

**BİM TABANLI BİNA ENERJİ SİMÜLASYON YAZILIMLARININ ANALİZ
SONUÇLARI ÜZERİNE BİR İNCELEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betül ÇELEBİ

Enformatik Anabilim Dalı

Mimari ve Kentsel Enformatik Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Salih OFLUOĞLU

ŞUBAT 2022

..... tarafından hazırlanan adlı bu
tezin tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

.....
Tez Yöneticisi

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

Başkan : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

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



Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi 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.

....





Tüm sevdiklerime,



Teşekkürler

Yüksek lisans öğretim süresi ve tez dönemi süreci boyunca bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam **Prof. Dr. Salih OFLUOĞLU**'na,

Tez çalışmasında kullanılan vaka çalışmasındaki yapı için proje desteği konusunda yardımcı olan mimar **Dilek EMİN**'e,

Bu süreçte bana manevi olarak destek olan annem **Emine ÇELEBİ**, babam **Osman ÇELEBİ**, abim **Biröl ÇELEBİ** ve kardeşim **Beytullah ÇELEBİ**'ye teşekkürlerimi sunarım.



3.6.1 Revit IFC dosya transferi	72
3.6.2 Simplebim eklentisi ile IFC modelini IDA ICE için hazırlama	73
3.6.2.1 Simplebim IFC dosyasını içe aktarma	73
3.6.2.2 IDA ICE'de mimari modellerin kullanılması için veri içeriği gereksinimi	74
3.6.2.3 Simplebim IDA ICE IFC model özellik ayarları	78
3.6.3 IDA ICE için IFC dosya transferli enerji simülasyon süreci	82
3.6.4 IDA ICE enerji analizi sonuçları	89
3.7 Enerji Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	90
4. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR.....	94
4.1 Değerlendirme Kriterleri	95
4.1.1 Kullanılabilirlik	95
4.1.2 Veri birlikte çalışabilirliği	95
4.1.3 Destek seçenekleri.....	96
4.1.4 Bilgi yönetimi.....	96
4.1.5 Hesaplama özellikleri.....	96
4.2 Gelecekteki Olası Çalışma Alanları	97
KAYNAKLAR.....	98
EKLER.....	103

KISALTMALAR

3B	: 3 Boyutlu
2B	: 2 Boyutlu
AADCC	: Accuracy & Ability to simulate Detailed & Complex Components
AECOO	: Architecture, Engineering, Construction, Owner, Operator
AEC	: Architecture, Engineering, Construction
AIA	: American Institute of Architects
ASHRAE	: American Society Heating Refrigerating Air Conditioning Engineers
BEM	: Building Energy Model
BESTEST	: Building Energy Simulation Test
BIM	: Building Information Modelling
BPS	: Building Performance Simulation
BREAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CAD	: Computer Aided Design
CO2	: Karbondioksit
DOE	: U.S. Department of Energy (Birleşik Devletler Enerji Bakanlığı)
DXF	: Drawing Exchange Format
EPW	: EnergyPlus Weather
EUI	: Energy Use Intensity
gbXML	: Green Building Extensible Markup Language
HVAC	: Heating Ventilating and Air Conditioning
IBDP	: Integrated with Building Design Process
IBM	: Interoperability of Building Modeling
IDA ICE	: IDA Indoor Climate Energy
IDP	: Integrated Development Project
IESVE	: IES Virtual Environment
IFC	: The Industry Foundation Class
IIBK	: Integration of Intelligent Design Knowledge-Base
LC	: Life Cycle
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
LOD	: Level of Development (in United States)
LOD	: Level of Model Detail (in United Kingdom)
MEP	: Mechanical, Electrical and Plumbing
MVD	: Model View Development
NREL	: National Renewable Energy Laboratory
PDF	: Portable Document Format
PMV	: Predicted mean Vote
PPD	: Predicted Percentage Dissatisfied
UIM	: Usability & Information Management of Interface

SEMBOLLER

kWh	: Kilowatt saat
kWh /yr	: Kilowatt saat / yıl
C_p	: Isı kapasitesi
λ	: Isı iletkenliği
ρ	: Yoğunluk



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 : Enerji simülasyon araçlarının kategorileri (Kamel ve Memari, 2019)	17
Tablo 2.2 : Bina tasarımı sırasında BEM parametreleri için gelişme düzeyi (Gerrish, 2017; AIA, 2013).....	22
Tablo 2.3 : Seattle'da beş katlı, 50.000 metrekarelik ofis binası alternatif tasarım stratejileri enerji verimliliğine dayalı simülasyon yüzdeleri.....	24
Tablo 3.1 : Araç seçim kriterleri.....	38
Tablo 3.2 : Seçilen araçların özellikleri.....	39
Tablo 3.3 : Revit Model Verisi	45



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Açık format değişimi aracılığıyla dışa aktarma yoluyla veri bütünlüğünün / doğruluğunun kaybı (Gerrish, T. ve ark., 2017)	4
Şekil 1.2 : Yapılan çalışmanın şematik anlatımı	11
Şekil 1.3 : Revit ve Insight iş akışı	12
Şekil 1.4 : Revit ve IDA ICE iş akışı	13
Şekil 2.1 : BEM araçlarının genel yapısı (Gao ve ark., 2019)	16
Şekil 2.2 : Enerji yönetiminde BIM'in katkıları (Kamel ve Memari, 2019).....	17
Şekil 2.3 : BIM tasarım iş akışı etkisi; farklı proje aşamalarında diğer yaklaşımlara karşı etki (Kumar, 2008)	19
Şekil 2.4 : BIM tabanlı BEM simülasyon süreci için ideal iş akışı (Maile,2007)	20
Şekil 2.5 : Beş seçim kriteri (Attia ve ark., 2012)	25
Şekil 2.6 : Araç karşılaştırma kriterleri	28
Şekil 3.1 : Revit ve Insight iş akışı	38
Şekil 3.2 : Revit ve IDA ICE iş akışı	38
Şekil 3.3 : Bina konumu hava fotoğrafı (İnternet-1).....	40
Şekil 3.4 : Yapı vaziyet plan görünümü	40
Şekil 3.5 : Revit modelleme ortamı	42
Şekil 3.6 : Revit eleman hiyerarşi yapısı (Url-7)	43
Şekil 3.7 : Eleman hiyerarşi yapısının Revit ortamında gösterimi.....	44
Şekil 3.8 : Kat planlarının ayrı dosyalara aktarılması	44
Şekil 3.9 : CAD dosyalarının Revit ortamına aktarılması	44
Şekil 3.10 : CAD dosyasının temizlenmesi	46
Şekil 3.11 : Revit mimari çizim araçlar ile modelleme yapılması.....	47
Şekil 3.12 : Mahallere oda (room) eklenmesi.....	48
Şekil 3.13 : Mahallere alan (space) eklenmesi	48
Şekil 3.14 : Duvar elemanının seçilmesi	49
Şekil 3.15 : Bir elamanın malzeme özelliklerini düzenleme	49
Şekil 3.16 : Malzeme katmanlarını belirleme, malzeme atama	50
Şekil 3.17 : Yeni bir malzeme oluşturma, malzeme bilgisi düzenleme.....	50
Şekil 3.18 : Mass modelleme aşamaları.....	51
Şekil 3.19 : Örnek vaka çalışması kütle modeli.....	52
Şekil 3.20 : Revit IFC transferi aşamaları	53
Şekil 3.21 : IFC transferi genel ayarları	54
Şekil 3.22 : IFC transferi özellik ayarları	54
Şekil 3.23 : Eleman geometri detay seviyesinin ayarlanması	55
Şekil 3.24 : Insight yazılım model görüntüsü	56
Şekil 3.25 : Bina konumunun oluşturulması	57
Şekil 3.26 : Bina konumunun harita üzerinde konumlandırılması	57
Şekil 3.27 : Enerji ayarları aracı.....	58
Şekil 3.28 : Enerji ayarlarının seçilmesi.....	58
Şekil 3.29 : Gelişmiş enerji ayarlarının seçilmesi.....	59
Şekil 3.30 : Alan özellikleri enerji kullanım ayarları.....	60
Şekil 3.31 : Alan kullanım çizelgesi	60
Şekil 3.32 : Malzeme termal özellikleri	61
Şekil 3.33 : Yapısal elemanlar malzeme termal özellikleri.....	61
Şekil 3.34 : Enerji modeli oluşturma aracı	61

Şekil 3.81 : IDA ICE malzemelerinin tanımlanması.....	87
Şekil 3.82 : IDA ICE: IFC yapı elemanlarını eşleştirme ve termal özelliklerinin görünümü	87
Şekil 3.83 : IDA ICE: IFC pencere elemanlarını eşleştirme ve pencere özelliklerinin görünümü	88
Şekil 3.84 : IDA ICE: IFC alan elemanlarını bölge ile eşleştirme ve bölge özelliklerinin görünümü	88
Şekil 3.85 : IDA ICE enerji simülasyonun çalıştırılması	89
Şekil 3.86 : IDA ICE enerji simülasyon penceresi	89
Şekil 3.87 : IDA ICE enerji simülasyon raporu	90
Şekil 3.88 : Mevcut enerji kullanım verileri ile Insight ve IDA ICE enerji analiz sonuçlarının karşılaştırılması	91
Şekil 3.89 : Kütle modeli ve gelişmiş tasarım BIM modeli enerji sonuçlarının karşılaştırılması.....	92
Şekil 3.90 : Gelişmiş tasarım BIM modeli, kütle modeli ve gelişmiş tasarım kütle modeli senaryolarının karşılaştırılması	92
Şekil A.1 : Zemin kat uygulama planı.....	104
Şekil A.2 : Birinci kat uygulama planı	104
Şekil A.3 : Çatı katı uygulama planı	105
Şekil B.3 : Duvar yapı ayarları	107
Şekil B.4 : Çatı yapı ayarları.....	108
Şekil B.5 : HVAC sistem ayarları	109
Şekil B.6: Fotovoltaik panel geri ödeme verimliliği	109



BIM TABANLI BİNA ENERJİ SİMÜLASYON YAZILIMLARININ ANALİZ SONUÇLARI ÜZERİNE BİR İNCELEME

ÖZET

Binaların tasarımında, enerji tüketimini ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için bir önlem olarak enerji performansına olan ilgi artmaktadır. Bir binanın enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını azaltmak için, erken tasarım aşaması çok önemlidir; erken tasarım aşamasında doğru enerji hesaplamaları ve stratejileri geliştirilirse, binanın sürdürülebilir ayak izi önemli ölçüde azalacaktır. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), binaların tasarım ve yapımında verimliliği arttırmak ve hızlandırmak, hataları azaltmak ve maliyetleri düşürmek için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ayrıca, BIM, Bina Enerji Modellemesi (BEM) araçları ile erken tasarım aşamasından itibaren geliştirilen enerji modelinin oluşturulmasına ve tüm yaşam döngüsü boyunca enerji analizi için de kullanılmaktadır. Bunun için BIM ve BEM araçları birbirleriyle sorunsuz bir şekilde iletişim kurabilmeli ve bilgi alışverişinde bulunabilmelidir. Bu durum, bu araçların birlikte çalışabilir olması gerektiği anlamına gelir. BIM tabanlı BEM, mimari tasarımcıların erken tasarım aşamasında, tasarım değişikliklerinin yapılabileceği maliyetin düşük olduğu erken tasarım aşaması için performansa dayalı enerji etkin yapı tasarım özelliklerinin belirlenmesine ve ayrıca daha gelişmiş ve ayrıntılı yapı modeli tasarım uygulama kararlarını vermek için önemli bir rol oynamaktadır.

Bu tez çalışmasında mevcut bina stoğunda yer alan yapıların iyileştirilmesi ve inşaat öncesi; erken tasarım aşamalarında enerji tasarruflu kararlar alabilmek için mimarlara yardımcı olabilecek bazı yazılım araçlarının incelenmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Mimarlardan tasarım aşamalarında kullanılan bu araçlar literatürde önceki çalışmalara dayanan bir dizi değerlendirme kriterleri: “Kullanılabilirlik”, “Veri Birlikte Çalışabilirliği”, “Destek Seçenekleri”, “Bilgi Yönetimi”, “Hesaplama Özellikleri” kapsamında değerlendirilmiştir.

Yaygın olarak kullanılan bir BIM yazılımı olan Autodesk Revit ile bina enerji modeli BEM için farklı enerji motoru hesaplamalarına sahip Insight ve IDA ICE simülasyon araçlarının analiz sonuçları, mevcutta aktif olarak kullanıma sahip müstakil bir villa yapısı seçilerek yapının enerji tüketim verileri ile karşılaştırılmıştır. Insight BEM aracının doğrudan BIM yazılımı ortamına entegre olması, IDA ICE yazılım aracına BIM’den IFC modeli ile veri transferinin gerçekleştirilerek analizlerin oluşturulması, Insight simülasyon motorunun DOE-2.2 ve EnergyPlus hesaplamalarını içermesi, IDA ICE’nin bağımsız simülasyon motoru hesaplamalarına sahip olması araçların enerji analiz sonuçlarını karşılaştırırken farklı perspektiflerden bakılmasını sağlamıştır. Yapılan değerlendirmeler seçilen örnek yapıdaki gerçek enerji kullanım verileri ile karşılaştırılarak desteklenmiştir. Farklı yazılımlardan gelen enerji modeli sonuçları gerçek kullanım verileri arasındaki enerji farkı kabul edilebilir değer aralığında çıkmıştır. Bu karşılaştırma sonucu BIM tabanlı BEM sürecinin tasarım ve uygulamadaki yetkinliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: BIM; Bina Enerji Modeli; Enerji Verimliliği; Insight; IDA ICE

A REVIEW OF THE ANALYSIS RESULTS OF BIM BASED BUILDING ENERGY SIMULATION SOFTWARE

SUMMARY

In the design of buildings, there is increasing interest in energy performance as a measure to reduce energy consumption and greenhouse gas emissions. To reduce a building's energy consumption and CO₂ emissions, the emphasis is on the early design stages because if the right energy calculations and strategies are developed at the early design stage, the building's sustainable footprint will be significantly reduced. Building Information Modeling (BIM) is increasingly used in the design and construction of buildings to increase and accelerate efficiency, reduce errors and costs. In addition, BIM is used for the creation of the energy model developed from the early design phase with Building Energy Modeling (BEM) tools and for energy analysis throughout the entire lifecycle. For this, BIM and BEM tools should be able to communicate and exchange information with each other seamlessly. This subject means that these tools must be interoperable. In the early design phase of BIM-based BEM architectural designers: determining performance-based energy-efficient building design features for the early design phase where the cost of making design changes is low; also take parts an important role in making more advanced and detailed building model design implementation decisions.

In this thesis study, the improvement of the buildings in the existing building stock and pre-construction; Some software tools that can help architects to make energy-efficient decisions at early design stages will be examined and compared. These tools, used by architects during the design stages, were evaluated within the scope of a series of evaluation criteria based on previous studies in the literature: “Usability”, “Data Interoperability”, “Support Options”, “Information Management”, “Computation Features”.

The analysis results of Autodesk Revit, a widely used BIM software, and Insight and IDA ICE simulation tools, which have different energy engine calculations for the building energy model BEM, were compared with the energy consumption data of the building by selecting a detached villa structure that is currently in active use. Insight BEM tool directly integrated into BIM software environment, data transfer from BIM to IDA ICE software tool with IFC model to create analysis, Insight simulation engine includes DOE-2.2 and EnergyPlus calculations, IDA ICE has independent simulation engine calculations of vehicles energy analysis This allowed us to look at the results from different perspectives when comparing them. The evaluations made are supported by comparison with the actual energy use data in the selected sample structure. The energy difference between the energy model results from different software and the actual usage data is within the acceptable range. This comparison result shows the competence of the BIM-based BEM process in design and implementation.

Keywords: BIM; Building Energy Model; Energy Efficiency; Insight; IDA ICE



1. GİRİŞ

Binalar, Amerika Birleşik Devletleri'nde ve Avrupa Birliği'nde birincil enerji kullanımının % 40'ından , sera gazı emisyonlarının % 36'sından ve dünya enerjisinin üçte birinden sorumludur (EIA, 2016).

Bina inşaat malzemelerinin imalatı ve nakliyesi ile bina montajı ve inşaatı büyük miktarda enerjinin tüketilmesi ile birlikte yüksek miktarda sera gazı salgılanmasına yok açmaktadır. Bir binanın inşasından yıkımına ve bakımına kadar tüm yaşam döngüsünde, nihai enerji talebinin %50'sini tüketir ve havaya %50 oranında karbondioksit salgılanır. Küresel ısınma ile mücadele için inşaat sektöründe sera gazlarının atılımının azaltılması, küresel ısınmayla daha etkin mücadele edilmesine yardımcı olacaktır (Alsharif, 2019).

Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nden yayımlanan son raporda, 2050 yılına kadar küresel ısınmanın 1.5 ° C ile sınırlandırılması gerektiği yönünde ciddi bir değişiklik yapılması gerektiği vurgulanmıştır (IPCC, 2018).

Aynı zamanda, küresel nüfusun 2050 yılına kadar 10 milyara çıkması beklenmektedir. Büyük göç akışı, önümüzdeki yıllarda 2,5 milyar insanın kentsel alanlara taşınması beklenmektedir. Hızlı nüfus artışını ve kentleşmedeki değişime uyum sağlamak için günde 13.000 bina inşa edilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu durum 2030 yılına kadar yaklaşık olarak yıllık 3.3 trilyon dolarlık altyapı yatırımı yapılmasını gerektirecektir. İnşa edilen altyapıdaki bu patlamanın potansiyel olarak çevre üzerinde büyük bir etkisi olacaktır. Mevcut bina altyapısına bakıldığında (Lack ve Butler, 2019):

- Küresel enerjinin % 40'ı, küresel suyun % 25'i, küresel kaynakların % 40'ı ve sera gazı emisyonlarının yaklaşık üçte birinden sorumludur.
- Düzenli depolama sahalarına çıkan atık miktarının % 30'undan daha fazlasını (tüm inşaat sektörünün bir parçası olarak) kapsamaktadır.

Bu istatistikler mimarlık, mühendislik ve inşaat (Architecture - Engineering - Construction / AEC) endüstrisinin mevcut süreçlerinin yeniden biçimlendirilmesi ihtiyacını ifade etmektedir. Tasarım ve inşaat sadece talebi karşılamak için daha hızlı

inşa etmek yeterli olmamakla birlikte yapılar çok daha enerji verimli olmalıdır (Lack ve Butler, 2019).

Yapının yönlendirmesi, geometrisi, bina kabuk malzemeleri ve detayları gibi bina özelliklerini değiştirerek bina tasarımı daha fazla enerji tasarruflu hale getirilebilmektedir. Bina Enerji Modelleme (Building Energy Modelling / BEM) araçları, binanın enerji tüketimini azaltmada önemli bir etkiye sahiptir (Kamel ve Memari, 2019).

Bina Enerji Modelleme terimi, bir tesisin enerji tüketimini tahmin edebilen bir yazılımın kullanımını ifade eder. Bir binanın farklı bölümleri için farklı kriterlerin kombinasyonu, bu tür simülasyon yazılımı ile tanımlanabilmektedir. Bu tür yazılımların çalışması, enerji parametreleriyle etkileşimli olan bina modelleri gibi sanal görüntülere dayanmaktadır.

Enerji performansı simülasyon programları, binanın yaşam döngüsü boyunca enerji performansını ve termal konforunu incelemek için güçlü araçlardır. Bugün, bu türde çok sayıda araç mevcuttur ve bu araçlar; termodinamik modeller, grafiksel kullanıcı arayüzleri, kullanım amaçları, yaşam döngüsü uygulanabilirlikleri ve diğer yazılım uygulamaları ile veri alışverişi yapabilmeleri gibi birçok yönden farklılık göstermektedirler (Maile ve ark., 2007).

BIM teknolojisine dayanarak, son yıllarda Yapı Bilgi Modellemesi tabanlı Bina Enerji Modellemesi (BIM tabanlı BEM) adlı göreceli olarak yeni bir yaklaşım ortaya çıkmıştır. BIM tabanlı BEM, önceden oluşturulan bir BIM (mimari tasarım, mekanik yükler, malzemelerin özellikleri ve HVAC sistemi dahil) modelini kullanarak BEM araçları için girdi oluşturur ve BEM'i zaman kazandıran, düşük maliyetli, kullanımı kolay, daha pratik, tutarlı ve doğru bir süreç yapma fırsatı sunar (Gao ve ark., 2019). Tasarımcılar, bina tasarım sürecinde tasarım seçeneklerini değerlendirmek ve tasarım kararlarını verimli bir şekilde vermek için BIM tabanlı BEM yaklaşımını kullanabilir; bu sistemde çalışma yapmak bina enerji verimliliğini sağlama açısından kolaylık sağlar (Gao ve ark., 2019).

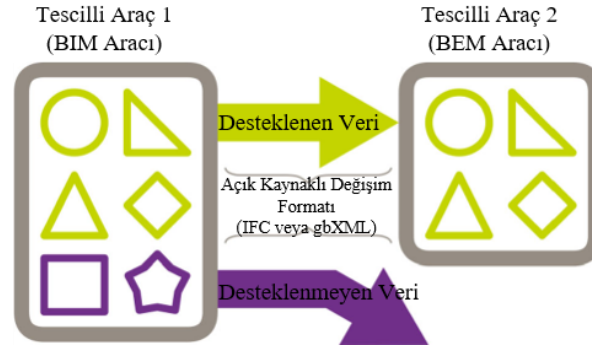
Yaygın inanın aksine, yapı bilgi modellemesi geleneksel iki boyutlu planlardan çok daha basit, anlaşılır ve çok yönlü olmasına rağmen, enerji modelleme yazılımı BIM tabanlı bir modelden gelen bilgileri tam olarak okuyamaz ve bu nedenle binanın enerji performansını aktarılabilen bilgiler dahilinde analiz eder. Bu nedenle, Bina Enerji

Modelleme (BEM) araçlarında istenen binayı yeniden modellemek veya yanlış çevrilmiş yapı bilgilerini düzeltmek için manuel bir düzeltme müdahalesi gereklidir. Bu gereklilik BIM tabanlı BEM entegrasyonunda enerji analizi için gerekli olan fakat bilgi aktarımı sürecinde veri kaybı sorununa engel olabilmek içindir. Bu soruna birlikte çalışabilirlik sorunu denir. “Birlikte Çalışabilirlik”, iki aracın her ikisi içinde gerekli, doğru okunabilen verileri iletişim kurma ve paylaşma yeteneğidir. Günümüzde, bu süreç oldukça zaman alan ve emek isteyen, aynı zamanda oldukça hataya yatkındır ve daha fazla dikkat gerektirir (Akbarieh, 2018).

Bina performans analiz araçlarının tasarım sürecine daha iyi bir entegrasyonunu sağlamak için: tasarım modeli ile iyi bir şekilde veri alışverişi yapma yeteneğine, verimli veri giriş ve çıkışını desteklemek için sezgisel kullanıcı arayüzlerine ve tek bir bina performans analizi modelinden farklı (enerji, güneş ışığı, karbon, su ve maliyet) simülasyonlar yapma yeteneğine ihtiyaçları vardır (Jeong ve Kim, 2016).

Bina performans analizi araçları arasında bilgi aktarımı: her aracın diğer çıktığı yorumlama, bu verileri kullanma ve bunu yorumlanabilir bir çıktı olarak kaydetme yeteneğine sahiptir. BIM ve BEM araçları arasında bilgi paylaşımı süreci açık kaynaklı değişim formatları aracılığıyla ortaya çıkmıştır (Laakso ve Kiviniemi, 2012). Özel araçlar daha sonra bu bilgilere erişebilme ve çoğu durumda diğer araçlarla paylaşmak için aynı formatta açık kaynaklı olarak çıktı oluşturabilme yeteneğine sahiptir. Bununla birlikte, tüm potansiyel yazma ve okuma ortamlarına açık bir formatın bulunması göz önüne alındığında, bu tescilli araçların açık değişim formatında temsil edilmeyen belirli bir işlevselliğe sahip olması nedeniyle genellikle bazı işlevsellik kayıpları yaşanmaktadır (Şekil 1.1) (Gerrish, T. ve ark., 2017).

Bu çerçevede BIM tabanlı BEM süreci üç aşamadan oluşmaktadır. Birlikte çalışabilirlik sorunları bu aşamaların herhangi birinden kaynaklanabilmektedir. Şekil 1.1’de veri değişim formatı transferi sürecinde araçlar arası bazı bilgi kayıplarının olduğu görülmektedir. BIM tabanlı BEM enerji analizi sürecinde bağımsız iki analiz ortamını birleştiren veri formatları mevcuttur: IFC ve gbXML gibi. Bu formatlardaki dosyaların BEM araçlarına transferi yapılırken bilgi aktarımında veri kaybı yaşanması bazı yapı elemanlarının ilgili BEM aracı tarafından tanımı yapılamamasından kaynaklanabilmektedir.



Şekil 1.1 : Açık format değişimi aracılığıyla dışa aktarma yoluyla veri bütünlüğünün / doğruluğunun kaybı (Gerrish, T. ve ark., 2017)

Bu nedenle, bu çalışmada, BIM tabanlı BEM metodolojisi için seçilen araçların biri doğrudan BIM aracına entegre bir BEM analiz sürecinin incelenmesini ele almakta olup diğer seçilen BEM enerji analiz aracı IFC veri değişim formatı transferi ile enerji analiz sürecinin incelenmesini ele almıştır.

1.1 Motivasyon, Hipotez, Amaçlar ve Hedefler

1.1.1 Motivasyon

Günümüzde, Mimari - Mühendislik - İnşaat - Yüklenici – İşletme (AECCO) sektörlerinde Yapı Bilgi Modellemesinin (BIM) kullanımı giderek artmaktadır. BIM; “bina modellerini üretmek, iletmek ve analiz etmek için bir modelleme teknolojisi ve ilişkili süreçler dizisi” (Eastman ve ark., 2011) olarak tanımlanmaktadır.

BIM, bir yapının fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin sayısal bir temsildir. Yapı bilgi modelleri, bir binanın tüm yaşam döngüsü boyunca geometrik, anlamsal ve topolojik bilgilerini depolayabilir, tüm bilgilere yalnızca bir yapı bilgi modeli üzerinden erişilebilir. BIM, bireyler ve şirketler için zaman, çaba, maliyet, hata ve karmaşıklık azalttığı için Mimari - Mühendislik - İnşaat - Yüklenici - İşletme (AECCO) alanlarında kullanımı yaygınlaşmaktadır. BIM modelinin bilgi içermesi ve bu bilginin farklı araçlar ile iletişim kurabilmesi sektörde ihtiyaç duyulan planlama, maliyet ve uygulamada model ile entegre bir sürecin ilerlemesine olanak sağlamaktadır.

BIM belirli bir yapıya özgü çok disiplinli verileri içeren ve açık bir şekilde tanımlanan yapının veri modelini temsil etmektedir. Yapıyı tanımlayan ve birden fazla disipline özgü bakış açılarıyla oluşturulmuş tüm verileri içerir. Bir BIM modeli, tanımladığı yapı bileşenlerinin her biri için tüm ilişkileri ve önceden tanımlanmış hiyerarşileri içerir; bu anlamda “akıllı” model kavramını temsil etmektedir (Bazjanac, 2004).

Genel bir endüstri bakış açısından bakıldığında, bir BIM, yazılım birlikte çalışabilirliği için açık standartlara dayalı olarak bir yapının fiziksel ve işlevsel özelliklerinin paylaşıldığı bir dijital temsildir. Yapı tasarımı, inşası ve işletiminde tüm katılımcılar tarafından sağlanan bilgileri içerir ve yaşam döngüsü boyunca alınacak kararlar için güvenilir bir temel oluşturur. Bu yaşam döngüsünün tüm aşamalarında farklı paydaşlar tarafından etkin iş birliğini kolaylaştırır (Bazjanac, 2007).

Bununla birlikte BIM modelini planlama, maliyet ve yapı performans analizlerini oluşturabilmek için başka araçlara aktarmak da mümkündür. Başta mimarlar ve mühendisler olmak üzere farklı disiplinler arasında farklı ihtiyaç ve araçların tercih edilebilirliği nedeniyle her meslek, amaçlarına ulaşmak için hızlı, kolay ve daha kullanışlı olduğu düşünülen özel araçlar kullanmaktadır (Attia ve ark., 2012).

Bir binanın yaşam döngüsü boyunca paydaşların karar vermesini desteklemek için tasarlanmış birçok BEM aracı birbirinden ayrı olarak gelişmiştir. Bu BEM araçları, tasarım profesyonellerinin ve uygulayıcılarının bina projelerini analiz etmelerine ve değerlendirmelerine olanak tanımaktadır. BEM araçları, bina geometrisini sıfırdan modelleme yeteneklerine sahip olsa da, geleneksel olarak, mimarlar ve mühendislerin iş süreçleri elle oluşturulan 2B çizimlere dayandığından BEM araçlarını etkili bir şekilde kullanmayı zor bulmuşlardır. Bu özellik, araçlar arasında ve tasarım modelleri ile bina enerji modelleri arasında entegrasyon eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca tasarım aşamasında tek bir tasarım modelinden kapsamlı analizler yapabilmek için her tür simülasyona uygun ayrık analiz modelleri oluşturulmalıdır. Örneğin, bir termal enerji modeli, bir tasarım modelinde basitleştirilmiş geometri ve termal malzeme bilgilerini dikkate alır; bununla birlikte, bir gün ışığı simülasyon modeli, cam geçirgenlikleri de dahil olmak üzere karmaşık geometrik yapı bilgileri ve malzeme özelliklerine ihtiyaç duymaktadır (Jeong, W. ve Kim, K., 2016).

Son yıllarda, bina performans simülasyonlarının tasarım aşamasına entegrasyonunu kolaylaştırmak için BIM tabanlı BEM araçları ortaya çıkmıştır. BIM tabanlı BEM araçları, binanın geometrik bilgilerinin tasarım modelinden yeniden girilmesi gibi gereksiz süreçleri ortadan kaldıran bina enerji modelleri oluşturmak için bina tasarım bilgilerinin doğrudan yeniden kullanılmasına izin vermektedir (Jeong, W. ve Kim, K., 2016).

BIM bağlamında, yazılımlar arasındaki model birlikte çalışabilirliği genellikle Industry Foundation Classes (IFC), Green Building XML (gbXML) veya doğrudan yazılım eklentileriyle yapılır. Bunlar, BIM ve BEM araçları arasında bilgi alışverişi için yaygın olarak kullanılan açık standart veri şemalarıdır. Yeşil Bina XML (gbXML) şeması temel olarak enerji simülasyonu için kullanılmasına rağmen yalnızca dikdörtgen geometri verilerini içerir ve bir projenin belirli alanlarının hedeflenmesine izin vermez (Gao ve ark., 2019). IFC yaygın olarak farklı uygulama alanları (daha kapsamlı bir veri türü) için kullanılır ve herhangi bir geometriyi okuyabilir. Bununla birlikte, bazı verilerin hala uygun şekilde aktarılamaması bu verilerin istenilen şekilde araçlara aktarımını yapabilmek için BIM tabanlı BEM sürecinde veri transferi aşamasında veri düzenleyici ara katman eklentilerin geliştirilmesine yol açmaktadır. Bunun katılımcıların modelleme pratiği, birlikte çalışılabilirlik sorunları veya BIM yazılımı aktarım formatından veya BEM yazılımında mevcut olan sınırlamalardan kaynaklandığı düşünülebilir.

Teknoloji geliştikçe doğrudan eklenti analiz araçlarının sayısının artması, aktarım formatı yoluyla geliştirilen enerji modelleri için ara katman düzeltici araçların ortaya çıkması bu sürecin daha sorunsuz bir şekilde çözülmesinde kolaylıklar sağlamaktadır.

BIM tabanlı BEM sürecine yardımcı olmak için farklı kapsam ve yeteneklere sahip birkaç üçüncü taraf bağımsız yazılım araçları geliştirilmiştir. Bu araçlar genellikle belirli bir BIM ve/veya BEM yazılımıyla sınırlıdır. Yetenekleri yalnızca bir görevi gerçekleştirmekle sınırlandırılabilir, örn. geometriyi mimari bir görünümünden termal bir görünüme yorumlamak, çevirmek veya bir dizi görevi yerine getirmeyi gerçekleştirmeyi sağlayabilir. Her iki durumda da amaç, BEM'i gerçekleştirmek için harcanan zaman ve çabayı azaltmak için BIM tabanlı BEM sürecini yarı veya tam otomatik hale getirmektir.

Bu bilgiler doğrultusunda bu çalışmada mevcut bina stoğunda yer alan yapıların iyileştirilmesi ve henüz inşa edilmemiş erken tasarım aşamalarında enerji tasarruflu kararlar alabilmek için mimarlara yardımcı olabilecek sektörde önde gelen bazı araçların değerlendirilmesi, uygulaması ve karşılaştırılması yapılacaktır. Bu değerlendirme yapılırken mevcut bir yapı üzerinden araç performans simülasyon sonuçları gerçek enerji kullanım değerleri ile karşılaştırılarak seçilen araçların doğrulanmasını sağlayacaktır. Bu doğrulamanın amacı BIM tabanlı BEM sürecinin

tasarım ve uygulamadaki önemi ve elde edilen sonuçların güvenilirliğine dikkat çekmektedir.

1.1.2 Hipotez

1970'lerden bu yana, binaların enerji performansını analiz etmek ve tahmin etmek için bina simülasyonu araçları hızla gelişmiştir. Şu anda, daha enerji verimli ve net sıfır enerjili binalara yönelik artan talep, endüstri için bir zorluk teşkil etmektedir (Issa, 2018). Bu zorluğun üstesinden gelmenin yollarından biri Bina Enerji Modellemesi (BEM) simülasyon araçlarının kullanımını artırmaktır. Bu araçlar, erken tasarım aşamalarında, mimari tasarımcıların, tasarım değişikliklerinin maliyetinin en ucuz olduğu kavramsal aşamada en iyi bilgiye dayalı kararları vermelerini sağlamak için önemli bir rol oynayabilir ayrıca tasarım olarak daha gelişmiş ve ayrıntılı modellerin geliştirilmesini sağlayabilmektedir.

BEM araç kullanımının yaygınlaşması BIM tabanlı BEM metodoloji kavramının ortaya çıkması ile birlikte artmıştır. Ancak BIM tabanlı BEM entegrasyonunda farklı platformlar arası veri transferinde sonuçlarda tutarsızlıklar meydana gelebilmektedir. Örneğin Revit, modelin gölgeli olduğunu gösteren hiçbir bilgiyi IFC dosyasına aktaramaz. Bu ayrıca Revit'in IFC 2x4'te ki gölgelemelere ayrılmış IfcShadingDevices sınıfını desteklemediği anlamına gelir. Revit'in gölgeleme nesnesi olmaması, BIM tabanlı BEM modellerinin geliştirilmesinde önemli bir engeldir.

Diğer taraftan IDA ICE aracı ile ilgili yapılmış çalışmadaki sonuç ele alınacak olursa: IDA ICE, IFC dosyasında IfcShadingDevices ile doldurulmuş herhangi bir gölgelemeyi algılamamıştır. İkincisi, enerji simülasyonu hesaplamalarında gölgelendirmeyi düşünmek için IDA ICE'nin kullanıcının IDA ICE platformu içinde manuel olarak bir gölgeleme çizmesini gerektirdiği kanıtlanmıştır. Bu nedenle, IDA ICE'nin bir girdi olarak BIM modelinde gölgeleme elemanlarını algıladığı otomatik bir işlem yoktur.

IFC Exporter'da bir seçeneğin değiştirilmesinin belirli bilgilerin IFC dosyasına yazılmasını engellediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, Revit kullanıcısı, IFC çıktı dosyasını etkileyen IFC dışa aktarma seçeneklerini ve BIM→IFC→BEM sürecinin kalitesini bilmelidir.

BIM tabanlı BEM süreci, enerji verimli tasarım kararlarının alınabilmesi için yapı tasarım evrelerindeki etkinliği önemlidir. Bununla birlikte bu süreç kural çerçevesi tam

olarak belirlenememiş bir metodoloji olup BIM tabanlı BEM sürecinde farklı platformlar arasında gerçekleştirilen veri transferi sürecinin iyi bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

BIM tabanlı BEM sürecine farklı perspektiflerden bakabilmek için farklı algoritma ve hesaplama yöntemine sahip araçların aynı model üzerinden analizlerinin karşılaştırılması gerekmektedir.

BIM tabanlı BEM sürecine hakim olabilmek ve araçların sonuçlarının doğrulanabilmesi için mevcut enerji kullanım verileri ile simülasyon sonuçları kalibre edilmeli ve karşılaştırılmalıdır.

1.1.3 Amaçlar ve hedefler

Bu tezin temel amacı, BIM ve BEM araçları arasındaki birlikte çalışabilirlik konusu göz önünde bulundurularak sürdürülebilir ve entegre tasarımı kolaylaştırmak için yapı sektöründe hesaplamalı enerji analiz sürecine katkıda bulunmaktır. Bu amaç aşağıdaki hedeflere yol açacaktır:

- BIM tabanlı BEM sürecinin farklı hesaplama yöntemi ve farklı analiz sürecine sahip iki yazılımda entegre yapı enerji modeli analiz sürecini oluşturarak sonuçların farklı perspektiflerden ele alınması,
- BIM ortamına doğrudan entegre olarak çalışan EnergyPlus ve DOE-2.2 simülasyon motoruna sahip Insight enerji yazılım süreci ve BIM IFC transferi aracılığıyla bağımsız simülasyon motoruna sahip IDA ICE’de enerji yazılım süreçlerini gerçekleştirilerek birlikte çalışabilirlik konularının incelenmesi,
- Mevcut kullanıma sahip bir yapının detaylı yapı bilgi modelini geliştirilerek enerji analizini oluşturmak ve elde edilen sonuçları gerçek enerji kullanım verileri ile karşılaştırılması,
- Mevcut yapı modelinin erken tasarım evresinde enerji analiz modeli oluşturularak; gelişmiş evre detaylı tasarım modeli enerji model sonuçları ile kıyaslaması yapılarak, erken ve ileri evrelerdeki enerji analizi sonuçlarının kıyaslanması,
- Elde edilen sonuçlar çerçevesinde gelecek çalışmalar için BIM tabanlı enerji modelleme ve birlikte çalışabilirlik süreci için önerilerde bulunulması olacaktır.

1.2 Sınırlandırmalar

Literatürden hareketle daha önce BIM tabanlı BEM metodolojisi uygulanarak yapılan çalışmalar ayrıntılı olarak ilerideki bölümde 2.9 başlığı altında incelenmiştir. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir:

Bir çalışmada BIM'in güncel gelişmelerine takiben bina tasarımının önceki aşamalarında mimarlar ve mühendisler arasında arasındaki boşluğu doldurmak için mimari tasarımın farklı aşamalarındaki gelişim düzeyi ile BEM araçları arasında mantıklı bir ilişki tanımlanmaya çalışılmıştır. Çalışmada farklı LOD seviyelerinde üç farklı BEM aracı kullanılarak bir konut yapısının enerji modeli çalışması yapılmıştır. BEM araçları olarak Passive House Planning Package (PHPP), Ecotect ve Sefaira kullanılmıştır. Enerji karşılaştırması sadece simülasyon sonuçları arasında farklı LOD seviyelerine göre yapılmıştır. Yapının mevcut enerji kullanım verileri olmadığından gerçek enerji kullanım verileri ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırması yapılamadığı için araçların yetkinlikleri doğrulanamamıştır (Hamedani ve Smith, 2015).

Diğer çalışmada BIM tabanlı BEM veri transferinde gbXML dosya formatı yapısı kullanılarak dört farklı BEM aracı: Ecotect, Equest, Design Builder ve IES-VE kullanılarak organik yapı formuna sahip bir yapının araçlar arasında bilgi aktarımında birlikte çalışabilirlik sorunları ele alınmıştır (Chen ve ark., 2018).

Bir başka çalışmada BEM araçları arasında en yaygın olarak kullanılan araçların mimarlar tarafından tasarlanması, karşılaştırılması ve kıyaslanması yapılmıştır. DesignBuilder (EnergyPlus), eQuest (DOE-2) ve IES-VE (APACHESim), karmaşık bir akademik binanın modellenmesi ve enerji kullanımını simüle etmedeki etkinliği test edilmiştir. Araştırmada, literatür taramasından önceki çalışmalara dayanarak bir dizi değerlendirme kriteri tanımlanmıştır: 1) Kullanılabilirlik, 2) Veri Birlikte Çalışabilirliği, 3) Destek Seçenekleri, 4) Bilgi Yönetimi ve 5) Bilgi İşlem Yetenekleri. Kriterlerin amacı, erken tasarım aşamasında mimarlar tarafından kullanılacak bu araçların uygunluğunu değerlendirmek ve bu kritik sektörde gerekli işlemleri elde etmek için bu araçların ihtiyaç duyabileceği ek gelişmeleri belirtmektir. Çalışmada veri transferi gbXML dosya formatı kullanılarak yapılmıştır. Yapının malzeme bilgileri BEM araçlarında yer alan kütüphaneler kullanılarak oluşturulmuştur. Gerçek

enerji kullanımı verileri ile kıyaslama yapılmamıştır. Sonuçlar belirtilen kriterler kapsamında araçların kullanımını değerlendirmiştir (Issa ve ark., 2018)

Başka bir çalışmada BIM aracı Autodesk'in Revit'in, en çok kullanılan BEM programlarından ikisi olan DesignBuilder ve IES-VE ile birlikte ne kadar iyi çalıştığını araştırarak BIM tabanlı BEM doğruluğunu ve bütünlüğünü ele almaktadır. Çalışmada BIM'den BEM'e veri transferi gbXML dosya aktarım formatı kullanılarak tek bir yapı türü araştırılmıştır (Elnabawi, 2020).

