal ve sayısal bir ortamda oluşturulup, saklanması ve ihtiyaca göre farklı araç ve yazılımlar ile kullanılması sürecine verilen isimdir.

Mimarlar tarafından YBM yazılımları bir süredir kullanılsa da, yerleşim analizleri ve şematik tasarım için enerji performans yazılımlarının ve benzetimlerinin erken aşamada tasarımlara dahil edilememesi, tasarım tamamlandığında enerji performans hedeflerine tam olarak ulaşmasına engel olmaktadır. Böylece tasarımın son

aşamalarında yapılan analizler tasarım değişikliklerinin kısıtlanmasına neden olmaktadır. Tasarımın erken aşamalarında, sürdürülebilir stratejiler açısından analiz eksikliği binanın enerji performansını düşürmektedir. Buna karşılık gerçek anlamda sürdürülebilir bir tasarım için mimarların erken aşamalarda analiz yapabilmeleri, bina enerji performansını olumlu yönde etkiler. Benzetim sonuçları, yüksek enerji performansı için mimarlara ölçülebilir karar destek olanağı kazandırmaktadır (Haksar, 2010).

YBM ve enerji benzetim yazılımlarının işlevi, bina modelini referans alarak, enerji analizlerini daha anlaşılır hale getirmek, böylece başlıca kararların tasarımın erken evresinde alınmasını sağlamaktır. Dolayısıyla YBM ve enerji performans yazılımlarının birarada çalışması, başka bir deyişle bütünleştirilmesi, tasarımcının, iklim duyarlı ve enerji performans sonuçlarını erken tasarım aşamasında ölçüp değerlendirerek, hedefe yönelik tasarım kararları alabilmesine ve enerji performansı en yüksek sonuçlara ulaşmasına yardım etmektedir.

Bina enerji performansında iklim verileri kullanılarak yapının gerçek fiziksel özellikleri ve çeşitli yazılımlar ile benzetimler yapılabilmekte, böylece enerji performansı ölçülebilir hale getirilmektedir. YBM yazılımları ile üretilen modeller benzetimde doğrudan kullanılabilen “enerji modellerini” otomatik oluşturduğundan, yaygın olarak kullanılmakta olan diğer Bilgisayar Destekli Tasarım - BDT (Computer Aided Design – CAD) sistemlerine göre önemli avantajlar sağlamaktadır. Kavramsal tasarım aşamasında alınan kararlar ne kadar doğru ve hedefe yönelik verilebilirse, binanın enerji performansı da o oranda artacaktır.

Bu çalışmanın konusu, tasarım sürecinin erken evresini oluşturan kavramsal tasarım aşamasında “bina enerji analizlerinin” YBM yazılımlarıyla hangi düzeyde bütünleşebildiğinin araştırılmasıdır. Çalışmada;

- Günümüzde kullanılan ve gelecekte kullanımı yaygınlaşacak YBM yazılımları ile enerji performans analizi amacıyla kullanılan yazılımlar arasında bütünleşme var mıdır?
- Eğer bütünleşme yoksa, birbirlerinden tamamen ayrı şekilde fakat paralel bir kullanım devam edebilir mi?

sorularına cevap aranacaktır.

Çalışma sonucunda bütünleşmenin sağlandığı ortaya çıkması durumunda, bunun seviyesi araştırılacak, bu bütünleşmenin önemi ve gerekliliği tartışılacaktır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, tüm bina enerji performans analizi için güncel yöntem ve yazılımlar hakkında bilgi vermek ve bir binanın YBM yazılımlarıyla üretilirken, tasarım bağlamından uzaklaşmada, mimari tasarım ve enerji analizinin birbiriyle bütünleşik şekilde, hangi düzeyde yürütülebildiğini (ya da hangi düzeyde bütünleşebildiğini) belirlemektir. Çalışmada seçilen YBM yazılımıyla, enerji performans analiz yazılımı arasında bütünleşmenin ne ölçüde gerçekleşmiş olduğu incelenecektir. Bu amaçla aşağıda sıralanan adımlar izlenecektir:

- 1- YBM yazılımları incelenecek,
- 2- Dünya genelinde kullanımı en yaygın YBM yazılımı seçilecek;
- 3- Mevcut Enerji Analiz yazılımları incelenecek;
- 4- Seçilen YBM yazılımı ile hangi enerji analiz yazılımlarının birlikte çalışabildiği araştırılacak,
- 5- Seçilen YBM yazılımı ile enerji analizi yazılımı dosya alışverişi olmaksızın analiz yapılıp, yapılamadığı araştırılacak; yapılabiliyorsa uyum seviyesi tespit edilecek,
- 6- Seçilen yazılımda erken tasarım aşamasında enerji performans analizi için izlenen iş akışı örneklenecektir.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Tez çalışması literatür araştırması ile başlamaktadır. Literatür araştırması aşağıdaki sorulara yanıt aramak üzere yönelmiştir.

- Mimari tasarım nedir ve hangi süreçleri kapsar?
- Binalarda enerji performansı nedir? Nasıl analiz edilir? Bina enerji performansını etkileyen faktörler nelerdir?
- Tüm bina enerji performans analizi yazılımları nelerdir?
- YBM nedir? YBM’de yaygın olarak kullanılan yazılımlar nelerdir?

- YBM yazılımlarının süreçleri nelerdir?
- Enerji analizi çoğunlukla hangi aşamada yapılmaktadır?
- YBM yazılımları enerji modelleme aracı olarak görev alabilir mi?
- YBM yazılımları ile enerji performans analiz yazılımları arasında nasıl bir bağlantı vardır?
- Enerji performans analizi yazılımları, YBM yazılımlarının içinde bulunan bir araç/özellik midir?

Bu sorulara cevap bulmak amacıyla, öncelikle dünya genelinde bilimselliği kanıtlanmış yayınlar, yüksek lisans ve Doktora tezleri ile benzer çalışmalar araştırılmış, daha sonra yazılım üreten firmaların dokümanları incelenmiştir. Bu araştırmanın sonunda Revit yazılımı örnek olarak seçilmiş, bu yazılımda enerji modelleme ve analizi için Insight yazılımı ile iş akışları nasıl gerçekleştiği incelenmiştir. Bu yazılımın, tasarım sürecinin erken evresinde, kullanıcılara ne ölçüde bütünleşmiş enerji analizi ve tasarım geri dönüşü sağladığı araştırılmış, ardından yapılan değerlendirmeler ışığında elde edilen sonuçlar ortaya konmuştur.

1.4 Çalışmanın Kapsamı ve Sınırlamalar

Dünya genelindeki literatürde mimari tasarım, binalarda enerji performansı ve YBM konularına ilişkin çok sayıda çalışmaya erişilmiştir. Bu çalışma ise YBM bağlamında tasarım süreci ile ilgili ele alınabilecek pek çok konunun içinde, “binalarda enerji performansı ve analizi” ile ilgili sürece odaklanmaktadır. Diğer performans ve sürdürülebilirlik konuları kapsam dışı tutulmuştur.

Daha önce yapılan çalışmalarda, BDT yazılımları ile analiz yazılımları ilişkisinin farklı açılardan incelendiği görülmüştür. Bu çalışmada sadece YBM yazılımlarından, dünya çapında en yaygın kullanılan Revit yazılımı kapsam içine alınmıştır. Benzer çalışmalar diğer YBM yazılımları ile de yapılabilir. Enerji analiz yazılımlarının, çoğunlukla projelerin ilerleyen aşamalarında (mimari uygulama projeleri sırası ve sonrasında) mühendisler tarafından kullanılmakta olduğu görülmüştür. Bu süreçte mühendis, enerji analizine esas veri ve bilgileri mimardan beklemektedir. Dolayısıyla analiz yazılımları da, daha önce yapılan tez ve doktora çalışmalarında farklı açılardan

ele alınmış ve incelenmiş olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Bölüm 1.5). Bu çalışmada (Revit içinde çalışan) Insight yazılımı kapsam içinde tutulmuştur.

1.5 Konuya İlişkin Mevcut Çalışmalar

Daha önce yapılan araştırmalarda enerji performans yazılımları ve YBM yazılımlarının birlikte çalışabilirliği, bunun için izlenmesi gereken yol ve yöntemler, önerilen iş akışları, veri alışverişi gibi konular üzerinde durulduğu gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmalarda YBM yazılımından, analize esas verilerin dışarı nasıl çıkarıldığı ve sonrasında analiz yazılımı ile nasıl açılıp analiz yapılabildiği üzerine odaklanılmıştır. Bu çalışmada ise başka yazılımlara dosya aktarabilme ve alma işleri yapılmadan analiz yapılıp yapılmadığı araştırılacaktır.

Haskar (2010) çalışmasında, YBM ve enerji benzetim yazılımlarının tasarımın erken aşamalarında nasıl kullanılabildiğini ve örnek iş akışlarını tanımlamıştır. Araştırmasının amacı bir görselleştirme sistemi yaratarak, YBM ve enerji benzetim yazılımlarını erken tasarım sürecinde kullanarak, mimarların daha bilgili tasarım karar süreci sağlamaya odaklanmıştır. Araştırma sonucunda, görsel bir ara yüz çerçevesinde iş akışında kullanılacak verilerin neler olduğu, hangi varsayımların yapılabileceği ve bu verilerin erken aşamada mimari tasarımla nasıl birleştirilebileceği konusunda öneriler ortaya konmuştur.

Kumar (2008) yaptığı çalışmada YBM'nin geleceğin teknolojisi olduğunu belirtmiş ve enerji analizi yazılımları ile birlikte çalışmanın gelişmekte olan bir alan olduğunu vurgulamıştır. Amacının YBM yazılımı (özellikle Revit MEP) ile Ecotect ve IES <VE> analiz yazılımlarının, kesintisiz “birlikte çalışabilirliğini” test etmek olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında DXF, gbXML ve IFC uzantılı dosyalar için YBM yazılımları ile enerji analiz yazılımlarının birlikte çalışabilirliğini; analiz için veri aktarımı sırasında , geometri dışında hangi bilgileri transfer ettiğini araştırmış, ayrıca MEP bina modeli ve onun analitik modeli arasında bilgi aktarımını da incelemiştir. Çalışmasının son bölümünde bir Revit şablon dosyası oluşturmuş, bunu bina ve analitik modelleri arasındaki boşluğu gidermek için bir "yama" olarak tasarlanan MEP-IES ara yüzü üzerine geliştirmiştir. Bu şablon dosyada, daha doğru ve

bilgilendirici bir YBM modeli için, Revit proje ortamına aktarılabilen ve IES inşaat veri tabanı değerlerinden elde edilen bir dizi “families¹” tanımlanmıştır.

Bu çalışmalarda birbirlerinden tamamen farklı amaçlar için tasarlanmış, bağımsız iş ve ihtiyaçlar için kullanılan yazılımların (YBM yazılımları ve Enerji analiz yazılımları) birbirleri ile uyumları, ilişkisellikleri ve paralel şekilde birlikte çalışabilirlikleri araştırılmış ve mevcut çalışmaların ana yapısını oluşturduğu gözlenmiştir. Böylece, konuya ilişkin birçok çalışma, birlikte çalışabilirlik açısından ele alındığından dosya-veri aktarımının nasıl yapıldığı tartışılmış ve gerçekte yazılımların birbirinden kopuk ve bağımsız oldukları vurgulanmıştır. Güncel YBM ve enerji analiz yazılımlarının ne kadar uyumlu olduğundan çok “tasarım ve tasarım kararı desteği” bağlamında ne kadar bütünleşik olduğu ile ilgili çalışma yapılmamıştır. Özetle bu çalışmanın önceki çalışmalardan farkı, verilerin ve modellerin dışarı çıkarılmadan (import-export), YBM yazılımlarının içinde çalışırken (tasarım yaparken), enerji performans analizlerinin de tasarım bağlamı içinde, ne oranda yapılabildiğinin irdelenmesidir.

¹ Families: Revit kütüphane nesneleri



2. MİMARİ TASARIM SÜRECİ VE AŞAMALARI

*“Tasarım,
bir dizi doğrunun bir araya getirilip bütünlüklü bir yapıya
kavuşturulmasıyla ortaya çıkar. Bu süreç ve tasarlanan sistemin
estetik görünümü tamamen tasarımcının yeteneklerine bağlıdır ve
kişiden kişiye değişir.”*

Ken Yeang

2.1 Tasarım Teorisi ve Pratiği

Eylem olarak tasarım, bir nesnenin veya sistemin inşası veya bir faaliyet veya sürecin uygulanması için bir plan veya şartname oluşturulmasıdır (Design, 2019). Tasarımın bir diğer tanımı, bir nesne, sistem, bileşen veya yapı üretmeyi planlamaktır (Design, 2019). Daha geniş anlamda, tasarım, teknolojiyle bütünleşen uygulamalı bir sanat ve mühendisliktir (İNAM, 2019). Başka bir tanıma göre tasarım birisinin benzersiz bir beklentiye ulaşması için yol haritası veya stratejik bir yaklaşımı olup, şartnameleri, planları, parametreleri, maliyetleri, faaliyetleri, işlemleri ve yasal, politik, sosyal, çevresel, emniyet dâhilinde nasıl ve ne yapılması gerektiğini tanımlamaktadır. (Iec School Of Art and Fashion, 2019) .

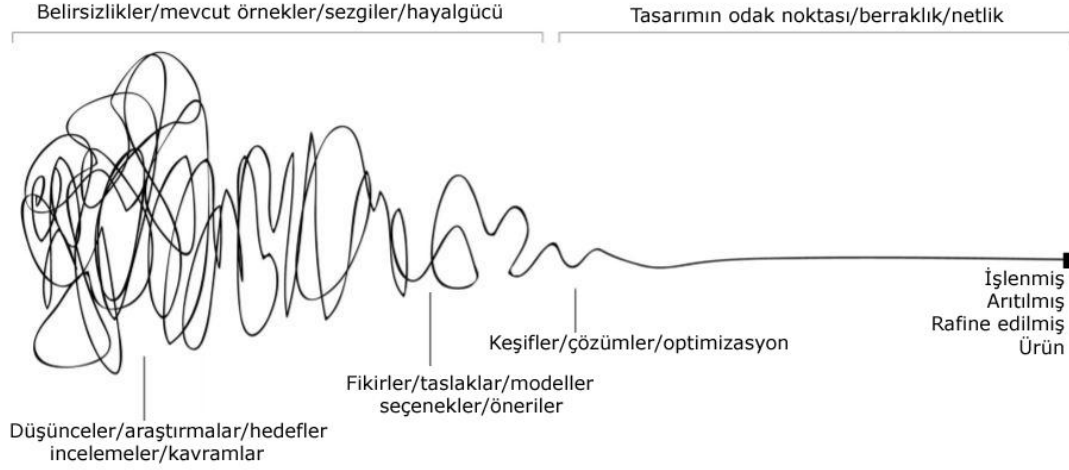
Tasarım yapan kişi olarak tasarımcının ismini belirleyen faktör, gösterdiği faaliyet alanıdır. Mimar, tekstil tasarımcısı, moda tasarımcısı, endüstriyel ürün tasarımcısı vb. gibi isimler buna örnek gösterilebilir. Bir tasarımcının ürünün modelini ortaya koyduğu faaliyetler dizisine de tasarım süreci denmektedir (Design, 2019).

Tasarım, tasarımı yapanların yeni bir ürün veya hizmet tasarlama sürecinde uyguladıkları tasarıma özgü bilişsel etkinlikleri ifade eder. Bu bakımdan, tasarım çözüme dayalı ya da çözüme yönelik bir düşünme sürecidir. Bu süreç içinde, sorunun hem mevcut hem de gelecekteki şartları ve parametreleri dikkate alınarak, alternatif çözümler eşzamanlı olarak geliştirilebilir (Walker, 2019).

Tasarım, birçok parametre barındıran, geri dönüşlerle beslenerek sürdürülen, “tekrarlamalı” bir süreçtir. Bu nedenle ara "çözümler", başlangıçtaki sorunun yeniden tanımlanması dâhil, alternatif yolların başlangıç noktalarıdır.

Mimari tasarım da tüm tasarım türlerinde olduğu gibi, çoğunlukla tasarımcının tecrübesine bağlı olarak ilerler, büyür ve gelişir (Şekil 2.1). Dolayısıyla tasarım

sürecini ve ürünü bir yöntemle ya da bir formüle bağlı olarak yönlendirmek ve sonuçlandırmak mümkün değildir. Bir tasarımcı, aynı tasarım girdilerini kullanarak, aynı sınırlamalarla, her seferinde değişik bir tasarım yapabilir (Harputlugil, 2009 s.144).



Şekil 2.1 : Tasarım Süreci (Osterwalder ve diğerleri, 2014).

Tasarım konusu Vitruvius'un plan, kesit, görünüş ve perspektiflerinin, tasarım iletişimindeki değeri üzerindeki tartışmalarından bugüne büyük değişiklikler geçirmiştir. 1452 yılında Alberti, tasarımın özünün, düşünme sürecinde bina tasarımı ile ilgili paydaşların kâğıt üzerindeki çizgiler boyunca iletişimine dayandığını belirtmiştir. Burada amaç inşaat zanaatı ile mimari tasarım işini ayırt etmek, tanımlamak ve tasarım sürecinde çeşitli görüş ve görevleri paylaşan paydaşların etkin şekilde tasarım faaliyetlerini yürütmelerini sağlamaktır (Abdelmohsen Ş.M.A, 2011).

Tasarım süreci amaç ve sonucun, başka bir deyişle yola çıkış ve varış noktasının bütünleştiği, gidiş-gelişli, dinamik bir süreçtir. Tasarımda tek çözüm, tek doğru yoktur. Seçenek üretebilme becerisi, karar verme, yargılama, sonuca varma gibi zihinsel etkinliklerle olur. Esin'e (2008) göre tasarım sürecinde;

“Seçenek üretebilmek için beyinde bir dizi yorumlama, analiz etme ve sentez olarak birleştirebilme, olasılıkları hesaplama, öngörülerde bulunma, mantık yürütme işlemleri gerçekleşir.”

Tasarım, belirli koşullar altında en uygun çözüme ulaşmak için, uygun bileşenler ve denetim seçenekleri arasında sürekli bir gel-git sürecidir. Tasarımın geliştirilmesinde, tasarım ve performans değişkenleri arasındaki ilişkinin anlaşılması gerekir (Ademoğlu, 2005). Bu süreçte hafıza, dikkat, algılama, zihinde imgelem, eylem ve

sorun çözüme becerileri araç olarak kullanılmaktadır. Özkan (2008), tasarım ve proje çalışmalarının gerçek sorunları çözüme süreci olduğunu belirtmektedir. Sorunların çözülmesi için temel olan ise bilgi ve beceridir. Yaratıcı düşünce sürecinde, çeşitli sorunların ayrıntılı çözümünü anlatmak için el veya bilgisayar yardımına bağlı yaklaşım ve teknik kullanılmaktadır.

Tasarım sürecinin erken evrelerinde kullanılacak kavramsal tasarım yazılımlarının ise en önemli aracı geometrik modelleme ara yüzüdür. Bu aşamada bilgisayar ortamında kolay modelleme yapabilmek önemlidir; bu sayede eskizler çok hızlı ve çok kolay şekilde üretilir. Bilgisayar ortamında eskiz yapmak geleneksel teknikler kadar basit ve çabuk olmalı, farklı eskizleri üretebilecek kadar da esnek olmalıdır (Ulukavak, 2001).

2.2 Mimari Tasarım Süreci

Mimari bir ürünün ortaya çıkması, tasarım süreci ile başlamaktadır. Mimari tasarım sürecinin ilk aşaması ise eskiz yapmaktır. Mimari düşüncelerin oluşması beyinde çok hızlı gerçekleşir ve bu düşünceler geleneksel olarak doğrudan mimarın el çizimleri ile kâğıt üzerine aktarılır. Düşünceler doğrudan kâğıt üzerine çizilen taslak şekillerle başlar; giderek ölçülü teknik çizimlere doğru ilerler. Bu süreçte yapılan çalışmalar çok hızlı ilerler. **Düşünce-kalem-el** birlikteliğinin sağladığı hızı, araya girecek başka araçların bozmaması gerekir.

Bilgisayar ortamında dijital eskizlerin yapılabilmesi ve BDT sistemlerinin kullanılması bu işlerin bilgisayar ortamında yapılmasını sağlamıştır. Araya bilgisayar girerek araç değişmiş ve güncellenmiş olsa da, yapılan iş ve yaşanan süreç geleneksel yöntem ile aynıdır. Kâğıdın yerini ekran, kalemin yerini de dijital kalem almıştır.

İlerleyen süreçte baskı makinelerinin gelişmesiyle, elle yapılan maket ve prototiplerin yerini de bilgisayarlarda üretilen 3B yapı modelleri almıştır. Tasarım süreci gerek el ve kâğıt ile, gerekse dijital olarak bilgisayar ortamında yapılabilse de, önemli olan sürecin dinamik ve değişken olduğu, sürekli farklı olasılıkların denenerek en ideal çözüme ulaşmak için olanakların geniş olduğudur.

Mimari tasarım, tekrarlamaların, değişikliklerin, geri beslemelerin olduğu, seçeneklerin denendiği, dinamik ve akıcı bir süreçtir. Bu süreçte tasarımın erken aşamalarında birçok farklı kararlar alınır. Bu kararlar farklı olasılıklar için denenir ve gerekirse değiştirilir. Tasarıma en büyük müdahaleler erken aşamalarda yapılabilir.

Proje aşamasında ilerledikçe değişiklikler, denemeler azalır. Bu süreçte açığa çıkan gerekliliklere göre yönlenen mimari tasarım sürecinin sonucu ortaya çıkan bina, gerekliliklerin yönlendirdiği çözümün fiziksel olarak ortaya çıkmış halidir.

Geleneksel tasarım sürecinde, genelde iki ana tasarım kategorisi vardır;

- **Mimari tasarım:** Şekil, dış görünüş... vb. Mimari fonksiyon ve formları saptamak için çizgisel simgelerle çalışır.
- **Mühendislik tasarımı:** Isıl ve HVAC hesaplamalarını çalıştırmak için şematik sistemlerle çalışır (Ademoğlu, 2005).

Ademoğlu, tasarım sürecini, tasarımcının problemle karşılaştığı ilk basamaktan, çözümü ortaya koyduğu son basamağa dek geliştirdiği bir dizi işlemler zinciri olarak tanımlamaktadır. Mühendis, kendi yapacağı tasarıma girdi olarak mimari tasarımı kullanır. Bu durumda mimari tasarımın en azından avan proje olarak sonlanmasını bekler. Yine Ademoğlu (2005) mimari tasarım sürecinin, farklı bakış açıları ve basamaklardan oluşan bir süreç olarak ele alınabileceğini de söylemektedir.

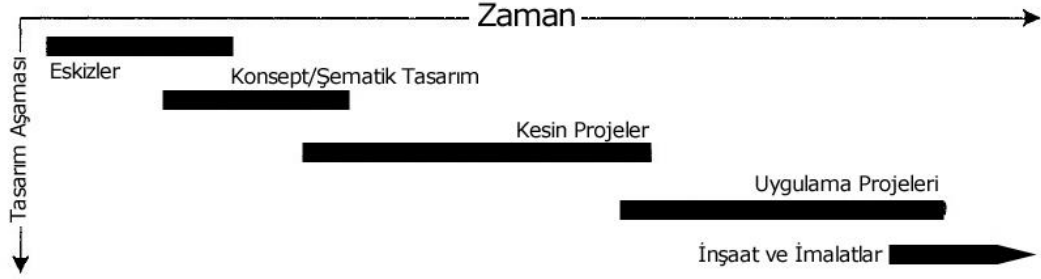
İngiliz Mimarlar Kraliyet Enstitüsü (RIBA) mimari tasarım sürecini (1) Özümseme, (2) Genel Çalışma, (3) Geliştirme ve (4) İletişim olarak dört adıma ayırır. Bu adımlarda problem ile ilişkili bilgi edinilir. Sonrasında olası çözümler araştırılır. Geliştirme sürecinde bir önceki evreden ayrılan olası bir ya da birkaç çözümün geliştirilmesi, arıtılması sağlanır ve son olarak tasarım ekibinden veya dışından kişilerle bir veya birkaç çözüm üzerinde iletişim sağlanır (Harputlugil, 2009).

Bu durumda tasarım süreci yapım öncesi 4 ayrı aşamadan oluşmakta olup, bu aşamalar sırasıyla şöyledir (Jeong, 2008);

1. Eskiz
2. Kavramsal/şematik tasarım
3. Tasarım geliştirme
4. Üretim çizimleri/projesi

Şekil 2.2’de görüldüğü üzere, geleneksel tasarımda aşamalar zaman içinde birbirini izlemekte ve biri bitince diğeri başlamaktadır; ancak bu durum geleneksel tasarım süreci için geçerli olup, günümüzde bu süreç değişim göstermiştir. Günümüzde ise Bölüm 2.6 “bütünleşik tasarım süreci” başlığında detayları açıklandığı üzere YBM

merkezli ve tüm disiplinlerin birbirleri ile aynı anda, proje alıp verme işlemlerinin en az düzeyde yaşandığı veya hiç yaşanmadığı bütünlük bir tasarım süreci söz konusudur.



Şekil 2.2 : Geleneksel Tasarım Sürecinde Tipik Aşamalar (Jeong, 2008).

Tasarım sürecine ilişkin daha ayrıntılı bir bilgi yine RIBA tarafından ortaya konmuştur. RIBA'nın on iki aşamadan oluşan "bina elde etme süreci" için hazırladığı bu çalışma planında tasarım süreci; tasarım öncesi çalışmalar, tasarım çalışmaları, yapım hazırlığı, yapım ve yapım sonrası olarak beş aşamada ele alınmaktadır. RIBA'nın tanımladığı bu çalışma planı ile TMMOB'nin standart mimarlık hizmetleri proje aşamaları karşılaştırıldığında, pek çok aşamanın benzerlik taşıdığı görülmektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : RIBA Çalışma Planı ve TMMOB Standart Mimarlık Hizmetleri Proje Aşamaları Karşılaştırması (Harputlugil, 2009).

RIBA Çalışma Planı	Gruplama	TMMOB Standart Mimarlık Hizmetleri iş aşamaları
A - Başlangıç	Tasarım öncesi çalışmalar	A – Hazırlık ve Ön Etüd Çalışmaları
B - Fizibilite		
C - Outline tasarım	Tasarım çalışmaları	B – Ön Proje Çalışmaları
D - Şematik tasarım		C – Kesin Proje Çalışmaları
E - Detaylı tasarım		D – Uygulama Proje Çalışmaları D-1/Uygulama Projesi D-2/Sistem ve Montaj Detayları D-3/İmalat Detayları
F - Üretim bilgisi	Yapım hazırlığı	D – Uygulama Proje Çalışmaları D-4/Teknik Şartnameler D-5/Metraj, keşif, maliyet analizi
G - Maliyet analizi		E – İhale Çalışmaları
H - İhale		
J - Proje planlama		
K - Saha çalışmaları	İnşaat	F – Uygulama Denetimi Çalışmaları
L - Tamamlama		G – Kabul-Teslim
M - Geri besleme	İnşaat sonrası	H – Geri Besleme Çalışmaları

Çizelge 2.1'de TMMOB Mimarlar Odası'nın "Standart Mimarlık Hizmetleri" içindeki sınıflandırmanın "tasarım çalışmaları" bölümü, bina elde etme sürecinin "mimari tasarım" kısmını oluşturmakta, yani "tasarım sürecini" belirlemektedir. Her

iki sınıflandırmada da mimari tasarım sürecinin; (i) ön proje; (ii) kesin proje ve (iii) uygulama projesi olmak üzere üç alt sınıfa ayrıldığı görülmektedir.

(i) Ön Proje

Bu aşamada kaynak kaybının önlenmesi, ekonomik, sağlam, güvenli, fonksiyonel ve çevresi ile uyumlu yapıların gerçekleşmesi amacıyla, ihtiyaç programının, işlev şemasının, arsa, altyapı, iklim, kadastro, imar durumu, doğal yapı, çevre düzeni, işveren istekleri vb. verileri ile mimarın aldığı kararların kesinleşmiş olması gerekmektedir. Bu bağlamda TMMOB, ön projede “iklim verilerinin değerlendirilmesi, iklim özelliklerine göre alınan önlemlerin saptanması, çevre yapıların ve doğa özelliklerinin belirlenmesi ve alınan önlemlerin tasarıma yansıtılması, yapıda genel olarak kullanılacak malzemelerin belirlenmesini şart koşturmaktadır (Harputlugil, 2009).

(ii) Kesin Proje

Kesin proje ön projelere uygun olarak hazırlanır ve gerçekleştirilecek yapının mimarisi ve yapım tekniği konularında daha ayrıntılı iklim, coğrafya, hidroloji, jeoloji, geoteknik, alt yapı, çevre düzeni vb. gibi kesinleşmiş bilgileri ve etütleri içerir. Bu bilgiler kesin proje aşamasında değerlendirilir; bu aşamada aynı zamanda yaklaşık yapı maliyeti de belirlenir. Bu aşamaya ilişkin ön projede sağlanması gereken gerekliliklerin yanı sıra “su, ısı ve ses yalıtımları özelliklerinin belirlenmesi, ısıtma, soğutma, iklimlendirme, havalandırma prensiplerinin belirlenmesi ve tasarıma yansıtılması, yangına karşı önlemlerin tasarıma yansıtılması, yapıda kullanılacak malzemelerin kesinleştirilmesi” gerekliliği belirtilmektedir.

(iii) Uygulama Projesi

TMMOB Uygulama Projesi çalışmalarını beş alt aşamaya ayırmaktadır. Bunlardan üçü tasarım çalışmaları içinde, ikisi ise yapım hazırlığı içinde yer almaktadır. Yapının inşa edilebilmesi için, taşıyıcı sistem projesinin özelliklerini ve ölçülerini, yapıda yer alan tüm donatım sistemlerinin yapıyı etkileyen bütün elemanlarını, sistem detaylarının ve imalatlarla ilgili tüm bilgileri ve referansları içeren projelerdir. Ayrıca, bu projeler, montaj özellikleri, gerekli tüm ölçüler ve malzemeler, büro ve şantiyede her türlü imalat aşamasında kullanılabilecek nitelikte ve yeterlilikte, onaylanmış kesin projeye uygun olarak hazırlanmıştır. Yapıda yer alan tüm malzemeler, imalatlar, bileşenler, donatımlarla ilgili bilgilerin referans ya da kodlarını içerir. Diğer iki aşama

olan sistem ve montaj detayları ile imalat detayları alt aşamaları, ilk aşama ile birlikte yürütölmek zorundadır (TMMOB, 2011).

Tasarım bir süreç olduğuna göre, geleneksel tasarım sürecinden farklı olarak, günümüz tasarım sürecini üç aşamada ele almak gerekmektedir. Bu aşamalar birbirini takip edebileceğı gibi, çoğı zaman kısmen paralel de yürütölebilmekte olup, alt aşamaları ve iş akışları aşağıda açıklanmaktadır (Design, 2019):

2.2.1 Üretim öncesi tasarım

Üretim öncesi tasarım, aşağıdaki adımları içermektedir:

Tasarım konusunu ve hedefleri belirleme; hedeflerin erken (genellikle başlangıç) aşamada tanımlanmasını içerir.

Analiz; mevcut tasarım hedeflerinin analizinin yapıldığı aşamadır.

Araştırma; aynı alanda veya benzeri konularda, benzer tasarım çözümlerinin araştırıldığı adımdır.

Şartnamelerin hazırlanması; Yapı bileşenleri/ürünleri ve hizmetleri için tasarım şartlarının/sınırlarının belirlenmesini içerir.

Problem çözme; tasarım sırasında öngörölen problemlerin çözölmesi ve belgelenmesi aşamasıdır.

Sunum; tasarım çözümlerinin sunumunu içerir.

2.2.2 Üretim sırasında tasarım

Üretim sırasında tasarım aşağıdaki adımlar takip edilerek gelişmektedir:

Geliştirme; Tasarlanmış bir çözümlün devamı ve geliştirilmesidir.

Sınama; Tasarlanan bir çözümlün yerinde sınanmasıdır.

Uygulama; Tasarlanan çözümlü çevreye tanıtm a aşamasıdır.

Değerlendirme ve sonuç; Yapıcı eleştiri ve gelecekteki gelişmeler için öneriler dâhil olmak üzere süreç ve sonuçların özetlenmesidir.

Yeniden tasarlama; Tasarım sürecinde herhangi bir aşama veya tüm aşamalar, üretimden önce, üretim sırasında veya sonrasında yapılacak düzeltmelerle yeniden tasarlanabilmektedir.

2.3 Yinelimli Tasarım

Tasarım, soru sormanın bir yoludur. Tasarım araştırması doğrudan tasarlanarak yapıldığında, belirli bir tasarım probleminin sınırlı kapsamı dışındaki daha büyük soruları sormanın bir yoludur. Enerji tasarımıyla veya performatif tasarımla ilişkili tasarım yinlemesine iyi bir örnek, güneş kırıcılar ve güneş enerjisine erişim olacaktır. Binanın formuna göre, kendi kütlelerinin yarattığı veya komşu binaların yarattığı gölgeleme nedeniyle, güneş kırıcılara gerek kalmayabilir. Böylece yinelimli tasarım sayesinde daha iyi bir tasarımı irdeleyerek ulaşmak mümkündür.

Yinleme işlemi için önemli olan, tasarım amacı ve verilerin sürdürülebilirliğidir. Yinlemeli süreçte etkin olmak için, tasarımın enerji kullanımını ve etkilerini analiz edip değerlendirmek gerekmektedir (Haynes, 2009).

2.4 Yapı Elde Etme Sürecinde Karşılaşılan Zorluklar

Yapı sektörü, konusunda uzman birçok paydaşın bir araya gelerek ve farklı aşamalarda birlikte çalışarak, yapı sahibinin taleplerini binaya çeviren bir sistem üzerine kuruludur. Sıradan bir yapı projesi, tasarım uzmanları ve yapım ekibinden oluşmaktadır. Tasarım ekibi, mimarlar, birçok mühendis ve özel danışmanlardan oluşurken, inşaatı yapan ekipte genel yüklenici, farklı seviyelerde taşeronlar ve tedarikçiler bulunur. Bunlar arasındaki özelleşmeler iş başlıklarını da uzmanlık alanlarına ve yeteneklere göre böler. Bu bölünmüş yapı içerisinde iş akışları, iş paylaşımları, sorumluluklar ve kullanılan teknolojiler de belirgin şekilde ayrılır. Bir paydaşın yapacağı katkı veya değişiklik işin genelinde birçok alanda farklı paydaşları etkileyecektir. Bu da anahtar teslim süresini ve maliyetleri olumsuz şekilde değiştirecektir. Bu açıdan inşaat ortamı diğer endüstrilerden görece olarak oldukça farklıdır. Bu farklılık paydaşların proje ile ilgili amaç ve hedeflerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu farklılıkların getirdiği zorluk ve engellerin oldukça yüksek düzeyde bir koordinasyonla en aza indirgenmesi gerekmektedir.

Yapı projelerinin çok paydaşlı yapısı, paydaşlar arasında yoğun bir bilgi ve veri değişimi gerektirdiğinden, koordinasyonda sorunlar yaratmaktadır. Bilgiler uygun şekilde paylaşılmadığında, birçok işlem ve süreç farklı proje paydaşları tarafından tekrarlanmak durumundadır. Bu da kaynak ve zaman kaybına neden olmaktadır. Proje paydaşları ile iletişimde başlıca araç iki boyutlu çizimlerdir. İki boyutlu çizimler

üzerinden yapılan iletişim zaman kayıplarına yol açar. Karar verme sürecindeki kritik ilişkiler için iletişimde bu dokümanlar yeterli olmaz.

Yukarıda açıklanan sorunların en aza indirilmesi amacıyla Amerikan Mimarlar Enstitüsü, AIA (American Institute of Architects) 2007 yılında, Bütünleşik Proje Teslim (BPT) sistemini geliştirmiştir. Proje elde etme ve inşaat teslim süreçlerinde bütünleşmeye gitme yolunda BPT sözleşmeleri paydaşları kalite, sürdürülebilirlik, yaşam boyu maliyet ve proje süreleri ile ilgili sebeplerden dolayı birlikte çalışmaya zorlamaktadır. BPT tanımlamalarında proje aşamaları da değişmiş, ön tasarım, şematik tasarım, tasarım geliştirme, üretim dokümanları, teslim ve işletme aşamaları kaldırılarak, kavramsallaştırma, kriter tasarımı, detaylı tasarım, uygulama dokümanları, satın alma, inşaat, teslim ve işletme aşamaları getirilmiştir (Alvarado, 2011).

2.5 Tasarım ve Yapım Sürecinde Paydaşlar

Bir yapının tasarım aşamasından başlayarak, yaşam dönemi boyunca geçirdiği tüm aşamalarda, başta mimar/mimarlar olmak üzere pek çok paydaş görev üstlenmektedir. Aşağıda bu paydaşlardan bazıları ile üstlendikleri görev ve sorumluluklara ilişkin bilgi verilmiştir.

2.5.1. Mimar

Mimar yapı tasarımı ve sanatı üzerine eğitim almış ve bir yapının ortaya çıkışında başlıca rol oynayan uzmandır. Düşüncelerini tasarım yoluyla projeye dönüştüren, daha sonra bu projeyi yapım ekibi tarafından gerçekleştirilecek şekle getirilmesini sağlayacak eğitimi almıştır. Tüm süreci yöneten uzman olarak mimarın temel görevi, yapı sahibinin gereksinim ve isteklerini teknik, işlevsel ve estetik ölçütler doğrultusunda düzenlemektir. Mimar proje çalışmalarında işlevsel gereksinimleri yerine getirirken, estetik ve teknolojik olanakları kullanabilmeli, insanoğlu ve çevrenin geleceğini dikkate alarak sürdürülebilirlik ilkelerini uygulayarak, her türlü güvenlik çerçevesi içinde doğru kararlara uymalıdır. Mimar proje sürecinde, yapı sahibi ve diğer teknik paydaşlar başta olmak üzere, işverenle, kullanıcılarla, yapım ekibiyle, devamlı iletişim içinde olmalıdır.

Mimarın projelendirme sürecinde yapıyı bir sistem olarak ele alıp, akustik, iklimlendirme, enerji, yangından korunma, ısıtma, doğal ve yapay aydınlatma, tesisat,

güneş enerjisi gibi birçok konuyu ele alması ve değerlendirmesi gerekmektedir. Performans temelli tasarım yaklaşımında, bina bir sistem olarak incelendiğinden, herhangi bir konuda alınacak bir kararın, bütün yapıyı etkileyebileceği düşünülmelidir. Performansı düşürecek birçok unsur, tasarımın en erken aşamasında ele alınıp, karar verme sürecinde değerlendirilmelidir (Erbil, 2009, s.61-62).

Yukarıda sözü geçen iklimlendirme, akustik, yangın vb. konularda normal mimarlık eğitimi almış olan mimarlar sahip olamayacağından, proje karmaşıklığına göre bu alanların her birinde uzman mimar yada mühendislerin sürece dahil olması gerekmektedir.

2.5.2. İnşaat Mühendisi

İnşaat mühendisi yapıyı çevreyi oluşturan her türlü binanın yanısıra, yol, köprü, kanal, baraj gibi yapıların strüktürel bileşenlerinin analitik açıdan tasarımını yapmak, çeşitli doğa olayları ve fiziksel kuvvetler altında dayanımını tasarlamak, yapım sürecini planlamak ve yönetmek üzere uzmanlaşmıştır. Başlıca sorumluluğu her türlü yük altında ve belirlenmiş rasyonellik sınırları çerçevesinde yapıların dayanıklılığını ve bütünlüğünü sağlamak, buy yolla güvenli yapılar tasarlamak ve inşa etmektir. Yapı bütününe, yapı alt sistemlerine ve bileşenlere etkiyen yükleri ve gerilmeleri dikkate hesaplamalar yapmak, uygun yapı malzemesi seçiminde mimara destek olmak, analitik raporlar hazırlamak, inşaat mühendisinin yapması gereken işler arasındadır. Bunların yanısıra kendi disiplini alanındaki yönetmelik gerekliliklerinin yerine getirilmesi de mühendisin sorumluluk alanındadır. Ayrıca, mimar ve diğer ekip üyeleri ile iletişim kurulması, yükleniciler tarafından üstlenilen işleri izlemek ve denetlemek, sözleşmeleri yönetmek, projeleri yönetmek diğer görevleri arasında sayılabilir (Structural Engineer, 2019).

2.5.3. Makine Mühendisi

Makine mühendisliği mühendislik, fizik, matematik, malzeme bilimleri gibi alanlardaki ilkeleri mekanik sistemlerin tasarımı, analizi, üretimi ve bakım-onarımı süreçlerinde uygulamayı gerektiren bir disiplindir. Oldukça geniş bir çalışma alanına sahip olan makine mühendisinin yapı alanındaki temel sorumluluğu, yapı kapsamındaki asansör sistemleri, yangın söndürme ve güvenlik sistemleri, ısıtma-soğutma-havalandırma sistemleri gibi mekanik sistemlerin tasarlanmasıdır. Bu sistemlerin yapımında kullanılan ekipman ve malzemelerin seçiminden de

sorumludurlar. Mekanik sistemlerin tasarlanması ve kurulmasından sorumlu makine mühendisleri sıhhi tesisat ve boru tesisatı tasarımları ile asansör sistemleri gibi elektromekanik sistemlerle ilgili proje çizimlerini üretirler, sistem yerleşimini ve uygulamasını yönlendirirler. Projelerin zamanında tamamlanması, mimari ve inşaat mühendisliği projeleriyle uyum içinde yürütülmesi ve öngörülen bütçe içinde kalmasını sağlamak için tasarım ve yapım ekibinin diğer paydaşlarıyla iletişim ve işbirliği içinde olmalıdır (Makine Mühendisi, 2019).

2.5.4. Elektrik-Elektronik Mühendisi

Elektrik mühendisi elektrik gücü ile elektronik ve elektromagnetizma kullanan cihaz ve sistemlerin tasarımı ve uygulamasını yapmak üzere eğitim almış uzmandır. Bu bağlamda binaların beklenen işlevi yerine getirmesi için gerekli aydınlatma sistemleri, bina otomasyon sistemleri, bilgi depolama sistemleri ve güvenlik sistemleri gibi alt sistemlerin tasarımından sorumludur. Sözü edilen bu sistemlerin tasarımını yapmak ve projelerini üretmek için bilgisayar destekli tasarım ve kendi alanlarındaki mühendislik yazılımlarını kullanırlar. Binalarda elektrik kaynaklı güç sistemlerinin tasarlanması, kurulumu ve denetlenmesinde faaliyet gösterirler. Proje şartnamelerini, bütçeyi ve zaman planlarını takip etmek, ürünlerin test edilmesi, değerlendirilmesi, değiştirilmesi ve yeniden test edilmesi, rapor hazırlama ve dokümantasyon yapmak, verilerin analizi ve yorumlanması ile test ve devreye alma süreçlerini planlamak ve yürütmek başlıca sorumluluk alanıdır (Jeong, 2008).

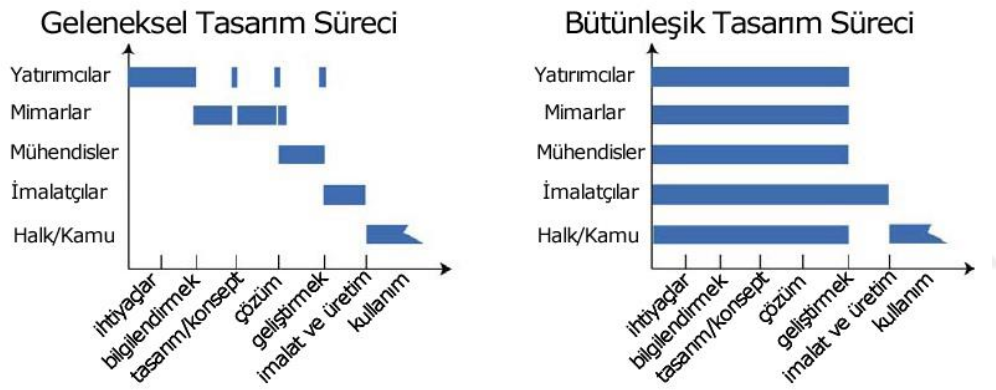
2.6 Bütünleşik Tasarım Süreci

Bütünleşik Tasarım, sürdürülebilir yapılara katkıda bulunan yüksek performanslı binaları gerçekleştirmek için bir yöntem olup, bu yöntemin izlendiği süreç, başka bir deyişle Bütünleşik Tasarım Süreci (BTS) bir binanın tasarım, inşaat, işletme ve kullanım ömrü boyunca tüm yaşam döngüsü boyunca yoğunlaşan işbirliğine dayalı bir süreçtir. Bütünleşik tasarım süreçleri veya bütünleşik uygulama, proje katılımcılarının erken dönemdeki yüksek düzeyde işbirliği ile tanımlanır. BTS yapı sahibi ve diğer paydaşların açıkça tanımlanmış, işlevsel, çevresel, ekonomik amaç ve hedefleri geliştirmesine ve gerçekleştirmesine izin vermek için tasarlanmıştır (Özener, 2009).

Bütünleşik Proje Teslimi (BPT), insanları, sistemleri, iş yapılarını ve uygulamalarını, proje sonuçlarını optimize etmek, mal sahibine değer artırmak, israfı azaltmak ve

atıkları en üst düzeye çıkarmak için tüm katılımcıların yeteneklerini ve içgörülerini işbirliği yapan bir sürece dahil eden bir proje teslim yaklaşımıdır; tasarım, imalat ve yapımın tüm aşamalarında verimlilik ilkelerini hedef alır. BPT, ilkeleri çeşitli sözleşmeye bağlı düzenlemelere uygulanabilir ve BDT ekipleri, proje sahibi, mimar ve yüklenici üçlüsünün ötesindeki üyeleri de içerebilir. Bütünleşik projeler her durumda erken tasarımda başlayıp proje teslim aşamasına kadar devam eder ve yapı sahibi, tasarımcı ve yüklenici arasında son derece etkili bir işbirliği sağlar (AIA California Council 2007).

Geleneksel tasarım ve bütünleşik tasarım ekiplerinin başlıca farkı organizasyon yapısı ile ilgilidir. Geleneksel tasarım ekibi hiyerarşik organizasyonunu benimserken, BTS’de tasarım ekibi birbiriyle etkileşim içinde ve paralel tasarım süreçlerini izlemektedir. Şekil 2.3’de bu iki yaklaşım arasındaki fark açıkça görülmektedir.



Şekil 2.3 : Geleneksel ve Bütünleşik Tasarım Süreci (Özener, 2009).

Geleneksel tasarım sürecinde farklı disiplinleri bireysel çalışırken, BTS’de tasarımın tümü paralel ve eş zamanlı yürütülmektedir. Mimari açıdan bakıldığında geleneksel tasarım süreci, diğer disiplinler ile iletişimden kopuk ve sadece mimari tasarımın tamamlanmasını hedefleyen bir süreçtir. Geleneksel tasarımda operatöre bağlı elle yapılan doküman üretme süreci, Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT)) sonrasında, sayısal medya üretme sürecine evrilmiştir. Dolayısıyla bu süreç tek başına tasarım, analiz ve üretim ile ilgili bilgileri sağlamak açısından yetersizdir (Özener, 2009).

Doherty (2009), çalışmasında BTS için tasarımdaki disiplinleri aşağıdaki şekilde sıralamaktadır;

- Mimari Tasarım
- Mimarlık Tarihi ve Teorisi

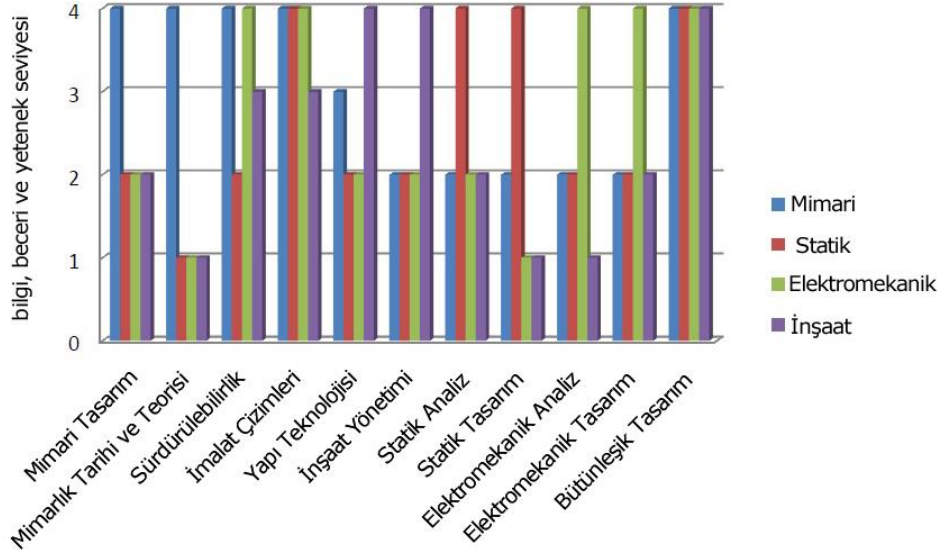
- Sürdürülebilirlik
- İmalat Dokümantasyonu
- Yapı Teknolojisi
- İnşaat Yönetimi
- Mühendislik Bilimi
- Yapısal Analiz
- Yapısal Tasarım
- Mekanik, Elektrik , Tesisat (MET) Sistem Analizleri
- MET Sistem Tasarımı
- Bütünleşik Proje Tasarımı

Doherty (2009), bu başlıklardaki konuları ise Bloom taksonomi yöntemi ile 4 ana safhaya ayırmıştır. Mimar, makine, elektrik ve inşaat mühendislerini yukarıda sıralanan konu başlıklarına göre seviyelerini sınıflamıştır (Şekil 2.4). Buna göre Seviye 1, temel bilgi seviyesidir.



Şekil 2.4 : BTS’de Disiplinlerarası Bilgi Hiyerarşisi (Doherty, 2009).

Seviye 2 ve 3 analiz edebilme ve uygulayabilmedir. Seviye 4 ise değerlendirme ve sentez aşamalarıdır. Her disiplin, kendisi ile ilgili alanda Seviye 4 seviyesinde iken diğer disiplin ile ilgili alanlarda Seviye 2 ve Seviye 1 seviyesinde olabilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Disiplinlerin Alanları Dışındaki Konularda Bilgi Seviyeleri.

Şekil 2.5’de görüldüğü üzere, YBM kapsamında ekip çalışması yapabilecek tüm paydaşların, BTS’de Seviye 4 düzeyinde olması öngörülmektedir (Doherty. G. E. 2009).

3. BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI VE ANALİZİ

*“Doğadaki
türlerden biri olan
insanoğlunun hayatta kalması
doğal çevrenin esenliğine
bağlıdır.”*

Ken Yeang

Yapı endüstrisi küresel ölçekteki doğal hammadde akışının %50’sinden sorumlu olup atıkların oranı da bölgelere göre değişmekle birlikte %15-50 arasındadır (Rees, 1990 ve Roberts, 1994). Bu oranlar dikkate alındığında, binalarda başta enerji olmak üzere, kaynak yönetiminin ne denli önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Kaynak yönetimi, başka bir deyişle kaynakların etkin kullanımı, yapım ve kullanım sırasında yenilenemeyen kaynakların tüketimini azaltmayı öngörmektedir (Sev, 2009).

Binalarda tüketilen kaynakların en büyük oranını enerji oluşturmakta ve bu enerjinin çok önemli bir kısmı yenilenemeyen fosil kaynaklarda elde edilmektedir. Bununla birlikte enerji üretiminde fosil kaynak kullanımının önemli bir sonucu çevre kirliliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumda binaların enerji kullanımını etkin hale getirmek, böylece sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunmak zorunluluk haline gelmiştir.

Bu amaca erişebilmek için, sürdürülebilir yenilikçi tasarım stratejileri geliştirmek ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak gerekmektedir. Bu bağlamda binaların enerji performansını artırmaya yönelik olarak planlama, tasarım ve yapım süreçlerinde yapılacak değişikliklerin önemi büyüktür.

3.1 Binalarda Enerji Performans Kavramı

Performans kelime anlamı olarak herhangi bir konuda veya alanda elde edilen başarı olarak tanımlanabileceği gibi, yapı alanında performans, bir sürecin girdi ve çıktılarının, belirlenen hedeflere ulaşmak için sürdürülmesi olarak tanımlanır. Performans kavramının asıl amacı, planlanan ve tasarlanan sistemli bir kurguda, girdiler, süreç, çıktı ile ilgili gereksinim ve beklentilerin gerçekte karşılanma olasılığıyla ilgili olup; performans gereksinimleri, hedefleri, ölçütleri ve performans değerlendirme teknikleri gibi adımlardan oluşur (Özkan, 2008).

Bu bağlamda binalarda enerji performansı ise, sürdürülebilir mimarlığın önemli bir bileşeni olup, çevresel sorunları azaltma amacıyla enerjinin rasyonel kullanımı, enerjiye olan gereksinimin azaltılması ve gereken enerjinin çevre dostu, yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesidir. Binaların küresel enerjinin %40'ını tükettiği dikkate alındığında bu konunun önemi açıkça belirgin hale gelmektedir .

Dünyada yürürlükte olan ve en yaygın kullanılan sürdürülebilir bina sertifikasyon sistemleri incelendiğinde en fazla puanın “Enerji-atmosfer” kapsamındaki tasarım stratejileri ile kazanıldığı görülmektedir. Bu bağlamda ulusal ve uluslararası sertifikasyon sistemlerinde bina enerji performansı ne denli önem taşıdığı belirgin hale gelmektedir.

