YBM'NİN YAPILARDA DÜZEN VE MALİYETLERE VE ŞANTİYE DÜZENİNİ SAĞLAMAYA YÖNELİK KATKISI

Onur YILDIRIM
191101111

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimarlık Anabilim Dalı
Mimarlık Tezli Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Shahryar HABİBİ

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Ekim, 2022

YBM'NİN YAPILARDA DÜZEN VE MALİYETLERE VE ŞANTİYE DÜZENİNİ SAĞLAMAYA YÖNELİK KATKISI

Onur YILDIRIM
191101111
ORCID:0000-0003-1116-6578

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimarlık Anabilim Dalı
Mimarlık Tezli Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Shahryar HABİBİ

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Ekim, 2022



JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" ile bildirilen 6689 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*" ile bildirilen 6689 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tüm çalışmalarım boyunca her zaman bilgileri ve deneyimleriyle yolumu açan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Shahryar HABİBİ hocam'a

Hiçbir zaman eksik olmayan her adımımda yanımda olan Pek kıymetli hocam DOÇ.DR.TÜRKAN İRGİN UZUN'a

Samed TEZGAH'a

ARUP Projeden İlkay ÇORGUNDAĞ'a

Proje konusunda bana cesaret veren Sn: Prof.Dr.Cengiz EREN hocama ve

Bütün hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen attığım her adımda arkamda duran Ailem'e desteklerinden ötürü sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Onur YILDIRIM

Ekim, 2022

ÖZ

YBM'NİN YAPILARDA DÜZEN VE MALİYETLERE VE ŞANTİYE DÜZENİNİ SAĞLAMAYA YÖNELİK KATKISI

Onur Yıldırım
Yüksek Lisans Tezi
Mimarlık Anabilim Dalı
Mimarlık Tezli Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Shahryar HABİBİ
Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2021

Uluslararası adı ile Building Information Modeling (BIM), ülkemizdeki adı ile Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), yapı sektöründeki verimlilik arayışı sonucunda, yazılım teknolojilerinin sağladığı altyapı ile oluşmuş bir yöntemdir. YBM Uygulama Planı, YBM yaklaşımı ile üretilecek projenin tanımına, kapsamına, özel risklerine, hedeflerine, modelleme stratejisine-kurallarına, kaynaklarına, teknolojik altyapı gereksinimlerine, paydaşlarına, ekiplerine ait bilgi ve kararları içeren veriler bütünüdür.

Dünyada ve ülkemizde inşaat sektörü ekonominin önde gelen sektörlerinden biridir. Ancak kentleşme arttıkça konut, sosyal yaşam ve ticari alanlara olan talep de hızla artmaktadır. Bu binaların inşaatı devam ederken, güvenlik, estetik ve ekonomiyi en üst düzeye çıkaran bir maliyet analizi hem sahipler hem de kullanıcılar için önemlidir. Bu nedenle yapıların yapım aşamasında statik değerlendirmenin yanı sıra yapım sürecini de içerecek şekilde modelleme yapılması, üretim sırasında karşılaşılabilecek sorunların en aza indirilmesini sağlayacaktır. Bu bağlamda bilgisayar teknolojisinin YBM gelişimine göre bu kavram ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, yeni tasarlanan projelerde YBM yönteminin kullanılmasının şantiye düzenini sağlamaya yönelik verimlilik ve maliyetler açısından önemi ortaya konulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Yapı, Maliyet, Yapı Düzeni, Yapım Maliyeti

ABSTRACT

BIM'S CONTRIBUTION TO ORDER AND COSTS IN BUILDINGS AND TO PROVIDING SITE LAYOUT

Onur Yıldırım
Master Thesis
Department of Architecture
Architecture Thesis Master's Program
Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Shahryar Habibi
Maltepe University Graduate School, 2021

Building Information Modeling (BIM) with its international name, Building Information Modeling (YBM) in our country, is a method that was formed with the infrastructure provided by software technologies as a result of the search for efficiency in the building sector. The BIM Implementation Plan is the set of data that includes information and decisions about the definition, scope, special risks, objectives, modeling strategy-rules, resources, technological infrastructure requirements, stakeholders and teams of the project to be produced with the BIM approach.

The construction sector is one of the leading sectors of the economy in the world and in our country. However, as urbanization increases, the demand for housing, social life and commercial areas is also increasing rapidly. While these buildings are under construction, a cost analysis that maximizes safety, aesthetics and economy is important to both owners and users. For this reason, modeling in a way to include the construction process as well as static evaluation during the construction phase of the buildings will ensure that the problems that may be encountered during production will be minimized. In this context, this concept comes to the forefront according to the BIM development of computer technology.

This scope of work, the importance of using the BIM method in newly designed projects in terms of efficiency and costs for maintaining the construction site order has been revealed.

Keywords: Structure, Cost, Structure Layout, Construction Cost.

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ii

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI iii

TEŞEKKÜR iv

ÖZ v

ABSTRACT vi

İÇİNDEKİLER vii

TABLOLAR LİSTESİ x

ŞEKİLLER LİSTESİ xi

KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

1.1 Problemin Tanımı 2

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 3

2. YAPI ANALİZ YÖNTEMLERİ 4

2.1 Yapı Bilgi Modellemesi 4

2.1.1 YBM metodları ve yaklaşımları 11

2.1.2 3D Modelleme | geometrik, grafik bilgisi 11

2.1.3 4D Zaman | Gantt çizelgeleri ve zaman çizelgeleri aracılığıyla yapı sıralaması 11

2.1.4 5D Maliyet Analizi | maliyet yönetimi, inşaat maliyet tahmini 12

2.1.5 6D Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliği | çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik etki çalışmaları 13

2.1.6 7D Yaşam Döngüsü ve Bakım | Tesis Yönetimi 13

2.2 Yapı Bilgi Modellemesinin Kullanım Alanları 14

2.3 YBM'de Analiz Yöntemleri 17

2.4 Yapı Bilgi Modellemesinde LOD kavramı 25

2.4.1 LOD 500 (As-built) 30

2.4.2 Gelişim düzeyinin faydaları (LOD) 30

2.5 Yapı Bilgi Modellemesinin Avantajları 31

3. YBM MİMARLIKTA İŞLEM VE SÜREÇ ANALİZİ 33

3.1 Yapı Bilgi Modellemesinin Zorlukları 33

3.2 YBM ile Maliyet ve Zaman Yönetimi 34

3.3 Yapı Bilgi Modellemesinin Kavramsal ve Çevresel Etkileri 38

3.4 Yapı Bilgi Modellemesinin Olgunluk Seviyeleri 39

4. YBM'NİN GERÇEK PROJEDE KULLANIMI 41

4.1 Niğde Üniversitesi Teknopark 41

4.2 Uygulamalar ve Analizler 43

4.3 YBM'nin Türkiye'de Sahada Kullanımına Yönelik Örnek Uygulamalar 44

4.4 YBM'nin Dünyada Sahada Kullanımına Yönelik Örnek Uygulamalar 48

4.5 Abdullah Gül Cumhurbaşkanlığı Müzesi ve Kütüphanesi Renovasyon Projesi 58

4.6 Emaar Square YBM Kullanılan Proje 61

4.7 YBM Gerçek Yapı Örnekleri ve Analizi 63

4.8 Klasik Yöntem ile YBM'nin Karşılaştırılması 65

4.9 Gerçek Bir Proje ile Karşılaştırılması 65

4.10 Geleneksel Yöntem İle Yapılan Yapı 66

4.11 YBM ile yapılmış proje örneği 71

4.12 Proje Karşılaştırması 81

5. SONUÇ 83

KAYNAKÇA 85

ÖZGEÇMİŞ 91

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.YBM tarihinin zaman çizelgesi 10

Tablo 2.Dünya Çapında YBM Talimatları (Hedef Yıla Göre). 21

Tablo 3. Niğde Üniversitesi Teknopark Proje Bilgileri 41

Tablo 4.Türkiye'de ve Dünyada YBM kullanılarak yapılan projeler. 44

Tablo 5.YBM ile yapılmış bina örneği proje bilgileri..... 58

Tablo 6. Konut Proje Bilgileri..... 66

Tablo 7. Geleneksel Yöntem ile YBM Karşılaştırması. 79

Tablo 8. Karşılaştırma Tablosu. 80

Tablo 9.Eşdeğer Karşılaştırma Tablosu. 81

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.YBM Süreçleri 4

Şekil 2.1984'te bir kişisel bilgisayardaki ilk büyük YBM sürümü ile modelleme yeteneklerini gösteren Radar CH'den alınan ekran görüntüsü 7

Şekil 3.ArchiCAD Görseli..... 8

Şekil 4. Yapı Bilgi Modellemesi Boyutları 14

Şekil 5. YBM Yol Haritası 18

Şekil 6. Birleşik Krallık Yol Haritası 19

Şekil 7. Singapur BCA'nın ilk YBM yol haritası: Zorluklar ve Stratejiler..... 20

Şekil 8. LOD Aşaması Bilgi Seviyeleri 26

Şekil 9.YBM Gelişim Seviyeleri 26

Şekil 10. LOD 100 (Konsept)..... 27

Şekil 11.LOD 200 (Yaklaşık Geometri)..... 27

Şekil 12.LOD 300 (Hassas Geometri)..... 28

Şekil 13.LOD 350 (Bağlantılı Hassas Geometri) 29

Şekil 14.LOD 400 (İmalat)..... 29

Şekil.15.YBM tabanlı tahminle ilişkili potansiyel hedeflenen güvenilirlik iyileştirmelerini gösteren grafik. 35

Şekil 16. Yapının arazi görünümü ve fotoğrafı 36

Şekil 17.AutoCAD ve Autodesk Revit cephe görünüşü..... 37

Şekil 18. Autodesk Revit ve Nemetschek Allplan yapısal modelleri 37

Şekil 19.YBM Seviyeleri..... 39

Şekil 20. Niğde Üniversitesi Teknopark binası görseli 42

Şekil 21. Teknopark renkli kesit 42

Şekil 22.Işık rafı / 3B sistem detayı 43

Şekil 23.MP Mekanik odası 46

Şekil 24. Erzurum AKUT Binası 46

Şekil 25. Model 3B Kuzey Görünüş 47

Şekil 26. One Island East (OIE) Projesi Yapı Bilgi Modeli. 49

Şekil 27.OIE Projesinde Otomatik Çakışma Algılamaları 49

Şekil 28. Etkileşimli Koordinasyon Süreci 50

Şekil 29. Otomatik Tahminlerin Hazırlanması 50

Şekil 30. İnşaat Sıralama Modeli..... 51

Şekil 31.Mansion on Peachtree Projesi'nde YBM Kullanımı 53

Şekil 32. Abdullah Gül müzesi görseli 59

Şekil 33.İç mekan görseli 60

Şekil 34.BIM modeli 60

Şekil 35. Emaar Square görseli 62

Şekil 36. Emaar Square allplan temel donatı modeli 62

Şekil 37. Allplan'de alınmış donatı metraj listesi 62

Şekil 38.IGA Terminali - ProtaStructure Modelleri. 64

Şekil 39.IGA Terminali - ProtaStructure Modelleri 2. 64

Şekil 40. Konut Ön Görünüşü. 66

Şekil 41. Konut Arka Görünüşü. 67

Şekil 42. Konut A-Kesiti. 67

Şekil 43. Konut B-Kesiti. 68

Şekil 44. 1.Normal Kat Planı. 68

Şekil 45.2.Normal Kat Planı. 69

Şekil 46. Konut Ön Cephe 3DSMAX. 69

Şekil 47. Konut Arka Cephe 3DSMAX. 70

Şekil 48. Vaziyet Planı. 71

Şekil 49. K9 blok bodrum kat planı. 71

Şekil 50. K9 blok 1. kat planı. 72

Şekil 51. K9 blok 2.kat planı. 72

Şekil 52. K9 blok 3-9 kat planı. 73

Şekil 53. K9 blok 10. kat planı. 73

Şekil 54. K9 blok 11-13. kat planı. 74

Şekil 55. K9 blok 14. kat planı. 74

Şekil 56. K9 blok 15-27 kat planı. 75

Şekil 57. K9 blok 28. kat planı. 75

Şekil 58. Arazi Kesiti 76

Şekil 59. K9 Blok Kesiti. 76

Şekil 60. K9 Blok Görünüşler. 77

Şekil 61. RENDER 1. 77

Şekil 62. RENDER 2. 78

Şekil 63. Pavaletskaya Şehri Renderi. 78

KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

AIM : Varlık Bilgi Modeli

AR : Autodesk Revit

BCA : Bina İnşaat Otoritesi

BDS : Building Description System

BDT : Bilgisayar Destekli Tasarım

BIM : Building İnformation Modeling

CAD : Bilgisayar Destekli Tasarım

CAM : Bilgisayar Destekli Üretim

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi

DAC : Bilgisayar Tarafından Otomatikleştirilmiş Tasarım

GLIDE : Graphical Language for Interactive Design

IAI : International Alliance for Interoperability

IFC : International Foundation Class

LOD : Level Of Detail

NA : Nemetschek Allplan

OIE : One Island East

PLN : Polonya Zlotisi

PTC : Parametric Technology Corporation

YBM : Yapı Bilgi Modellemesi

1. GİRİŞ

Günlük yaşamın hemen her alanında, her işlemde kullanılan enerji, dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte iyi yönetilmesi gereken bir zorunluluk haline gelmiştir. Artan enerji ihtiyacı karşısında enerji kaynaklarımız yeterli olmayıp hızla azalma eğilimi göstermektedir. Özellikler geri dönüşümü olmayan enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması nedeniyle çevreye verilen zarar giderek artmaktadır. Enerji ihtiyacının artacağı öngörülerine dayanarak enerji kullanımını azaltmaya yönelik çalışmalar yapılması önem arz etmektedir. Bu çalışmalarda en fazla enerji tüketen binalara öncelik verilmelidir (Altun & Akçamete Güngör, 2016).

İnşaat sektörü, son zamanlarda güçlü ve hızlı değişimler yaşanan, ana sektörlerden biri olması, büyük projelere imza atması, ülkemizin ve dünyanın ülke ekonomisine büyük katkılar sağlamaktadır. Binaların, minimum iyileştirme ile en büyük fayda için çevresel hasarı en aza indirecek şekilde tasarlanması önemlidir. Bu aşamada karşımıza çıkan sürdürülebilir yapılaşma hem maliyet hem de zaman açısından avantajlar sunarken, çevreye verilen zararı en aza indirerek daha yaşanabilir bir çevre sağlamaktadır.

İnşaat projelerinin hazırlanması aşamasında karşımıza birçok farklı alternatif çıkmaktadır. Enerji analizi, ışık/gölge simülasyonu, yeşil bina üretim yöntemleri, sanal site mühendisliği proje yalıtımı, akustik detaylar, otopark simülasyonu, çevresel etki değerlendirmesi ile inşaat projeleri çok daha verimli hale getirilebilir. Bu aşamada karşımıza çıkan bilgi modelleme teknolojisi özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık ve İskandinav ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu ülkeler kendi standartlarını belirleyerek kılavuz yayımlanmışlardır (Atabay & Öztürk, 2019).

Ülkemizde de giderek yaygınlaşan YBM temelde bir tesisin karakteristikleri hakkında bilgi vererek 3 boyutlu modelleme yapmaya imkan sağlayan ve paydaşlar tarafından ortak şekilde kullanılabilen bir çalışma ortamı oluşturan hizmet sağlayıcısıdır. Projenin tüm evrelerinde kullanılabilen bu model, veri akışını sağladığı için ilave iş yükünü de ortadan kaldırmaktadır (Ofluoğlu, 2014).

1.1 Problemin Tanımı

Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) ile teknolojik gelişmelerle hayatımıza giren YBM arasındaki farklar ve bu iki sistemin de projelere olan etkisi dikkate alındığında birbirlerine benzer bir yapı gösteriyor gibi görünseler de modelleme süreçleri birbirlerinden tamamen farklıdır. Klasik BDT sisteminde önce 2 boyutlu tasarım yapılmakta olup ardından 3. boyuta geçiş yapılmaktadır. YBM'nde ise tam tersi bir durum söz konusudur ve öncelikle 3 boyutlu tasarım yapılmakta olup ardından 2 boyutlu analizler (kesit, plan, görünüş, perspektif vb.) yapılabilmektedir. BDT yazılımları ile hazırlanan projelerde birbiri ile ilişkili olmayan, çizgiler ve yazıların kullanıldığı 2 boyutlu bir teknolojidir. BDT tasarımcının veya kullanıcının hayalini tam olarak modelleyemezken, gerçek yapı elemanlarının kullanabilmesi sayesinde YBM gerçeğe yakın modelleme yapılmasına olanak sağlar. Gerçeğe uygun bu model birçok birimin bir arada çalıştığı inşaat sektöründe ortak bir dil oluşmasını sağlar.

YBM modelleme sisteminin, BDT yazılımının, bir tanesi proje değişikliği ile ilgili olan bazı eksiklikleri olduğu söylenebilir. BDT yazılımı önemli katkılarına rağmen, yerini aldığı kağıt ve cetvel ortamları gelenekleriyle aynı düzende ve aynı süreçlerde plan, kesit, görünüm gibi tasarım temsillerini üretmeye devam etmektedir. Bu sunumlar birbirinden bağımsız olarak oluşturulduğundan, özellikle büyük projelerde tüm proje dokümanlarında tutarlı incelemeler yapmak kolay değildir. Her proje belgesi tek tek işlenmelidir.

BDT yazılımı, biçimsel geometri ve yapı elemanlarının uzamsal konumu gibi bilgileri üretmek için gereken çizgilerden ve eğrilerden oluşan bir grafik diline sahip olsa da, bir veri alfanümerik özellikleri (malzemeler, maliyet, fiziksel ortamın veri kontrolü vb.) binanın uygulanabilirliği için önemli olan parametreleri içerir, mimari değildir. BDT ile ilgili yazılımda kullanılan sınırlı dil, çok paydaşlı bir tasarım ortamında ihtiyaçları karşılayamaz ve paydaşlar arasında etkin bir şekilde iletişim kuramaz. Farklı sektörlerden paydaşlar BDT yazılımı kullanarak dosya alışverişinde bulunduğunda, proje verilerinin BDT yazılımından başka yazılımlara dönüştürülmesi ihtiyacı ve proje belgeleri arasındaki koordinasyon eksikliği nedeniyle inşaat ve proje sırasında ek zaman, işçilik ve maliyetler boşa harcanmaktadır.

EAC endüstri işbirliğinin başarılı olması için International Alliance for Interoperability (IAI) , EAC endüstrisinde veri alışverişi ve paylaşımı için kullanılan Industry Foundation Layers (IFC) adlı bir yöntem geliştirmiştir. IFC, veriler hakkında bilgi içeren bir platformdur. IFC'yi kullanmaya başlamadan önce yapıyı, uygulamayı, kullanımı vb. tasarlanması gereklidir. Bilgisayar programları, verileri farklı dosya biçimleriyle paylaşmak için kullanılır. Bu formatlar IFC'nin başarısını göstermez ve projelerin tasarım ve uygulamasında daha fazla zaman gerektirir ve yapının inşaat, bakım ve işletme maliyetlerini artırır. Günümüzde veri paylaşımının ne kadar önemli olduğu göz önüne alındığında verilerin otomatik olarak değiştirebileceği ve paylaşılabileceği, projede çalışanların sürekli erişebileceği bir ortama ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu araştırma kapsamında mevcut yöntemlerle üretilen projelerde karşılaşılan zorluklara ve verimsiz süreçlere çözüm üretilmesi amacıyla hayatımıza giren YBM hakkında bilgi verilerek çözüm önerileri sunulmuştur. İnşaat sektöründe yaşanan gelişmeler doğrultusunda geleneksel yöntemlerden son teknoloji yazılımlara geçiş aşamaları, bu aşamalarda yaşanan zorluklar, yeni teknolojik gelişmelerin bizlere sunduğu hizmetler vb. birçok konu üzerinde durulmaktadır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

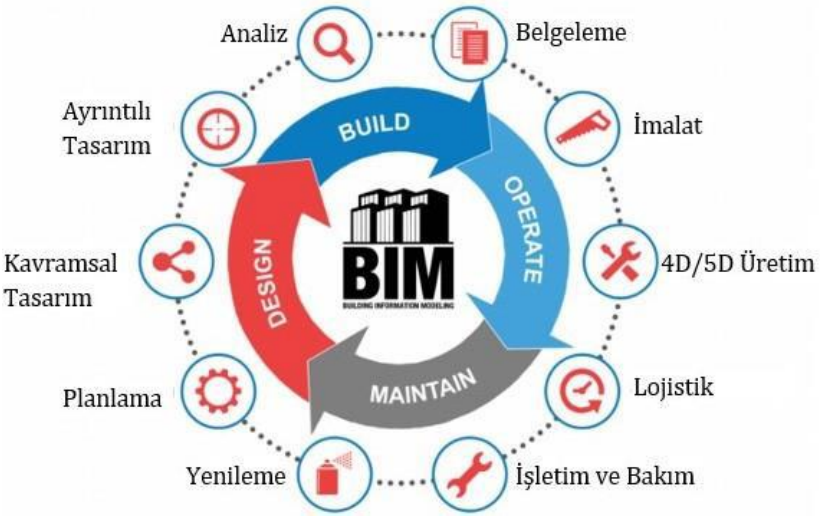
YBM yazılımları bir inşaat projesinin en başından en sonuna kadarki süreçlerinde olası kayıpların önüne geçilmesi amacıyla projelerdeki değiştirilmesi gereken noktaları erken keşfederek müdahalede bulunabilmek, zamanı daha iyi kullanabilmek ve gereksiz işlemlerin önüne geçebilmek, bir projeyi uçtan uca planlayabilmek, firmaların karlılığını arttırmak, şantiyelerde düzeni sağlayarak koordinasyonu arttırmak vb. birçok amaçla kullanılmaktadır. Bu çalışma ile mevcut sistemdeki eksikler irdelenerek, YBM'nin firmaların yaptıkları projelere nasıl etki ettiğinin ve iş süreçlerinin nasıl tasarlandığının araştırılması hedeflenmiştir.

2. YAPI ANALİZ YÖNTEMLERİ

2.1 Yapı Bilgi Modellemesi

YBM İngilizce adıyla Building Information Modeling (BIM), dijital ortamda tasarlanan 3 boyutlu yapının verilerinin, gerçek hayatta inşaatına başlamadan önce gerekli analizlerin ve çakışma kontrollerinin yapılmasını sağlayan ve yapı, bilgi ve model kısımlarında bulundurduğu metraj, maliyet, mimari ve enerji modelleriyle projenin tamamının ele alınmasını sağlayan sanal bir platformdur (Özorhon, 2018).

Atabay ve Öztürk'ün tanımına göre ise yapı bilgi modellemesi, bilgi teknolojileriyle harmanlanan inşaat sektörünün projelerinin sanal ortamda 3D modellenmesine ve modellenen nesnelerin zaman ve maliyet hesaplarının yapılmasına olanak sağlanmasına ve Şekil 1'de verilen birçok disiplini içerisinde barındırarak yönetilmesine verilen addır (Atabay & Öztürk, 2019).



Şekil 1.YBM Süreçleri (Dortek, 2018).

YBM, fiziksel ve işlevsel özellikleri ile bir binanın, yapının veya ortamın beş boyutlu (5D) dijital temsilidir. Her nesne için parametrik kurallar ve veri öznitelikleri içeren akıllı bina bileşenlerinden veya ortamların özelliklerinden oluşur. Beş boyut şu şekildedir: 3 birincil uzamsal boyut (3D) (genişlik, yükseklik ve derinlik), dördüncü boyut (4D) zaman ve beşinci (5D) maliyettir (Logothetis, Karachaliou, & Stylianidis, 2017).

1957 yılında, ilk ticari yazılım olan computer aided production (CAM) Pronto, Dr. Patrick J. Hanratty tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra bilgisayar destekli üretime dönüşen sayısal bir kontrol işleme teknolojisi haline gelmiştir. Bundan kısa bir süre sonra, bilgisayar tarafından oluşturulan grafiklerle uğraşan Patrick J. Hanratty 1961'de, interaktif grafikler kullanan ve General Motors'un karmaşık kalıpları için kullanılan ilk CAM/CAD sistemi olan bilgisayar tarafından otomatikleştirilmiş tasarım geliştirmiştir. 1962'de Douglas C. Englebart, "İnsan Zekasını Geliştirmek" başlıklı yazdığı bir makalede, nesne tabanlı tasarım, parametrik manipülasyon ve ilişkisel veritabanı önererek geleceğin mimarı fikrini ortaya koydu (Bergin, 2011).

Bu süre zarfında, birkaç tasarım araştırmacısı, Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) eşdeğer bir teknoloji üzerinde çalışıyordu. Bu araştırmacılar arasında, Christopher Alexander'ın çalışması, bir grup erken bilgisayar bilimcisini nesne yönelimli programlama üzerinde çalışmak üzere etkiledi. Ancak, grafiksel bir arayüz olmadığından kavramsal çerçeveler gerçekleştirilemedi. 1963 yılında, Ivan Sutherland tarafından MIT Lincoln Laboratuarlarında, grafik kullanıcı arayüzüne sahip ilk BDT "Sketchpad" geliştirildi. Genel olarak, insan-bilgisayar etkileşiminin yolunu açtı ve bilgisayar grafiklerinin geliştirilmesinde büyük bir adım oldu (Sutherland, 1963).

İnşaat teknolojisi açısından, Sketchpad yerini katı modelleme programlarına bıraktı- şekil bilgilerini görüntüleme ve kaydetme becerisine izin veren geometrinin hesaplamalı gösterimi daha da geliştirildi. 70'lerde ve 80'lerde, bundan doğan iki ana yöntem, Constructive Solid Geometry (CSG) ve sınır gösterimi boundary representation (BREP) idi. Bunun için tüm tasarım süreci, tasarım ortamına sezgisel bir bağlantı gerektirdi ve bilgisayara basit bir şekilde komuta etme zorluğunu sundu. 1975'te Charles Eastman, Building Description System (BDS) adlı bir prototipi açıklayan bir makale yayınladı. "Görsel ve niceliksel analizler için tek bir entegre veri tabanı" ile parametrik tasarım, yüksek kaliteli hesaplanabilir 3D temsiller fikirlerini tartıştı. Eastman'ın makalesi temel olarak YBM'ni şu anda bildiğimiz şekliyle tanımladı. Eastman, kullanıcıya sıralanabilir bir veri tabanına erişim sağlayan bir program tasarladı - bilgiler, niteliklere göre (malzeme ve tedarikçi dahil) kategorik olarak alınabilir; ayrıca grafiksel bir kullanıcı ara yüzü, ortografik ve perspektif görünümler kullandı. BDS, YBM

tarihinde bu bina veri tabanını başarıyla oluşturan ilk projelerden biriydi; geri alınabilen ve bir modele eklenebilen bireysel kütüphane öğelerini tanımladı (Bergin, 2011).

Eastman, BDS'nin taslak hazırlama ve analiz verimliliğini artıracağı ve tasarım maliyetini yüzde elliden fazla azaltacağı sonucuna vardı. BDS, önümüzdeki elli yıl boyunca mimari tasarımdaki en temel sorunları tanımlayan deneydi. 1977'de Charles Eastman, CMU Laboratuvarında GLIDE'ı (Graphical Language for Interactive Design) yarattı ve modern YBM platformunun özelliklerinin çoğunu sergiledi.

80'li yıllarda birçok yerde çeşitli sistemler geliştiriliyordu. Bu sistemler endüstride oldukça popülerlik kazandı ve bazıları inşaat projelerine bile uygulandı. 1986 yılında Heathrow Havalimanı Terminal 3'ün yenilenmesine yardımcı olmak için RUCAPS (Gerçek Evrensel Bilgisayar Destekli Üretim Sistemi) kullanıldı. Kullanılan bu sistem günümüzün YBM yazılımının öncüsü olarak kabul edilir (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008).

Birleşik Devletler'de ve İngiltere'de, Macaristan'da gelişmeler hızla gerçekleşirken, bir hesaplama ve programlama dehası, daha sonra YBM kavramının tarihini değiştirecek bir yazılım geliştirmek için Apple bilgisayarlarını yasadışı bir şekilde kaçırıyordu. 1982'de Gábor Bojár, ArchiCAD'i geliştirmeye başladı; Apple bilgisayarlarını kaçırmak için karısının mücevherlerini rehine vermek zorunda kaldı. Bojár, 1984'te BDS ile benzer teknolojiye sahip Apple Lisa OS için Graphisoft'un Radar CH'sini piyasaya sürdü.

Bu daha sonra 1987'de ArchiCAD olarak yeniden başlatıldı ve ArchiCAD'i kişisel bir bilgisayarda kullanılabilen ilk YBM yazılımı haline getirdi (Bergin, 2011). ArchiCAD, 1987'de sanal bina konsepti altında, yaklaşık 2000 km kuzeyde uygulanırken, Tekla , bir YBM'nin erken sistem versiyonu için birleşik grafik ve ilişkisel veri tabanını tamamladı.



Şekil 2.1984'te bir kişisel bilgisayardaki ilk büyük YBM sürümü ile modelleme yeteneklerini gösteren Radar CH'den alınan ekran görüntüsü (Quirk, 2012).

