

**İNŞAAT PROJELERİNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMALARI:
5D MODELLEME İLE ÖRNEK VAKA ÇALIŞMASI**

Nejdet TOPAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yapı Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Serkan KIVRAK

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mayıs 2019

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Nejdet TOPAL'ın “İnşaat Projelerinde Yapı Bilgi Modellemesi Uygulamaları: 5D Modelleme ile Örnek Vaka Çalışması başlıklı tezi 24/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Jüri Üyeleri</u>	<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç.Dr. Serkan KIVRAK	
Üye	: Prof.Dr. Mustafa TUNCAN	
Üye	: Prof.Dr. Gökhan ARSLAN	

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

ÖZET

İNŞAAT PROJELERİNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMALARI: 5D MODELLEME İLE ÖRNEK VAKA ÇALIŞMASI

Nejdet TOPAL

Yapı Yönetimi Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2019

Danışman: Doç.Dr. Serkan KIVRAK

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) teknolojisi sahip olduğu sistem ve gelişmişlik düzeyi sayesinde kısa geçmişine rağmen inşaat sektöründe hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Günümüzde inşa edilen yapıların eski yapılara göre çok daha teknolojik ve karmaşık olması nedeniyle hata yapma olasılığının arttığı, geri dönüşlerin ve tahmin edilemeyen harcamaların ortaya çıktığı, zaman ve para gibi iki temel unsorda kayıpların yaşandığı görülmektedir. YBM teknolojisi olası hataları ve problemleri önleyerek, inşaat firmalarına para ve zaman yönetimi konusunda gerekli desteği sağlayabilir. YBM teknolojisi ile projenin gerçek hayatta inşa edilmeden önce, dijital olarak her detayı ile modellenmesi sayesinde projedeki tüm katılımcılar ve disiplinler için ortak bir dil oluşturabilir. Bu durum proje paydaşları ile tarafları arasında uyumu ve motivasyonu artırarak, projenin verimliliğini ve başarısını arttırabilir. YBM'nin zengin görselleştirme içeriği, çakışma analizleri gibi özellikleri ile zamandan ve maliyetten tasarruf edilebilir. Proje yöneticileri karar alma noktasında YBM teknolojisinden hızlı destek alabilirler. Disiplinler arası veri transferini ve bütünleşmesini sağlayarak, projenin koordinasyonu, planlaması, maliyet yönetimi gibi temel noktalarda firmalara önemli katkılar sağlar. Bu çalışmada YBM teknolojisi kullanılarak zaman ve maliyet açısından projenin yönetilmesi üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada YBM içerisinde kullanılabilecek çok sayıdaki yazılım arasından seçilen Primavera, Revit ve Navisworks programlarının uygulamaları örnek proje üzerinden açıklanmıştır. Primavera, Revit ve Navisworks programları kullanılması ile 5D (5 Boyutlu) modelin nasıl oluşturulacağı örnek 5 katlı bir bina projesinde ele alınmış, YBM teknolojisinin avantajları ve potansiyel problemleri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı Bilgi Modellemesi, Revit, Navisworks, Primavera, 5D Modelleme

ABSTRACT

BUILDING INFORMATION MODELLING APPLICATIONS IN CONSTRUCTION PROJECTS: CASE STUDY WITH 5D MODELLING

Nejdet TOPAL

Department of Civil Engineering

Programme in Construction Management

Anadolu University, Graduate School of Sciences, May 2019

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serkan KIVRAK

Building Information Modelling (BIM) technology has become widespread in the construction sector despite its short history thanks to its system and development level. It is observed that today's buildings are much more technologically and complex than the old buildings and there are losses in the two basic elements such as time and money where the probability of making mistakes increases and returns and unpredictable expenditures occur. BIM technology can provide the necessary support to construction firms in money and time management by preventing possible errors and problems. It is possible to create a common language for all the participants and disciplines in the project by modelling the project with every detail digitally before it is built in real life with the technology of BIM technology. This can increase the efficiency and success of the project by increasing the harmony and motivation between the stakeholders and the project partners. With the rich visualization content of the BIM, such as overlap analysis, time and cost can be saved. Project managers can receive rapid support from the BIM technology at the decision-making point. By providing interdisciplinary data transfer and integration, it provides important contributions to the companies at basic points such as coordination, planning and cost management of the project. This study focuses on managing the project in terms of time and cost by using BIM technology. In this study, the applications of Primavera, Revit and Navisworks programs selected from a large number of software that can be used in the BIM are explained through a sample project. Using the Primavera, Revit and Navisworks programs, how to create the 5D (5-dimensional) model was discussed in an 5-storey building project example. Additionally, the advantages and potential problems of the BIM technology were examined.

Keywords: Building Information Modelling, Revit, Navisworks, Primavera, 5D Modelling

TEŞEKKÜR

Tez çalışmama katkı ve desteklerinden dolayı tez danışmanım Sayın Doç.Dr. Serkan KIVRAK ve değerli hocam Sayın Prof. Dr. Gökhan ARSLAN'a teşekkür ediyorum. Değerli hocalarımla sayesinde Yapı Bilgi Modellemesi teknolojisini öğrendim. Bu teknolojinin inşaat sektörünün vazgeçilmezi olacağını düşünüyorum.

Mimari projesini kullanmam konusunda olumlu görüşlerini ileten Mimar Mehmet DEMİRHAN'a teşekkür ederim.

Her durumda beni cesaretlendiren değerli eşime Nurcan'a teşekkür ederim.

Nejdet TOPAL

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

12/06/2019

Nejdet TOPAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
TABLolar/ ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
GÖRSELLER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ	3
2.1. Yapı Bilgi Modellemesi Kavramı	3
2.1.1. Nesne tabanlı modelleme ve nesnelerin birleşimi	6
2.1.2. Parametrik modelleme	7
2.1.3. Çok boyutlu modelleme	9
2.1.4. Çoklu kullanım ve iletişim	9
2.1.5. YBM olgunluk seviyeleri.....	10
2.1.6. YBM gelişmişlik seviyeleri.....	11
2.1.7. YBM avantajları ve zorlukları	13
2.1.8. YBM kapsamı ve uygulamaları.....	15
2.1.8.1. 3D Modelleme	16
2.1.8.2. 4D Modelleme	16
2.1.8.3. 5D Modelleme	18
2.1.8.4. 6D Modelleme	19

2.1.8.5. 7D Modelleme	20
3. YAPI BİLGİ MODELLEMESİNDE KULLANILAN YAZILIMLAR	22
3.1. YBM’de Kullanılan Yazılımların Seçimi	23
3.2. Revit.....	23
3.2.1. Revit programının özellikleri	24
3.2.2. Revit programının YBM’de kullanımı	25
3.3. Primavera	44
3.3.1. Proje ve proje yönetimi	45
3.3.2. İş programı ve planlama	46
3.3.3. İş programı hazırlama yöntemleri	47
3.3.3.1. Gantt (çubuk) diyagramı.....	47
3.3.3.2. Kritik yol metodu.....	48
3.3.4. Primavera P6 kullanımı	49
3.4. Navisworks	58
3.4.1. Navisworks ve 5D modelleme	60
4. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMALARI	67
4.1. İnşaat Sektöründe YBM Kullanımı	68
4.1.1. YBM’nin proje, tasarım ve 3D modelleme amaçlı kullanımı.....	72
4.1.2. YBM’nin görüntüleme ve inceleme amaçlı kullanımı.....	75
4.1.3. YBM’nin çakışma analizi amaçlı kullanımı.....	76
4.1.4. YBM’nin koordinasyon ve işbirliği amaçlı kullanımı.....	79
4.1.5. YBM’nin yapım planlanma ve maliyet tahmini amaçlı kullanımı (5D modelleme)	80
4.2. Dünyada YBM’nin Durumu ve Örnek Projeler.....	84
4.3. Türkiye’de YBM’nin Durumu ve Örnek Projeler	86
5. YBM 5D MODELLEME UYGULAMASI	88

5.1. Çalışmanın Amacı	89
5.2. Çalışmanın Yöntemi.....	89
5.3. Revit Programı ile 3 Boyutlu Modelleme	91
5.4. Primavera Programı İle Planlama Yapılması	97
5.5. Navisworks Programı ile Yapılan İşlemler	99
6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME	116
KAYNAKÇA.....	119
ÖZGEÇMİŞ	130

TABLolar/ ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. YBM tanımları.....	4
Tablo 2.2. YBM avantajları ve zorlukları	13
Tablo 3.1. YBM kullanılan yazılımlar	22
Tablo 3.2. Aktivite ilişkileri	54
Tablo 4.1. Proje ve yapım aşamalarında YBM kullanımı.....	72
Tablo 4.2. 5D Model avantajları ve zorlukları	84
Tablo 5.1. Yapı bilgileri	90
Tablo 5.2. İş kırılım yapısı	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. YBM kavramı.....	5
Şekil 2.2. Geleneksel iki boyutlu proje.....	6
Şekil 2.3. Parametrik modelleme.....	8
Şekil 2.4. YBM çok boyutlu modelleme	9
Şekil 2.5. YBM kullanıcıları.....	10
Şekil 2.6. YBM olgunluk seviyeleri	11
Şekil 2.7. YBM gelişmişlik seviyeleri.....	12
Şekil 2.8. YBM uygulamaları.....	15
Şekil 3.1. YBM modelleme programları tercih oranları.....	23
Şekil 3.2. Revit 2019 logosu.....	24
Şekil 3.3. Gantt (Çubuk) diyagramı.....	48
Şekil 3.4. Kritik yol metodunda faaliyetlerin gösterimi	49
Şekil 3.5. Kritik yol metodunda aktivitelerin ilişkisi.....	49
Şekil 3.6. Primavera logo	49
Şekil 3.7. Navisworks 2019 logo.....	58
Şekil 3.8. 5D model süreci.....	59
Şekil 4.1. YBM tarihi	67
Şekil 4.2. YBM kullanım aşamaları	68
Şekil 4.3. YBM kullanım amacı	70
Şekil 4.4. İnşaat projelerinde YBM kullanımı.....	71
Şekil 4.5. YBM modelleri.....	80
Şekil 4.6. YBM uygulamaları ve olgunluk seviyeleri	81
Şekil 4.7. 5D model aşamaları.....	82
Şekil 4.8. Dünyada YBM kullanımı	85
Şekil 5.1. 5D model detayı	91

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. İnşaat yapım işi hatası	3
Görsel 2.2. Nesne tabanlı modelleme ve nesnelerin birleşimi	6
Görsel 2.3. 3 Boyutlu modelleme	16
Görsel 2.4. 4D model ile iş programı ve yapımın takibi	17
Görsel 2.5. 5D modelleme ve metraj tabloları	18
Görsel 2.6. Revit ile gün ışığı analizi	19
Görsel 2.7. Tesis projesinin 3 boyutlu hali ve ekipmanlar	21
Görsel 3.1. Revit arayüzü	25
Görsel 3.2. Revit platformları	26
Görsel 3.3. Revit ile 3 boyutlu modelleme	27
Görsel 3.4. Değişikliklerin güncellenmesi	28
Görsel 3.5. Kolon modelleme-1	29
Görsel 3.6. Kolon modelleme-2	29
Görsel 3.7. Duvar modelleme	30
Görsel 3.8. Kapı ve pencere modelleme	30
Görsel 3.9. Kat planı	31
Görsel 3.10. 3 Boyutlu görünüm	31
Görsel 3.11. Çatı modelleme-1	32
Görsel 3.12. Çatı modelleme-2	32
Görsel 3.13. Hazır nesnelerin projeye eklenmesi	33
Görsel 3.14. Döşeme kaplaması oluşturulması	33
Görsel 3.15. Zemin kaplamalarının kat planında gösterilmesi	34
Görsel 3.16. Malzeme tanımlanması	34
Görsel 3.17. Duvar kaplamaları	35
Görsel 3.18. Kesit alınması	35
Görsel 3.19. 2 Boyutlu kesit	36
Görsel 3.20. 3 Boyutlu kesit-1	36
Görsel 3.21. 3 Boyutlu kesit-2	37
Görsel 3.22. Arazi modelleme	37
Görsel 3.23. Yapı ve çevre düzeni	38
Görsel 3.24. Kamera kullanımı	38

Görsel 3.25. Kameranın konumuna göre elde edilen görüntü	39
Görsel 3.26. Render (görselleştirme) ayarları	39
Görsel 3.27. İç mekân görselleştirme.....	40
Görsel 3.28. Bina çevresinin görselleştirilmesi.....	40
Görsel 3.29. Revit metraj dosyası	41
Görsel 3.30. Kamera hattı	41
Görsel 3.31. Kamera görüntüleri.....	42
Görsel 3.32. Görüntülerin video biçiminde kaydedilmesi	42
Görsel 3.33. Revit projesinin dışa aktarımı.....	43
Görsel 3.34. Primavera kurumsal proje yapısı	51
Görsel 3.35. Yeni projenin organizasyondaki yerinin belirlenmesi.....	51
Görsel 3.36. Yeni proje oluşturulması	52
Görsel 3.37. Yeni proje başlangıç ve bitiş tarihleri belirlenmesi	52
Görsel 3.38. Yeni projeye sorumlu kişi atama	52
Görsel 3.39. Primavera programında iş kırılım yapısı	53
Görsel 3.40. Aktivitelerin oluşturulması.....	54
Görsel 3.41. Villa inşaatı aktiviteleri	55
Görsel 3.42. Aktivite bütçeleri	55
Görsel 3.43. Primavera verisinin farklı uzantılı dosyalara dönüştürülmesi	56
Görsel 3.44. Villa projesi iş programı	56
Görsel 3.45. Navisworks veri aktarılabilen dosya uzantıları	57
Görsel 3.46. Not defteri.....	57
Görsel 3.47. Excel dosyasının *.csv uzantılı dosya olarak kaydedilmesi	58
Görsel 3.48. Revit ve Navisworks görünümleri karşılaştırılması	60
Görsel 3.49. Navisworks ve Primavera verilerinin uygun hale getirilmesi	61
Görsel 3.50. Navisworks'te iş programı ve maliyetler	61
Görsel 3.51. Model nesneleri ile iş programının birleştirilmesi.....	62
Görsel 3.52. Navisworks görev türlerinin belirlenmesi	63
Görsel 3.53. Navisworks timeliner.....	63
Görsel 3.54. Simülasyonda tamamlanan ve devam eden işler	64
Görsel 3.55. 5D model	64
Görsel 3.56. Navisworks 5D model yapım ve maliyet simülasyonu	65
Görsel 3.57. Navisworks third person (avatar) modu	66

Görsel 3.58. Navisworks görselleştirme	66
Görsel 4.1. Disiplinlere ait projelerin 3D modelde birleşimi	74
Görsel 4.2. Avatar ile projenin görüntülenmesi	76
Görsel 4.3. Çakışma analizi	77
Görsel 4.4. Çakışma analizi arayüzü	78
Görsel 4.5. YBM koordinasyon toplantısı	79
Görsel 4.6. Dünyada YBM projeleri	86
Görsel 4.7. İstanbul Yeni Havalimanı YBM.....	87
Görsel 5.1. Yapının konumu	88
Görsel 5.2. Yapı ön cephesi	88
Görsel 5.3. İki boyutlu mimari ve statik projeler	92
Görsel 5.4. Hazır nesne ve modeller	94
Görsel 5.5. Yapının farklı noktalardan görünümü	94
Görsel 5.6. Yapı detayları	95
Görsel 5.7. Kat görünümleri.....	96
Görsel 5.8. İş Programı ve aktivite bütçeleri.....	98
Görsel 5.9. Navisworks programına Revit ve Primavera verilerinin aktarılması	100
Görsel 5.10. Timeliner ve aktiviteler	101
Görsel 5.11. Kolon-perde imalatları ile iş programının ilişkilendirilmesi	101
Görsel 5.12. Yapı taşıyıcı sistemi	102
Görsel 5.13. 5D model çakışma analizi	104
Görsel 5.14. Avatar ile yapının incelenmesi	105
Görsel 5.15. Aktivite hareketlerinin gösterilmesi	107
Görsel 5.16. Yardımcı nesnelerin simülasyondan kaldırılması	107
Görsel 5.17. Simülasyon verileri.....	108
Görsel 5.18. Aylık ilerlemeli simülasyonlar	109
Görsel 5.19. Yapım simülasyonu-1.....	110
Görsel 5.20. Yapım simülasyonu-2.....	111
Görsel 5.21. Yapım simülasyonu-3.....	111
Görsel 5.22. Yapım simülasyonu-4.....	112
Görsel 5.23. Yapım simülasyonu-5.....	113
Görsel 5.24. Avatar ile yapım işinin içeriden izlenmesi	113
Görsel 5.25. Yapımın tamamlanması.....	114

KISALTMALAR DİZİNİ

AIA	: The American Institute of Architects
B	: Boyut
BIM	: Building Information Modelling
CAD	: Computer Aided Design
D	: Dimension
EPS	: Enterprise Project Structure
İKY	: İş Kırılım Yapısı
LOD	: Level of Development
nD	: Çok Boyut
WBS	: Work Breakdown Structure
YBM	: Yapı Bilgi Modellemesi

1. GİRİŞ

İnşaat işlerinin karar verme aşamasından başlayarak projelendirilmesi ve yürütülmesi ile ilgili çalışmalar projenin başarısını etkileyen faktörlerdir. Bu noktalarda geleneksel 2 boyutlu sistem yerine daha gelişmiş teknolojilerin tercih edilmesi daha detaylı ve kaliteli proje üretimini destekleyebilir ve yapım işinin başarısını arttırabilir. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ya da Building Information Modelling (BIM) inşaat sektöründe gelişme kaydeden bir teknoloji olup, proje ve yapım sürecinin geliştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır.

Yaşanan hızlı teknolojik değişimler nedeniyle yapılar giderek daha da karmaşık hale gelmektedir. Farklı disiplinlerin barındırdığı teknolojilerin ve diğer girdilerin, bir arada yürütülmesi noktasında inşaat projelerinin daha etkin yönetimi amacıyla bilgisayar yazılımlarından da faydalanılmaktadır. İnşaat sektörünün ihtiyaçları doğrultusunda üretilen yazılımlar sürekli gelişme kaydetmekte ve proje yönetimi konusunda alternatif teknolojiler sunmaktadır. Bu çalışmada inşaat sektöründe yeni gelişen yapı bilgi modellemesi teknolojisi ve bu teknolojinin uygulama seviyelerinden birisi olan 5 boyutlu (5D) modelleme üzerinde durulmuştur. 3 boyutlu model, planlama ve maliyet verilerinin birleşimi ve inşa edilecek yapıya uygulanması olarak ifade edilebilen 5D modellemenin inşaat proje yönetiminde kullanımı, yeterliliği, avantajları ve zorlukları incelenmiştir.

5D modelin kullanımının açıklanabilmesi ve çalışmadaki sorulara yanıt aranabilmesi amacıyla;

Çalışmanın 2. bölümünde YBM kavramı kitap, dergi, makale gibi kaynaklardan literatür taraması yapılarak açıklanmıştır.

- YBM kavramı ile ilgili olan nesne tabanlı ve parametrik modelleme, uygulama seviyeleri, avantaj ve zorlukları gibi konular üzerinde durularak, bu teknoloji hakkında bilgiler verilmiştir.
- 3.bölümde, YBM içerisinde kullanılan yazılımlar çeşitli kaynaklardan elde edilen bilgiler kullanılarak derlenmiştir. Bu çalışmada seçilen Autodesk Revit 2019, Primavera P6 ve Autodesk Navisworks 2019 yazılımlarının tercih nedenleri açıklanmıştır. Açıklamaların yol gösterici olması amacıyla bu

yazılımların içerikleri ve çalışma yöntemleri iki katlı bir villa projesi üzerinden örneklerle gösterilmiştir.

- 4.bölümde YBM teknolojisinin inşaat sektöründe kullanımı ile ilgili literatür taraması yapılmış ve çalışmanın konusu içinde olduğu düşünülen kullanım şekilleri açıklanmıştır.
- 5.bölümde vaka çalışması olarak seçilen 5 katlı bina projesi üzerinde YBM 5D modelin kullanımı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan örnek yapı yaklaşık 810 m² taban alanı ve 5800 m² kapalı inşaat alanına sahiptir. Yapı bodrum kat, zemin kat, 5 normal kat ve teras kattan oluşmaktadır. Yapı temeli radye ve bodrum katı perde duvardır. Yapı perdeli çerçeve betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. Yapının dış cephesinde cam giydirme, alüminyum ve çimentolu yonga levha kaplama bulunmaktadır. Revit programı ile yapının taşıyıcı sistemi ve mimarisi uygulama projesi esas alınıp 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Primavera P6 programı kullanılarak iş kırılım yapısı, iş programı ve aktivite bütçeleri oluşturulmuştur. Navisworks programında, Revit modeli ile Primavera verilerinin birleşimi ve yapım simülasyonu gerçekleştirilerek 5 boyutlu modelin zaman ve bütçe açısından kullanımı yeterliliği, avantaj ve zorlukları incelenmiştir.

2. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ

Bu bölümde yapı bilgi modellemesi hakkında literatür taraması yapılarak; bu kavramın tanımı, nesne tabanlı ve parametrik modelleme gibi temel öğeleri, uygulama seviyeleri, kullanımı, avantaj ve zorlukları üzerinde durulmaktadır.

2.1. Yapı Bilgi Modellemesi Kavramı

İnşaat projelerinin tasarlanma aşamasından yapım sürecinin sonuna kadar geçen zaman içerisinde, teknik, maliyet, yapım, proje yönetimi gibi birçok konu mimar ve mühendisler için zorluklar taşımaktadır. İnşaat projesinin başında belirlenen maliyet ve yapım işi tamamlandığında elde edilmek istenen eser ile inşaat işi neticesinde karşılaşılan maliyet ve eser farklılıklar taşıyabilmekte, bu durum da inşaat projesine katkı sunmuş, mimar, mühendis, iş veren, proje yöneticileri gibi paydaşların proje sonunda problemler yaşamasına neden olabilmektedir (Görsel 2.1).



Görsel 2.1. İnşaat yapım işi hatası (http-1)

Yapımı düşünülen herhangi bir yapı için hazırlanan projeler genel olarak iki boyutludur. Projeye dahil olan disiplinler çalışmalarını iki boyutlu olarak hazırlanan bu projeler üzerinden gerçekleştirmektedir. Disiplinler arasındaki iletişim iki boyutlu projeler ve yazılı-sözel ifadeler aracılığıyla sağlanmakta ve problemler yaşanabilmektedir. Bu problemler hatalara, gecikmelere, geri dönüşlere, çalışanların isteklerinin azalmasına ve maliyet artışları gibi öngörülmeven durumlara neden olabilmektedir.

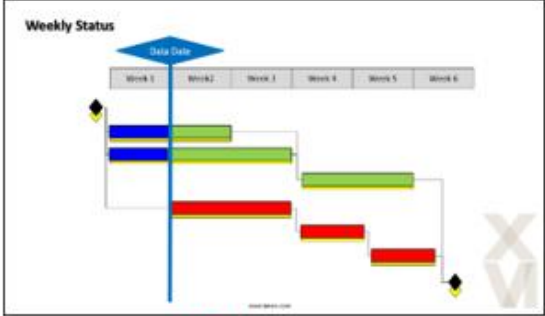
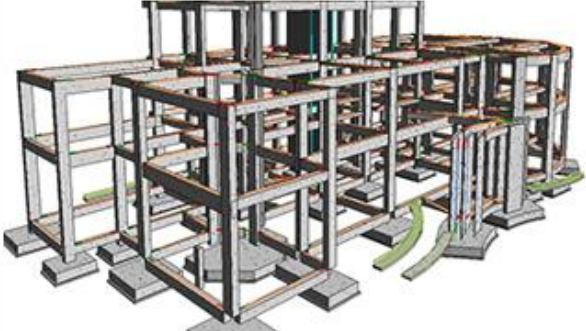
İnşaat projelerinin birçok kaynağın ve verinin bir arada yürütülmesi gereken özel işler olması nedeniyle zaman, bütçe ve kalite konusunda hedeflenen düzeye ulaşabilmek amacıyla çeşitli yöntemler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan, geleneksel 2 boyutlu projelerin aksine daha fazla bilgi ve değerlendirme imkânı veren YBM verimliliği, koordinasyon, kalite ve sürdürülebilirliği arttırmak için kullanılan bir tür dijital inşaattır. Odak noktası paydaşlar arasında tutarlı bilgiler oluşturmak ve bina yaşam döngüsü boyunca kullanmaktır (Mihindu and Arayıcı, 2008). YBM'nin amacı; yapıyı fiziksel olarak inşa etmeden önce yazılımlar aracılığıyla sanal olarak inşa etmektir. Bu durum, proje katılımcılarına, inşaat sırasında değişiklik yaparak daha çok maliyete sebep vermek yerine, çok az maliyetli olan dijital ortam üzerinden tasarlama, analiz etme ve keşfetme olanağı sağlamaktadır (Hardin and McCool, 2015, s. 2). YBM ile ilgili olarak yapılan araştırmalarda Tablo 2.1'de görüldüğü üzere çeşitli tanımlar ortaya çıkmaktadır.

Tablo 2.1.YBM tanımları

(Kymmell, 2008, s. 28)	YBM, proje bileşenlerinin 3B modellerinden oluşan, projenin planlaması, inşaatı ya da işletilmesi ile ilgili gerekli tüm bilgilere bağlanan bir proje simülasyonudur.
(HM Government, 2012)	YBM, yapıları tasarlanmanın, yaratmanın ve sürdürmenin daha verimli yöntemlerini ortaya çıkaran dijital teknolojilerin desteklediği ortak bir çalışma yöntemidir.
(Takim vd.,2013)	YBM, bir tesisin planlanmasını, tasarlanmasını, inşasını ve işletimini simule etmek için bilgisayar tarafından üretilen modelin kullanılmasıdır. İnşaat öncesinde bir binanın dijital prototipiyle görsel simülasyonunu oluşturulmasını sağlayan bir teknolojidir.
(Koutamanis, 2017)	YBM, geometrik ve geometrik olmayan bilgileri kapsamlı ve tutarlı modellerde birleştiren, mimarlık, mühendislik, inşaat ve işletme için tüm yönleri içinde barındıran bilgi ve bilgi işlemenin bütünleştirilmesidir.
(ISO Standart, 2017)	YBM, bina, köprü ve yol gibi yapı her hangi bir eserin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin dijital temsilidir.
(Autodesk, 2019)	YBM, bina ve altyapıyı daha verimli bir şekilde planlamak, tasarlamak, inşa etmek ve yönetmek için mimar, mühendis ve inşaat uzmanlarına avantaj sağlayan çeşitli araçlarla donatılan 3 boyutlu model tabanlı bir süreçtir.

Yapı bilgi modellemesi ifadesi sırasıyla yapı, bilgi ve modelleme anlamına 'building', 'information' ve 'modelling' kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır

(Şekil 2.1). Burada yapı kelimesi, alışveriş merkezlerinden hava limanlarına uzanan geniş bir yelpazeyi içerirken, bilgi kelimesi metraj bilgileri, planlama bilgileri ve maliyet bilgileri gibi inşaat sektörü için önem arz eden bilgileri içermektedir. Son olarak modelleme kelimesi mimari model, enerji modeli ve işletme modeli gibi modellerden oluşmaktadır (Özorhon, 2018, s. 6).

 YAPI (Building)	• Hastaneler • Spor Yapıları • Yeşil Binalar • Havaalanları • Kamu Binaları • Konutlar • Raylı Sistemler • Yollar • Köprüler • Fabrikalar • Kütüphaneler • AVM'ler
 BİLGİ (Information)	• Metraj • İş Programı • Planlama • Maliyet • Bütçe
 MODELLEME (Modelling)	• Statik • Mimari • Mekanik • Elektrik • Çevre • Diğer

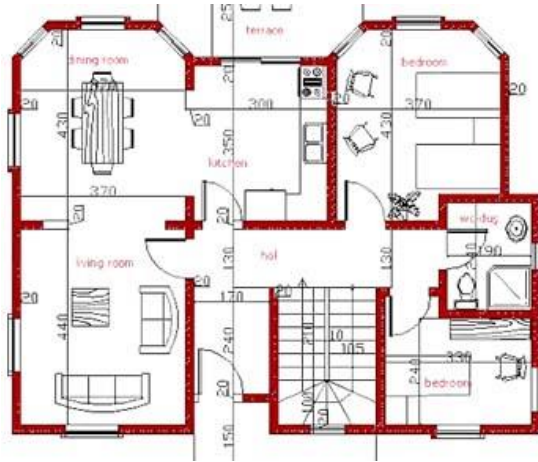
Şekil 2.1. YBM kavramı

YBM 3 boyuttan, görsellikten veya bir bilgisayar programından ibaret değildir. 3 boyutlu olarak modellenen mimari, statik, mekanik gibi projelere ait görsel parametrik nesneler içermesi yanında, zaman, maliyet gibi görsel olmayan bileşenler de

içermektedir. YBM yapıya ait bütün bilgilerin bütünleştirildiği ve yönetildiği bir teknolojidir.

2.1.1. Nesne tabanlı modelleme ve nesnelerin birleşimi

Geleneksel projeler 2 boyutlu olarak hazırlanır ve yapıyı oluşturan elemanlar çizgilerle temsil edilir (Şekil 2.2). Duvarlar, pencereler, kapılar, döşemeler gibi yapı elemanları iki boyutlu olarak çizilirken özellikleri ve görünümleri hakkında fikir edinmek güçleşir.



Şekil 2.2. Geleneksel iki boyutlu proje (<http-2>)

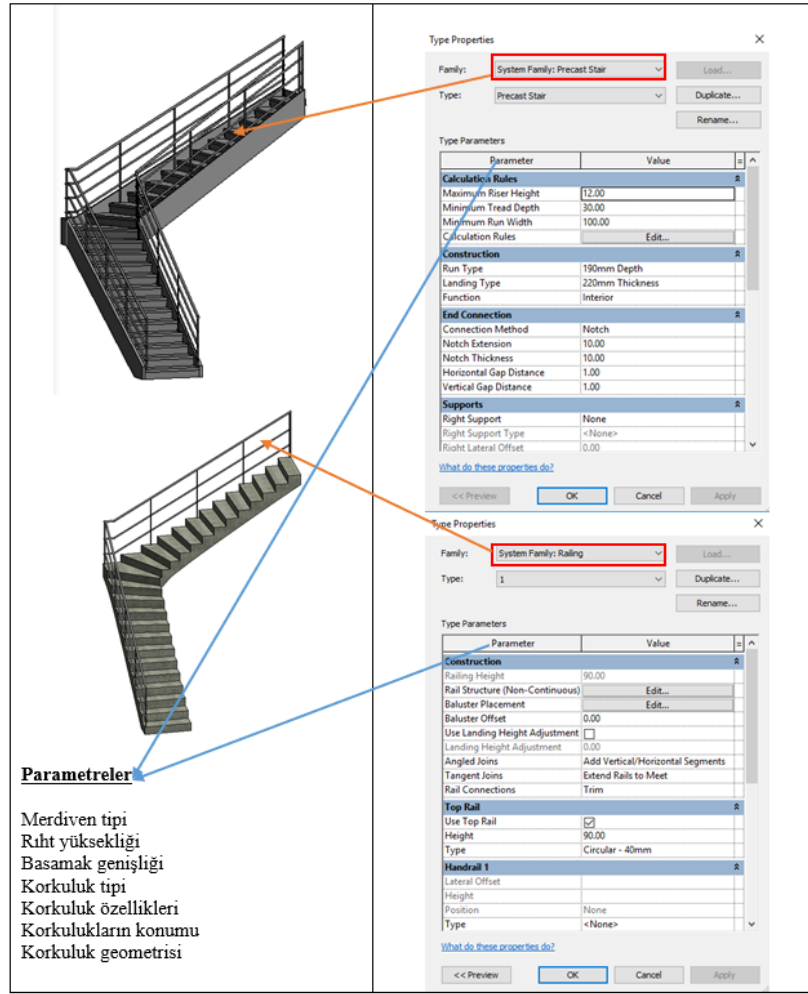
YBM dijital nesnelerden oluşur. Fiziksel yapı elemanlarını tanımlama özelliğine sahip olan modelin yapımı, binanın yapımında parçası parçasına karşılık gelir böylece projenin gerçek inşaatının sanal bir temsilcisi oluşur (Görsel 2.2). Tasarımcılar mekânsal çelişkileri ve diğer inşaat sorunlarını uygulamada ortaya çıkmadan iyi tahmin edebilir ve çözebilir (Çetiner, 2010, s. 22).



Görsel 2.2. Nesne tabanlı modelleme ve nesnelerin birleşimi (<http-3>)

2.1.2. Parametrik modelleme

En temel şekli ile parametre, bir durum için tanımlanan ve değiştirilebilen bir nicelik olarak ifade edilebilir (Erbaş, 2013). İstatistik, fizik, kimya, matematik, bilişim, havacılık, jeoloji gibi birçok alanda kullanılan bir kelime olan parametrenin Türk Dil Kurumu sözlüğündeki karşılığı “değişken” olarak belirtilmektedir. Buradaki değişken ifadesini nesnelerin özelliklerini ifade eden her bir ayrıntının sayısal değeri olarak değerlendirmek mümkündür. Örneğin kapının genişliği, duvarın kalınlığı ya da yüksekliği. Parametrik modelleme; tüm ya da belli boyut elemanlarının belli değişkenlerle tanımlanması ve program arayüzü vasıtasıyla bu değişkenlerin klavyeden girilerek modelin istenilen boyutlara ölçülere getirilmesidir (http-4). Parametrik modellemenin temeli, parametrelerle ifade edilen parametrik nesnelerdir. Parametrik nesnelerin ise “akıllı” davranışları vardır ve açık parametrelerin özellik değerleri ayarlanarak yapılandırılırlar. Tüm sonuç geometrileri parametre değişimleri üzerine üretilir ve yeniden yaratılır. YBM parametrik özelliğe dayanarak çoğunlukla nesne seviyesinde kullanılır. YBM modeli bu nedenle bağımsız değişkenlerin montajı gibidir. Bir bina projesinin dijital modelinin oluşturulması parametrik nesnelerin modellenmesi ve ayarlanması ile yapılır (Boeykens, 2012). Parametrik modelleme sistemleri kullanan YBM çözümleri daha koordine, güvenilir ve daha kaliteli yapı bilgisi sağlar (http-5). Modelleme programı içerisinde üretilen her nesnenin özelliklerine göre ayrıntılarında sayısal değişiklikler yapıldığında diğer bir ifade ile parametreler farklılaştığında nesne bir önceki durumuna göre değişerek son halini alır. Burada üretilen nesneler kendi özelliklerini içeren mantıksal değişkenlere sahiptir ve bu değişkenler sınırlandırılır. Şekil 2.3’de olduğu gibi aynı merdiven nesnesi üzerinde yapılan değişiklikler ile farklı merdivenler elde edilebilmektedir. Üstteki merdiven kopyalanıp, ikinci bir merdiven elde edilmiştir. Alttaki merdivende üsttekinden farklı olarak, merdivenin özellikleri, yan kapama kısımları ve korkuluklarla ilgili değişiklikler yapılarak, farklı görünümde bir yeni bir merdiven oluşturulabilmektedir. Ayrıca nesnelerin üzerinde sıva, boya, seramik ve mermer gibi kaplama imalatları tanımlamak ve bunları başka nesnelere de kopyalamak mümkündür. Parametrik modelleme ile hızlı bir biçimde yapılan bu işlem, geleneksel çizimlerde çok daha uzun zaman almaktadır. Nesneler üzerinde değişikliklerin birden fazla sefer yapıldığı düşünüldüğünde parametrik modellemenin önemi de görülmektedir.



Şekil 2.3. Parametrik modelleme

Eğer düzgün bir şekilde kullanılırsa, parametrik modelleme tasarıma ek anlamlar katabilir. Parametrelerde hızlı değişikliklerle var olan model kolayca değiştirilebilir. Modelin nasıl yapıldığının kaydı otomatik olarak üç boyutlu şekilde kaydedilir ve bu kayıt model yapılmaya başladığında başlar (http-6). Geleneksel yöntemlerde ise projedeki her nesne çizgilerle ifade edildiği için, değişikliklerin güncellenmesi kullanıcı tarafından yapılır ve uzun zaman alır. Belirtilen özellikler yanında parametrik modellemenin diğer avantajları olarak şunlar olarak ifade edilebilir.