Bu bağlamda çalışmanın aşağıdaki bölümlerinde binalarda enerji tüketimi ve enerji performansını etkileyen unsurlar ve enerji analizi konuları ele alınmıştır.

3.1.1 Binalarda Enerji Tüketimi

Gerçek anlamda binaların değil, insanların enerji kullandığından yola çıkılırsa, insanlar, enerji kullanımını azaltmanın anahtarıdır. Günümüz tasarımlarında, geleneksel tasarımdan farklı olarak, iklim verilerinin kullanılması geri planda kalmaktadır. Binalarda aşırı enerji tüketiminin nedenini de büyük oranda bu durum oluşturmaktadır.

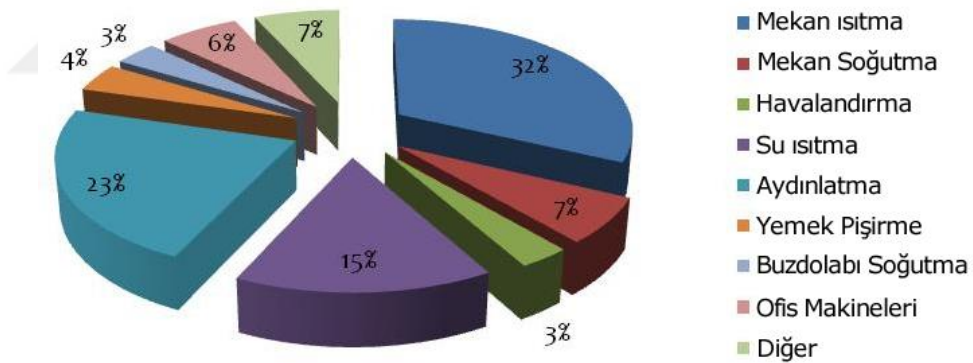
Binalarda tüketilen enerjinin yaklaşık %40-%70 arasındaki bir oranı, yapay ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma için kullanılmaktadır. Enerji etkinliğine yönelik önlemlerle ısıtma ve soğutma enerjisinden %60, aydınlatma enerjisinden de %50 tasarruf sağlanabilmektedir (Harputlugil, 2009).

Binalarda fonksiyona, kullanım yoğunluğuna, kullanıcı alışkanlıklarına, binanın bulunduğu çevresel şartlara bağlı olarak enerji kullanımının oransal dağılımı değişkenlik göstermektedir. Mah (2011), Çizelge 3.1’de bu değişime örnek olması ve bir karşılaştırma yapmak amacıyla ticari binalar ile konut binalarının enerji kullanım oranlarını vermiştir.

Çizelge 3.1 : Ticari ve konut binalarında enerji tüketiminin alanlara göre oransal dağılımı (Mah, 2011).

Ticari binaların enerji harcamaları	Konut Binalarının enerji harcaması
Isıtma %31	Isıtma %51
Aydınlatma %23,	Su ısıtma %19
Soğutma %7,	Havalandırma %4
Su ısıtma %15,	Diğer elektrikli eşyalar %26
Havalandırma %3 ve	
Diğer harcamalar %21	

Bir diğer çalışmanın ürünü olan 2007 Building Energy Data Book, binaların tükettiği enerjinin %50’den fazlasının ısıtma ve soğutması amaçlı olduğunu öne sürmektedir (Şekil 3.1) (Lin, 2008).

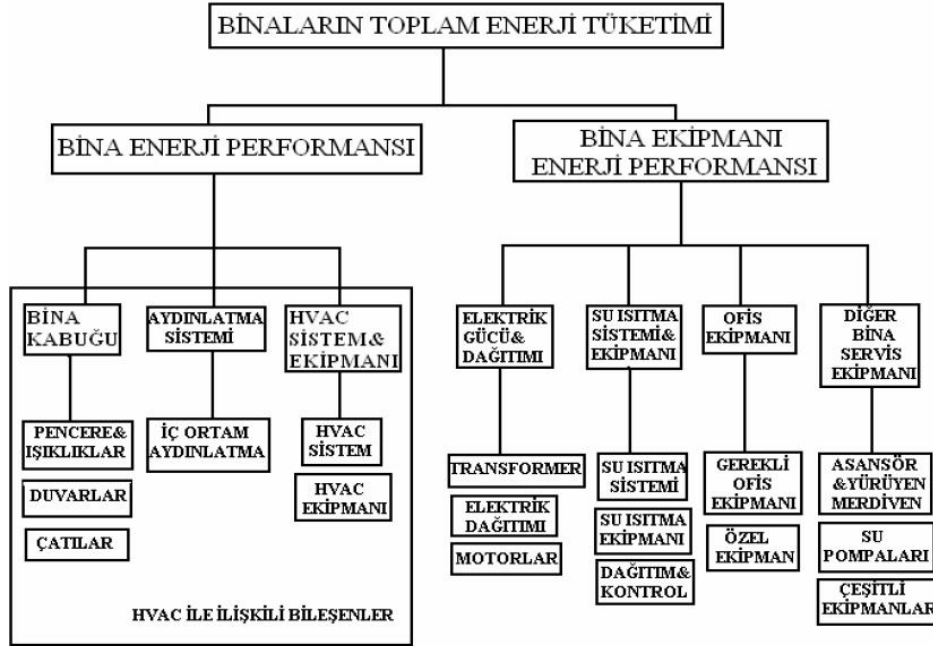


Şekil 3.1 : Tipik Bir Ticari Binanın Enerji Kullanımı (Lin, 2008).

Binalarda güneş radyasyonu kazancı, cephe ısı iletim kazanç ve kayıpları, HVAC ekipmanlarının enerji tüketiminin birinci unsurlarıdır. Bina cephesindeki pencere, açıklıklar ve cam cephelerin boyutunu değiştirmek, cam tiplerini değiştirmek vb. günışığı stratejileri, elektrikle aydınlatma ile beraber binanın diğer alanlarındaki enerji tüketimini doğrudan etkiler. Bina cephesindeki kazanç ve kayıplar en fazla iklim kaynaklı olanlardır. (Gibson, 2003)

Bina enerji tüketiminin bileşenlerini iki gruba ayırmak mümkündür; (Şekil 3.2) (Ademoğlu, 2005)

- HVAC ile ilgili bileşenler
- Genel bina ekipmanı ile ilgili bileşenler



Şekil 3.2 : Bina Enerji Tüketiminin Ana Bileşenleri (Ademoğlu, 2005)

3.1.2 Enerji Performansı

TDK’da başarımlı olarak tanımlanan performans, bir işin ne kadar iyi ve verimli yapıldığıdır. Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Topluluğu, enerji performansını şu şekilde tanımlar; “*var olan ya da önerilen bina için kullanılan veya tüketilen enerjidir*” Binanın bir yıl içinde toplam enerji tüketimi performansın ana göstergesidir (Ademoğlu, 2005).

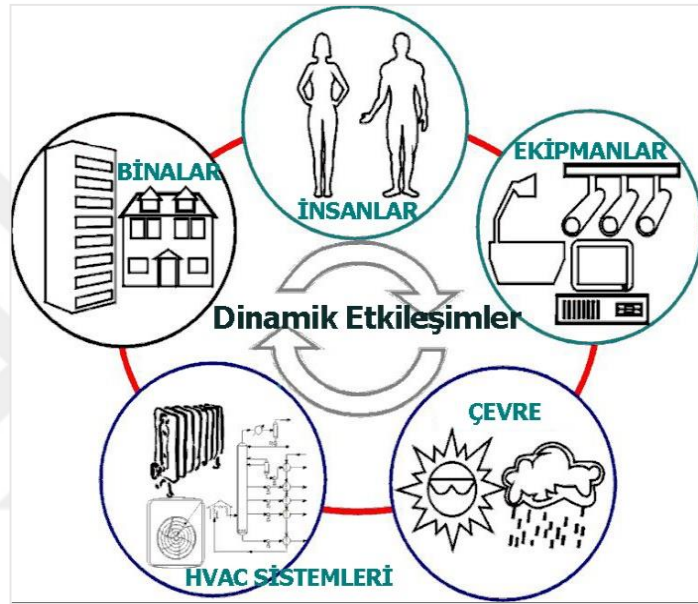
Harputlugil (2009), performans göstergesi adımlarını şu şekilde sıralamaktadır;

- Amaç belirleme – (neyin performansı)
- Hedef belirleme – (hangi oranlarda)
- Ölçü belirleme – (performansın ölçüsü)
- Performans göstergesi
- Kıyaslama – (kapsam, sınır, değer)

Binalarda enerji performansı, HVAC sistemleri, ekipmanlar, çevresel etkiler ve insanların dinamik ilişkisine bütüncül bir yaklaşım ile sağlanabilir (Şekil 3.3). Yüksek performanslı bina tasarımı yapmak için maliyet, yaşam kalitesi, esneklik, çevre,

kullanıcı konforlu, yaratıcılık gibi etkenler bir arada düşünölmeli ve optimum çözüme gidilmelidir (Harputlugil, 2010). Bina enerji performansının anlaşılması için, enerji modelleme ile binanın tanımlanması ve benzetim ile performansının ölçölüp tam olarak değeriendirilmesi gerekir. Bu bölümde ilerleyen başlıklarda, enerji modelleri ve analiz/simölasyon yazılımları üzerinde durulacaktır.

Harputlugil (2009), performansa dayalı uygunluğun, yapı kabuğu, aydınlatma ve iklimlendirme gibi sistemlerin bütönlöşik performanslarına bakarak değeriendirilmesi gerektiğini belirtir.



Şekil 3.3 : Bina Performansı Bileşenleri (Harputlugil, 2010).

Performans yaklaşımı yöntemden çok sonuç odaklı düşünme ve çalışma gerektirir. Bu yaklaşım, binanın, nasıl inşa edileceği değöl, neye gereksinim duyduğu ile ilgilidir (Harputlugil, 2016).

Performans odaklı tasarımda, tasarıma başlangıç noktası olarak kullanıcı gereksinimleri tanımlanır. Bu gereksinimlerin karşılanması için bazı performans hedeflerinin gerçekileşmesi gerekmektedir. Çizelge 3.2’de tasarımda sağlanması gereken kullanıcı gereksinimleri ile performans hedefleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Kullanıcı ihtiyacı ve Performans Gereksinimi (Harputlugil, 2009).

Kullanıcı ihtiyacı	Performans hedefleri
En fazla 25 kişi ile farklı oturma düzeninde (yuvarlak masa veya derslik) toplantı yapabilme imkânı sağlayacak bir mekân	• Gereken mekân: 3m²/kişi • Mekân biçimi: en/ boy oranı < 1.5:1 • Havalandırma: her bir kişi ve her saat için 30 m³ taze hava • İç ortam hava sıcaklığı: 19°C < t < 21°C • Arka plandaki gürültü düzeyi (dış ortam kaynaklarıyla oluşan): en fazla 35dB(A) • Reverberasyon süresi: 0.8 – 1.0 sn • Masa üstü aydınlatma düzeyi: en az 500 lux

Bu çizelgedeki kullanıcı gereksinimleri herkes tarafından kolayca anlaşılabilirken, performans gereklilikleri sadece uzmanların anlayabileceği ölçme ve benzetimlerle anlaşılabilir (Harputlugil, 2009).

Mimarlar genellikle kullanıcı ihtiyaçları ile ilgilenerek mekanları tasarlar, fakat çoğu kez tasarlanan mekanların performansları ile ilgili çalışma yapamazlar; yada yaptıkları performans çalışmaları çok yüzeysel kalır. Bunun birçok sebebi vardır. Özellikle performansa bağlı tasarım ihtiyaçları için uzmanlık gerektiren bilgilerinin olması gerekir. Ayrıca bu bilgiyi hayata geçirebilecek yöntem ve araçlar konusunda da deneyimli olmaları ve uygulamalar yapmış olmaları gerekir. Eğer bunlara sahip değilse diğer uzmanlardan destek almaları gerekir. Genellikle bu uzmanlar mühendisler olmaktadır.

Enerji performansı bağlamında çeşitli tasarım parametreleri bina performansını etkiler ve bu parametreler çok karmaşık görünen ve birbirleri ile ilişkili bir sistemler ve ilişkiler ağı halinde düşünülebilir. Enerji performansı, konfor koşulları, yakıt tüketimi ve zararlı emisyonlar dışında duvar, döşeme ve açıklıklar gibi sadece bina bileşenlerine veya ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemine dayalı değil, bunların bütünleşmiş bir şekilde değerlendirilmesi ve etkileşimlerinin anlaşılması ile sağlanabilir (Harputlugil, 2009).

Performans değerlendirilmesi tüm binanın harcayacağı enerjinin hesaplanmasına ve belirlenen bir hedef bütçenin aşılmamasına dayanır. İklimlendirilen birim taban alanına (m²) düşen yıllık kWh enerji bütçesi, standart bir binanın enerji bütçesine göre

belirlenmektedir. Bu hesaplamada referans bina yöntemi kullanılacaksa, önerilen bina referans bina ile karşılaştırılıp bir sonuca varılmaktadır. Eğer önerilen bina referans binanın tüketiminden az enerji harcıyor ise uygunluk sağlanmış olmaktadır.

Harputlugil (2009) bu konuda, referans bina ve önerilen binanın aynı kriterleri sağlaması gerektiği üzerinde durmuştur. Her iki bina aynı enerji kaynaklarını kullanmalı, aynı geometriye sahip olmalı, hatta aynı taban alanı, dış ortam koşulları, kullanıcı yoğunluğu ve ısı verilerine sahip olması gerektiğini belirtmiştir.

Bina enerji performansı değerlendirilmesine yönelik çeşitli yaklaşımlar vardır. Ademoğlu (2005), “enerji performansı”, “ısı performansı” ve “çevresel performans” kavramlarının literatürde geçtiğini, bu kavramların birbirlerinin yerine kullanılabildiğini ve birbirinden ayırmanın güç olduğunu vurgulamaktadır. Isı performansı ısıtma ve soğutma üzerine odaklanırken, enerji performansı binanın ve enerji tüketen ekipmanların ne kadar enerji kullandıkları üzerine yoğunlaştığını belirten Ademoğlu (2005), çevresel performansın ısı konforu, aydınlatma, hava hareketi ve akustiği de içeren tüm iç ortam çevresel faktörleri ile ilgili olduğunu belirtmiştir.

3.1.3 Bina Enerji Performansını Etkileyen Faktörler

Bir binanın enerji performansını, tasarım sürecinde dikkate alınması gereken pek çok faktör etkilemektedir. Bina bileşenleri ve sistemlerinin karmaşık etkileşimini içeren tüm bina enerji performansının tamamıyla anlaşılması ve bunların bir arada dinamik davranışlarının değerlendirilmesi tam olarak mümkün olmamakla birlikte (Sakıncı, 2009), günümüzde kullanılan ve binaya ilişkin ayrıntılı bilgilerin veri olarak kullanıldığı yazılımlar ve benzetimlerle gerçeğe yakın tespit etmek mümkündür.

Bir binanın enerji performansını etkileyen başlıca faktörler, yapı kabuğu, mekanların boyutsal özellikleri, binanın konumu ve yönlenmesi, hava değişim oranı, kullanıcı yoğunluğu ve özellikleri, iklimsel faktörler vb. olarak sayılabilir. Bu çerçevede ele alınan bütüncül yaklaşımda, enerji performansı bağlamında tasarım kararlarında öncelikli ve etkili olduğu düşünülen birçok parametre mevcut olup, bunlardan başlıcaları aşağıda açıklanmıştır:

(a) Yapı Kabuğu

Bina kabuğunu oluşturan dış duvarlar, çatı ve zemin döşemesi gibi elemanların ve bunların kaplamalarının enerji harcanmasına ve ısı konfora etkisi büyüktür. Isı kayıpları veya kazançları, iç ve dış sıcaklık farkına bağlı olarak, yapı kabuğundan transfer edilen ısı miktarı ile gerçekleşir. Bu nedenle kabuk katmanlarının ısı dirençleri artırılarak, dolayısı ile U değeri düşürülerek binalarda enerji tasarrufu sağlanabilir.

Yapı kabuğunda şeffaf yüzeyler, güneşten ısı kazancının arttırılmasında en önemli stratejilerden biridir. Kabukta yer alan şeffaf yüzeylerin, malzeme ve optik özelliklerine bağlı olarak güneş ışıınımı yansıtma, yutma ve geçirme özellikleri ile ısı yayma katsayısı değişkenlik göstermektedir. Pencere performansında, kasa ve kanat bileşenlerinin malzemeleri ve tasarımı termofiziksel özellikleri ile U-değerini belirler. Isıl kütle kapasitesi de kabukta önemlidir. Farklı malzemeler kullanılarak oluşturulmuş aynı ısı dirence sahip iki yapı kabuğundan, ısı depolama kapasitesi yüksek olanın diğerine oranla performansı yüksek olacaktır (Harputlugil, 2009 s.18-21).

Yapı kabuğu iç ve dış ortam arasında ısı değişimini sağlayan bir araçtır. İki temel kontrol seçeneği vardır; (i) Dış enerji kaynaklarından gelecek ısıyı almak veya önlemek; (ii) İç mekânlarda mevcut ısı enerjisinin korunması veya tahliyesi. Yapı kabuğundaki bu kontroller, duvarlar ve çatılardaki yalıtımlar, cam alanların konumu ve boyutları, açılabilir pencere ve kapılar ile otomatik/manüel kontrol edilebilen güneş kırıcılar gibi elemanlarla sağlanabilir.

(b) Mekânların Boyutsal Özellikleri

Mekânlara ait boyutsal özellikler, mekânların cepheden iç duvara kadar derinliği ve tavan yüksekliği ile tanımlanır. Mekânın hacimsel olarak oranları olarak düşünülebilir. Enerji performansına yönelik tasarımda bina formu ve en-boy-yükseklik oranı, enerji ve konfor açısından performansı etkiler. Mekânın en ve boyundaki değişim kadar yüksekliğinin değişmesi de hacmi değiştirecektir. Özellikle dış kabuk ile ilişkili mekânlarda, kabuk yüzey alanının artması ile ısı transferini de artırarak mekanın enerji yükünü yükseltir.

Tavan yüksekliklerinin artması, mekân içinde farklı kotlarda sıcaklık değişikliklerine yol açabilir. Sıcak havanın yüksek kotlarda kümelenmesi ve yaşanan zonun göreceli olarak serin kalması bir konfor sorunu olabileceği gibi, sıcak iklimlerde bir gereklilikte olabilir,

(c) Binanın Konumu ve Yönlenmesi

Bina yerinin iklimsel özellikleri ve topografyaya bağlı olarak yönlenme bina performansını büyük oranda değiştirir. Soğuk iklimde güneşten yararlanmak, sıcak dönemlerde de güneşin olumsuz etkilerinden kaçınabilecek bir yönlenmeye sahip olması beklenir. Yatay olarak yapılan konumlandırmaya ek olarak, güneş azimut açısı da önemlidir. Azimut açısı, yer küre üzerindeki herhangi bir noktanın, ufuk çizgisine göre hesaplanmış yatay bileşenidir (Harputlugil, 2009 s.21-23).

Yapılacak erken enerji analizleri sonuçlarına göre binanın, arazi üzerindeki en uygun yerleşim yeri ve konumları belirlenebilir. Yapının inşa edileceği alanın koşullarına göre tasarım sürecinin başında yapılan kütle ve yönlenme etütleri sayesinde, gün ışığı, güneşe yönelim, gölge durumu, çevre binalar, arazi şartları vb. faktörler ele alınarak en uygun konum ve form için görsel değerlendirmeler yapılabilir.

Bina yönelimi, formu, lokasyonu, kütle boyutları, açıklıkların ve pencere alanlarının boyutu ve sayısı gibi faktörler “binanın ne kadar enerji harcayacağını” önemli ölçüde etkiler. Görsel etki, peyzajdan yararlanma ve ışık hakkı gibi durumlar incelenebilir. Arazi üzerinde herhangi bir nokta veya yüzeyde düşey gökyüzü bileşenleri değerlendirilebilir. Her pencere ya da yüzey için açısal test düzlemleri yaratılarak çalışılabilir. Binada farklı alanlarda ve kotlarda bulunan kullanıcıların dışarıda nereleri göreceği tespit edilebilir. İç mekânlar ve farklı katlar için görüş açıları analizi, engelleri değerlendirmek ve belirli bir seviyenin altında ışık alabilecek alanların görselleştirmesi yapılabilir. Komşu yapıların ışık hakkını engelleyip engellemediği karşılıklı olarak gözlemlenebilir. Böylece projenin çevresindeki etkileri ve çevre binaların projeyi ne kadar etkileyeceğini ölçülmüş ve değerlendirilmiş olur.

(d) Hava değişim oranı

Yapı kabuğundaki çatlaklar, pencere ve kapı gibi bileşenlerin sızıntı noktalarından iç ve dış ortam arasında tasarım dışı ve kontrolsüz hava değişimi “hava sızıntısı” olarak bilinmektedir. Hava sızıntısı dış-iç hava basıncına bağlı olarak gerçekleşir. Hava sızıntılarının bir yapıda toplam ısı kayıplarının %20-%50 sini oluşturabilmekte, bundan dolayı hesaplamalara hava değişim oranı mutlaka katılmaktadır (Harputlugil, 2009). ASHRAE el kitabı önlem alınmış bir binanın hava değişim oranını 0,5 ACH (Air Change rate per Hour) olarak vermektedir. (ASHRAE HANDBOOK, 2017).

TS825 ısı yalıtım standartlarında ise bu oranın 0,8 ACH olarak hesaba katılması önerilmektedir (TS 825, 2009).

(e) Kullanıcı Yoğunluğu ve Özellikleri

Mekânı kullanacakların yaşları, cinsiyetleri, giysi türleri, alışkanlıkları, kullanacak kişi sayısı ve mekânı kullanım süreleri konfor sağlanması açısından göz önünde bulundurulması gereken faktörler olup, bina enerji performansını da doğrudan etkilemektedir. Mekânda ısı üreten cihazların yanı sıra kullanıcıların metabolizmaları da önemli ölçüde etkilidir. Ortamda oluşacak termal konfor şartlarının kullanıcıları rahatsız etmeyecek, fiziksel ve psikolojik durumlarını olumsuz etkilemeyecek düzeyde olması esastır. Hava sıcaklığı, nem, hava kareketi ve radyant ısı başlıca termal konfor faktörleridir. Ortam sıcaklığı, nem durumu, hava akımı, yapılan işin niteliği, giysi özellikleri, yaş ve cinsiyet, beslenme, fiziki durum ve sağlık durumu termal konforu etkiler.

Termal konfor bölgesi, insanların mekanlardaki faaliyetlerini sürdürebilmeleri açısından en rahat durumda oldukları, termal konfor koşullarının üst ve alt sınırları arasındaki bölgedir. Isı ve nem termal konfor bölgesini doğrudan etkilerken, hava akımı dolaylı olarak etkiler. Birçok insanın rahat çalışabildikleri ortam 20-26°C arasındır. ASHRAE standartlarına göre ideal şartlar için sıcaklığın 20-25,5°C, nemin ise %30-60 arasında olması gerekmektedir (ASHRAE HANDBOOK, 2017).

(f) İklim

Güneş radyasyonu, yağış durumu, ısı, nem ve rüzgâr gibi faktörler belirli bir bölgenin iklimini belirlemektedir. Hava durumu ne beklendiği, iklim ise ne elde edildiğidir. Hava durumu kısa bir zaman dilimindeki atmosfer koşullarıdır. İklim çok uzun zaman periyodundaki gerçekleşen hava olaylarının istatistiki ortalamasıdır. İklim unsurlarından birinin ya da ikisinin farklı olması, farklı iklim tiplerini ortaya çıkarır. İklimler, sıcak, ılıman ve soğuk kuşak iklimleri olarak üçe ayrılır. İklimin doğal bitki örtüsüne, tarıma, toprak oluşumuna, kara ve deniz sularına, yer şekillerine, nüfus ve yerleşime, konut tiplerine, turizme etkisi vardır. İklimleri benzer bölgelerde; doğal bitki örtüsü, tarımsal etkinlikler, akarsu rejimleri, konut tipleri ve yapı malzemesi, turizm etkinlikleri, insanların gereksinimleri (giyim beslenme) benzer özellikler gösterir (Genç, 2019).

Yaz ve kış aylarına göre iklim kontrolü için stratejiler şu şekilde sıralanabilir (Gezer, 2003);

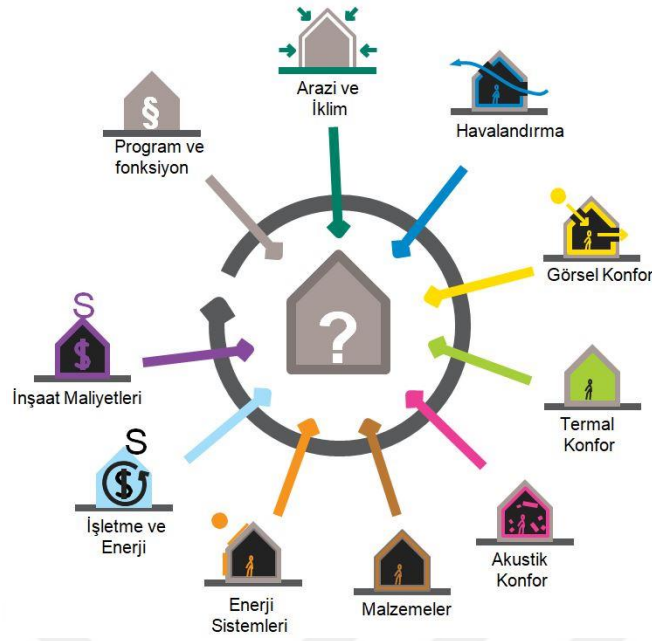
- Güneş enerjisi kazanımı/önlenmesi
- Havalandırma sağlamak
- İletim, radyan veya buharlaşmalı soğutma
- Isı geçişlerini sızmalarını azaltmak
- İletimle ısı geçişini azaltmak

3.1.4 Performans Analizleri

Bir yapının bulunduğu yakın ve uzak çevre ile birlikte, bir bütün olarak ele alınması ve tasarım etkenlerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir bir yapı elde edebilmek için birçok çevresel analiz ve benzetim yapılmalı, bunların sonuçları değerlendirilip tasarıma yansıtılmalıdır. Tasarıma yansıtılabilmek için bu çalışmaların tasarımın mümkün olan en erken aşamalarında yapılması gerekir.

Aşağıda ele alınan ve bina enerji performans analizinin bir bileşenini oluşturan konuların herbiri ayrı uzmanlık alanı olup, birbirinden bağımsız değerlendirilmesi sonucunda çelişkili sonuçlar ortaya çıkabilir. Doğal ışık almak için cam/pencere alanları büyütülebilir. Daha fazla cam, diğer analiz sonuçlarına (enerji, ısıtma soğutma yükleri vb.) etki edip, farklı sorunlara yol açabilir. Tüm bu başlıkların sonuçlarının aynı anda değerlendirilebilmesi ve tasarımın kendi bağlamında en uygun, çözümün sağlanabilmesi gerekir. Bunu sağlamak sıradan bir tasarımcı için ve geleneksel tasarım sürecinde çok zor, zaman alan bir süreçtir. Ayrıca bu tez çalışması sırasında yapılan incelemeler sonucunda, tüm bu başlıkları aynı anda değerlendirebilecek yazılım ve araçlarıyla mümkün olmadığı tespit edilmiştir.

Performansı yüksek ve sürdürülebilir bir yapı elde edebilmek için incelenebilecek ve analiz edilebilecek birçok başlık (Şekil 3.4) aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Aydın ve Volpintesta, 2013):



Şekil 3.4 : Performans ve Sürdürülebilirliği Etkileyen Faktörler (Aydın ve Volpintesta, 2013).

(a) Gün Işığı Analizleri (Doğal – Daylight)

Binaları aydınlatmak ve görsel konforu sağlamak için doğal ışığın kullanılmasına doğal aydınlatma denir. İnsanların göz ve ruh sağlığını desteklemekle kalmaz, aynı zamanda elektrikli aydınlatma yükünü, beraberinde ısı ve enerji yükünü de azaltır. Ancak, doğal aydınlatmanın özelliklerini doğru biçimde analiz etmek için gerekli olan formüllerin karmaşıklığından dolayı etkin bir doğal aydınlatma nadiren yapılabilir. Bu işleri yapabilen bilgisayar programları mevcuttur; ancak yapıya ilişkin bilgileri girme yöntemlerinin zor olması nedeniyle bunların kullanım maliyeti yüksektir. YBM kullanılarak karmaşık doğal aydınlatma tasarımlarının modelleme, ölçüm ve dokümantasyon işlemlerini tasarım ekibinin (pahalı ışıklandırma laboratuvarları yerine) kendi standart mimari tasarım ortamında yapmasına imkân verir (Autodesk Inc. 2005).

Gölge ve gölgeleme çalışmaları birçok proje için temel ve vazgeçilmez çalışmalardır. Sadece sıcak yaz dönemleri değil aynı zamanda soğuk iklimler içinde doğrudan gün-güneş ışığı kazançları önem taşır. Herhangi bir nokta ya da düzlem üzerinde, gün/güneş ışığı oranı ve aydınlanma seviyesi hesaplanabilir. Gün ışığı faktörü ve aydınlık düzeyleri değerlerini herhangi bir nokta ya da bir analiz düzlemi üzerinde hesaplanabilir. Potansiyel kazanç ve tasarruf miktarları belirlenebilir.

(b) Yapay Aydınlatma Analizleri

Çevremizi görsel olarak algılayabilmek için ışığa ihtiyaç vardır. Günışığının yeterli olmadığı durumlarda mekanlar, belirli görsel konfor düzeylerini sağlamak için yapay olarak aydınlatılır. Görebilmek için öncelikle ışık gerekir. Ayrıca ışığın yansıyabildiği yüzeylerin olması ile görme sağlanmış olur. Doğru aydınlatma, insanların çalışma performansını artırır, bir alanın görünümünü iyileştirebilir veya kullanıcılar üzerinde olumlu psikolojik etkilere neden olur. Aydınlatma, kullanıcı konforu veya estetik etkilerin elde edilmesi için doğal gün ışığı ile ve/veya yeterli olmadığı durumlarda yapay aydınlatma elemanlarının kullanılması ile sağlanır.

Günışığı ile aydınlatmada pencere, ışıklıklar, ışık rafları vb. kullanılarak, ve günışığı ana ışık kaynağı olarak kullanılır. Mekan içi aydınlatma, genellikle aydınlatma armatürleri kullanılarak gerçekleştirilir.

Aydınlatma aynı zamanda peyzaj projelerinin kendine özgü bir bileşeni de olabilir. Yapay aydınlatmada gerçek ışık kaynağı (lambalar) üreten firmaların verileri ile DIALux, DAYSIM ve Radiance gibi yazılımlar kullanılarak analizler yapılır. Tasarımlar, CIBSE Code for Interior Lighting 1994 gibi şartları sağlamalıdır.

Aydınlatma analizlerinde bir mekândaki belli bir yüzey üzerindeki ışık seviyesi tespit edilir. Genellikle düşey veya yatay bir düzlem üzerindeki aydınlatma seviyeleri bir gösterge çizelgesi ile tanımlanır. Mimari elemanların bina içinde ve dışında kullanılacak malzemelerin ışığı yansıtma, kırma, emme durumları analiz edilerek yapay aydınlatma elemanlarının mekân içindeki etkisi incelenebilir ve bunlarla ilgili farklı raporlar alınabilir (Lighting, 2019).

(c) Isıl Performans Analizleri

Isıl performans analizleri, bir model üzerinde mekânların iç ortam sıcaklıklarını tahmin etmek için yapılmaktadır. Ayrıca mekanların ve yapı bütünüünün ısıtma ve soğutma yüklerini hesaplamak için kullanılır. Isıl performans analizi, her yapı elemanının malzemesine bağlı olarak bir U değeri ve yüzey alanının fonksiyonu olan bina kayıp katsayısına dayanır. Mimari elemanların bina içinde ve dışında kullanılacak malzemelerin U değerleri de göz önüne alınarak, farklı geometrilerdeki “zonların ya da mahallerin” yükleri hesaplanabilir. ASHRAE “ağırlıklı faktör”, “ısıl denge” ve “finite difference” gibi yöntemler, binaların dinamik tepkilerini yansıtır. BLAST, DOE-2 ve ESP(r) gibi bu yöntemlere dayalı simülasyon programları yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Ulukavak, 2001).

(d) Güneş Işınımı Analizleri

Güneş ışıını, güneşten çıkan görülebilir ışıındır. Bu ışıınıdan elde edilen enerji miktarı bölgenin coğrafi konumuna, mevsime, günün saatine ve bulutluluk oranına göre değışir. Zaman içinde herhangi bir eleman ve yüzey üzerinde ne kadar güneş radyasyonu toplandığı hesaplanabilir. Bu bilgi güneş kontrolü için önemli bir bilgidir. Güneş ışıını verilerinin anlaşılması, projeyi bağlamı içinde çevresel kriterlerle birlikte anlama ve karar sürecine yardımcı olur. Güneş ışıını analizlerinde farklı zaman periyotlarındaki durumlar karşılaştırılabilir. Potansiyel tasarruf miktarları tespit edilebilir. Bu amaçla önce mevcut durum analizi yapılır ve bu analiz sonucu referans alınır toplam güneş ışıını yükü (Total Incident Solar Radiation) bulunur. Çatı, duvar gibi yüzeyler üzerine düşen güneş ışıını miktarları hesaplanır. Ayrıca hiç güneş almayan bölgeler de tespit edilir. Böylece gölgeleme ve yansıtma yüzdeleri belirlenir.

Cam yüzeyler ve çatı pencereleri konumları, güneş panellerinin en uygun yerleri belirlenebilir. Fotovoltaik paneller üzerine toplanacak yıllık güneş ışıını hesaplanarak, üretilebilecek toplam elektrik enerjisi miktarı görülebilir.

Özellikle, bina dış cephesi üzerinde yer alacak şeffaf ve opak malzemelerin seçimlerinde güneş ışıını verileri kullanılabilir.

(e) Rüzgâr ve Havalandırma Analizleri

Binalarda pasif soğutma amacıyla uygulanan en yaygın ve en ekonomik strateji doğal havalandırmadır. Havalandırma mekanik araçlar kullanmadan, baca etkisi yaratarak ve hava basıncı ile yada her ikisinin kombinasyonu ile temiz hava sağlanması olarak tanımlanabilir (Engin, 2012). Hesaplanabilir akışkanlar dinamiğı yazılımları ile hava hareketi ve rüzgar analizleri yapılabilir. Bu benzetimlerde akışkan olan havadır. Akışkan fizik kuralları kullanılarak, hava akışları, sıcaklık değıerleri ve duman yayılımı gibi konular incelenebilir. Dış ortamdaki hakim rüzgarın mekan içi ve dışındaki hareketleri bu benzeşimlerle anlaşılabilir. Bu yazılımlar, yerleşke şeklinde projelerin büyük ölçekte (mahalle veya şehir ölçeğı) basit modelleri üzerinden hava akışlarının izlenmesini sağlar. İç ve dış mekânlarda ölçümü yapılacak seviye için bir düzlem yerleştirilir. Belirlenecek analiz düzlemleri üzerindeki havalandırmalar hesaplanabilir. Hâkim rüzgârın tanımlanan düzlemler üzerinde nasıl etki yarattığı incelenebilir. Eğer rüzgar enerjisi kullanılarak elektrik üretilecekse türbinlerin ne kadar elektrik üretilebileceğı hesaplanabilir. Bu analizlerde, mekanik havalandırma miktarı, doğal havalandırma süresi ve soğutma yükleri hesaplanabilir (Ulukavak, 2001).

(f) Enerji Analizleri

Bina Enerji Analizi, binanın ve enerji tüketen sistemlerinin kullanacağı enerji miktarını ölçme ve maliyetlerini belirleme yöntemidir. Isıtma, soğutma, havalandırma vb. sistemler enerji kullanımında ilk öne çıkanlardır. Enerji analizlerinin amacı, farklı sistem ve tasarımların enerji kullanımı ve maliyetlerini görmek ve en düşük maliyetli tasarımı seçmektir. Analizde, soğutma ve ısıtma yüklerini belirlemek için matematiksel bir benzetim yapılır. Hesaplanan enerji verilerine dayanarak çalıştırma maliyeti hesaplanır (Tesisat Teknik Bülteni, 2007).

Enerji analizleri günümüzde bilgisayar programları ile yapılmaktadır. Tüm binanın elektrik ve su gibi kaynakları ne kadar kullandığı, ne kadar enerji harcayacağı, ne kadar karbondioksit (CO₂) emisyonu çıkacağı raporlanabilir. Birçok yeşil bina derecelendirme aracında bu raporlar istenmektedir.

Kavramsal tasarım aşamasında, olası tüm bina tasarım senaryoları için göreceli olarak enerji maliyetleri karşılaştırılabilir. Aydınlatma, HVAC ve diğer donanımların elektrik ve yakıt kullanımı, toplam yıllık enerji kullanımı ve karbon izi belirlenebilir.

Tasarımın erken aşamalarında yaratılan kütle çalışmaları üzerinden enerji analizleriyle, yapının arazi üzerine nasıl yerleştirileceği hakkında karar alınır. Detaylı analizler için DOE-2 modeli girdi dosyaları eQUEST®, Trane®, Trane® 700 gibi mühendislik analiz sistemleriyle beraber kullanılabilir (Autodesk Inc. 2005).

3.1.4.1 Bina Enerji Performansı Ölçme Yöntemleri

Mimar ve mühendislere, tasarladıkları binanın performansını değerlendirmeleri için tasarım, ölçme ve değerlendirme araçları geliştirilmiştir. Bina enerji performansını değerlendirmeye yönelik, farklı disiplinler kendilerine ilişkin verileri göz önüne alarak ve bu verilerden yola çıkarak tasarıma yön vermelidir.

Bina enerji performansı ölçme yöntemleri, Enerji ve Çevresel Tasarım Kararı Destek Sistemi olarak adlandırılan binanın enerji performans değerlendirmesinde kullanılabilecek sistemlerdir. Tasarımcıya yapılması gerekenleri içeren tasarım kılavuzları, binadaki belli başlı fiziksel süreçleri belirlemeyi amaçlayan hesaplama yöntemleri, tasarım önerisinin performansını tahmin etmeyi amaçlayan bina benzetim programlarını ve binanın maketler yardımı ile test edildiği ve performansının belirlendiği küçük ölçekli modellemeleri içermektedir (Harputlugil, 2010).

Başlıca tasarım kararı destek sistemleri aşağıda sıralanmıştır.

Tasarım Rehberleri: Tasarımcıya belirli performans hedefleri için yapılması gerekenleri içeren önerilerdir.

Geleneksel Hesaplama Yöntemleri: Binadaki belli başlı fiziksel özellikleri belirlemeye yöneliktir. U değerlerinin hesaplanması gibi sınırlı sayıdaki fiziksel olgu ile ilgilenir.

Korelasyona Dayalı Yöntemler: Binadaki karmaşık sistemleri göz önüne alarak performans tahminini amaçlar. Tasarımcının tanımladığı belli parametreler sonrası simülasyon programının da bu parametrelere bağlı olarak nasıl bir performans sergileneceğini bildirir.

Bina Benzetimi: Bina benzetiminde amaç, bina performansını etkileyecek birçok ilişkili parametrenin tanımlanması ile gerçeğe oldukça yakın performans tahminlerinin elde edildiği sanal bir bina yaratarak çözümleme yapmaktır.

Küçük Ölçekli Modelleme: Gerçek maketler yardımı ile performans belirlenmesidir. Rüzgâr tüneli testleri buna örnek olarak verilebilir.

Karmaşık bir sistem olan binanın, enerji performansını belirleyecek en uygun teknik benzetimdir. Benzetim yazılımları, form, boyut, malzeme, iklim vb. birçok parametreyi aynı anda değerlendirip hesaplama yeteneğine sahiptir. Analiz sonrası sonuçların değerlendirilmesi ile etkili mimari kararlar alınabilir.

3.1.4.2 Amaçların Belirlenmesi ve Ölçüm

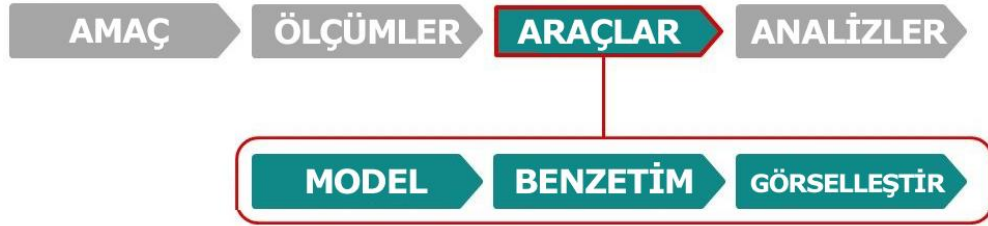
Analiz işlemine başlamadan önce ilk olarak, hedeflenen enerji performans düzeyi belirlenir. Bu performansa ulaşmak için gerekli adımlar izlenir. Bu aşamada başarı hedefleri net şekilde belirlenebilirse, diğer aşamalar için de seçimler doğru yapılabilir. Belirlenen hedeflere ulaşıp ulaşılmadığının ölçülmesi ve değerlendirilmesi bir sonraki adımdır. Bu temel adımlar sayesinde sonraki aşamada hangi araç ve yazılımların seçileceği de belirlenmiş olur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Amaç Belirleme, Ölçüm Ve Analiz Aşamaları

3.1.4.3 Benzetim ve Analiz Araçlarının Seçimi

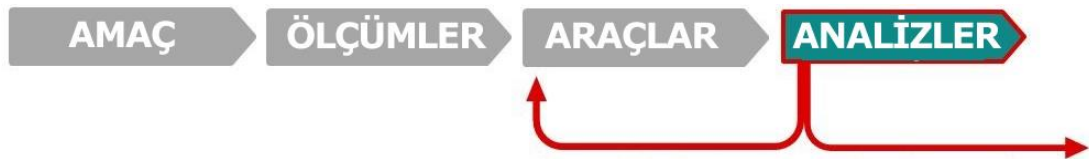
Benzetim ve analiz yazılımı seçilirken tamamen bir önceki maddede açıklanan amaçlar ön plana çıkar. Seçilen analiz yazılımına veriler aktarılır. Çoğunlukla veri aktarımları önceki bölümlerde açıklandığı gibi gbXML formatı ile olur. Yazılım içinde modelleme yapılacaksa, diğer girdiler ve veriler eklendikten sonra analize hazır hale gelmiş olur. (Şekil 3.6)



Şekil 3.6 : Analiz Aracı ve Simülasyon.

3.1.4.4 Tasarım Optimizasyonu Kararları

Bu aşamada benzetim yapıldıktan sonra çıkan sonuçlar değerlendirilir. Bu değerlendirmeler sonucunda iki seçenek ortaya çıkar; Tasarım değişiklikleri yapılacak ve süreç tekrar edecektir ya da elde edilen sonuçlar başlangıçta konmuş hedeflerle uyuyorsa işlem tamamlanmış olacaktır. Hedeflere ulaşmak ve daha etkili tasarım kararları verebilmek için analiz sonuçları iyi yorumlanmalıdır. Gerekli optimizasyonlar, sonuçlara göre kullanıcı tarafından yapılır. Bu durumda yinelemeler yapılabilir yada başka tür ve konuda analizlere geçilebilir (Şekil 3.7) (Aydın ve Volpintesta, 2013).



Şekil 3.7 : Tasarım Optimizasyonu.

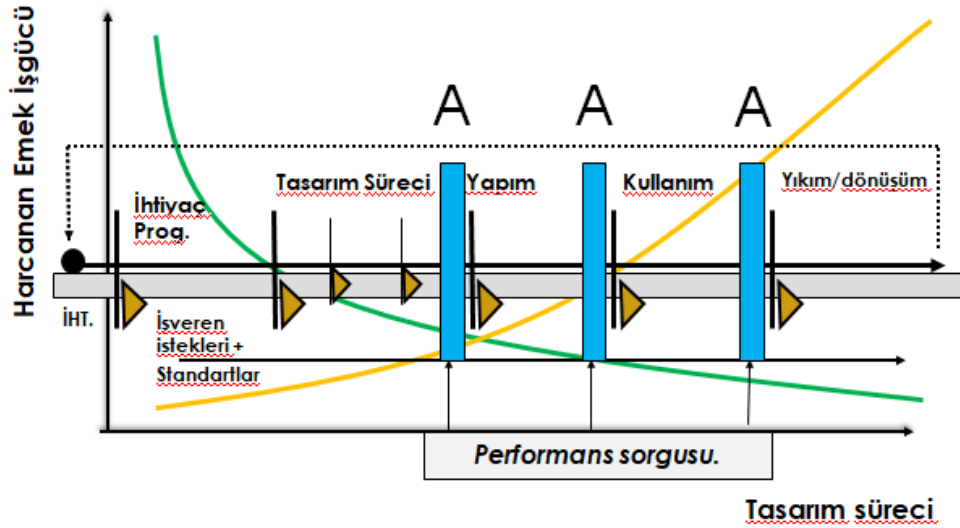
3.1.4.5 Bina Enerji Performansı Ölçme İçin Uygun Zamanlama

Yapılan incelemeler ve literatür taramalarında analizlerin öncelikle yeni yapılacak binaların tasarım aşamasında ve mevcut binaların renovasyon aşamasında yapıldığı görülmektedir. Tasarım ve projelendirme aşamasında aşağıda sıralanan iki ayrı yer ve amaç için yapıldığı görülür. (Şekil 3.5)

- Erken proje aşaması kavramsal tasarım aşamasında yapılan enerji analizleri

- İleri proje aşaması, uygulama proje aşamasında yapılan enerji analizleri
- Mevcut binanın renovasyonu sırasında enerji analizleri

Bu durumda mevcut performans sorgulamaları, Şekil 3.8’de grafikte **A** harfi ile gösterilen, tasarım sonu, işletme öncesi ve bina işletmesi aşamalarında yapılmaktadır. Oysaki tasarım sürecinin içinde ve mümkün olan en erken aşamalarda performans sorgulamaları yapılmalıdır. Benzetimler ve analizler, tasarımı yönlendirme ve iyileştirme potansiyeli daha yüksek olan erken evrelere çekildiğinde de, sorun eksik bilgilerden doğmaktadır. Henüz eskizler ve tasarım devam ederken, tasarımların kütsel olarak çalışıldığı süreçte ve analizler için gereken girdi verilerinin birçoğu elde değilken, problemin tanımı ve enerji modelleme aşamasında, belirsiz kavramlar ve varsayım gerekliliği ile karşılaşılır.



Şekil 3.8 : Tasarım Sürecinde Geri Bildirimler (Harputlugil, 2009).

Analiz yazılımı seçiminde, bilinçsiz seçimlere karşı tasarım ekibinde mutlaka bir deneyimli uzmanın bulunması gerekir.

Binaların enerji performansının analizi sürecinde modelleme aşamasında basit bir model kurgulanmalıdır. Kalibrasyon ve simülasyon aşamasında elde edilen bilginin çok az olduğu göz önünde bulundurularak kabullerle donatılmış bir program ve güven gerekliliği ile karşılaşılır. Sonuçların analizinde ne beklemek gerektiğinin bilincinde olunmalıdır. Elde edilen verilerin, tasarıma girdi olup tasarım desteği sağlayacağı düşünüldüğünde, seçilecek yazılım ve sistemlerde, tasarım sürecinin erken evrelerinde bir sonraki evre için öneri sunabilme, karşılaştırma ve optimizasyon imkanı bulunmalıdır (Harputlugil, 2010).

Şekil 3.9 da gösterilen erken proje aşaması bu tez çalışmasında odaklanılan enerji analizleri aşamasıdır. Bu aşamada amaç, analize girdi olabilecek bilgilerin bir çoğu belli değilken, tasarım desteği ve öngörü oluşturabilecek analizlerin gerçekleştirilebilmesidir. Mimarların, kavramsal tasarımda, mimari büro dışına çıkmadan ve uzmanlık gerektiren bir yazılım kullanmadan, tamamen mimari tasarım yazılım içinde analiz yapıp tasarımlarına devam edebilmelerinin mümkün olup olmadığı son bölümdeki örnekleme üzerinde incelenecektir.

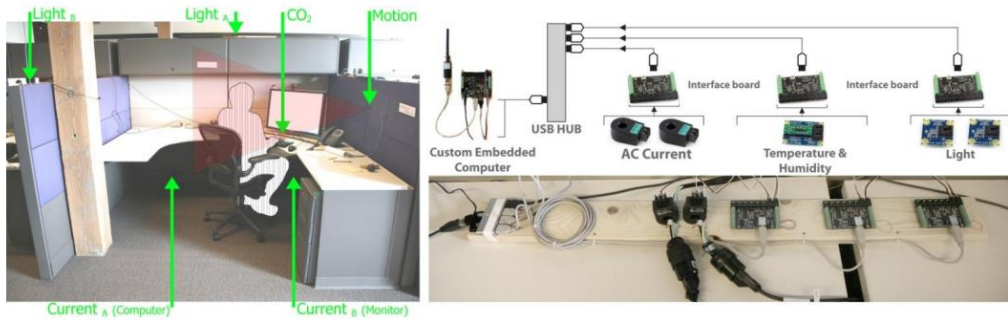
ENERJİ ANALİZLERİ				
Ne zaman	Proje Aşaması	Gerçekleştiren Kim	Kullanım Yeri	Neden
Erken Proje	Kavramsal	Mimar	Öngörü	Tasarım Destek
İleri Proje	Uygulama	Mühendis (Makine)	Bina yük hesapları	Sistem Seçim ve Tasarımı
Mevcut Bina	Renovasyon	Mühendis (Makine)	Bina iyileştirmesi ve öneriler	Mevcut Durum analizi

ENERJİ ANALİZLERİ			
Nerede	Nasıl	Yazılım	Analize girdi olacak bilgiler
Mimari Büro	Hızlı veya gerçek zamanlı	Design Yazılımı	Yok yada eksik
Mühendislik Bürosu	Uzun zaman alır	Uzman Analiz yazılımı	Tam ve eksiksiz
Mühendislik Bürosu	Uzun zaman alır	Uzman Analiz yazılımı	Mevcut Bina Sistem verileri

Şekil 3.9 : Mevcut ve Olması Gereken Enerji Analiz Süreci

3.1.4.6 Bina Performans İzleme

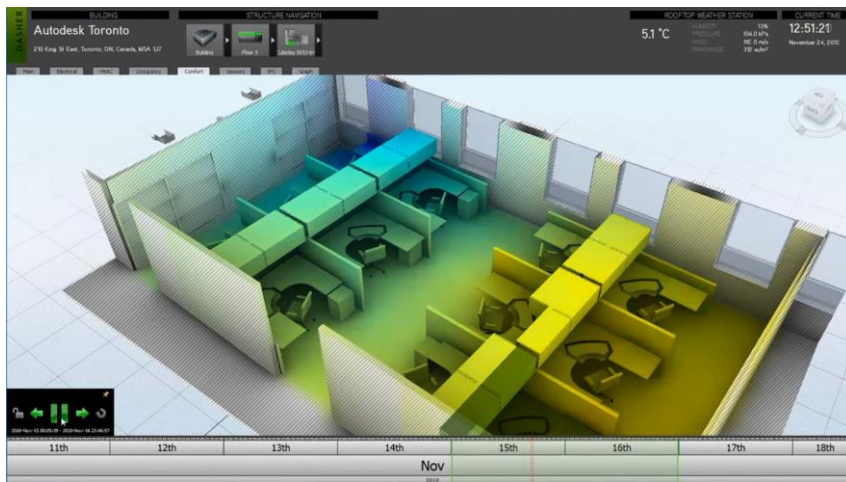
Proje aşaması bitip, imalat ve inşaat çalışmaları tamamlandığında binalarda bulunan olası sistemler test ve devreye alma işlemleri yapıp işletmeciye devredilir. Bu aşamadan sonra işletme sürecinde binanın performansı takip edilmelidir. Böylece bina projelendirme aşamasında öngörülen şekilde bir performans sergileyip sergilemediği karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilir. Bina performansının, birçok karmaşık faktörün ilişkisel dengesini kapsadığı daha önce belirtilmiştir. Bina işletmesi açısından bakıldığında mevcut sistemler, bina elemanları ve aralarındaki karmaşık ilişkileri alamaz. Binalar karmaşık hale geldikçe, binanın mevcut performans seviyesini anlamak için kullanılan ve bina işletmesinde kullanılan, kat planı üzerindeki gerçek zamanlı gösterge panelleri yetersiz kalır.



Şekil 3.10 : Performans İzleme Sensörleri (Autodesk Research, 2019).