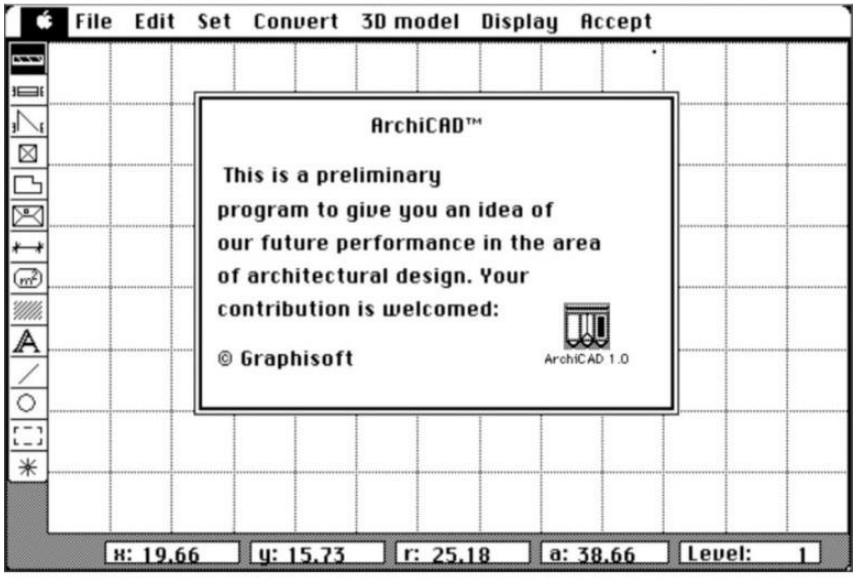
1985'te ABD'de Diehl Graphsoft, ilk CAD programlarından biri, ilk 3D modelleme yazılım programlarından biri ve ilk çapraz platform CAD uygulaması olan Vectorworks'ü geliştiriyordu. Vectorworks, YBM yeteneklerini ilk tanıtanlardan biriydi. Aynı zamanda (1985), Parametric Technology Corporation (PTC) 1985'te kuruldu ve YBM tarihinde pazarlanan ilk parametrik modelleme tasarım yazılımı olarak kabul edilen Pro/ENGINEER'ı 1988'de piyasaya sürdüler. Irwin Jungreis ve Leonid Raiz, kendi yazılım şirketleri Charles River Software'i kurmak için PTC'den ayrılmışlardır. Irwin ve Lenoid, ArchiCAD'den daha karmaşık projelerin üstesinden gelebilecek bir Pro/ENGINEER mimari versiyonu geliştirmek istedi. 2000 yılına gelindiğinde, revizyon ve hızı çağrıştırması beklenen uydurulmuş bir kelime olan Revit adında bir programları vardı. Revit, nesne yönelimli programlama yoluyla mümkün kılınan bir parametrik değişim motoru kullanarak ve zaman özniteliğinin eklenmesine izin veren bir platform oluşturarak YBM'de devrim yarattı.

YBM'nin tarihinde dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri, 1993 yılında Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'nda Building Design Advisor'ın geliştirilmesidir. Building Design Advisor, simülasyonları gerçekleştiren ve bir modele dayalı çözümler

öneren bir yazılımdı. Avustralya'da Mapsoft, 1994 yılında kuruldu ve uygun fiyatlı anket CAD yazılımını tasarlıyordu. Bu, elde taşınan bir bilgisayarda çalışan ilk anket CAD yazılımı olan miniCAD'in yolunu açtı. Windows, Palms ve diğer eski okul cep bilgisayarları için bugün hala kullanılmaktadır.

Robert Aish, "Bina Modellemesi" teriminin kullanımını ilk olarak 1986'da yayınlanan bir makalede belgeledi. Bundan birkaç yıl sonra, "Yapı Bilgi Modeli" teriminin ilk belgelenmiş kullanımı, GA Van Nederveen ve F. Tolman tarafından Aralık 1992'de Automation in Construction'da yayınlanan bir makalede ortaya çıktı.

Modern mimari, mühendislik ve inşaat uygulamaları bir işbirliği eğilimine doğru ilerliyor. Son on yılda, mimari dosyalar mühendislerin sistemleriyle entegre ediliyor. Bu işbirliği kültürü daha büyük endüstriyi etkiliyor - yavaş yavaş herkesin karşılıklı olarak erişilebilir bir dizi YBM modeli üzerinde çalıştığı entegre bir proje teslim sistemine doğru teklif sözleşmelerinden uzaklaşıyor.



Şekil 3.ArchiCAD Görseli.

1995 yılında, verilerin platformlar arasında akmasına izin vermek için International Foundation Class (IFC) dosya formatı geliştirildi - temelde bir dosyayı farklı YBM programlarıyla uyumlu hale getirdi. 1997'de ArchiCAD, ilk dosya değişimi tabanlı Teamwork çözümünü yayınladı. Bu, ekip işbirliklerinde devrim yarattı ve daha fazla mimarın aynı anda bir bina modeli üzerinde çalışmasına izin verdi.

Ekip çalışmasındaki güncellemeler daha sonra internet üzerinden aynı projeye uzaktan erişime izin verdi ve daha büyük ölçekte proje işbirliği ve koordinasyonuna izin verdi. 1999'da Japonya'da Onuma, sanal ekiplerin İnternet üzerinden YBM üzerinde çalışmasına izin verdi ve YBM yazılımının ve parametrik teknolojilerin gelecekteki sorunsuz çapraz platform entegrasyonunun yolunu açan veri tabanına dayalı bir YBM planlama sistemi oluşturdu.

2001 yılında NavisWorks, 3B CAD navigasyonu, işbirliği ve koordinasyon için bir dizi araç sunan bir 3B tasarım inceleme yazılımı olan JetStream'i geliştirdi ve pazarladı. JetStream, temel olarak değişen dosya formatı verilerini koordine etti ve inşaat simülasyonuna ve problem tespitine izin verdi. Revit, 2004'te Revit 6 güncellemesini yayınladığında, bu, daha büyük mimar ve mühendis ekiplerinin tek bir entegre model yazılımında işbirliği yapması için zemin hazırladı.

Autodesk, YBM oyununun zirvesine çıkmak için yarışırken, diğer "daha küçük" YBM sistemlerinin yanı sıra 2002'de Revit'i, 2007'de NavisWorks'ü satın aldı. 2012'nin sonlarında Autodesk, formit'i geliştirdi. Formit, bir mobil cihazda bir YBM modelinin kavranmasını sağlayan bir uygulamadır (Charlott, 2017).

Tablo 1.YBM tarihinin zaman çizelgesi

YBM tarihinin zaman çizelgesi	
1957	Pronto, first commercial computer-aided machining (CAM) software
1963	Sketchpad, CAD with graphical user interface
1975	Building Description System (BDS)
1977	Graphical Language for Interactive Design (GLIDE)
1982	2D CAD
1984	Radar CH
1985	Vectorworks
1986	Really Universal Computer-Aided Production System (RUCAPS)
1987	ArchiCAD
1988	Pro/ENGINEER
1992	Building Information Model as official term
1993	Building Design Advisor
1994	miniCAD
1995	International Foundation Class (IFC) file format
1997	ArchiCAD's Teamwork
1999	Onuma
2000	Revit
2001	NavisWorks
2002	Autodesk buys Revit
2003	Generative Components
2004	Revit 6 update
2006	Digital Project
2007	Autodesk buys NavisWorks
2008	Parametricist Manifesto
2012	Formit

2.1.1 YBM metodları ve yaklaşımları

YBM bazı yazılımsal programlar aracılığıyla bir yapının 3D modelinin oluşturulmasını sağlar ve zaman, maliyet, tasarım vb. bilgilerin de eklenerek projelerin modellenmesini sağlar. YBM boyutları (3D, 4D, 5D, 6D ve 7D), inşaat projelerinin çalışan tüm birimler tarafından en iyi şekilde anlaşılmasını sağlayarak oluşturulan model ile ilgili verileri analiz etmeyi ve projenin nasıl teslim edileceğini, maliyetinin ne olacağını ve nasıl sürdürülmesi gerektiği gibi konularda bizlere yol gösterir.

YBM boyutları ve bilgi seviyelerini aşağıdaki şekilde açıklamak mümkündür:

2.1.2 3D Modelleme | geometrik, grafik bilgisi

İnşaat projelerinin dijital modellerini tasarlamak için son teknoloji araçları kullanmak, estetik görünümün gerçekçi bir sunumunu ve modellenen öğelerin mükemmel geometrik şeklini görüntülememizi garanti ederken, tasarımımızın grafik ayrıntılarıyla ilgilenmemize de olanak tanımaktadır. Planlama aşamasında çözülebilecek bir problem, ilgili teknik disiplinlerden ayrı olarak sadece model oluşturma ile ilgili değildir, aynı zamanda bu metodolojinin temel bir bileşeni olarak dahil olan çeşitli disiplinlerin etkileşimini de dikkate almaktadır.

"Model kontrolü" olarak bilinen aktivite yönetimi ihtiyacı iki ayrı işlemle ifade edilebilir:

Kod kontrolü, modelin projeye ve standart gereksinimlerine uygunluğunun doğrulanması.

Çakışma tespiti, modelde mevcut olan olası geometrik çakışmaların önleyici analizi (Accasoftware, The 7 dimensions of BIM, 2021).

2.1.3 4D Zaman | Gantt çizelgeleri ve zaman çizelgeleri aracılığıyla yapı sıralaması

3D YBM'ye zaman boyutunun eklenmesi ile ortaya çıkan 4D YBM inşaat planlaması yapılırken dikkate alınan ana konulardan birisidir. Geleneksel yöntemlerde kullanılan Gantt vb. çizelgelerin süreçlerin aktarımında meydana gelen veri kaybı, yapı alanlarındaki malzemelerin yerleşim planlaması eksikliği ve iş birimleri arasındaki iletişim kopuklukları gibi bazı sorunları vardır. Proje zamanlamasının yapılan analizlere göre tekrar düzenlenmesi gerekebilmektedir. Bu ihtiyaç 4D YBM ile gelen teknolojilerle karşılanabilmektedir (Accasoftware, The 7 dimensions of BIM , 2021).

Kuruoğlu, Gökyiğit ve Köse'ye göre 4D olarak modellenmiş bir yapının tüm aşamalarının modellenmesi, projede çalışanların süreci her açıdan anlamasına yardımcı olur. 4D YBM'nin yapı şirketlerine entegre edilmesinde, şirketler belli aşamalardan geçer. Öncelikle kabul ile başlayan bu süreç, tasarım ve inşaat için iletişimin sağlanması ile devam eder. 4D YBM kullanmaya karar veren firmalar öncelikle 3D modeli tasarlarlar, sonrasında ise inşaat iletişimi ile 4D'yi uygulamaya koyar. 4D YBM'nin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Görsellik sayesinde planlamanın daha anlaşılabilir olması
- Çakışma tespiti
- Yapının yapılıp yapılamayacağına yönelik analiz
- Birimler arası koordinasyon artışı
- Model üzerinde değiştirilen verilerin sonuca etkisini gösterme
- İş kazalarına yönelik tehditleri belirleme

4D YBM'nin avantajlarına rağmen ülkemizde yeteri kadar kullanılmadığını fark etmişlerdir. Altında yatan nedenler ise aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Bilgi teknolojileri
- Yetkin eleman eksikliği
- Zaman ve çalışan kaynağı yetersizliği
- Analiz için gereken detaylar
- Geleneksel yöntemin yeterli olduğunu düşünme
- Şirket için süreçlerde değişiklik
- Yeni bir teknolojiye geçilirken gereken yatırım maliyeti (Kuruoğlu, Gökyiğit, & Köse, 2014)

2.1.4 5D Maliyet Analizi | maliyet yönetimi, inşaat maliyet tahmini

Beşinci boyut maliyet analizi ile ilgilidir ve maliyetle ilgili temel sorun, bir çok soyutlama düzeyini kapsamasıdır. Örneğin fiyatlandırma, malzemelerin, bileşenlerin veya tüm montajların fiyatını içermesi gerekebilir. Satın alınan malzeme, bileşen ve montajların birim fiyatları elimizde olan veriler olsa da bunları bir yapı elemanı veya bütün bir bina haline getirmenin maliyeti geometrik, topolojik, ekonomik ve diğer faktörleri içeren karmaşık bir fonksiyon ortaya koymaktadır. Bu durum tekli bileşenler ve montaj yapılan

bileşenler için de geçerlidir: aynı binadaki iki farklı yerde aynı pencerenin maliyeti, arabirim sorunları veya ekipman gereksinimleri nedeniyle farklılık gösterebilmektedir. Sonuç olarak maliyet, çok bileşenli bir fonksiyondur. Birim fiyatlar, bileşenlere özellik olarak eklenebilir. Ancak, bu veriler elimizde olmasına rağmen, birim fiyatlar nesnelerin kimliği için gerekli değildir: fiyatlarını bilmemek bir sembolü tanımsız kılmamaktadır (Koutamanis, 2020).

5D teknolojisini etkin bir şekilde uygulayan firmaların kapsamını ölçmek zordur. Avustralya'daki yenilikçi bir proje maliyet yönetimi firması, firmalarını "5D Quantity Surveyors ve YBM Savunucuları ve Uzmanları" olarak pazarlayan bir firmadır. Firmanın genel müdürü, maliyet yöneticisini tanımlarken, ayrıntılı 5D tahminleri ve bu maliyetleri hesaplarken teknolojiyle bütünleşmesi gerektiğini belirtmektedir. Bir maliyet yöneticisi, tasarımları yaparken maliyet ve tahminlemeyi en iyi şekilde yapmalıdır ve tasarım ilerledikçe yapılan tahminleri model üzerinde gerekli şekilde entegre edip en iyi değeri sunabilmelidir. 2D yaklaşımını kullanan yöneticilerin sağlıklı bir analiz yapamayacağı ve çok zaman alacağı için 5D alanında kendilerini geliştirmesi daha anlamlı olacaktır. 5D ile yapılan modellemelerde, modeller sürekli geliştirilebildiğinden istenildiği kadar tahminleme yapılıp modeller revize edilebilir. Bu yeni teknolojik yöntemlerin geleneksel yöntemlerle birleştirilerek kullanabilmesi ile 5D YBM projeleri de büyük önem kazanmıştır (Smith, 2014).

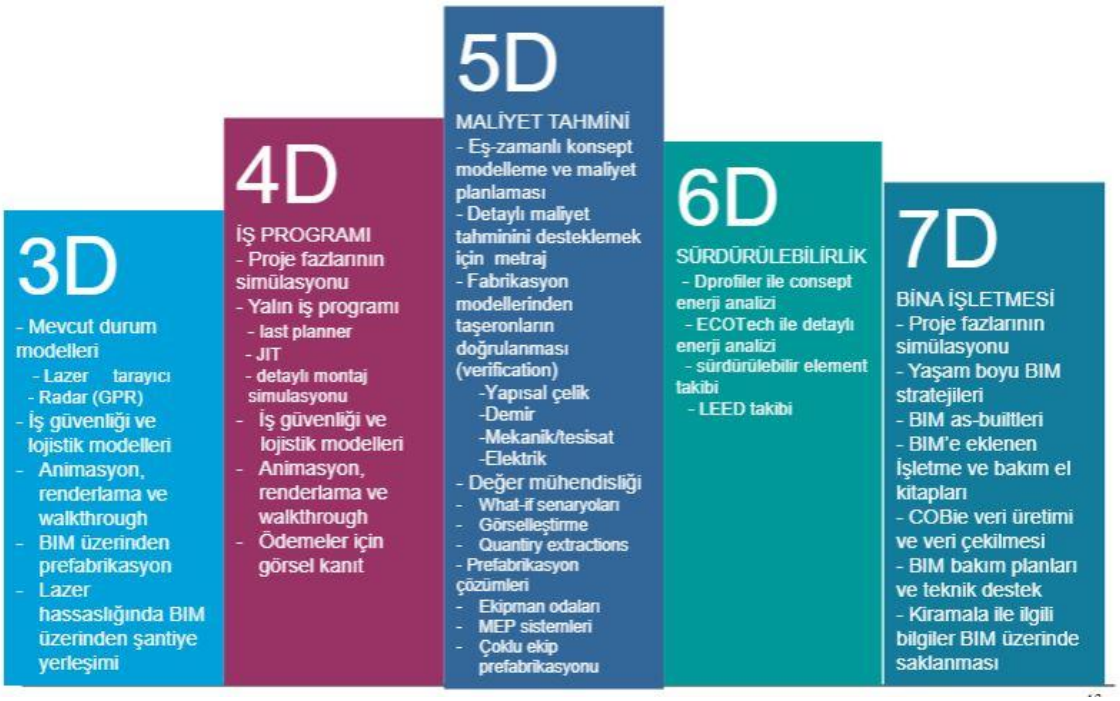
2.1.5 6D Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliği | çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik etki çalışmaları

Altıncı boyut kavramı, enerji verimliliği ve yeni veya halihazırda mevcut bir binanın sürdürülebilir gelişimi ile ilgili yönlerle ilişkilidir. 6D YBM simülasyonu, yapıların sürdürülebilirliği (ekonomik, çevresel, enerji vb.) açısından kapsamlı bir analize izin verir. Enerji performansının tasarım aşamasından itibaren analiz edilmesi, tasarımcıya daha düşük enerji tüketimi, daha yüksek kalite ve konfor sağlamak için benimsenecek en uygun teknik çözümleri sağlayarak projenin sürdürülebilirliğini garanti eder (Accasoftware, The 7 dimensions of BIM , 2021).

2.1.6 7D Yaşam Döngüsü ve Bakım | Tesis Yönetimi

YBM metodolojisi, yapılacak olan yapılara en yakın şekilde bir model oluşturmayı amaçlamaktadır. “As-Built” denildiğinde sadece modellenen yapıları değil, yapım

aşamasında olan modelleri de içermektedir. Proje aşamasında hazırlanan modellemeler, meydana gelebilecek değişikliklere karşı hazırlıklı olmak veya modelleme aşamasında dikkat edilmemiş olan tüm sorunları çözmek amacıyla geleneksel yöntemle incelenirler ve eğer gerekiyorsa değiştirilirler. Model oluşturulurken tek bir yazılım ile hazırlanarak değil, oluşturulacak olan birçok model ile yapıyı en uygun şekilde dijital ortama taşımak amaçlanmalıdır. Oluşturulacak olan modelin mutlaka veri tabanı olmalıdır. Bu sayede modellenen yapıları korumak için gerekli aksiyonlar alınabilir ve her zaman kontrol sağlanabilir (Accasoftware, The 7 dimensions of BIM , 2021).



Şekil 4. Yapı Bilgi Modellemesi Boyutları (Pehlevan, E.E., Kazado, D., 2018).

2.2 Yapı Bilgi Modellemesinin Kullanım Alanları

YBM görselleştirme, üretim/iş yeri çizimleri, otomatik üretim süreçleri, yönetmeliğe ilişkin değerlendirmeler, adli analiz, tesis yönetimi, maliyet hesabı, yapı dizisi, uyuşmazlık ve çalışma araştırması, acil durum yönetimi vb. için kullanılabilir. Bu ve benzeri alanlarda yapılan çalışmalar ve YBM'nin kullanım amaçları aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

Doğal kaynakların hızla tükenmesi ve kontrolsüz nüfus artışı, inşaat sektöründe sürdürülebilir kalkınmayı zorunlu hale getirmiştir. Gürgün, Koç ve Atabay tarafından yapılan çalışmada, YBM uygulamalarının maliyet, zaman, kapsam ve kalite kısıtları açısından avantajları amaca ulaşmak için test edilmiştir. Yapılan analizler sonucu temelde disiplinler arası çalışmanın en önemli avantaj olduğu görülmüştür (Gürgün, Koç, & Atabay, 2022).

İnşaat projelerindeki en zahmetli süreçlerden biri olan ve ileri seviye tecrübe gerektiren metraj çıkarma ve maliyet hesabı YBM teknolojileri ile otomatik hale getirilerek ölçülebilir sonuçlar elde etmek istenmiştir. Bu teknolojiler sayesinde proje süreçlerinde önemli ölçüde zaman kazanımı sağlanabildiği görülmüştür. Gerçek, İlal, Tokdemir ve Günaydın yaptıkları çalışmada YBM ile metraj çıkarma ve maliyet hesabı süreçlerini incelemiş, süreçlerde yaşanan problemler incelenerek çözüm önerileri sunulmuş olup yüklenicilerin kullanabileceği bir sistem oluşturmak amaçlanmıştır (Gerçek, İlal, Tokdemir, & Günaydın, 2016).

İnşaat firmaları için en önemli süreçlerden olan teklif hazırlama süreci, birçok ayrıntının detaylı olarak analiz edilerek fiyatlandırmanın yapıldığı ve çok dikkatli olunması gereken süreçlerin başında gelmektedir. İnşaat firmaları herhangi bir projeye teklif hazırlarken, proje yapılırken yaşanabilecek sorunları, çalışmanın yapılacağı ülke koşullarını, pazar yapısındaki farklılıkları, finansal konuları ve sözleşmelerden kaynaklanabilecek anlaşmazlıkları dikkate alarak maliyet hesabı yapmalı ve ihale için sunacağı fiyatı en doğru şekilde hesaplamalıdır. Sürekli değişen sektör genelinde artan maliyetler, projelerde yaşanan gecikmeler vb. risklerle karşı karşıya kalabilen inşaat firmalarının en doğru şekilde maliyet analizi yaparak teklif süreçlerindeki belirsizlikleri en aza indirmesi gerekmektedir (Kırzıoğlu & Gelişen, 2020).

İşletme ne kadar iyi çalışırsa, maliyet, zaman vb. makalelerini daha iyi yönetir. İnşaat sektöründeki firmalar bilgi teknolojilerinin de hayatlarına girmesiyle süreçlerini daha iyi analiz ederek yönetebilmektedirler. Farklı birimlerde çalışanlar arası iletişime olanak sağlaması ve proje yönetim süreçlerinde meydana gelen sorunların fark edilerek erken çözüm olanağı sağlaması sayesinde YBM önemli bir şekilde öne çıkmaktadır. CBS ise sürekli genişleyen kentlerin yönetimi, planlanması, çevre düzenlemeleri, ulaşım

planlamaları vb. birçok konuda kullanılarak karar verme süreçlerinde bir destek mekanizması olarak görev almaktadır. Akkaya ve Başaraner yaptıkları araştırma kapsamında YBM ile CBS arasındaki entegre yönetim süreçlerinden bahsetmiştir (Akkaya & Başaraner, 2012).

Teknolojik gelişmelerle birlikte hayatımıza giren imkanları değerlendirmek isteyen çalışanlar, projelerinde verimlilik sağlayacak çalışmalar yapmak istemektedirler. Enerji kaynaklarının hızla tükeniyor olması nedeniyle ve verimli projeler yapabilmek amacıyla kendilerine yol gösterebilecek bir yardımcı konumunda olan YBM uygulamaları planlamadan yönetim aşamasına kadar her konuda verdiği destek ve sağladığı eş zamanlı çalışma imkanıyla ön plana çıkmaktadır. Özcan ve Erol yaptıkları çalışma kapsamında YBM'nin projelerdeki faydalarını detaylı olarak incelemiştir. Bu inceleme sonucunda YBM'nin görselleştirme, koordinasyon, prefabrikasyon, planlama, düşük hata toleransı ve iş birliği konularında verdiği destek ile iklimsel veri, meteorolojik veri, bina enerji sarfiyatı, güneşlenme/gölgelenme, termal ışınım, rüzgar ve hava akımı analizleri ile projelerin karar aşamalarında verdiği destek ile meydana gelebilecek hatalara önden çözüm bulunabilmektedir. Sürdürülebilir projeleri ve fikirleri destekleyen YBM uygulamaları birçok farklı disiplini tek bir model üzerinde birleştirerek disiplinler arasında etkili bir koordinasyon sağlayabilmektedir. Bu da eski yöntemlerdeki verimsiz süreçleri azaltarak zamanın ve kaynakların verimli kullanımını sağlayarak, hataların, gecikmelerin ve parasal kayıpların ortadan kaldırılabilmesinde etkin rol oynamaktadır (Özcan & Erol, 2018).

Enerji tüketiminde çok büyük bir paya sahip olan yapılar için proje aşamasındaki erken tasarım döneminde yapılan değerlendirmeler ile enerji tüketimini en aza indirgeyecek tasarımlar analiz edilip seçilerek küresel tehdidi azaltma yönünde aksiyonlar alınabilmektedir. Normal süreçteki tasarım alternatiflerinin karşılaştırılması sürecinde meydana gelecek en ufak bir hata zaman kaybına ve takip zorluğuna neden olmaktadır. Yapı bilgi modellemesi çalışma mantığı sayesinde proje içerisindeki ilişkileri koruyarak hem hataların önüne geçmekte hem de muhtemel zaman kayıplarını en aza indirgemektedir. Yine de projeyi tasarlayan kişilerin performans analizi yapabilmesi için tüm alternatifleri ayrı ayrı modellemesi gerekmektedir. Sürdürülebilirlik konusunda farklı bir çalışma yapan Altun ve Akçamete Güngör, Dynamo programı aracılığıyla yapı bilgi

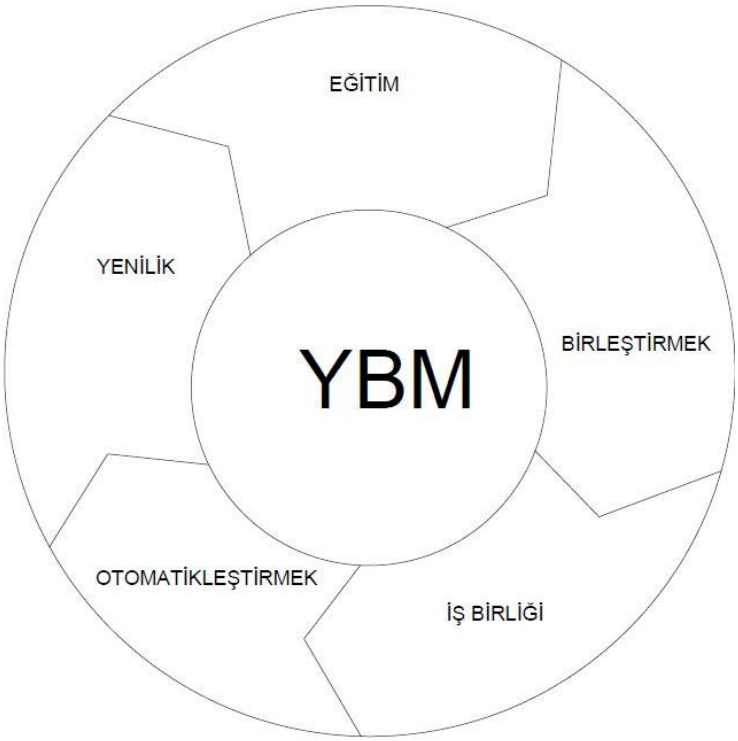
modellemesi yazılımı ve Green Building Studio enerji analiz programını birbiriyle etkileştirerek birçok tasarım alternatifi içerisinden, kullandıkları algoritma aracılığıyla otomatik olarak değerlendirilmesini sağlamış ve en ideal tasarıma ulaşmışlardır. Çalışma kapsamında seçilen bir konut için tasarım çalışmaları yapılmış olup malzeme ve geometrik özellikleri değiştirilerek çeşitli modellemeler ve performans analizleri de yapılarak yol gösterici bir çalışma ortaya konulmuştur (Altun & Akçamete Güngör, 2016).

%50'nin üzerinde maliyet oluşturan işletme ve bakım operasyonlarının maliyetlerinin azaltılması ve operasyonların en verimli şekilde yürütülebilmesi, projelerin ilk tasarlandığı aşamada tüm bilgilerin doğru ve etkin şekilde analiziyle mümkündür. Bu noktada devreye giren YBM yazılımları bilgilerin otomatik olarak aktarılması ve analizi aşamasında rol almaktadır. Bilgilerin aktarılacağı formatların standart olması doğru bilgi aktarımı açısından önemlidir. Bu nedenle YBM ile diğer programların birlikte verimli bir şekilde çalışabilmesinin temelinde standart formatların oluşturulması gerekmektedir. Yalçınkaya, Öztürk & Arditi yaptıkları çalışmada yapıların işletme ve bakım aşamalarında gerekli olan proje bilgilerini ve bu bilgilerin otomatik transferi için Amerikan Kara Kuvvetleri İstihkâm Dairesi (US Army Corps of Engineers) tarafından geliştirilen COBie (Construction Operations Building Information Exchange–İnşaat İşletmesi ve Yapı Bilgi Transferi) standardını incelemişlerdir. Ayrıca, firmaların yüksek oranda kullandığı iki YBM yazılımı olan Autodesk Revit ve Graphisoft ArchiCAD, COBie için geliştirdikleri bilgi transfer uygulamalarının yeterliklerini karşılaştırarak tasarım ve inşaat bilgilerinin işletme ve bakım aşamalarına verimli bir şekilde transferi için YBM yazılımlarında yapılması gerekli değişiklikleri tartışmıştır (Yalçınkaya, Öztürk, & Arditi, 2014).

2.3 YBM'de Analiz Yöntemleri

Yapı bilgi modellemesinin AEC endüstrisindeki önemi anlaşıldıktan sonra birçok şirket YBM'yi kendi organizasyonlarına entegre etmek için yol haritası oluşturmuştur. Örnek olarak Finlandiya'da ilk YBM çalışmasına 2005 yılında başlanmış olup sürecin 2008 yılına kadar konut projelerinde, 2009 yılına kadar ulusal ve uluslararası yapılan ticari amaçlı projelerde yaygınlaştırılması hedeflenerek, 2013 yılına kadar maksimum ticari faydaya ulaşmayı hedeflemiştir. Amerika'da bir kamu kuruluşu olan ABD Ordusu

Mühendisler Birliği tarafından 2006 yılında hazırlanan ilk yol haritası yedi farklı noktaya değinmekteydi. Proje sayısı ve YBM standartlarına uyum düzeyi bu noktada önemli rol oynamıştır. YBM standartlarına göre tanımlanan tam operasyon için gerekli olan kapasiteye ulaşmak için 2012 yılını hedefleyen ABD Ordusu Mühendisler Birliği, 2010 yılına kadar yapılacak olan projelerinde YBM'ni kademeli olarak devreye almayı hedeflemiştir. Böylece 2020 yılı sonuna kadar tam otomasyona ulaşmayı amaçlamışlardır ve YBM seviyelerini beş adımdan oluşan (Eğitim, Entegrasyon, İşbirliği, Otomatikleştirme ve Yenilik) döngüsel bir süreç olarak tanımlamışlardır (Sacks, Eastman, Lee, & Teichoiz, 2018).