- Esnek tasarımlar üretebilmeyi sağlar.
- Nesne özelliklerinin değiştirilebilmesi kolaydır.
- Model, değişiklikler sonucunda hızlıca görüntülenebilir.
- Daha iyi ürün görselleştirmesi yapılabilir.
- Yeni tasarımlarda eski modeller kullanılabilir.
- Hızlı tasarım ve verimlilik sağlar. (http-7).

2.1.3. Çok boyutlu modelleme

Çok boyutluluk YBM'nin en bilinen yönlerinden birisidir. Modelin ilk üç boyutu tasarımında bulunmaktadır (Şekil 2.4). Dördüncü boyut zaman ve uzay iken beşinci boyut maliyettir. Bunun ötesinde sürdürülebilirlik, tesis yönetimi ve iş güvenliği gibi konularda yapılabilecek analizler de eklendiğinde boyutların sayısı artmaktadır (Özorhon, 2018, s. 9).

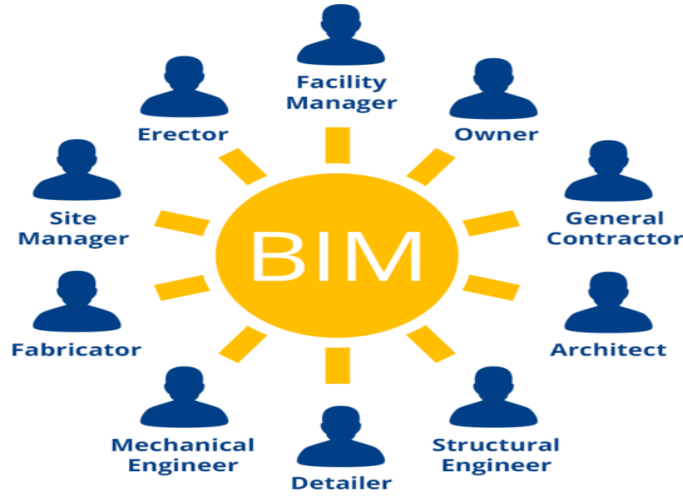


Şekil 2.4. YBM çok boyutlu modelleme (<http-8>)

Matematik ve fizik gibi alanlarda uzun yıllardır kullanan çok boyut terimi inşaat sektörü için yeni bir kavramdır. Çok boyutlu (nD) modelleme yapı tasarım bilgisinin fazla sayıdaki yönlerini içeren bilgi modellerinin uzantısıdır. Diğer bir deyişle zamanlama, maliyet tahmini, erişilebilirlik, sürdürülebilirlik, bakım kolaylığı, akustik, enerji analizleri gibi konuları içeren tasarım perspektiflerinin sayısını ifade etmektedir (Abanda vd., 2017).

2.1.4. Çoklu kullanım ve iletişim

YBM yazılımında hazırlanan model farklı disiplinlerdeki kullanıcılar tarafından kullanılabilir. Her kullanıcı çalışmasını diğer kullanıcıların çalışmaları ile karşılaştırabilir ve projedeki rolüne bağlı olarak değişiklik yapabilir. Kullanıcının üreteceği/değiştireceği bilgi ile mevcut model revize edilebilir ve bu revize projeye bağlı diğer kullanıcılar tarafından takip edilebilir (Yalçınkaya vd., 2014).



Şekil 2.5. YBM kullanıcıları

YBM projenin planlaması ve uygulanması için bir öngörü sunmakta ve proje ile ilgili olası risklerin azalmasına yardımcı olmaktadır. Modelin oluşumu sırasında birçok katılımcının girdisi gerekmekte olduğu ve bu bilgiler ile model sürekli güncellendiği için statik bir yapıda değildir. Proje ile birlikte gelişir ve detaylanır (Ofloğlu, 2009, s. 29). Proje oluşturulması ve sonrasında mühendis, mimar gibi Şekil 2.5’deki her paydaş yapım işi tamamlanana kadar kendi katkılarını sunar (<http-9>).

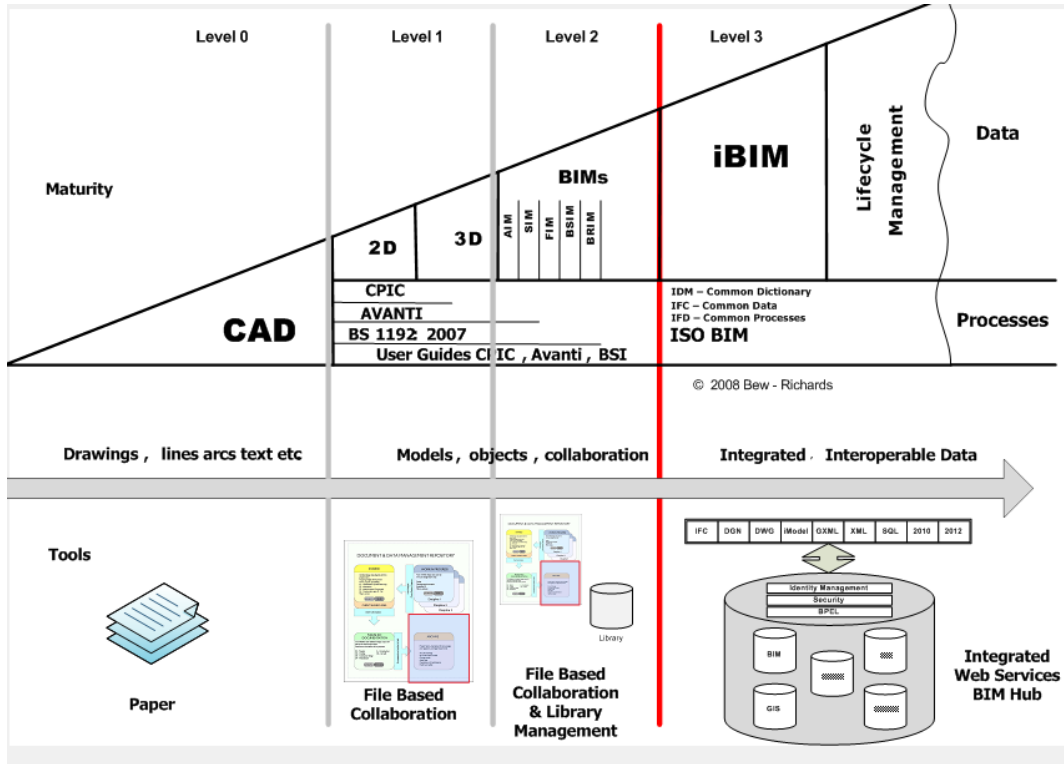
2.1.5. YBM olgunluk seviyeleri

Yapıların dijital bilgilerinin oluşturulması süreci olan YBM’nin modelleme şeklinin alabileceği seviye aralığı “olgunluk seviyesi” olarak tanımlanmaktadır (<http-10>). Kullanıcı amacı, beklentiler, paydaşlar arasında farklı düzeylerdeki bilgi paylaşımı ve iş birliği gibi ölçütler YBM olgunluk seviyelerini belirlemektedir (<http-11>). Dört çeşit olan olgunluk seviyeleri sıfırdan başlayarak üçe kadar numaralandırılmıştır (Şekil 2.6). Bu seviyeler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

- Seviye 0: 2 boyutlu CAD çizimlerini ifade eder. Bu seviyede veriler kâğıt ortamında veya elektronik dosyalar olarak paylaşılır (Kumar, 2015, s. 34).
- Seviye 1: 2D modelden 3D’ye dokümantasyon ve nesne modelleme tabanlı geçişi ifade eder. 2D ve 3D verilerle çalışılır ve görselleştirme amaçlıdır. CAD yazılımları tarafından üretilen inşaat verileri, daha iyi bilgi yönetimi ve iş birliği ile ilgilidir.
- Seviye 2: İş birliği için kullanılan disiplin tabanlı YBM modelleri ile ilgilidir. Bina yapımı için üretilen farklı yazılımlardaki modellerin ve

bilgilerin aynı amaca yönelik bütünleştirilmesi amaçlanır. İş birliği özel uygulamalar ile sağlanır. Standartlar ve süreçler tanımlanır. 4D model ile planlama simülasyonları, 5D model ile maliyet tahmini ve analiz yapılabilir.

- Seviye 3: YBM temel felsefesini yansıtan, iş birliği ve bütünleşmeye yönelik seviyedir. Bakım-işletme dahil bütün veriler aynı modelde birleştirilir ve disiplinler tarafından eş zamanlı olarak kullanılır. (Arayıcı, 2015).

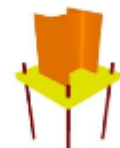


Şekil 2.6. YBM olgunluk seviyeleri (BIM Task Group, 2011)

2.1.6. YBM gelişmişlik seviyeleri

Yapıların 2 boyutlu projeleri hazırlanırken eskizlerden başlanır ve son aşamada uygulama projesi ve detay çizimleri üretilir. Bu çizimler her ne kadar iki boyutlu ve sınırlı olsa da yapı ile ilgili bilgileri ve yapı tamamlandığındaki durumunu içermektedir. Benzer şekilde yapıların bilgi modelleri hazırlanırken de inşa edilecek yapının detayları, bilgileri, kapsamı, güvenilirliği, yapı tamamlandığında nasıl bir görüntü oluşacağı gibi konularda paydaşlar arasında iletişim ve koordinasyonun kalitesini arttıracak ve modeldeki her eleman hakkında bilgiler verecek referanslara ihtiyaç duyulmaktadır. Model elemanlar yapı bilgi sisteminin parçasıdır ve yapı içerisindeki bileşenleri temsil eder. Gelişmişlik

seviyesi (Level of Development; LOD) olarak adlandırılan bu referanslar, model elemanların içereceği boyut, konum, nicelik ve nitelikle ilgili minimum bilgileri ifade eder (AIA, 2013). Amerikan Mimarlar Enstitüsü (The American Institute of Architects, AIA) tarafından tanımlanan ve kabul gören bu seviyeler Şekil 2.7’de gösterilmektedir.

LOD 100	TEMEL TASARIM Konsept tasarım evresidir. Kavramsal model oluşturulur. Temel düzeyde bilgiler edinilebilir.	
LOD 200	TASLAK EVRESİ Elemanların büyüklük, ebat, şekil, konum ve yön bakımından yaklaşık olarak modellenmesi.	
LOD 300	AYRINTILI TASARIM Elemanların kesin miktar, boyut, şekil, konum ve yönlenme bilgileri ile modellenmesi	
LOD 350	UYGULAMA PROJELERİ Yapı elemanlarının çeşitli sistemler ve diğer elemanlar ile nasıl birleştiğini grafik ve yazılı tanımlarla gösteren model detayını ve unsurları içerir.	
LOD 400	YAPIM Elemanlar kesin miktar, boyut, şekil, konum ve yönlenme bilgilerine ek olarak, montaj ve detaylandırma bilgileri içerir.	
LOD 500	TESİS YÖNETİMİ Elemanlar bakım ve işletme için modellenmiştir. Geometrik olmayan bilgiler de modellere eklenir	

Şekil 2.7. YBM gelişmişlik seviyeleri (http-13; BIM Forum, 2018)

LOD 100 olarak ifade edilen ilk seviye, model elemanın tasarımının en erken aşamasıdır. 2 ya da 3 boyutlu çizgilerle belirtilir. Model elemanın uygulanması konusunda fikir oluşmuştur ama nasıl bir görünüme sahip olacağı henüz belli değildir. LOD 200 seviyesinde eleman diğer nesnelerden ayırt edilmelerini sağlayacak bir görünüme sahiptir. Boyut, konum ve yönlenmesi konusundaki bilgiler yaklaşık, tahmini olarak kabul edilir. LOD 300 seviyesinde bir önceki aşamadaki yaklaşık bilgiler hemen hemen netlik kazanmıştır. LOD 350 birleşim ve detayları tanımlar. LOD 400 seviyesinde

üretim, birleşim, kurulum gibi yapım bilgilerini içeren bilgilere model üzerinden ulaşılabilir. LOD 500 ise bitmiş yapının işleme açıldığı seviyedir ve model elemanlarının her biri mevcut durumu yansıtacak bilgileri sağlamaktadır.

2.1.7. YBM avantajları ve zorlukları

YBM ile 2 boyuttan 3 boyuta geçiş devam etmekte ve inşaat yapmaya dair fikirleri olumlu yönde etkilemektedir. YBM projelerin tasarımından yapım, yapı süreci, yapım sonrası bakım ve işletmeye kadar olan aşamalarda; işveren, danışman, yapım denetimcileri, mimar, mühendis, yüklenici ve tesis yöneticileri gibi paydaşlar tarafından kullanılmakta, ilgili noktalarda sürece ve paydaşlara katkılar vermektedir. YBM'nin avantajları ve zorlukları ile ilgili yapılan literatür taramasında farklı kaynaklarda Tablo 2.2'de özetlenmiş sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 2.2. YBM avantajları ve zorlukları

	Avantajlar	Zorluklar
(Arayıcı, 2015, s. 198)	Gelişimin etkin ve hızlı değerlendirilmesi Çakışma analizi ve koordinasyon sağlama Entegre tasarım ve planlama uygulamaları Tasarım aşamasında görselleştirme Verimli ve sürdürülebilir ürün seçimi Revizyonların hızlı kontrolü Doğru metraj çıkartma ve Maliyet kontrolü ve yönetimi İnşaat öncesi sanal ön yapı	YBM sistemin geçiş maliyeti Eğitim ve becerilerin geliştirilmesi Birlikte çalışabilirlik Mimar, mühendis ve paydaşların mevcut alışkanlıkların değiştirilmesi
(Eastman vd., 2011)	Konsept, fizibilite ve tasarım kolaylığı Artan bina performansı ve kalitesi İş birliği halinde proje üretimi Tasarımda erken ve doğru görünüm elde edilmesi Değişikliklerin anında güncellenmesi Tasarımın herhangi bir aşamasında doğru ve tutarlı 2 boyut çizimler elde edilebilmesi Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik İnşaat öncesi hata ve eksikliklerin belirlenebilmesi Tasarım ve yapımda zaman uyumu İşletme ve bakım bilgilerinin devredilebilmesi, daha iyi tesis yönetimi	İş birliği ve ekip oluşturma Uygulama değişiklikleri ve sorunları Yazılım ve eğitim desteği
(Kumar, 2015)	Model tabanlı tasarım, görsellik ve değerlendirme Modele ek bilgi ve belgelerin dâhil edilmesi Enerji performans analizi Çizimler arasında tutarlılık	YBM bilgi düzeyinin artırılması ve geliştirilmesi
(Kubba, 2017)	Maliyetlerin ve risklerin azalması Değerlendirmelerin doğru yapılması Bilgiye kolay ulaşım sayesinde verimlilik artışı Belgeler arasında tutarlılık İnşaat süresini kısaltma ve proje teslim hızındaki artış Alım-satım için gerekli bilgilerin sağlanması Ayrıntılara hakimiyet	

Azhar vd., (2008) ‘Hilton Hotel Aquarium İnşaatı’ sırasında YBM kullanarak gerçekleştirdiği vaka çalışmasında aşağıdaki sonuçları elde etmiştir.

- YBM projeleri yönetmek için yeni bir yol olabilir.
- Bina performansı ve sonuçlarının öngörülebilirliği iyileştirilmiştir.
- Ekipler arasında işbirliği artmıştır.
- Maliyetler düşmüş ve karlılık artmıştır.
- Daha iyi zaman yönetimi ve müşterilerle ilişkiler sağlanır.
- YBM’ye yatırım önemli katkılar sunmaktadır.
- Paydaşlar arasında uyumluluk artmış bu da verimliliği arttırmıştır.
- 2 boyutlu çizimlerde ilk aşamada görülemeyen hata ve eksiklikler YBM modeli ile tespit edilmiştir.

Becerik ve Rice (2010) YBM kullanan mimar, mühendis, yönetici, danışman, yüklenici, tasarım danışmanı gibi inşaat sektöründe çalışan 424 katılımcı ile yaptığı anket çalışmasında katılımcıların,

- %55’i YBM ile proje maliyetinin %50 oranında azaldığını
- %58’i proje süresinin %50’ye kadar azaldığını
- %41’i projede karlılık sağladığını
- %48’i YBM ile detaylı tasarım aşamasının daha az zaman alacağını düşündüğünü
- %47’si teklif hazırlamanın daha az zaman alacağını düşündüğünü
- %58’i inşaat süresinin kısaldığını ifade etmiştir.

Stanford Üniversitesi Entegre Tesis Mühendisliği Merkezi (CIFE) tarafından YBM kullanılan 32 büyük çaplı projeye dayanılarak yapılan çalışmada;

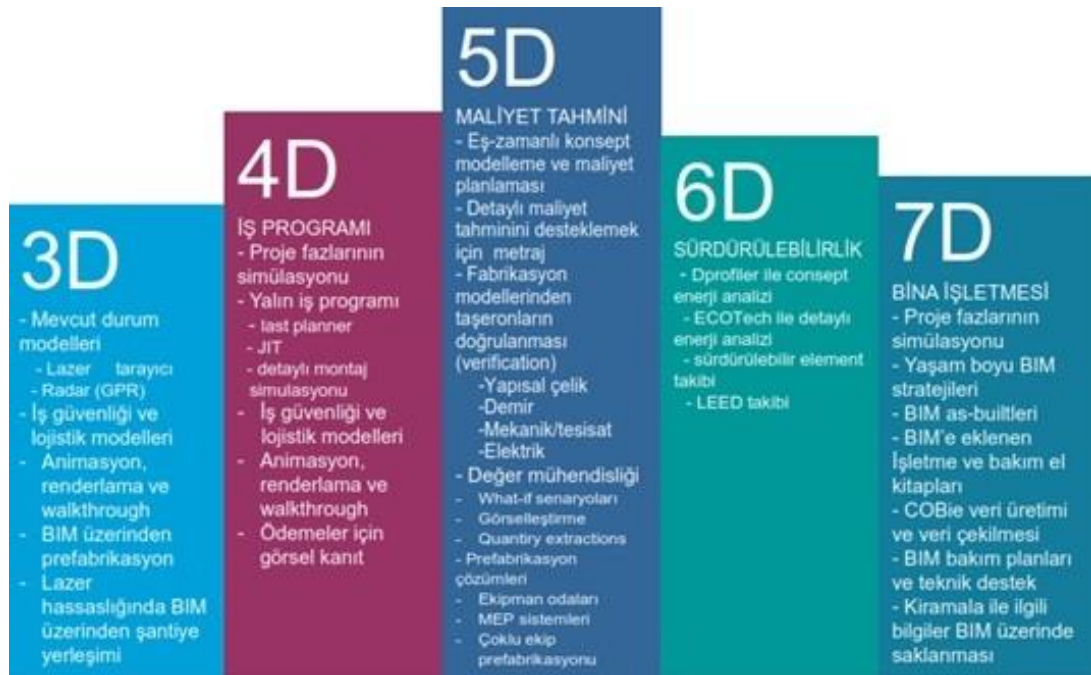
- Planlanan bütçenin dışındaki harcamalarda %40’a ulaşan azalma
- Maliyet tahmin doğruluğunun %3 içinde kalması
- Maliyet tahminleri için harcanan zamanda %80’e ulaşan azalma
- Çakışma analizleri sayesinde sözleşme değerinin %10’una ulaşan tasarruf
- Projeler için belirlenen süreden %7’ye ulaşan azalma sonuçlarına ulaşılmıştır (Azhar vd., 2008).

YBM’nin inşaat sektörüne kazandırdığı avantajlar yanında Tablo 2.2’de görülen zorlukları da aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Sektörde uzun zaman çalışan mimar, mühendis, iş sahibi gibi paydaşların alışkanlıklarını değiştirmek.
- YBM ile ilgili eğitimlerin artırılması.
- Birlikte çalışmanın geliştirilmesi.
- Ekip oluşturabilme gücü.
- Uygulama değişikliklerinin getireceği problemler.
- Maliyet ve yazılım desteği

2.1.8. YBM kapsamı ve uygulamaları

YBM'nin boyut (D) elemanları modelle ilişkilendirilmiş bilgiye bağlıdır. YBM'nin 3 boyuttan 7 boyuta uzanan uygulama seviyeleri bulunmaktadır. Henüz yeterli sayıda çalışma bulunmasa da YBM'nin iş güvenliği konusunda kullanımına yönelik girişimler de bulunmakta, bu da 8.boyut olarak değerlendirilmektedir (Özorhon, 2018, s. 28).



Şekil 2.8. YBM uygulamaları (http-14)

3D (3B, 3 boyutlu) model en çok bilinen model olup görselleştirme ve yapı özellikleri ile ilgilidir. Bu model üzerine veriler eklenerek diğer modeller elde edilir. 3D model üzerine zaman boyutunun eklenmesi ile 4D model (3D model + planlama ve iş programı) elde edilirken, maliyet yönetimi boyutunun eklenmesi ile de 5D model (4D model + maliyet yönetimi) elde edilir. 6D Model sürdürülebilirlik kavramı ile ilgili iken, 7D model ise yapı işletmesine yöneliktir (Şekil 2.8).

2.1.8.1. 3D Modelleme

3D modelleme, yapı ve özelliklerinin bir bütün halinde bilgisayar ortamında 3 boyutlu olarak oluşturulmasıdır (Görsel 2.3).



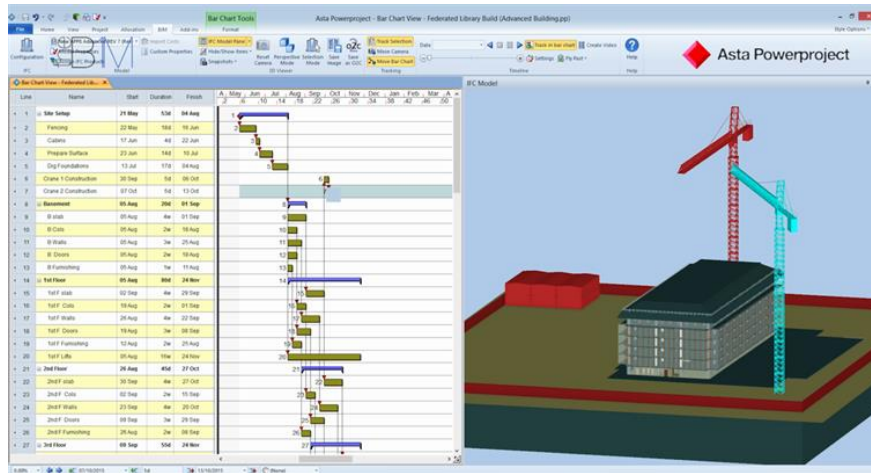
Görsel 2.3. 3 Boyutlu modelleme (http-15)

Oluşturulan 3 boyutlu model içerisinde mimari, statik, mekanik-elektrik ve diğer projelere ait detaylar bulunur. Bu modelin en avantajlı yönü; projenin sanal olarak ortaya çıkması ile yapıma katkı sunacak disiplinlerin ihtiyaçlarını bu modelden elde edebilmeleridir. Paydaşların aynı görsel üzerinde iletişim kurmasını ve koordinasyonunu sağlar. 3D modelin elde edildiği bilgisayar programının (örneğin Revit) özellikleri kullanılarak, yapı içerisinde gezinme ve farklı noktalardan detaylar-kesitler alma imkânı verir. 2D projelerde düz çizgilerle ifade edilen pencere, kapı, duvar, çatı gibi elemanlar bu modelde 3 boyutlu geometrik şekiller olarak görülürler. Proje geliştikçe yeni bilgi ve proje verilerinin eklenmesi sayesinde yapım işin sonlanmasına kadar geliştirilip son haline ulaşabilir.

2.1.8.2. 4D Modelleme

3D olarak modellenen yapı ve elemanları ile zamanın ve iş programının bütünleştirilmesi sonucunda 4D model elde edilir. 4D model yapının tasarlanması, projenin başlangıç-bitiş tarihlerini, yapım işinin iş programını ve planlamasını içerir.

Zaman ve yapı elemanları bütünleştirilmesi ile simülasyon gerçekleştirilir. Örneğin yapı zemin katındaki kolonların modeli ile yapım tarihleri bütünleştirilir. Simülasyon içerisinde ilgili tarihe gelindiğinde kolonlar simülasyon modeli içerisinde oluşur. Bu sayede yapıya ait imalatların hangi zaman aralıklarında ve hangi sırayla yapılacağı takip edilebilir. 4D model zamana göre yapının fiziksel durumu hakkında bilgi vererek disiplinlere sorumluluklarını gösterir ve paydaşlar arasındaki iletişimi sağlar. Bu sayede 2 boyutlu olarak hazırlanan projeler ve iş programları arasında giderilemeyen koordinasyon eksikleri önlenmiş olur. Uygulanması için bilgi ve birikim gerektiren 4D modellemenin inşaat ilerleme çalışmalarının görselleştirilmesinde, proje zamanı ve maliyetinden tasarruf edilmesinde fayda sağlayacağı görülmüştür. İnşaat sırası ve lojistiğinin görselleştirilmesi proje ekibi arasında daha iyi iletişim sağlar ve bu modelin uygulanması inşaat planlamasına uygun olmaktadır (Pitake and Patil, 2013).

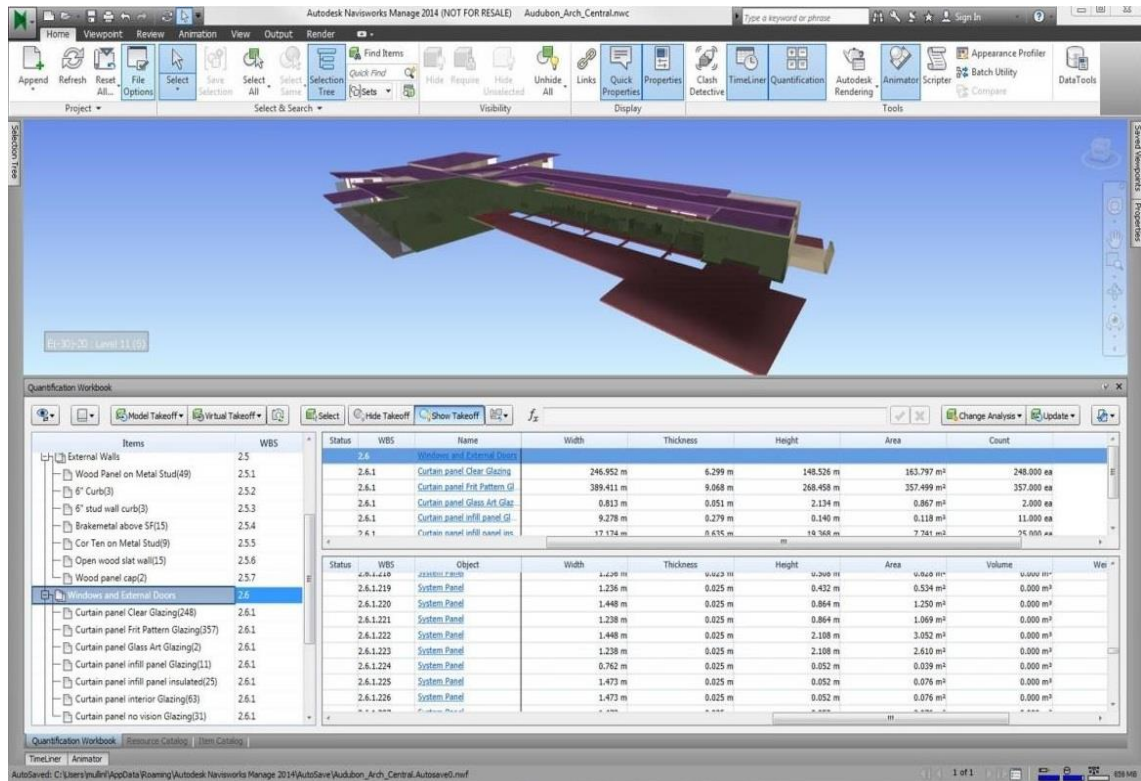


Görsel 2.4. 4D model ile iş programı ve yapının takibi (<http://16>)

Yapının sol sütununda görülen iş programına göre, binanın imalatları ilerlemekte ve zamana göre yapım işinin hangi aşamada olduğu takip edilebilmektedir. Belli bir zaman ilerledikten sonra binanın sahanın çevresi kapatılmış, şantiye kurulmuş ve kule vinçler yerleştirilmiştir. Binanın kaba inşaatı, dış cephe kaplamaları, çatı işleri tamamlanmış olarak görülmektedir. Sol sütundaki iş programına göre sağdaki yapı ilerler ve iş programı sonunda nihai halini alır (Görsel 2.4). 4D model maliyet ile ilgili olmayıp, sadece iş programı ve yapım süreci mevcuttur. 4D model içinde yapımı başlayan, devam eden ve tamamlanan imalatlar simülasyonda gösterilir ve yapım sürecinin iş planındaki başlangıç ve bitiş sürelerine göre takibi kolaylaşır.

2.1.8.3. 5D Modelleme

4D modelin üzerine maliyet fonksiyonunun da eklenmesiyle elde edilen 5D model maliyet yönetimi ile ilgilidir. 4D model içerisindeki her yapı elemanı ile maliyeti (örneğin bir kolonda kalıp demir ve beton imalatlarının maliyeti) bütünleştirilir ve metraj alınarak yürütülen geleneksel yöntemle göre daha hızlı maliyet çıkartılabilir. Bu modelde iş programına göre imal edilen yapının herhangi bir sürecinde, oluşan maliyet belirlenebilir. 5D modelleme tasarım, maliyet, zaman ve görselleştirme gibi dört ana aşamada uygulanabilirlik düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir. 5D model bilgilerin entegrasyonunu, sürecin verimliliğini ve karar vericiler için 2 boyutlu projelerde elde edilemeyen bilgilerin elde edilmesini ve yorumlanmasını sağlamaktadır (Lee vd., 2016).



Görsel 2.5. 5D modelleme ve metraj tabloları (<http://17>)

5D model içerisindeki her elemana malzeme ve ekipman, işçilik, yüklenici ve inşaat sürecinde karşılaşılan diğer maliyetler de eklenebilmektedir. Tüm sisteme yüklenen gider bilgileri ile farklı zamanlarda karşılaşılabilecek maliyetler hızlıca elde edilebilir. Elemanlara yüklenen giderler üzerinde değişiklik yapılması halinde ise sistem bu durumu otomatik olarak düzeltir ve günceller. 5D model ile yapı elemanlarına ait metrajlar çıkartılabilir ve simülasyonda gelinen aşama dönemsel hakedişler için gereken verileri sağlayabilir

(Görsel 2.5). Popov vd., (2008) 5D model ile projelerin hazırlanması, proje alternatiflerinin ekonomik açıdan değerlendirilmesi ve tasarım noktasında %40 oranında zamandan tasarruf sağlanabileceğini belirtmiştir.

2.1.8.4. 6D Modelleme

6D modelleme sürdürülebilirlik kavramı ve sürdürülebilir yapılar ile ilgilidir. 6D modelleme yapılarıdaki sürdürülebilirlik ve enerji tasarruflarının geliştirilmesinde katkı sağlamaktadır. Sürdürülebilirlik kelime anlamı olarak; üretkenlik ve çeşitliliğin devamlılığı sağlanırken, daimî olabilme yeteneğini korumak olarak tanımlanmaktadır (http-18). Sürdürülebilir yapı ise tasarım, inşaat, işletme, bakım, yenileme ve yıkım dâhil olmak üzere binanın yaşam döngüsü boyunca çevreye karşı sorumlu, kaynakları verimli şekilde tüketen bir yapı anlamına gelmektedir. Sürdürülebilir yapılar enerji, su ve diğer kaynakları verimli kullanan, kullanıcı sağlığını koruyan ve çalışanların verimliliğini arttıran, atık, kirlilik ve çevresel bozulmayı azaltan yapılardır (http-19). YBM'nin içerdiği zengin veri katmanları, projenin her aşamasının daha koordine ve tahmin edilebilir bir adımlar silsilesi olduğu anlamına gelir. Bu da proje tasarımı ve inşaatı konusunda daha iyi analiz ve daha doğru planlama yapılmasını ve daha doğru karar verilmesini sağlar. Bu karar verme süreci, inşaat malzemeleri ve işçiliğiyle ilgili masrafların azaltılmasını, daha az atık olmasını ve binaların en iyi performans düşünülerek etkin ve sürdürülebilir bir şekilde inşa edilmesini sağlar (http-20).



Görsel 2.6. Revit ile gün ışığı analizi (http-21))

YBM'nin veri yapısı YBM modelinin bina performansının sınanmasında kullanılmasını da sağlar. Örneğin, Revit programında çalışan bir eklenti yazılımı olan “Revit Credit Manager for LEED” ile Görsel 2.6'daki gibi gün ışığı analizi su kazanımı ve atık içeriği konularında hesaplamalar yapabilmektedir (http-22).

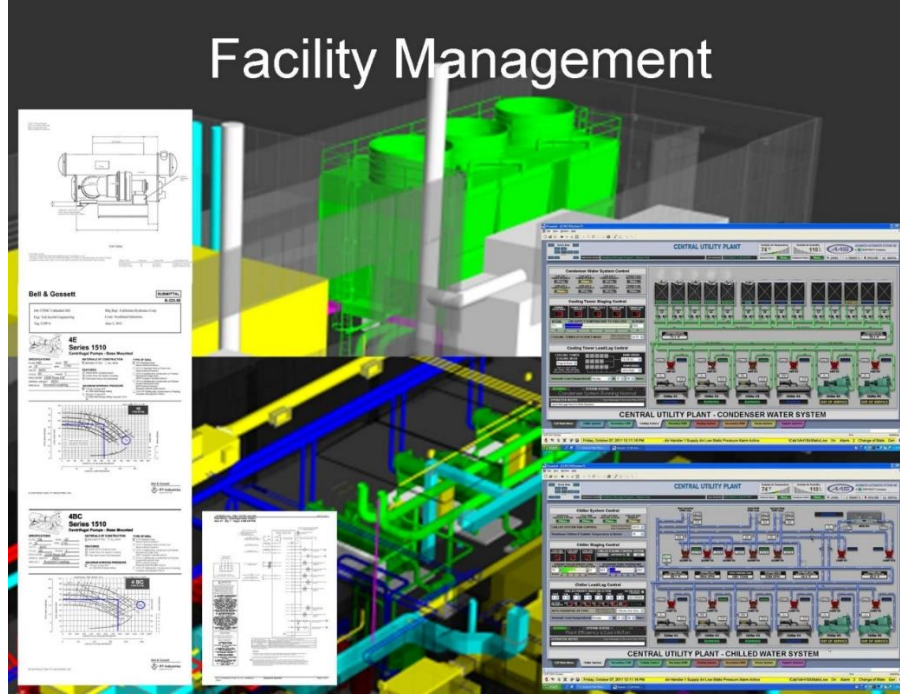
2.1.8.5. 7D Modelleme

Bina yaşam döngüsünü destekleyen 7D modelleme tesis ve bakım yönetimiyle ilgilenmektedir (Ayçam and Erbaş, 2017). Projenin ilk halinden inşaatın tamamlanmasına kadar geçen süre içerisinde yapılan değişikliklerin işlendiği proje ‘as-built’ proje olarak ifade edilmektedir. As-built projeler yapı inşaatı tamamlandıktan sonraki mevcut durumu gösterirler ve genellikle 2 boyutlu olarak hazırlanırlar. 7D model ise bina yapım işi tamamlandıktan sonra mevcut durumu bire bir yansıtan 3 boyutlu as-built projelerdir. Yapı sahipleri binaların işletimi ve bakımları için bu modeli kullanabilirler (http-23). Oluşturulan bu modele yapının binanın bakım ve işletilmesi ile ilgili veriler girilerek, tesisin bakımı ve işletilmesinin daha hızlı ve etkili olması sağlanmaktadır (Öz Döşer, 2016).

2 boyutlu olarak hazırlanan geleneksel projelerde, binalar birbirinden bağımsız iki boyutlu görünümüler üzerinden tanımlanır (plan, kesit ve görünüşler). Bir değişiklik olduğunda tüm görünümülerin güncellenmesi gerekir. Hataya müsait, zaman alıcı, sadece çizgilerden oluşur. 2 boyutlu çizimlerin, 3 boyutlu halini düşünmek zordur. Dolayısıyla 2 boyutlu projelerin mevcut durumu yansıtma sınırlıdır. 7D modelleri geliştirmek için ise kritik bilgilerin tanımlanması, tesis yönetiminin diğer araçları ile model arasındaki bilgi transferinin sağlanması, eksik bilgilerin tamamlanması ve yeterli modelin oluşturulması için çaba sarf edilmesi gerekmektedir (McArthur, 2015).