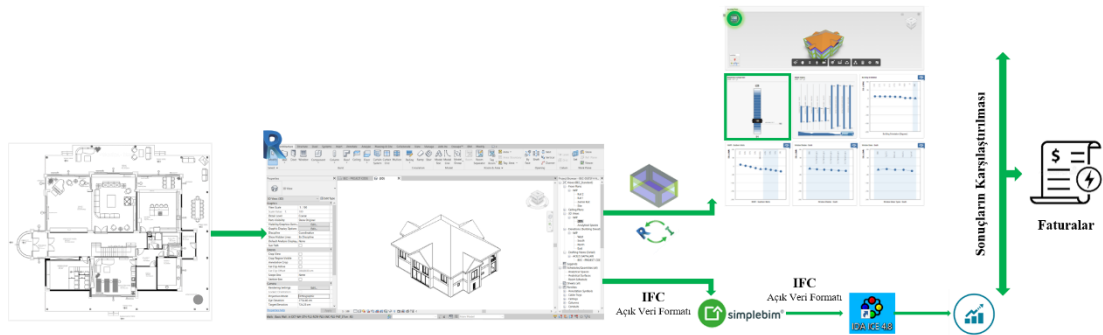
İncelenen bir diğer çalışmada BIM teknolojisini kullanarak bir konut yapısında enerji tüketimini optimize etmek amaçlanmıştır. Bu çalışmanın ana odak noktası, kavramsal tasarım aşamasında, tasarım alternatiflerinin karşılaştırılması ve enerji tüketimi azaltmaya yönelik kararların belirlenmesi için BIM teknolojisini kullanarak bina bileşenlerinin eş zamanlı değerlendirilmesi yoluyla enerji performansını değerlendirmektir. Alternatif enerji optimizasyonu şemaları üzerindeki parametrik çalışmaların sonuçları, 30 yıllık kullanıma sahip bir zaman diliminde binanın ilk modeline kıyasla enerji maliyetinde %58.46, enerji kullanımında %22.59 tasarruf elde edildiği gösterilmiştir. Bu çalışma erken tasarım aşamasında kütle çalışmaları üzerinden tasarım alternatiflerinin enerji etkin kriterlere göre kıyaslanarak seçilen optimum tasarımın yapının enerji tüketiminde tasarruf sağladığını göstermiştir (Soroush ve Amani, 2020).

Erken tasarım aşamasında mimari tasarım kararlarının belirlenmesi için BEM simülasyon araçlarının kullanımına ilişkin bir doktora çalışmasının parçası olarak ele alınan bir çalışmada BEM araçlarının kullanımına yönelik 2008 ve 2019 yılları arasında bina enerji simülasyonunda ortaya çıkan eğilimleri yakalamak için bu alanda yayımlanan araştırmaların kapsamlı bir eleştirel incelemesi yapılmıştır. İncelemede 64 araç kategorize edilmiştir. Sonuçlar, erken tasarım karar belirsizliklerinin üstesinden gelmeyi amaçlayan duyarlılık ve belirsizlik analizi gibi bir dizi trend yöntemini göstermektedir. Ayrıca, bulut simülasyonu yönteminin anlık simülasyon sonuçlarını etkinleştirdiği; genetik algoritmalar ve yapay sinir ağları gibi yapay zeka ile ilgili yöntemlerin, optimizasyon ve enerji tahmin sürecine daha yüksek doğrulukla yardımcı olduğu bulunmuştur (Mahmoud ve ark., 2020).

İncelenen çalışmalardan referansla bu çalışmalarda genel olarak BIM tabanlı BEM sürecinde bilgi transferi için seçilen dosya formatı gbXML'dir. Araç seçimleri

yapılırken kriterler çok fazla ele alınmamış olup genel olarak sektörde yaygın olarak kullanımı olan araçlar seçilmiştir. Bina enerji simülasyonu sonuçlarının karşılaştırılması gerçek veriler kullanılarak doğrulanmamıştır. BIM tabanlı BEM süreci genel olarak erken tasarım aşamasında kullanılmaya yönelik ele alınmış olup hem erken tasarım hem de gelişmiş tasarım evresinin gerçek kullanıma sahip bir yapı modeli ile kıyaslamasına aynı çalışma içerisinde yer verilmemiştir.

Bu bilgiler doğrultusunda bu tez çalışması kapsamında yapı bilgi sistemlerinin yalnızca performatif yapı tasarımı enerji analizi değerlendirmesi, belirlenen enerji analizi araçlarından elde edilen sonuçların gerçek vaka çalışması üzerinden yapılmıştır. BIM araçlarından yalnızca Autodesk Revit Architecture programı, BEM araçlarından EnergyPlus ve DOE-2.2 simülasyon motoru hesaplamalarına sahip bulut tabanlı Insight enerji analiz aracı ve bağımsız kendi hesaplama motoruna sahip IFC veri transferi ile BIM tabanlı BEM sürecinin gerçekleştiği IDA ICE aracı kullanılarak farklı algoritma hesaplama yapısına sahip iki aracın değerlendirilmesi ele alınmıştır. Örnek vaka çalışması olarak mevcutta kullanıma sahip müstakil bir konut yapısı seçilmiştir. Mevcut yapının gerçek verileri ile oluşturulan BIM modelinden BEM araçları ile oluşturulan enerji simülasyon sonuçları gerçek kullanım verileri ile kıyaslanmıştır. Erken tasarım aşamasında enerji etkin tasarım kararlarının alınmasına vurgu yapmak için yapının geometrik özellikleri kullanılarak oluşturulan kütle modeli enerji analizi sonuçları ile gelişmiş tasarım enerji modeli kıyaslaması yapılmıştır.



Şekil 1.2 : Yapılan çalışmanın şematik anlatımı

BIM tabanlı BEM entegrasyon sürecinde bu çalışmada yer alan yazılım araçları dışındaki BIM veya BEM araç yeteneklerinin doğrulanması yapılmamıştır. Sonuçlar EnergyPlus ve DOE-2.2 gibi simülasyon motoru hesaplamalarına sahip BIM aracı ile entegre bulut tabanlı yazılımları ve IFC entegrasyonlu bağımsız simülasyon motoru hesaplama yapısına sahip araç kategorilerini kapsamaktadır. Seçilen yapı kullanım tipi dışındaki yapı tipleri BIM tabanlı BEM entegrasyon sürecinin dışında tutulmuştur.

Belirtilen diğer seçim özellikleri bir başka çalışmanın konusu olabilir fakat bu çalışmada belirtilen sınırlar çerçevesinde BIM tabanlı BEM süreci ele alınmıştır.

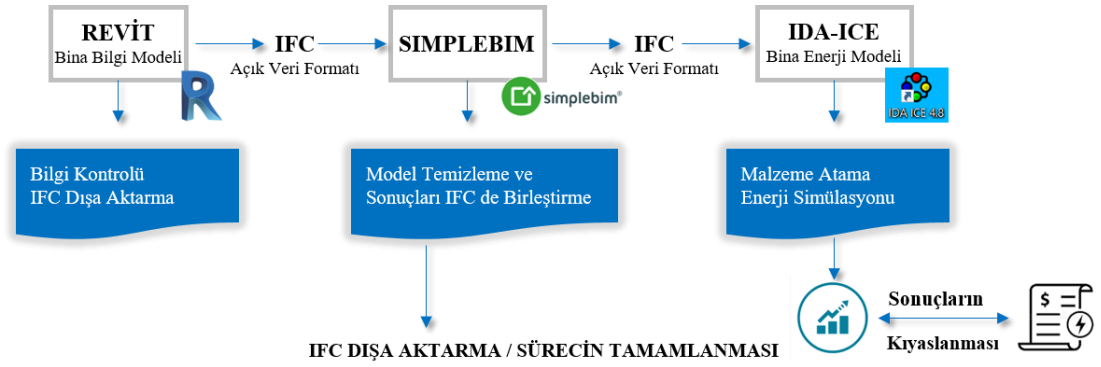
1.3 Araştırma Yöntemi

BIM’den BEM’e enerji modeli oluşturma sürecinde tez çalışması kapsamında seçilen bir konut yapısının yapı bilgi modelinin oluşturulması ve seçilen enerji analizi araçları ile oluşturulan yapı bilgi modeli üzerinden elde edilen analiz sonuçları mevcut enerji kullanım değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan BEM araçları literatürde yer alan beş seçim kriteri dikkate alınarak seçilmiştir (Hong ve ark. 2000; Weytjens ve ark., 2010; Attia ve ark., 2012): “Kullanılabilirlik, grafik görselleştirme ve arayüz”, “Akıllı tasarım bilgi tabanının entegrasyonu”, “Ayrıntılı ve karmaşık yapı formlarını ve bileşenlerini simüle etme doğruluğu ve yeteneği”, “Bina modellemesinin birlikte çalışabilirliği”, “Araçların tasarım sürecine entegrasyonu”. Tüm bu kriterlere göre farklı araçların kıyaslanması Bölüm 3.1’de detaylandırılmıştır.

Çalışma süresince izlenen araçlar arası iş akışları Şekil 1.3 ve Şekil 1.4’te gösterilmektedir. İlk olarak Revit’te BIM modeli oluşturulmuştur. Ardından 1. iş akışında gösterilen Revit plug-in olarak çalışan Insight’ta enerji modeli oluşturmak için Revit’in analiz sekmesi altında yer alan enerji oluşturma ve daha sonra optimizasyon tuşuna basarak enerji modeli hesaplanmak üzere bulut ortamına gönderilmiştir. 2. iş akışında IDA ICE için oluşturulan BIM modelinden IFC dosyası dışa aktarılmıştır. Daha sonra IFC dosyası ara katman düzeltici Simplebim uygulamasında açılarak enerji yazılımı için hatalı olan veriler düzeltilmiştir ve son olarak IFC dosyası IDA ICE’ye transfer edilmiştir. Her iki araç yapısından elde edilen enerji simülasyonu sonuçları seçilen konut yapısının gerçek enerji kullanım miktarı ile karşılaştırılarak seçilen araçların doğrulanması sağlanmıştır. Araç yapıları ve gerçek örnek vaka çalışması üzerinden karşılaştırmalar tezde yer alan 3. Bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 1.3 : Revit ve Insight iş akışı



Şekil 1.4 : Revit ve IDA ICE iş akışı

BIM - BEM entegrasyonu için çalışmada kullanılan enerji yazılım araçlarının sonuçları ve uygulama sürecindeki yetkinlikleri literatürde yer alan araç değerlendirme kriterleri kapsamında değerlendirilmiştir (Attia ve ark., 2012): “Kullanılabilirlik”, “Veri birlikte çalışabilirliği”, “Destek seçenekleri”, “Bilgi yönetimi”, “Hesaplama özellikleri”.

1.4 Tez Özeti

Tez metni aşağıda dört bölüm halinde düzenlenmiştir.

1. Bölümde çalışmanın amacı, hedefleri ve sınırlılıkları ile birlikte teze genel bir bakış sunulmaktadır.
2. Bölümde, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), Bina Enerji Modellemesi (BEM), Birlikte Çalışabilirlik, BIM tabanlı BEM araştırmalarına yönelik çalışmalar ile ilgili teorik bir arka plan oluşturulmaktadır.
3. Bölümde, ilk olarak araştırma tasarımı ve seçilen örnek vaka çalışması tanıtılmaktadır. Daha sonra BIM model yapısının oluşturulması için Revit yazılımı ile ilgili bilgiler verilmektedir. Bina enerji modellemesi çalışmaları ile ilgili Insight ve IDA ICE yazılımları ile ilgili vaka çalışması analizlerinin tanıtımı yapılmaktadır.
4. Bölümde, vaka çalışmalarının sonuçlarına dayalı olarak elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve rapor edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, gelecekteki araştırmacılar için bazı fikirler sunulmaktadır.

2. BIM TABANLI BİNA ENERJİ MODELLEMESİ (BEM)

Bu bölümde, tez kapsamında ele alınan konulara yönelik ihtiyaç duyulan tüm kavramlar incelenmiştir. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) kavramının tanımı ve kullanımı, Bina Enerji Modellemesi (BEM) kavramının tanımlanması ve enerji analizi araç yapılarının incelenmesi, BIM - BEM birlikte çalışabilirlik konusunda çalışmaya yön verecek kavramların incelenmesi ve devamında bina enerji modeli BEM için BIM model gelişimi, araç seçimi ve karşılaştırma kriterleri ele alınmıştır.

2.1 Bina Enerji Modellemesi (BEM)

BEM, enerji performansını simüle etmek, enerji ihtiyaçlarını değerlendirmek ve böylece binaların tasarımını optimize etmek için etkin bir şekilde kullanılabilir (Khodeir ve Nessim, 2018).

“Bina Enerji Simülasyonu” terimi, bir tesisin enerji tüketimini tahmin edebilen bir yazılımın kullanımını ifade eder (Chaudhary, 2016). Bir binanın farklı bölümleri için farklı kriterlerin bir kombinasyonu bu simülasyon yazılımı ile tanımlanabilir. Bu tür yazılımların çalışmaları, bina modelleri ve enerji parametreleriyle etkileşimli modeller gibi sanal ekranlara dayanmalıdır.

Ayrıntılı bir çalışmanın yürütülebilmesi ve daha hassas simülasyonların yapılmasını sağlamak için bina enerji modelleri yeterince geliştirilmelidir. “Enerji Modelleme” terimi, bunun için özel bir yazılım kullanılarak enerji tüketimi açısından modelin simülasyonunu ifade eder. Bu yazılım, binanın taleplerine uygun olmalı ve maliyetleri, yıllık karbondioksit gazı emisyonu ile aylık bazda ve yıllık bazda enerji tüketimini tahmin edebilen ve çeşitli enerji kaynaklarını karşılaştırabilen ve maliyet tasarrufu konusunda kararlar alabilen bir yazılım olmalıdır. Bir binanın tüm bilgileri arasında enerji modellemeyi göstermek için en önemlileri aşağıda listelenmiştir (Chaudhary, 2016):

- Binanın geometrisi
- Binanın tipi
- Enerji tüketiminin ölçülmesi
- Hava durumu ile ilgili tahminler

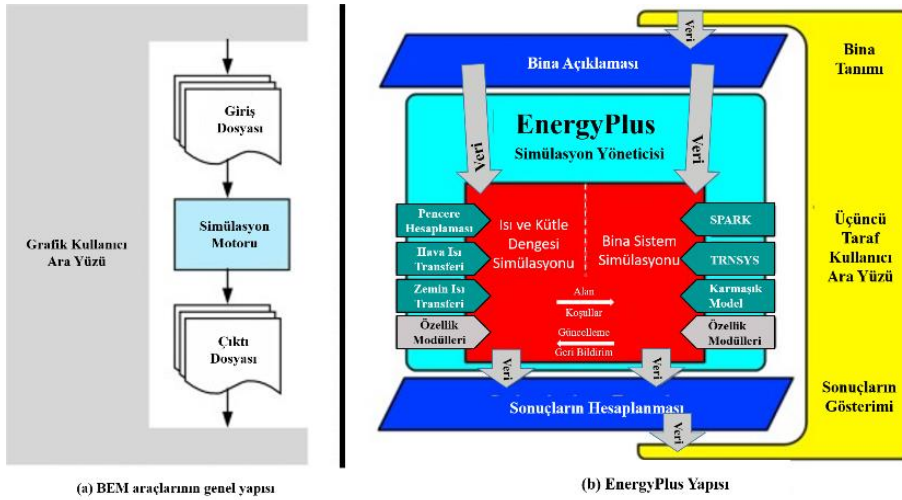
BEM aynı zamanda bina işletim aşamasında enerji modeli girişlerini gerçek bina işletiminden gerçek zamanlı bir veri beslemesi ile senkronize etmek için de kullanılabilir. Bu senkronizasyon hem modeli gerçek bina performansı ile kalibre etmek hem de sistemin çalışmasını optimize etmek için kullanılır (Reeves T. ve ark., 2015).

Amerikan Mimarlar Enstitüsü (AIA), enerji tasarruflu bina projelerinde yer alan paydaşlara BEM kullanmanın çeşitli faydalarını açıklamaktadır. BEM, tasarımcıların performansa dayalı bir yaklaşım kullanarak enerji tasarruflu binalar oluşturmalarına yardımcı olur. Performansa dayalı modelleme, bina sahiplerine proje için daha düşük yaşam döngüsü maliyeti (ör. azaltılmış başlangıç maliyeti, revizyonlarda kolaylık, işletme ve bakım maliyetleri) sağlarken, bina sakinleri daha yüksek düzeyde konfor ve sonuç olarak iç ortamlarından daha yüksek memnuniyet elde ederler (Reeves ve ark., 2015).

BEM araçları genellikle aşağıdakileri değerlendirmeye yardımcı olur:

- Enerji talebi
- İç ortam çevre kalitesi
- Karbondioksit emisyonu
- Enerji tasarrufu önlemlerinin geri ödeme sürelerini ele alır.

BEM araçlarının genel yapısını gösterilmektedir (Şekil 2.1). Simülasyon motoru (örneğin EnergyPlus ve DOE-2.2), bir simülasyon gerçekleştirmek için tanımlanmış bir formattaki girdi dosyalarını (IFC veya gbXML) kullanır ve çıktısını bir veya daha fazla çıktı dosyasına yazar. Grafik kullanıcı arayüzü genellikle bu süreci kapsar ve kullanıcıya girdi dosyalarının daha kolay oluşturulmasını sağlar, motorla simülasyonu başlatır ve sonuçları daha anlaşılır biçimde göstermek için grafik çıktı dosyaları olarak kullanıcıya sunar (Crawley ve ark., 2001).



Şekil 2.1 : BEM araçlarının genel yapısı (Gao ve ark., 2019)

BEM teknolojileri, bina tasarımı, optimizasyonu, inşaat, işletme ve araştırmaya yaygın olarak uygulanan onlarca yıldır geliştirilmiştir. Ticari BEM araçlarının çoğu (örn. TRNSYS, EnergyPlus ve ESP-r) genellikle ölçüm verileri olmadan çok çeşitli çalışma koşullarında iyi tahmin doğruluğu sağlayan fiziksel modeller kullanır.

BEM araçları, bir Grafik Kullanıcı Arayüzü (GUI) ve bir simülasyon motoru dahil olmak üzere iki bileşenden oluşabilir. OpenStudio, BEopt, DesignBuilder ve eQuest gibi GUI'ler, kullanıcılar için grafik arayüz sağlayarak enerji modelleme sürecini kolaylaştırır. Ancak ikinci bileşen olan EnergyPlus ve DOE2 gibi enerji simülasyon motorları bu araçların arkasında çalışır.

DesignBuilder, OpenStudio, eQuest veya BEopt gibi ortamların arayüzleri simülasyonu doğrudan gerçekleştiremezler ve farklı sayısal araçlara ve ısı dinamiğine dayanarak analiz yapan EnergyPlus veya DOE-2.2 gibi enerji simülasyon motorları ile entegreli şekilde çalışmaya ihtiyaç vardır.

DOE2, her türlü bina için enerji kullanımını ve maliyetini tahmin edebilen, yaygın olarak kullanılan ve kabul edilen ücretsiz bir bina enerji simülasyon motorudur. DOE2, binanın saatlik simülasyonunu gerçekleştirmek ve faturalarını tahmin etmek için hava durumu verileriyle birlikte bina yerleşimi, inşaatlar, işletme programları, iklimlendirme sistemleri (aydınlatma, HVAC vb.) ve kullanıcı tarafından sağlanan kullanım oranlarının bir tanımını kullanır.

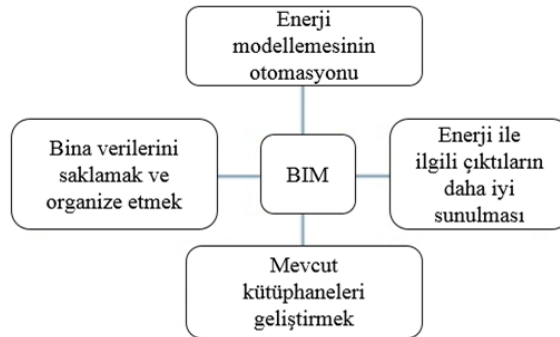
EnergyPlus, mühendislerin, mimarların ve araştırmacıların binalardaki enerji tüketiminin, ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve fiş yüklerinin hesaplanmasının yanı sıra binalardaki su kullanımını da modellemek için kullandıkları

bir bina enerji simülasyon programıdır. Tablo 2.1 enerji simülasyonu arayüzü veya simülasyon motoru altında ortak enerji simülasyon araçlarının nasıl toplandığını göstermektedir.

Tablo 2.1 : Enerji simülasyon araçlarının kategorileri (Kamel ve Memari, 2019)

Enerji simülasyon ara yüzü	Enerji simülasyon motoru	Grafik ara yüzü bağımsız enerji simülasyon motoru
OpenStudio DesignBuilder Hevacomp Simergy Beopt	EnergyPlus	Ecotect TRNSYS IDA ICE ApacheSim (IES VE'de Kullanılan EDSL Tas Modelica Dili (Dymola gibi grafiksel ara yüzlerle kullanılabilir)
GBS eQuest RIUSKA	DOE2	

BEM yaklaşımı alternatif tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesini gerçekleştirme amacına sahiptir: sistem ve alt sistem seçimi ve karşılaştırılması, enerji için yıllık bütçe tahsisi, enerji standartlarına uygunluk, maliyeti optimize etmek. BEM araçları tek başına kullanıldığında tasarım süreci ve dijital planlama ile senkronizasyonu ve entegrasyonu sağlanamamaktadır. BEM ile ilgili bilgilerin “BEM araçlarına” manuel olarak girilmesi hem çok zaman alır hem de maliyet ve işçilik açısından yoğun bir süreci oluşturur. Bu nedenle BIM tabanlı BEM sürecinde iki modelin birleştirilmesi, model geometrisinin oluşturulmasında harcanan çaba ve zamanı azaltır. Bununla birlikte BIM tabanlı BEM modelinde bina parametrelerinin otomatik olarak atanması veri alışverişi ve bilgi güvenirliliği korunabilmektedir (Chen ve diğerleri, 2018). BIM sürecinin BEM sürecine katkısı Şekil 2.2’de gösterilmektedir. BIM’in, tek bir veri modelinden çok disiplinli bilgileri temsil etmesi, bina tasarımı ve bina performansı simülasyon modelleri arasında veri entegrasyonunu kolaylaştırır.



Şekil 2.2 : Enerji yönetiminde BIM'in katkıları (Kamel ve Memari, 2019)

BEM, özellikle erken tasarım aşamasında bina tasarımı için gerekli bir süreçtir. Erken tasarım kararları süreç içerisinde en etkili olan zaman dilimidir çünkü tasarım

değişikliği yapmak, erken tasarım aşamasında enerji simülasyonu araçları yardımıyla kolay ve düşük maliyetlidir (Gao ve ark., 2019).

2.2 Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)

Entegre tasarım sürecini (Integrated Design Process - IDP) desteklemek için BIM gerekli bir teknoloji haline gelmektedir. Mimari, mühendislik ve inşaatla ilgili çalışan disiplinleri bütünleştirmekte ve binaların yaşam döngüsü performansını optimize etmektedir. BIM kavramı 1974 yılında Charles Eastman tarafından “Bina Tanımlama Sistemi Projesi’nde” ortaya atılmış ve bir bina projesinin görsel tabanlı ve niceliksel analizini gerçekleştirmeye yardımcı olan bir binanın bilgisayar tabanlı bir tanımının yapılmasına yardımcı olduğu fikrini vermiştir (Eastman ve ark., 1974).

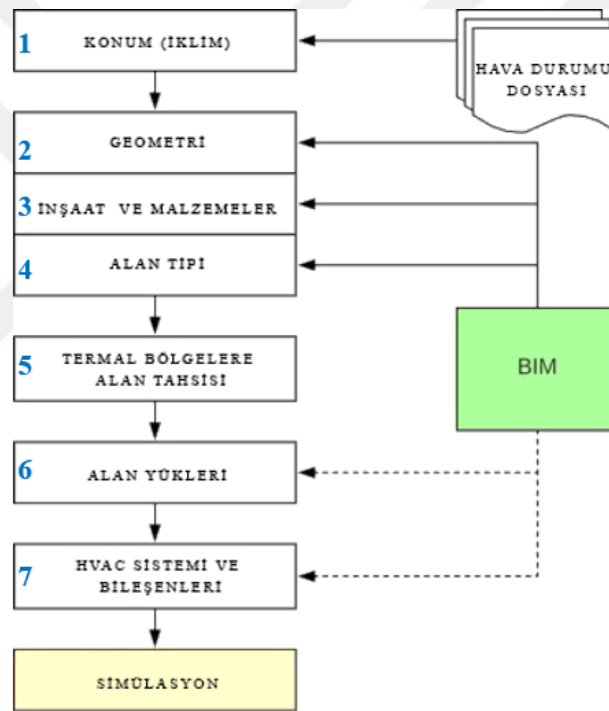
“BIM” kısaltması hem yapı bilgi modelini (ürün) hem de yapı bilgi modellemesini (süreç) temsil etmek için kullanılır ve dönüşümlü olarak araştırma topluluğu ve yazılım geliştiricileri tarafından kullanılmaktadır (Gao ve ark., 2019).

BIM, farklı disiplinlerin birbirleriyle çalışmalarını sağlar, ekip ve organizasyon olarak performansı artırır. Böyle bir prosedür “IDP” veya Entegre Tasarım Süreci olarak bilinmektedir.

BIM, araç uygulamaları ve işlevleri sayesinde projenin ilk aşamalarında üç boyutlu modeller oluşturulabilir. Bu, geleneksel iş akışlarında 'satır aşağı' yerine tasarımın erken aşamasında analiz üretme ve analiz simülasyon araçları kullanma olanağını sağlar. Bu, büyük miktarda zaman ve paradan tasarruf etmek için olası inşaat ve tasarım kusurlarını proje yaşamının ilk aşamasında belirleme yeteneği sağlar. BIM, tasarımcılara aşağıda yer alan maddelerdeki açıklamaları sağlayarak tasarım iş akışını derinden değiştirir (Şekil 2.1) (Alsharif, 2019):

- Sürdürülebilir tasarımın iyileştirilmesi,
- Daha erken ve daha doğru tasarım görselleştirmesi,
- Doğru 2D çizimlerin yanı sıra binanın 3D modelinden maliyet tahminlerinin çıkarılması,
- Entegre ve birbiriyle ilişkili işlerdeki değişikliklerin kolaylaştırılması
- Ortak tasarımın gerçekleştirilmesini sağlar.

BIM tabanlı BEM'in iş akışının ideal bir grafiği gösterilmektedir (Şekil 2.4) (Maile ve ark., 2007). İlk adım, bina konumunu tanımlamaktır (1), bu başlangıçta hava dosyasını simülasyona bağlamak için yapılır. Malzemelerin termal ve yapı özellikleri, alan tipleri ve geometrisi BIM modelinden ithal edilmelidir. Enerji simülasyon yazılımının geometri tanımına uymak için BIM'deki geometrinin basitleştirilmesinden termal bir görünüm elde edilmelidir. Ek olarak, boşlukların termal bölgelere bölünmesi ve alt bölümlere ayrılması, geometri tanımına dayalı kullanıcı arayüzünün özelliklerinden biri olmalıdır. Ardından, BIM ayrıca belirli uygun alan türlerine zaten atanmış olan alan yüklerini de içerir. Son aşamada, BIM ayrıca HVAC sisteminin bileşenleri ve bilgileri sağlar. Gösterilen iş akışının vurguladığı gibi, BIM tabanlı BEM prosedürleri sınıflandırması bina hakkındaki bilgilere göre altı adımda gerçekleştirilebilir.



Şekil 2.4 : BIM tabanlı BEM simülasyon süreci için ideal iş akışı (Maile,2007)

Kesin konumun ve hava durumu dosyasının belirlenmesi, bölgeye ait iklim koşullarını içermesinden dolayı doğru enerji simülasyonu için en önemli adımdır ve bu, enerji performansı simülasyonunun iş akışında ilk sırada gelmesinin nedenini açıklar.

Bina geometrisi ve formu (2), enerji performansı simülasyonunun iş akışına göre konum ve iklimden sonra çok önemli bir adımdır ve bu nedenle bina modelinin geometrik özelliklerinin aktarım sürecini değerlendirmek esastır.

Yapı malzemeleri, bina kabuğunun (3) enerji dengesinden ve genel enerji modellemesinden sorumlu ana faktördür. Buna göre, bina kabuğunu temsil eden

duvarlar, pencereler ve kapılar, bina kabuğu katmanlarının sayısı, sırası ve termal özellik değerleri bu faktörleri içermektedir.

Termal bölgeler (5), yapının ısıtma - soğutma yüklerini ve ısı enerji hesaplarını temsil etmektedir. Bu özelliğin atanması tanımlı alanlar için mekan özelinde atanan mekanik sayısal bilgilerin temsil edilmesini sağlar.

Alan yükleri (6) doluluk ve işletim programı yapı tipine bağlı olarak yapının kullanım tipini temsil etmektedir.

HVAC sistem (7) seçimi yapı için ısıtma – havalandırma – iklimlendirme özelliklerinin tanımlanmasını temsil etmektedir.

BIM ve BEM arasında uygun entegrasyon ancak verilerin yukarıda ifade edildiği gibi kesintisiz aktarımı sağlandığında elde edilebilir. Mevcut veri aktarımı ile ilgili sorunlar yaratan geniş enerji motorları türü nedeniyle BIM ve BEM araçları arasındaki birlikte çalışabilirlik sürecini optimize etmek için birçok çalışma geliştirilmiştir (Kamel ve Memari, 2018; Spiridigliozzi ve ark., 2019). Örnek olarak BIM’den BEM’e IFC dosya aktarımı sırasında dosyayı BEM aracına transfer etmeden, aktarılacak IFC dosyasında yer alan bilgilerin BEM aracı için gerekli bilgilere indirgeyerek hazır hale getirmektir. Bu çalışmaların amacı BIM tabanlı BEM sürecinde dosya aktarımı sırasında meydana gelebilecek hataların ve boşluğun oluşmasına engel olmak ve sürecin kullanımını kolaylaştırmak, geliştirmek ve doğrulamaktır.

2.4 Yapı Bilgi Modeli ve Geliştirme Düzeyi (LOD)

Farklı aşamalarda toplanacak bilgileri tanımlamaya yönelik BEM için gerekli minimum bilgi, BIM ile tümleşik bir BEM veri havuzuna giriş için LOD olarak detaylandırılmaktadır. Bu, tasarım boyunca geliştikçe, bilgilerin değişme olasılığı azalır ve bu nedenle tamamlanmış binayı daha fazla temsil etmektedir (Gerrish, 2017).

Model gelişim düzeyi (Level of Development - LOD) özellikleri için tanımlar geliştirilmiştir (AIA, 2013). Tanımların yer aldığı dokümanda, farklı Geliştirme Düzeylerindeki bina sistemlerinin model elemanlarının özelliklerini açıklanmakta ve gösterilmektedir. Bu açıklamalar, model oluşturan kullanıcıların model geliştirme standartlarını tanımlamasına ve modele erişimi olacak diğer disiplinlerdeki kullanıcıların, aldıkları modellerin kullanılabilirliğini ve sınırlamalarını açıkça anlamalarına izin vermektedir.

Geliştirme Detay Seviyesi, LOD ile ilişkili yetkili kullanımları desteklemek için bir model ögesinde yer alan minimum boyutlu, uzamsal, nicel, nitel ve diğer verilerin açıklaması olarak tanımlanmaktadır (AIA, 2013).

Her model ögesi farklı bir oranda gelişmektedir. Geliştirme Düzeyi (LOD) çerçevesi, proje katılımcılarının bir model ögesinin kavramsal fikirden kesin tanım ve açıklamaya kadar ilerlemesini anlamalarını sağlamaktadır. Sayısal kodlarla tasarım aşamalarının tanımlanması farklı LOD'ların özellikleri Tablo 2.2'de gösterilmektedir (AIA, 2013).

Tablo 2.2 : Bina tasarımı sırasında BEM parametreleri için gelişme düzeyi (Gerrish, 2017; AIA, 2013)

Tasarım aşaması	Geliştirme seviyesi	Anahtar parametreler
Erken konsept tasarımı	LOD 100 - modelde sembolik olarak temsil edilen elemanlar (geometrik bilgi yok)	Konum (iklim, çevre) Temel termal bölgeler Genel yapı tipi Genel termal profil (doluluk, aydınlatma, ekipman) Genel koşullar (sıcaklık)
Geç konsept tasarımı	LOD 200 - modeldeki elemanlar, geometrik olarak belirtilen geometrik olarak jenerik sistem olarak temsil edilir	Mekansal geometri (değişebilir) Yapı bileşimi Doluluk, aydınlatma ve ekipman seviyeleri Servis yöntemi (ısıtma / soğutma / havalandırma)
Erken detaylı tasarım	LOD 300 - elemanlar, parametrik bilgilerin dahil olduğu tanımlanmış konuma sahip belirli sistemleri temsil eder	Sabit mekansal geometri Ayrıntılı yapı bileşimi (termofiziksel özellikler, termal köprüleme, sızma oranları) Ayrıntılı dahili kazanç programları Servis planları
Geç detaylı tasarım	LOD 350 - diğer sistemlerle eleman arayüzleri dahil	Yerel servis optimizasyonu Kullanım koşullarında değişiklik Tüm bina sistemi optimizasyonu
Yapı	LOD 400 - eleman içinde / yanında depolanan imalat ve çalışma bilgileri	Yapım aşamasındaki teknik özellikler (geometri, yapı ekipman) İşletme ve bakım yöntemleri
Kullanımda	LOD 500 - kurulu elemanlarla ilgili tüm bilgiler Tesis Yöneticisi tarafından kullanıma hazırdır	Harici ortam kayıtları İşlemler ve bakım kayıtları

Mevcut BEM süreç haritasına uygulanan bu geliştirme seviyeleri, her aşamada BEM için gerekli bilgilerin etkin bir şekilde oluşturulması için BIM içinde depolanması gereken bilgileri tanımlayarak, tasarım geliştirme aşamalarında bu noktaların her biri için gerekli bilgi kapsamını göstermektedir.

2.5 Tasarımın Erken Aşamalarında Enerji Etkin Kararların Önemi

BIM kullanımının yaygınlaşması ile birlikte modellerin bilgi taşıması enerji performans analizi süreçlerinde bu bilgilerin kullanımı için LOD çerçevesinin oluşturulması, bu bilgilerin üst düzey tanımıyla sonuçlanmıştır. Bu tanımlamalar, uygun model düzeyini belirlemek için gerçek projelerin farklı tasarım senaryolarında

kısmi uygulamaların yapılması ile birlikte geliştirilmiştir; örneğin, Revit modelleri ile enerji performans modelleme araçları arasında geometri detay seviyesi ve alan tanımlamalarının yapılmasıdır.

BIM tabanlı BEM, çevresel bir bakış açısıyla uygun bir karar verme ve erken tasarım aşamalarında sürekli bir çevresel değerlendirme oluşturmaktır. Tasarım aşamasında daha fazla zaman harcamak ve LOD gereksinimlerini tutarlı bir şekilde kullanmak BIM modelindeki elemanların bilgi ve ayrıntı düzeyini artıracaktır. Bu, IFC dosyalarındaki bilgileri güçlendirir ve BIM tabanlı BEM sürecinde daha az hatanın oluşmasını sağlar. BIM tabanlı BEM’de üç yaklaşım izlenmektedir: maliyetleri düşürmek, sera gazı emisyonlarını düşürmek ve verimliliği arttırmaktır.

Tasarımın erken aşamalarını temsil eden LOD 200 ve LOD 300'deki tasarım kararları çerçevesinde Seattle, Washington'da yer alan 50.000 metrekarelik açık ofis binası tipinin farklı simülasyon senaryosu sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır (Krygiel ve Brad, 2008). Senaryo çalışmaları, bina oryantasyonu, güneş stratejileri, bina kütleleri ve formlarda değişiklik yapılarak oluşturulmuştur. Tablo 2.3’te, ofis binasının yedi farklı simüle edilmiş oryantasyon senaryosu ve her durumda binanın enerji kullanımını gösterilmektedir.

Temel optimizasyon ve enerji verimliliği için erken tasarım kararları LOD 200'de aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- Bina oryantasyonu
- Bina düzeni ve formu
- Pencere - açıklıkların geometrisi, konumu ve yoğunluğu
- Bina zarfı ve kumaş konstrüksiyonu
- Gün ışığı performansı, güneş enerjisi kazancı ve gölgeleme stratejileri
- Doğal havalandırma stratejileri

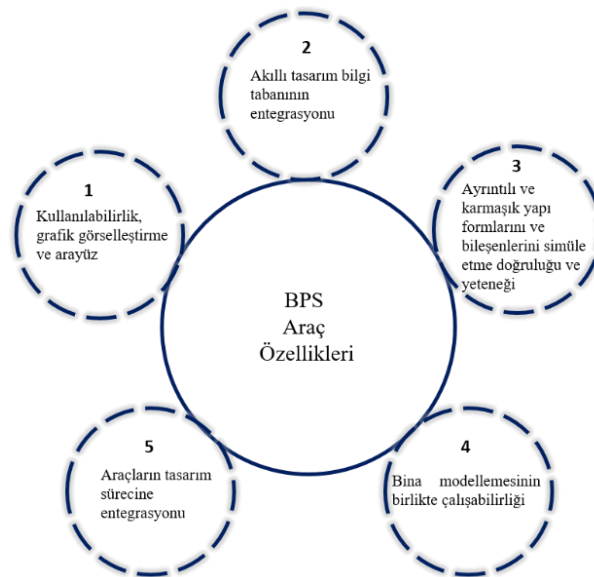
Bina simülasyon araçlarının zaman içinde gelişmesi, bina tasarımlarının oluşturulmasındaki etkinliğinin artması bazı değişimler ile sonuçlanmıştır (Attia, 2010).

- Araç kullanıcılarını çeşitlendirmek ve tüm tasarım ekibine daha fazla hitap etmesi
- Araçların erken ve geç tasarım aşamalarına uyacak şekilde değiştirilmesi
- Araçların sayısını artırmak ve çeşitli işlevlere sahip eksiksiz araçlar geliştirilmesi
- Araç yeteneklerini yerleştirme

Bu değişiklikler ile birlikte BEM araçları bina tasarımı pratiğine entegre olmaya devam etmektedir.

Gelişen ve her geçen gün sayısı artan Bina Performans Simülasyon araç havuzu arasında bu araçları kullanacak kullanıcı uygun bir araç seçme zorluğu ile karşı karşıyadır. Araç geliştiricileri araçların yeteneklerini ve sınırlamalarını nadiren belirtmektedir (Reinhart, 2006). Bu nedenle, seçim sürecini kolaylaştırmak için farklı kullanıcıların araç yeteneklerine ve sınırlamalarına ilişkin ihtiyaçlarını açıkça tanımlamak gerekir. BPS araçları için temel kriterleri belirlemek, mimarları ve mühendisleri daha verimli ve uygun maliyetli sürdürülebilir binalar oluşturma yanısıra gelecekteki yenilikleri ve AEC endüstrisinin ilerlemesini kolaylaştırabilir.

Literatürde BEM araç seçim kriterleri için en az beş ana konunun tartışıldığı tespit edilmiştir (Hong ve ark., 2000; Attia ve ark., 2011; Issa, M. ve ark. 2018). Şekil 2.5'te bu beş kriter şu şekilde sınıflandırılmaktadır:



Şekil 2.5 : Beş seçim kriteri (Attia ve ark., 2012)

1. Kullanılabilirlik, grafik görselleştirme ve arayüz (UIM)

Arayüzün kullanılabilirliği ve grafiksel özellikleri bina enerji performans aracının temel seçim kriteridir. Bir aracın işlevselliğini, girdilerin grafik sunumunu ve simülasyon platformlarının sonuçlarını içerir. Karşılaştırmalı raporlar, kıyaslama ve araçların grafik özelleştirme kapasitesi gibi özellikler mimarlar için önemlidir.

2. Akıllı tasarım bilgi tabanının entegrasyonu (IIKB)

Literatürde sıkça bahsedilen ikinci kriterdir. Bu kriter, tasarım kararı desteği ve tasarım optimizasyonu terimleri içerisinde işlem görmektedir. Bu kriter iki ana özelliği içerir: bilgi tabanı ve zeka. Bilgi tabanı, karar almayı desteklemekte ve tasarım kararlarının etkisi ile ilgili nicel ve nitel tavsiyeler sunmaktadır. Bilgi tabanını bir araca entegre etmek, önceden belirlenmiş bina şablonları, bina bileşenleri, sezgisel kurallar veya bina kodlarına uygunluk için uygun kurulumu belirlemek için prosedür yöntemleri şeklinde olabilir. Bu, tasarım kılavuzlarını, vaka çalışmalarını, stratejileri vb. içerir. IIKB'nin diğer birçok pratik sonucu da zeka kısmıdır. Zeka, içeriğe özgü analizler oluşturmayı, karmaşık tasarım stratejilerini değerlendirmeyi, tasarım çözümlerini optimize etmeyi, yaşam döngüsü (Life Cycle / LC) ve ekonomik yönleri analiz etmek için tasarım sorularına ölçülebilir cevaplar bulmayı içerir. Akıllı, Bina Performans Simülasyonu (BPS) araçları, temel tasarım parametrelerini tanımlayan, çeşitli kavramları karşılaştıran, hatta otomatik olarak yarı otomatik tasarım alternatifleri üreten parametrik analizler yapabilir. Bu nedenle, IIKB, gelecekte BPS araçlarının en önemli seçim kriterlerinden biridir.

3. Ayrıntılı ve karmaşık yapı formlarını ve bileşenlerini simüle etme doğruluğu ve yeteneği (AADCC)

Doğruluk, bir enerji simülasyon araçlarının temel kriteridir. Bina enerji performansı simülasyon araçlarının analitik ve ampirik olarak doğrulanması ve kalibrasyonunun araçların sorumluluğu ve kalite seviyesi üzerinde doğrudan etkisi vardır. Daha da önemlisi, karmaşık bina bileşenlerini ve formlarını modelleme ve simüle etme yeteneğidir. Örneğin, karmaşık bir geometrik kütlede soğutulmuş kirişler ve geri kazanım havalandırma sistemi boyunca çift cidarlı bir cephenin yüksek çözünürlüklü simülasyon gereksinimlerinin zorluğu düşünülebilir.

4. Bina modellemesinin birlikte çalışabilirliği (IBM)

İş birliği yapan firmalar arasında ve bireysel şirketlerin tasarım ve yapımında bina verilerini yönetme ve iletişim kurma yeteneğine karşılık gelen bina modellemesinin

birlikte çalışabilirliği. Bu, bina enerji performansı simülasyon araçlarını değerlendirmek için temel bir kriterdir çünkü bilginin tek bir sanal temsil ile multidisipliner depolanmasına ve paylaşılmasına izin verir (Hamedani ve Simith, 2015).

5. Araçların tasarım sürecine entegrasyonu (IBDP)

Tüm bina tasarımı boyunca BPS araçlarının entegrasyonunda artan önem ile birlikte, teslimat süreci simülasyonu tasarım sürecinin entegre bir unsuru olarak kullanılmalıdır. BPS araçları, birçok uzman tarafından önerilen uyarlanabilir ve "tasarım süreci merkezli" olmalıdır. Ortaya çıkan bu kriter, BPS araçlarının seçiminde önemlidir, çünkü aracın farklı amaçlar için, farklı kullanıcılar ve farklı tasarım aşamalarında uyarlanabilir kullanım yeteneğini doğrular.