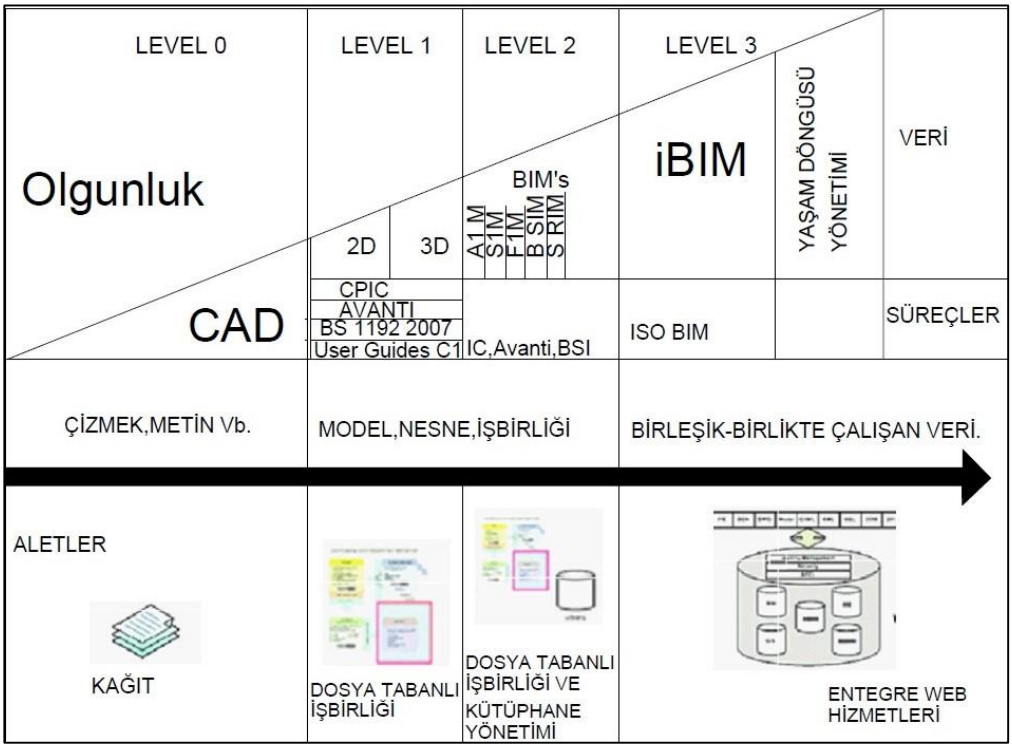
Şekil 5. YBM Yol Haritası (Sacks, Eastman, Lee, & Teichoiz, 2018).

2014 yılında yayınlanan Kanada YBM yol haritası beş adımdan oluşmaktadır: Bağımsız, Koordineli, İşbirliğine Dayalı, Entegre ve Birleşik/Optimize Edilmiş.

Kanada, inşaat süreçlerine BIM'i entegre etmek ve bu alanda çalışan kişilere benimsetmek için, sektör çalışanlarını standartları öğrenebilecekleri, belgelerin ve faaliyetlerin geliştirilmesine katkıda bulunabilecekleri büyüyen bir topluluğa dahil ederek her türlü desteği vermektedir. YBM'nin yeni bir süreç olduğu Kanada'da sürecin sağlıklı bir

şekilde ilerlediği ve YBM kullanım oranının %31 oranına çıktığı görülmektedir. YBM süreçlerinin benimsenmesi için Kanada'da 6 faaliyet alanı tanımlanmıştır: Etkileşime Geçmek, Geliştirmek, Eğitmek, Dağıtmak, Değerlendirmek ve Sürdürmek. Kanada yol haritası, farklı ülkelerden YBM'i benimsemek isteyen birçok şirket için bir rehber olarak kullanılıyor (Keenliside, 2017).

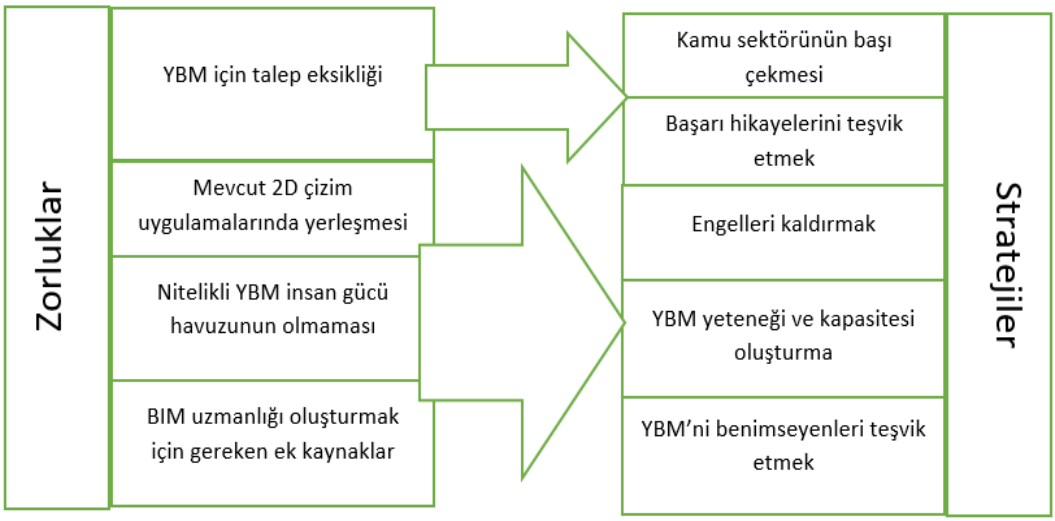
Birleşik Krallık Hükümeti, YBM'nin uygulanması ve yaygınlaştırılması için bir yol haritasının geliştirilmesine yardımcı olmak amacıyla özel bir YBM Görev Grubu kurmuştur. Kademeli bir şekilde YBM süreçlerini uygulamaya yardımcı olmak için, tüm projelerin 2016 yılına kadar Düzey 2 YBM'ne ulaşması gerekirken, inşaat projeleri tarafından benimsenmesi gereken belirli YBM seviyeleri Şekil 6'da gösterilmiştir (Dave, Koskela, Kiviniemi, Tzortzopoulos, & Owen, 2013).



Şekil 6. Birleşik Krallık Yol Haritası (Dave, Koskela, Kiviniemi, Tzortzopoulos, & Owen, 2013).

Singapur, Building Construction Authority (BCA) tarafından hazırlanan yol haritası ile YBM'nin şirketler tarafından dikkate alınmasını önemli ölçüde sağlayarak, YBM'nin benimsenmesinde 5 yıl içerisinde büyük bir başarı göstermiştir. Şekil 7'de Singapur'un YBM yol haritasının kısa bir özeti gösterilmektedir. 2010-2012 yılları arasında seçilen

projeler ile kamu sektöründe uygulamalara başlayan Singapur, 2013-2015 yılları arasında faaliyet gösteren tüm şirketlere belli yönergelerle YBM'i zorunlu tutarak aşamalı olarak devreye aldırmıştır. Aynı zamanda 2015 itibari ile 5.000 m2 ve üzerinde tüm yapılarda YBM uygulanması zorunlu tutulmuştur (Shen, Edirisinghe, & Miang Goh, 2016).



Şekil 7. Singapur BCA'nın ilk YBM yol haritası: Zorluklar ve Stratejiler (Shen, Edirisinghe, & Miang Goh, 2016).

Güney Kore hükümeti, dikkatini çeken yenilikçi teknolojiler ile YBM politikalarını uygulamaya koymak için harekete geçmiştir. Güney Kore'nin önde gelen inşaat idaresi olan Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2010 yılında inşaat projeleri için ilk YBM uygulama kılavuzunu yayınlamıştır ve Public Procurement Service (PPS), 2011'den itibaren 50 milyar won'dan fazla olan kamu tesisleri için Anahtar Teslimi projelere BIM uygulamasını zorunlu hale getirmiştir (Jeong, 2021).

Her ülke özelinde YBM kullanım koşulları değişebilmektedir. Örnek olarak Singapur BCA, brüt taban alanını kullanırken, Danimarka, Güney Kore, Çin ve Wisconsin Eyaleti toplam proje değerini kullanır. Çin projelerin yüzdesini kullanırken, Fransa birim sayısını kullanır. Dubai, kat sayısını ve brüt taban alanlarını kullanırken, İspanya proje türünü kullanır. Saks, Eastman, Lee ve Teichoiz 2018 yılında yayınladıkları kitaplarında hangi ülkelerin YBM'i hangi koşullarda uyguladığını belirtmişlerdir, detayları Tablo 2'de gösterilmiştir (Sacks, Eastman, Lee, & Teichoiz, 2018).

Tablo 2.Dünya Çapında YBM Talimatları (Hedef Yıla Göre).

Ülke	Kuruluş	Hedef Yılı	Gereksinimler
Norveç	Statsbygg	2007–2010	"One-Five-Fifteen-All": 2007'de bir proje, 2008'de beş proje, 2009'da on beş proje ve 2010'dan itibaren tüm kamu projelerinin IFC kullanması gerekiyordu.
Danimarka	bips/MOLIO	2007–2013	Ocak 2007'den itibaren, 3 milyon Euro üzerindeki tüm kamu projelerinin, YBM için bir gereklilik olarak IFC'yi kullanması gerekiyordu. 2013'te Danimarka hükümeti, YBM yetkisinin kapsamını, ICT/YBM'ni kullanmak için hükümet yetkililerinden alınan krediler veya hibeler ile 0,7 milyon Avro'nun üzerindeki kamu bina projelerine veya 2,7 milyon Avro'nun üzerindeki projelere genişletti.
Finlandiya	Senate Properties	2007	Tüm kamu projeleri IFC/YBM kullanmak zorundadır. 2012'den beri Ortak YBM Gereksinimleri (COBIM) yayınlandıktan sonra, Senato Mülkleri ve büyük inşaat şirketleri, COBIM'i kılavuz olarak kullanarak projelerinde YBM'ni zorunlu kılmıştır. Finlandiya, YBM'ni inşaat ruhsatı sürecinin bir parçası haline getirme planını içeren KIRAdigi adlı bir program başlattı.
Amerika	GSA	2008	GSA, GSA Kılavuz Serisine dayalı olarak ABD hükümetinin ödeneklerini içeren tüm büyük projelerinde (yaklaşık 35 milyon ABD dolarının üzerinde) YBM'ni zorunlu kılmıştır.

Amerika	Wisconsin	2010	Wisconsin Eyaleti, 5 milyon ABD Doları veya daha fazla bütçeye sahip tüm kamu projelerinin ve 2,5 milyon ABD Doları veya daha fazla bütçeye sahip tüm yeni inşaatların 2010'dan itibaren YBM kullanması gerektiğini açıkladı.
Güney Kore	Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (MoLIT)/Public Procurement Service (PPS)	2010–2016	2010'da en az iki proje, 2011'de en az üç proje, 2012'de 50B KRW üzerindeki tüm "toplam hizmet" projelerinin ve 2016'daki tüm "toplam hizmet" projelerinin YBM kullanması gerekiyordu. "Toplam hizmet" projesi, tüm satın alma ve yapım süreci PPS tarafından planlanıp yönetilen bir projedir.
Singapur	Building and Construction Authority (BCA)	2013–2015	2013 yılına kadar, 20.000 m2'den büyük tüm yeni bina projelerinin "Architecture BIM e-submission" kullanması gerekiyordu. 2014 yılına kadar, 20.000 m2'den büyük tüm yeni bina projelerinin "Mühendislik YBM e-sunusunu" kullanması gerekiyordu. 2015 yılına kadar, 5.000 m2'den büyük tüm yeni bina projelerinin "Mimarlık ve Mühendislik YBM e-sunusunu" kullanması gerekiyordu.
Birleşik Krallık	UK BIM Task Group/The Cabinet Office	2016	2011 yılında Birleşik Krallık hükümeti, 2016 yılına kadar Birleşik Krallık YBM Seviye 2'deki tüm kamu projelerinde YBM'ni zorunlu kılacağını duyurdu.
Çin	Hong Kong Housing Authority	2014	2014 yılında Hong Kong Konut İdaresi, tüm projelerinde YBM'ni zorunlu kılmıştır.

Çin	Hong Kong government	2017–2018	Ocak 2017'de, Hong Kong Politika Adresi, Hong Kong hükümet departmanlarının danışmanlardan ve yüklenicilerden YBM'ni kullanmalarını aktif olarak talep etmesi gerektiğini belirtti. Ocak 2018'den itibaren Hong Kong hükümeti, 30 milyon HKD'yi aşan hükümet projelerinde YBM'i zorunlu kıldı.
Çin	Hunan Province	2018–2020	Hunan Eyaleti, 2018 yılı sonuna kadar 60 milyon RMB veya 20.000 m2'yi aşan tüm kamu tasarım ve inşaat projelerinde ve 2020 yılına kadar Hunan Eyaletindeki tüm yeni binaların %90'ında YBM'ni zorunlu kılmayı planladı.
Çin	Fujian city	2017	Fujian şehri, 2017 yılına kadar 100 milyon RMB'yi aşan bazı projelerde YBM'ni seçici olarak zorunlu kıldı.
Çin	National government	2020	Hükümetin On İkinci Beş Yıllık Planına göre, A sınıfı konutlar ve yeni inşaat projelerinin %90'ının 2020'nin sonlarına kadar YBM kullanması gerekiyordu.
Dubai	Dubai Municipality	2014	2014 yılında Dubai Belediyesi, 40 kat veya daha yüksek binalar, 300.000 ft2'yi aşan tesisler ve binalar, hastaneler, üniversiteler ve diğer özel binalar ve uluslararası bir tarafça teslim edilen binalar için YBM araçlarının kullanılmasını zorunlu kılmıştır.

İtalya		2016	27 Ocak 2016'da İtalyan hükümeti, 5.225.000 Euro üzerindeki kamu projelerinin 18 Ekim 2016'dan itibaren Birleşik Krallık YBM yol haritasının 2. Seviye YBM'ni karşılaması gerektiğini duyurdu.
Fransa	The Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB)	2017	2014 yılında Fransa, 2017 yılına kadar YBM kullanarak 500.000 konut geliştireceğini duyurdu.
İspanya	Ministry of Development	2018–2019	2015 yılında İspanya Kalkınma Bakanlığı, kamu sektöründe YBM'i Mart 2018'den, kamu inşaat projelerini Aralık 2018'den ve altyapı projelerini Temmuz 2019'dan itibaren zorunlu kılmayı planladığını duyurdu.
İspanya	Catalonia Municipal Government	2020	Şubat 2015'te Katalonya Belediye Hükümeti, 2020 yılına kadar YBM'i zorunlu kılmak için bir plan oluşturmak için "Construim el Futur" ("Geleceği İnşa Ediyoruz") adlı bir grup kurdu.
Almanya	Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure	2020	Almanya hükümeti, 2020 yılına kadar tüm altyapı projelerinde ve potansiyel olarak inşaat projelerinde de YBM'ni kullandırmayı planladı.
İsrail	Ministry of Defense	2016	Tüm projeler 2019 yılına kadar YBM ile teslim edilmelidir.

2.4 Yapı Bilgi Modellemesinde LOD kavramı

Nesne Tanım Düzeyi / Nesne Detay Seviyesi / Nesne Olgunluk Seviyesi / Nesne Gelişim Seviyesi (Level of Definition, Level of Detail, Level of Development) kelimeleriyle ifade edilen LOD kavramı; bir projenin başlangıç aşamasından en son aşamasına kadar süregelen adımların içeriklerini tanımlamaktadır. Amerikan Mimarlar Enstitüsü, 2008 yılında YBM modeliyle ilgili ayrıntı miktarını tanımlamak için ilk olarak beş "geliştirme seviyesi" sunarak LOD detaylarını yayınlamıştır ancak daha sonra, bu işlerle ilgilenen kişlerin süreçleri daha iyi benimsemesine ve uygulamasına yardımcı olmak için 2013 yılında Altı Gelişim Düzeyi olarak yayınlamıştır. Level Of Detail (LOD) Spesifikasyonu, AEC Endüstrisindeki uygulayıcıların, tasarım ve inşaat sürecinin çeşitli aşamalarında YBM'nin içeriğini ve güvenilirliğini yüksek düzeyde netlikle belirtmelerini ve ifade etmelerini sağlayan bir referanstır. LOD Çerçevesi, bir YBM içindeki çeşitli sistemlerin gelişim durumunu tanımlamak için endüstri tarafından geliştirilmiş bir standart sağlayarak AEC profesyonellerinin karşılaştığı çeşitli sorunları ele alır. Bu standart, YBM kilometre taşlarının ve çıktılarının ayrıntılı tanımını kolaylaştırarak iletişim ve uygulamada tutarlılık sağlar. Modellerin hangi detayla hazırlanacağını kendi standartlarına göre farklı başlıklar altında tanımlamış olsalar da temel olarak amaç, YBM modelindeki bilgilerin nasıl ilerleyeceğini açıklayarak karışıklıkları gidermek ve daha kaliteli projeler üretmektir (Öğreten, 2019).

Bina bileşeninin bu seviyeleri ve özellikleri ve her bir LOD aşamasındaki bilgi seviyesi aşağıda açıklanmıştır:

LOD 100 - Konsept Tasarım

LOD 200 - Şematik Tasarım

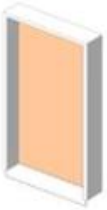
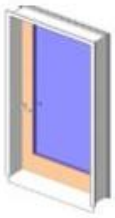
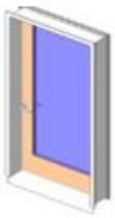
LOD 300 - Detaylı Tasarım

LOD 350 - İnşaat Dokümantasyonu

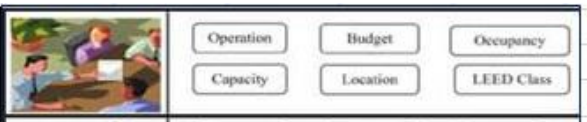
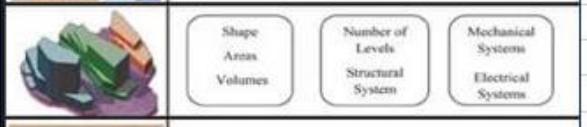
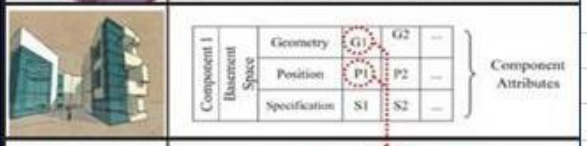
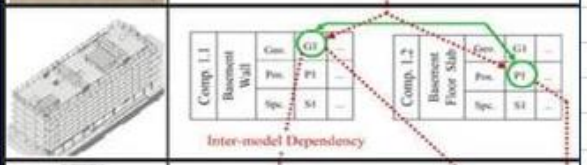
LOD 400 - İmalat ve Montaj

LOD 500 - As-Built

500 - As-Built

LOD 100	LOD 200	LOD 300/350	LOD 400	LOD 500
				
Konsept Tasarım	Şematik Tasarım	Detaylı Tasarım	İmalat ve Montaj	As-Built Projesi

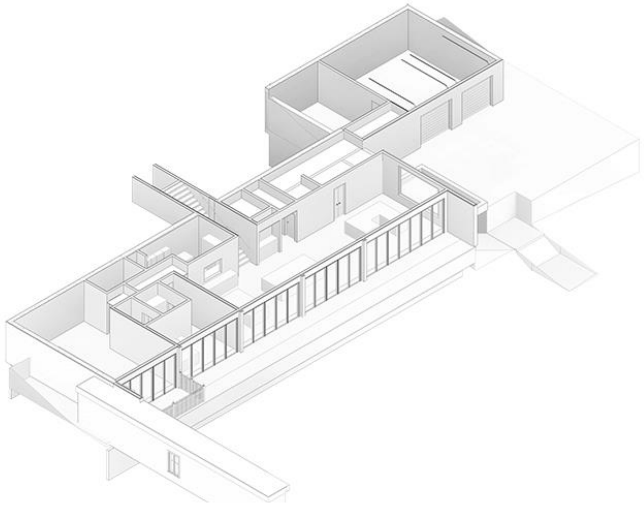
Şekil 8. LOD Aşaması Bilgi Seviyeleri (Jovanović, 2019)**.**

Eleman Odaklı Modelleme	As-Built	LOD 500	
	İmalat ve Montaj	LOD 400	
Sistem Bileşeni Modelleme	Detaylı Tasarım	LOD 300	
	Basit Tasarım	LOD 200	
Kavramsal Bilgi Model	Kacramsal Tasarım	LOD 100	
	Müşteri Talebi	Ön Modelleme	

Şekil 9.YBM Gelişim Seviyeleri (LEVEL OF DEVELOPMENT , 2021).

Şekil 10. LOD 100 (Konsept)

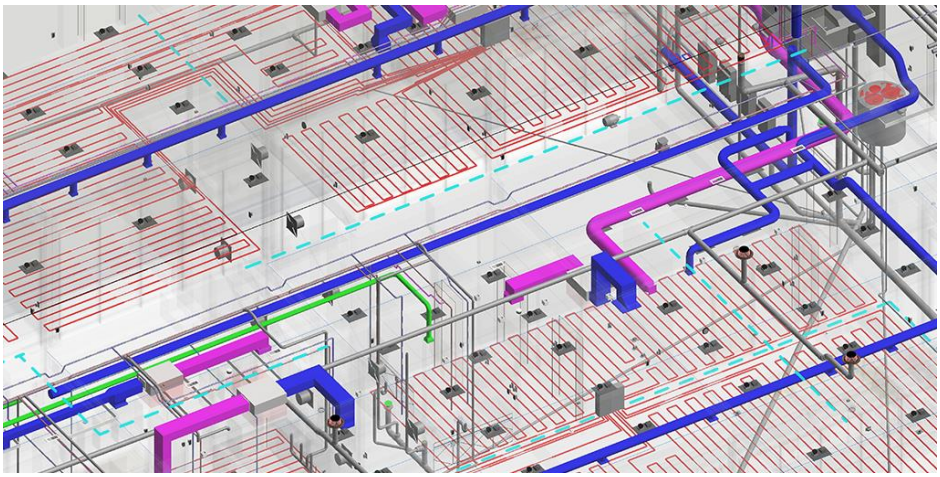
LOD 100, inşaat sürecinin ilk aşamasıdır. Tasarım ve şematik aşamayı belirten bu seviyede üreitlen detaylar sadece çizgiler, temel kütle oluşturma ve 3D geometridir. Bu model bir yapının nasıl görüneceğine dair fikir vermektedir. LOD 100 elemanı, yükseklik, alan, hacim, yön ve konum gibi parametrelerin tanımlandığı kavramsal bir modeldir. Bu aşamadaki bilgiler yaklaşık olarak kabul edilir (BIM Level of Detail (LOD), 2018).



Şekil 11.LOD 200 (Yaklaşık Geometri)

LOD 200 seviyesi modellenen yapının kapı pencere şekilleri, boyutu, döşeme, temel ve genel mobilya yerleşimleri vb. hakkında bilgi vermektedir. YBM modelleri, bir bina

yapısının genel bir tasarımını göstermektedir. LOD 200 modeli, tasarım amacı modeliyle başlayan ve farklı işlevlere göre daha da yükseltilebilen mimari YBM hizmetlerinin ayrılmaz parçasıdır. LOD 200, şekiller, boyutlar, konumlar vb. gibi geometrik özellikleri gösterir. LOD 200'deki karmaşıklık düzeyi, LOD 100'ünkinden biraz daha fazladır. Ayrıca bazı geometrik olmayan bilgileri de içerebilir. Bu aşamadaki bilgiler de bir yaklaşım olarak kabul edilir (BIM Level of Detail (LOD), 2018).



Şekil 12.LOD 300 (Hassas Geometri)

YBM'nin diğer aşamaları LOD 300 ile başlamaktadır. LOD 300 ile oluşturulan 3D geometri, bu modelin sunumdan çok daha fazlası olduğunu gösterir. Bir müşteri LOD 300 modelini talep ettiğinde çakışma tespiti ve YBM koordinasyonu, mimari inşaat çizimleri vb. tüm inşaat süreçlerinde detaylandırma gerektirir. Bu modeller için genel ve parametrik Revit aileleri kullanılabilmektedir. Bu modeller inşaat için daha fazla kullanılan koordineli imalat çizimlerini çıkartmak için kullanılmaktadır. LOD 300'ün grafik gösterimleri, LOD 200'ün grafik gösterimi ile aynı olabilir, ancak onu LOD 200'den farklı kılan şey, bu aşamadaki geometri ve özelliklerin doğru kabul edilmesidir. Bu aşamadaki bilgiler inşaat aşamasında kullanılabilir (BIM Level of Detail (LOD), 2018).



Şekil 13.LOD 350 (Bağlantılı Hassas Geometri)

İnşaat dokümantasyon aşamasıdır. LOD 350'de elde edilen bilgiler, LOD 300'de elde edilenlerle aynıdır, ancak bu aşamada, bağlantılar ve destek gibi diğer bina bileşenleri ile arayüzler de dahildir. Bileşenin nasıl kurulabileceğini ve diğer binaların sistemleriyle nasıl etkileşime girdiğini gösterir.



Şekil 14.LOD 400 (İmalat)

LOD'un yapım aşamasıdır. Bileşenlerin imalatı, montajı ve montajı gibi detayları içerir. Bu ayrıntılar, temsil edilen bileşenleri üretmek için tedarikçiler için çok faydalıdır. Görsel olmayan bilgileri de içerebilir. Bu modeller temel olarak LOD 300'ün bir üst seviyesidir ve yapı ayrıntılarına ve üretilebilecek bileşenlerin ayrıntılı görünümlerine sahiptir. Montajlar, mühendislerin ve inşaat işçilerinin belirli bileşenlerin kurulumunda ilerlemelerine yardımcı olan gerçek zamanlı ayrıntılara sahiptir. LOD 300'de yerleşimler hakkında bilgi sahibi olurken, LOD 400 ile özel detaylar ve parçalar geliştirilir ve bunları

CNC makinelerinde imal etmek için kullanılabilir, inşaat veya imalat süreçlerini kolaylaştırır (BIM Level of Detail (LOD), 2018).

2.4.1 LOD 500 (As-built)

Modelin bu seviyesi, bina yaşam döngüsünün operasyonlarını ve bakımını desteklemek için tüm geometriye ve bilgilere sahiptir. Yapı elemanlarının yapım sonrası doğru temsilleri olarak kabul edilen şekil, boyut, miktar, yön ve konum açısından doğrulanan alanlardır. Bu elemanlar, tesis yöneticileri tarafından işletme ve bakım için referans olarak kullanılabilir.

2.4.2 Gelişim düzeyinin faydaları (LOD)

Modelde bulunacak elemanların içermesi gereken bilgi seviyeleri, farklı kuruluşlar ve firmalar tarafından LOD (Level Of Development) numaraları ile tanımlanmaktadır. LOD tablosunun modelleme başlamadan önce sistemler ve elemanlar için yapılması; BIM modelin neleri içerip içermeyeceğinin tarif edilmesi, modelin içerdiği bilgilerin hangi seviyede olduğunun belirlenmesi ve her personelin neden sorumlu olduğunun bilinmesi açısından önem taşımaktadır.

Gelişim seviyesi, genel YBM sürecinde hayati bir unsurdur. Onsuz, bir inşaat projesinde çalışan üyeler, o projenin geleceğine zarar verebilecek tutarsızlıklara yol açan aynı sayfada çalışmakta zorluklarla karşılaşabilirler. LOD, ekipler arasında iletişimi ve işbirliğini daha kolay ve hızlı hale getirir. LOD spesifikasyonu, tasarım sürecinde aşağıdaki şekillerde faydalı olabilir:

Tasarımcılar, standartlaştırılmış spesifikasyonlar ve tüm unsurlar hakkında ayrıntılı bilgilerle, uygulama ve bakımda herhangi bir gecikme olmamasını sağlamak için akış yönünde çalışan insanlar için kılavuzlar ve veriler sağlayabilir. LOD, müteahhitlerin YBM uygulamasıyla ilgilenmesi için bir standart tanımlamayı kolaylaştırır. Aynı zamanda tasarım yöneticileri, tasarım sürecinin çeşitli seviyelerindeki gereksinimleri ekiplere kolaylıkla açıklayabilir.

LOD, doğru YBM modelleri oluşturmaya yardımcı olur. Aynı zamanda, proje sahipleri de dahil olmak üzere tüm ekipler, bir YBM modelinden ihtiyaç duydukları ayrıntı

düzeyini doğru bir şekilde belirleyebilir ve nihai YBM'nin kapsamı hakkında bilgi alabilir.

2.5 Yapı Bilgi Modellemesinin Avantajları

Sacks, Eastman, Lee ve Teichoiz'in yazdığı YBM El kitabında, YBM avantajları aşağıdaki şekilde detaylandırılmıştır.

- Konsept, Fizibilite ve Tasarım Avantajları
- Artan Bina Performansı ve Kalitesi
- Entegre Proje Teslimini Kullanarak Geliştirilmiş İşbirliği
- Bir Tasarımın Daha Erken ve Daha Doğru Görselleştirmeleri
- Tasarımda Değişiklik Yapıldığında Otomatik Düşük Düzeyli Düzeltmeler
- Tasarımın Her Aşamasında Doğru ve Tutarlı 2D Çizimlerin Üretilmesi
- Çoklu Tasarım Disiplinlerinin Önceki İşbirliği
- Tasarım Amacıyla Tutarlılığın Kolay Doğrulanması
- Tasarım Aşamasında Maliyet Tahminlerinin Çıkarılması
- Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirliğin İyileştirilmesi
- Fabrikasyon Bileşenler için Tasarım Modelinin Temel Olarak Kullanılması
- Tasarım Değişikliklerine Hızlı Tepki
- İnşaat Öncesi Tasarım Hatalarının ve İhmallerinin Keşfi
- Tasarım ve İnşaat Planlamasının Senkronizasyonu
- Yalın İnşaat Tekniklerinin Daha İyi Uygulanması
- Tedariğin Tasarım ve İnşaat ile Senkronizasyonu

- İyileştirilmiş Devreye Alma ve Tesis Bilgilerinin Devri
- Tesislerin Daha İyi Yönetimi ve Çalıştırılması
- Tesis İşletim ve Yönetim Sistemleri ile Entegrasyon (Sacks, Eastman, Lee, & Teichoiz, 2018).