7D modele proje fazlarının simülasyonu, ‘as-built’ projeler, işletme ve bakım el kitapları, bakım planları ve teknik destek gibi bilgiler eklenir (http-24). Havalimanları, fabrikalar, arıtma tesisleri, santraller, iş ve alışveriş merkezleri, hastaneler olarak örneklendirilebilecek tesislerin, bakımı ve işletilmesi amacıyla oluşturulan 7D model üzerinden yapıya ait tüm bilgilere ulaşılır (Görsel 2.7). 7D model yöneticiler tarafından yapının yönetimi ve operasyon aşamasında kullanılır. 7D model katılımcıların teknik özellikler, gerekli bakım çizelgesi ve teknik incelemeler, kılavuzlar veya geçerli garanti süresi gibi verileri almasını ve depolamasını sağlar. Dünya genelinde mühendislik, inşaat ve tesis yönetimi endüstrilerinde YBM'nin benimsenmesine doğru bir kayma olmaktadır. YBM'nin inşaat ve tesis yönetiminde kullanımı amacıyla çeşitli kapasite ve olgunluk

modelleri geliştirilmiştir. Uygulanabilirlik ve bu modellerin temelindeki farklılıklar sayesinde farklı YBM kullanıcılarının tesis yönetimi konusundaki talepleri karşılanabilir (Yılmaz vd., 2019).



Görsel 2.7. Tesis projesinin 3 boyutlu hali ve ekipmanlar (<http-25>)

Tesis yönetim sürecine böyle bir yaklaşım sadece tüm süreci iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda bu alandaki hizmetlerin kalitesini de artırır (<http-26>).

3. YAPI BİLGİ MODELLEMESİNDE KULLANILAN YAZILIMLAR

YBM sisteminde yapı tasarımı, modelleme, görselleştirme, simülasyon, metraj, maliyet yönetimi, iş programı, planlama, sürdürülebilirlik ve işletme gibi faaliyetleri yürütmekte kullanılan bilgisayar yazılımları bulunmaktadır. Bu yazılımlar Tablo 3.1’de kullanıldığı alanlara ve amaçlarına göre listelenmiştir.

Tablo 3.1. YBM kullanılan yazılımlar (http-27)

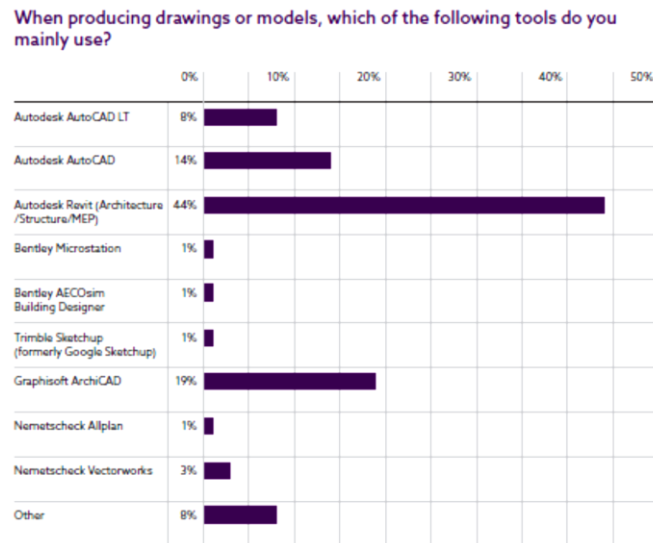
Proje 3D Tasarım Görselleştirme Sunum Görüntüleme	Mimari	Autodesk Revit- Infraworkk 360- Autocad Civil 3D- Autocad Architecture- AECOSim Building Designer- MicroStation- OpenRoads- ProStructures- Generative Components- Allplan- Graphisoft ArchiCAD- Vectorworks- SketchUp Pro- Solidworks Catia- Midas Design- Edificius- VisualARQ- 3D Studio Max- Luxology- Maxon
	Statik	Autodesk Revit- Robot Structural Analysis- Advanced Concrete- Autodesk Advanced Steel- RAM STAAD- ProSteel- Scia- Precast- Frillo Software- Tekla Structures- Solidworks- SAFE- Sap 2000- ETABS
	Mep	Autodesk Revit- Hevacomp- Data Design System- Mep Holder Duct Designer 3D- Pipe Designer 3D- DiaLux
	Sunum Görüntüleme	Autodesk A360- Bentley View Navigator- Solibri Model Checker- Solibri Model Viewer- Tekla BIM Sight- SketchUp Viewer- Building in Cloud- BIM Consultant- BIM Vision- IFC Viewer- Revizto Viewer
4D Planlama	Autodesk Naviswork Manage- Navigator- Vico Office- Gest Mideplan- iTWO Gestproject- MS Project- Primavera P6- Synchro Professional- PriMus-K	
5D Maliyet Yönetimi	Naviswork Manage- ConstructSim- Nevaris- Vico Office- Gest Mideplan- iTWO- Presto Cost-it- DESTIN IEstimator- Excel- TCQ 2000 BIM- PriMus IFC	
6D Sürdürülebilirlik	Vasari- Green Building Studio- Ecotect Analysis- Hevacomp- AECOSim Energy Simulator- EcoDesigner STAR- Sefaira- Design Builder- VE-Pro- OpenStudio	
7D Bakım ve İşletme Yönetimi	Builng OPS- AssetWise- Bentley Facilities- Crem Solution- ArchiFM- Tekla BIM Sight- GestProject- NEXT- FM- YouBIM- Archibus- EcDomus- Onuma- FMSystems Interact- BIM Consultant	
Yönetim İş Birliği Dokümantasyon Raporlama	BIM 360 Docs- BIM 360 Field- ProjectWise- Project Management- Trimble Connect- Enovia- iTWO- Excel- Building in Cloud- 4Projects- Aconex- Fuzor – BIManywhere- BIM Consultant	

3.1. YBM’de Kullanılan Yazılımların Seçimi

5D model daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere 3D model, süre ve maliyet yönetimi boyutlarını içeren YBM uygulamasıdır. Bu modelin uygulanabilmesi için tasarım modelleme, iş programı, maliyet ve yapım simülasyonu yazılımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 3.1’de görüldüğü gibi YBM 5D modelde kullanılabilen çok sayıda yazılım bulunmaktadır. Bu çalışmada tercih edilen Autodesk Revit, Primavera ve Autodesk Navisworks yazılımlarının 5D modelin oluşturulması sırasında kullanım yöntemlerini açıklayabilmek için iki katlı bir villa projesi belirlenmiştir (http-28). Villa projesini 3 boyutlu olarak modelleyebilmek için Revit programı, iş programı ve aktivite maliyetlerini oluşturabilmek için Primavera P6, maliyet ve yapım simülasyonu için Navisworks kullanılmıştır. Bu programların seçilme nedeni ise piyasada benzer amaçlarla kullanılan programlara göre daha çok tercih edilmeleridir. Sırası ile Revit, Primavera ve Navisworks programlarının kullanımı ve genel özellikleri hakkında bilgiler verilerek, 5D model oluşturulma aşamaları açıklanmaktadır. Ayrıca çalışmanın genelinde olmamakla beraber Ms Excel 2016 programından da faydalanılmıştır.

3.2. Revit

NBS (National BIM Report) 2018 İngiltere’de yapılan YBM anketinde katılımcıların %66’sı çizim ve modelleme yaparken Autodesk ürünlerini, %44’ü Revit programını kullandıklarını belirtmişlerdir (Şekil 3.1). Aynı ankette Graphisoft ArchiCAD, AutoCAD, Bentley AECOSim Building Designer, Nemetscheck Vectorworks ve Allplan programlarının da tercih edildiği görülmektedir (http-29).



Şekil 3.1. YBM modelleme programları tercih oranları

Autodesk firması tarafından üretilen Revit programı mimar, mühendis ve proje hazırlama işi yapan diğer uzmanlar tarafından kullanılan bir yazılım olup, içerisinde mimarlık, inşaat, elektrik ve makine mühendisliği disiplinleri için geliştirilmiş özel alanlar (platformlar) mevcuttur. Her disiplin bu alanları kullanarak kendi projesini 3 boyutlu olarak modelleyebilir. Bu durum projeler arasında veri transferini ve birleşimini kolaylaştırır. Revit programı piyasada çok tercih edilmesi, 3 boyutlu modelleme özelliği, mimari, statik, mekanik ve elektrik model verilerinin birleştirilmesi, saklanması, metraj alınabilmesi, görselleştirme özelliği, koordinasyon sağlama gibi avantajları ve YBM içerisinde kullanımına uygunluğu gibi nedenlerle bu çalışmada tercih edilmiştir.

3.2.1. Revit programının özellikleri

Revit YBM programı olarak ifade edilmektedir. İlk sürümü 2000 yılında mimar ve inşaat mühendislerinin kullanımı amacıyla ‘Revit Building’ adıyla yayımlanan program geometriye bağlı olmadan parametrik üç boyutlu yapı tasarımları için çözümler sunmaktadır (Şekil 3.2). Resmi olarak herhangi bir dilde sözlük anlamına sahip olmayan Revit, ‘revise instantly’ (anında değişiklik, anında güncelleme) kelimelerinin birleştirilmesiyle oluşmuş bir sözcüktür ([http-30](http://30)).



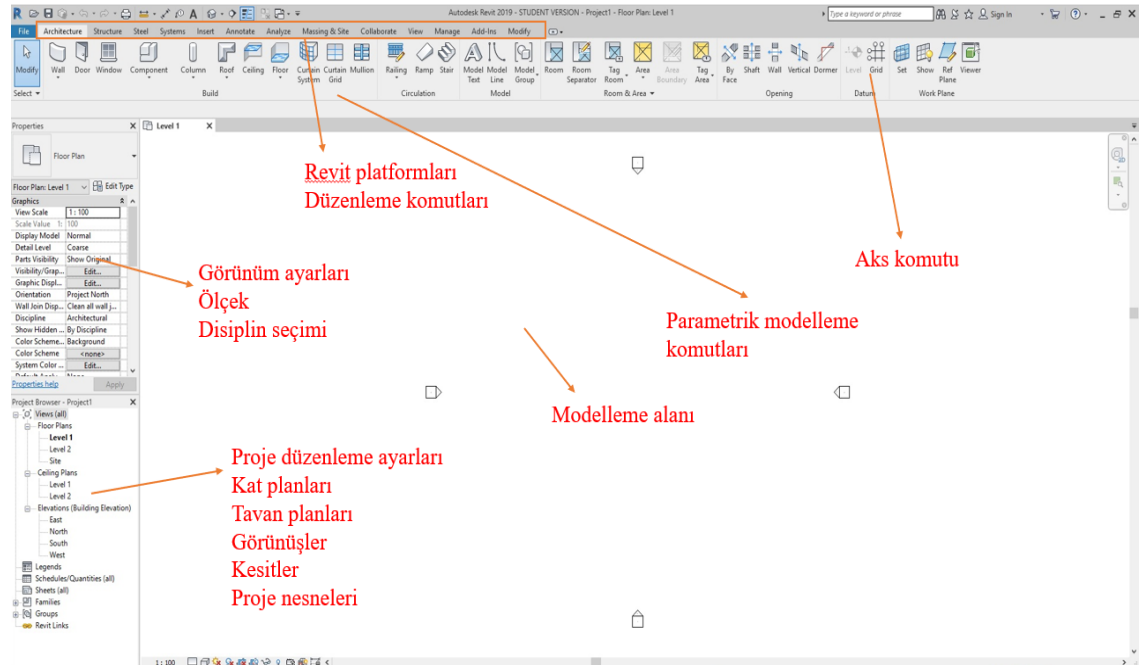
Şekil 3.2. Revit 2019 logosu ([http-31](http://31))

Revit programı 3 boyutlu modelleme, görsel zenginlik ve kaliteli tasarım gibi birçok özelliği nedeniyle 2 boyutlu programlara göre kullanıcıya avantaj sağlamaktadır. 2 boyut ile çalışılan programlarda bir duvar plan düzleminde çizgilerle ifade edilirken, Revit'te yükseklik bilgisi de dahil edilerek 3 boyutlu olarak modellenir. Oluşturulan

duvar var olan duvarlar ile otomatik olarak birleşir. Uygulama projeleri için gerekli olan birçok detay Revit ile, 2 boyutta çalışılan programlara göre daha hızlı düzenlenebilmektedir. Örneğin 2 boyutta çizim yapılan programlarda kesit alınması, metraj çıkartılması, görselleştirme gibi işlemler proje tamamlandıktan sonra zaman alırken, Revit'te tamamlanmış proje üzerinden programdaki komutlar yardımıyla kısa sürede yapılabilir. Ayrıca proje içerisindeki herhangi bir nesnede yapılan değişiklik ilgili alanlarda anında güncellenir. Örneğin bir duvarın kalınlık, yükseklik gibi değerleri artırılıp azaltıldığı zaman kesit, metraj gibi veriler de yeni duruma göre değişir. Geri dönüşlerin fazla olduğu projelerde Revit tasarımcıya katkı sağlayabilir.

3.2.2. Revit programının YBM'de kullanımı

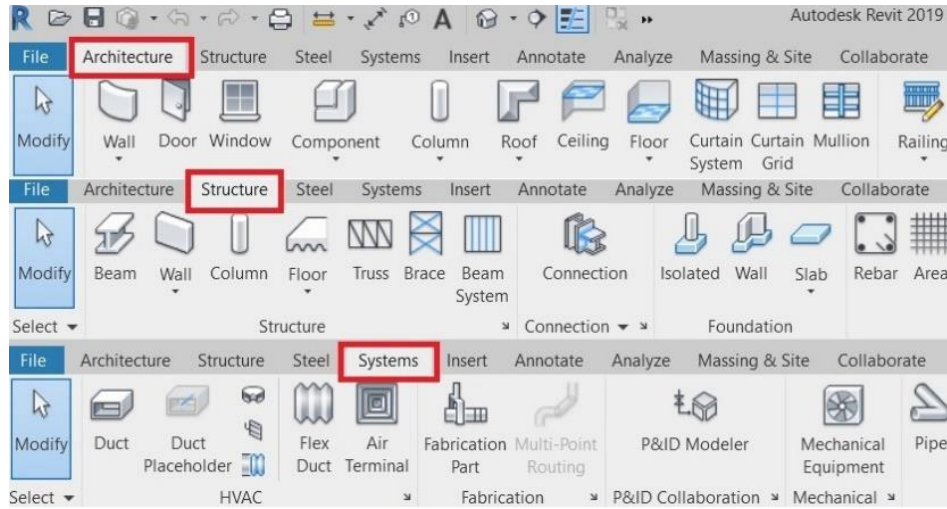
Vaziyet planı, arazi ve peyzaj çalışmaları, kütle tasarımı, uygulama çizimleri, metraj ve sunum için gerekli işlevleri içeren Revit'in özelliği tüm bunları bilgisayar destekli tasarım mantığında değil de mimari pratiğe uygun olan yapı bilgi modellemesi içerisinde kullanıcıya sunmasıdır (Baykal ve Aydın, 2015, s.1). Revit programı arayüzünde disiplinlerin YBM'de kullanımına yönelik platformlar ve parametrik modellemeye uygun komutlar bulunmaktadır (Görsel 3.1).



Görsel 3.1. Revit arayüzü

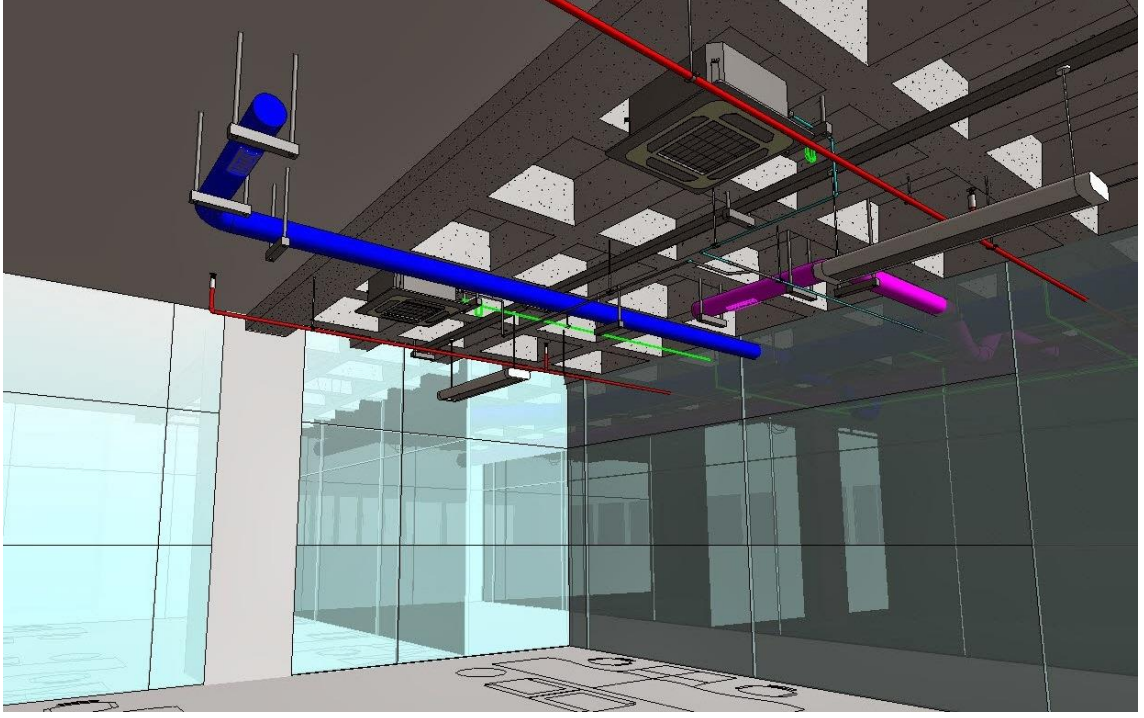
Bu arayüz modelleme amaçlı kullanılan alandır. Kat ve tavan planları, görünüşler veya 3 boyutlu görünüm ekranları üzerinde düzenleme komutları kullanılarak projelerin

modellenmesi sağlanır. YBM projeleri disiplinlerin bir platformda koordine edildiği, uygulamaya yönelik ve 3 boyutlu projelerdir. Revit içerisinde disiplinlere özgü ‘architecture’, ‘structure’ gibi platformlar bulunmaktadır (Görsel 3.2). Örneğin mimari proje hazırlamak ve 3 boyutlu model için ‘architecture’ platformu kullanılır. Mimari projede çizilen duvar, kapı, pencere, döşeme gibi elemanlar bu platformda hazır olarak bulunan şablonlar üzerinden ilgili parametreler girilerek üretilir. Revit içerik itibari ile serbest tasarım yapmaktan ziyade, yapım işine ait uygulama projelerinin 3 boyutlu olarak hazırlanması için kullanılabilir.



Görsel 3.2. Revit platformları

Revit programı ile çalışmanın olumlu tarafı, tasarımların gerçekte inşa ediliyor gibi yürütülmesidir. Yapı bilgi modellemesi teknolojisini destekleyen bir yazılımdır. Revit ile yapılan tasarımda bir defa girilen bir verinin tüm proje sürecinde korunması ve istenildiğinde tekrar kullanılabilmesi mümkün olmaktadır (http-32). Örneğin duvar elemanı Revit içerisinde 3 boyutlu olarak modellenir. Duvar nesnesi diğer duvarlarla otomatik birleşir. Duvar nesnesi proje içerisinde korunmaktadır. 2 ya da 3 boyutlu kesit, görseller, metraj alımı, kat planı gibi proje ile ilgili detaylarda aynı duvar için farklı işlemler yapılmasına gerek kalmaz. Revit bir defa modellenen duvarı ilgili alanların hepsinde güncelleyerek tasarımcıyı iş yükünden kurtarır. Plan düzleminde 2 boyutlu görünen duvar, 3d görünüm ekranında 3 boyutlu olarak görülür. Duvarı kesen bir düzlem ile istenilen noktadan hızlıca kesit alınabilir. 2 boyutlu çizim programlarında ise tasarımcı proje hazırlama, 3 boyutlu görünüm ve kesit alma işlemleri için ayrı ayrı çalışma yapmak durumundadır.



Görsel 3.3. Revit ile 3 boyutlu modelleme ([http-33](http://33))

Revit yapı bilgi modellemesi içerisinde ya da tek başına proje ve modelleme gibi amaçlarla kullanılabilir. YBM teknolojisinin gerektirdiği 3 boyutlu modelleme Revit programı ile Görsel 3.3’de görüldüğü üzere gerçekçi bir biçimde yapılabilir. Aynı proje içerisinde mimari nesneler, taşıyıcı sisteme ait elemanlar ve tesisat ekipmanları konumlarına ve özelliklerine uygun olarak modellenmiştir. 2 boyutlu çizimlerde disiplinlere ait nesnelerin birbirlerine göre konumları görülemezken, Revit modelinde görülebilmektedir. 3 boyutlu model içerisindeki her nesne aynı zamanda yapım işindeki imalatı temsil etmektedir. Görsel 3.3’deki örnekte olduğu gibi havalandırma kanalı, aydınlatma armatürleri ve klima cihazı belirli bir yükseklik ve koordinata göre model içerisinde yerleştirilir. Benzer şekilde yapıdaki tüm nesneler 3 boyutlu modelde oluşturulur ve çakışma analizleri yapılarak proje verileri arasındaki uyum kontrol edilir. Bu sayede yapım sürecinde ortaya çıkabilecek problemlerin önüne de geçilebilir. Oluşturulan dijital model içerisinde sahip olduğu parametreler sayesinde her nesne yapı elemanı gibi değerlendirilir. Bu nesnelerde veya proje kapsamında yapılan değişiklikler program içerisinde güncellenir. Görsel 3.4’de zemin katta kırmızı çerçeve ile belirtilen alan içerisinde yeni bir kapı oluşturulması ile birlikte 2 boyutlu kesitte de kapı görülür. Kesitte kapıyı göstermek için ayrı bir işlem yapılmasına gerek yoktur. Bunun gibi projede yapılan değişiklikler programda anında güncellendiği için veriler arasında bütünlük

sağlanır. Bu gibi avantajlar YBM sistemi içerisinde yapının dijital modelinin 3 boyutlu ve bütünlük içerisinde oluşturulmasını sağlar.



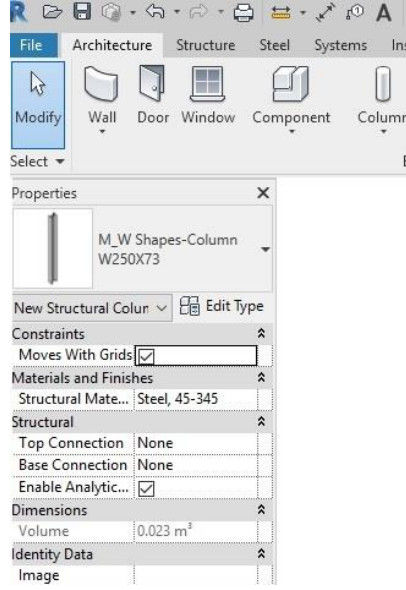
Görsel 3.4. *Değişikliklerin güncellenmesi*

3.2.3. Revit ile modelleme

Bu bölümde iki katlı bir villa üzerinden Revit 2019 programı ile mimari ve taşıyıcı sistemin modelleme sürecindeki önemli aşamalar üzerinde durulacaktır. Modellenen iki katlı villa daha sonraki bölümlerde Primavera ve Navisworks programları açıklanırken de kullanılacaktır. 3 boyutlu modellemenin önemli adımları sırasıyla aşağıda açıklanmaktadır.

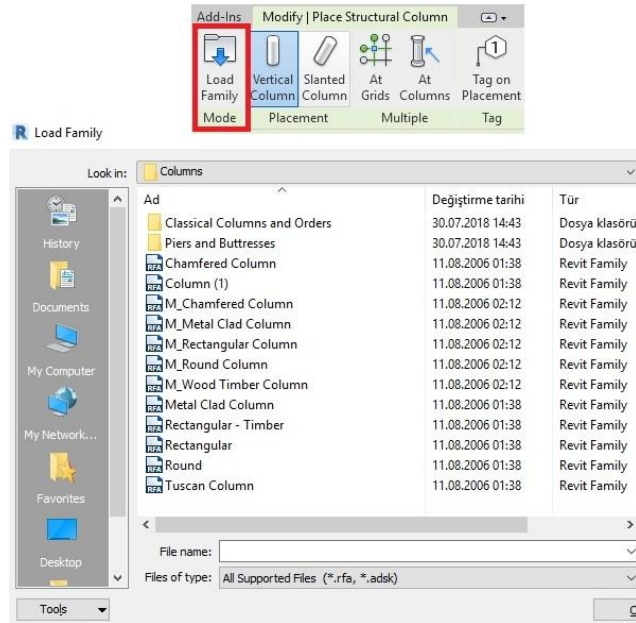
- **Aks sistemi ve kolonlar**

Modelleme sürecinin başında mimari proje esas alınarak 'architecture' sekmesi içerisinde 'grid' işlevi kullanılarak yapının aks sistemi oluşturulur. Taşıyıcı sistem elemanlarından kolonlar için takip edilecek iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan birincisi 'architecture' veya 'structure' sekmesi içerisinde 'column' işlevini kullanmak ve 'properties' ve 'edit type' alanından parametreler girerek kolon oluşturmaktır. Bu yöntem ile oluşturulabilecek kolon tipi ve sayısı azdır (Görsel 3.5).



Görsel 3.5. Kolon modelleme-1

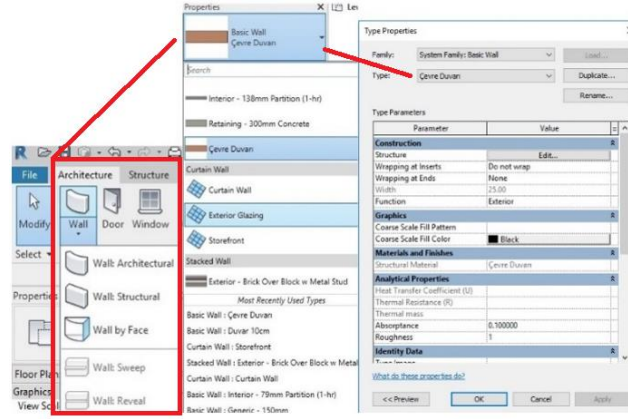
Diğer yöntem ise yine aynı sekmeler yardımıyla ‘load family’ özelliğini kullanarak daha önceden oluşturulan kolon tiplerinden birini seçmek ve ardından ‘properties’ alanından ilgili parametreleri değiştirerek kolonu oluşturmaktır. Bu yöntemde düşünülen kolonu oluşturmak daha kolay olmaktadır fakat Revit hazır nesne kütüphanesinin zengin olması gerekmektedir (Görsel 3.6). Bu şekilde daha önce modellenip hazır nesne haline getirilmiş kare, dikdörtgen, yuvarlak, dekoratif, ahşap gibi kolon tipleri seçilerek projeye eklenebilir.



Görsel 3.6. Kolon modelleme-2

- **Duvarların modellenmesi**

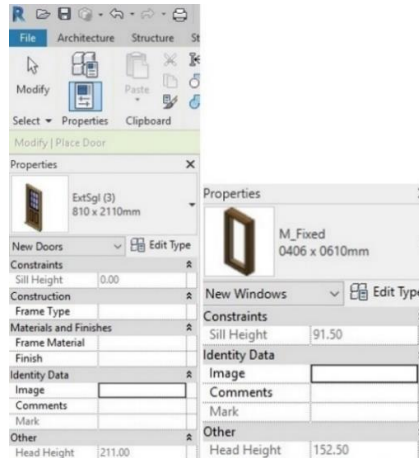
Duvarlar ise architecture sekmesi içerisindeki ‘wall’ işlevi ile oluşturulur. Duvar oluşturma konusunda seçenek fazladır. İstenilen ölçülerde duvar oluşturulabilmesi yanında cephe cam kaplama elemanları gibi modeller de buradan oluşturulur. Görsel 3.7’de çevre duvarı adı ile bir duvar tipi oluşturulmuş ve ‘type properties’ alanından duvarın kalınlık gibi parametreleri belirlenmiştir.



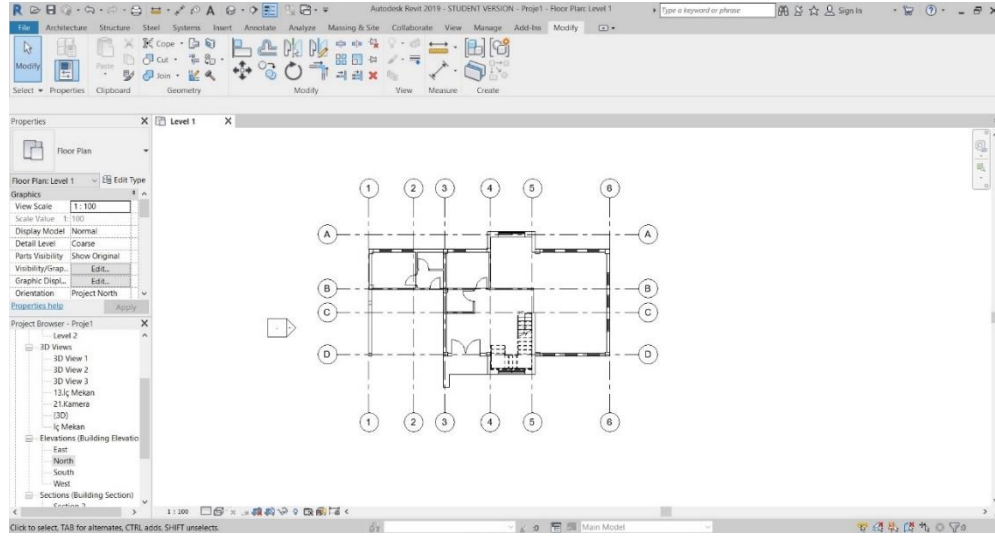
Görsel 3.7. Duvar modelleme

- **Kapı ve pencerelerin oluşturulması**

Kapı ve pencereler architecture sekmesi içerisindeki ‘door’ ve ‘window’ işlevlerini kullanımı ile oluşturulur. Kolon modellemesine benzer şekilde ‘load family’ özelliği kullanılarak önceden oluşturulan kapı veya pencere nesnelerini proje dahil etmek mümkün olup ‘edit properties’ alanından kapı veya pencerenin parametreleri değiştirilebilir (Görsel 3.8).

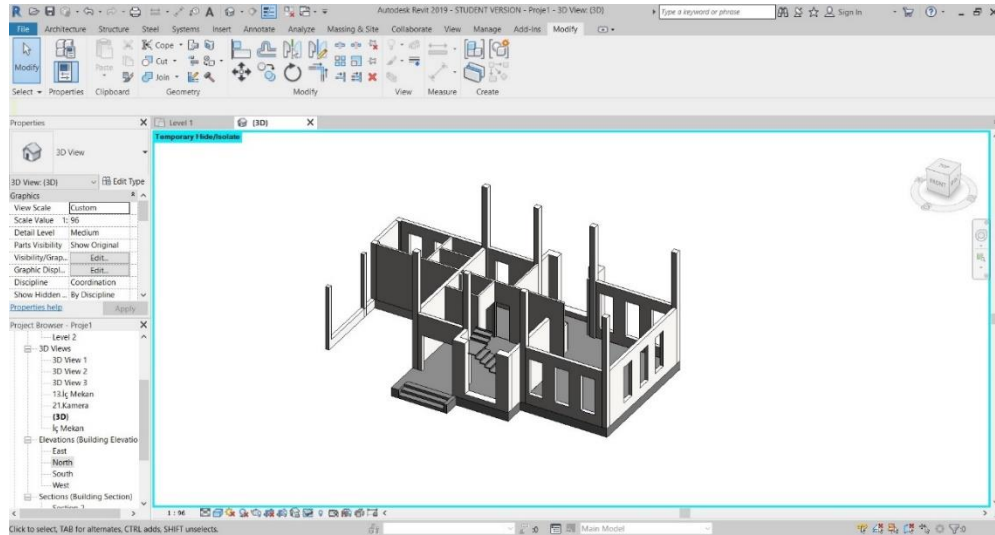


Görsel 3.8. Kapı ve pencere modelleme



Görsel 3.9. Kat planı

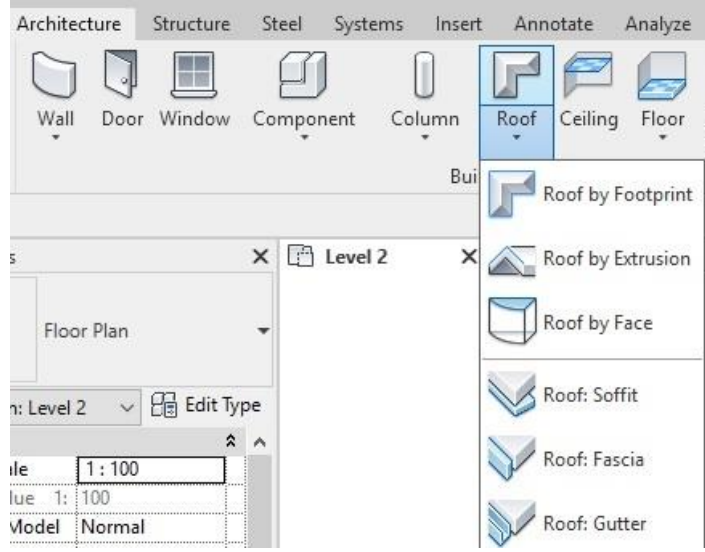
Görsel 3.9’da aks sistemi, kolonları kapı duvar, pencere ve merdivenleri 3 boyutlu olarak modellenmiş yapının zemin kat planı görülmektedir. Görsel 3.10’da ise zemin katın 3 boyutlu hali görülmektedir. Duvarlar üzerinde kapı ve pencere boşlukları oluşmuştur. Duvarların kendi aralarında ve kolonlarla olan teması otomatik olarak sağlanmış olup bunun için ayrıca işlem yapılmamıştır.



Görsel 3.10. 3 Boyutlu görünüm

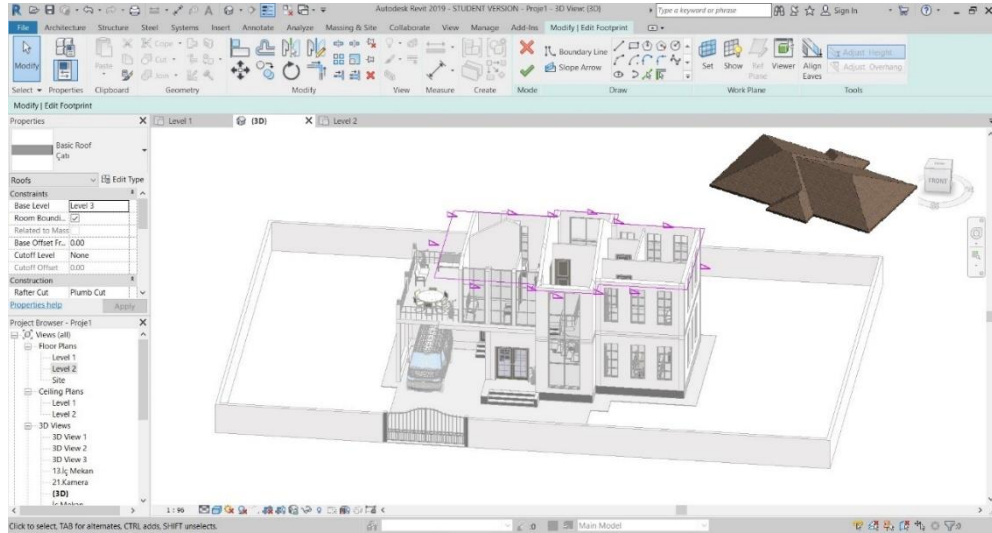
- **Çatı modelleme**

Yapının son katının da modellenmesi bittikten sonra architecture sekmesi içerisindeki ‘roof’ işlevi içerisinde ‘roof by footprint’ seçeneği ile çatı oluşturulması işlemine başlanır (Görsel 3.11).