Bu kriterler bağlamında bu çalışmada seçilen BEM araçlarının yapısı literatürde özellikle seçim kriterleri üzerinde yapılan çalışmalara dayandırılarak farklı enerji simülasyon motoru hesaplamalarına sahip ve farklı birlikte çalışabilirlik prensibine sahip iki farklı BEM aracını ele almıştır. Seçilen araçlar: DOE-2.2 ve EnergyPlus'ı kullanan Autodesk Insight 360 ve kendi bağımsız simülasyon hesaplama motoruna sahip IDA ICE. Araç seçim kriterlerine göre araç özellikleri 3. Bölümde Tablo 3.1 altında incelenmiş olup aynı zamanda seçilen araçların çalışma prensibine yönelik teknik araç özellikleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

2.7 Araç Karşılaştırma Kriterleri

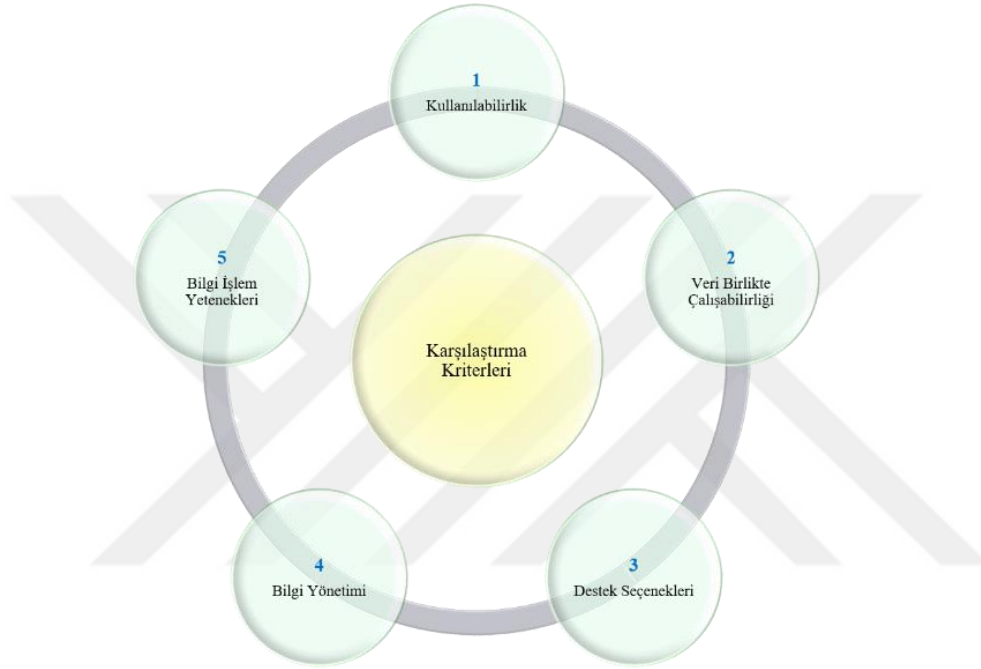
Var olan ve veri aktarımı ile ilgili sorunlar yaratan geniş enerji motorları türü nedeniyle BIM ve BEM (Bina Enerji Modelleme) araçları arasındaki birlikte çalışabilirlik sürecini optimize etmek için birçok çalışma geliştirilmiştir.

BEM araçlarını kullanma ihtiyaç ve gereksinimlerini değerlendirmek için birçok araştırmacı, anketlere ve literatüre dayalı olarak değerlendirme kriterleri tanımlamıştır. İlk sunulan değerlendirme kriterleri dört ana başlıktan oluşmaktadır (Hong ve ark, 2000): 1) Kullanılabilirlik, 2) Hesaplama Yetenekleri, 3) Veri Değişim Yeteneği, 4) Veri Tabanı Desteği.

Belçika'da mimarlarla yapılan bir anket ve röportaja dayanan BEM araçlarının mimar dostu olup olmadığını değerlendirmek için kriterler geliştirilmiştir (Weytjens ve ark.,

2010). Değerlendirme kriterleri beş başlıktan oluşmaktadır: 1) Veri Girişi, 2) Veri Çıkışı, 3) Grafik Kullanıcı Arayüz, 4) Kullanılabilirlik ve 5) Genel.

En yaygın olarak kullanılan farklı enerji simülasyon motorlarına sahip üç BEM aracının genel incelemesi ve değerlendirilmesi için önceki çalışmalardan referansla geliştirilmiş değerlendirme kriterleri tanımlanmıştır (Issa, 2018): 1) Kullanılabilirlik, 2) Birlikte Çalışabilirlik, 3) Destek Seçenekleri, 4) Bilgi Yönetimi, 5) Hesaplama Yetenekleri.



Şekil 2.6 : Araç karşılaştırma kriterleri

1. Kullanılabilirlik:

Bu kriter (Hong ve ark., 2000) dört değerlendirme aşamasına dayanarak tanımlanmıştır:

- öğrenme eğrisi,
- giriş verilerinin sunumu,
- aletleri çalıştırma süreci,
- çıktı verilerinin yorumlanması.

2. Veri birlikte çalışılabilirliği:

- Geometri veri birlikte çalışılabilirliği
- Termal ve yapısal verilerin birlikte çalışılabilirliği.

3. Destek Seçenekleri:

Kullanıcılara sunulan eğitim ve yardım destek seçeneklerini içerir. Program kullanımı ile ilgili video, teknik doküman, kullanıcı yardım destek e-postası, web arayüz canlı destek hizmetleri.

4. Bilgi Yönetimi :

Bilgi yönetimi kriterleri, farklı araçlar tarafından sunulan varsayımları, varsayılan değerleri ve şablonları temsil eden (Attia, S. ve ark., 2012) temeller olarak tanımlanmıştır.

5. Hesaplama Özellikleri:

Bu kriter, dört özelliği test etmek için (Hong ve diğerleri, 2000) temel alınarak tanımlanmıştır:

- çekirdek algoritmalar,
- hesaplama hızı,
- doğruluk,
- parametrik analiz.

Araştırmada yer alan yapının BIM tabanlı BEM süreci ve bu süreçten elde edilen enerji performans değerlendirmesi sonuçları, birlikte çalışabilirliğinde optimize edilmesine izin veren daha önce literatürde de ele alınan Şekil 2.6'da gösterilen kriterler çerçevesinde enerji analizi araçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır.

2.8 BIM Tabanlı BEM Araçlarının Performansını Karşılaştıran Bazı Çalışmalar

Bu bölümde BIM-BEM birlikte çalışılabilirlik konusunda analiz araçlarının farklı yönlerden karşılaştırmasının yapıldığı literatürden çalışmalar incelenmiştir. BIM tabanlı BEM birlikte çalışılabilirlik süreci günden güne gelişen bir süreç olduğundan dolayı seçilen çalışmaların son yıllarda ele alınmış olmasına önem verilmiştir. İncelemesi yapılan bu çalışmaların metodolojisi ve gelecek çalışmalar için önerileri çalışma kapsamında dikkate alınacaktır.

(Attia Çalışması, 2010)

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı (DOE) dizininde yer alan en iyi 10 bina performans aracı arasında kullanıcı dostu bir karşılaştırma araştırması yapılmıştır: DOE-2, Designbuilder (DB), Ecotect, Energy 10, Energyplus, Energyplus Sketchup

(EPSU), eQUEST, Green Building Studio, HEED ve IES VE. Araştırma ekibi tarafından, sonuçların grafiksel gösterimi, kolay öğrenilebilirlik, kısa öğrenme eğrisi, kullanım esnekliği ve yönlendirme, basit giriş seçenekleri gibi farklı kategorilerde: giriş seçenekleri, esnek veri depolama, çevrimiçi destek ve eğitim kursları sağlama, araç içinde hava durumu verilerini sağlama ve birlikte çalışabilirlik konularında her bir aracın performansını değerlendirmek için çoğunlukla mimar ve tasarımcılardan oluşan 249 uygun kişiyle anket yapılmıştır. Araştırma sonucunda, araştırma ekibi 10 aracı anket katılımcılarına göre üç ana gruba ayırmıştır: 1) eQuest, HEED, IES-VE en çok kullanıcı dostu, 2) DB, ECOTECT, GBS tasarım sürecinde entegrasyondan yoksun bulundu, bu nedenle kullanıcı dostu olma konusunda başarısız olmuştur, 3) DOE-2, EP, EPSU araçların işlevselliğinden yetersiz görülmüştür.

(Hamedani ve Smith Çalışması, 2015)

Bu çalışma bir Entegre Proje Teslimi (Integrated Project Delivery / IPD) aracı olarak BIM'in güncel gelişmelerine takiben bina tasarımının önceki aşamalarında mimarlar ve mühendisler arasındaki boşluğu doldurmak için mimari tasarımın farklı aşamalarındaki gelişim düzeyi ile BEM araçları arasında mantıklı bir ilişki tanımlamaya çalışmaktadır. Simülasyon araçlarının mevcut kapasitesini değerlendirmek ve simülasyon için gerekli girdi verilerinin tanımlanmış kriterleri ile bina tasarımı kararlarını almak için araçların entegrasyonu, arayüzün kullanılabilirliği ve grafiksel görselleştirmesi, bina modellemenin birlikte çalışabilirliği, doğru, ayrıntılı ve karmaşık yapı bileşenlerini simüle etme yetenekleri kriterlerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Denver, Colorado'daki potansiyel bir site içinde yer alan iki katlı, 1100 m² konut binasını kullanarak seçilen simülasyon araçlarının ön değerlendirilmesi yapılmıştır. BEM araçları olarak Passive House Planning Package (PHPP), Ecotect ve Sefaira kullanılmıştır. PHPP, Passivhaus standardının tasarımına yardımcı olmak için mimarlara ve tasarımcılara yönelik elektronik tablo tabanlı bir tasarım aracıdır. Dezavantajı, veri girişinin biraz zor olması ve henüz birlikte çalışabilir bir doğrudan CAD yazılımı bağlantısının olmamasıdır. PHPP yüksek düzeyde ayrıntı gerektirir ve tasarımın sonraki aşamalarında tasarımı değerlendirmek için kullanılmaktadır. PHPP enerji modeli LOD 300 – LOD 350 seviyesinde modellenmiştir. Ecotect'te enerji analizi geometrinin Ecotect içinde modellenmesiyle başlamıştır. Ecotect enerji modeli LOD 300 düzeyinde modellenmiştir. Sefaira'da enerji simülasyonu yapabilmek için Ecotect modeli SketchUp'a aktarılmıştır. Sefaira

enerji modeli LOD 100 – LOD 200 arasında modellenmiştir. Yapının gerçek enerji kullanımına dayalı bu üç enerji modelinin kalibrasyonu, her bir aracın doğruluk seviyesini tanımlayabilir fakat yapı kullanılmadığı için bu veri elde edilememiştir ve modellerin gerçek enerji performansına göre değerlendirmek mümkün olmamıştır. Tasarım sürecinin erken aşamalarında bina performans analizini başarılı bir şekilde entegre etmek için farklı araçların sınırlarını anlamak çok önemlidir. Bu çalışmada her bir araç için farklı LOD seviyesi her bir simülasyon modelinin değişen LOD seviyesine göre Enerji Kullanım Yoğunluğunun (EUI) karşılaştırılmasını sağlamıştır.

(Akbarieh Çalışması, 2018)

Bu çalışmada BIM ile BEM araçları arasındaki birlikte çalışabilirlik konularını incelemek için, 19 vaka çalışması sistematik bir yaklaşımla incelenmiştir. Amaç, vakalar sırasında karşılaşılan “birlikte çalışabilirlik sorunlarını” anlamak olmuştur. Araştırmalar sırasında kullanılan bina modeli BESTEST 600 olarak adlandırılmıştır. BESTEST 600 binası, bina enerji simülasyon programlarının onaylanmasında kullanılmakta olup uluslararası kabul görmüş bir modeldir. BIM aracı olarak, Yapı Bilgi Modellemesi için oldukça popüler ve yaygın olarak kullanılan Autodesk Revit seçilmiştir. Araştırmada kullanılan BEM aracı, ticari olmasına rağmen bir binanın enerji simülasyonu ve analizi için güçlü bir araç olan IDA ICE seçilmiştir. Bu iki araç arasındaki veri alışverişi IFC ile test edilmiştir. Bu çalışma, mimari bir modelden otomatik enerji modellemesini yasaklayan, BIM ve BEM araçları arasında bilgi alışverişi sürecinde birlikte çalışabilirlik sorunlarının olduğunu varsaymaktadır. Bu nedenle Revit modelinde IFC transferi sırasında IDA ICE’de meydana gelebilecek birlikte çalışabilirlik sorunlarına yönelik vaka çalışması senaryoları geliştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda Revit IFC transferli IDA ICE enerji analizinde yapısal elemanlar ile ilgili hangi özelliklerde birlikte çalışabilirlik sorunlarının olup olmadığının incelenmesi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan model tek bölge bir oda biriminden oluşmaktadır. IFC transfer sürecinde herhangi bir doğrulama aracı kullanılmamıştır. Çalışmanın gelecek çalışmalara yönelik önerileri arasında:

1. Birkaç uzay ve birkaç bölge olan bir yapının test edilmesi
2. IFC dosyasının IDA ICE’ye daha sorunsuz transfer edilebilmesi için bazı eklentilerin kullanılması
3. BIM-BEM sürecinde farklı bir BIM veya BEM aracı ile bu sürecin test edilmesi

(Issa ve ark. Çalışması, 2018)

Bu araştırmanın temel amacı, en yaygın olarak kullanılan BEM araçlarının mimarlar tarafından tasarlanması, karşılaştırılması ve araçların çalışma motorlarının farklı olması olarak tanımlanmıştır. Designbuilder, eQuest ve IES-VE, karmaşık bir akademik binanın modellenmesi ve enerji kullanımını simüle etmedeki etkinliği test edilmiştir. Araştırmada, literatür taramasından önceki çalışmalara dayanarak bir dizi değerlendirme kriteri tanımlanmıştır: 1) Kullanılabilirlik, 2) Veri Birlikte Çalışabilirliği, 3) Destek Seçenekleri, 4) Bilgi Yönetimi ve 5) Bilgi İşlem Yetenekleri. Kriterlerin amacı, erken tasarım aşamasında mimarlar tarafından kullanılacak bu araçların uygunluğunu değerlendirmek ve bu kritik sektörde gerekli işlemleri elde etmek için bu araçların ihtiyaç duyabileceği ek gelişmeleri belirtmektir. Çalışmanın gelecek çalışmalara yönelik önerileri arasında:

1. Araçların günlüğü, enerji üretimi, yaşam döngüsü veya ekonomik yeteneklerine yönelik olabilir, çünkü bu araştırma öncelikle BEM araçlarının enerji kullanım yeteneklerine yönelik çalışılmıştır.
2. Mimarlar tarafından tasarımın erken aşamalarında yaygın olarak kullanılan SketchUp gibi araçların gelecekteki çalışmalarda farklı BIM aracı olarak süreçlere dahil edilebileceği öngörülmüştür.
3. Bu araştırma, uluslararası kabul görmüş veri değişim yöntemlerinden sadece birini içermiştir; gbXML, Autodesk Revit ile birleşmesi nedeniyle, IFC ve DXF gibi diğer yöntemler gelecekteki çalışmalar için uygun bulunmuştur.
4. Seçilen BEM araçları, BIM araçlarıyla entegre, eklenti yeteneklerine yönlendirilebilir ve bağımsız sürümlerin performansı ile karşılaştırılması önerilmiştir.

(Chen ve ark. Çalışması, 2018)

Bu çalışmada, BIM ile dört farklı BEM aracı (Ecotect, EQUEST, Design Builder ve IES-VE) arasındaki birlikte çalışabilirlik süreci, tasarım aşamasında bir konut binasının örnek vaka incelemesi kullanılarak araştırılmıştır. Konut yapısı geometrik olarak organik yapı kabuğuna sahip bir form seçilerek BIM – BEM arasındaki birlikte çalışabilirlik seviyesi düzensiz yapı formları açısından incelenmiştir. BIM tabanlı BEM sürecinde bilgi aktarımında BIM modelinden BEM aracına yanlış transfer edilen bilgiler, altı farklı yapı bilgisi parametresi kategorisine göre gruplandırılmıştır.

BIM'den BEM araçlarına bilgi aktarımında gbXML dosya transferi yaklaşımı kullanılmıştır. Genel olarak, bu çalışma, BIM ve mevcut birkaç BEM aracı arasında BEM için gerekli bilgi kriterleri üzerinden (geometri, alan tanımı, yapısal eleman bilgileri, iç yükler, doluluk kullanım programı ve HVAC sistem bilgisi) birlikte çalışabilirlik sorunlarını ele almıştır. Bu, sorunların çözümüne yönelik bilgiler sağlamamıştır.

(Elnabawi Çalışması, 2020)

Bu çalışma, BIM aracı Autodesk Revit'in, en çok kullanılan BEM (bina enerji modelleme) programlarından ikisi olan DesignBuilder ve IES-VE ile birlikte ne kadar iyi çalıştığını araştırarak BIM tabanlı enerji modellemesinin doğruluğunu ve bütünlüğünü ele almaktadır. Çalışmada BIM'den BEM'e veri transferi gbXML tek dosya biçimlendirmesi kullanarak tek bir bina türünü araştırmıştır. Konum ve hava durumu dosyaları, geometri, yapı ve malzemeler, termal bölgeler, doluluk kullanım programı ve HVAC sistemleri dahil olmak üzere birlikte çalışabilirlik açısından entegre edilmiştir. Birlikte çalışabilirlik süreci sırasında yanlış aktarılan tüm veriler belirlenerek ardından sürecin güvenilirliğini değerlendirmek için BIM tabanlı enerji modelleme simülasyon sonuçları ile vaka çalışmasının gerçek enerji tüketimi arasında kıyaslama yapılmıştır. Araştırma, BIM veri girişi ve BEM veri yorumlamasıyla ilgili bir dizi birlikte çalışabilirlik sorununu ortaya çıkarmıştır. Genel olarak, BIM tabanlı BEM'in, sürdürülebilir ve düşük enerjili bina tasarımı için umut veren bir süreç olduğunu kanıtlamıştır. Fakat BIM'den BEM'e süreci, bir modelleyiciden diğerine değiştiği için bina enerji modelleri üretmenin standart bir yöntemin olmadığı belirtilmiştir. Tüm bunlar sürece yönelik olası bir uygulamayı yavaşlatabilmekte ve bu alanda uygulama yapan kullanıcılar için bazı belirsizliklere neden olabilmektedir.

(Sorosh ve Amani Çalışması, 2020)

Bu çalışma, BIM teknolojisini kullanarak bir konut yapısında enerji tüketimini optimize etmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmanın ana odak noktası, kavramsal tasarım aşamasında, tasarım alternatiflerinin karşılaştırılması ve enerji tüketimini azaltmaya yönelik kararların belirlenmesi için BIM teknolojisini kullanarak bina bileşenlerinin eş zamanlı değerlendirilmesi yoluyla enerji performansını değerlendirmektir. Farklı tasarım alternatiflerini değerlendirmek için Revit yazılımında yukarıdan aşağıya tasarım yaklaşımıyla birkaç kavramsal kütle modeli oluşturulmuştur. Kavramsal kütleler gözden geçirildikten sonra modelleme için ana yapı formu seçilmiştir. Daha

sonra, bu alandaki ilgili araçlar kullanılarak, malzeme, ekipman ve proje konumuna göre bina enerji tüketimi hesaplanmıştır. Son olarak farklı enerji tüketimine sahip tasarım modelleri incelenerek en optimal mod seçilmiştir. Alternatif enerji optimizasyonu şemaları üzerindeki parametrik çalışmaların sonuçları, 30 yıllık kullanıma sahip bir zaman diliminde binanın ilk modeline kıyasla enerji maliyetinde %58.46, enerji kullanımında %22.59 tasarruf elde edildiği gösterilmiştir.

(Hoo ve Wahab Çalışması, 2020)

Bu çalışma, İspanya'nın Malaga kentinde bulunan bir okul binasının enerji analizini ele almaktadır. Bina, 2018 yılında INTI International University ile başka bir İspanya üniversitesi arasında yürütülen üniversiteler arası ortak yürütülen bir projenin ürünüdür. Yapının enerji analizi, BIM tabanlı BEM süreci kullanılarak yapı malzemelerinin ve hava koşullarının etkilerinin dikkate alınarak enerji performansını tahmin etmek için Autodesk Revit'i kullanmıştır. Analiz, CO₂ emisyonunu, soğutma ve ısıtma yüklerini ve binanın elektrik kullanımını tahmin edebilmektedir. Tek ve modern bir iş süreci ile bir mimar veya mühendis, küçük bir binanın eksiksiz analizini kolaylıkla gerçekleştirebilmektedir.

(Mahmoud ve ark. Çalışması, 2020)

Bu çalışma, erken tasarım aşamalarında mimari kararların belirlenmesinde BEM simülasyon araçlarının kullanımına ilişkin daha geniş bir doktora araştırmasının parçasıdır. Çalışma, enerji modelleme araçlarında en son teknolojinin kullanılması, bir kategorinin tanımlanması, geliştirilmesi ve pratikte uygulanmasında son ortaya çıkan eğilimlerin belirlenmesi yoluyla araştırmanın iki yönlü hedefini kapsamaktadır. Uygulama ve araştırmalarda şu anda mevcut olan araçlarla ilgili bir araştırma yapıldıktan sonra, 2008 ve 2019 yılları arasında BEPS'de ortaya çıkan eğilimleri yakalamak için bina enerji simülasyonu alanında yayımlanan araştırmaların kapsamlı bir eleştirel incelemesi yapılmıştır. İnceleme, 64 aracın kategorize edilmesiyle sonuçlanmıştır. Ayrıca, BEM'in geliştirilmesinde ortaya çıkan eğilimlerin, erken tasarım aşamasında karar almaya yardımcı olma konusundaki artan endişelerin etken olduğu sonucuna varılmıştır. Bu, araç - uygulama entegrasyonunda mimarların ve erken tasarım aşamasında bu araçların sayısının arttığını göstermektedir. Ayrıca, tasarım süreciyle daha yüksek bir etkileşim düzeyi için plug-in gibi çeşitli araç yapıları ortaya çıkmış olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, ortaya çıkan bir veya daha fazla trend olan enerji simülasyon yöntemini benimseyen 66 yayın eleştirel olarak gözden

geçirilmiş olup listelenmiştir. Sonuçlar, erken tasarım karar belirsizliklerinin üstesinden gelmeyi amaçlayan duyarlılık ve belirsizlik analizi gibi bir dizi trend yöntemini göstermektedir. Ayrıca, bulut simülasyonu yönteminin anlık simülasyon sonuçlarını etkinleştirdiği; genetik algoritmalar ve yapay sinir ağları gibi yapay zeka ile ilgili yöntemlerin, optimizasyon ve enerji tahmin sürecine daha yüksek doğrulukla yardımcı olduğu bulunmuştur.

(González ve ark. Çalışması, 2021)

BIM tabanlı BEM metodolojisini uygulanarak iki katlı bir konut yapısının enerji analizi ele alınmıştır. Yapının fiziksel BIM modeli Autodesk Revit kullanarak oluşturulmuş olup BEM sürecinin tamamlayıcısı olarak Revit içinde yer alan Insight enerji yazılım aracı kullanılarak enerji simülasyonları gerçekleştirilmiştir. İki katlı bir konut yapısının, elektrik talebini azaltmak için beş farklı iklim bölgesinde deneysel tasarım yöntemi kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Deneysel Tasarım, Autodesk Insight aracılığıyla oluşturulan ve elde edilen enerji sonuçlarındaki sayısal sonuçların olası düzenlemesi üç değişken göz önünde bulundurarak araç kullanma metodolojisi tanımlanmıştır: Aydınlatma verimliliği, Fiş Yüğü Verimliliği ve HVAC sistemleri. Analizlerde, aydınlatma ve uygulamaların verimliliği ne kadar yüksek olursa, elektrik talebinin o kadar düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca bina kabuğuna uyan malzemelerin iklim tipi ve termal özellikleri de enerji performansı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Farklı enerji önlemlerinin alınması ve diğer iklim bölgeleriyle karşılaştırılması, kullanıcıların enerji verimli binalar tasarlanmasına yönelik elektrik talebini azaltmak için stratejiler geliştirilerek enerji verimliliğini artıracak en iyi kriterler kombinasyonun seçilmesini sağlamaktadır.

İncelemesi yapılan çalışmaların içerisinde birden fazla BEM aracının seçilerek bu araçların kullanıcıya yönelik anket metoduyla seçim kriterlerinin çerçevesi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan anket sonuçlarına göre seçilen araçlar belirlenen kriterler altında kategoriye ayrılarak özellik tanımları yapılmıştır. BIM tabanlı BEM sürecinde yapılan çalışmaların genelinde dosya aktarım formatı yoluyla yapılan çalışmalarda incelenen dosya türü gbXML olmuştur. IFC dosya aktarımı formatıyla yapılan çalışmalarda seçilen vaka çalışması türleri tek bölgesel bir oda seçilerek bu oda yapısı üzerinden parametrelerin değiştirilmesiyle birlikte çalışabilirlik süreci ele alınmış olup IFC dosya sürecinde hangi bilgilerin BEM aracında tanımlanamayan ya da aktarım sürecinde hangi bilgilerin kaybedildiği incelenmiştir. Farklı enerji yazılım

araçlarında model gelişim seviyesi (LOD) değiştirilerek tasarım sürecinden teslim aşamasına kadar enerji analiz sürecinin etkisinin incelenmesi sağlanarak farklı LOD seviyesindeki Enerji Kullanım Yoğunluklarının karşılaştırması yapılmıştır. Farklı enerji yazılım araçlarının vaka çalışması üzerinden karşılaştırması yapılan çalışmalarda sektörde yaygın kullanıma sahip araçlar seçilmiş olup araç seçim kriterleri çok fazla dikkate alınmamıştır. Yapılan çalışmalar genel olarak sanal bir vaka çalışması üzerinden yapılmış olup sadece araçlar arası analiz sonuçlarının karşılaştırması yapılmıştır. Bina enerji simülasyonu sonuçlarının karşılaştırılması gerçek veriler kullanılarak doğrulanmamıştır. BIM tabanlı BEM süreci genel olarak erken tasarım aşamasında kullanılmaya yönelik ele alınmış olup hem erken tasarım hem de gelişmiş tasarım evresinin gerçek kullanıma sahip bir yapı modeli ile kıyaslamasına aynı çalışma içerisinde yer verilmemiştir.

Literatürden hareketle BIM tabanlı BEM sürecinin yıllar içinde geliştirilmeye çalışan bir metodoloji olduğu görülmektedir. Günden güne gelişen ve sayısı artan BEM araçlarının kullanıcı tarafından seçimin yapılabilmesi için araç seçim kriterleri belirlenerek bir çerçeve oluşturulmaya çalışılmıştır. Çünkü genel olarak araç geliştiricileri kullanıcıya yönelik geliştirilen bu yazılımların kullanıcı odaklı kriter tanımlamasını yapmamaktadır. Bununla birlikte BIM tabanlı BEM kavramının iş sürecinde kural çerçevesi tanımlanmış kesin bir metodolojisi olmamakla birlikte zamanla geliştirilmektedir. Bu çalışmada yapılan incelemeler sonucunda BIM tabanlı BEM sürecine katkı sağlayacak bir metodoloji izlenmiştir. Belirli kriterler doğrultusunda araç seçimleri yapılmış olup gerçek bir yapının BIM tabanlı BEM süreci ele alınmıştır. Gelişmiş tasarım modeli üzerinden gerçek enerji kullanım verileri karşılaştırılmış olup aynı zamanda erken evre kütle modeli enerji kıyaslamasında yapılarak farklı gelişim düzeylerinde süreç incelenmiş ve doğrulanmıştır.

3. ARAŞTIRMA ÇERÇEVESİ VE VAKA ÇALIŞMASI

Bu çalışmada bölüm 2.6'da açıklanan ve aşağıda gösterilmiş olan araç seçim kriterlerinden referansla öncelikli olarak farklı enerji simülasyon hesaplama motoruna sahip BEM araçları seçilmiştir; Autodesk Insight 360 (EnergyPlus ve DOE-2.2) ve IDA ICE (bağımsız enerji simülasyon motoru). Seçilen araçlar üzerinden BIM tabanlı BEM sürecinde BIM modeli, var olan müstakil bir ev yapısının inşaat uygulama bilgileri kullanılarak oluşturulmuştur. Seçilen yapı modelinden inşaat uygulama verileri ile BIM modeli oluşturulacağı için malzeme termal bilgilerinin de dahil edilmesi ile model LOD 300 seviyesinde modellenmiştir. Bu model ile seçilen BEM araçlarında enerji simülasyon modelleri oluşturularak elde edilen sonuçlar gerçek enerji kullanım verileri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Seçilen BEM araçlarının enerji simülasyon süreçlerindeki yetkinliği, kullanımı ve çıktıları bölüm 2.7'de belirtilen ve aşağıda ele alınacak olan kriterler kapsamında değerlendirilmiştir.

Tüm bina enerji simülasyonunu gerçekleştirirken mimarların ihtiyaçlarını kolaylaştıracak BIM araçlarıyla entegre, gelişmiş ve yaygın kullanılan Insight (Revit 2022) ve IDA ICE (4.8 SP2) değerlendirmeyi ve gerçek kullanım verileri ile araç simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Seçilen enerji simülasyon araçları farklı enerji simülasyon motoruna sahip yazılım kategorilerini temsil etmektedir (Tablo 3.1). Insight enerji simülasyon aracı BIM ortamına doğrudan entegre edilmiş bulut tabanlı bir araçtır. IDA ICE enerji simülasyon aracı BIM modelinden IFC dosya transferi ile çalışmaktadır. Böylelikle BIM-BEM iki platform arasında çift yönlü nitelik ve nicelikler incelenmiş olacaktır.

Çalışmada aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- 1) Seçilen vaka çalışmasının BIM yazılımı Revit ortamında tüm geometrik, mekansal ve termal özellikleri de dahil olmak üzere modellenmesinin yapılması,
- 2) Çalışmada BIM yazılımı için Autodesk Revit aracı, BEM analiz yazılımları için Autodesk Insight 360 ve IDA ICE araçları kullanılmıştır. BEM araçları farklı enerji simülasyon hesaplama motorlarına sahip olduğu için seçilmiştir.
- 3) Simülasyon çıktılarının alınması
- 4) Sonuçların değerlendirilmesi ve karşılaştırılması
- 5) BIM-BEM entegrasyonuna ilişkin önerilerin sunulması

kapsamı içermektedir. Tablo 3.2’de seçilen araç özellikleri bu kriterler bağlamında da analiz edilmiştir. Araç seçiminde bu değerlendirme özellikleri kısmi olarak dikkate alınarak seçimler yapılmıştır. Araç seçiminde ön plana çıkan özellikler; iki farklı simülasyon hesaplama motoruna sahip araçlar olması, bir aracın BIM ortamı ile doğrudan entegre olarak plug-in aracılığıyla enerji analizini gerçekleştirmesi; diğer aracın IFC dosya transferi ile enerji yazılımını gerçekleştirebilmesi ve bununla birlikte BIM tabanlı BEM sürecinde farklı iki yöntem aşamasının incelenebilecek olması etkili olmuştur.

Tablo 3.2 : Seçilen araçların özellikleri

Araçlar	Simülasyona Genel Bakış				Hesaplama Kalitesi		Kullanılabilirlik	Geçerlilik
	Önkoşul	Girdiler	Çıktılar	Sunum	Güvenilirlik	Zorluk		
Insight	*3D çizimde temel beceri	*Coğrafi konum *Isıtma sistemi *Oryantasyon *Geometri *U-değeri *Hava akımı	*Enerji kullanım yoğunluğu *Enerji maliyeti *Enerji faktörü analizi *Yenilenebilir Enerji *Benchmark karşılaştırma (Net Sıfır Standart, Mimarlık 2030 Mücadelesi)	Grafik	Orta ila Düşük	Düşük	Erken Aşama	Tüm Dünya
IDA - ICE	*Bina enerji simülasyonu ile ilgili deneyimler	*Coğrafi konum *Isıtma sistemi *Oryantasyon *BIM / CAD'den Geometri *İçe Aktarma *U-değeri *Hava akımı	*Hava akımı *Toplam ısıtma ve soğutma *Gün ışığı *Teslim Edilen Enerji *Yenilenebilir *ASHRAE 90.1 uyumluluk uzantısı	Grafik ve Rapor	Orta ila Yüksek	Orta	Tüm Aşamalarda	Tüm Dünya

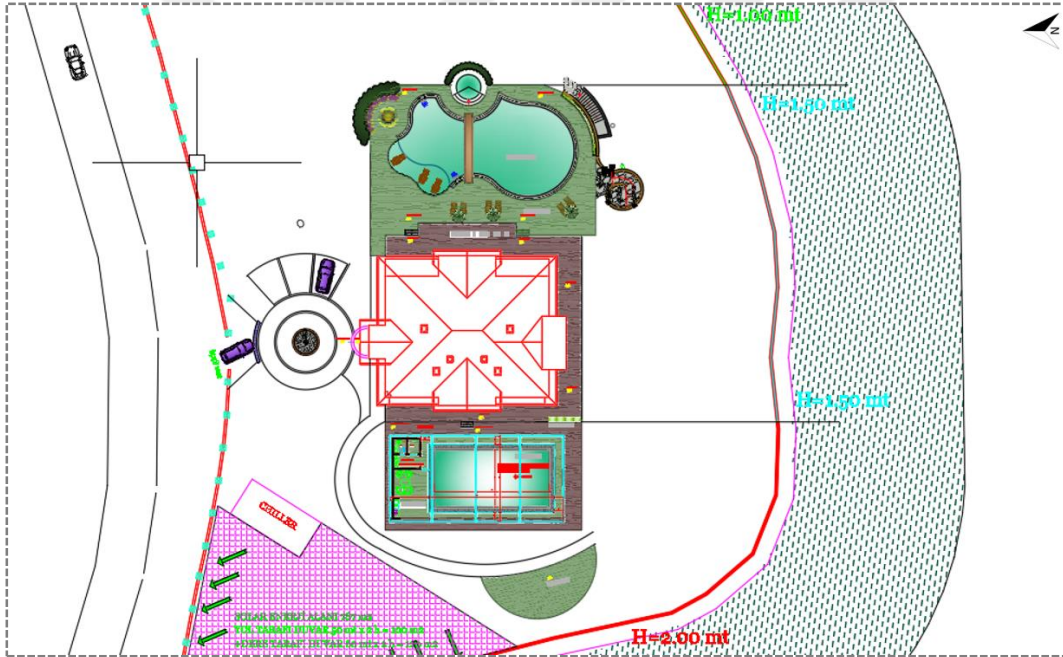
Seçilen araçların geliştirilen son versiyonları çalışmada kullanılmıştır: Revit→2022, IDA ICE→4.8 SP2, Insight→Revit 2022. Farklı simülasyon araç kategorileri IDA ICE→Kendi Motoru, Insight→EnergyPlus & DOE-2.2 seçilmiştir.

3.2 Vaka Çalışması

Bu araştırma için vaka çalışması olarak İstanbul, Şile, Satmazlı Mahallesi, Aydın Caddesi, 0 ada / 77 parselde yer alan müstakil bir villa yapısı seçilmiştir.



Şekil 3.3 : Bina konumu hava fotoğrafı (İnternet-1)



Şekil 3.4 : Yapı vaziyet plan görünümü

Mevcut durumda 4 kişilik çekirdek bir aile, bazı geniş aile üyeleri ve misafirleri olarak yapıyı kullanma durumları yoğun olduğu için misafir odaları dahil edilerek yapı tasarlanmıştır.

Yapı zemin kat, birinci kat ve çatı katı olmak üzere 3 katlıdır ve 640 m² kullanım alanına sahiptir. Binanın konumu Karadeniz iklim özelliklerini taşımaktadır. Yapı 2020 yılından beri kullanılmaktadır. Yapıda ısıtma ve soğutma sistemi olarak dört borulu fan coil sistemi kullanılmıştır. Bina programı bir salon, iki mutfak, dört misafir

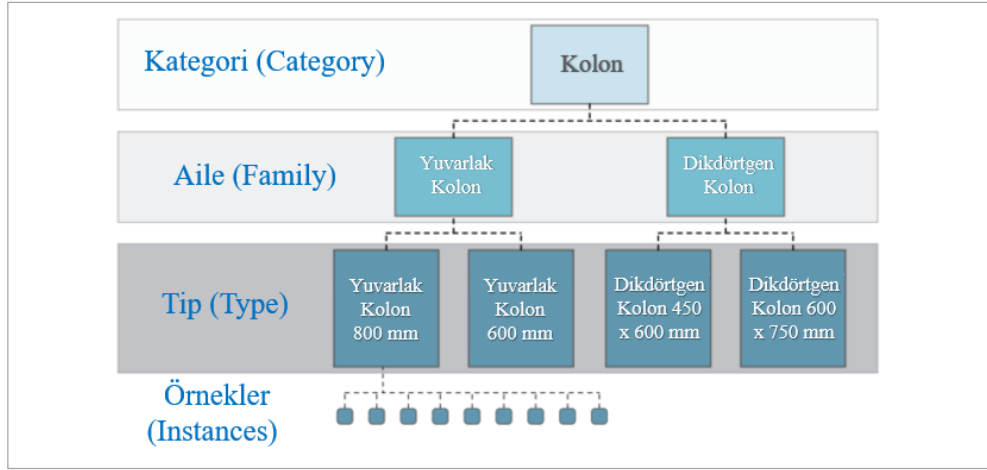
odası, iki çocuk odası, bir yatak odası, ıslak hacimler, bir çamaşır odası, bir rekreasyon amaçlı oda, bir sauna / hamam / buhar odasından oluşmaktadır. Vaka çalışması binasının seçimi kullanılabilirlik ve verilere erişim, yapının müstakil kullanımı, yapısal olarak geniş pencereler, açık alanlar, balkonlar, yüksek tavanlar, geniş ve farklı kullanımlara sahip odaların olması ile belirlenmiştir. Tüm bu etkenler daha önceki çalışmaların gelecek çalışmalar niteliğinde yer alan bazı unsurlarının ele alınmasını sağlamıştır.

Araştırmanın ilk adımı, inşa edilmiş yapıya ait inşaat belgeleri ve bina hakkında veri toplamak olmuştur. Yapının AutoCAD ortamında avan ve uygulama projesine ulaşılmıştır. Fiziksel yapım özellikleri ile ilgili uygulama projesinde yapı katmanları malzeme bilgisi ve HVAC bilgileri yer almadığı için bu bilgilerin elde edilmesinde uygulamayı yapan mimar ile iletişime geçilmiştir. Bu bilgiler enerji modelinin doğruluğu için gerekli ana kriter niteliği taşıdığı için öğrenilmesi önem arz etmektedir. Gerçek enerji kullanım verileri ile ilgili faturalar için kullanıcı ile iletişime geçilerek elde edilmiştir.

Bu çalışmada inşa edilmiş bir yapının yapı bilgi modeli oluşturularak yapının sanal ortamda bilgilerinin depolanması ve bu depolanan bilgilerin enerji değerlendirmesi ve simülasyonları için seçilen BEM araç platformlarına aktarımının yapılarak elde edilen çıktıların gerçek kullanım verileri ile doğrulanması yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yöntemde sanal model çıktıları ile gerçek enerji kullanımını gösteren elektrik fatura verileri kıyaslanmıştır.

3.3 Araştırma Sınırlandırması

- 1) Bu çalışmanın birincil odağı mevcut enerji kullanım değeri ile araçların enerji hesaplarının tutarlılığının karşılaştırması olmuştur. BIM tabanlı BEM sürecinde elde edilen analiz sonuçlarının gerçek kullanım verileri ile tutarlı olması araçların kullanımına yönelik güveni artırmaktadır.
- 2) Bu araştırma sektörde yaygın olarak kullanılan BIM araçlarından sadece biri olan, Autodesk Revit üzerinde gerçekleştirilmiştir.
- 3) Bu çalışma, uluslararası tanınan BIM tabanlı BEM arası değişim formatlarından yalnızca birini içermektedir; IFC.



Şekil 3.6 : Revit eleman hiyerarşi yapısı (Url-7)

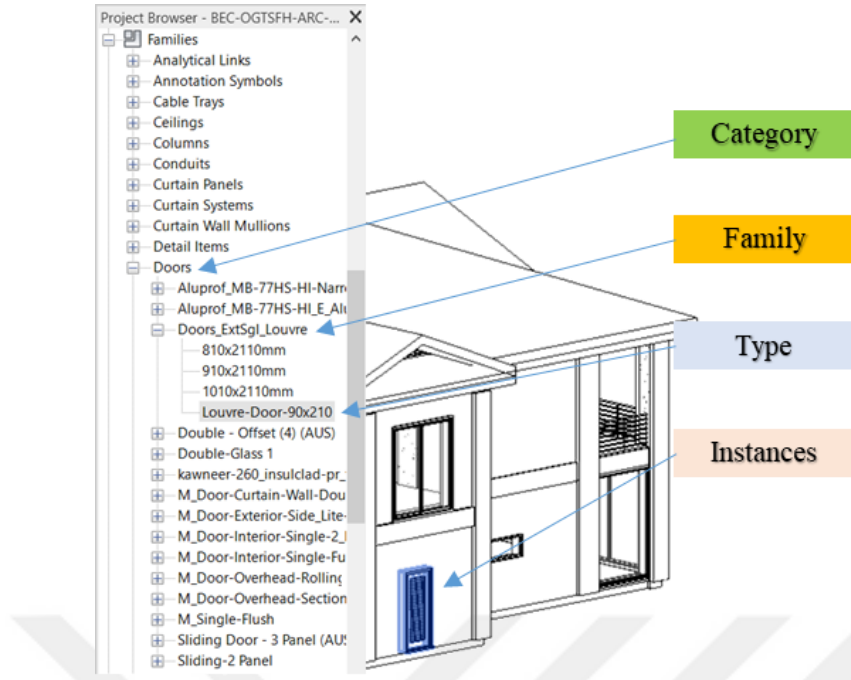
Revit eleman hiyerarşisinin ilk basamağı “Kategori (Category)”dir. Kategori, proje içindeki “Aile (Family)” görünürlüğü ve grafiksel temsilini, organizasyonunu ve zamanlama seçeneklerini tanımlar.

Hiyerarşide ikinci basamak “Aile (Family)’dir”. Her Aile, projede ayrı bir bina veya dokümantasyon ögesini temsil eden 2B veya 3B bilgi gruplarından oluşur. Bir Aile, parametrik, grafiksel ve dokümantasyon gereksinimlerinin ana hatlarını verir.

Üçüncü hiyerarşik girdiye “Tür (Type)” adı verilir. Her bir Tür bir Aile içindeki diğer Türlerden ayıran farklı parametrik, grafiksel ve belge özelliklerini tanımlamaya hizmet eden bir Aile’nin özel bir temsilidir.

Bu hiyerarşinin en alt basamağında, “Örnek (Instances)” olan dördüncü giriş yer alır. Bir Örnek, aynı projedeki diğer örneklerden benzersiz kılan benzersiz parametrik, grafiksel ve belgeleme özellikleriyle tanımlanan belirli bir projedeki bir Türün bireysel tasviridir.