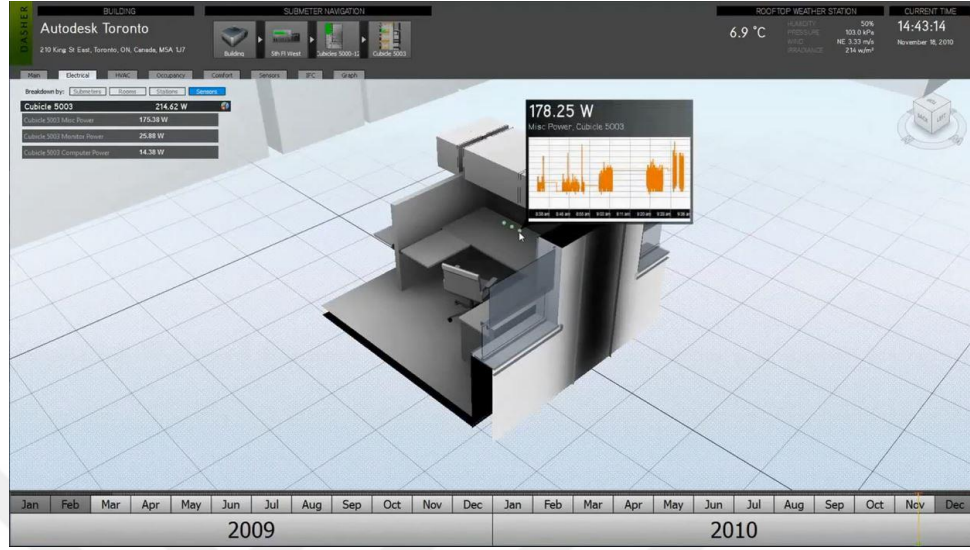
Binalarda aydınlatma, sıcaklık, hareket ve karbondioksit dâhil bina performansını izlemek için çeşitli sensörler kullanılmaktadır (Şekil 3.10). Bu tür veriler gerçek binadan alınarak veri olarak saklanabilir ve değerlendirme için kullanılabilir. Buna örnek olarak Project Dasher'ı örnek olarak verilebilir. Dasher, Autodesk firmasının geliştirdiği, bina sahipleri veya işletmecilerine, bina üzerine yerleştirilmiş sayaç ve sensör verilerini kullanarak, binanın ömrü boyunca sergileyeceği bina performansını, gerçek zamanlı olarak gösterilmesi (Şekil 3.11) amacı ile geliştirilen, internet ortamında bir uygulamadır. Tasarım ile yapı işletme arasında enerji izleme için geliştirilmiştir (Khan, 2010).

Dasher, yapı işletmesinde oldukça önemli bir konu olan, bina performans takibinin, YBM ile bütünleşmesi sağlanarak performans takibinin nasıl yapılabileceğini örneklemektedir. Uygulamada Revit modelleri ile inşaatı bitirilmiş binanın ekipmanlarının gerçek sensör verilerinin birleştirilmesi sayesinde gerçek zamanlı bir görüntüleme ve izleme imkânı sağlanır.



Şekil 3.11 : Sensör Verilerinin Gerçek Zamanlı Görselleştirmesi (Autodesk Research, 2019).

Şekil 3.12’de görülen örnekte Dasher, YBM modeli üzerinde, seçilen bir zaman periyodunda, sistemlerin ilişkisel faktörlerini, sensörlerle toplanan verileri kullanarak görselleştirmesini gerçek zamanlı olarak yapar (Azam Khan, 2010).



Şekil 3.12 : Project Dasher Etkileşimli Ekranı (Autodesk Research, 2019).

3.2 Binalarda Enerji Performansının Benzetim Yoluyla Analizi

Yabancı dilden simülasyon olarak Türkçeye giren ve “Benzeşim” yada “Benzetim” olarak Türkçeleştirilen kavram, en genel çerçevesi ile ele alındığında, var olan örüntüyü açıklamak amacıyla var olan ürün, süreç ve ilişkilerin simgesel soyutlaması olarak tanımlanabilir (Harputlugil, 2010).

ASHRAE, benzetimi şu şekilde tanımlamıştır; (Clarke, 2001)

“bir sistemdeki çalışma niceliklerinin (basınç, sıcaklık, enerji ve akışkan-akış oranı), tüm enerji ve madde dengeleri, tüm çalışma konumu denklemleri ve her bir parça için tüm performans karakteristiklerinin uygun olacak şekilde tahmin edilmesidir”

Herhangi bir konuda benzetim yöntemi kullanarak, karmaşık süreçlerin basit bir modellemesinin gerçekleştirilmesi söz konusu olabilmektedir. Benzetim yaklaşımlarında sistemler, soyutlanmış modeller üzerinden incelenir. Geçmişte simülasyon tekniğini kullanabilmek için iyi bir matematikçi ve programlama uzmanı olmak gerekirken, bugün bilgisayar teknolojisinin geldiği aşamada, modellenecek sistemin yapısı ve dinamikleri ile benzetimin amacını doğru anlamış olmak yeterlidir.

Gerçek hayattaki sistemlerin tüm karmaşıklığı içinde analiz edilmeleri zor ve gereksizdir. Belirlenen hedefler ya da yapılacak analiz için göreceli olarak önemsiz

olanların atılarak gerçek sistemlerin sadeleştirilmiş bir modeli üzerinden davranışların tespiti mümkündür. Bilgisayarla bina enerji simülasyonu günümüzde kullanılan en yaygın ve pratik yöntemdir. Binalarda kullanılan ısıtma, soğutma yükleri ve havalandırma hesaplamaları, bina enerji benzetiminin dayanağıdır (Ademoğlu, 2005).

3.2.1 Bina Performans Benzetimleri

Tüm bina enerji performansında bileşenlerin ayrı ayrı performansının belirlenmesi yerine binanın tüm bileşenleri ve sistemleri ile karmaşık etkileşimini ve bunlar arasındaki dinamik davranışları içeren, binanın bir bütün olarak ele alındığı analizler daha güvenlidir. Performans belirlenmesi, tasarım aşamasında olduğu kadar, yapım ve işletim aşamasında da önemlidir. Ulukavak (2001), çalışmasında farklı enerji performans modeli yaklaşımlarından söz etmektedir. Bu yaklaşımları, mühendislik, mimari ve enerji modelleri olarak üç başlıkta toplamıştır.

Bina performans değerlendirmelerinde, benzetimi bina enerji performansı kanıtlayıcısı olarak kullanmakla sınırlamak mimari tasarıma dolaylı katkı sağlar. Benzetimi mimari tasarımın erken aşamalarda “tasarım desteği” olarak kullanmak gerekir. Projeler, paydaşlar arası bir ekip çalışması ile gerçekleştirildiğinde elde edilecek performans sonuçları çok daha başarılı olacaktır. Tasarım sürecinin erken aşamasındaki hedeflerde iklim verilerinin, çevre yapıların ve doğa özelliklerine göre alınan önlemlerin saptanması, tasarıma yansıtılması gerekir. Bu noktada enerji tüketimi ve çevresel etkinin en aza indirilebilmesine yönelik kararlar öncelikle ele alınmalıdır. Ön proje aşamasında performans hedefi enerji tüketiminin azaltılması olmalıdır (Harputlugil, 2009).

Bina benzetimleri, bina performansını etkili bir şekilde değerlendirmek için özelleşmiş yöntem ve araçları ile anlama imkânı sunan bir çalışma alanıdır. Fizik, matematik, malzeme bilimi, biyofizik, davranış ve bilgisayar bilimi gibi farklı disiplinlerden gelen teorileri kullanır. Bina benzetim teknikleri, gerçek dünya gözlemleri, bire bir ve farklı ölçeklerdeki maketler, bilgisayar benzetimleri gibi, gerçeğe uygun olanlardan soyut olanlara kadar çok çeşitlidir. Bina benzetimleri, insan davranışları, yangın tahliyesi, termal, aydınlatma, akustik ve strüktürel analiz gibi alanlarda kullanır. Benzetim algoritmaları konuya özel geliştirilir. Örneğin aydınlatma, termal ve strüktür gibi farklı konulara özel benzetim araçları o alana özgü sorunların cevaplarını tahmin etmeye

yönelik olarak özelleşmişlerdir. Her bir konu kendi alt problemlerine sahiptir. Dolayısıyla modellenmeleri ve simüle edilmeleri de farklıdır (Yi, 2008).

Ademoğlu (2005), bina enerji benzetimini, enerji performansının, bilgisayar modeli ve benzetim teknikleri kullanarak dinamik olarak analiz edilmesi olarak tanımlamakta, benzetim kullanılmasının yararlarını şu şekilde sıralamaktadır;

- Bina enerji benzetimi, enerji performansı çalışmaları ve mimari tasarım değerlendirmesi için güçlü bir metottur.
- Karmaşık tasarım problemleri araştırılabilir ve performansları değerlendirilebilir.
- Ayrıca benzetim, bina performansında daha doğru bir anlayışın gelişmesi için kullanışlı bir araçtır.
- Enerji analizi, tasarımcılara etkin bir bina şekli ve tasarım stratejilerini geliştirmeleri için yardımcı olur.

Isıtma ve soğutma yüklerinin belirlenmesi ve tesisat boyutlandırması için yapılan hesaplamalardan farklı olarak enerji hesaplamasının amacı, bir yılda gereken enerji ihtiyacı ve tüketilecek karbon miktarının belirlenmesidir. Bina benzetimi binanın tasarım özellikleri ve enerji kullanımı arasındaki ilişkiyi anlamaya ve performansını tespit etmeye çalışır. Bu süreçte donanımlar, enerji tüketimi, iç ortam şartları ve tesisat performansı hakkında da bilgiler elde edilebilir.

Enerji performansı çalışmalarında, iklimsel koşullar, ısı transferi şartları, insan davranışları, yük hesapları, sistemler gibi, oldukça karmaşık problemler bir araya gelir. Bu problemlerin basit ve kesin bir cevabı olamaz. Cevapları bulmak için konuyla ilgili analiz gerçekleştirmek, girdi kriterlerinin birbirleriyle olan ilişkilerini ve etkilerini anlamış olmak gerekir.

Bina enerji performansın değerlendirmesini güçleştiren dört temel sorun vardır (Ademoğlu, 2005);

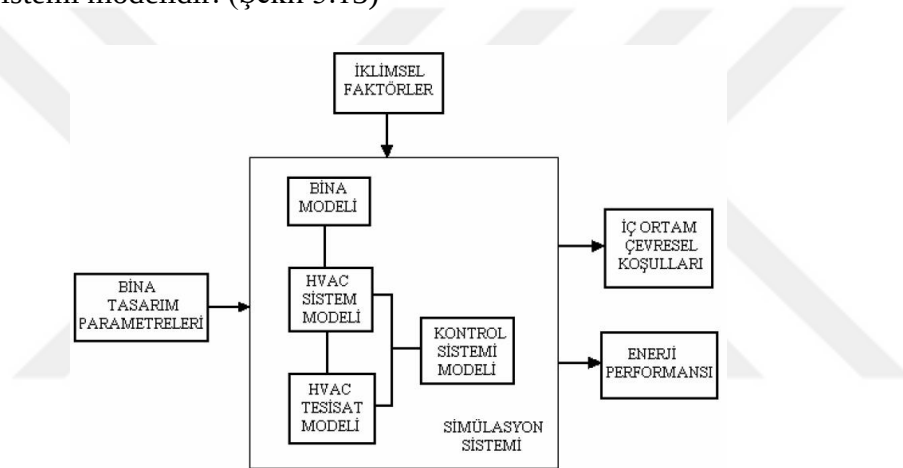
- Bina enerji performansının anlaşılma kavramları,
- Bina tasarım sürecinin soyut doğası,
- Yük ve enerji hesaplamaları ile ilgili netleşmemiş kabuller,
- Bina enerji benzetiminin ve ona gerekli iklim girdilerinin karmaşıklığı.

3.2.2 Bina Simülasyonu ile Enerji Analiz Yöntemi

Enerji hesaplama, gerçek iklim koşulları altında binaların enerji tüketimini belirlemek üzere yapılır. Bina enerji hesaplamaları yapılırken üç ana aşama vardır (Ulukavak, 2001) ;

- *Isı kazanç ve kayıpları hesaplanması*
- *Soğutma ve ısıtma yüklerinin belirlenmesi*
- *Yükleri karşılamaya yönelik sistemlere girdi olacak enerjinin hesaplanması*

Ademoğlu (2005), bina benzetiminde, binanın enerji akışını etkileyen 4 temel modelin kullanıldığını belirtir. Bina enerji modeline ek olarak HVAC tesisatı ve sistemi modeli ve kontrol sistemi modelidir. (Şekil 3.13)

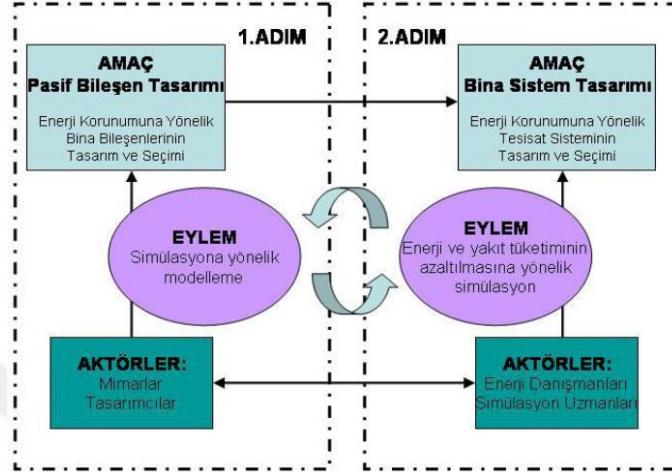


Şekil 3.13 : Bina Enerji Simülasyonu Ana Bileşenleri (Ademoğlu, 2005).

Binanın, tasarım parametreleri, iç talepler ve tanımlanması benzetim girdileridir. Bina enerji tüketimive iç ortam çevresel durum tespitleri ise çıktılardır. Çevresel veri olan iklim ise koşul olarak, bina yüklerinin çeşitliliğinde temel yönlendirici gücü oluşturur (Şekil 3.13). Modellemenin amacı, iç ortam konfor şartlarını sağlamak, sistem performansını yükseltmek ya da farklı tasarım seçeneklerinin, toplam işletme masraflarını ne kadar etkileyeceğini anlamaktır. Ademoğlu (2005), tipik bir benzetim sürecini şu şekilde sıralar; (i) Simülasyon araçlarını öğrenme, (ii) Bina tasarımı ve varsayımların anlaşılması, (iii) Girdilerinin hazırlanması, (iv) Simülasyonun uygulanması ve (v) Sonuçlarının yorumlanması.

Harputlugil (2009), Binaların enerji performansının “pasif bileşen tasarımı” ve “bina sistem tasarımı” olarak iki adımı olduğunu belirtmiştir. Pasif bileşenler mimari kararlar bina bileşenleri tasarımlarından oluşur. Amaç pasif kararların bina modelini hazırlayıp

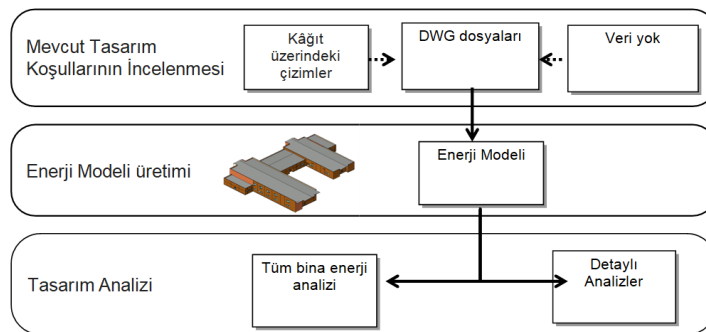
analizlerin yapılması ve tasarım kararı desteği sağlanmasıdır. İkinci adımda bina tesisat sisteminin seçimi gelmektedir (Şekil 3.14). Enerji danışmanlarının ve mühendislerin alanına giren bu aşamada enerji ve yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik tedbirler için benzetimler ve analizler yapılır. İki adımın birbirlerine geri besleme yapabilmeleri gerekmektedir.



Şekil 3.14 : Enerji Performansı Pasif Bileşenleri ve Bina Sistemi (Harputlugil, 2009).

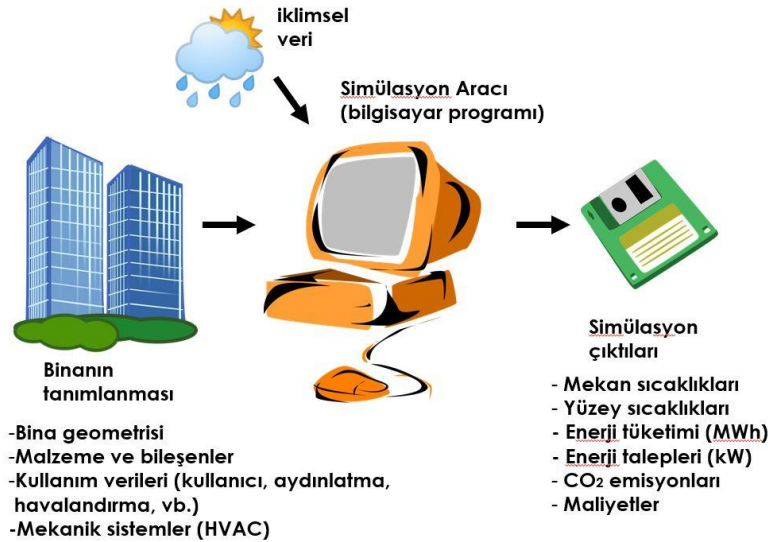
Tasarım düzeyi ve benzetim düzeyinin detaylandırma açısından eşdeğer olması gerekir. Basit bir benzetim programını tasarımın ilk evrelerinde, detaylı programları ise verilerin ve bilgilerin arttığı, tasarım daha detaylı ve karmaşık hale geldiğinde kullanmak doğru olur. Tasarımın farklı aşamaları boyunca benzetimin analiz-sentez ve karar sürecine katkısına göre yaklaşımlar geliştirilebilir (Harputlugil, 2009).

Bilgisayar yardımıyla yapılan benzetimler karmaşık matematiksel formül ve algoritmalar kullanmaktadır. Mimari tasarımda, sürdürülebilir hedefler, stratejiler ve yapılacak analizler açısından diyagramlar hazırlanabilir. Temelde enerji modelleme iş akışı aşağıda Şekil 3.15’de görüldüğü gibi gerçekleşmektedir.



Şekil 3.15 : Enerji Modelleme Süreci.

Bina benzetim programları, öncelikle binanın modellenmesini gerektirir. Modellemede tasarıma ilişkin verilerin tanımlanması söz konusudur. Bu, bazen sadece kütle formu, boyut, bileşen ve malzemelerle sınırlı kalabildiği gibi, detaylı simülasyon programları için, saatlik kullanım zaman cetvellerinden, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme sistemlerinin özellikleri ve işletim stratejilerine kadar ayrıntılı pek çok bilginin tanımlanmasını da gerektirir (Şekil 3.16). Bu bilgiler programa yüklendikten sonra programın çalıştırılabilmesi için ikinci en önemli veri, binanın yapılacağı bölgeye ait iklimsel verinin sisteme girilmesidir. Daha sonra program çalıştırılır. Elde edilen veriler, simülasyon programının özelliğine göre değişmekle birlikte, detaylı enerji simülasyon programları genellikle, binanın veya mekanların ısıtma ve soğutma yükleri ile bunları karşılayacak yıllık enerji tüketimlerini vermektedir. Programların özelliklerine ve girilen veri düzeyine bağlı olarak, enerji maliyetleri veya binanın toplam maliyeti, binanın çevresel zararları (CO₂ emisyonları gibi), yaşam boyu maliyeti (life cycle cost) gibi sonuçlar da elde edebilmek mümkündür.



Şekil 3.16 : Enerji Analiz Süreci Gereken Bilgi ve Veriler (Harputlugil, 2010).

Enerji analiz sürecinde kullanılacak iklim verileri, enerji analizi yapan yazılımların kullanılabilecekleri formatta olup, kuru ve ıslak termometre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü, çiğ noktası sıcaklığı, direkt normal radyasyon, küresel ve dağınık yatay radyasyon ve toplam gökyüzü bulut oranını gibi meteorolojik değişkenleri içerir (Autodesk, 2019).

Enerji analizinde seçilecek hava istasyonu için en önemli faktör mesafedir. Bir iklim istasyonu proje konumuna ne kadar yakın ise, kullanılacak veriler proje konumunu o

kadar iyi temsil edebilir. Bu durum, özellikle karmaşık arazi veya mikro iklime sahip olabilecek bir bölgede önemlidir (Autodesk By Stuart Malkin, 2009).

Bina enerji analizi iş akışında enerji modeli üretilmesi en önemli adımlardan birisidir. Aşağıdaki bölümde enerji modellerine ilişkin bilgi verilmektedir.

3.2.3 Enerji Modelleri

Enerji modeli, bina geometrisini temsil eden, analize gereken detayda yaratılan, analize gereken malzeme vb. bilgileri içinde bulunduran 3B modeldir. Bina modeli/geometrisi enerji analizinde en önemli bileşendir. Düşey duvarlar, pencereler, döşemeler, eğimli ya da düz çatılar bina geometrisinin ana unsurlarıdır. Yapı karmaşıktıkça model girişi ve veri girdi süreci oldukça zor hale gelir. Detaylı analizler için zon tanımlamaları önemlidir. Çoğu basit tasarım aracında tüm binayı tek bir odanın temsil ettiği varsayılır. Küçük konutlar için yeterli olabilecek bir kabul karmaşık büyük binalarda sınırlayıcıdır. Geometriye ek olarak malzemelerin de tanımlanması gerekir (Ulukavak, 2001).

Viyana üniversitesinde yapılan bir çalışmada, bina enerji performansı için kullanılacak benzetim programı için gerekli zaman ve çaba için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmadan çıkan sonuç oldukça çarpıcıdır. Bina modellemesinin, bu çalışmalar için en çok zaman alan ve çaba sarf edilen bölüm olduğu ortaya çıkmıştır (Güleç, 2007).

Modelleme (enerji analizi) için uygun olmalı ve yeterli miktarda detaylandırma yapılmalıdır. Genel olarak binanın termal bölgelerini ayıran ana dış duvarlar, pencereler, çatılar, döşemeler ve iç duvarlar modellemede yeterlidir. Daha fazla detay, benzetim doğruluğunu iyileştirmeden, analiz zamanını artırır (Autodesk Inc., 2008).

ASHRAE binaların bulundukları iklim bölgelerini (Climate zone) tanımlamış ve enerji modeline esas olacak yapı kabuğu bileşenlerinin maksimum ısı geçirgenliği değerlerini ve minimum yalıtım değerlerini listelemiştir. Bunları enerji analizleri yaparken kullanılacak binalar için ayrı ayrı tanımlamıştır. Bu veriler tüm analizlerin başlangıç noktaları olarak kullanılır. Baz bina tanımlamalarında bina türüne göre, yapı kabuğunu oluşturan bileşenlerin (çatı, dış duvar, döşemeler, dış kapı ve pencereler) U ve R değerleri bulunmaktadır (Lin, 2008).

Termal konfor açısından güneş ışınlı, iç mekân ısı kayıp ve kazançları, ısı değişiklikleri, konvektif ısı transferleri gibi etkenler bina kabuğundaki malzemeler ile

doğrudan ilişkilidir ve binanın ısııl hava konforunu etkiler. Dış hava ile temas halinde olan ve yapı kabuğunu oluşturan bileşenlerin modellenmesi enerji modelleri için yeterlidir.

Üretilecek 3B enerji modeli girdi olarak düşünülmelidir. Eğer elimizde çok karmaşık bir yapı modeli varsa bu durumda analize yönelik ihtiyaçlara göre geometri temizleme ve basitleştirme işlemi yapmak gerekebilir.

3.2.3.1 Enerji Modeli Üretim Yöntemleri

Enerji modeli üretimi, amacına, modeli üreten kişinin mesleğine ve yazılıma göre değişiklik göstermektedir.

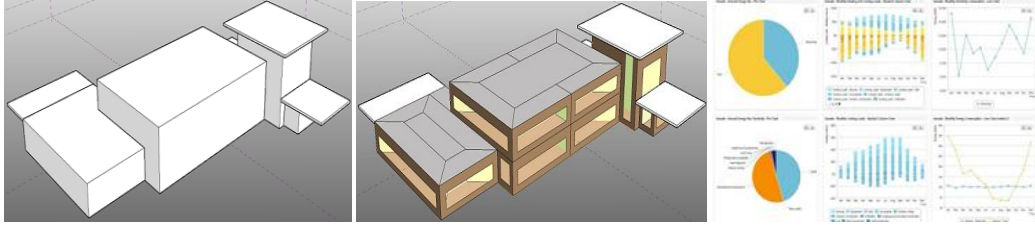
Yaygın olan ve bölüm içinde sözü geçen aşamalara göre 3 durum söz konusudur.

- Erken aşama (mimari), Kavramsal Tasarım aşamasında analizler (öngörü)
- İleri aşama (mühendislik), Uygulama Proje aşaması analizleri (doğrulama ve projelendirme)
- Mevcut durum ve yenileme için analizler (doğrulama)

Erken aşama analizler mimarlar tarafından yapılır. Mimarların ellerinde genelde tasarım modeli mevcuttur. İleri aşamada, mühendislik analizlerinde kullanılan yazılımların ara yüzü bina modeli girişi için grafiksel olmayan ve tablolar/hücreler aracılığı ile tanımlamaların yapıldığı bir ortam sunar. Bu durum hem çok zaman alır, hem de veri girişleri, çizimlerden manuel olarak operatör tarafından alındığından hataya açıktır. Mevcut durumda inşa edilmiş ve kullanılan binalar için ise süreç biraz daha farklı işler. Bu farklılıklar aşağıdaki başlıklarda açıklanmıştır.

Erken aşama (mimari), kavramsal tasarım aşamasında analizler

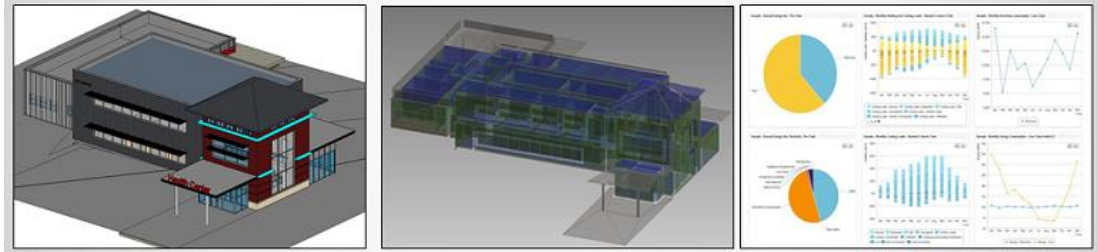
Ön proje aşamasında yapılacak benzetim, alınacak tasarım kararlarının bina performansını nasıl etkileyeceğini anlaşılmasında kullanılabilir. Farklı geometrilerin ve bu geometrilerin konum ve açıların araziye yerleşimlerinin, uygulanmasında ortaya çıkacak farklı performansların karşılaştırılması için benzetim yapılabilir. Kütlesel modeller üretmek yeterlidir. Bu kütlesel modellerden bina kabuğu çok hızlı şekilde oluşturulabilir. Bir kütlesel modelde, binanın büyüklüğü, boyutları, şekli, konumu ve yönelimi gibi temel bilgiler mevcuttur. Bu modelde olması gereken diğer bileşenler ise dış pencere ve açıklıklar, çatılar ve üzerindeki muhtemel açıklıklar (ışıklıklar), iç mekândaki çekirdek ve zonlar, döşemeler olmalıdır.



Şekil 3.17 : Kavramsal Tasarım Enerji Modelleri.

Ayrıca bina türüne göre, fonksiyonel bilgiler (otopark, ofis alanı, okul, atrium vb.) bulunmalıdır. İşe başlamak için eldeki mevcut tüm bina verilerinin toplanması gerekir. Şekil 3.17’de görülen şekilde düşük detaylı bir bina modeli kullanılsa bile, yıllık enerji tüketimini azaltma konusunda daha iyi kararlar vermeye yardımcı olacak önemli sonuçlar alınabilir.

İleri aşama (mühendislik), uygulama proje aşaması analizleri



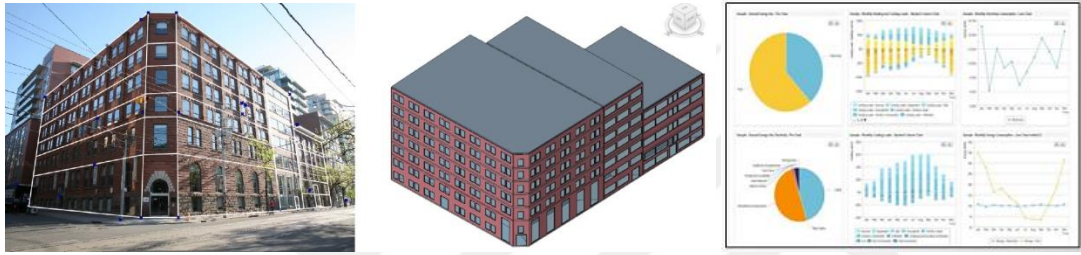
Şekil 3.18 : Uygulama Proje Aşaması Enerji Modelleri.

Bu aşamada bina kabuğu daha kapsamlı tanımlanabilir ya da kapsamlı detaylandırmaya girmeden genel elemanlar da kullanılabilir. Ana yapısal elemanların modellenmesi sınırlı tutulmalıdır. Dış duvarlar, pencereler, açıklıklar, döşemeler ve çatıları oluşturmak yeterli olacaktır. Detaylar içinde kaybolmadan binanın dış mekân ile temas halinde olan bölümlerinin modellenmesi yeterlidir. (Şekil 3.18) Bu aşamada modellemede kullanılacak nesnelerin amacı mahalleri tanımlamaktır. Ayrıca kesinleşmemiş olsa bile bina ısıtma, soğutma ve havalandırması ile sistem seçimleri de yapılmaya başlanmalı, analize esas diğer grafiksel olmayan özellikler de belirtilmelidir.

Kesin proje aşamasında, mimari tasarım kararları biraz daha olgunlaştığı için mimar daha spesifik konularda benzetimlere odaklanabilir. Tasarımcı, binanın enerji ve çevresel etkiler bağlamında performansını iyileştirmeye yönelik bilgi edinmelidir. Mühendis disiplinlerin de desteği ile potansiyel problem alanlarını inceleyebilmelidir. Bu aşamada gerçekleştirilecek benzetimler genelde binanın belli bir bölümüne veya özel problem alanlarına yönelik gerçekleştirilebilir. Sonuçların değerlendirilmesinde

en uygun olanlar seçilebilir. Uygulama projeleri aşamasında mimari kararların birçoğu artık netleşmiştir. Bundan sonra binanın pasif ve aktif sistemlerinin sorgulanması gerekir. Mühendisler de bu aşamada tasarım ve projelendirmelerini yaptıkları için tasarım parametrelerinin değerlendirilmesi sonucunda tasarımcı, benzetim modellerinde veya tasarım sürecinin ilk iki aşamasında gelişen önemli belirsizlikleri giderecek detaylı çalışmayı gerçekleştirebilir. Bu aşama veri doğrulama ve gelişmiş benzetim çalışmaları için uygun zamandır. Örnek olarak doğal havalandırma yeterli mi yoksa iklimlendirme sistemi tasarımının gerekip gerekmeyeceği gibi kararlar bu aşamada rahatlıkla verilebilir (Harputlugil, 2009).

Mevcut durum ve yenileme için analizler



Şekil 3.19 : Mevcut Durum Enerji Modelleri.

Binaların mevcut durumuna ilişkin dokümantasyona erişim olmadığı durumlarda, enerji analizi yapılmasına elverişli bir enerji modeli yapmak için kabuk modeli yeterli olmaktadır. Bu konuda verilerin elde edilmesinde beş ayrı yöntem kullanılabilir (Şekil 3.20) (Prabhu, 2010).

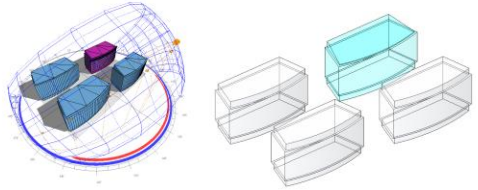
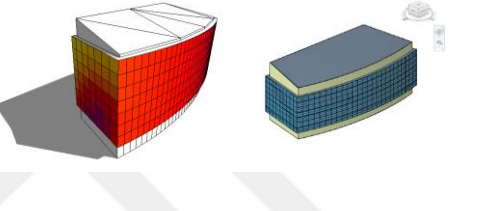
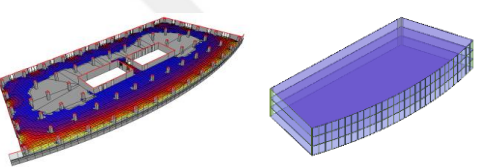
- BDT çizimleri ya da kâğıt üzerindeki çizimler,
- Manüel olarak veya lazer ile doğrudan ölçülerek (rölöve – survey)
- GPS ve “total station” cihazları ile yerinde alımlar yaparak
- Lazer tarama ile verileri alarak (nokta bulutu - point cloud)
- Fotoğraflar çekilerek (fotogrametrik² veriler)

² Fotogrametri: İki veya daha fazla yüksek çözünürlüklü fotoğrafın stereoskopik olarak birleştirilmesi ile 3B koordinatların elde edilmesi sürecidir. Fotoğraflar üzerinden yapılacak ölçümlerde de hata payı vardır.

3.2.3.2 Doğru Miktarda Detaylandırma

Çizelge 3.2’de üç ayrı detay seviyesi görülmektedir. En üstte görülen tasarımın en erken aşamalarında yapılan kütsel çalışmalarlardır. Ortada görülen ise tasarımın biraz daha ileri aşamalarında normal yapısal elemanlar ve araçlarla modellenir. En allta görülen modelde ise mahaller ve bina döşemeleri eklenmiştir. Analiz türüne göre modelde bulunacak elemanlara karar verilmelidir. Analiz türüne göre geometri seçimi yapmak gerekir. Bu detay seviyesi için aşağıdaki çizelge incelenebilir.

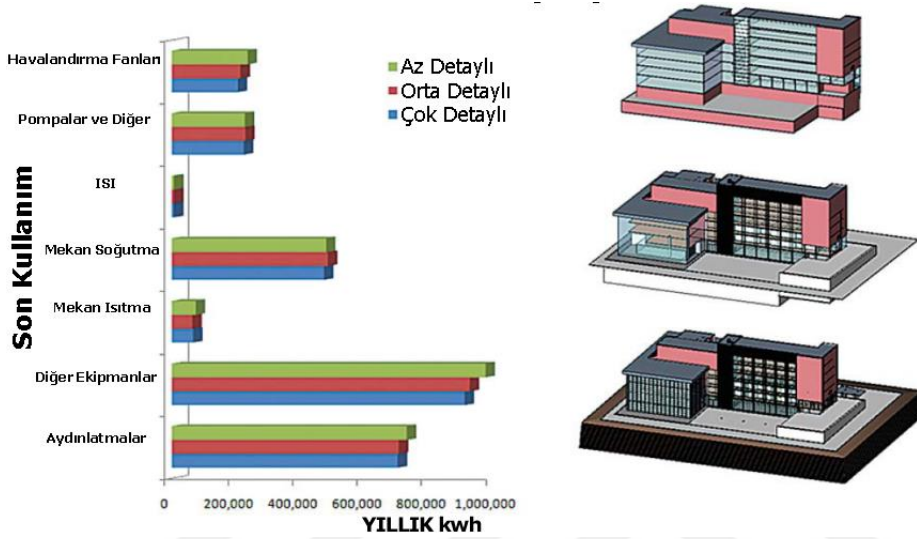
Çizelge 3.3 : Enerji Modeli Detay Seviyesi (Aydın ve Volpintesta, 2013).

Arazi yerleşim (kütsel) Kütsel Analizler: Döşeme ve iç mekân unsurları gereksizdir. Katı model yeterlidir.	
Bina kabuk modeli Cephe Analizleri: Solar radyasyon analizleri gibi analizler için bina dış kabuğundaki yüzeyler yeterlidir. Bina içindeki elemanlar ve pencere profilleri ve kayıtlar gibi detaylar gereksizdir.	
Mahaller ve döşemelerle İç mekân Gün Işığı: Bina dış kabuğu ve ek olarak döşemeler iç duvarlar da modelde bulunmalıdır. Ayrıca mahaller de yer alabilir.	

Araştırmalar yüksek detaylı enerji modelleri ile düşük detaylı enerji modelleri karşılaştırıldığında, çok az fark çıktığını göstermektedir (Şekil 3.17). Bu durum enerji modeli geliştirirken dikkate alınmalıdır. Aşağıda düşük, orta ve yüksek detaylı bir modeldeki yıllık elektrik sarfiyatının karşılaştırılması görülebilir. Ortalama detay seviyesine sahip bir model üretmek, bina enerji analizinde daha keskin sonuçlar verecektir. Böylece daha kısa sürede sonuçlar alınabilecektir (Autodesk Enerji Modeli Oluşturma, 2009).

Çoğunlukla kavramsal proje aşamasında üretilen kütsel modeller, bina enerji performans analizi için yeterli olur. Bu analizler tasarımın ilerleyen aşamalarında yüksek öngörülebilirlik sağlar. Örneğin aşağıdaki Şekil 3.17’de en az detay seviyesindeki bina modeli bile, yıllık enerji ve karbon salınımını azaltmak için hangi önlemlerin alınabileceği konusunda karar vermek için kullanılabilir. Birçok analiz için bina modelinin, yapılacak analize göre uygun derecede detaylandırmaya sahip olması

yeterlidir. Şekilden de anlaşılacağı üzere çok detaylı bina modelinden alınacak bir analiz sonucu ile, en az detaydaki kütesel modeller ile yapılan analiz sonuçları birbirine oldukça yakın çıkmaktadır. Bu karşılaştırmada projenin ilerleyen aşamalarında yapılan daha detaylı modeller, analiz hesaplamalarında harcanacak süreyi çok fazla uzatarak analizin hesaplanma süresini de uzatabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Autodesk, 2005).



Şekil 3.20 : Detay Seviyeleri ve Analiz Sonuçları Karşılaştırması.

Uygun detaylandırma açısından, boşluklar ve pencerelerle birlikte bina kabuğu, güneş kırıcı ve gölgeleyiciler yeterlidir. Çok detaylandırılmış modeller, yanlış analiz sonuçları verebilmektedir. Döşemeler, asma tavanlar, dış mekan ile ilişkili mahallerin duvarları ve çatılar, ayrıca duvarlar ve pencereler yeterlidir. Analizde kullanılmayacak veya analize belirgin katkı sağlamayacak elemanların modellenmesi gereksizdir. Tüm duvarlar, çatılar, döşemeler ve tavanlar birbirine bağlı olmalı, aralarında boşluklar bulunmamalıdır (Haynes, 2009).

3.3 Enerji Analiz Yazılımları

Günümüzde binaların enerji performansını analiz etmek ve bina modellemek için birçok yazılım mevcuttur. Fakat bu konudaki tüm gereksinimleri tek bir yazılımın olanakları karşılamamaktadır. Bina performans simülasyonu ve analitik modelleme ile ilgili 300'ün üzerinde araç ve yazılım mevcut olmakla birlikte, Amerikan Enerji Bakanlığı, çevrimiçi olarak bu araçlar ve yazılımlar ile ilgili kısa açıklamalarla birlikte bir liste hazırlamıştır. Listeye,

https://web.archive.org/web/20071011063622/http://eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm ya da <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/> adresinden ulaşılabilir. Bu liste yazılımların kullanım alanlarını, işletim sistemlerini ve kullanıldıkları ülkeleri kapsamlı şekilde sıralamıştır (Marathe, 2008).

Literatür taramalarında ve yapılan tez çalışmalarında birçok analiz yazılımından en yaygın kullanılanları aşağıda sıralanmıştır. Çalışma kapsamında bu yazılımlardan birçoğunun mühendisler için uzman yazılımlar olduğu, ilgili mühendislerin projelerin ilerleyen aşamalarında kapsamlı analizler için kullandığı anlaşılmıştır. Tasarımın erken aşamasında ve mimarlar tarafından “öngörü” ve “tasarım kararı desteği” açısından kullanılabilir olan yazılımlar ise daha az sayıda olup, aşağıda sıralananlar arasındaki ilk dört yazılım olduğu tespit edilmiştir.

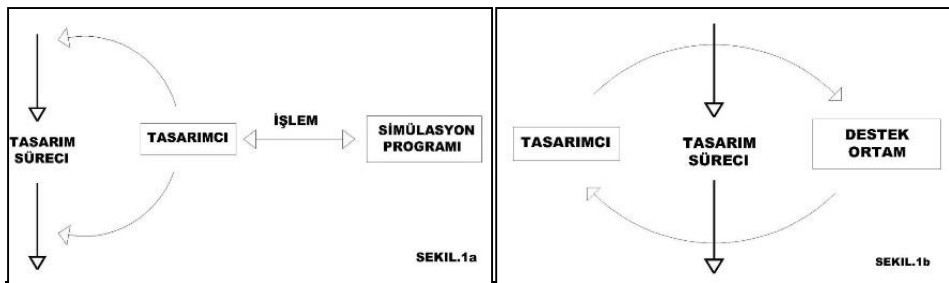
- EnergyPlus
- GBS
- Insight
- Ecotect
- DesignBuilder
- DOE-2
- Power-DOE
- eQUEST
- HAP
- IES <VE>
- TRACE
- TRNSYS
- TAS
- EnergyPro
- ESP-r

Günümüzde bina enerji performansı genellikle kavramsal aşama yerine ilerlemiş proje aşamasında uzman mühendisler tarafından gerçekleştirilir. Kavramsal tasarım

aşamasında alınamayan önlemler nedeniyle, performans sorunlarının sonradan mühendisler tarafından çözülebilecek karmaşık problemler haline dönüşmesi kaçınılmazdır. Bu durumda mimarların mühendislere ve mühendislik bilgilerine ihtiyaç duymadan tasarımlarını erken aşamada test edip değerlendirebilecekleri analiz araçlarına, kendi tasarım ortamlarında ihtiyaçları olacaktır. Mühendis mimar ve diğer uzman tasarımcıların, mesleki birçok sorumlulukları vardır, tasarım kararları verirler, genellikle hızlı karar almaları gerekir. Ürün geliştirmeye yönelik ve kendi alanlarına uygun yazılım ve araçları kullanırlar. Ancak, analiz ve benzetim konusunda uzman bilgileri olmayabilir yada sınırlıdır.

Simülasyon ve analiz yazılımları, alanında uzman olan kişilerin kullanabileceği, daha çok akademik sayılabilecek simülasyon araçlarıdır. Enerji konusunda uzman olmayan mühendis, mimar ve tasarımcılar için kullanımları zor ya da karmaşık olabilmektedir. Özellikle mimarlar için geliştirilmiş, mimari tasarımın en başında, diğer uzmanlarla çalışma yapmadan önce, tasarımlarını yaparken kullanabilecekleri bir ölçme ve değerlendirme sistemi büyük kolaylık sağlayacaktır (Mourshed, Kelliher, & Keane, 2012).

Harputlugil (2010), mimari tasarım süreci içinde simülasyon programlarının kullanımına yönelik olarak JOE Clarke tarafından vurgulanan iki farklı yaklaşım olduğundan söz etmektedir. Birincisi, tasarımcının belirli bir konudaki performans değerlendirmesini (örneğin farklı pencere boyutlarının etkisi), uygun bir program yardımıyla analiz edip, sonuçları tasarımda uygun değişikliklere dönüştürerek yürütmesidir. Bu aslında tasarım sürecinden benzetim programlarının ayrıştırılması anlamına gelmektedir.



Şekil 3.21 : Çeviriye Dayalı Yaklaşım ve BTM Yaklaşımı

Burada tasarımcı sürekli olarak veri modelleri arasında (BDT ve performans simülasyonları verileri) çeviri gerçekleştirmek zorundadır (Şekil 3.21) Daha doğru bir yaklaşım ise, “bilgisayar destekli tasarım ortamı” yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda,

tasarım süreci içinde, tasarımla ilgili alınan kararlar doğrudan destek ortam içinde değerlendirilerek, performansa yönelik tüm bilgiler geri besleme yoluyla tasarımcıya eş zamanlı ulaşmaktadır. Hedef, tasarım sürecinin her aşamasında ön-tasarımdan detaylı tasarım aşamasına kadar performans benzetimi desteğini kullanabilmek olmalıdır (Harputlugil, 2010).

Tez kapsamında yapılan literatür incelemelerinde Şekil 3.21’de “Çeviriye dayalı yaklaşım” yönteminin yaygın olarak BDT ortamında kullanıldığı tespit edilmiştir. 4. bölümünde YBM ortamı içine tam bütünleşik bir benzetim iş akışı olup olmadığı araştırılacaktır.





4. YAPI BİLGİ MODELLEME VE ENERJİ PERFORMANS ANALİZİ İLE İLİŞKİSİ

"Ekotasarım çok disiplinli bir faaliyettir."

Ken Yeang

Bilgi ve bilişim teknolojileri son 20 yıl içinde, insan hayatını ilgilendiren tüm alanlara girmiş ve bu sayede tasarım, üretim, performans vb. gibi konularda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Mimarlar ve mühendisler bilişim teknolojilerini yapı tasarımında yaygın olarak kullanmaktadır. Yeni tanınan ve giderek yaygınlaşan YBM teknolojileri ise, geçmişten günümüze kullanılan BDT yaklaşımından farklı olup, yapı endüstrisinin paydaşlarına tasarım ve yapımda çok farklı olanaklar sağlamaktadır (Autodesk, 2005).

YBM, sayısal ortamda hazırlanan basit bir 3B modelden farklı olarak, zaman, maliyet, inşa edilebilirlik, çevresel performans, bakım kolaylığı, akustik, aydınlatma vb. gibi birbiriyle etkileşim halindeki gereksinimler üzerinde bütünlük çalışmayı ve tüm bina performansını yükseltmeyi hedeflemektedir.

Bu bölümde literatür araştırmasına dayalı olarak Yapı Bilgi Modelleme (YBM) kavramı, uygulama alanları, kullanılan yazılımlar ve uygulamaya ilişkin ayrıntılar ortaya konacak, disiplinlerarası işbirliğinin sağlayacağı yararlar üzerinde durulacaktır. Ayrıca BDT ile YBM'nin karşılaştırılması da bu bölüm kapsamına alınmıştır.

4.1 Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Kavramı

YBM kavramının geçmişi, Gielingh tarafından 1988'de ilk kez tanımlanan, nesne odaklı yapı ürünü modellemeye dayanmaktadır (Gielingh, 1988). Gielingh tarafından tanımlanan, genel yapı sektörü referans modeli (General AEC Reference Model - GARM), mekanik tasarım ile imalat sektöründe kullanılan STEP dosya formatından yola çıkarak geliştirilmiştir. Bu modelle birlikte sayısal ortamda yapı modellerinin üretimi için yeni veri yapıları ve sistem bileşenleri konusu tanımlanmıştır. Bunu takiben, Özener (2009), bütünlük tasarım ve inşaat proje üretme süreci için birbirinin

ön koşulu olan öğeleri sıralamıştır. Bütünleşik tasarım ve yapım için bütünleşik teknolojiler gerekmektedir. Bütünleşik teknolojiler ancak bütünleşik yazılımlar ile sağlanabilmekte olup, bunlar da bütünleşik bilgi gerektirmektedir. Bütünleşik bilgi için birlikte çalışabilir bütünleşik veriler olması ön koşuldur (Şekil 4.1) (Özener, 2009).



Şekil 4.1 : Enerji Analizi Süreci İçin Gerekli Bilgi ve Veriler (Özener, 2009).

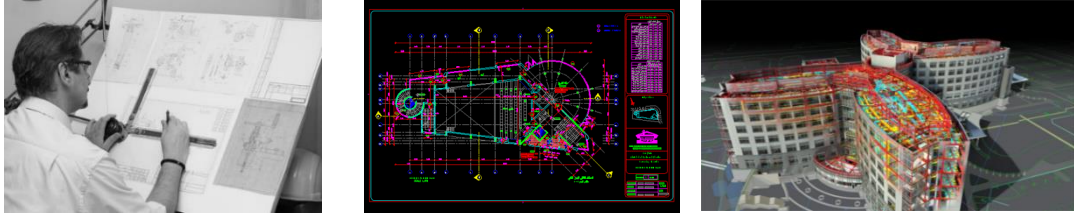
Tasarımın ve çizimlerin geleneksel yöntemlerle yapıldığı 1970li yıllarda kişisel bilgisayarların yaygınlaşması ile BDT'ye yavaş bir geçiş başlamıştır. BDT'den önce mimar ve mühendisler, emek yoğun süreçler ile projeler üretmiş, bilgisayara ve BDT'ye geçiş 70li yılların başında gerçekleşmiştir. Bu yılları takip eden 80li yıllar bu geçişin yoğun yaşandığı bir dönem olmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Proje Üretim Yöntemlerinin Tarihçesi (Osello, 2012).

2B BDT, 3B BDT'nin benimsenip kullanılmasına kadar, daha hızlı çizim yapmaya yarayan bir araç olmuştur. Önceleri 3B BDT süreci etkileyen bir araçtan çok sunum aracı olarak kullanılmıştır (Şekil 4.3) "3B modeller" yapı modeli formu ve geometrik

tanımlamaları dışında, bina ve bileşenleri ile ilgili diğer veri/bilgilerini de içerdiğinde, YBM olarak adlandırılmaya başlanmıştır.



Şekil 4.3 : (Solda) Geleneksel Çizim, (ortada) BDT ve (sağda) YBM.

Önceleri yapı ürün modeli ve yapı veri modeli olarak kullanılan ve günümüzde yaygın bir kavram olan YBM'nin ilk bilimsel tanımlaması 2003'te ortaya konmuştur (Eadie vd., 2014). Buna göre YBM bir binanın/yapının fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin sayısal bir temsili olup, binanın kavramsal tasarım aşamasından yıkılmasına kadar, tüm yaşam döngüsü boyunca alınacak kararlar için güvenilir bir temel oluşturan ve paylaşılan bir bilgi kaynağıdır (NBIMS-US, 2019).

AIA YBM'yi "proje bilgileri veritabanının bağlantılı olduğu bir model tabanlı teknoloji" olarak tanımlamıştır (Bew, 2010).

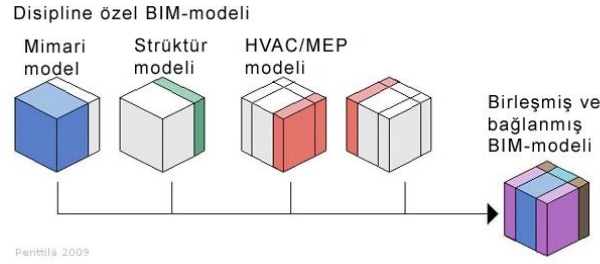
YBM mimar, mühendis, yüklenici ve mal sahibi arasındaki iletişimi gerekli kılar; bu sayede yapı ile ilgili tüm paydaşların erişebileceği bir bilgi bankası oluşmasında araç olur. 3B geometri dışında tüm bilgilerin saklandığı bütünleşik model diğer tüm disiplinlerin kullanabileceği yapıdadır (Şekil 4.4) (Aydın ve Volpintesta, 2013).



Şekil 4.4 : YBM ve Paydaşlar (Aydın ve Volpintesta, 2013)

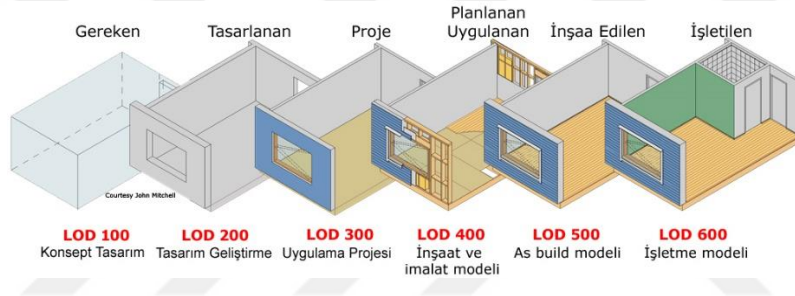
YBM ile ilgili çok önemli bir diğer kavram Bütünleşik YBM'dir. Bütünleşik YBM, projenin diğer paydaşları arasındaki işbirliği (dikey işbirliği) anlamına gelirken, diğer

tarafından binanın ömrü boyunca süreç ve zamanla evrimleşerek ölçülebilecek yatay işbirliği anlamına da gelmektedir (Şekil 4.5).



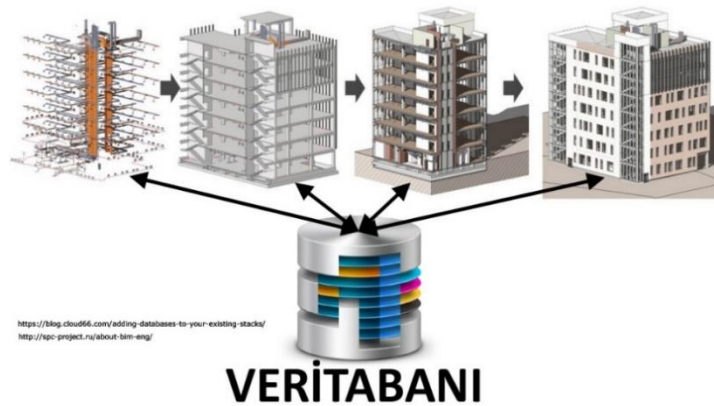
Şekil 4.5 : Disiplinlere Özel YBM Modeli (IPMS, 2011)

Bütünleşme aynı zamanda yapıya ilişkin tüm bilgilerin, yapı yaşam döngüsü boyunca oluşturulduğu, toparlandığı ve geliştirildiği/yenilendiği süreç anlamına gelmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Proje Aşaması ve YBM modeli (Trehen, 2008).

YBM ile üretilen model bir veritabanında saklanmakta ve daha sonra ihtiyaca göre, maliyet tahmini, benzetimler, metrajlar, strüktürel analizler, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) bütünleşmesi, tesis yönetimi ve enerji analizleri gibi işler için kullanılmaktadır (Şekil 4.7) (Trehen, J-P. 2008).



Şekil 4.7 : Disiplinlere Ait YBM ve Veritabanı (StroyProekt ve Cloud66, 2019).