Görsel 3.11. Çatı modelleme-1

Çatının modelleneceği katın plan düzlemine geçilir. Daha sonra 'roof' işlevi çalıştırılır ve ekranda beliren 'create roof footprint' sekmesi yardımı ile çatının geçeceği hat, eğimler ile diğer parametreler belirlenerek çatının oluşması sağlanır. Revit programı girilen parametreler doğrultusunda çatıyı otomatik olarak oluşturur (Görsel 3.12).

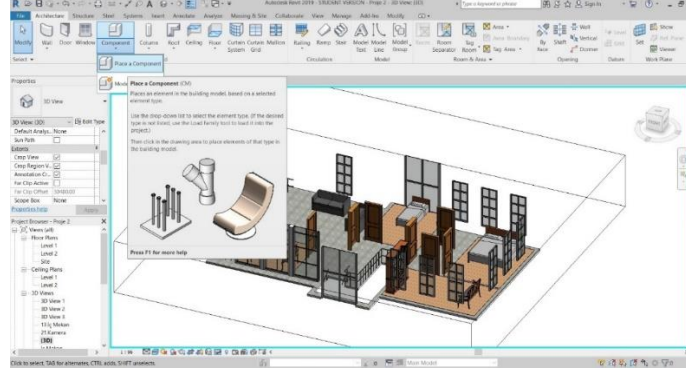


Görsel 3.12. Çatı modelleme-2

- **Tefrişatın eklenmesi**

Revit 'family' kütüphanesinden mobilya, pencere, kapı, beyaz eşya gibi farklı malzemeler seçilerek projeye dahil edilebilir. Bu noktada zengin nesne arşivine sahip olmak projenin gerçeğe yakın modellenmesi açısından avantaj sağlamaktadır. Görsel

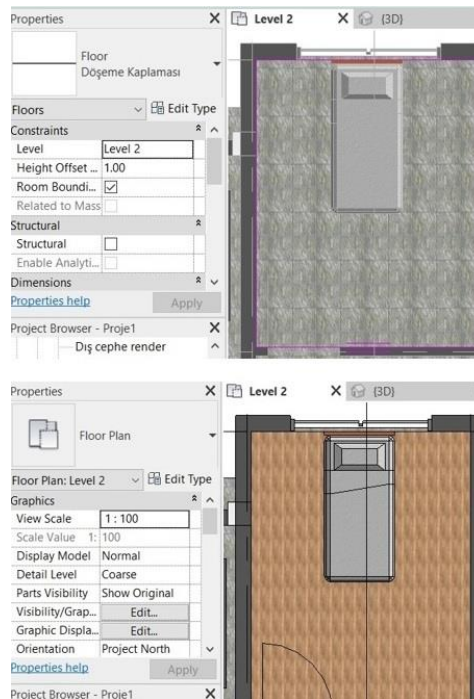
3.13’deki yatak, ikili oturma ve dolap gibi nesneler ‘component’ işlevi ile model içerisine kütüphaneden hazır nesne olarak eklenebileceği gibi ‘model in place’ seçeneği ile serbest modelleme yapılarak yeni nesneler tasarlanabilir.



Görsel 3.13. Hazır nesnelerin projeye eklenmesi

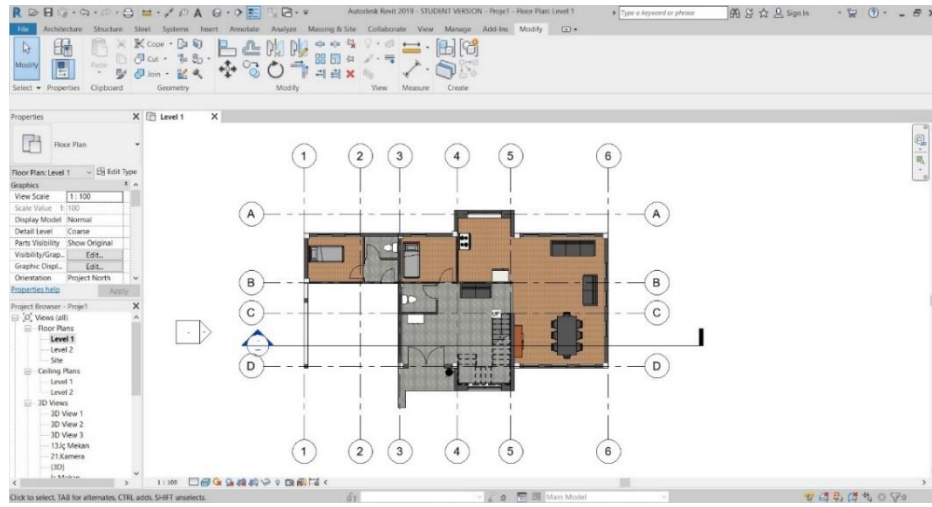
- **Döşeme kaplaması modellenmesi**

Döşeme üzerinde seramik, parke ve mermer gibi çeşitli zemin kaplaması tanımlanabilir. Bu amaçla normal kat döşeme betonu üzerinde ‘floor’ işlevi ile ikinci bir döşeme daha oluşturularak kaplama döşeme kotu üzerinde olacak şekilde modellenir. Görsel 3.14’de parke olacak döşeme kaplamasının yapılacağı mahal ve kalınlığı ‘properties’ alanından, sınırları ise çizim araçları ile belirlenmiştir.



Görsel 3.14. Döşeme kaplaması oluşturulması

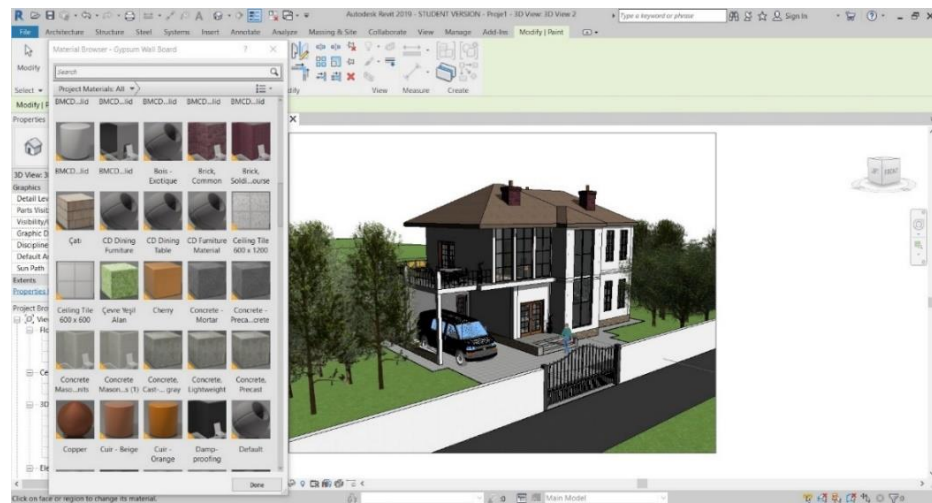
Giriş katta bütün mahallerde parke ve mermer zemin kaplamaları modellenmesi gerçekleştirilmiş olup kat planı üzerinde gösterilmektedir (Görsel 3.15).



Görsel 3.15. Zemin kaplamalarının kat planında gösterilmesi

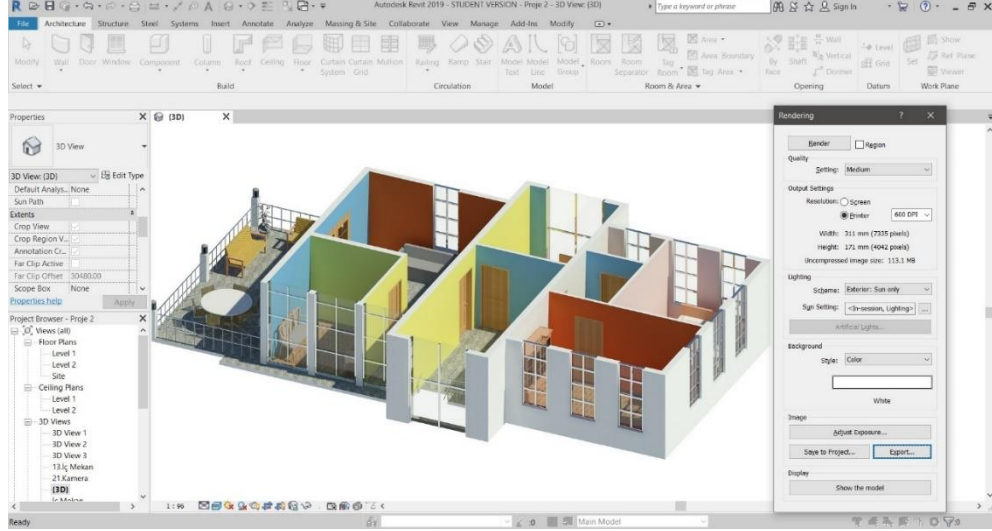
- **Malzeme kütüphanesi ve malzeme atama**

Revit programı içerisinde mermer, seramik, boya gibi yapım işinde kullanılan malzemelerden referans alınarak şablonlar halinde hazırlanmış geniş malzeme kütüphanesi bulunmaktadır. Bu kütüphane içinden seçim yapılmak suretiyle duvar, döşeme gibi proje bileşenlerine malzeme atamaları yapılabilir. Tasarımcı ayrıca ‘create new library’ yardımıyla yeni malzeme kütüphanesi oluşturabilir ve malzeme tanımlaması yapabilir. Görsel 3.16’da çatı, çevre yeşil alan ve asma tavan gibi işler için tanımlanmış malzemeler sol sütunda bulunmaktadır.



Görsel 3.16. Malzeme tanımlanması

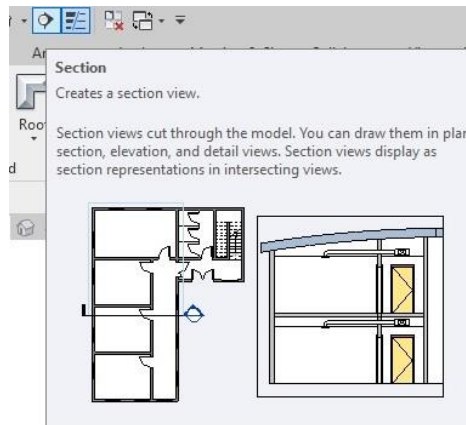
Malzeme kütüphanesinden farklı renkler ve duvarların yüzeyi seçilmiş malzeme ataması yapılmıştır. Görsel 3.17’de farklı renkte boyanmış duvarlar ve döşeme kaplamaları görülmektedir.



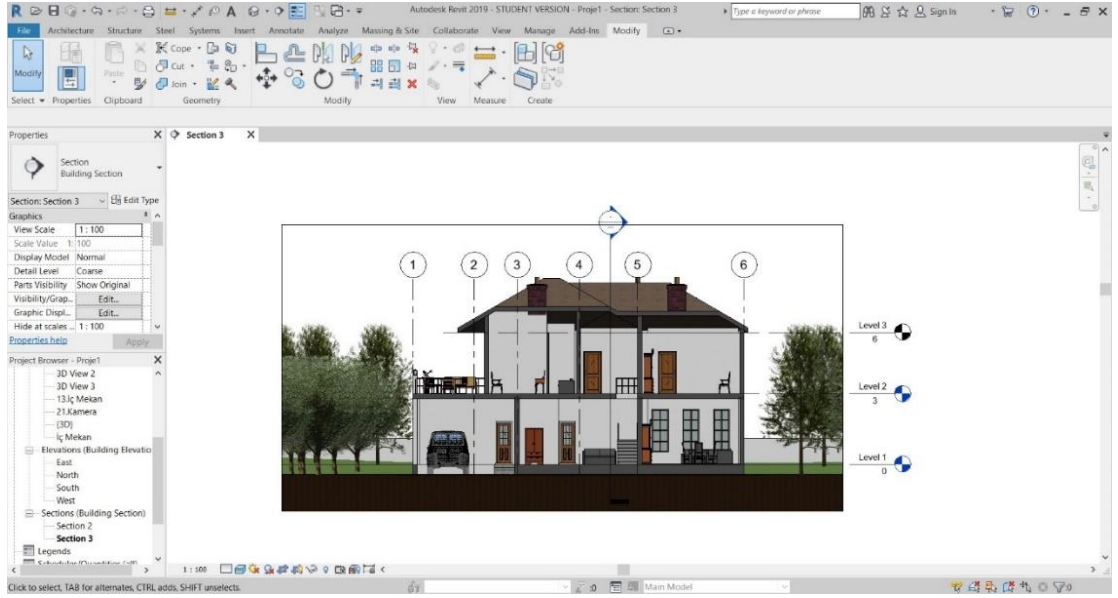
Görsel 3.17. Duvar kaplamaları

- **2 ve 3 Boyutlu kesit alma işlemi**

Plan düzlemi üzerinden ‘section’ komutu kullanılarak Görsel 3.18’deki gibi 2 boyutlu kesit alınabilir, kesit düzleminin yeri ve bakış yönünün değiştirilmesi suretiyle kesit güncellenebilir. Kesit alma işlemi 2 boyutlu çizim programlarında tasarımcı tarafından yapıldığı için hem uzun sürmekte hem de hata yapma ihtimali bulunmaktadır. Bu durum tasarımcının zaman kaybetmesine ve uygulama projelerinde hata yapmasına neden olabilmektedir. Revit ise seçilen noktaya göre hatasız ve görsel açıdan daha zengin kesit alabilmektedir (Görsel 3.19).

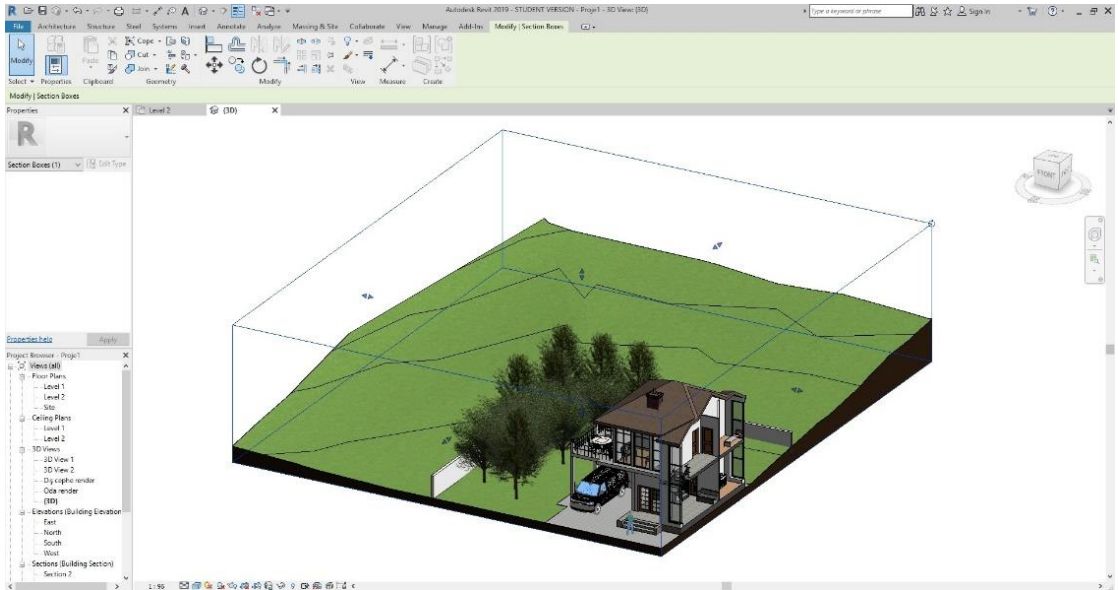


Görsel 3.18. Kesit alınması

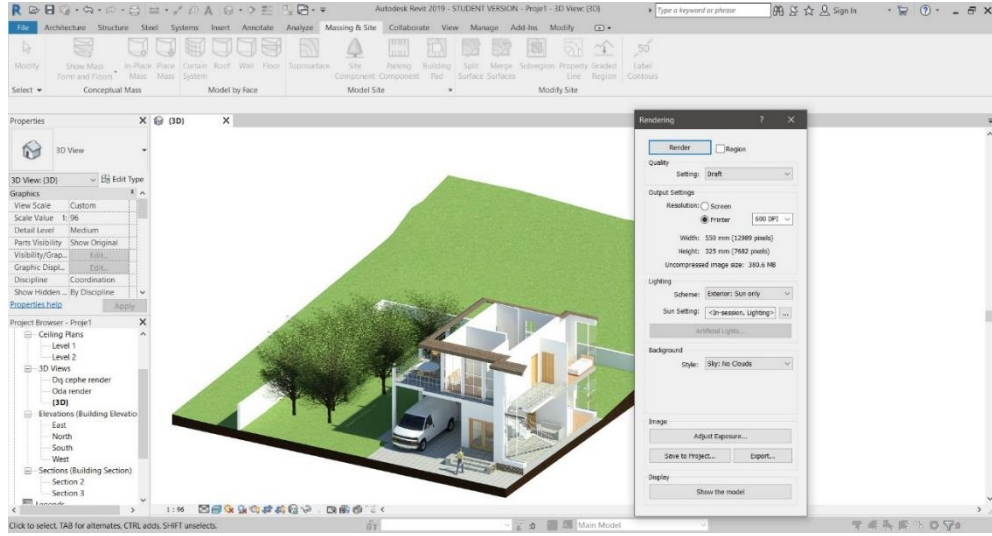


Görsel 3.19. 2 Boyutlu kesit

Revit 3d görünümü üzerinde ‘section box’ işlevi kullanımı ile 3 boyutlu kesitler alınarak, yapı modelinin detayları ve projelerin koordinasyonu incelenebilir. 3d görünümü ekranında ‘properties’ alanı içerisindeki ‘section box’ seçeneği aktif hale getirildiğinde yapının etrafında 3 boyutlu bir küp oluşmaktadır (Görsel 3.20). Bu küpün uçlarındaki mavi oklar hareket ettirildikçe kesit düzlemi ve ona bağlı olarak görünüm de değişir. Dolayısıyla tasarımcı fazla uğraşa girmeden hızlı bir biçimde yapı detaylarını görebilir (Görsel 3.21).



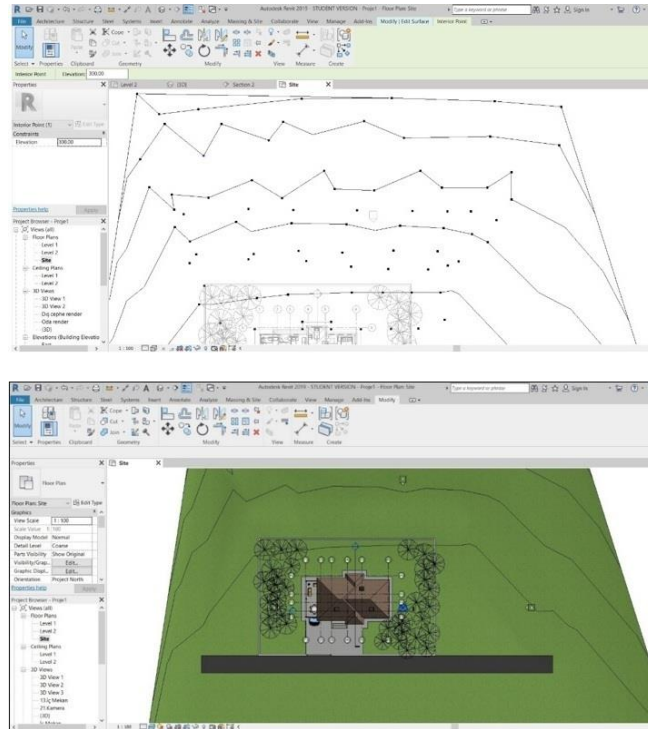
Görsel 3.20. 3 Boyutlu kesit-1



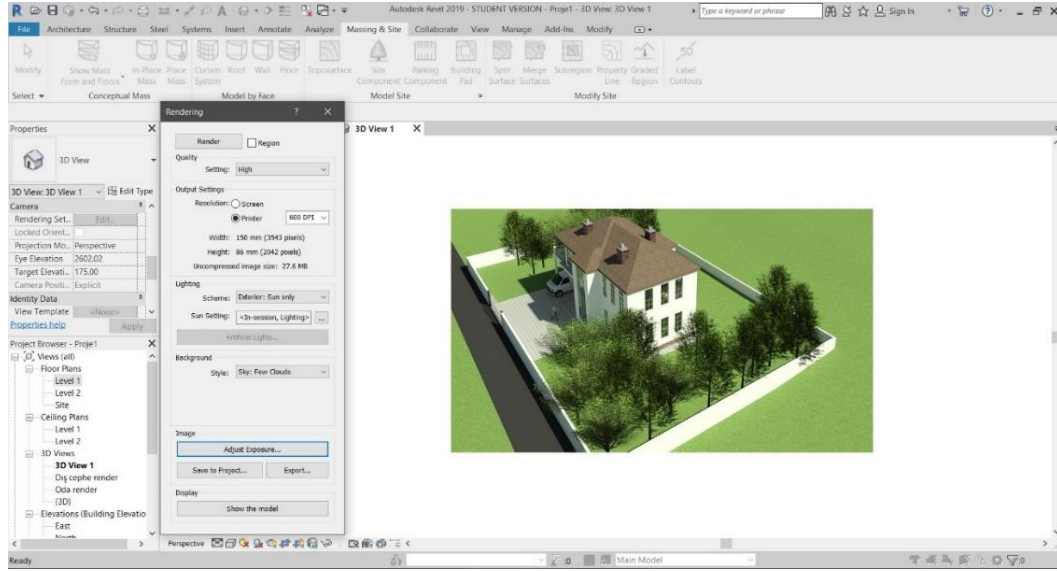
Görsel 3.21. 3 Boyutlu kesit-2

- **Arazi modelleme**

Revit programı arazi modellemeye elverişlidir. ‘Massing&Site’ sekmesi içindeki ‘toposurface’ işlevi kullanılarak, arazinin geçeceği noktalar ve bu noktaların yükseklikleri sırasıyla tarif edilerek arazinin bir nevi izohips haritası oluşturulur (Görsel 3.22). Revit bu harita üzerinden otomatik olarak araziye modeller. Yapı etrafına park alanı, ağaç gibi diğer peyzaj elemanları eklenerek çevre düzeni tamamlanabilir (Görsel 3.23).



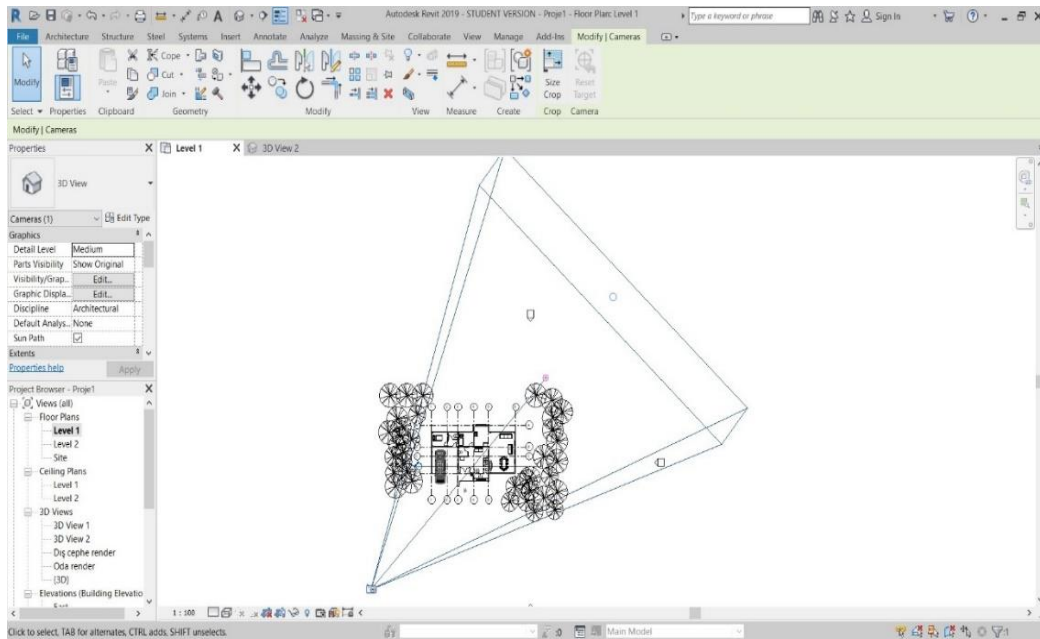
Görsel 3.22. Arazi modelleme



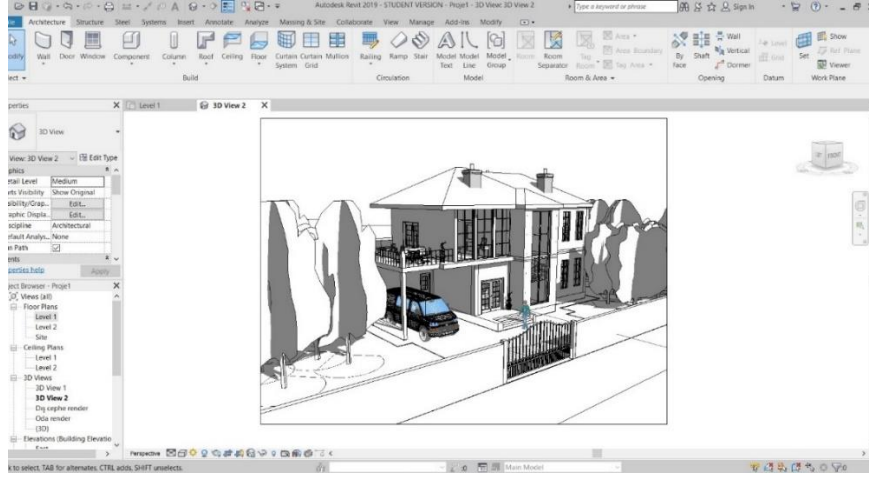
Görsel 3.23. *Yapı ve çevre düzeni*

- **Kamera kullanımı**

Plan düzleminde ya da başka bir görünüşte, 'view' sekmesi içerisindeki kamera işlevi kullanılarak kameranın konumlandırıldığı yer ve görüş açısına göre istenilen bölgeden görüntüler elde edilebilir. Görsel 3.24'deki gibi öncelikle kamera işlevi seçilir ve görülmek istenen alan belirlenerek kamera konumlandırılır. Bu işlem sonucunda ekrana kameranın taradığı alanın görüntüsü gelir (Görsel 3.25).



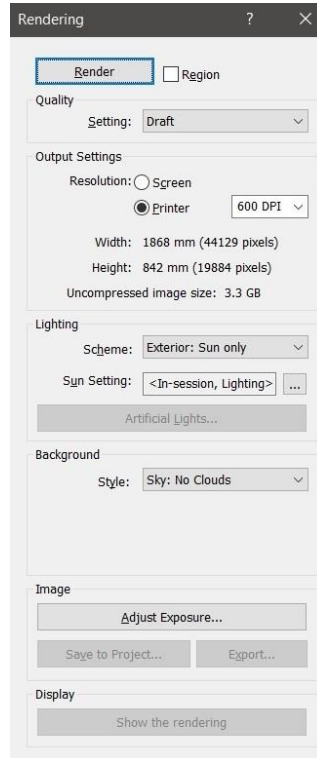
Görsel 3.24. *Kamera kullanımı*



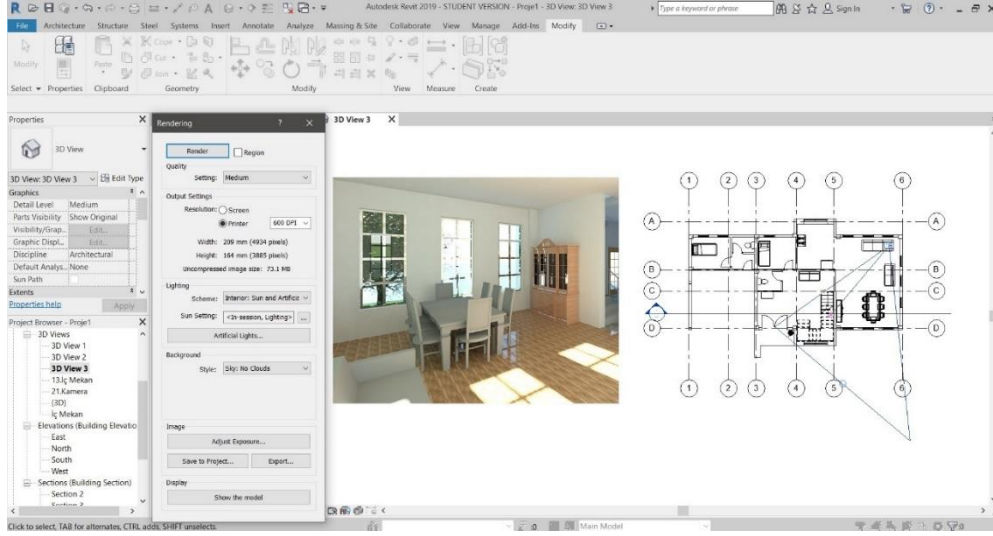
Görsel 3.25. *Kameranın konumuna göre elde edilen görüntü*

• Görselleştirme (render) işlemleri

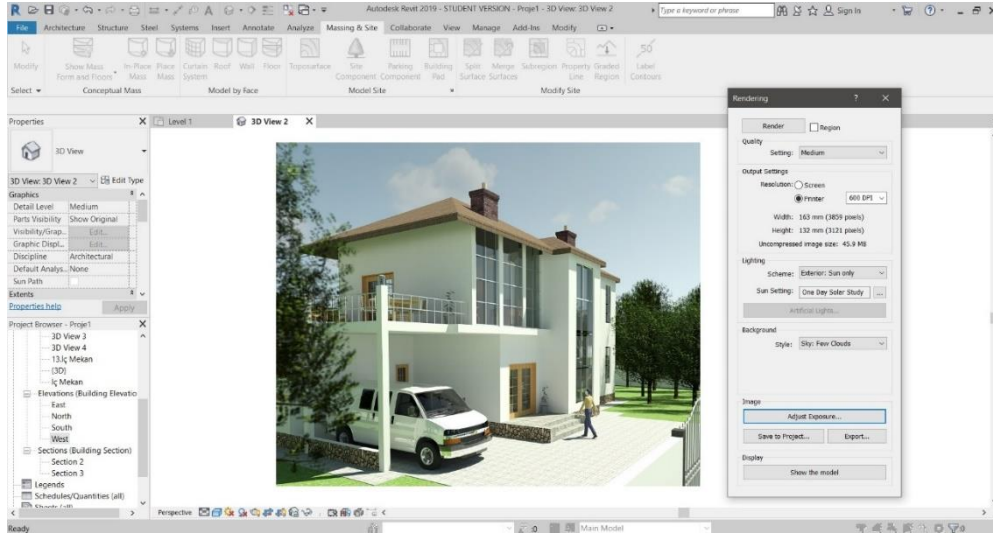
İç mekân görselleştirilmesinde kamera belli bir noktaya konumlandırıldıktan sonra ‘view’ sekmesi ‘render’ işlevi kullanılarak ya da ‘rr’ kısa yol komutu ile ilgili ayarlara geçilir. Bu alanda gün ışığı, resim kalitesi, ışık ve arka alan görünümü gibi parametreler için düzenlemeler yapılarak görselleştirme sağlanır (Görsel 3.26). İç mekân (Görsel 3.27) ve bina çevresinin görselleştirilmesi (Görsel 3.28) aynı aşamaları içermektedir.



Görsel 3.26. *Render (görselleştirme) ayarları*



Görsel 3.27. İç mekân görselleştirme



Görsel 3.28. Bina çevresinin görselleştirilmesi

- **Metraj dosyası**

Revit ile modellenen yapının metrajları alınabilir. ‘Analyze’ sekmesi içerisindeki, ‘schedule/quantities’ işlevi kullanılarak, metraj alınması istenen imalatlar ve ilgili parametreler belirlenir. Örneğin listeden room sekmesi seçilerek odalara ait olan, mahal adı, mahal numarası, kotu, alan, çevre bilgileri kullanımı ile mahal metrajları elde edilebilir. Görsel 3.29’da odaların alanı, çevresi ve kapılarla ilgili metrajlar görülmektedir.

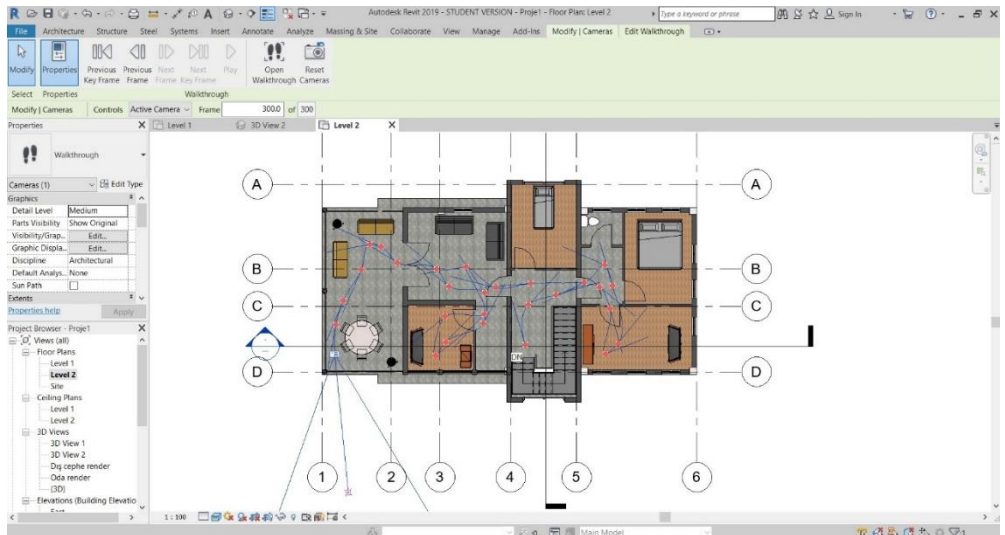
No	Adı	Alan	Çerçe
1	Oda	7 m²	1065
2	Wc	2 m²	587
3	Hol	2 m²	597
4	Oda	7 m²	1077
5	Wc	3 m²	677
10	Oda	21 m²	2275
11	Dinlenme Odası	9 m²	1167
12	Hol	16 m²	1696
13	Oda	11 m²	1317
14	Hol	5 m²	864
15	Wc	3 m²	650
16	Yatak Odası	12 m²	1352
17	Salon	14 m²	1534
18	Salon	35 m²	2398
19	Mutluk	10 m²	1260
20	Giriş Holü	25 m²	2256

Adet	Tip	Genişlik	Yükseklik
1	Kapı 6' 4"	193	213
1	Kapı Dış	81	213
1	Kapı 6' 4"	193	213
1	910 x 2110mm	91	211
1	910 x 2110mm	91	211
1	910 x 2110mm	91	211
1	910 x 2110mm	91	211
1	910 x 2110mm	91	211
1	Kapı Dış	81	213
1	Kapı Dış	81	213
1	Kapı Dış	81	213
1	910 x 2110mm	91	211

Görsel 3.29. Revit metraj dosyası

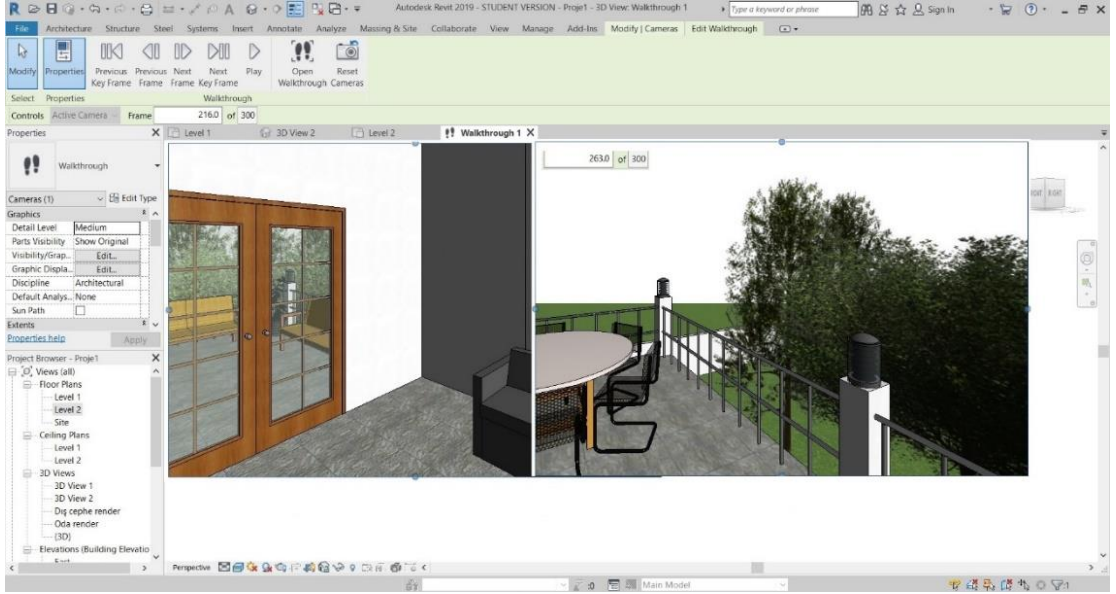
- **Animasyon**

Revit 'walkthrough' özelliği ile modellenen yapı etrafında ve içerisinde belirlenen kamera hattına bağlı olarak yapı dışında veya içinde geziyormuşçasına izleme yapılabilir. Walkthrough özelliğine Revit view menüsü '3d view' kısmından ulaşılarak yapı içinde izlenecek alanlar ve kameranın takip edeceği yol belirlenir (Görsel 3.30).



