



**BÜTÜNLEŞİK BİNA TASARIMI YAKLAŞIMI
ÇERÇEVESİNDE BIM TABANLI ARAÇLARIN
SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNA TASARIMINA ETKİSİ:
BİR TOPLU KONUT PROJESİNDE GÜN IŞIĞI ANALİZİ**

Rümeysa ÖĞÜTCÜ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÜTÜNLEŞİK BİNA TASARIMI YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE
BİM TABANLI ARAÇLARIN SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNA TASARIMINA
ETKİSİ: BİR TOPLU KONUT PROJESİNDE GÜN IŞIĞI ANALİZİ**

Rümeysa ÖĞÜTCÜ
0000-0001-9248-4185

Prof. Dr. Murat TAŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
YAPI BİLGİSİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BÜTÜNLEŞİK BİNA TASARIMI YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE BIM TABANLI ARAÇLARIN SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNA TASARIMINA ETKİSİ: BİR TOPLU KONUT PROJESİNDE GÜN IŞIĞI ANALİZİ

Rümeysa ÖĞÜTCÜ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat TAŞ

Bütünleşik bina tasarımı yaklaşımı bina tasarımında multidisipliner bir çalışmanın bina yapma süreçlerinin en başından itibaren bir araya getirilmesini ve tasarım sürecinin tüm girdilerinin birbirleri ile etkileşim içinde olmasını öngörmektedir. Bu yaklaşım çerçevesinde sürdürülebilir binalar inşa edilmesi oldukça önemlidir. Günümüzde enerji tüketimini azaltmak için enerji performansı konuları ile ilgili yapılan teknolojik gelişmeler sayesinde enerji etkinliğinin planlanması mümkün olmaktadır. Son yıllarda sürdürülebilir yapıya yönelik çalışmaların artması tasarım ve yapım aşamalarında BIM teknolojilerinin kullanımını teşvik etmektedir. BIM, bir binanın bina yaşam döngüsünde yer alan planlama, tasarım, uygulama, işletme, yeniden işlevlendirilmesi ve yıkılması süreçlerini içeren bütünleşik bir sistemdir. Bina performansı, enerji etkinlik gibi projenin başlarında verilen kararların ve üretilen bilginin diğer proje aşamalarına aktarılmasını kolaylaştırmaktadır. Bir binada enerji etkinliğini sağlamak için kullanılan temelde 4 sistem bulunmaktadır. Bunlar; ısıtma-soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemleridir. BIM tabanlı yazılımların sağladığı simülasyonlar bu sistemler üzerinden enerji etkinliği performans analizleri yaparak hem çevresel hem de yapısal verimliliği sağlamaktadır. Çalışmanın giriş bölümünde tezin amaç, yöntem ve kapsamı anlatılmıştır. İkinci bölümde enerji etkin binalar, enerji performansının ölçülmesi ve değerlendirilmesi, bina ve gün ışığı, LEED sertifika sistemi, bina bilgi modellemesi ve özellikleri, sürdürülebilir bina tasarımı yapmak için geliştirilen yazılımlar ve yöntemler gibi konulara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, İstanbul ilinde yapımı tamamlanmış olan B+Z+5N katlı bir konut projesi üzerinden bina bilgi modeli hazırlanarak seçilen BIM yazılımı aracılığı ile simülasyon oluşturularak gün ışığı analizi üzerine çalışılmıştır. Binanın enerji etkin iyileştirilmesine yönelik alternatif senaryo oluşturularak sonuçları mevcut bina ile karşılaştırılmıştır. Dördüncü bölümde, tüm çalışmaların bulguları değerlendirilmiş ve alternatifler karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde ise sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: BIM, bütünleşik bina tasarımı, enerji etkin tasarım, Insight360, Revit2022
2023, vii + 72 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

THE IMPACT OF BIM BASED TOOLS ON SUSTAINABLE BUILDING DESIGN WITHIN THE FRAMEWORK OF INTEGRATED BUILDING DESIGN APPROACH: DAYLIGHT ANALYSIS IN A MASS HOUSING PROJECT

Rümeysa ÖĞÜTCÜ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Murat TAŞ

The integrated building design approach predicts that a multidisciplinary study in building design will bring together the building construction processes from the very beginning and that all the inputs of the design process will interact with each other. It is very important to build sustainable buildings within the framework of this approach. Today, there is an increasing interest in energy performance issues in order to reduce energy consumption. Thanks to the technological developments made in this direction, it is possible to plan energy efficiency. The increasing efforts towards sustainable construction in recent years have encouraged the use of BIM technologies in the design and construction phases. BIM is an integrated system that includes the planning, design, implementation, operation, re-functioning and demolition processes of a building in the building life cycle. It facilitates the transfer of decisions made at the beginning of the project, such as building performance, energy efficiency, and the information generated to other project stages. There are basically 4 systems used to ensure energy efficiency in a building. These are; heating-cooling, ventilation and lighting systems. The simulations provided by BIM-based software provide both environmental and structural efficiency by performing energy efficiency performance analyzes on these systems. In the introductory part of the study, the purpose, method and scope of the thesis are explained. The second section covers topics such as energy-efficient buildings, measuring and evaluating energy performance, building and daylight, LEED certification system, building information modeling and features, software and methods developed to make sustainable building design. In the third section, a building information model was prepared based on a BF+GF+5-storey residential project completed in Istanbul and daylight analysis was studied by creating a simulation using the selected BIM software. By creating an alternative scenario for the energy-efficient improvement of the structure, the results were compared with the existing structure. In the fourth section, the findings of all the studies were evaluated and the alternatives were compared. In the fifth section, the results and recommendations are presented.

Key words: BIM, Energy efficient design, integrated building design, Insight360, Revit2022

2023, vii + 72 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca araştırmalarımın özveri ile destek olan bilgi, tecrübe ve olumlu bakış açısı ile yol gösteren danışmanım sayın Prof. Dr. Murat TAŞ hocama sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimi sürecinde ve yüksek lisans jürimde bulunarak değerli bilgileri ile bilimsel katkılarını sunan başta Prof. Dr. Nilüfer TAŞ hocama ve jürimde bulunarak yapıcı eleştirileri ile değer katan Doç. Dr. Cahide AYDIN İPEKÇİ hocama teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince değerli vaktini ayırarak projeye dair bilgi eksikliklerini gidermemde yardımcı olan İnşaat Müh. Ahmet ÖZKAN'a, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ağabeyim İnşaat Müh. Yakup ÖĞÜTCÜ'ye ve canım arkadaşım İnşaat Müh. Hümeysa BALTA'ya yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca varlıklarını her zaman hissettiğim, desteklerini esirgemeyen canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Rümeysa ÖĞÜTCÜ
27/02/2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Yöntemi	2
1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı	3
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Sürdürülebilirlik ve Enerji Etkin Binalar	5
2.1.1. Enerji etkin bina tasarımı	7
2.1.2. Enerji etkin bina tasarımı ölçütleri	8
2.1.3. Enerji etkin binalar ile ilgili yasal mevzuatlar	8
2.1.4. Enerji kimlik belgesi (EKB)	10
2.1.5. Bina enerji performansı yazılımı (BEP-TR)	11
2.1.6. Bina enerji performansını etkileyen faktörler	12
2.1.7. Enerji performanslarının ölçülmesi ve değerlendirilmesi	18
2.1.8. Performans analizleri	19
2.2. Bina ve Gün Işığı	21
2.2.1. Gün ışığı performansını etkileyen tasarım parametreleri	21
2.2.2. Konut binalarında gün ışığı	22
2.2.3. LEED sertifika sisteminde aydınlatma	23
2.3. Bina Bilgi Modellemesi (BIM)	28
2.3.1. Bina bilgi modellemesinin tarihi	28
2.3.2. Bina bilgi modellemesi kullanımları	29
2.3.3. Bina bilgi modellemesi LoD kavramı	31
2.3.4. Bina enerji modelleme (BEM) ve enerji simülasyonları	32
2.3.5. BIM ile sürdürülebilir tasarım ve geliştirme	33
2.3.6. Sürdürülebilir bina tasarımı için modelleme ve enerji simülasyonu sağlayacak BIM tabanlı yazılımlar	34
2.3.7. Dünya’da BIM kullanımı	37
2.3.8. Türkiye’de BIM kullanımı	39
3. MATERYAL ve YÖNTEM	41
3.1. Bina Bilgi Modelleme Aracılığı ile Simülasyon Çalışması: Toplu Konut Projesi Örneği	41
3.1.1. Proje hakkında genel bilgiler	41

3.1.2. Projenin yapı bilgi modelini oluşturmak için kullanılan rapor bilgileri ve proje verileri	42
3.2. Bina Bilgi Modeli Gün Işığ1 Simölasyon Çalışması	42
3.2.1. Autodesk Revit 2022 ile modelleme süreci	42
3.2.2. Gün ışığ1/Doğal ışıık analizi süreci	51
4. BULGULAR ve TARTIşMA.....	59
4.1. Mevcut Projenin, Modelin ve Alternatif Modelin Gün Işığ1 Analizine Göre Karşılaştırılarak İncelenmesi.....	59
5. SONUÇ	63
KAYNAKLAR	65
EKLER.....	69
ÖZGEÇMİş	72



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
AEC	Architecture, Engineering & Construction
AIA	Amerikan Mimarlar Enstitüsü
ASHRAE	American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BBTY	Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı
BEAM	Building Environmental Assessment Method
BEM	Bina Enerji Modelleme
BIM	Building Information Modelling
CAD	Computer Aided Design
DOE	Design of Experiment
EKB	Enerji Kimlik Belgesi
HQE	High Quality Environmental
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
İMSAD	İnşaat Malzemeleri Sanayicileri Derneği
Low-E	Low Emmissivity
TS 825	Türk Standardı, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
U değeri	Isı Geçirgenlik Katsayısı (W/m ² .K)
USGBC	The US Green Building Council

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Yöntem akış diyagramı (Öğütçü, 2023)	3
Şekil 2.1. Sektörlere göre nihai enerji tüketimi kısıtlımı (ETKB)	7
Şekil 2.2. Enerji kimlik belgesi	11
Şekil 2.3. Doğal aydınlatma ve gün ışığı alma olanakları	20
Şekil 2.4. Yüksek katlı Hong Kong yapıları.....	22
Şekil 2.5. BIM kullanımları: BIM kullanımlarını sınıflandırma ve seçme (Penn State, 2013)	30
Şekil 2.6. Obje gelişim düzeyi	31
Şekil 2.7. BIM ile model tabanlı çok boyutlu çalışma (Ofloğlu, 2021)	34
Şekil 2.8. Anket katılımcılarının disiplin ve BIM deneyimi bazında dağılımı (BIMgenius,2018)	39
Şekil 2.9. BIM ile ilgili standart ve kavramlar (BIMgenius, 2018)	40
Şekil 3.1. Seçilen blok görünümü	41
Şekil 3.2. Revit2022 arayüz seçim ekranı ve Units ayar ekranı A) Arayüz Ekranı B) Ayar ekranı	43
Şekil 3.3. CAD dosyalarının Revit2022 ortamına LinkCAD yöntemi ile aktarılması	43
Şekil 3.4. Project browser'da yer alan görünüş bölümünde kat yüksekliği ayarlar yöntemi	44
Şekil 3.5. Görünüşte oluşturulan katların plan düzlemine atanmasını sağlayan yöntem	44
Şekil 3.6. Malzeme bilgilerinin girilerek malzeme kütüphanesinin oluşturulduğu yöntem	45
Şekil 3.7. Birinci kat planı sıvalı duvar çizimi görünümü	46
Şekil 3.8. Bodrum, zemin ve birinci katı tamamlanmış model görünümü	46
Şekil 3.9. Katları çoğaltılmış model görünümü	47
Şekil 3.10. Modelin tamamlanmış görünümü	47
Şekil 3.11. Bodrum kat planı	48
Şekil 3.12. Zemin kat planı	49
Şekil 3.13. Birinci kat, ara kat ve en üst kat planları (kat 1,2,3,4,5)	49
Şekil 3.14. Çatı arası ve çatı planı A) Çatı arası B) Çatı planı	50
Şekil 3.15. AA ve BB Kesitleri A) AA kesiti B) BB kesiti	50
Şekil 3.16. Kuzey-doğu ve güney-batı cepheleri A) Kuzey-doğu cephesi B) Güney-doğu cephesi	50
Şekil 3.17. Kuzey-batı ve güney-doğu cepheleri A) Kuzey-batı cephesi B) Güney-doğu cephesi	51
Şekil 3.18. Modellenen projenin mevcut yapı görünümü	51
Şekil 3.19. Mevcut yapının çevre yapı ile görünümü	52
Şekil 3.20. Lighting aracı ile analiz ayarları	52
Şekil 3.21. Mevcut bina zemin kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı	53
Şekil 3.22. Mevcut bina birinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı	53
Şekil 3.23. Mevcut bina ikinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı	54
Şekil 3.24. Mevcut bina üçüncü kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı	

dağılımı	54
Şekil 3.25. Mevcut bina dördüncü kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı	54
Şekil 3.26. Mevcut bina beşinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı	55
Şekil 3.27. Alternatif tasarım kat planı ve güney doğu görünüşü	56
Şekil 3.28. Alternatif tasarım bina zemin kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı	56
Şekil 3.29. Alternatif tasarım bina birinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı	57
Şekil 3.30. Alternatif tasarım bina ikinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı	57
Şekil 3.31. Alternatif tasarım bina üçüncü kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı	57
Şekil 3.32. Alternatif tasarım bina dördüncü kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı	58
Şekil 3.33. Alternatif tasarım bina beşinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00 gün ışığı dağılımı	58
Şekil 4.1. Mevcut yapının cephelerinin saydam yüzey oranı	60
Şekil 4.2. Alternatif tasarımın cephelerinin saydam yüzey oranı	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. LEED sertifikası değerlendirme konuları ve puanları (Özdemir, 2019)	25
Çizelge 2.2. LEED'e göre alınan puanların değerlendirme sınıfları (Özdemir, 2019)	25
Çizelge 2.3. Kavramsal tasarım ve fizibilite aşaması	35
Çizelge 2.4. Mimari modelleme ve sağlayıcılar	35
Çizelge 2.5. Statik modelleme ve sağlayıcılar	36
Çizelge 2.6. Mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat modelleme ve sağlayıcıları	36
Çizelge 2.7. İnşaat simülasyonları ve maliyet analizi 4D+5D	36
Çizelge 2.8. Sürdürülebilirlik yazılım ve sağlayıcıları (6D)	37
Çizelge 2.9. Tesis yönetim yazılımı ve sağlayıcıları (7D)	37
Çizelge 2.10. Dosya paylaşımı ve işbirliği	37
Çizelge 3.1. Pencere camlarının ısı ve aydınlatma performansı	52
Çizelge 4.1. Aydınlatma kalitesini doğrudan etkileyen parametreler	59
Çizelge 4.2. Mevcut yapıya ait 21 Eylül gün ışığı analiz sonuçları	61
Çizelge 4.3. Pencere yönü değiştirilmiş alternatif yapıya ait 21 Eylül gün ışığı analiz sonuçları	62
Çizelge 1.1. Mevcut binaya ait yapı elamanlarının detayları	70

1. GİRİŞ

Günümüzde yapı sektörü; dünyadaki nüfus artışına, plansız kentleşmeye, ekonomik zorunluluklara rağmen gelişen teknoloji ile doğa ve insan arasındaki bağı korumak yönünde gelişimini sürdürmektedir. Bunu sağlarken kontrolsüz nüfus artışı ve yapılaşma sonucunda artan tüketim ihtiyacına yönelik enerji etkin, çevreci bir tasarım yaklaşımı benimsemektedir. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) tarafından yapılan “2020-2022 yılı yapı ruhsatı istatistiklerine göre ülkemizde 2020 yılında ruhsat verilen bina sayısı 96 204 2021-2022 yıllarında ise 138 449 olarak hesaplanmıştır. Yapı kullanma izin belgesine göre 2022’de toplam konut yüzölçümü %58,2’dir” (TÜİK,2022). Ülkemizde yapı sektöründe çoğunluğu oluşturan bina tipi olan konut için kentsel alanların hızla gelişmesi ile sürdürülebilir, sağlıklı ve çevreci bir üretim ihtiyacı artmaktadır.

“Dünya genelinde tüketilen enerjinin %50’si ve suyun %42’si bina yapımında veya kullanım süreçlerinde harcanmaktadır” (Dikmen,2011). Bu sebepten doğal çevreyi yapılı çevreye dönüştürmek için verilen tasarım kararlarında enerji etkinliği ön plana çıkmaktadır. Enerji etkin yapı sadece enerji verimliliği ile sınırlanmamaktadır. Yapının yapı yaşam döngüsündeki tüm bileşenlerini (yer seçimi, tasarımı, yapım tekniği, kullanılan yapı malzemeleri, atık malzemelerin yeniden kullanımı) kapsamaktadır. Gelişen teknoloji ile bu bileşenler bütüncül bir anlayışla ele alınmaktadır. Modern mesleki pratikte yeni bina tiplerinin oluşması, bina biçimi ve inşaat tekniklerinin gelişmesi, geniş bina programları, yeni malzeme ve ürünler, profesyonelleşme (mesleklerin ayrımı), karar vericilerdeki artış iş birliği yapma zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde bu yaklaşımı sağlayan sistem Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımıdır (BBTY).

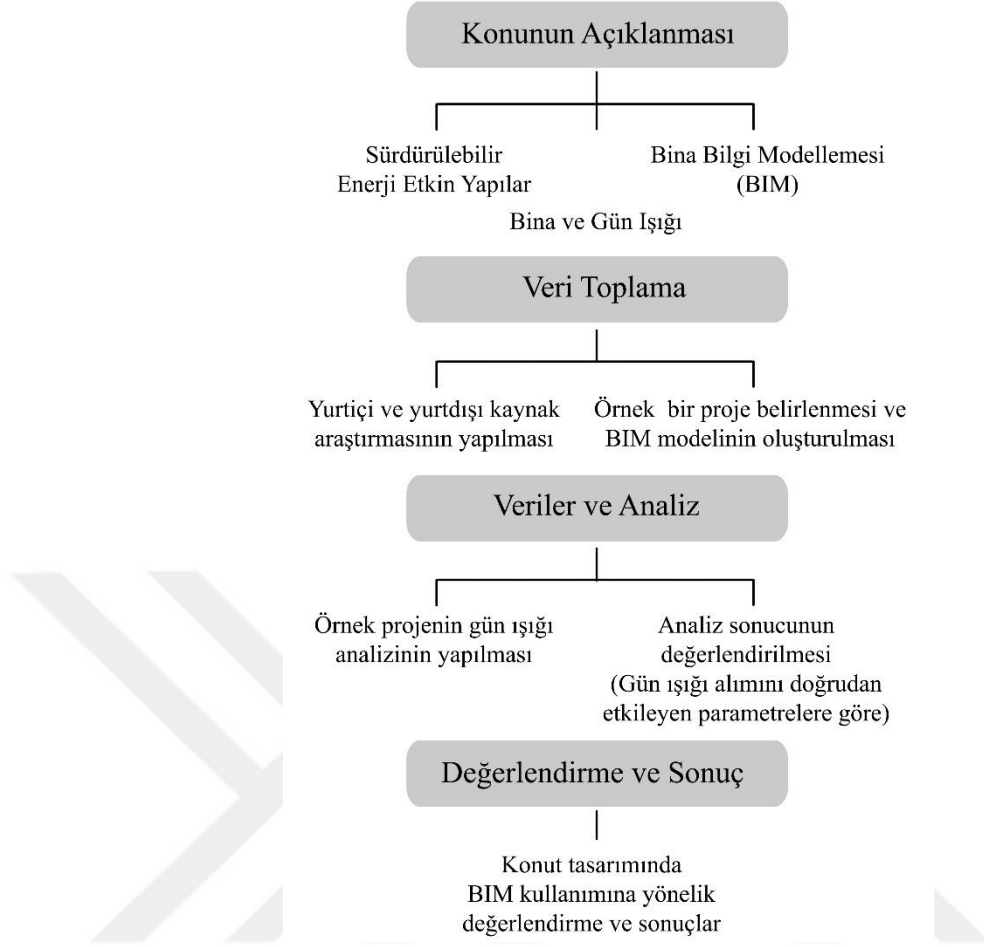
Bütünleşik bina tasarımı yaklaşımı projede yer alan tüm paydaşların bir arada çalışmasını ve tasarımı etkileyen tüm kriterlerin birlikte ele alınmasını kapsamaktadır. Proje katılımcıları, proje tasarım süreci içerisindeki entegrasyonları, bütünleşik teslim sistemi ve yapı bilgi modelleme sistemleri bu yaklaşımın bileşenleri ve araçlarını oluşturmaktadır. Bu süreçte disiplinlerarası etkileşimli bir yaklaşım söz konusudur. Tasarım sürecindeki kararlar, yapı yaşam süresi ve maliyeti göz önünde bulundurularak, proje ile ilgili kriterler, yapı malzemeleri, taşıyıcı sistemler, mekanik ve elektrik sistemler yaşam döngüsüne bağlı olarak alınır. Bütünleşik bina tasarımı yaklaşımı bu kararları

sağlamak için bilgisayar destekli tasarım araçlarını kullanmaktadır. Bina Bilgi Modellemesi (BIM) projenin yaşam döngüsünde planlama, tasarım, uygulama, işletme, yeniden işlevlendirilmesi veya yıkılması süreçlerini kapsayan ve bunların verimli bir şekilde yürütülmesini gerçekleştiren teknolojik bir sistemdir. BIM (Building Information Modelling) tabanlı yazılımların sağladığı simülasyonlar ile de enerji etkinliği performans analizleri yaparak hem çevresel hem de yapısal verimliliği sağlamaktadır.

1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Yöntemi

Binalarda ve özellikle yapı stoğunun büyük bir bölümünü oluşturan konut tipi binalarda kullanılan sistemlerin enerji tüketimlerinin azaltılması, enerji verimliliği ve enerji performansı konularına dikkat çekmektedir.

Çalışmanın amacı, BIM 'in bu konuda sağladığı faydaların mimarlık alanındaki etkilerinin değerlendirilmesi ve yapıların yaşam döngüsü boyunca enerji etkin tasarımlar olması yönünde verilen kararların BIM tabanlı yazılımlar üzerinden simülasyon oluşturarak geri besleme ile değerlendirmesini sağlamaktır. Örnek bir konut projesi üzerinden alternatif tasarım seçeneği oluşturarak erken tasarım evresinde gün ışığı analizi gerçekleştirerek doğal ışık kullanımının artırılması yönünde kullanılan BIM aracının etkisinin irdelenmesidir.



Şekil 1.1. Yöntem akış diyagramı (Öğütçü,2023)

1.2.Tez Çalışmasının Kapsamı

Çalışmanın birinci bölümünde tezin amaç, yöntem ve kapsamına yer verilmiştir. Tezin amacı kapsamında ikinci bölümde öncelikle kaynak araştırması yapılarak sürdürülebilirlik bağlamında enerji etkin yapı tasarımı, enerji performanslarının ölçülmesi ve değerlendirilmesi, Bina Bilgi Modellemesi ve enerji simülasyonları gibi BIM ile sürdürülebilir bina tasarımı yapma ve yapılacak çalışmaya yönelik gün ışığı konuları ile ilgili bilimsel kaynaklar incelenmiştir. Sürdürülebilirlik ve enerji çalışmaları için kullanılan BIM tabanlı yazılımlar araştırılıp gün ışığına yönelik enerji verimliliği hesaplamalarının nasıl yapıldığı tespit edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde araştırmalar sonucunda seçilen örnek bir projenin BIM modeli oluşturulup belirlenen değişkenler doğrultusunda alternatif modeli hazırlanarak iki model üzerinden tercih edilen BIM yazılımı ile sürdürülebilir bina tasarımı yapma

sürecinde erken tasarım evresinde tasarımın iyileştirilmesine yönelik simülasyon uygulaması yapılmıştır. Dördüncü bölümde simülasyonların sonuçları ve etkisinin ne derece katkı sağladığı değerlendirmeler üzerinden açıklanmıştır. Sonuçlar bölümünde ise yeni uygulanacak sürdürülebilir, enerji etkin bina tasarımları için BIM'in etkin kullanılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.



2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde literatür araştırması ile ilgili kavramsal bilgilere yer verilmiştir. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik, enerji etkin yapılar ve BIM hakkında veriler toplanmıştır.

2.1. Sürdürülebilirlik ve Enerji Etkin Binalar

“Sürdürülebilir Mimarlık” bağlamında sürdürülebilirlik kavramı “mevcut koşullar ve varlığın her devrinde gelecek nesillerin ihtiyaçlarını da gözeterek yenilenebilir kaynak kullanımına öncelik veren, kaynakları etkin kullanan, sağlık ve konfor koşullarını sağlayacak kalitede yapılar inşa etme etkinliklerinin tamamı” olarak tanımlanmaktadır (Ayşin Sev, 2009). Bu kavram 1970’lerde “çevresel tasarım”, 1980’lerde “yeşil tasarım”, 1980’lerin sonu ve 1990’ların başında “ekolojik tasarım”, 1990’ların ortasından sonra “sürdürülebilir tasarım” olarak birçok kavramla açıklanmıştır (Çelik,2018).