Projelerin tasarımı sırasında YBM ile malzemeler hakkında da bilgiler işlenebildiği için gerçeğe çok yakın modellemeler yapılabilmektedir. Proje kapsamında çalışan tüm paydaşlar arasında koordinasyonun sağlanması noktasında önemli bir rol oynayan YBM sayesinde proje aşamasında anlaşılamayan noktalar kolaylıkla fark edilerek sorunlara çözüm bulunabilir. Aynı zamanda çözümler, birimler arasında kolaylıkla paylaşılabilmektedir. YBM yazılımları ile 3D modellemeler yapılabildiği için malzeme ve tedarik operasyonları da iyi bir şekilde yönetilerek hem maliyet hem de zaman tasarrufu sağlamaya yardımcı olmaktadır. YBM sayesinde proje süreçlerindeki planlamalar, proje bitse bile sonrasında oluşabilecek onarım çalışmaları yürütülebilmektedir. YBM ile yapılan yapıların proje aşamasında süreçlerinin analiz edilebilmesi sayesinde hataların fark edilerek düzeltilebilmesi, geleneksel yöntemlerle yapılan projelerde meydana gelebilecek kayıpların fark edilmesi ve bu sayede yaklaşık %30 civarında kayıpların azaltılabilmesi sağlanabilmektedir ve bu durum firmaların YBM konusunda kendilerini geliştirmeleri gerektiğini bizlere açıkça göstermektedir. YBM'nin bulut bilişim ile entegre edilebilmesi ile artan koordinasyon da maliyetlerin azalmasını sağlamaktadır (Özcan & Erol, 2018).

3. YBM MİMARLIKTA İŞLEM VE SÜREÇ ANALİZİ

3.1 Yapı Bilgi Modellemesinin Zorlukları

Siebelink, Voordijk, Endedijk ve Adriaanse 2021 yılında yaptıkları araştırma kapsamında YBM zorluklarının temel yapısının insanlarla, onların değişime karşı dirençleriyle, YBM yetenekleriyle ve YBM'ni uygulamak veya öğrenmek için zamanlarının olmamasıyla ilgili olabileceğini belirtmişlerdir. İnsan faktörü dışındaki sorunlar ise bilgi aktarımındaki yetersizlikler, kilit karar vericiler, üst yönetim desteğinin olmaması, projelerin bağımsızlığı, eski çalışanlardan kaynaklı eksik teknolojik bilgiler, karmaşık teknolojik gelişmeler, yetersiz müşteri ve tedarik zinciri olgunluğu, yetersiz tanımlanmış veya uygulanmış açık standartlar, proje amaçlarına ve faaliyetlere uygun olmayan yazılım ve araçlar, YBM olgunluğu ile ilgili engeller olarak sıralanabilir (Siebelink, Voordijk, Endedijk, & Adriaanse, 2021).

YBM yazılımlarının zorluklarını ise aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

• Konsept geliştirme incelemeleri sırasında bir proje aşamasından diğerine ve dahili olarak veri aktarımı

• Genel olarak parametrik kavramlara aşinalık ve

• Parametrik nesnelerin/ailelerin eksikliği

Modelin kontrolü, süreci yeniden düşünmek, model doğrulaması, yeni proje teslim paradigmaları, firmalar için yeni iş modelleri, meslekte ve endüstride kültür gibi YBM'nin uygulanması sırasında karşılaşılan başka zorluklar da vardır (Çetiner, 2010).

Her yenilikte olduğu gibi, bu sistem de değişime karşı doğal bir dirençle karşılaşabilir. Bu durum, bu durumlarda yapılacak uygun eğitim ile giderilebilir. Yeni sistemin eğitim aşamasında bu iki sistemin birlikte kullanılmasını öneriyoruz. Yeni çalışma düzenine alışana kadar bu şekilde devam edilmeli ve değişime direnç kırılıncaya kadar her iki sistemde de kullanılmalıdır.

Uygulamaya dönük çalışma prensibine sahip Türk inşaat sektöründe, tasarım aşamasında çok fazla zaman ayırmak gereken YBM sistemi cazip görülmeyebilir. Ancak, sonraki iş

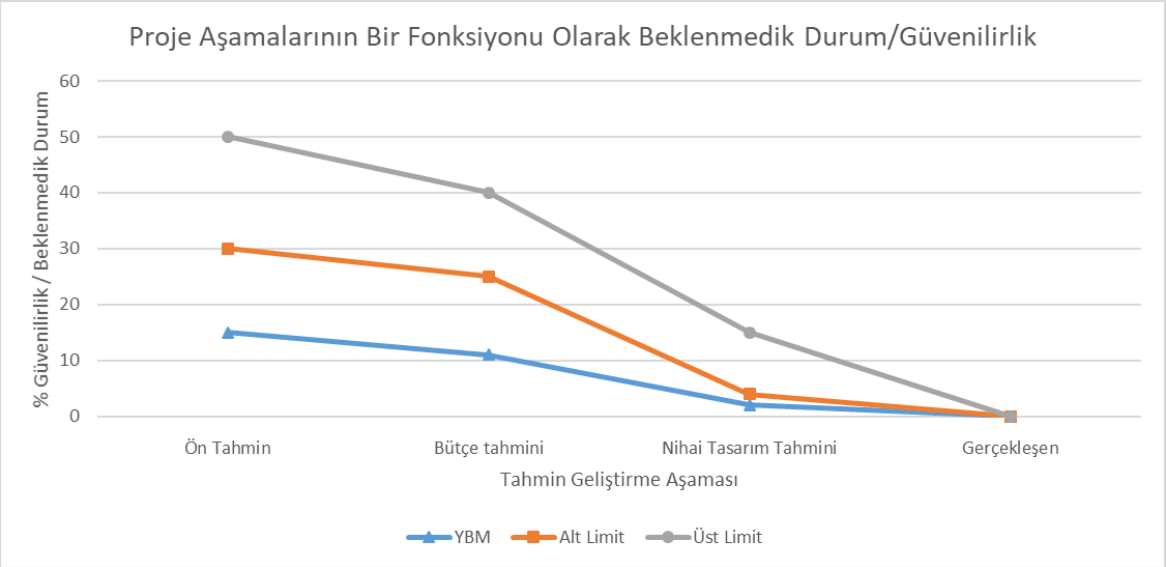
adımlarında oluşması muhtemel hataları model üzerinden tahminlerle minimize etmesi şirketlerin alışık olmadığı bu durumun faydalı tarafı olarak görülmektedir. Tasarım sırasında masrafların artması ve sürenin uzaması şirketler üzerinde olumsuz bir etki oluşturması bir diğer zorluk konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak önceki uygulamalar araştırılsa uzun dönemde bu maliyetlerin kara dönüştüğü ve sistemin önerilmesi ile süreninde kısaldığı görülebilir.

3.2 YBM ile Maliyet ve Zaman Yönetimi

Zaman ve maliyet tahmini, proje yöneticilerinin inşaat projesini herhangi bir zamanda görselleştirmesini ve proje aşamalarını net bir şekilde anlamasını sağlayan YBM'nin özelliklerindendir. 4D ve 5D YBM olarak adlandırılan zaman ve maliyet tahmini, bir projenin ilk aşamalarında doğru bir şekilde kullanıldığında minimum maliyet ve minimum zamanla karar verme sürecini kolaylaştırır. Bunun dışında YBM, bir inşaat projesi için çeşitli alternatifleri simüle etme yeteneğine sahiptir ve bu nedenle proje yöneticilerinin ve yöneticilerinin kararlarının sonuçlarını güvenilir bir şekilde tahmin etmelerine yardımcı olur (Rokooei, 2015).

Proje sahipleri ve hizmet verenler genellikle bütçeyi aşma veya beklenmedik maliyet kalemlerinin çıkması veya projenin iptaline bile neden olabilecek maliyet aşımları ile karşılaşmamak ve güvenli olmayan tahminlerin risklerini azaltabilmek için belli bir miktar ekstra bütçe ayırmalıdırlar. Şekil 18, proje aşamasına bağlı olarak %50 ila %5 arasında değişen, mal sahiplerinin ve hizmet sağlayıcılarının tahminlere uyguladığı tipik bir olasılık aralığını göstermektedir. Güvenilir olmayan tahminler, proje sahiplerini önemli risklerle karşı karşıya bırakmaktadır ve tüm proje maliyetlerini arttırarak olumsuz durumlara yol açmaktadır. Maliyet tahminlerinin güvenilirliği, zaman içinde değişen piyasa koşulları, tahmin ve uygulama arasındaki süre, tasarım değişiklikleri ve kalite sorunları gibi bir dizi faktörden etkilenir. Bina bilgi modellerinin doğru ve hesaplanabilir doğası, mal sahiplerinin miktar çıkarma ve tahmin yapmaları için daha güvenilir bir kaynak sağlar ve tasarım değişiklikleri hakkında daha hızlı maliyet geri bildirimi sağlar. Maliyeti etkileme yeteneği, Şekil 19'da gösterildiği gibi, sürecin başlarında kavramsal ve fizibilite aşamasında en yüksektir ve bu çok önemlidir. Tahminciler, yetersiz zaman, yetersiz dokümantasyon ve proje katılımcıları, özellikle mal sahibi ve tahminci arasındaki

iletişim arızalarını, zayıf tahminlerin başlıca nedenleri olarak belirtmektedir (Sacks, Eastman, Lee, & Teichoiz, 2018).



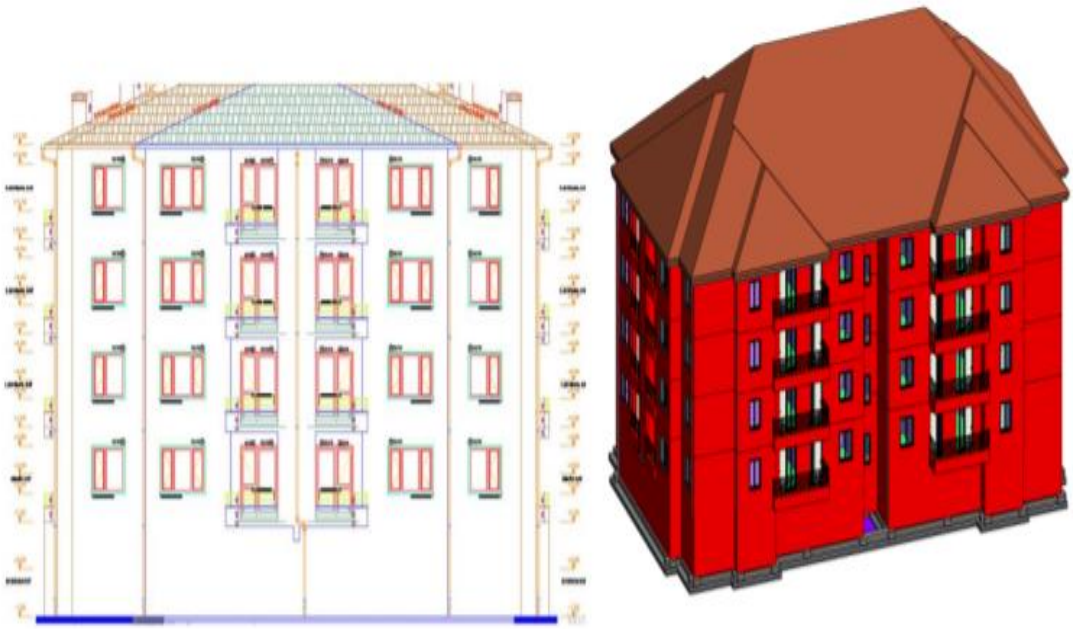
Şekil 15.YBM tabanlı tahminle ilişkili potansiyel hedeflenen güvenilirlik iyileştirmelerini gösteren grafik.

Dünya genelinde hızla devam eden YBM uyum çalışmaları kapsamında 2025 yılına gelindiğinde, tam ölçekli dijitalleştirmenin; tasarım, mühendislik ve inşaat aşamalarında %13 ila %21 arasında, işletme aşamasında ise %10 ila %17 arasında yıllık küresel maliyet tasarrufu sağlaması beklenmektedir. YBM zorunluluğu konusunda net bir yol haritası olmayan Türkiye'de YBM ile planlanan projeler de mevcuttur: Total Oil Genel Müdürlük Gaziantep Planetaryum, Kadirli Belediyesi Hizmet Binası, Akofis Park , İlko İlaç, İstanbul Havalimanı. Kayseri'de Melikgazi İlçesi, Bahçelievler Mahallesinde, 60 pafta, 1788 ada ve 13 parsel üzerine inşa edilen projede, B+Z+3N katlı apartman tipi konut projesinin taban alanı 853,49 m2 olup, yapı inşaat alanı 4.407,48 m2'dir. Arazi görünümü ile Kayseri Büyükşehir Belediyesi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) uygulamasından alınan fotoğrafı Şekil 16'da verilen projenin Autodesk AutoCAD'de çizilmiş cephe görünüşü ile AR'de tamamlanmış model görünüşü Şekil 17'deki gibidir. İnşaat maliyetlerinde %23'e ve proje sürelerinde %19'a varan iyileştirme sağlayan YBM'nin bu başarısı metraj verilerinin güvenilirliğine bağlıdır. AR ve NA yazılımları ile hazırlanan modeller Şekil 18'de verilmiştir. Bayram yaptığı bu çalışma kapsamında, B+Z+3N katlı bir apartman tipi konut projesinin YBM temelli yazılımlardan olan Autodesk Revit (AR) ve

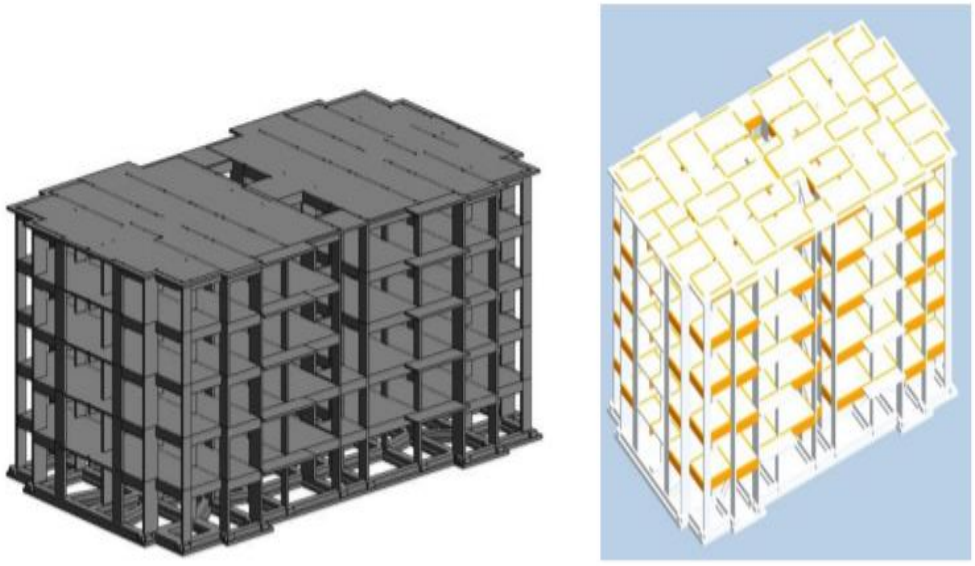
Nemetschek Allplan (NA) ile inşaat modellemesi ayrı ayrı gerçekleştirilmiş olup, yazılımlardan elde edilen metraj değerleri, geleneksel yöntemden elde edilen metraj değerleri ile kıyaslanmıştır. Bu çalışma sonucunda YBM modellemelerinden elde edilen metrajların, geleneksel yönteme göre çok daha hızlı ve pratik şekilde elde edilebileceği ve doğruluk oranlarının da oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Projenin modellemesi yapılırken, zaman ve maliyet kaybına neden olan çakışma sorunu ile sıklıkla karşılaşılmıştır. YBM yazılımları, işbirliği içerisinde çalışabilmeyi sağlayarak çakışmaları ve değişiklikleri anında tespit ederek uygulamada yaşanabilecek problemlerin giderilmesini sağlamaktadır. Böylece, YBM yazılımlarının hem tasarım aşamasında hem de uygulama aşamasında verimlilik adına önemli avantajlar sağlayacağı görülmektedir (Bayram, 2020).



Şekil 16. Yapının arazi görünümü ve fotoğrafı (Bayram S., 2020).



Şekil 17. AutoCAD ve Autodesk Revit cephe görünüşü (Bayram S., 2020).



Şekil 18. Autodesk Revit ve Nemetschek Allplan yapısal modelleri (Bayram S., 2020).

3.3 Yapı Bilgi Modellemesinin Kavramsal ve Çevresel Etkileri

Bina yaşam döngüsü maliyetlerinde ve çevresel etkilerde enerji kullanımının rolü ve iç mekan koşullarının personelin verimliliğindeki rolü vb. konularda artan farkındalık nedeniyle, bina tasarımında enerji, konforlu yaşam alanları vb. konulardaki performansının analiz edilmesinin önemi artmaktadır.

Laine, Hänninen ve Karola termal performans yönetimi için YBM kullanımından nasıl faydalanabilecekleri üzerine yaptıkları çalışmada YBM'nin faydalarını aşağıdaki gibi sıralamışlardır:

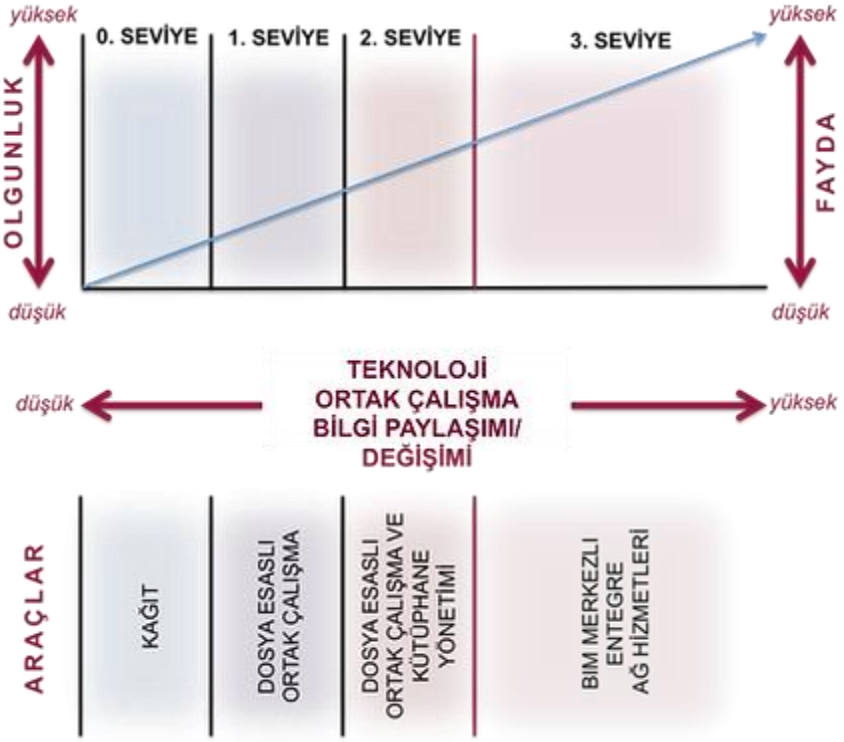
- YBM ile enerji analizine veri girişi daha verimli hale gelerek mevcut veriler daha fazla yeniden kullanılabilir olmuştur.
- YBM tabanlı ortam, geleneksel olarak kullanılan statik hesaplama yöntemleri yerine dinamik termal simülasyon kullanımına olanak tanımaktadır.
- YBM tabanlı ortam, geleneksel olarak kullanılan bölgesel modeller yerine tüm bina mekansal yaklaşımıyla dinamik enerji simülasyonuna izin vermektedir.
- YBM, inşaat sürecinin farklı aşamalarında termal performansın daha kolay doğrulanmasını sağlamaktadır.
- YBM tabanlı ortam, klima sistem tasarımı için başlangıç noktası olarak termal analizden simüle edilen değerleri kullanmanın kolay bir yolunu sağlar.
- YBM işletme ve bakım sırasında termal performans takibine devam etmeye olanak sağlamaktadır (Laine, Hänninen, & Karola, 2007).

Meadati, Irizarry ve Akhnoukh yaptıkları araştırma kapsamında YBM ile RFID'yi entegre ederek dokümanların araştırılması ve doğrulanması sürecinde ciddi bir zaman kazanımı sağlamışlardır. Bu durum hem manuel işlemlerden oluşan hataları azaltmış hem de doğrudan bakım ücretinde azalma sağlamıştır (Meadati, Irizarry, & Akhnoukh, 2010).

Yukarıda bahsedilen çalışmadan da yola çıkarak YBM'nin daha yaşanılabilir ve sürdürülebilir bir dünya için firmalar tarafından daha çok benimsenmesi gerektiği açıkça ortaya çıkmaktadır. YBM'nin çevresel etkileri gözeterek uygulama yapmaya olanak sağladığı net bir şekilde görülmektedir.

3.4 Yapı Bilgi Modellemesinin Olgunluk Seviyeleri

YBM seviyeleri, YBM sisteminin ne kadar kapsamlı kullanıldığının göstergesi olarak tanımlanmış seviyelerdir (Şekil 19). Bunlar: Seviye 0, Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 19.YBM Seviyeleri (URL1).

- **Seviye 0 (Düşük İşbirliği)**

Basit bilgisayar destekli tasarım (CAD) tarafından desteklenen Seviye 0'da 2D çizimler, kağıtlar, şekiller ve metinler kullanılır. Veriler kağıda basılabilir ve genel olarak tutarsızlıklar mevcuttur. Çoğu kişinin geçmişte sözleşme yapmak için kullandığı yöntemdir (Shilton, 2018)**.**

- **Seviye 1 (Kısmi İşbirliği)**

Uzmanlar teknolojinin de gelişimi ile birlikte dijital sistemlere geçiş yapmıştır ve YBM'de en düşük bu seviyede çalışmaktadırlar. Bu seviyede 2D ve uygun olduğunda 3D modellemeye eklenen bazı fonksiyonlar mevcuttur. Veriler basit haliyle dijital ortamlarda

yönetilerek koordinasyon sürecinde kullanılmaktadır (Shilton, 2018). Genellikle 2D ve 3D CAD'in karışımı olarak nitelendirilen bu seviyede belge yönetimi aracılığıyla veri paylaşımı yapılabilmektedir (Mordue, Swaddle, & Philp, 2016).

- **Seviye 2 (Tam İşbirliği)**

YBM seviye 2, seviye 1 CAD'i temel alır ancak maliyet ve zamanla ilgili nesnelerle ilgili ek bilgileri içerir. Proje rolleri ve sorumlulukları, İşveren bilgi gereksinimlerini karşılamak için tanımlanır. Standartlar, protokoller ve çalışma yöntemleri tanımlanmıştır. İşveren tarafından istenen proje bilgileri ve teklifleri YBM Yöneticisi ile paylaşılır. Çatışma önleme, proje programlama ve maliyetin değerlendirilip yönetilebildiği tek bir birleşik modele dahil edilebilmeleri koşuluyla, bilgiler farklı formatlarda sağlanabilir. Elektronik tablolar, müşteri veri gereksinimlerine göre COB'ie (İnşaat, Operasyonlar, Bina bilgi alışverişi) formatında sunulabilir. Verilerin birlikte çalışabilirliğini desteklemek için IFC standartlaştırılmış spesifikasyonları uygulanabilir. Bu, müşteri gereksinimlerinin mutabık kalınan bütçede ve mutabık kalınan zaman çerçevesinde hala karşılanıp karşılanamayacağını değerlendirmek için bir erken uyarı sistemi sağlar. Model, bir projenin tasarım ve inşaat aşamaları boyunca güncellenir ve nihai teslim edilen model Asset Information Model (AIM) olur. Bu, tesis yöneticileri tarafından varlığın kalan ömrü boyunca bakımını yapmak için kullanılabilir (Shilton, 2018).

- **Seviye 3 (Tam Entegrasyon)**

Seviye 3 hala gelişmektedir ancak Şubat 2015'te Birleşik Krallık'ta "Dijital İnşa Edilmiş Britanya" stratejisi başlatılmıştır ve bu Bina Bilgi Yolculuğunun bir sonraki aşaması için sonuçları ve önerileri temsil etmektedir. YBM Seviye 2 tarafından sağlanan standartları temel alarak, Seviye 3'ün açık veri kaynaklarını kullanarak tamamen birlikte çalışabilir ve entegre tasarım, teslimat ve varlık yönetimi sağlaması bekleniyor. Bir varlığın teslim edildikten sonra bile uzun vadeli yönetimi için planlamaya olanak tanır, böylece planlı bakım ve özelliklerin değiştirilmesini içerebilir ve tüm yaşam maliyetlerini tahmin etmeye ve yönetmeye yardımcı olur (Shilton, 2018).

4. YBM'NİN GERÇEK PROJEDE KULLANIMI

4.1 Niğde Üniversitesi Teknopark

Tablo 3. Niğde Üniversitesi Teknopark Proje Bilgileri (Çapkın ve Özcan, 2013).

Firma	DBC Mimarlık
Yer – Tarih	Niğde – 2013
Proje Tipi	AR-GE Yapısı
Yazılım	Revit, Tesla Structure
BIM Fonksiyonu	3D Koordinasyon, Çakışma Analizi, Keşif, Metraj, Varvasyon İzleme
BIM Kullanımdaki Amaç	Geleneksel çizim teknikleri ortaya çıkan uzun çalışma sürecini ve hataları en aza indirmeyi sağlamak, Tek bir proje üzerinde aynı anda birden fazla kişinin çalışabilmesini sağlamak, Metraj, keşif, vb. Dokümanların hazırlanabilmesi için tekrar bir sürecin yaşanmamasını sağlamak.

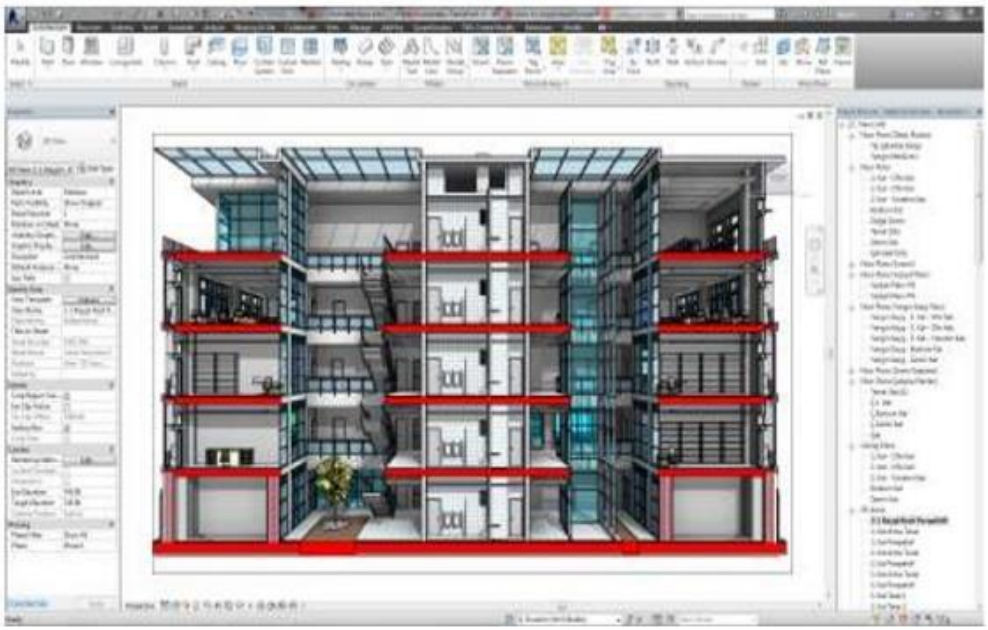
Niğde Teknopark projesi, Niğde Üniversitesi'nin teknoloji geliştirme bölgesi olarak belirlenen arazisi üzerine inşa ediliyor. Teknopark, irili ufaklı birçok firmaya hizmet verecek ve onların farklı ihtiyaçlarını karşılayacak bir yapıda olmalıdır. Bu amaca ulaşmak için esnek bir yapı tasarlanmıştır. Bina ofisler, şirketler, kantinler, toplantı odaları, yönetim departmanları ve teknoloji girişimcileri için alt birimler dahil olmak üzere toplam 4.500 m2 alana sahiptir. Projede ofisler modüler bir şekilde düzenlenmiş, esneklik ön planda tutulmuştur. Bu amaçla tesisat kanalları dikey elemanlar olarak tasarlanmış ve binada gölgeleme fonksiyonu eklenerek kullanılmaktadır. Projede arazinin koordinatları alınarak Revit programına girildi; Güneş, ısı ve rüzgar enerjisi analizleri dikkate alınarak enerji verimliliği yüksek bir yapı elde edilmiştir.

Niğde Teknopark projesinin sorunu, projenin tasarımdan ihaleye kadar bir ay içinde tamamlanması gerektiğidir. BIM kullanımı ile farklı şehirlerdeki proje paydaşlarının aynı proje üzerinde koordine ve çalışmaları sağlanarak proje süresi kısaltılmıştır. Ayrıca ortak proje görüşmeleri ve istenilen revizyonlar için aynı sunucu ve yetkili revizyon takip sistemi üzerinde tartışma grupları (discussion board) oluşturulur. Ayrıca zaman kısıtlaması nedeniyle meydana gelen değişikliklerden müşterilerin haberdar edilebilmesi

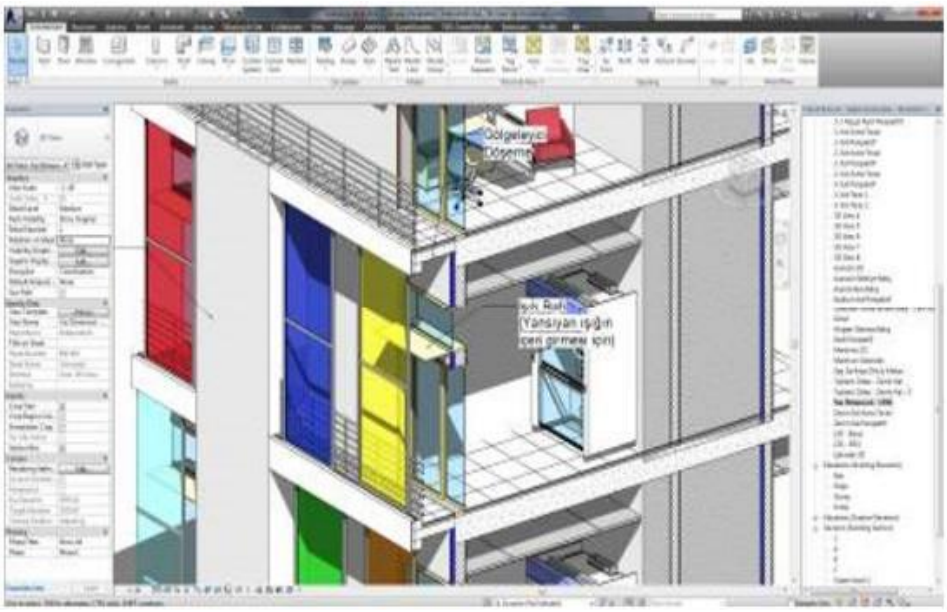
için sisteme eklenmiş ve müşterilerin odak gruba aktif olarak katılmalarına olanak sağlanmıştır (Çapkın ve Özcan, 2013).