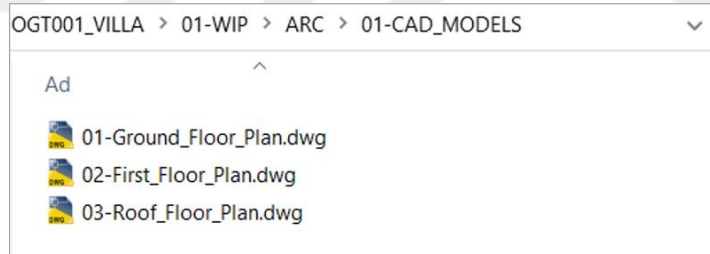
Revit ortamında model üzerinden eleman hiyerarşi yapısı gösterilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Eleman hiyerarşi yapısının Revit ortamında gösterimi

3.4.1 Mevcut CAD dosyasının Revit ortamına eklenmesi

İlk olarak Autocad proje dosyası tüm katlar için Şekil 3.8’de gösterildiği gibi ayrı .DWG dosyası olacak şekilde farklı kaydedilmiştir.



Şekil 3.8 : Kat planlarının ayrı dosyalara aktarılması

Dosyalar Revit ortamına Şekil 3.9’da gösterildiği gibi link yöntemi ile bağlanmıştır. Bu metot daha sonra Autocad ortamında yapılabilecek bir değişiklik olduğunda otomatik olarak Revit ortamına da yansımaları sağlamaktadır.



Şekil 3.9 : CAD dosyalarının Revit ortamına aktarılması

Vaka Çalışması - Revit Bina Verisi

Tüm iki boyutlu CAD çizimleri (bkz. EK-A) BIM aracı Revit aracına atanmış olup BIM modeli içinde BEM analizi için de gerekli geometrik olmayan yapı bilgileri modele atanmıştır.

Yapı tipi müstakil bir villa olduğu için Revit içinde bu özelliği temsil eden “Single Family House” seçeneği tercih edilmiştir.

Konum bilgisi adres kayıt bilgisinden detaylı olarak öğrenilerek spesifik olarak Revit modelinde “Location” bölümüne bu bilgi aktarılmıştır.

BEM araç kategorileri mekansal kullanım verilerini kullandığı için transfer kategorisi “Alanlar (Spaces)” olarak ayarlanmıştır.

Analitik alan çözünürlüğü ve analitik yüzey çözünürlüğü Revit ortamında Insight enerji analizi aşamalarında enerji modelini oluştururken ayarlanması gereken bir özelliktir. Çözünürlük ayarı yapının boyutuna bağlı olarak her model için farklı olabilmektedir. Bu çalışma için Revit içinde kabul edilen minimum değerler model için doğru analitik alan ve yüzeyler oluşturduğu için seçilmiştir.

Yapıda ısıtma ve soğutma sistemi için dört borulu fan coil sistemi bulunduğu için Revit HVAC sistem kategorisi altında yer alan “4-Pipe Fan Coil System, Chiller 5.96 COP, Boilers 84.5 eff” seçilmiştir.

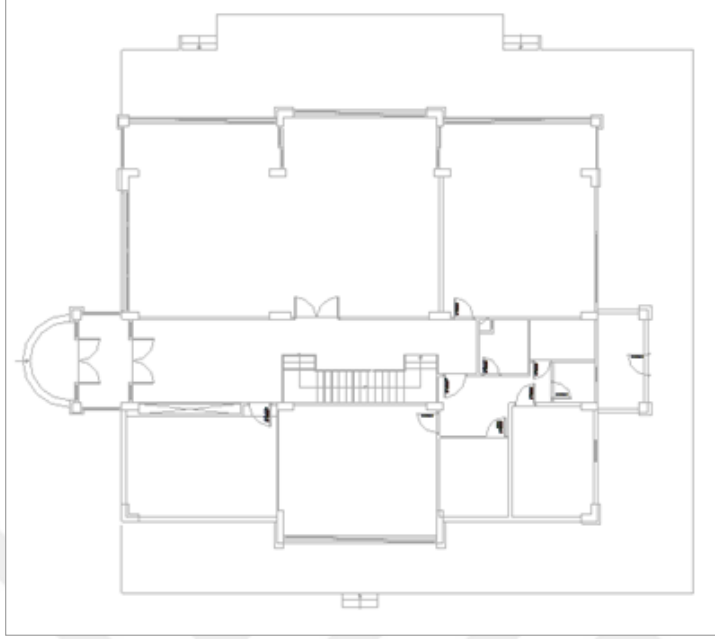
Tablo 3.3 : Revit Model Verisi

<i>Bina Verisi</i>	
<i>Bina Tipi</i>	Single Family House
<i>Konum</i>	Aydın Caddesi, No:33/1, Şile - İstanbul
<i>Transfer Kategorisi</i>	Alan (Spaces)
<i>Yer Düzlemi</i>	Zemin Kat
<i>Analitik Alan Çözünürlüğü</i>	15.24
<i>Analitik Yüzey Çözünürlüğü</i>	7.62
<i>Bina Kullanım Çizelgesi</i>	Varsayılan (Default)
<i>HVAC Sistem</i>	4-Pipe Fan Coil System, Chiller 5.96 COP, Boilers 84.5 eff
<i>Dış Hava Bilgisi</i>	Kişi başına düşen dış hava = 8 L/s

Dosya aktarımı gerçekleştirilen CAD dosyasının temizlenmesi

CAD dosya aktarımı yapıldıktan sonra dosyada enerji modellemesi için önemi olmayan çizim elemanları Şekil 3.10’da görüldüğü gibi dosyadan temizlenmiştir. Dosya temizleme işlemi BEM aracı için gereksiz olan elemanların kaldırılarak model dosya boyutunun küçültülmesini ve enerji modeli için ihtiyaç duyulmayan elemanların

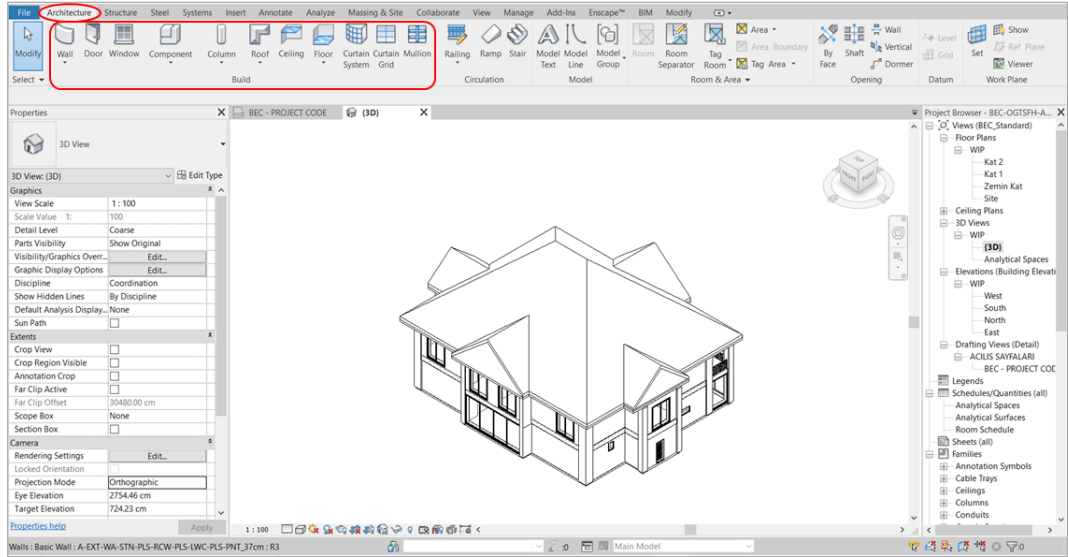
gereksiz yere modellenerek süreç içerisinde meydana gelecek zaman kaybını ortadan kaldırmayı sağlamaktadır.



Şekil 3.10 : CAD dosyasının temizlenmesi

Duvar, döşeme ve çatı elemanlarının modellenmesi

Yapı elemanlarını oluştururken doğru modelleme aracının kullanılması gereklidir; örneğin, duvar elemanlarını oluşturmak için “Duvar (Wall)” oluşturma aracını kullanmak. Bu yöntem nesnelerin belirli bir veri şemasına aktarıldığında doğru bir şekilde öğelerin transfer edilmesi açısından önemlidir; bu vaka çalışmasında IFC aktarımı gerçekleştirileceği için bu adımlara önem verilmiştir. Bu önem çatılar, döşemeler gibi diğer yapı elemanı türleri için de geçerlidir. Revit'te en yaygın yapı elemanı türleri için çizim araçları Şekil 3.11’de kırmızı alan içerisinde gösterilen “Mimari (Architecture)” sekmesinde bulunur.



Şekil 3.11 : Revit mimari çizim araçlar ile modelleme yapılması

Kapı ve pencere elemanlarının modellenmesi

Pencere ve kapı elemanlarının modellenmesi için ilgili araçların seçimi yapıldığında bu elemanlar doğrudan duvar elemanı içerisine yerleştirilir. Pencere ve kapı konstrüksiyonlarını modellemek için kullanılan araçlar Şekil 3.11’de görüldüğü üzere duvarlar, zeminler ve çatı konstrüksiyonu elemanları ile aynı konumda bulunur.

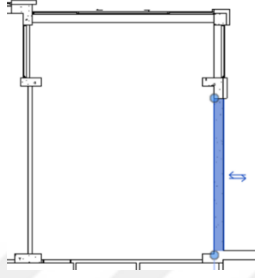
Oda (Room) veya Alan (Space) tanımlama

BIM’deki odaların veya alanların tanımı, verinin transfer edileceği BEM yazılımının bina modelinin alanlarını doğru bir şekilde yorumlaması ve enerji modelinde karşılık gelen termal bölgelere çevirmesi için önemlidir. Revit’te oda ve alan tanımlama sırasıyla “Oda (Room)” tanımlama aracı ve “Alan (Space)” tanımlama aracı ile yapılır.

“Oda (Room)” tanımlama aracı, Şekil 3.12’de kırmızı ile işaretlenmiş “Mimari (Architecture)” sekmesinin altında yer almaktadır. Bir oda, bir bina modeli içinde duvarlar, zeminler, çatılar ve tavanlar gibi unsurlara dayalı bir alanın alt bölümüdür. Bu elemanlar “Oda Sınırlaması (Room Boundary)” olarak tanımlanır. Revit, bir odanın çevresini, alanını ve hacmini hesaplarken bu oda sınırlayıcı öğeleri ifade eder. Odalar ve oda etiketleri ayrıdır ancak ilgili Revit bileşenleridir. Odalar, duvarlar ve kapılar gibi Revit’teki model öğeleridir. Oda etiketleri, plan görünümünde ve kesit görünümünde eklenebilen ve görüntülenebilen detaylandırma öğeleridir. Oda etiketleri, oda numarası, oda adı, hesaplanan alan ve hacim gibi ilgili parametreler için değerleri görüntüleyebilir. Ayrıca, odalar sınırlı bir alana yerleştirildiğinde, anlık olarak Şekil 3.12’de görüldüğü üzere açık mavi renkle gösterilebilir.

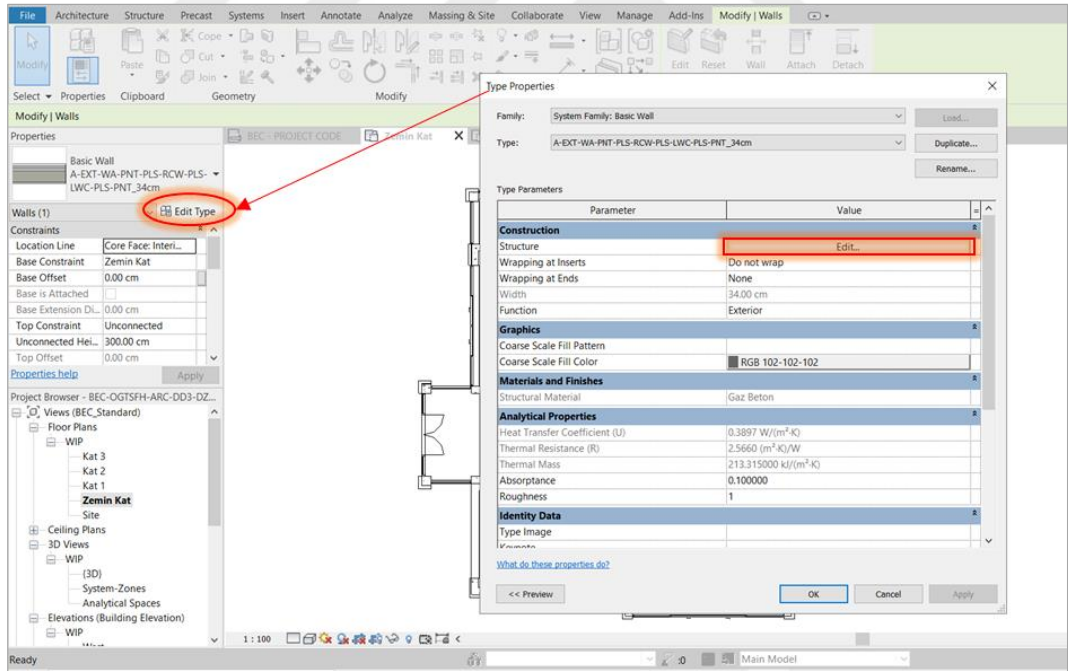
kullanılacaktır. Vaka çalışması modelinde duvarların, çatının ve zemin konstrüksiyonunun malzeme katman setleri ve malzeme özellikleri uygulama detaylarına dayandırılmıştır. Vaka modeli yapısında kullanılan bilgiler, kalınlık ve malzeme ısı iletkenliği (λ), yoğunluk (ρ) ve ısı kapasitesi (C_p) ile malzeme katman setleridir.

Revitte bir malzeme katman seti oluşturmak için aşağıda yer alan adımlar izlenmiştir.



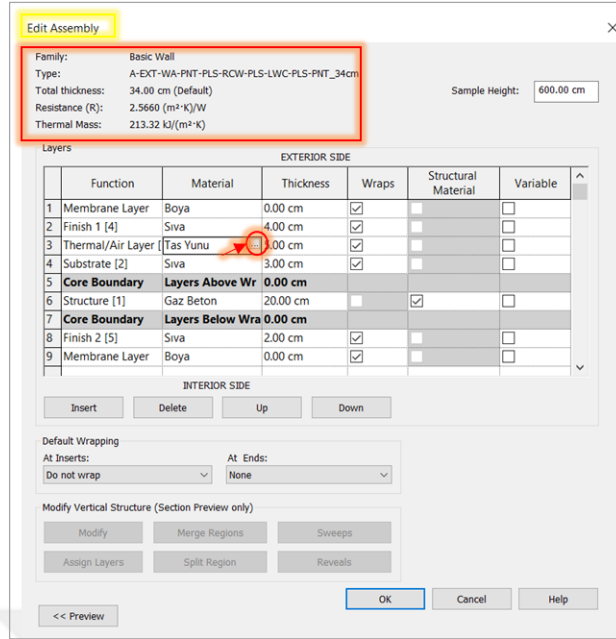
Şekil 3.14 : Duvar elemanının seçilmesi

Mevcut yapıda kullanılan malzeme kategorisine göre malzeme katmanları oluşturulmuştur (Şekil 3.15).



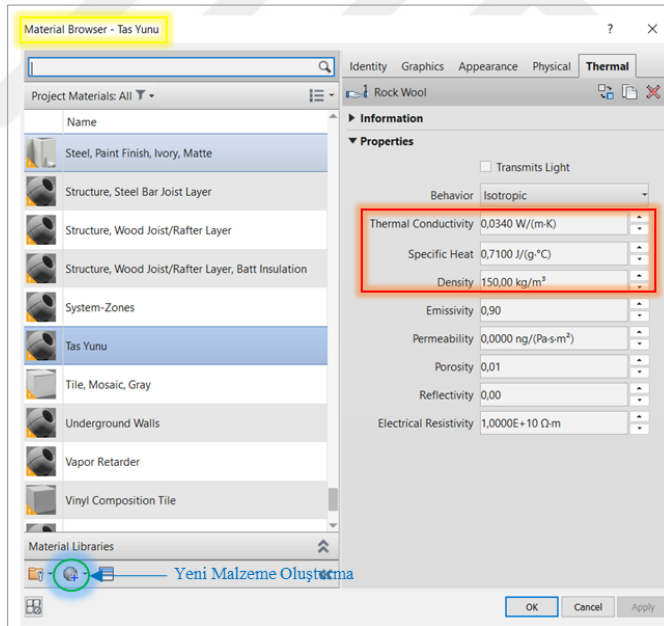
Şekil 3.15 : Bir elamanın malzeme özelliklerini düzenleme

Malzeme katman özelliklerini belirlemek ve atamak için “Edit Assembly” penceresine geçilerek bu işlemler yapılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 : Malzeme katmanlarını belirleme, malzeme atama

Yeni bir malzeme oluşturmak veya var olan bir malzemenin bilgilerini düzenlemek için Şekil 3.17’de gösterilen adımlar uygulanmıştır.



Şekil 3.17 : Yeni bir malzeme oluşturma, malzeme bilgisi düzenleme

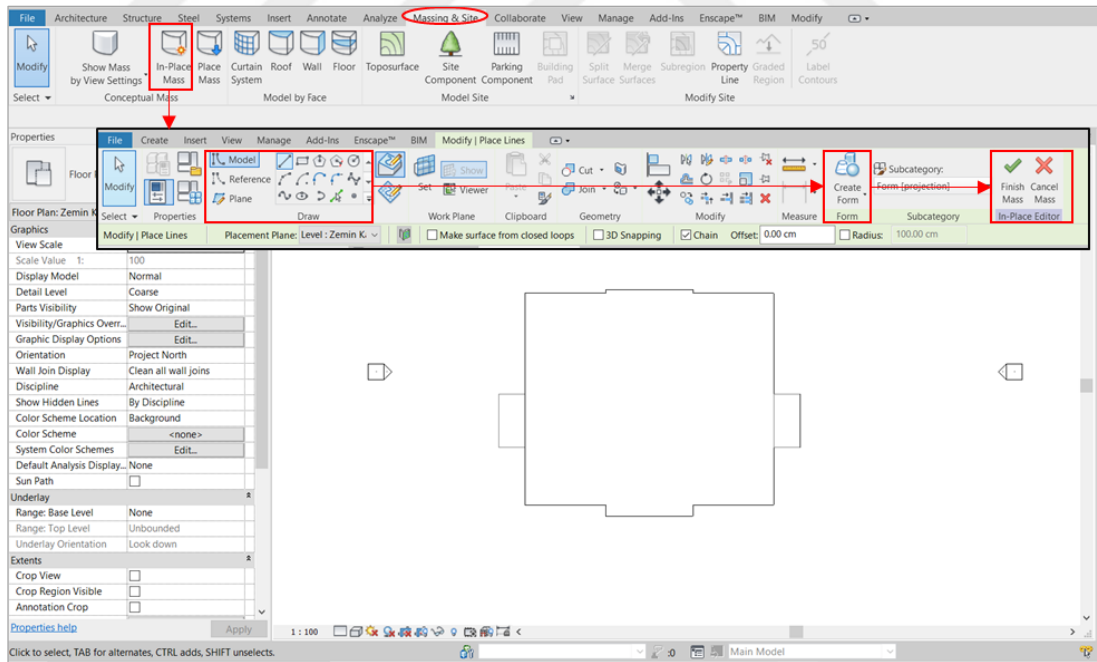
Çalışma malzeme termal bilgilerinin eklenmesi ile birlikte enerji analiz modeli için LOD 300 seviyesinde modellenmiştir. LOD 300 model gelişim seviyesi tanımlı elemanların parametrik bilgilerinin dahil olduğu tanımlanmış bir konuma sahip belli bir sistemi temsil etmektedir (bkz. Tablo 2.2).

Kütle (Mass) modelinin oluşturulması

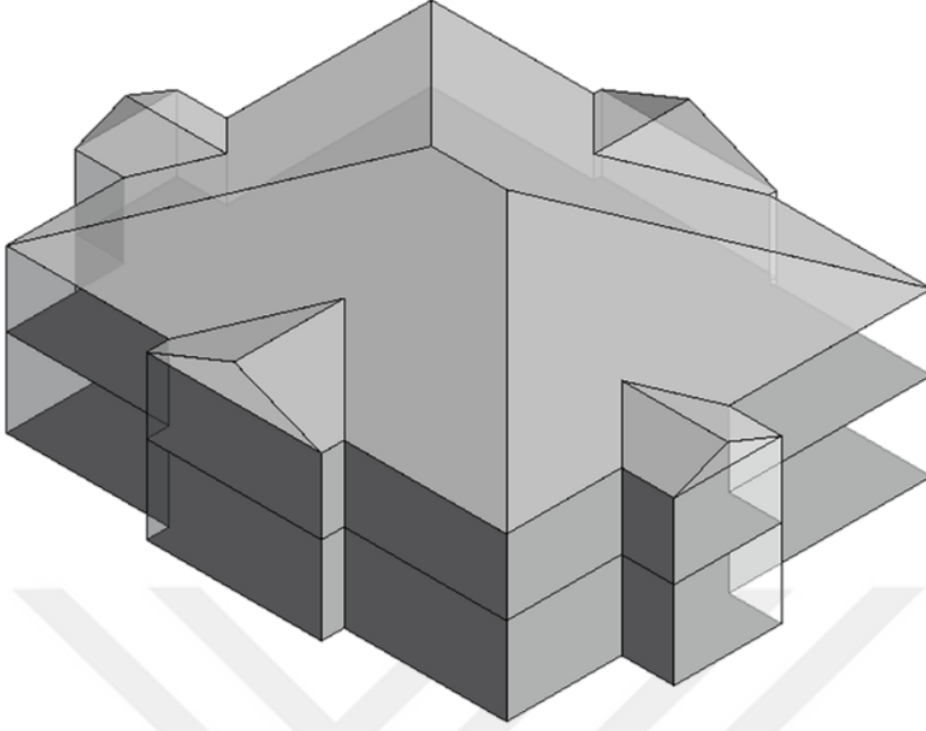
Erken tasarım aşaması için aynı yapının geometri özellikleri üzerinden kütle modeli enerji çalışması yapılarak mevcut yapı inşa edilmeden önce enerji analizi süreci ile birlikte tasarım kararları verilerek inşa edilmiş olsaydı sorusuna yönelik gelişmiş tasarım enerji modeli analiz sonuçları ile kütle modeli enerji analiz sonuçlarının karşılaştırmasını yapmak için kütle modeli oluşturulmuştur. Erken tasarım aşamasında enerji etkin kararlar almanın yapının inşa aşamasından sonra aktif hale gelecek enerji kullanımı üzerindeki etkinin görülmesi ve incelenmesi için bu karşılaştırma yapılmıştır. Model erken tasarım aşamasını temsil eden LOD 200 gereksinimlerini karşılamaktadır.

Modelleme adımları Şekil 3.18’de gösterilmekte olup, aşağıda listelenmiştir.

- “Massing & Site” sekmesi altında bulunan “In-Place Mass” aracı seçilir.
- Tercih edilen çizim aracı seçilir.
- Eskizi çizmeyi bitirdikten sonra “Create Form - Solid Form” seçilir ve “Finish Mass”’e tıklayarak modelleme tamamlanır (Şekil 3.19).



Şekil 3.18 : Mass modelleme aşamaları



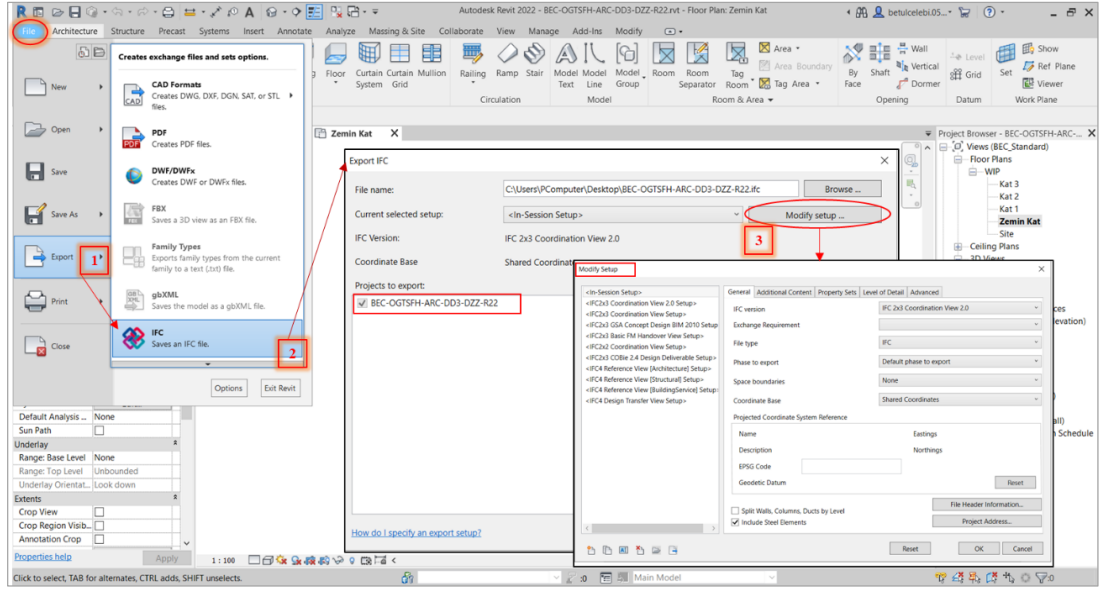
Şekil 3.19 : Örnek vaka çalışması kütle modeli

Enerji analizi için Autodesk Revit IFC transferi konfigürasyonu

IDA ICE enerji yazılımı aracında, enerji analizi için IFC dosya transferine ihtiyaç duyulduğundan dolayı bu bölümde enerji analizi için Revit 2022’den IFC transferi adımları ele alınmıştır.

Revit’te IFC dışı aktarma, “File” sekmesi altında bulunur ve ardından “Export” ve “IFC” seçilir (Şekil 3.20). Bu aşamalardan sonra şekilde gösterilen “Export IFC” penceresi açılır. Birden fazla Revit projesi açık ise “Project to export” kısmında yer alan listeden ilgili proje seçilmelidir. Daha sonra enerji analizi amacıyla dışı aktarma seçeneklerini yapılandırma için “Modify setup” tuşuna basılmalıdır.

“In-Session Setup” tuşu seçilirse, kullanıcıya önceden tanımlanmış bir dizi standart Model Görünüm Tanımı (MVD) sunulur. Örneğin, “IFC 2x3 Coordination View 2.0” yüksek doğrulukta bir geometri verir, bu önceden tanımlanmış kurulumlar arasında yalnızca “IFC 2x3 GSA Concept Design BIM 2010” da ikinci seviye alan sınırını dışı aktaracak şekilde ayarlanmıştır (Akbarieh,2018).

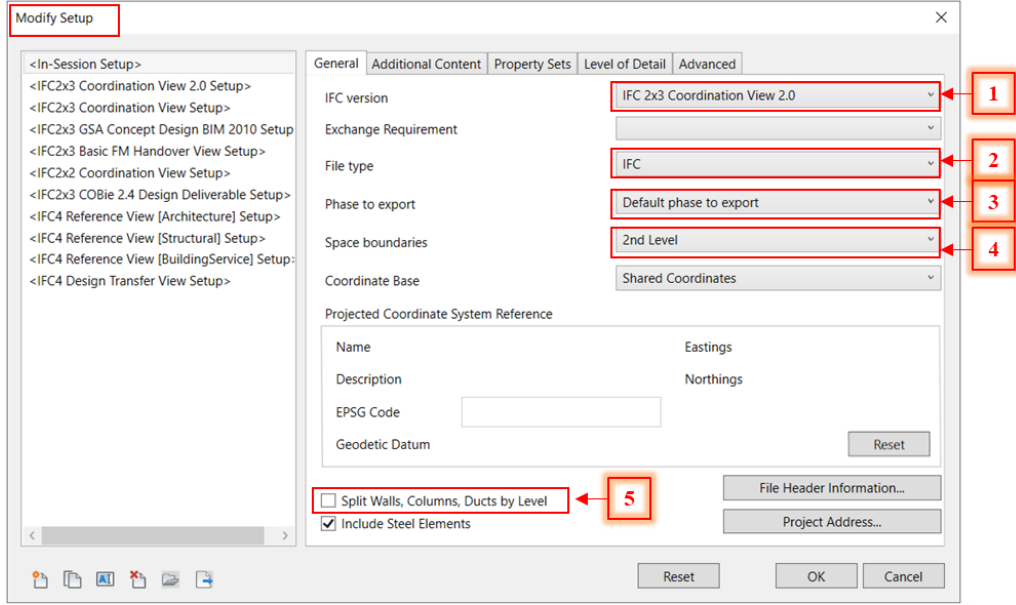


Şekil 3.20 : Revit IFC transferi aşamaları

“Modify Setup” penceresinde ele alınacak ilk sekme “General” sekmesidir. İlk olarak IFC versiyonu belirtilmelidir, ardından dosya tipi belirtilmelidir. Bu çalışmada yapılan dosya transferi için IFC seçilmiştir, (Şekil 3.21). Bir sonraki adımda “Phase to Export” mevcut veya yeni inşaat arasında aktarım aşaması türü seçilebilmektedir. Bu projede ele alınan çalışma mevcut inşaatıdır. Fakat bu seçeneği araştırmak bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Bu nedenle bu seçenek varsayılan olarak ayarlanmıştır.

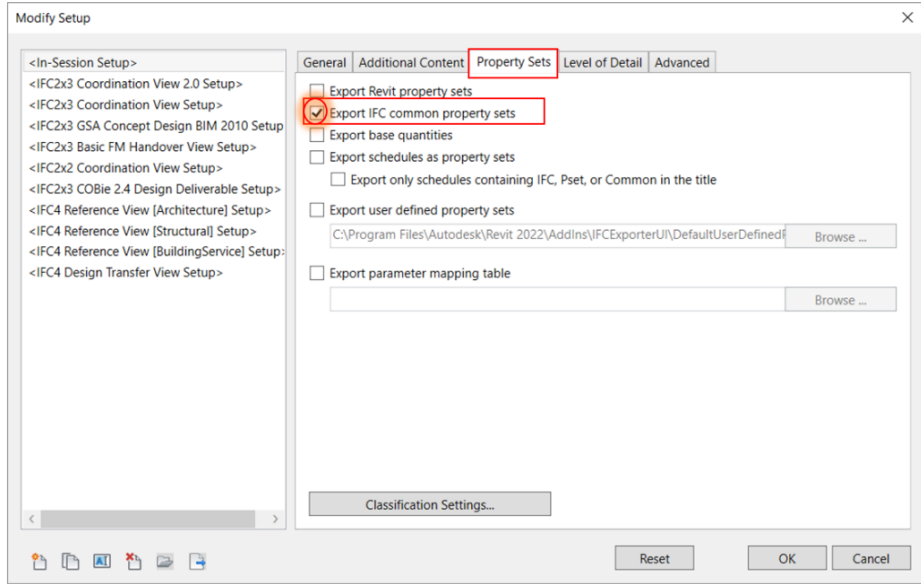
Enerji analizi için çok önemli olan bir ayar, alan (space) sınırlarıdır. Varsayılan olarak “boşluk sınırları (space boundaries)” hiçbir (none) olarak ayarlanmıştır. Ancak “Enerji Analizi Yazılımı” ikinci seviye alan sınırı gerektirir. Bu nedenle, mekan sınırları Şekil 3.21’de gösterildiği gibi ikinci seviye olarak ayarlanmalıdır. Yapı elemanının malzemesi ve arkasındaki bitişik boşluklar, termal özellikler sağladıkları için ikinci seviye boşluk sınırı olarak kabul edilir.

Duvarları ve sütunları katlara göre ayır seçeneğinin işaretlenmemesi genellikle tavsiye edilir. Bu önerinin arkasındaki mantık, bu seçeneğin, birden fazla seviye yüksekliğine sahip duvarları ve sütunları kata göre parçalara ayırmasıdır.



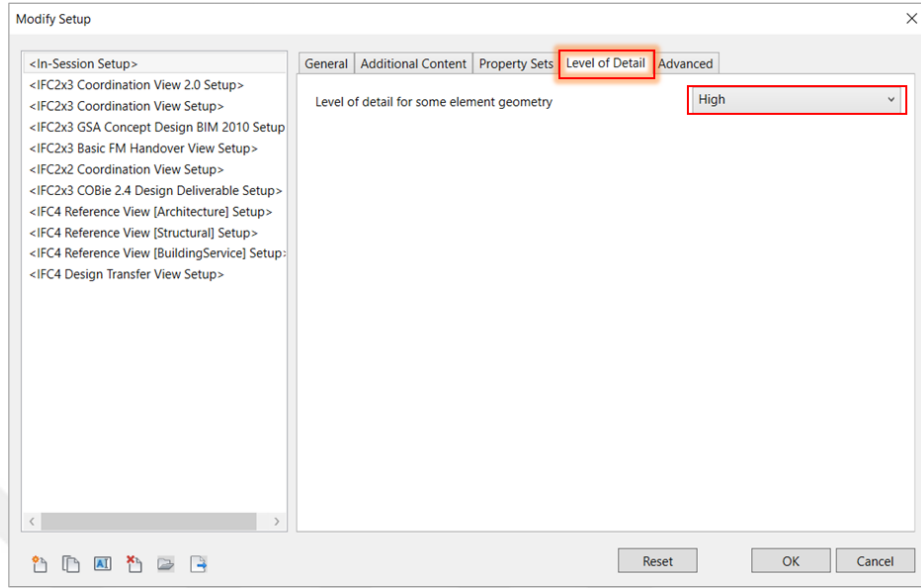
Şekil 3.21 : IFC transferi genel ayarları

Şekil 3.22’de görüldüğü üzere “Property Sets” sekmesinde “Export IFC common property sets” ayarının aktif hale getirilmesi önerilir. “Export Revit property sets” ayarının aktif halde kalması, nesne veya dosya ile ilişkili tüm parametreleri dışa aktarır. Fakat olumsuz yönde tutarlılık sağlamaz. Bilgilerin hiçbirisi, IFC standardı ile uyumlu özellik kümesinde yer almaz. Dosya boyutları gereksiz yere büyük olur çünkü ihtiyaç duyulmayan bazı veriler dışa aktarılmaktadır. Bu nedenle bu seçenek işaretlenmemiştir.



Şekil 3.22 : IFC transferi özellik ayarları

“Level of Detail” sekmesinde seçenек Revit elemanları için yüksek doğruluğa sahip olması istendiği için “High” olarak seçilmiştir. “Additional Content” ve “Advanced” sekmesinde hiçbir değişiklik yapılmamıştır. Varsayılan olarak bırakılmıştır.



Şekil 3.23 : Eleman geometri detay seviyesinin ayarlanması

3.5 Revit: Insight Enerji Modeli ile Çalışmak

Insight enerji yazılım aracı, erken evre tasarım aşamasında ve gelişmiş bina modeli; tüm bina enerjisi, ısıtma, soğutma, gün ışığı ve güneş radyasyonu simülasyonu için güvenilir endüstri lideri simülasyon motorları DOE-2.2 ve EnergyPlus, aynı anda farklı kullanıcılardan gelen enerji simülasyon sonuçlarını hesaplamak için yenilikçi paralel bulut bilişim tekniklerini kullanarak çalışmaktadır.

Insight, onaylanmış endüstri lideri analiz motorlarını kullanmaktadır. Standartlara dayalı yapılan testler ile de sonuçlar onaylanmıştır:

- Revit, FormIt Pro ve Insight arayüzünden tüm bina enerji analizi, bulutta çalışan bir DOE-2.2 motoru olan Green Building Studio tarafından desteklenmektedir ve ANSI/ASHRAE 140'a göre test edilmiştir.
- Insight ısıtma ve soğutma yükleri EnergyPlus kullanılarak hesaplamaktadır ve ayrıca ANSI/ASHRAE 140'a göre test edilmiştir.
- Aydınlatma ve günışığı analizleri, çift yönlü ışın izleme kullanan bulut tabanlı bir motor olan Autodesk A360 Rendering'i kullanır. Bu motor, Radiance ve gerçek dünya ölçümlerine göre doğrulanmıştır.

- Insight güneş analizi, NREL tarafından sağlanan test değerleriyle doğrulanmış, optimize edilmiş bir Perez gökyüzü modeli ve gölgeleme hesaplaması kullanır.



Şekil 3.24 : Insight yazılım model görüntüsü

Erken tasarım aşaması için oluşturulan yapının kütle modeli ve inşa edilen yapının gerçek verileri ile BIM modeli tamamlandıktan sonra enerji analiz modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan enerji modelinden elde edilen sonuçlar iki kategoride karşılaştırılmıştır:

- 1) İnşa edilmiş yapı verileri ile oluşturulan yapı modelinden elde edilen enerji kullanım sonuçları ile gerçek enerji kullanım verilerinin karşılaştırılması.
- 2) Erken tasarım evresini temsil eden kütle modelinden elde edilen enerji kullanımı sonuçları ile inşa edilen yapının modelinden oluşturulan enerji kullanım sonuçlarının karşılaştırılması.

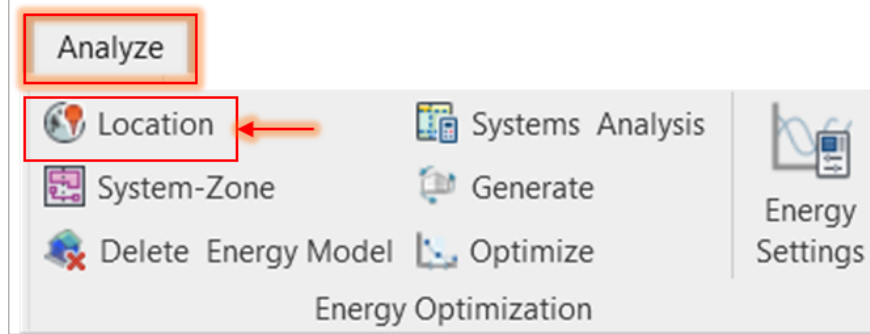
3.5.1 İnşa edilmiş yapı elemanları verisi ile enerji modelleme

Bu bölümde, bölüm 3.4'te detaylı yapı bilgi modeli oluşturulan vaka çalışmasının enerji modeline çevrilmesi için gereken adımlar izlenecektir. Insight, Revit içinde doğrudan çalışan BIM tabanlı BEM entegrasyonunda tek bir yazılım içerisinde bulunan bir enerji yazılımı aracıdır. Enerji simülasyon motoru olarak, DOE-2.2 ve EnergyPlus yazılımlarını kullanır.

3.5.1.1 Proje konumunun oluşturulması

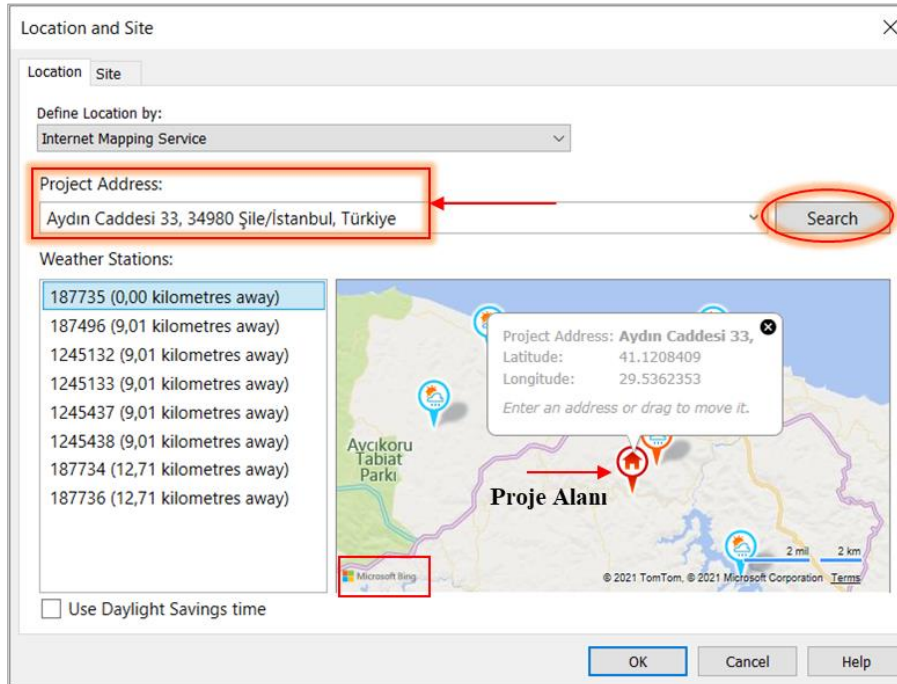
Enerji yazılımını bulut ortamına göndermeden önce Revit ortamında bazı ayarların yapılması gerekmektedir. İlk olarak, iklim verileri için binanın coğrafi konumunun

belirtilmesi gerekmektedir. Bunun için Şekil 3.25'te gösterildiği gibi ilgili proje konumunu oluşturmak için “Analyze” sekmesi altında “Energy Optimization” panelinde yer alan “Location” tuşuna basılmalıdır.



Şekil 3.25 : Bina konumunun oluşturulması

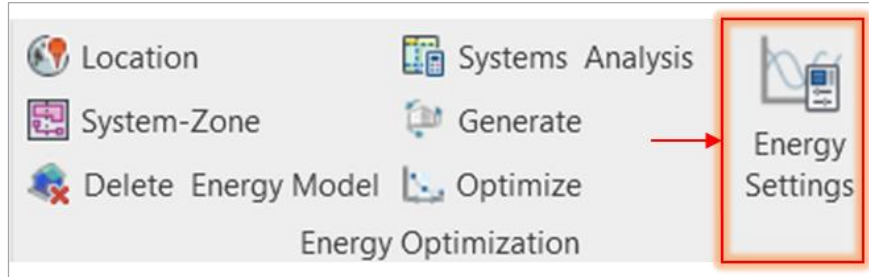
Açılan pencerede proje adresi bölümüne arazinin adres bilgileri girilerek arama yapılabilmektedir. Arama sonucunda bulunan konum kırmızı ok işareti ile gösterilmektedir. Harita servisi olarak çevrimiçi “Microsoft Bing Maps” kullanılmaktadır. Arama çubuğuna proje adres bilgisi olarak Aydın Caddesi No:33/1, İstanbul yazılarak arama yapılmıştır. Arama sonucu, araziye yaklaşılarak konumun doğruluğu teyit edilmiştir. Aynı pencerede sol tarafta proje konumuna en yakın hava istasyonları sıralanmıştır. Bu istasyonlar haritada mavi oklar ile gösterilmektedir. Proje konumuna en yakın hava istasyonu seçilmiştir. Seçilen hava istasyonu işaretli konum bölgesine bağlı birçok iklim verisi içermektedir.