Sürdürülebilirlik kavramı, birçok disiplin ile ortak çalışmalar sağlayan mimarlığı yeniden ele alarak sürdürülebilir mimarlığın ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu kavram mimarlık disiplinine güncel tanımlar ve yeni bilgilerin dahil olması için çalışmalar yapmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı ile mimarlık alanında teknolojik, çevresel ve sosyal olgular olarak üçe ayrılır. Sürdürülebilir yapılar sınıfına dahil olan tasarımlar bu üç olguyu da barındırıyor olmaktadır.

Sürdürülebilir mimarlıkta teknolojinin yeri, yapının yapı yaşam döngüsü boyunca doğaya vereceği zararı minimuma indirmek için sarfettiği enerjinin yeni teknolojik yöntemler ile azaltılması olarak açıklanabilir. Çevresel kriterler, yapının konumlanacağı çevrenin iklim, malzeme gibi doğal kaynaklarını kullanarak çevreyle uyum içinde bir tasarım gerçekleştirilmesidir. Sosyal olgu ise teknolojik ve çevresel olguları sağlayan yapıların bunları sağlarken kullanıcıyı da dikkate aldığı sosyal yaşamın ve kültürün de göz önünde bulundurulmasıdır (Adıgüzel,2010).

Doğan Hasol, sürdürülebilir mimarlığı “Çevre sorunlarının artışı nedeniyle enerji tasarrufuna sahip, aktif yalıtımlı, gün ışığından maksimum faydalanan ve geri dönüşümlü malzemelerin kullanıldığı mimarlık” olarak tanımlamıştır (Moza ve Tokman,2015). Günümüzde enerji tasarrufuna sahip kendi enerjisini kendi üretebilen yapıların tasarımında yeni teknolojilerin kullanımı artmıştır. Yeni sistemlerin bilinçli kullanımı ile

veri paylaşımı ve verilerin depolanması, kullanıcıların verilere ulaşım kolaylığı, tasarımda alternatif yaklaşımların uygulanması artmaktadır. Bu sayede sürdürülebilir enerji etkin (ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma vb.) yapıların tasarlanması kolaylaşmaktadır.

Sürdürülebilirliğin parametrelerinden olan enerji etkin yapıların günümüzde gelişen teknoloji ile kavramsal anlamı genişlemektedir. Bu sebepten enerji etkinliğine sahip olan yapılara ilişkin tanımlamalar birçok isimle açıklanmaktadır. Bunlar; “enerji etkin yapı, sürdürülebilir bina, yeşil bina, enerji verimli yapı, ekolojik bina, çevre dostu yapı” gibi kavramlardır. Enerji etkin yapı, yapı yaşam döngüsü boyunca yapının pasif yöntemlerden daha çok faydalandığı, minimum düzeyde aktif yöntemlere ihtiyaç duyduğu bu sayede de enerji tüketiminin en az düzeyde tutulduğu ve gerekli enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan karşılayan yapılar olarak tanımlanabilir.

Enerji tüketimi konusunda farklı yapı tipleri farklı enerji kullanımları gerçekleştirmektedir. Sanayi yapıları, sağlık yapıları gibi yapı tiplerinde enerji kullanımlarının çoğu ekipman bulundurulmasından kaynaklı iken, konut ve ofis gibi yapılarda daha çok yapının tasarımında tercih edilen seçimlerden kaynaklandığı bilinmektedir.

“Enerji tüketimine yönelik yalıtım malzemelerinin üretimi 2020 yılında salgın sebebiyle olumsuz etkilenmiştir. 2021 yılında talep üzerine ısı, ses ve yangın yalıtım malzemelerinde %8,9 artış olarak 682 000 ton olmuştur. Su yalıtım malzemeleri üretimi de %5,3 artarak 554.000 ton olmuştur. Toplam yalıtım malzemesi üretimi 2021 yılında %7,2 artış göstererek 1,23 milyon ton olmuştur” (TÜİK).

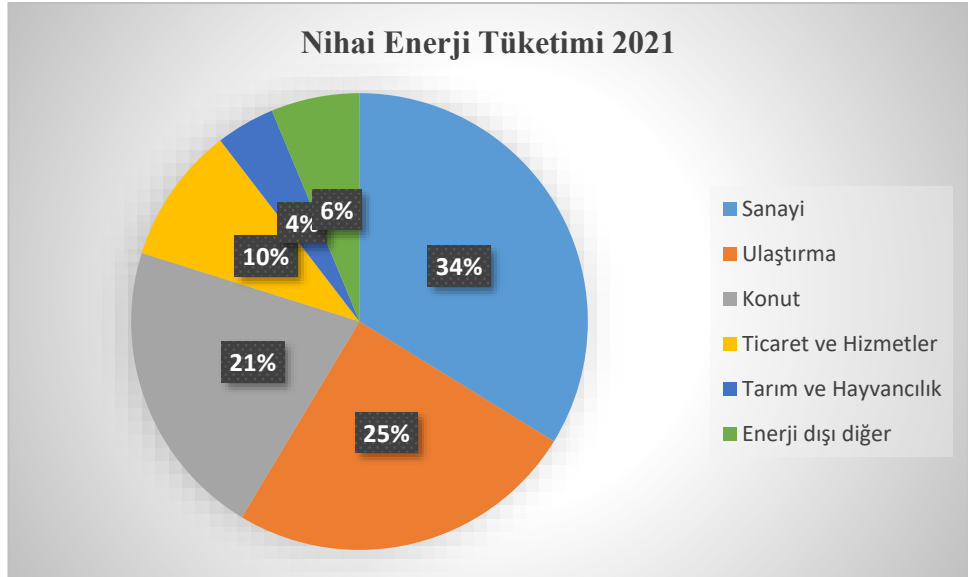
Enerji etkin tasarımlar, dünyadaki kaynak problemi meydana gelmeden önce de çevre şartları ve önemli ölçüde insan sağlığını ilgilendiren bir konu olmuştur.

2.1.1. Enerji etkin bina tasarımı

Enerji etkin bina tasarımı, yapıyı oluşturan tüm malzeme ve bileşenlerin üretimi, kullanımı, bakımı, işletimi ve iklimlendirme sistemlerinin seçim ve yönetimi dahil, tüm enerji girdilerini yapı yaşam döngüsü boyunca minimize etmeyi hedefler. Binanın tasarım, üretim, kullanım ve dönüşüm parametrelerinin enerji performansına olan etkisi kavramsal tasarım aşamasından itibaren göz önünde bulundurulmalıdır. Yapının kullanım aşamasındaki enerji etkinliğini belirleyen en önemli kararlar tasarım sürecinin başından itibaren alınmalıdır.

Günümüzde kentlerin oluşumu sırasında iklimsel farklılıklar dikkate alınmadan gerçekleşen yapıların sayısının fazla olması sıcak iklim bölgelerinde daha sıcak, soğuk iklim bölgelerinde ise daha soğuk mikro-iklimler oluşturmaktadır. Bu nedenle binalarda enerji kayıpları söz konusudur.

ETKB (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı) tarafından hazırlanan 2021 yılı enerji denge tablosuna göre Bina Sektörü Konut ve Ticaret & Hizmetler kategorilerinin toplamı olarak, %31’lik paya sahiptir. Konut sektöründeki enerji tüketiminin payı tüm tüketimin 5’te 1 ini oluşturmaktadır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Sektörlere göre nihai enerji tüketimi kırılımı (ETKB)
(<https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari>)

Enerjide sürdürülebilirliğin sağlanmasında en etkili yol kavramsal tasarım aşamasında binaların enerji etkin sistemlerle tasarlanmasıdır. Yapının bulunduğu yer, yön, bina biçimi, bina kabuğunun özellikleri önemli tasarım parametreleridir. Bina tasarımlarında; Doğal kaynaklara verilecek zarar en az seviyeye indirgenmeli ve binalar topoğrafyaya uygun olarak yerleştirilmelidir. Tasarım mekanların çok amaçlı kullanımına imkân sağlayacak şekilde esnek ve dönüşebilir olarak yapılmalıdır.

2.1.2. Enerji etkin bina tasarımı ölçütleri

Başarılı bir enerji etkin binanın ön koşulu, kavramsal tasarım aşamasından itibaren binaya etkiyen tüm disiplinlerin yapıya ‘entegre (bütünleşik) sistemler bütünü’ olarak yaklaşmasıdır.

Enerji etkin bina tasarımında, yenilenebilir kaynaklardan faydalanan ve en az enerji tüketecek, sürdürülebilir bir çevre oluşturacak yapıların enerji performansını etkileyen tasarım özellikleri; binanın konumu, yönü, formu, aralarındaki mesafe, yapı kabuğunun ısı performans özellikleri, doğal ve yapay aydınlatma seviyesi, fiziksel ve görsel konfor, pencerenin termal özellikleri, güneş kontrol, ısıtma ve soğutma sistemlerinden oluşmaktadır (Utkutug,2002; Lakot,2007).

2.1.3. Enerji etkin binalar ile ilgili yasal mevzuatlar

Geçmiş yıllarda enerji verimliliği üzerine düzenlenmiş olan mevzuatlar halen devam eden çalışmalarla güncellenmektedir. Bunlar:

- 2 Mayıs 2007 Enerji Verimliliği Kanunu Kanun No. 5627
- 26 Ağustos 2008 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları TS825 Sayı: 26979
- 27 Ekim 2011 Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik Sayı: 28097
- 5 Aralık 2008 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Sayı: 27075

“Enerji Verimliliği Kanunu: Bu kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır.

Bu Kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda, tarım ve hizmet sektörlerinde enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usûl ve esasları kapsar.

Binalarda Isı Yalıtım Kuralları: Bu Yönetmeliğin amacı; binalardaki ısı kayıplarının azaltılmasına, enerji tasarrufu sağlanmasına ve uygulamaya dair usul ve esasları düzenlemektir. Bu Yönetmelik, 10/7/2004 tarihli ve 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu kapsamındaki belediyeler dahil olmak üzere, bütün yerleşim birimlerindeki binalarda uygulanır. Münferit olarak inşa edilen ve ısıtılmasına gerek duyulmayan depo, cephanelik, ardiye, ahır, ağıl ve benzeri binalarda bu Yönetmelik hükümlerinin uygulanması zorunlu değildir. 180 sayılı Bayındırlık ve İskân Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkındaki Kanun Hükmünde Kararnamenin 32 nci maddesi kapsamına giren kamu kurum ve kuruluşları, il özel idareleri ve belediyeler, bu Yönetmeliğe uymak ve bu Yönetmeliği uygulamakla yükümlüdürler.

Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik: Bu Yönetmeliğin amacı; enerjinin etkin kullanılması, enerji israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. Bu Yönetmelik enerji verimliliğine yönelik hizmetler ile çalışmaların yönlendirilmesi ve yaygınlaştırılmasında üniversitelerin, meslek odalarının ve enerji verimliliği danışmanlık şirketlerinin yetkilendirilmesine, enerji yönetimi uygulamalarına, enerji yöneticileri ile enerji yönetim birimlerinin görev ve sorumluluklarına, enerji verimliliği ile ilgili eğitim ve sertifikalandırma faaliyetlerine, etüt ve projelere, projelerin desteklenmesine ve gönüllü anlaşma uygulamalarına, talep tarafı yönetimine, enerjinin üretiminde, iletiminde, dağıtımında, depolanmasında ve tüketiminde verimliliğin artırılmasına, atık ısılardan yararlanılmasına, açık alan aydınlatmalarında verimliliğin artırılmasına, biyoyakıt ve hidrojen gibi alternatif yakıt kullanımının özendirilmesine ve idari yaptırımlara ilişkin usul ve esasları kapsar.

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği: (1) Bu Yönetmeliğin amacı, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. Bu Yönetmelik mevcut ve yeni yapılacak binalarda;

- a) Mimari tasarım, mekanik tesisat, aydınlatma, elektrik tesisatı gibi binanın enerji kullanımını ilgilendiren konularda bina projelerinin ve enerji kimlik belgesinin hazırlanmasına ve uygulanmasına ilişkin hesaplama metotlarına, standartlara, yöntemlere ve asgari performans kriterlerine,
- b) Enerji kimlik belgesi düzenlenmesi, bina kontrolleri ve denetim faaliyetleri için yetkilendirmelere,
- c) Enerji ihtiyacının, kojenerasyon sistemi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasına,
- ç) Ülke genelindeki bina envanterinin oluşturulmasına ve güncel tutulmasına, toplumdaki enerji kültürü ve verimlilik bilincinin geliştirilmesine yönelik eğitim ve bilinçlendirme faaliyetlerine,
- d) Korunması gerekli kültür varlığı olarak tescil edilen binalarda, enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik önlemler ve uygulamalar ile ilgili, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulunun görüşünün alınarak bu görüş doğrultusunda yapının özelliğini ve dış görüntüsünü etkilemeyecek biçimde enerji verimliliğini arttırıcı uygulamaların yapılmasına ilişkin iş ve işlemleri kapsar.

(2) Sanayi alanlarında üretim faaliyetleri yürütülen binalar, planlanan kullanım süresi iki yıldan az olan binalar, toplam kullanım alanı 50 m²'nin altında olan binalar, seralar, atölyeler ve münferit olarak inşa edilen ve ısıtılmasına ve soğutulmasına gerek duyulmayan depo, cephanelik, ardiye, ahır, ağıl gibi binalar bu yönetmeliğin kapsamı dışındadır.”

2.1.4. Enerji kimlik belgesi (EKB)

“5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve buna bağlı olarak çıkartılan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğine göre binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasını, enerji israfının önlenmesini ve çevrenin korunmasını sağlamak için asgari olarak binanın enerji ihtiyacı ve enerji tüketim sınıflandırması, sera gazı salımı

seviyesi, yalıtım özellikleri ve ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinin verimi ile ilgili bilgileri içeren belgedir” (Şekil 2.2.).

Bina enerji performans sınıflandırması A sınıfı ile G sınıfı arasında değişmektedir. Yeni inşa edilecek olan binaların belgesi en az C sınıfı olmalıdır. Olmadığı takdirde belediye tarafından ruhsat verilmemektedir. 2017 yılında binalarda enerji performansı yönetmeliğinde yapılan değişikliğe göre (Şehircilik Bakanlığı, 2017) bu belgenin düzenlenmesinde Bina Enerji Performansı Yazılımı (BEP-TR) kullanılmalıdır. Enerji Kimlik Belgesi düzenleme tarihinden itibaren 10 yıl süre ile geçerlidir.

ENERJİ KİMLİK BELGESİ

Bina Genel Bilgileri

Bina resmi veya modeli

Enerji tüketim sınıfı

CO₂ salımı sınıfı

Yenilenebilir Enerji Oranı

Isıtma Enerjisi tüketim sınıfı

Sıhhi Sıcak Su Enerjisi tüketim sınıfı

Soğutma Enerjisi tüketim sınıfı

Havalandırma Enerjisi tüketim sınıfı

Aydınlatma Enerjisi tüketim sınıfı

EKB ve EKB Uzmanı ile ilgili bilgiler

Enerji Kullanım Alanı	Kullanılan Sistem	Yıllık Enerji Tüketimleri	Isıtma	Soğutma	Havalandırma	Aydınlatma
TOPLAM						
ISITMA						
SİHHİ SICAK SU						
SOĞUTMA						
HAVALANDIRMA						
AYDINLATMA						

Şekil 2.2. Enerji kimlik belgesi (<https://www.enerjikimlikbelgesi.com/ekb-nedir/ekb-nedir-2/>)

2.1.5. Bina enerji performansı yazılımı (BEP-TR)

BEP-TR 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği kapsamında hazırlanmış bina enerji performansının Türkiye için olan ulusal hesaplama yöntemidir. Bu yöntem konutlar başta olmak üzere tüm yeni binaların enerji performanslarını değerlendirmek için kullanılır. Bu yazılımla oluşturulan Enerji Kimlik Belgeleri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının veri tabanında depolanır.

Bu yazılımda ‘Basit Saatlik Dinamik’ hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem ile binaya ait ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacını ve bu ihtiyaca karşılık kullanılan sistemlerin tüketimini saatlik olarak hesaplanabilir.

BEP-TR de yapılan hesaplama sonucunda binanın enerji tüketimini etkileyen tüm parametreleri ele alınarak elde edilen sonuçlar belgelenerek bakanlığa onaya sunulur.

Bu parametreler;

- Yer ve iklim,
- Geometri,
- Opak bileşenler,
- Mekanik sistemler,
- Aydınlatma sistemi,
- Sıcak su sistemi,
- Yenilenebilir enerji ve kojenerasyon Sistemi

2.1.6. Bina enerji performansını etkileyen faktörler

Erken tasarım aşamasında göz önüne alınması gereken birçok etken binanın enerji performansını etkilemektedir. Binadaki bütünleşmiş sistemlerin bir aradaki durumunu kapsayan tüm bina enerji performansının ölçülmesi ve değerlendirilmesi tamamen gerçekleştirilememesine rağmen günümüzde bina ile ilgili verilerin depolandığı yazılımlar ve benzetimler ile gerçeğe yakın dijital ikizleri oluşturmak mümkündür.

Bu bütüncül yaklaşımda tasarım kararlarında dikkat edilen enerji performansının ölçülmesinde aşağıda verilen parametreler etkili olmaktadır.

Bina kabuğunun belirlenmesi: Bina kabuğu, iç ve dış bina ortamlarını termal ve fiziksel olarak ayırır. Bir binanın temeller, duvarlar, çatı, pencereler, kapılar ve zeminler gibi dış elemanlarını içerir. Bina kabuğu bir binanın ayrılmaz bir parçasıdır ve termal kabuk işlevi görür. Binanın güneş radyasyonu, gün ışığı, rüzgâr ve doğal havalandırmadan ne kadar iyi yararlanabileceğini düzenler ve güneş radyasyonunu, ısı akışını, hava akışını ve nemi kontrol etme yeteneği sağlar. Bu nedenle, bina zarf elemanlarının uygun seçimi ve düzenlenmesi, konforu ve enerji performansını büyük ölçüde artırabilir. (Bayraktar,2015)

Binalarda iç ortam ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkından dolayı bina kabuğundan transfer olan ısı miktarına göre ısı kayıpları veya kazançları olmaktadır. Bu sebepten bina kabuğunun ısıl direncinin artırılması ile enerji korunumu sağlanabilir. Isıl direnci artırmak için kabuk katmanlarının U değeri düşürülebilir. Bina kabuğu aşağıdaki unsurlardan oluşmaktadır:

- **Opak yapı elemanları**

Harvey (2012) tarafından açıklandığı gibi binanın opak elemanları arasında duvarlar, çatı, zemin vb. vardır. Yapı elemanlarını oluşturan katmanların termo-fiziksel özellikleri, binanın enerji akış davranışını ve enerji depolama kapasitesini belirler. Opak yapı elemanları aracılığıyla ısı transferi, konvektörel, ışımsal ve iletken süreçlerin bir kombinasyonudur. Duvarlar, çatılar gibi yapı elemanları çok katmanlı ve toplam ısı transfer katsayısından (U-değeri, $W/m^2 \cdot K$) bir yapı elemanı aracılığıyla ne kadar ısı aktarılabileceğini tahmin etmek için kullanılır.

Isı transferine ek olarak, termal kütle, yapı malzemelerinin termal enerjiyi emmesini, depolamasını ve daha sonra serbest bırakmasını sağlar. Termal kütle binanın termal yükü yüksek olduğunda fazla termal enerjiyi emebilir, depolayabilir ve yük düşük olduğunda enerjiyi serbest bırakabilir. Bu şekilde, termal kütle bir binanın içindeki sıcaklık dalgalanmalarını ılımlaştırır. Uygun büyüklükte termal kütle, binaların termal enerji kaynaklarını yönetmelerine yardımcı olabilir.

Radyasyon, binalarda hem ısıtma hem de soğutmada ısı transferinin önemli bir bileşenidir. Bina kabuğu üzerindeki güneş radyasyonu olayı, yüzey özelliklerine bağlı olarak absorbe edilebilir, yansıtılabilir, iletilebilir ve sonuç olarak iç ve dış yüzey sıcaklıklarını, binaya giren ısı akışını, ışık dağılımını ve kullanıcının konforunu etkiler. Opak bileşenler için, yansıtıcılık, emicilik, emisyon ve uzun dalga radyasyon davranışı yüzey davranışını karakterize eder (Bayraktar,2015).

Bina kabuğunun ısı akışına karşı termal direncinin etkisi hakkında çok sayıda literatür mevcuttur (Kim ve Moon, 2009) ve birçok çalışma, bina opak elemanları için genel ısı transfer katsayıları için uygun değerlerin nasıl belirleneceğini göstermektedir (Farhanieh ve Sattar, 2006; Sanea ve Zedan, 2011; Al-Homoud, 2005; ve Bojic ve ark., 2002). Bu

alışmalar, bina kabuğunun ısıl direncinin uygun şekilde düzenlenmesinin bina yüklerini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde, bina termal kütlesi ile termal performans arasındaki ilişki hakkında da önemli araştırmalar yapılmıştır. Gregory ve ark. (2008), Balaras (1996), Al Sanea ve ark. (2012), Cheng ve ark. (2005) ve Zhou ve ark. (2008) bina termal kütlesinin farklı yönlerini ve uygulamalarını araştırmıştır. Sonuçlar, termal kütlenin bina enerji gereksinimlerini önemli ölçüde azaltma ve i sıcaklıkları iyileştirme yeteneğine sahip olduğu sonucuna varmıştır. Gerçek enerji verimliliği için optimum termal kütle miktarı tahmin edilmelidir.

Dış cephenin toplam güneş yansımasının ve optik özelliklerinin nemi, Joudi ve ark. (2011), Filho ve ark. (2010), Berdahl ve ark. (2008), Synnefa ve ark. (2007) ve Stathopoulou ve ark. (2009) tarafından çalışılmıştır (Bayraktar,2015).

- **Gölgelendirme**

Nasrollahi (2009), güneş glgelendirmesinin bina kabuğunun bir parçası olduğunu ve bir binaya çarpan ve giren güneş ışığı miktarını kontrol ettiğini açıklamıştır. Buna göre, bir binanın maruz kalan yüzeylerindeki güneş radyasyonu olayını engellemektedir ve ısı kazancını azaltmaktadır, termal kazanımları değiştirir ve gün ışığı seviyelerini etkiler. Yüzeylerin glgelendirilmesi, H tipi veya L tipi binalarda olduğu gibi binaların kendinden gölgeli profilleri veya entegre bina gölgelendirme elemanları ile sağlanabilir. İyi tasarlanmış güneş kontrollerinin kullanımı enerji tasarrufu sağlar, ısıyı ve parlamayı azaltır, kullanıcının konforunu artırır.

Güneş ve görsel geçirgenlik, termal direnç, gölgelendirme elemanının yeri ve boyutları, bununla ilişkili herhangi bir kontrol stratejisi ile birlikte gölgelendirme cihazının enerji ve görsel performans açısından performansını belirler.

Enerji ve gün ışığı açısından güneş glgelendirmesi oluşturma performansı ve daha iyi i mekân termal evre koşulları için optimum gölgelendirme tasarımı, Ho ve diğ. (2008), Alzoubi ve Al-Zoubi (2010), Palmero-Marrero ve Oliveira (2010), Kim ve diğ. (2012), Bessoudo ve diğ. (2010) ve Datta (2001) gibi birçok araştırmacı tarafından derinlemesine araştırılmıştır.

Sonuç olarak, gölgelendirme cihazları için kontrol stratejileri hakkında kapsamlı araştırmalar vardır. Moeseke ve Herde (2007), kontrol kurallarının gölgelendirme cihazlarının verimliliği ve ofis binaları için serbest soğutma üzerindeki etkisini araştırmıştır. Guillemine ve Molteni (2002), kullanıcı isteklerine kendi kendine uyum sağlayan gölgelendirme cihazları için enerji tasarruflu kontrolörü araştırmıştır. Tzempelikos ve Athienitis (2007), gölgelendirme tasarımının ve kontrolünün bina soğutma ve aydınlatma talebi üzerindeki etkisini araştırmıştır (Bayraktar,2015).

- **Şeffaf yapı elemanları**

Pencereler ve tavan pencereleri gibi şeffaf elemanlar, güneş kazanımlarının binaya doğrudan kabul edilmesini sağlar. Güneş ışınlarının büyük bir kısmı doğrudan iç kısımlara iletilirken, kalan küçük fraksiyon emilir veya geri yansıtılır. Ayrıca, bir eleman da açılabilir olabilir (örneğin tavan penceresi, pencere, kapı vb.). Böylece bina ve çevresi arasında hava alışverişine izin verir. Böylece şeffaf bina bileşenleri bina enerji dengesini büyük ölçüde etkilemektedir (Bayraktar,2015).

Nasrollahi (2009), güneşin konumundaki günlük değişikliklere göre, güneş ışınlarının yoğunluğunun binanın dış yüzeyleri arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiğini belirtmektedir. Bu nedenle, şeffaf elemanların yeri ve oryantasyonu, binaya giren güneş ışını miktarını değiştirir. Nasrollahi (2009) ayrıca şeffaf elemanların alanının bina enerji performansını da etkilediğini açıklamaktadır. Şeffaf elemanların boyutu (ve uzunluğu) ve binanın toplam camlı alanı ile pencere-duvar oranı olarak adlandırılan toplam duvar alanı arasındaki oran etkili parametrelerdir (Bayraktar,2015).