Şekil 20. Niğde Üniversitesi Teknopark binası görseli (URL-2).



Şekil 21. Teknopark renkli kesit (Çapkın ve Özcan, 2013).



Şekil 22.Işık rafı / 3B sistem detayı (Çapkın ve Özcan, 2013).

4.2 Uygulamalar ve Analizler

Tez çalışması kapsamında YBM'nin Türkiye'de ve dünyada yapılan projelerde hangi amaçlarla kullanıldığı, modelleme aşamaları ve kullanılan yazılım programları, sorunların çözümünde nasıl bir etkisi olduğu detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Tablo 4.Türkiye'de ve Dünyada YBM kullanılarak yapılan projeler.

İzmir Adnan Menderes Havalimanı
Emaar Square
Kuveyt Havalimanı
Bağcılar Stadı
Gençlik Merkezi Projesi - Bağcılar
Rota Tekstil Ofis Binası
Akasya Alışveriş Merkezi
Demireller Turizm Tesisi
Gaziantep Planetaryum Binası
İlayda Hotel, Folkart Bornova
MP Mekanik odası
Erzurum AKUT Binası
RIT Proposed Hostel, Rajaramnagar
One Island East Project, Hong Kong
The Mansion on Peachtree, Atlanta, Georgia
Emory Psikoloji Binası, Atlanta, GA
Erciyes Üniversitesi Hukuk Fakültesi Ek Binası
Hyundai Motorstudio Goyang, South Korea

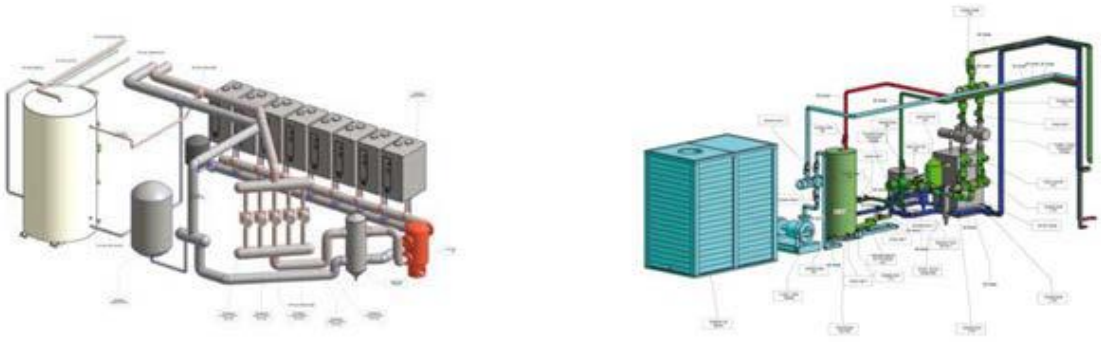
4.3 YBM'nin Türkiye'de Sahada Kullanımına Yönelik Örnek Uygulamalar

TAV İnşaat tarafından yürütülen İzmir Adnan Menderes Havalimanı projesinde hedeflenen verimlilik, koordinasyon, hataların ve maliyet azaltılması ve metraj çıkartılması gibi işlemler için YBM kullanılmıştır. TAV İnşaat tarafından yürütülen bir başka proje olan Emaar Square projesinde koordinasyon, metraj çıkarma, çakışma analizleri, değişiklik talepleri gibi konularda YBM kullanılmış olup bu proje 825.000 m² net kat alanı, 600.200 m² alt yapı alanı ve 224.800 m² üst yapı alanına sahip rezidans, otel ve alışveriş merkezinden oluşan karma kullanımlı çok büyük bir projedir (Çıtıpıtıoğlu, 2014).

Arkad Mimarlık firması tarafından projelendirilen 5.000 kişi kapasiteli Bağcılar stadı ve 10.000 m2 inşaat alaınan sahip Gençlik Merkezi projesi, Setenart Tasarım Yapı firması tarafından projelendirilen inşaat alanı 4.668 m2 olan Demireller Turizm Tesisi, Yapı Proje Uygulama firması tarafından projelendirilen Gaziantep Planetaryum binası, İstanbul'da bulunan Akasya Alışveriş Merkezi ve 30.000 m2 alana sahip Rota Tekstil Ofis Binası YBM sistemleri kullanılarak tasarlanan örnek uygulamalardandır. Bu projelerde YBM kullanılmasındaki ana etmenler tasarımın planlama aşamasındaki kesit ve cephe görüşlerini elde etmek, değişiklikleri yönetebilmek, zaman tasarrufu, kolay kullanım, gerçeğe yakın tasarımlar, alan hacim hesaplamaları ve yapılan değişikliklerin proje içerisindeki tüm alanlara uygulanabilmesidir. Bu projelerden bazılarının YBM ile çizilmiş olan modelleri aşağıdaki resimlerde verilmiştir (Çetiner, Mimarlıkta Yapı Bilgi Modelleme ve Örnekler, 2010).

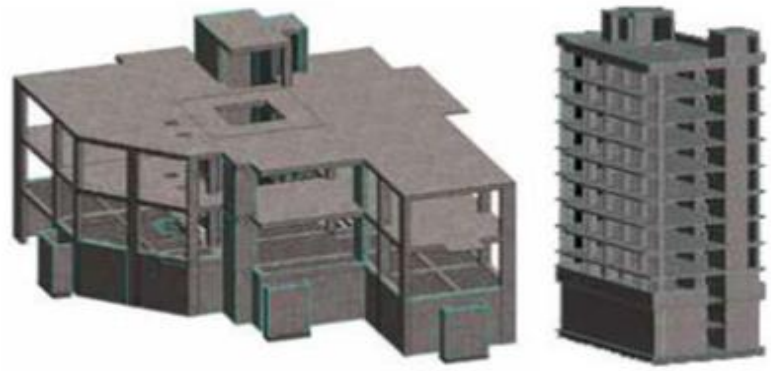
İlayda Hotel, konsept ve uygulama projesini aynı ortamda oluşturmak, statik, elektrik ve mekanik proje ekipleri ile bulut sistemi ile dosya içerisinde etüt yapmak ve müşteri için binanın 3 boyutlu görsel ortamını oluşturmak amacı ile AutoDesk Building Design Suite Premium 2016 ve AutoDesk Revit Architecture 2016 Education- Training Service: CADBIM yazılımları kullanılarak Demirce Architecture tarafından yapı bilgi modellemesi kullanılarak tasarlanmıştır (Kalfa, 2018).

MP Mekanik odası projesi kolay enerji modelleme ve LEED sertifikası sağlama, diğer disiplinler tarafından proje üzerinde yapılan değişikliği görebilme ve çakışma tespiti yapabilme, zamandan ve işçilikten tasarruf, akıllı nesneler aracılığıyla kanaldaki tahmini sıvı türü, optimum maliyet sağlamak amacıyla AutoDesk Building Design Suite Premium 2016 ve AutoDesk Revit MEP programları kullanılarak DEKO Project Consultant Engineering tarafından yapı bilgi modellemesi kullanılarak tasarlanmıştır (Kalfa, 2018).



Şekil 23.MP Mekanik odası (Kalfa, 2018).

Erzurum AKUT Binası (Şekil 24) disiplinler arası işbirliği sağlamak, hızlı proje, verimli kaynak kullanımı, hızlı ve doğru revizyonlar yapabilmek amacıyla AutoDesk Building Design Suite Premium 2016 ve AutoDesk Revit Structure Education- Training Service: PROTA yazılımları kullanılarak PROBI Engineering, Cnsulting and Design tarafından yapı bilgi modellemesi kullanılarak tasarlanmıştır (Kalfa, 2018).



Şekil 24. Erzurum AKUT Binası (Kalfa, 2018).

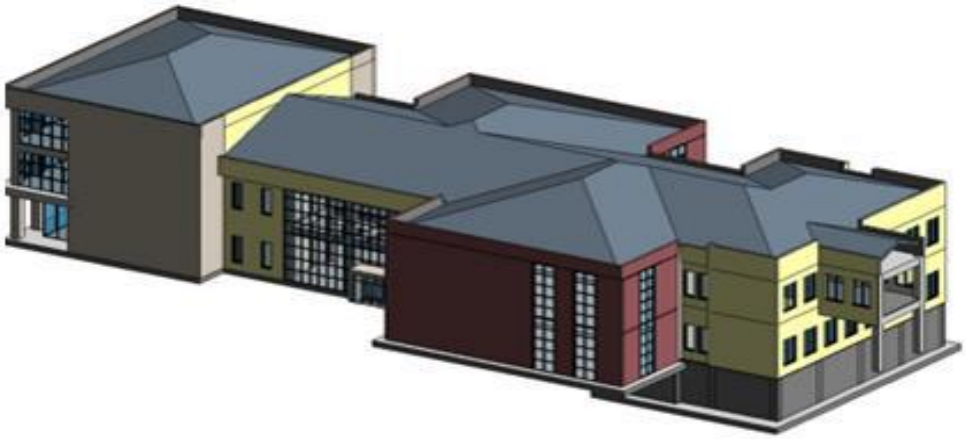
Şehir merkezi ve Talas ilçe merkezi arasında güney batı kısımda bulunan Erciyes Üniversitesi kampüsüne 2004 yılında kurulan ve dekanlık ve derslikler olarak 2 bölümden oluşan Hukuk Fakültesinin artan öğrenci sayısı ile yetersiz kalması sonucu ek bina ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu bina özelinde önce BDT yöntemiyle tasarlanan bina daha sonra YBM ortamına aktarılarak tekrar gözden geçirilmiştir. BDT sistemindeki tüm birimlerin birbirinden bağımsız çalışması nedeniyle YBM'ne aktarılan proje ile tüm

birimlerin tek bir veri tabanında toplanması sağlanıp gerekli analizlerin yapılması hedeflenmiştir. Autodest Revit programı kullanılarak 3 boyutlu modellenen proje, BDT yönetimindeki çizgilerden kurtarılmıştır.

Revit programında 3 boyutlu modelleme yapılırken sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- Kolon ve kirişler,
- Katların döşemeleri,
- Bölücü duvar elemanlarının modeli,
- Kapı, pencere ve kabin panelleri,
- Biri yangın merdiveni olmak üzere 3 adet merdiven,
- Çatı modeli oluşturulmuştur.

Tüm bu aşamalardan sonra Erciyes Üniversitesi Hukuk Ek binasının YBM ile oluşturulan 3 boyutlu modeli Şekil 25'de paylaşılmıştır. Bu modelleme sayesinde gerekli analizler yapılmış olup maliyet konusunda bilgi sahibi olunmuştur (Parlak Biçer, Zontul, & Hasözhan, 2021).

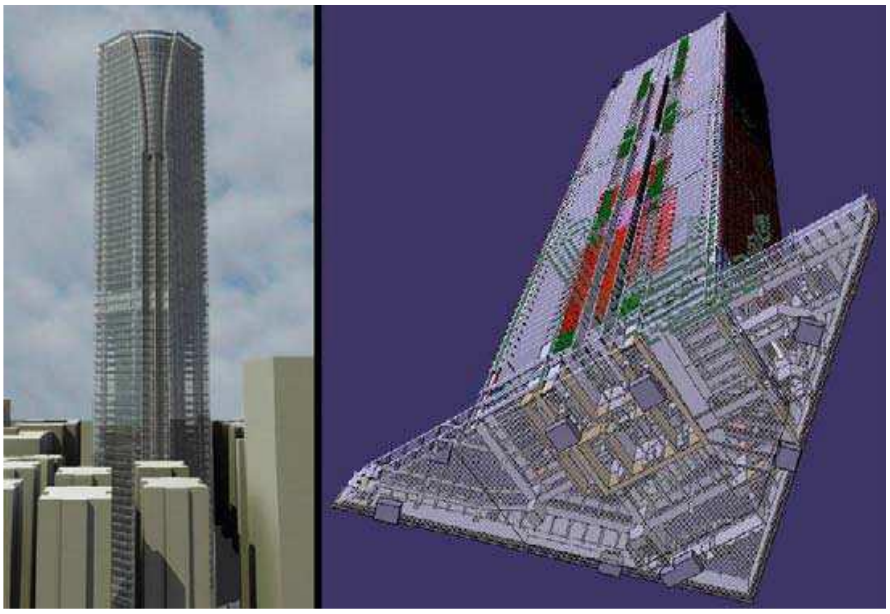


Şekil 25. Model 3B Kuzey Görünüş (Parlak Biçer, Zontul, & Hasözhan, 2021).

4.4 YBM'nin Dünyada Sahada Kullanımına Yönelik Örnek Uygulamalar

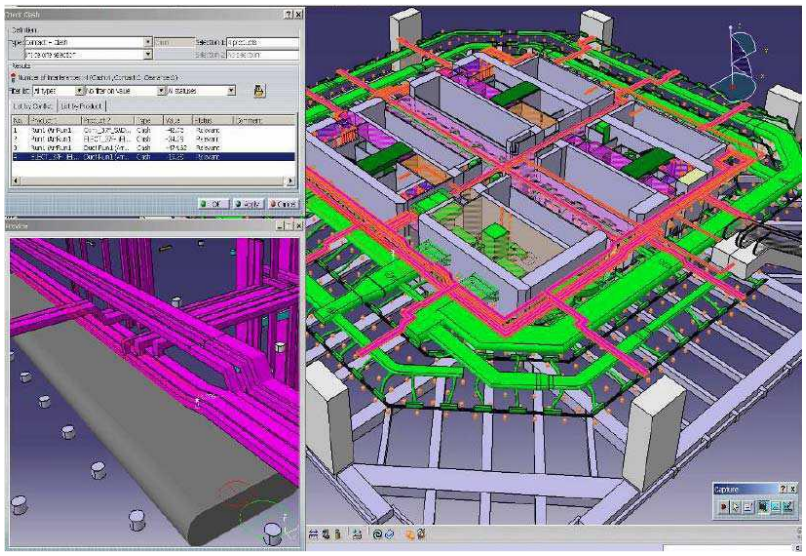
RIT Proposed Hostel, Rajaramnagar binası projesi, yurtdışında YBM'nin kullanıldığı projelerden birisidir. Çalışma, bir inşaat tesisinde görselleştirme, koordinasyon, prefabrikasyon, inşaat planlaması ve kayıt modeli için YBM'nin kullanımını içermektedir. Bu projenin ana odak noktası, yapı bilgisi için 3D, zaman entegratörleri için 4D ve maliyet tahmini için 5D kullanımıydı. Bu, prototip bina bilgi modelinin oluşturulmasını, modelin birlikte çalışabilirliğini, modelin çizelge ve YBM tabanlı çizelgeleme ile entegrasyonunu içermektedir. Revit Architecture 2014 kullanılarak bir 3D bina modelinin oluşturulması, YBM'nin güçlü özelliklerini göstermiştir. Kat planı gibi bir görünüm üzerinde bir elemanın oluşturulması, cephe görünümü gibi farklı bir görünüme doğru çevrilmiştir. Bu, tasarımın geleneksel 2 boyutlu (2D) görünümde çizilmesine kıyasla çok zaman kazandırmıştır. Ayrıca, parametrik modelleme, elemanların çatışmalarını tespit etmiştir. Bu özelliğin kullanılması, öğelerin çoğaltılmasını veya örtüşmesini ortadan kaldırmıştır. Proje kapsamında ilk olarak yeni bir Revit dosyası oluşturulup kaydedilmiştir ve daha sonra çevre duvarları oluşturulmuştur. Çevre duvarları tamamlandıktan sonra ise iç duvarlar oluşturulmuştur. Daha sonra temel duvarlar, döşemeler, kapılar, pencereler, çatı, merdivenler, güverte oluşturulmuştur. Ayrıca, odalar etiketlenerek bu çalışma için elektrik ve sıhhi tesisat elemanları oluşturulmuştur.

The One Island East Project, Hong Kong projesi bir mal sahibi-geliştirici tarafından büyük ve karmaşık bir projede tasarım, inşaat ve tesis yönetimi arasındaki işlevsel ve finansal ilişkileri yönetmek için YBM'nin kullanıldığı bir projedir. İşletme sahibi, YBM'ni bilgileri daha verimli bir şekilde yönetme ve proje yaşam döngüsü boyunca zamandan ve maliyetten tasarruf etme amacıyla kullanmak istemiştir. 300 milyon $ dolarlık bir yatırım maliyeti olan bu projede YBM tasarım koordinasyonu, çakışma tespiti ve iş sıralaması için kullanılmıştır. The One Island East (OIE), yetmiş katlı büyük bir ticari ofis binasıdır ve dış kaplaması için alüminyum giydirme cephe kullanılması planlanmıştır. Şekil 26'de bu tesisin bir bina bilgi modelini göstermektedir.

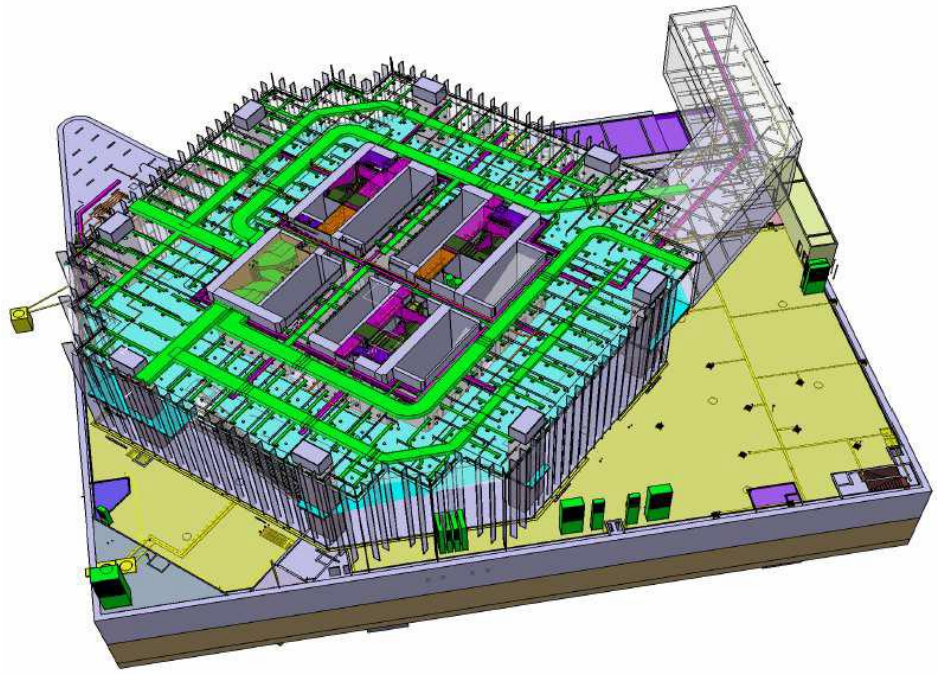


Şekil 26. One Island East (OIE) Projesi Yapı Bilgi Modeli.

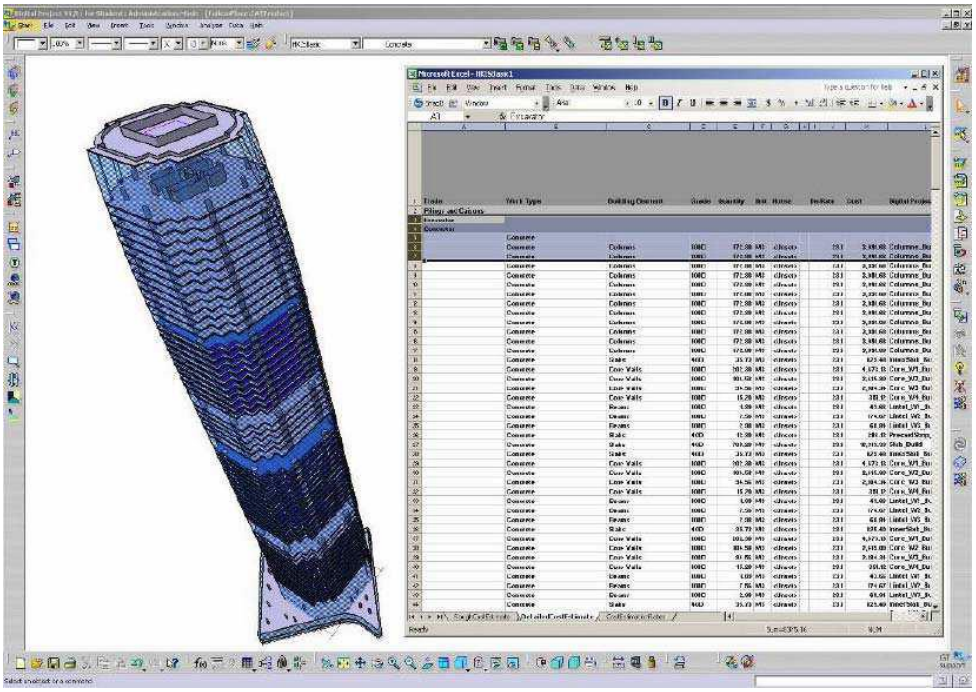
Neredeyse tüm koordinasyon sorunları YBM kullanılarak yönetilen bu projede Şekil 27'da gösterildiği gibi, YBM aracılığıyla, inşaat öncesinde 2000'den fazla çakışma ve hata tespit edilmiştir. Bu, geleneksel bir 2D sürecin doğasında bulunan eksik tasarım bilgilerine kıyasla önemli bir maliyet tasarrufu sağlandığı anlamına geliyor (Azhar, Nadeem, Mok, & Leung, 2008).



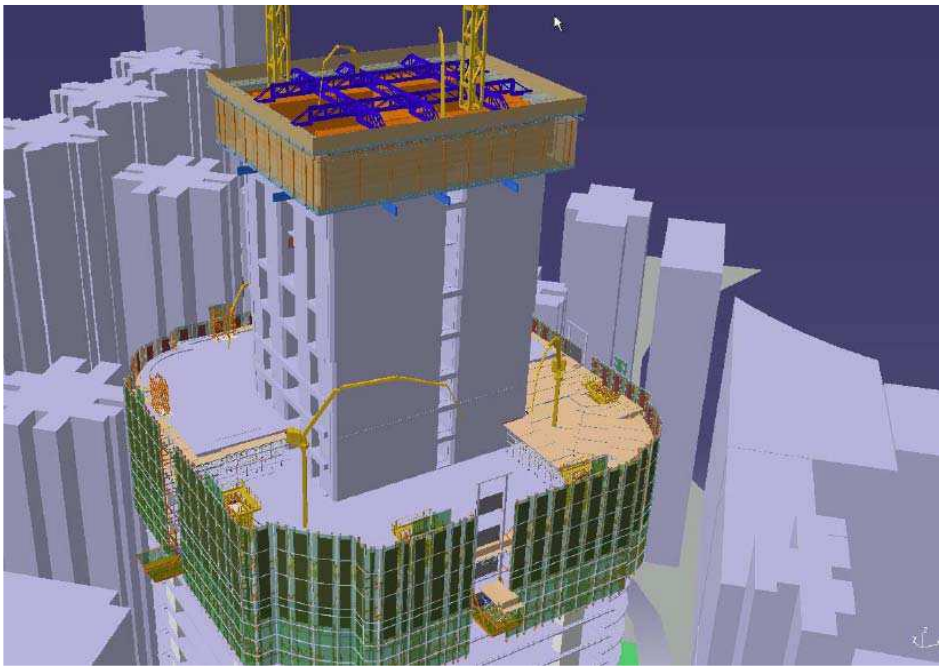
Şekil 27.OIE Projesinde Otomatik Çakışma Algılamaları (Azhar, Nadeem, Mok, & Leung, 2008).



Şekil 28. Etkileşimli Koordinasyon Süreci (Azhar, Nadeem, Mok, & Leung, 2008)



Şekil 29. Otomatik Tahminlerin Hazırlanması (Azhar, Nadeem, Mok, & Leung, 2008).



Şekil 30. İnşaat Sıralama Modeli (Asce & Azhar, 2011).

The Mansion on Peachtree, Atlanta, Georgia'da bulunan beş yıldızlı karma kullanımlı bir oteldir. 111 milyon $ yatırım maliyeti bulunan bu projenin 29 ayda tamamlanması hedeflenmiştir. Bu proje kapsamında planlama ve inşaat dokümantasyonu için YBM kullanılmıştır. Proje planlama aşamasında belirlenen sorunlar aşağıdaki gibidir:

• Eksik tasarım ve belgeler,
• Birden fazla koordinasyonsuz danışman,
• Tasarımdan önce saha inşaatı,
• Sürekli tasarım geliştirme ve
• Kapsam değişiklikleri.

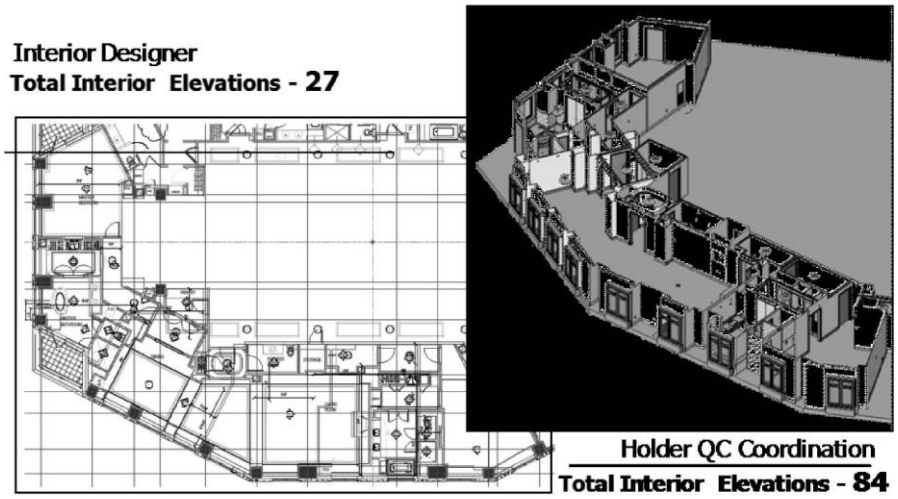
En büyük zorluk, eksik ve koordine olmayan tasarımla programın nasıl sürdürüleceği ve kalitenin nasıl sağlanacağı ve risk ve yeniden çalışmanın nasıl en aza indirileceğiydi. Proje ekibi, proje planlaması ve koordinasyonu için YBM'ni kullanmaya karar verdi. İlk olarak, tutarsızlıkları gidermek ve eksik kalemleri belirlemek için sözleşme belgeleri analiz edildi. Daha sonra model çıkarımları ile koordineli imalat çizimleri hazırlanarak atölye çizimleri, herhangi bir çakışmayı çözmek ve koordinasyon ve inşaat için taşeronlara bir saha kullanım seti vermek için tasarım ekibi ile gözden geçirildi. Başlangıçta, proje tasarımcıları mal sahibine iki bitirme seçeneği (tuğlaya karşı prekast)

sundu. Sahibi, YBM görüntüleyici yazılımı aracılığıyla her iki seçeneği de görsel olarak karşılaştırdı ve görünüm ve maliyete göre prefabrik olanı seçti. Daha sonra, proje çizimlerine dayanarak, GC, Şekil 28'de gösterildiği gibi, iç detayları netleştirmek için 3D iç cepheleri hazırladı. Herhangi bir bileşenin eksik veya diğer bileşenle çakıştığı tespit edilirse, bu çakışmayı inşaattan önce çözmek için tasarımcıya bir RFI verilir. Son olarak, inşaat sırasına karar vermek ve tüm kaynakları hizalamak için bir 4D zamanlama modeli hazırlandı (Şekil 30). Bu önlemler sayesinde proje ekibi projeyi zamanında ve bütçe dahilinde tamamlayabildi (Asce & Azhar, 2011).

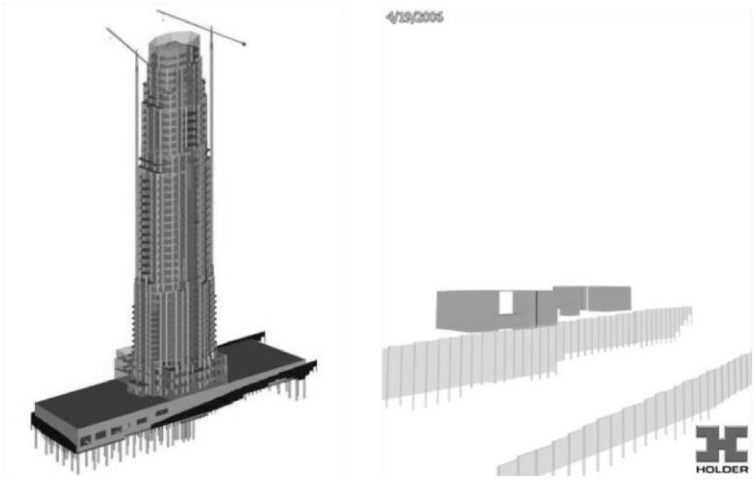


Brick Option Precast Option

(a) 3D Value Analysis for Visual Clarification



(b) Quality Control Coordination Shop Drawings and the Model



(c) 4D Phasing Model

Şekil 31.Mansion on Peachtree Projesi'nde YBM Kullanımı (Asce & Azhar, 2011).

Emory Psikoloji Binası, Atlanta, Georgia'daki Emory Üniversitesi kampüsündeki Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) sertifikalı, 110.000 metrekarelik bir tesistir. Öğretim ve araştırma alanı sağlamak için tasarlanmış çok amaçlı bir yapıdır. 35 milyon $ yatırım maliyeti bulunan bu projenin 16 ayda tamamlanması hedeflenmiştir. Bu proje kapsamında sürdürülebilirlik analizleri için YBM kullanılmıştır. Proje mimarı, Şekil 31'te gösterildiği gibi, en iyi bina yönelimini belirlemek ve duvar, giydirme cephe ve pencere stilleri gibi çeşitli kaplama seçeneklerini değerlendirmek için erken tasarım aşamasında tesisin bina bilgi modelini geliştirmiştir. Bina bilgi modeli aynı zamanda gün ışığı etütlerini gerçekleştirmek için de kullanılmıştır ve bu, aslında binanın sahadaki nihai konumuna karar verilmesine yardımcı olmuştur. Bunu başarmak için, yazılımın güneş konumlandırma özelliği kullanılarak YBM yazılımı içinde tesisin görünümleri oluşturulmuştur. Ardından, yıl boyunca güneşin etkilerini ve tesisin çevredeki binalar üzerindeki etkilerini belirlemek için gölgeleme ve aydınlatma çalışmaları ve sağdan ışıklandırma çalışmaları yapılmıştır. Önerilen tesisin avlu alanı ve avluya bitişik alanlardaki aydınlatma koşullarını değerlendirmek için sağdan aydınlatma çalışmaları da yapılmıştır.