Şekil 3.26 : Bina konumunun harita üzerinde konumlandırılması

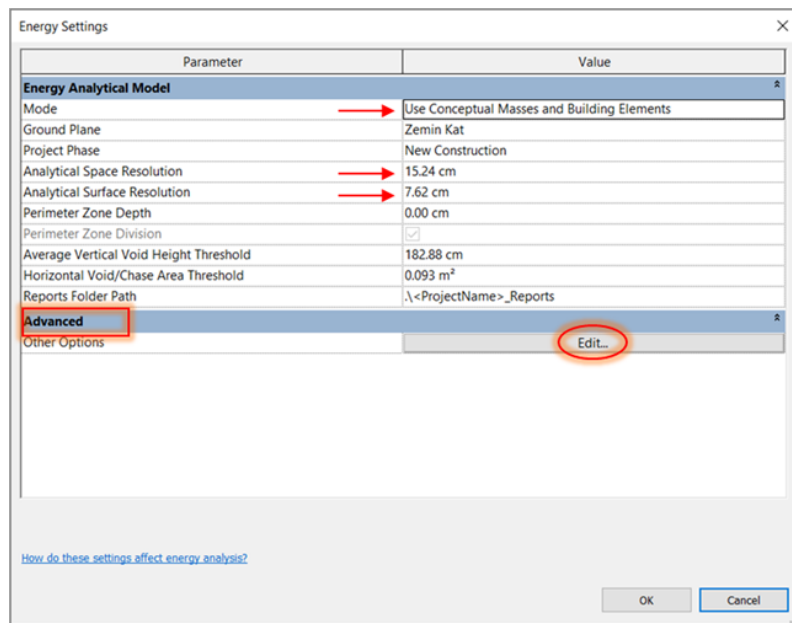
3.5.1.2 Temel enerji ayarlarının tanımlanması

“Analyze” sekmesi altında “Energy Optimization” paneli, enerji analizi ayarları ve optimizasyonu için kullanılmaktadır. Enerji analizi için en önemli adım olan konum ve iklim bilgisi ayarı yapıldıktan sonra “Energy Settings” penceresini açıp enerji analizine esas ayarlar yapılmıştır.



Şekil 3.27 : Enerji ayarları aracı

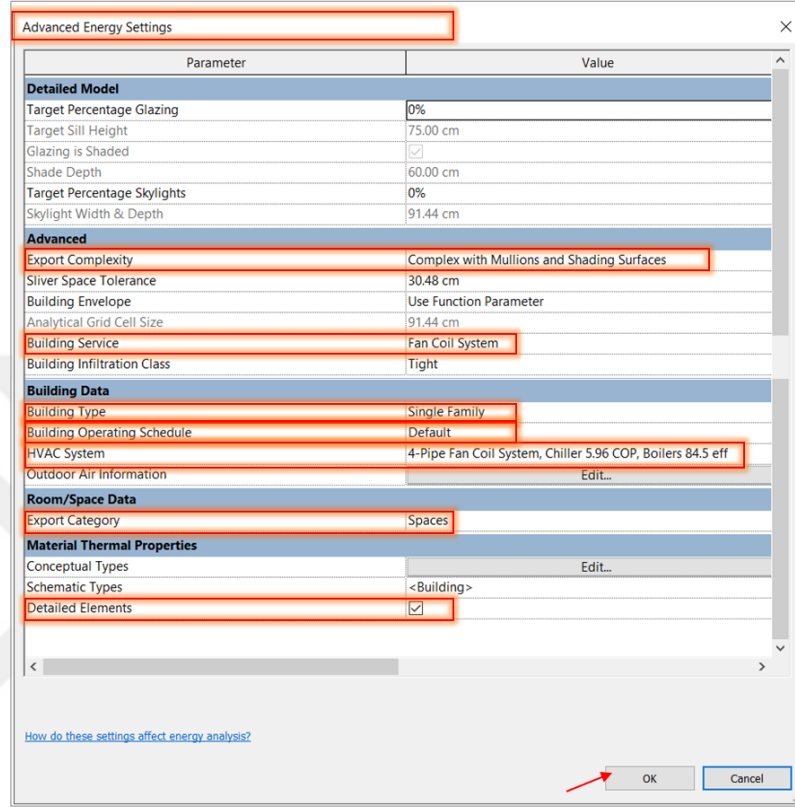
Açılan pencerede gerçek yapı modeli verilerine göre geliştirilmiş yapı bilgi modeli için detaylı enerji ayarları seçimleri yapılmıştır. Enerji ayarları yapılırken Revit yardım sayfasından teknik bilgi desteği alınmıştır (Url-2). Çoğu durumda “Use Conceptual Masses and Building Elements” modunun kullanımı önerildiği için bu ayar varsayılan olarak bırakılmıştır. “Analytical Space Resolution” ve “Analytical Surface Resolution” ayarları arasında 2:1 oranının olması enerji modeli yüzeylerinin oluşumunda daha doğru sonuçlar verdiği için bu ayar verilen minimum değerler üzerinden 2:1 oranı kullanılarak ayarlanmıştır. Diğer ayarlar varsayılan olarak bırakılmıştır.



Şekil 3.28 : Enerji ayarlarının seçilmesi

3.5.1.3 Gelişmiş enerji ayarlarının tanımlanması

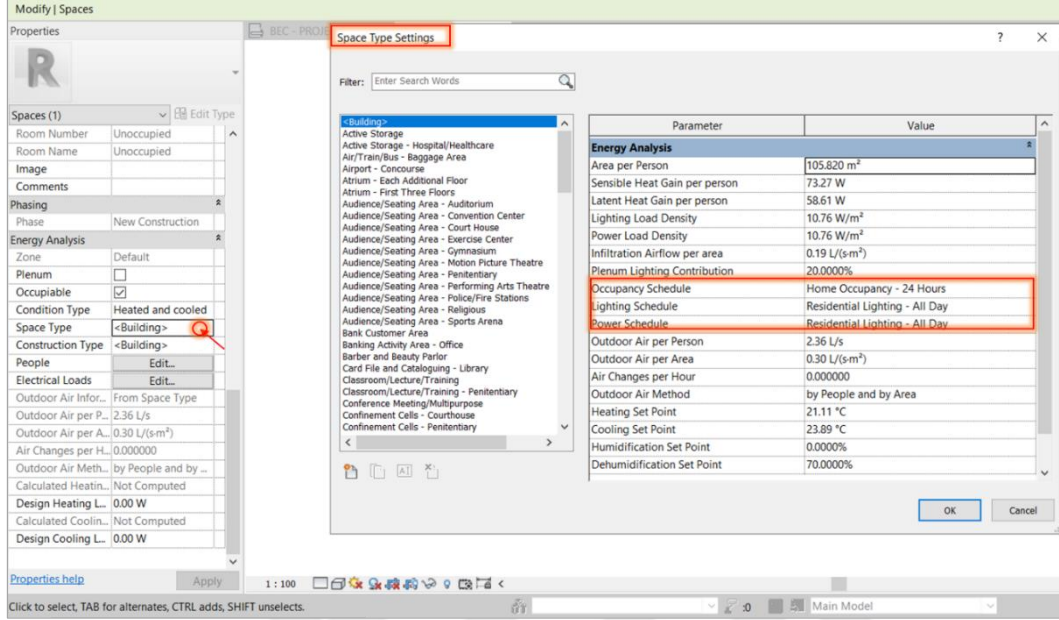
Gelişmiş ayarlar penceresinde yer alan özelliklerin değiştirilmesi için “Advanced” çubuğu altında yer alan “Edit” tuşuna basarak gelişmiş ayarlar penceresine geçiş yapılır (Şekil 3.28).



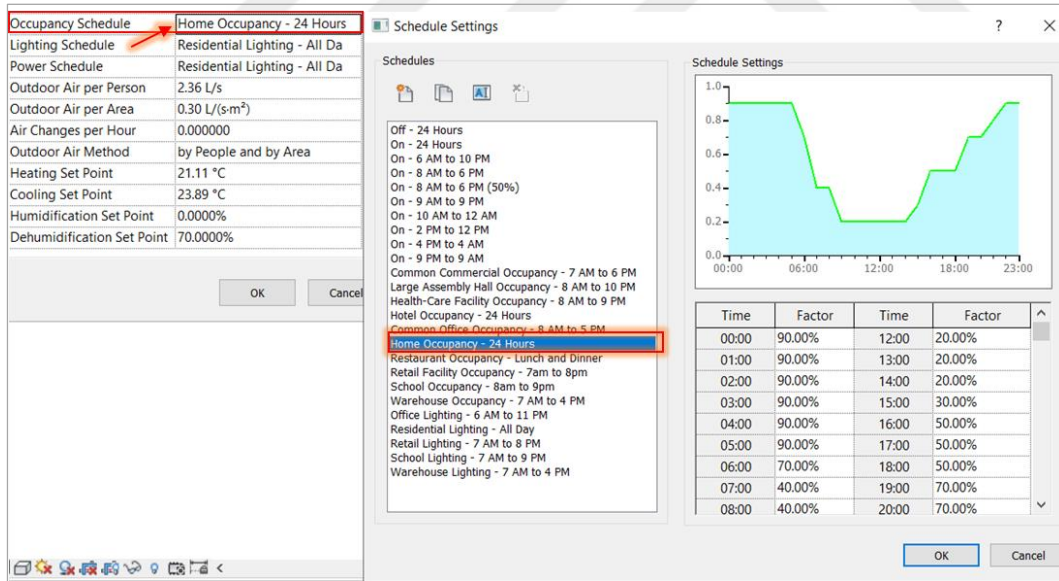
Şekil 3.29 : Gelişmiş enerji ayarlarının seçilmesi

Detaylı eleman özellikleri ile oluşturulmuş bir yapının enerji analizi gerçekleştirileceği için “Export Complexity” özelliği detaylı seçenekleri içeren özellik seviyesi seçilmiştir. “Building Service” özelliği yapının ısıtma ve soğutma sistemini temsil etmektedir. Mevcut yapıda ısıtma ve soğutma sisteminde fan coil kullanıldığı için tercih bu yönde olmuştur. “Building Type” bir villa yapısı olduğu için “Single Family” tipi seçilmiştir. “Building Operating Schedule” özelliği yapının kullanım çizelgesi verilerini temsil eder, bu seçenek Revit tarafından seçilen bina tipine özgü olarak oluşturulan varsayılan değer seçeneği olarak bırakılmıştır. Yapının kullanımında yer alan mahaller için farklı kullanım çizelgeleri ataması yapmak mümkündür. “Space” ataması yaptıktan sonra alan kullanım değeri değiştirilmek istenen mahal üzerinde tanımlı “Space” seçilir. “Properties” panelinde “Energy Analysis” satırında yer alan Şekil 3.30’da “Space Type” butonuna basılarak seçilen alan için özellik ayarlarının yapılabildiği pencere açılır. Pencere açıldığında “Buildings” özelliğinin seçili olduğu

gözükmektedir. Enerji analizinde seçilen yapı tipi özelliğine göre alan kullanım çizelgesinin oluşturulduğu görülmektedir. Bu verileri inceleyerek yeni bir çizelge oluşturabilir veya oluşturulmuş olan mevcut değerler kabul edilebilir.



Şekil 3.30 : Alan özellikleri enerji kullanım ayarları



Şekil 3.31 : Alan kullanım çizelgesi

“Material Thermal Properties” özelliği modelde yer alan yapı elemanlarının malzeme termal özelliklerinin hangi seçeneğe göre enerji analizinde hesaplanacağını bilgisini tanımlayı sağlamaktadır. Bu seçenek “Detailed” olarak işaretlenmiştir, bkzn. (Şekil 3.29). Çünkü modelde elemanlara malzeme ataması yapılmış olup bu malzeme özelliklerinin termal bilgisinin hesaplamada kullanılması istenmektedir. Malzeme

özellikleri ve yapısal özelliklerin termal özellik bilgisi görülmektedir (Şekil 3.32 ve Şekil 3.33).

Malzeme Tipi	Termal Özellikler		
	Thermal Conductivity (W/(m.K))	Specific Heat (J/(g.°C))	Density (kg/m³)
Ahşap	0.12	2.301	560.00
Kayrak	1.883	0.836	2.760.00
Mermer	2.9	0.84	2.750.00
Sıva	0.65	0.84	1.100.00
Taş yünü	0.034	0.71	150.00
Gaz beton	0.209	0.657	950.00
Ses paneli	0.036	0.96	100.00
Betonarme döşeme	1.046	0.657	2.300.00
Çatı kiremiti	0.84	0.8	1.900.00
Plywood	0.106	1.42	552.00
Çatı ahşap strüktür	0.025	1.0035	1.2

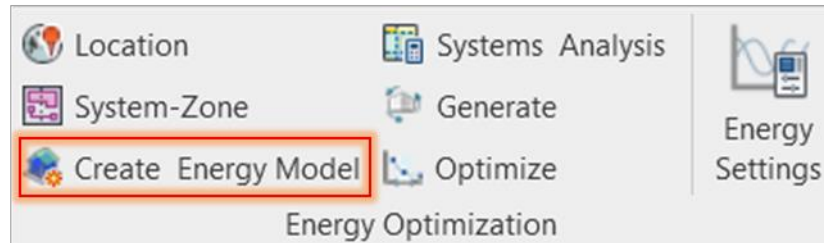
Şekil 3.32 : Malzeme termal özellikleri

Duvar Tanımı	U - Value (W / (m².K))	R - Value ((m².K) / W)
Dış Duvar		
A-EXT-WA-WOOD-PLS-RCW-PLS-LWC-PLS-PNT_36cm	0.3659	2.7327
Dış Duvar		
A-EXT-WA-STN-PLS-RCW-PLS-LWC-PLS-PNT_37cm	0.3873	2.5819
Dış Duvar		
A-EXT-WA-PNT-PLS-RCW-PLS-LWC-PLS-PNT_34cm	0.3897	2.566
İç Duvar		
A-INT-WA-PNT-PLS-LWC-PLS-PNT_15 cm	1.5319	0.6528
Döşeme		
A-INT-FLR-40 cm	0.5367	1.8631
Çatı		
Roof	0.1225	8.1653

Şekil 3.33 : Yapısal elemanlar malzeme termal özellikleri

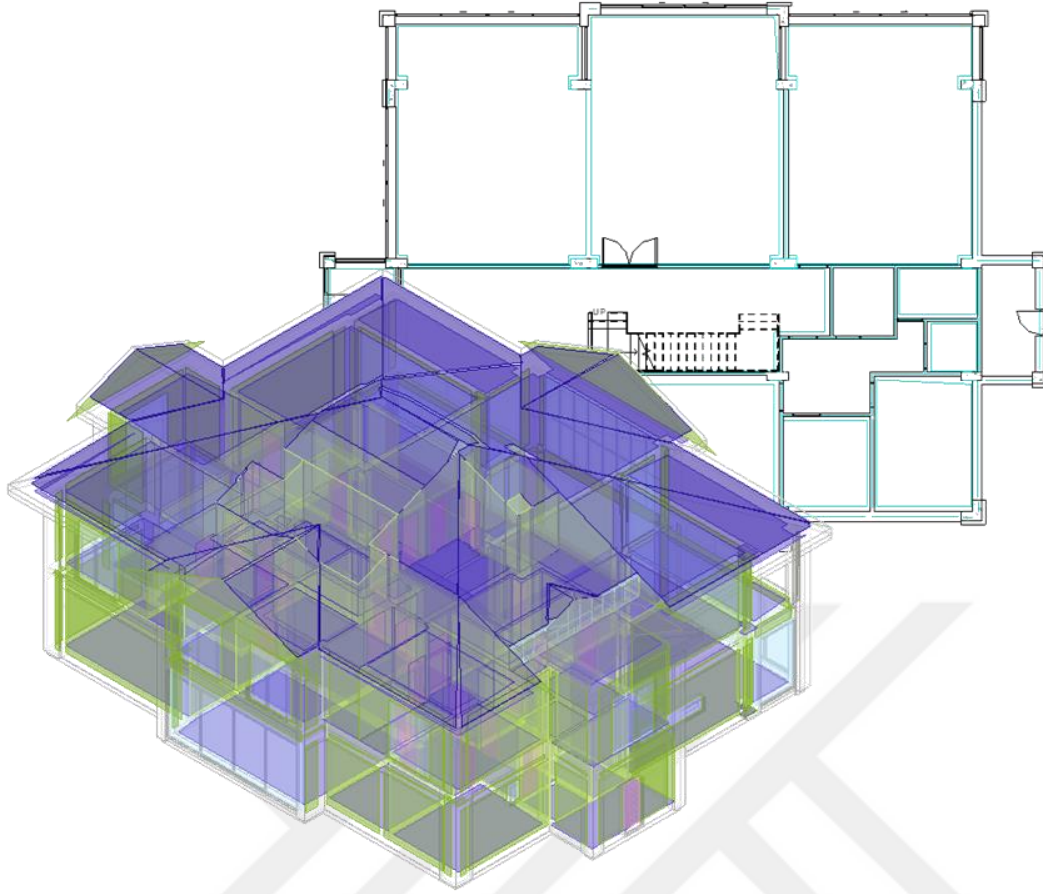
3.5.1.4 Enerji modelinin oluşturulması

Yapı modeline gerekli bilgiler girildikten sonra bir sonraki aşama enerji modelinin oluşturulmasıdır. Bunun için “Energy Optimization” panelinde yer alan “Create Energy Model” butonuna basılmalıdır (Şekil 3.34).



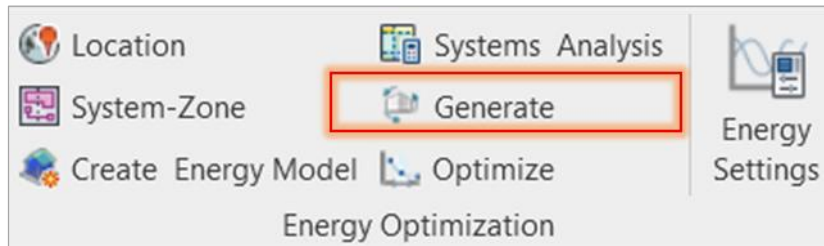
Şekil 3.34 : Enerji modeli oluşturma aracı

Enerji analitik modeli, modelde yer alan bilgiler ve ASHRAE 90.1 standartlarına göre otomatik zonlama ve enerji modeli özelliklerine göre Revit tarafından oluşturulmaktadır. Şekil 3.35’te plan düzleminde ve üç boyutta oluşturulan enerji modeli yapısı görülmektedir.



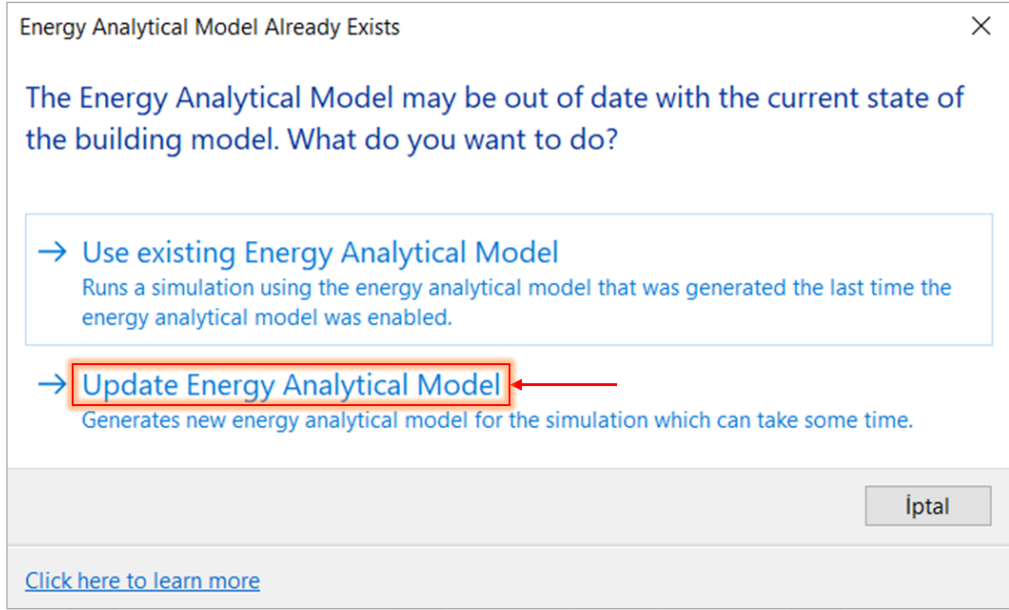
Şekil 3.35 : Enerji analitik modelinin oluşturulması

Enerji modeli Revit ortamında oluşturulmuş olup modeli Insight'a iletmek için “Generate” tuşuna basılmalıdır.



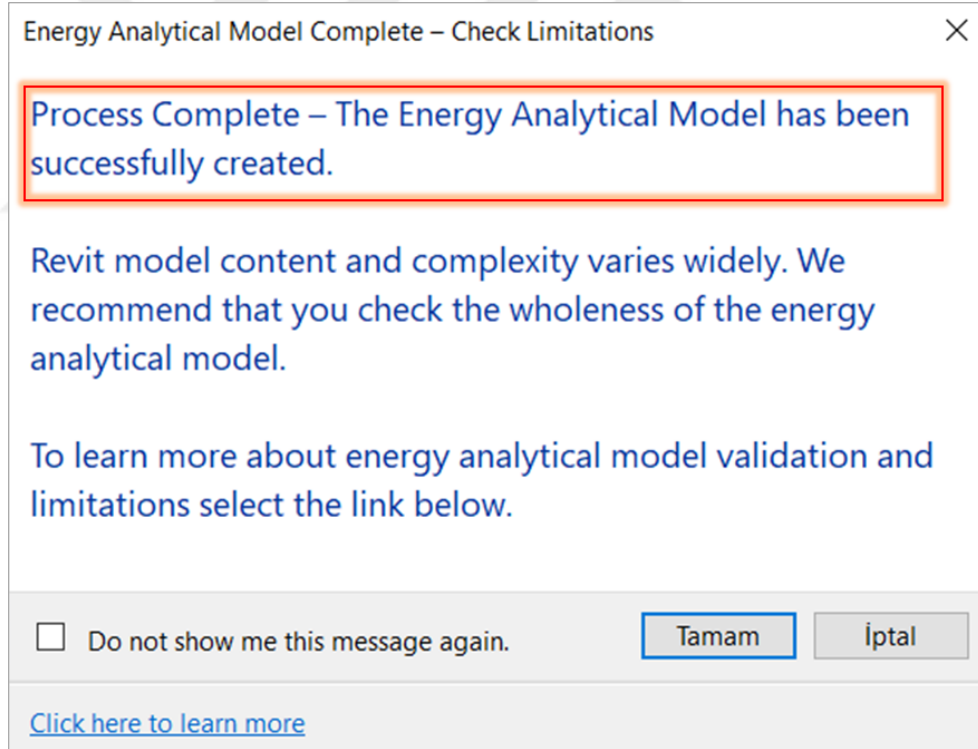
Şekil 3.36 : Enerji modelinin Insight ortamına gönderilmesi

“Generate” tuşuna basıldığında Şekil 3.37’de görülen ekran açılmaktadır. Bu ekranda eğer mevcutta daha önceden bulutta üretilmiş bir model varsa Revit ortamında yapılan değişiklikler enerji modeline aktarılmak istendiğinde “Use existing Energy Analytical Model” seçeneği seçilebilir. İlk kez enerji modeli üretileceği için bu seçenek “Update Energy Analytical Model” seçeneği işaretlenmiştir.



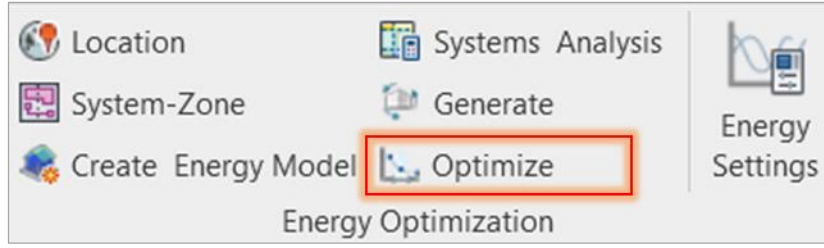
Şekil 3.37 : Yeni bir enerji modelinin üretilmesi

Enerji modeli her şey düzgün olduğunda başarılı olarak gerçekleştirilecektir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38 : Enerji modeli sürecinin başarılı tamamlanması

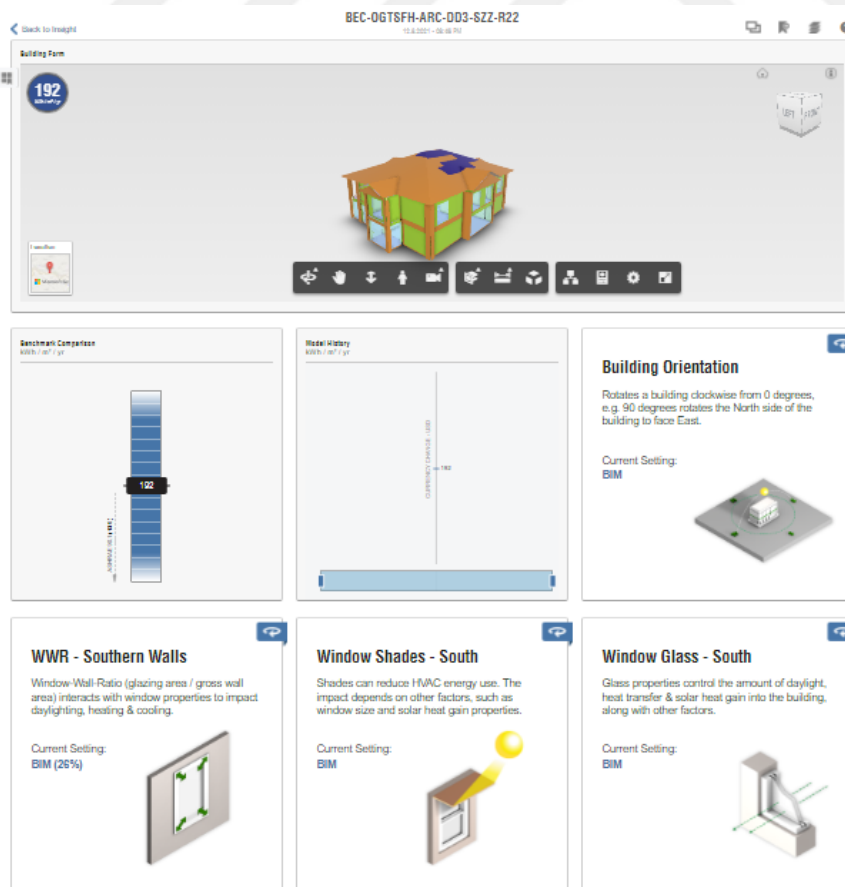
Enerji modelinin Insight'ta hazırlanma süreci 8-10 dk arası değişmektedir. Bu süreç modelin karmaşıklığı, boyutu ve bulut sisteminde yaşanan yoğunluğa göre değişebilmektedir. Model oluşum süreci tamamlandığında Revit kullanıcı girişi hesabına e-mail ile bildirim gelmektedir. Model içerisinde sonuçlara ulaşmak için Şekil 3.39'da gösterilen "Optimize" tuşuna basılmalıdır.



Şekil 3.39 : Insight enerji performans modeline erişim

3.5.1.5 Insight enerji analiz sonuçları

Gelişmiş tasarım model sonuçlarına ulaşmak için analiz tamamlandığında e-mail ile gelen bildirimle tıklayarak veya Revit ekranında “Optimize” tuşuna basarak analiz sonuçlarına erişim sağlanabilir. Insight, geleneksel hesaplama yöntemlerine oranla çok hızlı bir şekilde sürdürülebilirlik kriterlerine dayalı tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi konusunda oldukça hızlı bir sonuç alınmasını sağlamaktadır. Hesaplama yaparken hem DOE-2.2 hem de EnergyPlus motorlarını kullanır. Insight analiz sonuçlarının yer aldığı ekran görüntüsü Şekil 3.40’ta ki gibidir. Burada bina performans sonuçlarını etkileyen faktörler, widgetlar (pencere arayüzleri) olarak ekranda yer almaktadır.

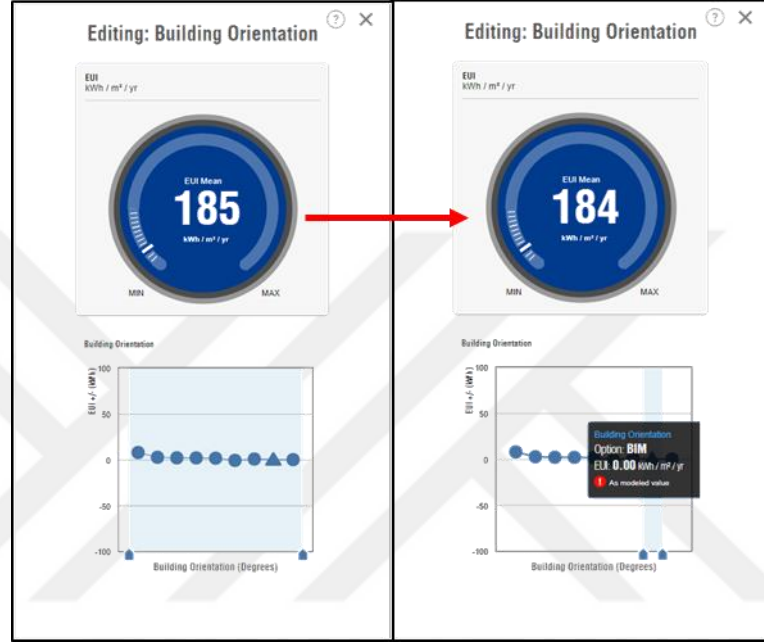


Şekil 3.40 : Insight arayüzü

Tüm widget ayarları Revit modelindeki verileri temsil etmesi için BIM ögesine getirilmiştir (Şekil 3.41).

Insight widget ayarları ile ilgili detaylı bilgiler “Insight Widget Ayarları” başlığı altında yer almaktadır (bkz. EK B).

Enerji analiz sonucu yıllık enerji maliyeti ve enerji kullanım yoğunluğu (EUI) olarak hesaplama sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 3.41 : Widget ayarlarının BIM olarak seçilmesi

Gelişmiş tasarım modelinde tüm ayarlar BIM noktası getirildikten sonra elde edilen analiz sonucu Şekil 3.42’de ki gibidir.

Model Name	Building Area (m²)	EUI Mean (kWh / m² / yr)	Scenario	Yıllık Toplam EUI
 BEC-OGTSFH-ARC-DD3-SZZ-R22	641	192	BIM Model	= 123.072 kWh

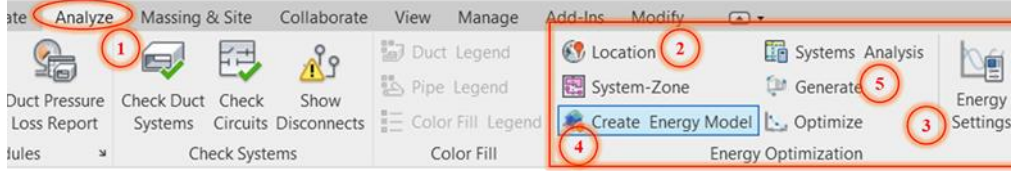
Şekil 3.42 : Insight BIM enerji analiz sonucu

3.5.2 Kütle modeli ile enerji modelleme

Bu bölümde bölüm 3.4’te “Kütle (Mass) modelinin oluşturulması” başlığı altında vaka çalışmasının erken tasarım aşama evresinde enerji analiz sürecini incelemek için kütle modeli oluşturulmuştur. Erken tasarım evresinde yapının nihai tasarımına karar vermeden sürdürülebilir ve enerji etkin bir tasarıma sahip yapı oluşturmak için Revit, kütle model oluşturma ve oluşturulan bu tasarımın hızlı bir şekilde enerji modelini oluşturmaya imkan tanımaktadır. Gerçek örnek vaka çalışmasının kütle modelinden,

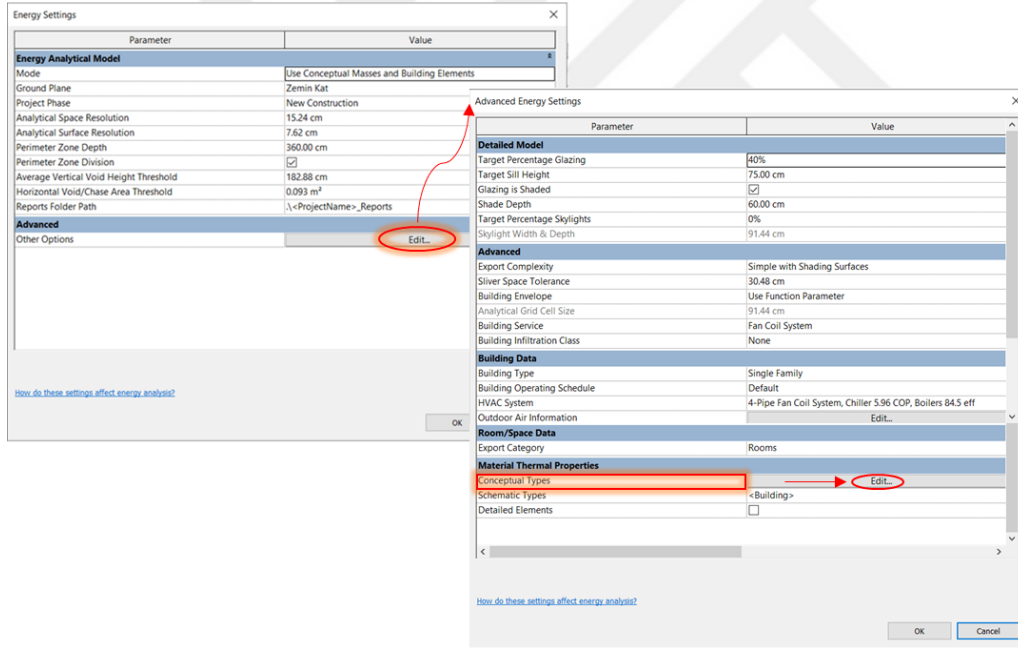
enerji modelini oluşturma amacı; eğer bu yapı inşa edilmeden önce tasarım evrelerinde bu kararlar baz alınarak tasarlanmış olsaydı enerji verimliliği açısından oluşacak farkları görebilmek için ele alınmıştır.

Enerji modeli süreci şekil 3.43'te belirtilen aşamalar dikkate alınarak oluşturulmuştur.



şekil 3.43 : Enerji modeli oluşturma süreci

İlk olarak “Analyze” sekmesi altında yer alan “Energy Optimization” panelindeki “Location” tuşuna basarak daha önce detaylı enerji modeli oluşturulan bölüm 3.5.1’de ki bilgiler baz alınarak proje konumu ayarlanmıştır (bkz. şekil 3.26). Devamında enerji ayarları oluşturulmuştur (şekil 3.44).



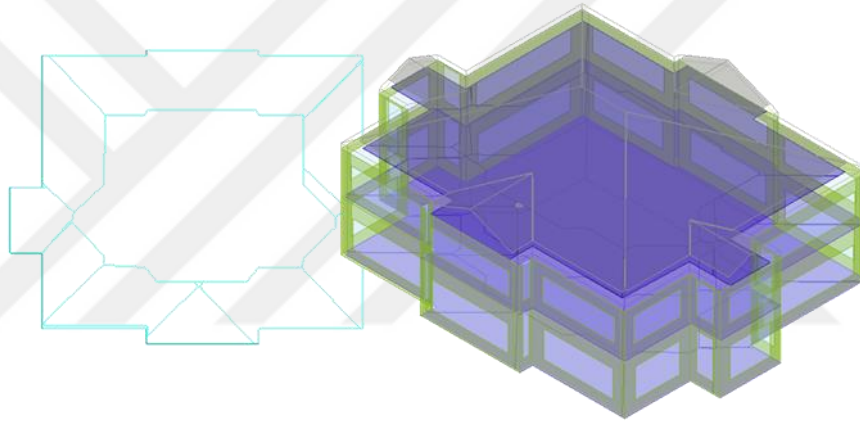
şekil 3.44 : Ktle modeli enerji ayarlarının oluşturulması

“Material Thermal Properties” ayarı için “Conceptual Types” zellik ayarları kullanılmaktadır (şekil 3.45).

Conceptual Types	
Mass Model	Constructions
Mass Exterior Wall	Lightweight Construction – Typical Mild Climate Insulation
Mass Interior Wall	Lightweight Construction – No Insulation
Mass Exterior Wall - Underground	High Mass Construction – Typical Mild Climate Insulation
Mass Roof	Typical Insulation - Cool Roof
Mass Floor	Lightweight Construction – No Insulation
Mass Slab	High Mass Construction – No Insulation
Mass Glazing	Double Pane Clear – No Coating
Mass Skylight	Double Pane Clear – No Coating
Mass Shade	Basic Shade
Mass Opening	Air

Şekil 3.45 : Mass model yapısal malzeme termal özellikleri

Enerji ayarları yapıldıktan sonra “Create Energy Model” tuşuna basarak Revit içerisinde Şekil 3.46’da görülen enerji modeli oluşturulmuştur.

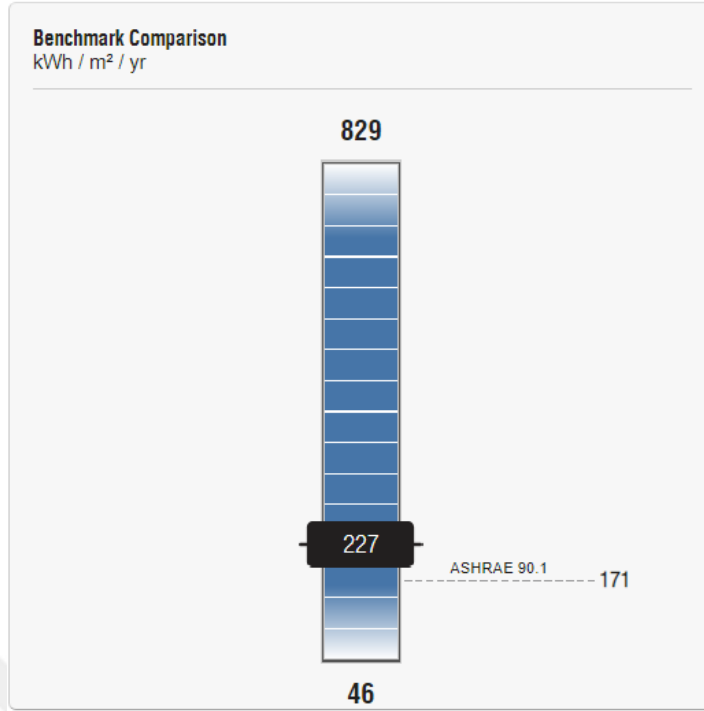


Şekil 3.46 : Kütle enerji modeli

Oluşturulan model “Generate” tuşuna basılarak Insight enerji yazılımı bulut ortamına gönderilmiştir.

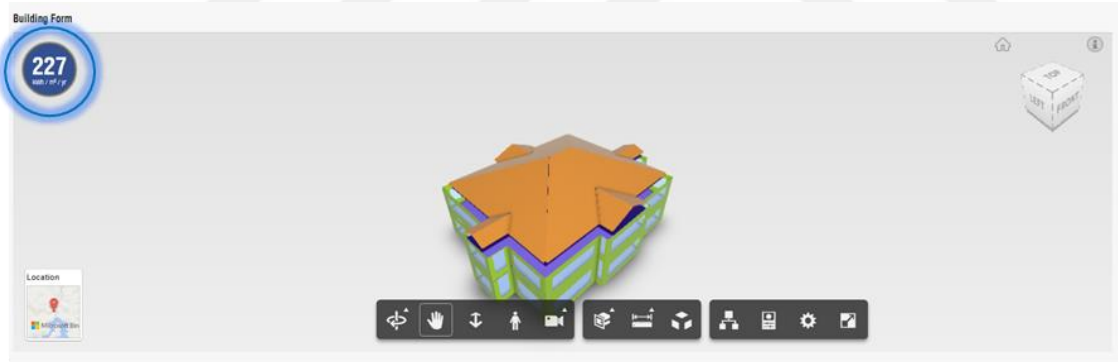
3.5.2.1 Kütle modeli enerji analizi sonuçları

Enerji modeli oluşturma süreci tamamlandıktan sonra Insight arayüzünde sonuçlar incelenmiştir. Insight widget ayarlarında herhangi bir ayar değişiklik yapılmadan hesaplanan sonuç mevcut enerji kullanımından yüksek bir değer olup yakın değer aralığında yer almaktadır. Fakat bu model erken tasarım aşamasında olduğu için yapılacak ayar değişiklikleri ile enerji kullanımını azaltmaya yönelik kararların model üzerinden alınabilmesini sağlayabilmektedir. Bunun için alternatif bir tasarım kararının enerji kullanımındaki etkisinin incelenmesi için alternatif senaryo oluşturulmuştur.



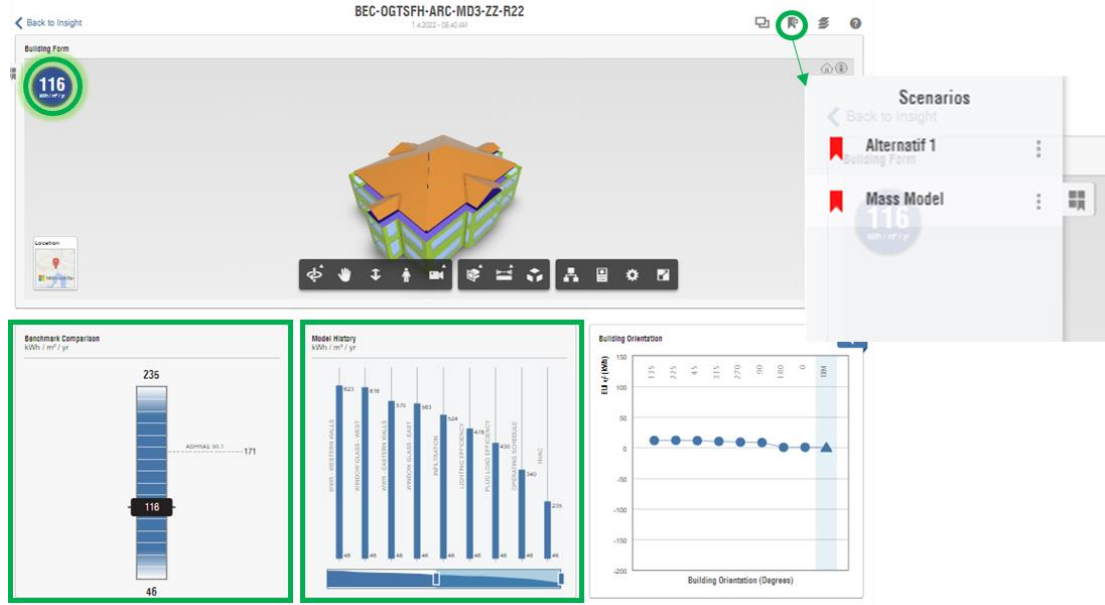
Şekil 3.47 : ASHRAE 90.1 baz alınarak sonucun karşılaştırılması

Kütle modelinin enerji simülasyonu için Insight bulut ortamına aktarılması sonucunda hesaplanan değer Şekil 3.48’de görüldüğü gibidir.