Isı, şeffaf bileşenler aracılığıyla iletim, konveksiyon ve radyasyon yoluyla aktarılır. Güneş ısı kazanım katsayısı hem doğrudan iletilen hem de emilen ve daha sonra içeriye doğru salınan bir pencere camından kabul edilen olay güneş ısısının fraksiyonunu ifade eder. Görünür geçirgenlik, bir pencere camından iletilen görünür ışığın fraksiyonunu ifade eder. İletilen görünür ışık miktarını gösteren optik bir özelliktir. U-Değeri, şeffaf bileşenler aracılığıyla güneş enerjisi olmayan bir ısı transferi oranıdır ve bileşenin ısı kazancını azaltma yeteneğini ölçer (Bayraktar,2015).

Hava sızıntısı, şeffaf bileşenlerin montajındaki çatlaklardan sızma yoluyla meydana gelen ısı kaybını ve kazancını tanımlar. Bir metrekairelik pencere alanından geçen eşdeğer m³ hava olarak ifade edilen bir hava kaçağı derecesi ile gösterilir. Hava kaçağına ek olarak, pencereler gibi çalıştırılabilir şeffaf yapı elemanları aracılığıyla binaya doğal havalandırma da sağlanabilir. Havalandırma temiz havayı içeri alır ve oda havasını tahliye eder. Bu şekilde ısı konvektif yollarla taşınır ve termal enerji değiştirilen hava ile ilişkilendirilir (Bayraktar,2015).

Cam alanının bina enerji performansı üzerindeki etkisi ile ilgili çalışmalar literatürde sıklıkla yer almaktadır. Örneğin, Kontoleon ve Bikas (2002), camlı açıklıkların yüzdesinin ve cam tipinin termal bölge davranışı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Su ve Zhang (2010), yaşam döngüsü değerlendirmesine dayanarak Çin'deki sıcak yaz ve soğuk kış bölgesinde farklı pencere tipleri için pencere-duvar oranının çevresel performans optimizasyonunu vurgulamaktadır. Hassouneh ve diğ. (2010) Amman'daki apartmanların enerji dengesi üzerindeki pencerelerin etkisini araştırmakta ve her yön için optimum pencere boyutunun seçimini vurgulamaktadır. Ayrıca, pencerelerin güneş ve optik özelliklere ilişkin görsel ve enerji performansları da geniş bir kapsamda derinlemesine araştırılmıştır. Nilsson ve Roos (2009), enerji tasarruflu pencereler için kaplamaların optik ve termal özelliklerinin değerlendirilmesini gözden geçirmektedir. Karlsson ve Roos (2001), mimari camlar için düşük termal emisyon değerlerinin ısıtma ve soğutma enerjisi etkisini incelemektedir. Johnson ve diğ. (2004), cam sistemlerinin prototipik ofis binalarında bileşen yükleri ve yıllık enerji kullanımı üzerindeki etkisini sistematik olarak araştırmaktadır (Bayraktar,2015).

Nabinger ve Persily (2011), bina hava geçirmezliği, havalandırma ve enerji kullanımının güçlendirme öncesi ve sonrası değerlendirmesinin güçlendirmelerini ve sonuçlarını açıklamaktadır. Hassan ve diğ., (2007) pencere kombinasyonlarının binalarda termal konfor için havalandırma özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmaktadır (Bayraktar,2015).

Mekanların boyutsal özellikleri: Bir mekâna ait boyutlar mekânın cepheden iç duvar mesafesine kadar olan derinliği ile tavan yüksekliği olarak tanımlanmaktadır. Enerji performansı dikkate alınarak yapılan tasarımlarda binanın formu ve mekânsal boyutları

performansı etkilemektedir. Mekânın boyutlarındaki değişim hacmin değişmesine sebep olacaktır. Özellikle cephe ile bağlantılı mekanlarda, cephenin yüzey alanının artması ısı transferlerini artıracığından mekânın enerji yükünü artıracaktır.

İç aydınlatma, binaların temel bir gereksinimidir ve binanın iç yükünün önemli bir bölümünü oluşturur. İçeride gerekli aydınlatma seviyelerini oluşturmak için bir aydınlatma sistemi kurulur. Takılan iç aydınlatma gücü (W) veya aydınlatma gücü yoğunluğu (W/m^2), aydınlatma sistemi tarafından tüketilen elektrik miktarını ve aynı anda verilen ısıyı belirlemektedir. Literatürde Yun. ve ark. (2012) doluluk ve aydınlatma kullanım modellerinin aydınlatma enerjisi tüketimi üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Lam ve ark. (2006), aydınlatma yoğunluğunun Çin'deki farklı iklimlerde ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Linhart ve Scartezzini (2011), Aydınlatma Güç Yoğunluğunun görsel konfor ve enerji verimliliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Aydınlatma Güç Yoğunluğu $5 W/m^2$ 'den az olan enerji tasarruflu aydınlatmanın, görsel konforu ve performansı tehlikeye atmadan günümüz ofis odalarında zaten elde edilebilir olduğu sonucuna varmışlardır (Bayraktar,2015).

Binanın konumu ve yönlenmesi: Binanın bulunduğu yer ve yönlenişi, enerjinin etkin kullanımında önemli bir parametredir. Bununla ilgili;

1. Binanın cephe aldığı yön,
2. Arazinin eğimi,
3. Arazinin ve binanın konumu,
4. Toprak örtüsü gibi alt parametreler bulunmaktadır.

Kavramsal tasarım aşamasında yapılacak erken enerji analizi çalışmaları ile binanın, arazi üzerindeki en uygun yeri belirlenebilir. “Bu kütle ve yönlenme etütleri sayesinde günışığı, güneşe yönelim, gölge durumu, çevre binalar, arazi koşulları vb. faktörler ele alınarak en uygun konum için değerlendirmeler yapılabilir” (Elbi,2019).

Kullanıcı yoğunluğu ve özellikleri: Alanı kullanacak olan kişilerin orada bulunma süreleri, kaç kişi olduğu, yaşları ve cinsiyet durumu bina enerji performansını etkilemektedir. Hava sıcaklığı, nem, hava hareketi başlıca termal konfor faktörleridir (Aydın, 2019).

Bina şeklinin belirlenmesi: Binaların şekilleri enerji korunumu bakımından kış mevsiminde minimum ısı kazancı, yaz mevsiminde maksimum ısı kazancı olacak şekilde tercih edilmelidir.

Sıcak ve soğuk kuru iklim bölgesine sahip yerlerde bina şekilleri geniş cephesi rüzgâr yönünde olmayan, ılımlı nemli iklim bölgesine sahip yerlerde ise yaz döneminde rüzgâr yönüne geniş cephesi olan bina şekilleri tercih edilmelidir.

Bina kabuğunun şekline göre;

1. Binanın toplam dış yüzey alanı,
2. Farklı yönlerde bakan ve farklı eğimlerdeki cephe ve çatı yüzeyleri alanları,
3. Cephe ve çatı yüzeyleri arasındaki oranlar, değişim gösterir.

Bina şekli;

1. Biçim faktörü (plandaki bina uzunluğunun bina derinliğine oranı),
2. Bina yüksekliği,
3. Çatı türü (düz, beşik ve kırma çatı),
4. Çatı eğimi,
5. Cephe eğimi,

gibi bina ile ilgili geometrik değişkenler ile tanımlanabilir. Bina şekli enerjinin korunumu açısından önemli bir parametredir. Alan/hacim oranı değişimi enerji tüketimini etkilemektedir.

2.1.7. Enerji performanslarının ölçülmesi ve değerlendirilmesi

Bina tasarımcıları için tasarladıkları binanın enerji performansını değerlendirmeye yönelik birçok ölçme araçları geliştirilmiştir.

“Bina enerji performansı ölçme yöntemleri, Enerji ve Çevresel Tasarım Kararı Destek Sistemi olarak adlandırılan binanın enerji performans değerlendirmesinde kullanılabilecek sistemlerdir. Tasarımcıya yapılması gerekenleri içeren tasarım kılavuzları, binadaki belli başlı fiziksel süreçleri belirlemeyi amaçlayan hesaplama yöntemleri, tasarım önerisinin performansını tahmin etmeyi amaçlayan bina benzetim programlarını ve binanın maketler yardımı ile test edildiği ve performansının belirlendiği küçük ölçekli modellemeleri içermektedir.” (Ayдын, 2019).

Tasarım kararı ölçme yöntemleri maddelerde verilmiştir:

- Tasarım Rehberleri: Binanın bazı performans gerekliliklerini gerçekleştirebilmesi için tasarım sahibine yardımcı olabilecek bir kılavuzdur.
- Geleneksel Hesaplama Yöntemleri: Binadaki fiziksel-termal durumları belirlemeyi amaçlar. Isı iletim katsayılarının (U) hesaplanması gibi fiziksel olgularla ilgilidir.
- Korelasyona Dayalı Yöntemler: Kompleks sistemler dikkate alınarak yapılan performans tahminini amaçlar. Tasarım sahibinin belirlediği değişkenler ile simülasyon programlarının belirlediği değişkenlere göre performanslarının nasıl olacağını gösterir.
- Bina Benzetimi: Amacı gerçeğe yakın performans tahminleri yapabilecek dijital bir ikiz oluşturarak çözümleme yapmaktır.
- Küçük Ölçekli Modelleme: Gerçeğe yakın maketlerin testlere tabi tutulmasıyla yapılan ölçümler sonucu yapılan değerlendirmelerdir.

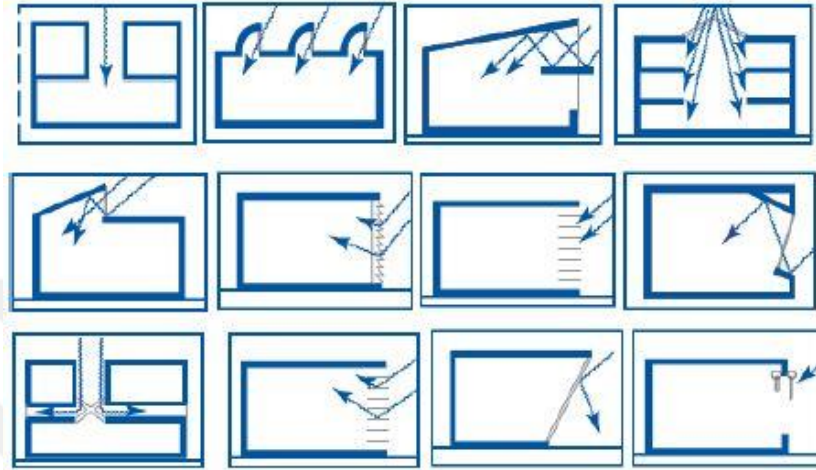
BIM'e göre birçok girdinin sonucundan oluşan binaların enerji performansını değerlendiren en uygun yöntem benzetimdir. Benzetim yazılımları çok disiplinli bir çalışmanın ürünü olacağı için birçok parametreyi beraber değerlendirip hesaplama yeteneğine sahiptir.

2.1.8. Performans analizleri

Sürdürülebilir bir bina gerçekleştirebilmek için kavramsal tasarım aşamasında birçok çevresel analiz ve benzetim yapılmalıdır. Sonuçta tasarım için mümkün olduğunca erken tasarım aşamasında enerji korunumu üzerine kararlar alınmış olacaktır. Performans analizlerinin içeriğindeki her bir konunun birbirinden bağımsız değerlendirilmesi sonucunda farklı sonuçlar ortaya çıkabilir. Bunlar şu şekildedir:

- Gün ışığı Analizi: Görsel konfor için gerekli ışığı güneşten alan aydınlatma yöntemine doğal aydınlatma denir. Dış, iç cephe panjurları, tenteler, ışık rafları, perdeler, saçaklar vb. gibi sistemler güneş kontrolü elemanları arasındadır (Şekil 2.3.). Kullanıcının göz ve ruh sağlığının yanı sıra elektrikli aydınlatma yükünü, bu sayede de ısı ve enerji yükünü de azaltır.

Bu tür analizleri yapabilen bilgisayar yazılımları mevcuttur; ancak bina ile ilgili bilgileri tanımlama yöntemlerinin zor olması nedeni ile kullanım maliyetleri yüksektir. Yapı Bilgi Modellemesi kompleks doğal aydınlatma tasarımlarının model, hesap ve belgeleme aşamalarının hepsini kendi içerisinde yapılmasına olanak tanır (Autodesk Inc.2005).



Şekil 2.3. Doğal aydınlatma ve gün ışığı alma olanakları (Ulukavak Harputlugil, 2016)

- **Isıl Performans Analizleri:** Bu analiz, modelleme yöntemi ile mekân içerisindeki sıcaklığın değerlendirmesini yapabilmektedir. Mekânın ve binanın tamamının HVAC yükünü hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu analiz temelde tüm bina bileşeninin ‘U’ değerine bağlıdır. EnergyPlus, BLAST, DOE-2 ve ESP-r programları ABD Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş sık kullanılan programlardır (Ulukavak,2001).
- **Enerji Analizleri:** Bina enerji analizi, binanın ve enerji tüketen sistemlerinin (Isıtma, soğutma, havalandırma vb.) kullanacağı enerji miktarını ölçme ve maliyetlerini belirleme yöntemidir. Enerji analizlerinin amacı, farklı sistem ve tasarımların enerji kullanımı ile maliyetlerini görerek en düşük maliyetli tasarımı yapmaktır (Tesisat Teknik Bülteni, 2007).

“Enerji analizleri günümüzde bilgisayar programları ile yapılmaktadır. Tüm binanın elektrik ve su gibi kaynakları ne kadar kullandığı ne kadar enerji harcayacağı ne kadar karbondioksit (CO₂) emisyonu çıkacağı raporlanabilir. Birçok yeşil bina derecelendirme aracında bu raporlar istenmektedir. Kavramsal tasarım aşamasında, olası tüm bina tasarım senaryoları için göreceli olarak enerji

maliyetleri karşılaştırılabilir. Aydınlatma, HVAC ve diğer donanımların elektrik ve yakıt kullanımı, toplam yıllık enerji kullanımı ve karbon izi belirlenebilir.” (Aydın,2019).

2.2. Bina ve Gün Işığı

Gün ışığı, binalarda mekân kalitesini belirleyen önemli bir tasarım parametresidir. “Gün ışığı binalara doğrudan ya da atmosfer tarafından dağınık bir şekilde ulaşmaktadır. Gün ışığının kalitesi ve yoğunluğu coğrafi enlem, mevsim, günün saati, yerel hava durumu, gökyüzü koşulları ve bina geometrisine göre değişmektedir” (Wong, 2017).

Gün ışığı bir binanın formunu ortaya çıkararak geometrisini, malzemeyi ve dokuyu gösteren bir araçtır. Aynı zamanda bina içerisinde sınırları belirleyerek mekânı tanımlamaktadır. İç ve dış mekanlar arasında bağlantı kurulmasını sağlamaktadır.

2.2.1. Gün ışığı performansını etkileyen tasarım parametreleri

Mimaride verimli gün ışığı teknikleri yapıları doğu-batı eksenini doğrultusunda konumlandırmayı, bir mekânın birden fazla yönden gün ışığı almasını sağlamayı, açık renkli iç yüzey boyalar kullanmayı ve dik pencereler tercih ederek güneş ışığını doğrudan kontrol etmeyi içermektedir (Leslie,2003). Bu doğrultuda kavramsal tasarım aşamasında gün ışığı kullanımı için yapının kullanım amacı, kütlesi, formu, açıklık ölçüleri ve kat yüksekliği işleve uygun tercih edilmelidir.

Endüstriyel alanlar ve ticaret bölgesi, konut bölgesi gibi yapının bulunduğu bölgenin özellikleri, yapının etrafındaki ağaç, dağ gibi doğal engeller ve yapı, set (duvar) gibi yapay engeller, binanın bulunduğu coğrafi konumdaki iklim koşullarına göre hesaplanan havanın kapalı veya açık olma durumu gibi gökyüzü koşullarını oluşturan çevresel etkenler; yapıdaki saçak, balkon, cephede bulunan düşey ya da yatay elemanlar gibi yapısal etkenler, mekanın boyutu, biçimi ve yönü, mekanın iç alan özellikleri, alanı aydınlatacak açıklığın sayısı ve konumu, pencere camı ve termal özellikleri , pencere doğramasının fiziksel özellikleri gibi mekânsal detaylar mekandaki gün ışığını etkileyen parametrelerdir.

2.2.2. Konut binalarında gün ışığı

Binalarda günışığının verimli kullanılması, aydınlatma enerjisi tüketiminin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Yapılı çevrenin büyük çoğunluğunu oluşturan konutlar için hesaplandığında bu oranı daha çok etkilemektedir.

Gün ışığı ile doğal aydınlatma sağlanırken dikkat edilmesi gereken konular, mekân içerisinde düzgün bir aydınlığın sağlanması, kamaşma kontrolü yapılması, iklim ve gürültü kontrolü gibi fiziksel çevre konularıyla uyumlu tasarım kararları verilmesi, yapay aydınlatma, ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması amaçlanmalıdır. Etkin ve performans değerlerini karşılayan bir doğal aydınlatma sisteminin sağlanması için projenin kavramsal tasarım aşamasından itibaren bütüncül bir yaklaşım benimsenmelidir.

Konutta gün ışığı enerji talebini azaltırken aynı zamanda insan sağlığını destekleyen önemli bir etkidir. Gün ışığı aydınlatması kullanıcılar için görsel konfor sağlamaktadır. Aynı zamanda estetik, davranış ve mekân algısı konusundaki deneyimlerini fark ettirir. Günümüz konut yapılarında özellikle çok katlı yüksek yapılar için binalar arası mesafede gölge hesabına göre belirlenmediğinde gün ışığına erişim zorlaşmakta ve görsel konfor sağlanamamaktadır (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Yüksek katlı Hong Kong yapıları (https://tr.wikipedia.org/wiki/Sosyal_konut)

“Avustralya güney yarım kürede yer alan kuzeye bakan evler, gün boyunca doğrudan güneş aldıkları için en çok tercih edilen evlerdir. Ancak gün ışığı tasarımı, kompakt daire planlarını içeren yüksek katlı binalar için daha zordur. Avustralya’da son yıllarda merkezi iş bölgesindeki dairelerin yaşanabilirliğini olumsuz yönde etkileyen yüksek katlı

apartman gelişiminde bir patlama meydana gelmiştir. Melbourne’de yapılan bir araştırmada (Abidi ve Rajagopalan, 2020) apartman binalarındaki gün ışığı koşullarını alan ölçümü yaparak ve gün ışığı simülasyonlarını kullanarak incelemiştir. Araştırmacı 12 apartmanda yatak odalarındaki gün ışığı seviyelerini ölçülmüştür. Alan ölçümleri, derin zemin plakaları ve dış engellerin varlığı nedeniyle dairelerin üçte birinde gün ışığı seviyelerinin yetersiz olduğu sonucu bulunmuştur.” (Şentürk, 2022).

Konut binaları için ülkemiz tarafından kabul edilen güncel Binalardaki Günışığı Standardı TS EN 17037:2021 raporudur. Bu standarda göre gün ışığı performans ölçütleri:

1. Yeterli gün ışığı alımının sağlanması (Gün ışığı faktörü ve gün ışığı modeli)
2. Dış görüş (Görünen katmanların basitleştirilmiş yöntem ile belirlenmesi, Projeksiyon yöntemi)
3. Güneşlenme süresi (Coğrafi veriler ile doğal ve fiziksel tasarım parametrelerine dayanan hesap yöntemi, Yerinde ölçümler ve referans noktada balık gözü yöntemi ile fotoğraflama)
4. Kamaşma kontrolünün sağlanması (Gün ışığı kamaşma olasılığı (DGP) hesap yöntemi)

2.2.3. LEED sertifika sisteminde aydınlatma

Günümüzde birçok ülkede ulusal yeşil bina sertifika sistemi bulunmaktadır. Hepsinin temel amacı yapılarda enerji tasarrufu sağlamak, doğayı korumak ve insanlara konforlu yaşam sağlamaktır. Bazı ülkelerin kullandığı sertifika sistemleri;

- LEED, Amerika Birleşik Devletleri,
- GREEN GLOBES, Kanada,
- DGNB, Almanya,
- BREEAM, İngiltere,
- HQE, Fransa,
- MINERGIE, İsviçre,
- B.E.S.T, Türkiye,
- BEAM, Hong Kong,
- CASBEE, Japonya,

- GREEN STAR, Avustralya,
- PEARL RATING SYSTEM FOR ESTIDAMA, Abu Dabi,
- BCA GREEN MARK SCHEME, Singapur,
- ENERGY STAR, Amerika Birleşik Devletleri.

LEED sertifikasını (Leadership in Energy and Environmental Design), Amerika Yeşil Binalar Konseyi (USGBC) 1998’de oluşturmuştur.

LEED sertifikasının amacı;

- Enerji kullanımı ve çevresel tasarımda iyileştirici stratejileri teşvik etmek,
- AEC (Architecture, Engineering & Construction) sektörünün çevresel etkilerini ve sağlığı olumsuz yönde etkileyen sonuçlarını minimuma indirmek,
- Kullanıcılara yönelik nitelikli iç mekân koşulları oluşturmak,
- Yeşil bina tasarımları için bilinç oluşturmak ve nicel standartlar ortaya çıkarmak.

“Bu sistem;

- LEED Building Design and Construction (BD+C); Bina Tasarım ve İnşaatı,
- LEED Interiors Design and Construction (ID+C); İç Tasarım ve İnşaat,
- LEED Building Operations and Maintenance (O+M); Yapı İşleri ve Bakımı (Yapım sonrası),
- LEED Neighborhood Development (ND); Kentsel Gelişim,
- LEED Homes Design & Construction; Konutlar için Tasarım ve Yapım

gibi beş bölümden oluşmaktadır.”(Özdemir,2019). Tüm bölümlerin farklı koşulları ve puanlamaları bulunmaktadır. Bu sertifika sisteminin değerlendirme yaptığı yapı tipleri yeni ve mevcut yapılar, ticari, eğitim, hastane, konut ve kentsel dönüşüm bölgeleridir. Bu çalışmada Bina Tasarımı ve İnşaatı bölümü incelenmiştir. Bu bölümde konu edilen değerlendirme alanları ve puanları çizelgede gösterilmektedir (Çizelge 2.1.).

Çizelge 2.1. LEED sertifikası değerlendirme konuları ve puanları (Öğütücü, 2023)

Değerlendirme Konuları	Puan (%)
Bütünleştirici Süreç	1
Konum ve Ulaşım	16
Sürdürülebilir Arazi	10
Su Verimliliği	11
Enerji ve Atmosfer	33
Malzeme ve Kaynak Kullanımı	13
İç Mekan Çevre Kalitesi	16
Yenilik ve Tasarım	6
Bölgesel Özellik	4
Toplam Puan	110

Her değerlendirme konusunun alt başlıkları da bulunmaktadır. “İç çevre kalitesinde bulunan başlıklar;

- Minimum iç ortam hava kalitesi performansı
- Çevresel tütün duman kontrolü
- Akustik performansı
- Gelişmiş iç hava kalitesi stratejileri
- Düşük emisyonlu malzemeler
- İç hava kalitesi yönetim planı
- İç ortam hava kalitesi değerlendirme programı
- Isısal konfor
- İç aydınlatma
- Gün ışığı
- Kaliteli dış görüş gibi.”

Çizelgede gösterilen dokuz başlıktan alınan toplam puanlar, yapının sınıfını göstermektedir. Değerlendirme sınıfları dört kategoriye ayrılmıştır (Çizelge 2.2.).

Çizelge 2.2. LEED’e göre alınan puanların değerlendirme sınıfları (Öğütücü,2023)

Değerlendirme Sınıfı	Puan
Sertifika	40-49
Gümüş	50-59
Altın	60-79
Platin	80+

Bu sertifika sisteminde maksimum 110 puan alınmaktadır. Tasarımda yenilik şartları yerine getirildiğinde +10 puan alınabilmektedir.

Bu sistemde aydınlatma konusu, “İç çevre kalitesi” içerisinde “iç aydınlatma”, “gün ışığı”, “kaliteli dış görüş” olmak üzere 3 alt başlıkta incelenmektedir. Bu alt başlıklardan elde edilen puanlar yapı türlerine göre değişkenlik göstermektedir. Çizelge 2.3’te yapı tiplerine göre aydınlatma kriterlerinden alınabilecek puanlar gösterilmiştir.

Yapay Aydınlatma;

LEED’da bu başlık iç aydınlatma konusu içerisinde bulunmaktadır.

İç Aydınlatma; Bu konuda aydınlatma kontrolü ve aydınlatma kalitesi kriterleri sağlandığında puan alınmaktadır. Bireysel kullanım alanlarında en az %90 aydınlatma kontrolü sağlandığında bu kriterden puan alınabilmektedir. Aydınlatma kontrolü sağlarken açık, kapalı ve orta seviye olarak en az üç farklı durum oluşturulmalıdır. Konut binalarında her mekânda aydınlatma tasarımı olmalıdır. Şartlar yerine getirildiğinde 1 puan alınmaktadır. Bu sistemin sağladığı kriterler, IESNA Aydınlatma Kılavuzu’ndaki verilerden elde edilmiştir.