Bu çalışmaların doğrudan bir sonucu olarak, binanın tasarımı şu şekilde ayarlanmıştır:

- Batı cephesindeki pencere açıklıkları azaltılmıştır.
- Binanın çatısında yer alan çatı katının toplam metrekaresi küçültüldü.
- Binanın toplam yüksekliği azaltıldı. Tüm bu tasarım ayarlamaları tasarım aşamasında dahil edilebildiğinden, analizler proje yaşam döngüsünün sonraki aşamalarında maliyetli ve zaman alıcı yeniden tasarımı önledi (Asce & Azhar, 2011).

Hyundai Engineering & Construction (Hyundai E&C), Güney Kore'de ilk beş genel yüklenici firmadan biridir. Hyundai E&C, Katar Ulusal Müzesi gibi projeleri YBM kullanarak yöneten ve akıllı inşaat süreçleri uygulamasını geliştiren bir firmadır. 2013'ten 2016'da tamamlanana kadar, Hyundai E&C, Hyundai Motorstudio Goyang projesine odaklanmıştır. İnşaat için nihai toplam proje bütçesi 170 milyon USD idi. Hyundai Motorstudio Goyang otomobil ürünleri sergi salonları için kullanılan çok amaçlı bir yapıdır. Mega truss yapısı ve serbest formlu dış panelleri ile çelik çerçeveli bir yapıya sahiptir. Binanın düzensiz geometrik şekli, tasarım ve inşaat aşamalarında alan kullanımı, dış ve iç tasarım açısından proje ekibini zorlamıştır. İnşaat aşamasında birçok değişiklik

siparişi verilmiştir ve YBM, bu projede sık sık yapılan tasarım değişikliklerinden kaynaklanan sorunların çözülmesinde kilit rol oynamıştır. İnşaat programı, başlangıç tarihinden itibaren 39 ay olarak planlanmıştır. Çeşitli tasarım değişiklikleri ve mal sahibinin ihtiyaç duyduğu ek olanaklar nedeniyle bu süre beş aydan 44 aya kadar uzatılmıştır. İnşaat Mart 2013'te başlamıştır ve Kasım 2016'da tamamlanmıştır. Uluslararası mimarlık firması Delugan Meissl Associated Architects (DMAA), konsept tasarımı da dahil olmak üzere tasarım hizmetleri verirken, yerli mimarlık firması Hyundai Architects & Engineers Associate (HDA) inşaat dokümantasyonunu üstlenmiştir. Genel yüklenici Hyundai E&C, inşa edilebilirlik açısından tasarıma yardımcı olmak için detaylı tasarım aşamasına katılmıştır. Başlıca taşeronlar (örneğin çelik, beton vb.) inşaat dokümantasyon aşamasında tasarım koordinasyonuna katılmıştır. Büyük taşeronlar, tasarımı saha koşullarına ve malzemelere uyacak şekilde geliştirmek için genel müteahhitle birlikte çalışmıştır.

Proje sahibi için en kritik hedefler şunlardı:

- İnşaatın nihai kalitesi
- Trend belirleyen bir tasarım elde etmek

Hyundai E&C, bir projenin ilk fizibilitesinden işletmeye ve yönetimine kadar tüm yaşam döngüsünü YBM kullanarak yönetebilen YBM tabanlı bir inşaat ve proje yönetimi şirketi olmaya hazırlanıyordu. Hyundai E&C ayrıca hedef pazarlarını apartman kompleksleri, fabrikalar ve ofis binaları gibi ortak binalardan karmaşık binalar, hastaneler ve veri merkezleri gibi yüksek teknoloji odaklı binalara kaydırmaya çalışıyordu. Hyundai Motorstudio Goyang, Hyundai E&C'nin bu geçiş için pilot proje olarak seçtiği önemli projelerden biriydi ve süreç inovasyonunu hem şantiyeden hem de genel merkezden gelen personelle hayata geçirdi.

Hyundai Motorstudio Goyang projesinin beş zorluğu vardı:

1. Karmaşık bir mekansal düzenleme
2. Serbest biçimli desenli dış paneller
3. Bir mega kafes yapısı
4. Proje katılımcıları arasında algı farkı
5. Program azaltma

Bu beş zorluğu çözmek için YBM ile ilgili çeşitli teknikler kullanıldı:

- Mekansal tasarım karmaşıklığı, müşteri, tasarımcı, yüklenici ve taşeron arasında YBM tabanlı bir koordinasyon süreci kullanılarak yönetildi.
- Cephelerin panelleştirilmesi ve serbest form desenli dış panellerin detaylandırılması için YBM üzerinden parametrik modelleme kullanıldı.
- Mega kafes yapının kalite kontrolü için 3D lazer tarama kullanıldı.
- Çeşitli proje katılımcıları arasındaki iletişimi kolaylaştırmak için sanal gerçeklik (VR) cihazları ve 4D simülasyon kullanıldı.
- Takvimi azaltmak ve verimliliği artırmak için çok ticaretli prefabrikasyon uygulandı.

Tier 1 toplantılarında, çakışmaların ve küçük tasarım hatalarının ortadan kaldırılmasına değil, temel olarak inşa edilebilirlik, büyük tasarım hataları ve tasarım geliştirme yönüne odaklanılmıştır. Yapılandırılabilirlik sorunları yalnızca taşeronlar arasında istişare ile çözülemeyeceği için tasarımda sonraki değişikliklerle birlikte tasarımcıdan çeşitli girdiler talep edilmiştir. Mimari tasarım değişikliği gerektiren ve/veya maliyet üzerinde önemli etkisi olan tasarım hataları, büyük tasarım hataları olarak sınıflandırılmıştır. Ek olarak, Tier 1 toplantıları, müşteri ve tasarımcı arasında detaylı imalat çiziminin geliştirilmesi yönüne ilişkin anlaşmaya yol açar. Koordinasyon toplantısı için dış kaynaklı bir YBM firması (ArchiMac) tarafından geliştirilen LOD 250-350 geliştirme düzeyinde bir YBM modeli kullanılmıştır. LOD 250-350 YBM modelinin kapsamından çeşitli malzemeler (ör. boru dalları, elektrik sert boruları) çıkarılmıştır. Bu, YBM modelini daha hızlı hale getirmek için ve Tier 1 toplantıları için müşteri veya tasarımcı ile ilgili olmadığı için yapılmıştır. Projedeki çatışma tespiti, genel yüklenicinin sorumluluğundaydı ve bu nedenle Tier 1 toplantı gündeminin dışında tutulmuştur. Büyük işlemler için kapsamlı optimizasyon yapılarak geçit tasarımı optimizasyonunun bir sonucu olarak, çelik miktarı %35,7 oranında azaltıldı ve bu da maliyet düşüşüyle sonuçlandı. Tier 2 toplantıları tasarım hatalarına ve inşaat çatışmalarına odaklandı. Sözleşmeye bağlı olarak, detay tasarım hatalarının çözümü sorumluluğu çeşitli alt yüklenicilere aittir. Sorun doğrudan ilgili taşeronlar arasında çözülebiliyorsa ve maliyetler üzerinde önemli bir etkisi yoksa, bunların koordinasyon toplantıları yoluyla çözülmesi verimsizdir. Tier 2 koordinasyon toplantısı için alt yükleniciler tarafından 3D atölye çizimleri için geliştirilen LOD 350-400'deki YBM modelleri kullanıldı. Sahada çözümlenebilecek inşaat nesneleri (örn.

destek askıları, esnek boru) YBM modellemesi kapsamından çıkarıldı. Tüm çakışmaları ve hataları YBM üzerinden çözmek verimli değildi. Hyundai E&C, YBM aracılığıyla her şeyi koordine etmek için çok fazla zaman harcadığını fark etti ve bu konuda dersler çıkarmıştır. İki aşamalı sistem işe yaradı çünkü katılımcılar yalnızca işlevleriyle kesinlikle ilgili olan toplantılara çağrılmıştır. YBM tabanlı panelleştirme yöntemi birçok amaca hizmet etti. Cephe şekillerini değiştirerek panel tiplerinin sayısının optimizasyonunu sağladı. Ayrıca cepheyi değiştirmeden detaylı panellerin tasarlanmasını sağladı. Hem müşteri hem de mimar için öncelik, panel kalıplarını sorunsuz bir şekilde birbirine bağlamaktı ve bu, maliyeti düşürmekten daha önemliydi. Buna nedenle Hyundai E&C, panel sayısını azaltmak yerine cephenin her kenarına farklı tasarım türleri uygulamıştır. Dış panellerin montajından sorumlu ticaret müdürü, orijinal inşaat belgelerine güvenerek ve dış panelleri bu temelde kurmaya çalıştı. Ancak, 3D tarama verilerinin analizi, kritik panel kurulum sorunlarını tanımlayabilirdi. Tasarım ve inşaat planı daha sonra sorunları çözmek için revize edilebilirdi. 3D lazer tarama, inşaat kalite yönetimi çalışmaları için potansiyel faydaya sahiptir ve yeniden çalışmanın neden olduğu inşaat süresi ve maliyet riskini azaltabilir.

Proje sırasında, müşterinin yeni tasarım trendlerini dahil etme gereksinimi karşılandı, ancak bunun maliyeti inşaat süresini beş aydan fazla uzatmak olmuştur. Bu duruma rağmen müşteri, tesisin halka erken açılmasını sağlamak için inşaat süresini kısaltmak istemiştir. Yüklenici, sık tasarım değişikliklerinin neden olduğu gecikmiş proje takvimini yakalamak ve yeni teslim tarihini karşılamak için çok ticaretli prefabrikasyon uygulamaya karar verdi. Yaygın olarak kullanılan ise tek ticari prefabrikasyondur. Bununla birlikte, tek ticari prefabrikasyonun en büyük sınırlaması, yalnızca tek bir ticareti etkilemesi ve tüm proje için süreyi azaltmamasıdır. Ofis kulesinin dört katına çok ticaretli prefabrikasyon uygulanmıştır (Sacks, Eastman, Lee, & Teichoiz, 2018).

4.5 Abdullah Gül Cumhurbaşkanlığı Müzesi ve Kütüphanesi Renovasyon Projesi

1933-1935 yılları arasında Rus mimar İvan Nikolayev'in önderliğinde inşa edilen Kayseri Sümerbank kumaş fabrikası, Çin Cumhuriyeti döneminde sanayileşme ve modernleşme hareketinin en önemli simgelerinden biri olmuştur. Rus Konstrüktivizminin ilkel örnekleri sayılabilecek yapılardan oluşan kompleks, kapatıldığı 1999 yılından Abdullah Gül Üniversitesi'ne atanana kadar şehir merkezine yakın terk edilmiş bir alandı. 2012 yılında, mevcut bazı yapıların değerlendirilmesinin ardından AGÜ kampüsü olarak yeniden açılmıştır. İç organizasyonu müzeye dönüştürülen santralde, ziyaretçilerin cumhurbaşkanlığı sergisini ve değişen programa göre geçici sergileri deneyimleyebilecekleri yerler operasyonel senaryolara göre tasarlandı. Aynı zamanda bireylerin ya da okul gruplarının eğitim alanındaki etkinlikler için kullanabileceği etkinlik alanları bulunan, yeme alanları ile desteklenmiş bir merkez olarak tasarlanmıştır. Ayrıca binanın orijinal kullanımından günümüze kadar gelen kül odası ve kömür bacası gibi özgün yapı elemanları da sergi deneyiminin bir parçası haline gelmiştir.

Tablo 5.YBM ile yapılmış bina örneği proje bilgileri.

Firma	Emre Arolat Mimarlık
Yer – Tarih	Kayseri-2016
Proje Tipi	Kültür Yapısı
Yazılım	Allplan, Naviswork, Primavera, Allplan AX 300
YBM Fonksiyonu	3D Modelleme, Saha Koordinasyonu, Çakışma Analizi, Planlama, Maliyet
YBM Kullanımdaki Amaç	Mevcut yapın geçerliliğini koruyan, binanın doğal yapısı için büyük öneme sahip gerekli onarım ve yenileme işlemlerini içeren planlama sağlamak

1933 yılında Ivan Nikolaev önderliğinde bir grup Rus mimar tarafından Kayseri'de kurulan Sümerbank Tekstil Fabrikası, Cumhuriyet döneminde Türkiye'deki sanayileşme ve modernleşme hareketinin en önemli simgelerinden biridir. Bu sanayi kompleksi 1999 yılında kapatılarak terk edilmiştir.

2013-2016 yılları arasında Cumhurbaşkanlığı Müzesi ve Abdullah Gül Kütüphanesi'ne dönüştürülen tesisteki konservasyon müdahalelerinde, yapının fiziği açısından önemli olan gerekli onarım ve yenilemelerin, mevcut bileşenlere uygun bileşenler korunarak yapılması planlanmıştır. Mevcut binaların dönüşümü, çok müdahaleci olmayan ve mevcut karaktere zarar vermeden kurcalamaya dayanıklı hale getirmeyi amaçlayan bir yaklaşımla yürütülmüştür. Binalar, zamanla güçlenen katmanlarla bir bütün olarak görülmekte ve bu nedenle mevcut durumdan daha spesifik bir dönemi ortaya çıkarabilecek bir restorasyon sürecinden kaçınılmaya çalışılmaktadır (URL-9).

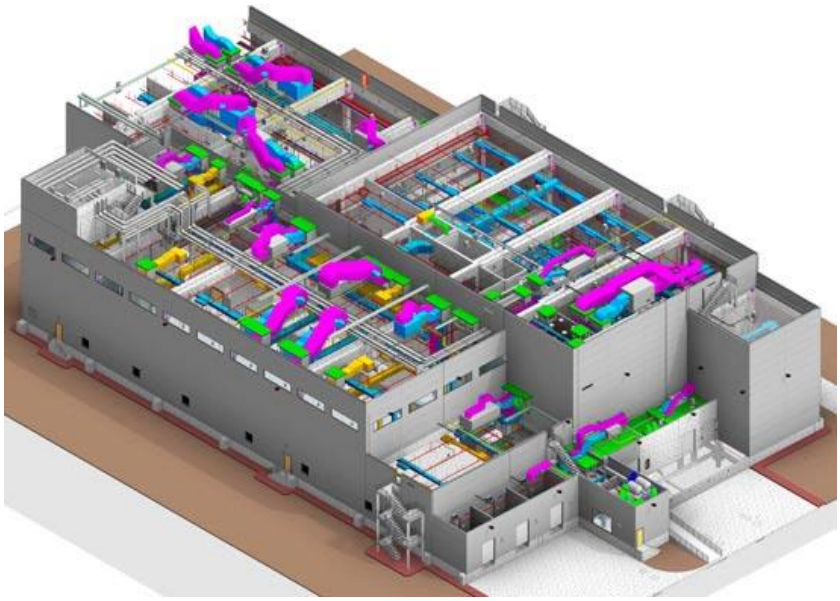
Tablo 5'de görüldüğü gibi projede BIM işlevselliği; 3D modelleme, site düzenleme, çakışma analizi, planlama, içerik maliyetlendirme içermektedir. Ayrıca kullanılan BIM araçları Allplan, Naviswork, Primavera, Allplan AX 300 idi. Cumhurbaşkanlığı Müzesi ve Abdullah Gül Kütüphanesi renovasyon projesinin resimleri Şekil 32 ve 33'de, BIM modeli Şekil 34'de gösterilmektedir



Şekil 32. Abdullah Gül müzesi görseli (URL-3).



Şekil 33.İç mekan görseli (URL-4).



Şekil 34.BIM modeli (URL-5).

4.6 Emaar Square YBM Kullanılan Proje

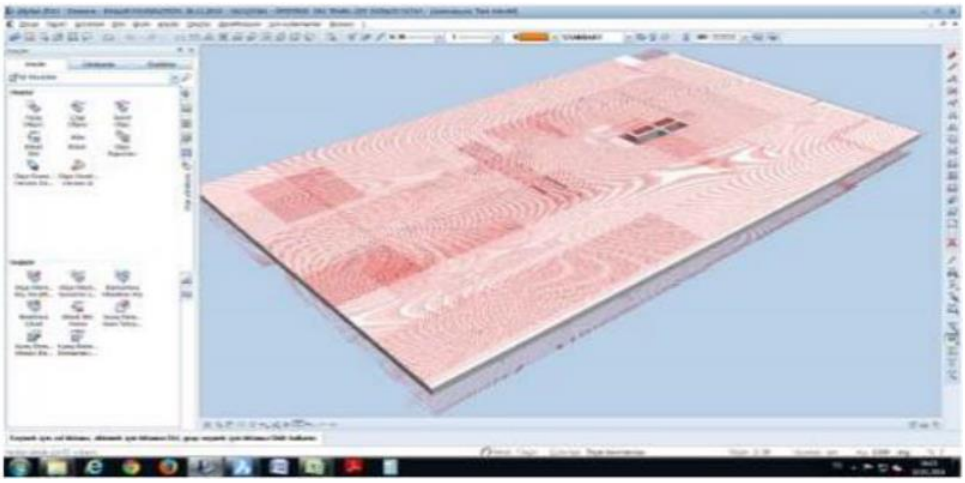
Emaar Square projesi net alanı 825.000 m², altyapı alanı 600.200 m² ve üst yapı alanı 224800 m² (Url-18) olan konut, otel ve AVM'den oluşan karma kullanımlı bir projedir. Bu projede şartnameler dahilinde BIM süreçleri kullanılarak saha ve ofislerin koordinasyonu bu süreçlerle sağlanmıştır. Arazi modeli inşaat sırasında güncellenir. LOD 300 ve LOD 400 seviyelerinde modelleme yapılmıştır. Çakışmalar belirlenir, haftalık miktarlar serbest bırakılır ve değişiklik siparişleri bu süreçler üzerinden yönetilir. 4b simülasyon kullanılmış ve bina bilgi modellerinden mağaza çizimleri elde edilmiştir. Projede lazer tarama teknolojisi kullanılmış, bu nedenle çalışmaların takibi yapılmıştır (Çıtıpıtıoğlu, 2016).

2013 yılında inşaatına başlanan ve 2017 yılında tamamlanan Emaar Square projesi, alışveriş merkezi, konut, ofis ve otel fonksiyonlarını birleştiren karma bir projedir. Allplan BIM programında projenin üç boyutlu modeli oluşturulur ve mimari, statik, mekanik ve elektriksel veriler için gerekli veriler üç boyutlu olarak görüntülenir. Daha sonra Allplan'da elde edilen metrajlar elde edilen verilerle Avinal ERP sistemine aktarılarak keşif, analiz ve maliyet verilerine ulaşılacaktır. BIM ortamında (Allplan 3D) yeniden çizilen projelere ilişkin mal sahibi tarafından verilen ihtiyaç belgeleri (Mimarlık, Bilişim, Elektrik, Mekanik, Peyzaj) ve tüm miktarları yer ve katman bazında otomatik olarak toplanır (Şekil 35, Şekil 36).

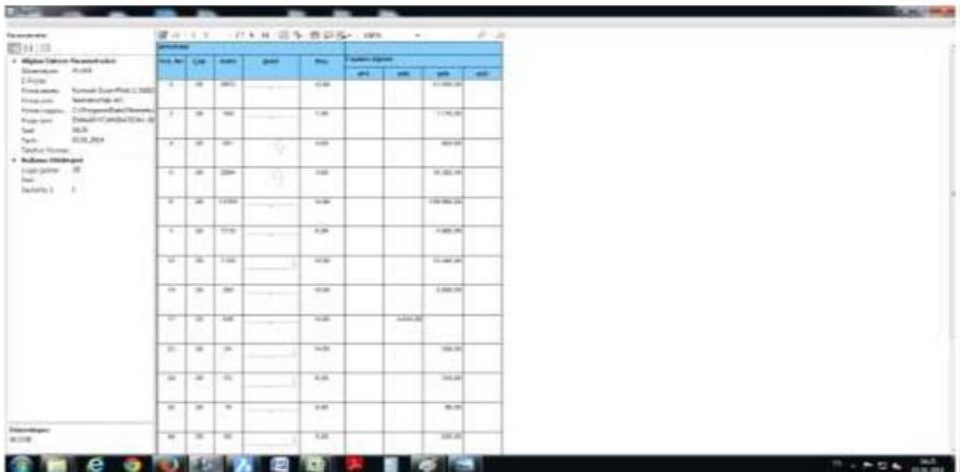
BIM ile yani bu üç boyutlu çalışma ile mimari ve statik projeleri arasındaki veya uygulama detaylarındaki mevcut aksaklıkları belirlenmiş olmaktadır (Seifloo ve Pamuk, 2014).



Şekil 35. Emaar Square görseli (URL-6).



Şekil 36. Emaar Square allplan temel donatı modeli (Seifloo ve Pamuk, 2014).



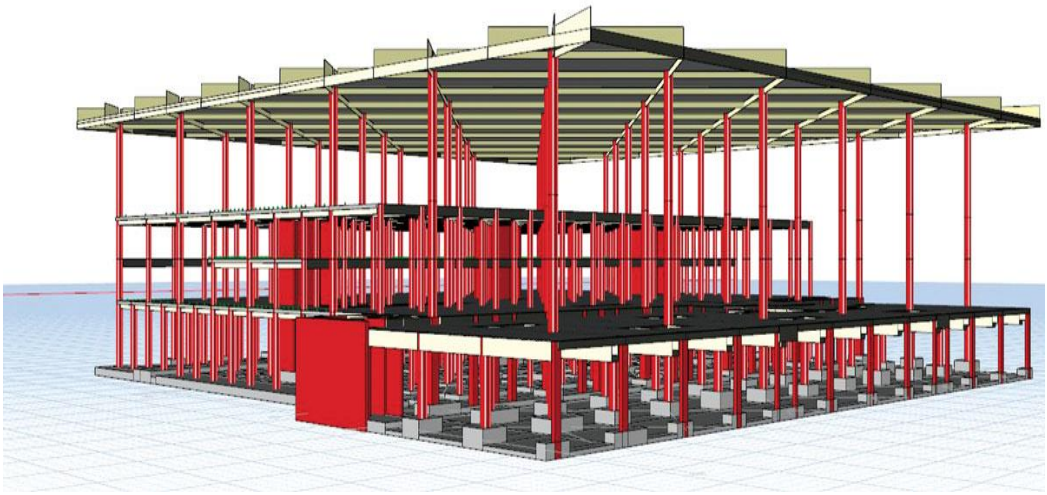
Şekil 37. Allplan'de alınmış donatı metraj listesi (Seifloo ve Pamuk, 2014).

4.7 YBM Gerçek Yapı Örnekleri ve Analizi

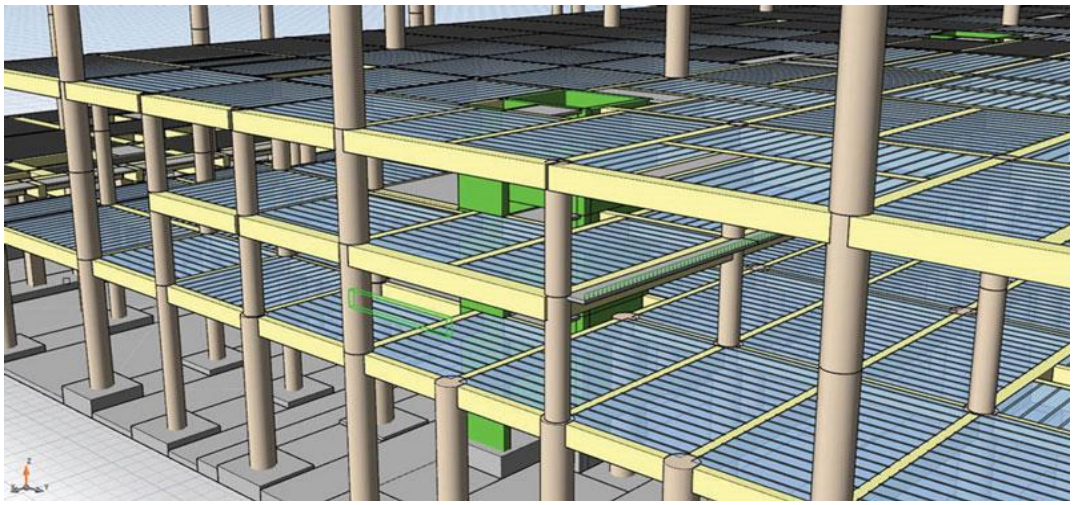
Czmoch ve Pekala, yapmış oldukları araştırma kapsamında Polonya'nın Varşova şehrindeki bir ofis kompleksini incelemiş ve klasik yöntem ile YBM arasındaki farklılıkları analiz etmiştir. İnceledikleri yapı, 6 katlı ve 4 katlı ve iki ayrı 4 katlı yapı olarak iki bölüme ayrılmıştır. REVIT yazılımı ile tasarlanan bu yapı, 30.000 m2'den fazla ofis alanından oluşmaktadır ve 10 farklı tasarımcı projede yer almıştır. Araştırmaya göre genel olarak, tasarım sürecinin geleneksel tasarım yöntemine göre %10 daha hızlı ve %80 daha doğru olduğu tahmin edilmektedir. Projede YBM süreçlerini bilen deneyimli 3 kişi bulunurken, geri kalan tasarımcılar bu teknolojiyle yeni tanışmışlardır. Geleneksel tasarım kullanılmayan ve tüm veri koordinasyonunun YBM ile yapıldığı bu projede, Autodesk REVIT'te tespit edilen çakışmalar olmuştur ve sorunların çözümü için tüm ekip bir araya gelmiştir, projektör ve maket kullanılarak sorunların çözümü sağlanmıştır. Polonya'daki kanun nedeniyle projede YBM kullanılsa bile geleneksel yöntemde olduğu gibi çizimler kağıt üzerinde de belgelenmiştir. YBM'nin yüksek yatırım maliyeti olsa da, malzeme ve elemanların doğru kullanımı sayesinde sağladığı faydalarla bu maliyete katlanmaya değeceği görülmüştür. YBM sayesinde dökümantasyon süreçleri %30 oranında azalmıştır ve bu durum birkaç düzine farklı CAD dosyası yerine tek bir model üzerinde çalışılması sayesinde olmuştur (Czmoch & Pekala, 2014).

Birçok büyük ve köklü firmanın birlikte tasarlayıp hayata geçirdiği dünyanın en yüksek yolcu kapasitesine sahip İstanbul Yeni Havalimanı projesi kısa bir zaman içerisinde yoğun ve özverili bir çalışma ile tamamlanmıştır. Yapımı sırasında yoğun bir şekilde YBM kullanılan İstanbul Yeni Havalimanı'nın içerisindeki terminal binasının yapımını üstlenen Prota Mühendislik, ProtaStructure yazılımını kullanarak hızlı ve hataları en aza indirecek şekilde bir çalışma yürütmüştür. Terminal yapımını başarıyla tamamlayan Prota Mühendislik' in karşılaştığı temel sorunlardan birisi kısıtlı zamana sahip olmalarıydı. Aynı zamanda terminal binasının mimari formu, kavisli yapısı, çatısının değişik şekli, farklı yapıdaki levhalar ve asma katlarda kullanılan malzemeler gibi fiziki unsurlarındaki değişik şekil ve uygulamalar proje tasarım aşamasında zorluklara neden olmuştur. Yapının karmaşıklığı arttıkça kullanılacak olan yazılım da o kadar önemli hale gelmektedir ve tüm bu zorluklarla başa çıkmak için ProtaStructure yazılımını tercih eden Prota Mühendislik, tasarım sürecini kısaltıp karlılığını arttırarak proje maliyetini %40 oranında azaltmayı başarmıştır. Modellerin hızlı geliştirilmesi ve farklı modellemelerin

değerlendirilebilmesi, tamamen otomatikleşmiş, kod tabanlı tasarım ve detaylı deprem analizine sahip olması, YBM entegrasyonu sayesinde ekipler arası iletişimi kolaylaştırması, model birleştirme yeteneği sayesinde aynı anda tasarım yapılabilmesi, raporlamaları kolaylaştıran hesaplama yeteneği ProtaStructure'ın öne çıkan YBM yetenekleridir (İstanbul Yeni Havalimanı, 2021).



Şekil 38.IGA Terminali - ProtaStructure Modelleri.



Şekil 39.IGA Terminali - ProtaStructure Modelleri 2.

4.8 Klasik Yöntem ile YBM'nin Karşılaştırılması

Czmoch ve Pekala'nın yapmış olduğu araştırmaya göre YBM ile geleneksel yöntem arasındaki farklardan ilk ve en önemli olanı yüksek maliyettir. YBM, büyük donanım ve yazılımlar nedeniyle yüksek yatırım maliyetine sahiptir. Yalnızca bir işyeri için tam işlevselliğe sahip yazılım, yaklaşık on binlerce PLN (Polonya Zlotisi) maliyetine sahiptir. Bir kişinin tüm yapıyı, tesisatı veya mimariyi modelleyemeyeceği gerçeği göz önüne alındığında tasarım ofisinin ihtiyaçlarına göre yukarıda belirtilen fiyat birkaç işyeri ile çarpılmalıdır. Bu nedenle maliyetler, her ofis tarafından kolayca karşılanamamaktadır ve küçük-orta ölçekli işletmeleri YBM konusunda en çok zorlayan neden budur. Bununla birlikte tasarımcıların da eğitilmesi işletmeler için yüksek bir maliyet kalemidir. YBM ile modellenen yapının %100 doğru olması gerekmektedir. Nesnelerin parametrelerinin veya yapı elemanlarının hiyerarşisinin modellenmesindeki en küçük hatalar bile büyük yanlış hesaplamalara yol açabilir ve büyük hatalara ve tasarım komplikasyonlarına neden olabilir. YBM kullanacak katılımcıların, klasik tasarım yönteminde kullanılan CAD yazılımıyla çalışan kişiler için bilinmeyen çok çeşitli yeni ifadeler, deyimler, terminoloji ve jargonla tanışmasını gerektirir. Geçiş döneminde, görevler ve gerçeklerin farklı yorumlanmasına ve hatta yanlış yorumlanmasına yol açarak projede hatalara neden olabilir. Ayrıca YBM ile yapılan projelerin anlamlı ve hatasız şekilde kullanılabilmesi için modelin erken tamamlanması gerekmektedir. Ayrıca YBM tabanlı tasarımın yaygın olarak uygulanmasına ilişkin önemli bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. Bu, yatırımcı-tasarımcı-yürütücü hattında dokümantasyon teslim formunda veya modelin ayrıntı düzeyinde yanlış anlaşılmaya yol açabilmektedir. Bu tür çatışmalar şantiyelerde gecikmelere yol açarak ek maliyetlere ve hatta uzun süreli davalara yol açabilmektedir. Diğer taraftan YBM ile ilgili yasal düzenlemelerin olmaması, YBM yönteminin günlük kullanımda düzgün bir şekilde uygulanmasında sorunlara neden olabilmektedir (Czmoch & Pekala, 2014).