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür araştırmasına göre, önce yapı ürün modeli ve yapı veri modeli olarak kullanılan, daha sonra günümüzde yaygınlaşarak YBM olarak tanımlanan yaklaşım, 2003 öncesinde çok az yaygın olmakla birlikte, daha çok akademik çevre ve çalışmalarda kullanılmaktaydı. Çizgi ve nesne tabanlı modelleme 1980'lerin başında ortaya çıkmıştır. Nemetschek Allplan ve Graphisoft ArchiCAD sırasıyla 1980 ve 1984'te, Autodesk AutoCAD ve Bentley Microstation ise sırasıyla 1983 ve 84'te çıkmıştır. Ancak AutoCAD ve Microstation yazılımları nesne tabanlı modellere 1990'larda geçmiştir. Nemetschek ve GraphiSoft gibi şirketler obje tabanlı modelleme yazılımlarını geliştirmeye devam ederken, Bentley ve Autodesk gibi çizgi tabanlı yazılımları geliştiren şirketlerde 1996 ve 1998 yıllarında sırası ile Bentley Microstation Triforma ve Autodesk Architectural Desktop yazılımlarını çıkarmışlardır. 2000 yılına gelindiğinde, günümüzde Autodesk'in satın aldığı ve geliştirmeye devam ettiği, Revit Technology Corporation şirketi Revit adındaki parametrik modelleme yazılımını çıkarmıştır. Autodesk şirketi, 2002 yılında "Revit" yazılımını satın aldıktan sonra, YBM teriminin yaygınlığı katlanarak artmıştır (Kumar, 2008).

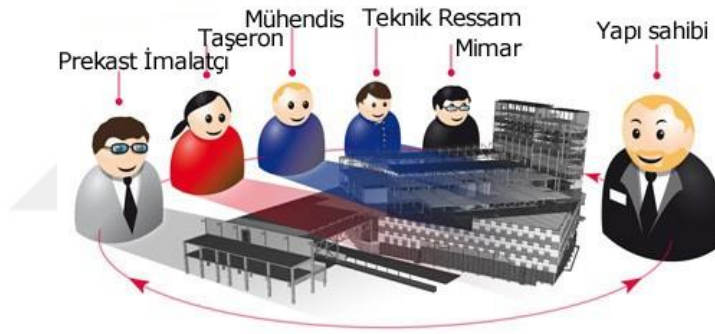
Dünya çapında YBM faaliyetlerini sürekli geliştiren özel şirketlere rağmen, ilk kullanıcılar çeşitli ülkelerin ulusal araştırma kurumları olmuştur. ABD'de National Institute of Standards and Technology (NIST), Hollanda'da Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), Norveç'te en kapsamlı bağımsız araştırma kurumu Stiftelsen for Industriell og Teknisk Forskning (SINTEF) ve İngiltere'de RIBA bunlara örnek olarak gösterilebilir.

ABD yapı üretiminde bu yaklaşımın kullanılmasına yönelik önemli girişimlerde bulunmuş, The General Services Administration (GSA) projelerinde YBM kullanılmasını destekleyerek, 2007 ve sonrasında belirli bir büyüklük üzerindeki tüm projeleri YBM ile kabul edeceklerini belirtmiştir. GSA şartnameleri projelerin teslimi için YBM'nin asgari gereklilik olduğunu belirtmektedir (Matta, 2019).

U.S. Corps of Engineers da 2008'den itibaren projelerde YBM kullanımını zorunluluk haline getirmiş, İngiltere'de RIBA, 2006 yılından sonra kamu ile ilgili projelerde YBM kullanmayanların yer alamayacağı kararını almıştır (Sabol, 2007).

4.1.1 YBM Yaklaşımında İşleyiş

Yapı sektöründe disiplinlerarası geleneksel işleyiş her bir disiplinin uzmanlığına göre kendi içinde istihdam ettiği personel arasındaki görev paylaşımı ile gerçekleşir. BDT sisteminde geleneksel iş akışı ve kullanılan araçlar çizim üretmeye ve paylaşmaya odaklanmaktadır. İşbirliği açısından, mimarlar ve mühendisler nadiren birbirlerinin çizimlerini kullanırlar. BDT çizimleri ile sadece temel bilgiler paylaşılır ve bu bilgiler diğer disiplinler için referans olarak kullanılır. Bu sistemde, projeye ilişkin veri paylaşımı 2B çizimler üzerinden yapılmakta olup, bu durum iş tekrarlarına, uyumsuzluklara ve zaman kayıplarına neden olabilmektedir. BDT verileri tüm tasarım bilgilerini karşı tarafa iletmeyi sağlayamaz. YBM yaklaşımı ise, BDT'den farklı olarak, tüm paydaşların aynı model üzerinde iş tekrarı yapmadan kendi üzerine düşen görevleri yerine getirebilmesini sağlamaktadır (Şekil 4.8).

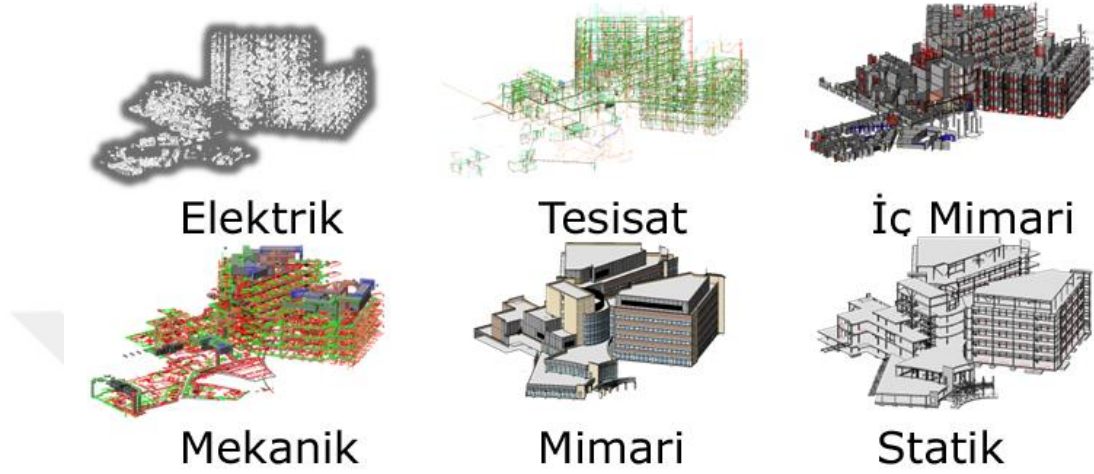


Şekil 4.8 : YBM Disiplinlerarası Birlikte Çalışabilirlik (Issaad, 2019).

YBM yaklaşımında işleyişe yönelik, gerçekleşmesi gereken disiplinlerarası işbirliğine uygun metod ve süreçler geliştirilmiştir. Bu metodların başlıcası Bütünleşik Proje Teslimi (BPT) olup, paydaşları, uygulamaları, sistemleri ve iş yapılarını bütünleştirir (AIA, 2007). Proje yaşam döngüsü boyunca tüm paydaşların katkılarını, amaçlarını ve geribildirimlerini en verimli şekilde koruyarak proje değerini ve sonucunu optimize eder (Abdelmohsen, 2011, s.16-17; AIA California Council, 2007). Temel amaç tüm paydaşların beceri ve geribildirimlerini yakalamak, proje ve yapım süreci boyunca verimliliği artırmak ve sonuçları optimize ederek proje sahibinin daha fazla değer elde etmesini sağlamaktır.

YBM yaklaşımıyla farklı alanlardan gelen uzmanların birbirlerini doğrudan ya da dolaylı etkileyecek bütünleşik katkısı projenin erken döneminde elde edilebilmektedir.

BDT'nin aksine, YBM ile uygulamada iletişim model seviyesinde gerçekleşecek şekilde tasarlanmıştır. YBM modelindeki bilgiler tüm katılımcıların paylaşımı için hazır ve kullanılabilir durumdadır (Şekil 4.9). BDT sisteminde dosya değişimi ile gerçekleştirilen işbirliği, YBM ile modellerin ve dolayısı ile içeriğinde bulunan bilginin paylaşımı/taşınması ile gerçekleştirilir.



Şekil 4.9 : YBM – Farklı Disiplin Modelleri (Aydın ve Volpintesta, 2013).

4.1.2 YBM Sürecinde Kullanılan Yazılımlar ve Dosya Formatları

YBM sürecinde farklı amaçlar ve işleri gerçekleştirmek için birçok yazılım kullanılmaktadır. Çizelge 4.1'de YBM sürecinde yer alan çeşitli disiplinlerin kullandıkları yazılımlar listelenmiştir. Tasarımdan modellemeye, analizden sunuma kadar bu araç ve yazılımlar BDT süreçlerinde de kullanılsa da, bu yazılımların hiçbiri tam anlamda işbirliği sağlayacak şekilde birbiriyle uyum içinde kullanılamamaktaydı. Bunun nedeni, daha önce sektörde tanınan ve kullanılan yazılımların her bir disiplin için yazılmış uzman yazılımlar olması ve her birinin o işin uzmanı tarafından kullanılıyor olmasıdır.

Çizelge 4.1 : YBM sürecinde görev alan disiplinlerin kullandıkları yazılımlar

YBM YAZILIMLARI			
MİMARİ	İnşaat Mühendisliği	Makine Elektrik ve Tesisat Mühendisliği	DiĞER***
Graphisoft ArchiCAD	Revit, Revit Structure	Revit, Revit MEP	Autodesk Navisworks
Nemetschek Allplan	Bentley Structural Modeler	Bentley Hevacomp Mechanical Designer	Solibri Model Checker
Gehry Technologies' Digital Project	AECOSim Building Designer	Gehry Technologies Digital Project MEP Systems Routing	Vico Office Suite
Bentley Architecture/TriForma:	Allplan Engineering	CADMEP	Vela Field BIM
VectorWorks			Bentley Construction
AutoCAD Architecture (Autodesk Architectural Desktop) ADT			Tekla BIMsight
			Horizontal Systems Glue
			Synchro Professional
			Innovaya
***Proje İnceleme, koordinasyon, simülasyon, planlama, optimizasyon, maliyet tahmini ve analizi, üretim ve imalat, inşaat ve montaj, raporlama ve kayıt			

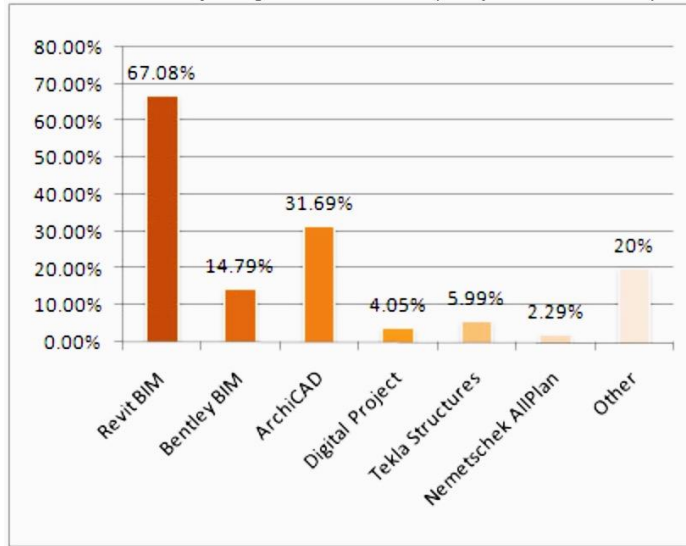
YBM süreçlerine özel yazılımlar ise disiplinlerarası işbirliği ve veri alışverişini olanaklı kılacak şekilde yazılmıştır. Göreceli olarak YBM yazılımları daha yenidir ve teknolojileri BDT yazılımlarına göre daha ileridir. YBM'ye özel birçok yazılım arasında tez çalışması kapsamında mimari tasarımda kullanılanlar ağırlıklı olarak ele alınmış ve değerlendirilmiştir.

Mimarların hangi bilgisayar programını kullandıklarına ilişkin yapılan bir araştırma sonuçlarına göre hala BDT yazılımı olan AutoCAD listede en başta görünmektedir. YBM yazılımlarında ise Revit en üst sırada yer almaktadır (Littlefield, 2008) (Çizelge 4.2, Şekil 4.10).

Çizelge 4.2 : Tasarım Araçlarının Kullanım Yüzdeleri (Littlefield, 2008).

TASARIM ARACI	KULLANIM ORANI
AutoCAD	%49
Revit	%16
Microstation	%15
ADT	%6
Rhino	%2
Vektorworks	%2
Archicad	%2
Bentley Architecture	%1
Sketch Up	%1
3D Studio Max	%1
Form Z	%1
Maya	%1
Micro GDS	%1

Benzer şekilde, Marathe'nin (2008) modelleme araçlarının beş yıllık eğitimde öğrenciler tarafından kullanımı konusunda yaptığı araştırmada AutoCAD yazılımının ilk yılda önemli ölçüde öğrenildiğini ortaya çıkarmıştır. Aynı çalışmada Revit, SketchUP, ArchiCAD, FormZ yazılımlarının da yaygın olduğu belirtilmekte, yazılım özellikleri ve performans ile ilgili yetenekler karşılaştırıldığında, Autodesk Revit ve SketchUp'ın yüksek skorlar aldığı görülmektedir (Marathe, 2008 s.38-42). Bir diğer çalışmada Özener (2009) mevcut YBM yazılımlarından en çok kullanılanların Revit, ArchiCAD, VectorWorks ve Allplan olduğunu belirtmiştir (Şekil 4.10). Ayrıca çalışmada YBM kapsamında kullanılan Navisworks ve Innova ile enerji analizleri için Autodesk Green Building Studio, Ecotect ve IES yazılımlarından söz etmektedir.



Şekil 4.10 : YBM Yazılımları (AECbytes Special Report, 2007)

YBM yazılımlarında meslekler arasında birlikte çalışabilirlik, bilgiyi taşıyabilen dosya formatlarının kullanılması ile sağlanmaktadır. YBM yazılımları BDT sistemlerini desteklemek için birçok BDT verisini de okuyabilmekte ve yazabilmektedir. Buna ek olarak birçok görsel dosyaları ve nokta bulutu verilerini de açabilmektedir.

YBM genellikle yapı bilgisini içeren Industry Foundation Classes (IFC) ve **aecXML** dosya formatları ile ilişkilendirilir. YBM yazılımlarında kullanılan dosya türlerinden biri, BuildingSMART tarafından geliştirilen ve 3B grafik dosyası olan IFC dosya türüdür. IFC dosyaları ile YBM sisteminde bilgiler yazılımlar arasında taşınabilir. BuildingSMART, tarafsız, ticari olamayan ve açık standart olarak kabul edilen IFC dosya formatını, farklı YBM yazılımları arasındaki yapı bilgilerinin paylaşılması için oluşturmuştur.

Abdelmohsen, 2011’de YBM yazılımları arasında tam anlamıyla birlikte çalışabilirlik için IFC formatında dosyaların gerekli olduğunu, fakat yeterli olmadığını öne sürmüş, Information Delivery Manuals (IDM) dosyaları aracılığı ile daha etkin bir model ve nesne değişimi olabileceğini belirtmiştir (Abdelmohsen, 2011).

Solibri ve Tekla şirketlerinin 2010’da birlikte geliştirdiği YBM işbirliği çerçevesinde, BIM Collaboration Format (BCF) bir başka dosya türü olarak ortaya konmuştur (Abdelmohsen, 2011). Bir diğer dosya formatı olan Green Building XML (**Gbxml**) ise 1999’da Green Building Studio Inc. tarafından geliştirilmiş olup, enerji performans ve analiz yazılımlarına veri aktarmak için kullanılmaktadır. Revit yazılımı ile üretilen projeler diğer disiplinler ya da yazılımlara **gbXML** formatı ile aktarılabilir.

Yapı sektöründe sayısal olarak YBM geometrilerinin farklı şirketlerin YBM yazılımları arasında iletişimi ve ortak kullanımı üzerine endüstri ve üniversitelerin, temel işbirliği problemini çözme çabaları devam etmektedir. ISO 10303 STEP, CIS/2, IFC ve gbXML verileri bu çabaların sonucu olarak karşımıza çıkan birkaç örnektir (Jeong, 2008).

Tasarım standartlarının, yapısal kodların, yapım metotlarının, malzeme ve bileşen bilgilerinin, YBM sisteminde çalışanlar tarafından paylaşımının ve kullanımının sağlanması gerekir. Bunun için çalışmanın yapıldığı günümüzde en güncel ve endüstrinin kabul ettiği dosya türü olarak IFC kullanılmaktadır.

4.1.3 Bina Yaşam Döngüsü Analizi Bağlamında YBM

Bina yaşam döngüsü analizi, yapı üretimi için hammadde elde etmekten başlayarak, yapım, işletme-bakım-onarım ve yıkım süreçlerinde binanın çevresel etkilerinin detaylı olarak ortaya konmasını sağlayan sistematik bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım oldukça karmaşık süreçler içerdiğinden ve analizler gerektirdiğinden doğru ve kapsamlı bir bina modellemesini gerekli kılar.

Güncel ve bütünleşik YBM yaklaşımı, yapının kavramsal tasarım aşamasından, yıkılarak atıklarının yeni bir kaynak oluşturmaya kadar geçen sürecin her adımında tüm paydaşlar tarafından kullanılacak bilgi ve verileri içermektedir (Şekil 4.11). Dolayısıyla bina yaşam döngüsü analizi açısından büyük yararlar sağlamaktadır. Aşağıda bina yaşam döngüsünü oluşturan aşamalarda YBM yaklaşımının nasıl uygulandığına ilişkin bilgi verilmiştir.

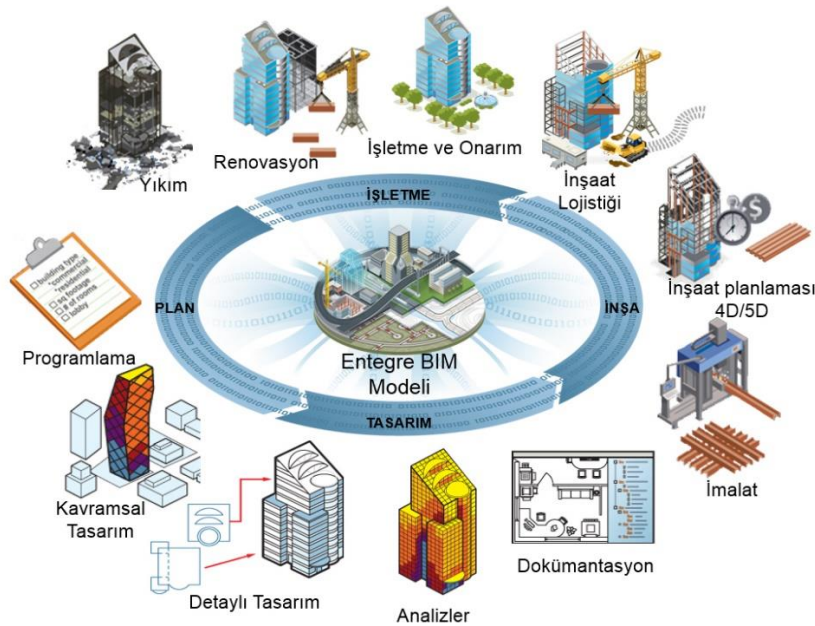
4.1.3.1 Tasarım Aşaması

YBM yapıların tasarım aşamasında hedef ve beklenen performansa yönelik hızlı kararlar alınmasında ve değişiklikler yapılmasında araç niteliğindedir. Tasarımın başında üretilen bir modelden hızlı bir şekilde türetmeler yaparak yeni tasarım modelleri, parametrik elemanlar ve nesneler oluşturulabilir. YBM çok fonksiyonlu ve karmaşık yapıların ön tasarım aşamasında hızlı tasarlanmasını, sorunların erken evrede öngörülmesini ve büyük oranda çözülmesini sağlar. Erken evrede elde edilen ön tasarım, daha sonra çeşitli ölçütler ve parametreler doğrultusunda hızla değiştirilebilir. Bütün bu işler yapılırken, tasarım sürecine dahil olan tüm paydaşlar işbirliği içindedir.

YBM yaklaşımı tasarım ve projelendirme aşamasında karmaşık ve yoğun hesaplamaların gerektiği bilgiler için de tasarım ekibine kolaylık sağlar ve hız kazandırır. Katların net ve brüt alanları, hacimler, malzeme miktarları ve alan kullanımları ile maliyete ilişkin bilgiler hızlıca hesaplanabilir. YBM yaklaşımında veriler strüktürel, enerji performansı, akustik, aydınlatma, termal, yangın ve ısıtma soğutma gibi çeşitli amaçlarla yapılacak analizler için kullanılabilir. Yükleniciler ve diğer paydaşlar, tasarımın erken aşamasında tasarım ekibinden inşaat ve üretim ile ilgili bilgi alabilmekte, tasarımın yapılabilirliğinden emin olmaktadır. Yönetmeliklere uyum, fizibilite çalışmaları, metraj ve maliyet, yapı kalite kontrol çalışmaları daha hassas gerçekleşir.

4.1.3.2 Yapım Aşaması

YBM yaklaşımı, geleneksel sürece göre daha az iş tekrarı, daha az değişiklik gerekliliği, gerektiği kadar malzeme siparişi, tasarım hatalarının inşaat öncesi tespiti gibi avantajlar sağlar. İnşaat ve imalat teknikleri ve saha planlaması etkin bir şekilde yapılabilir. Yapım faaliyetlerinin hedeflenen zaman ve bütçeye uyması kolaylaşır. YBM yazılımlarının karmaşık geometrik denklemleri çözme ve büyük miktarlarda veri işleme yeteneği ile yapı elemanları arasındaki uzaysal çakışma ve sorunlar tespit edilebilir. Böylece inşaat başlamadan önce olası sorunlar, sorumlu kişiler tarafından çözümlenebilir.



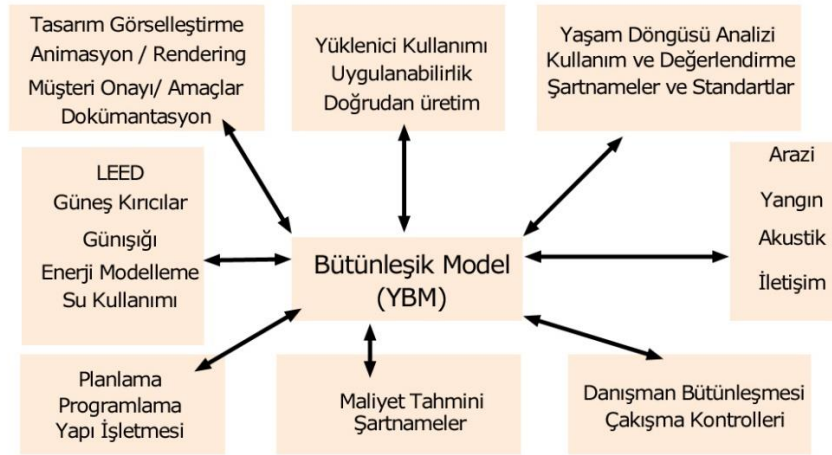
Şekil 4.11 : YBM ve Bina Yaşam Döngüsü (Baykal ve Aydın 2019).

4.1.3.3 Yapı Yönetimi ve İşletme Aşaması

YBM yaklaşımı ile gerçekleşmiş bir yapının bilgileri sayısal ortamda saklandığından, yapı kullanıma başladıktan sonra ve/veya yıkım ve dönüşüm süreci gibi gerekli duyulan herhangi bir zaman tekrar kullanılabilir.

Yapının işletilmesi ve yönetimi ile ilgili birçok özel yazılım mevcuttur. Bu yazılımlarla, YBM yazılımları arasında (uygulama programlama arayüzü - API) sayesinde doğrudan bağlantı kurulabilir. Revit YBM veritabanı, kurumsal kaynak planlaması, tedarik zinciri yönetimi, işletme ve bakım yazılımları için de kullanılabilir niteliktedir.

Sonuç olarak, aşağıdaki şekilde belirtilen ve BDT ile doğrudan desteklenmeyen tüm işler YBM tarafından desteklenmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 : YBM'in Desteklediği İşler (Krygiel, 2010).

4.1.3.4 Yıkım ve Geri Dönüşüm Aşaması

Dünyada artan yeşil çevre bilinci nedeniyle, bina yıkımı ve atık yönetimi uygulamaları göz önünde bulundurulmalıdır. Atık yönetimi için ölçülebilir tahmin önemlidir. YBM, atık üretim süreçlerinin belirlenmesini ve atık kontrol stratejileri planlamasına destek sağlar. Geleneksel bina yıkımı ve yeniden kullanımı sürecinde, yenileme ve yıkım projelerinden kaynaklanan atık miktarını doğru ve kolay bir şekilde tahmin edebilen araçlar bulunmamaktadır. Malzeme ve hacim bilgileri, YBM verileri kullanarak çıkarılabilir. Atık tahmini ve planlaması için bilgileri bütünleştirebilir.

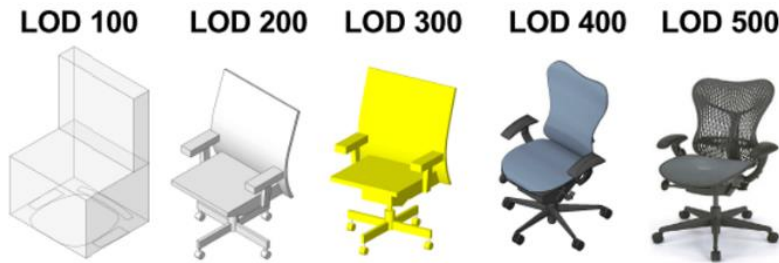
Atık geri dönüşümü ve yeniden kullanımı yeni bina tasarlayanlar için de önemlidir. Bu bilgiler yeni bina tasarlayacak mimarların ulaşabilecekleri bir veri bankasında

tutulabilir. Geri kazanım aşamasını daha işbirlikçi ve daha verimli hale getirmek için, yıkım veya yenileme işleminden önce geri dönüştürücülere çıkarılan malzeme bilgileri sağlanabilir. Atık tesisleri için, atık bertaraf ücretleri ile ilişkilendirme ve toplama kamyonu gerekliliklerine yönelik planlama yapmalarına olanak sağlanır. Yeni geliştirilecek sistemler ile YBM verileri kullanarak proje planlama aşamasında yükleniciler için önceden uyarı verebilir. YBM teknolojisi, inşaat sektöründe giderek daha fazla kullanıldığından ve gelecekte sayısal bina modellerinin çoğu mevcut binalarda mevcut olacağı için, yıkım ve atık planlaması ve geri dönüşümü için kullanılabilir (Cheng ve Ma, 2013).

4.1.4 YBM Yaklaşımında Tasarım Seviyesi (Level of Design -LOD) Sistemi

Yapı sektörüne YBM ile birlikte katılmış olan “Tasarım Seviyesi – Level of Design/Development (LOD)” kavramı, temel olarak yapı elde etme sürecinin aşamalarından ortaya çıkmış olup, çalışmanın bu bölümünde (yaygın kullanılan bir ifade olmasından dolayı) LOD olarak ifade edilecektir. YBM yaklaşımında daha önce geleneksel olarak kullanılan “şematik tasarım”, “ön proje”, “avan proje”, “uygulama projesi” ve “imalat dokümanları” gibi terimler yerine LOD 100, LOD 200, LOD 300 vb. gibi terimler kullanılmaktadır (Şekil 4.13) (BIMFORUM, 2019). Bu terimlerin karşılığı aşağıda açıklanmıştır:

- **LOD 100-** Kavramsal Tasarım
- **LOD 200-** Ön Avan Proje
- **LOD 300-** Kesin Proje
- **LOD 400-** Uygulama Projesi ve İmalat Dokümanları
- **LOD 500-** As Built projesi ve modeli

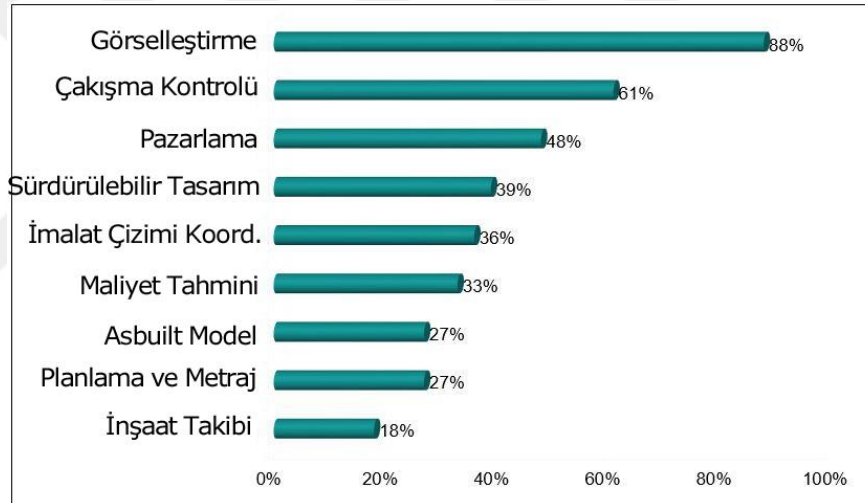


Şekil 4.13 : YBM Detay/Üretim Seviyesi (Lucas, 2015)

4.1.5 YBM Yaklaşımının Sağladığı Olanaklar

McGraw-Hill 2007 SmartMarket tarafından yapılan ankette YBM sistemini kullanma nedeni sorulduğunda, başlıca nedenin % 68 oranında tasarıma daha uzun süre ayrılabilmesi, buna karşılık çizimlerin daha kısa oluşması olarak ortaya çıkmıştır. Bunu takip eden neden ise % 49 oranında YBM sisteminin işveren tarafından talep edilmesidir (Heller, 2008).

Bir diğer araştırma DesignIntelligence şirketi tarafından YBM yararları üzerine yapılmış olup, Şekil 4.14'de görülen sonuçlara ulaşılmıştır. YBM'in yararları için listede, proje koordinasyonu, hataların azaltılması, daha iyi tasarım ve çizimler ile doküman kalitesindeki verimlilik artışı yer almaktadır. Listenin başında görünen konular ise görselleştirme, çakışma kontrolleri ve pazarlamadır (DesignIntelligence Survey, 2010).



Şekil 4.14 : YBM'in Yararları (DesignIntelligence Survey, 2010).

YBM sistemiyle çalışan tasarımcılar seçenekleri daha etkin araştırabilme, tasarlanmış nesneleri analiz edebilme ve bileşenler üzerinde daha fazla kontrol elde edebilme olanağına sahiptir. YBM'nin parametrik modelleme yetenekleri, tasarımın erken aşamalarında malzeme miktarları, genişliği analizleri, gölge çalışmaları ve imalat imkânları gibi konularda bilgi sağlamak için kullanılabilir.

YBM teknolojisinin göreceli olarak yeni olması, mevcut standartlaşmış uygulamalar ve iş akışlarından ayrılmasından dolayı, yararlarını ölçmek ve değerlendirmek şimdilik kolay değildir. Buna rağmen YBM, aşağıdaki konularda iş verimliliğini artırır ve birçok yararlar sağlar (Heller, 2006). Bu yararların başlıcaları aşağıda açıklanmıştır.

Görselleştirme

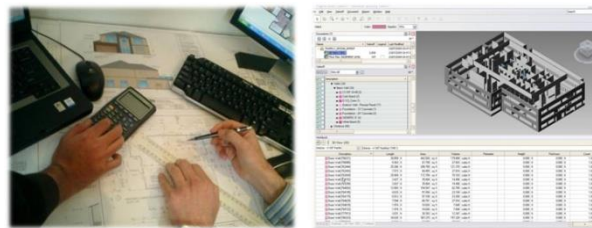
Her tür fotogerçekçi görselleştirme çalışması ek zaman ve bütçe harcanmadan YBM modelinden üretilebilir. BDT'in aksine görselleştirme için modelleme yapmak gerekmez. Tasarım değişiklikleri maliyete önemli bir etki olmadan, erken tasarım sürecinde yapılabilmekte, böylece tasarım süreci hızlanmaktadır. YBM sistemi büyük tasarım hatalarını 3B görselleştirme yoluyla ortadan kaldırmaktadır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 : YBM ve Görselleştirme (Aydın, 2010).

Metraj ve Maliyet Tahmini

2B'lu BDT dokümanlarının aksine 3B'lu YBM yaklaşımında doğrudan metraj alınabilir. Metrajlar kullanılarak maliyet tahminleri yapılabilir. YBM sisteminde otomatik olarak üretilen malzeme metrajları ile yapı maliyeti tahmini, geleneksel yöntemle yapılarına göre daha hızlı ve doğru yapılır. Sonuca bağlanmamış konuların azalmasının yanı sıra bilinmeyenlerin ve risklerin azaltılması nedeniyle, daha düşük ve daha doğru ihale fiyatlandırması sağlanır. İhale ve yapı maliyeti tahminleri gerçek değerlere daha yakın çıkar. Literatürde bu durum 5B olarak isimlendirilir (Baykal ve Aydın 2019 s.3). (Şekil 4.16)

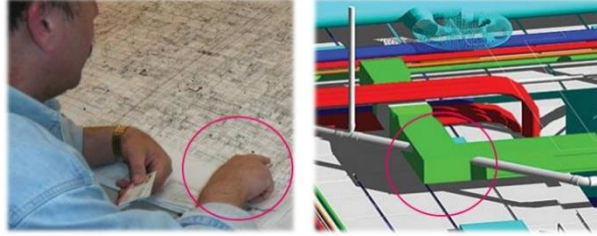


Şekil 4.16 : YBM ve Metraj (Aydın, 2010).

Koordinasyon

Koordinasyon ve üstüste çakıştırma/süperpoze çalışmaları YBM yaklaşımı üzerinden 3B'lu ortamda yapılabilmekte, böylece ekipler arası tasarım koordinasyonu en üst düzeye çıkmaktadır. Bu sayede sahada iş başlamadan önce yapı elemanları ve

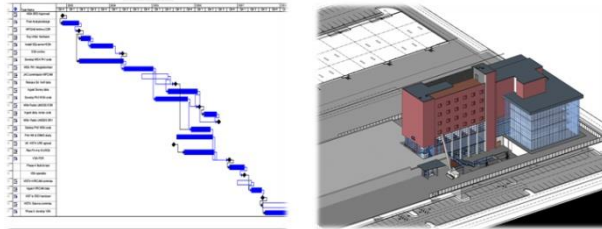
sistemleri arasındaki olası sorunlar otomatik olarak tespit edilmekte, raporlanmakta ve çözülebilmektedir. Eksik tasarım koordinasyonundan kaynaklanan, sahadaki tekrar eden işlerin, bilgi taleplerinin ve kırım söküm işlerinin azaltılması sağlanmış olur (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 : YBM ve Koordinasyon (Aydın, 2010).

Planlama

YBM sürecinde 4B olarak adlandırılan ve 3B modele zaman bilgilerinin eklenmesiyle elde edilen model üzerinde iş ve saha planlamaları yapılabilir. Saha güvenliğinin en üst düzeye çıkarılması ve daha iyi bina kalitesi sağlanarak daha hızlı veya vaktinde inşaat teslimi yapılabilmektedir. Zaman ve maliyet konularında beklenmeyen riskler en aza indirilebilmekte, işler arasındaki çakışmalar önlenebilmekte ve verimli şantiye akışı sağlanabilmektedir. Yükleniciler YBM ile tasarımın erken aşamasında iş planlamasına başlayabilmektedir (Şekil 4.18).



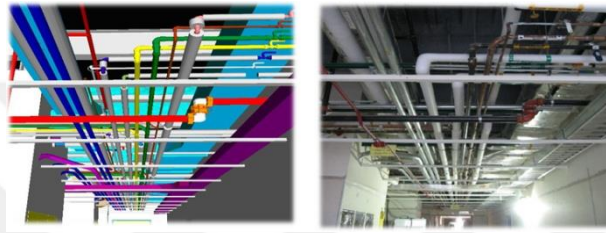
Şekil 4.18 : YBM ve Planlama (Aydın, 2010).

İmalat ve Montaj

YBM yaklaşımı sayesinde sahada daha iyi bir görsel bilgi elde edilir. İnşaat ve imalat süreçlerinin model tabanlı planlanması ve yönetilmesi sağlanmaktadır. İmalat çizimleri doğrudan modelden üretilmektedir. İmalatı yapılacak bileşenler zamanında ve doğru şekilde sahadaki yerlerini alabilmektedir. YBM sistemi ile çalışmak, sahadan uygulamalar sırasında daha az bilgi ve değişiklik isteği alınmasını sağlamakta ve sahada çözülecek sorunlar azalmaktadır. Modelin doğruluğu ve alt yüklenicilerle etkili

iletişim sağlanması ile inşaat başladıktan sonraki bilgi ve değişiklik talep sayısı azalabilmektedir.

YBM sũrecinde çalışarak, ũretkenlik ve verimlilik artışı elde edilebileceği gũrũlmektedir. Daha fazla ũn imalat yapma imkânı vardır. Bũtũn sũre boyunca inşaatta atıkların azaltılması sağlanabilmektedir. Bũylece maliyet kontrolũ elde edilebilmektedir. İnşaat tamamlandıktan sonra kayıt modeli YBM elemanları kullanarak tesislerin bakımı ve yũnetimi için kullanılabilir. Tũm kayıt modeli ve çizimlerini içeren dokũmanlar tesis işletmesi yapacak olana verilebilmektedir. Test, devreye alma ve devir teslim işleri daha etkin şekilde yapılabilir (şekil 4.19).



şekil 4.19 : YBM ve İmalat/Montaj (Aydın, 2010).

Sonuç olarak YBM sisteminin olanakları ve sağladığı yararlar aşağıda sıralanmıştır;

- Mevcut durum modellemesi,
- Erken aşamada yerleşke ve çevresel analizler,
- Erken aşamada tasarım desteği ve doğru karar alma,
- Kavramsal tasarım ũncesi ve sırasında ihtiyaç planlamalarına destek,
- Gereken alan, hacim ve donanımların analizleri, hesap ve doğrulaması,
- Kavramsal tasarımda ũzgũn formlar araştırma imkânı,
- Tasarım alternatiflerinin erken aşamada değerlendirilebilmesi,
- Sũrdũrũlebilir tasarım,
- Mimari Modelleme,
- Strũktũrel modelleme ve analizler,
- MEP tasarımı, hesaplama ve modellemesi,
- Doğru ve detaylı tasarım, projelendirme ve dokũmantasyon,

- Bina performansından strüktür analizlerine ve ısıtma soğutma hesaplamalarından akustik analizlere kadar birçok konuda analiz,
- Yeni projeler ve renovasyon projeleri için enerji analizleri
- Aydınlatma analizleri,
- Güncel, eşgüdümlü ve eksiksiz 2B’lu dokümantasyon,
- 3B’lu iç - dış görselleştirme ve animasyon,
- Yapı elemanları ve sistemleri için ön imalat,
- 3B’lu eşgüdüm, çakışma analizleri,
- 4B’lu iş ve saha planlamaları,
- 5B’lu, yapı maliyeti tahminleri,
- Dijital imalat ve montaj desteği,
- Saha/İnşaat planlamaları, mobilizasyon ve lojistik benzetim,
- COBIE kodlamalar, test ve devreye alma,
- Yapının işletilmesi ve yönetimi,
- Bakım, onarım ve yenileme çalışmaları,
- Kod ve standartlara uyum,
- Veritabanının, Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP-Enterprise Resource Planning), Tedarik zinciri yönetimi (SCM - Supply Chain Management) ve İşletme ve Bakım (O&M – Operations & Maintenance) işleri ve yazılımları için kullanılabilmesi,
- Güvenlik ve doğal afet planlaması ve benzetimleri,
- Yıkım planlaması.

Yapı Bilgi Modellemesi yazılımları son kullanıcıların, mekanik, elektrik ve tesisat sistemlerini birbiriyle ilişkilendirip yönetmelerinin yanısıra, yapı sistemlerinin ve kullanılan malzemelerin tipi ve boyutlarının etkilerini verimli şekilde analiz etmelerine olanak sağlamaktadır. YBM kullanımı ile CO2 emisyonu sonuçları alınabilmekte, değerlendirilebilmekte, gerekirse tasarım değiştirilebilmekte ve güncellenebilmektedir (Mah, 2011).

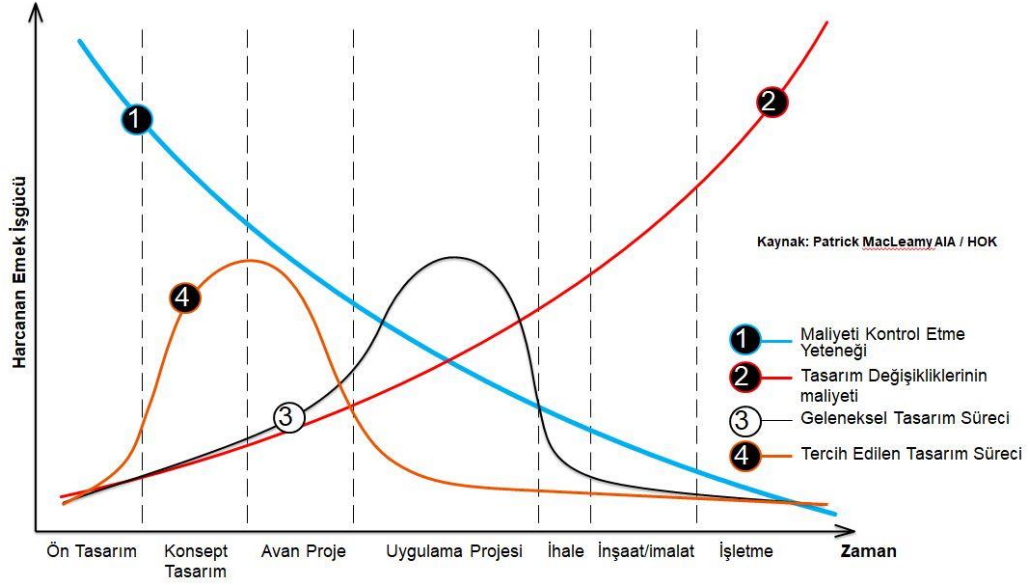
4.2 YBM ve Enerji Performans Analizi

3B BDT modellerine göre, YBM'den elde edilecek veriler mimari ve mühendislik analizlerine de temel oluşturabilecek niteliktedir. YBM yazılımları içindeki 3B modeller üzerinde gerçek dünyada sergilenen hemen hemen tüm özellikler mevcuttur yada sonradan atanabilmektedir. Disiplinlerarası çalışmayı sağlaması ve diğer disiplinlerin katkıları da düşünüldüğünde YBM'de doğrudan analizlerin yapılması kolaylaşır. YBM, mekanlar ve zonlar, ölçü ve boyutsal bilgiler, malzeme bilgileri, yapı kabuğundaki doluluk ve boşluklar, proje konumuna ait iklim verileri vb. enerji analizine esas verileri içermektedir.

YBM, geometrik ve dijital modeller arasında etkin bir bütünleşme sağlayarak, bir binanın davranışını tahmin etmek için gereken bilgileri içeren eksiksiz bir sanal yapı modelinin kullanılabilmesini sağlar. Analiz yazılımları, YBM'in gelişme hızına paralel gelişmediği için, YBM dış analiz yazılımları ile kullanmak için doğrudan dışarı çıkarmak, analiz yazılımı açısından çok karmaşık model yükü oluşturabilmektedir. Zhao, (2009) çalışmasında enerji modellerinin YBM'in sağladığından çoğu kez daha yalın ve sade olduğunu belirtmektedir. Bu açıdan bakıldığında YBM yazılımından enerji analiz yazılımına çıkarılacak bir modelin basitleştirip detaylı tüm bileşenleri silinip, bina kabuğu, mahaller ve zonların bırakılmalması gerekir.

4.2.1 YBM'de Projelendirme Aşamaları ve Enerji Performans Analizi

Yapı üretiminde, projelendirme aşamaları ve yapımda harcanan işgücü düşünüldüğünde en fazla emeğin tasarımın ilerleyen uygulama projesi ve imalat aşamalarında gerçekleştiği görülür. Şekil 4.20'de bununla ilgili ilişkilerin yer aldığı bir grafik görülmektedir. “MacLeamy Eğrisi” olarak bilinen bu grafikte, asıl zaman alan ve işgücü gerektiren aşamalara gelinmeden önce, tasarımın kararlarının daha etkin verilmesinin önemi vurgulanmıştır. Tasarım kararlarını daha erken aşamada vermek erken aşamada enerji analizleri yapabilmeyi gerektirmektedir. Daha az enerji harcayan ve performansı daha yüksek bir yapı için enerji analizlerinin mümkün olan en erken aşamada yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.20 : MacLeamy Eğrisi- HOK (MacLeamy, 2019)

HOK³ Genel Müdürü Patrick MacLeamy, yapı üretiminde genel hedefleri göstermek için, yukarıdaki grafiği hazırlamıştır. (MacLeamy, 2019)

1 Nolu Çizgi- Tipik bir geleneksel projede ilerleme durumunu göstermekte olup, ön tasarımdan dokümantasyona ve yapım aşamasına geçildiğinde, süreç ilerledikçe maliyetleri ve işlevsel yetenekleri etkileme ve değiştirme kabiliyeti azalmaktadır.

2 Nolu Çizgi- Proje süreci ilerledikçe ve hatta inşaat aşamasına yaklaştıkça, yapılacak değişikliklerin maliyetleri giderek artmaktadır.

3 Nolu Çizgi- Mevcut BDT sürecindeki durumda, proje aşamaları arasında süreç ilerledikçe maliyetleri kontrol etme yeteneği ve bina performansı ile ilgili fonksiyonel etki yetenekleri azalmaktadır. Geleneksel BDT tasarım süreci, proje ekibinin iş yükünün çoğunu uygulama projesi ve inşaat dokümantasyonu aşamasında yoğunlaştırır, ön ve şematik tasarım aşamaları ekip sayısı çalışan sayısı daha azdır. Birçok önemli karar uygulama projesi öñesinde alınır. Uygulama projesi aşaması ve sonraki aşamalarda, hatta inşaat aşamasında meydana gelen değişikliklerin uygulanması çok pahalı olacağı anlamına gelmektedir.

³ Eski adı Hellmuth, Obata + Kassabaum HOK, 1955 yılında kurulmuş, dünya çapında bir Amerikan tasarım, mimarlık, mühendislik ve şehir planlama firmasıdır. 2018 itibariyle HOK, ABD merkezli en büyük mimari ve mühendislik firmasıdır.

4 Nolu Çizgi- Tercih edilen tasarım sürecini ifade eder. Proje açısından önemli olan, kararları alacak paydaşların, en erken aşamada katılım sağlaması ve açık hedeflerin belirlendiği ortak bir tasarım sürecinde (IPD ve YBM), çalışma iş yükü daha erken aşamalara kaymasıdır. Böylece daha isabetli tasarım kararları vermek için daha fazla zaman ve imkân bulunur. Alınan tasarım kararların maliyeti daha düşük olur. (Light, 2019).

Yapı üretiminde genel iş akışı düşünüldüğünde, YBM tasarım aşamasında yapılan işlerin ve alınan önemli kararların en erken aşamalarda verilmesini öngörür. Şematik tasarımdan tasarım geliştirme ve doküman üretimine kadar tüm aşamalar bundan etkilenir. Geleneksel süreçte tüm projelendirme için harcanan zamanının çoğu “uygulama ve detaylandırma” aşamasında emek yoğun ve elle çizim üzerinden yapılan çalışmalarda harcanmaktadır. YBM bu aşamayı oldukça kısaltır ve asıl işi daha erken aşamaya çeker (Şekil 4.21). Tasarım ilerledikçe sürdürülebilirlik potansiyeli azalır; sürdürülebilirlik maliyeti sonraki aşamalarda artar. Enerji analizleri açısından da erken aşamada yapılan analizlerin sonuçları tasarımı önemli şekilde etkileyecek ve daha doğru tasarım kararları alınmasını sağlayacaktır.

Yapılan ilk analizlerden yola çıkarak farklı tasarım önerilerinin analizleri de yapılarak karşılaştırılabilir ve karar sürecinde kullanılır. Bu süreç şekil 4.25’te görüleceği şekilde dört adımda gerçekleştirilmektedir (Autodesk, Inc, 2008).



Şekil 4.21 : Analiz İş Akışı ve Önerilerle Çalışma.

Şekil 4.22’de tasarımdan işletmeye, geleneksel tasarımdaki farklı aşamalar görülmektedir. En erken aşama olan eskiz ve kavramsal tasarım aşamasında kütsel modeller üzerinden, yukarıdaki dört adımda gerçekleşecek analiz çalışmaları yapılabilir. Tez çalışmasının son bölümünde bu konu irdelenecek ve ne derece gerçekleşebildiği anlaşılmaya çalışılacaktır.



Şekil 4.22 : Geleneksel Yapı Elde Etme Aşamaları.

BDT araçları, yapım öncesi modeller üzerinden analiz imkânı sağlasa da, tasarım ve analiz süreçlerini birbirinden koparan ve iki süreç arasında gerçek zamanlı girdi vermeyen bir çalışma biçimi oluşturmuştur. Modelleme ve analiz süreçleri genellikle farklı yazılımlarda gerçekleştirildikleri için yazılımlar arası veri dönüştürme ve yeniden modelleme ihtiyaçları doğmaktadır.

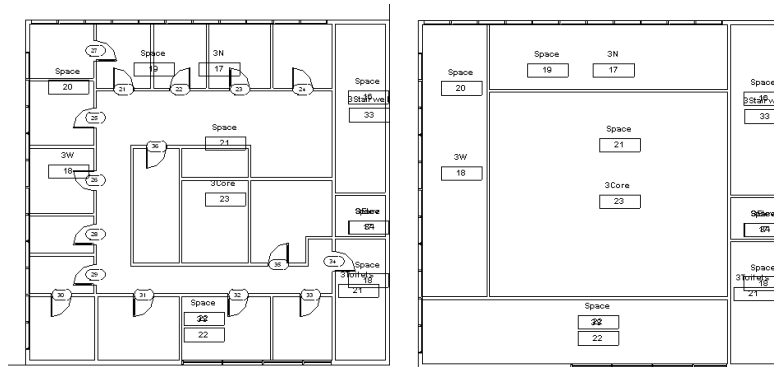
Yapı ve biçimi ile ilgili temel kararların alındığı kavramsal tasarım aşamasında, yapı performansı ile ilgili verinin üretilebilmesi, bina performansının iyileştirebilmesi için tasarımın yeniden geliştirilebilmesine imkân sağlar. Bina performansını erken aşamada ölçen bu yaklaşımla bina yapım ve işletimi sırasında ortaya çıkabilecek sorunlar ve ek maliyetler ortadan kaldırılabilir (Ofluoğlu, 2016).

4.2.2 YBM’de Enerji Modelleme

YBM’de enerji modelinde kullanılacak birçok tanımlama, bilgi ve veri mevcuttur. Aslında YBM, enerji modelinde ihtiyaç duyulandan daha fazla bilgi ve veri taşır. Enerji modeli açısından, dış duvarların sayısı, büyüklüğü ve yeri, açıklıkların sayısı, boyutu ve yönleri önemlidir. Dış kabukta ısı alışverişi bulunan elemanlar birincil derecede öneme sahiptir. Bu tür elemanlar bina enerji performansını doğrudan etkiler. Alanlar, mahaller, zonlar ve hacimler doğrudan enerji analizinde kullanılır.

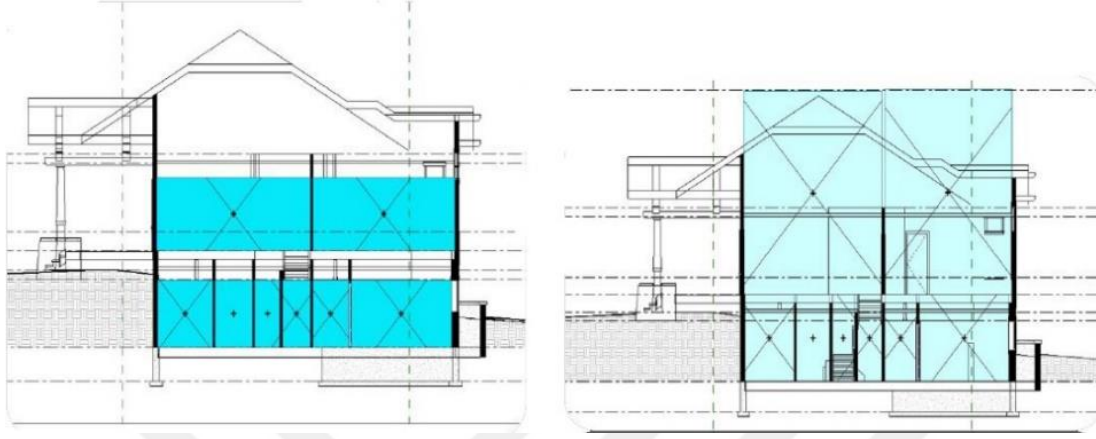
Duvarların, pencere ve açıklıkların malzeme ve termal özellikleri, gün ışığı ve gün ışığına maruz kalma durumu, aydınlatma, ekipman, insanlar tarafından üretilen ısı ve nem, havalandırma miktarı gibi bilgiler enerji modeli için analizlerde kullanılabilecek veri türlerine örnek olarak sayılabilir.

Enerji modeli için, şekil 4.23’de görülen dış mekanla temas halinde olan, döşemeler, asma tavanlar, çatılar, duvarlar ve pencerelerin modellenmesi yeterlidir (Mills, 2009).



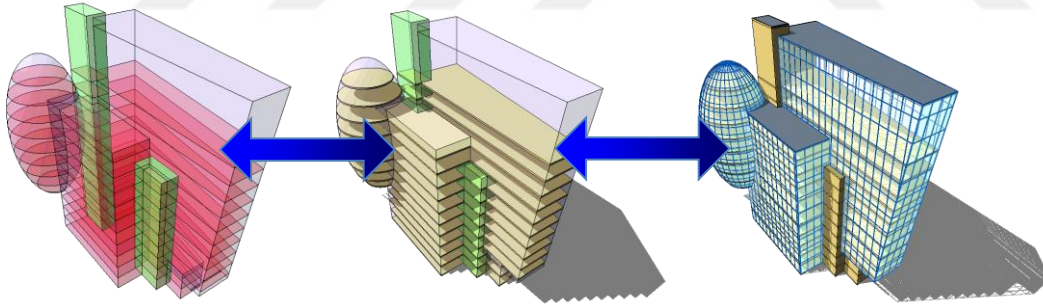
Şekil 4.23 : (Solda) Çok detaylı, (Sağda) Daha Az Detaylandırılmış Kat Planı.