Sertifika sisteminde aydınlatma kalitesi için verilen yöntemlerden dört tanesi gerçekleştirildiğinde bir puan alınmaktadır. “Bunlar;

1. Sık kullanılan alanlarda tercih edilen armatürlerin 2,500 cd/m²’ den daha düşük ışıklılıkta olması.
2. Yapıda kullanılan aydınlatma kaynaklarının renksel geriverim indeksi Ra 80 ve Ra 80’den yüksek olması.
3. Aydınlatma yükü toplamının en az %75’i min. 24.000 saatlik ömrü olmalıdır.
4. Sık kullanılan alanlarda aydınlatma yükünün toplamı %25’i veya azı için yalnızca indirekt aydınlatma kullanılmalıdır.
5. Sık kullanılan alanların %90’ında iç yüzey yansıtma çarpanlarının ortalaması zeminde %25, tavanda %85, duvarlarda %60 olmalıdır.
6. Kullanılan eşyalarla beraber hesaplandığında yüzey malzemelerinin ortalama iç yüzey yansıtma çarpanı için %45, hareketli bölümler için en az %60 olmalıdır.

7. Sık kullanılan mekanların en az %75'i duvar yüzeyinin aydınlık düzeyinin çalışma yüzeyindeki aydınlık düzeyine oranı 1/10'u geçmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca yukarıda 5 ve 6 numaralı kriterlerde verilen iç yüzey yansıtma çarpanları geçerli olmalıdır.
8. Sık kullanılan alanların en az %75'i için çalışma yüzeyi ortalama aydınlık düzeyinin, tavan ortalama aydınlık düzeyine oranı 1/10'u geçmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca 5 ve 6 numaralı maddelerde verilen ortalama iç yüzey yansıtma çarpanları uygulanmalı ya da tavan yüzeyi ortalama yansıtma çarpanı en az %85 olmalıdır.”

Doğal Aydınlatma

LEED’da bu konu gün ışığı ve kaliteli dış görüş alt başlığı içerisinde bulunmaktadır.

Gün Işığı: Puan kamaşma kontrolü ve ihtiyaç duyulan aydınlık düzeyi kriterleri gerçekleştirildiğinde alınmaktadır. Sık kullanılan alanlarda manuel ya da otomatik erişim sağlanabilen kamaşma engelleyici detaylar ile kamaşma kontrolü kriterleri sağlanmalıdır. Mekanlarda yapılan aydınlık düzeyi hesaplamalarında gün ışığı kriterinde tercih edilen gün ve saatlerde 300 lux ve 3000 lux değer aralığı sağlanmalıdır. Bu sistemde hesaplamalar “21 Eylül ya da 21 Mart tarihlerinde 09.00 ve 15.00 saatlerinde CIE Açık Gök Koşuluna uygun hesaplanmalıdır. Hesaplama alanı, kaplaması yapılmış zeminden itibaren 0,75 metre yükseklikte tüm mekânı içermelidir.

Kaliteli Dış Görüş: Yeni yapılar, eğitim yapıları, ticari yapılar, konut yapılarında sık kullanılan alanların taban alanının %75’inde dış mekâna açık görüntü sağlanmalıdır. Camlarda netlik olmalıdır. Ayrıca bu başlık için 4 koşuldan ikisi sağlanmalıdır.

- Görüş açısını artırmak amacıyla min. 90 derecelik fark olacak kadar diğer cephelerde de açıklıklar yapılmalıdır.
- Gökyüzü, bitki örtüsü, dış alan öğeleri ve açıklıklardan en az 7,5 m mesafede olan objeler gibi dış görüşe sahip olunmalıdır.
- Kapalı alanlarda döşemeden açıklıkların üst kotuna olan uzaklığın 3 katı kadar mesafede engelsiz görünüme sahip olması.

- Depo ve dağıtım merkezi olarak işlev gören mekanların yalnızca ofis kısımları için yukarıdaki maddeler geçerli olmalıdır. Ofis dışındaki alanlar için taban alanının %25’inde ve sağlık yapılarının hasta odaları için de yukarıdaki maddeler geçerli olmalıdır (Özdemir,2019).

2.3. Bina Bilgi Modellemesi (BIM)

Bina tasarımında farklı paydaşlara ait tasarım girdilerinin entegrasyonu uyumlu bir ekip çabası ile bir araya getirilir (Gray ve ark. 2001). Bu iş birliği için kullanılabilen ara yüzlerden biri de Bina Bilgi Modellemesi (BIM)’dir. BIM çoklu proje paydaşlarının bir binayı sanal ortamda iş birliği içinde planlaması, inşa etmesi ve işletmesini sağlayan bir dizi teknoloji, süreç ve politika olarak tanımlanır (Bahadır,2018). Projenin tüm bilgileri parametrik ve birbirine bağlı olacak şekilde toplanır. Binanın 2 ve 3 boyutlu olarak tüm tasarım dokümanları ile projenin maliyet, performans ve planlamaya yönelik bilgileri bütünsel bir veri tabanı olarak BIM’de yer alır (Krygiel ve ark. 2008).

2.3.1. Bina bilgi modellemesinin tarihi

İlk olarak 1960 yıllarında bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları yapı sektörü için dijital veri kullanımına imkân sağlamıştır. CAD programları BIM (Bina Bilgi Modellemesi)’ye yönelik çalışmaların yapılmasında öncü olmuştur. 1960 ve 1970’li yıllarda yapı bilgi modelleme çalışmaları ile ilgili yayımlanmış çok sayıda makale vardı fakat o zamanlar bilgisayar programlarının yapabilecekleri uygulamanın zorluğundan dolayı yetersiz kalmaktaydı (Eastman ve diğ.,2011).

CAD tasarımları 1970’lerde vektörel çizimler olarak ifade edilmiştir. İlerleyen zamanlarda 2 boyutlu çizimlerin 3 boyutlu çizimlere ulaşmaya başlaması ile teknik çizim yöntemleri yeni bir döneme girmiştir. Eastman (1975), “Bina Tasarımında Çizim Yerine Bilgisayar Kullanımı” isimli çalışmasında çok yönlü bir model olarak “Bina Tanımı Sistemi (Building Description System)” adında açıkladığı, 3d bina bileşenlerinin oluşturulmasına olanak tanıyan mimari modelleme sisteminden söz etmektedir. Bu sayede en başta verilerle bağlantı kuramayan 2 boyutlu dökümanlar sağlayan CAD sistemi 3 boyutlu imkân da sağlamıştır (Ziel ve diğ.2008).

CAD ve BIM sisteminin farklılıkları ayrıntılı bir şekilde Succar'ın yaptığı çalışmada açıklanmıştır. Succar'a (2009) göre, CAD sisteminde bina bileşenleri çizgiler ve geometrik şekiller olarak ifade edilmektedir. Bina bilgi modellemesinde ise bileşenlerin özellikleri nesne tabanlı içeriklerde bulunmaktadır. BIM bileşenlerinin verileri arasında model değiştirilmiş olsa bile parametrik bir bağlantı vardır (Briscoe, 2016).

Autodesk, Graphisoft ve Bentley gibi platformlar, 1970'li yılların bitiminde tasarladıkları yazılımları Building Information Modeling (BIM), görsel bina gibi isimlerle adlandırmışlardır.

2.3.2. Bina bilgi modellemesi kullanımları

Mark Baldwin'ın 'BIM Yöneticisi' adlı kitabında Pensilvanya Eyalet Üniversitesi (Penn State) BIM Uygulaması Planlama Kılavuzu'nda verilmiş olan BIM kullanımlarıyla ilgili bir dizi listeye yer verilmiştir. Bunlar:

- Mevcut Koşulların Modellenmesi
- Saha Analizi
- Maliyet Tahmini
- Faz Planlaması (4B Modelleme)
- Tasarım Oluşturma
- Tasarım İnceleme
- İş Programı Oluşturma
- Mühendislik Analizleri (Enerji Analizi ve Yapısal Analiz)
- Yapısal (Sistemsel) Analiz
- Sürdürülebilirlik (LEED) Değerlendirmesi
- 3B Koordinasyon (ör. Çakışma Tespiti)
- Yapı Yönetmeliklerine Uygunluk Kontrolü
- 3B Kontrol ve Planlama (BIM'den Sahaya)
- Dijital Fabrikasyon
- İnşaat Sistemi Tasarımı
- Saha Yerleşimi Planlaması (Saha Lojistiği)
- Yapı Modelinin Kaydedilmesi (Kayıt Modelleri/As Built)
- Yapı Bakım Planlaması

- Mekan Yönetimi ve Planlaması
- Afet Planlaması
- Varlık Yönetimi

2013 yılında Penn State, BIM'in kullanım amaçlarını sınıflandıran farklı bir belge (BIM Kullanımları: BIM Kullanımlarının Sınıflandırması ve Seçilmesi, Sürüm 0.9, Eylül 2013) hazırlamıştır. Bu sınıflandırma ile BIM kullanımlarını diğer alt bölümlerle birlikte; bir araya getirme, oluşturma, analiz etme, iletişim kurma, gerçekleştirme gibi beş başlıkta toplamıştır (Şekil 2.5.).

birincil	toplama	oluşturma	analiz etme	iletişim kurma	gerçekleştirme
ikincil	niteleme	belirleme	koordine etme	canlandırma	üretme
	izleme	büyükölçü	tahmin etme	çizme	birleştirme
	yakalama	ayarlar	doğrulama	dönüştürme	kontrol etme
	ölçme			belgeleme	düzenleme

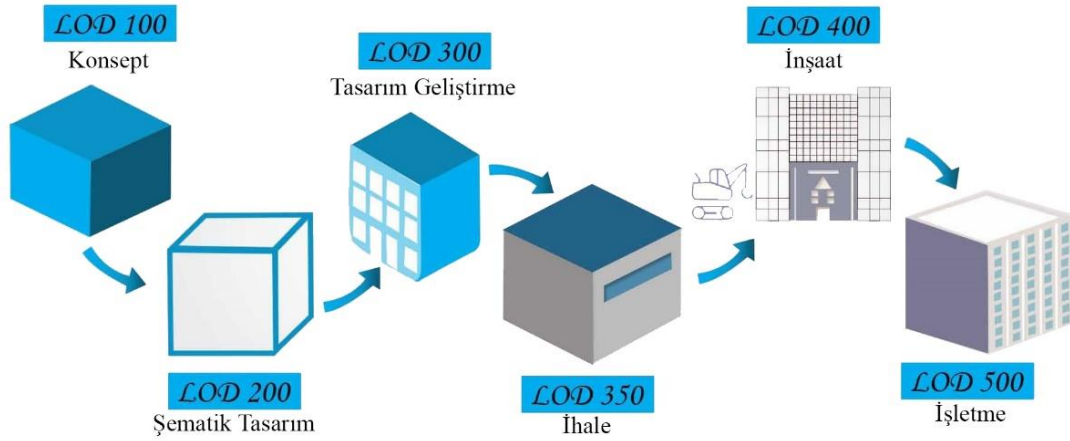
Şekil 2.5. BIM kullanımları: BIM kullanımlarını sınıflandırma ve seçme (Penn State,2013)

Pensilvanya Eyalet Üniversitesi'nin kullanım örneği sınıflandırması en yaygın (uluslararası) kullanım alanını oluştursa da hiçbir şekilde kesin bir liste oluşturmamaktadır. Başka alternatif kullanım durumu tanımları mevcuttur. (120'den fazla bireysel kullanımı kapsayan BIM Excellence "Model Kullanım Listesi" buna bir örnektir) Bu tür listeler, yeni ihtiyaçlar tanımlandıkça veya yeni teknolojiler ortaya çıktıkça gelişmeye devam edecektir.

2.3.3. Bina bilgi modellemesi LoD kavramı

Gelişim Düzeyi veya LoD, 3d tasarımın detay seviyesini gösteren bir tanımlamadır. Geleneksel yöntemlerde, bir çizimin bilgisi ölçek kuralları ile açıklanmaktadır. Çoğu ülkede inşaat yetkilileri, bir çizimin 1:20 veya 1:5 ölçeğine nazaran 1:100 ölçeğinde ne içermesi gerektiği konusunda yaklaşık ortak bir anlayışı paylaşmaktadırlar. Bu sektördeki CAD yaklaşımlarıyla tipik olarak mecburi hale gelmiştir.

BIM’de her şey 1:1 olarak modellenmektedir. Bu yüzden ölçek kavramı yoktur. LoD ise modelin veri detayını açıklamak için tasarlanmış bir yaklaşımdır. LoD kavramı Gelişim Düzeyi (Level of Development), Detay Düzeyi (Level of Detail) ve Tanım Düzeyi (Level of Definition) için de kullanılmaktadır (Şekil 2.6.). Detay Düzeyi terimi ilk olarak 1970’lerin ortalarında 3B objelerin(nesnelerin) temsil aşamalarını açıklamak için dijital grafikleri oluşturma endüstrisinde ortaya çıkmıştır. Bu terim 2005 yılında VICO yazılımı tarafından sanal yapı modelleri veya BIM bağlamında Model İlerleme Şartnamesinde (Model Progression Specification – MPS) kullanılmıştır. Bu daha sonra Amerikan Mimarlar Enstitüsü (AIA) tarafından AIAE202-2008 BIM Protokol Sunumu şartnamesine, Gelişim Düzeyi olarak kabul edilerek işlenmiştir.



Şekil 2.6. Obje Gelişim Düzeyi (<https://www.tejy.com/bim-level-of-development-lod-200-300-350-400-500/>)

AIA tarafından oluşturulan LoD tanımı, projenin beş temel fazıyla ilişkili olan beş aşamalı bir sistem (LoD 100’den LoD 500’a kadar) kullanır: Konsept Tasarım, Tasarım Geliştirme, İnşaat Dokümantasyonu, İmalat Çizimleri ve Kayıt Modelleri (As Built). Bu

bir objenin hem geometrik hem de bilgi içeriğini ve de potansiyel kullanımlarını tanımlayan geniş bir gruptur.

2.3.4. Bina enerji modelleme (BEM) ve enerji simülasyonları

Benzetim veya benzeşim kavramları ile de adlandırılan simülasyon, bütünleşik sistemlerin kolaylaştırılmış modelini oluşturarak, gerçek sistemin davranışını tahmin etmek için bu modeli değerlendirme süreci olarak açıklanabilir. Simülasyonun hedefi, gerçek sistemin dijital ikizini oluşturarak sisteme yönelik tahminler yapabilmek üzere model hazırlamaktır. Bina simülasyon programları kullandıkları hesap yöntemlerine, LoD seviyelerine, kullanılacak alanlara göre farklılaşmaktadır. Bina simülasyonları genel olarak binanın erken tasarım verilerinin değerlendirilebildiği (boyut, şekil vb.) modelleme araçları, tasarım kriterlerinin geliştirilebilmesine yönelik tasarım araçları ve bina performansı ölçümü yaparak tahminlerde bulunan analiz araçları olarak sınıflandırılabilir. Tasarım değişkenlerinin binanın performansına göre karar verildiği bir tasarımda her üç sınıflandırmada değerlendirilecektir. Tasarım süresince bütünleşik bir yaklaşım çerçevesinde çalışılması gerekmektedir.

Simülasyon aşama aşama hazırlanan ve geri beslemelerle ilerleyen bir süreçtir. Problemin analizi ile başlayarak sonuçların sentezine dönüşen bu süreç, aşağıdaki maddeleri içermektedir:

- Problemin veya tasarım gereklerinin analizi,
- Modelden beklentiyle örtüşecek uygun simülasyon yazılımının seçilmesi,
- Binanın ve sistemlerinin gerçeğe uygun, ilgili elemanlarına ve niteliklerine dayalı modelleme gerçekleştirilmesi,
- Modelin yazılım gereklerine uydurulması (modelin kalibrasyonu),
- İlgili koşulların (iç ortam konfor koşulları, iklim verisi vb.) düzenlenerek simülasyonun gerçekleştirilmesi,
- Birçok değişken (enerji gerekliliği, maksimum yük, konfor parametreleri, emisyonlar vb.) yardımıyla simülasyon sonuçlarının analizi,
- Sonuçların ilgili tasarım bilgisine dönüştürülmesi.

Günümüzde bina performans simülasyonlarının tasarım sahiplerine profesyonel çalışma imkânı sunma, tasarımlarını değerlendirme ve iyileştirme olanakları sağlamaktadır.

Bina performans analizi için geliştirilmiş birçok simülasyon programı vardır ve gerek hesaplama yöntemleri gerekse kullanıcı ara yüzleri bağlamında çeşitli detay düzeylerinde olmak üzere geniş bir yelpaze içinde yer almaktadırlar. Bir konuya ilişkin bir simülasyon programının seçimi;

- Projenin gereklerine,
- Analizin maliyeti ve süresine,
- Kullanıcının deneyimine
- Uygun simülasyon aracı verilerinin olanaklarına bağlıdır (Ulukavak Harputlugil,2014).

2.3.5. BIM ile sürdürülebilir tasarım ve geliştirme

BIM araçlarının AEC sektöründe kullanılıyor olması iş akışını kolaylaştırdığı kadar nesne temelli veri parametrelerini içinde barındıran araçlarla iş birliği imkânı sağlamaktadır. BIM teknolojisi kavramsal tasarım aşamasından yıkıma kadar enerji modelleme, yapı yaşam döngüsü analizi, gölge ve güneş ışıması analizi, gün ışığı analizi, bina yönelimi, kütle yerleşimi, bina kabuğu, yenilenebilir malzemeler ve enerji potansiyeli gibi birçok simülasyon gerçekleştirerek veri sağlanmasında katkıda bulunmaktadır.

Enerji performans analizi yapan yazılımların gelişmesindeki hedef tasarım kararlarını almadan önceki geri bildirimler ile tasarım alternatiflerini değerlendirebilmektir. Schlueter ve Thessling (2008) simülasyon araçları ve yapı bilgi modelleme ile bağlantısı hakkında gerçekleştirdikleri araştırmalarda, Energy-10, EnergyPlus ve DOE-2 gibi simülasyon araçlarının BIM'in yaygınlaşmasından daha önce geliştirildiğini belirtmişlerdir. BIM'in enerji simülasyonlarına katkısı dijital ikiz oluşturarak daha güvenilir sonuçlar alınabilmesini sağlamaktır. Enerji analizleri tasarımın tüm evrelerinde yapılabilmektedir. Geleneksel proje yöntemlerinde analizler tasarımın bitimine doğru gerçekleştirilmektedir. Kavramsal tasarım evresi, sürdürülebilirliğin sağlanmasında ve olabilecek hataların önlenmesinde en etkili aşama olmaktadır (Azhar ve diğ.,2009). Aynı zamanda kesin proje aşamasına geçmeden önce düşük maliyetli çözümler bulunabilmektedir.

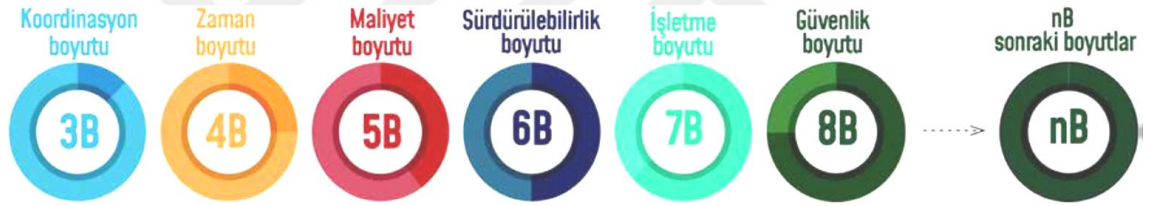
Geleneksel iş akışı 2 boyutlu verileri temel alan, tarafların birbirinden bağımsız projelendirme işlemlerini gerçekleştirdiği yöntemdir. Bu süreç zaman alan, karmaşık ve

bilgi aktarımlarında hataların daha çok yaşandığı ve fark edilmesinin zor olduğu bir süreçtir. BIM entegre sistem olarak çalıştığından iş akışını kolaylaştırmakta ve hataları düzeltmede zaman kazanmaktadır.

Sürdürülebilir tasarım ve geliştirme projelerinin sonucunda enerji etkinliğinin sağlanması, yapı yaşam süresinin uzaması, sera gazları salınımının azalması ve konfor artışı gibi beklentiler olmaktadır.

2.3.6. Sürdürülebilir bina tasarımı için modelleme ve enerji simülasyonu sağlayacak BIM tabanlı yazılımlar

Sürdürülebilirlik BIM'in altıncı boyutu olarak ele alınmaktadır (Şekil 2.7.). Projenin sürdürülebilirlik kriterlerinin kavramsal modelde tahmin edilip erken çözümler için önlem alınmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.7. BIM ile model tabanlı çok boyutlu çalışma (Ofloğlu, 2021)

BIM'in bina sürdürülebilirliği için planlama ve tasarımda yardımcı olabileceği farklı alanlar aşağıdadır (Krygiel ve Nies, 2008);

- Binanın yönelimini belirlemek (enerji maliyetlerini azaltabilecek iyi bir yönelim seçmek),
- Bina kütlesini analiz etmek (bina formunu analiz etmek ve bina cephesinin optimizasyonu için eşdeğer şeffaflık oranı gibi çeşitli faktörlerin analizi),
- Güneş ışığı analizi yapmak (kullanılacak yapay ışık sayısını azaltarak, gereksiz enerji tüketimini engellemek için),
- Su toplama potansiyelini araştırmak (bir binadaki su gereksinimini azaltmak için),
- Bina enerji performansını modellemek (enerji ihtiyaçlarını azaltmak veya düşük enerji maliyetlerine katkıda bulunabilecek yenilenebilir enerji seçeneklerini analiz etmek için),

- Sürdürülebilir malzemelerin uygunluğunu incelemek (malzeme ihtiyaçlarını azaltmak ve geri dönüştürülmüş malzemeler kullanmak için),
- Saha ve lojistik yönetimini tasarlamak (atıkları ve karbon ayak izlerini azaltmak için).

Yukarıda özetlenen yolların BIM yazılımlarında gerçekleştirilebilmesi için yazılım geliştirme ve iyileştirme çalışmaları halen devam etmektedir. Aşağıdaki çizelgelerde BIM yazılımları ve kullanıldıkları boyutlar gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Kavramsal tasarım ve fizibilite aşaması

Kavramsal Tasarım ve Fizibilite Aşaması	
Autodesk / Revit Architecture	Kavramsal 3d modelleme
Graphisoft / Archicad	Kavramsal 3d modelleme
Google / Sketchup Pro	Kavramsal 3d modelleme
Nemetschek / Vectorworks Designer	Kavramsal 3d modelleme
Bentley Systems / Bentley Architecture	Kavramsal 3d modelleme
Tekla / Tekla Structure	Kavramsal 3d modelleme
Trelligence / Affinity	Kavramsal 3d modelleme
Beck Technology / Dprofiler	Kavramsal 3d modelleme ve maliyet hesabı
Vico Software / Vico Office	Kavramsal 5d modelleme (3d + maliyet + metraj)

Çizelge 2.4. Mimari modelleme ve sağlayıcılar

Mimari Modelleme ve Sağlayıcılar
Autodesk Revit Architecture
Garphisoft Archicad
Nemetschek Allplan Architecture
Gehry Technologies / Digital Project Designer
Nemetschek Vectorworks Architect
Bentley Architecture
4Msa İdea Architectural Design (Intellicad)
Cadsoft Envisioneer
Softtech Spirit
RhinoBIM (Beta)

Çizelge 2.5. Statik modelleme ve sağlayıcılar

Statik Modelleme ve Sağlayıcılar
Autodesk Revit Structure
Bentley Structural Modeler
Bentley RAM, STAAD and ProSteel
Tekla Structures
CypeCad
Graytec Advance Design
StructureSoft Metal Wood Framer
Nemetschek Scia
4Msa Strad and Steel
Autodesk Robot Structural Analysis

Çizelge 2.6. Mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat modelleme ve sağlayıcıları

Mekanik, Elektrik ve Sıhhi Tesisat Modelleme ve Sağlayıcıları
Autodesk Revit MEP
Bentley Hevacomp Mechanical Designer
4Msa FinaHVAC + FineLIFT + FineELEC + FineSANI
Gehry Technologies – Digital Project MEP Systems Routing
CadMep (Cadduct / Cadmech)

Çizelge 2.7. İnşaat simülasyonları ve maliyet analizi 4D+5D

İnşaat Simülasyonları ve Maliyet Analizi 4D+5D
Autodesk Navisworks
Solibri Model Checker
Vico Office Suite
Vela Field BIM
Bentley ConstrucSim
Tekla BIMSight
Glue (by Horizontal Systems)
Synchro Professional
Innovaya

Çizelge 2.8. Sürdürülebilirlik yazılım ve sağlayıcıları (6D)

Sürdürülebilirlik Yazılım ve Sağlayıcıları (6D)
Autodesk Ecotect Analysis
Autodesk Green Building Studio
Graphisoft EcoDesigner
IES Solutions Virtual Environment VE-Pro
Bentley Tas Simulator
Bentley Hevacomp
DesignBuilder
Dialux

Çizelge 2.9. Tesis yönetim yazılımı ve sağlayıcıları (7D)

Tesis Yönetim Yazılımı ve Sağlayıcıları (7D)
Bentley Facilities
FM:Systems FM:Interact
Vintocon ArchiFM (For ArchiCAD)
Onuma System
EcoDomus
IBM Maximo

Çizelge 2.10. Dosya paylaşımı ve iş birliği

Dosya Paylaşımı ve İş birliği
Autodesk, BIM 360
Bentley, ProjectWise Share
Allplan Share BIMPlus

2.3.7. Dünya’da BIM kullanımı

BIM kullanım oranı dünyada giderek yükselmektedir. McGraw-Hill’in 2014 yılında açıkladığı raporda bazı ülkelerde (İngiltere, Fransa, Almanya gibi) kullanan taşeron firmalardan %12’sinin 6 yıldan uzun süre BIM deneyimine sahip oldukları açıklanmıştır. ABD ve Kanada’da aynı süre deneyime sahip firmaların oranı %36’dır. İnşaat sektöründe BIM’in birçok ülkede kullanılıyor olmasının en büyük sebeplerinden biri devlet teşviği ve zorunluluğu olmasıdır. 2011 yılında İngiltere’de “UK Construction Strategy” ile 2016 yılı başlangıcı ile kamu projelerinde BIM’i zorunlu kılması diğer ülkelere de örnek olmuştur (Mordue ve diğ., 2016).