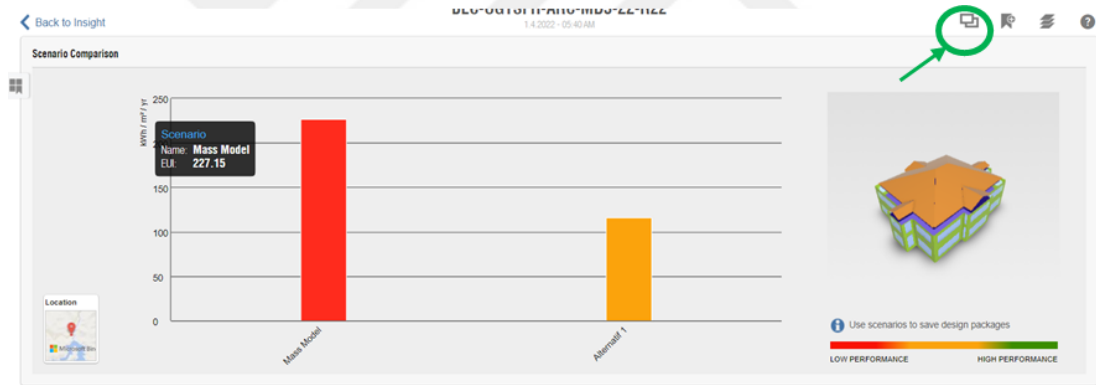
Şekil 3.48 : Insight kütle modeli analiz sonucu

Yapılan enerji analiz hesaplaması erken tasarım aşamasını kapsadığı için Insight modelinde tasarım kararları alternatiflerini widgetlar üzerinden anlık olarak değiştirebilir ve sonuca olan etkisini görebiliriz. Değiştirilen her bir özellik için analiz değeri çubuğu “Model History” panelinde görülebilmektedir (Şekil 3.49).



Şekil 3.49 : Insight widget ayarlarının değişimi

Ayrıca tasarım alternatifleri için senaryolar eklenebilir ve bu senaryoların performans karşılaştırmalı sonucuna ulaşılabilir (Şekil 3.50).



Şekil 3.50 : Kütle modeli tasarım alternatiflerinin karşılaştırılması

Mass model güvenilirliğini anlamak için mevcut yapı enerji model ayarları kütle modelinde de uygulanmıştır. Gelişmiş model Insight ayarları değerlerine göre özellikler değiştirilmiştir ve gelişmiş model enerji sonucu ile kıyaslanmıştır (Şekil 3.51).

Model Name	Scenario	EUI Mean (kWh / m ² / yr)	Ashrae 90.1 (kWh / m ² / yr)	Building Area (m ²)
BEC-OGTSFH-ARC-DD3-SZZ-R22	BIM Model	192	135	641
BEC-OGTSFH-ARC-MD3-ZZ-R22	Mass-BIM	188	160	729

Şekil 3.51 : Gelişmiş özellikli kütle modelinin gelişmiş enerji modeli ile karşılaştırılması

Yazılım Girdisi: IDA ICE yaygın olarak kullanılan tüm 2D ve 3D CAD dosyalarını içe aktarabilir. ArchiCAD, Revit, MagiCAD vb. diğer araçlar tarafından üretilen IFC BIM modellerini destekler. Geometri, SketchUp'tan veya diğer geometri araçlarından içe aktarılabilir. EPW (EnergyPlus Weather) dosyaları da dahil olmak üzere iklim dosyaları kolayca indirilerek kurulabilmektedir.

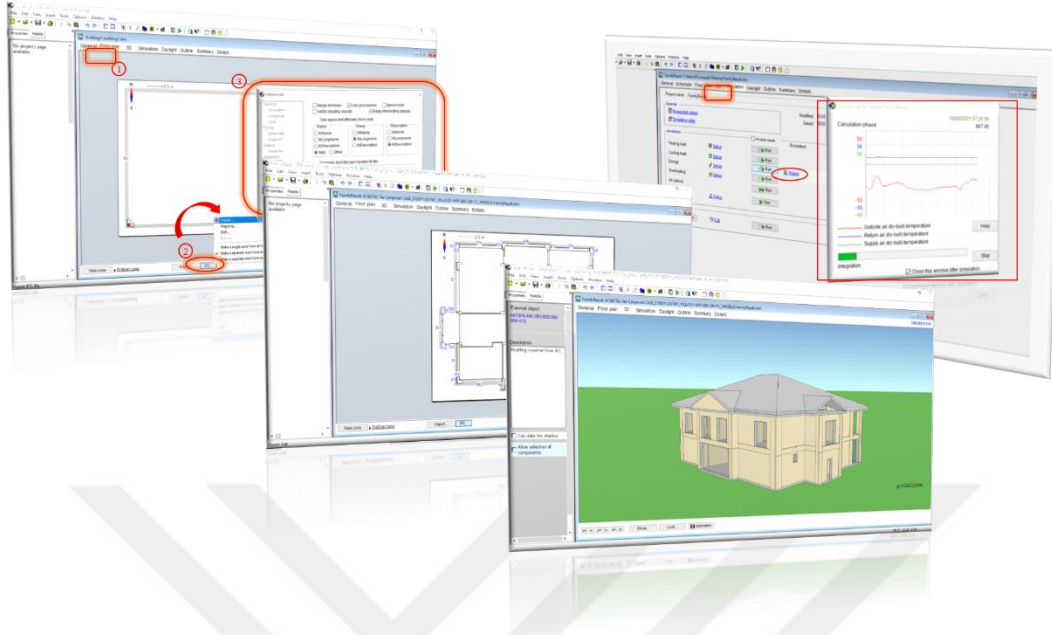
Yazılım Çıktısı: Yerelleştirilmiş rapor tabloları, çizelgeleri ve grafikleri içerir. 3D görselleştirmeler (hem durağan görüntüler hem de animasyonlar) geometriyi, güneş kırılmalarını, renk kodlu giriş verilerini ve sonuçları gösterir. 3D ok animasyonları havalandırma hava akışlarını, pencere enerji dengesini ve rüzgarla çalışan akışları görselleştirir. Raporlar, LEED Online'daki LEED teslim formlarına ve diğer kaynak belgelerine uyacak şekilde tasarlanmıştır ve MS Excel ve Word'e dışa aktarmak da mümkündür.

Varsayılan birincil ve ikincil sistemlere sahip tek bir bölge IDA ICE modeli, aşağıdakiler gibi herhangi bir şekilde çizilebilen toplam yaklaşık 2000 zamana bağlı değişken içerir: bölge ısı dengesi (güneş, yolcular, ekipman, ışıklar, havalandırma, ısıtma ve soğutma cihazları, yüzey aktarımları, hava kaçağı, soğuk köprüler ve kontrol sinyalleri). Güneş akısı, yerel gölgeleme cihazları için tam 3D muhasebe ile pencereler (ayrıca dahili) aracılığıyla değerlendirilir. Hava CO₂ ve nem seviyeleri, hava ve yüzey sıcaklıklarıyla birlikte yakalanır. Ayrıca konfor endeksleri, PPD ve PMV, karşılanmayan yük saatleri, gün ışığı, zamana bağlı fiyatlara dayalı toplam enerji maliyeti ve birincil enerji ve CO₂ emisyonu da mevcuttur.

Güçlü Özellikler: IDA ICE; zarf, sistemler, tesis ve kontrol sistemlerini içeren tam enerji ve tasarım çalışmaları için kullanılabilir. Temeldeki her denkleme göz atılabilir ve her kritik değişken kullanıcı tarafından kaydedilebilir. IDA ICE'de kullanılan genel denklem tabanlı yöntemler, esnek mimarisiyle birlikte, yerel gereksinimlere ve dillere uyarlamak için yazılımı sürekli geliştirmeyi ve yeni modelleme yetenekleriyle genişletmeyi kolaylaştırır.

IDA ICE, termal iç mekan ikliminin yanı sıra tüm binanın enerji tüketiminin incelenmesi için yenilikçi ve güvenilir bir yıl boyunca ayrıntılı ve dinamik çok bölgeli simülasyon uygulamasıdır. IDA ICE'de fiziksel modeller mevcut en yeni araştırmaları ve en iyi modelleri yansıtır ve hesaplanan sonuçlar ölçülen verilerle iyi karşılaştırılır. Küresel bir pazara hizmet ederken, IDA ICE yerel diller ve gereksinimlere (iklim

verileri, standartlar, özel sistemler, özel raporlar, ürün ve malzeme verileri) uyarlanmıştır.

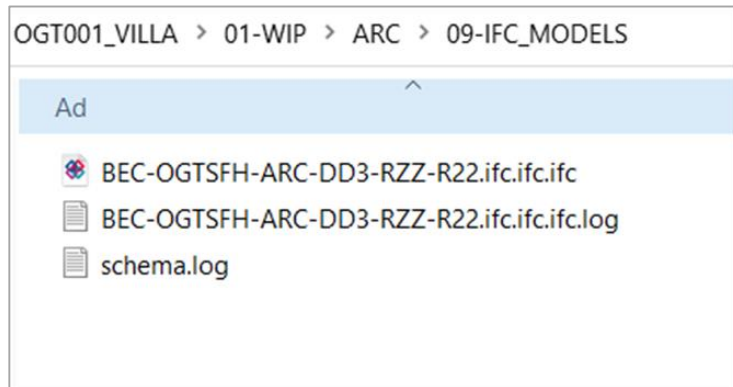


Şekil 3.53 : IDA ICE yazılım ortamı

IFC formatını desteklediği ve model içe aktarma aşamasında veri kaybını azaltmaya izin verdiği için binanın enerji performans analizi için IDA ICE yazılımı seçilmiştir. IFC dosyasında enerji analizi için gerekli olmayan bilgilerin temizlenmesi ve IDA ICE tarafından bazı elemanların tanımlanabilmesi için gerekli olan ayarların yapılabilmesi için IDA ICE Simplebim eklentisi kullanılmıştır.

3.6.1 Revit IFC dosya transferi

Bölüm 3.4'te yer alan “Enerji analizi için Autodesk Revit IFC transferi konfigürasyonu” başlığında ele alınan aşamalar uygulanarak IFC modeli dışarı aktarılmıştır.



Şekil 3.54 : IFC dosya transferinin görüntüsü

3.6.2 Simplebim eklentisi ile IFC modelini IDA ICE için hazırlama

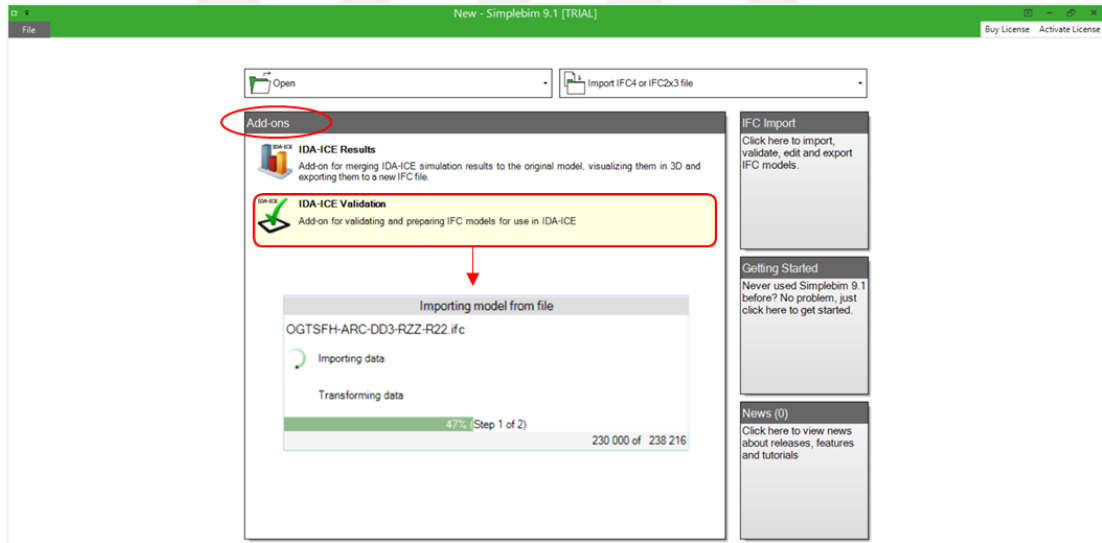
Simplebim, Datacubist tarafından BIM tabanlı BEM sürecini desteklemek amacıyla geliştirilmiş bir yazılımdır.

Simplebim IDA ICE eklentisi ile IDA ICE'de kullanılacak IFC dosyaları doğrulanabilir ve transfer edilebilir. IDA ICE'den gelen analiz sonucunu görselleştirme ve daha akıllı HVAC tasarımı için sonuçlar IFC modeliyle birleştirebilir (Url-3).

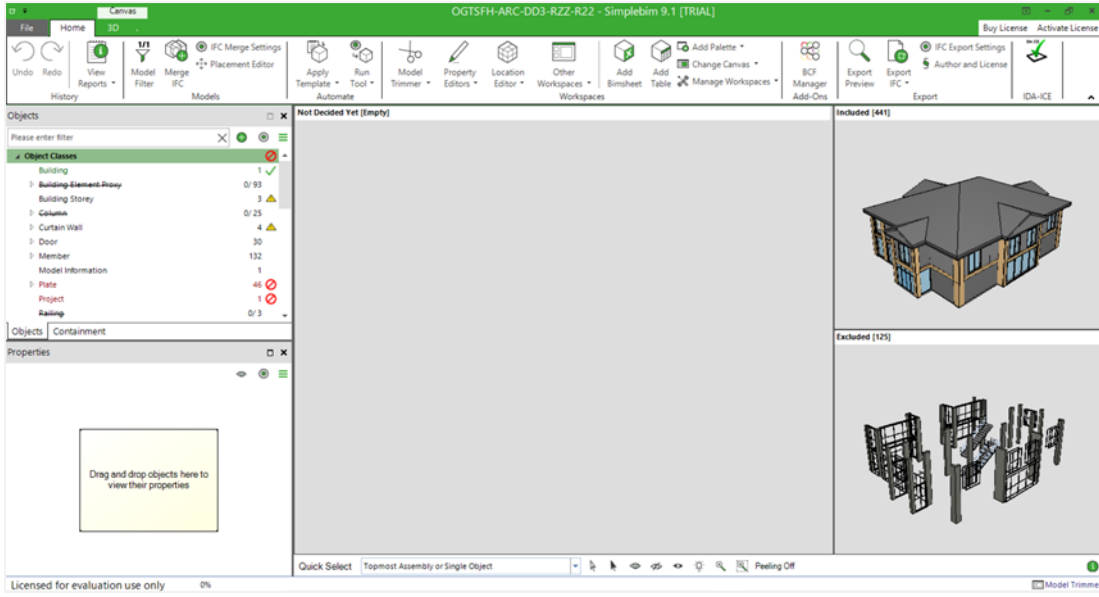
Bu çalışmada Simplebim, IDA ICE'ye IFC aktarımının sorunsuz olması için dosya doğrulama ve transferi için tek yönlü olarak kullanılmıştır.

3.6.2.1 Simplebim IFC dosyasını içe aktarma

IDA ICE eklentisi yüklendiğinde, Simplebim başlangıç sayfasında yer alan “Eklentiler (Add-ons)” bölümünde “IDA ICE Doğrulama (IDA ICE Validation)” seçeneği görünür. Bu tuşa tıklanır ve içe aktarımı yapılacak IFC dosya seçimi yapılır.



Şekil 3.55 : Simplebim IDA ICE doğrulaması IFC dosya seçimi



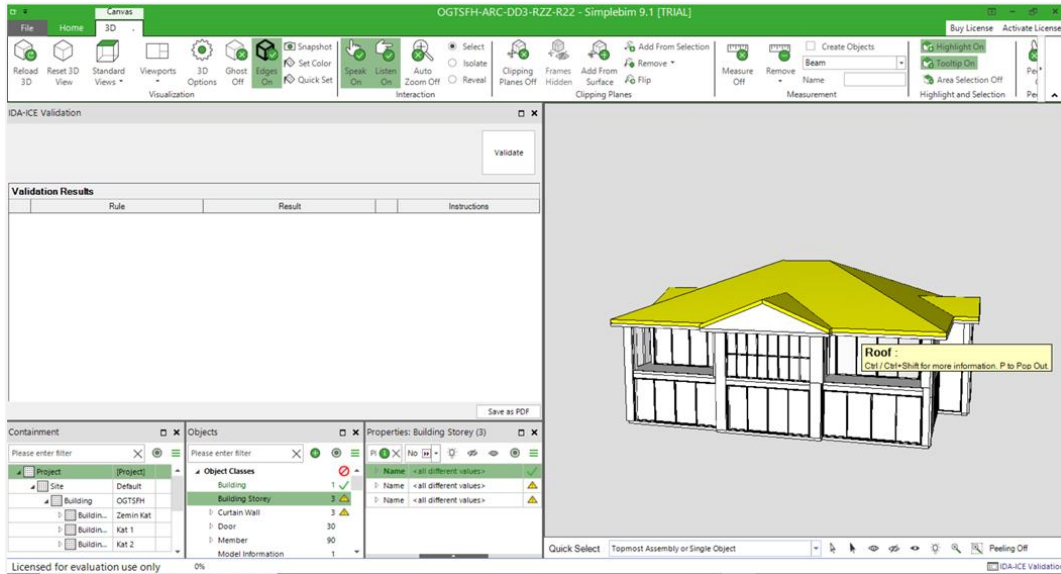
Şekil 3.56 : Simplebim IFC transfer görünümü

3.6.2.2 IDA ICE'de mimari modellerin kullanılması için veri içeriği gereksinimi

Bu gereksinimler, veri alışverişinin çalışması için mimari IFC modelinde bulunması gereken nesneleri ve öznitelik verilerini tanımlamaktadır. Burada açıklanan gereksinimlerin karşılanması, veri transferinin çalışması için zorunludur (Url-3).

Yapı Katları (Building Storeys)

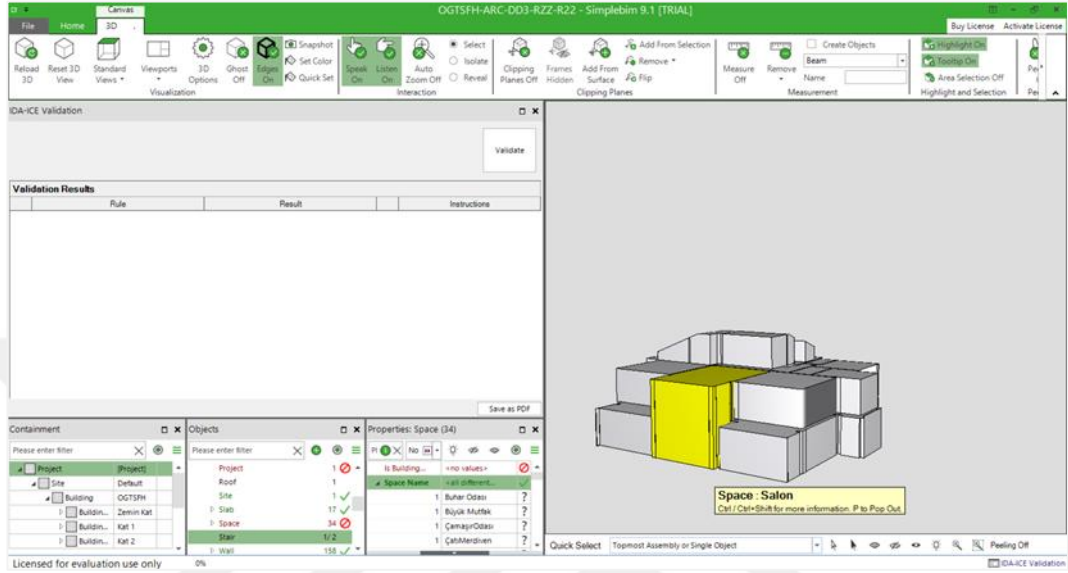
Tüm nesneler, geometrilerinin bulunduğu bina katında bulunmalıdır. Bu gereksinim yalnızca IDA ICE tarafından kullanılan nesneler için geçerlidir.



Şekil 3.57 : Simplebim yapı elemanının ait olduğu kat görüntüsü

Alanlar (Spaces)

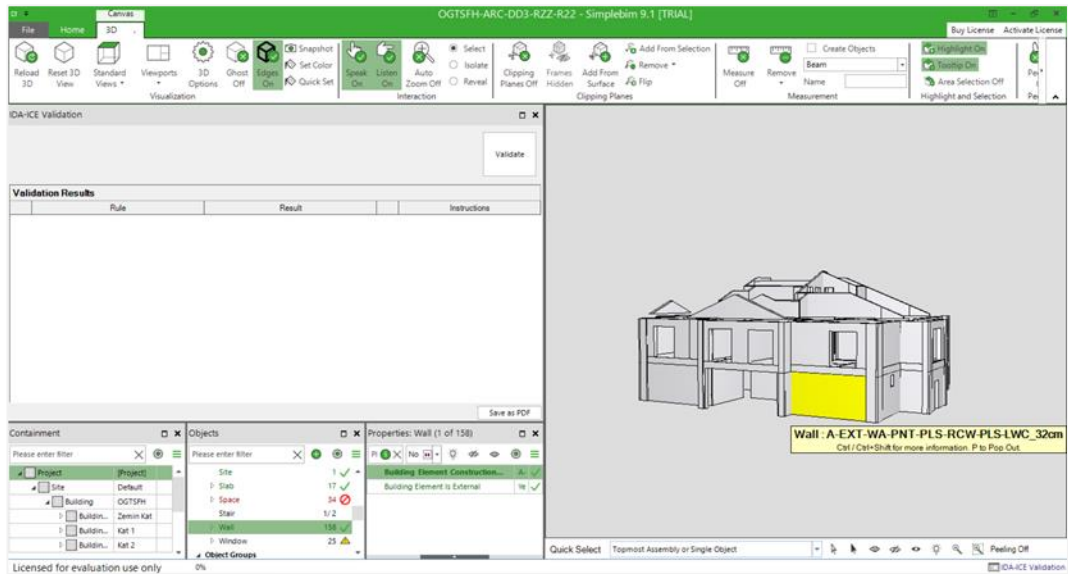
IDA ICE veri transferinde alanlar en önemli nesnelerdir. Veri transferi için tanımlanması zorunludur. Simülasyon için gereken tüm alan nesneleri modellenerek alan adlarının tanımlanması gerekir. Örneğin: "Salon" veya "Mutfak".



Şekil 3.58 : Simplebim tanımlı alanın (spaces) gösterilmesi

Duvarlar (Walls)

Duvar elemanları, duvarların termal özelliklerini ve simülasyon modelindeki pencere ve kapı açıklıklarının konumunu tanımlamaktadır. Bir duvar ve içindeki pencere ve kapılar aynı bina katında bulunması gerekmektedir. Bu özellik uygulamada duvarların sadece bir bina katı yüksekliği arasında olabileceği anlamına gelmektedir.

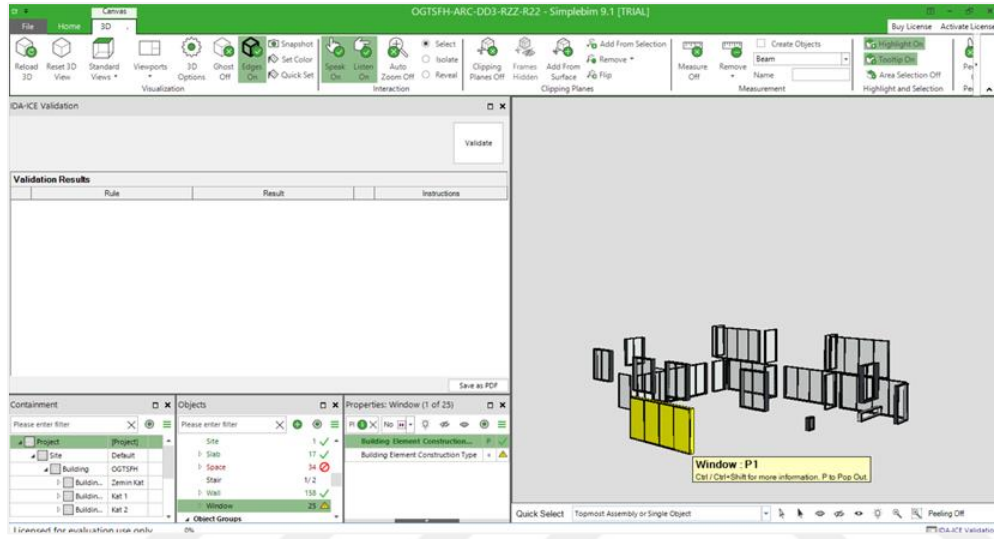


Şekil 3.59 : Simplebim duvar elemanının gösterimi

Duvarlar iç ve dış duvar olarak iki kategoride gruplandırılması gerekmektedir. Çünkü IDA ICE, yapı gövdesini bu bilgilere dayanarak tanımlamaya çalışmaktadır. Bina modellemesinde bu özellik dikkate alınarak duvar tanımlaması yapılmıştır.

Pencereler (Windows)

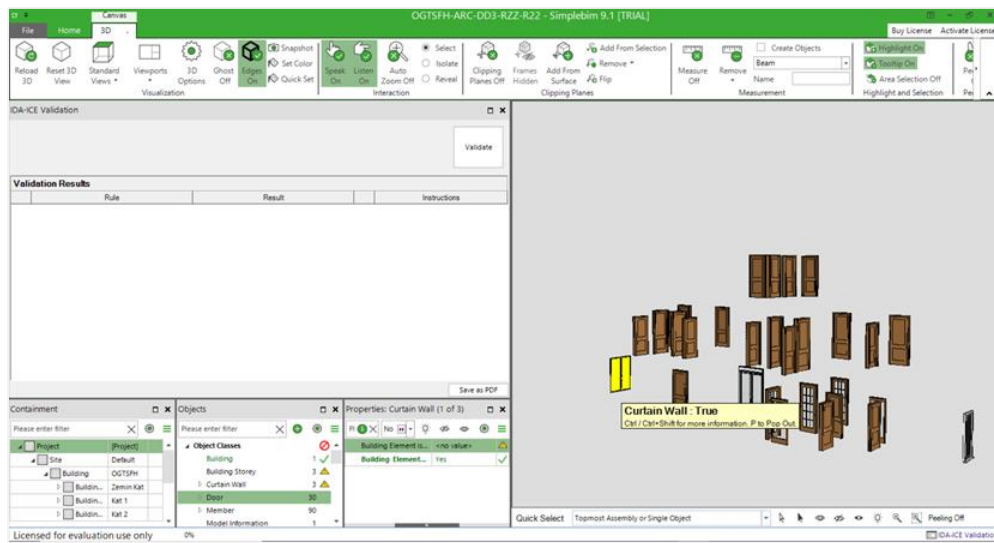
Pencere elemanları, IDA ICE simülasyon modelindeki pencere açıklıklarının termal özelliklerini ve konumlarını tanımlamaktadır. Pencerelerin, pencereyi barındıran duvarla aynı bina katında bulunması gerekmektedir.



Şekil 3.60 : Simplebim pencere elemanının gösterimi

Kapılar (Doors)

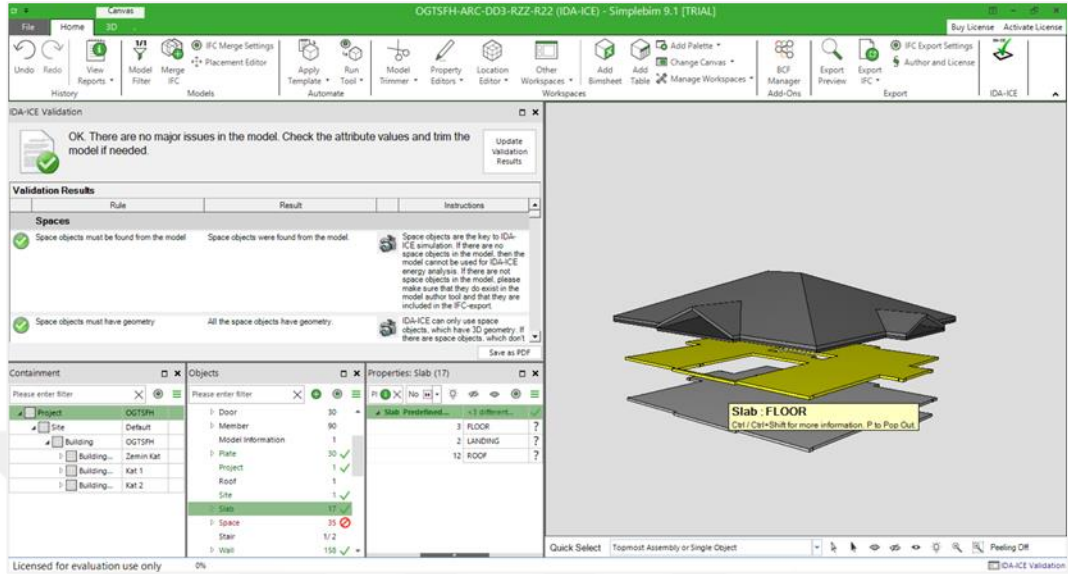
Kapı elemanları, IDA ICE simülasyon modelindeki pencere açıklıklarının termal özelliklerini ve konumlarını tanımlamaktadır. Kapılar, pencereyi barındıran duvarla aynı bina katında bulunması gerekmektedir.



Şekil 3.61 : Simplebim kapı elemanının gösterimi

Döşemeler (Slabs)

Döşeme elemanları, IDA ICE simülasyon modelindeki çatıların termal özelliklerini ve şekillerini tanımlar. Döşeme için yapı elemanı yapı tipi özelliği zorunludur.

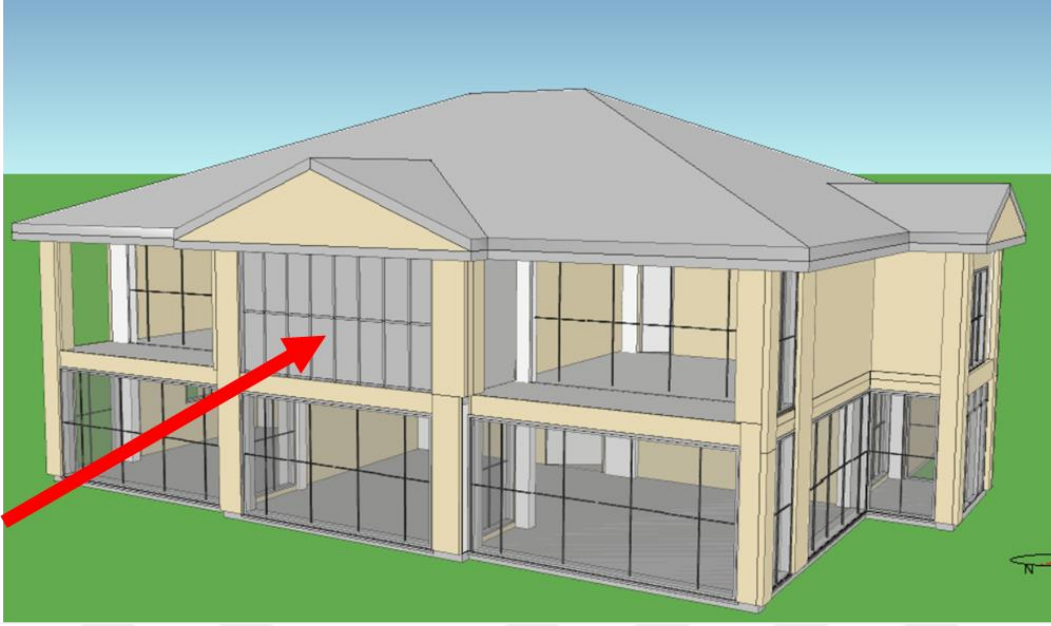


Şekil 3.62 : Simplebim döşeme elemanının gösterimi

Giydirme Cepheler (Curtain Walls)

Giydirme duvar elemanları genellikle yük taşımayan cam duvar cephelerini modellemek için kullanılmaktadır. IFC veri transferi söz konusu olduğunda, normal duvarları ve pencereleri modellemek için giydirme duvar elemanlarının kullanılmaması gerekmektedir.

IDA ICE'de varsayılan olarak giydirme duvar elemanları, katı duvarlar olarak aktarılır. Bunun nedeni, IFC'de bir giydirme duvarın bir plakasının şeffaf olup olmadığını tanımlamanın açık bir yolunun olmamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.63 : IFC’nin doğrudan transferinde giydirme duvar elemanının IDA ICE’de görünümü

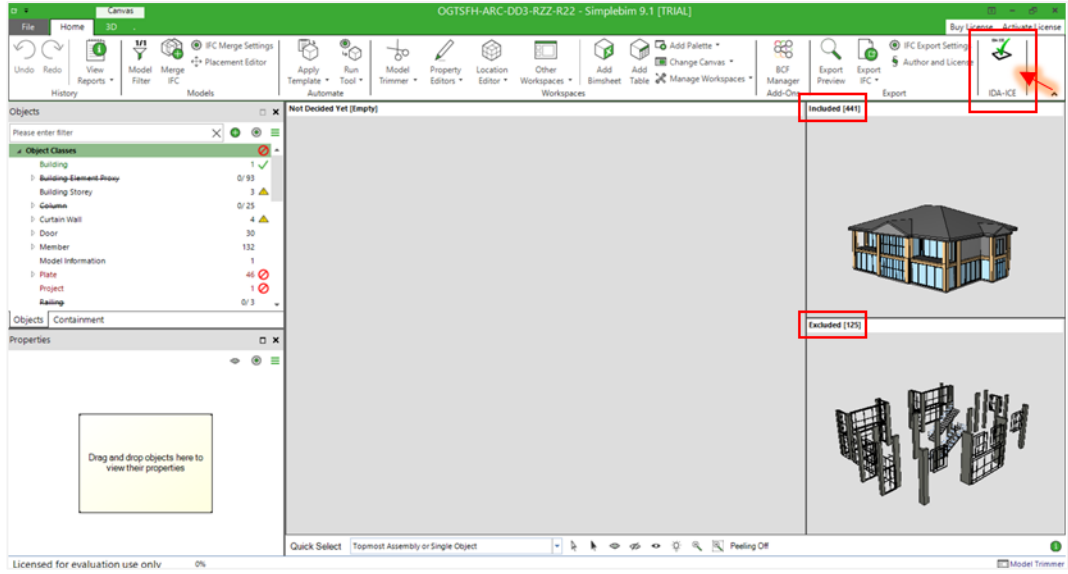
Diğer Elemanlar

Mimari modeller, yukarıda açıklanan elemanlardan çok daha fazla eleman türüne sahip olabilmektedir. Bunlar kolonlar, kirişler, çevresel elemanlar, mobilyalar vb. IDA ICE’de bu gibi elemanlara analiz için ihtiyaç duyulmamaktadır.

3.6.2.3 Simplebim IDA ICE IFC model özellik ayarları

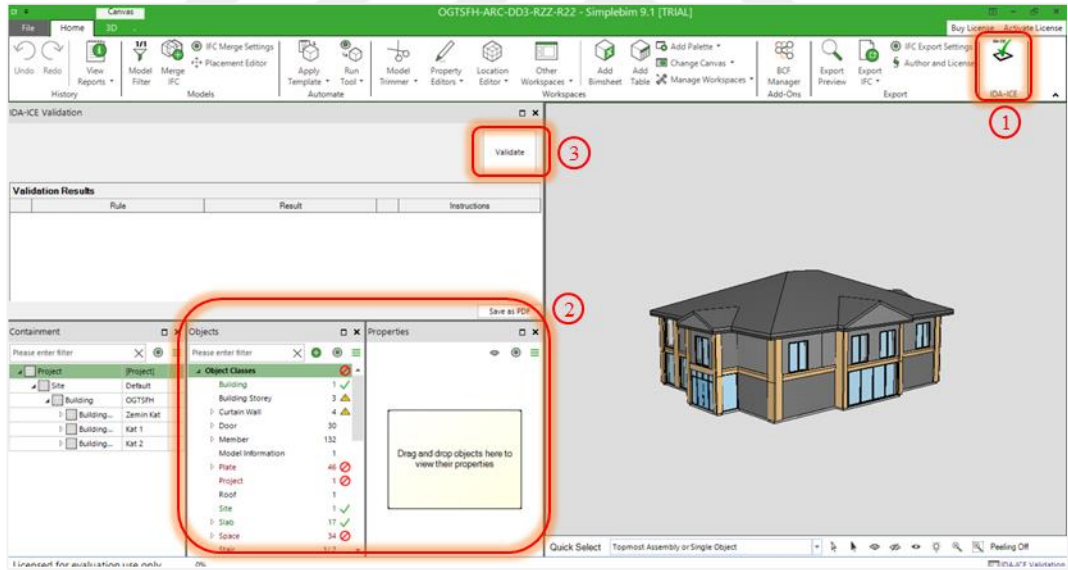
IFC dosyasını, Simplebim IDA ICE doğrulama eklentisi ile yazılım ortamına transferini gerçekleştirdikten sonra Şekil 3.64’te görülen proje ekran görünümü açılır. Bu görünümde IDA ICE için gerekli olmayan yapı elemanları “Excluded (Dahil Edilmeyen)” bölümünde, diğer yapı elemanları ise elemanlar “Included (Dahil Edilen)” penceresinde yer almaktadır.

Burada modelde yer alan taşıyıcı kolon elemanları, merdivenler ve cephede yer alan pencerelerin gridleri dahil edilmeyen bölümde yer almaktadır.



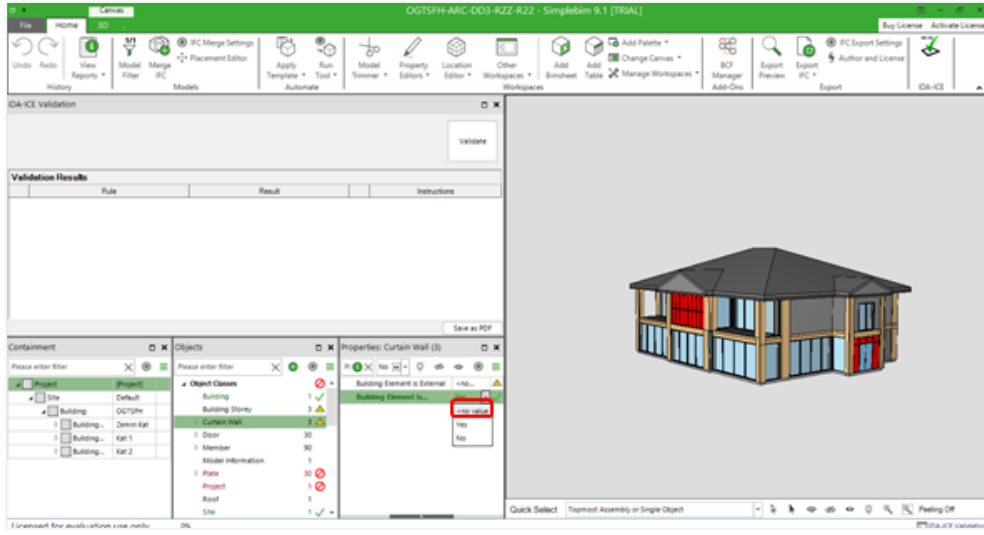
Şekil 3.64 : Simplebim IFC model görünümü

IFC dosyasını IDA ICE ortamı için doğrulamak ve hatalı olan özellikleri ayarlamak için Şekil 3.64'te kırmızı ok işaretinin gösterilen “IDA ICE” eklentisine tıklanarak Şekil 3.65'te gösterilen proje ekranına geçilmektedir.

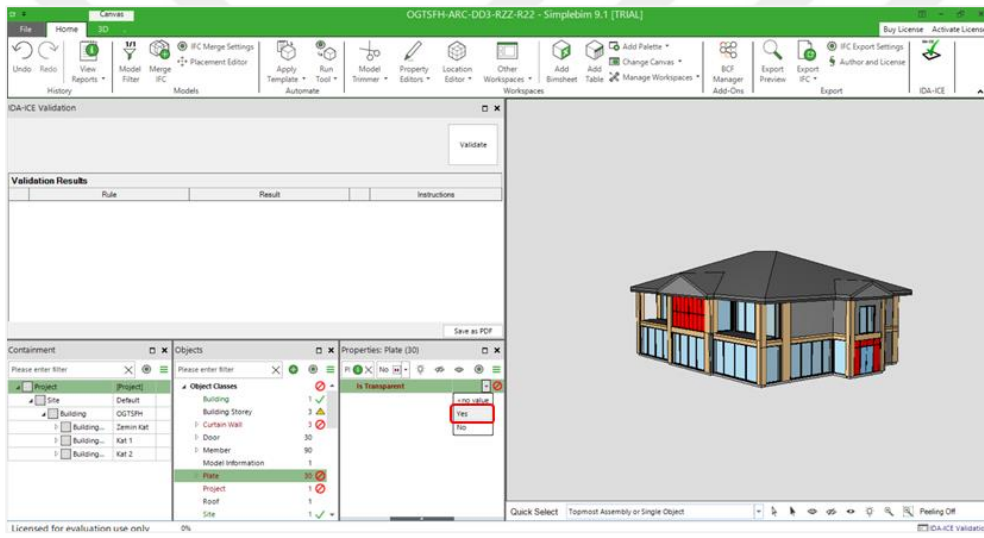


Şekil 3.65 : Simplebim IDA ICE özellik doğrulama ekranı

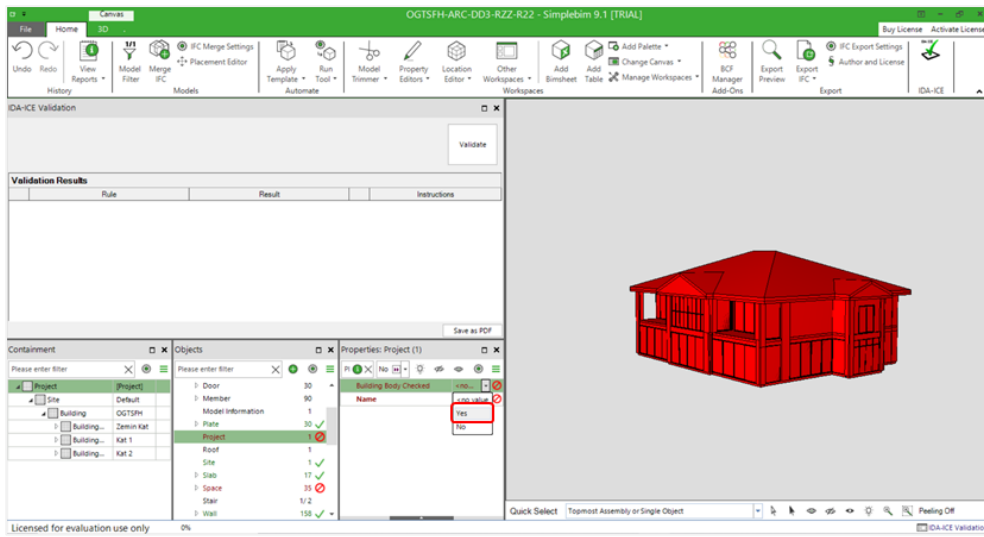
Açılan pencerede özellik (properties) paletinde yer alan elemanların ayarları düzenlenmiştir (Url-4).