Enerji analizinde kullanmak için mahaller doğru yükseklikte tanımlanmış olmalıdır. Şekil 4.24, soldaki görselde yükseklikler mahali tam kapsamamaktadır. Örneğin, bu yapının enerji performansı geleneksel süreçte Revit'ten çıkarılan bir gbXML dosya ile GBS içinde DOE-2 motoru ile analiz edilebilmektedir.



Şekil 4.24 : Revit Room/Space Nesneleri.

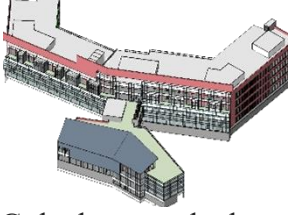
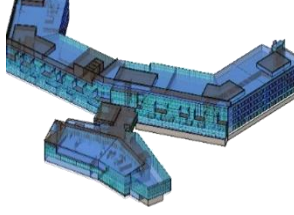
Şekil 4.25’de solda görülen kütsel model, yapı kabuğu, cephe, duvarlar, döşemeler, çatı vb yapısal elemanlar kütsel form ile ilişkilidir. Böylece tasarım, modelleme, analiz ve projelendirme arasında kesintisiz bir iş akışı elde edilmektedir (Mills, 2009).



Şekil 4.25 : Duvar, Çatı ve Döşeme Elemanları Geometriden Üretilebilir (Mangon, 2004).

YBM’de enerji analizi için veriler doğrudan modelden alınır (Çizelge 4.3). Ayrıca diğer gerekli veriler modele girilebilir. 3B bina modeli, kullanıcı tarafından varsayılan tanımlamalar, yerel iklim verileri, proje bilgileri (bina türü vb.) veri ve bilgiler enerji analizi sırasında kullanılmaktadır. YBM’den alınacak enerji modelinin ve analizinde kullanılacak girdiler parsel alanı ve topolojisi, konum, bina geometrisi, bina malzemeleri, mahal kullanımları, mahallerde bulunan cihazlar, HVAC sistemleri vb. şeklinde sıralanabilir. Binalar için basit şekilde çatı, döşemeler, duvarlar ve açıklıklar gibi nesneler modellenerek ilk performans analizleri yapılabilmektedir (Olden, 2012).

Çizelge 4.3 : Performans Analizi için Gerekli Veriler

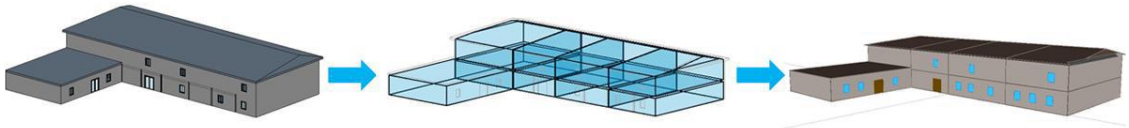
3B geometrik model (YBM modeli) Fiziksel Model	Hacim/mahal tabanlı model (Analitik Model) Enerji Modeli
 Gölgeler ve gölgeleme Güneş Kullanımı Hava Akışı ve Havalandırma Aydınlatma ve Gün Işığı Analizi	 Termal Performans İletilen Güneş Radyasyonu Enerji Talepleri Enerji Analizleri

4.2.3 YBM Yazılımlarının Enerji Yazılımlarıyla Birlikte Çalışabilirliği

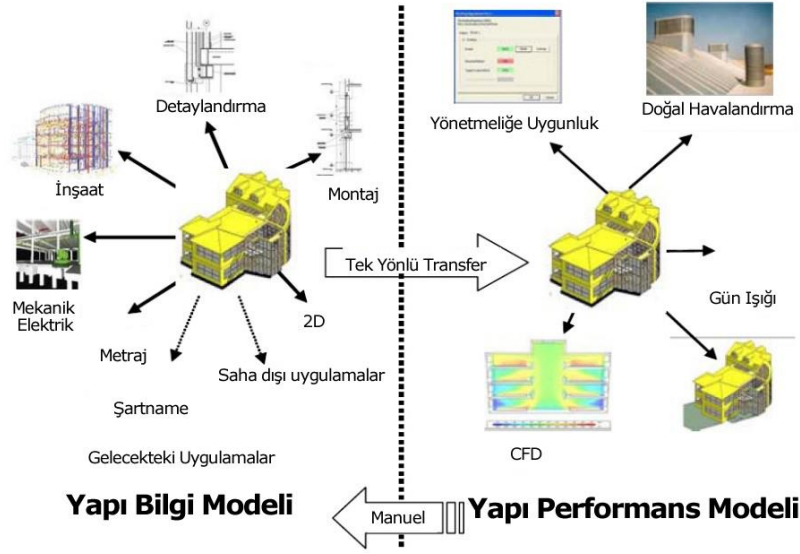
Birlikte çalışabilirlik, farklı programlar arasında bilgi paylaşımı yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir. İdeal bir birlikte çalışabilirlik söz konusu olduğunda, yazılım araçları arasında kesintisiz bir veri alışverişi olmalı, yeniden veri üretme işini ortadan kalkmalı, iki yönlü güncellemeler mümkün olmalıdır. Bir programda yapılan değişiklikler diğerine de aktarılabilirdir.

YBM iş akışında farklı programlar arasında veri taşıma işi **IFC** formatı ile yapılmaktadır. Bunun dışında farklı birçok iş için diğer dosya iletim formatları geliştirilmiştir. IFC, gbXML ve DXF gibi formatlar YBM’de de kullanılmaktadır.

Tasarım ekibi için enerji modelleme iş akışında, YBM modellerini gbXML’ye aktarmak gerekir. **gbXML** dosyası Green Building Studio ile açılıp dışarıya DOE-2 dosyası olarak çıkarılabilir. Bu yöntem modeli doğrudan başka bir program içinde (örneğin eQuest) yaratmaktan kolaydır Şekil 4.26 (Zhao, 2009).



Şekil 4.26 : Revit Modeli gbXML Dosyasıyla eQuest İçine Alınmış (Zhao, 2009).



Şekil 4.27 : YBM ve BPM Bütünleşmesi (Hamza ve Horne, 2007)

Şeki 4.27’de günümüzdeki YBM sistemi ve bina performans modeli arasındaki ilişki görülmektedir. YBM’nin içerdiği bilgilerin arasında bina performans analizleri için gereken bilgiler de mevcuttur. Enerji modeli tek yönlü olarak bina performans analiz yazılımlarına eklentiler aracılığı ile aktarılabilir. Analiz ve simülasyon sonuçları ise tekrar YBM modeline taşıyıcı dosyalar aracılığı ile manuel olarak alınabilmektedir (Hamza ve Horne, 2007).

Bu şekilde yazılım dışına dosya çıkarma ve alma şeklinde yürütülen iş akışı özellikle kavramsal tasarım aşamasındaki hızlı tasarım süreci üzerinde kesintilere yol açmaktadır. Doğrudan YBM üzerinden (dosya taşımadan) gerçekleştirilecek bir performans analizi iş akışı kesintileri ortadan kaldırarak ideal enerji etkin tasarımı sağlayabilir. Son bölümde bu durumun gerçekleşip gerçekleşmediği örneklem üzerinde incelenmiştir.

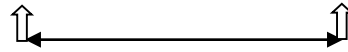
Kumar’a göre (2008) yazılımların birlikte çalışabilirliği iki ya da daha fazla sistem veya elemanın birbirleri arasında aktarılan bilgileri kullanabilmeleri ve bilgi alışverişi olarak tanımlanmaktadır. Kumar, YBM ve enerji analiz yazılımları arasında birlikte çalışabilirliğin gelişmekte olan bir alan olduğunu, YBM’in enerji analizleri alanındaki potansiyelinin henüz tam olarak gerçekleştirilmiş olmadığını öne sürmektedir.

İncelenen tez çalışmalarında, programlar arasında bütünleşmenin tam olarak gerçekleştirmediği görülmüştür (Kumar, 2008; Haksar, 2010; Mathew, 1996; Harputlugil, 2009; Zhao, 2009; Hamza ve Horne, 2007; Marathe, 2008; Özener, 2009;

Prabhu, 2010; Mah, 2011; Lin, 2008; Gezer, 2003; Duggin, 2011; Abdelmohsen, 2011) Bu çalışmalarda yapılan değerlendirmeler birlikte çalışabilirlik ve BDT sistemlerinden gelen verilerin üzerinden nasıl yapıldığı ile ilgilidir. Çizelge 4.4’de bu iki durum karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Literatür taramaları kavramsal tasarım aşaması için YBM ve enerji simülasyon yazılımlarının bütünleşmesinin önemli olduğunu göstermektedir. Bu konuda farklı yaklaşımlar denense de, her biri erken aşama tasarıma enerji benzetimlerinin bütünleşmesinden çok, belirli bir problemi çözmek için geliştirilmiş araçlardır. Yazılımlar arası birlikte çalışabilirlik ise genellikle bir eklenti ile sağlanan taşıyıcı bir dosya üzerinden gerçekleşmektedir.

Çizelge 4.4 : YBM ve BDT’de Enerji Performans Analizi İçin İş Akışı

INTEROPERABILITY- Birlikte çalışabilir (Import-Export)				
SÜREÇ	BDT (AutoCAD)	Analiz (DOE-2 Energy Plus vb)	YBM (Revit)	
				
Proje Tasarım	+	-	+	
Enerji Veri Girişi	-	+	+	
Enerji Modeli yaratmak	-	+	+	
Analiz Ayarları	-	+	+	
Malzeme seçimleri	-	+	+	
İklim Verisi Girişi	-	+	+	
Dosya Transferi	-	+	+	
Enerji Analizi	-	+	+	
Sonuçlar ve raporlar	-	+	+	
Optimizasyon	-	+	+	
INTEGRATED - Bütünleşik				



Güncel olarak kullanılan YBM yazılımları ve enerji analizleri ile ilişkileri aşağıda açıklanmıştır.

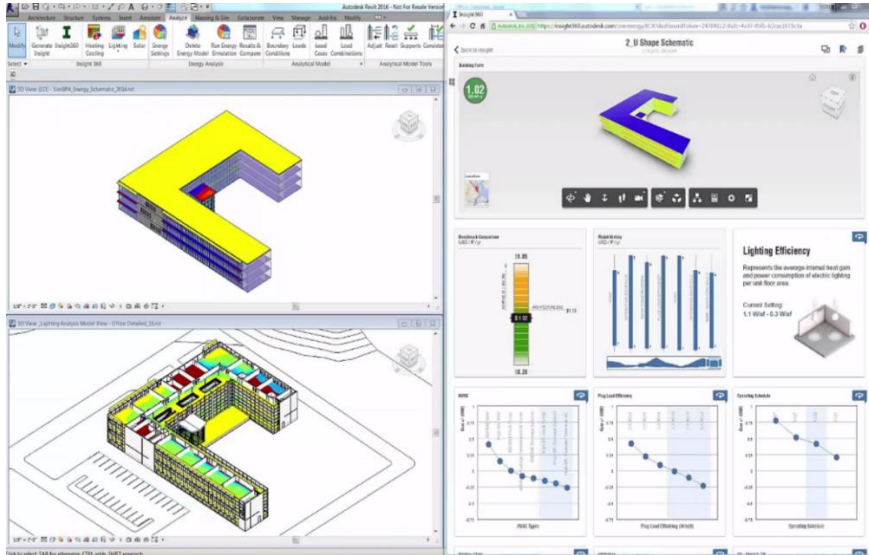
Revit ile Enerji Analizi İş Akışı

Revit, Autodesk şirketinin YBM yazılımıdır. 1989’da Pro/Engineer parametrik BDT yazılımını yaratan ekip üyeleri tarafından yazılmıştır. 1997 yılında Charles River Software, ProEngineer yazılımını geliştiren Irwin Jungreis ve Leonid Raiz tarafından kurulmuş olup, Revit, ProEngineer’ı yazan ekip tarafından 2000’de yazılmıştır. Revit ilk çıktığında mimari bir platform olarak tasarlanmış, 2005’te makine, elektrik, tesisat ve inşaat müh. ile ilgili yazılımlar bu platform üzerine geliştirilmiştir. Daha sonra Revit

Architecture, Revit Structure ve Revit MEP adı ile kullanılmaya devam etmiştir. Günümüzde her üç bağımsız yazılım birleştirilmiş olup, Revit adında tek bir yazılımla kullanılmaya devam etmektedir.

Yapılan incelemelerde, Revit kavramsal modelleme ortamının oldukça güçlü olduğu, aynı zamanda, karmaşık formları yaratabilecek araçlara sahip olduğu görülmüştür. Tasarım esnekliği sağlaması ve tasarımcıya, belli bir şablona⁴ bağlı kalmadan tasarım özgürlüğü tanınması da önemli bir özelliktir. Enerji analizleri kavramsal modeller kullanılarak yapılabilmektedir. Bina tasarımı ilerledikten sonra da yapısal elemanlar kullanılarak analizler gerçekleştirilebilmektedir. Enerji analiz özelliği, Revit kurulumu sırasında yüklenen bir özellik olup, kullanıcının ayrıca satın alınıp yüklediği bir eklenti/özellik şeklinde değildir. Öncelikle enerji modelinin oluşturulması, sonra girdi olarak iklim verilerinin alınması ve sonrasında simülasyonun çalıştırılıp sonuçların elde edilmesi gerekmektedir (Aydın ve Volpintesta, 2013).

Revit yazılımı, güncel sürümünde enerji analizi için **Insight** yazılımını kullanmaktadır. Insight, enerji analizi ve çevresel performans için geliştirilmiş bir araçtır. Tüm bina enerji analizi, ısıtma, soğutma, güneş ışığı ve güneş radyasyonu benzetimi yapmak için benzetim motorlarını kullanarak, aynı anda milyonlarca analiz için, paralel bulut bilişim teknikleri kullanmaktadır.



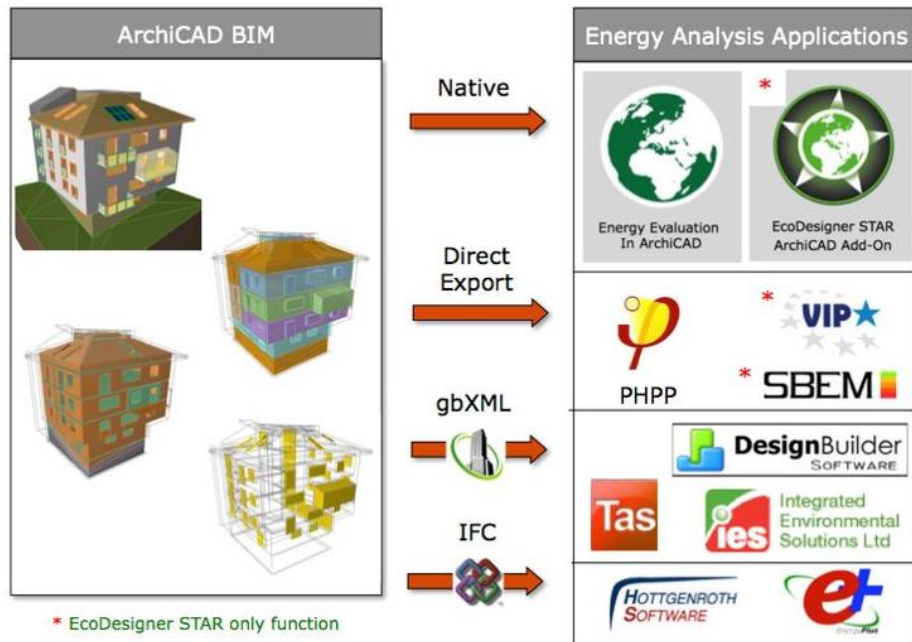
Şekil 4.28 : Revit-Insight Enerji Performansı Optimizasyonu (Dixit, 2019)

⁴ YBM yazılımları, hangi disiplin kullanıyorsa onun için hazırlanmış kütüphane nesnelerini kullanırlar. Bu kütüphaneler doğrudan yapısal elemanı veya ekipmanı üreten firmalar tarafından hazırlanmaktadır.

ArchiCAD ile Enerji analizi iş akışı

ArchiCAD, Graphisoft tarafından 1982 yılında yaratılan BDT ve YBM yazılımıdır. GDL (Geometric Description Language) objeleri ve yapı nesneleri altında modelleme araçları içermektedir. Duvar, kolon, kiriş, döşeme ve çatı gibi araçlar yapısal nesnelerdir. Kapı ve pencere gibi nesneler de GDL tabanlı nesnelerdir. ArchiCAD kavramsal tasarım modellemesi Morph adında bir araç ile gerçekleştirilebilmektedir. Yapılan incelemelerde, bu aracın kavramsal tasarım için temel araçları içermesine rağmen, daha fazla araca ve esnekliğe sahip olması gerektiği görülmüştür. Enerji analizleri yazılım içinde gelmemektedir. Ayrıca alınıp yüklenmesi gereken ek bir özelliktir. ArchiCAD’te enerji analizleri EcoDesigner STAR adında bir eklenti ile yapılmakta olup, ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 standart metodu destekleyen, “StruSoft’s VIPcore” adında bir analiz motoru kullanılmaktadır (EcoDesigner STAR, 2019).

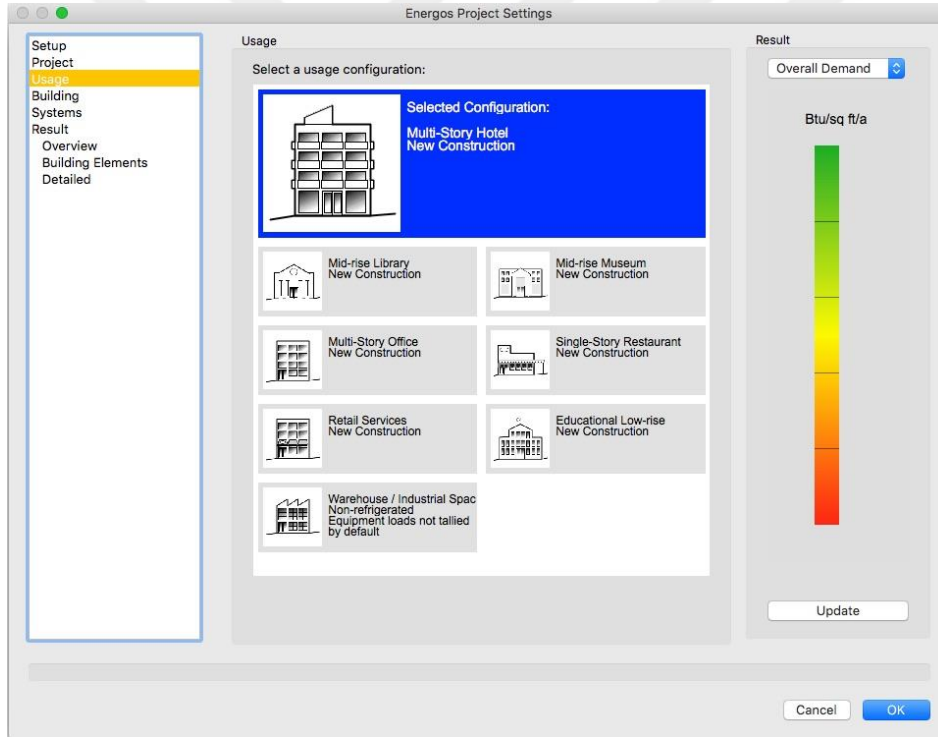
Litaratür taramalarında ulaşılan kaynaklarda, EcoDesigner’ın projenin ileri aşamalarında yapısal elemanlar belirlendikten sonra ve analize temel veriler ile temel kararlar alındıktan sonra, enerji analizlerinin gerçekleştirildiği anlaşılmıştır. Kavramsal tasarım aşamasında analiz yapılabildiğine dair veri ve bilgilere ulaşamamıştır (ArchiCAD, 2019).



Şekil 4.29 : ArchiCAD Enerji Performansı Simülasyonu İçin 3. Taraf Yazılımlara Veri İhracatı (Graphisoft, 2019)

Vectorworks ile Enerji analizi iş akışı

Vectorworks Nemetschek North America (NNA) adlı bir firma tarafından geliştirilmiş bir BDT yazılımıdır. Vectorworks programı çizim yapmak, teknik çizim hazırlamak ve üç boyutlu (3B) modelleme yapmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu programın hem 2B çizim hem de 3B çizim yapabilme kapasitesinin yanı sıra ürün yönetimi ve sunuma yönelik özellikleri de mevcuttur. Vektorworks kavramsal tasarım araçları güçlü olup, mimarın tasarım sürecindeki özgürlüğünü kısıtlamaz. Bu kavramsal tasarım araçları ile istenilen formda kütsel çalışmalar yapılabilir. Vektorworks ile Energos adında bir enerji analiz aracı Vectorworks ile kullanılmaktadır. Literatür incelemelerinde Energos analiz aracının ilerlemiş tasarım aşamalarında kullanılabildiği görülmüştür. Ancak kavramsal tasarım aşamasında analiz yapabildiğine dair bir bilgi elde edilememiştir (Vectorworks, 2019).



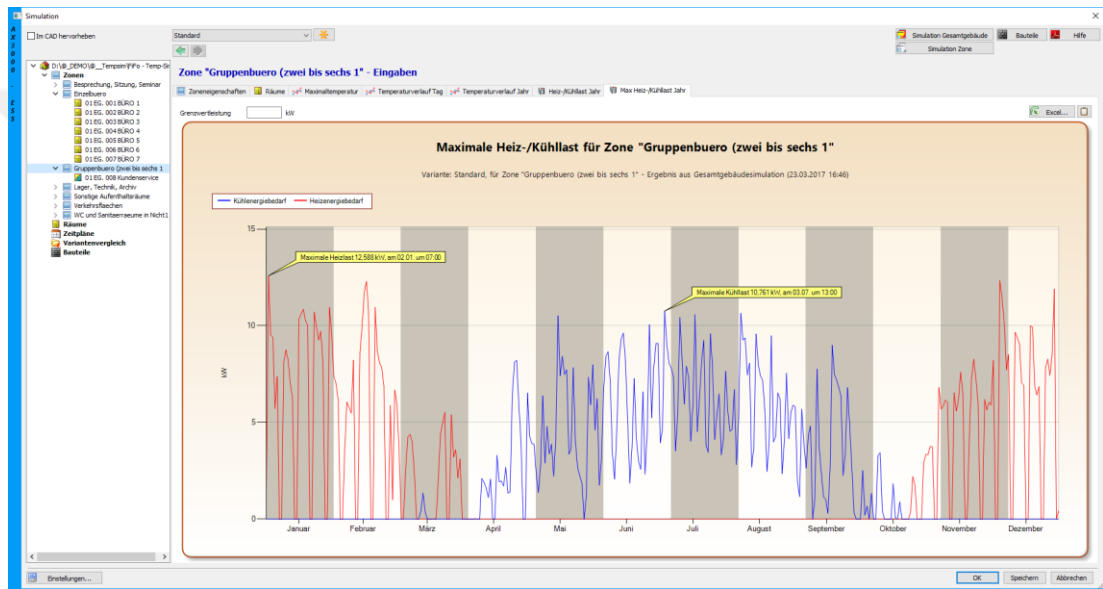
Şekil 4.30 : Energos Modülünün Vectorworks ile kullanımı (BillV, 2019).

Allplan ile Enerji analizi iş akışı

Allplan, Nemetschek şirketinin geliştirdiği BDT ve YBM yazılımıdır. AllPlan 2002 yılında Alman firma Nemetschek AG tarafından çıkarılmış olup, Avrupa’da yaygındır. Merkezi bir veri tabanında tüm dokümanlar üretilmektedir. IFC ve ODBC uyumluluğu bulunmaktadır. Allplan Architecture eskiz çizimlerinden modellemeye, paftalardan, detaylandırmaya, metrajdan, imalat çizimlerine kadar tüm süreçlerde kullanılacak bir

yazılımdır. Allplan, kendi içinde eskiz ortamı sunarak kavramsal tasarım çalışmaları yapılmasını sağlamaktadır. Böylece mimari tasarıma oldukça esneklik kazandırmaktadır. Yazılımın bu özelliği oldukça eski sürümlerinden beri mevcuttur (Lee, 2019).

Allplan yazılımı enerji analizleri için AX3000 adında bir eklenti yazılım ile birlikte çalışmaktadır. Kullanıcıların bu eklentiye Allplan'dan ayrı olarak satın alması gerekmektedir. AX3000 ile yapılan kavramsal tasarım çalışmaları enerji analizinde kullanılamaz. Bunun için projenin ilerlemiş olması ve analize esas ayrıntılı bilgi ve verilerin belirlenmiş olması gerekmektedir (ESS - AX300, 2019).



Şekil 4.31 : Allplan AX3000 Simulasyon (Nemetschek, 2019)

4. Bölüm sonucu literatür incelemeleri ve yukarıdaki araştırma sonuçları değerlendirildiğinde, YBM yazılımı olarak Revit'in diğer yazılımlardan daha etkin kullanıldığı ve kullanıcı sayısının diğer YBM yazılımlarından daha fazla olduğu görülmektedir Bkz. Çizelge 4.2 (Littlefield, 2008). Benzer sonuçlara, Marathe'nin, (2008) ve Özener'in, (2009) çalışmalarında da rastlanmıştır. AECbytes dergisinin 2007'de yaptığı bir araştırma sonucu da %67.08 oranı ile Revit'in en fazla kullanılan YBM yazılımı olduğunu göstermiştir (Bkz. Şekil 4.5) (AECbytes Special Report, 2007).

Mimarların hangi bilgisayar programını kullandıklarına dair yapılan araştırma sonuçlarına göre hala BDT yazılımı olan AutoCAD listede en başta görülmektedir. YBM yazılımlarında ise Revit en üst sırada yer almaktadır. Araştırmada, mimarlar,

kullandıkları dört tasarım programından üçünün Autodesk ürünü olduğunu belirtip, bunların arasında en çok kullanılan ürün olan AutoCAD, en temel tasarım programı olarak %49'luk oranla (Şekil 4.32) ilk sıraya yerleşmiştir (Littlefield, 2019).

DESIGN TOOL	PERCENTAGE
Autocad	49%
Revit	16
Microstation	15
ADT	6
Rhino	2
Vectorworks	2
Archicad	2
Bentley Architecture	1
Sketch Up	1
3D Studio Max	1
Form Z	1
Maya	1
Micro GDS	1

Şekil 4.32 : Tasarım Araçları Ve Kullanıcı Oranları (Littlefield, 2019).

Revit %16 ile ikinci sırada yer almakta olup 4. Sırada yer alan ADT⁵ (AutoCAD Architertural Desktop) Revit'ten önce kullanılmaya başlanan nesne tabanlı BDT teknolojisi ile çalışan bir YBM yazılımıdır.

Tez çalışmasının son bölümündeki iş akışı incelemesi ve örneklem çalışmasında en yaygın kullanılıyor olmasından dolayı, **Revit** yazılımı örnek olarak ele alınmıştır. Önceki bölümlerde üzerinde detaylı şekilde durulduğu üzere geleneksel tasarım ve enerji analizi ölçme ve değerlendirme sürecinde çoğunlukla BDT yazılımları ve enerji analiz yazılımları birbirinden bağımsız ve dosya alışverişi gerçekleştirerek kullanılmaktadır. YBM sürecinde ise bu geleneksel iş akışının yine aynı şekilde devam ettirildiği görülmüştür. Son bölümde enerji analiz yazılımı olarak, Revit yazılımı içinde çalışan Insight yazılımı ile olan ilişkisi incelenecek ve bütünleşik bir tasarım, analiz ve tasarım optimizasyon desteği sağlayıp sağlamadığına bakılacaktır.

⁵ ADT kullanıcısının bir çoğunun Revit'e geçtiği ve Revit kullanmaya başladığı düşünüldüğünde Revit'in kullanım oranı biraz daha yüksekselebilir.

5. YBM İLE ENERJİ PERFORMANS YAZILIMLARININ BÜTÜNLEŞMESİNE İLİŞKİN DEĞERLENDİRME

*“Başlangıçta düşünce ve bilgilerimizin çoğu soyuttur,
ama ekotasarım çoğunlukla somut düşünceden yola çıkar.*

*Bize düşen görev, soyut fikirlerimizi masaya yatırıp,
uygulamaya elverişli hale getirmektir.”*

Ken Yeang

Mimari tasarımda farklı disiplinlerin birbiriyle etkileşim halinde çalışarak, bütünleşik ve etkileşimli bir tasarım süreci takip etmeleri gerekliliği açıktır. Yapılan incelemelerde, mimari tasarımda, disiplinlere bağlı iyileştirmelerden çok tüm sistem performansının dikkate alınması gerektiği açıktır. Tasarım sürecinin erken aşamalarında mimarın iklimsel ve çevresel kriterleri değerlendirebilmesi sonraki aşamalar için kolaylık sağlar. Harputlugil, (2009) çalışmasında erken aşamada bu değerlendirmelere yönelik önceliğin sistem ve malzeme seçimi olduğunu belirtmiş ve birincil hedefin de enerji tüketimini düşürmek olduğunu vurgulamıştır. Bu açıdan bakıldığında, tasarımın erken aşamalarında enerji analizlerinin mimari tasarıma dahil edilmesi gerekir.

Bu bölümde bir YBM yazılımı olan Revit’in kullanımı ve Revit-Insight tipik iş akışı bir örneklem üzerinde ortaya konmuş, elde edilen bulgular ve sonuçlar paylaşılarak değerlendirme yapılmıştır. Revit’in güncel sürümü üzerinde çalışan Insight ile ilgili bilgiler Ek-A’da verilmiştir.

Yapılarda herhangi bir alandaki performans gerekliliklerinin değerlendirilmesinde o alandaki performans göstergeleri kullanılmaktadır. Enerji Performansı belirlemek için belirli adımlar 3. Bölümde sıralanmıştı. Bu adımlara göre amaç belirlenmiş, performans hedefi, ölçüsü, göstergesi gibi konular tanımlanmıştır (Çizelge 5.1).

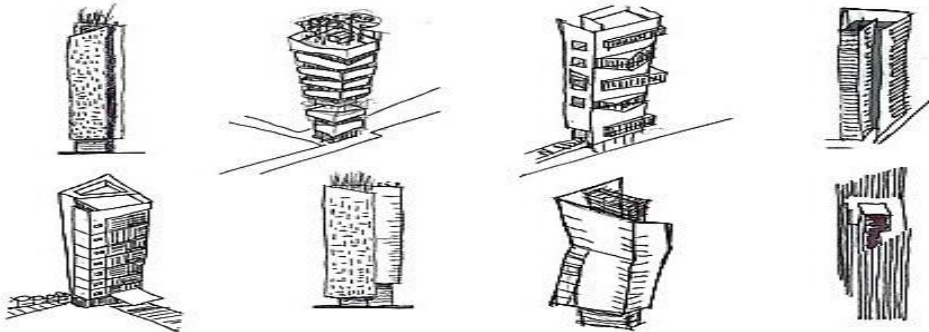
Çizelge 5.1: Performans Adımları

Amaç	Eskiz aşamasında yaratılan kütlelerin üzerinden enerji analizleri yapabilmek
Hedef	Enerji tüketimini performans göstergelerinin altına düşürebilmek
Ölçü	Yıllık tutar veya EUI (Energy Use Intensity) kWh/m ²
Göstergesi	Enerji Tüketimi
Kıyaslama	Sonuçların Karşılaştırması ve Optimizasyon

5.1 Revit – Insight Tipik İş Akışı Örneklemesi

Üçüncü bölümde açıklandığı gibi, öncelikle enerji modeli oluşturmak için tasarımın ve buna bağlı bilgilerin/modellin hazırlanması gerekir. Daha sonra iklim gibi çevresel verilerin doğrultusunda analiz yapılması, daha sonra sonuçların değerlendirilmesi adımlarına geçilmektedir. Tasarım sürecinde, söz konusu bina için farklı alternatif çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Revit güncel sürümü 2019 içinde enerji analizi iş akışının nasıl gerçekleştiğini örneklemek amacıyla 30 katlı bir ofis binasına ilişkin bir senaryo üzerinden örneklem yapılacaktır. Bir mimar olarak tasarım sürecinin en başında Revit kullanarak bir ofis binası tasarlandığında, öncelikli amaç, tasarım kriterleri ve tasarıma etki edebilecek tüm sınırlamaların belirlenmesi ve eskiz yapılmasıdır (Şekil 5.1). Bina için hem YBM ortamında tasarım yapılması sağlanabilmeli, hem de tasarım yaparken enerji analiziyle ilgili belli kriterler denenerek, benzetimler yapıp, sonuçlar alınmalıdır. Sonuçları değerlendirip, gereken optimizasyonlar yapılarak tasarım güncellenmelidir. Ayrıca tasarım için farklı tasarım alternatifleri yapmak ve bu alternatifleri analiz ederek, bir seçim yapabilmenin mümkün olup olmadığı da çalışma kapsamında irdelenmiştir.

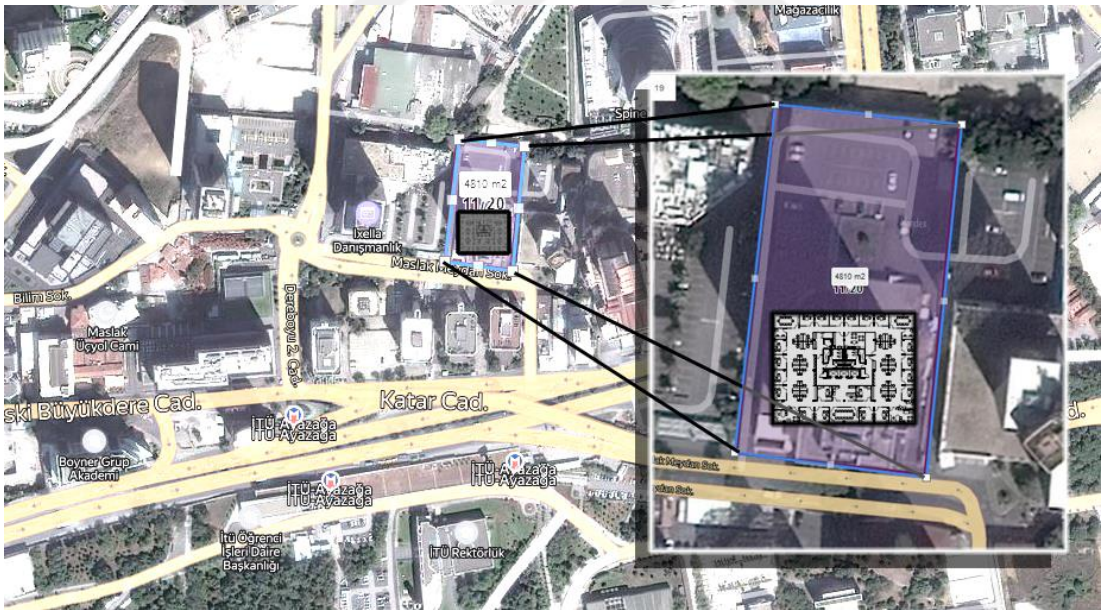


Şekil 5.1: Ofis Binası İçin Eskiz Örnekleri.

5.1.1 Mimari Program ve Planlama Gereksinimleri

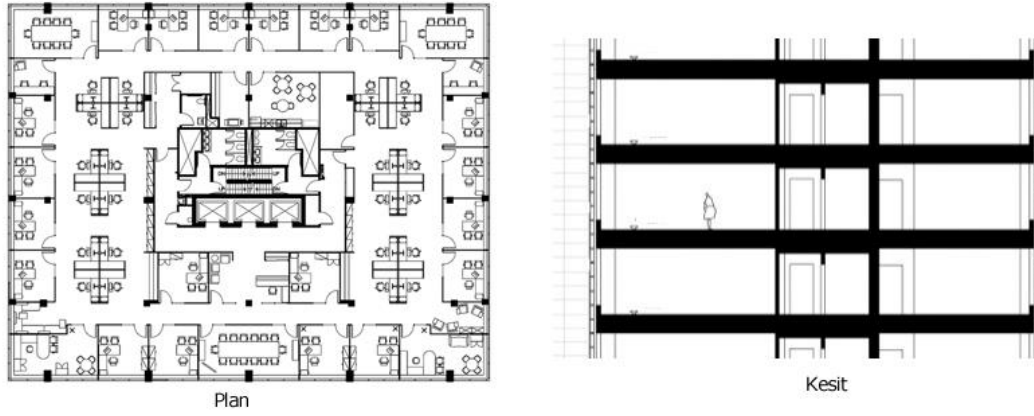
Örnekleme yapılan ofis binası için belli tasarım girdileri önem taşımaktadır. Ayrıca arsa ile ilgili imar sınırlamaları da söz konusudur. Tüm bunlara ek olarak mimar kendisi için belli bazı tasarım ilkeleri koyacaktır. Söz konusu binanın tasarımına başlandığında, ilk olarak eskiz çalışmaları ile birlikte kavramsal tasarım modelleri yapılacaktır. Mimar, bu aşamada hem proje sahibi, hem de diğer paydaşlarla belli zaman aralıklarında bir araya gelip proje sunumları ve fikirlerini paylaşmaktadır. Mimar, öncelikle erken aşamada kavramsal tasarım kütle etütlerini ve özellikle prestij binası olacaksa aynı zamanda cephe çalışmaları da yapmalıdır. Çevresel analizler ve diğer etütlerin yanı sıra enerji analizleri yapılması ve binanın erken aşamada bu açıdan da değerlendirilmesi gerekmektedir.

Örnek bina için İstanbul, Maslak bölgesi seçilmiş olup, arsanın coğrafi koordinatları (enlem/boylam) 41.109/29.020'dir. Arsanın imar durumuna göre binanın arsa üzerindeki oturma alanı yaklaşık 5000 m² olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.2: Ofis Binası Vaziyet Planı.

Bu koordinatların bulunduğu bölgenin iklim verileri analiz sırasında kullanılacaktır. Bölgede çok sayıda ofis binası bulunduğundan imar koşulları ve diğer yönetmelikler çok katlı tasarıma (örnekleme 30 kat) izin vermektedir. Kaks:3 (<http://kentrehberi.sariyer.bel.tr/Imar/Sorgula?id=115157>) 15000m² toplam inşaat alanı kullanılabilir.

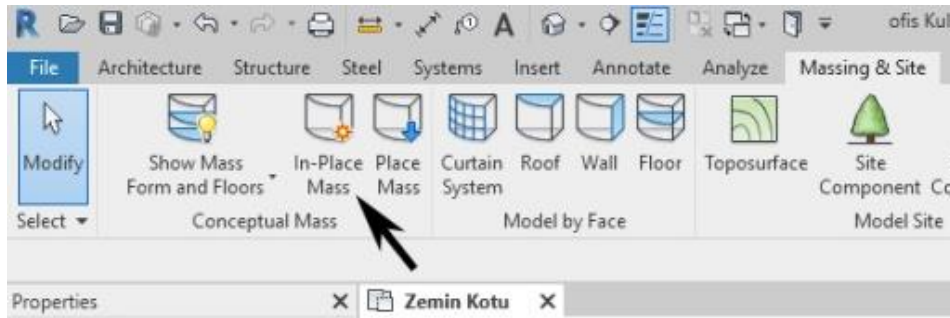


Şekil 5.3: Ofis Binası Tipik Plan ve Kesiti.

Örnekleme çalışmasına zeminde oturma alanı olarak, öncelikle 35m X 15m ölçülerinde bir dikdörtgen ile işe başlanacaktır. Kat yükseklikleri ofis binalarında 3 m ile 4.2 m arasında değişebildiğinden (Neufert, 2000). Örneklemede kullanılacak binanın kat yüksekliği 3.5 m olarak belirlenmiştir. Bina formu için alternatif tasarımlar yapılacaktır. Erken aşamada bu farklı tasarım alternatiflerinin (kütlelerin) enerji analizleri yapıp karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilecektir.

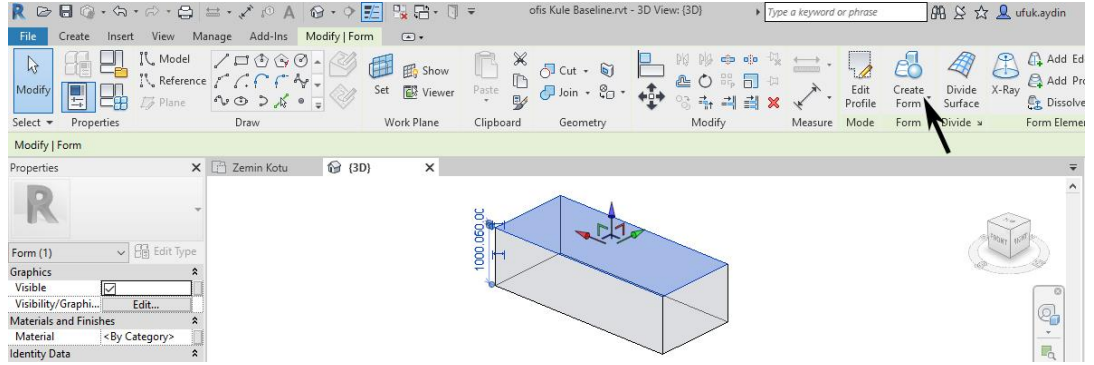
5.1.2 Proje Ortamında Kütleli Elemanlar Yaratılması

Revit'te kütleli tasarımlar Mass adı verilen araçlarla yapılmaktadır. Bununla ilgili detaylı açıklamalar **EK-C'de** verilmiştir. Öncelikle kütle (Mass) geometrisini yaratmak için *Massing & Site/Conceptual Mass/In-Place Mass* komutu çalıştırılmış ve yaratılacak kütleye isim verilmiştir (Şekil 5.3). Örneklemede isim olarak **“Ofis Kule Baseline”** kullanılmıştır. Böylece ilk kütleli formu yaratmak için Revit kullanıcı ara yüzü değişmekte ve kavramsal tasarım ortamına girilmektedir. Revit'te, proje ortamından ayrılmadan şerit menü ve diğer araçlar değişmekte ve kavramsal tasarım ara yüzünde çalışılmaya başlama olanağı doğmaktadır (Şekil 5.4).

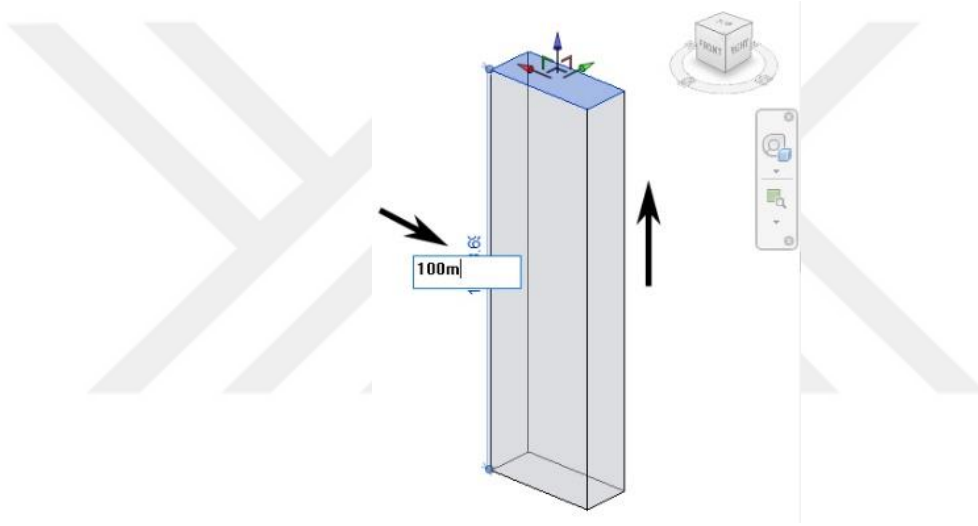


Şekil 5.4: Revit Kavramsal Kütle Yaratma Aracı.

Birinci adımda 15mx20m plan boyutlarına sahip bir dikdörtgen çizilip, yükseklik verilerek ilk kütle oluşturulmuş, itme-çekme işlemleriyle istenen form verilmiştir.



Şekil 5.5: Revit'te 3 Boyutlu Model Yaratma.

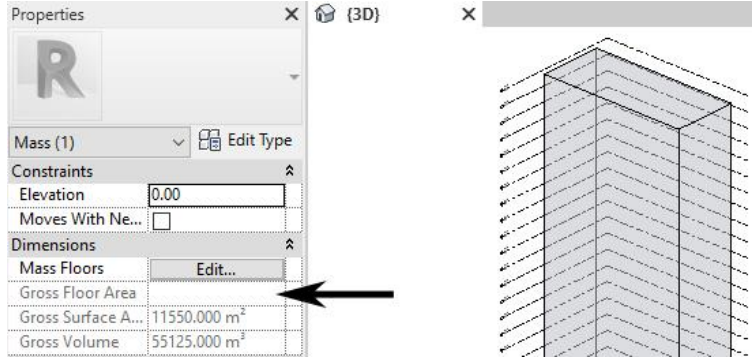


Şekil 5.6: İtme ve Çekme Özelliği ile Model Düzenlemeleri.

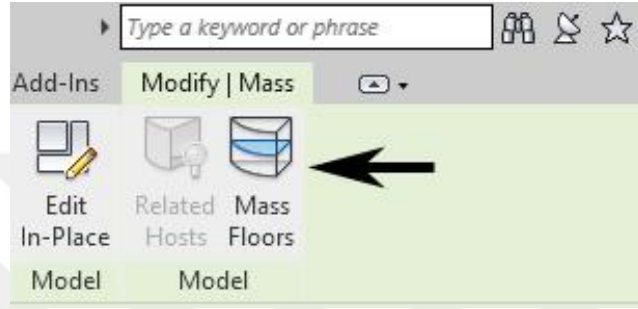
Bundan sonra 3.5m kat yüksekliği verilerek, toplam 30 kat yaratılmıştır (Şekil 5.4 - 5.5).

5.1.3 Yaratılan Kütlelere Döşeme Yüzeyleri Atamak

Önceki adımda oluşturulan kütle modelinin yüzeyleri binanın dış cepheleridir. Bu aşamada formun sadece hacim ve yüzey alanı mevcuttur. Döşeme alanları için öncelikle her kat için bir döşeme yüzeyi tanımlanmalıdır. Revit'te bu otomatik olarak yapılmaktadır. Bu amaçla şerit menüde "Mass Floors" komutu çalıştırılmıştır. (Şekil 5.6 - 5.7).

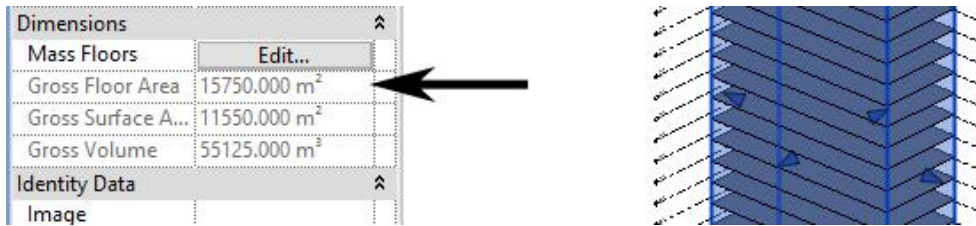


Şekil 5.7: Kütlelerdeki Katların Hizaları.



Şekil 5.8: Kütlelere Döşeme Tanımlanması.

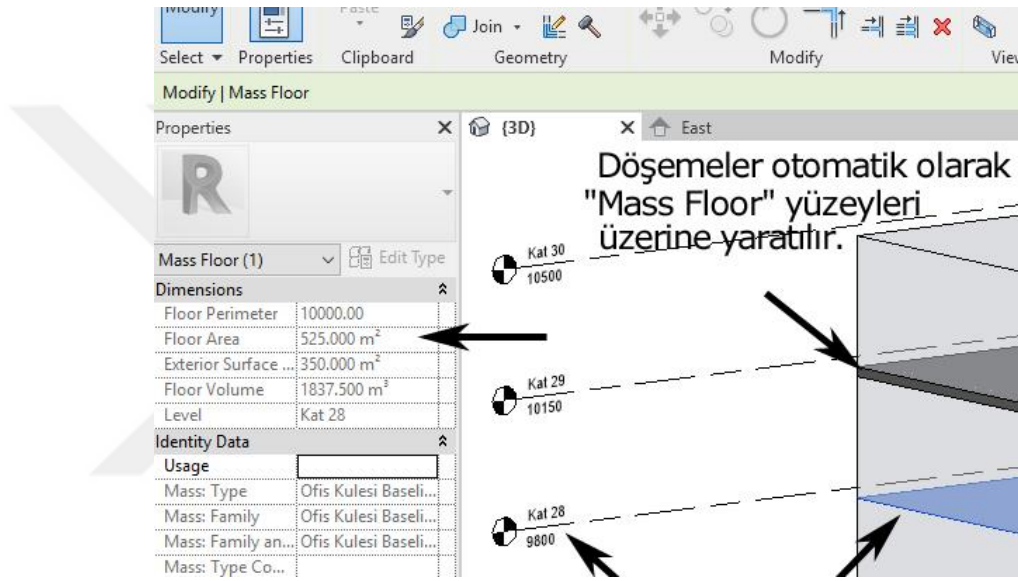
“Mass Floor” diyalog penceresi içinden hangi katlarda/kotlarda döşeme bulunacaksa bu katlar seçilmiş, Katların/Kotların kütle geometrisi ile kesiştiği düzlemler üzerine birer yüzey yazılım tarafından otomatik olarak yaratılmıştır. Örnekte her katın alanı 525m², binanın toplam döşeme alanı 15750m² olduğu özellikler penceresinden okunabilmektedir (Şekil 5.8). Revit alan, hacim ve uzunluk bilgilerini 3B geometrilerden alarak, otomatik olarak listelemektedir.



Şekil 5.9: Döşemeler ve Alanları.

Tasarım yerel belediyelerden alınan imar durumuna bağlı olarak şekillenebilmektedir. Örneğin bu aşamada, binanın arsa üzerine oturum alanı, toplam inşaat alanı, kat yükseklikleri ve toplam bina yüksekliği, cam alanların toplamı, toplam duvar alanları vb. bilgiler düzenlenebilmekte ve tasarımlar bu bilgilere göre şekillendirilebilmektedir.

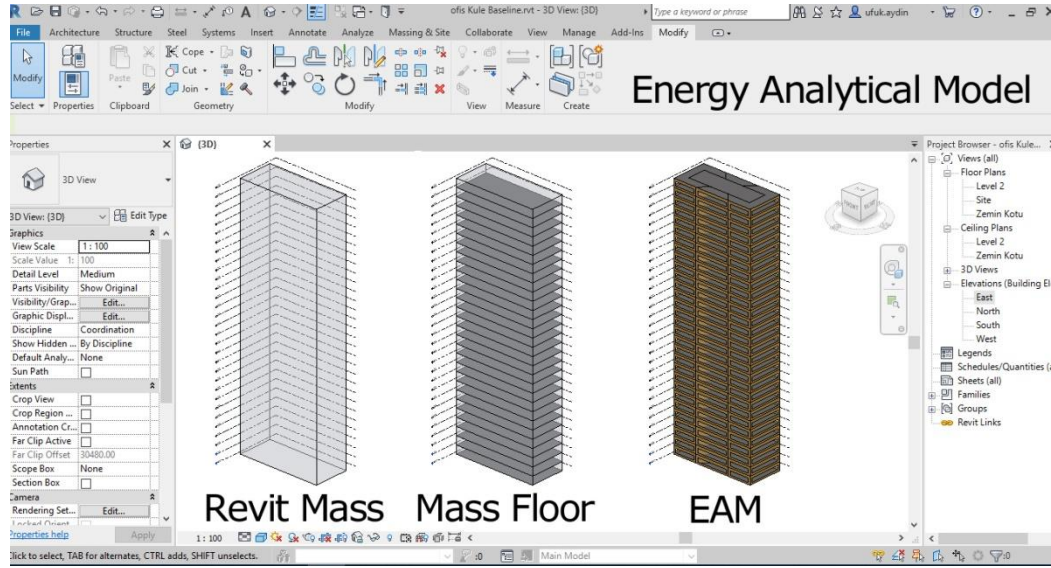
Şekil 5.9’da kütleye ait 28.kat’ın seçildiği görülmektedir. Şekilde sol taraftaki Properties penceresinde bu kata ait alan 525 m2, kata ait olası dış duvar yüzey alanı 350 m2, 28. Kat toplam hacmi 1837 m3 ve kata ait çevre bilgisi 10000 cm olarak okunmaktadır. 29. Kata örnek bir döşeme otomatik olarak oluşturulmuştur⁶. Bu türde döşemeler kütle geometrisi ile ilişkiseldir. Bu ilişkisellik sayesinde, kavramsal tasarım aşamasında yapılacak bir değişiklik, kütle ile ilişkili olan tüm nesnelere aktarılır. Geometri ve yapı formu değişiklikleri (mass kütleleri üzerinde yapıldığı anda), bunlardan yaratılan döşeme, duvar, giydirme cephe, çatı gibi yapı kabuğunu oluşturan yapısal elemanlar da güncellenir.



Şekil 5.10: Döşeme, Kot Ve Kat Tanımlamaları.

Şekil 5.10’da 30 kat için oluşturulan kütle görülmektedir. Ortada ise döşeme yüzeyleri atanmıştır. Bu kütle kullanarak (şekilde en sağda görülen) enerji modelleri oluşturulabilmektedir.

⁶ Döşemeye benzer şekilde duvarlar, giydirme cepheler ve çatılar da yaratılan kütle yüzeyleri üzerine yazılım tarafından otomatik olarak yaratılıp ilişkiel hale getirilir. Bu aracın ismi Revit yazılımında Building Maker olarak adlandırılır (Autodesk Help, 2018).