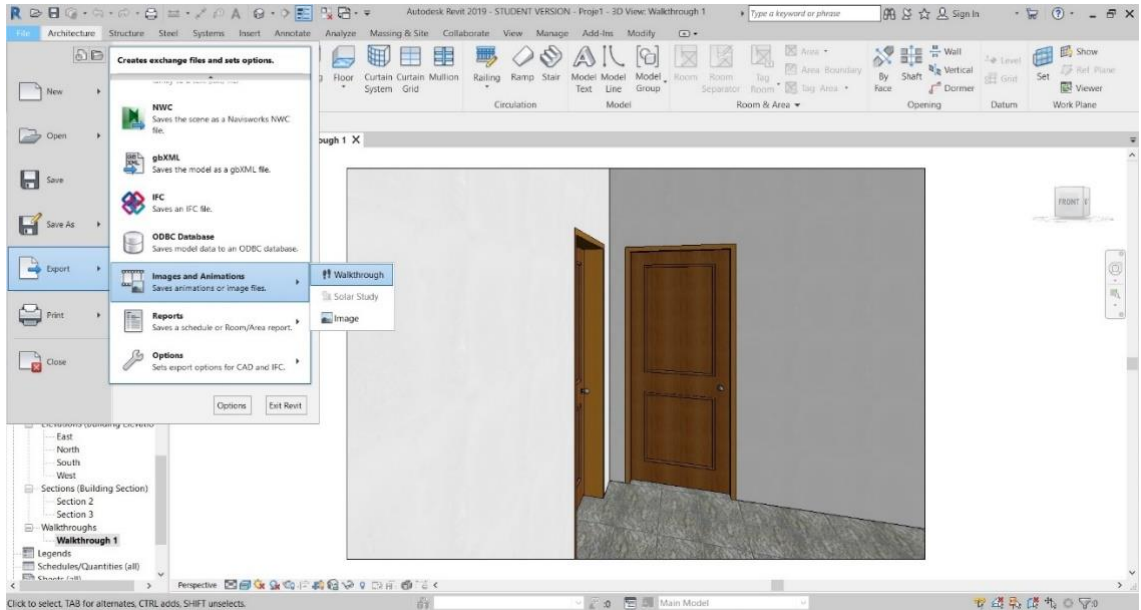
Görsel 3.30. Kamera hattı

Kamera işaretlenen hat üzerinde gezerken bulunduğu noktaya göre görüntüleri kaydeder (Görsel 3.31).



Görsel 3.31. Kamera görüntüleri

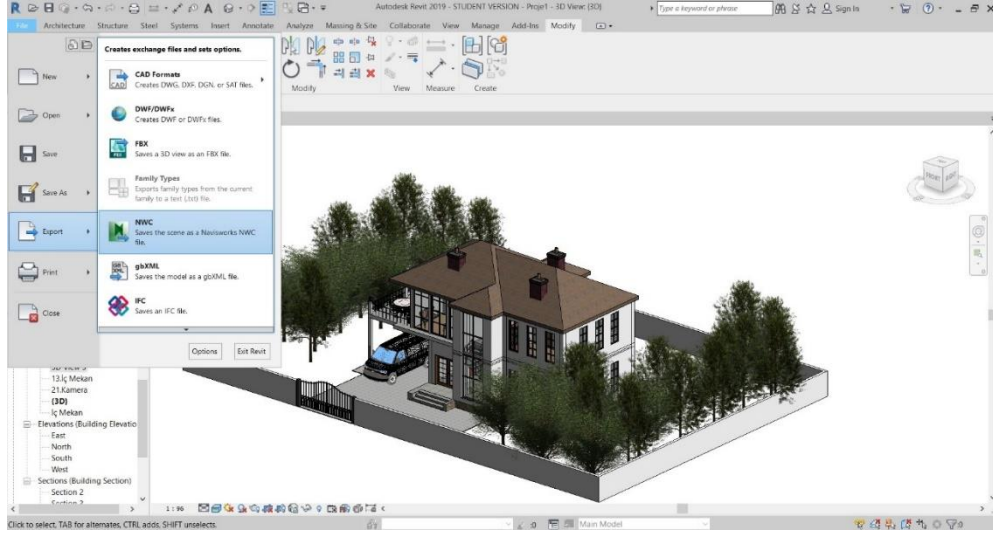
Projelerin walkthrough özelliği ile kaydedilen görüntülerin video biçiminde yayınlanması da mümkündür. Revit kamerasının geçtiği hat üzerindeki bütün görüntüleri toplayarak video biçiminde yayımlayabilir. Projeyi video biçiminde yayımlamak, tasarımcıya yapının detaylarını daha hızlı görme ve ilgililere daha etkin bir sunum yapma kolaylığı sağlayabilir. File menüsündeki ‘export’ (dışa aktarım) seçeneği ile, walkthrough görüntüleri video biçiminde, Revit programına ihtiyaç duyulmadan izlemek için dışa aktarılabilir (Görsel 3.32).



Görsel 3.32. Görüntülerin video biçiminde kaydedilmesi

- **Revit verilerinin farklı uzantılı dosyalara dönüştürülmesi**

Revit programı ile yapı modellendikten sonra, YBM içerisinde yapım ve maliyet simülasyonu amacı ile kullanılan Autodesk Navisworks programında açılmak üzere dışarı aktarılabilir. Görsel 3.33’de dışa aktarılan proje yapım simülasyonu, zaman ve maliyet ilişkisinin gözlenmemesi amacıyla Navisworks ortamında 5D model içerisinde kullanılabilir.



Görsel 3.33. Revit projesinin dışa aktarımı

Revit programı ile ilgili genel bir değerlendirme yapılacak olursa aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir.

- Tek başına proje hazırlama ve modelleme için tercih edilebilir.
- YBM içerisinde kullanılabilir. Revit içinde modellenen her nesne aynı zamanda yapının bir parçası olarak değerlendirilir. Yapım simülasyonu ve maliyet atama açısından bu özellik avantaj sağlar.
- 3 boyutlu modelleme için elverişlidir. Aynı proje ile 2 ve 3 boyutlu çizimler alınabilir.
- Mimari ve diğer disiplinlere ait projeler hazırlanabilir
- Projeyi bir bütün olarak saklar. Bir nesnenin bir kere modellenmesi yeterli olup, nesne görünüş, kesit, detay, metraj gibi gerekli olduğu alanlarda kullanılabilir. Her durum ayrı bir çalışma gerektirmez. Revit nesneyi durumun gerektirdiği veriye dönüştürür. Tasarımcıyı iş yükünden kurtarabilir.

- Öğrenilmesi zor olmayan bir programdır. İnternette yazılı ve görsel kaynak bulunabilir.
- Hazır nesneler internette bulunabilir fakat bu nesnelerin belli standartları bulunmamaktadır.
- Görselleştirme ve sunum imkanları vardır.
- Autodesk firmasının diğer programları ile uyumlu çalışır.

3.3. Primavera

Oracle firmasınınca üretilen Primavera mühendislik, inşaat ve savunma sanayi gibi alanlarda kullanılabilen proje planlama ve kontrol programıdır (http-34). İnşaat projeleri yönetiminde Primavera ile proje planlama, iş programı, maliyet hesabı, kaynak yönetimi, performans takibi ve raporlama gibi işlemler yapılabilmektedir. İlk olarak 1983 yılında Primavera Project Planner P3 adıyla üretilen programın son sürümü ise P6 versiyonudur (http-35). İnşaat sektörü proje yönetiminde çalışan profesyonellerin çoğu gelişmiş özelliklere sahip olması nedeniyle Primavera'yı tercih etmektedir (Liberatore vd., 2001). Nagaraju and Kumar (2016) planlama ve kaynakların etkin kullanılmasının inşaat projesinin zamanında tamamlanması üzerindeki rolünü incelemek için Hindistan'da metro hattı inşaatı sırasında yaptıkları çalışmada, proje yönetimi ve planlama konusunda Primavera P6 yazılımının gerekliliği ve etkinliği hakkında olumlu sonuçlara ulaşmışlardır. Villa inşaatı sırasında yapılan başka bir çalışmada ise Primavera P6'nın programlama, izleme ve kontrol için etkili bir yazılım olduğu görülmüştür (Ahmed vd., 2017). Yapılan literatür taramasında Primavera'nın inşaat sektöründe profesyoneller tarafından tercih edildiği ve proje yönetimi konusunda etkili bir program olduğu görülmektedir. Primavera verileri Ms Excel yardımıyla Navisworks programına aktarılabilir. Gelişmiş bir program olması ve planlama verilerinin Navisworks programına aktarılabilmesi özellikleri nedeniyle bu çalışmada Primavera kullanımı tercih edilmiştir. Bu bölümde Primavera kullanımını açıklayabilmek amacıyla, Revit programında modellenen Görsel 3.33'deki iki katlı villanın inşaatına ait kısa bir iş programı oluşturulmuştur. Proje ve aktivite oluşturulması, takibi, maliyet ve zaman ilişkisi gösterilmiştir. Primavera kullanımından önce inşaat sektöründe sıklıkla karşılaşılan proje, proje yönetimi, iş programı ve planlama gibi bazı temel kavramları açıklamak uygun olacaktır.

3.3.1. Proje ve proje yönetimi

Belirlenmiş başlangıç ve bitiş tarihi, değişiklik yaratma amacı, kapsamı, bütçesi, uygulama alanı, kendisine özel kaynakları olan ve çeşitli aktivitelerin belirli sıralar ile yürütülmesine ihtiyaç duyan tasarıya proje denilmektedir (Alpay, 2007). Projeler sonuç, bütçe ve zaman gibi üç kısıtlama altında yapılan çalışmalardır. Tüm yönetim işlevleri bu kısıtlamalar altında yürütülür. Bu çalışmaların, bir bütçe dahilinde ve sınırlı zaman içinde yapıp planlamasını öngörür (Albayrak, 2001, s. 5). İnşaat projeleri ise uygulama alanı, amacı, bütçesi, süresi ve kendisine özel kaynakları olan bina, köprü, otoyol, baraj gibi yapım işleri olarak tanımlanabilir. İnşaat projeleri de diğer projeler gibi temelde bütçe, zaman ve sonuç odaklı olarak yürütülmesi gereken projelerdir. İnşaat projelerinin hedeflenen amaca ulaşabilmesi için proje yönetimine ihtiyacı vardır. Proje yönetimi ise performans, maliyet ve zaman hedeflerine ulaşabilmek için eldeki kaynakları en verimli şekilde programlama ve proje aktivitelerini kontrol etme sürecidir. Bu üç amaca kaynakların verimli ve etkili kullanımıyla ulaşılabilir. Proje yönetiminde başarı kriterleri olarak gösterilen maliyet, kalite, zaman ve kapsam faktörleri ise birbirine bağlı değişkenlerdir (Alpay, 2007). Proje yönetimi ile inşaat işi sırasında yürütülen aktivitelerden elde edilecek sonucun tahmin edilmesi ve bu amaçla denetimler yapılması sağlanır. Proje yönetimi gereksinimleri karşılayabilmek amacıyla faaliyetlere bilgi, beceri, çeşitli araç ve tekniklerin uygulanmasını içerir. Başlatma, planlama, yürütme, izleme-kontrol ve kapanış olarak 5 temel aşamadan oluşan proje yönetiminin başarısını belirlemede ve hedeflere ulaşıp ulaşılmadığının incelenmesinde kullanılan bilgi alanları şunlardır.

- Proje entegrasyon yönetimi
- Proje kapsam yönetimi
- Proje zaman yönetimi
- Proje maliyet yönetimi
- Proje kalite yönetimi
- Proje insan kaynakları yönetimi
- Proje iletişim yönetimi
- Proje risk yönetimi
- Proje tedarik yönetimi
- Proje paydaş yönetimi (PMI, 2013).

Tipik bir inşaat proje yönetiminin temel bileşenlerini Özlük (2018, s. 123) şunlar olarak ifade etmiştir.

- Projenin tanımı
- İş programı
- Kalite yönetimi
- Proje dokümanları (evrakları) listesi
- Proje organizasyon şeması ve personel (istihdam) planı
- Ekip üyelerinin görev, sorumluluk ve yetkileri
- Proje bütçesi / iş analizi (program yapısı)
- Çevresel ve arkeolojik koşullar
- Proje prosedürleri el kitabına göndermeler
- Yönetim bilgi sistemi
- İletişim (haberleşme) protokolü
- Sözleşme (iş) kapsamı ve iş verme (sözleşme) stratejileri
- Sahaya yerleşme ve şantiye planı

3.3.2. İş programı ve planlama

İş programı bir işin optimum süre ve maliyette nasıl yapılacağını planlamak için, işin birbirinden bağımsız en küçük parçalarına bölünmesi ve ardından birbiri ile bağımlı ve bağımsız olan küçük faaliyetlerin sıralanarak nasıl yapılacağını planlanmasıdır (http-36). İş Programı hazırlanırken ve iş sürdürülürken gösterilecek titizlik projenin maliyet, kaynak ve zaman kaybına uğramamasında dolayısıyla başarıya ulaşmasında en önemli faktördür. İnşaat projelerinde hazırlanacak olan bir iş programının uygulama aşamaları başlıklar halinde şu şekilde sıralanabilir.

- Planlama
- Maliyetin belirlenmesi
- Zaman Analizi
- Kaynakların tespiti ve analizi
- Sürecin kontrol edilmesi
- Raporlama ve Sunumlar (Alpay, 2007).

Planlama ise gerçekleştirilmek istenen bir proje için küçük küçük hedefler oluşturarak, kâğıt üzerinde hazırlanan tahminler topluluğudur. Teklif çalışmaları ile

çıkarılan maliyet bütçesi ile başlayan, projenin teslim edilip kapanmasıyla tamamlanan süreçtir (Baydar, 2013, s. 1).

3.3.3. İş programı hazırlama yöntemleri

İş programı hazırlama amacıyla kullanılan yöntemler şunlardır.

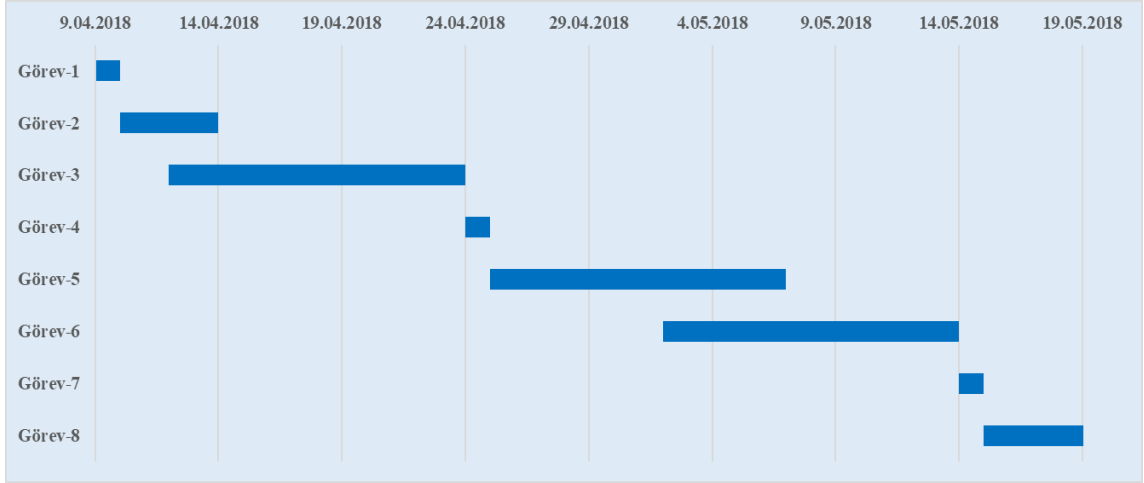
- Gantt (Çubuk) Diyagramları
- Kritik Yol Metodu (CPM - Critical Path Method)
- Ağ (Şebeke) Diyagramları
- Devre Diyagramları
- Pert Metodu

İş programları yalnızca Çubuk (Gantt) diyagramlar şeklinde düzenlenmektedir. Şebeke bazlı ağ diyagramları, bugün büyük işlerde özellikle tercih edilmektedir. Kritik yol metodu, Pert ya da Gert tipi ağ diyagramları ile; iş kalemleri arasındaki ilişkileri daha detaylı görmek, kritik işleri ve kritik yörüngeyi daha dikkatli kontrol etmek, süre sıkıştırmalarında ve kaynak dağıtımlarında optimum çözümler sağlamak, olasılık hesaplarını içeren programlamalar yapmak mümkün olmaktadır (Uğur, 2012, s. 137). Bu bölümde çalışmanın konusu içerisinde olmaları nedeniyle Gantt (çubuk) diyagramları ve kritik yol metodu üzerinde durulmaktadır.

3.3.3.1. *Gantt (çubuk) diyagramı*

Çubuk yöntem ile iş programlaması, ilk kez 20.yüzyılın başında Henry L. Gantt tarafından kullanılmış olduğundan, bu programlama yöntemi “Gantt Şeması” olarak da anılmaktadır. Çubuk yöntem, inşaat sektöründe halen en yaygın kullanılan programlama yöntemlerindendir (Öcal ve Pancarcı, 2014, s. 132).

Bu yöntemde ilk önce yapılacak işler belirlenir ve düşey sütunda sırası ile yazılır. Daha sonra yatay hat üzerinde gün, hafta ya da ay olarak zaman dilimleri oluşturulur. Her işe denk gelen gerçekleştirme süresi ve zamanlar grafik alanında çizilerek çubuklar meydana getirilir. Her çubuk iş programında bir görevin başlangıç tarihini, bitiş tarihini ve gerçekleştirme süresini gösterir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Gantt (Çubuk) diyagramı

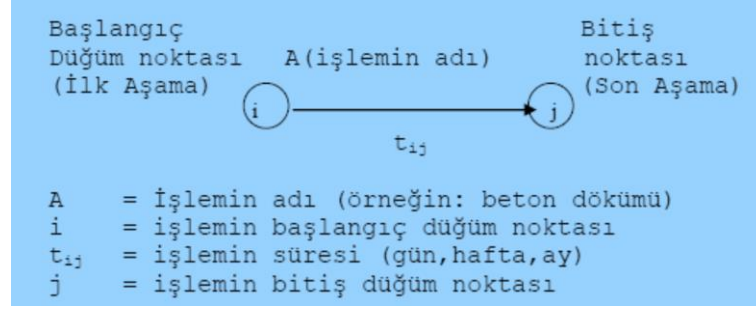
Gantt diyagramı iş programı yapımında uzun zamandır ve çoğunlukla kullanılan bir yöntemdir. Primavera ve Ms Project gibi iş programı yapılan yazılımlarda gösterimde genelde bu yöntem kullanılır. Aktivite sayısı artınca kontrol edilmesi güçleşen bu yöntemin, sınırlı sayıda aktivite olduğu zaman pratik yararları ve sakıncaları ise şunlardır.

- Oluşturulması kolaydır.
- Görsel olarak rahatlıkla izlenebilir.
- Gelişimin izlenmesi kolaydır.
- Aktivite sayısı arttıkça kontrol edilmesi güçleşir.
- Aktiviteler arası ilişkiler net değildir ve yoruma açıktır (Kuruoğlu, 2002, s. 12).

3.3.3.2. Kritik yol metodu

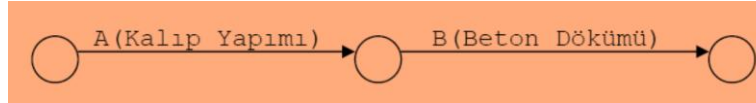
Kritik yol metodu projenin toplam süresini tahmin etmekte kullanılan bir ağ analizidir. Amaç projenin en kısa sürede sona ermesidir. Bir proje için kritik yol, en kısa tamamlanma süresini hesaplayan etkinlik serisidir (Elmas ve Elmas, 2018, s. 122). Kritik yol metodunda projenin tamamlanabilmesi için yürütülecek faaliyetlerin sırası ve süreleri arasındaki ilişkiler yönetilir. Kritik yol, en erken ve en geç zamanları aynı olan tüm düğüm noktalarını bağlayan yoldur. Her ağ planının, başlangıç düğümü ile başlayan ve hedef düğümünde biten en az bir kritik yolu vardır. Kritik yol üzerinde bulunan işlemlerin sürelerinin toplamı proje süresini verir. Projenin uygulanmasında, kritik bir işlemin gerçek süresi öngörülen süreyi aşarsa projenin toplam süresi de uzar (Albayrak, 2001, s. 318).

Bu yöntemde herhangi bir aktivite (faaliyet, görev, işlem) görsel gibi tanımlanır. Her aktivitenin başladığı, bittiği bir nokta ve süresi vardır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kritik yol metodunda faaliyetlerin gösterimi

Zaman ve kaynak harcayan kazı, kalıp ve beton dökümü gibi işlemlere gerçek işlemler, boyanın kuruması gibi yalnızca zaman harcayan işlemlere suni işlemler, zaman ve kaynak harcamayan işlemlere gerçek dışı, kukla ya da hayali işlemler denir. Bu metotta faaliyetler arasındaki temel ilişki, bir faaliyet bittikten sonra diğer faaliyet ya da faaliyetlerin başlayabileceği, başka bir deyişle son-baş ilişkisidir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kritik yol metodunda aktivitelerin ilişkisi

Kalıp yapım işi bitmeden, beton dökümü işleminin yapılamayacağını gösteren bitiş ve başlangıç ilişkisi görülmektedir. Bu ilişki, inşaat sahasında yapılan işlerin yürütülmesinde belli bir mantığın izlenmesi gerekliliğini göstermektedir (http-37) .

3.3.4. Primavera P6 kullanımı

Primavera SQL, Oracle ve SQL Server Express sunucu veri tabanlarına dayalı kapsamlı, çok amaçlı planlama ve kontrol yazılımıdır (Oracle, 2009).



Şekil 3.6. Primavera logo

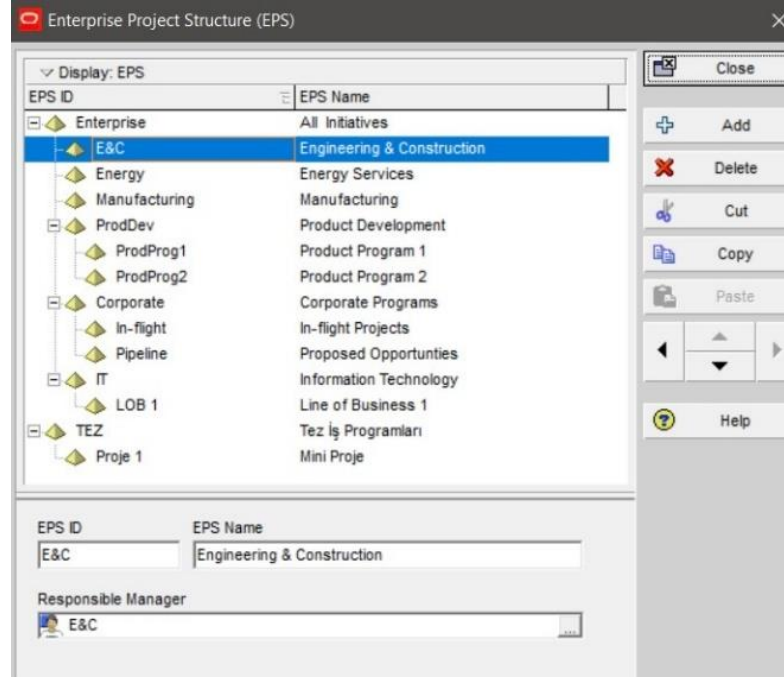
Primavera programı ile inşaat projelerinde, iş programı, kaynak yönetimi, maliyet hesabı, aktivitelerin takibi, zaman yönetimi, verilerin sunumu, raporlama gibi işler yapılabilir (Şekil 3.6). Primavera büyük ölçekli işlerde aşağıda belirtilen başlıca konularda kullanılmaktadır.

- Bir ya da birden çok projenin kolaylıkla görüntülenmesi, denetlenmesi
- Projelerin alt gruplara bölünerek kolaylıkla takip edilmesi
- Kurumsal yapı içinde sorumlu kişilerin belirlenmesi, organizasyon şemasının hazırlanması
- İş programının hazırlanması ve farklı alternatiflerdeki sonuçların karşılaştırılması
- Proje bütçesinin hazırlanması, hedeflenen ile gerçekleşenin her aşamada karşılaştırılması
- Kaynakların (makine, işçilik, malzeme, taşeronlar vs) miktarının belirlenmesi ve zamanında tedarik edilmesi
- Aktivitelerin takip edilmesi, bütçe ve gerçekleşen maliyetlerin karşılaştırılması
- Tüm belge yönetimin kolaylıkla yürütülmesi
- İzleme işlemleri
- Rapor ve çıktı alınması (Aşar, 2016, s. 1)

Primavera programında oluşturulacak projenin genel yapısı ve iş programında izlenecek adımlar sırası ile şu şekildedir.

- **Enterprise project structure (EPS) yani kurumsal proje yapısı**

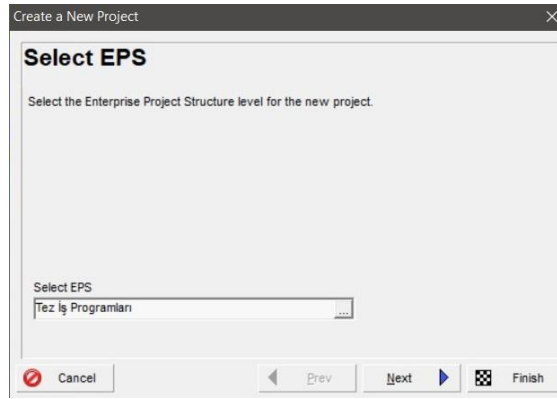
Bu kısım bir nevi firmaların organizasyon yapılarının, projelerin oluşturulduğu ve sorumlu kişilerin (responsible manager) ve yöneticilerin belirlendiği bölümdür. Bu arayüzdeki proje türleri, sorumlular gibi bilgilerin firmaların kurumsal yapısı ile uyumlu olması gerekmektedir. Enterprise sekmesi içerisindeki “EPS” komutu ile bu arayüze ulaşılır ve projenin firma organizasyonundaki yerini ve sorumlusunu belirlemek için gerekli düzenlemeler yapılır (Görsel 3.34).



Görsel 3.34. Primavera kurumsal proje yapısı

- **Projenin Oluşturulması**

Enterprise sekmesi içerisindeki “Project” komutu ile bu arayüze ulaşılır ve gerekli düzenlemeler yapılır (Görsel 3.35). EPS arayüzünden yeni projenin kurumsal proje yapısındaki yeri seçilir.



Görsel 3.35. Yeni projenin organizasyondaki yerinin belirlenmesi

Görsel 3.36’deki arayüzden proje kodu ve adı belirlendikten sonra tarih ayarlarının yapılmasına geçilir.

Görsel 3.36. *Yeni proje oluşturulması*

Bu aşamada organizasyon yapısındaki yeri belirlenen projenin kimliği ile proje adı belirlendikten sonra başlangıç ve bitiş tarihleri girilir (Görsel 3.37). Bitiş tarihinin girilmesi zorunlu değildir. İlerleyen süreçte de yazılabilir.

Görsel 3.37. *Yeni proje başlangıç ve bitiş tarihleri belirlenmesi*

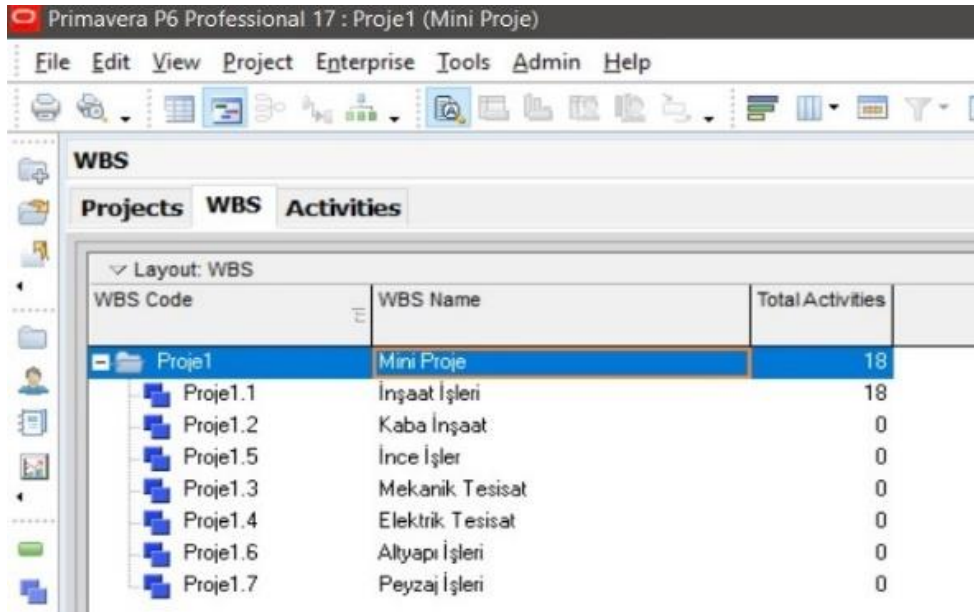
- **Projeden sorumlu yöneticinin belirlenmesi**

Bu aşamada seçilen sorumlu yönetici, proje için belirlenen organizasyon yapısı içerisinde en üst noktasında bulunacak ve projeyi yönetecektir (Görsel 3.38).

Görsel 3.38. *Yeni projeye sorumlu kişi atama*

- **İş dökümü yapısı ya da iş kırılım yapısı (Work breakdown structure, WBS) oluşturulması**

Projenin planlama aşamasının en önemli bölümünü iş kırılım yapısı oluşturur. İş kırılım yapısı bir projedeki genellikle görev düzeylerine göre düzenlenmiş tüm görevlerin bir kümesidir. Bu bazen bir ağaç şeklinde ifade edilebildiği gibi bazen de bir örgüt şeması biçiminde düzenlenebilir. Burada amaç maliyet ve zaman tahmini, kaynak tahsisi ve izleme ve kontrol sistemlerinin daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmesidir (Ersoy, 2014, s. 62). Burada yapılan işlem projede gerçekleştirilecek olan aktivitelerin, kaba inşaat, mekanik tesisat işleri, ince işler gibi genel başlıklarının belirlenmesidir. İş dökümü yapısı oluşturmada en önemli nokta proje kapsamında gerçekleştirilecek bütün işler için başlıkların yeterli olmasıdır. Projeyi organize etmek ve boyutunu görmek açısından önemlidir (Görsel 3.39).



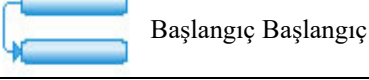
WBS Code	WBS Name	Total Activities
Proj1	Mini Proje	18
Proj1.1	İnşaat İşleri	18
Proj1.2	Kaba İnşaat	0
Proj1.5	İnce İşler	0
Proj1.3	Mekanik Tesisat	0
Proj1.4	Elektrik Tesisat	0
Proj1.6	Altyapı İşleri	0
Proj1.7	Peyzaj İşleri	0

Görsel 3.39. Primavera programında iş kırılım yapısı

- **Aktivitelerin oluşturulması**

İş programı yapılırken yapım sürecindeki mantık sırası takip edilir. Örneğin kaba inşaat içerisindeki imalatlardan biri olan beton dökümü işinden önce, kalıp ve demir işlerinin bitirilmesi gerekir. Bu durum iş programına benzer mantık ile yansıtılır. İnşaat projelerinde yürütülen aktiviteler arasındaki ilişkilerin tanımlanması ise Tablo 3.2'deki gibidir. Primavera ile iş programı yapılırken aktiviteler arasındaki bu ilişkilerin dikkate alınması projenin süresinin uzamaması açısından önemlidir.

Tablo 3.2. Aktivite ilişkileri

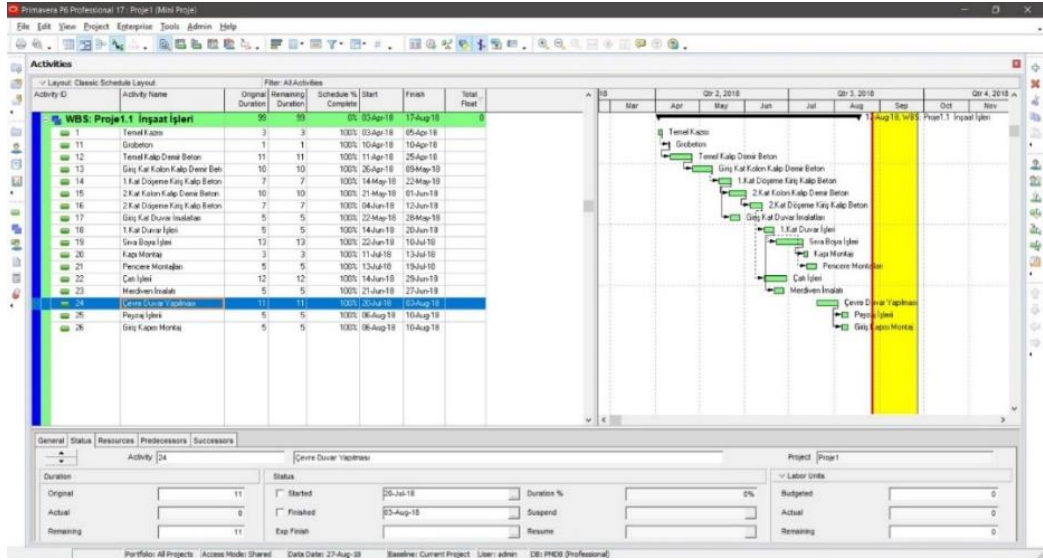
	Örnek: Beton imalatından sonra kalıp sökümü
	Örnek: Belirli miktar sıva işinden sonra boyanın başlaması
	Örnek: Beton dökümünden önce kalıp ve demir işinin eş zamanlı bitişi
	Örnek: Belirli bir işten önce bitirilmesi gereken başka bir iş

Görsel 3.40'daki arayüzden aktivite adları ve kodları girilerek iş programına ait bütün aktiviteler tanımlanır.



Görsel 3.40. Aktivitelerin oluşturulması

Görsel 3.41'de Revit programı ile modellenen villanın, Primavera programında detaya girilmeden hazırlanan iş programı, aktiviteler ve aralarındaki ilişkiler görülmektedir. Aktivitelerin oluşturulmasında belirli mantık bağlamı ve ilişkiler dikkate alınmıştır. Örneğin grobeton imalatı bittikten sonra, temel kalıbı, demir ve beton işlerinin başlaması.



Görsel 3.41. Villa inşaatı aktiviteleri

- Aktivite bütçelerinin atanması

Bütçeler her aktivite için malzeme, işçilik, ekipman ve diğer giderler toplamı olarak ‘budgeted total cost’ sekmesine değerleri yazılarak kaydedilmiştir (Görsel 3.42).