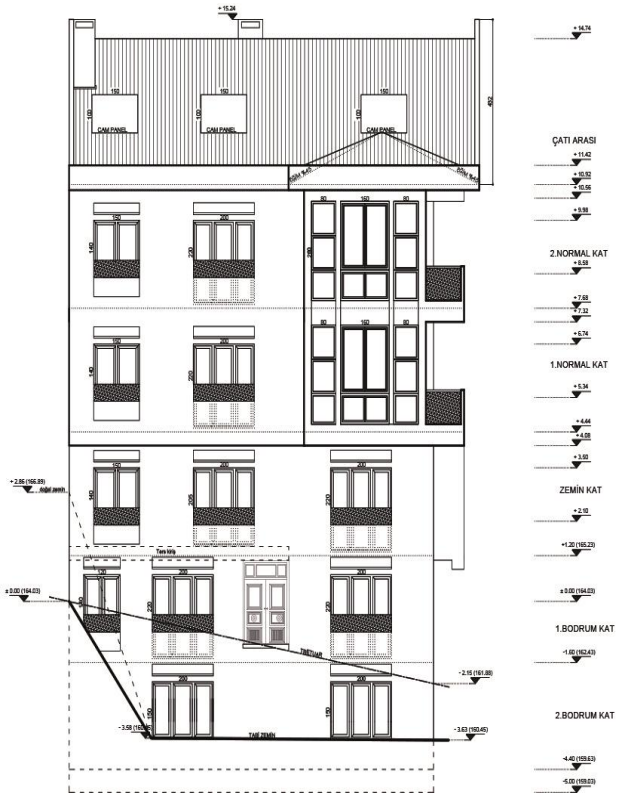
4.9 Gerçek Bir Proje ile Karşılaştırılması

YBM Kullanılmadan yapılan gerçek bir projenin, YBM kullanılarak yapılan projenin arasındaki Uygulama, Çalışanların maliyetleri, Doğruluk, Çakışma tespiti, Maliyet tespiti, Çevresel analizler, Zaman tasarrufu, İnsan kaynağı gereksinimi, Proje Yapım maliyeti, verimlilik vs. karşılaştırılması.

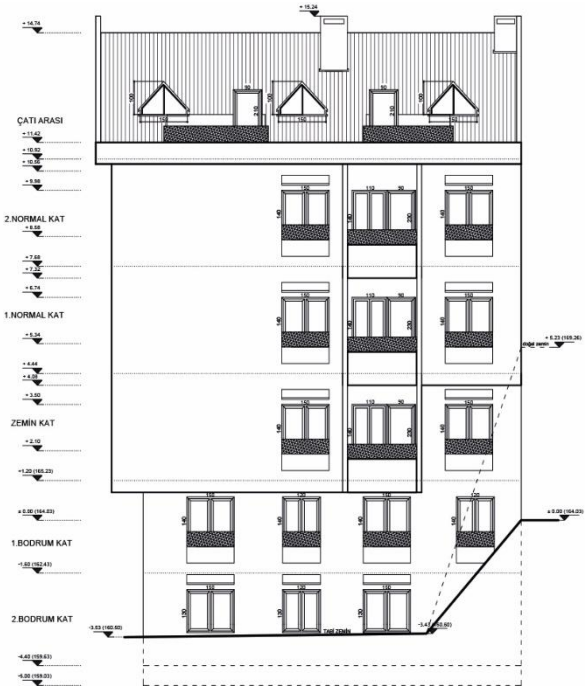
4.10 Geleneksel Yöntem İle Yapılan Yapı

Tablo 6. Konut Proje Bilgileri.

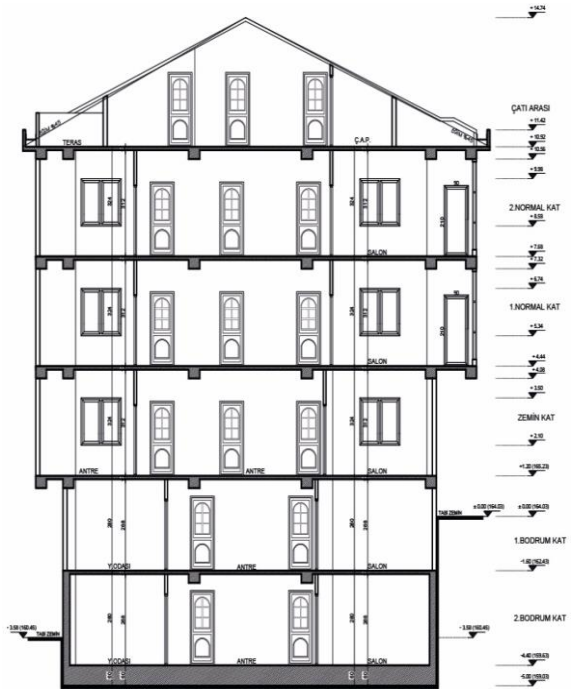
Firma	Öz Yıldırım Gayrimenkul İnşaat Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi
Yer-Tarih	İstanbul – Çekmeköy
Proje Tipi	Konut
Yazılım	Autocad, Photoshop, Cephe için 3DSMAX



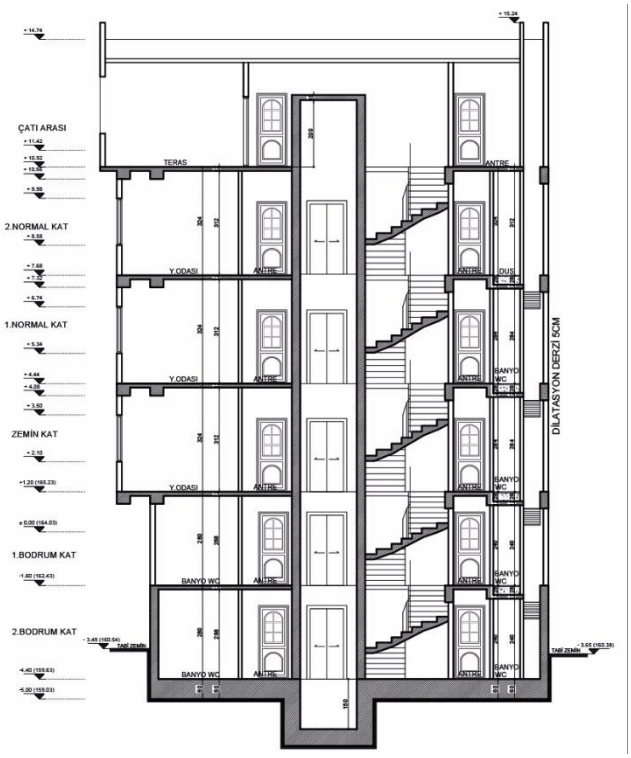
Şekil 40. Konut Ön Görünüşü.



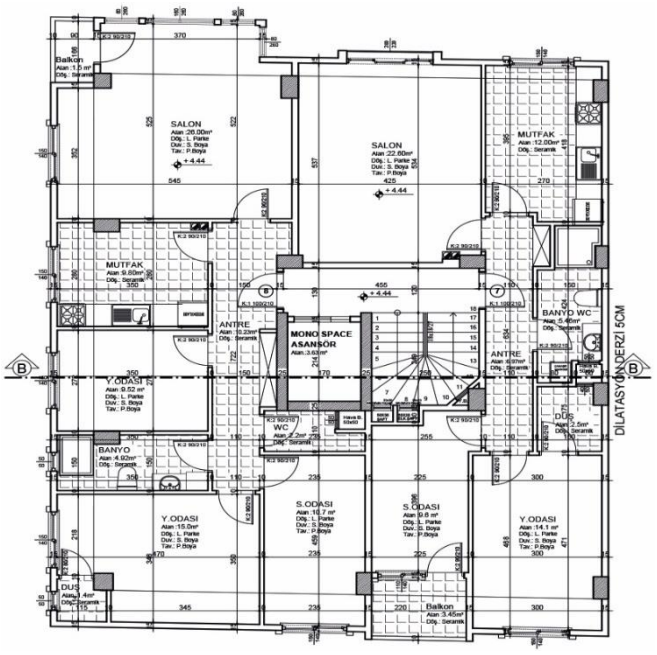
Şekil 41. Konut Arka Görünüşü.



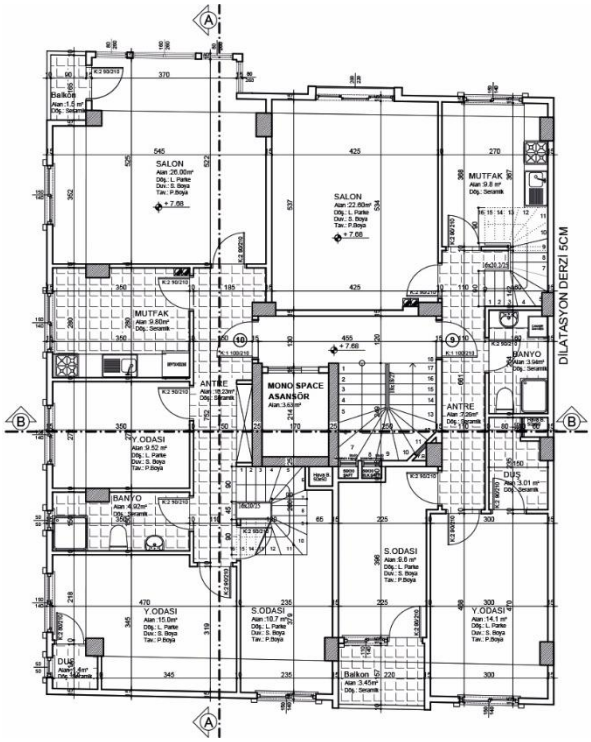
Şekil 42. Konut A-Kesiti.



Şekil 43. Konut B-Kesiti.



Şekil 44. 1.Normal Kat Planı.



Şekil 45.2.Normal Kat Planı.



Şekil 46. Konut Ön Cephe 3DSMAX.



Şekil 47. Konut Arka Cephe 3DSMAX.

İstanbul Çekmeköy 2829 Parsel

Toplam İnşaat alanı : 1,500 m2

Toplam Bağımsız Bölüm : 10

Toplam İnşaat Maliyeti : 4,000,000 TL

Yapım Yılı : 2020

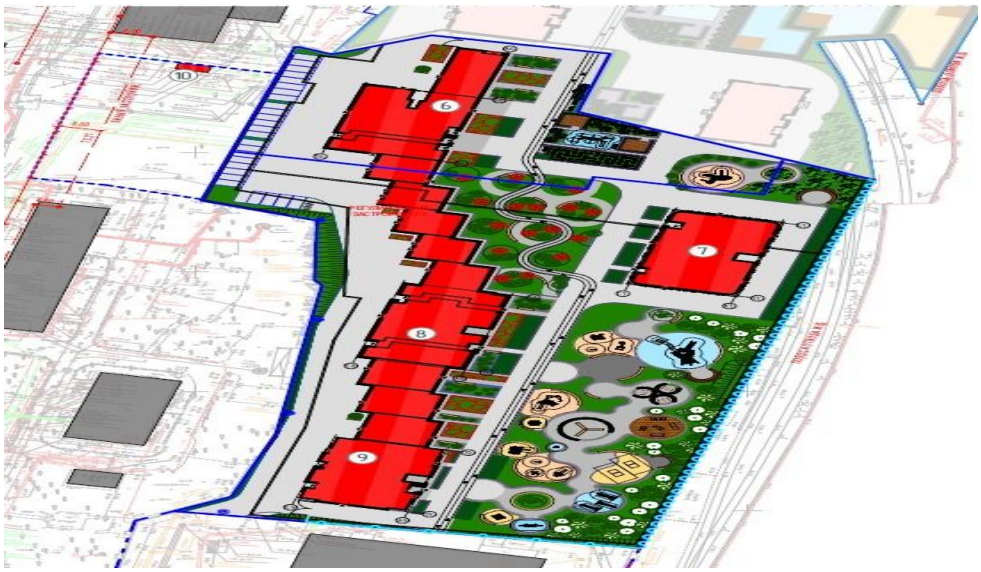
Toplam İşçi sayısı : 137 kişi

Toplam İnşaat Süresi : 12 ay

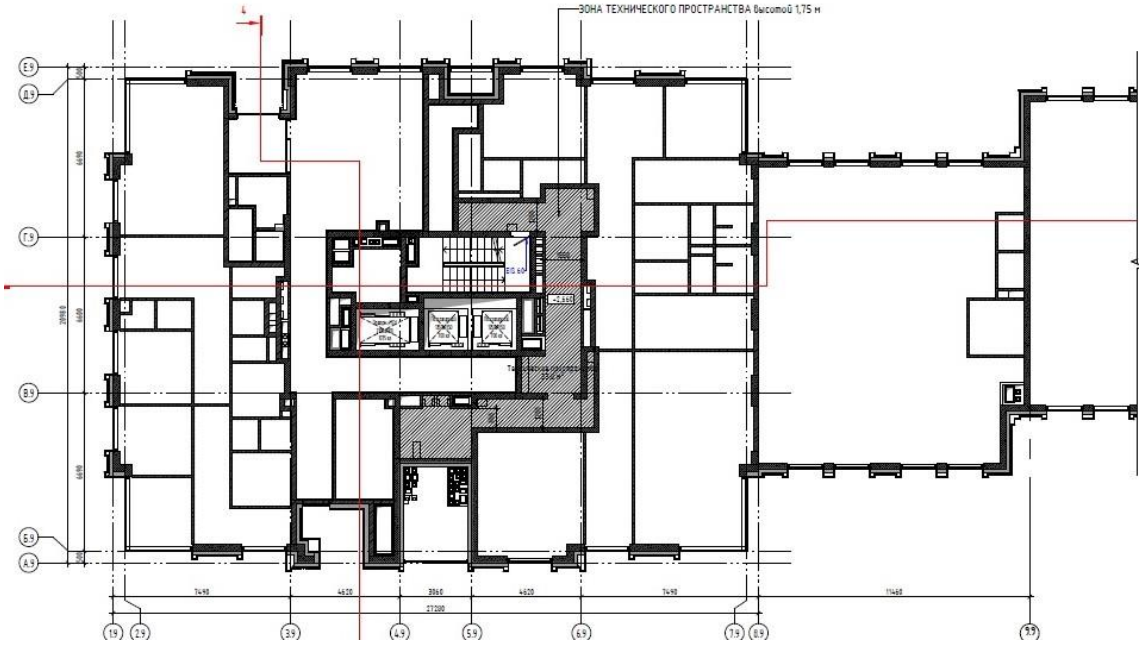
2022 yılı yaklaşık maliyeti (10-12 milyon TL)

4.11 YBM ile yapılmış proje örneği

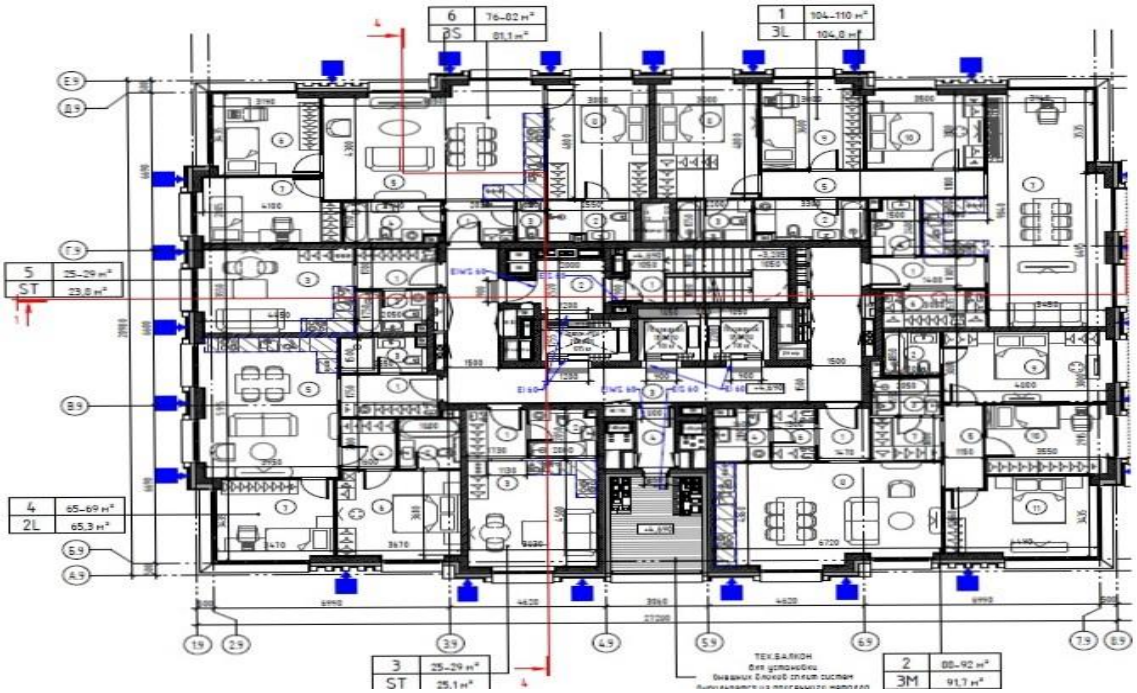
SİYA Proje Ofisi tarafından tasarlanan **'Paveletskaya Şehri'**



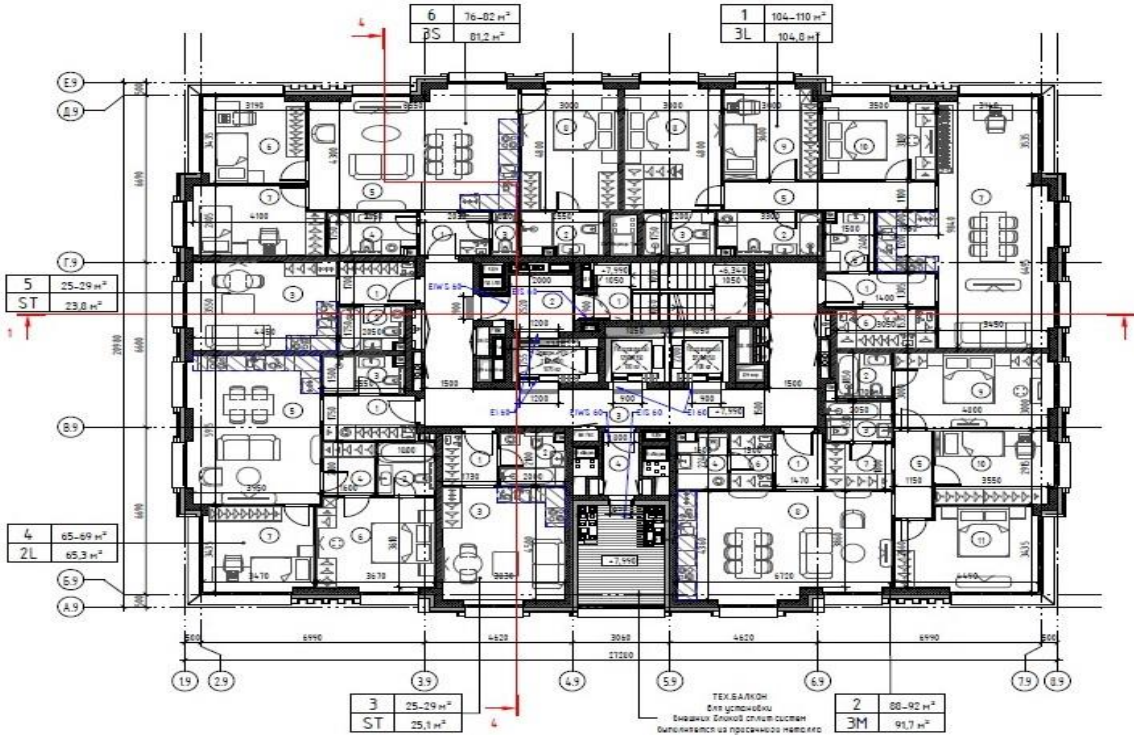
Şekil 48. Vaziyet Planı.



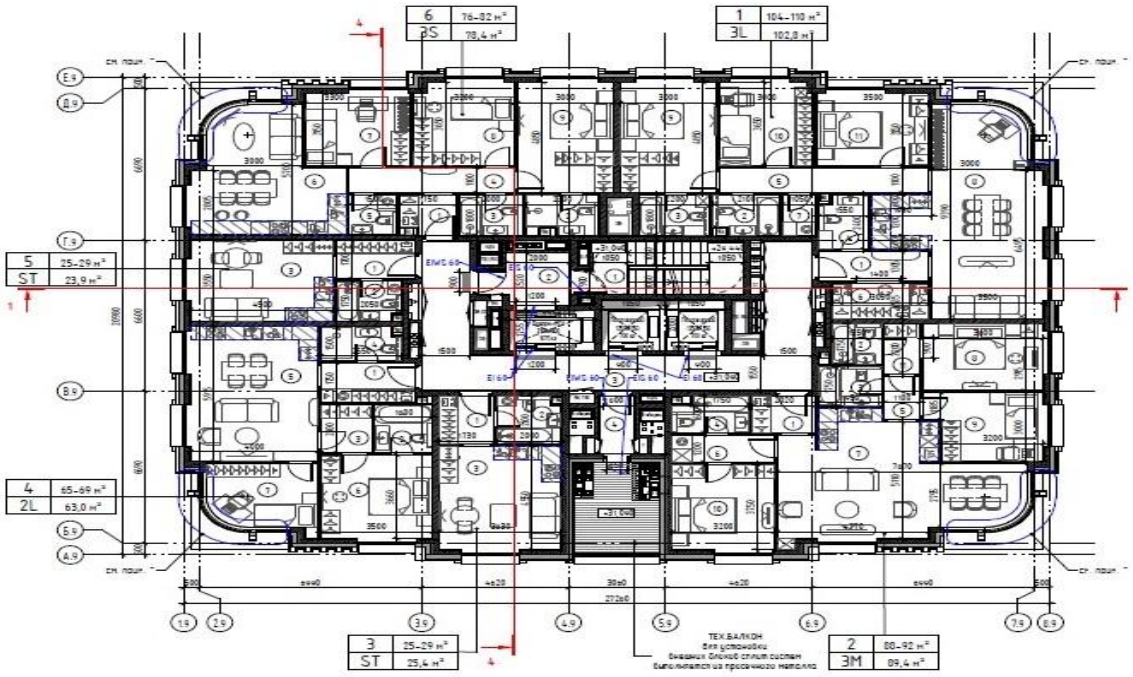
Şekil 49. K9 blok bodrum kat planı.



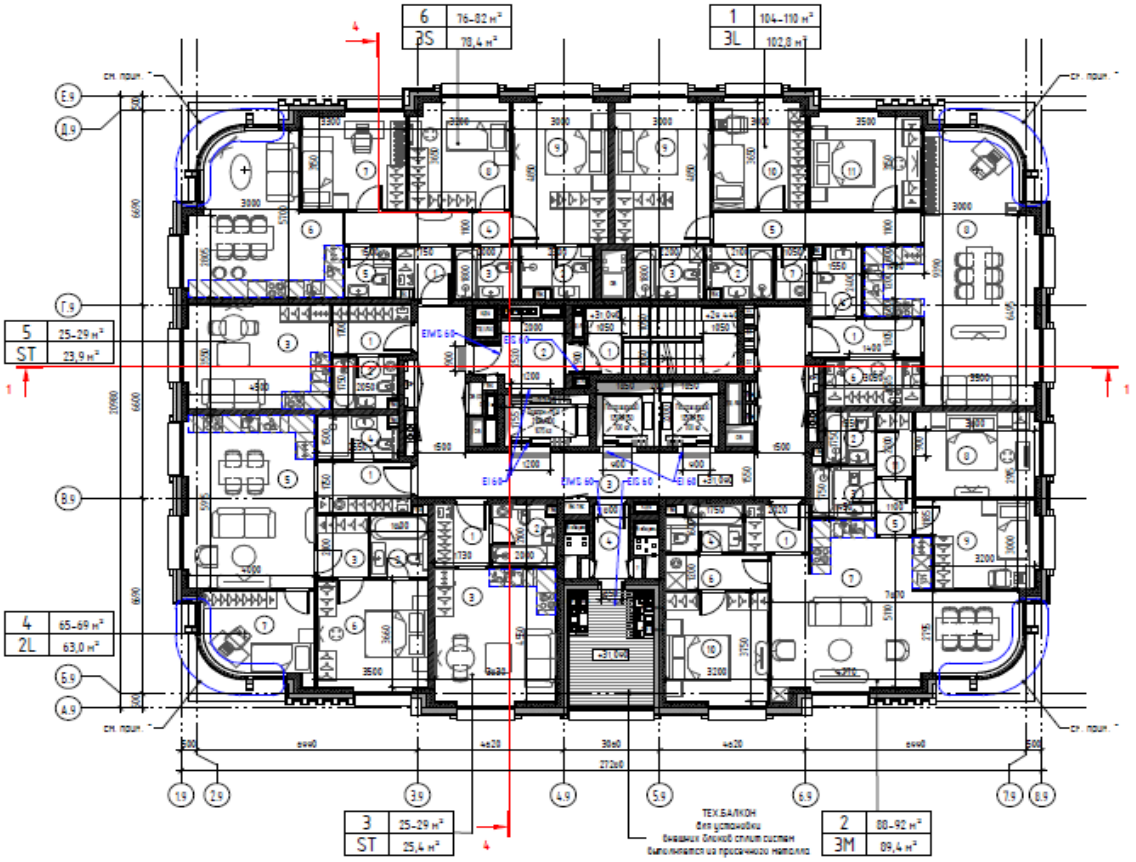
Şekil 50. K9 blok 1. kat planı.



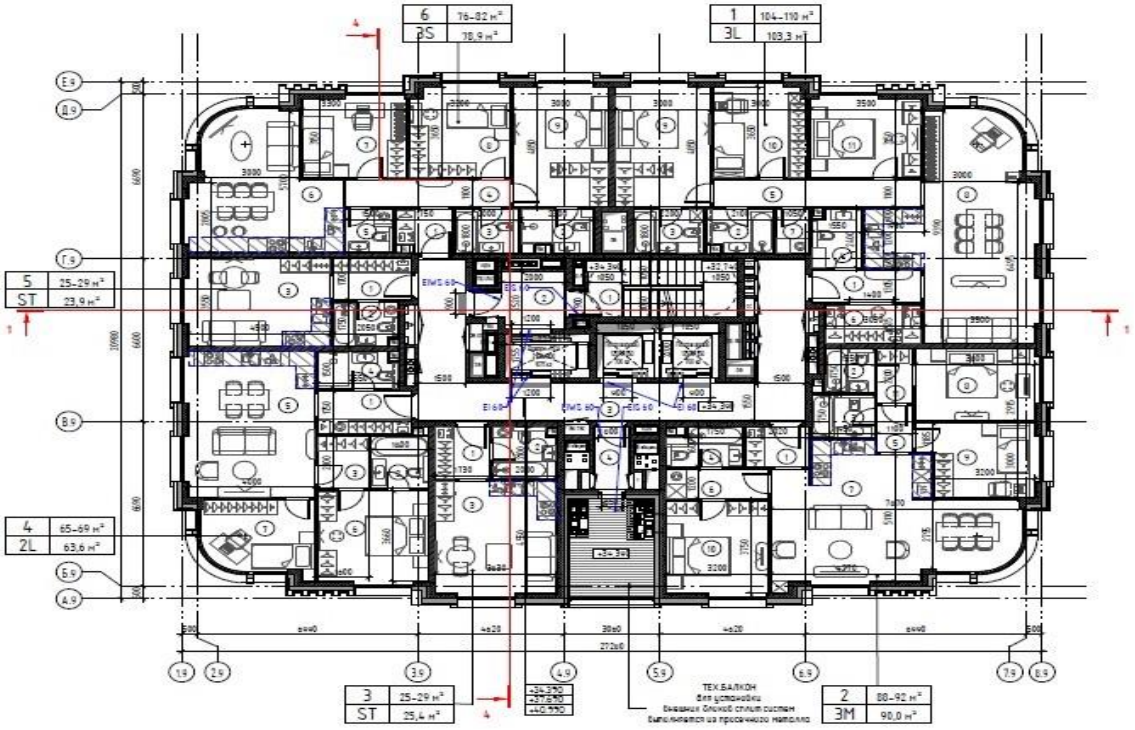
Şekil 51. K9 blok 2.kat planı.