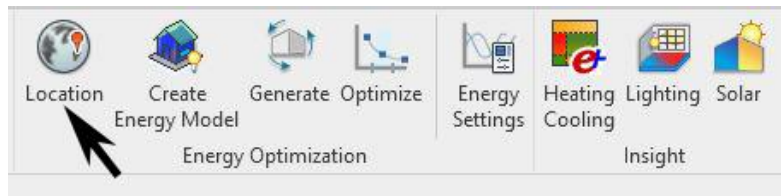


Şekil 5.11: Revit Mass, Döşemeler ve Enerji Modeli.

5.1.4 Kütleleri Enerji Modeline Çevirmek

Bu aşamada eldeki kütlenin, enerji analizinde kullanılacak olan enerji modeline (*energy analytical model – EAM*) çevrilmesi gerekir. Bu işlem, geleneksel analiz yazılımlarında oldukça uzun süren ve operatör tarafından manuel olarak yapılması gereken bir süreç olduğu önceki bölümlerde belirtilmiştir.

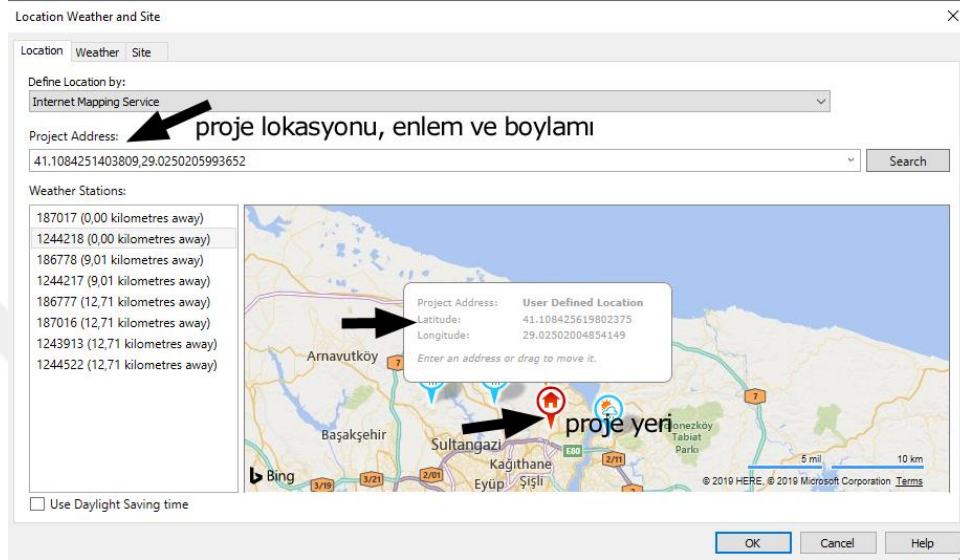
Enerji modeli, Revit içinde ASHRAE 90.1 baz binaları standardı ile otomatik olarak oluşturulmakta ve doğrudan analiz edilebilmektedir. Enerji modeli oluşturmadan önce bazı bilgilerin kullanılması ve yazılıma tanımlanması gerekir. İlk olarak, bina coğrafi konumu girilmesi gerekir. 5.1.1 başlığında belirtilen enlem ve boylama ait meteoroloji istasyonundan alınan iklim verileri⁷ yazılıma girilmiştir. Analiz sekmesinde yer alan Energy Optimization ve Insight panelleri enerji analizi ve optimizasyonu için kullanılmaktadır (Şekil 5.11).



Şekil 5.12: Binanın Coğrafi Konumunun Belirlenmesi.

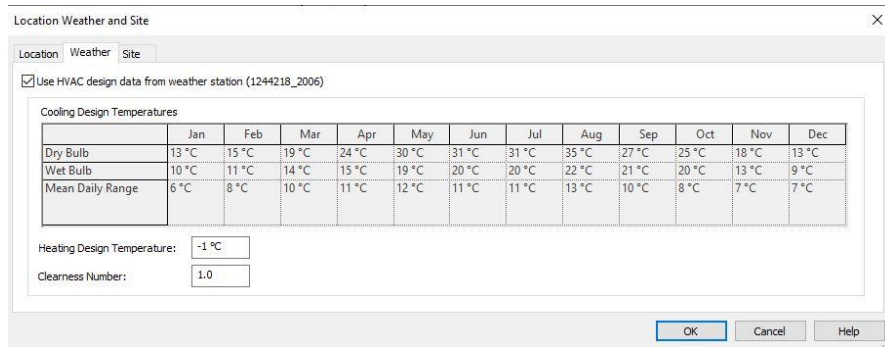
⁷ Binanın dünya üzerindeki enlem ve boylam bilgisi girilebilir ya da adres ve şehir arama yaptırılarak giriş yapılabilir.

Açılan pencereden proje adresi bölümüne, şehir ismi ile arama yaptırılarak, arazinin enlem ve boylam bilgilerine ulaşılabilmekte ya da adres girilerek arama yapılabilir. Bulunan konum kırmızı küçük bir ok ile gösterilir. Harita servisi çevrimiçi “Bing Maps” sistemini kullanmaktadır (Şekil 5.12). Örnekleme Maslak, İstanbul, Türkiye seçilmiştir. Ayrıca belirlenen koordinatlar doğrudan girilip kırmızı ev sembolü, ofis binasının tam parselini gösterecek şekilde konumlandırılmıştır.



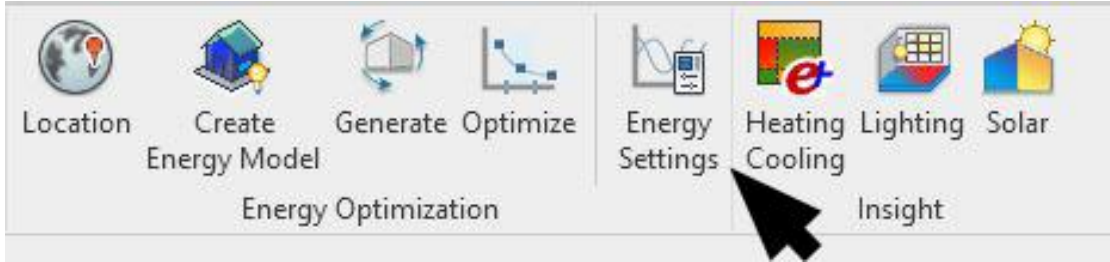
Şekil 5.13: Binanın Konumunun Haritadan Seçilmesi.

Aynı pencerede sol tarafta iklim istasyonları sıralanmaktadır. Proje konumuna en yakın olan istasyonlar mavi renkte bir ok ile harita üzerinden de seçilebilmektedir. Seçilen iklim istasyonuna bağlı iklim dosyası daha önceki ilgili bölümlerde açıklanan birçok iklim bilgisi ve verisini içermektedir. Aynı pencerede “Weather” sekmesinde ıslak ve kuru termometre sıcaklığı ve ortalama sıcaklık değerleri görüntülenmektedir (Şekil 5.13).



Şekil 5.14: Proje Konumuna Göre İklim Verileri.

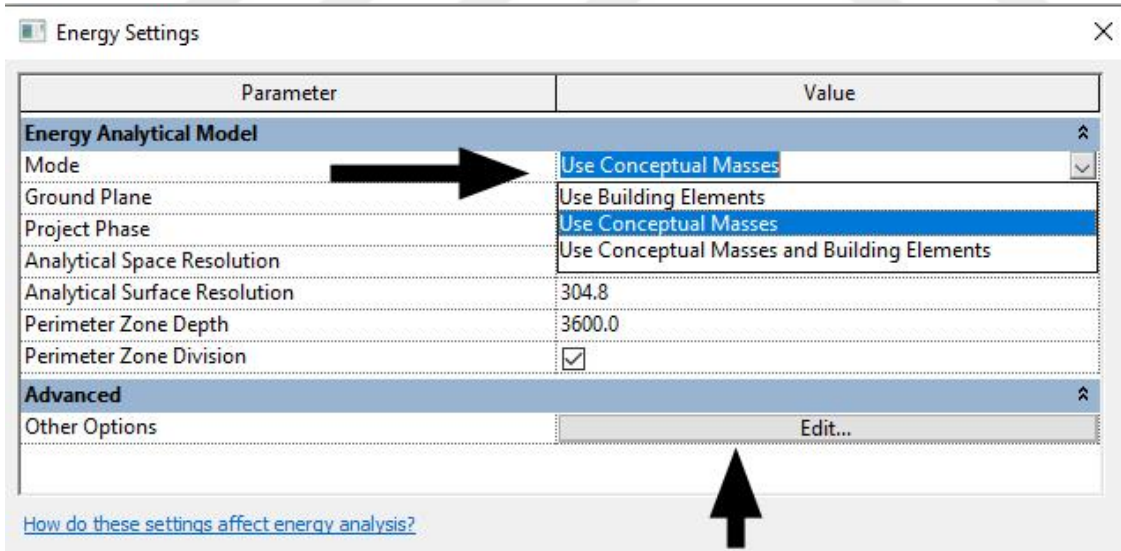
Yerel iklim verilerinden sonra, ikinci iş olarak enerji ile ilgili ayarlamalar yapılmıştır. Bu amaçla “Energy Settings” diyalog penceresine ulaşp, enerji analizine esas olacak minimum ayarların yapılması sağlanmıştır (Şekil 5.14).



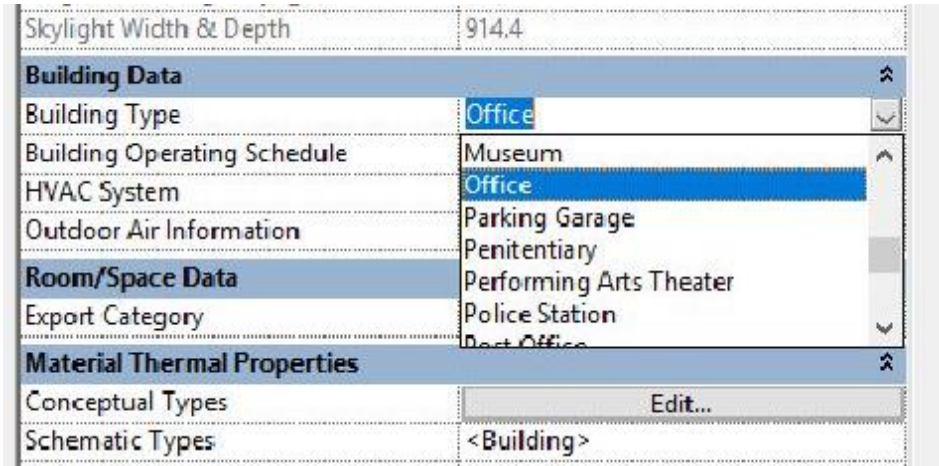
Şekil 5.15: Revit Enerji Ayarlamaları Aracı.

Şekil 5.15’de oluşturulacak enerji modelinin kavramsal kütle çalışmaları olduğu menüden seçilmiştir. Şekil 5.16’da görülen “Advance Energy Settings” penceresinde ASHRAE 90.1’a göre sınıflandırılmış bina tiplerine ulaşılmış, Ofis seçilmiş, bina işletme süreleri, HVAC sistemleri için öngörü oluşturabilecek bir sistem seçimi yapılmıştır.

EKLER bölümünde **EK-B** “Enerji ayarları (Energy Settings)” ekinde, daha kapsamlı bilgilere ulaşılabilir.

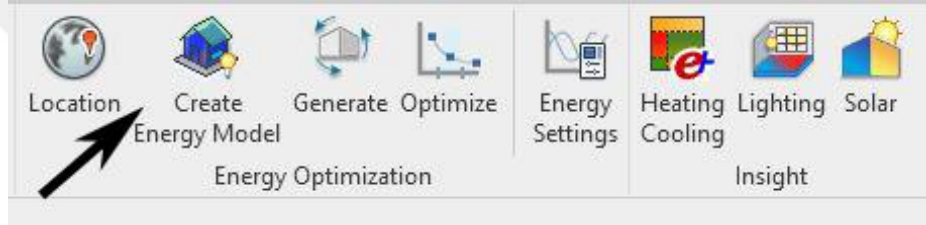


Şekil 5.16: Revit Enerji Ayarlamaları Penceresi.



Şekil 5.17: Revit İleri Enerji Ayarları.

Binaya ilişkin temel veriler girildikten sonraki aşama enerji modelinin yaratılmasıdır. Bunun için şerit menüden “*Create Energy Model*” komutu verilmiştir (Şekil 5.17).



Şekil 5.18: Revit Enerji Modeli Oluşturma Aracı.

Enerji modeli, girilen veriler ve ASHRAE 90.1 baz bina özelliklerine göre otomatik olarak Revit tarafından oluşturulmaktadır.⁸

Son aşamada oluşturulan enerji modelinin, analiz edilmesini ve sonuçların değerlendirilmesi gerekmektedir. Tasarım desteği için mimarın bu aşamada elindeki tasarımın nasıl bir performans sergileyebileceğini ölçmesi ve değerlendirebilmesi gerekir. Bu aşamada mimar mühendise ihtiyaç duymadan hızlı karar verebilmeli ve hemen tasarımını yönlendirebilmelidir.

Revit yazılımının Energy Optimization panelinde yer alan, “Generate” ve “Optimize” araçları özellikle mimarlar için tasarlanmış olup, Insight yazılımının bileşenleridir (Şekil 5.18), Analizden önce, oluşturulan kütlenin benzeri olan farklı kütsel tasarımların denenmesi için Tasarım Alternatifleri (Design Options) özelliği

⁸ ASHRAE 90.1'a standartlarına göre otomatik zonlama ve enerji modeli ile ilgili kapsamlı bilgilere ulaşmak için "Powering BIM—Capitalizing on Revit for Building Energy Modeling" dokümanı incelenebilir (Autodesk University, 2019).

bulunmaktadır. Baykal ve Aydın (2014), kitabında bunun nasıl çalıştığını ayrıntıları ile göstermiştir.



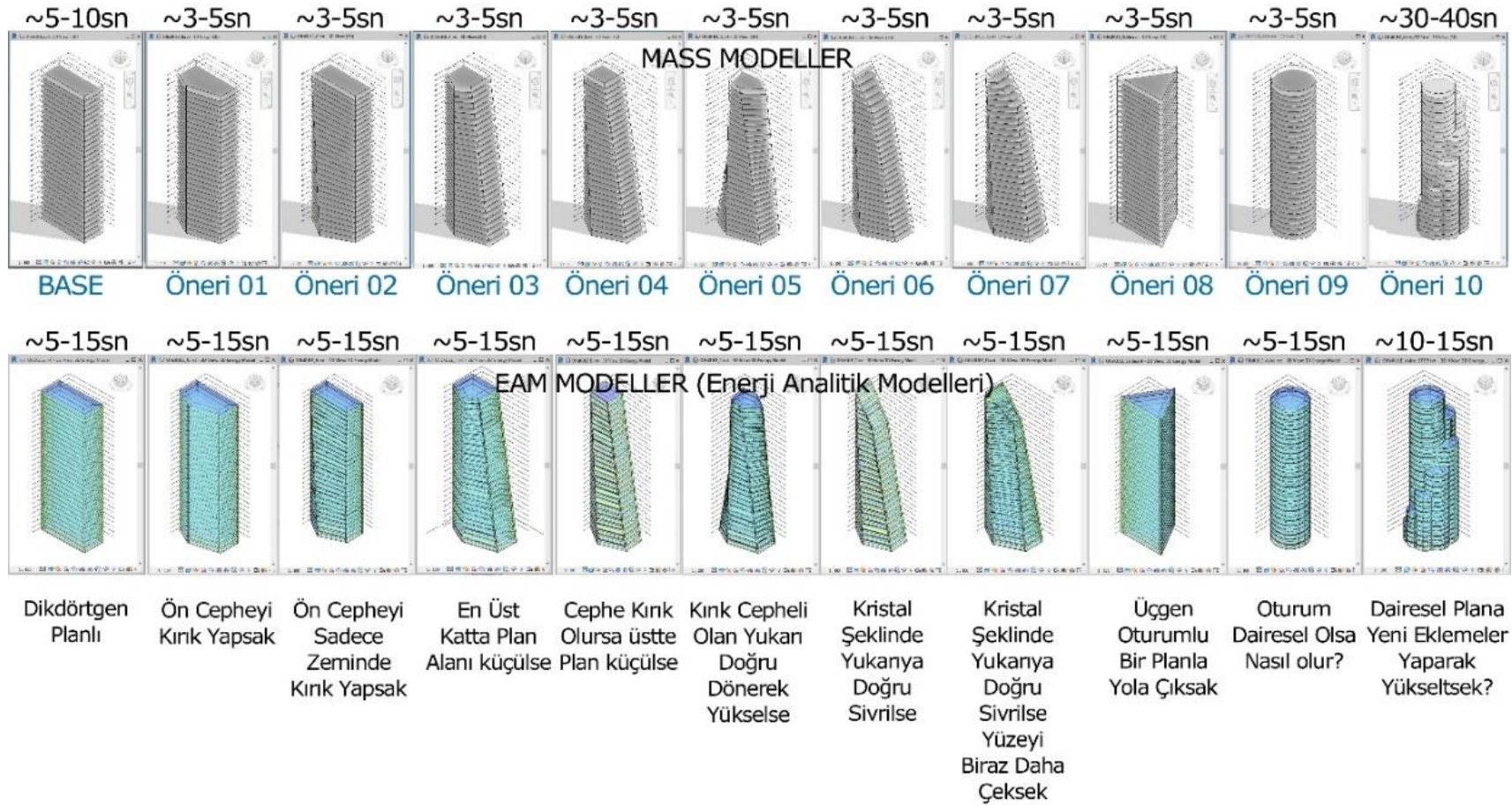
Şekil 5.19: Revit Enerji Optimizasyonu.

Örneklemedeki dikdörtgen planlı ofis yapısını temsil eden kütle başlangıç adımı olup OfisBaseline ismi verilmiştir. Enerji modeli, ASHRAE’de seçilen standart ofis binalarına göre bilgiler taşımaktadır. Analiz yazılımlarında, ilk yapılan tasarım ve analiz sonuçları genellikle “**baseline**” olarak isimlendirilmektedir. Buna ek olarak istenilen sayıda farklı tasarım önerileri yaratılabilir ve denemeler yapılabilir.

Şekil 5.19’da ilk yaratılan kütle modeli ve bundan üretilen enerji modeli **BASE** adında en sol üstte görülmektedir. Revit’te bu mass modeli yaratmak ortalama 5 ile 10 sn sürmektedir. Modelin karmaşıklığına bağlı olarak bu süre artabilmektedir.

Örneklemede, BASE olarak adlandırılan hariç, 10 adet farklı ofis kulesine ait kütle modeli yaratılmıştır. Mass modeller enerji ayarları kullanılarak enerji modellerine çevrilmiş olup bu işlem de 5 sn ile 15 sn arasında gerçekleşmiştir. Şekil 5.19’da her bir tasarım önerisinin oluşturulması ve enerji modeline çevrilme süreleri, öneri modellerin üzerinde belirtilmiştir. Örneklemede kullanılacak diğer öneriler, isimleri ve ayrıca öneride düşünülen tasarım kavramları her bir görselin altında belirtilmiştir.

Yapılan örneklemeden elde edilen sonuçlara göre, toplamda bir kütle oluşturmak ve bunun enerji analizi için modelini hazırlama süresi ortalama 1-1,5 dk arası değişmektedir. 10 farklı tasarım önerisi için ayrı ayrı modellemeler yapılmıştır. Doğal olarak mimar kendi tasarım anlayışından veya başta proje sahibi olmak üzere diğer paydaşlardan aldığı geri bildirimlere göre daha az yada daha çok sayıda tasarım alternatifini oluşturabilmektedir. Analiz, bu aşamadan sonra analitik modellerin hazırlanmasıyla başlar. Üretilen modeller, rüzgâr, güneş/gölge, güneş radyasyonu analizleri için de kullanılabilir. Bu tür analizler tez çalışması kapsamı dışında tutulmuştur.



Şekil 5.20: Örnekleme Yapılacak Farklı Tasarımlar.

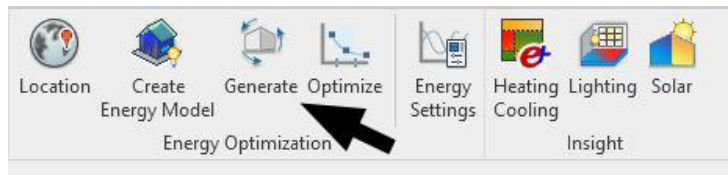
5.1.5 Insight Analizlerin Başlatılması

Revit yazılımı kapsamında Insight aracılığıyla enerji analizine başlamak için daha önce oluşturulan kütle seçeneklerinden birinin seçilmesi gerekir. Bu amaçla şerit menüde bulunan “Generate” komutu ile Insight yazılımı başlatılmıştır. Insight içinde tüm farklı olasılıkların enerji analizleri, bulut (cloud) üzerindeki sunucularda hesaplanmaktadır. Model, analiz için Insight sistemine yüklenmektedir. Tamamlanan analiz sonucu ile ilgili bir uyarı Revit içinde çalışma ekranının sağ altında açılmaktadır. Tüm modellerin analizi tamamlanınca artık analiz sonuçlarını görmek ve gerekli optimizasyonları yapmak için Optimize aracı çalıştırılmaktadır.

Insight içinde sürdürülebilirlikle ilgili tasarım faktörleri dikkate alınarak, analizler geleneksel yazılımlara göre çok daha kısa sürelerde gerçekleşmektedir. Analizlerde, ASHRAE verileri ve DOE2 analiz motoru kullanılmaktadır. Bu tür bir iş akışı geleneksel yöntemlerde BDT sisteminde her bir enerji modeli için manuel olarak kullanıcı tarafından yapılmakta, bu da süreyi çok uzatmaktadır.

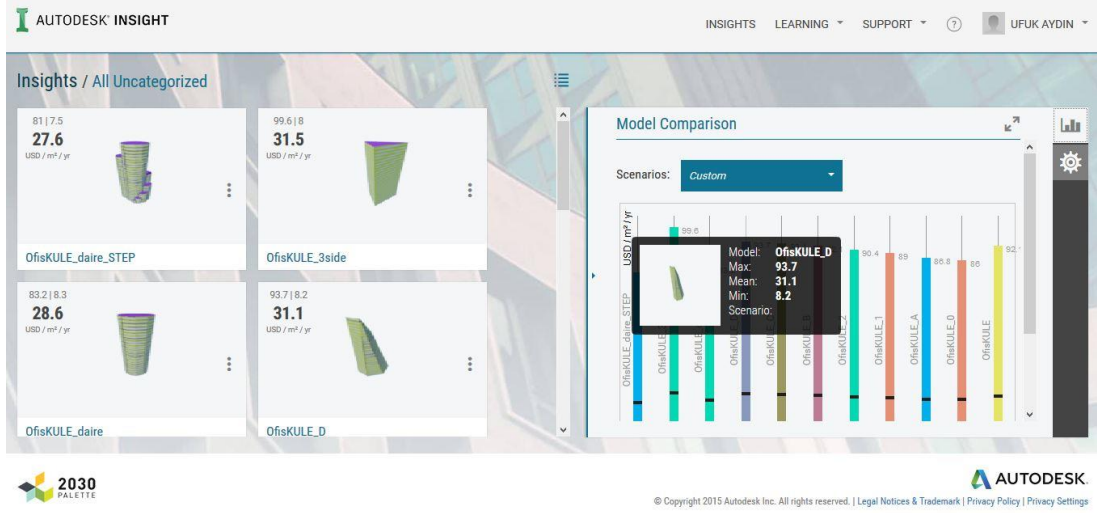
5.1.6 Insight Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bu aşamada enerji analizi sonuçları alınıp, ilk değerlendirmeler yapılmaktadır. Optimizasyonlar, bu değerlendirmeleere göre başlatılır. Mimar, bu aşamada hangi faktörlerin ve değişikliklerin tasarımın performansını olumlu ve olumsuz yönde etkileyebileceğini görüp, etkileşimli olarak biri üzerinden değişiklikler yaparak, enerji performansını yükseltebilmektedir. “Optimize” komutu ile Insight ekranına geçilir. (Şekil 5.20)



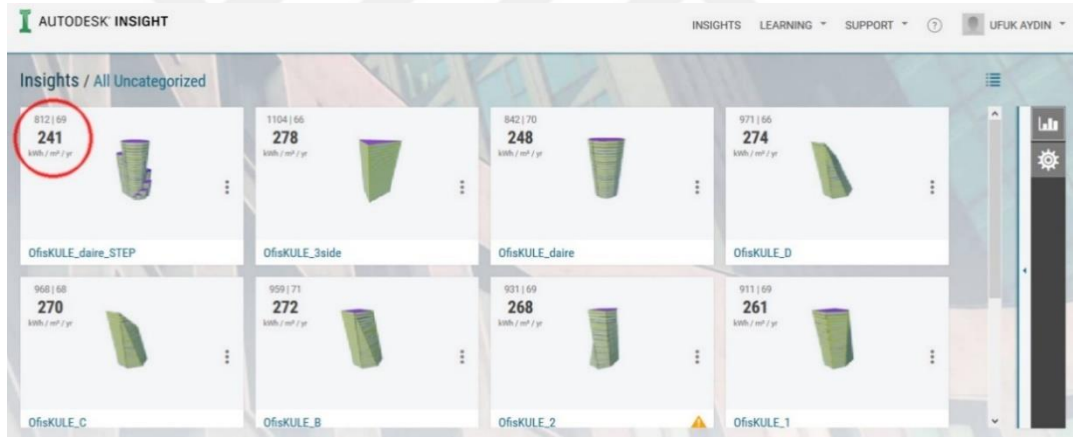
Şekil 5.21: Enerji Optimizasyonu Komutu.

Ekranda yapılan tüm analizlerin sonuçları sol tarafta görüntülenmektedir. Sağda ise model karşılaştırmaları çubuk grafik olarak görülmektedir. Modellenen tüm alternatifler, yukarıda açıklanan şekilde analiz edilip sonuçları, yıllık m2 tutarı olarak solda görülebilmektedir (Şekil 5.21).



Şekil 5.22: Enerji Analizi Sonuçları.

Sonuçlar **yıllık tutar** ve **EUI (Energy Use Intensity)** olarak iki ayrı şekilde görülebilmektedir. Tüm alternatifler için m2 başına yıllık enerji tüketimleri görülerek, arasından seçimler yapıp senaryolar üretilebilmektedir (Şekil 5.22).



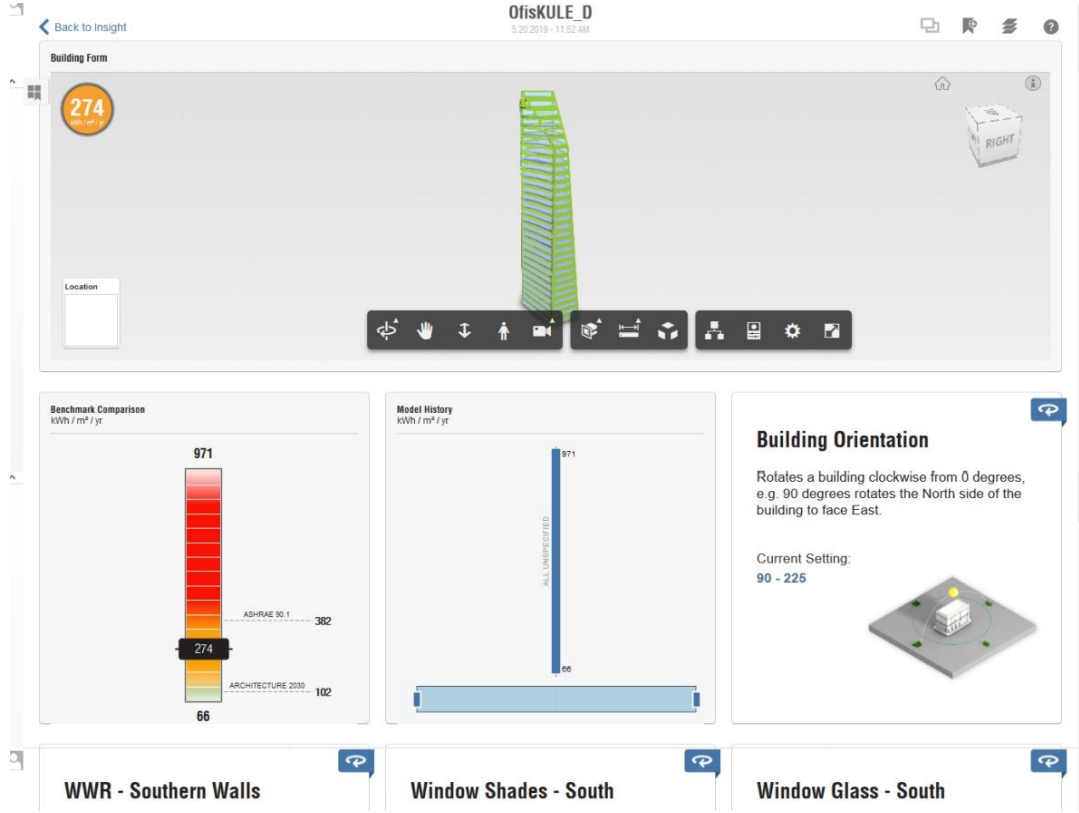
Şekil 5.23: Öneri Tasarımların Enerji Analizi Sonuçları.

Çalışılan örneklemede, oluşturulan 11 ayrı modelden, dairesel olan ve kademeli şekilde yükselen model, en az enerji tüketen tasarım olarak karşımıza çıkmıştır. Elbette karar verme sürecinde seçim yapmak mimarın elinde olacaktır. Tasarımcı olarak daha birçok kriter karşılaştırarak karar verileceği için, her zaman en az enerji harcayan alternatif seçilmek durumunda değildir.

5.1.7 Insight Model Optimizasyonları

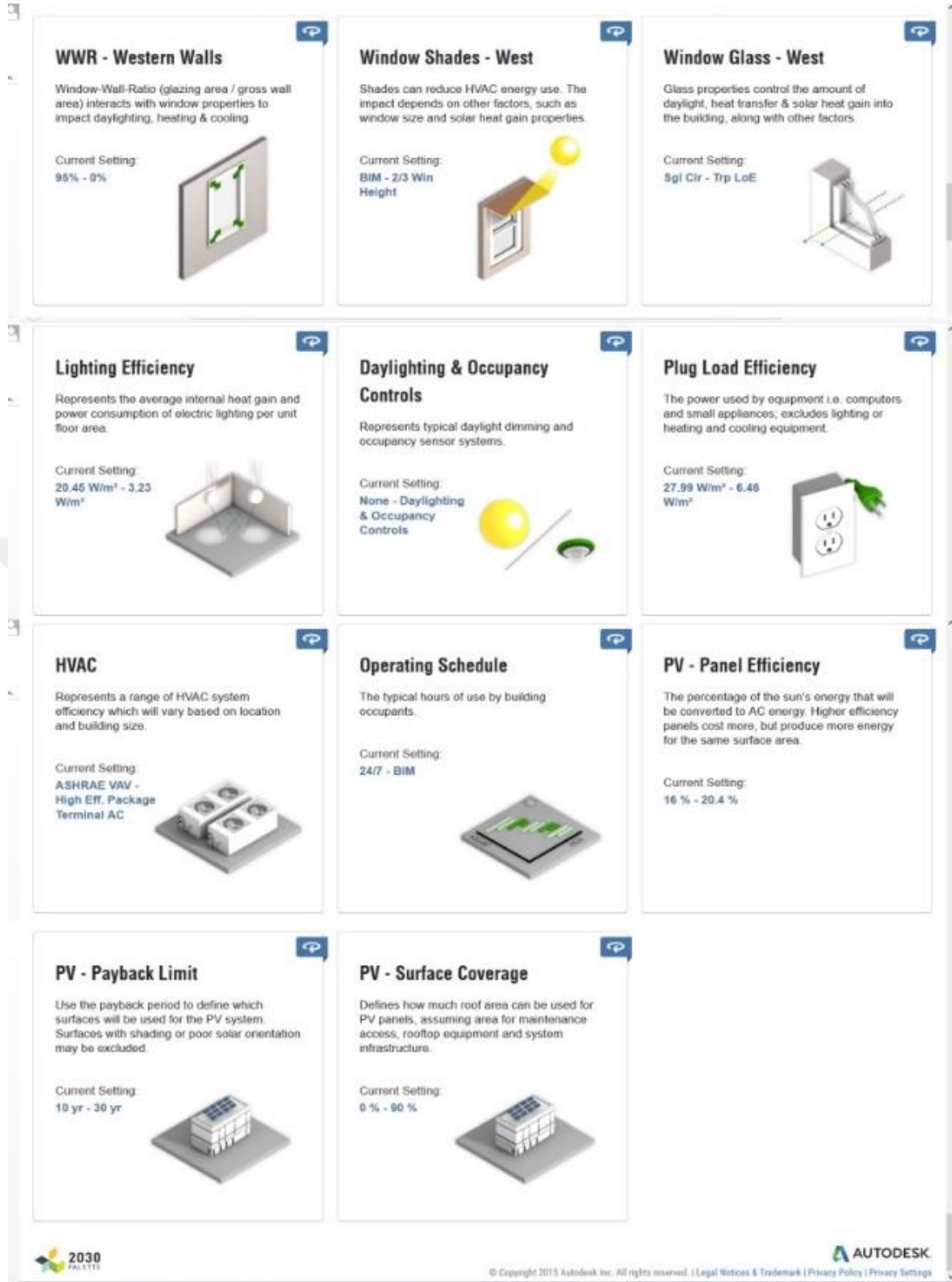
Revit yazılımında Insight ile enerji analizinde her bir alternatif modelin, kendi içinde farklı senaryolar kurgulanabilmektedir. Insight, bu senaryolarda yapılacak sürdürülebilirlik ve enerji tüketimine etki edecek faktörleri göstermekte ve bunlar

arasında düzenlemeler ve değişiklikleri etkileşimli olarak yapılmasını sağlamaktadır. Örneğin **Ofis KULE_D** modelinin analiz sonucu **274KWh/m2/yr** görünmektedir (Şekil 5.23).



Şekil 5.24: Insight Ekranı Bileşenleri.

Tasarımlar için malzeme seçimleri, ekipman seçimleri, güneş durumu vb. birçok faktör üzerinden iyileştirmeler yapılabilmektedir (Şekil 5.24). Bu değişkenlerden her birine girip farklı seçenekler ile değişiklikler yapılabilmekte ve genel skoru nasıl etkilediğı gerçek zamanlı olarak görölmektedir.



Şekil 5.25: Insight Değişkenleri.

Optimizasyon amacıyla herhangi bir **faktör**⁹ seçildiğinde etkileşimli olarak kartın arkasını çevirmektedir. Örneğin bina oryantasyonu için modelde geometrinin açısını değiştirmeye gerek kalmadan 0°, 30°, 45°, 60° vb. olası tüm açılar performansa nasıl etki edeceği ile ilgili tahminlerde bulunulması sağlanmaktadır. Bu şekilde tüm farklı faktörler ve etkileri incelenmektedir (Şekil 5.25).



Şekil 5.26: Insight Optimizasyon Faktörleri. (Bina Oryantasyonu)

Her faktörün içinde açıklamalar ve nasıl bir veri olacağına dair, öngörülebilir değerler bulunmaktadır. Her faktörün üzerinde yer alan mevcut seçim (Current Setting) değerleri görüntülenmektedir. Oryantasyonun tüm yıl boyunca etkisini görebilmek yarar sağlayacaktır. Sadece kütlenin açısı ve yönü değiştirilerek önemli düzeyde sürdürülebilirlikle ilgili geribildirim alınmış olur. En solda kıyaslama/karşılaştırma (Benchmark Comparison) aracı üzerinde ASHRAE 90.1 hedefi ve ARCHITECTURE 2030 hedefi görüntülenir. Bu hedeflerle ilgili detaylı bilgiler EK-A da verilmiştir.

İlk analiz değeri (baseline) bu hedeflere göre durumu ve skoru yer alır (Şekil 5.26). Daha sonra her bir faktörde yapılacak değişiklik ve düzenlemeler, bu skalada gerçek zamanlı olarak güncellenmektedir. Skor kartı üzerindeki değer, yapının mevcut ayarlarla ne kadar enerji kullanacağı bilgisini göstermektedir. Düğmenin üzerinde ASHRAE 90 ve ARCH 2030 hedefleri de gösterilir. Böylece yapılan düzenlemeler hem skoru hem de kartın rengini değiştirmektedir. Altta ise küçük üçgen YBM modelindeki ilk ayarlarla yapılan analizi ve sonuçlarını göstermektedir. Bu değer sağa ve sola doğru çekiltilip düzenlenmektedir.

⁹ Faktörler tasarım kartları gibi düşünülebilir. Kartın arkasından farklı optimizasyon ve düzenlemeler yapılır ve tekrar ön yüzü çevrilerek sonuçlar etkileşimli olarak görüntülenmektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, YBM süreci içinde tasarımın erken evrelerinde enerji analizleri için oldukça uygun bir ortam olduğu görülmüştür. İlk eskizler ve kavramsal modeller çıkmaya başladığında, analizlere de başlanabilmektedir. Revit yazılımında kavramsal aşamada tasarım esnekliği taşıdığı gözlenmiştir. Bu esneklik ve özgürlük, mimarların istedikleri bir özelliktir. Örneklem üzerinde yapılan 11 ayrı alternatif çalışmanın ve bunlardan oluşturulan enerji modellerinin, hızlı şekilde ve farklı bir uzmana/uzmanlığa ihtiyaç duymadan gerçekleştirildiği görülmüştür. Tasarım bağlamı içinden ayrılmadan ve yaratıcı süreci kesintiye uğratmadan, enerji etkin tasarım kapsamında analizler yapılarak, bunların sonuçlarını değerlendirilip, hızlı şekilde tasarım değişikliklerine gidilebildiği anlaşılmıştır. Yaratılan kavramsal modellerin, en basitten en karmaşık olana kadar kolayca enerji modellerine dönüştürülebildiği (ASHRE-90'a göre otomatik zonlama yapılarak) görülmüştür. Enerji analizinde kullanılacak malzeme bilgileri, iklim verileri Revit içinden doğrudan alınabilmektedir. Modelleme süreleri, modellerin enerji modeline çevrilmesi ve analiz süreleri de tasarım sürecini bozmayacak ve kopmalara yol açmayacak ölçüde hızlı gerçekleştirildiği gözlenmiştir. Ayrıca mimari tasarım kararı destek sistemi olarak, tüm analiz sürecinin oldukça kolay ve anlaşılabilir olduğu görülmüştür. Bu konuda sonuçların değerlendirilebilmesinde uzmana veya uzman bilgisine gerek duyulmaması büyük kolaylık sağlamaktadır.

Insight optimizasyon araçları sayesinde alınacak önlemlerin bina sürdürülebilirliğine ne türde ve ne kadar katkı sağlayabileceği gerçek zamanlı olarak görülebilmesi önemlidir. Bu haliyle YBM sürecinde, erken tasarım ortamı içinde analizler yapılması ve sonuçların hızlı şekilde alınması, değerlendirilmesi, tasarım sürekliliğinin korunması, sonuçların tasarıma tekrar girdi olarak yansıtılması aşamalarında akıcı bir sürecin bulunduğu anlaşılmıştır.

YBM desteğinde sürdürülebilir yapılar elde etmek için, erken tasarımda ve ilerleyen proje aşamalarda neler yapılabileceğini görülmüştür. Bu iş akışı, tasarımcıya çok

yardımcı olabilecek bir tasarım karar destek sistemidir. Büyük bir potansiyel ve önem taşımaktadır.

Tasarım mimarlar için hayati öneme sahiptir. Tasarım bir süreçtir ve aşamaları vardır. Proje de aynı şekilde aşamalara sahiptir. Belli bir teslim tarihi konmadıkça tasarım yaşar, gelişir, değişir, evrilir. Bunu durdurmak ve “tamam” diyebilmek ya tasarımı yapana bağlıdır. Ya da dışarıdan alınan sınırlamalar ve hedefler bu sınırı belirler. Tasarım süreci mimari açıdan kesintiye uğradığında yaratıcı süreç bozulur. Mimar bu yaratıcı süreçte tasarım kararlarını destekleyecek sistemleri, araçları ve imkânları tasarım süreci içine yedirerek uygulayabilmelidir. Eğer herhangi bir sistem araç veya yöntem, mimarın beyin, el ilişkisinin bozacak bir yapıda olursa bu çoğunlukla ya kabul görmez ya da kendiliğinden zaman içinde kaybolur. Öğrenmesi ve uygulaması çok kolay olursa mimar, yazılımı (aracı) nasıl kullanacağını düşünmez. Tıpkı, kalem nasıl kullanacağını düşünmemek gibi. Mimar kalem nasıl kullanacağını zaten bilir. Bu durumda yaptığı işe odaklanabilir. Tasarım kararı destek sistemleri de aynı şekilde düşünülebilir. Eğer süreç içine yeterince giremiyorsa veya sokulamıyorsa, iş akışları kesintilere uğrayacağı için kabul görmesi zorlaşmaya başlar.

Günümüzde uygulanmaya çalışılan veya uygulanmakta olan enerji performans benzetim işleri, mimari tasarım süreci ve enerji uzmanlarının/danışmanlarının sürece etki ve katkıları ile mimarın tasarım sürecine “paralel yürüyen”, “yanında olan” bir destek şeklinde olması tasarım sürecini verimsiz hale getirmektedir. Benzer şekilde analiz sürecinin “dışarıdan mühendis ve uzman desteği” şeklinde olması gibi durumlarda mimari tasarım sürecini kesintiye uğratıp verimsizleştirmekte ve uygulama olanağını azaltmaktadır. Geleneksel süreçte mimari iş akışına paralel ilerleyen sürecin, YBM yaklaşımında daha fazla mimari üretim süreci içine girebildiği yapılan incelemelerde açıkça gözlemlenmiştir.

Günümüzde henüz yeterince yaygınlaşmamış olsa da, YBM yaklaşımının önemli kararların alındığı, mimari tasarım sürecinin içinde olup, hatta bir çeşit omurga görevi üstlenmesinin daha doğru bir yaklaşım olduğu görülmüştür. Güncel gelişme ve teknolojilere bakıldığında alışılmış, BDT süreçlerinin yerini YBM süreçleri aldığı görülmektedir. Mimari tasarım desteği, sisteminin sürecinin akışkanlığını, hızını, kesintisizliğini bozmayacak şekilde olmalıdır. Ayrıca kolay anlaşılabilir değerlendirilebilecek, geri dönüşlere olanak verebilecek bir yapıda olması gerektiği anlaşılmaktadır. YBM ortamında, enerji/simülasyon yazılımlarının tasarım sürecinde

tam bütünleşik olduğu bir sistemde, mimarın tasarım kararı desteğini, optimizasyonlarla sağlayabildikleri görüldü.

Dünyada yaşanan iklim sorunlarının insan kaynaklı olduğu ve yine bu sorunun ancak insanlar tarafından çözülebileceği açıktır. Sürdürülebilirlik konusunda önemli olan tüketimi azaltmak ve gerekli olanı -gerektiği kadar- kullanmak olmalıdır.

Bu çalışmada, bina enerji performans değerlendirmesi, güncel benzetim ve analiz araçları incelenmiş ve günümüzde bunları kullananların daha çok bina enerji performansı alanında uzman mühendisler olduğu görülmüştür. İlk ortaya konduğundan günümüze gelişerek ulaşmış ve yetkinliği kanıtlanmış, yapı alanında yaygın kullanılan enerji analiz yazılımlarını kullanmak için analiz öncesi çok fazla bilgi ve veriye ihtiyaç duyulduğu da sonuçlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumda pekçok mimar için başlıca seçenek, yaptığı tasarımı erken evrede “enerji performansını analiz etmesi” için uzman yazılımları kullanan mühendislerle göndermek olmaktadır. Bu durumda mimar ve mühendisin birlikte çalışmaları ve daha fazla koordinasyon halinde tasarım yapmaları gerekmesine karşın, gerçek durum bunun tam tersidir. Tasarımın en başında, kütsel çalışma modelleri ve tasarımını mühendise analiz için gönderen mimarlar ise konuyla ilgili uzman mühendislerden genellikle; (i) Tasarımın olgunlaştırılması gerekliliği, (ii) Proje ve çevresi hakkında mühendise daha fazla bilgi (örneğin malzeme, renk, elektrik ve mekanik sistem gereksinimleri, taşıyıcı sistem ve ekipman seçimleri, doluluk-boşluklar, kesin mimari ölçüler...) verilmesi, (iii) Bu aşamada mevcut bilgiler ve verilerle analiz programının doğru sonuç veremeyeceği, şeklinde geri bildirimler yapılmaktadır.

Mühendislerin bu tür yaklaşımı ve alışkanlıkları, mimarın uygulama projeleri hatta imalat dokümanları çıkması aşamasına (çok geç kalınmış bir aşama) kadar çevresel ve enerji etkin sürdürülebilir stratejileri kullanma fırsatını ve tasarımını yönlendirme şansını ortadan kaldırmaktadır. Mimar, sürdürülebilirlik kapsamında “pasif tasarım stratejilerini” uygulamaya kalksa bile bunları ölçüp değerlendirebilecek bir karar destek ortamı/sistemi ve programları bulamamaktadır. Mimari pasif tasarım stratejileri daha çok “kavramsal tasarım”, “avan ve ön proje” aşamalarında kullanılabilirse, enerji etkin ve sürdürülebilir bina elde etme olanağı kayda değer şekilde artacağı açıktır.

Yapılan çalışma kapsamında, tasarım ve tasarım ile ilgili sorunların bulunduğu görülmüştür. Bu sorunların içinde çalışma alışkanlıklarının da olduğu tespit edilmiştir.

Enerji etkin tasarımıda, “bütünleşik çalışma”, “multidisipliner çalışma” ve “koordinasyon içinde çalışma” gibi çok önemli konuların analiz sürecini destekleyeceği anlaşılmıştır. Mimari tasarımın erken aşamalarında yalnız başına çalışmaya ve tasarım yapmaya alışkın mimarın bu yeni tür birlikte çalışma sürecine uyum sağlamasının da kolay olmadığı anlaşılmıştır.

YBM süreçlerinin bu koordinasyon içinde ve ekip olarak çalışma sürecini desteklediği de çalışma sırasında yapılan incelemelerde görülmüştür. YBM ile ilgili bölümde bu konudaki sistem ve araçların inşaat sektörüne önemli süreç ve iş akışı değişikliklerine yol açtığı/açacağı anlaşılmıştır.

Örneklem bölümündeki sonuçlara bakıldığında, yaygın kullanılan YBM yazılımı olan “Revit” içinde, kütleli mimari tasarım çalışmalarının çok esnek ve hızlı şekilde yapıldığı görülmüştür. Bu aşamada enerji analizlerinin Revit dışına çıkmadan Insight yazılımı ile yapılabildiği anlaşılmıştır. ASHRAE gibi standartları kullanan, kabul görmüş enerji analiz yazılımları olan DOE2 ve EnergyPlus’ın Revit içinde Insight yazılımı aracılığı ile kullanıldığı tespit edilmiştir. Erken aşamada yapılan analizler ve elde edilen sonuçların değerlendirilebilmesi ve optimizasyonunun yapılabilmesi çok önemli görünmekte ve gelecek vaad etmektedir.

Bir YBM yazılımı olan Revit’in kavramsal tasarım için geliştirilmiş, kütleli elemanlarının (mass) otomatik olarak termal zonlanma yapılabilmesi, endüstri standardı (ASHRAE) veri setlerini kullanması ve doğrulaması yapılmış ve kanıtlanmış DOE 2.2 benzetim motorunu kullanarak tüm bina termal ve enerji simülasyonu yapabilmesi çok önemli görülmektedir.

Insight enerji analizinin amacı, basitçe çok hızlı bir “doğru yolda yürümek için” performans göstergesi sağlamak, karar desteği olarak kullanmak, kilit faktörleri tanımlamak ve en azından mümkün olan en erken tasarım aşamalarında, sorumlu ve ilgili paydaşlarla enerji performansı hakkında iletişimi biraz daha artırmak ve kolaylaştırmaktır.

Geleneksel analiz sürecinde alışılmış ve elle oluşturulan, emek yoğun ve hataya açık enerji modeli geometrisi yaratma işi, bugünün enerji analizinde en çok zamanı alan, en sıkıntılı konu olduğu anlaşılmış ve birçok tutarsızlığın da kaynağı olduğu görülmüştür. Bu konudaki otomasyon, zaman kazanma ve sonuçların tekrar edilebilirliği açısından heyecan vericidir.

Tasarımcının amacı özellikle tasarımın başında net sonuçlar elde ederek, hedefe varmak yerine, daha yaklaşık sonuçlarla ilerlediği yolda daha emin ve doğru kararlarla ilerlemesini sağlamak olmalıdır. İncelemede, makul varsayımlar yapılabilir ve mevcut en iyi bilgilere dayanarak, üzerinde çalışma yapılan konulara (bina formu, oryantasyon, cam ve opak malzemelerin seçimi vb.) odaklanabilir ve çevresel faktörleri fırsatlara çevirmek için zaman kazanılıp tasarım kararı desteği için kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Insight analizlerinin bulut tabanlı olması analizler için hesaplama yoğun işlerde bilgisayarların bu işe bağlanmasını ortadan kaldırdığı görüldü. Bulut tabanlı analizlerin daha hızlı yapılabildiği de inceleme sonuçlarına bakınca anlaşıldı. Bu aynı zamanda çok daha fazla alternatifin denenebileceği anlamına da gelmektedir.

Yapı tasarımına başlayan mimarlara, tasarımda karar alma destek sistemi olarak YBM yazılımları ve enerji performans yazılımlarının kavramsal tasarım aşamasında tam bütünleşmiş olması vazgeçilmez önemdedir. Erken aşama tasarım sürecinde mimarın diğer uzman disiplinlerin desteğine ihtiyaç duymadan ya da en az ihtiyaç duyarak, tasarımını tamamlaması hedef olmalıdır. Böylece mimarlar ve diğer disiplinlerdeki mühendisler aynı/ortak dili konuşacak ve erken dönem tasarım aşamasında iletişimsizlikler önlenilecek ve gerçek anlamda sürdürülebilir tasarımlar yapılabilecektir.