Activity ID	Activity Name	Original Duration	Remaining Duration	Start	Finish	Budgeted Total Cost
WBS: Proje1.1 İnşaat İşleri						
1	Temel Kazısı	3	3	03-Apr-18	05-Apr-18	\$5,000.00
11	Grobeton	1	1	10-Apr-18	10-Apr-18	\$1,500.00
12	Temel Kalıp Demir Beton	11	11	11-Apr-18	25-Apr-18	\$15,000.00
13	Giriş Kat Kolon Kalıp Demir Beton	10	10	26-Apr-18	09-May-18	\$15,000.00
14	1.Kat Döşeme Kiriş Kalıp Beton	7	7	14-May-18	22-May-18	\$15,000.00
15	2.Kat Kolon Kalıp Demir Beton	10	10	21-May-18	01-Jun-18	\$15,000.00
16	2.Kat Döşeme Kiriş Kalıp Beton	7	7	04-Jul-18	12-Jul-18	\$15,000.00
17	Giriş Kat Duvar İmalatları	5	5	22-May-18	28-May-18	\$3,500.00
18	1.Kat Duvar İşleri	5	5	14-Jun-18	20-Jun-18	\$1,500.00
19	Sıva Boya İşleri	13	13	22-Jun-18	10-Jul-18	\$2,000.00
20	Kapı Montajı	3	3	11-Jul-18	13-Jul-18	\$1,500.00
21	Pencere Montajları	5	5	13-Jul-18	19-Jul-18	\$1,500.00
22	Çatı İşleri	12	12	14-Jun-18	29-Jun-18	\$12,500.00
23	Merdiven İmalatı	5	5	21-Jun-18	27-Jun-18	\$6,500.00
24	Çevre Duvar Yapılması	11	11	20-Jul-18	03-Aug-18	\$5,500.00
25	Peyzaj İşleri	5	5	06-Aug-18	10-Aug-18	\$4,000.00
26	Giriş Kapısı Montajı	5	5	06-Aug-18	10-Aug-18	\$2,500.00
27	Vitrifiye ve Tefrişat	5	5	13-Aug-18	17-Aug-18	\$2,500.00
WBS: Proje1.2 Kaba İnşaat						
		0	0			\$0.00

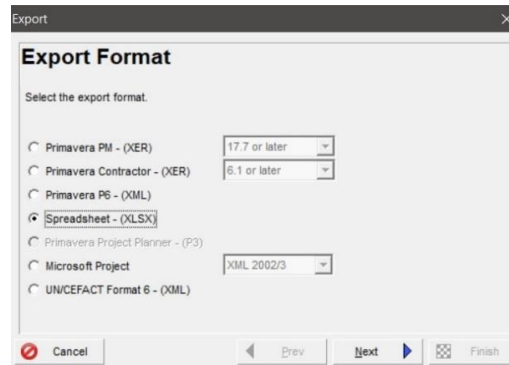
Expense Item	Expense Category	Accrual Type	Budgeted Units	Price / Unit	Budgeted Cost	Actual Cost	Rem
(New Expense Item)		Uniform over Activ	1.000	\$2,500.00	\$2,500.00	\$0.00	

Görsel 3.42. Aktivite bütçeleri

Yaklaşık olarak belirlenen maliyetlerin aktivitelere atanması sonucunda villa inşaatının bütçesi 125.000 USD olmuştur.

- **Primavera verisinin farklı uzantılı dosyalara dönüştürülmesi**

Primavera ile yapılan iş programları Ms Project, Excel ya da Navisworks gibi YBM içerisinde kullanılan programlarda kullanılmak üzere farklı uzantılı dosya biçimlerine dönüştürülebilir. Primavera verisinin Navisworks'e aktarılması için iki yöntem bulunmaktadır. Birincisi Primavera verisinin Excel yardımıyla '*.csv' uzantılı dosya olarak aktarılmasıdır. Bu yöntemde Primavera verileri Navisworks'e aktarılır ama Primavera'da bir değişiklik yapıldığında bu durum Navisworks'e otomatik olarak yansımamaktadır. İkincisi ise 'Web Services' seçeneğinin kullanılmasıdır. Çalışmada bu yöntem üzerinde durulmamıştır. Primavera verisi Ms Excel'de kullanılmak üzere (*.xlsx) uzantılı dosya biçimine dönüştürülmüştür (Görsel 3.43).



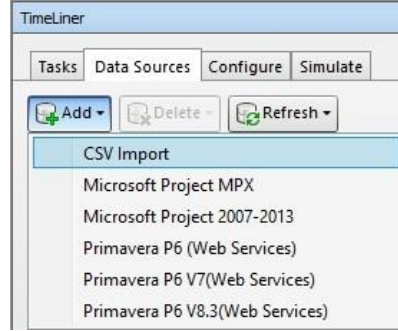
Görsel 3.43. Primavera verisinin farklı uzantılı dosyalara dönüştürülmesi

Ms Excel programında kullanılmak üzere (*.xlsx) uzantılı dosya biçimine dönüştürülen veriler bu program içerisinde Görsel 3.44'de görülmektedir.

Activity ID	Activity Name	Original duration	Start	Finish	Cost
A1	Temel Kazısı	3d	3 Nis 2018	5 Nis 2018	5000
A11	Grobeton	1d	10 Nis 2018	10 Nis 2018	1500
A12	Temel Kalıp Demir Beton	11d	11 Nis 2018	25 Nis 2018	15000
A13	Giriş Kat Kolon Kalıp Demir Beton	10d	26 Nis 2018	9 May 2018	15000
A14	1.Kat Döşeme Kiriş Kalıp Beton	7d	14 May 2018	22 May 2018	15000
A15	2.Kat Kolon Kalıp Demir Beton	10d	21 May 2018	1 Haz 2018	15000
A16	2.Kat Döşeme Kiriş Kalıp Beton	7d	4 Haz 2018	12 Haz 2018	15000
A17	Giriş Kat Duvar İmalatları	5d	22 May 2018	28 May 2018	3500
A18	1.Kat Duvar İşleri	5d	14 Haz 2018	20 Haz 2018	1500
A19	Sıva Boya İşleri	13d	22 Haz 2018	10 Tem 2018	2000
A20	Kapı Montajı	3d	11 Tem 2018	13 Tem 2018	1500
A21	Pencere Montajları	5d	13 Tem 2018	19 Tem 2018	1500
A22	Çatı İşleri	12d	14 Haz 2018	29 Haz 2018	12500
A23	Merdiven İmalatı	5d	21 Haz 2018	27 Haz 2018	6500
A24	Çevre Duvar Yapılması	11d	20 Tem 2018	3 Ağu 2018	5500
A25	Peyzaj İşleri	5d	6 Ağu 2018	10 Ağu 2018	4000
A26	Giriş Kapısı Montaj	5d	6 Ağu 2018	10 Ağu 2018	2500
A27	Vitrifiye ve Tefrişat	5d	13 Ağu 2018	17 Ağu 2018	2500

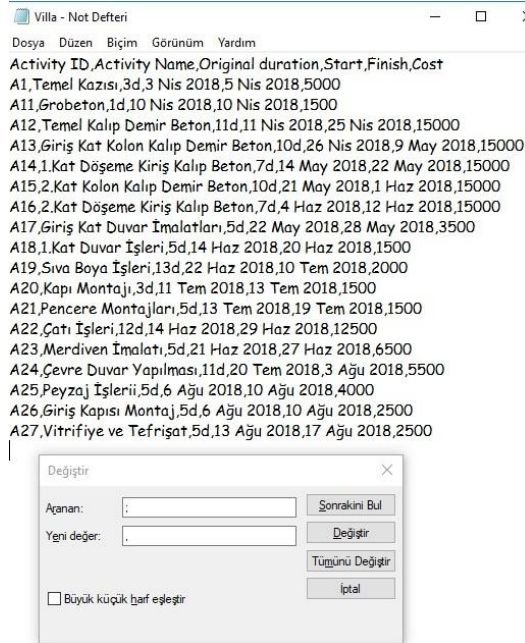
Görsel 3.44. Villa projesi iş programı

Görsel 3.44'deki Ms Excel dosyası, farklı kaydet özelliği kullanılarak (*.csv) uzantılı dosya haline getirilir ve kaydedilir. Excel dosyasının *.csv olarak kaydedilmesindeki amaç, iş programı ve maliyetlerin Navisworks programına aktarılabilmesidir (Görsel 3.45).



Görsel 3.45. Navisworks veri aktarılabilen dosya uzantıları

Csv (virgülle ayrılan değerler) dosyası, Excel'de oluşturabilen veya düzenlenebilen özel bir dosya türüdür. Csv dosyaları bilgileri sütunlarda depolamak yerine virgülle ayrılmış olarak depolar. Metin ve sayılar bir *.csv dosyası olarak kaydedildiğinde, bir programdan diğerine kolayca taşınabilir (http-38). Csv olarak kaydedilen dosya Ms Not defteri programında açılır ve noktalı virgüllerin, virgüle çevrilmesi amacıyla değiştir (ctrl+h) komutu kullanılır (Görsel 3.46). Değişiklik yapıldıktan sonra not defteri programı kaydedilerek kapatılır (Görsel 3.47).



Görsel 3.46. Not defteri

Activity ID	Activity Name	Original duration	Start	Finish	Cost
A1	Temel Kazısı	3d	3 Nis 2018	5 Nis 2018	5000
A11	Grobeton	1d	10 Nis 2018	10 Nis 2018	1500
A12	Temel Kalıp Demir Beton	11d	11 Nis 2018	25 Nis 2018	15000
A13	Giriş Kat Kolon Kalıp Demir Beton	10d	26 Nis 2018	9 May 2018	15000
A14	1.Kat Döşeme Kiriş Kalıp Beton	7d	14 May 2018	22 May 2018	15000
A15	2.Kat Kolon Kalıp Demir Beton	10d	21 May 2018	1 Haz 2018	15000
A16	2.Kat Döşeme Kiriş Kalıp Beton	7d	4 Haz 2018	12 Haz 2018	15000
A17	Giriş Kat Duvar İmalatları	5d	22 May 2018	28 May 2018	3500
A18	1.Kat Duvar İşleri	5d	14 Haz 2018	20 Haz 2018	1500
A19	Sıva Boya İşleri	13d	22 Haz 2018	10 Tem 2018	2000
A20	Kapı Montajı	3d	11 Tem 2018	13 Tem 2018	1500
A21	Pencere Montajları	5d	13 Tem 2018	19 Tem 2018	1500
A22	Çatı İşleri	12d	14 Haz 2018	29 Haz 2018	12500
A23	Merdiven İmalatı	5d	21 Haz 2018	27 Haz 2018	6500
A24	Çevre Duvar Yapılması	11d	20 Tem 2018	3 Ağu 2018	5500
A25	Peyzaj İşleri	5d	6 Ağu 2018	10 Ağu 2018	4000
A26	Giriş Kapısı Montaj	5d	6 Ağu 2018	10 Ağu 2018	2500
A27	Vitrifiye ve Tefrişat	5d	13 Ağu 2018	17 Ağu 2018	2500

Görsel 3.47. Excel dosyasının *.csv uzantılı dosya olarak kaydedilmesi

Csv uzantılı dosya biçimine dönüştürülmesi ile iş programı ve maliyetler bu haliyle Navisworks ortamında kullanılabilir hale gelmiştir. Bu verilerin aktarılması için Navisworks timeliner alanındaki ‘data sources’ sekmesi kullanılmaktadır.

3.4. Navisworks

Autodesk Navisworks, mimarlık, mühendislik ve inşaat projelerine ait verilerin aynı ortamda birleştirildiği, proje takvimi ile maliyet takibinin yapıldığı proje simülasyonu ve analizi yazılımıdır (<http-39>) .



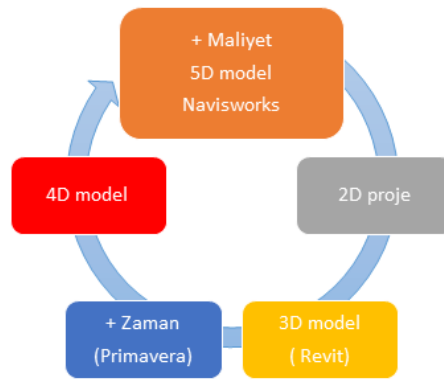
Şekil 3.7. Navisworks 2019 logo

Navisworks programı (Şekil 3.7) proje bilgilerinin daha iyi bir şekilde iletilmesini sağlayan gelişmiş araçlar ve özellikler sunmaktadır. Yapı bilgi modellemesine ait çok

disiplinli tasarım verileri, dijital ön model ve yapım uygulamaları tek bir entegre proje model üzerinde birleştirilebilir. Kapsamlı 5D simülasyon, animasyon, foto gerçekçilik yetenekleri kullanıcıların tasarım amaçlarını göstermelerini ve yapıyı simüle etmelerini sağlayarak öngörülebilirlik sağlamaya yardımcı olur. Dijital modelde gerçek zamanlı gezinme, proje ekibi arasında iş birliğini desteklemek için inceleme araç setleri ile birleştirilir. Tüm proje verileri inşaat aşamasında ve sonrasında kullanılmak için farklı uzantılı dosyalar halinde elde edilebilir (Autodesk, 2019). Navisworks kullanmak için başlıca nedenler aşağıdaki gibi belirtilebilir.

- Proje gerçekleşmeden tecrübe edinebilme imkânı sunar.
- YBM için uygundur. Koordineli, tutarlı ve eksiksiz proje bilgisi sunumu yapılabilir.
- Birçok 3D dosya ile veri birleştirme yapılabilir.
- Gerçekçi görselleştirme imkânı sunar.
- Nesne canlandırma ve set oluşturma
- Çakışma ve algılama kontrolü yapılabilir
- Bulut tabanlı YBM yönetimi ile kolay erişim sağlanabilir.
- Zamanlama ve animasyon ile mükemmel ve gerçekçi sunum yapılabilir (http-40) .

YBM 5D modelin oluşturulma sürecini açıklayabilmek amacıyla seçilen iki katlı villa Revit ile 3 boyutlu olarak modellenmiş, iş programı ve maliyeti Primavera ile oluşturulmuştur. Bu aşamada ise Navisworks kullanılarak 5D model üzerinden zaman, maliyet ve yapım simülasyonlarının nasıl yapıldığı üzerinde durulmaktadır. Bu bölüme kadar açıklanan bilgiler doğrultusunda, 5D model süreci Şekil 3.8'deki gibi özetlenebilir.



Şekil 3.8. 5D model süreci

3.4.1. Navisworks ve 5D modelleme

Revit ile oluşturulmuş 3 boyutlu model, Navisworks programında açılarak aşağıdaki görüntüler elde edilmiştir (Görsel 3.48).



Görsel 3.48. Revit ve Navisworks görüntüleri karşılaştırılması

Revit modelinde grafikler gerçeğe yakın iken, Navisworks programında aynısını söylemek mümkün değildir. Ancak bu durum Navisworks içerisinde nesne seçimi, set oluşturma, yapı içerisinde hareket etme, simülasyon gibi işlemleri de kolaylaştırmaktadır. Aynı modele sahip Revit dosyası 70-80 megabayt iken, Navisworks dosyası 100-150 kb arasında olabilmektedir. Proje geliştikçe Revit ile çalışmak güçleşirken, aynı proje ile Navisworks ortamında çalışmak daha kolaydır.

- **İş programı ve bütçenin Navisworks programına aktarılması**

Primavera verisinin Ms Excel ve not defteri kullanılarak *.csv dosyası biçiminde kaydedilmesi önceki bölümde açıklanmıştır. Kaydedilen iş programı ve maliyetlerin Navisworks programına aktarılması için timeliner alanındaki “data sources” işlevi kullanılır. Primavera ve Naviswork arasındaki ifade farklılıklarını düzeltebilmek için “field selector” arayüzünden gerekli düzenlemeler yapılır (Görsel 3.49). Örneğin Primavera’da faaliyetler “activity name” sütununda iken, Navisworks programında “task name” sütununda bulunur. Farklılıklar bu arayüzde düzeltilir. Böylece programına iş programı ve maliyetler Navisworks’e aktarılmış olur (Görsel 3.50). Primavera programında toplam olarak ifade edilen maliyetler, bu arayüzde ‘material cost’ olarak seçilmiş olsa da diğer maliyetler girilmediği için toplam olarak ‘total cost’ sütununda görünmektedir. Primavera’da villa projesinin toplam maliyeti 125.000 USD olarak belirlenmiştir, Navisworks’e veriler aktarıldığında aktivitelerde ve maliyette değişiklik olmamıştır.

Field Selector

CSV Import Settings

☒ Row 1 contains headings

☒ Automatically detect date/time format

☐ Use specific date/time format

d.MM.yyyy HH:mm

Column	External Field Name
Task Name	Activity Name
Display ID	Activity ID
Task Type	
Synchronization ID	Activity ID
Planned Start Date	Start
Planned End Date	Finish
Actual Start Date	
Actual End Date	
Material Cost	Cost
Labor Cost	
Equipment Cost	

Reset All OK Cancel Help

Görsel 3.49. Navisworks ve Primavera verilerinin uygun hale getirilmesi

TimeLiner

Tasks Data Sources Configure Simulate

Add Task Attach

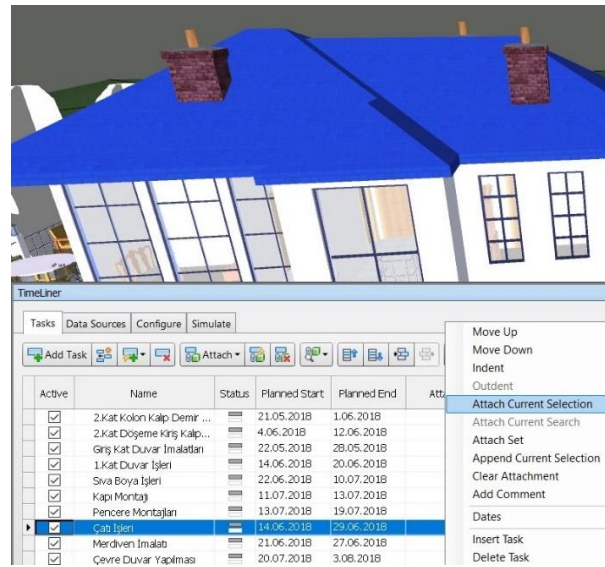
Active	Name	Status	Planned Start	Planned End	Task Type	Total Cost
☒	New Data Source (Root)		3.04.2018	17.08.2018		125.000,00
☒	Temel Kazısı		3.04.2018	5.04.2018	Construct	5.000,00
☒	Grobeton		10.04.2018	10.04.2018	Existing to Remaining	1.500,00
☒	Temel Kalıp Demir Beton		11.04.2018	25.04.2018	Construct	15.000,00
☒	Giriş Kat Kolon Kalıp Demir Beton		26.04.2018	9.05.2018	Construct	15.000,00
☒	1.Kat Döşeme Kiriş Kalıp Beton		14.05.2018	22.05.2018	Construct	15.000,00
☒	2.Kat Kolon Kalıp Demir Beton		21.05.2018	1.06.2018	Existing to Remaining	15.000,00
☒	2.Kat Döşeme Kiriş Kalıp Beton		4.06.2018	12.06.2018	Existing to Remaining	15.000,00
☒	Giriş Kat Duvar İmalatları		22.05.2018	28.05.2018	Construct	3.500,00
☒	1.Kat Duvar İşleri		14.06.2018	20.06.2018	Construct	1.500,00
☒	Sıva Boya İşleri		22.06.2018	10.07.2018	Existing to Remaining	2.000,00
☒	Kapı Montajı		11.07.2018	13.07.2018	Construct	1.500,00
☒	Pencere Montajları		6.07.2018	12.07.2018	Construct	1.500,00
☒	Çatı İşleri		20.06.2018	2.07.2018	Construct	12.500,00
☒	Merdiven İmalatı		21.06.2018	27.06.2018	Construct	6.500,00
☒	Çevre Duvar Yapılması		20.07.2018	3.08.2018	Construct	5.500,00
☒	Peyzaj İşleri		6.08.2018	10.08.2018	Construct	4.000,00
☒	Giriş Kapısı Montaj		6.08.2018	10.08.2018	Construct	2.500,00
☒	Vitrifiye ve Tefrişat		13.08.2018	17.08.2018	Construct	2.500,00

Görsel 3.50. Navisworks'te iş programı ve maliyetler

- **Model nesneleri ile iş programının uyumlu hale getirilmesi**

Revit ile modellenen bir yapının, Navisworks programına aktarıldığında bütün özellikleri korunur, örneğin Revit programındaki duvar nesnesi, Navisworks ortamında da duvar olarak görülür. Revit modeli içerisindeki her nesne aynı zamanda yapılacak işi, aktiviteyi temsil etmektedir. Navisworks programında maliyet ve yapım işi simülasyonu

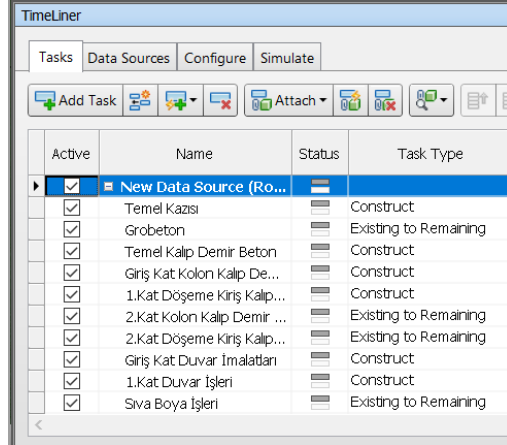
yapılabilmesi için geometrik olan nesnelerle iş programındaki aktivitenin bütünleştirilmesi gerekmektedir. Örneğin çatı işleri yapılacaksa; çatının 3 boyutlu modeli ile iş programındaki çatı yapımının birleştirilmesi gerekir. Bunun için ilk önce çatı model nesnesi seçilir, daha sonra iş programındaki çatı işleri kısmının üzerinde mouse sağ tuşu tıklanır “attach current selection” işlevi ile model ve aktivite uyumlu hale getirilir. Bu aşamadan sonra alttaki iş programında çatı işleri yazan kısım seçildiği anda modeldeki çatı nesnesi de seçilmiş olur. Simülasyon için nesne ve aktivite arasında bağlantı kurulmuş olur (Görsel 3.51).



Görsel 3.51. Model nesneleri ile iş programının birleştirilmesi

- **Model nesnesinin görev tipinin belirlenmesi**

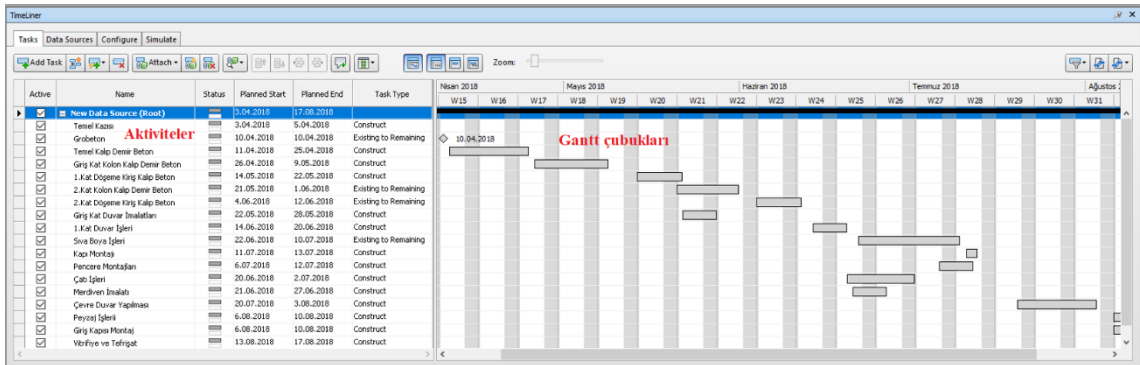
Navisworks içerisinde bazı işler geometrik nesneler ile temsil edilebilirken bazıları ise ifade edilemeyebilir. Sıva, boya, kazı, beton dökümü gibi imalatlar iş programında varken (Görsel 3.51), üstteki model içerisinde bu gibi işlerle uyumlu hale getirilebilecek herhangi bir nesne bulunmaz. Bu durumda zaman, maliyet ve yapım simülasyonun gerçeğe uygun bir biçimde yürütülebilmesi için işlerin türlerinin belirlenmesi ve görsel açıdan olmasa da sürece dahil edilmesi gerekir. Duvar imalatı gibi nesne karşılığı olan işler için “construct” ve sıva-boya işleri gibi nesne karşılığı olmayan işler içinse ‘existing to remaining’ tiplerinin seçilmesi, simülasyonun gerçekliği açısından önemlidir (Görsel 3.52). Construct olarak belirlenmeyen işler simülasyon ortamında görünür hale gelmez. Yapı modelinin tamamlanması mümkün olmaz.



Görsel 3.52. Navisworks görev türlerinin belirlenmesi

- **Timeliner**

Nawisworks ‘timeliner’ alanı 5D model simülasyonu yapabilmek için iş programı, maliyet ve nesne seçimi gibi çeşitli ayarlamaların yapıldığı bölümdür. Bu alanda yapı modeline ait geometrik nesneler tek tek veya set halinde seçilerek iş programındaki ilgili işle uyumlu hale getirilir. Primavera ile yapılan iş programı, timeliner alanı içerisinde Görsel 3.53’deki gibidir. Sol sütunda temel kazısı, grobeton gibi yapılacak işler ve görev tipi gibi bilgiler bulunurken, sağdaki alanda işlerin başlangıç ve bitiş tarihlerini ifade eden Gantt çubukları bulunur.

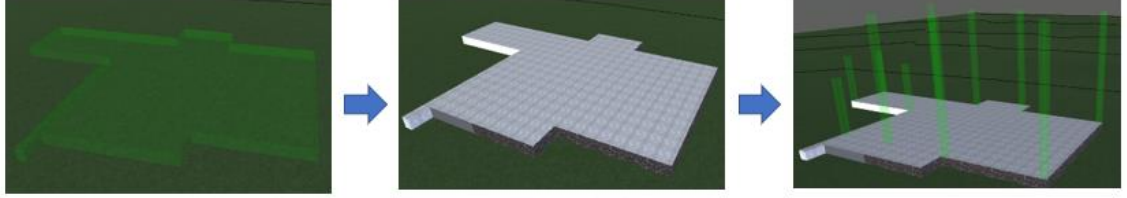


Görsel 3.53. Navisworks timeliner

- **Simülasyonda tamamlanan ve devam eden işlerin gösterilmesi**

Timeliner alanındaki her aktivitenin bir başlangıç ve bitiş süresi vardır. İş programında belirlenen başlangıç ve bitiş tarihine göre imalatlar-aktiviteler simülasyonda görünür hale gelir, tamamlandıktan sonra ise yapı modelinin bir nesnesi olurlar. Yapının temeli ile ilgili imalatların başladığı temel renginin yeşil olarak görünmesinden

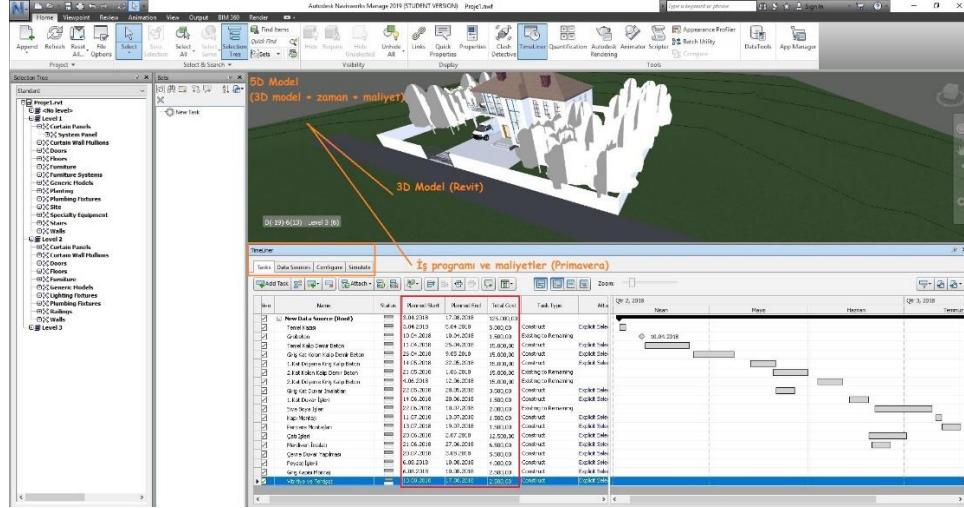
anlaşılmaktadır. Temel renginin griye dönmesi sonucunda ise temel ile ilgili işler bitmiş ve temel nesnesi yapı modelinin bir parçası haline gelmiştir. Devam eden süreçte ise kolonlarla ilgili işler başlamış ve devam etmektedir (Görsel 3.54).



Görsel 3.54. Simülasyonda tamamlanan ve devam eden işler

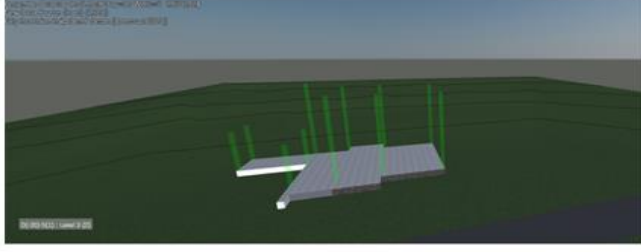
- **Simülasyon**

Simülasyon zaman, maliyet ve yapım işi sürecinin koordine bir şekilde izlendiği ortamdır. Timeliner alanındaki “simulate” sekmesi kullanılarak yapının dijital inşası oluşturulur. Simülasyon tamamlandığında iş programı ve yapım işinin sonuna gelinmiş, proje tamamlanmış demektir. Simülasyon bittiğinde yapının Revit ile modellenen 3 boyutlu hali görülür (Görsel 3.55).



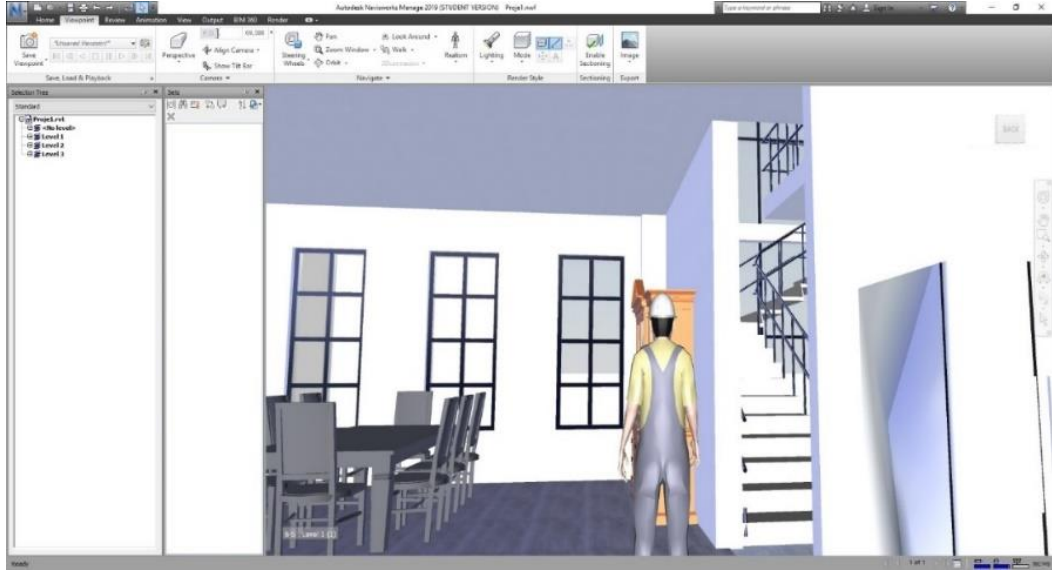
Görsel 3.55. 5D model

Aylık ilerlemeli olarak yapılan simülasyonlar incelendiğinde başlangıç tarihinden itibaren her ay ne kadar imalat yapıldığı, hangi işlerin tamamlandığı, mevcut durumda hangi işlerin devam ettiği, devam eden işlerdeki ilerleme yüzdesi, genel ilerleme yüzdesi, maliyet gibi bilgiler sol üstte kırmızı çerçeve içinde görülebilmektedir (Görsel 3.56).

Sal 00:00:00 3.04.2018 Day=1 Week=1 0,00\$ New Data Source (Root) [0%] Temel Kazısı [Construct 0%] 	03.04.2018 Maliyet: 0 İlerleme: %0
	03.05.2018 Maliyet: 29.576 USD İlerleme: %22
	03.06.2018 Maliyet: 70.000 USD İlerleme: %44
	03.07.2018 Maliyet: 106.722 USD İlerleme: %66
	03.08.2018 Maliyet: 116.000 USD İlerleme: %89
	Yapım işinin tamamlanması 17.08.2018 Maliyet: 125.000 USD İlerleme: %100

Görsel 3.56. Navisworks 5D model yapım ve maliyet simülasyonu

- **Proje içerisinde gezinme**

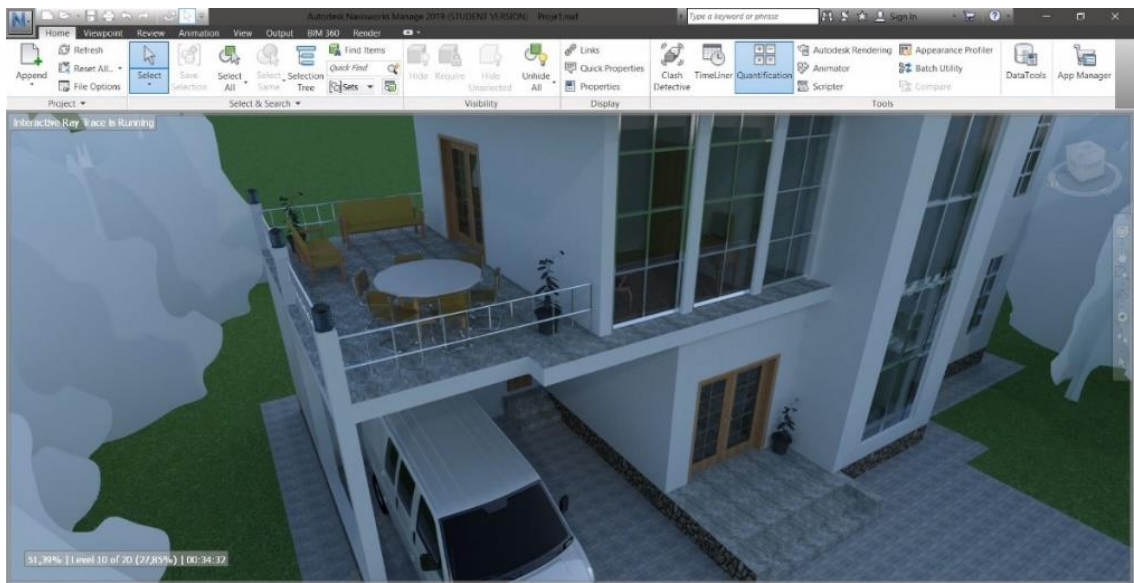


Görsel 3.57. Navisworks third person (avatar) modu

Navisworks programı içerisindeki avatar özelliği ile modellenmiş yapının dijital ortamında gezinti yapılarak, modellemenin detayları görülebilir. Bunun için 'viewpoint' sekmesi içerisindeki 'realism' komutu kullanılır (Görsel 3.57).

- **Görselleştirme (Render)**

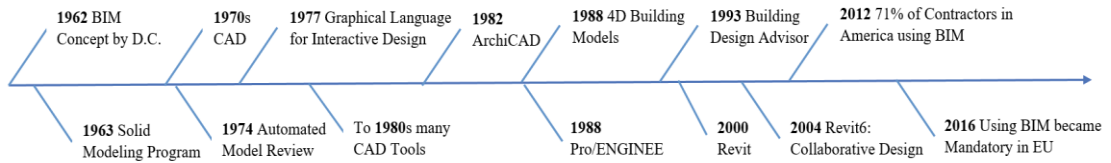
Navisworks programının render sekmesindeki 'ray trace' komutu ile istenilen çözünürlüğe ve parametrelere göre görselleştirme yapılabilir (Görsel 3.58).