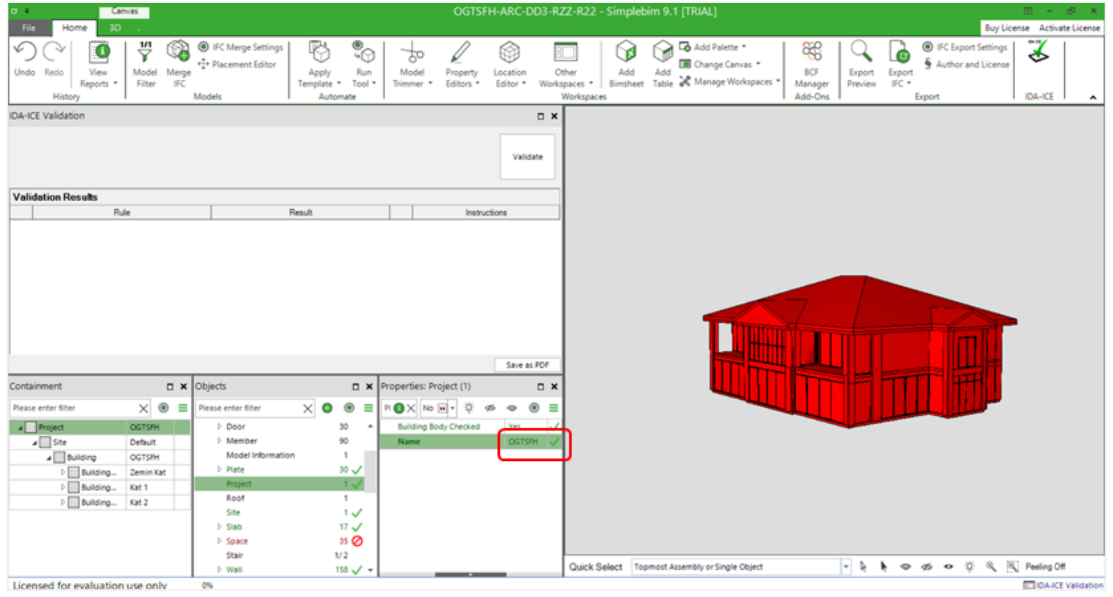
Şekil 3.66 : Giydirme duvar özellik ayarının “no value” olarak düzenlenmesi



Şekil 3.67 : Giydirme duvar cam panel özelliğinin şeffaf olarak seçilmesi

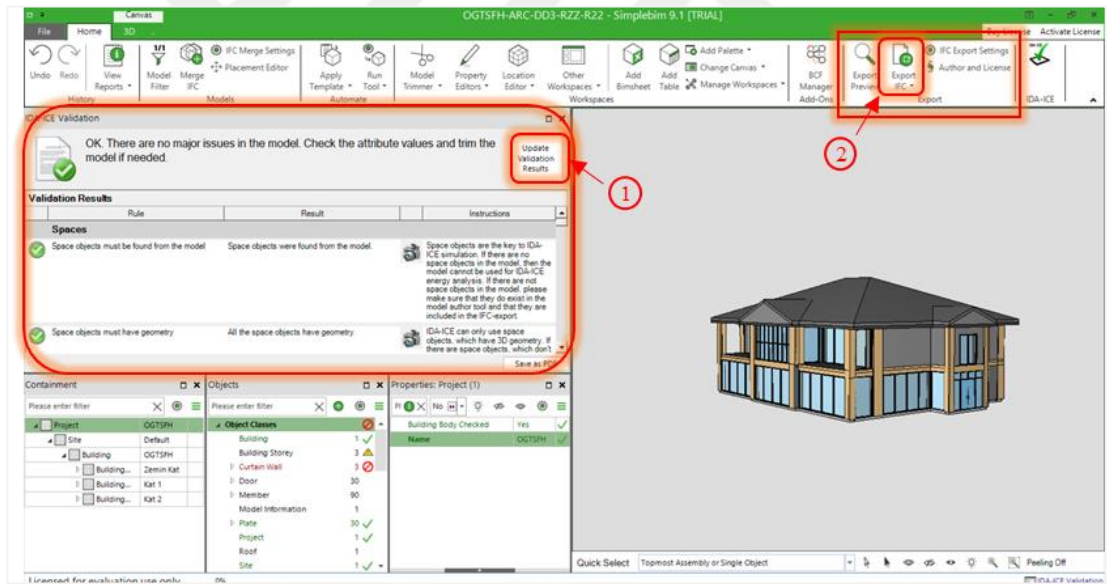


Şekil 3.68 : Bina gövdesi kontrol özelliği



Şekil 3.69 : Proje isim tanımlamasının yapılması

Gerekli tüm ayarlar yapıldıktan sonra IDA ICE doğrulama raporu için Şekil 3.70’te kırmızı ile gösterilen “Validate” tuşuna basılmalıdır.



Şekil 3.70 : Simplebim IDA ICE, IFC doğrulama raporu

Doğrulama başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş olup, düzenlenen ve doğrulanan IFC modeli transferi için “Export” panelinde yer alan “Export IFC” tuşuna basılmalıdır (Şekil 3.70).

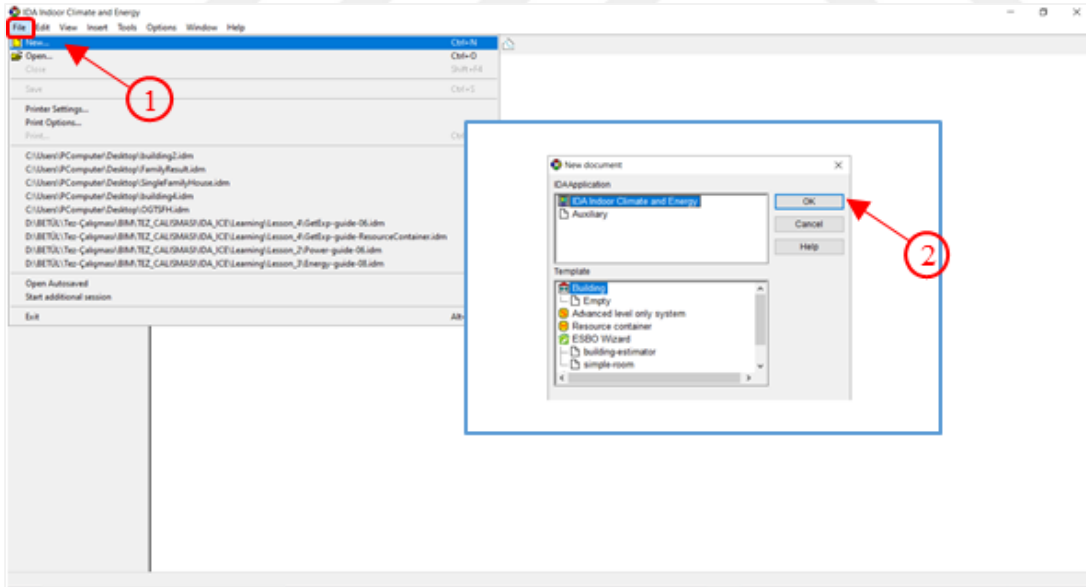
3.6.3 IDA ICE için IFC dosya transferli enerji simülasyon süreci

Aşağıdaki eleman sınıfları ve özellikleri IDA ICE, IFC transferi tarafından desteklenir (Url-3). Simplebim ayarları düzenlenirken bu kriterler dikkate alınmıştır (Şekil 3.71).

Eleman Sınıfı	Özellik
Alan (Space)	Alan Adı (Space Name)
Duvar (Wall)	Yapı Yapısal Eleman Tipi (Building Element Construction Type) Yapı Elemanı Harici (Building Element Is External)
Pencere (Window)	Yapı Yapısal Eleman Tipi (Building Element Construction Type)
Döşeme (Slab)	Yapı Yapısal Eleman Tipi (Building Element Construction Type)
Kapı (Door)	Değer Yok (n/a – Non value)
Giydirme Duvar / Cephe (Curtain Wall)	Değer Yok (n/a – Non value)

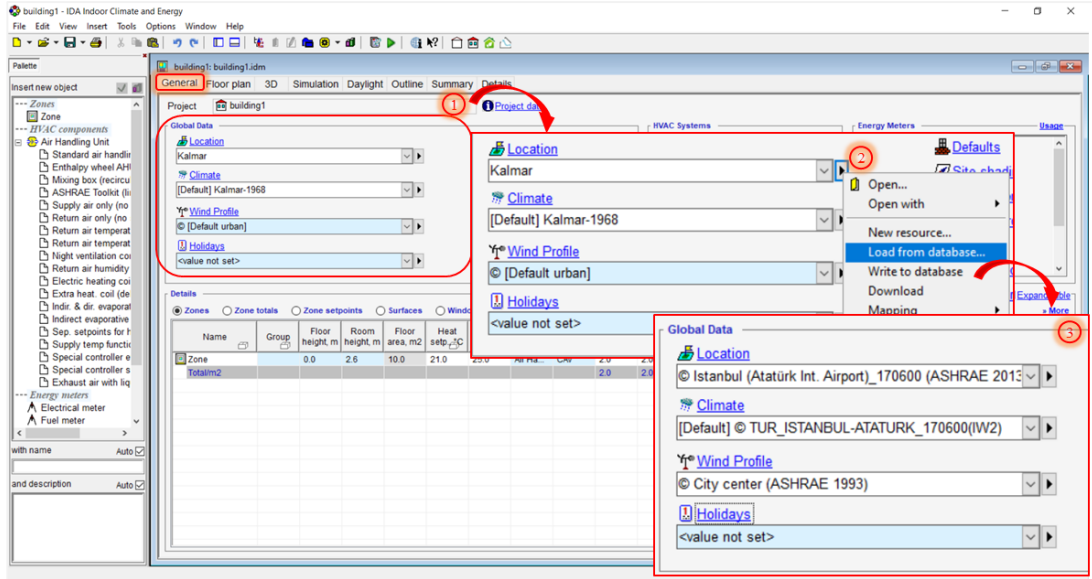
Şekil 3.71 : IDA ICE tarafından IFC modelinde desteklenen elemanlar ve özellikleri

IDA ICE enerji modeli sürecini başlatabilmek için Şekil 3.72’de gösterildiği gibi dosya açma işlemi gerçekleştirilmelidir.



Şekil 3.72 : IDA ICE çalışma dosyasının açılması

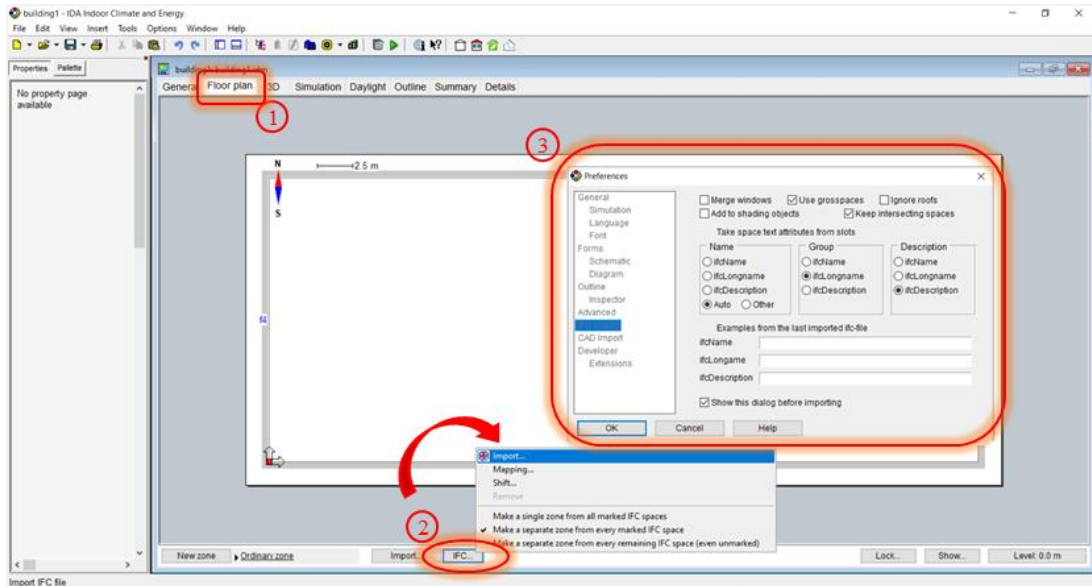
Açılan pencerede ilk olarak “General” sekmesinde yer alan, enerji analizi için birincil önceliğe sahip konum ve iklim bilgisi Şekil 3.73’te gösterildiği gibi düzenlenmiştir.



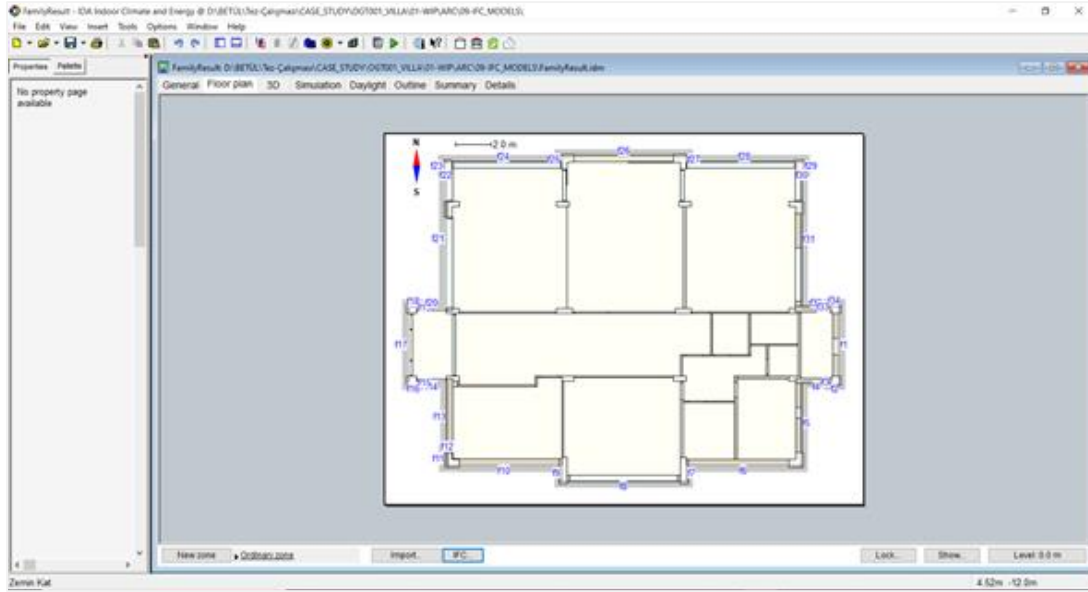
Şekil 3.73 : IDA ICE konum, iklim ve rüzgar profili bilgilerinin ayarlanması

IDA ICE global veri olarak ASHRAE 2013 iklim tasarım temel bilgilerini kullanmaktadır. Proje konumu olarak spesifik bir konum seçimi yapılamamaktadır. Projenin yer aldığı İstanbul ili konum olarak seçilmiş olup rüzgar profili şehir merkezi olarak ayarlanmıştır.

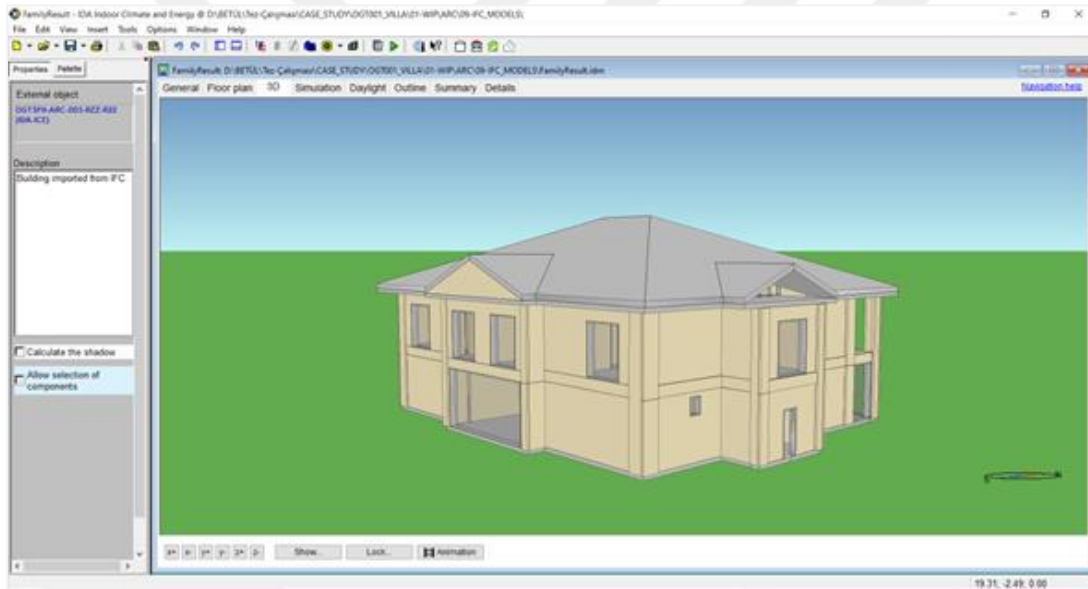
IFC dosyasını çalışma dosyasına transfer edebilmek için Şekil 3.74'te görülen işlem adımları uygulanmıştır. Şekil 3.75 ve 3.76'da transferi gerçekleştirilen IFC modelinin sorunsuz bir şekilde IDA ICE'ye entegre edildiği görülmektedir.



Şekil 3.74 : IDA ICE'ye IFC dosya transferinin gerçekleştirilmesi



Şekil 3.75 : IDA ICE'ye aktarılan IFC modelinin plan görünümü

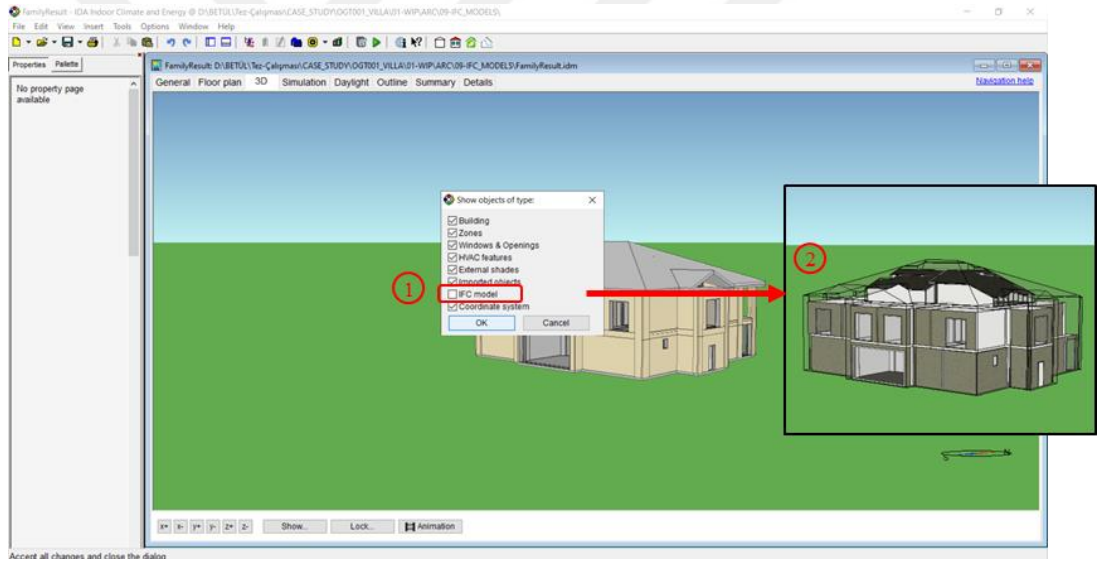


Şekil 3.76 : IDA ICE: IFC modeli 3D görünümü

IFC modelinde bilgi olarak bulunan alan (space) geometrilerinin IDA ICE modelinde de oluşturulması için Şekil 3.77'de gösterilen adımlar uygulanmıştır. Üç numara ile gösterilen yeşil alanlar, alan bilgisinden zonların oluşturulmuş olduğunu göstermektedir.

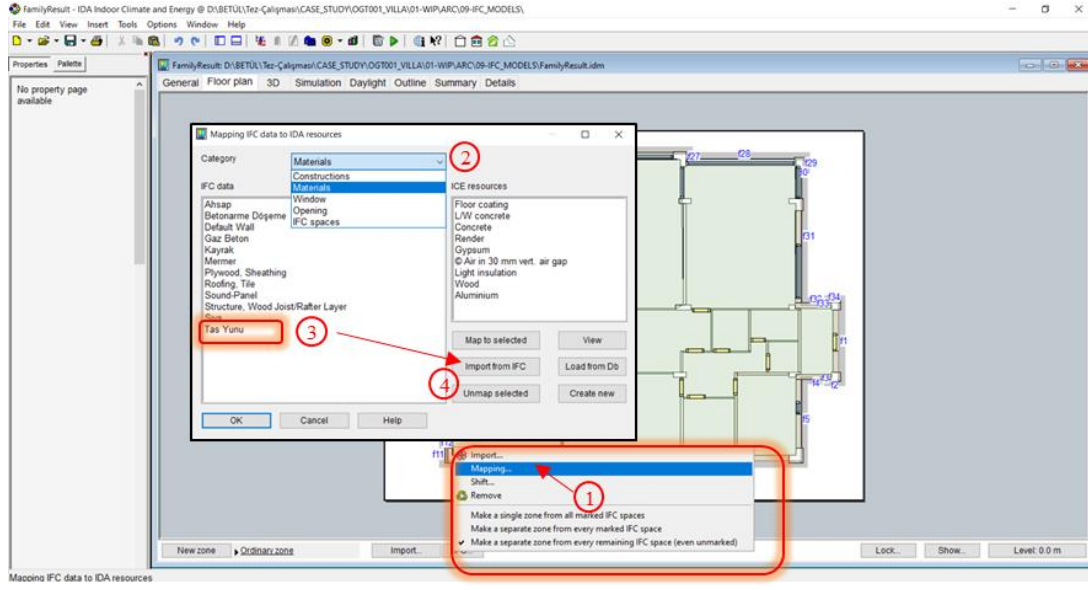


Şekil 3.77 : IDA ICE: IFC alan tanımlarının oluşturulması



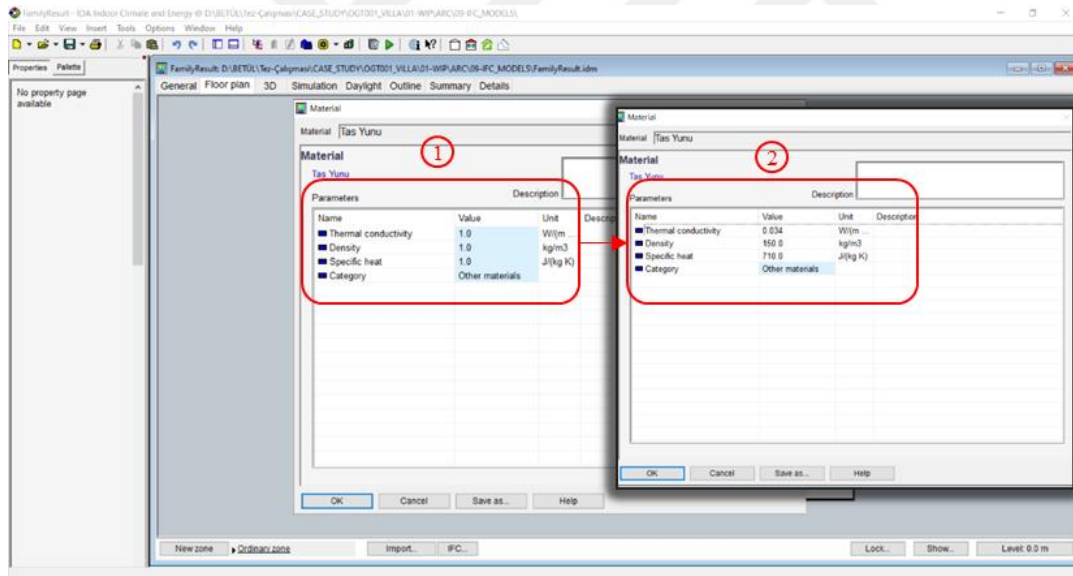
Şekil 3.78 : IDA ICE modelinde IFC alanlarından oluşturulan bölgelerin gösterimi

Enerji analizi modeli için gerekli bir sonraki adımda termal özellik içeren yapı elemanlarının, IDA ICE’de IFC modelinde yer alan bilgiler ile eşleştirilmesinin yapılması gerekmektedir.



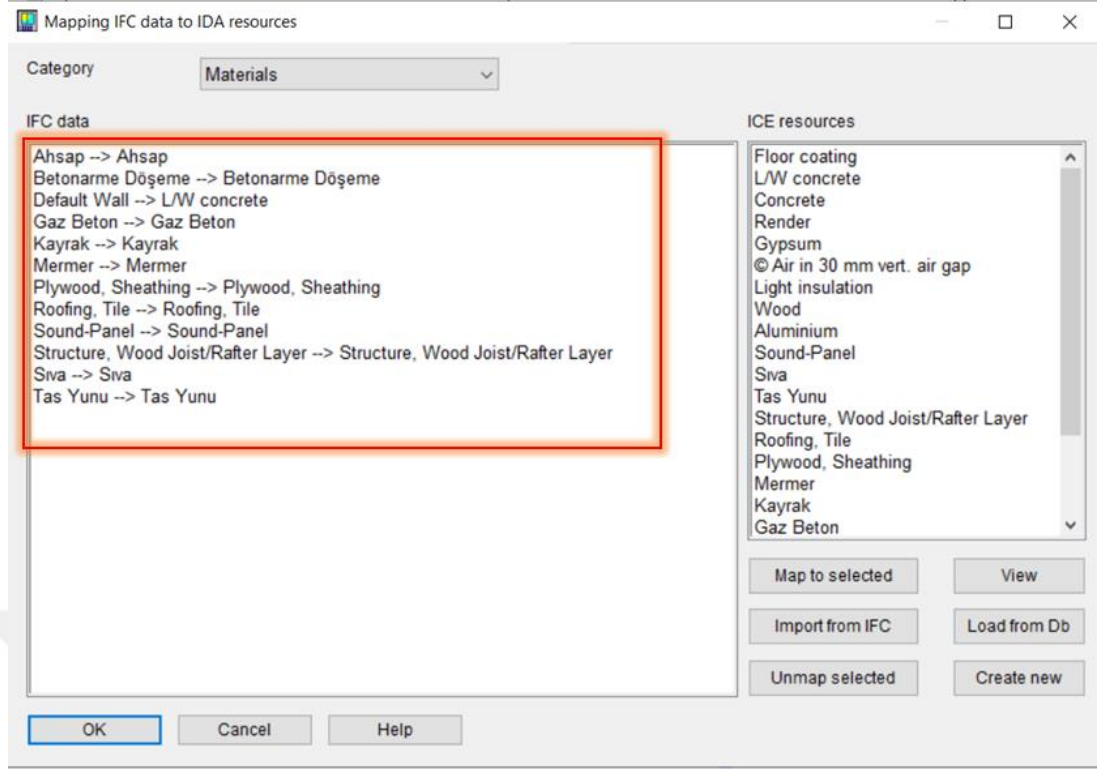
Şekil 3.79 : IDA ICE: IFC malzeme özelliklerinin transferi

Malzemelerin termal özellik değerleri Revit detaylı modelde yer alan malzeme bilgileri (Şekil 3.32) “Value” kısmına manuel olarak girilmiştir (Şekil 3.80).



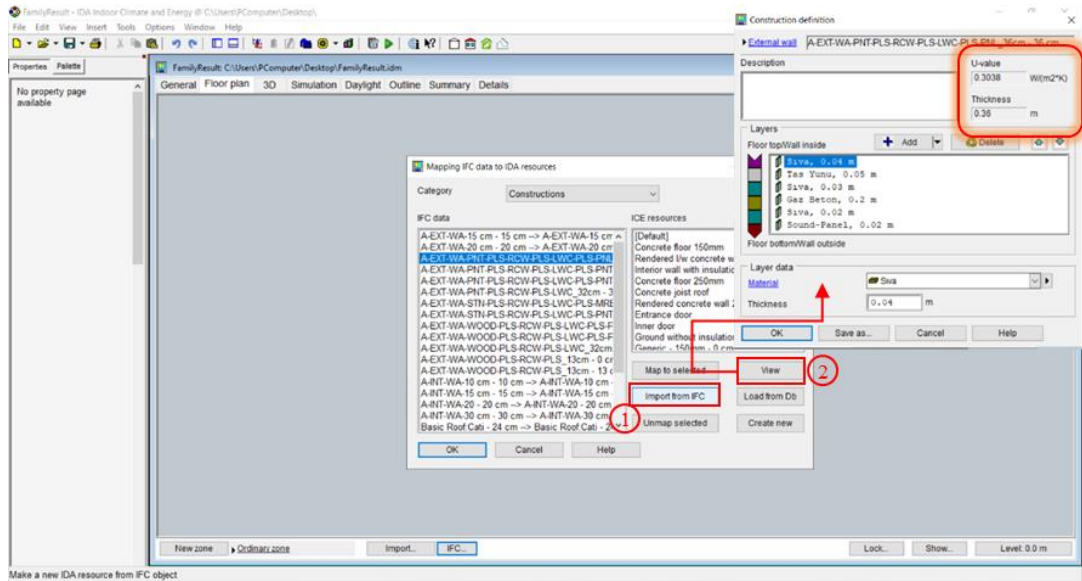
Şekil 3.80 : IDA ICE: IFC malzeme termal özellikleri bilgisinin oluşturulması

Tüm malzemeler için bu işlemler uygulandıktan sonra tüm malzeme eşleşmelerinin IFC tabanlı gerçekleştiği Şekil 3.81’de görülmektedir. Malzeme tanımları yapıldığı için duvar, döşeme gibi yapı elemanlarının eşleşmesinde katmanlar doğrudan oluşturulacaktır.



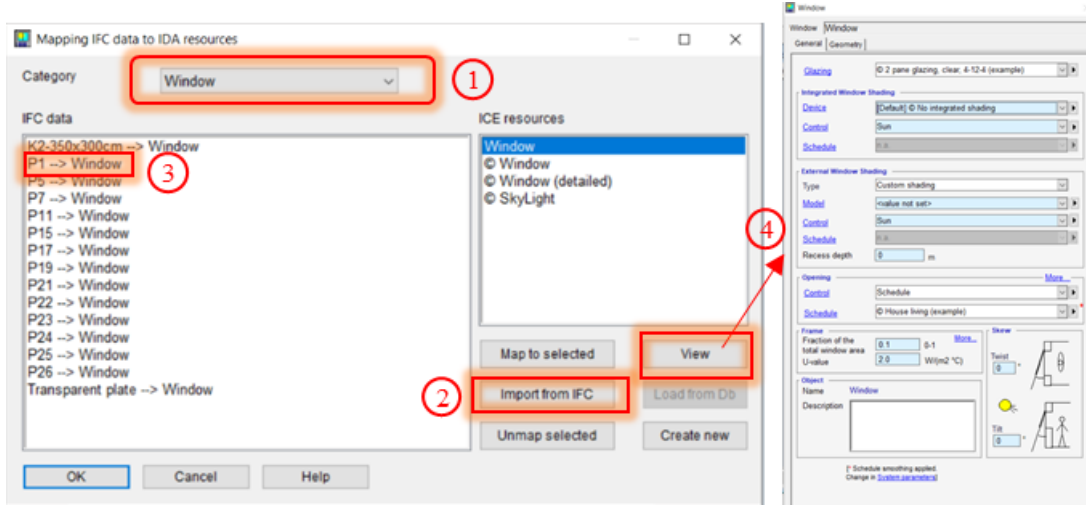
Şekil 3.81 : IDA ICE malzemelerinin tanımlanması

Malzeme özellikleri tanımlandığı için “Constructions” kategorisi altında yapı elemanları “Import from IFC” seçeneğine tıklanarak yapısal elemanların IDA ICE kaynaklarında eşlenmesi tamamlanmıştır. Eşlenen bir elemana seçilip “View” seçeneğine tıklanarak eleman katmanları ve termal özellikleri görüntülenmektedir (Şekil 3.82).



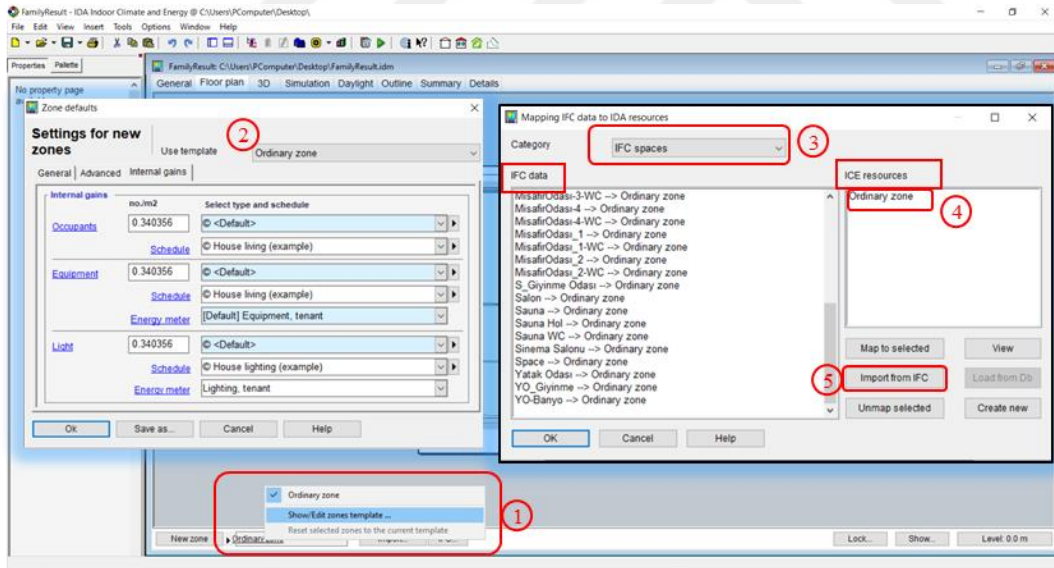
Şekil 3.82 : IDA ICE: IFC yapı elemanlarını eşleştirme ve termal özelliklerinin görünümü

Pencere özellik atamasında IFC modelinde yer alan pencere tipine yakın bir eleman seçimi yapılmıştır (Şekil 3.83).



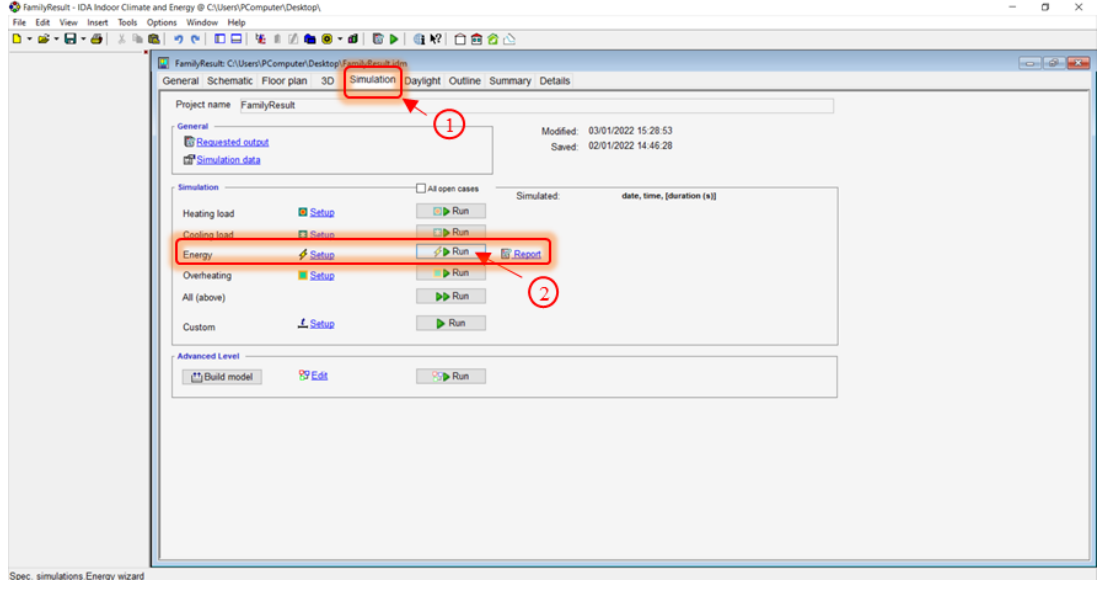
Şekil 3.83 : IDA ICE: IFC pencere elemanlarını eşleştirme ve pencere özelliklerinin görünümü

Bölge (zone) özellikleri Revit enerji analizi ayarlarında seçilen ayarlara göre tanımlanmıştır (Şekil 3.84).

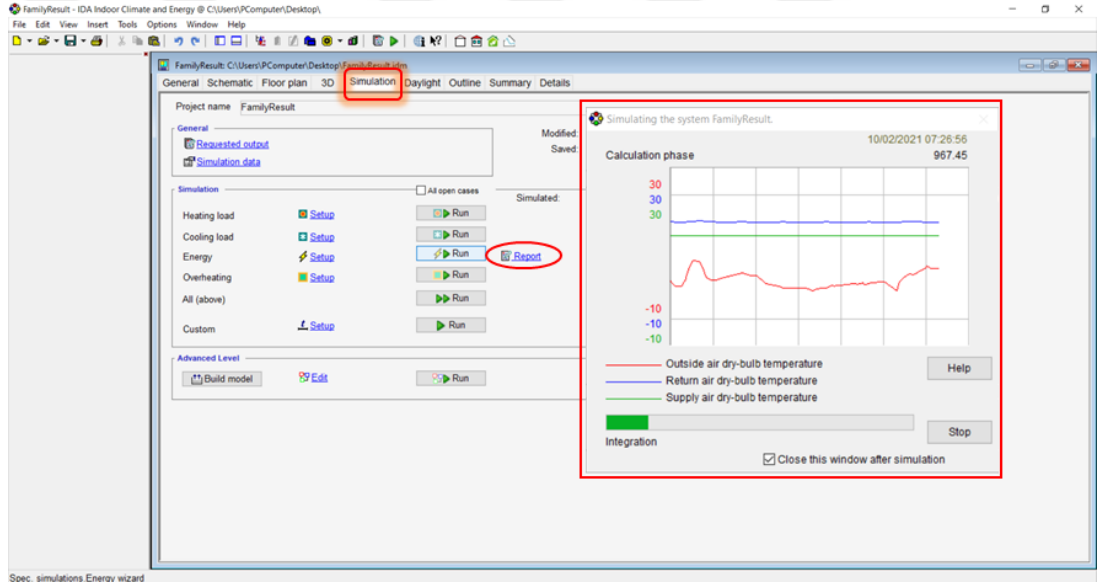


Şekil 3.84 : IDA ICE: IFC alan elemanlarını bölge ile eşleştirme ve bölge özelliklerinin görünümü

Analiz için “Simulation” sekmesine tıklanır, enerji analizi için “Energy” satırında yer alan “Run” tuşuna basılır (Şekil 3.85). Enerji simülasyon süresi yaklaşık 10 dakika sürmektedir.



Şekil 3.85 : IDA ICE enerji simülasyonun çalıştırılması



Şekil 3.86 : IDA ICE enerji simülasyon penceresi

Enerji simülasyonu tamamlandıktan sonra sonuçlara yönelik “Rapor (Report)” seçeneği sunulmaktadır (Şekil 3.86). Oluşturulan rapor .pdf olarak veya excel dosyası olarak dışarı transfer edilebilmektedir.

3.6.4 IDA ICE enerji analizi sonuçları

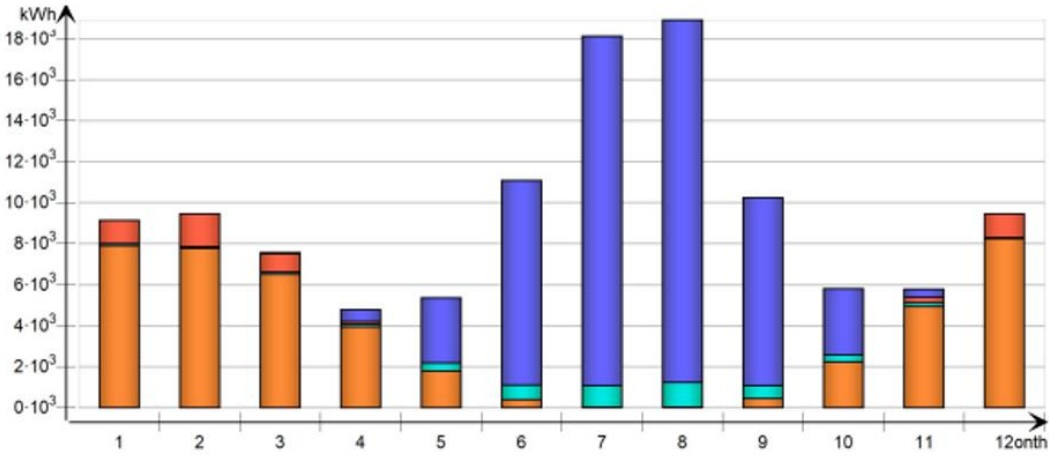
Simülasyon bir yıllık enerji kullanımı sonucunu içermektedir. Toplam 115.680 kWh/yr enerji tüketimi hesaplanmıştır.