Yapılan bu çalışmanın benzerleri, gelecekte diğer YBM yazılımları ile yapılabilir. Ele alınan enerji analizi ve performansı konusu yerine başka sürdürülebilirlikle ilgili performans başlıkları seçilerek çalışmalar tekrarlanabilir veya yeni çalışmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Abdelmohsen Ş.M.A.**, (2011). *An Ethnographically Informed Analysis Of Design Intent Communication In BIM-Enabled Architectural Practice* (Doktora Tezi) ProQuest Dissertations and Theses veri tabanından erişildi. (UMI No. 3484051) Atlanta: Georgia Institute of Technology
- Ademoğlu, Ş. Ş.** (2005). *Binaların İklimlendirme Sistemlerinde Simülasyon Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- AECbytes Special Report.** (2007) *Top Criteria for BIM Solutions: AECbytes Survey Results*
<https://web.archive.org/web/20071012143340/http://www.aecbytes.com/feature/2007/BIMSurveyReport.html> sitesinden alındı.
- AIA California Council.** (2007 v.1). *Integrated Project Delivery: A Guide*. California: AIA National ve California Council.
- Alvarado, A.M.O.** (2011). *Unified Framework For Construction Project Integration and Its Potential Association With Project Performance*. Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- ARCHICAD.** (9 Temmuz 2019). *GRAPHISOFT EcoDesigner for ArchiCAD - Workflow* [Video dosyası]. Erişim adresi <https://www.youtube.com/watch?v=NFdOPy4XZKE>
- ASHRAE HANDBOOK.** (2017). *Fundamentals SI Edition*. Atlanta: ASHRAE, Inc.
- Autodesk.** (2005). *Building Information Modeling for Sustainable Design*. Autodesk Revit White Paper.
- Autodesk.** (2019, 08 02). *Weather Data in GBS. Autodesk Building Performance Analysis* Help: http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/?guid=GUID-66C3DCAE-B45D-4BFA-9916-9F1CD83FC9EF adresinden alındı
- Autodesk Building Solutions.** (2019, Ağustos 15). *Building Information Modeling: A Key to Performance-Based Design*. Autodesk White Paper from DAM: <http://cad.amsystems.com/products/docs/revit-architecture-2008-bim-key-to-performance-based-design.pdf> adresinden alındı
- Autodesk By Stuart Malkin.** (2009). *Weather Data for Building Energy Analysis*. Autodesk Green Building Studio.
- Autodesk DAM Team.** (2010, Ekim 28). *Autodesk BIM Solutions | Usage areas. Digital Asset Management (DAM)* : <https://dam.autodesk.com/> adresinden alındı
- Autodesk Help.** (2018, Mayıs 17). *About Building Maker*. Autodesk Knowledge Network: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Revit-Model/files/GUID-297D6643-A574-4726-BF0C-17503F9B90C6-hm.html> adresinden alındı

- Autodesk University.** (2019, Ağustos 15). *Powering BIM—Capitalizing on Revit for Building Energy Modeling.* Autodesk: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Powering-BIM-Capitalizing-Revit-Building-Energy-Modeling-2017> adresinden alındı
- Autodesk Enerji Modeli Oluşturma.** (2009). *Dokümantasyon Olmadığı Durumlarda Performans Analizi İçin Binanın Mevcut Koşullarını Belirleme.* İyileştirme Projelerinde Enerji Modelleme Eğitim. Autodesk, Inc.
- Autodesk Help Center 01.** (2019, Ağustos 12). *How Illuminance Rendering Works in Revit.* Autodesk Building Performance Analysis - Help: http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/?guid=GUID-C6C58987-9C00-4338-B6A6-B5C9864574B8 adresinden alındı
- Autodesk Help Center 02.** (2019, Ağustos 13). *How Whole Building Energy Simulation Works .* Autodesk Building Performance Analysis: http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/?guid=GUID-30BE9353-50D0-4EA9-83C3-B40F74721A29 adresinden alındı
- Autodesk Inc.** (2008). *Autodesk Green Building Studio.* Autodesk Q&A Whitepaper. www.autodesk.com/greenbuildingstudio.
- Autodesk Inc.** (2008). *Extending Renovation for Sustainability. Autodesk Digital Asset Manager System Data.* Autodesk DAM.
- Autodesk Inc.** (2005). *Sürdürülebilir Tasarım İçin BIM* (Autodesk Revit White Paper). (Autodesk Digital Asset Management System, Autodesk-DAM) http://images.autodesk.com/latin_am_main/files/bim_for_sustainable_design_oct08.pdf
- Autodesk Insight Team .** (2019, Ağustos 12). *Frequently Asked Questions.* Amazon Simple Storage Service (Amazon S3): <https://s3.amazonaws.com/gbs-prod-faq/Insight+FAQs.pdf> adresinden alındı
- Autodesk Research Toronto.** (2019, 08 01). Youtube. *Autodesk Research:* https://www.youtube.com/channel/UC5eDbWA__4auvubi911Gkrw adresinden alındı
- Aydın, U. ve Volpintesta, P.** (2013). *BIM – Building Information Modeling: Yapı Bilgi Sistemi Nedir?* (PowerPoint slides 43) Autodesk sunumundan alındı. (Autodesk Digital Asset Management System, Autodesk-DAM)
- Aydın, U.** (2010). *Bilgisayar Destekli Yapı Tasarımı ’ndaki Teknolojik İlerlemeler ve Autodesk Çözümleri. “Bina yaşam döngüsü ve BIM”* (s. 5-9). İstanbul: Sayısal Grafik.
- Aydın, U.** (2012, 02 29). *Yapı Bilgi Sistemi.* Sayısal Grafik: <http://www.sayisalgrafik.com.tr/yapi-bilgi-sistemi.aspx> adresinden alındı.
- Azam Khan, R. A.** (Prodüktör), & Solutions, A. B. (Yöneten). (2010). *Project Dasher for Building Performance* [Film]. 08 02, 2019 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=5cUmMprdklQ> adresinden alındı

- Baykal, G. ve Aydın, U.** (2019). *Revit Architecture 2019 (1. Baskı.)*. İstanbul: Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri.
- Baykal, G., & Aydın, U.** (2014). *Revit Architecture İleri 2013*. İstanbul: Pusula Yayıncılık.
- BIMforum.** (2019, 07 11). *Level Of Development Specification*. BIMforum The USChapter of BuildingsSMART International: <https://bimforum.org/lod/> adresinden alındı.
- BillV.** (2019, 09 10). Vectorworks Forum. *Using The Energos Module*: <https://forum.vectorworks.net/index.php?/topic/48519-using-the-energus-module/> adresinden alındı.
- Bonandrini, Sylvain & Cruz, Christophe & Nicolle, Christophe.** (2005). *Building lifecycle management*. ResearchGate (ResearchGate is the professional network for scientists and researchers) 20 Temmuz 2019 tarihinde <https://www.researchgate.net/publication/229020941> adresinden erişildi.
- BLM.** (2019) 22 Temmuz 2019 tarihinde <https://www.petefowler.com/blm> adresinden erişildi.
- Butts, D.** (2016). *MEP19638 - Powering BIM—Capitalizing on Revit for Building Energy Modeling*. Autodesk University 2016. Las Vegas: Autodesk.
- Cheng, J. C., & Ma, L. Y.** (2013). *A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning*. Waste Management, 1539-1551. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13000068> adresinden alındı.
- Clarke, J. A.** (2001). *Energy Simulation in Building Design (2nd Edition b.)*. Oxford, Great Britain: Butterworth-Heinemann.
- DesignIntelligence Survey, D. T.** (2010). *The benefits of BIM for the AEC industry*. Autodesk University 2010 (s. 1). Las Vegas: Autodesk Inc.
- Design.** (2019). 25 Temmuz 2019 tarihinde <http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvRGVzaWduI2NpdGVfbm90ZS0x> adresinden erişildi.
- Dixit, V.** (2019, 09 10). Autodesk Knowledge Network. *Revit 2017: Optimize Building Performance Outcomes*: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/simplecontent/content/revit-2017-optimize-building-performance-outcomes.html> adresinden alındı.
- Doherty, G. E.** (2009). *How BIM and Integrated Practice May Change Architectural, Engineering, and Construction Education*. Yüksek Lisans Tezi, University of Wyoming, Laramie, USA.
- Eadie, R., Odeyinka, H., Brone, M., McKeown, C. Ve Yohanis, M.** (2014). *Building Information Modelling Adoption: An Analysis of the Barriers to Implementation*. Journal of Engineering and Architecture, 77-101.

- EcoDesigner STAR.** (2019). 12 06 2019 tarihinde https://www.graphisoft.com/archicad/ecodesigner_star/ adresinden erişildi.
- Egger, S.** (2019, Ağustos 13). *Introducing Autodesk Insight 360*. Insight Blog: <https://blogs.autodesk.com/insight/introducing-autodesk-insight-360-2/> adresinden alındı
- Engin, N.** (2012). *Enerji Etkin Tasarımda Pasif İklimlendirme: Doğal Havalandırma*. Tasarım Mühendisliği sayı 129, 62-63-64.
- Erbil, Y.** (2009). *Mimarlık Öğretim Programının Yapısı ve Öğretimde Kullanılan Farklı Yaklaşımlar*, Yapı Dergisi, Sayı:335 sayfa:61-62
- ESS - AX300.** (2019). 12 Mart 2019 tarihinde <https://www.allplan.com/en/supporting-solutions/ess-ax3000/> adresinden erişildi.
- Esin, N.** (2008). *Seçenek Ömrü Uzadır, "Tasarlamada seçenek üretmenin önemi üzerine düşünceler"*. mimar.ist dergisi yıl:8 sayı:28 sayfa:14
- European Commission.** (2019) *Energy performance of buildings*. 25 Temmuz 2019 tarihinde <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings> adresinden erişildi.
- Genç, M.** (2019, 11 4). İklim Nedir. nedir.org: <http://iklim.nedir.org/> adresinden alındı.
- Gezer, N. A.** (2003). *The Effects Of Construction Materials On Thermal Comfort In Residential Buildings; An Analysis Using Ecotect 5.0*. (Y. L. Tezi, Dü.) Ankara: The Middle East Technical University.
- Gielingh, W.** (1988). *General AEC reference model (GARM) an aid for the integration of applicationspecific product definition models*. 27 Ağustos 2019 tarihinde https://www.researchgate.net/publication/273126714_General_AEC_reference_model_GARM_an_aid_for_the_integration_of_application_specific_product_definition_models adresinden erişildi.
- Gibson, T.A.** (2003). *Daylighting Software Validation Study and Development Of A Simplified Method To Predict The Energy Impacts Of Facade Design and Daylighting Control In Private Offices*. Yüksek Lisans Tezi, Texas A&M University, Texas, USA.
- Graphisoft.** (2019, 09 10). Graphisoft Help Center. *Energy Analysis Applications* : <https://helpcenter.graphisoft.com/user-guide/73254/> adresinden alındı.
- Güleç, D.** (2007). *Bina Enerji Performans Simulasyonunun Mimari Tasarım Stüdyosuna Entegrasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Haksar, R.** (2010) *An Investigation Into A Visual Framework And Workflow Integrating Building Information Modeling And Energy Simulation Software In The Early Design Stage*. Yüksek Lisans Tezi, The Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA
- Heller, B. G.** (2008, 05 30). *Red Business, Blue Business. If architects do not take the leadership role on integrated practice, they will cede this turf*. DesignIntelligence, s. 5.

- Heller, B. G.** (2006, 06 15). *Integrated Processes in Building Construction A Leadership Opportunity for the Federal Sector*. DesignIntelligence, s. 2-9
- Hamil, S.** (2019,07,02). *Industry Foundation Classes*. Wikipedia: <http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvSW5kdXN0cnlfRm91bmRhdGlubl9DbGFzc2Vz> adresinden alındı.
- HAMZA, N., & HORNE, M.** (2007). *Building Information Modelling: Empowering Energy Conscious Design*. 3rd Int'l ASCAAD Conference on Em'body'ing Virtual Architecture (s. 1-10). Alexandria: ASCAAD-07, Alexandria, Egypt.
- Harputlugil, G. U.** (2009). *Enerji Performansı Öncelikli Mimari Tasarım Sürecinin İlk Aşamasında Kullanılabilecek Tasarıma Destek Değerlendirme Modeli* (Doktora Tezi) Acamedia Edu veri tabanından erişildi. (Bilim Kodu: 804.1.040) Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Harputlugil, G. U.** (2010). *Sürdürülebilir Tasarım Bağlamında Bina Performans Simülasyonunun Önemi ve Autodesk Ecotect Analysis*. Sayısal Grafik 2010 Autodesk Lansmanı (s. 3). İstanbul: Autodesk.
- Harputlugil, G. U.** (2016). *Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri*. Ankara: T. C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Haynes, D.** (2009) *Better Decisions, Better Buildings -Early Energy Analysis*, Autodesk University 2009 Sempozyumu Sunumu. Las Vegas, USA
- Iec School Of Art and Fashion.** (2019, 08 02). *What is Design? IEC Where Designers Are Born*: <https://www.iecsaf.com/design.php> adresinden alındı
- İnam, P. D.** (2019, 08 02). *Teknoloji - Bilim İlişkisinin İnsan Yaşamında Yeri*. Metu Department of Philosophy: <http://www.phil.metu.edu.tr/ahmet-inam/teknoloji.htm> adresinden alındı
- IPMS** (2011). *A Case Study of Bim implementation in Malaysia* (PowerPoint slides 4) IPMS sunumundan alındı. <https://www.slideshare.net/E185/cscm-bim-implementation-in-malaysia-2>
- Issaad, S.** (2019). *Endüstri mühendisliğine dair ipuçları*. ACMSoft Team, www.acmsoft.com Mississauga, Ontario, Canada. <https://www.pinterest.cl/pin/309763280596796691/>
- Jeong, Y.** (2008). *Mediating semantics for multidisciplinary collaborative design* (Doktora Tezi) ProQuest Dissertations and Theses veri tabanından erişildi. (UMI No. 3353378) Berkeley: University of California.
- Krygiel, E.** (2010). *Daylighting Using Revit+3ds Max Design*. Autodesk University 2010 (s. 24). Las Vegas: Autodesk Inc.
- Kumar, S.** (2008). *Interoperability Between Building Information Models (BIM) And Energy Analysis Programs*. (Master Tezi) ProQuest Dissertations and Theses veri tabanından erişildi. (usctheses-m1183) Los Angeles: Faculty Of The School Of Architecture University Of Southern California.

- Künar, A.** (2012). “*Binalarımız; Sertikasyon Çöplüğü Olmasın...*”. 21 Temmuz 2019 tarihinde http://www.yapi.com.tr/Haberler/binalarimiz-sertikasyon-coplugu-olmasin_100042.html adresinden erişildi.
- Künar, A.** (2012). “*Yeşil Kentsel Dönüşüm ve Enerji Etkin Pasif Binalar Yapalım*”. 26 Ağustos 2019 tarihinde http://www.yapi.com.tr/haberler/yesil-kentsel-donusum-ve-enerji-etkin-pasif-binalar-yapalim_102686.html adresinden erişildi.
- Lee, j.** (9 Temmuz 2019). *Allplan Architecture Sketch* [Video dosyası]. Erişim adresi <https://www.youtube.com/watch?v=OHZqs05cVqE>
- Light, D.** (2019, 07 12). *BIM Implementation - HOK buildingSMART*. NBS: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-implementation-hok-buildingsmart> adresinden alındı.
- Lighting.** (2019) Wikipedia. 10 Ağustos 2019 tarihinde <http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTGlnaHRpbmc> adresinden erişildi.
- Lin, S.H.** (2008). *Watt Hall Energy Management System Implementation Initiative*. Yüksek Lisans Tezi, University of Southern California, Los Angeles, USA.
- Littlefield, D.** (2019, 08 28). *Yazılım Yarışında Kim Önde?* Arkitera: <http://v3.arkitera.com/h25014-yazilim-yarisinda-kim-onde.html> adresinden alındı.
- Lucas, J.** (2015, 03 26). *BIM Level-of-Development Drives BIM ROI*. *Draftech Development*: <https://www.draftechdevelopments.com.au/bim-level-of-development-drives-bim-roi/> adresinden alındı.
- MacLeamy, P.** (2019, 07 12). *The Value of early information*. *Eco Lateral*: <https://www.ecolateral.com/the-value-of-early-information/> adresinden alındı.
- Mah, D. E.** (2011). *Framework for Rating the Sustainability of the Residential Construction Practice* (Doktora Tezi) Library and Archives Canada veri tabanından erişildi. (ISBN : 978-0-494-73286-1) Edmonton:University of Alberta.
- Makine Mühendisi,** (2019). “*Average Plumbing Engineer Salary*” 20 Temmuz 2019 tarihinde https://www.payscale.com/research/US/Job=Plumbing_Engineer/Salary adresinden erişildi.
- Mangon, N.** (2004). *What’s New in Autodesk® Revit® 7*. AEC Sales Presentation 2004 (s. 8). Paris: Autodesk, Inc.
- Marathe, S.R.** (2008). *Design2sustain- A Web-Based Resource Suite For Sustainability Designed For Undergraduate Architecture Programs* (Master Tezi) ProQuest Dissertations and Theses veri tabanından erişildi. (UMI No. 1454076) Los Angeles, University Of Southern California.
- Mark Bew, J. U.** (2010). *Delivering BIM to the UK Market*. *J. U. Isikdag içinde, Building Information Modeling and Construction Informatics*:

- Concepts and Technologies* (s. 32). Hershey: United States of America by Information Science Reference (ISBN 978-1-60566-928-1).
- Matta, C.** (2019, Nisan 11). *3D-4D Building Information Modeling*. GSA: <https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling> adresinden alındı.
- Mills, B. S.** (2009). *BIM, Retrofit, And Building Performance Analysis*. Portland: Autodesk, Inc.
- Molloy, I.** (9 Ağustos 2019). *Agile Energy Analysis for Architects - Greenbuild 2015* [Video dosyası]. Erişim adresi: <https://www.youtube.com/watch?v=4Hqgj7EaHIw>
- Molloy, I.** (2012). *Autodesk 360 Energy Analysis for Autodesk Revit: An Introduction to Innovative New Workflows*. Autodesk University 2012. Las Vegas: Autodesk.
- Molloy, I.** (2013). *AB2260 - No Pain All Gain: Autodesk Revit 2014 Automatic Energy Analytical Model Creation and Analysis*. Autodesk University 2013. Las Vegas: Autodesk.
- Mourshed, M., Kelliher, D., & Keane, M.** (2012). *Integrating Building Energy Simulation in the design process*. Cork: National University of Ireland Cork, Ireland.
- Nemetschek.** (2019, 09 10). Allplan. *Performance Highlights Of The Allplan Add-Onax3000 Temperature Simulation* :https://www.allplan.com/fileadmin/user_upload/countries/international/pdfs/products/Data_sheet_ESS_AX3000_Temperature_simulation_EN.pdf adresinden alındı.
- Neufert, E.** (2000). *Yapı Tasarım Bilgisi* (35 b.). (G. TERCÜME, Çev.) İstanbul: BETA Basım Yayım Dağıtım A.Ş.
- NBIMS-US,** (2019, 07 10). *About the National BIM Standard-United States*. National Institute of Building Sciences: <https://www.nationalbimstandard.org/about> adresinden alındı.
- Ofluoğlu, S.** (2016). *BIM ve Sürdürülebilirlik*. İstanbul: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Bölümü.
- Olden, J.** (2012). *Using BIM to Streamline Your Energy Modeling Workflows*. Las Vegas: Autodesk University.
- Osello, A.** (2012). *The Future of Drawing with BIM for Engineer and Architects*. Sicilya-İtalya: Tipografia Priulla.
- Osterwalder, A., Pigneur, Y., Bernarda, G. ve Smith, A.** (2014). *Value Proposition Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Özkan, E.** (2008). *Mimarlık Alanında Öğretim-Öğrenim* mimar.ist dergisi sayı:27 yıl:8 sayfa:70-71-73
- Özener, O. Ö.** (2009). *Studio Education For Integrated Practice Using Building Information Modeling*. (Doktora Tezi) ProQuest Dissertations and Theses veri tabanından erişildi. (UMI No. 3400797) Texas: Texas A&M University.

- Prabhu, V.** (2010). *Techniques For The Mediation Of Heritage Preservation vs. Building Performance*. Yüksek Lisans Tezi. Ontario, Ottawa, Kanada: Carleton University.
- Rees, W.E.** (1990). “*The Ecology of Sustainable Development*”, *The Ecologist*, Vol. 20, N.1, s. 18-23.
- Roberts, D.V.** (1994). “*Sustainable Development – A Challenge for the Engineering Profession*”, in *The Role of Engineering in Sustainable Development*, (Ed.) M. Ellis, American Association of Engineering Societies, Washington DC., s. 44-61.
- Sabol, L.** (2007). *Technology, Change, and the Building Industry*. *Real Estate Review*, 3-12.
- Sakıncı, E.** (2009). *Sürdürülebilir Yapılar*. Bilgisayar Destekli Yapı Tasarımında Teknolojik İlerlemeler ve Autodesk Çözümleri Semineri (s. 15). İstanbul: Sayısal Grafik.
- Savaşkan, M. O.** (2015). *Yüksek Enerji Performanslı Konut Yapıları İçin BIM Tabanlı Bir Açık Kaynak Bilgi Sistemi Modeli*. İstanbul: İTÜ.
- Sev, A.** (2009). *Sürdürülebilir Mimarlık*, YEM Yayın, İstanbul.
- Stine, D.** (2019, Ağustos 13). *Building Performance Analysis in Revit 2016 R2 with Autodesk Insight 360*. AECbytes: <http://www.aecbytes.com/tipsandtricks/2015/issue76-revit.html> adresinden alındı
- StroyProektKonsalting ve Cloud66** (2019). “*What is BIM?*” <https://spc-project.ru/about-bim-eng/> sitesinden alındı. “Adding databases to your existing stacks” <https://blog.cloud66.com/adding-databases-to-your-existing-stacks/> sitesinden alındı.
- Structural engineer: job description.** (2019). 21 Temmuz 2019 tarihinde <https://targetjobs.co.uk/careers-advice/job-descriptions/279117-structural-engineer-job-description> adresinden erişildi.
- Tesisat Teknik Bülteni.** (2007). 8760 Saatlik Bina Enerji Analizi. tesisat.org, 1-4.
- Tmmob,** (2011). *TMMOB Mimarlar Odası Mimarlık Hizmetleri Şartnamesi Ve En Az Bedel Tarifesi. 2. Bölüm, Mimari Proje Hizmetleri İş Aşamaları* (Ek Tablo 1) s.4-7 TMMOB Mimarlar Odası, Ankara
- Trehen, J-P.** (2008). *Going to BIM* (PowerPoint slides 8) Autodesk sunumundan alındı. (Autodesk Digital Asset Management System, Autodesk-DAM)
- TS 825.** (2009). *TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- Ulukavak, G.** (2001). *Bina Simülasyon Programları Ve Enerji Performans Değerlendirmesi* (Yüksek Lisans Tezi) Acamedia Edu veri tabanından erişildi. (Bilim Kodu: 5001011) Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Vectorworks.** (9 Temmuz 2019). *The Power of 3D Modeling with Vectorworks Software* [Video dosyası]. Erişim adresi <https://www.youtube.com/watch?v=ix0MgtsAY8Y>

- Vorkwerk, A., & Molloy, I.** (2019, Ağustos 10). *Better Design Insight Equals Better Building Performance!* Autodesk University: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Better-Design-Insight-Equals-Better-Building-Performance-2018#handout> adresinden alındı
- Wachowski, L.** [Film: The Matrix-1999]. (16 Ağustos 2019). *Matrix Ajan Smith İnsan türü bir hastalık* [Video dosyası]. Erişim adresi <https://www.youtube.com/watch?v=ZfEhvPzuPnk>
- Walker, S.** (2019). *What is Design?* 19 Temmuz 2019 tarihinde <https://www.asms.sa.edu.au/wp-content/uploads/2016/11/What-is-Design.pdf> adresinden erişildi.
- Wishphysics.** (2019, Ağustos 16). *The Matrix - Ajan Smith: İnsan Türü Bir Hastalık.* alkislarlayasiyorum: <http://alkislarlayasiyorum.com/icerik/273228/the-matrix-ajan-smith-insan-turu-bir-hastalik> adresinden alındı
- Yi, Y. K.** (2008). *Integration of Computational Fluid Dynamics (CFD) And Energy Simulation (ES) For Optimal Energy Form Generation.* Doktora Tezi. Pennsylvania, USA: University Of Pennsylvania.
- Zhao X.** (2009). *An Investigation On Using BIM For Sustainability Analysis Using The Leed Rating System* (Master Tezi) ProQuest Dissertations and Theses veri tabanından erişildi. (UMI No. 14970413400797) California: Faculty Of The Usc. School Of Architecture University Of Southern California



EKLER

EK A: Insight 360

EK B: Enerji ayarları (Energy Settings)

EK C: Revit Kavramsal Tasarım Süreci, Alternatifler ve Enerji Modelleri





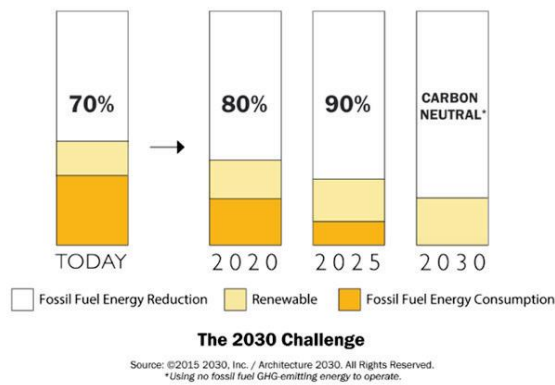
EK A: Insight 360

Mimarlar ve mühendisler, tasarım sürecinde bina performansını giderek daha fazla değerlendirmek zorundadır. Insight, bina çevresel verileri ve enerji performansına ve gelişmiş analiz motorları ile merkezi olarak erişime sahip bir platformdur.

Çift yönlü YBM (Bina Bilgi Modellemesi) entegrasyonu, önde gelen analiz araçlarına doğrudan erişim sağlar. Architecture 2030 ve ASHRAE 90.1 gibi endüstri referans noktalarından gelen rehberlik ve tavsiyeler sayesinde, tasarımcılar bina yaşam döngüsü boyunca daha iyi performans sonuçları elde edebilirler. Otomatik analitik enerji modeli oluşturma, bulut bilişim ile aynı anda milyonlarca potansiyel sonuçlar elde edilerek tasarım kararı desteği için kullanılabilir.

Endüstri ve Ölçümler

Yapı endüstrisinde, iç mekân çevresel kalitesine (konfor / sağlık faktörleri) daha geleneksel odaklanmanın aksine, enerji kullanımına (maliyet / karbon) giderek daha fazla bakılmaktadır. Amerikan Mimarlar Enstitüsü'nün (AIA) Architecture 2030'u destekleme taahhüdü, enerji bilinci ve yapıları çevrede karbon nötr olmanın önemine somut bir destek örneğidir. Yine de, 2013'ten 15'e AIA 2030 Taahhüt imzalayan firmaların ortalama ABB indirimi ile ilgili toplanan ilk verileri, tasarım profesyonellerinin "net sıfır" hedefini gerçekleştirmeden önce çok uzun bir yollarının olduğunu ortaya koyuyor (Şekil A.1).



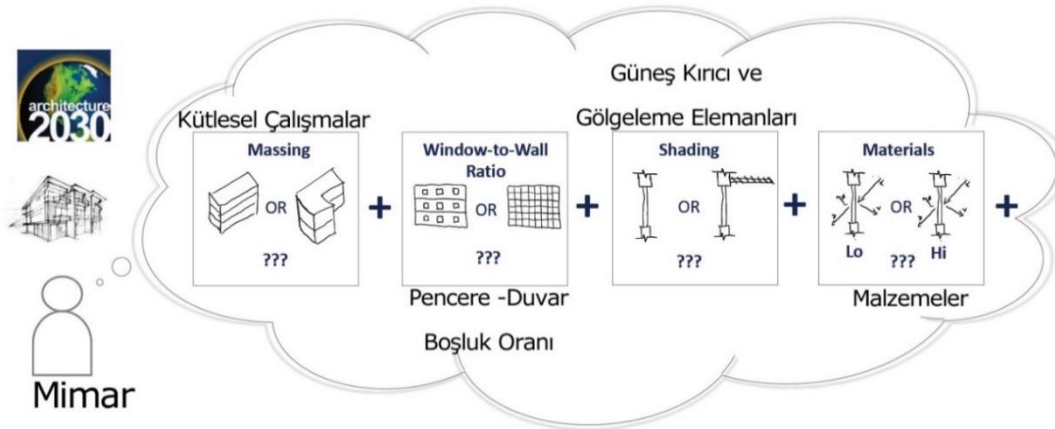
Şekil A.1 : Architecture 2030 Hedefleri.

Binalarda enerji performansını hesaplamak için sayısız araç mevcut olsa da, geleneksel yöntemlerin tasarımcıya zamanında ve tasarım kararı için ihtiyaç duyduğu biçimde bilgi veremeyecek kadar hantal olduğu kanıtlanmıştır. Bunun sonucunda tasarım ekibinin, analiz sonuçlarını yalnızca belirli kritik büyük ölçekli veya üst düzey tasarım kararları alındıktan sonra alabilmeleri yüzünden bina performansını iyileştirme için

çok önemli ve basit uygulanabilir kararları yeterince alamadıkları gözlenebilir. Bu durumda sadece ekipman verimliliğine dayalı, görece pahalı ikincil etkideki özelliklere işin kalmasına yol açar.

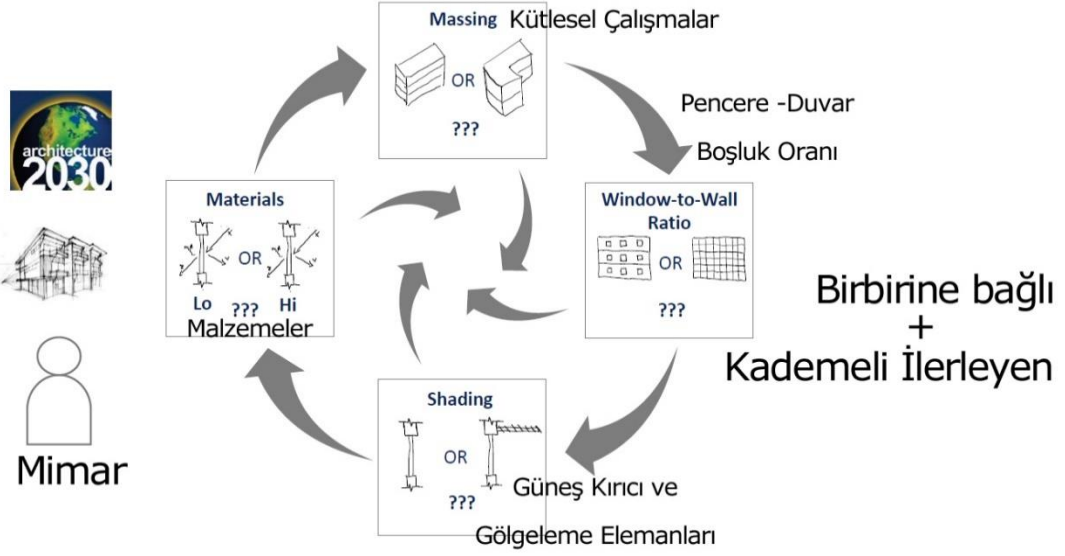
RTC Avrupa 2016 konferansında, Stephanie Egger, “genellikle yapıldığı gibi binanın enerji tüketimini tasarım sürecinin sonunda düşünürsek, performans hedeflerini kaçırmamız muhtemeldir. Bu şekilde çalışmaya devam edilirse, küresel bina enerji tüketiminin % 40'ı üzerinde tasarımcıların ve mimarların herhangi bir etkisi olmayacak. Yapılması gereken, tasarım sürecinin en erken aşamalarında proje performansını kontrol etmeye başlamaktır. Bu erken aşamalarda verilen tasarım kararları, bina enerji tüketimini etkilemek için en kritik olanıdır.” diyor.

Geleneksel enerji analizi yöntemleri, mümkün olan en doğru analizi üretmeye odaklanır. Öncül analizler ve tasarım kararları düşünüldüğünde bu yanlış öncül bir yaklaşımdır. Deneyimli bir tasarımcı, bina kabuğu ve sistemlerini çok yüksek bir doğruluk derecesine göre tasarlayabilir (Şekil A.2).



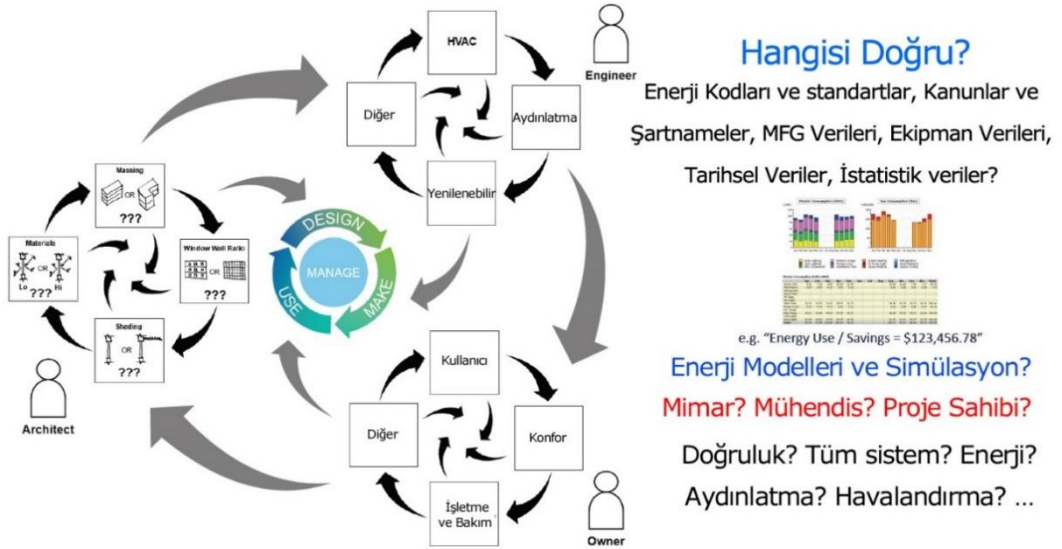
Şekil A.2 : Mimarın Tasarım Kriterleri.

Ancak aynı tasarımcının havalandırma, iklimsel veriler, enerji ve karbon sonuçları, enerji yükleri, zaman içinde bina kullanımını vb. birbirleri ile ilişkili ve birbirini doğrudan etkileyen birçok kriteri aynı anda ve doğru şekilde tahmin etmesi mümkün değildir. Sonuç, en iyi ihtimalle son derece kesin olan ancak içindeki varsayımların doğası gereği yanlış olan bir analizdir.



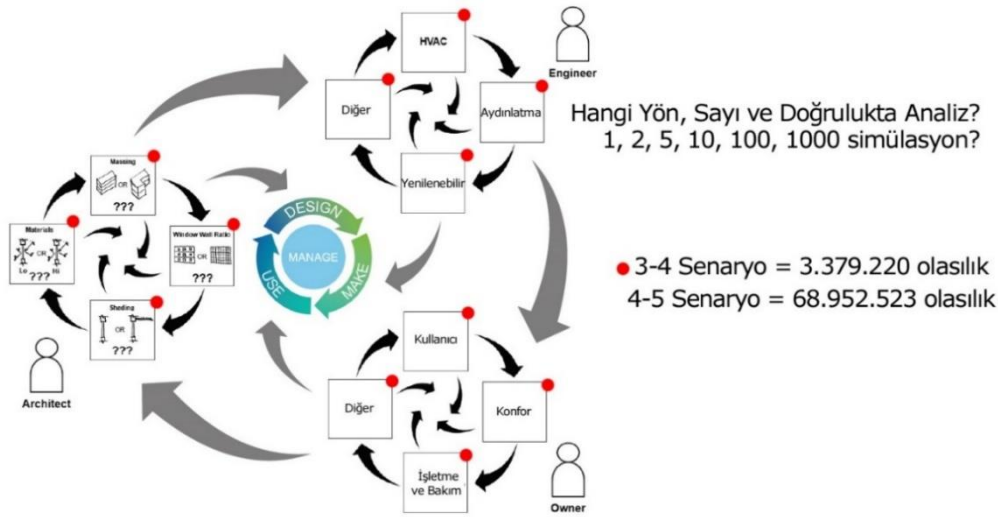
Şekil A.3 : Tasarım Kararlarının Birbirine Etkileri.

Ayrıca, her tasarım kararının diğerleri üzerinde birbirine bağımlı bir etkisi vardır. Tek bir değişikliğin modele etkisi, diğer tüm değişkenlerden ayrı tutularak değerlendirilemez (Şekil A.3). Bu karşılıklı bağımlılık, her bir faktörün çok sayıda simülasyon çalıştırmadan diğerlerine karşı göreceli öneminin belirlenmesini zorlaştırmaktadır (Şekil A.4).



Şekil A.4 : Tasarım Kararları Alan Farklı Paydaşlar.

O zaman, bir tasarımcının elle seçilmiş parametreleri ve az sayıda simülasyonu kullanarak belirli bir tasarım için en uygun faktör kombinasyonuna rastlayabilmesi istatistik olarak mümkün değildir.

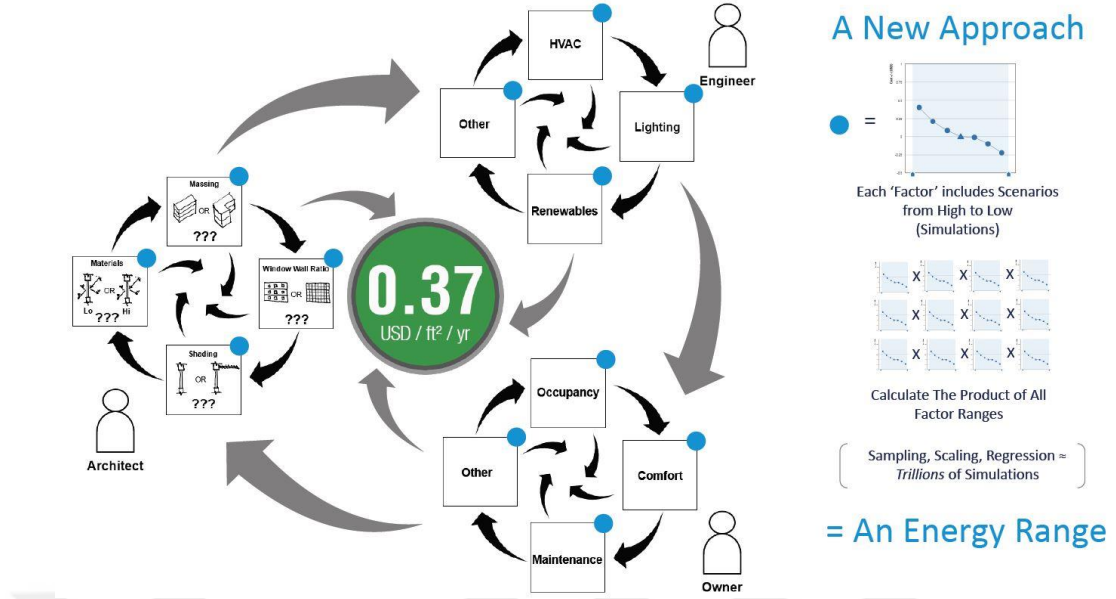


Şekil A.5 : Tasarım Kararları Olasılıkları ve Etkileri.

Her paydaşın birkaç senaryo geliştirmesi durumunda ve bunların birbirlerini etkiledikleri ve değiştirdikleri düşünüldüğünde senaryo sayısına bağlı olarak milyonlarca analiz yapmak gerekmektedir. Autodesk Insight bu soruna yeni bir yaklaşım getiriyor (Şekil A.5).

Insight'ın Sektöre Katkıları ve Farklılıkları

Geleneksel enerji analiz araçları gibi, Insight da hesaplama yapmak için DOE-2 ve EnergyPlus'tan yararlanır. Autodesk'in Green Building Studio ve Ecotect'in satın alınmasından sonra, Autodesk tarafından DOE-2'ye on beşten fazla geliştirmeye katkıda bulundu. 2012'den itibaren Autodesk, EnergyPlus'u FORTRAN'dan C ++ 'ya çevirdi ve yeni kodu tekrar DOE'ye verdi. Autodesk, 2014 yılında bulut bilişim teknolojisini kullanarak, çok daha kapsamlı modelleri çok daha hızlı analiz edebilen EnergyPlus Cloud'u yarattı. Insight, bulut hesaplama yeteneklerinden yararlanır. Green Building Studio web hizmeti Revit'ten dışa aktarılan gbXML dosyalarını alarak manuel olarak yapılacak muhtemel alternatifler için bir temel oluşturmak üzere tek bir çalışmayı analiz eder. Insight, Revit veya FormIt Pro'dan bir düğmeye tıklayarak yüzlerce analiz gerçekleştirir, yaklaşık trilyonlarca analize kadar istatistiksel regresyon analizi gerçekleştirir ve makine öğrenmesi (machine learning) kullanılarak ek bilgi edinmek için kullanır. Insight, tüm olasılıkları bir kerede etkin olarak değerlendirmek için yukarıda belirtilen muazzam bulut bilişim gücünden yararlanır.

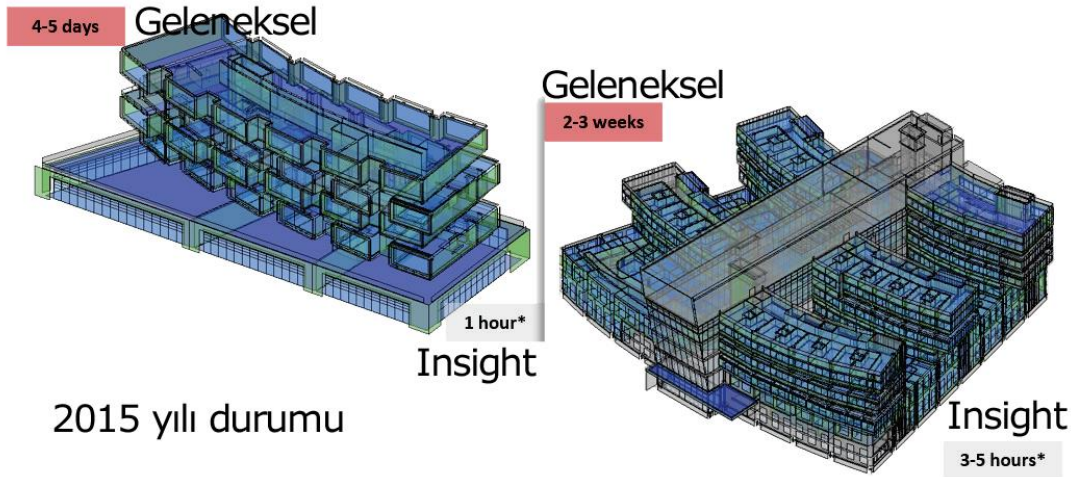


Şekil A.6 : Tasarım Kararları Analizleri ve Sonuçları.

Çoğu geleneksel analiz yazılımı en doğru simülasyonu oluşturmaya odaklanırken, kesinlikle bir tasarımcıya (mimara) en önemli veya faydalı bilgileri sağlamaz. Bunun yerine, Insight, tüm simülasyon faktörlerinden gelen katkılara dayanan bir “Enerji Aralığı” yaklaşımını ortaya koyar. Enerji Aralığı iki şey yapar: Sonuca yöneliktir, binanın performansı ile gerçekten neyin önemli olduğu hakkında anında, görsel geribildirim sağlar ve tasarımcının tasarım kararlarının önemini karşısındakine kolay, etkili bir şekilde iletmesini mümkün kılar (Şekil A.6).

Otomatik Enerji Modeli Oluşturma

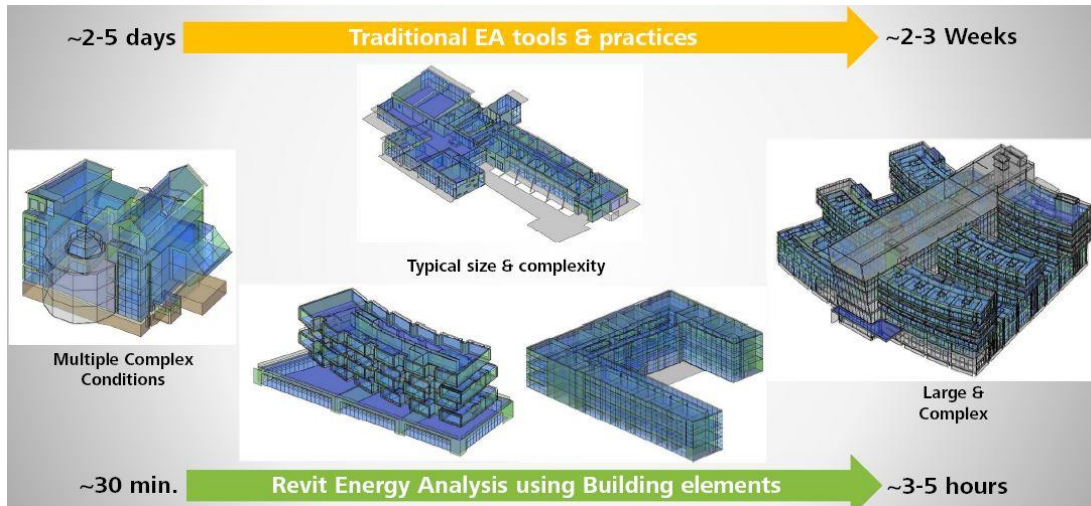
Insight ile ilgili en güçlü özelliklerden biri, otomatik olarak bir enerji analitik model üretme yeteneğidir. İlk olarak Revit 2014’de kullanılmaya başlandı. Revit mahalleri (room ve space) olan ve bulunmayan modeller, kavramsal modeller, yapısal elemanlara sahip modeller ve bu ikisinin karışımına sahip modeller kullanılabilir. Her detay seviyesinde enerji modeli otomatik olarak üretilir. Endüstri standardında bir doğrulukta enerji modelleri üretilmesini çok hızlı bir şekilde sağlar (Şekil A.7).



2015 yılı durumu

Şekil A.7 : Geleneksel ve Insight Enerji Modeli Yaratma Süreleri.

Geleneksel süreçte, enerji analizi tipik olarak karmaşık ve zaman alan bir çaba olmuştur. Temelinde bir enerji analitik model (EAM) yatar. EAM oluşturma hala büyük ölçüde manüel olarak elle yapılan emek yoğun bir iştir. Önceki bölümlerde, YBM'deki ilerlemelerin işbirliği ve verimlilikte önemli kazanımlar sağladığı görüldü. Peki, YBM sürecinde, enerji analitik modeli yaratılması nasıl bir farklılık göster? Revit 2014 versiyonunda gelen Mimari Yapı Elemanlarının (Building Elements Mode) doğrudan kullanabilmesi, EAM oluşturma ve daha sonra da analizleri önemli derecede basitleştiriyor ve standartlaştırıyor (Şekil A.8).



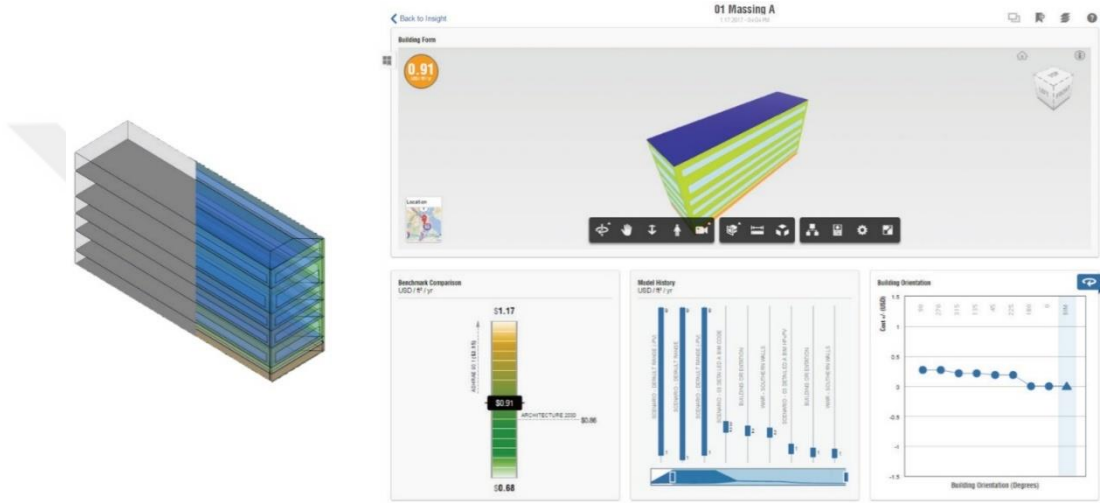
Şekil A.8 : Geleneksel ve Revit Enerji Modeli Üretimi Karşılaştırması.

Otomatik enerji analitik modelleme araçları ve sonuca odaklı “Energy Range” konseptiyle birleştirilmesi tasarımcılara Insight kullanarak geleneksel araçlara göre iki belirgin avantaj sağladı: Enerji analizindeki engelleri etkin biçimde ortadan kaldırarak

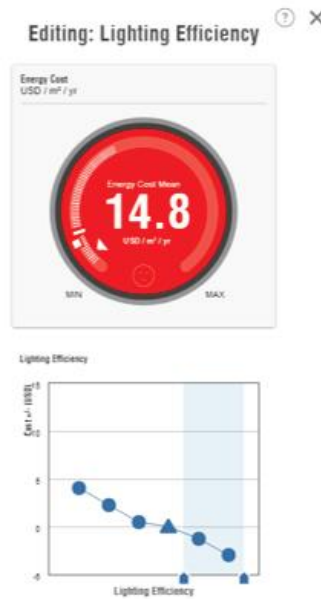
anlamalı sonuçlar elde etmeyi kolaylaştırdı. Ayrıca doğrulanmış ve kapsamlı bir bilgileri hızla sağlayarak ve bu sonuçları uygulanabilir hale getirir (Molloy, 2013).

Enerji Faktörleri

(Orientation-Wall to Window Ratio - Window Shading - Window Glass Properties - Wall Construction - Roof Construction – Infiltration - Lighting Efficiency - Daylighting/Occupancy - Plug Load – HVAC - Operating Schedule - Photovoltaic Options) gibi Energy Use Intensity(EUI) ölçütleri bulunur. Her bir Enerji Faktörü gerçek zamanlı olarak değiştirilebilir (Şekil A.9-A10).

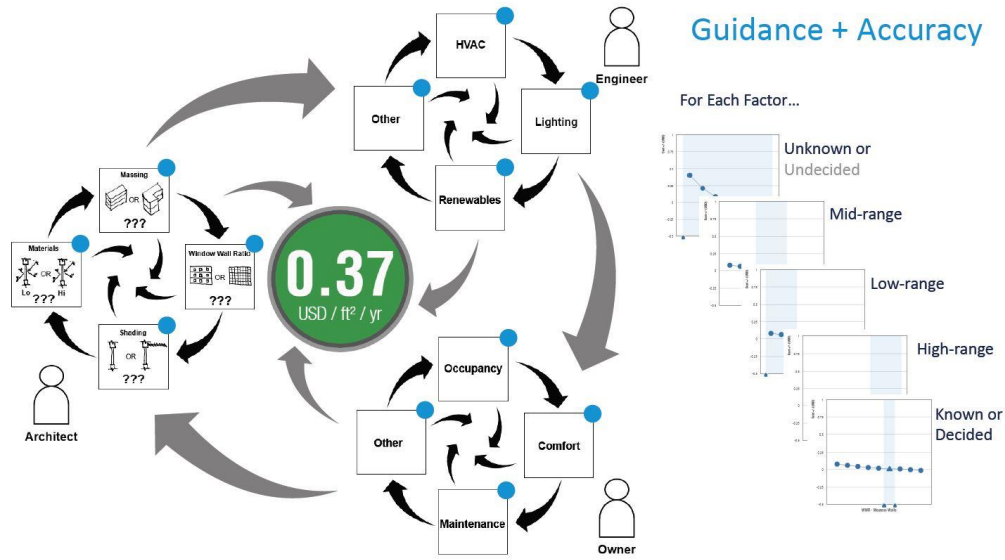


Şekil A.9 : Insight Enerji Faktörleri Ekranı.



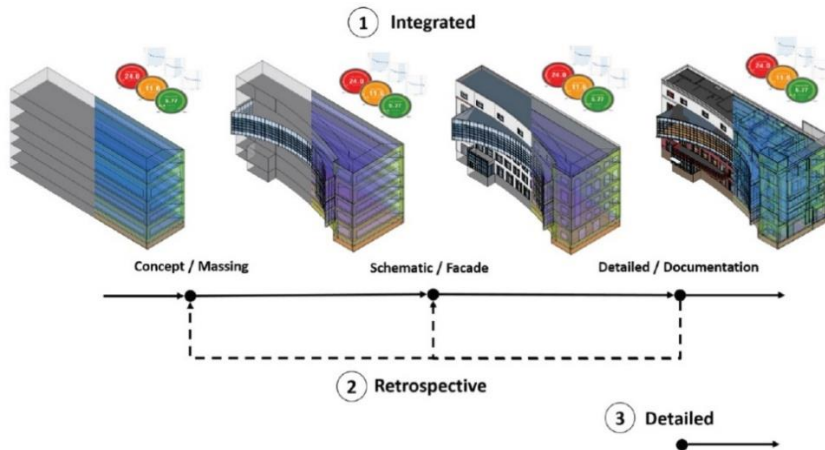
Şekil A.10 : Insight Aydınlatma Verimliliği Faktörü

Örneğin yukarıdaki şekil A.9’da aydınlatma verimliliği ile ilgili faktörün değerleri (Enerji Aralığı - Energy Range) üzerinde oynanabilir. Tasarımcı her bir faktör için benzer şekilde, eğer veri ve bilgi sahibi değilse ya da daha karar vermediyse aralığı hiç değiştirmeyebilir. Altındaki Şekil A-11’de farklı seçenek durumları incelenebilir. Karar verilmiş ve ya bilgi sahibi olunan değer sınırlanıp doğrudan seçilebilir. Ya da orta, yüksek ve düşük aralıklar tanımlanabilir.



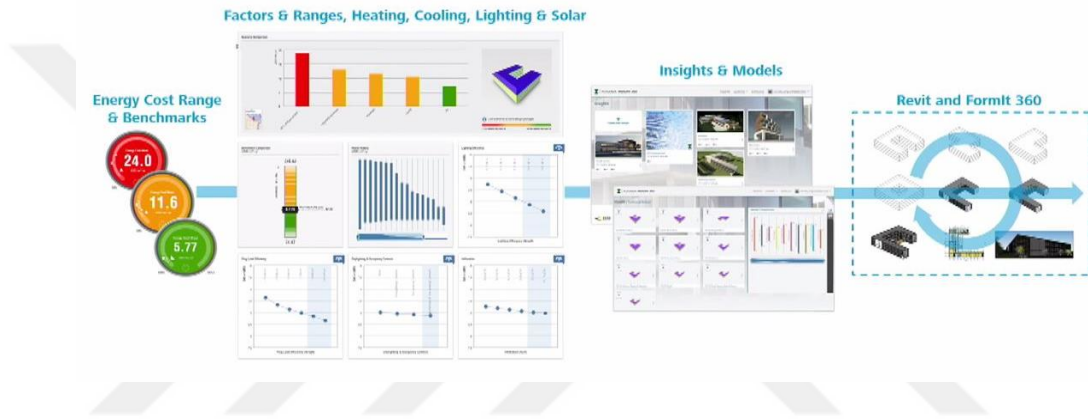
Şekil A.11 : Insight Enerji Aralığı.

Tez kapsamında sadece konsept aşamadaki enerji analizleri kapsam içinde tutulmuştur. Bunun dışında projenin ilerleyen aşamalarında da benzer şekilde daha kapsamlı bilgiler elde edildiğinde analizler yapılmaya devam edilebilir (Şekil A.12) (Vorkwerk & Molloy, 2019).



Şekil A.12 : Insight Enerji Analizi- Farklı Tasarım Aşamaları.

Insight, Greenbuild 2015'te Autodesk tarafından tanıtılan bir bulut tabanlı yazılımdır. Bina yaşam döngüsünün tüm aşamalarında, bina enerji analizi ve çevresel performansını iyileştirecek sonuçlara yola açan eylemleri toplu halde tecrübe etmeyi ve düzenlemeyi sağlar. Karar alma sürecinde öngörüler için kullanılır. Bina tasarım girdilerini olası yüksek ve düşük değerlerini otomatik olarak değiştirerek, yaklaşık +/- %10 doğrulukla yıllık enerji maliyetlerini gerçek zamanlı olarak gösterir. Daha sonra girdiler, performans özellikleriyle ilgili anında geri bildirim almak için ayarlanabilir. Örneğin cam özellikleri, bina konumu, kullanım periyodu, cam/opak yüzey oranları vb. (Stine, 2019).



Şekil A.13 : Autodesk Insight 360.