Görsel 3.58. Navisworks görselleştirme

4. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMALARI

İnşaat sektöründeki gelişmeler yeni iş imkanları yaratırken, projelerin artan karmaşıklığı ve kaynak yetersizliği nedeniyle inşaat planlama ve yönetimi için daha gelişmiş araçlara ihtiyaç duyulmaktadır (Pitake and Patil, 2013). Geleneksel 2D Cad tasarımı farklı katılımcılar birbirlerinin tasarımlarının tamamlanmasını beklemek zorundadır. Proje verilerinin tasarım ekipleri arasında paylaşımı sonradan gerçekleşir ve veriler boşa gidebilir. Buna karşın YBM tabanlı tasarımı katılımcılar arasında bilgi alışverişi bina modelinin paylaşımı ve entegrasyonu ile sağlanır. Bu gerçek zamanlı paylaşım tasarımın ayarlanmasına ve geliştirilmesine olanak sağlar. Bilgi daima günceldir, tasarım amaçlı görselleştirme ekipler arasındaki iletişimi kolaylaştırır ve sürekli bilgi akışı sağlanır. YBM tabanlı projeler 2D Cad projelere göre daha güvenilirlerdir, proje süresi boyunca bilgi akışının daha sağlıklı ve etkileşimli yürütülmesini sağlarlar (Hattab and Hamzeh, 2013). 1982'de Macaristan'da ArchiCAD yazılımının oluşturulması (Şekil 4.1) YBM'nin gerçek başlangıcıdır ve 2000'de Revit yazılımı YBM'nin uygulanmasında önemli bir dönüm noktası olarak görülmektedir. Bu yıldan sonra YBM teknolojisi inşaat projelerinde yeni bir teknoloji ve yaklaşım olarak yaygın bir ifade haline gelmiştir. Bina hakkındaki bilgilerle oluşturulan bütünleşik bir veri tabanında eksiksiz bir tasarım sunmayı amaçlamaktadır. Yeni bir teknoloji ve yaklaşım olarak inşaat sektöründe katalizör olarak görülmektedir. 2016 yılında İngiltere'de kamu tarafından finanse edilen projelerde YBM kullanımı zorunlu olmuştur (Kerosuo vd., 2012 ; Sardroud vd., 2018).



Şekil 4.1. YBM tarihi

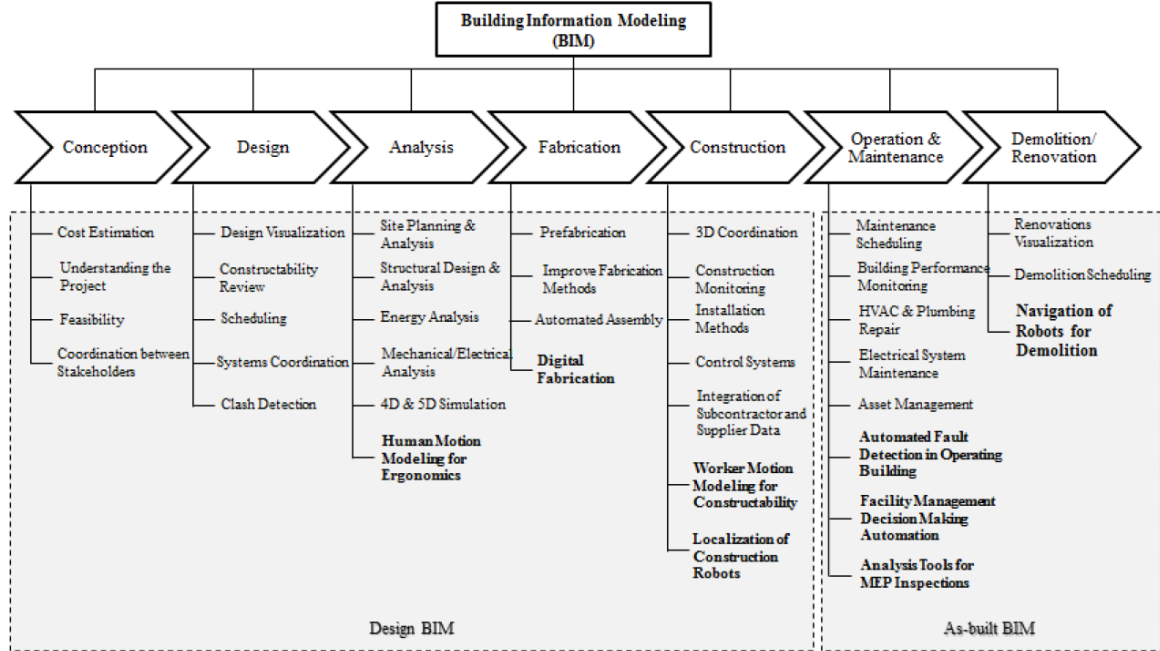
Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü projelerin tasarım ve yapımı aşamasında YBM kullanımına uyum sağlamaktadır. YBM tasarım ve planlama aşamasının da ötesine geçerek; yollar, köprüler, limanlar, hastaneler, fabrikalar, özel binalar gibi yapıların ömrü boyunca faydalanılabilir noktaya gelmiştir. YBM'nin inşaat projelerine olumlu katkılar vermesi nedeniyle özel ve kamu sektöründe inşa edilecek yapılarda bu sistemin kullanılması talep edilmektedir. Bu yöntemin zamandan ve maliyetten tasarruf

sağlamasının yanında yapı sahiplerine daha iyi ürün sunmada etkili olduğu kanıtlanmıştır (Silva vd., 20016).

4.1. İnşaat Sektöründe YBM Kullanımı

YBM mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrilerindeki olumlu gelişmelerden biridir. YBM sayesinde yapının bir veya daha fazla sanal modeli dijital olarak oluşturulur. Bu model geleneksel yöntemlerden daha iyi tasarım, kontrol ve analiz sağlamaktadır. Dijital model yapının inşaat, imalat ve tedarik faaliyetlerini desteklemek için gereken hassas geometri ve verileri içerir. YBM iyi kullanıldığında zaman proje süresini kısaltan ve yapım sürecini kolaylaştıran bütünsel bir tasarım elde edilir. Bu sayede düşük maliyetle daha kaliteli binalar üretilmesi mümkün olur. İnşaat sektöründe yer alan iş sahipleri, yöneticiler, mimar ve mühendisler, müteahhitler, taşeronlar uzmanlıkları ile ilgili noktalarda YBM'yi kullanabilir (Eastman vd., 2011). İnşaat sektöründe YBM kullanımı ile ilgili olarak yapılan literatür taramasında elde edilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Golabchi vd., (2013)'e göre YBM nin kullanım aşamaları; fikir, dizayn, analiz, fabrikasyon, yapım, bakım ve tesis işletmesi, yıkım ve yenilemedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. YBM kullanım aşamaları

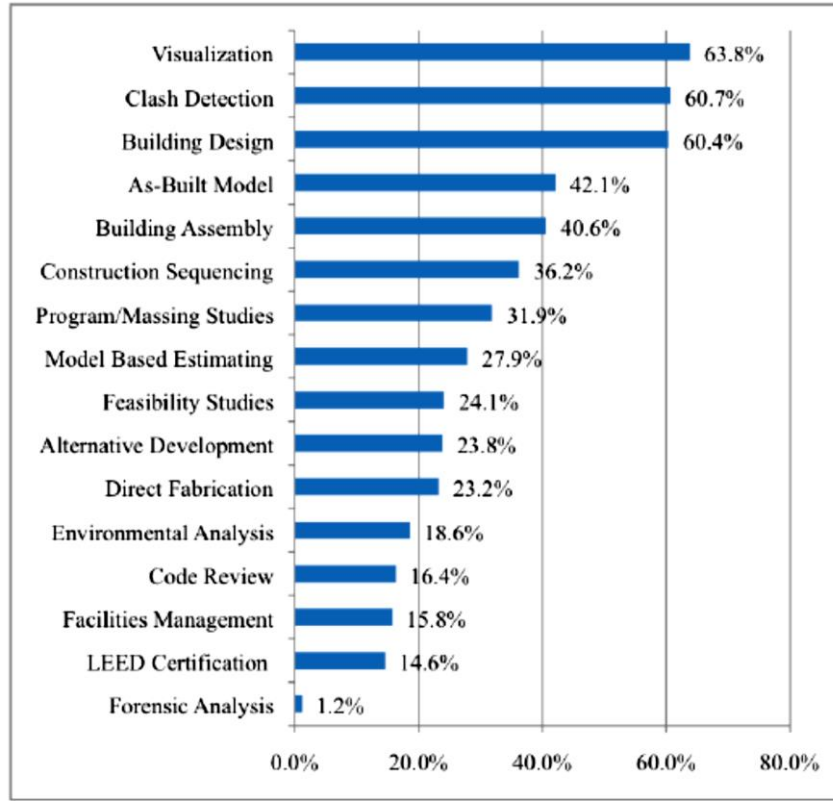
Kapsamlı dijital bir veri tabanı olarak YBM'nin kullanımı genellikle tasarım ve inşaatla sınırlıdır. Ancak araştırmacılar YBM'nin tasarım ve inşaatla sınırlı kalmaması önerisinde bulunarak görselde koyu harflerle yazılan fabrikasyon, bakım ve tesis

yönetimi, yıkım gibi amaçlar için de kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Koyu harflerle belirtilen amaçlar bu çalışmanın konusu olmasa da şema YBM'nin inşaat sektöründe kullanımını göstermesi açısından önemlidir. Bu şemada araştırmanın konusu içerisinde yer alan bölümler ise; projenin fikir (conception), tasarım (design), analiz (analysis) ve yapım (construction) aşamalarıdır. Bu aşamaların alt başlıkları ise aşağıda açıklanmıştır.

- Projenin fikir aşamasında; maliyet tahmini, projenin kavranması, fizibilite, paydaşlar arasında koordinasyon
- Tasarım aşamasında; tasarım görselleştirme, inşa edilebilirlik incelemesi, planlama, sistem koordinasyonu, çakışma analizi
- Analiz aşamasında; şantiye planlama, yapısal tasarım, enerji analizi, mekanik ve elektrik analizleri, 4D ve 5D simülasyonları
- Yapım aşamasında; 3D koordinasyon, yapım izleme, kontrol sistemleri, taşeron ve tedarikçilerin entegrasyonudur.

Amerika'da mimar ve mühendis, mal sahipleri, yükleniciler, proje müdürleri, tesis yöneticileri gibi uzmanların da aralarında olduğu inşaat sektöründe çalışan 424 katılımcı ile yapılan anket çalışmasında katılımcıların bu teknolojiyi farklı amaçlarla kullandıkları görülmüştür (Şekil 4.3). YBM'nin inşaat sektöründe genelde hangi amaçlarla kullanıldığı konusunda;

- Görselleştirme (görüntüleme)
- Çakışma analizi
- Yapı projesi
- As-built model
- Yapım sürecinin izlenmesi
- Modele dayalı tahminler
- Fizibilite çalışması
- Fabrikasyon, çevresel analizler, LEED sertifikası
- Tesis yönetimi gibi yanıtlara ulaşılmıştır (Becerik and Rice, 2010).



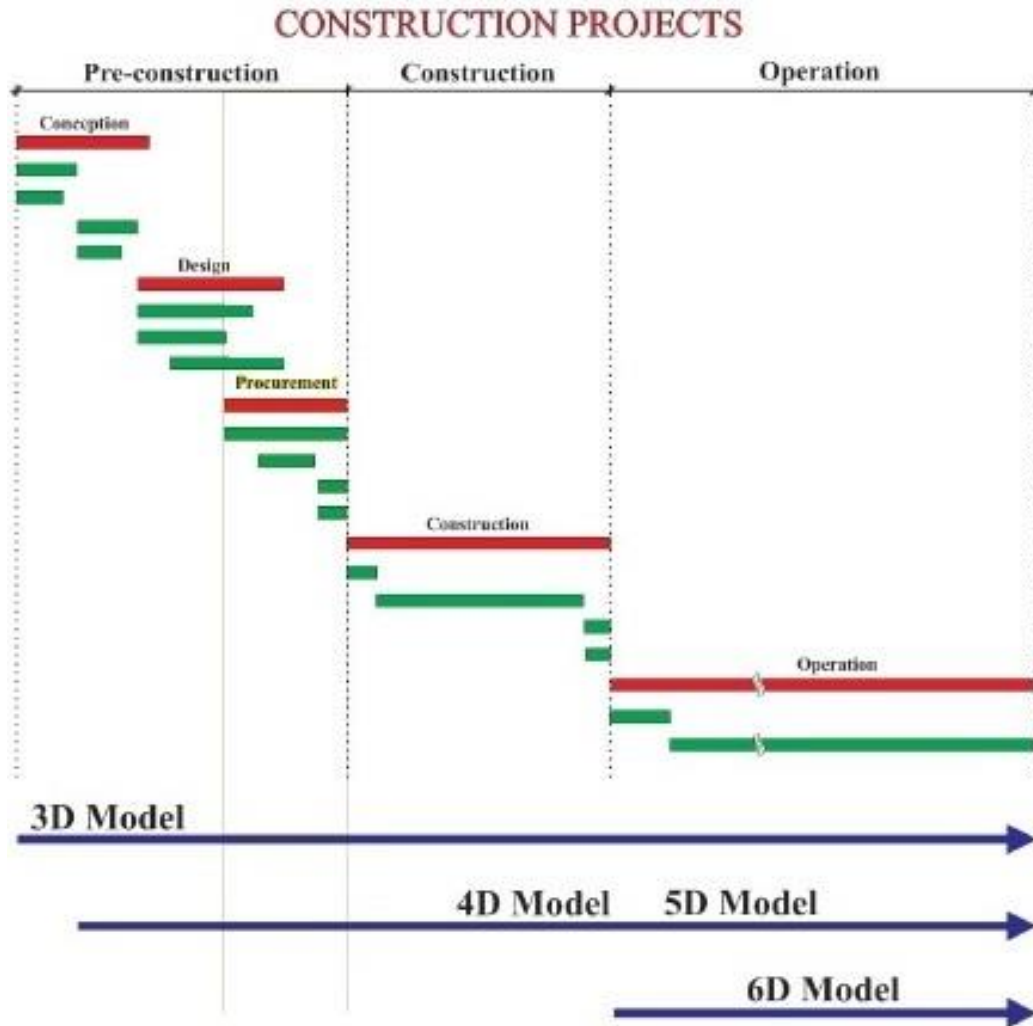
Şekil 4.3. YBM kullanım amacı

Lahdou and Zetterman (2011’den aktaran Rokooei, 2015) YBM’nin proje ve inşaat yönetiminde etkin kullanılabilen teknik yönlerini aşağıdaki gibi açıklamaktadır.

- Çakışma analizi; disiplinleri temsil eden proje nesneleri arasındaki uyumsuzlukların giderilmesi
- İnşaat yapılabilirliği; inşaat yapma olanaklarının görsel bir model üzerinden değerlendirilmesi
- Analiz; enerji, ışık, ses analizleri
- Zaman ve maliyet tahmini; 4D ve 5D modeller ile projenin herhangi bir aşamasında süre ve maliyeti incelenmesi
- Bütünleşme; proje ekibi, çeşitli disiplinlerin modellerinin bir araya getirilmesinden oluşan bileşik bir model üzerinden etkileşime girebilmesi
- Metraj hesabı yapılması; proje ekibi ve yöneticilerinin karar almalarına yardımcı olmak amacıyla miktarların belirlenmesi
- Eleman tabanlı modelleme; yapı modelinin geometrik nesnelerden oluşması

- İşbirliği ve takım oluşturma; Proje ekibinin aynı yapı modeli üzerinde ekip olarak hareket etmesi
- İletişim; aynı yapı modeli üzerinde verilerin girilmesi, değiştirilmesi ve güncellenmesi ile proje yöneticileri, mimar, mühendis ve müteahhitler dahil olmak üzere inşaat projesindeki tüm taraflar arasındaki iletişimin sağlanmasıdır.

Pučko vd., (2015)'e göre YBM uygulaması inşaat projeleri yönetimini değiştirmektedir. Bu sistemin temel yaklaşımı bütün disiplinlerin tek bir modelde bütünleştirilmesidir. 3D model nesne tasarımına, 4D model zaman çizelgesine, 5D model maliyet tahminine olanak verir. 6D model ise tesisin kullanım ömrü boyunca bakım ve işletimi hakkında bilgi verir (Şekil 4.4). YBM sisteminde daha önce tanımlanmış modeller yapım öncesinde, yapıda ve işletmede kullanılabilir.



Şekil 4.4. İnşaat projelerinde YBM kullanımı

Literatür taramasında elde edilen bilgiler doğrultusunda YBM'nin inşaat sektöründe kullanımı hakkında aşağıdaki sonuçlara ulaşılabılır.

- YBM'nin proje, yapım, izleme, yönetim, maliyet, zaman, işletme, kullanıcı, analiz, amaç, teknik yön ve yazılım gibi çeşitli bileşenleri bulunmaktadır.
- İş sahipleri, proje müdürü, tesis yöneticileri, mimar, mühendis, yüklenici, taşeron gibi inşaat sektörünün paydaşları bu teknolojiyi kullanabilmektedir.
- Projenin fikir aşamasından başlayarak yıkım ve yenileme süreçleri de dahil olmak üzere kullanılabilir.
- Daha kaliteli tasarım, proje ve 3D görselleştirme-görüntüleme yapılabilir.
- Metraj hesapları, 4D model ile zaman ve 5D model ile maliyet tahminleri ve simülasyonları yapılabilir.
- As-built modeller oluşturulabilir.
- Enerji, ses, çakışma, mekanik-elektrik ve çevre analizleri yapılabilir.
- İmalat, tedarik ve fabrikasyon amaçlı kullanılabilir.
- Bütün disiplinlerin aynı modelde çalışması sağlanmakta, koordinasyon ve iletişim aracı olarak tercih edilebilir.

YBM'nin yapım işinin farklı aşamalarında, çeşitli amaçlarla inşaat sektörü paydaşları tarafından kullanılabildiği görülmektedir. Çalışmanın konusu itibarıyla YBM'nin inşaat sektöründe kullanımı ile ilgili olarak Tablo 4.1'de belirtilen konular açıklanmaktadır.

Tablo 4.1. *Proje ve yapım aşamalarında YBM kullanımı*

Proje ve yapım aşamasında	YBM'nin proje, tasarım ve 3D modelleme amaçlı kullanımı YBM'nin görüntüleme ve inceleme amaçlı kullanımı YBM'nin çakışma analizi (clash detection) amaçlı kullanımı YBM'nin koordinasyon ve işbirliği amaçlı kullanımı YBM'nin yapım planlanması ve maliyet tahmini amaçlı kullanımı (5D modelleme)
---------------------------------	---

4.1.1. YBM'nin proje, tasarım ve 3D modelleme amaçlı kullanımı

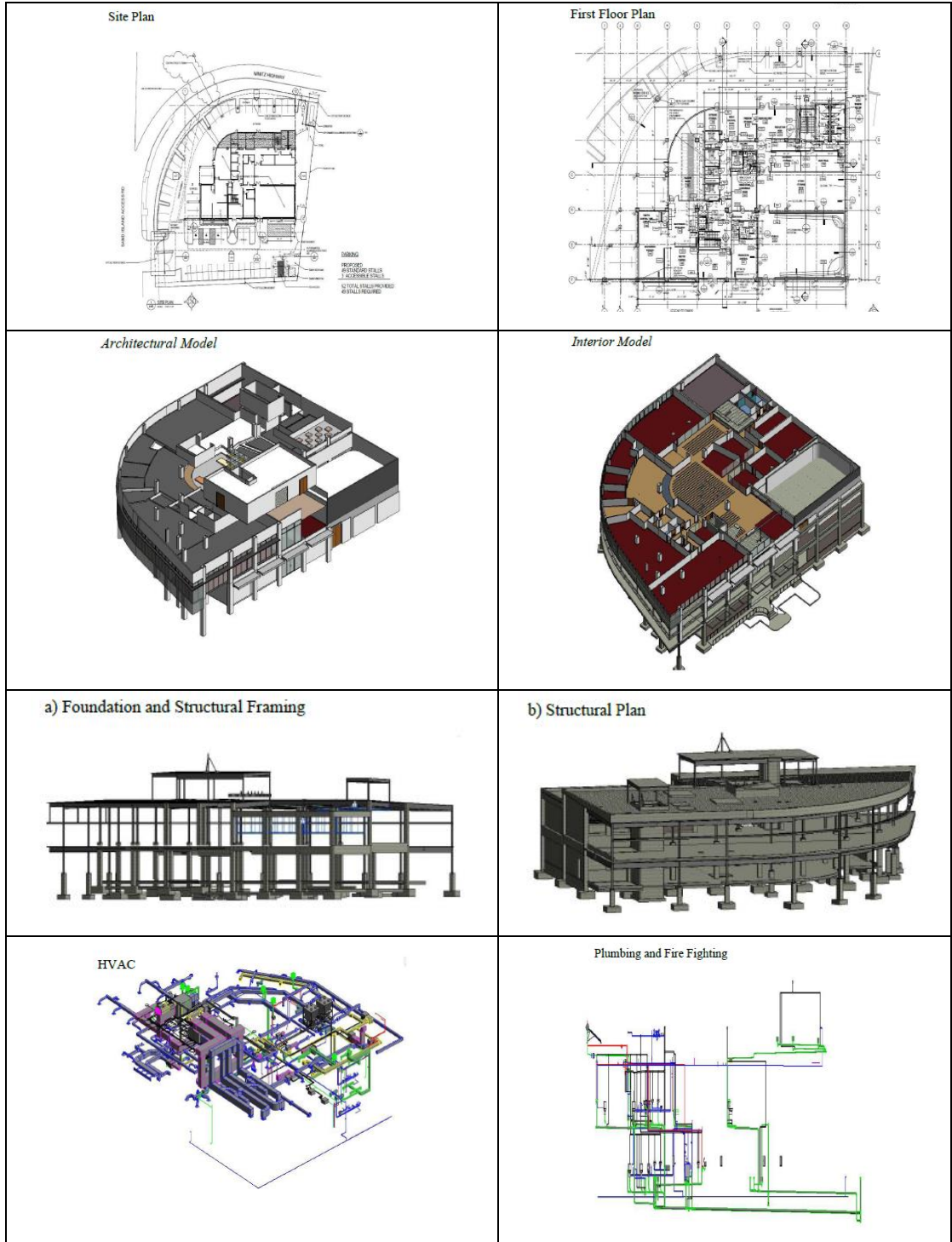
Geleneksel yazılımlar ile hazırlanan ve tamamıyla teknik detayların ön planda olduğu 2D çizimler, her tarafından kolayca anlaşılması mümkün olmayan ve anlaşılabilmesi için teknik bilgiye ihtiyaç duyulan projelerdir (http-41). 2D çizimler, bina sistemlerinin çok karmaşık 3D montajlarını temsil etmek için kullanıldığında, birden

fazla yoruma veya yanlış yorumlamaya açık olabilir. Ayrıca, 2D planında veya kesit görünümünde iyi görünen tasarım detayları aslında fiziksel 3D ortamında çalışmayabilir ve bu alanda son dakika değişikliklerini gerektirebilir. Bu tür saha değişiklikleri zaman alıcı ve pahalıdır. Daha da kötüsü yanlış yorumlanmış bir çizimin, öngörülemeyen sonuçlara yol açacak şekilde, yanlış yapılanmaya yol açması ihtimalidir (Khatib vd., 2007). 2D projelerin olumsuz yönleri genel olarak şunlardır (http-42).

- 2 boyuttan 3 boyuta geçişte zaman harcanması
- Proje değişiklik ve revizyonlarında 3. boyut için yeni baştan bir çalışma yapılması
- Yapılacak çalışmaların çok uzun zaman alması
- 3 boyut bilgisi gerektiren metraj işlemlerinde zorluk yaşanması
- Değişikliklerin takip edilmesinin zor olması
- Görsel açıdan zayıf olması
- Nihai projenin zihinde canlandırılmaması
- Projenin anlaşılabilirliğinin sınırlı olması
- Ölçülendirmenin zor olması
- Sunum imkanlarının sınırlı olması

3d modelleme yapılması planlanan projenin, ürünün ya da herhangi bir nesnenin bilgisayar ortamında çizilerek 3 boyutlu hale getirilmesidir (http-43). Tasarımcılar tarafından 2 boyutlu tasarımın doğal bir uzantısı olarak görülen 3 boyutlu projeler parametrik olarak modellenirler. Yapı ile ilgili bilgilerin kaynağı 3 boyutlu modeldir. Disiplinler arası koordinasyon bu model üzerinden daha hızlı sağlanır (Czmocha and Pekala, 2014). 3D modelleme ile sanal bir ortam yaratılarak projenin görselleştirilmesi sağlanır. Tasarımın tamamı ile birlikte proje kapsamını, adımlarını ve sonucunu iletmek için nihai iletişim aracıdır. 3D Model YBM’de mimari, statik ve MEP için geliştirilen parametrik modeller bir inşaat projesinde her türlü probleminin yönetilmesine ve çözümlenmesine yardımcı olur ve bu modeller üzerinden görselleştirme, yapım planlaması ve çakışma analizi gibi işlemler yapılabilir (Autodesk; http-44). Revit programı kullanarak bir binanın 2 boyutlu projesi üzerinden, mimari, statik, havalandırma, tesisat ve yangın söndürme projelerini 3 boyutlu olarak modellenebilir ve entegre bina modeli üzerinden yapı hakkında daha doğru bilgiler edinilebilir. Proje yönetiminde faydalı olur ve hatalar kolayca tespit edilebilir (Lavanya and Prasad, 2017).

Görsel 4.1. *Disiplinlere ait projelerin 3D modelde birleşimi*





Görsel 4.1 *Disiplinlere ait projelerin 3D modelde birleşimi (Devam)*

4.1.2. YBM'nin görüntüleme ve inceleme amaçlı kullanımı

YBM'de sunum, görselleştirme ve görüntüleme işlemlerinin bilgisayar yazılımları kullanılarak yapıldığı ve bunların hangi yazılımlar olduğu, YBM'de kullanılan yazılımlar bölümünde açıklanmıştır. Render (görselleştirme), third person (avatar), simülasyon ve animasyon görüntüleme amaçlı işlemler olarak sayılabilir. Burada 3 boyutlu projelerin sanal ortamında gezinme imkanı veren 'third person üzerinde durulmaktadır.

Navisworks programındaki third person işlevi sanal model içinde 3.kişinin bakış açısıyla görüntüleme yapılmasını sağlar. Viewpoint sekmesindeki realizm seçeneği ile ulaşılan third person komutu işaretlendiği anda kullanıcıyı temsil eden avatar ekrana gelir. Kullanıcı avatar yardımıyla modelin sanal ortamında gezinir (Görsel 4.2). Çarpışma, eğilme ve yerçekimi etkisiyle ile bağlantılı olarak kullanılabilen avatar, projenin amaçlanan tasarımıyla ilişkisini ve detayları görebilmeyi sağlar.

Third person işlevi etkinleştirildiğinde 'construction worker' inşaat işçisi standart avatar olarak ekranda görünür. Bunun yerine manken, baretli ofis elemanı, koruyucu giysili işçi gibi avatarlar da seçilebilir. Klavyedeki ok tuşları ve mouse ile avatarın hareket edeceği yön tayin edilir. Avatar yürüme ya da uçuş özellikleri ile kullanılabilir. Merdivenlerden inilebilir, çıkılabilir. Yapının çevresinde, katlarında ve odalarında serbestçe dolaşılabilir. Avatarın bulunduğu konumda proje detaylarında görülen aksaklıklar veya iletilmesi gereken konular Review sekmesindeki 'add tag' komutu kullanılarak yazılıp kaydedilebilir. Böylece proje bilgileri daha az yazılı metin kullanılarak paylaşılabilir. Aynı sekmedeki 'image' komutu ile avatarın bulunduğu konum resim biçiminde kaydedilip yayınlanabilir. Avatarın geçtiği noktalar kaydedilerek buralara tekrar bakılabilir ve animasyon oluşturulabilir.



Görsel 4.2. Avatar ile projenin görüntülenmesi (http-45)

YBM’de avatar kullanımının avantajları şunlardır.

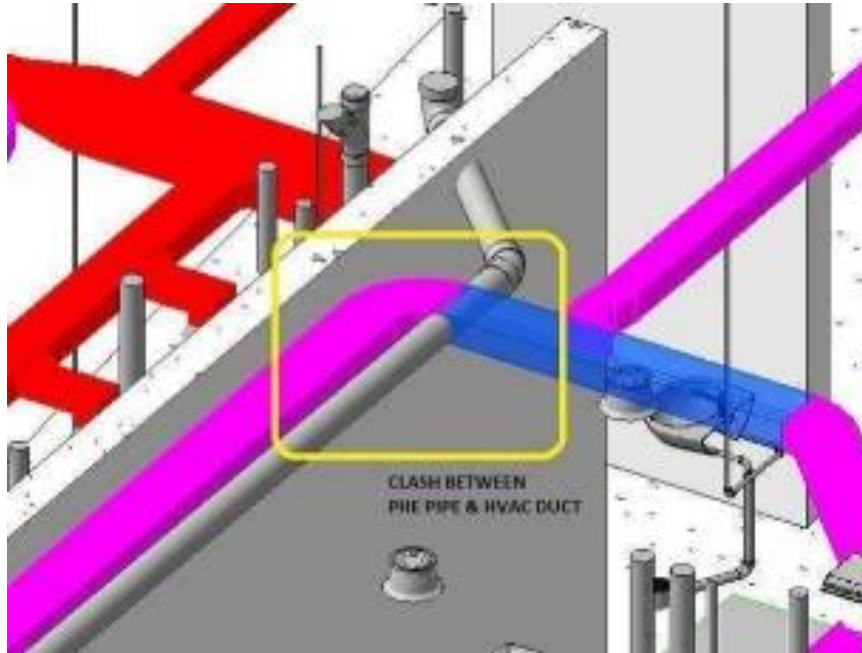
- Yapıyı temsil eden 3 boyutlu sanal ortamda avatarın hareket ettirilebilme ve konumlandırılabilme özelliği paydaşların görsel açıdan etkili referanslar kullanmalarına olanak sağlar, bu durum etkin iletişimi destekler. Böylece daha az sayıda ve daha kısa süren koordinasyon toplantısı düzenlenir.
- Ekipler arasındaki koordinasyon gecikmeler ve yanlış anlamalar engellenir.
- Paydaşların ortak bir avatarla modeli gezebilmeleri farklı bakış açılarının ve keşiflerin ortaya çıkmasını sağlar.
- Tasarımın daha kaliteli bir şekilde incelenmesine olanak verir.
- Sanal modeldeki ölçüler binanın ölçeklendirilmiş halini yansıttığı için mekanların büyüklüğü, donanımları ve kullanımları hakkında fikir sahibi olunabilir (Anderson vd., 2014).

4.1.3. YBM’nin çakışma analizi amaçlı kullanımı

YBM sisteminde hazırlanan projelerin 3 boyutlu ve geometrik akıllı nesnelerden oluşması sayesinde ses, ışık, çevre, mekanik-elektrik tesisat, çakışma ve maliyet gibi çeşitli konularda analiz yapılabildiği inşaat sektöründe YBM kullanımı bölümünde

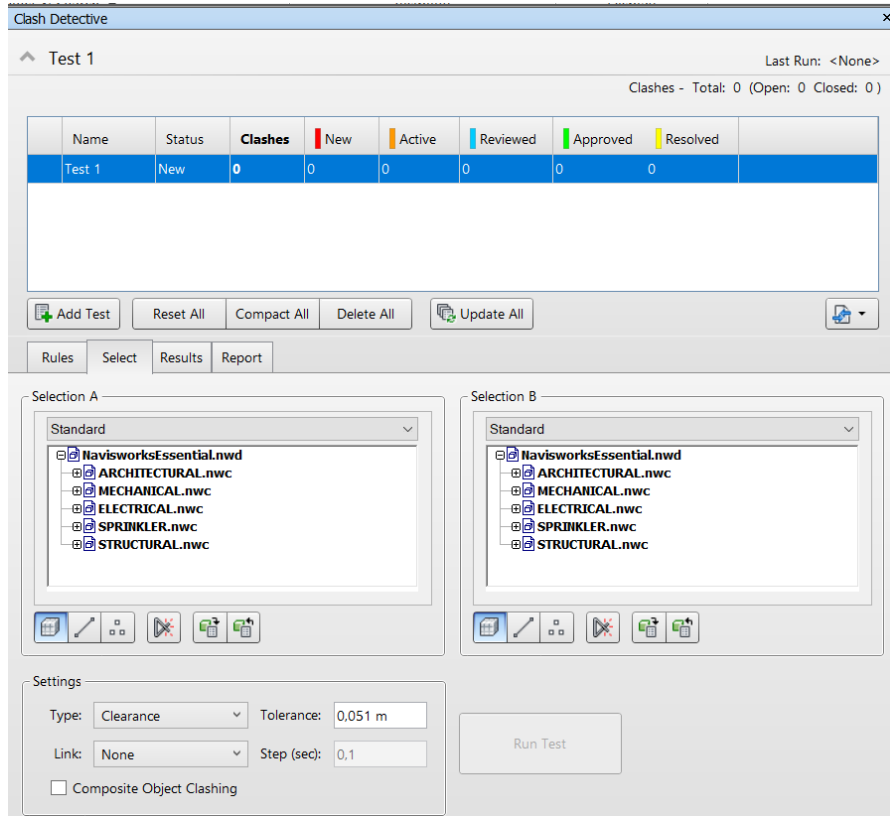
belirtilmiştir. Diğer analizlerin çalışma konusu dışında olması nedeniyle burada çakışma analizi üzerinde durulmaktadır.

Bina sistemindeki çakışmaların inşa edilebilirliğe engel olmadığından emin olabilmek için çizimlerin koordine edilmesi gerekmektedir. Proje aşamasında farkedilmeyen çakışmaların çoğu yüklenici projeler ile sahada imalat ve montaj yaparken ortaya çıkar. Proje çakışmaları geç tespit edildiğinde, gecikmeler ortaya çıkar ve çok hızlı bir şekilde karar alınması gerekir. YBM olası sorunların tasarım aşamasında erken tespit edilmesini ve inşaat başlamadan çözülmesini sağlar. Farklı inşaat disiplinleri arasındaki çatışmaların ve anlaşmazlıkların önlenmesi YBM'nin, geleneksel projelerle arasındaki en önemli ayrımdır (Preece vd., 2012). Çakışma analizi YBM sürecinin önemli ve ayrılmaz bir parçasıdır. Yöntem aslında çarpışma algılamanın sanal gerçekliğin bir özelliği olduğu 'oyun dünyasından' alınmıştır. Çakışma analizi YBM sisteminde birçok nesnenin ana yapıya entegre oluşu gerçeğinden doğar. Her disiplin kendi işlerine ait bağımsız 3 boyutlu projeler oluşturur. Bundan sonraki adım ana yapı üzerinde bu projelerin entegre edilmesidir. Disiplinlere ait projelerin ana yapı üzerinde entegre edilmesi sonrasında farklı ya da aynı disiplinlere ait olan ve aynı alanı kaplayan model elemanları bulunabilmektedir. Bu elemanlar arasındaki çakışmaların tespit edilmesi gerekir. Bu tür tutarsızlıkları tespit edememek inşaat sürecini ciddi şekilde etkiler, gecikmelere, tasarım değişikliklerine, malzeme maliyetlerine ve bütçe aşımına neden olur (http-46).



Görsel 4.3. Çakışma analizi (http-47)

Görsel 4.3’de tesisat borusu ve havalandırma kanalı aynı alanda, aynı yükseklikten geçerek imalata engel olmuşlardır. Bu çakışma tespiti aynı disipline ait proje nesneleri arasında gerçekleşmiş olsa da farklı disiplinler arasındaki nesneler için de yapılması mümkündür. Tesisat borusunun ya da kanalın bir kirişin içinden geçmesi gibi. Çakışma analizi simülasyon amaçlı yazılımlarda yapılabilmektedir. Bu aşamada çalışmada tercih edilen Navisworks programında çakışma analizinin nasıl yapıldığının açıklanması uygun olacaktır. Navisworks programındaki “clash dedective” işlevi kullanılarak Görsel 4.4’deki arayüze ulaşılır.



Görsel 4.4. Çakışma analizi arayüzü

Arayüzden farkedildiği üzere mimari, mekanik, elektrik, sprinkler ve statik projeleri aynı model üzerinde birleştirilmiştir. A ve B sütunlarından seçimler yapılarak aynı veya farklı disiplinler arasında çakışma tespiti yapılabilmektedir (Görsel 4.4). Ayarlar (settings) alanında ‘hard clash’ veya ‘soft clash’ (clearance) seçimleri yapılabilir, tolerans alanında nesneler arası mesafe bilgileri girilir. Hard clash Görsel 4.3’de olduğu gibi aynı alanı kaplayan ve birbirleri içinden geçen nesneler için geçerlidir. Soft clash erişim ve güvenlik gibi nesnelere ihtiyaç duydukları belirli boşlukların veya geometrik hata payları verilmediği durumlarda ortaya çıkar. Örneğin yüksek gerilim alanında bir

yapının modellenmesi (http-48). Diğer bir durumda ise soft clash'in, timeliner ve animation uygulaması ile uyumlu çalışmasıdır. YBM sisteminde kule vinç gibi dinamik nesnelerin bulunduğu animasyonlar oluşturulur. Bu tür hareketli nesnelerin animasyon esnasında diğer nesnelerle çakışmalarını tespit etmek amacıyla soft clash kullanılır. Bu sayede simülasyon sahnelerinde bir çarpışma olup olmadığı kontrol edilir (http-49). Diğer bir çakışma analizi olan 4D/Workflow clash sahada ekipman olmadığı zaman gelen çalışma ekipleri gibi iş akışındaki anormallikleri tespit etmek için kullanılır (http-50). Çakışma analizlerinin sonuçları arayüzdeki report kısmından 'txt', 'html' gibi çeşitli uzantılara sahip dosyalar biçiminde yayınlanabilir.