İngiltere’de BIM’in kamu yapılarında zorunlu kılınmasının nedeni AEC ve gayrimenkul sektörünün verilerini sağlıklı bir şekilde yönetmek gereksinimidir. 2013 yılında sektörün başarısını artırmak için “Construction 2025- Industry Strategy for Construction” başlıklı vizyon ve aksiyon planı yayınlamışlardır. Plan şu amaçları kapsamaktadır (UK Construction 2025, 2013);

- Malzeme maliyetlerinin düşürülmesi,
- Hızlı inşaa,
- Çevreci çözümler,
- Yapı malzemeleri ve ürünleri ihracatını geliştirmek

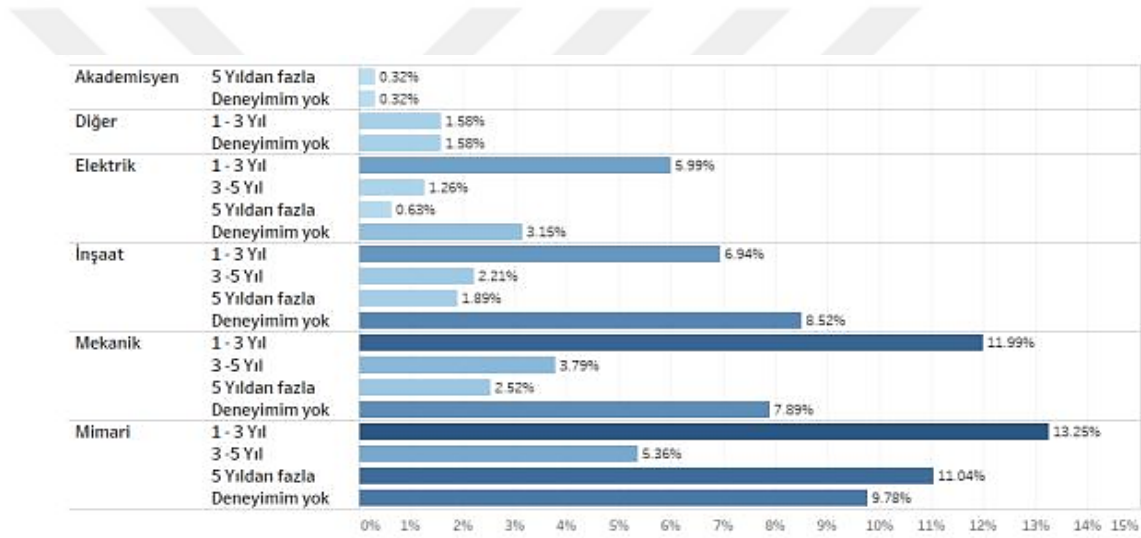
2007 yılı başlarında General Services Administarion (GSA) mekânsal doğrulama, lazer tarama, 4D faz planlama, enerji performansı vb. gibi çeşitli amaçlar için BIM kılavuzları hazırlamıştır. Bu sayede Amerika inşaat sektöründe BIM kullanımı yaygınlaşmıştır. “GSA haricinde; denizcilik, havacılık ve askeri alanda hizmet veren devlet kurumları da BIM’i kullanmaktadır. 2012 yılı ortalarında; National Institute of Building Sciences (NIBS) ve Building Smart Alliance, ABD için National BIM Standard yayınlamıştır (National BIM Standard, 2012). BIM kullanım oranlarının oldukça yüksek olduğu Amerika’da, genel bir standart yoktur. GSA BIM Guides, NBIMS-US, Veterans’ Affair (VA) ve US ACE yaygın olarak kullanılan kılavuzlardır” (Mordue ve diğ. 2016).

Singapur’da da BIM kullanımı yüksek orandadır. 200’den fazla projenin onayı model tabanlı e-sunum yoluyla alınmış olup ilk BIM tabanlı bina izin sistemi kullanılmıştır. Finlandiya’da ise 2007 yılından beri kamu yapılarında BIM kullanımı için devlet teşviği bulunmaktadır. Norveç’te de devlet zorunluluğu bulunmaktadır (McGraw-Hill Construction,2014).

Fransa’da bakanlık aracılığı ile oluşturulmuş konut üretimine yönelik “BIM kullanıcı grubu (BIM task group)” bulunmaktadır. Almanya ise 2015 yılında Ulaştırma ve Dijital Altyapı Bakanlığı tarafından BIM kullanımını kapsayan aksiyon planı yayınlamıştır. Hollanda su yolu ve karayolu projeleri için “Building Information Modeling Council” kurmuştur.

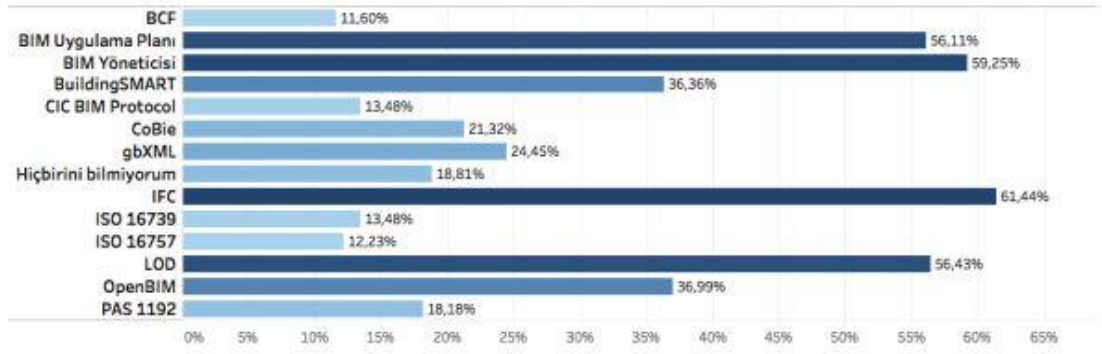
2.3.8. Türkiye’de BIM kullanımı

2018 yılında BIMGenius BIM teknolojisinin akademisyenler ve proje paydaşları tarafından ne kadar kullanıldığına dair bir anket çalışması yapmıştır. Katılımcıların çoğunluğunun mimar olduğu bilinmektedir. Mühendislik disiplinlerinden sırası ile makine, inşaat ve elektrik mühendisliği olarak katılım gösterilmiştir. Meslek grupları için doğru değerlendirme adına değinilmesi gereken nokta akademisyen katılımcıların sayısının 2 olduğudur. Bu sebepten akademisyenlerin eğilimleri hakkında net bir bilgiye varamayız. Katılımcıların BIM tecrübeleri sonucu 1-3 yıllık tecrübeye sahip olarak %13,25 ile mimarlık disiplini katılımcıları ilk sıradadır. Mekanik %11,99 ile ikinci sırada, inşaat %6,94 ile üçüncü sırada, %5,99 ile elektrik dördüncü sırada olmuştur (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Anket katılımcılarının disiplin ve BIM deneyimi bazında dağılımı (BIMgenius, 2018)

BIM ile ilgili standart ve kavramların bilinirliğini ölçmek için yapılan anket çalışmasında BIM ile ilgili tecrübesi olmayan katılımcılar haricinde bile hiçbir başlıkta ilgili başlığı biliyorum diyenlerin oranı %65 üzerine çıkmamıştır. CIC BIM protocol, PAS 1192 gibi başlıklarda çıkan düşük yüzdeler dikkat çekmiştir (Şekil 2.9.).



Şekil 2.9. BIM ile ilgili standart ve kavramlar (BIMgenius, 2018)

ISO yeni standartları varolan iki İngiliz standardına bağlamıştır: PAS 1192 ve PAS 1192-2. PAS1192-2 inşaat bilgilerini yönetmek için gereken uygulamaları ortaya koyan bir standarttır. BIM konusu Türkiye’de yazılımı öğrenmeye indirgenmekte olduğu için gerektirdiği sistematik yaklaşım çoğu kurum tarafından hayata geçirilememektedir. Genel olarak katılımcıların BIM yöneticisi, LOD, BIM uygulama planı gibi kavramları bildiği sonucuna ulaşılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Bina Bilgi Modelleme Aracılığı ile Simülasyon Çalışması: Toplu Konut Projesi Örneği

Bu bölümde yapı bilgi modellemenin yapıların tasarım aşamasında sürdürülebilir geliştirilmelerindeki etkisini değerlendirebilmek üzere seçilen bir konut binası üzerinde yapılan uygulama çalışmasının gün ışığı analizi ele alınmıştır.

Yapı bilgi modeli Revit2022 programı ile oluşturulan projenin gün ışığı analizi BEM (Bina Enerji Modeli) aracı bulut tabanlı bir araç olan Autodesk Insight360 seçilmiştir. Insight ile yapılan işlemler Green Building Studio servisinde gerçekleştirilmektedir. Seçilen araçlar üzerinden BIM modeli, inşası tamamlanmış olan konut binasının uygulama bilgileri ile malzeme termal bilgilerinin de eklenmesi ile LOD 300 seviyesinde modellenmiştir. Seçilen aracın referans aldığı rapor verileri LEED sertifikası ile uyum sağlamaktadır. Bina ile ilgili gün ışığı analizleri yapılarak değerlendirilmiştir.

3.1.1. Proje hakkında genel bilgiler

Bu çalışma için seçilen proje 2019/2021 yıllarında tamamlanan İstanbul ili, Silivri ilçesinde yer alan 758 konutluk bir toplu konut projesidir. Bu tez çalışması için projede yer alan B+Z+5K bir blok seçilmiştir (Şekil 3.1.). Modellenen blokta her katta brüt alanı 120,36 m² olan dört daire bulunmaktadır. Bloklar tünel kalıp teknolojisi ile inşa edilmiştir. Yapının coğrafi konumuna ilişkin koordinatlar: enlem ve boylam, 41.01 kuzey, 28.58 doğu şeklindedir.



Şekil 3.1. Seçilen blok görünümü (http://www.aydur.com/657-silivri-758-konut-uid_195.html)

Yapımı tamamlanmış projenin teknik çizim, dokümanları ile ısı yalıtım raporu ve ısı kaybı bilgilerini içeren hesap raporuna ulaşılmıştır. Projede bina elemanlarının ısı geçirgenlik katsayıları yürürlükteki ‘TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliği’ne göre belirlenmiştir. Söz konusu yönetmeliğe göre yapının inşa edileceği ısı bölgesi (İSTANBUL) 2. ısı bölgesindedir.

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

Elde edilen hesap raporlarına göre proje aşağıda verilen standartlara uygun olarak hazırlanmıştır:

- Binalarda Isı Yalıtım Kuralları TS 825,
- Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları MMO yayın No:84,
- Havalandırma ve İklimlendirme Tesisleri MMO 2003/297 -3, 2003/296 -3 nolu yayınları,
- Isıtma Sistemleri yapılara ait tüm ısı kaybı hesapları için DIN 4701 enfiltrasyon metodu

Proje hesap raporuna göre tesisat bilgileri: Binanın bodrum katında bulunacak doğalgaz yakıtlı merkezi ısıtma kazanı vasıtası ile tüm binanın ısıtma ihtiyacı karşılanmaktadır. Bodrum katta bulunan dağıtım kolektörleri vasıtası ile de bina içi tesisat dağıtımları gerçekleştirilmiştir. Binanın toplam ısı kaybı değeri göz önüne alınarak kalorifer kazanı seçilmiştir. Isıtma kazanı, doğalgaz yakıtlı 3 geçişli tam silindirik kalorifer kazanı seçilmiştir. Mahallerin ısıtılması için PKK 500 tipi panel radyatörler kullanılmıştır. Radyatör su rejimi 80/60 °C’ dir. Döşeme altı toprak sıcaklığı 9 °C, dış duvara bitişik toprak sıcaklığı 3 °C’ dir (Mekanik Tesisat Projesi Hesap Raporu).

3.2. Bina Bilgi Modeli Gün Işığı Simülasyon Çalışması

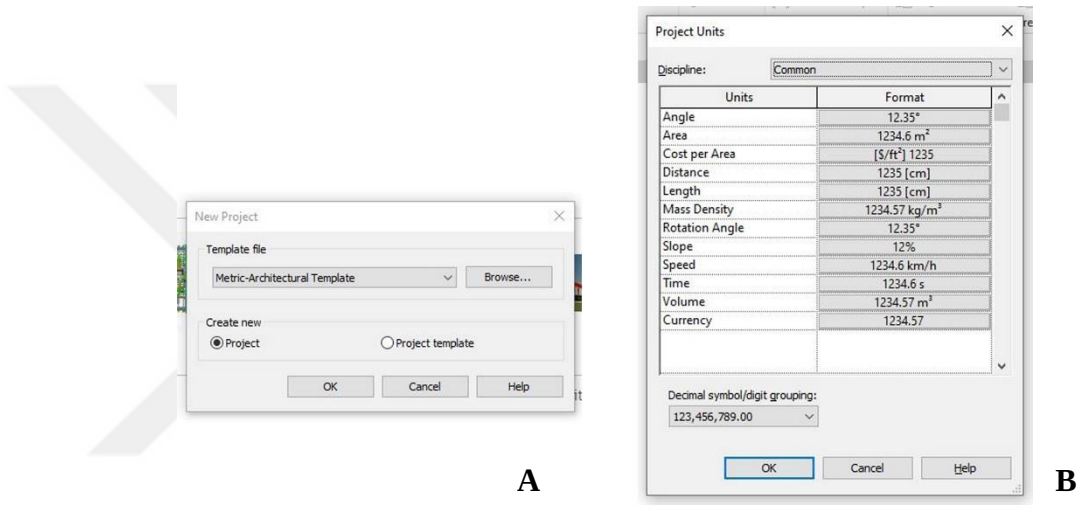
3.2.1. Autodesk Revit 2022 ile modelleme süreci

Revit aracı içerisinde bulut tabanlı çalışan BEM aracı Insight olması ve AEC (Architecture, Engineering & Construction) sektöründe yaygın kullanılmasından dolayı BIM aracı olarak seçilmiştir. Model teknik çizimler, raporlar ve inşaatın uygulama aşamasında sahada görevli olan inşaat mühendisinden alınan malzeme değişiklik

bilgilerine göre üç boyutlu hale getirilmiştir. Projenin temel verileri olan katların sayısı, yükseklikleri, projenin konumu, meteoroloji istasyonu seçimi, HVAC sistem seçimi, ısı analiz yönteminin belirlenmesinin yanı sıra malzeme termal bilgileri gibi gerekli bilgiler veri olarak aktarılmıştır.

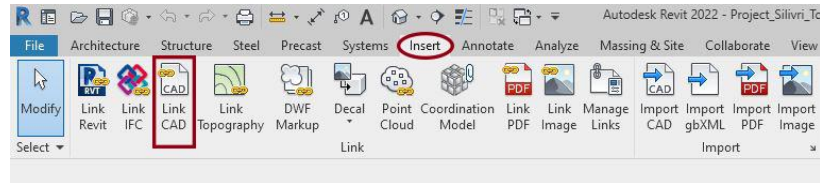
Revit2022 ile modelleme

- Revit dosyasında ilk açılan sayfadaki Models kısmından mimari arayüz seçilerek çizim ortamına gelinmiştir. Ardından Units ayarları yapılarak ölçü birimi seçilmiştir. (Şekil 3.2.)



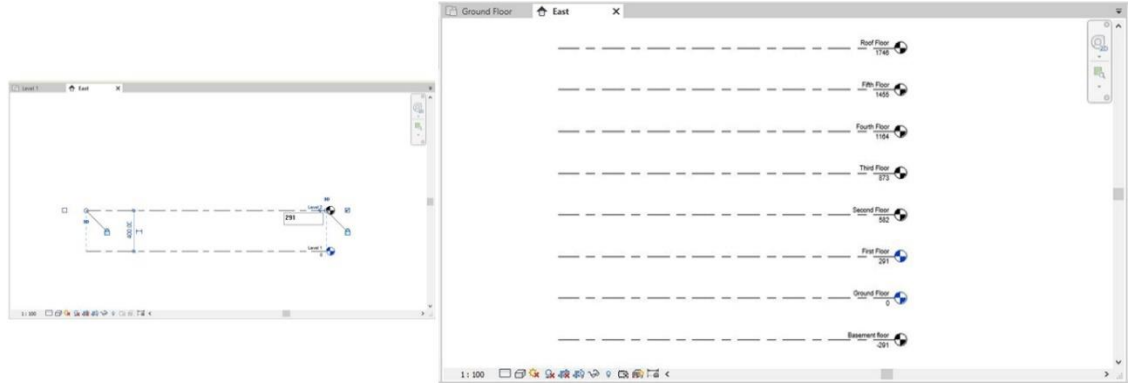
Şekil 3.2. Revit2022 arayüz seçim ekranı ve Units ayar ekranı A) Arayüz ekranı B) Ayar ekranı

- Revit her katman için ayrı bir sayfa düzeninde çalıştığından öncelikle kat planları .dwg dosyasında ayrı ayrı kaydedilmiştir. Kaydedilen dosyalar Revit ortamına iki yöntem ile alınabilmektedir. Insert sekmesinin altında yer alan ImportCAD veya LinkCAD. Autocad dosyasında daha sonra yapılabilecek değişikliklerin Revit ortamına da yansımaları sağlamak için LinkCAD yöntemi tercih edilmiştir (Şekil 3.3.).



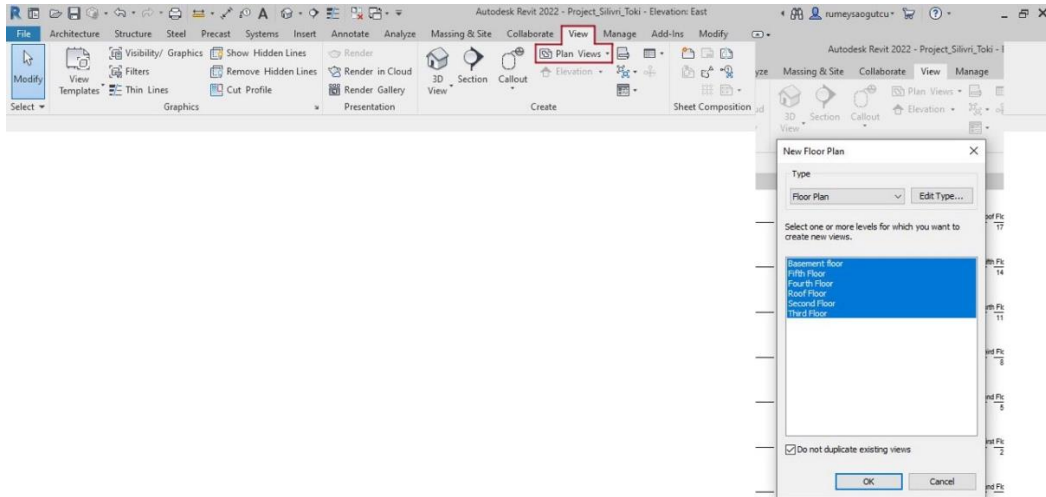
Şekil 3.3. CAD dosyalarının Revit2022 ortamına LinkCAD yöntemi ile aktarılması

- Kat yükseklikleri project browser da yer alan görünüş bölümünden girildikten sonra her kata ait isimlendirme yapılır (Şekil 3.4.).



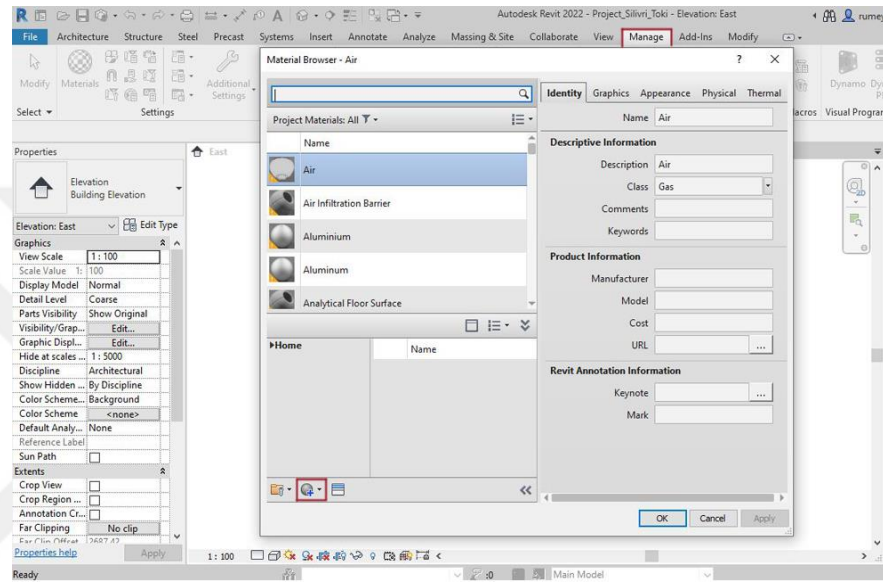
Şekil 3.4. Project browser’da yer alan görünüş bölümünde kat yüksekliği ayarlama yöntemi

- Katların plan düzleminde de görünmesi için view sekmesi altındaki plan views bölümünden tüm katlar seçilir. Bu şekilde katlar Project browser’ da yer alan Floor plan kısmında görünmüş olacaktır. Daha sonra dwg altlığı üzerinden Grid ile akslar oluşturulmuştur (Şekil 3.5.).



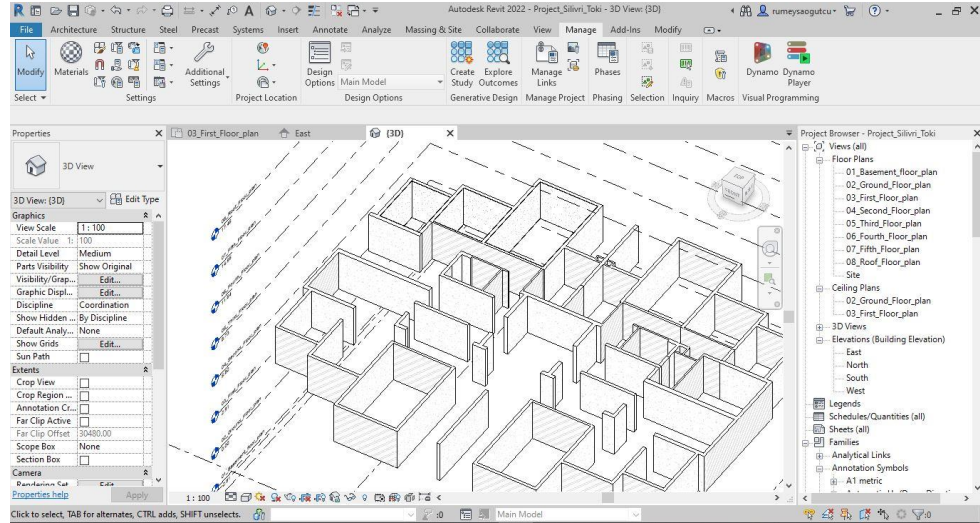
Şekil 3.5. Görünüşte oluşturulan katların plan düzlemine atanmasını sağlayan yöntem

- Modele başlamadan Analyze sekmesi altında yer alan Location aracından proje konum bilgisi, meteoroloji istasyon seçimi, Energy Settings aracından ise yapıya ait bina tipi, kullanım süresi, HVAC sistem gibi bilgiler seçilmiştir.
- Ardından modele başlamak için gerekli olan elemanların malzeme bilgileri Manage sekmesi altında yer alan Materials bölümünden girilerek kullanılacak olan elemanlar için hazır edilmiştir (Şekil 3.6.).