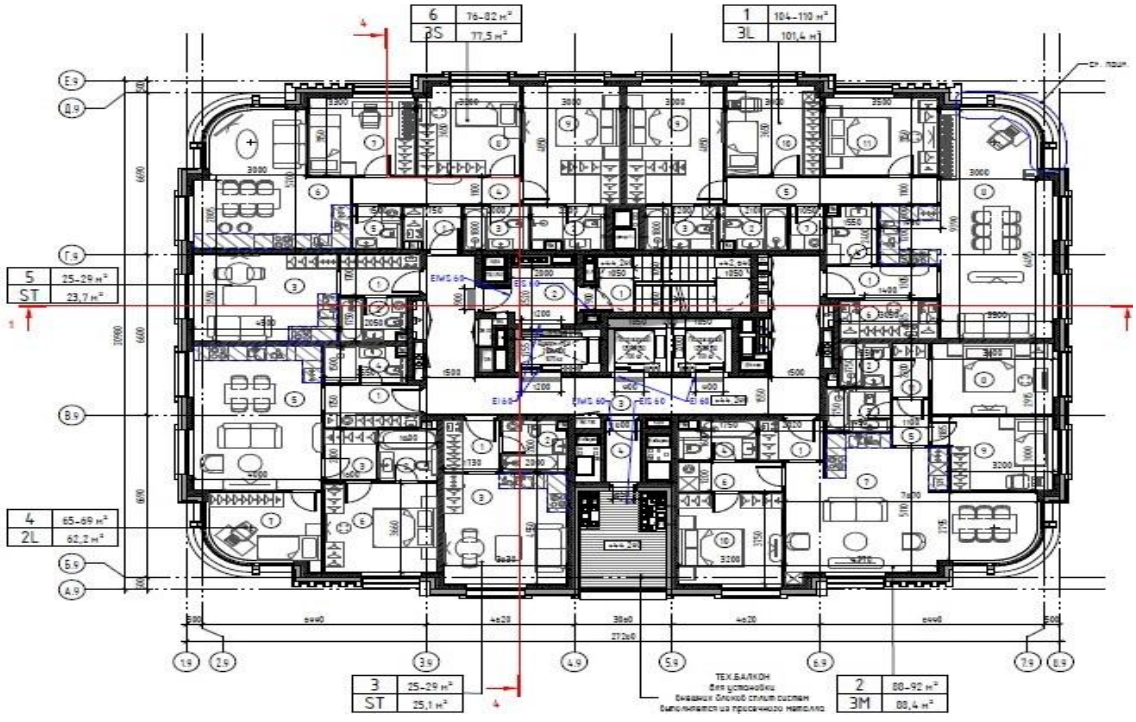
Şekil 52. K9 blok 3-9 kat planı.



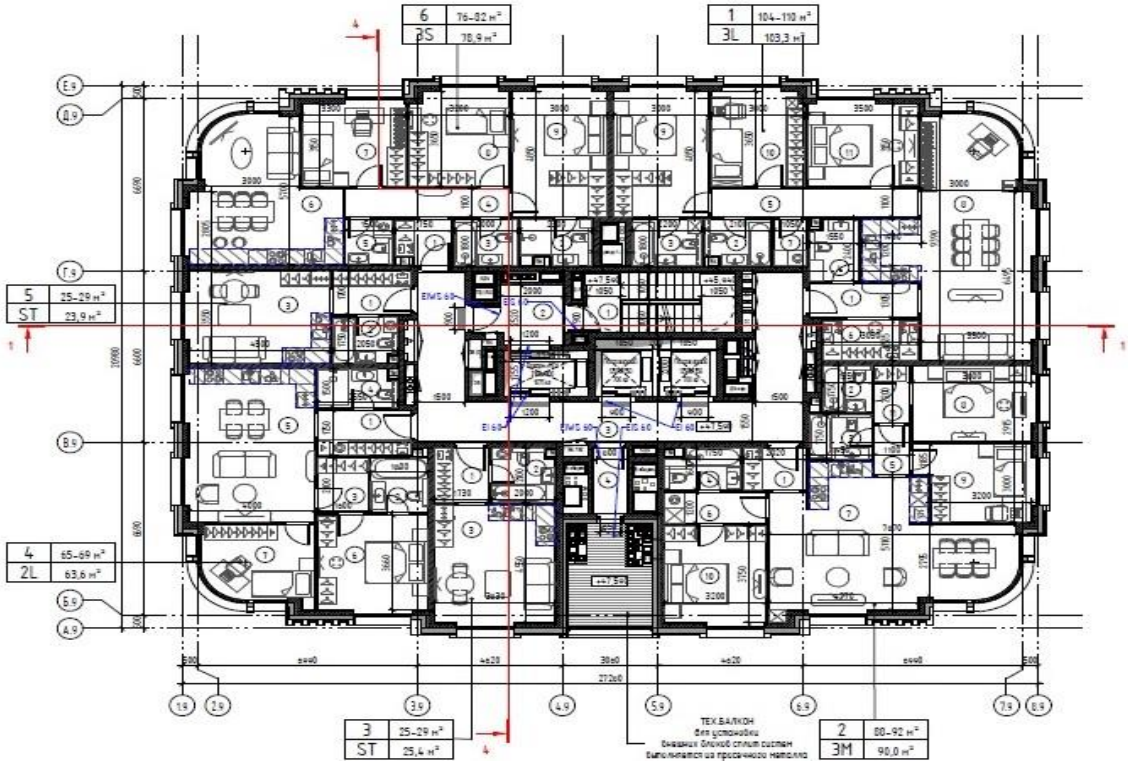
Şekil 53. K9 blok 10. kat planı.



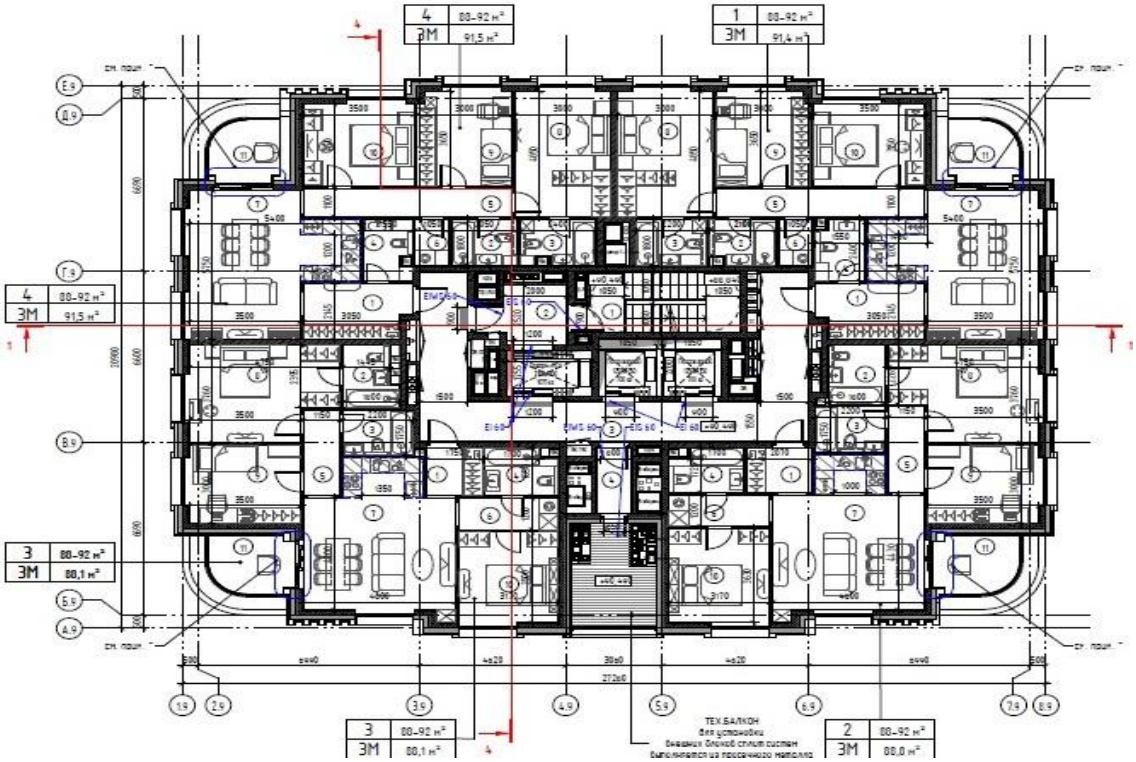
Şekil 54. K9 blok 11-13. kat planı.



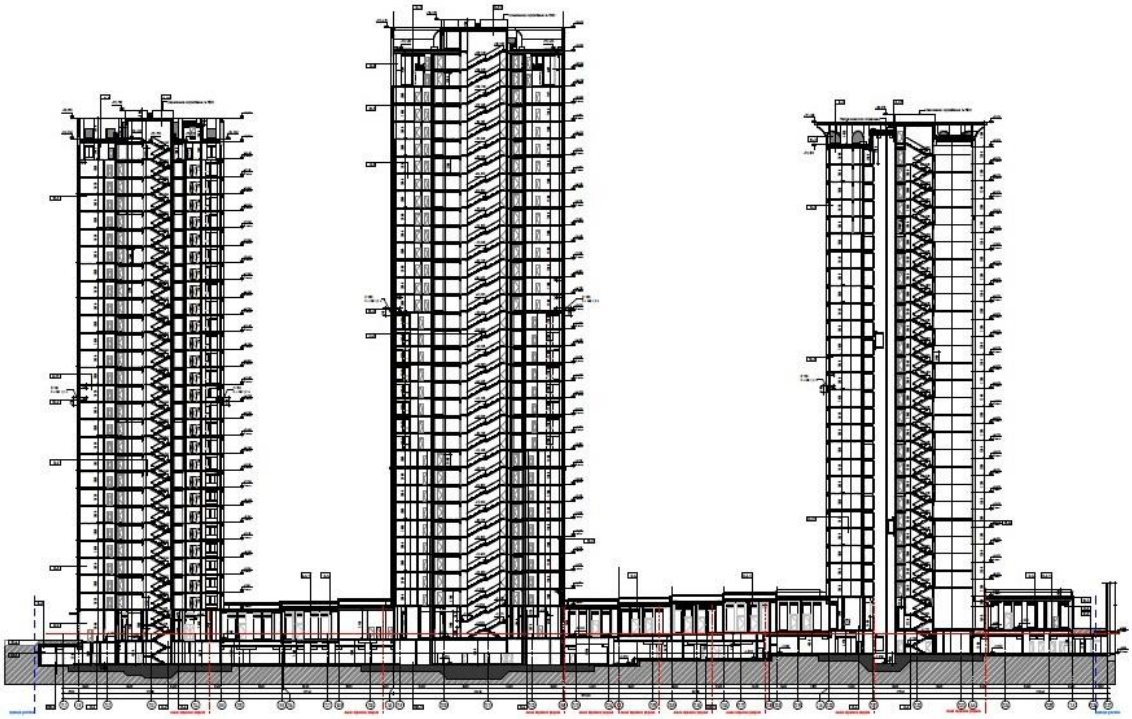
Şekil 55. K9 blok 14. kat planı.



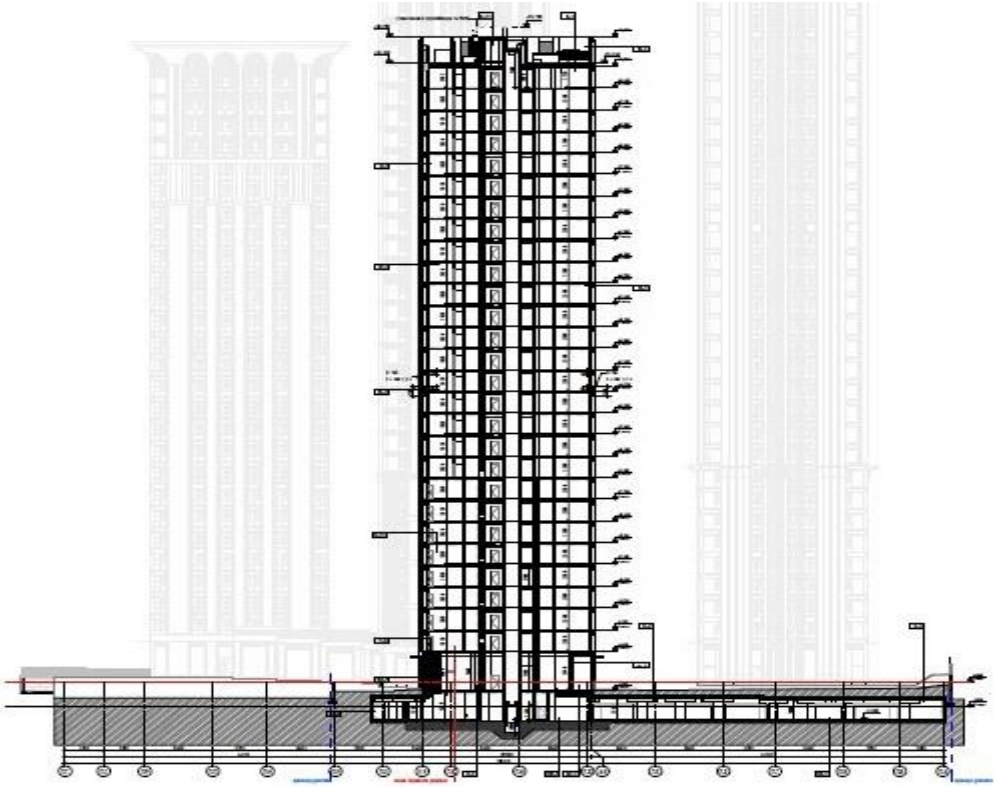
Şekil 56. K9 blok 15-27 kat planı.



Şekil 57. K9 blok 28. kat planı.



Şekil 58. Arazi Kesiti.



Şekil 59. K9 Blok Kesiti.



Şekil 60. K9 Blok Görünüşler.



Şekil 61. RENDER 1.



Şekil 62. RENDER 2.



Şekil 63. Pavaletskaya Şehri Renderi.

Tablo 7. Geleneksel Yöntem ile YBM Karşılaştırması.

	YBM Kullanılmayan Örnek Yapı	
Uygulama/Yazılım Maliyeti	Düşük	Yüksek
Çalışanların Eğitim Maliyeti	Düşük	Yüksek
Doğruluk	Daha bireysel çalışma içermektedir.	Doğru bir modelleme yapabilmek için uzman bir ekip çalışması gerektirir.
Çakışma Tespiti	Yapılamaz.	Yapılır.
Modele Dayalı Maliyet Tahmini	Yapılabilir ancak detaylı değildir.	Detaylı olarak yapılabilir.
Çevresel Analizler	Yapılabilir ancak detaylı değildir.	Detaylı olarak yapılabilir.
Zaman Tasarrufu	Düşük	Yüksek
İnsan Kaynağı Gereksinimi	Yüksek	Düşük
Proje Yapım Maliyetini Azaltma	Düşük	Yüksek
Sürdürülebilirlik	Düşük	Yüksek
Verimlilik	Düşük	Yüksek
Ekipler Arası İş Birliği ve İletişim	Düşük	Yüksek

Tablo 8. Karşılaştırma Tablosu.

	PROGRAMLAR	
	GELENEKSEL YÖNTEM	**YBM**
M2	1.500	12.656
İŞLEV	KONUT	KONUT
KAT ADEDİ	5	28
İNSAN GÜCÜ	108	216
SÜRE	12	34
İNŞA MALİYETİ	6.000.000	75.936.000
PROJE MALİYETİ	75.000	4.290.000
EĞİTİM MALİYETİ	15.000	513.070

Tablo 9.Eşdeğer Karşılaştırma Tablosu.

	PROGRAMLAR	
	GELENEKSEL YÖNTEM	**YBM**
M2	1.500	1500
İŞLEV	KONUT	KONUT
KAT ADEDİ	5	5
İNSAN GÜCÜ	108	60
SÜRE (AY)	12	8
İNŞA MALİYETİ (TL)	6.000.000	9.000.000
PROJE MALİYETİ(TL)	75.000	508.000
EĞİTİM MALİYETİ (TL)	15.000	60.809

4.12 Proje Karşılaştırması

Tablo 9'da belirtildiği üzere geleneksel yöntem ile YBM arasında genel olarak bir kıyaslama yapacak olursak;YBM kullanılarak yapılan projelerde belirli bir sistem ve düzen olması proje sahalarında uygulama yapılırken yapılacak olan hataların azalması,bunun yanı sıra malzeme maliyetlerinde ve projenin büyüklüğüne bağlı olarak azalmalar olmaktadır.Bunun yanı sıra YBM'in Geleneksel yöntem ile arasındaki en büyük fark projenin bütün aşamalarında yönlendirme yapabilmesi ve proje öncesi sonrası oluşacak durumlara hakimiyetidir.

Geleneksel yapı projelerinde göre daha iyi organizasyon ve sistem kurmasına karşın maliyetlerin yüksek olması nedeni ile pek tercih edilmemektedir.YBM zamanla kullanımı yaygınlaştıkça ortalama maliyetlerin düşmesi ve daha kısa sürede daha düzgün ve kaliteli yapıların ortaya çıkması sağlanacaktır.

Örnekteki Geleneksel yapı ve YBM ile yapılmış proje örneklerini kıyaslayacak olursak,iki projenin eşit m² de olduğunu varsayar isek;süre(zaman) olarak %20-25 tasarruf edilmekte,ortalama eğitim,malzeme ve inşaa maliyetlerinde %40 gibi bir artış olmaktadır bunun en belirgin nedeni ise;eğitim ve proje maliyetleridir.

5. SONUÇ

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), modern mimari, mühendislik ve inşaat (AEC) için bir süreç sağlayıcıdır. Bu teknoloji ile yapıların sanal modelleri oluşturularak manuel süreçlerden daha iyi analiz ve kontrol sağlanmaktadır. Böylece bir yapının başlangıcından bitişine kadarki tüm süreçleri desteklenerek modellerden elde edilen kesitler ve veriler sayesinde projelerin inşaat süreçlerinin sağlıklı bir şekilde planlanması sağlanır. Aynı zamanda proje ekibinde çalışanlar arasında koordinasyonun sağlanmasında da önemli bir rol üstlenen YBM ile bir yapının baştan sona tüm yaşam döngüsü planlanır. Firmalar tarafından iyi bir şekilde benimsendiğinde YBM ile daha düşük maliyetle ve daha kısa proje süresiyle daha kaliteli yapılar ortaya çıkarılarak daha entegre bir tasarım ile inşaat süreçleri kolaylaştırılabilmektedir. Ayrıca YBM tesis yönetimini ve binalarda gelecekte yapılacak değişiklikleri de destekleyebilmektedir.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında mevcut sistem ile YBM arasındaki temel farklılıkları anlayabilmek, YBM'in süreçlere olumlu ve olumsuz etkilerini analiz edebilmek, YBM ile sağlanabilen verilerin analiz edilerek elde edilen bulguların planlama, maliyet vb. süreçlerdeki etkisini anlayabilmek hedeflenmiştir.

YBM süreçlerin faydalarını en üst düzeye çıkarmak için çeşitli entegre proje teslimi biçimleri kullanılmaktadır. Özellikle tasarım aşamasında YBM teknolojisi işbirliği içinde kullanılmadığında yalnızca kısmi faydalar sağlamaktadır. İnşaat sektöründe, sistemler arasındaki uyumsuzluk genellikle proje ekibi üyelerinin bilgileri hızlı ve doğru bir şekilde paylaşmasını engelleyerek ek maliyetler, zaman kaybı, kaynak israfı gibi çok sayıda soruna neden olmaktadır. YBM'nin firmalar tarafından yaygın olarak benimsenmesi ve bir binanın yaşam döngüsü boyunca kapsamlı bir dijital modelin kullanılması, verilerin yetersizliğinden kaynaklanan maliyetleri ortadan kaldırmak için atılmış doğru ve anlamlı bir adım olacaktır.

Birçok farklı sektörde süreç analizi ve yönetiminde kullanılabilen YBM'nin firmalar tarafından benimsenmesi sağlanmalıdır. Bu noktada resmi devlet kuruluşlarının gerekli uygulamaları yapması, üniversitelerde benzer alanlarda eğitim alan öğrencilere dersin zorunlu olarak verilerek farkındalık yaratılması, yurtiçi ve yurtdışı uygulamalarını anlatan

konferanslar vb. yapılarak süreçlerin nasıl uygulandığının gösterilmesi firmaların YBM'ni benimseme sürecini hızlandıracaktır.

Günümüzde sürekli değişen rekabet şartları göz önüne alındığında inşaat firmalarının devamlılığını sürdürebilmesi için kaynaklarını optimum şekilde kullanarak verimliliklerini arttırmaları gerekmektedir. Ancak bu şekilde projelerini etkin ve doğru bir şekilde yönetebileceklerdir. Bu durum bizlere, firmaların yeni teknolojik gelişmelere ayak uydurması gerektiğini ve çağın gerisinde kalmadan yeni sistemlere hızlıca adapte olmaları gerektiğini açıkça göstermektedir.

KAYNAKÇA

Akkaya, D., & Başaraner, M. (2012). Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS). *XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, 477-483.

Altun, M., & Akçamete Güngör, A. (2016). Yapı Bilgi Modellemesi Tabanlı Bina Enerji Optimizasyonu. *4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*.

Asce, A., & Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Eng ine e r ing*, 241-252.

Atabay, Ş., & Öztürk, M. (2019). Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Uygulama Planı Üzerine İnceleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 418–430.

Atabay, Ş., & Öztürk, M. (2019). Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Uygulama Planı Üzerine İnceleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 418-430.

Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J., & Leung, B. (2008). Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects. *First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC–I) "Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice"*.

Bergin, M. (2011). History of BIM. *Architecture Research Lab online*.

BIM Level of Detail (LOD).(02.07.2022.). Get ideas of each stage of a BIM modeling process. (2018, November 4). The Engineering Community: https://www.theengineeringcommunity.org/bim-level-of-detail-lod-get-ideas-of-each-stage-of-a-bim-modeling-process/ adresinden alındı

Charlott. (2017, March 22). *A history of BIM*. Letsbuild: https://www.letsbuild.com/blog/a-history-of-bim adresinden alındı

Czmoch, I., & Pekala, A. (2014). Traditional Design versus BIM Based Design. *XXIII R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP) (TFoCE 2014)*, 210–215.

Çetiner, O. (2010). A Review of Building Information Modeling Tools from an Architectural Design Perspective. J. Underwood, & U. Isikdag içinde, *Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies* (s. 19-29). New York: IGI Global.

Çetiner, O. (2010). Mimarlıkta Yapı Bilgi Modelleme ve Örnekler. *Akademik Bilişim'10 - XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, 549-556.

Çıtıpıtıoğlu, A. (2014). (06.06.2022). *BIM'in İnşaat Süreçlerinde Gerçek Anlamda Yer Alabilmesi, Autodesk University Extension*. https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=eIS7olju4LU&list=WL&index=24&ab_channel=AutodeskTürkiye adresinden alındı.

Dave, B., Koskela, L., Kiviniemi, A., Tzortzopoulos, P., & Owen, R. (2013). *Implementing Lean in construction: Lean construction and BIM.* London: CIRIA.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Architects, Engineers, Contractors and Fabricators.* Hoboken: John Wiley and Sons.

Gerçek, B., İlal, M., Tokdemir, O., & Günaydın, H. (2016). Yapı Bilgi Modellemesi Yardımıyla Metraj ve Maliyet Hesabı. *4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, 786-796.

Gürgün, A., Koç, K., & Atabay, Ş. (2022). Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımının Sürdürülebilir Yeşil Bina Projeleri Üzerine Etkileri. *Teknik Dergi*.

İstanbul Yeni Havalimanı. (07.07.2021). *Prota Yazılım İnternet Sitesi:* https://www.protayazilim.com/basari-hikayeleri/istanbul-yeni-havalimani-terminal-binasinin-yapisal-tasariminda-protastructure-kullanildi adresinden alındı

Jeong, S. (2021, February 19). *BIM in South Korea*. bimacademy: https://www.bimacademy.global/insights/digital-technologies/bim-in-south-korea/ adresinden alındı

Jovanović, P. (2019, April 8). *What Is LOD – The Level Of Detail Of BIM Elements?* TeamCAD: https://bim-dt.com/get-best-advertiser-in-your-side-pocket/ adresinden alındı

Kalfa, S. (2018). Building information modeling (BIM) systems and their applications in Turkey. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 55-56.

Keenliside, S. (2017, May 12). *BIM in Canada | The movement towards a better built environment*. Zigurat Global Institute of Technology: https://www.e-zigurat.com/blog/en/bim-in-canada-towards-better-built-environment/ adresinden alındı

Kırzıoğlu, B., & Gelişen, G. (2020). Yapı Bilgi Modellemesi' nin Teklif Süreçlerindeki Katkıları. *Teknik Bilimleri Dergisi*, 14-18.

Kuruoğlu, M., Gökyiğit, E., & Köse, M. (2014). Türk İnşaat Sektöründe 4 Boyutlu (4D) Modellemenin Uygulanabilirliği. *XV. Akademik Bilişim Konferansı*.

Koutamanis, A. (2020). Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions? *Automation in Construction*.

Laine, T., Hänninen, R., & Karola, A. (2007). Benefits Of Bim In The Thermal Performance Management. *Proceedings: Building Simulation 2007*, 1455-1461.

Level Of Development 100, 200, 300, 400 AND 500. (06.06.2021). *Srinsoft İnternet Sitesi:* https://www.srinsofttech.com/bim-level-of-development-lod-300-400-500.html adresinden alındı

Logothetis, S., Karachaliou, E., & Stylianidis, E. (2017). From Oss Cad To Bım For Cultural Herıtage Dıgıtal Representatıon. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II*(439-445).

Meadati, P., Irizarry, J., & Akhnoukh, A. (2010). BIM and RFID integration: A pilot study. *Second International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC–II) "Advancing and Integrating - Construction Education, Research & Practice*.

Mordue, S., Swaddle, P., & Philp, D. (2016). *Building Information Modeling For Dummies.* John Wiley & Sons, Ltd.

Ofluoğlu, S. (2014). *Yapı Bilgi Modelleme :* Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik. Mimarist, Ocak.

Öğreten, B. (2019, July 29). *LOD Kavramı*. Bim Teknoloji: https://www.bimteknoloji.com/fikir/model-tanim-duzeyi-lod-level-of-development/ adresinden alındı

Özcan, U., & Erol, İ. (2018). Sürdürülebilir Tasarımda Yapı Bilgi Modellemesi (BIM). *International Congress on Engineering and Arhitecture*.

Özorhon, B. (2018). *Türkiye' den İlk Örnek Projelerle BIM Yapı Bilgi Modellemesi.* Abaküs Yayınevi.

Parlak Biçer, Ö., Zontul, K., & Hasözhan, M. (2021). Yapım Maliyetlerinin Hesaplanmasında Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Sisteminin Örnek Uygulama Üzerinden İrdelenmesi. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*.

Pehlevan, E. E., Kazado, D., 2018. YBM Uzmanı Sertifika Programı 1. Modül: YBM Süreçleri Egitimi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Quirk, V. (2012, December 7). *A Brief History of BIM*. ArchDaily: https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim?ad_medium=gallery adresinden alındı

Rokooei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 87–95.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teichoiz, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers.* John Wiley & Sons, Inc.

Shen, L., Edirisinghe, R., & Miang Goh, Y. (2016). An Investigation of BIM Readiness of Owners and Facility Managers in Singapore: Institutional Case Study. *CIB World Building Congress*, 259-270.

Shilton, M. (2018). Digital Futures – BIM in Landscape Design: A UK Perspective . *Journal of Digital Landscape Architecture*, 236-240.

Siebelink, S., Voordijk, H., Endedijk, M., & Adriaanse, A. (2021). Understanding barriers to BIM implementation: Their impact across organizational levels in relation to BIM maturity. *Frontiers of Engineering Management*, 236–257.

Smith, P. (2014). BIM & the 5D Project Cost Manager. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* , 475-484.

Soydaş Ç.H.,Uzun T. (2020). "*Building Information Modelling In Architectural Education:* Contribution of Bim in Design Process" *The Turkish Online Journal of Design,* Art and Communication

Sutherland, I. (1963). Sketchpad: A man-machine graphical communication system. *Proceedıngs-Sprıng Joınt Computer Conference*, 323–328.

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Kapsamında Geleneksel Metraj İle Yazılımın Karşılaştırılması. *Yapı Bilgi Modelleme*, 58-65.

URL-1. (04.08.2022). *Kutmen&Partners İnternet Sitesi:* https://www.kutmen.com/bim-nedir/adresinden alındı.

URL-2. (05.08.2022). *Niğde Teknopark İnternet Sitesi:* https://www.nigdeteknopark.com/modern-binalar/ adresinden alındı.

URL-3. (05.08.2022). *Emlakta Son Dakika İnternet Sitesi:* https://www.emlaktasondakika.com/guncel/abdullah-gul-muze-ve-kutuphanesi-acildi-118607.html adresinden alındı.

URL-4. (06.08.2022). *Arkiv İnternet Sitesi:* https://www.arkiv.com.tr/proje/abdullah-gul-cumhurbaskanligi-muzesi-ve kutuphanesi1/7334 adresinden alındı.

URL-5. (13.10.2022). *Hitech İnternet Sitesi:*https://www.hitechbimservices.com/bim-coordination.php/adresinden alındı.

URL-6. (16.09.2022.). *Emaar Square İnternet Sitesi:* https://tr.emaar.com/tr/properties/emaar-square-office/ adresinden alındı.

Uzun Türkan, (2022), Revit Architecture ile Mimari Tasarım, Papatya yayıncılık

Uzun,T., & Pilehvarian,K.,N., (2020), "Bölüm1 : "Arşiv Belgelerine Göre 19.yy Osmanlı Mimarlığında Yeni Yapı Teknolojileri "

Uzun, T., 2013, "Mimarlık Eğitiminde BIM (Building Information Modelling) Uygulamaları"

Uzun, T., (2011), *"Mimarlık Eğitiminde Kullanılan Dijital Tasarım Programlarının Bellek ve Tasarım Sürecine katkıları"* Akademik Bilişim'11 - XIII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri 2 - 4 Şubat 2011 İnönü Üniversitesi, Malatya.

The 7 dimensions of BIM (06.06.2022). 3D, 4D, 5D, 6D, 7D BIM explained. (2021). Biblus: https://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions/ adresinden alındı

Yalçınkaya, M., Öztürk, G., & Arditi, D. (2014). Yapı İşletmesi ve Bakımı için Bilgi Gereksinimlerinin Belirlenmesi ve Yapı Bilgi Modelleme Araçları ile Otomatik Transferi. *3. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*.

ÖZGEÇMİŞ

Onur YILDIRIM

Eğitim

Derece	*Yıl*	*Üniversite, Enstitü, Anabilim/Anasanat Dalı*
Ls.	2015	Maltepe Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Anabilim Dalı
Lise	2011	Özel Birikim Anadolu Lisesi