Insight, Autodesk AEC Generative Design ekibinin bina enerjisini ve çevresel performansını iyileştirmek için geliştirdiği bir uygulamadır (Şekil A.13). YBM ortamına bütünleşik edilen Insight, tasarım sürecinin en erken aşamasında, bina performans verilerini etkileşimli şekilde düzenleme, sorgulama, raporlama ve görselleştirme imkânı sağlar. Bina tasarımı boyunca analiz imkânı vererek, sonuçların değerlendirilmesi ve tasarıma yansıtılmasını sağlar.

Insight, mimarlar, mühendisler, bina enerji ve çevre performansındaki herhangi bir paydaş kullanabilir. Özellikle tasarım sürecinin erken aşamalarında mimarlar için faydalı olsa da, mühendisler ve diğer ilgili paydaşlar da öngörü için kullanabilirler. Revit 2016 sürümü ve üstünde kullanılabilir.

Insight, Green Building Studio'nun - GBS web ara yüzüne giriş yapmak zorunda kalmadan elde ettiği sonuçlarla etkileşime girmenin yeni bir yoludur.

Insight, LEED ve BREEAM gibi sistem dokümantasyonunun düzenlenmesi veya derecelendirilmesi için kullanılabilir. Insight'ın belirli bileşenlerinin, LEED gibi

düzenleme ve derecelendirme sistemleri için dokümantasyon sürecini otomatikleştirip hızlandırabilir. Insight'ın aydınlatma analizi iş akışı, LEED için kullanılabilecek otomatik dokümanlar sağlar. Insight, sertifikasyon danışmanları ve uzmanlarından oluşan paydaşlarla birlikte kullanılarak bütünleşik tasarım süreci kredilerine ulaşmaya yardımcı olabilir (Autodesk Insight Team , 2019).

Insight 360, mimarlar ve diğer ilgili proje ekibinin, bina performans verilerine ve gelişmiş analiz motorlarına merkezi olarak ulaşımına olanak sağlar (Egger, 2019).

Insight Analiz Motoru

Insight, doğrulaması yapılmış, endüstri lideri ve onaylanmış analiz motorlarını kullanır. Revit, FormIt Pro ve Insight ara yüzünden yapılan tüm bina enerji analizleri, bulutta (cloud) çalışan bir DOE-2.2 motorudur. Green Building Studio da "DOE-2.2" kullanır. Bu analiz motoru ve yazılımlar, "ANSI / ASHRAE 140" ile test edilmiştir. Insight ısıtma ve soğutma yükleri de yine ANSI / ASHRAE 140 ile test edilmiş olan "EnergyPlus" kullanılarak hesaplanır.

Aydınlatma ve günışığı analizleri için bulut tabanlı bir motor olan ve çift yönlü ışın izleme (bidirectional ray tracing) teknolojisi ile çalışan Autodesk A360 Rendering'i kullanır. Bu motor "RADIANCE" ve gerçek dünya ölçümleri ile onaylanmıştır (Autodesk Help Center 01, 2019).

Güneş radyasyonu (Solar Radiation) analizleri, optimize edilmiş "Perez Sky" modelini ve "NREL" tarafından test edilip doğrulanan gölgeleme hesaplamasını kullanır (Autodesk Insight Team , 2019).

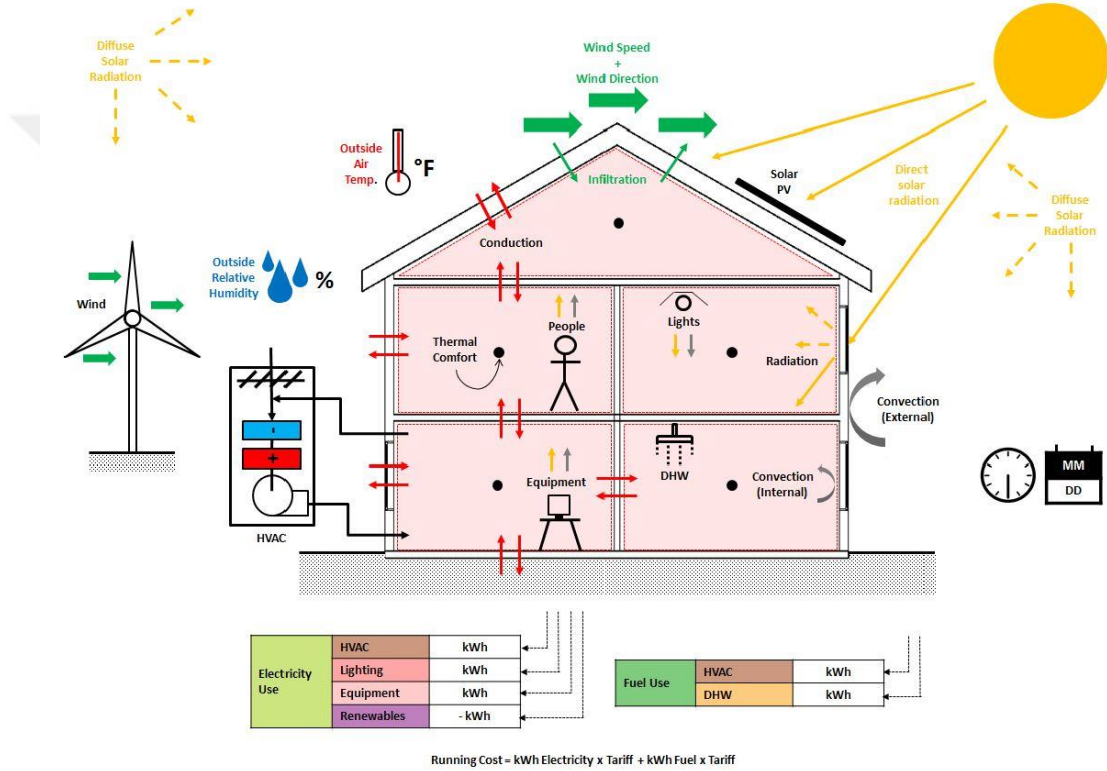
Günümüzde DOE2 ve EnergyPlus, en yaygın kullanılan ve onaylanmış tam dinamik tüm bina enerji simülasyonu motorlarıdır. Green Building Studio, Autodesk 360 Energy Analysis'in arkasındaki DOE 2.2 kullanan bulut hizmetidir. EnergyPlus ile karşılaştırıldığında DOE2'nin bir takım sınırlamaları olsa da DOE2'nin en büyük avantajı, özellikle erken aşama tasarımı için, simülasyonların genellikle saatler yerine dakikalar içerisinde alabilmesiyle oldukça hızlı olmasıdır.

Enerji simülasyonunu açısından en önemli konular şunlardır:

- Tüm bina, birbiriyle ve dış çevreyle ısı alışverişinde bulunan bir dizi "termal bölgeler" olarak temsil edilir.

- Özellikle hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu, rüzgâr yönü ve hızı dâhil olmak üzere saatlik iklim verileri, binaların enerji kullanımını yönlendiren önemli unsurlardır.
- Tüm ısı kazanımı/kaybı kaynakları, iletim, taşınım ve radyasyon yoluyla ısı transfer yolları ve zaman içinde nasıl değiştikleri (dolaylı ve dinamik) sonlu elemanlar hesaplama yöntemleri kullanılarak detaylı bir şekilde hesaplanır.

Aşağıdaki şekil A.14’de, DOE2’nin enerji simülasyonu tarafından hesaplanan tüm bileşenlerin ve etkileşimler gösterilmektedir.



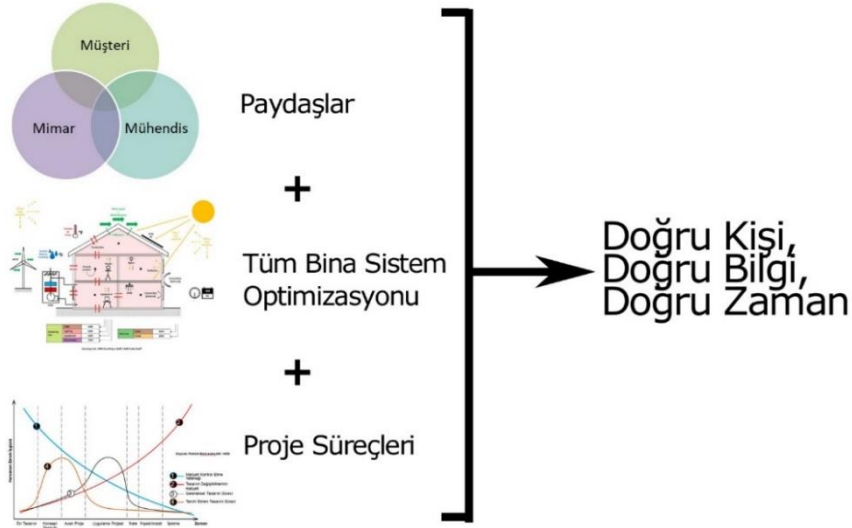
Şekil A.14 : Dinamik Termal Tüm Bina Enerji Simülasyonu.

Şekle bakıldığında, Enerji Analizi için gereken (yıllık iklim verileri, güneş gölge, aydınlatma, güneş ışığı, sızma ve taşınım ile ısı transferleri, ısıtma ve soğutma yükleri vb.) şeylerin neredeyse tümünün aslında enerji simülasyonunun temel bir bileşeni olduğu görülebilir. Genellikle saatlik aralıklarla tam bir yıllık süre yani zamanı da unutmamak gerekir. Bu nedenle, enerji simülasyonunun gerçek gücü ve değeri, bu tam, bütünsel bir resmine sahip olması, binadaki tüm bileşenlerin, işlemlerin ve süreçlerin birbirleri ile nasıl etkileşime girdiği ve sonunda enerji kullanımının net sonucun ne olduğudur. Örneğin, gerçek enerji kullanım miktarını belirlerken, neden alınan güneş radyasyonu için güneş kırıcı tasarımını optimize etmeye çalışılsın? Enerji

simülasyonundaki gerçek olan tek şey kendi karmaşıklığıdır. Enerjinin görünmez olması nedeniyle, çıktı genellikle sayısaldır. Bu nedenle diğer analizler kadar anlamlı görünmez. Tüm bina enerji simülasyonları bu açıdan çok değerlidir. Bu konu ile ilgili daha kapsamlı bilgilere (Bina geometrisi, Hacimler ve termal konfor, yapı kabuğu yüzeyler ve ısı transferleri, malzeme özellikleri, bina ısıtma-soğutma-havalandırma-aydınlatma-su ısıtma ve yenilenebilir enerji sistemleri, kullanıcı kaynaklı yükler, dış iklim koşulları, iletim-taşıyım-radyasyon ile ısı transferi, enerji kullanımı ve maliyet tahmini vb.) Autodesk Building Performance Analysis/Help sayfasından ulaşılabilir (Autodesk Help Center 02, 2019) (Molloy, 2012).

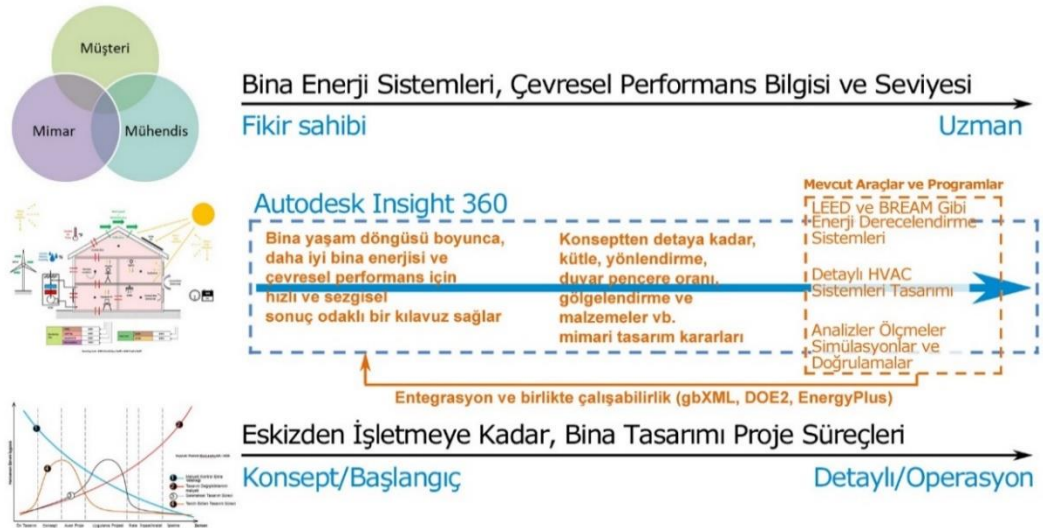
Bina enerji performansını etkileyecek unsurlar ve sürdürülebilirlikle ilgili binada gerçekleşen birçok faktör yukarıda açıklandı. Bir bina da makine gibi çok karmaşık ilişkilerle çalışan bir bütün gibi düşünülebilir. Dış koşullar, iç mekân koşulları ve kullanıcı gereksinimlerinin kesişimleri çok iyi optimize edilmesi gerekir. Dış ortam sıcaklığı, nem, rüzgâr hızı ve yönü, güneş ve bulutluluk oranı gibi iklimsel faktörler bina kabuğu ile doğrudan temas halindedir. İç mekân konfor sıcaklıkları, aydınlatmalar, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri, tüm elektriksel aletler ve donanımların yükleri, yapı kabuğundaki malzemelere bağlı ısı geçişleri, kullanıcı davranışları ve konfor beklentileri, binanın kullanım fonksiyonu ve periyodu gibi birçok unsur çok karmaşık olup mühendis ve tasarımcılar tarafından ayrı ayrı ele alınması gerekir. Üstelik bu unsurların tümü birbirleri ile de ilişki halindedir. Birindeki artma ve azalma diğerine doğrudan ya da dolaylı olarak etki edecektir. Bu yüzden bütün unsurların, iç ve dış faktörlerin birlikte değerlendirilebilmesi ve tasarım kararı olarak verilerin kullanılabilmesi önemlidir. Harputlugil çalışmalarında “tasarım kararı desteği” olarak isim verdiği konularda bunun önemini sürekli vurgulamıştır. Tüm bunlara ek olarak mimar, mühendis, mal sahibi vb. gibi tüm paydaşların sürecin en başından itibaren birlikte ve bütünleşmiş şekilde çalışmaları da gerekliliktir. Son olarak proje süreçlerinde alışılmış ve olması gereken zamanlamalar vardır.

Mimarın çalıştığı tasarımın en erken döneminde (doğru zaman), paydaşların katkısı (doğru kişi) ile tüm bina sürdürülebilirlik analizleri ve enerji hesapları yapılabilmesi (doğru bilgi) gerekir (Şekil A.15).



Şekil A.15 : Enerji Analizi İçin Doğru Bilgi, Kişi ve Zaman

Günümüzde mevcut sistemler ve araçlar, projelendirme aşamasının ilerlemiş olduğu uygulama projeleri sırasında analizler ve hesaplamalar yapılabilmesi için geliştirilmiş görünmektedir. Bunları uzman ve ilgili paydaş tarafından çözülmesi beklenmektedir. Ayrıca projede analize temel veriler olmadan ya da çok az bulunduğu mimari tasarım aşamasında bu tür analizler ya hiç yapılmamakta ya da çok sınırlı düzeyde yapıldığı görülmektedir. Insight ile bu süreç konsept aşamasından başlayıp, yapı fiziği alanına giren konularda uzmanlığı bulunmayan sıradan bilgilere sahip mimarlar tarafından, tasarımlarının ve projelendirmenin her aşamasında analizler, değerlendirmeler yapmaları ve bunu tasarım desteği için kullanabilmelerini sağlıyor görünmektedir (Şekil A.16).



Şekil A.16 : Insight 360 Enerji Analizi İçin Bilgi, Kişi ve Zaman

Insight ile Tipik İş Akışı

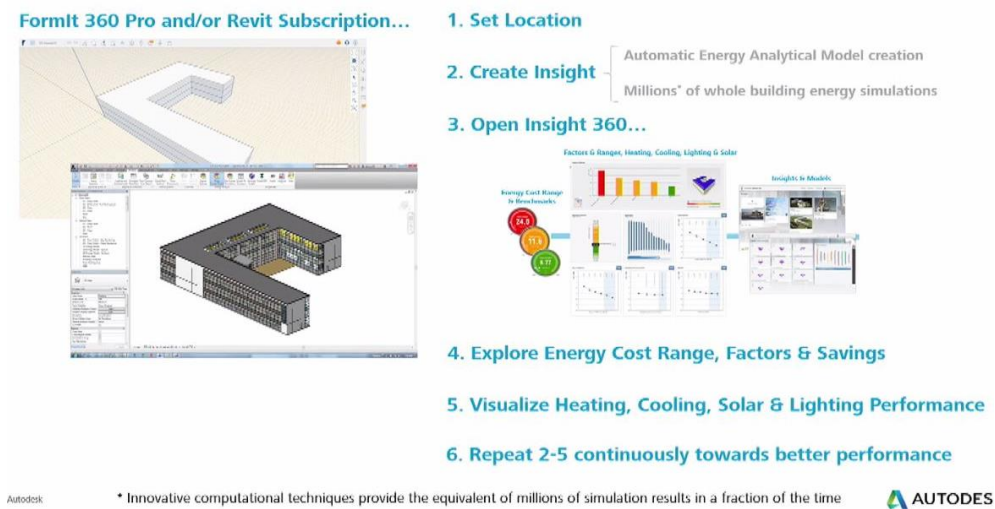
Autodesk Insight aracında, aşağıdaki şekil A.17’de tipik bir iş akışı adımları görülebiliyor. Öncelikle enerji ve maliyet bilgilerinin görüntülediği (kırmızı, sarı, yeşil) dinamik ve ilişkisel olarak renk değiştiren bir gösterge bulunuyor. Bu göstergede hedefler de görülebiliyor. Yukarıda bahsedilen birçok faktörün değerleri kullanıcı tarafından değiştirilebiliyor. Yapılan değişiklikler etkileşimli olarak ve gerçek zamanlı şekilde göstergelere yansıtılmış oluyor. Burada elde edilen değişiklikler ve girdiler tasarıma katkı olarak kullanmak için YBM modeline dönülüp değişiklikler yapılabiliyor.

Bina modeli ya da kavramsal tasarım detayında kütleli modeller üzerinden analizler ve değerlendirmeler yapılabilir. Program olarak Revit üzerinden ya da Formit üzerinden modeller Insight değerlendirmelerine sokulabilir. Öncelikle;

Proje lokasyonu seçilir. Şerit menüde **Analyze/Energy Optimization/Location**

Insight başlatılır. Şerit menüde **Analyze/Energy Optimization/Generate**

Eğer enerji modeli oluşturulmamışsa Enerji ayarları (Energy Settings) penceresinde bulunan/yapılan ayarlar kullanılarak otomatik olarak enerji modeli oluşturulur. Enerji analizleri başlar. Milyonlarca* tüm bina enerji analizi, DOE2 bulut servisi üzerinde yaratılır. *Autodesk Bulut sunucuları üzerinde çalışan yenilikçi hesaplama teknikleri (generative) ile milyonlarca simülasyon sonucunun eşdeğerini kısa bir zaman diliminde sağlar.



Şekil A.17 : Insight 360 Tipik İş Akışı

Insight açılır. Şerit menüde **Analyze/Energy Optimization/Optimize**

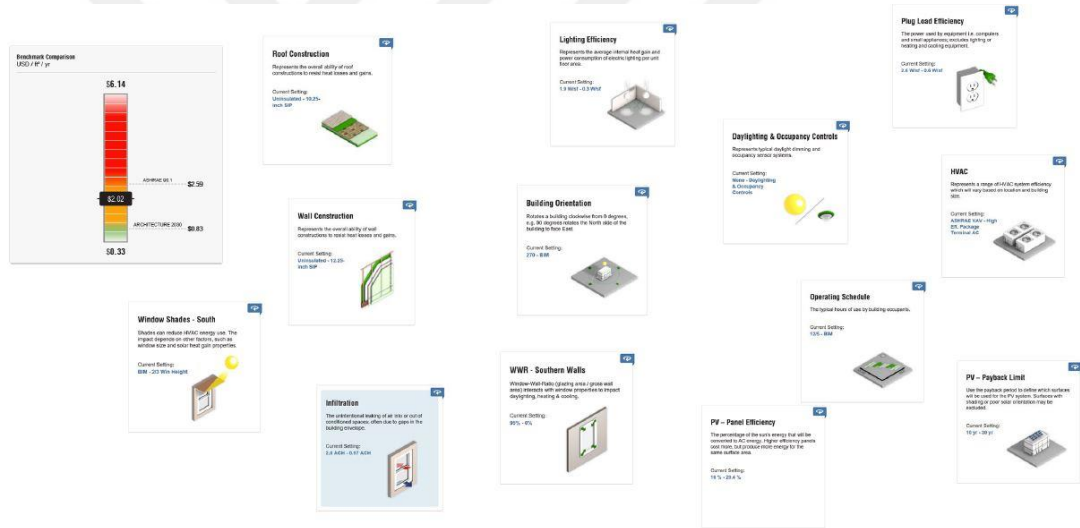
Insight ekranında yer alan değişkenlerin ayarlanması ile sonuçlar değerlendirilir.

Daha iyi performans sağlamak için 2-4 arası adımlar tekrarlanır. (Molloy, 2019)

Insight Ekranında Yer Alan Değişkenler ve Araçlar

Insight 360'taki tasarım modeli kullanılarak ölçülen enerji kullanım yoğunluğu (Energy Use Intensity – EUI) aşağıda sıralanan araçlarla değiştirilebilir (Butts, 2016) (Şekil A.18).

- Gösterge (Benchmark)
- Model Geçmişi (Model History)
- Bina Yönü (Building Orientation)
- Duvar pencere oranı (Wall to Window Ratio)
- Pencere Gölgeleyici (Window Shading)



Şekil A.18 : Insight 360'da kullanılan Araçlar.

- Pencere Cam Özellikleri (Window Glass Properties)
- Duvar konstrüksiyonu katmanları (Wall Construction)
- Çatı konstrüksiyonu katmanları (Roof Construction)
- Yalıtım ve ısı köprüleri (Infiltration)
- Aydınlatma Verimliliği (Lighting Efficiency)
- Güneş ışığı/kullanım süresi (Daylighting/Occupancy)
- Elektrik Yükleri (Plug Load)

- Isıtma soğutma havalandırma sistemleri (HVAC)
- İşletme saatleri (Operating Schedule)
- Fotovoltaik potansiyel (Photovoltaic Options)

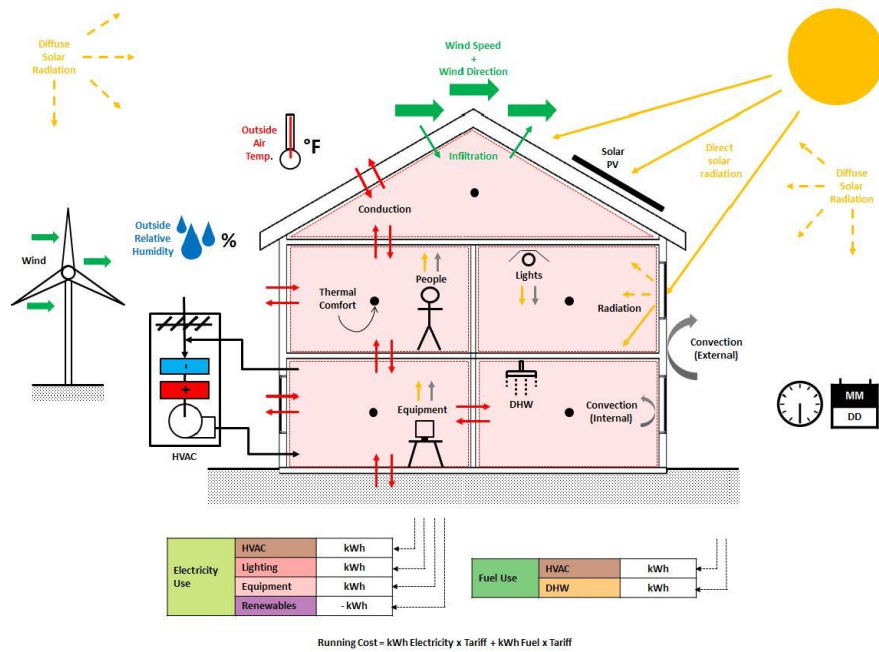
Çizelge A.1 : Geleneksel analiz süreci ve Insight Karşılaştırması (Molloy, 2019)

Tipik Araçlar ve Uygulamalar	Autodesk Insight 360
Karmaşık, yavaş, uzman bilgisi gerekiyor	Kolay, hızlı, herkes tarafından kullanılabilir
Teknik veri girişi ve Tek simülasyona dayalı	Anlaşılır, etkileşimli, Sonuç odaklı ayarlar
Detaylı uygulama projesi işletme aşamasında	Tüm bina tasarım sürecinde kullanım
YBM sürecine import/export ile veri transferi	Tam olarak YBM entegrasyonu
Mutlaka özel modelleme gerektirir	Özel modelleme hiç gerekmez, ya da çok az
Bölgesel olarak spesifik	Global olarak uygulanabilir

EK B: Enerji ayarları (Energy Settings)

Analiz (Analyze) sekmesi altında Enerji Analizi (Energy Analysis) panelinde Enerji Ayarları (Energy Settings) seçin. Bina Tipi seçimi, kullanım periyodu (saatler), aydınlatma vb. ayarları ASHRAE 90,1’den alınır. Proje konumu ve iklim verilerini ayarları (Set location and climate data) “59...” ile başlayan hava istasyonları Typical Meteorological Year- TMY (’ler (Endüstri standardı iklim verisi referans dosyaları) Enerji Modeli’nin etkinleştirilmesi, Kavramsal Kütle elemanlarına termal zone, camlar vb. ayarlarını uygular.

“DOE-2 Termal Dinamik, Tüm Bina Enerji Simülasyonu” başlığında detaylarına değinilen konular çok karmaşık ve birbirleriyle bir o kadar da ilgili idi. Enerji analizinde kullanılan “veriler ve varsayımlar” doğruluk sorunuyla ilgili en zayıf halkadır. Aslında en açık olması gereken bilgiler de bunlardır.



Şekil B.1. Bina İçi ve Dışı Faktörler ve İlişkileri.

Yukarıdaki Şekil B.1’de gösterilenler gibi, çok karmaşık ilişkilere sahip faktörleri basit şekilde mantıksal olarak gruplandırıp, binalardaki enerji kullanımının ana faktörleri ile bunları kullanan tasarım ve işletim bileşenleri veri setleriyle eşleştirildi. Böylece bu ilişkileri açıklayan aşağıdaki tablo oluşturuldu (Şekil B.2).

Gerçekte, ana enerji kullanım faktörlerinin büyük bir bölümünün doğada operasyonel olduğunu ve bu nedenle kavramsal veya şematik tasarım aşamasında “son durumu” bilmek veya beklemeye gerek kalmadan değerlendirilebileceği görülebilir.

Konsept ve taslak tasarım geliştirme için iklim ve enerji birim maliyetleri için çok makul varsayımlar yapmak mümkündür. İklim verilerinden alınan istatistiksel hava verileri ve enerji için ödenecek parasal tutarların, binanın faaliyete geçmesiyle büyük olasılıkla farklı olacağı kabul edilebilir. Sistemler çok özellikli olup, girdiler üzerinde çok az kontrolün bulunduğu en büyük faktör olup çok büyük bir potansiyel sunar.

Mühendisler ve enerji analistleri için sınır bozucu olsa da, bu aslında konsept ve şematik tasarım aşamalarında yani bilginin yeterli bilginin olmadığı veya çok az bilginin bulunduğu aşamalar için aslında oldukça tutarlıdır.

Gerçek bilgileri girmek çok fazla bilgi ve zaman gerektirir. Oysa mevcut basit sistem seçenekleri ASHRAE baseline çok yakındır. Bu sistem seçenekleri sayesinde, form ve malzemeler gibi diğer faktörlere odaklanılabilir.

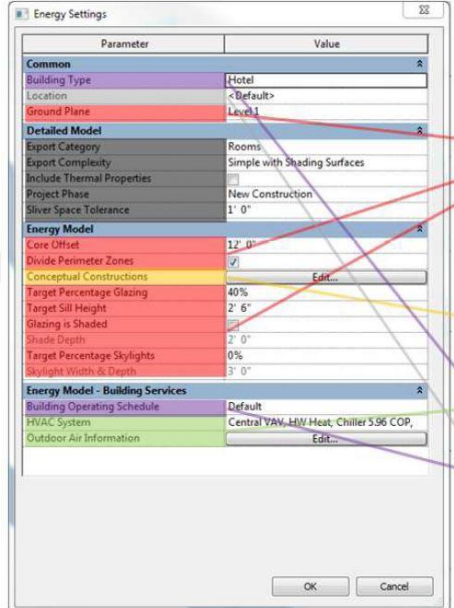
Kesin yatırım geri dönüşüne dayalı form ve materyaller hakkında karar verilemese de, en azından göreceli katkıları görerek, bir faktörün çift yönlü olarak daha iyi ya da daha kötü olup olmadığı öngörülebilir. Bina kullanımı, öngörülen enerji kullanımı ile gerçek enerji kullanımı arasındaki tutarsızlığın bir diğer önemli nedenidir. Bu, tüm Enerji Analizleri için bir zorluktur ancak Revit'te aynı endüstri standardı ASHRAE binası ve alan tipi veri setleri mevcuttur ve bu standartlar kullanılır.

Main Energy Use / Cost Drivers	Relevance	Main Components	Available Datasets
Form	Design	- Volume, Floor area and Shape - Orientation - Massing - Percentage Glazing - Exterior shading	Conceptual Massing elements with Auto-zoning
Materials	Design	- R-value and Thermal mass - Absorptance, Roughness - Material density, specific heat, conductivity - Glazing U-value, SHGC and VLT	'Conceptual Constructions' – Small selection across a broad range (fixed)
Systems	Design / Operation	- Primary heating and cooling - Secondary distribution - Lighting and Equipment power density - Controls	- ASHRAE baseline building / space type data (fixed) - ASHRAE baseline HVAC system types (generally / fixed)
Utilization	Operation	- Occupancy - Hours of operation - Heating and Cooling set-points	ASHRAE baseline building / space type data (fixed)
Climate	Operation	- Air temperature - Relative humidity - Direct and diffuse solar radiation - Wind speed and direction	- Typical Meteorological Years (TMYs) 1.5 million+ other (2004 & 2006) - Actual location and period (GBS)
Tariff	Operation	\$ / kWh Electricity \$ / kWh Fuel	Average State flat rate (EIA)

Şekil B.2. Enerji Faktörleri ve Autodesk 360 Enerji Veri Setleri

Enerji Ayarları diyalogu temel olarak enerji simülasyonunda kullanılan tüm veri ve varsayımları bina düzeyinde kontrol eder. Her bir mahal, hacim ve yüzey özelliklerinin nasıl ayarlanacağı ayrı bir başlıktır. Burada her bir parametrenin ne ile ilgili olduğuna

dair temel bir anlayışa sahip olmak yeterlidir. Diyalog penceresi parametreleri biraz karmaşık görünebilir. Çünkü Revit'te mahal (room) ve hacimlerin (space) dışarı gbXML dışı aktarma gibi başka amaçlara da hizmet eder. Aşağıda Şekil'de, her bir parametreyi, genel olarak göstermek ve anlamak için, ana enerji kullanım faktörlerinden biri ve açıklamasına eşlendi (Şekil B.3).



Main Energy Use Drivers	Item / Description
Form	Ground plane – This determines the Revit level used to differentiate surfaces above or below ground in the Energy Analysis. Sloping sites cannot be dealt with at this time.
	Core offset – Mass floors can be split into a perimeter and core 'thermal zones' which is usual practice for Energy Analysis. Setting this to zero will mean no core is created.
	Divide Perimeter Zones – This provides the option for perimeter thermal zones to be subdivided which is also usual practice for Energy Analysis. Note that perimeter zones are currently split using cardinal directions which can lead to some error (+/-5% on average but it can be higher). Note that Vasari currently provides more accurate thermal zoning.
	Other – These parameters all relate to glazing, skylights and shading applied to the Conceptual Masses
Materials	Conceptual Constructions - These offer a small but broad selection of thermal properties useful for wide range sensitivity testing. Typical selections are close to ASHRAE 90.1 baseline standards.
Systems	HVAC System – These are close to ASHRAE 90.1 baseline standards.
Utilization	Outdoor Air Information – Energy used to heat / cool fresh air required by occupants
	Building Type – This sets ASHRAE 90.1 datasets occupancy levels, lighting and power equipment densities and schedules based on Building Operating Schedule – Default means 'default for building type'.
Climate	Location – Sets latitude, longitude, height above sea level (as required for solar shading) and Climate file. TMYs are indicated by a '59...' reference.
Tariff	These are automatically determined by Green Building Studio based on location using latest data from EIA.

Şekil B.3. Revit Enerji Parametreleri ve Enerji Kullanımı Faktörleri

Isıtma ve Soğutma Yüklü Hesaplamaları "Kararlı Hal"

Isıtma soğutma yükleri ile Enerji analizi arasındaki farklar nelerdir? Isıtma ve soğutma yükleri (heating and cooling loads), HVAC sistemini seçip boyutlandıran bir makine mühendisi için projelendirme ve sistem boyutlandırması öncesi hesaplamadır. Tipik olarak proje öncesi bu hesapları baz alır. Belli standartlara göre yapılır.

Isıtma soğutma yükü hesaplamaları da genellikle enerji simülasyonu ile aynı bilgileri ve verilerin çoğunu paylaşırsa da, büyük fark temel olarak binaların termodinamiğinin nasıl temsil edildiğidir. “Kararlı hal denge durumu” temel olarak ‘idealize edilmiş’ durum anlamına gelir. Isıtma soğutma yükleri hesaplamaları temelde, manuel olarak gerçekleştirilebilecek hesaplama yöntemine dayanır. Bu durumda Çok fazla kestirimler ve kabuller gerektiğinden, güvenli tarafta kalmak için “güvenlik payları” yerleşik hale geldi.

Buna ek olarak, çoğu mühendisin varsayımlarına dayanan güvenlik marjlarına (en yüksek dış sıcaklık, en yüksek kullanım, en yüksek donanım ve aydınlatma vb.) ek olarak bir de güvenlik faktörü (safety factor) eklendiğinde, sektörde, geleneksel araçlar ve süreçleri kullanan ve önemli ekipmanların boyutlandırmasından sorumlu mühendislerin % 100-200 arasında aşırı boyutlandırma yapmaları şaşırtıcı değildir. Bu açıdan bakıldığında ısıtma soğutma yüklerinin hesaplanması ile ilgili araçlar yıllık enerji kullanımının doğru bir tahminini sağlayamaz (Molloy, 2012).



EK C: Revit Kavramsal Tasarım Süreci, Alternatifler ve Enerji Modelleri

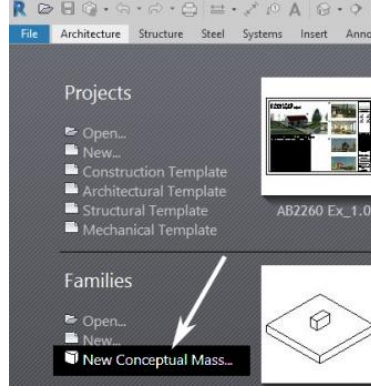
Revit ile kavramsal tasarım ortamı “Revit Massing” olarak adlandırılmıştır. Kavramsal tasarımların nasıl yapılacağı ve araçların gelişimi basit görünen fakat çok kapsamlı bir konudur. Revit 2019 içinde bu konuya özel araçlar mevcuttur. Kütle çalışmaları (Massing) ve bunlarla ilgili yüzey optimizasyonları, parametrik panellerin üretilmesi bunların kodlama (Dynamo) ile otomatik yaratılması ve akıllı hale getirilmesi (adaptive component) gibi konular kavramsal tasarım içinde yer alır. Bu konu başlı başına bir konu olup bu tez kapsamı içine alınmamıştır. Örneklenecek olan enerji analizi iş akışıdır. Tasarım sürecinin geri beslemeli doğasına uygun şekilde geliştirilen, Revit kavramsal tasarım ortamı bu süreçte kaybedilecek zaman ve emeği en aza indirmek için kurgulanmıştır (Şekil C.1).



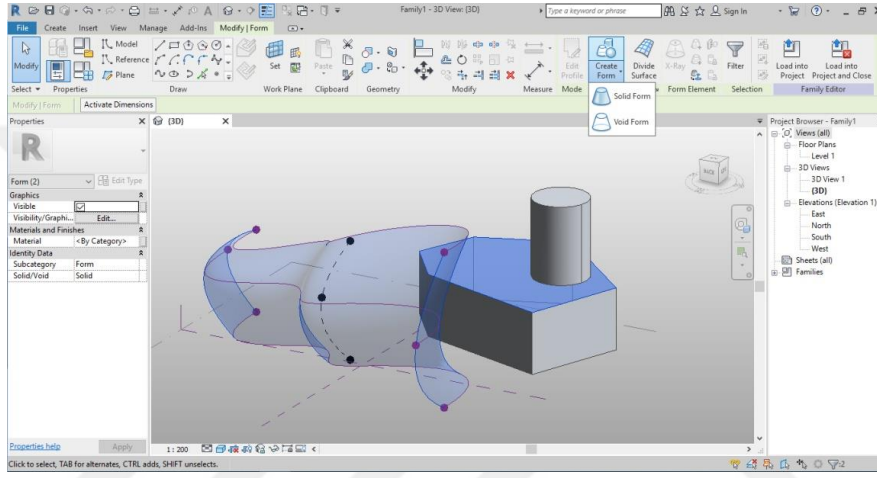
Şekil C.1. Revit'te Eskiz Kavramsal Modelleme ve Projelendirme (Autodesk DAM, 2010)

Örneğin, tasarımdan hızla proje ortamına geçiş ve istendiğinde tekrar proje ortamından kavramsal tasarıma geçiş, birbirinden kopuk olmayıp iç içe geçmiştir. Projelendirme sırasındaki değişikliklerin, çizimlerde, görsellerde, metrajlarda geçek zamanlı bir şekilde güncellenmesi vb.

Revit'te kavramsal tasarım için özel bir ara yüz mevcuttur (Şekil C.2). Bu ara yüz Autodesk Vasari ile geliştirilmiş daha sonra Vasari geliştirmesi sonlandırılınca Revit içine alınmıştır. Revit çalıştırıldığında açılan ekranda iki ayrı ortam mevcuttur. Proje ortamı/ara yüzü (üstte Projects) ve kavramsal tasarım ortamı/ara yüzü (altta Families/New conceptual Massing Model) (Şekil C.3)



Şekil C.2. Revit Başlangıç Ekranında Kavramsal Tasarım Ortamı

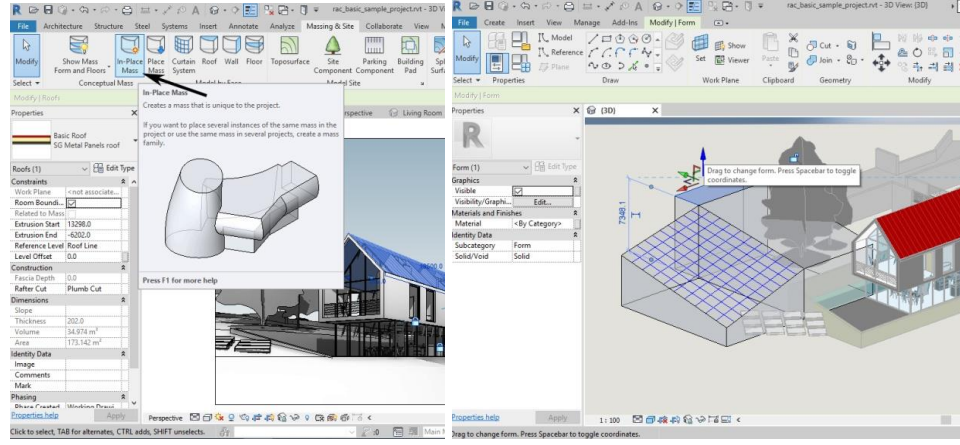


Şekil C.3. Revit Kavramsal Tasarım Arayüzü

Bu ortamda serbest form modellemeler yapmak için geliştirilmiş araçlar mevcuttur. Surface Forms, Extrusions, Revolves, Sweeps, Lofts, Blend, Swept Blend vb. tüm modelleme araçları tek sezgisel komuta indirgenmiştir (Şekil C.4). Form yarat (Create Form) komutu ile aşağıdakilere benzer birçok işlem tek komutla yapılabilmektedir.

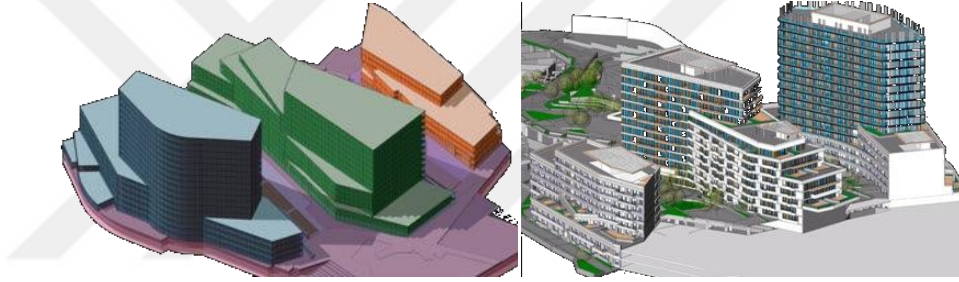


Şekil C.4. Revit Serbest Form Modelleme Araçları



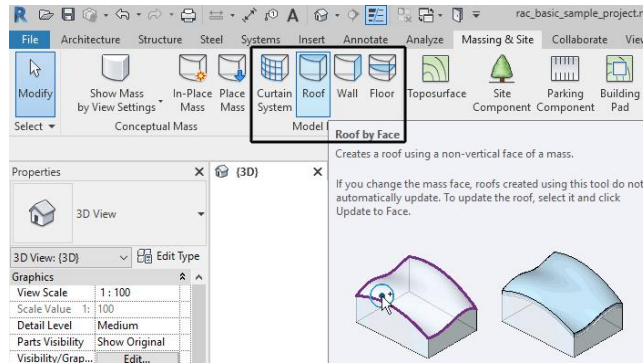
Şekil C.5. Revit Proje Arayüzünde Serbest Form Modelleme.

Şekil C.5’da proje ortamından/bağlamından ayrılmadan yeni bir konsept çalışma yapabilmek ve altlık olarak mevcut ilerlemiş projeyi görmek ve referans olarak kullanabilmek için bu şekilde bir kullanım da mevcuttur.



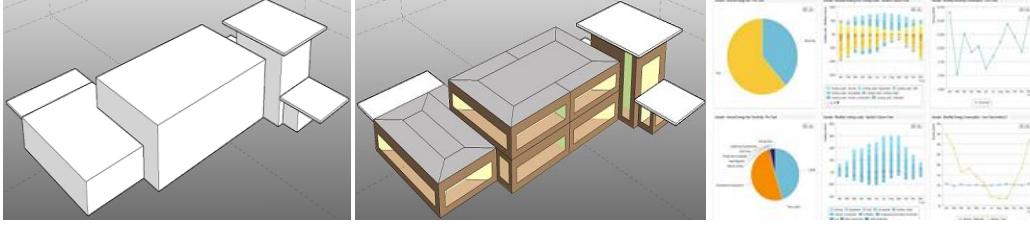
Şekil C.6. Revit Serbest Formlar ve Bina Elemanlarına Dönüşüm (Aydın ve Volpintesta, 2013).

Yaratılan formlar ve yüzeyler, yapısal mimari elemanlara dönüştürülebilir. Şekil C.6’de solda yaratılan formlar ve sağda bina elemanları görülmektedir. “Building Maker” adı verilen araçlar bunun için geliştirilmiştir. Aşağıda şekil C.7’de görülen, Curtain system, Roof, Wall, Floor araçları bu iş için kullanılır.



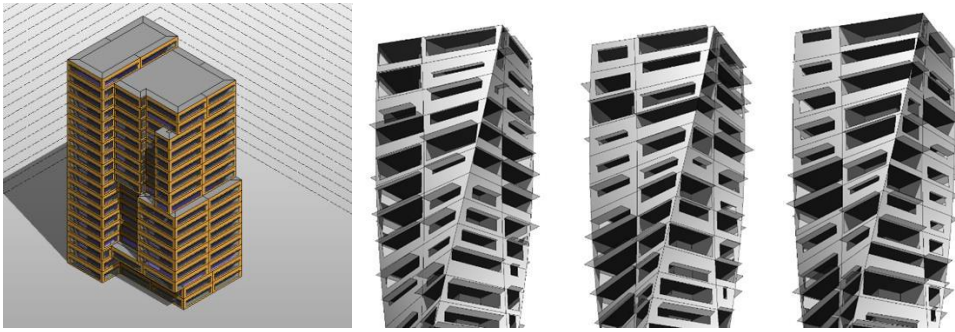
Şekil C.7. Revit Building Maker Araçları.

Kavramsal tasarımda öncelikle tasarım için kütle çalışmaları yapılır, ardından diğer işler yaratılan formlar üzerinden gerçekleştirilir.



Şekil C.8. Katı Formlar ve Enerji Modeli.

Önceki bölümlerde enerji modelleri başlığında açıklanan kavramsal kütle çalışmalarından Enerji modelleri ASHRAE 90.1 e göre otomatik olarak yaratılmaktadır. Yukarıda şekil C.8’de şekilde en solda kütle yapı modeli görülmektedir. Ortada ise bu modelden üretilen enerji modeli ve en sağda ise analiz sonucu raporu görülmektedir. Revit’te bu enerji modelleri çok hızlı üretildiğinden, aşağıdaki şekil C.9’da görülen türde değişikliklerde zaman almaz. Yüzeylerden oluşan basit kütle modeli üzerindeki bir değişiklik ve düzenleme hemen enerji modeline yansıtılır. Şekilde düz formda bir bina enerji modeli ve eğrisel bir binanın enerji modeli görülüyor. Her ikisini de oluşturmak Revit için de aynı sürede ve kullanıcı çabasıyla bağımsız otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

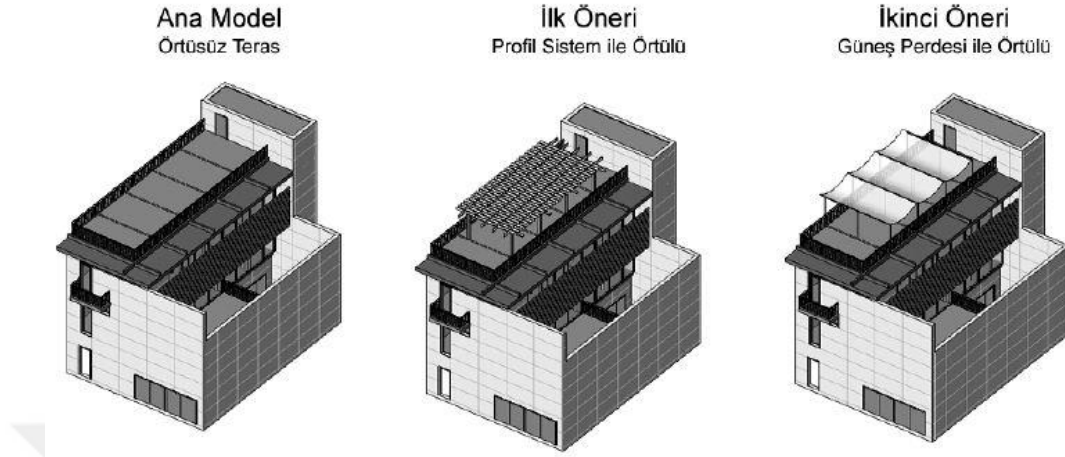


Şekil C.9. Revit Enerji Modelleri (Aydın ve Volpintesta, 2013).

Geleneksel enerji modelleme (mühendislerin kullandığı yazılımlar) sürecinde geometriler karmaşılaştıkça enerji modelleri için basite indirgeme gibi bir yöntem kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalarda karşılaşılan sonuçlara göre, Revit içinde bina tasarımı ve geometrisi ne kadar karmaşık olursa olsun enerji modelleri de aynı şekilde yaratılabildiği gözlenmiştir.

Tasarım Alternatifleri (Design Options) İle tek dosya içinde, aynı proje içinde tasarım desteğine yönelik mimar ve mühendislere farklı opsiyonları denemelerini sağlayacak ve sonrasında birini seçerek tasarımına devam edebilecektir (Şekil C.10). Bu araç

sadece analiz için geliştirilmemiştir. Rendering, mekân ve sistem çözümleri, form ve bina optimizasyonu, seçim desteği, röleve/renavosyon ve yenileme işleri vb. birçok iş için kullanılabilir.



Şekil C.10. Revit Tasarım Alternatifleri.

Aydın, tasarım alternatifleri sistemini ve araçları açıklarken, mimari tasarımı formüle etmekten bahsediyor (Baykal ve Aydın, 2013);

*“Cephe sistemi 3. önerisi + Çatı tasarımı 2. alternatif + Atrium 1. öneri = **Proje Önerisi A***
*Cephe sistemi 2. önerisi + Çatı tasarımı 1. alternatif + Atrium 4. öneri = **Proje Önerisi B**”*

Bu konu aslında mevcut tasarım sürecinde “Goal Directed Design” olarak isimlendirilen ve generative, parametrik, computational vb. adlarla kullanılan, bir tasarım sürecinin omurgasını oluşturuyor. Bulut tabanlı sistem tüm farklı alternatifleri otomatik olarak üretiyor. Bu tür tasarımlar için Revit içinde “Dynamo” yazılımı da kullanılabilir. Bina tasarımında, farklı alternatifler geliştirilir ve bu alternatifler üzerinden tasarım kararı desteği için yararlanılır. Enerji ve diğer analizler de bu alternatiflerin her birine uygulanabilir.



Şekil C.11. Revit Tasarım Bağlamında Farklı Alternatifler.

Yapıyı 30 derece çevirsek, ya da güney cepheyi kuzey-güney doğrultusunda yönlendirirsek veya kütleyi tek katta yayılmış yapmak yerine daha küçük bir alanda

dikine tasarlırsak, aydınlatmada ve ısı kaybı kazancı açısından ne gibi avantajlar ve dezavantajlar oluşur? Bu tür soruların cevapları arandığı aşamada tasarım desteği sağlayacak araçlara ihtiyaç duyulur. Projenin ilerleyen aşamalarında ortaya çıkabilecek sorunları önceden görebilme imkânı sağlanır. Örneğin formdan kaynaklanan ve bina avlusunda oluşabilecek rahatsız edici seviyedeki hava akımı tahmin etmek gibi. Buna benzer birçok senaryonun çalışılabilmesi için Revit tasarım alternatifleri geliştirilmiştir. Yukarıdaki şekil C.11’de farklı tasarımlar görülmektedir. Aşağıdaki şekil C.12’de ise bu üç öneri için gerçekleştirilen karşılaştırmalı analizler raporlanır ve incelenebilir.



Şekil C.12. Önerileri Analizleri ve Karşılaştırması (Autodesk DAM, 2010).

Autodesk, Pennsylvania’daki University of Pennsylvania’nın düzenlediği uluslararası bir konferansta yayınladığı bir raporda, dijital teknoloji, performans mimarisinin kilit özelliği olduğunu vurguluyor. Yalnızca dijital bina bilgi modelinin, performans tasarımını gerçekten destekleyebileceğini belirtiyor. Analiz ve tasarım süreci arasında daha yakın bir bağlantı oluşturarak veri girişi veya sonuçların yorumlanması için uzmanlık bilgisi gerekmeyeceği böylece tasarımcı için “geribildirim boşlukları” ortadan kalkacağı hatırlatılıyor.

Performans analizi ve değerlendirme araçları, yapı bilgi modeli ile sıkı bir şekilde birleştiğinde, genel yapı tasarımı bağlamında tasarım karar vericisine anlamlı bir geri bildirim sağlayabilir. Bu senaryoda da açıkça görüldüğü üzere, bilgi modellemesinin oluşturulması, performans mimarisi için ön şarttır (Autodesk Building Solutions, 2019).

Performans öncelikli yapı tasarım sürecine YBM ve simülasyon odaklı bir yaklaşımın neden mimari tasarım süreçlerine tam olarak bütünleşik olamadığı düşünüldüğünde; genellikle tasarımcıların performans simülasyonlarını oluşturacak bilgi ve tecrübeye sahip olmayışları, mevcut tasarım sürecinde erken aşamalarda tasarımın yeterli bilgiyi sunamıyor oluşu, projelendirme aşamalarında koordinasyon eksikliği, konuyla ilgili ofis içi deneyimli personel/ekip yok ya da sınırlı olması, performans analizlerinin çoğunlukla tasarım süreci dışından uzmanlarca oluşturulmasının getirdiği ek maliyet ve erken aşamalarda bilgiler olgunlaşmadığı ve yeterli bilgi projelerden sağlanamadığı için simülasyonların mimari tasarım sürecinin ardından oluşturulma anlayışı gibi nedenler görülmektedir (Savaşkan, 2015).





ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ufuk AYDIN

Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara, 23.12.1971

E-Posta : ufuk.aydin@me.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans :** 1994, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Gülermak - Mimar (2018 –)
- Sabri Paşayığıt Design Office – Mimar (2016 – 2018)
- ABCADCAM – Mimar (2015 – 2016)
- Sayısal Grafik – Mimar (2004 – 2015)

YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Revit Architectere 2013 (Bölüm yazarı)

Temel Autodesk Revit Architecture 2014 (Ortak yazar)

İleri Autodesk Revit Architecture 2014 (Ortak yazar)

Autodesk Revit Architecture 2015 (Giriş ve Orta Düzey) (Ortak yazar)Autodesk

Revit Architecture 2015 (İleri Düzey) (Ortak yazar)

Autodesk Revit Architecture 2017 (Giriş ve Orta Düzey) (Ortak yazar)

Revit Architecture 2019 (Ortak yazar)