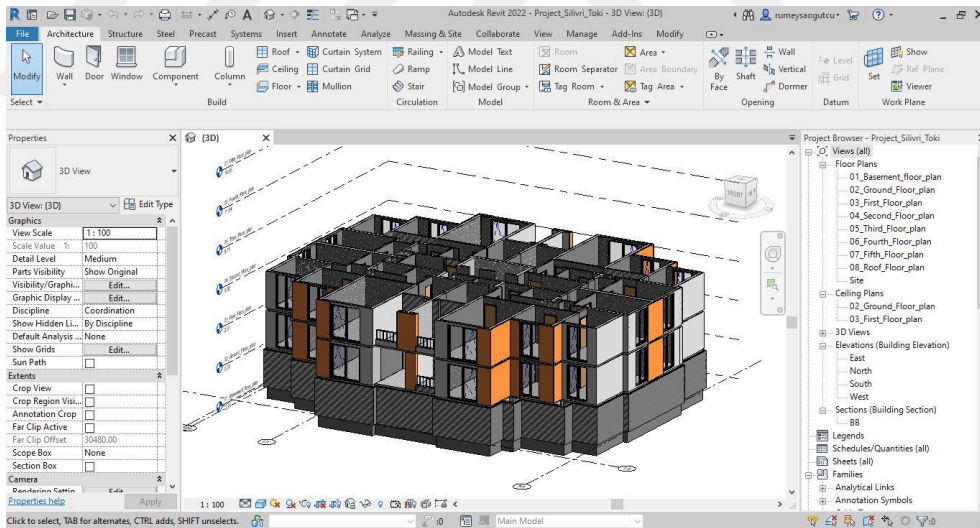
Şekil 3.6. Malzeme bilgilerinin girilerek malzeme kütüphanesinin oluşturulduğu yöntem

- Sırasıyla duvar ve döşeme elemanlarının modellenmesi için gerekli olan elemanlar architecture wall aracı ile oluşturulmuştur. Şekil 3.7’de birinci kat planı sıvalı duvar çizimi görülmektedir.

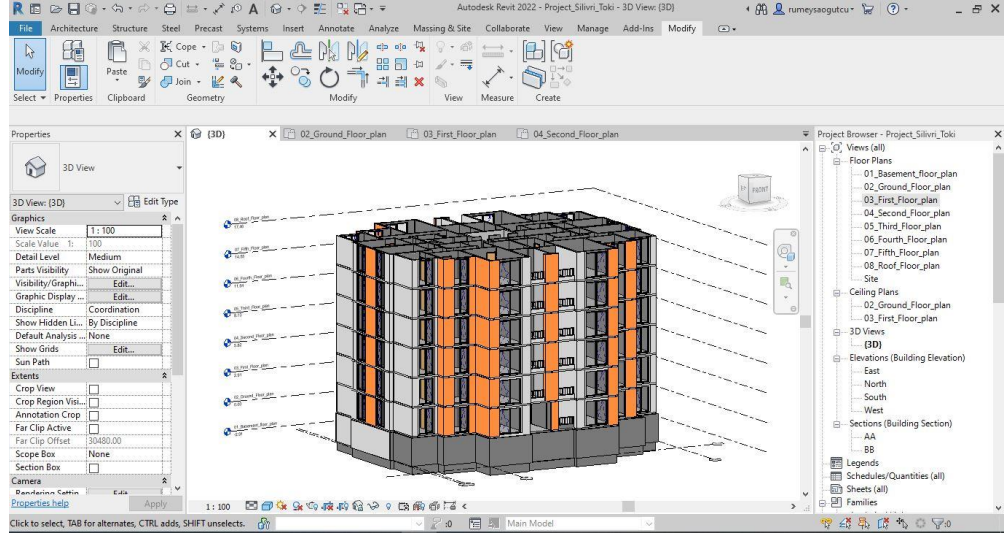


Şekil 3.7. Birinci kat planı sıvalı duvar çizimi görünümü

- Bodrum kat, zemin kat ve birinci normal kat planı modellenmiş olan yapının pencere, kapı, kat merdiveni ve cephe kaplamaları gibi mimari elemanları eklendikten sonra (Şekil 3.8.) diğer katlar kopyalanarak çoğaltılmıştır (Şekil 3.9.).

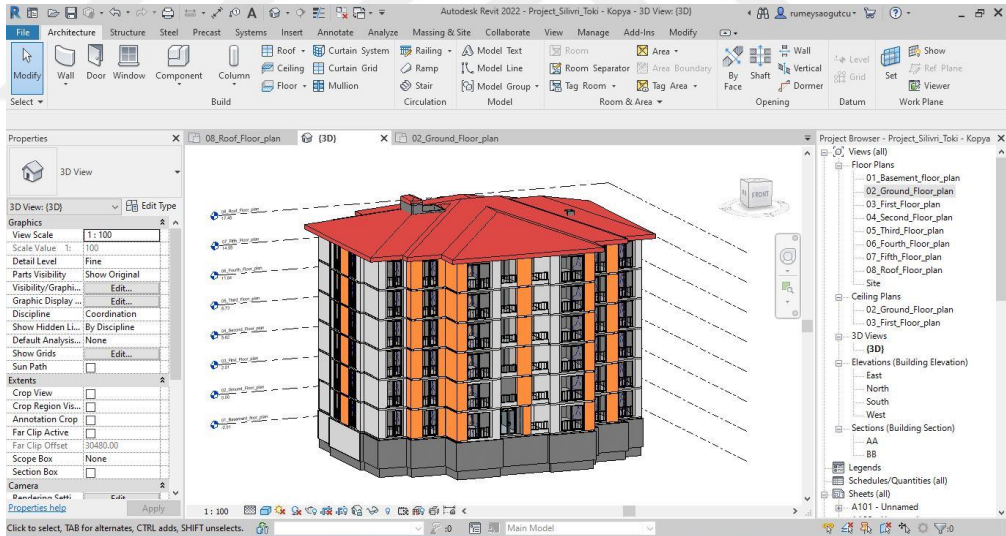


Şekil 3.8. Bodrum, zemin ve birinci katı tamamlanmış model görünümü



Şekil 3.9. Katları çoğaltılmış model görünümü

- Pencere korkulukları ve çatı elemanı eklenmesiyle model tamamlanmıştır (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Modelin tamamlanmış görünümü

Aşağıda Revit modeli tamamlanmış projenin programdan alınan teknik çizimleri yer almaktadır.

Şekil 3.11. Bodrum kat planı

Şekil 3.12. Zemin kat planı

Şekil 3.13. Birinci kat, ara kat ve en üst kat planları (kat 1,2,3,4,5)

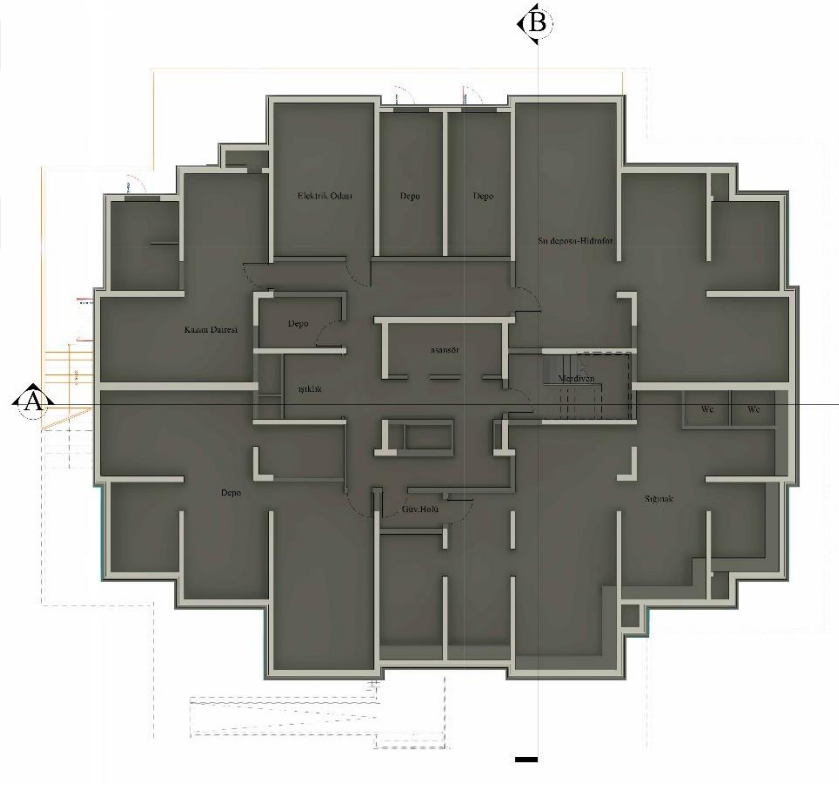
Şekil 3.14. Çatı arası ve çatı planı

Şekil 3.15. AA ve BB kesitleri

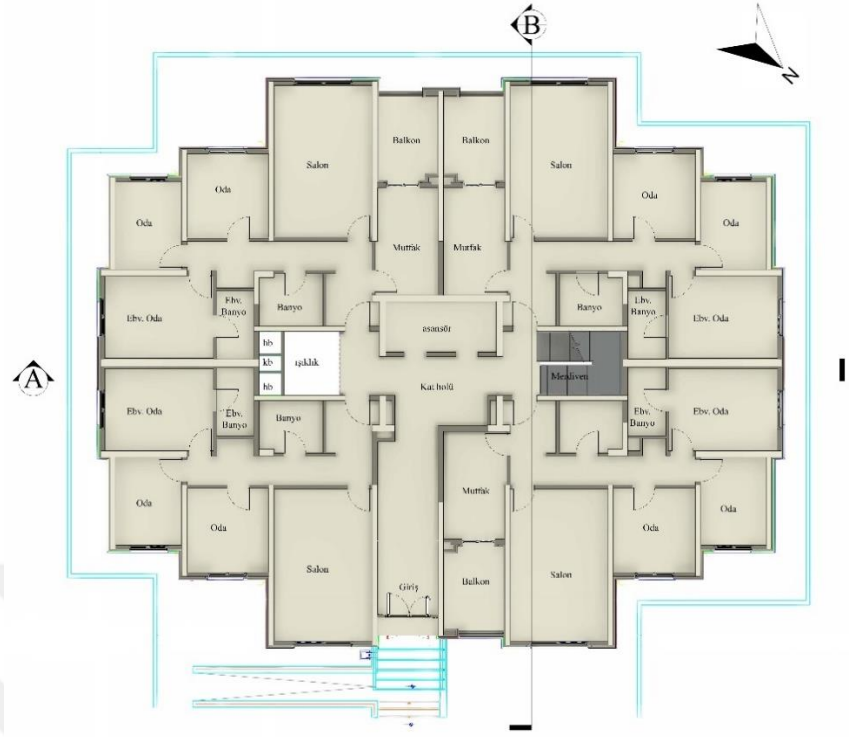
Şekil 3.16. Kuzey-doğu ve güney-batı cepheleri

Şekil 3.17. Kuzey-batı ve güney-doğu cepheleri

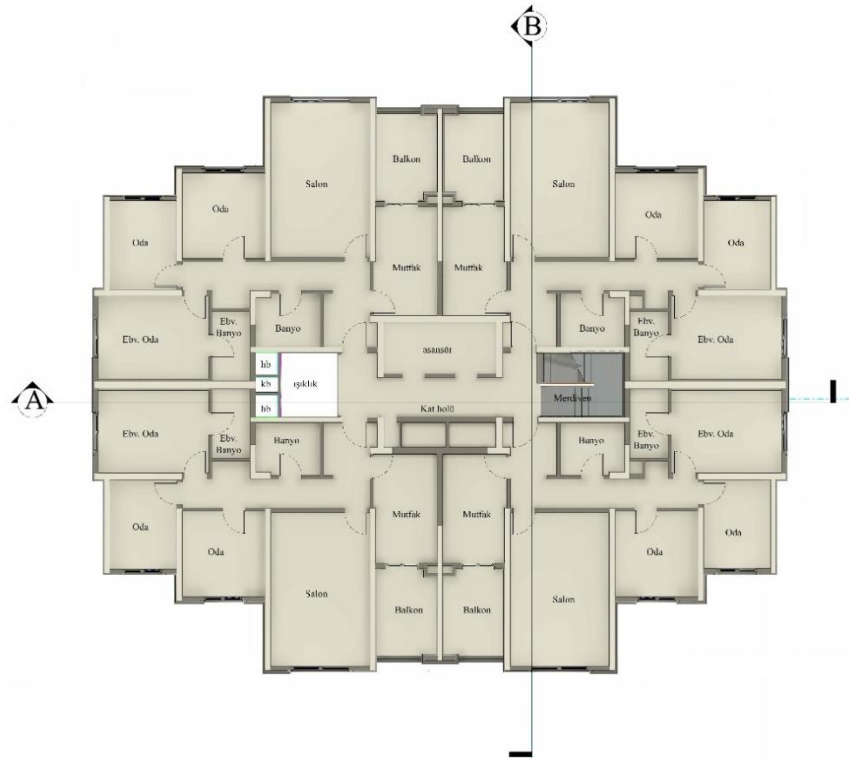
Şekil 3.18. Modellenen projenin mevcut yapı görünümü



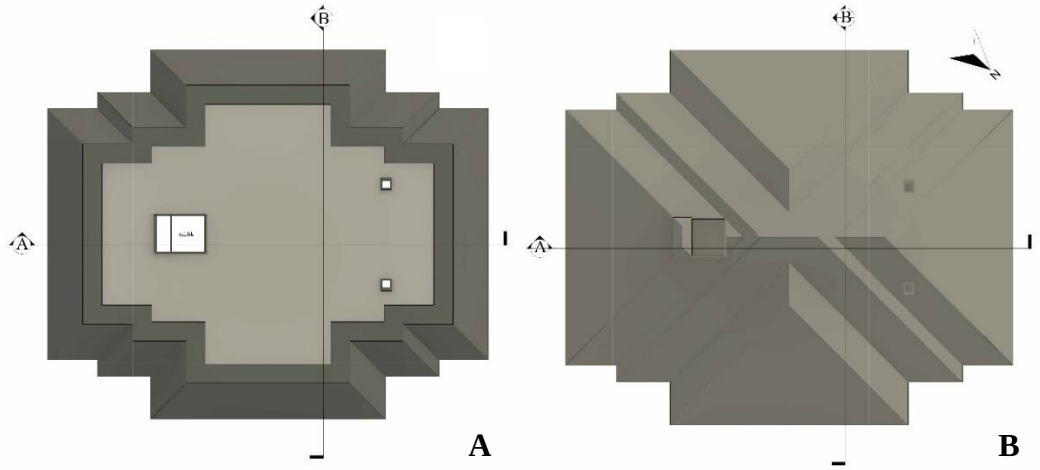
Şekil 3.11. Bodrum kat planı



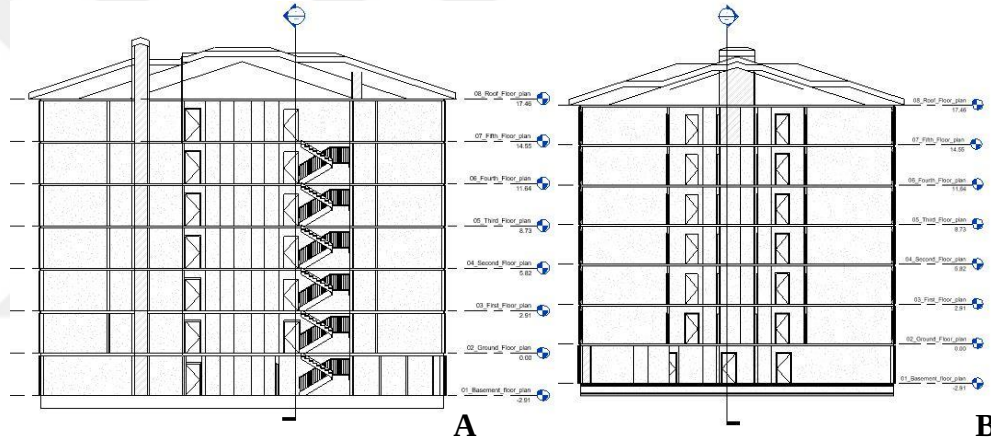
Şekil 3.12. Zemin kat planı



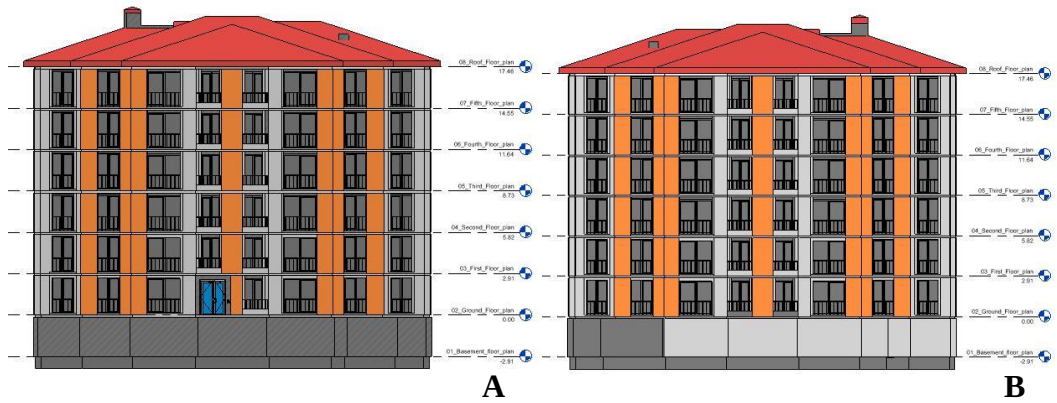
Şekil 3.13. Birinci kat, ara kat ve en üst kat planları (kat 1,2,3,4,5)



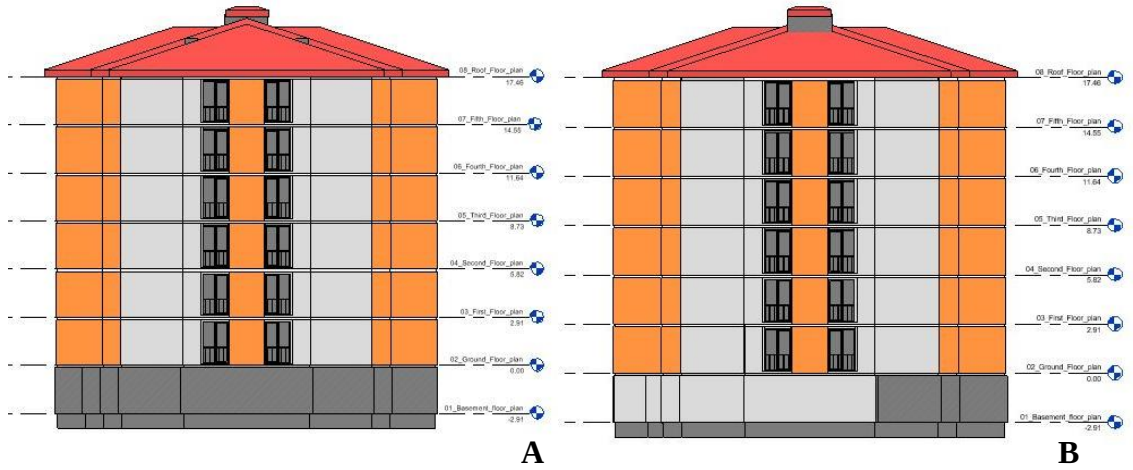
Şekil 3.14. Çatı arası ve çatı planı A) Çatı arası B) Çatı planı



Şekil 3.15. AA ve BB kesitleri A) AA kesiti B) BB kesiti



Şekil 3.16. Kuzey-doğu ve güney-batı cepheleri A) Kuzey-doğu cephesi B) Güney-doğu cephesi



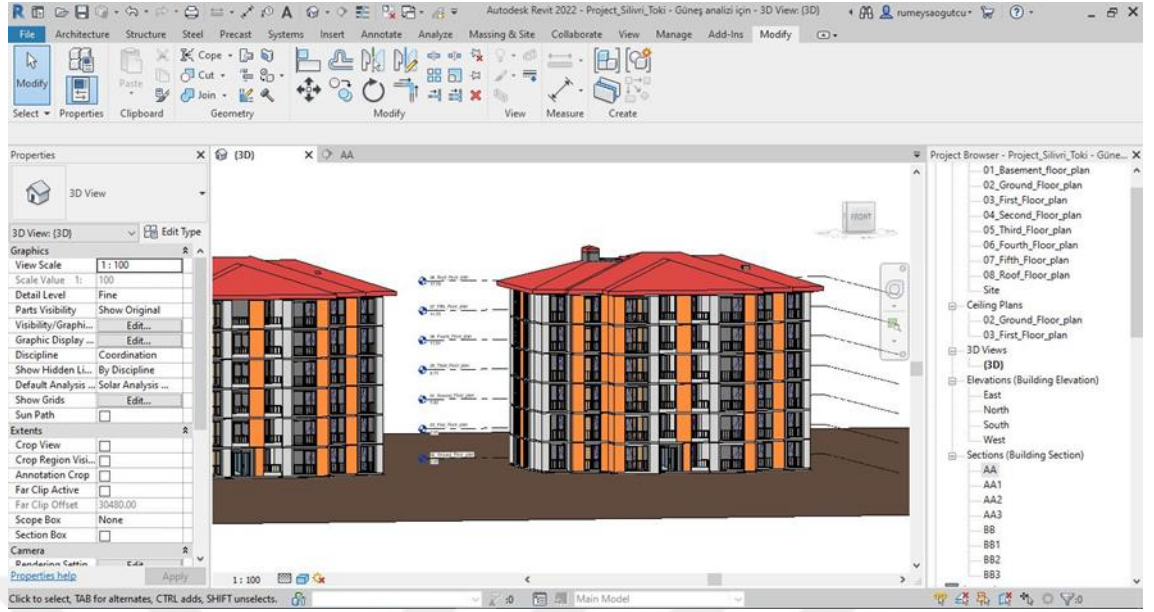
Şekil 3.17. Kuzey-batı ve güney-doğu cepheleri **A)** Kuzey-batı cephesi **B)** Güney-doğu cephesi



Şekil 3.18. Modellenen projenin mevcut yapı görünümü

3.2.2. Gün ışığı/Doğal ışık analizi süreci

Analizlerin gerçeği yansıtması için bina modelini oluşturan akıllı nesnelerin parametreleri ve malzemeler programa ayrıntılı bir şekilde işlenmelidir. Bu sayede programın yanlış veya eksik sonuç vermesi engellenmiş olur. Model için özellikle bina yönelimi, pencere boyutları ve açıklıklar, camlar ve malzeme yansıtma katsayıları, iç duvarlar kontrol edilmiştir. Gün ışığı analizi için gerekli olan çevre binaların modeli de vaziyet planında verilen yerleşime göre programda oluşturulmuştur (Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. Mevcut yapının çevre yapı ile görünümü

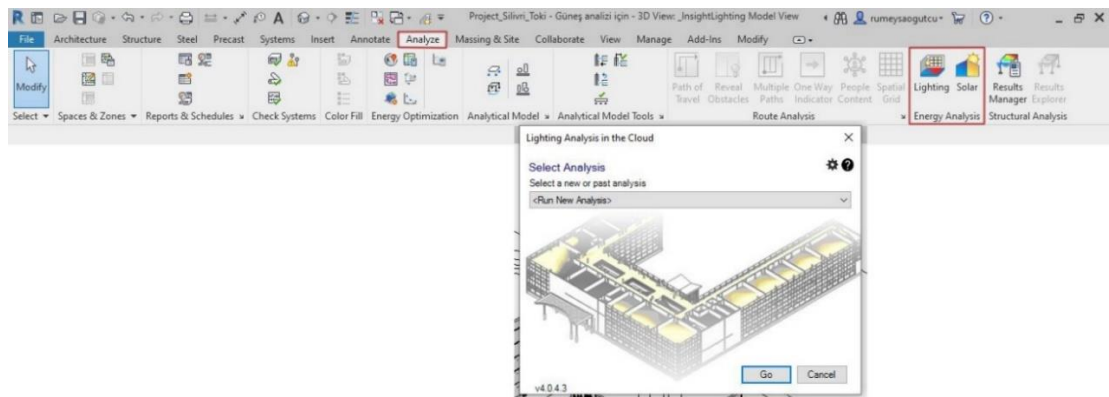
Gün ışığı alımında en önemli elemanlardan biri olan pencere camlarının ısı ve aydınlatma performansları çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Pencere camlarının ısı ve aydınlatma performansı

Cam Tipi	Katman Sayısı	Gün ışığı Geçirgenliği	Gün Işığı Dışa Yansıtma	Gün Işığı İçe Yansıtma	Gölgeleme Katsayısı	U değeri (W/m².K)
Low-E Çift Cam (4+16+4 mm)	2	79%	0,64	11%	12%	1,9

Mevcut binanın analizi

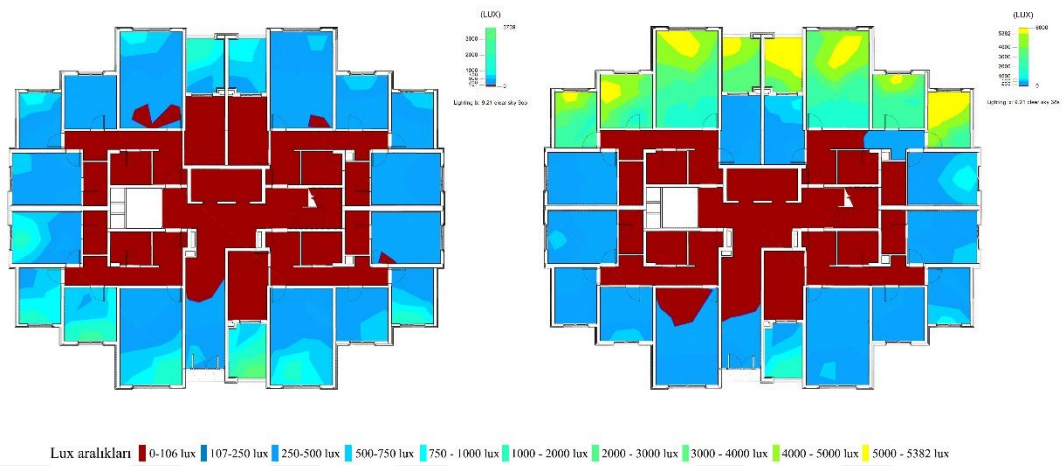
Bu analiz için Revit içerisindeki toollardan Lighting aracılığıyla LEED ile tanımlı referans verileriyle elde edilecek ışık analizi yöntemi tercih edilmiştir (Şekil 3.20.).