		Systems Energy	
Project		Building	
		Model floor area	642.2 m ²
Customer		Model volume	2193.2 m ³
Created by	Betül Çelebi	Model ground area	339.3 m ²
Location	Istanbul (Atatürk Int. Airport)_170600 (ASHRAE 2013)	Model envelope area	1081.7 m ²
Climate file	TUR_ISTANBUL-ATATURK_170600 (IW2)	Window/Envelope	9.2 %
Case	FamilyResult	Average U-value	0.9023 W/(m ² K)
Simulated		Envelope area per Volume	0.4932 m ² /m ³

Used energy

kWh (sensible and latent)

Month	Zone heating	Zone cooling	AHU heating	AHU cooling	Dom. hot water
1	7910.0	100.4	1131.0	0.0	0.0
2	7771.0	82.5	1601.0	0.0	0.0
3	6520.0	115.6	895.3	47.6	0.0
4	3939.0	133.8	140.7	588.7	0.0
5	1787.0	382.9	0.1	3185.0	0.0
6	389.1	708.8	0.0	9976.0	0.0
7	18.3	1044.0	0.0	17045.0	0.0
8	20.4	1218.0	0.0	17674.0	0.0
9	438.4	626.0	0.0	9161.0	0.0
10	2245.0	332.4	0.0	3222.0	0.0
11	4940.0	181.1	260.6	391.0	0.0
12	8241.0	55.2	1161.0	0.0	0.0
Total	44219.2	4980.8	5189.7	61290.3	0.0



Şekil 3.87 : IDA ICE enerji simülasyon raporu

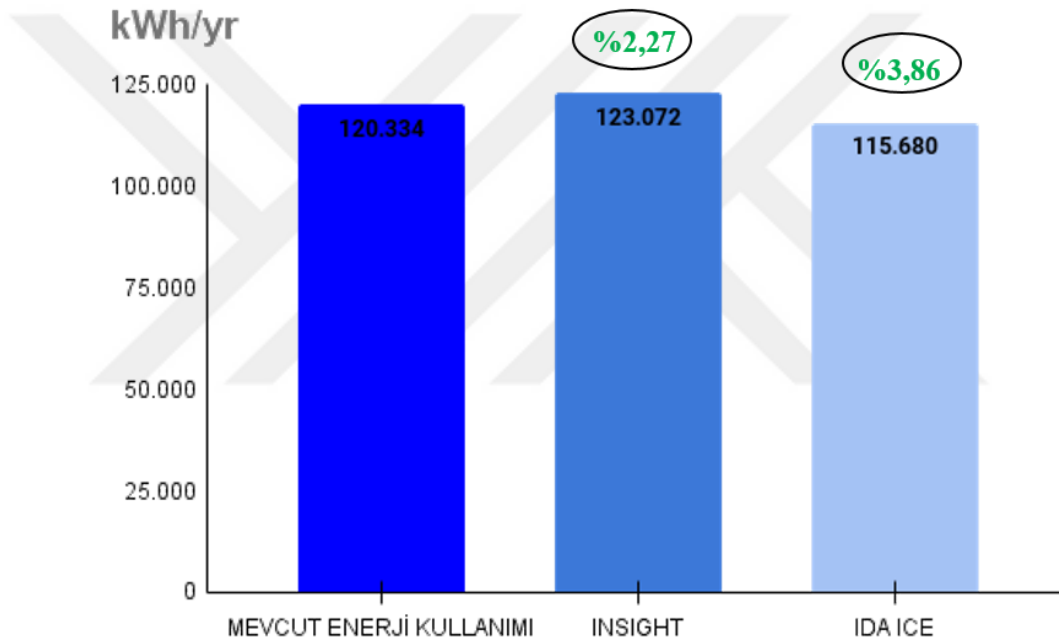
3.7 Enerji Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde enerji simülasyon sonuçları iki kategoride ele alınmıştır. İlk olarak çalışmada kullanılan yapının gerçek tasarım parametrelerine göre oluşturulmuş gelişmiş BIM modeli ile elde edilen Insight ve IDA ICE enerji simülasyon sonuçlarının gerçek enerji kullanım verileri ile karşılaştırması yapılmıştır. İkinci olarak bu yapının erken tasarım aşamasında mevcut geometrisi kullanılarak kütle modeli üzerinden

Insight enerji analizi sonuçları, gelişmiş BIM modeli enerji analizi sonuçları ile karşılaştırması yapılmıştır.

Gerçek kullanım verileri ile gelişmiş tasarım modeli enerji sonuçlarının karşılaştırılması

Gerçek kullanım verileri aktif olarak kullanıma sahip yapının bir yıllık elektrik faturalarında yer alan enerji tüketimlerinin toplamı baz alınarak hesaplanmıştır. Şekil 3.88’de görüldüğü üzere gerçek enerji kullanım verisi ile Insight %2,27, IDA ICE ile %3,86 oranında bir fark görülmektedir. Bu değer aralığı literatürde yer alan çalışmalarda kabul edilebilir bir sapma aralığında <10 - 20% yer almaktadır (Oleiwi ve ark., 2019).



Şekil 3.88 : Mevcut enerji kullanım verileri ile Insight ve IDA ICE enerji analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Kütle modeli ve gelişmiş tasarım modeli enerji sonuçlarının karşılaştırılması

Erken tasarım evresinde tasarım seçeneklerinin, detaylı tasarım aşamasına geçmeden bina modeli ile bina enerji modelinin entegre bir şekilde süreçte ilerlemesi, yapının enerji etkin tasarıma sahip olmasını sağlamaktadır. Erken tasarım aşamasında bu entegrasyonu sağlayabilmek tasarımcılar için süreçte hızlı sonuçlar alınabilmesi ve tasarım alternatiflerinin hızlı bir şekilde kıyaslanabilmesi de önemlidir. Insight enerji analizi bu beklentileri erken tasarım aşamasında karşılayabilmektedir.

Model Name	Scenario	EUI Mean (kWh / m ² / yr)	Ashrae 90.1 (kWh / m ² / yr)	Building Area (m ²)
 BEC-OGTSFH-ARC-MD3-ZZ-R22	Mass Model - Alternatif 1	116	171	729
 BEC-OGTSFH-ARC-DD3-SZZ-R22	BIM Model	192	135	641

Şekil 3.89 : Kütle modeli ve gelişmiş tasarım BIM modeli enerji sonuçlarının karşılaştırılması

Erken tasarım aşamasında, tasarımların basit geometriler ile kütle modelleri üzerinden enerji analizi tasarım alternatiflerini kullanarak tasarıma yön verilmesi; uygulaması yapılacak yapının enerji tüketim miktarlarında önemli ölçüde etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Bununla birlikte kütle modeli evresinde enerji verimliliği sonucunun güvenilirliği test etmek için gelişmiş model enerji parametreleri kütle modelinde de kullanılarak sonuçlar doğrulanmıştır (Şekil 3.90).

Model Name	Scenario	EUI Mean (kWh / m ² / yr)	Ashrae 90.1 (kWh / m ² / yr)	Building Area (m ²)
 BEC-OGTSFH-ARC-MD3-ZZ-R22	Mass-BIM	188	160	729
 BEC-OGTSFH-ARC-MD3-ZZ-R22	Mass Model - Alternatif 1	116	171	729
 BEC-OGTSFH-ARC-DD3-SZZ-R22	BIM Model	192	135	641

Şekil 3.90 : Gelişmiş tasarım BIM modeli, kütle modeli ve gelişmiş tasarım kütle modeli senaryolarının karşılaştırılması

Mass-BIM enerji modeli senaryosu BIM model verileri ile oluşturulmuş erken tasarım aşamasında enerji analiz sonuçlarının güvenilirliğini test etmek için oluşturulmuştur.

Mass Model- Alternatif 1 senaryosu kütle modeli enerji analizi sonuçlarına etki eden parametrelerin Insight ortamında değiştirilmesi ile mevcut enerji kullanımına sahip yapıdan daha az enerji kullanımına sahip bir tasarım modeli oluşturulmuştur. Parametrelerden bina yönelimi, pencere cam tipi, pencere duvar oranı, sızdırmazlık, aydınlatma verimliliği, fiş yükü verimliliği ve HVAC sistem modeli üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Bina yönelimi BIM seviyesine getirilerek mevcut yapı yönelimini temsil etmekte olup verimlilik açısından en iyi aralıktadır. Pencere cam tipi çift cam (Double Clear) ve üçlü cam (Triple Low-E) aralığında değiştirilmiştir. Pencere duvar oranı %40 ve aşağısı aralığında ayarlanmıştır. Sızdırmazlık BIM ayarı

seçilmiş olup 0.4 ACH (Birim Saat Başına Hava Değişimi) değerine eşittir. Aydınlatma verimliliği BIM - 3.23 W/m² aralığında değiştirilmiştir. Fiş yükü verimliliği 13.99 W/m² - 6.46 W/m² aralığında seçilmiştir. HVAC sistem modeli ASHRAE Heat Pump - ASHRAE Package Terminal Heat Pump aralığında seçilmiştir.

Bu model vaka çalışmasının gerçek enerji kullanımından daha az enerji tüketen bir yapı oluşturulabileceğini göstermiştir.



4. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada gelişmiş bina enerji modelleme araçlarını kullanmak isteyen kullanıcılara yönelik yaygın olarak kullanılan iki BEM aracının uygulaması ele alınarak değerlendirilmesi yapılmıştır. BIM yazılımı olan Revit ortamında araştırma konusu için seçilen inşa edilmiş bir yapının gerçek bilgileri ile yapı bilgi modeli oluşturulmuştur. BIM tabanlı BEM sürecini incelemek ve araçların analiz sonuçlarının karşılaştırmasının yapılması için iki farklı BEM aracı seçilmiştir. İki ortam arasındaki farklar; Insight BEM aracının doğrudan BIM yazılımına dahil olması, IDA ICE'nin IFC modeli ile veri transferinin gerçekleşmesi, Insight simülasyon motorunun DOE-2.2 ve EnergyPlus hesaplamalarını içermesi, IDA ICE'nin bağımsız simülasyon motoru hesaplamalarına sahip olması araçların enerji sonuçlarını karşılaştırırken farklı perspektiflerden bakılması sağlanmıştır.

Bu araçlardan elde edilen analiz sonucu örnek yapıdaki gerçek enerji kullanım verileri ile karşılaştırılmıştır. Enerji modeli sonuçları gerçek kullanım verileri arasındaki enerji farkı kabul edilebilir değer aralığında çıkmıştır. Bu karşılaştırma sonucu ile BIM tabanlı BEM sürecinin tasarım ve uygulamadaki yetkinliği sınanmıştır. Bununla birlikte erken tasarım aşaması için aynı yapının geometri özellikleri üzerinden kütle modeli enerji çalışması yapılarak mevcut yapı inşa edilmeden önce enerji analizi süreci ile birlikte tasarım kararları verilerek inşa edilmiş olsaydı sorusuna yönelik gelişmiş tasarım enerji modeli analiz sonuçları ile kütle modeli enerji analiz sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Kütle modelinden elde edilen sonuçlar erken tasarım aşamasında enerji etkin kararlar almanın yapının inşa aşamasından sonra aktif hale gelecek enerji kullanım miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Mevcut enerji kullanım miktarı analiz modelinde 192 kWh/m²/yr iken kütle modeli tasarım alternatifi enerji analiz sonucu 116 kWh/m²/yr olarak hesaplanmış olup daha az enerji kullanımına sahip bir yapı tasarım modeli oluşturulmuştur. Bu sonuçlardan hareketle enerji yazılımı araçlarının yapı bilgi modelleme süreçlerine dahil edilerek bir iş akışının oluşturulması yeni inşa edilecek yapılarda meydana gelecek enerji tüketimi miktarlarının optimum seviyelerde

tutulabileceği gibi mevcut yapı stoğu iyileştirmelerinde de yapının as-built modelinin oluşturularak yeni tasarım kararları ile enerji etkin tasarım kavramının gerçek hayata uygulanması gerekliliğini desteklemektedir. BIM tabanlı BEM entegrasyonu için çalışmada kullanılan enerji analizi yazılım araçlarının karşılaştırılmasının uygulamadaki sonuçlarının değerlendirilmesi bölüm 4.1’de ele alınmıştır.

4.1 Değerlendirme Kriterleri

Bu bölümde çalışmada uygulaması yapılan enerji analizi araçlarının sonuçlarının değerlendirilmesi bölüm 2.7’de açıklanan, literatürde yer alan beş ana kritere dayandırılmıştır (Hong ve ark., 2000; Weytjens ve ark., 2010; Attia ve ark., 2011).

4.1.1 Kullanılabilirlik

Bu kriter öğrenme eğrisi, giriş verilerinin kolaylığı, simülasyon araçlarını kullanabilme kolaylığı ve analiz çıktı verilerinin yorumlanabilmesi aşamalarına dayandırılmıştır. Bu kapsamda çalışmada kullanılan enerji yazılım araçlarından Insight analiz aracı sezgisel çalışma sürecini içerdiği için bu kapsamda değerlendirildiğinde tüm aşamalarda kolaylık sağlamıştır. IDA ICE enerji analiz aracı bu kapsamda değerlendirildiğinde Insight analiz aracına göre daha zor bir kullanıma sahiptir. Uygulamada Insight enerji analizi BIM aracı içerisinde doğrudan bulut ortamına aktarılmıştır. IDA ICE için süreç üç aşamada gerçekleşmiştir: BIM IFC transferi → Simplebim IFC doğrulama → IDA ICE’ye IFC transferi şeklinde gerçekleşmiştir. Analiz çıktıların yorumlanabilmesi her iki araç içinde anlaşılabilir düzeydedir. Insight ve IDA ICE enerji analizi sonuçları grafik çıktı olarak kullanıcıya sunulmuştur.

4.1.2 Veri birliğinde çalışabilirliği

Veri girişi için BIM aracından transfer edilen IFC modelinin doğrudan IDA ICE’ye entegre edilememesi; doğrudan transfer edildiğinde yapı elemanlarında veri kayıplarının olduğu gözlemlenmiştir. Veri kayıpların engellenmesi için ara katman düzeltici Simplebim’de IDA ICE doğrulama eklentisi kullanılarak IFC modeli doğrulanmıştır. Doğrulanmış IFC modeli IDA ICE’ye transfer edildiğinde model geometrisi ve yapı elemanları sorunsuz aktarılmıştır fakat IFC modelinde yer alan malzeme özellikleri, yapı elemanları malzeme özellikleri ve alan özelliklerinin IFC

modelindeki verilerin IDA ICE kaynaklarında yer alan malzeme bilgisi ile ya da yapı bilgi modelinde malzeme bilgisinin IDA ICE kaynaklarından oluşturulması gerekmektedir. Insight analiz aracı için veri bilgileri BIM ortamından doğrudan aktarılmasına rağmen HVAC bilgisinde Insight'da yer alan seçenekler ile Revit ortamındaki HVAC seçeneklerinin aynı olmadığı gözlemlenmiştir. İki araç içinde BIM – BEM sürecinde veri birlikte çalışabilirliği sürecinde eksik olan uygulamalar mevcuttur.

4.1.3 Destek seçenekleri

Her iki analiz aracı içinde araç kullanımlarını öğrenmeye yönelik klavuzlar ve eğitim videoları mevcuttur. Insight analiz aracı BIM yazılımı Revit'in içerisinde otomatik olarak yüklenmektedir. Autodesk öğrencilere eğitim lisanslı olarak bir yıl süre ile yazılımın desteğini sağlamaktadır. IDA ICE, enerji analiz yazılımı eğitim lisansı için iki aylık bir süreli lisans anahtarları sağlamaktadır. Yazılım kullanımları ile ilgili yardıma ihtiyaç duyulduğunda yazılım teknik destek ekibi ile e-mail üzerinden destek alınabilmektedir.

4.1.4 Bilgi yönetimi

IDA ICE aracında bu değerlendirme kapsamında kod uyumlu malzeme şablonlarının çok kapsamlı olmamakla birlikte kullanıcının kendi termal malzeme özelliklerini oluşturmasına imkan sağlamaktadır. Insight yazılımı için bu özellik Revit malzeme kitaplığını içermektedir. Revit'te geniş bir malzeme şablon kütüphanesi mevcuttur ve kullanıcı kendi malzeme özellikleri istenilen termal özellikte oluşturabilmektedir.

4.1.5 Hesaplama özellikleri

Bu kriter kapsamında araçların hesaplama hızı ve sonuçların doğruluğu değerlendirilmiştir. IDA ICE enerji analizi yaklaşık 8-10 dakikada sürmüştür. Insight enerji analizi kütle modeli hesaplamasında 2-3 dakika, gelişmiş model enerji hesaplamasında 5-10 dakika sürmüştür. Her iki analiz aracı simülasyon için gerekli işlemler tamamlandığında “Çalıştır” tuşuna basılı hale getirildiğinde yaklaşık olarak aynı sürede analiz tamamlanmıştır.

Araçların hesaplama sonuçları mevcut enerji kullanım verileri ile kıyaslanarak doğrulanmıştır. Gerçek enerji kullanım verisine göre IDA ICE analiz sonucu % 3,86

daha az, Insight analiz sonucu % 2,27 daha yüksek çıkmıştır. Her iki araç içinde kıyaslanan değer arasındaki fark kabul edilebilir değer aralığında yer almaktadır.

4.2 Gelecekteki Olası Çalışma Alanları

Bu araştırmada yapı tipi özelliği olarak tek aileli bir villa yapısı üzerinde çalışılmıştır. Gelecek çalışmalarda farklı yapı tipleri üzerinden BIM – BEM süreci incelemesi ele alınabilir. Farklı yapı tipleri üzerinden bu sürecin incelenmesi kompleks yapı türlerinde bu sürecin işleyişindeki değişikliklerin gözlemlenebilmesini sağlayacaktır.

BIM yazılımı Autodesk Revit ortamına doğrudan entegre olan Autodesk Insight analiz aracı yeteneklerini test edilmiştir. BIM ortamına eklenti olarak doğrudan entegre edilmiş farklı eklenti yazılımları kullanılarak BIM - BEM süreci incelenebilir. Farklı bir yazılım üreticisinin BIM ortamında BEM araç eklentisinin dahil edilerek sürecin yürütülmesi aynı üretim ortamında farklı yazılımlarının test edilmesini sağlayacaktır.

BIM model veri aktarım formatı olarak IFC dosya transferi yoluyla enerji analiz incelemesi tek bir araç üzerinde incelenmiştir. Farklı BEM araçlarında IFC dosya transferi yoluyla BIM - BEM süreci entegrasyonu test edilebilir. Diğer BEM araçlarında IFC aktarımının incelenmesi farklı ortamlar için aynı dosya formatı üzerinden oluşabilecek entegrasyon eksikliklerinden kaynaklı ortaya çıkabilecek sonuçlardaki farklılıkların gözlemlenmesini sağlayacaktır.

BIM yazılımı olarak sektörde yaygın olarak kullanılan Autodek Revit kullanılmıştır. Gelecek çalışmalarda farklı BIM yazılım araçları kullanılarak BIM - BEM süreci için çerçeve oluşturulabilir. Farklı BIM yazılımlarının test edilmesi BEM sürecinde BIM araçlarının yetkinliklerini karşılaştıracaktır.

KAYNAKLAR

Afsari, K. (2012). Building Information Modeling in Concept Design Stage.

AIA Document G202™–2013, Project Building Information Modeling Protocol Form

Akbarieh, A. (2018). Systematic Investigation of Interoperability Issues between Building Information Modelling and Building Energy Modelling - BIM-based BEM Information Exchange Issues.

Alsharif, R.,A. (2019). A review on the challenges of BIM-based BEM automated application in AEC industry. 10.13140/RG.2.2.26102.55366.

Attia, S., Hensen, L., Beltrán, L. ve Herde, A. (2012). "Selection Criteria for Building Performance Simulation Tools: Contrasting Architects' and Engineers' Needs." Journal of Building Performance Simulation, 1-15.

Bazjanac, V. (2004). Virtual Building Environments (VBE)-Bringing Building Information Modelling to Practioners, in: Dikbas, Scherer (Eds.), eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, Proceedings of the 5th European Conference on Product and Process Modelling in the Buildings and Construction Industry – ECPPM 2004. ECPPM, Istanbul, pp. 41–48

Bazjanac, V. (2007). Impact of the U.S. national building information model standard (NBIMS) on building energy performance simulation, in: Building Simulation 2007. IBPSA, Beijing, China.

Carvalho, J., Almeida, M., Bragança, L., ve Mateus, R. (2021). BIM-Based Energy Analysis and Sustainability Assessment—Application to Portuguese Buildings. Buildings, 11(6), 246. <https://doi.org/10.3390/buildings11060246>

Chaudhary, G. (2016). Evaluation of “Autotune” calibration against manual calibration of building energy models. Applied energy,182: s. 115-134

Chen S., Jin R., and Alam, M. (2018). “Investigation of Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Simulation (BES).” International Review of Applied Sciences and Engineering. 9(2), 137-144. DOI: 10.1556/1848.2018.9.2.9.

Clarke, J., Hensen, J. ve Janak, M. (1998). Integrated Building Simulation: State-of-the-Art. Indoor climate of Buildings, Bratislava, ASHRAE Transactions.

Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Huang, Y. J., Pedersen, C. O., Strand, R. K., Liesen, R. J., Fisher, D. E., Witte, M. J., & Glazer, J. (2001). EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation

program. *Energy and Buildings*, 33(4), 319-331. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6)

Eastman, C.M. (1974). *An Outline of the Building Description System*. Research Report No. 50.

Elnabawi Mohamed H. (2020). Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results. *Frontiers in Built Environment*. doi: 10.3389/fbuil.2020.573971

Gao, H., Koch, C., ve Wu, Y. (2019). Building information modelling based building energy modelling: A review. *Applied Energy*, 238, 320–343. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>

Gerrish, T. (2017). Exploring the effectiveness of BIM for energy performance management of non-domestic buildings. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ddu&AN=9BAAAD2C7963259B&lang=tr&site=eds-live>

Gerrish, T., Ruikar, K. ve Cook, M. (2017). Using BIM Capabilities To Improve existing Building Energy modelling Practices. *Engineering, Construction and Architectural Management* Vol. 24 No. 2, 2017 pp. 190-208

González, J., Soares, C. A. P., Najjar, M., & Haddad, A. N. (2021). BIM and BEM Methodologies Integration in Energy-Efficient Buildings Using Experimental Design. *Buildings*, 11(10), 491. doi:10.3390/buildings11100491

Hamedani, M. N. ve Smith, R. E. (2015). Evaluation of Performance Modelling: Optimizing Simulation Tools to Stages of Architectural Design. *Procedia Engineering*, 118, 774–780. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.513>

Hensen, J. (2002). *Integrated Building (and) airflow simulation: An overview*. Computing in Civil and Building Engineering, Taipei, Taiwan.

Hong, T., Chou, S.K., Bong, T.Y. (2000). "Building simulation: an overview of developments and information sources." *Building and Environment*, Volume 35, p. 347-361.

Issa, M. (2018). "Building Performance Simulation for Architects, Comparing Three Leading Simulation Tools". The University of Texas at San Antonio.

Jeong, W., & Kim, K. (2016). A Performance Evaluation of the BIM-Based Object-Oriented Physical Modeling Technique for Building Thermal Simulations: A Comparative Case Study. *Sustainability*, 8(7), 648. doi:10.3390/su8070648

Kamel, E. ve Memari, A. (2019). Automated Building Energy Modeling and Assessment Tool (ABEMAT). *Energy*. 2018;147:15-24. doi:10.1016/j.energy.2018.01.023.

Kamel, E. ve Memari, A. (2019). Review of BIM's Application in Energy Simulation: Tools, Issues, and Solutions. *Automation in Construction*. c:97,164-180,doi: 10.1016 / j.autcon.2018.11.008.

Keng Hoo, C., Alwi, M., & Wahab, A. (2020). *Building Energy Analysis of a School Building using Revit* (Vol. 2020).

Khodeir, L. M., ve Nessim, A. A. (2018). BIM2BEM integrated approach: Examining status of the adoption of building information modelling and building energy models in Egyptian architectural firms. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1781–1790. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.01.004>

Krygiel, E. ve Brad N. (2008). *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*. Indianapolis, Ind.: Wiley Pub.

Kumar, S. (2008). Interoperability between building information models (BIM) and energy analysis programs. University of Southern California.

Lack, B., ve Butler S. (2019). *Bridging BIM and BEM*, Schneider Electric and Autodesk.

Lack, B. (2019, 24 Nisan). How BIM is becoming the new model for energy-efficient buildings, https://blog.se.com/building_management/2019/04/24/how-bim-is-becoming-the-new-model-for-energy-efficient-buildings/

Laakso, M. and Kiviniemi, A. (2012),“The IFC standard—a review of history, development, and standardization”, *Journal of Information Technology in Construction*, Vol. 17, pp. 134-161.

Maile T., Fischer, M. ve Bazjanac, V. (2007). *Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective*. Stanford University.

Mahmoud, R. (2020). *An Analytical Review of Tools and Methods for Energy Performance Simulation in Building Design*.

Oleiwi, M. Q., Mohamed, M. F., Sulaiman, M. K. A. M., Che-Ani, A. I., and Raman, S. N. (2019). Thermal environment accuracy investigation of integrated environmental solutions-virtual environment (IES-VE) software for double-story house simulation in malaysia. *J. Eng. Appl. Sci.* 14, 3659–3665. doi: 10.36478/jeasci.2019.3659.3665

Reeves T., Olbina S., ve Issa R. (2015). Guidelines for Using Building Information Modeling for Energy Analysis of Buildings. *Binalar* 2015 , 5 (4). doi: 10.3390/buildings5041361

Reinhart C. ve Ibarra, D. (2009). Daylight factor simulations - how close do simulation beginners 'really' get? *BS2009*, Galsgow.

Spiridigliozzi G., Pompei L., Santoli L. D., Bisegna F., Cornaro C. (2019). BIM-BEM support tools for early stages of zero-energy building design. *IOP Conference*

Series: Materials Science and Engineering. 609(7). doi:10.1088/1757-899X/609/7/072075.

Sorosh, A. ve Amani, N. (2021). BIM-based optimum design and energy performance assessment of residential buildings. Iran Energy Association (IEA). <http://dx.doi.org/10.22109/jemt.2020.236318.1244>

Weytjens, L., Attia, S., Verbeeck G., Herde A.D. (2011). The “Architect-friendliness” Of Six Building Performance Simulation Tools: A comparative Study. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development

Url-1 < <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/> >, erişim tarihi 20.10.2021.

Url-2 < <https://help.autodesk.com/view/RVT/2022/ENU/?guid=GUID-36B2F66A-E423-4D9C-B266-3ABA57573F4> >, erişim tarihi 01.10.2021.

Url-3 < <https://simplebim.com/support/addon-ida-ice.html> >, erişim tarihi 25.12.2021.

Url-4

<http://www.equaonline.com/iceuser/pdf/IFC_import_and_export_using_simplebim-exercise.pdf>, erişim tarihi 12.11.2021.

Url-5 < <https://insight.autodesk.com/> >, erişim tarihi 15.10.2020.

Url-6 < <https://www.equa.se/en/ida-ice>>, erişim tarihi 12.10.2020.

Url-7 < <https://landarchbim.com/2016/03/09/revitdynamo-hierarchy-of-elements/>>, erişim tarihi 02.01.2022.



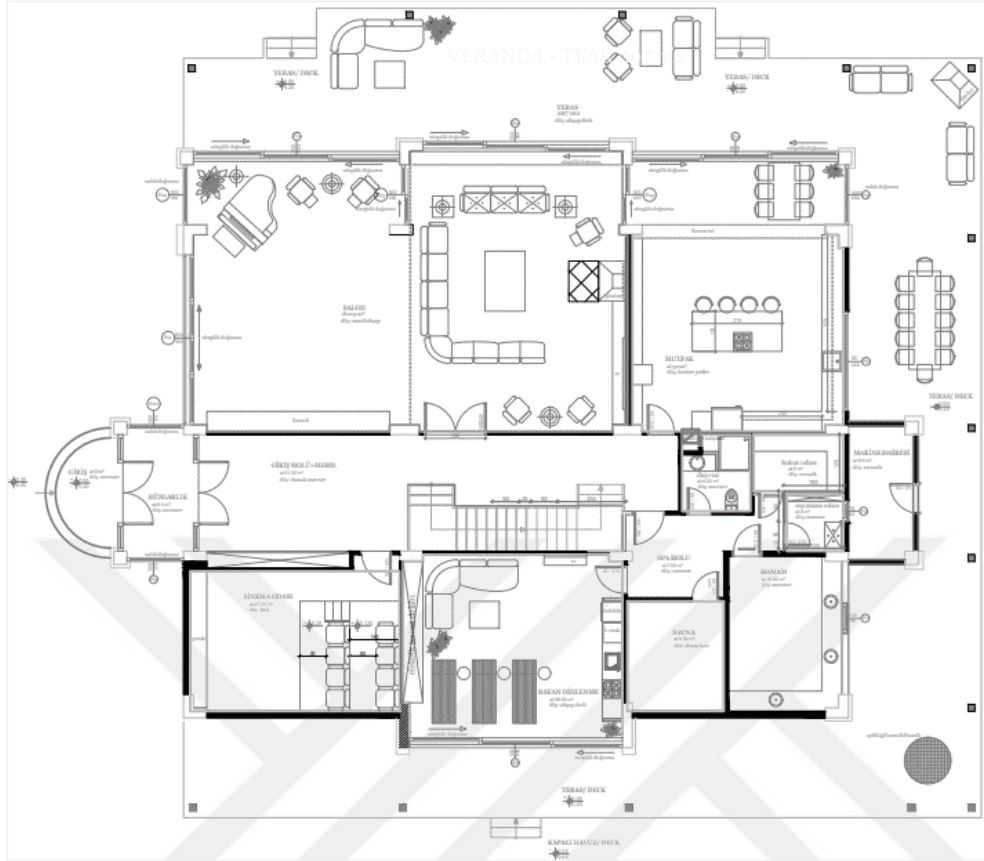
EKLER

EK A: Mimari Plan Uygulama Çizimleri

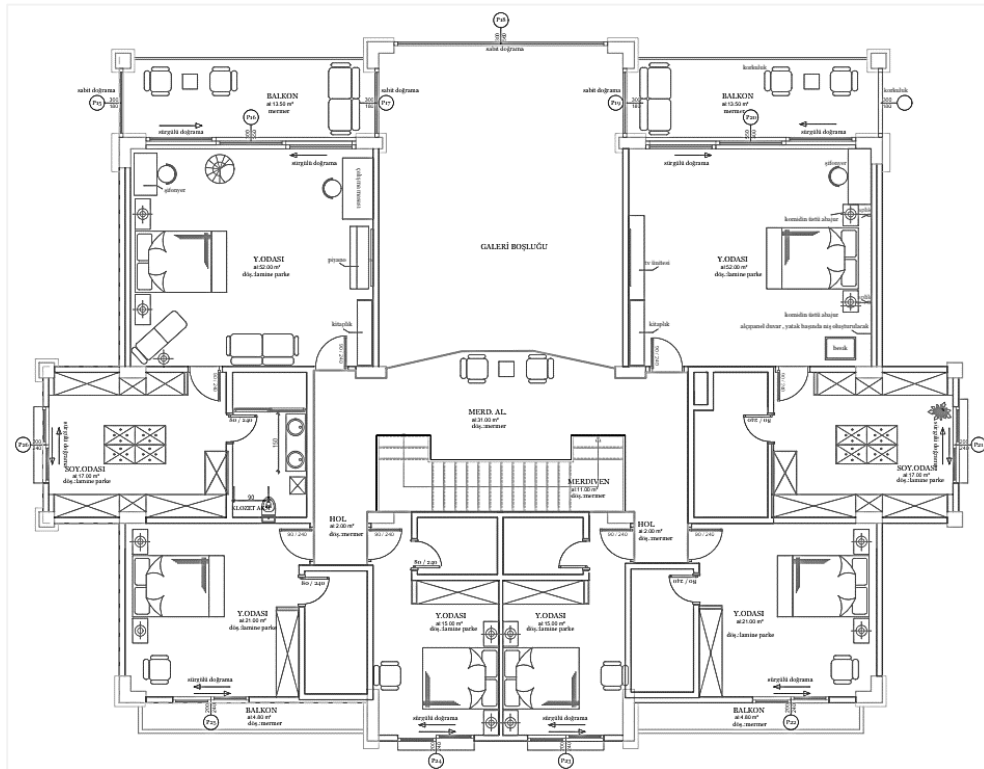
EK B: Insight Widget Enerji Ayarları



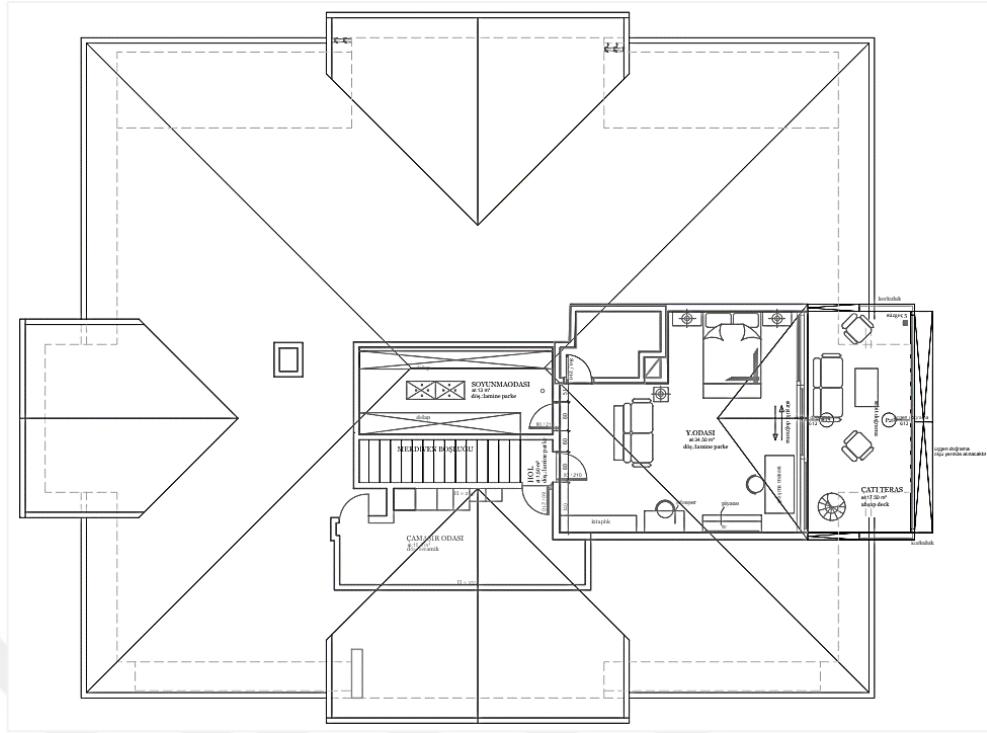
EK A : Mimari Plan Uygulama Çizimleri



Şekil A.1 : Zemin kat uygulama planı



Şekil A.2 : Birinci kat uygulama planı



Şekil A.3 : Çatı katı uygulama planı

EK B: Insight Widget Enerji Ayarları

Bina Yönü (Building Orientation)

Bir binayı 0 dereceden saat yönünde döndürür, örneğin 90 derece binanın Kuzey tarafını Doğuya bakacak şekilde döndürür. BIM (Yapı Bilgi Modeli), modelinizdeki ayardır.

Pencere-Duvar Oranı (Window-to-Wall Ratio / WWR)

Pencere-Duvar-Oranı, cam alanının brüt duvar alanına bölünmesiyle hesaplanır. Bu widget, modelinizdeki cam yüzdesini sıfırlar. BIM (Yapı Bilgi Modeli), modelinizdeki ayardır.

Pencere Gölgesi (Window Shade)

Pencere gölgesi, pencereye dik olarak uzanır. Derinlik, pencere yüksekliğinin bir kısmıdır. Genişlik, pencere genişliği ile aynıdır. Örneğin, pencereniz 6 fit yüksekliğindeyse, pencere gölge derinliği $6 \text{ fit} \times 1/6 = 1 \text{ fit}$ olacaktır.

Name	Parameters
No change	No change
1/6 Win Height	1/6 of the Window Height
1/4 Win Height	1/4 of the Window Height
1/3 Win Height	1/3 of the Window Height
1/2 Win Height	1/2 of the Window Height
2/3 Win Height	2/3 of the Window Height
BIM	The setting in your model (Building Information Model)

Şekil B.1 : Pencere gölge ayarları

Pencere Camı (Window Glass)

Name	Glazing Type	U-Value (W/m ² K)	U-value (BTU/hr- ft ² -F)	Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)	Visible Light Transmittance (VLT)
No Change	No change	No change	No change	No change	No change
Sgl Clr	Single Clear 6mm	6.17	1.09	0.81	0.88
Dbl Clr	Double Clear 6/13 Air	2.74	0.48	0.7	0.78
Dbl LoE	Double Low-E (e3=0.2) Clear 3/13 Air	1.99	0.35	0.73	0.74
Trp LoE	Triple Low-E (e2=e5=0.1) Clear 3mm/6mm Air	1.55	0.27	0.47	0.66
Quad LoE	Quadruple LoE Films (88) 3mm/8mm Krypton	0.66	0.12	0.45	0.62
BIM	The setting in your model (Building Information Model)				

Şekil B.2 : Pencere cam özellikleri

Duvar Yapısı (Wall Construction)

Name	Construction-Northern, Southern, Eastern, Western Walls	R-Value (hft ² °F/BTU)	Heat Capacity (BTU/ft ² °F)
Uninsulated	R0 Wood Frame Wall	2.97	10.71
R13 Metal	R13 Metal Frame Wall	5.766	10.05
R13 Wood	R13 Wood Frame Wall, Wood Shingle	11.66	1.74
R13+R10 Metal	R13 + R10 Metal Frame Wall	17.126	11.35
14-inch ICF	Insulated Concrete Form Wall 14 inch (36 cm) U-0.034	28.91	14.11
R38 Wood	R38 Wood Frame Wall	36.75	1.80
R2 CMU	R2 CMU Wall	4.02	18.69
12.25-inch SIP	Structurally Insulated Panel (SIP) Wall 12.25 inch (311 mm)	37.27	4.21
BIM	The setting in your model (Building Information Model)		

Şekil B.3 : Duvar yapı ayarları

Çatı Yapısı (Roof Construction)

Name	Roof Construction	R-Value (hft ² *F/BTU)	Heat Capacity (BTU/ft ² *F)
Uninsulated	R0 over Roof Deck	1.33	1.43
R10	R10 over Roof Deck	11.75	2.06
R15	R15 Wood Frame Roof	15.61	2.03
R19	R19 insulation Wood Frame Roof	16.39	1.18
R38	R38 Wood Frame Roof	42.57	1.30
R60	R60 Wood Frame Roof	66.23	1.37
10.25-inch SIP	Structurally Insulated Panel (SIP) Roof 10.25 inch thick (260mm)	37.71	1.44
BIM	The setting in your model (Building Information Model)		

Şekil B.4 : Çatı yapı ayarları

Sızdırmazlık

Havanın şartlandırılmış alanların içine veya dışına kasıtsız olarak sızması; genellikle bina kabuğundaki boşluklardan kaynaklanır. Birimler Saat Başına Hava Değişimidir (ACH). BIM (Yapı Bilgi Modeli), modelinizdeki ayardır.

Aydınlatma Verimliliği (Lighting Efficiency)

Birim zemin alanı başına elektrikli aydınlatmanın ortalama dahili ısı kazancı ve güç tüketimi. BIM (Yapı Bilgi Modeli), modelinizdeki ayardır. Aydınlatma gücü yoğunluğunun (LPD) tam güç değeri olduğuna dikkat edin; çalışma çizelgeleri, saatlik olarak tam güç yükünün çeşitli yüzdeleri varsaymaktadır. Saatlik profiller için Bina İşletim Çizelgeleri belgelerine bakınız.

Fiş Yüğü Verimliliği (Plug Load Efficiency)

Bilgisayarlar ve küçük ev aletleri gibi ekipmanlar tarafından kullanılan birim taban alanı başına ortalama güç; aydınlatma veya ısıtma ve soğutma ekipmanı hariçtir. BIM (Yapı Bilgi Modeli), modelinizdeki ayardır. Ekipman güç yoğunluğunun (EPD) tam güç değeri olduğunu unutmayın; çalışma çizelgeleri, saatlik olarak tam güç yükünün çeşitli yüzdeleri varsaymaktadır. Saatlik profiller için “Bina İşletim Çizelgeleri” belgelerine bakınız.

Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC) Sistemleri

Name	Description
ASHRAE Package System	ASHRAE 90.1-2010 minimum efficiency Packaged Single Zone System, 11 EER, 70F economizer
High Eff. Heat Pump	Heat Pump, 17.4 SEER, 9.6 HSPF, Electric Heat
ASHRAE Heat Pump	ASHRAE 90.1-2010 minimum efficiency Heat Pump, 9.5 EER, COP 3.2 Electric Heat, 70F economizer
High Eff. Package System	Packaged Single Zone System, small unit, 20 SEER 85% AFUE
ASHRAE VAV	ASHRAE 90.1-2010 minimum efficiency Variable Air Volume, COP 6.10 Chiller, Gas Boiler, 75F economizer
High Eff. VAV	VAV, Underfloor Air Distribution, COP7.5 Chiller, 95% Eff. Gas Boiler, economizer
ASHRAE Package Terminal Heat Pump	ASHRAE 90.1-2010 minimum efficiency Package Terminal Heat Pump 11.9 EER
High Eff. Package Terminal AC	Package Terminal Air Conditioner unit, 12.7 EER, 90.4% Gas Boiler
BIM	The setting in your model (Building Information Model)

Şekil B.5 : HVAC sistem ayarları

Çalışma Takvimi (Operating Schedule)

Bina sakinlerinin tipik kullanım saatleri. Ayrıntılar için “Bina İşletim Çizelgelerine” bakınız. BIM (Yapı Bilgi Modeli), modelinizdeki ayardır.

Fotovoltaik Panel Verimliliği (Photovoltaic / PV Panel Efficiency)

PV (Fotovoltaik) Panel Verimliliği Panel verimliliği, güneş enerjisinin AC (alternatif akım) enerjisine dönüştürülecek yüzdesidir. Daha yüksek verimli paneller daha maliyetlidir ancak aynı yüzey alanı için daha fazla enerji üretir. Örneğin, %16,2 verimli bir panel, standart koşullar altında 162 W/m² güç veya 1000 Wh/m² güneş ışıınımı/güneşlenmeden 162 Wh/m² enerji üretecektir.

PV (Fotovoltaik) Geri Ödeme Limiti (PV (Photovoltaic) Payback Limit)

PV sistemi için hangi yüzeylerin kullanılacağını tanımlamak için geri ödeme süresini kullanın. Gölge veya zayıf güneş yönelimli yüzeyler hariç tutulabilir.

Panel Efficiency	Assumed Installation cost per Watt
16%	\$2.86 US Dollar
18.6%	\$3.06 US Dollar
20.4%	\$3.47 US Dollar

Şekil B.6: Fotovoltaik panel geri ödeme verimliliği

PV (Fotovoltaik) Yüzey Kapsam Alanı

Bakım erişimi, çatı ekipmanı ve sistem altyapısı için alan varsayımı kullanarak, PV paneller için ne kadar çatı alanının kullanılabileceğini tanımlamaktadır.