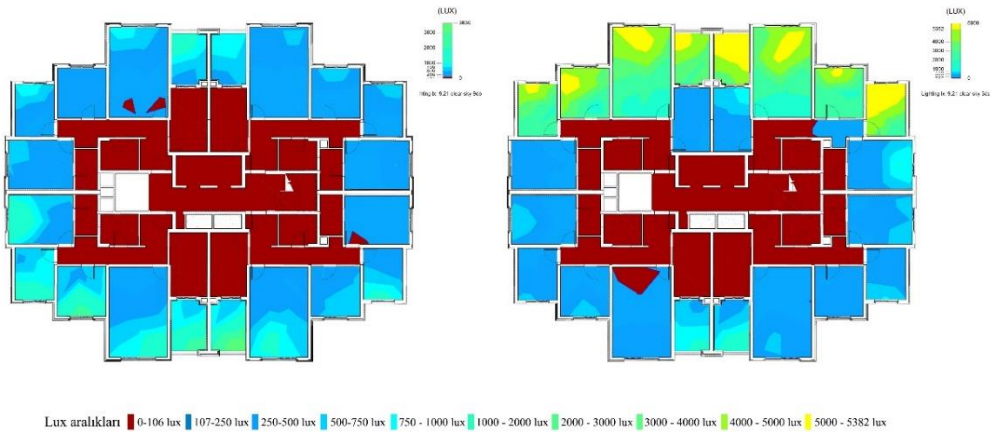
Şekil 3.20. Lighting aracı ile analiz ayarları

LEED analizi seçeneği seçildiğinde, 21 Eylül sabah 09.00 ve öğleden sonra 15.00 için açık hava koşullarında minimum 10 footcandles (fc) (108 lux) ve maksimum 500 fc (5.400 lux) günışığı aydınlatma seviyelerine ulaştığını gösteren bir simülasyon oluşmaktadır.

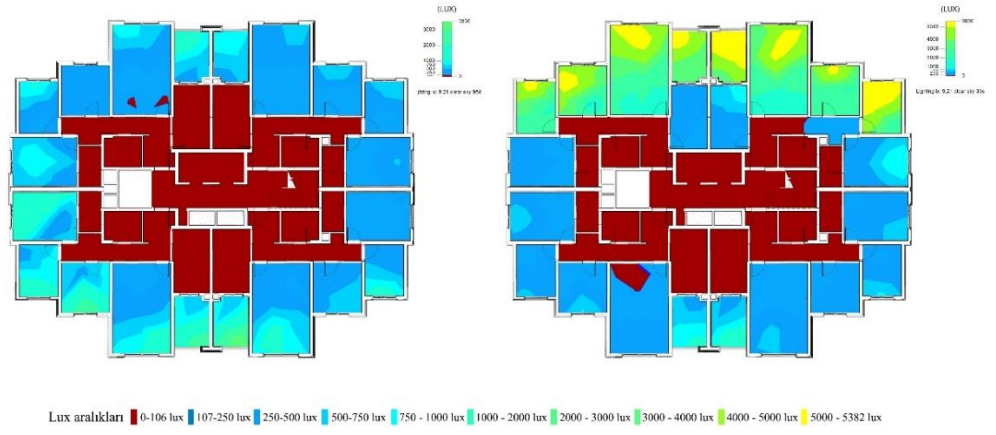
Analiz sonucuna göre zemin kat (Şekil 3.21.), birinci kat (Şekil 3.22.), ikinci kat (Şekil 3.23.), üçüncü kat (Şekil 3.24.), dördüncü kat (Şekil 3.25.) ve beşinci kat (Şekil 3.26) için 09.00 ve 15.00 ‘teki ışık dağılımları şekillerde görünmektedir.



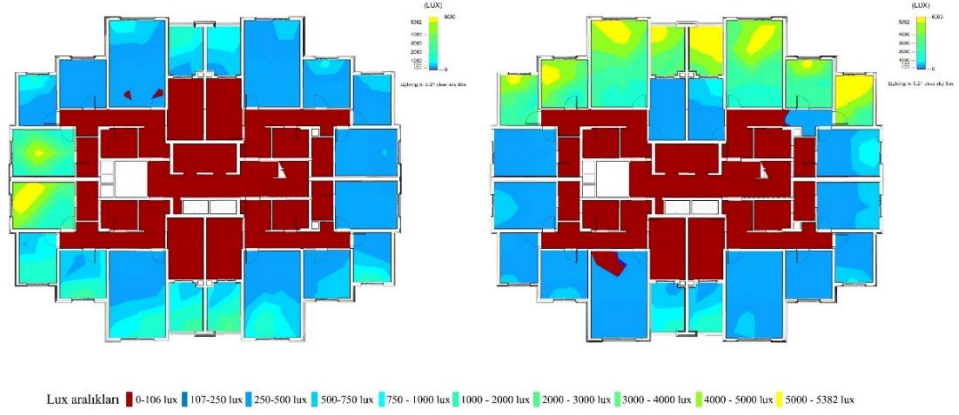
Şekil 3.21. Mevcut bina zemin kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı



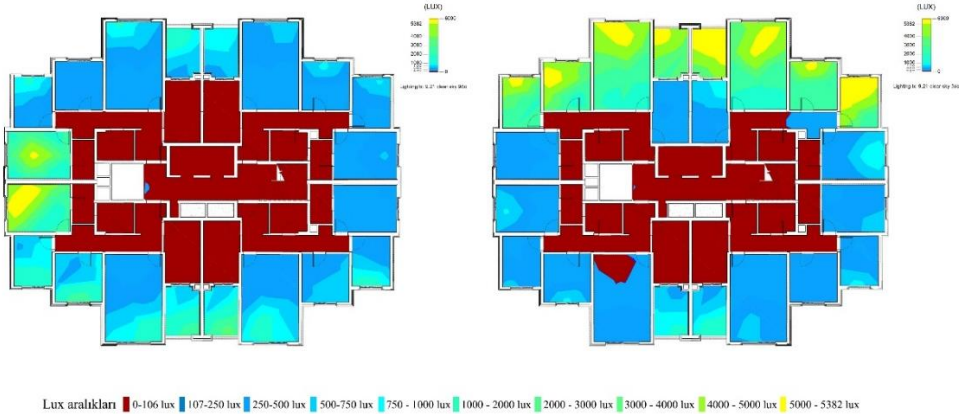
Şekil 3.22. Mevcut bina birinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı



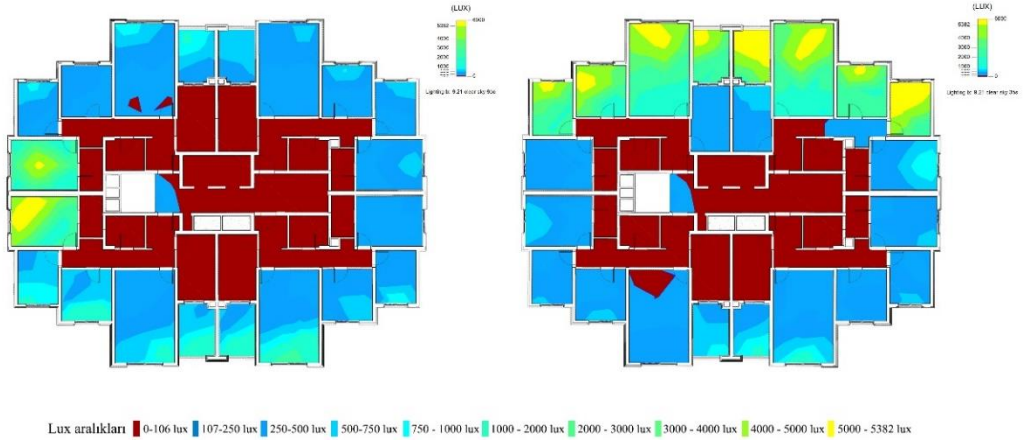
Şekil 3.23. Mevcut bina ikinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı



Şekil 3.24. Mevcut bina üçüncü kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı



Şekil 3.25. Mevcut bina dördüncü kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı



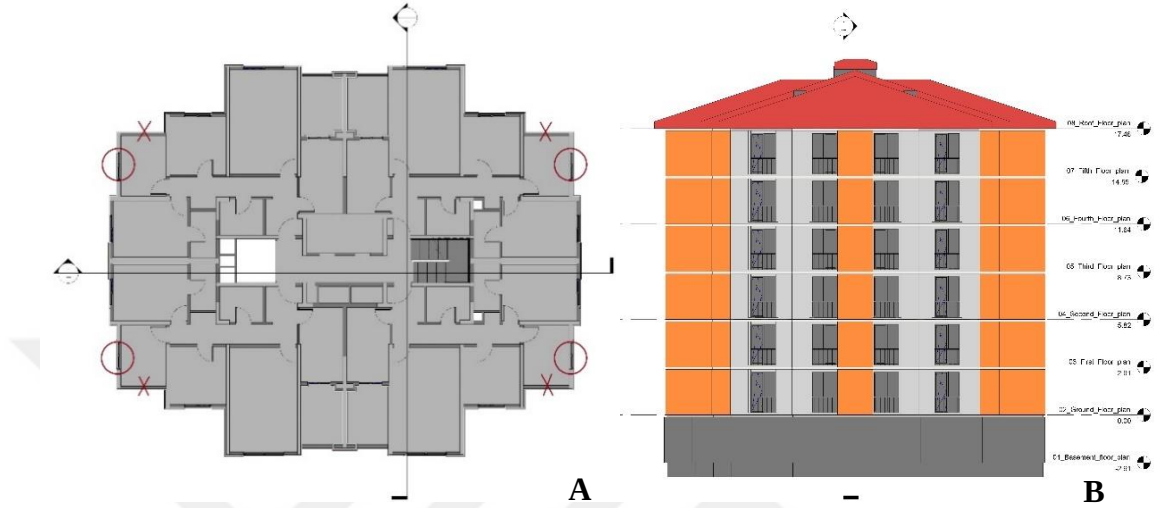
Şekil 3.26. Mevcut bina beşinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı

2011 yılında IESNA tarafından açıklanan “The Lighting Handbook 10th Edition” yayınında konutların iç mekanlarında okuma-çalışma işlevleri ile ilişkili olarak yeterli gün ışığı miktarı için aydınlık düzeyinin alt eşik değeri 300 lux’tür. Analiz sonuçları planlarının altında Insight’ta oluşturulan gün ışığı analizi lejantının bu değer aralığına göre gösterimi verilmektedir. Simülasyonda 300 lux’ün altındaki bölgeler koyu mavi ve bordo renklerde gösterilmektedir.

Günüşiği analizi sonucunda ışıktan faydalanan katlardaki sonuçlar incelendiğinde 21 Eylül tarihinde, saat 09.00 ve 15.00’ da her iki zaman için total hesaplanan ekinoks değerine göre %76’sı 300 lux eşik değerinin altında kalmaktadır. Zemin kat için saat 09.00’ da günüşiği hesabına dahil olan alanlar hesaplandığında %70’i eşik değerinin altında, %1’i eşik değerinin üzerinde ve %29’u eşik değeri içerisinde kalmaktadır. Saat 15.00’ da %59’u eşik değerinin altında, %11’i eşik değerinin üzerinde ve %30’u eşik değeri içerisinde kalmaktadır. Ara katlardan dördüncü kat incelendiğinde saat 09.00’da %62’si eşik değerinin altında, %3’ü eşik değerinin üzerinde ve %35’i eşik değeri içerisinde kalmaktadır. Saat 15.00’da ise %56’sı eşik değerinin altında, %11’i eşik değerinin üzerinde ve %34’ü eşik değeri içerisinde kalmaktadır. Bu tarihte güneş ışınları ekvatora dik düşmektedir. Güz ekinoksu olarak adlandırılan gündüz ve gecelerin eşit olması durumudur.

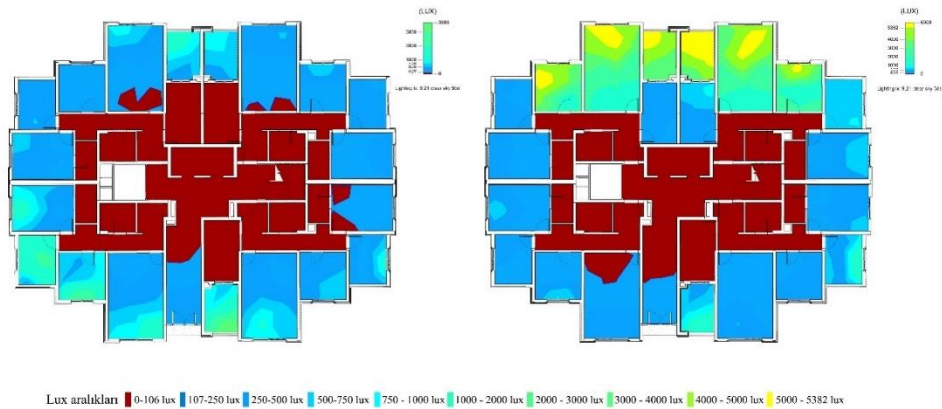
Pencere yönü değiştirilmiş alternatif tasarım analizi

Her katta koridor sonunda bulunan odalardaki kuzey doğu-güney batı cephelerinde yer alan pencerelerin kuzey batı-güney doğu cephelerine alınmış modeli üzerinden analiz yapılmıştır. Şekilde kat planı ve güney doğu görünüşü gösterilmektedir (Şekil 3.27.).

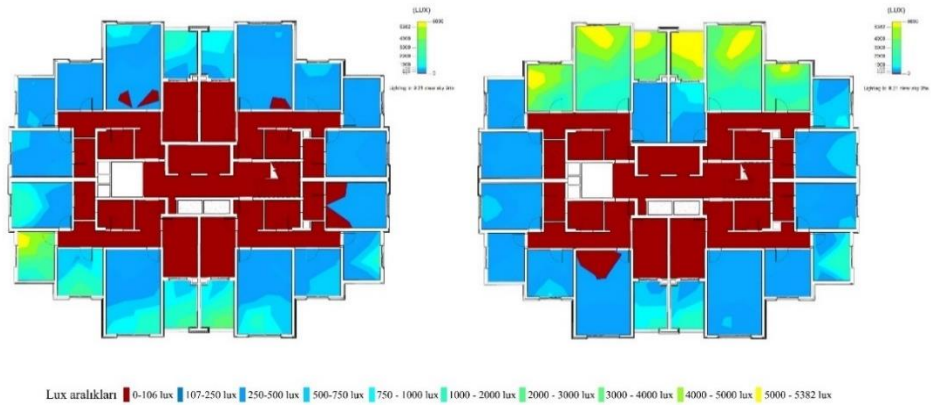


Şekil 3.27. Alternatif tasarım kat planı ve güney doğu görünüşü A) Kat planı B) Güney-doğu görünüşü

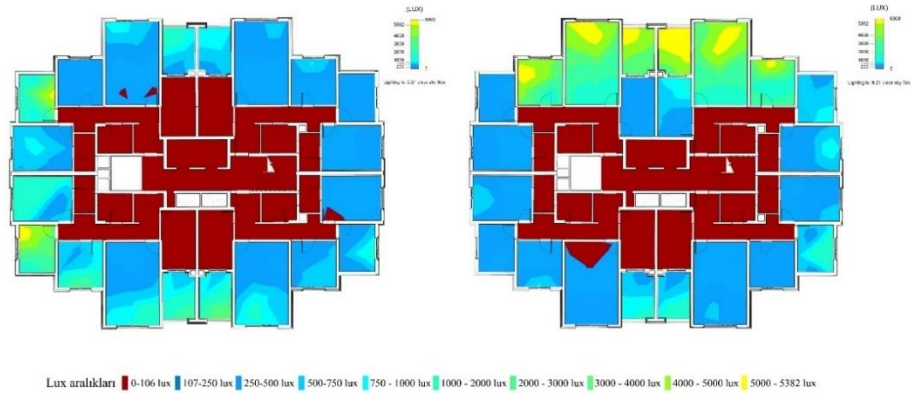
Bu analiz sonucuna göre zemin kat (Şekil 3.28.), birinci kat (Şekil 3.29.), ikinci kat (Şekil 3.30.), üçüncü kat (Şekil 3.31.), dördüncü kat (Şekil 3.32.) ve beşinci kat (Şekil 3.33) için 09.00 ve 15.00 ‘teki ışık dağılımları şekillerde görünmektedir.



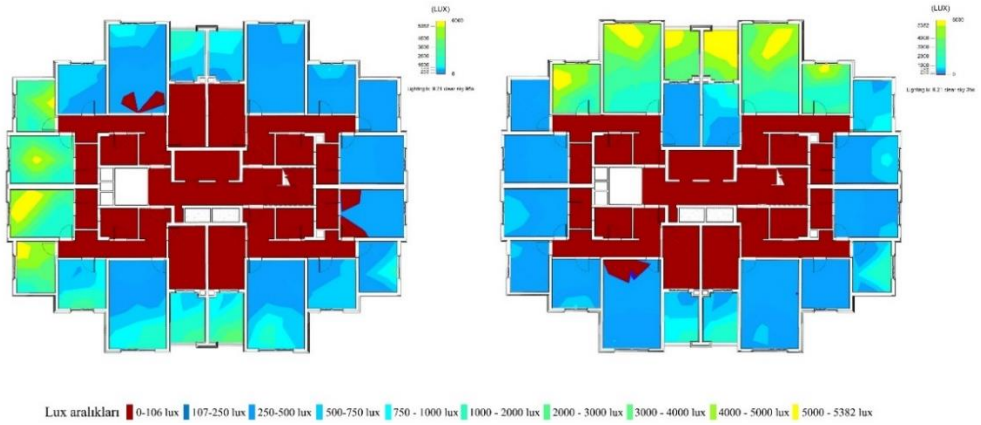
Şekil 3.28. Alternatif tasarım zemin kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı



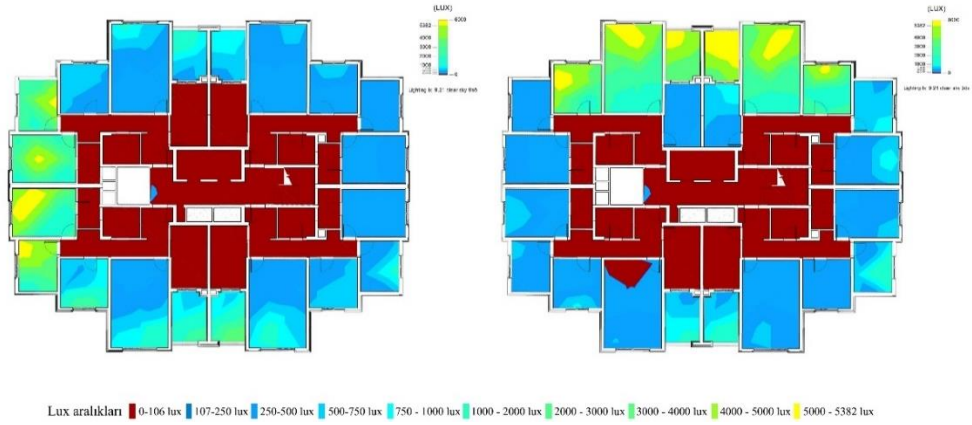
Şekil 3.29. Alternatif tasarım birinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı



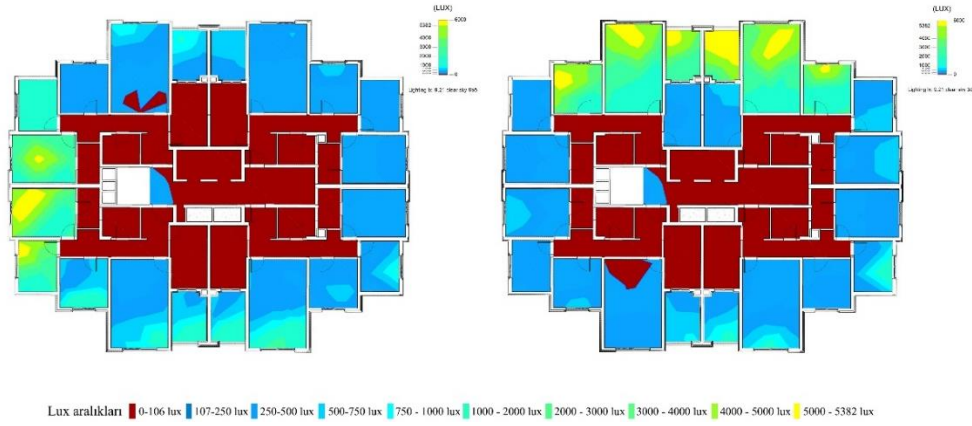
Şekil 3.30. Alternatif tasarım ikinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı



Şekil 3.31. Alternatif tasarım üçüncü kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı



Şekil 3.32. Alternatif tasarım dördüncü kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı



Şekil 3.33. Alternatif tasarım beşinci kat, 21 Eylül saat 09.00 ve 15.00, gün ışığı dağılımı

Güneş ışığı analizi sonucunda ışıktan faydalanan katlardaki sonuçlar incelendiğinde 21 Eylül tarihinde, saat 09.00 ve 15.00’ da her iki zaman için total hesaplanan ekinoks değerine göre mevcut yapı ile aynı sonuçta %76’sı 300 lux eşik değerinin altında kalmaktadır. Zemin kat için saat 09.00’ da güneş ışığı hesabına dahil olan alanlar hesaplandığında %71’ i eşik değerinin altında, %1’i eşik değerinin üzerinde ve %28’i eşik değeri içerisinde kalmaktadır. Saat 15.00’ da %62’si eşik değerinin altında, %9’u eşik değerinin üzerinde ve %29’u eşik değeri içerisinde kalmaktadır. Ara katlardan dördüncü kat incelendiğinde saat 09.00’da %61’i eşik değerinin altında, %5’i eşik değerinin üzerinde ve %34’ü eşik değeri içerisinde kalmaktadır. Saat 15.00’da ise %55’i eşik değerinin altında, %10’u eşik değerinin üzerinde ve %35’i eşik değeri içerisinde kalmaktadır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında bir toplu konut projesinin bir bloğu Revit2022 ile LOD300 seviyesinde modellenmiştir. Insight360 aracında yer alan Lighting plugini ile gerçekleştirilen gün ışığı analizi ve model çizimi bölüm 3'te sırası ile verilmiştir. Bu bölümde çalışmalar sonucunda ortaya çıkan bulgular karşılaştırılarak açıklanmıştır. BIM yöntemine yönelik değerlendirmelerde bulunulmuştur.

4.1. Mevcut Projenin, Modelin ve Alternatif Modelin Gün Işığı Analizine Göre Karşılaştırılarak İncelenmesi

Tez çalışması için modeli yapılan konut tünel kalıp taşıyıcı sistemine sahiptir. Bu sistemin komplike yapısı sebebi ile bilinen çerçeve sistemlere göre daha zor modellenmektedir. Özellikle herhangi bir analizde kullanılacak olan model için projenin doğru modellenmiş olması sonuçların doğruluğu açısından önemlidir. Bu projenin modellenmesinde kullanılan yöntem uygulama sırasında sahada çalışan inşaat mühendisi ve teknik raporda verilmiş olan yapı elemanlarının malzemelerini güneş analizi için gerekli olan termal bilgileri ile Revit içerisinde kütüphane oluşturarak architecture sekmesindeki araçlar ile tek tek modellenmesi olmuştur. Gün ışığı analizinde gerekli olan pencere camları için firmanın kullanmış olduğu camların firmanın mimari departman yetkilileri tarafından oluşturulmuş BIM modellerine ulaşılmıştır. Pencerelerin doğramaları için ise firmanın kullanmış olduğu doğramaların termal bilgilerine ulaşarak bu değerlerin Revit'e aktarılması sağlanmıştır.

Projede aydınlatma kalitesini doğrudan etkileyen parametreler çizelgede verilmiştir (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1. Aydınlatma kalitesini doğrudan etkileyen parametreler

Aydınlatma Kalitesini Doğrudan Etkileyen Yapı Özellikleri	Konum	Tasarım	Malzeme
	Güneşlenmeye göre yapının yönelmesi	Yapının plan şekli	Saydam elemanların özellikleri
		Yapının en/boy oranı	
		Yapının derinliği	
		Yapının cephe sistemi	
		Cephe saydamlık oranı	
		Güneş kontrol elemanına sahip olma	

Bu parametrelere göre;

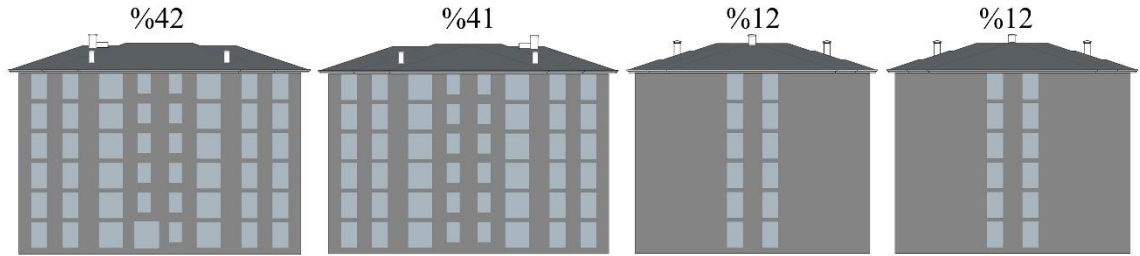
a) Konum

Yapı parselin kuzey ucuna konumlanmıştır. Ön cephesi kuzey doğu yönündedir. Yapının kuzey doğu ve güney batı cepheleri daha geniştir. Bu şekilde yönlenme pencere yerleşimleri doğru karar verildiğinde bütün odalarda aydınlatmada enerji tasarrufu sağlamaktadır. Güney doğusunda B+Z+5 katlı bir blok daha bulunmaktadır. Diğer üç cepheden tam güneşlenme almaktadır. Alternatif modelde konum değiştirilmemiştir.

b) Tasarım

Yapının tasarımında çekirdek kısmı ortada çözülmüş olup plan şekli kareye yakındır. Banyo-wc çekirdeğe yakın, odalar ise gün ışığından kazanç sağlamak için cephelere konumlandırılmıştır. Cephede güneş kontrol elemanları bulunmamaktadır.

Yapılarda ısı kayıplarının büyük bir bölümü cephelerden kaynaklanmaktadır. Cepheler opak ve saydam yüzeylerden oluşmaktadır. Bina kabuğunda gün ışığının doğru alınabilmesi ve saydam yüzeylerin oranı; enerji performansı, kullanıcı konforu, iç mekân estetiği ve yapısal performansı etkilemektedir. Bu etkiler doğrultusunda ısıtma-soğutma maliyetleri açısından önemli bir tasarım parametresi olmaktadır. Seçilen projede Low-E çift cam tipi tercih edilmiş olup mevcut yapının cephelerinin opak/saydam yüzey oranı şekilde gösterilmektedir (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Mevcut yapının cephelerinin saydam yüzey oranı

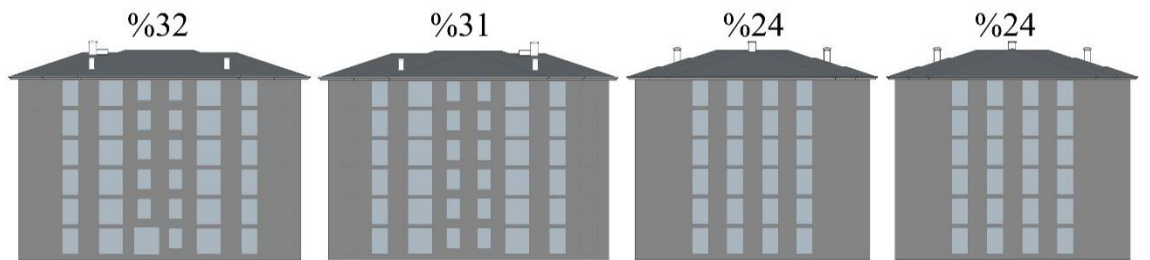
Kuzey doğu cephesinde saydam yüzey oranı %42, güney batı cephesindeki saydam yüzey oranı ise %41'dir. Saydam yüzeyler aynı zamanda yapıda havalandırma sağladığından ısıtma-soğutma sistemlerini ve yıllık sonuçta maliyeti de büyük oranda etkilemektedir. Mevcut yapının 21 Eylül gün ışığı analiz sonucu aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Mevcut yapıya ait 21 Eylül gün ışığı analiz sonuçları

	Mevcut yapıya ait 21 Eylül Gün Işığ Analiz Sonuçları						
	09.00 %34 eşik değeri içinde & 15.00 %33 & her iki zamanda %14 eşik değeri içinde						
	09.00 eşik sonuçları			15.00 eşik sonuçları			her iki zaman sonuçları
	içinde %	üstünde %	altında %	içinde %	üstünde %	altında %	içinde %
Zemin Kat	29	1	70	30	11	59	12
Birinci Kat	35	1	64	34	11	55	15
İkinci Kat	35	1	65	32	12	56	13
Üçüncü Kat	36	3	61	33	11	56	14
Dördüncü Kat	35	3	62	34	11	56	14
Beşinci Kat	33	2	65	35	10	55	16

Mevcut yapı çok katlı olmadığı için sonuçlarda yüksek oranda farklar görünmemektedir. Fakat saat 09.00 ‘daki güneşlenme sonuçlarına baktığımızda üst katlara doğru %3 ve %5 oranında eşik değerinin altında kalan alanlar azalmaktadır. Bu da üst katlarda daha çok güneşlenme olduğunu göstermektedir. Saat 15.00 ‘daki sonuçlarda ise üst katlarda eşik değerinin altında kalan alanlarda %3 ve %4 oranında düşüş görünmektedir.

Mevcut yapının koridor sonlarındaki odanın pencere yönü kuzey doğu-güney batı cephelerinde iken kuzey batı-güney doğu cephelerine alınmıştır. Bu şekilde bir pencere yerleşimi ile özellikle güney doğu cephesinde sabah güneşlenmelerinde kuzey batı cephesinde ise akşam güneşlenmesinde artış olacaktır. Güneşlenmenin Lighting plugini üzerinden etkisini görebilmek için bu şekilde alternatif yapı modeli oluşturulmuştur. Alternatif modelin cephelerindeki saydam yüzey oranları şekilde gösterilmektedir (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Alternatif tasarımın cephelerinin saydam yüzey oranı

Kuzey doğu ve güney batı cephelerindeki saydam yüzey oranı %10 düşmüştür. Güney doğu ve kuzey batı cephelerindeki saydam yüzey oranı ise %10 artmıştır. Alternatif tasarımın 21 Eylül gün ışığı analiz sonucu aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir (Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.3. Pencere yönü değiştirilmiş alternatif yapıya ait 21 Eylül gün ışığı analiz sonuçları

	Pencere yönü değiştirilmiş alternatif yapıya ait 21 Eylül Gün Işığı Analiz Sonuçları						
	09.00 %34 eşik değer içinde & 15.00 %33 & her iki zamanda %14 eşik değer içinde						
	09.00 eşik sonuçları			15.00 eşik sonuçları			her iki zaman sonuçları
	içinde %	üstünde %	altında %	içinde %	üstünde %	altında %	içinde %
Zemin Kat	28	1	71	29	9	38	12
Birinci Kat	33	1	65	32	9	41	12
İkinci Kat	36	3	61	35	10	44	16
Üçüncü Kat	35	5	60	32	10	44	14
Dördüncü Kat	34	5	61	35	10	44	15
Beşinci Kat	34	3	63	37	7	30	18

Üst katlara doğru çıkıldıkça saat 09.00 ‘daki güneşlenme oranları %8 ve %10 oranında artmaktadır. Saat 15.00 ‘daki değerlerde %8 oranında eşik değerinin altında kalan alanlarda artış olmuştur. Pencere yönünün değişimi ile sabah güneşinden ortalama %5 oranında daha çok faydalanma olmuştur. Bu oran kışın ısıtma enerjisi için harcanacak maliyette 758 konutun bulunduğu bir sitede tüm binalar için hesaplandığında büyük oranda tasarruf sağlayacaktır. İki yapı modelinin gün ışığı analizi sonucunda LEED kredisi olmadığı görülmektedir.

c) Malzeme

Mevcut yapıda kullanılan pencere camları 4+16+4 Low-E camdır. Yapı modelinde firmanın üretmiş olduğu BIM objeleri kullanılmıştır. Doğramalarda ise firmanın kullanmış olduğu markanın termal değerleri üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Projede çift cam tercih edilmiş olması ısı kaybı miktarını azaltacaktır. Gonca Özer Yaman’ın 2022 yılında yayınlanmış olan ‘The effect of building facades window/wall ratio and window properties on Energy Performance’ adlı makalesi için yaptığı çalışmada bu konu ile ilgili detaylı değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma kapsamında 10 farklı opak/saydam yüzey oranları, 9 farklı doğrama türü ve 5 farklı cam türü dikkate alınarak ısı kayıpları ve binaların pencere duvar oranı ve cam türlerine göre ısı kazançları hesaplanmıştır. Sonuç olarak en yüksek ısı kaybının tek camlı pencere türlerinde olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. En düşük ısı kaybı ise 16 mm ara boşluğu olan Low-e kaplamalı cam türüne sahip pencerelerde olduğu görülmüştür (Özer Yaman, 2022).

5. SONUÇ

Günümüzde birçok ülkenin gündemi olan enerji konusu yapı sektöründe de yenilikler yapmayı gerektirmektedir. Enerjinin korunumu ve enerji tüketiminin azaltılmasına dair çalışmalar artmaktadır. Mimarlık disiplininin bu konu ile ilişkisi binaların kavramsal tasarım aşamasından itibaren alacağı kararlarda özellikle çalışmada da incelenen yapı tipi olan konutlar için ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma gibi enerji tüketiminde büyük rol oynayan sistemlerin seçiminde rol almasıdır.

Yapılan bu tez çalışması kapsamında öncelikle enerji etkin sürdürülebilir bina tasarımı ve BIM üzerine araştırmalar yapılmıştır. Ardından üzerinde çalışılan toplu konut projesi ile binaların enerji etkin geliştirilmesinde BIM yazılımlarının etkisi ve model üzerinden yapılan gün ışığı analizi ile enerji simülasyonlarının etkisi ortaya konulmuştur.

BIM yazılımı olan Revit2022 ortamında araştırma konusu için seçilen mevcut konutun teknik veriler ve termal bilgileri ile bina bilgi modeli oluşturulmuştur. Modellenen bina üzerinden bulut tabanlı çalışan Insight360 aracı ile LEED ile tanımlı referans verileri kullanılarak gün ışığı analizi yapılmıştır. Mevcut modeldeki bazı pencerelerin yönü değiştirilerek alternatif model oluşturulup bu model üzerinden de aynı analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda iki sonuç karşılaştırılmıştır.

Analizlerden elde edilen sonuca göre seçilen konut yapısı için erken tasarım evresinde gün ışığı analizi yapılmış olsaydı pencere yönü değiştirilmesi ile iç mekandaki güneşlenmenin ortalama %5 civarında arttığı gözlemlenmiş olacaktı. Bu karşılaştırma sonucu ile BIM tabanlı yazılımların ve araçlarının enerji etkinliği sürecinde tasarım ve uygulamadaki yetkinliği ortaya konulmuştur.

Türkiye’de TS825 standartlarında inşa edilmiş birçok benzer konut binası mevcuttur. Bu tür binalar için bu çalışmaya benzer erken tasarım evrelerinde yapılabilecek analizlerin enerji tasarrufunun sağlanmasında büyük etkisi olacaktır. Ülkemizde sürdürülebilir bina ve BIM yazılımları kullanılarak yapılan uygulamalardaki artış henüz yeni gelişmeye başladığı göz önüne alınırsa bu konuda farkındalık düzeyinin artırılması doğrultusunda adımlar atılması gerekmektedir. Ayrıca modelde kullanılan pencere camlarının BIM modelleri satın alınan cam firması tarafından oluşturulmuştur. Bu şekilde

sürdürülebilirlik analizlerinden daha sağlıklı sonuçlar alabilmek adına firmaların kendi BIM objelerini oluşturmaları büyük katkı sağlayacaktır.

BIM yazılımlarının sürdürülebilir bina tasarımı üzerine etkileri:

- Erken tasarım evresi sürdürülebilir bina üretimi için önemli bir basamaktır. Yazılımlar aracılığı ile tasarım adına verilen kararların ve yapılan tahminlerin sayısal veriler ve simülasyonlarla ölçülmesini sağlamaktadır.
- Sertifikasyon sistemlerine uygun seçenekler ile analiz yaparak yapının sürdürülebilirlik sınıfını belirleyebilmektedir.
- Firmalar tarafından hazırlanan BIM objeleri ile sağlıklı modeller oluşturulabilmektedir. Firmaların bu yöndeki çalışmalarını artırmaları gerekmektedir.
- Yapılan gün ışığı analizleri ile yapının doğal aydınlanma performansı yükselir ve aydınlatma elemanı kullanımında azalma bunun doğrultusunda elektrik yüklerinde de azalma olmaktadır.
- Yapılan tüm bina analizleri ile enerji ve maliyet hesaplamaları yapılabilmektedir.
- Kavramsal ve ayrıntılı tasarım araçları sayesinde nitelikli, yüksek performansa sahip yapılar üretilebilmektedir.
- Enerji etkin tasarımlar için geliştirilen yazılımlarda kullanılan raporların konut tipi yapılarda uygulanıp uygulanılmayacağına dikkat edilmelidir. Raporlarda alınan referans veriler farklılık göstermektedir.

Sonuç olarak tüm bilgiler, analizler ve değerlendirmeler sonucunda bina bilgi modelleme ve enerji analizi simülasyon uygulamaları sürdürülebilir bina tasarlamada önemli rol almaktadır. Bina bilgi modelleme üzerine yapılan gelişmeler ile gelecekte binaların bina bilgi modellerinin oluşturulması ile yapılan üretimleri artacak ve bu sayede performans gereksinimlerini sağlayan sağlıklı, konforlu, enerji etkin, sürdürülebilir yapıların inşa edilmesi sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akkoyunlu, T. (2015). Kentsel Dönüşüm Projeleri için BIM Uygulama Planı Önerisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Alat, H. (2019). Konut Projelerinde Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımı: Örnek Vaka Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Şeyh Edebalı Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Aydın, D., Mıhlayanlar, E. (2017). An Investigation For Indoor Environmental Quality In High-Rise Residential Buildings. *Megaron*. 12(2): 213-227. <https://doi.org/10.5505/megaron.2017.07830>
- Arpacıoğlu, Ü., Çalışkan, C. İ., Şahin, B., Ödevci, N. (2020). Design Support Model for Increasing Daylight Efficiency in Architectural Planning. *Tasarım Kuram*. 16(29): 53-78. <https://doi.org/10.14744/tasarimkuram.2020.70783>
- Baldwin, M. (2021). BIM Yöneticisi BIM Proje Yönetimi için Pratik Rehber. Cinius Yayınları, İstanbul
- Başyazıcı, İ.U., (2018). Türkiye BIM Raporu Genel Eğilim ve Beklentiler, https://www.bimgenius.org/uploads/6/3/9/9/63997129/bimgenius_p0001_turkiye_bim_raporu_2018_rev_a.pdf
- Bayraktar, M. (2015). Binalarda Yapı Kabuğu, Mekanik Sistemler ve Yenilenebilir Enerji Sistemleri Parametrelerinin Eş Zamanlı Enerji Optimizasyonu İçin Bir Yöntem. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Torino Politeknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Beytekin, H.E. (2016). Yapı Kabuğunun Enerji Etkililiği Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Bızhanzad, A. (2021). Enerji Etkin Yapı Tasarımı ve Uygulaması Açısından Çatı Bahçelerinde Kullanılan Konvansiyonel ve Yenilikçi Taşıyıcı Sistemlerin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
- Bucuka, B. (2021). Yapı Elemanları Açısından Enerji Etkin Bina Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Canbakış, B. (2021). Gelenekselden Moderne Sürdürülebilir Mimari Mekan Üretimi: Bursa Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Çelebi, B. (2022). BIM Tabanlı Bina Enerji Simülasyon Yazılımlarının Analiz Sonuçları Üzerine Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

- Çetin, H.M. (2020). Soğuk İklim Bölgesi Eğitim Yapılarında Enerji Etkin Tasarım Parametrelerinin İrdelenmesi Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Çıldır, A.S. (2019). ‘‘Neredeyse Sıfır Enerji’’ Ofis Yapılarında Yapı Elemanlarının Ortam Konforuna Etkisinin Yapı Enerji Simülasyonu Yardımıyla Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Çuhadar, F.G. (2017). Mimarlık Hizmeti Kapsamında Bina Bilgi Modelleme: ‘‘G Villa’’ Konut Projesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Dikmen, Ç. B. (2011). Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi . Politeknik Dergisi , 14 (2) , 121-134 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33057/367908>
- Elbi, D. (2019). Yapı Bilgi Modelleme Aracılığı İle Enerji Etkin Yapı Tasarımı ve Geliştirilmesi: Bir Konut Projesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Er, Ayşegül. (2020). Soğuk İklim Bölgelerindeki Mevcut Konut Yapılarının Enerji Performansının Artırılmasına Yönelik Bir Araştırma: Erzurum’da Bir Toplu Konut Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Esen, S. (2019). Enerji Etkin Bina Tasarım Modeli. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
- Gülaçmaz, Ö. , Başdemir, H. & Gülaçmaz, E. (2022). Mevcut Bir Eğitim Yapısında Enerji Verimliliğini İyileştirmeye Yönelik Bir Analiz . Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi , 10 (1) , 325-341 . <https://doi.org/10.29130/dubited.945864>
- Hensen, J.L.M. (2003). Simulating building performance: just how useful is it? REHVA Journal, nr. 4, Federation of European Heating, Ventilating and Air-conditioning Associations - REHVA, Brussels.
- İmık, E. (2017). Enerji Etkin Binaların Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kreider, Ralph G., Messner, John I. (2013). ‘‘BIM Kullanımları: BIM Kullanımlarının Sınıflandırılması ve Seçilmesi’’. Versiyon 0.9, Pensilvanya Eyalet Üniversitesi, University Park, ABD. <http://bim.psu.edu>.
- Krygiel, E. ve Brad N. (2008). Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling. Indianapolis, Ind.: Wiley Pub.
- Manav A., (2021). ‘‘Değişen mikro iklim koşullarında geleneksel konutların enerji etkin davranışları: geleneksel Mut evlerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi’’, Politeknik Dergisi, 24(3): 1137-1149. <https://doi.org/10.2339/politeknik.770354>

- Montiel, F.J., Hermoso, M.J., Terrados, J. (2020). "Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation," Sustainability, MDPI, vol. 12(14), pages 1-29, July <https://doi.org/10.3390/su12145731>
- Odaman Kaya, H. (2012). Ölçütlere Dayalı Değerlendirme ve Sertifika Metotlarından Leed ve Breeam'ın Türkiye Uygulamalarına Yönelik İrdeleme ve Öneriler. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ofluoğlu, S. (2016). Autodesk Revit Kavramsal Analiz Ders Notları, Gün Işığı/Doğal Işık Analizi. <http://sayisalmimar.com/2016/04/04/revit-ile-analiz/>
- Ofluoğlu, S. (2016). Autodesk Revit Sürdürülebilirlik Analizi Ders Notları, Revit ile Gölge ve Güneş Işınması Analizi. <http://sayisalmimar.com/2016/04/04/revit-ile-analiz/>
- Öktem, S. (2016). BIM'e Geçiş Sürecinin Organizasyonel ve Operasyonel Çevresi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Öz, B. (2015). Enerji Verimliliği Kriterlerine Göre Otel Tasarımı Ve Enerji Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Özdemir, G. (2019). Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinde Aydınlatma Konusunun Örnek Bir Konut Üzerinden İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Özer Yaman, G. (2022). The Effect Of Building Facades Window/Wall Ratio And Window Properties On Energy Performance. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 38:2 (2023) 851-863. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1053674>
- Savaşkan, M.O. (2015). Yüksek Enerji Performanslı Konut Yapıları için BIM Tabanlı Bir Açık Kaynak Bilgi Sistemi Modeli. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Sev, A., 2009. Sürdürülebilir Mimarlık, YEM yayınları, İstanbul.
- Şahin, M., Oğuz, Y., Büyüktümtürk, F. (2013). İç Mekân Aydınlatmasında Renk Seçiminin Aydınlatma Ekonomisi ve Görselliğe Etkisi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi (elektronik), 10(3), 15 – 26
- Şentürk Sipahi, G. (2022). Binalarda Gün Işığı ve İnsan İlişkisinin Sürdürülebilirlik Bağlamında Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
- Talu, E.G. (2020). Sürdürülebilirlik Kapsamında Yapı Enformasyon Modelleme: "A" Konutu Örneği Üzerinden Çözümleme ve Çıkarımlar. Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Uzun, F. (2019). BIM-Yapı Bilgi Modellemesi'ne Geçiş ve Uygulama Süreçlerinin İncelenmesi: 3 Vaka Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

<https://ytong.com.tr/blog-detay.asp?blogID=23>

<https://sehatek.com.tr/blog/enerji-kimlik-belgesi-nedir-bep-nedir>

<https://www.ekoyapidergisi.org/gun-isigi-ile-dogal-aydinlatma>

<http://bimexcellence.com/model-uses/>

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5627&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=12390&MevzuatTur=9&MevzuatTertip=5>

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=15437&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=13594&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

<https://webdosya.csb.gov.tr/db/samsun/webmenu/webmenu4379.pdf>

EKLER

EK 1 Çizelgeler



EK 1 Çizelge 1.1 Mevcut binaya ait yapı elamanlarının detayları

Yapı Elemanı	Malzeme ve TS 825 Kodları	Kalınlık d(m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri (W/m.K)	Isı Geçirgenlik Katsayısı(U) (W/m².K)
Dış Duvar (DD1)	4.4 Yalnız alçı kullanılarak yapılmış sıva 4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı 7.1.3.1.3 AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvar 10.3.1.1.6 Polistren-Partiküler Köpük TS7316EN 13163 4.2 Çimento harcı	0,02 0,02 0,2 0,06 0,02	0,51 1 0,35 0,04 1,6	0,432
Toplam				
Dış Duvar (DD2)	4.4 Yalnız alçı kullanılarak yapılmış sıva 5.1.1 Donatılı (TS500 Normal mıcırli beton) 10.3.1.1.6 Polistren-Partiküler Köpük TS7316EN 13163 4.2 Çimento harcı	0,02 0,2 0,06 0,02	0,51 2,5 0,04 1,6	0,553
Toplam				
Dış Duvar (DD3)	4.4 Yalnız alçı kullanılarak yapılmış sıva 4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı 7.1.3.1.3 AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvar al sınıfı yanmaz yalıtım malzemesi (taş yünü)	0,02 0,02 0,2 0,06	0,51 1 0,35 0,04	0,435
Toplam				
İç Duvar (DSD1)	4.4 Yalnız alçı kullanılarak yapılmış sıva 10.3.1.1.6 Polistren-Partiküler Köpük TS7316EN 13163 4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı 7.1.3.1.3 AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvar 4.2 Çimento harcı	0,02 0,06 0,02 0,2 0,02	0,51 0,04 1 0,35 1,6	0,413
Toplam				
İç Duvar (DSD2)	4.4 Yalnız alçı kullanılarak yapılmış sıva 10.3.1.1.6 Polistren-Partiküler Köpük TS7316EN 13163 5.1.1 Donatılı (TS500 Normal mıcırli beton) 4.4 Yalnız alçı kullanılarak yapılmış sıva	0,02 0,06 0,2 0,02	0,51 0,04 2,5 0,51	0,521
Toplam				
Tavan (ÇA)	4.4 Yalnız alçı kullanılarak yapılmış sıva 5.1.1 Donatılı (TS500 Normal mıcırli beton) 10.5.2 Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtımı (taş yünü)	0,01 0,14 0,1	0,51 2,5 0,04	0,359
Toplam				

Çizelge 1.1.(devam) Mevcut binaya ait yapı elamanlarının detayları

Yapı Elemanı	Malzeme ve TS 825 Kodları	Kalınlık d(m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri (W/m.K)	Isı Geçirgenlik Katsayısı(U) (W/m².K)
Taban (TDÖ)	9.1.4 Halı vb. kaplamalar	0,006	0,06	
Toprak temaslı	4.6 Çimento harçlı şap	0,06	1,4	
	5.1.2 Donatısız	0,06	1,65	
	10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü	0,05	0,035	
	5.1.1 Donatılı	0,5	2,5	
	5.1.2 Donatısız	0,05	1,65	
	9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,006	0,19	
	5.1.2 Donatısız	0,05	1,65	
	3.1 Kum,çakıl,kırma taş (mıcır)	0,1	0,7	0,452
Toplam				
Taban (DÖ)	9.1.4 Halı vb. kaplamalar	0,006	0,06	
Isıtılmayan iç ortam	4.2 Çimento harcı	0,06	1,6	
	5.1.1 Donatılı	0,14	2,5	
	10.5.2 Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtımı (taş yünü)	0,06	0,04	
	4.4 Yalıtım alçı kullanılarak yapılmış sıva	0,01	0,51	
Toplam				0,487
Taban	9.1.4 Halı vb. kaplamalar	0,006	0,06	
Kazan dairesi tavan	4.2 Çimento harcı	0,06	1,6	
	5.1.1 Donatılı	0,14	2,5	
	10.5.2 Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtımı (taş yünü)	0,06	0,04	
	4.4 Yalıtım alçı kullanılarak yapılmış sıva	0,01	0,51	
Toplam				0,487
Pencere				1,9
Kapı1				4
Kapı2				2