4.1.4. YBM'nin koordinasyon ve işbirliği amaçlı kullanımı

Bir inşaat projesinde yer alan paydaşlar arasındaki iletişim süreci YBM'in yardımıyla gözle görülür şekilde iyileşebilir. Bunun temel nedeni, gözlemcinin önce çizimleri analiz etmesi ve sonra yapının neye benzeyeceği ile ilgili zihinsel bir görüntü yaratması gerektiği 2D çizimlerden ziyade bir binanın 3D modeliyle ilişki kurmanın daha kolay olmasıdır. 2D çizimlerde gösterilebilecek her şeyi projeye dahil etmek neredeyse imkansızdır. Örneğin, çok sayıda üst üste binen boru 2D olarak gösterildiğinde bir HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) mühendisinin çizimlerini anlamak zor olabilir. Yapı bilgi modelinin mevcut olduğu durumlarda proje detaylarını anlamak çok daha kolay olabilir (Lahdou and Zetterman, 2011). Yapı bilgi modeli üzerinden yürütülecek koordinasyon çalışması ile proje detayları daha kolay incelenebilir ve kararlar daha hızlı alınabilir (Görsel 4.5).

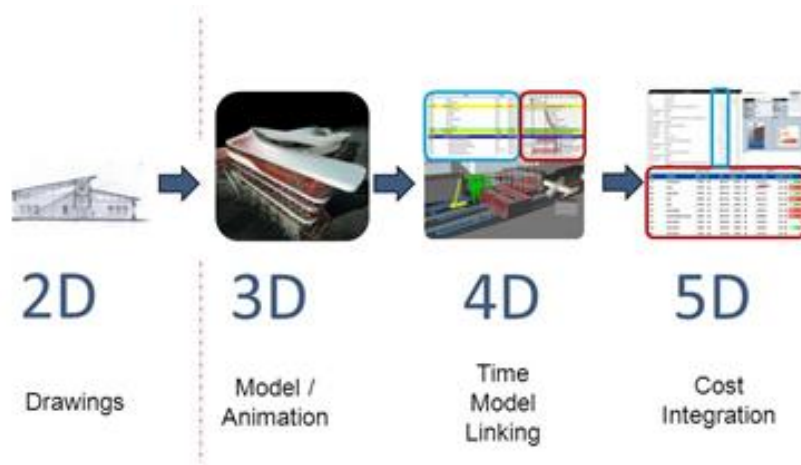


Görsel 4.5. YBM koordinasyon toplantısı (http-51)

İnşaat ekibinin mimar, mühendis ve mal sahibi ile işbirliğinin tasarım aşamasının erken aşamalarında başlatılması tercih edilir. Bu durumda YBM uygulaması da başlamış olacaktır. Mevcut 2D çizimler, 3D akıllı modellere dönüştürülmelidir. Özellikle mekanik tesisat ve çelik imalatları gibi uzmanlık gerektiren alanlar sözkonusu olduğunda çalışmaların mekansal olarak koordine edilmesi gerekir. İnşaat öncesinde yürütülecek koordinasyon çalışmaları tasarım hatalarını önlemeye ve yapılacak işlerin zamanından önce daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır (Hergunsel, 2011).

4.1.5. YBM'nin yapım planlama ve maliyet tahmini amaçlı kullanımı (5D modelleme)

YBM uygulamalarının neler olduğu ve bunların dijital verilerinin ulaşabileceği olgunluk seviyeleri 2.bölümde açıklanmıştır. YBM'nin yapım planlama ve maliyet tahmini amaçlı kullanımını açıklamadan önce bu uygulamalar ve olgunluk seviyeleri hakkında kısa bir özet yapılmaktadır. Sonrasında ise 5D model üzerinde detaylı bir şekilde durulmaktadır. YBM uygulamaları iki boyutlu projeden başlayarak 5 boyutlu model aşamasına kadar aşağıdaki şekilde özetlenir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. YBM Modelleri (<http-52>)

- 2D Model : Sadece uzunluk ve genişlik gösteren iki boyutlu düz çizimler.
- 3D Model : Uzunluk, genişlik ve yükseklik gösteren bilgisi veren 3 boyutlu katı model.
- 4D Model : Nesnelere zaman ve planlama verileri eklenmiş, inşaat planlama ve analizinde kullanılan 3D model.

- 5D Model : Maliyet verileri eklenmiş 4D model. Zaman ve maliyet verileri doğrultusunda nakit akışlarının analiz edilmesini sağlar (Gajendran and Brewer, 2012).

Bu modellerin dijital verilerinin ulaşabileceği YBM olgunluk seviyesi ise şu şekildedir (Şekil 4.6).

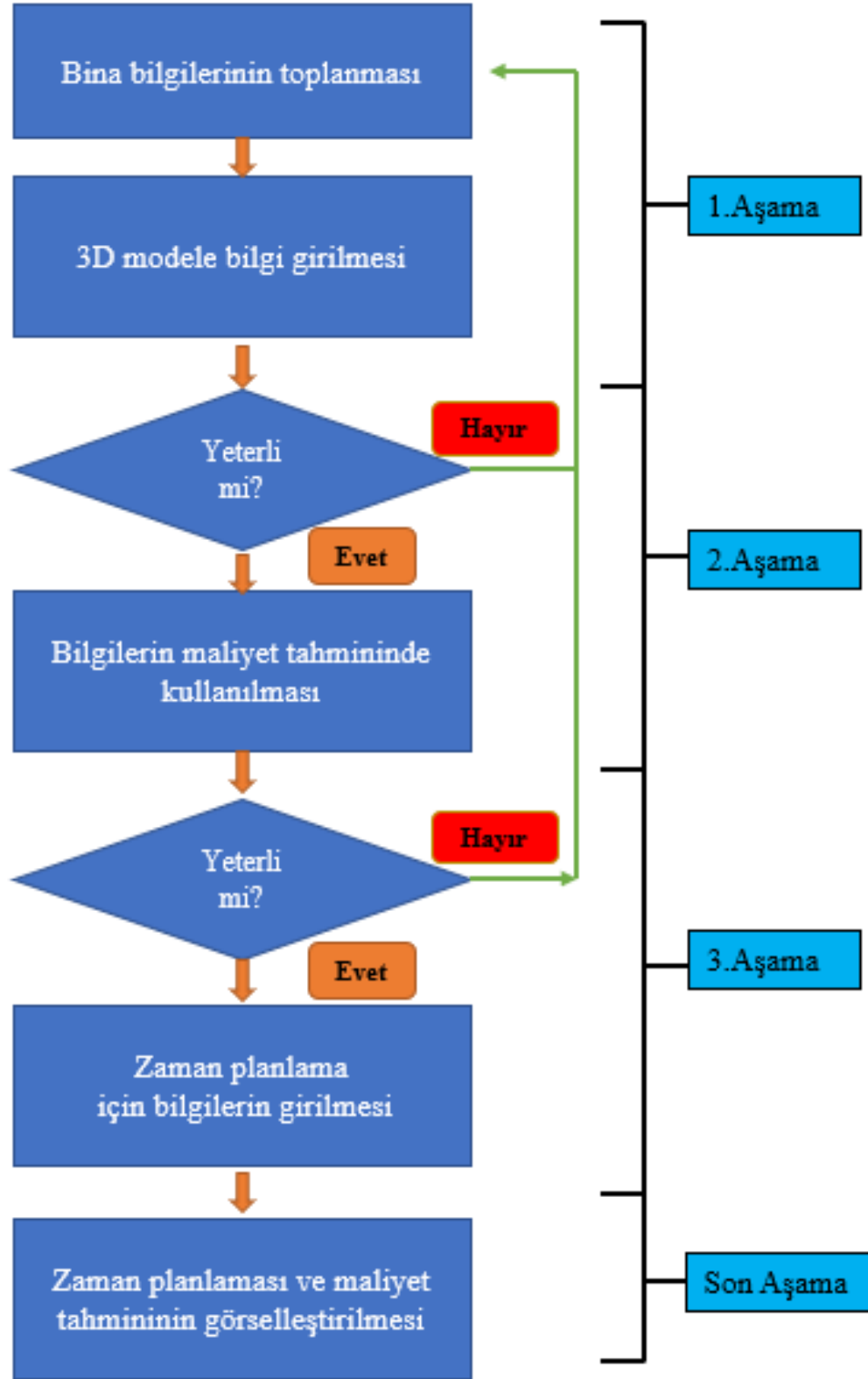


Şekil 4.6. YBM uygulamaları ve olgunluk seviyeleri

5D modelin içerisinde yer aldığı Seviye 2’de tüm taraflar işbirlikçi çalışmayı benimser, bilgi entegrasyonu ve alışverişinde bulunmak için veri yüklü 3D modeller kullanılır (http-53).

Uygulamalar ve olgunluk seviyeleri hakkında verilen açıklamalar doğrultusunda 5D model ile YBM seviyesinin ilerlediği, proje disiplinleri arasında bilgi alışverişinin zaman ve maliyet verileri eklenmiş bir 3D model üzerinden gerçekleştirdiği ifade edilebilir. Mesároš vd., (2019) 4D YBM yapılar hakkındaki bilgilerin 4 boyutlu olarak modellenmesidir. Şantiye planlaması ile ilgili tüm işlerde kullanılır. Projenin ömrü boyunca yüklenici ve üreticilerin faaliyetleri, teslimatlar, stoklama gibi işlerin sürecini görselleştirmek ve kontrol etmek mümkündür. 5D model bütçe takibi ve maliyet analizi için kullanılmaktadır. Binaların bütçelerini oluşturmak, proje yaşam döngüsünün en önemli kısımlarından biridir. Amaç kar dahil inşaat işinin maliyetini tam olarak belirleyebilmektir. Binaların bütçelerini belirleyebilmek zor bir işlemdir ancak doküman kalitesi ve hesaplama yöntemlerine de bağlıdır. 5D modelden doğrudan ve yüksek doğrulukta bilgi elde edilebilir. Miktarlara maliyet tayin edilerek doğru ve güvenilir maliyet analizi yapılabilir. Projenin finansal yönlerinin daha iyi planlanmasına olanak sağlar, böylece finansman sürekli kontrol altında tutulur. Genel olarak 5D modelin başarısı miktar bilgisi elde edilebilen parametrik 3D modelin kalitesine bağlıdır. Lee vd.,

(2016) 5D modelin oluşturulma sürecini 4 aşamaya ayırmıştır. Bu aşamalar şekil 4.7’de görülmektedir.



şekil 4.7. 5D model aşamaları

1. Aşama

Müşterilerin talepleri doğrultusunda mimari proje hazırlanmıştır. Statik, mekanik, elektrik ve iç tasarım gibi diğer disiplinlere ait bilgilerin dahil edildiği 3D model oluşturulmuştur.

2. Aşama

Müşterilerin memnuniyeti sonrasında maliyet tahmini bilgileri 3D modele girilir. Bu aşama 4D model müşterilerin maliyet tahmini perspektifinden önceliklerini tespit etmede yararlı olur.

3.Aşama

Bu aşama müşterilerin 4D modelden memnun kaldıklarında devam etmektedir. Proje yöneticileri inşaat faaliyetlerini belirlemek için iş kırılım yapısı (work breakdown structure, WBS) oluşturur. Fazla sayıda başlık içeren WBS daha çok bilgi sağlar. Bu aşamada gerekli bilgiler 5D model olarak entegre edilir.

Son Aşama

Proje bileşenlerini, maliyetini ve zaman planlamasını içeren 5D modelin sanal tasarım ve inşaatının görselleştirilmesi olmaktadır.

5D model yüksek bir detaylandırma düzeyi içermelidir. Bu sayede projenin zamanı ve maliyeti daha kolay kontrol edilebilir. 3D model yapım işinin ve disiplinlerin amacına uygun bilgi girişi ve paylaşımı yapılabilecek düzeyde oluşturulmalıdır. YBM sistemini destekleyen yazılımlar kullanılarak model üzerinde analizler yapılmalı ve detaylar incelenmelidir. Disiplinler arasında iletişim ve koordinasyon sağlanarak proje içeriği olgunlaştırılmalıdır. Zaman boyutunun eklenmesiyle oluşturulan 4D model ile proje detayları, bilgileri ve görselleştirme yöntemi kullanılarak farklı tarihlerde yapım işinin ilerleme düzeyi veya tamamlanmasının ne kadar zaman alacağı görülebilir. Proje detaylarına yüklenen maliyet bilgileri ile 5D modelin simülasyonu sırasında miktar ve maliyet bilgileri edinilebilir. Proje süresi ve bütçesinin aşılmasını engellemek amacıyla görsel verilerle desteklenmiş raporlar hazırlanabilir. Bu raporlar proje yöneticilerine zaman ve bütçe konusunda değerlendirme yapma ve hızlı karar alma imkanı sunabilir. 5D modelin oluşturulması, geleneksel yöntemlerden farklı olmakla beraber Tablo 4.2’de özetlenen bir takım avantaj ve zorlukları bulunmaktadır.

Tablo 4.2. 5D Model avantajları ve zorlukları

	Avantajlar	Zorluklar
(Sattineni and Macdonald, 2014)	5D süreci firmadaki iç süreçlerin denetlenmesini kolaylaştırabilir İnşaat ekibi arasında bilgi paylaşımı kolaylaşır Mevcut planlama yöntemlerinden farklı olması nedeniyle inşaat firmalarının dönüşümüne katkı sunabilir.	Teknolojik zorluklar Büyük projelerde uygulama güçlüğü İnşaat işlerinde deneyimli ve teknoloji konusunda bilgili insanlara ihtiyaç duyulması Donanım, yazılım ve eğitim maliyetleri Değişime karşı personellerin direnci Firmaların kar odaklı hareket etmesi nedeniyle teknolojik süreçlere mesafeli oluşu
(Stanley and Thurnell, 2014)	Verimlilik artışı İnşaat detaylarının görselleştirilmesi Risklerin belirlenebilmesi	Yazılımların uyum problemleri Nesne kodlamalarında eksiklikler Elektronik standartların gerekliliği Uygulanabilirliği konusunda şüpheler
(Hasan and Rasheed, 2019)	Tasarımın daha ayrıntılı ve kapsamlı görünmesi Farklı tasarım alternatiflerinin değerlendirilebilmesi Tasarım ve inşaat aşamasında kullanışlıdır Miktar ölçümleri için kullanılabilir. Geleneksel yöntemlere göre daha hassas ölçüm Proje ekibi arasında iş birliğinin artması Maliyet ve zaman tahmini	Nitelikli personel eksikliği Maliyet Eğitim eksikliği Özel talimat ve standart eksikliği

4.2. Dünyada YBM'nin Durumu ve Örnek Projeler

Kentleşmenin her yerde gün geçtikçe yükseliş göstermesi ve akıllı şehirlerin hız kazanmasıyla, dünya genelinde ülkeler YBM'nin benimsemesine daha fazla dikkat etmeye başlamışlardır. YBM gelişmeye devam ettikçe hükümetler tarafından kamu projelerindeki israfların engellenmesi, iklim değişikliklerine karşı önlem alınması, maliyetlerin azaltılması ve inşaat sektörünün reforme edilmesi amacıyla bu teknolojinin kullanımının zorunlu hale getirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Amerika, İngiltere, İsveç, Finlandiya, Rusya, Danimarka, Singapur, Norveç, Avusturalya gibi ülkelerde

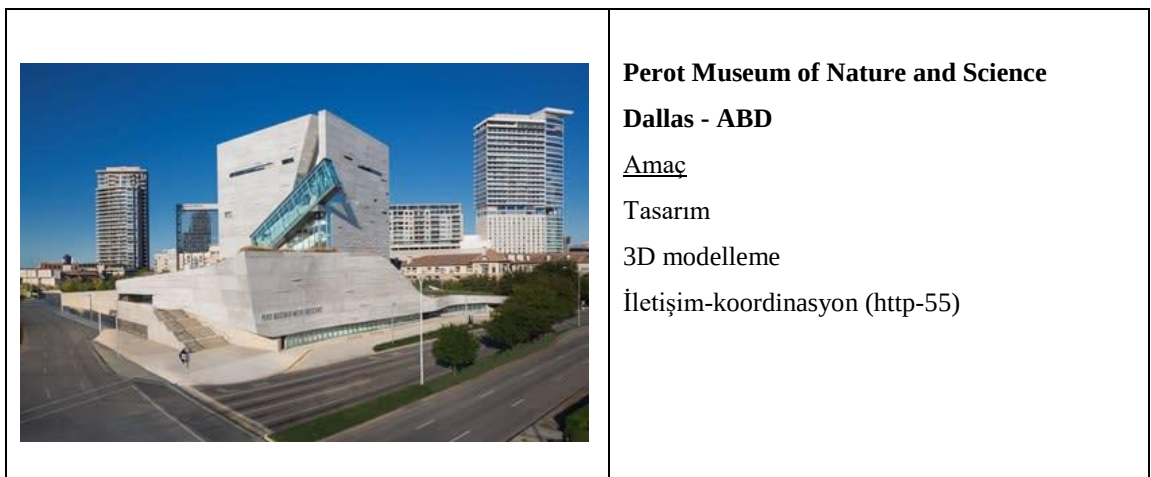
(kırmızı ve yeşil alanlar) kamu destekli inşaat projelerinde YBM kullanımı zorunludur (Şekil 4.8). Diğer ülkelerde ise inşaat projelerinde YBM kullanımının yürürlüğe konulmasına yönelik çalışmalar sürdürülmektedir (http-54). Dünya genelinde YBM'ye yatırım yapan müteahhitler firmanın imajının geliştirilmesi, hataların azaltılması, yapı sahipleri ile iş birliği, inşaat maliyetlerinin azaltılması ve proje süresinin kontrol edilmesi gibi konularda bu teknolojiye olumlu sonuçlar aldıklarını ifade etmektedirler (Jones and Bersntein, 2014).

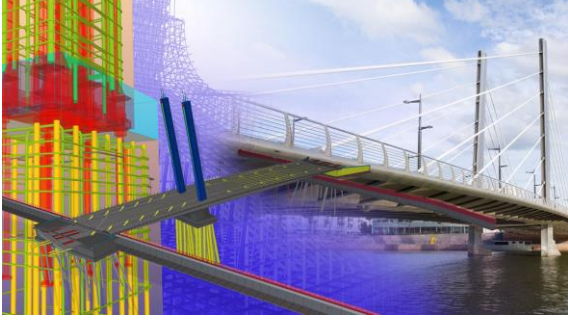


Şekil 4.8. Dünyada YBM kullanımı

Yapı bilgi modellemesinin inşaat projelerinde uygulanması dünyanın birçok yerinde son birkaç yıl içinde önemli bir ivme kazanmıştır. Kuzey Amerika, İngiltere ve İskandinav ülkelerinde başarılı uygulamalar görülmektedir (Smith, 2014). Bazı ülkelerde YBM kullanılarak gerçekleştirilmiş projeler Görsel 4.6’da verilmektedir.

Görsel 4.6. Dünyada YBM projeleri



	Phoenix Media Centre, Pekin - ÇİN <u>Amaç</u> 3D modelleme Risklerin azaltılması - Zamandan tasarruf Kalitenin artırılması (http-56)
	Crusell Bridge, Helsinki - FİNLANDİYA <u>Amaç</u> Statik hesaplar - taşıyıcı sistemin donatı ve beton dahil modeli 3D modelleme - 4D simülasyon Tedarik zinciri ve saha montajı (http-57)
	The Royal London Hospital - İNGİLTERE <u>Amaç</u> 3D modelleme Bakım ve servis Tesis yönetimi (http-58)

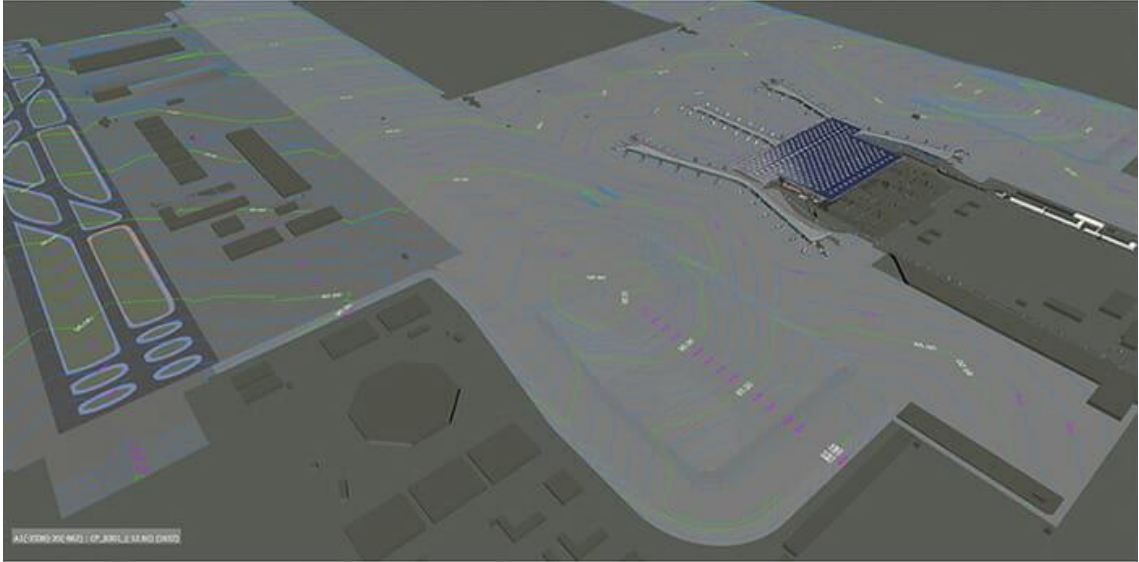
Görsel 4.6. Dünyada YBM projeleri (Devam)

4.3. Türkiye’de YBM’nin Durumu ve Örnek Projeler

Türkiye’de BIM kullanımı ile ilgili ilk tecrübelerin Körfez bölgesinde çalışan yüklenici firmalar tarafından edinildiği görülmektedir. Bu tecrübelerin Türkiye’deki projelere taşınmasıyla son birkaç yılda YBM uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Özellikle, yapının işletmesi sırasında elde edilecek faydalar dikkate alındığı için inşaatı ve işletmesi aynı firma tarafından gerçekleştirilen projelerde (ör. havalimanı projeleri) YBM kullanımının tercih edildiği gözlemlenmektedir. Kamuda ise, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, raylı sistemlerde YBM kullanımını 2014 yılından itibaren zorunlu hale

getirmiştir ve mevcut metro projelerinde uygulamaktadır. Her ne kadar YBM konusunda sektör çalışanlarında bir farkındalık olsa da, YBM'nin Türkiye'de yaygınlaştığını söylemek zordur. Bunun en önemli sebebi, YBM tabanlı çalışmak için gerekli olan kültür değişimidir (Pehlevan, 2018). Düşük verimlilik ve proje katılımcılarının entegrasyonu eksikliği inşaat sektöründe uzun zamandır önemli bir sorun olmuştur. Risk ve zorluk içermeyen YBM uygulaması bu sorunlara çözüm olabilir. Türkiye'de inşaat sektöründe kamu ve özelde çalışan katılımcılarla yapılan anket çalışmasında nitelikli personel ihtiyacı, etkin liderlik, bilgi ve teknolojinin bulunabilirliğinin YBM'nin başarıya ulaşmasında önemli faktörler olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır (Özorhon ve Karahan, 2016).

Özorhon (2018) Türkiye'de YBM'nin 3D'den 7D'ye kadar farklı yelpazedeki projelerde uygulandığını, 3 adet raylı sistem projesi, 3 adet sağlık tesisi projesi, 4 adet havalimanı projesi ve diğer alanlardaki projeler olmak üzere örnek olarak seçilmiş 13 adet farklı projede; saha koordinasyonu, metraj, planlama, maliyet, çakışma tespiti, hataların azaltılması, verimliliğin artırılması, değişimlerin izlenmesi gibi amaçlarla kullanıldığını belirtmektedir. Bu projelerin içinde bütçesi 10 milyar dolar olan İstanbul Yeni Havalimanı da bulunmaktadır (Görsel 4.7). Bu projelerde tercih edilen yazılımlar ise genel olarak Revit, Navisworks, Synchro, Tekla, Primavera'dır.



Görsel 4.7. *İstanbul Yeni Havalimanı YBM (http-59)*

5. YBM 5D MODELLEME UYGULAMASI



Görsel 5.1. *Yapının konumu*



Görsel 5.2. *Yapı ön cephesi*

5.1. Çalışmanın Amacı

Yaşanan hızlı teknolojik değişimler nedeniyle yapılar giderek daha da karmaşık hale gelmektedir. Farklı disiplinlerin barındırdığı teknolojilerin ve diğer girdilerin, bir arada yürütülmesi noktasında inşaat projelerinin daha etkin yönetimi amacıyla bilgisayar yazılımlarından da faydalanılmaktadır. İnşaat sektörünün ihtiyaçları doğrultusunda üretilen yazılımlar sürekli gelişme kaydetmekte ve proje yönetimi konusunda alternatif teknolojiler sunmaktadır. Bu çalışmada inşaat sektöründe yeni gelişen yapı bilgi modellemesi teknolojisi ve bu teknolojinin uygulama seviyelerinden birisi olan 5 boyutlu (5D) modelleme üzerinde durulmuştur. 3 boyutlu model, planlama ve maliyet verilerinin birleşimi ve inşa edilecek yapıya uygulanması olarak ifade edilebilen 5D modellemenin inşaat proje yönetiminde kullanımı, yeterliliği, avantajları ve zorlukları incelenmiştir.

5.2. Çalışmanın Yöntemi

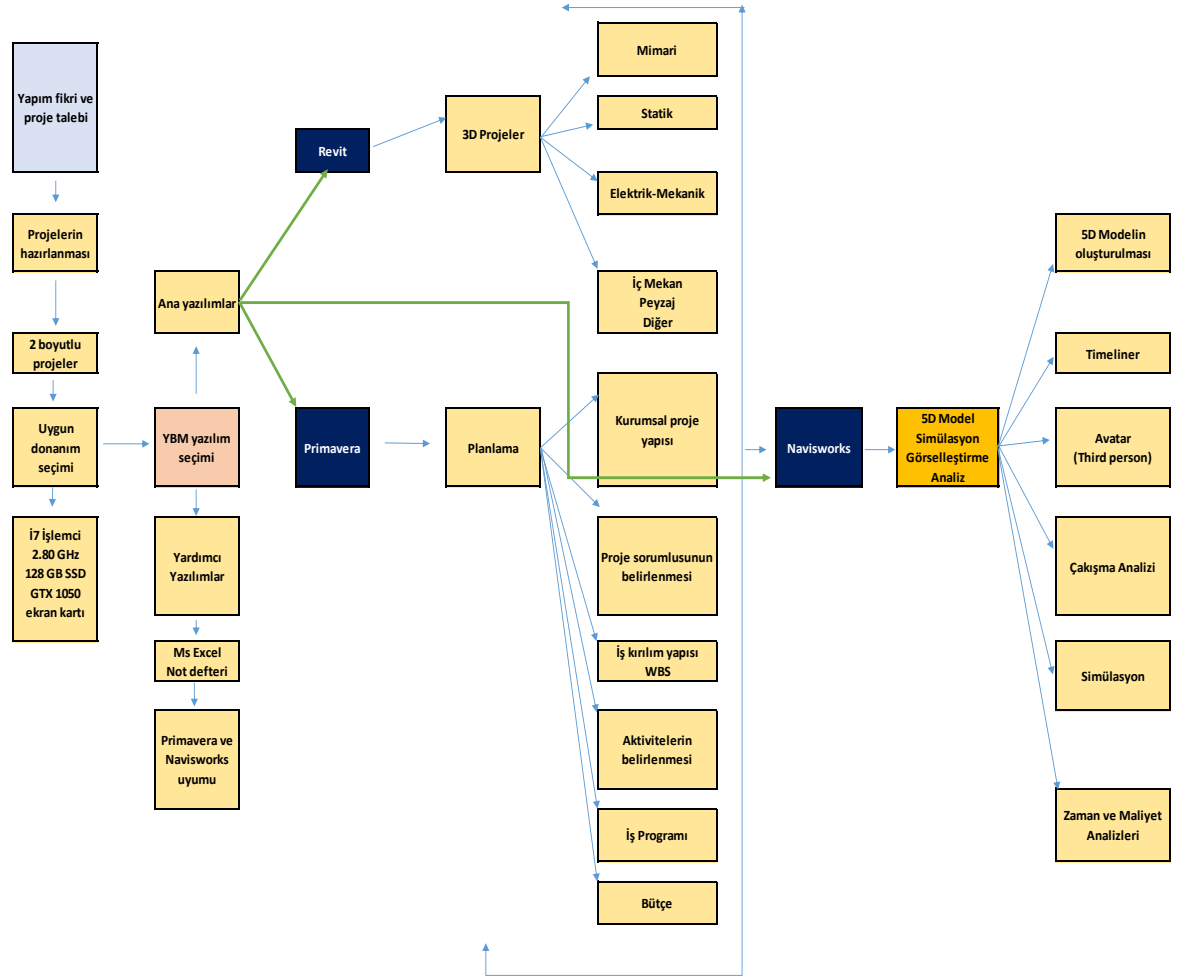
Vaka çalışması olarak seçilen 5 katlı bina projesi üzerinde YBM 5D modelin kullanımı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan örnek yapı yaklaşık 810 m2 taban alanı ve 5800 m2 kapalı inşaat alanına sahiptir. Yapı bodrum kat, zemin kat, 5 normal kat ve teras kattan oluşmaktadır. Yapı temeli radye ve bodrum katı perde duvardır. Yapı perdeli çerçeve betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. Yapının dış cephesinde cam giydirme, alüminyum ve çimentolu yonga levha kaplama bulunmaktadır. Revit programı ile yapının taşıyıcı sistemi ve mimarisi uygulama projesi esas alınıp 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Primavera P6 programı kullanılarak iş kırılım yapısı, iş programı ve aktivite bütçeleri oluşturulmuştur. Navisworks programında, Revit modeli ile Primavera verilerinin birleşimi ve yapım simülasyonu gerçekleştirilerek 5 boyutlu modelin zaman ve bütçe açısından kullanımı yeterliliği, avantaj ve zorlukları üzerinde durulmuştur.

Revit, Primavera ve Navisworks programlarının kullanılması ve 5D modelin oluşturulması ile ilgili süreçler daha önceki bölümlerde açıklanmıştır. Revit programı görselleştirme (render) işlemi ile elde edilen yapının konumu ve genel görünümü Görsel 5.1’de, ön cephesi Görsel 5.2’de görülmektedir. Bu bölümde seçilen 5 katlı bir yapı ile 5D modelin kullanımı, avantajları ve potansiyel problemler üzerinde durulmaktadır. Bu amaçla Şekil 5.1’deki 5D Model şeması üzerinden hareket edilerek ilgili alanlarda açıklamalar yapılmaktadır. Yapı ile ilgili bilgiler Tablo 5.1’de özetlenmiştir.

Tablo 5.1. Yapı bilgileri

Yapı Bilgileri	Genel	Proje Bütçesi: 2.712.637,00 USD İşin başlama tarihi: 1.11.2018 İşin bitiş tarihi: 27.04.2020 Toplam iş günü: 388 gün Gelişmişlik Seviyesi : LOD 300 (Model elemanları sayı, boyut, konum ve yönlendirme olarak netleşmiştir)
	Mimari	Kat bilgileri: bodrum kat + zemin kat + 5 normal kat + teras çatı Kat alanı: yaklaşık 810,00 m ² Toplam kapalı alan: 5.800,00 m ² Bodrum katı otopark, sığınak ve mekanik ve elektrik tesisata ilişkin alanlardır. Zemin kat ve diğer ara katlarda genel olarak çalışma alanları, servisler, personel odaları, arşivler bulunmaktadır. 5.katta misafir odaları, eğitim salonu ve yemekhane bulunmaktadır. Teras gezilebilir çatı olarak modellenmiştir.
	Statik	Radye temel – kolonlar – kirişler- döşemeler- merdivenler Bodrum kat perde duvarlar
	Mekanik tesisatı	Havalandırma tesisatı Sıhhi tesisat Kalorifer tesisatı Yangın tesisatı Otomatik kontrol sistemleri
	Elektrik tesisatı	Data ve telefon tesisatı Yangın algılama ve ihbar tesisatı Aydınlatma ve seslendirme tesisatı Tv tesisatı Cctv tesisatı Eğitim ve görüntüleme tesisatları Ups Jeneratör Kablolama ve pano işleri
	Tefrişat	Çalışma masaları Arşiv dolapları Koltuklar vb
	Peyzaj	Çevre duvarı ve kapılar Andezit zemin kaplaması Yeşil alanlar- Ağaçlandırma

3D	Mimari	Revit
	Statik	
	Mekanik + Elektrik + Diğer	
4D	Planlama + Yapım Simülasyonu	Primavera + Navisworks
5D	Maliyet	

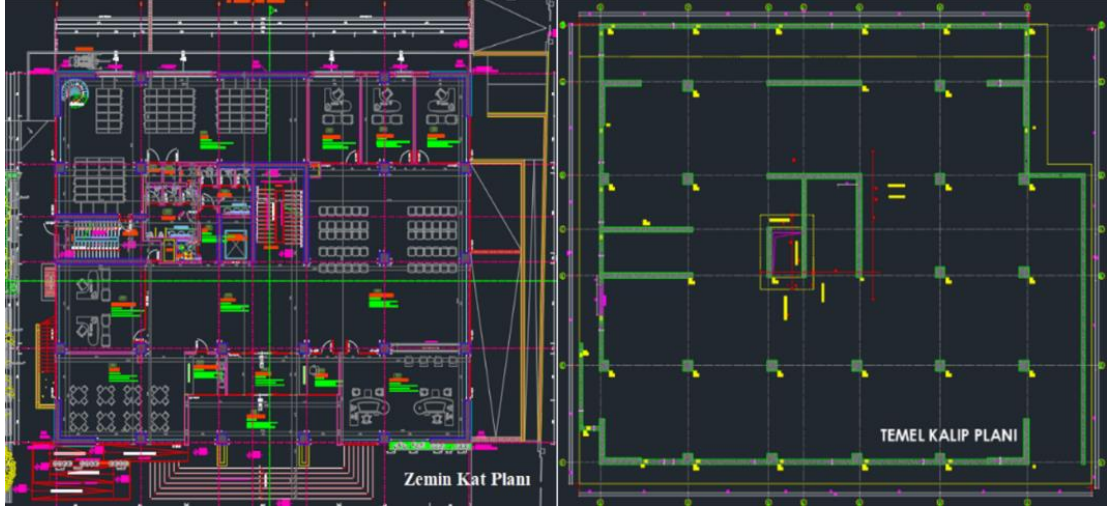


Şekil 5.1. 5D model detayı

5.3. Revit Programı ile 3 Boyutlu Modelleme

3D model çalışmaları varolan iki boyutlu projelerin (Görsel 5.3) incelenmesi ve detayları hakkında bilgiler edinilmesiyle başlamıştır. Yapı modelinin oluşturulması esnasında iki boyutlu projelerde belirtilen ölçüler esas alınmıştır. Mimari ve statik projelerin orijinallerine sadık kalınarak bu disiplinlere ait çizimler Revit programı ile 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Statik projedeki bilgiler doğrultusunda radye temel altındaki grobeton, yalıtım ve koruma betonu imalatları geometrik şekiller olarak

modellenmiştir. Radye temel, kolonlar, perdeler, kirişler, döşemeler ve merdivenlerin modellenmesi için Revit içerisindeki ‘structure’ ve ‘architecture’ platformlarından yararlanılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanları içerisinde donatı ve betonu temsil edecek nesneler bulunmamaktadır.



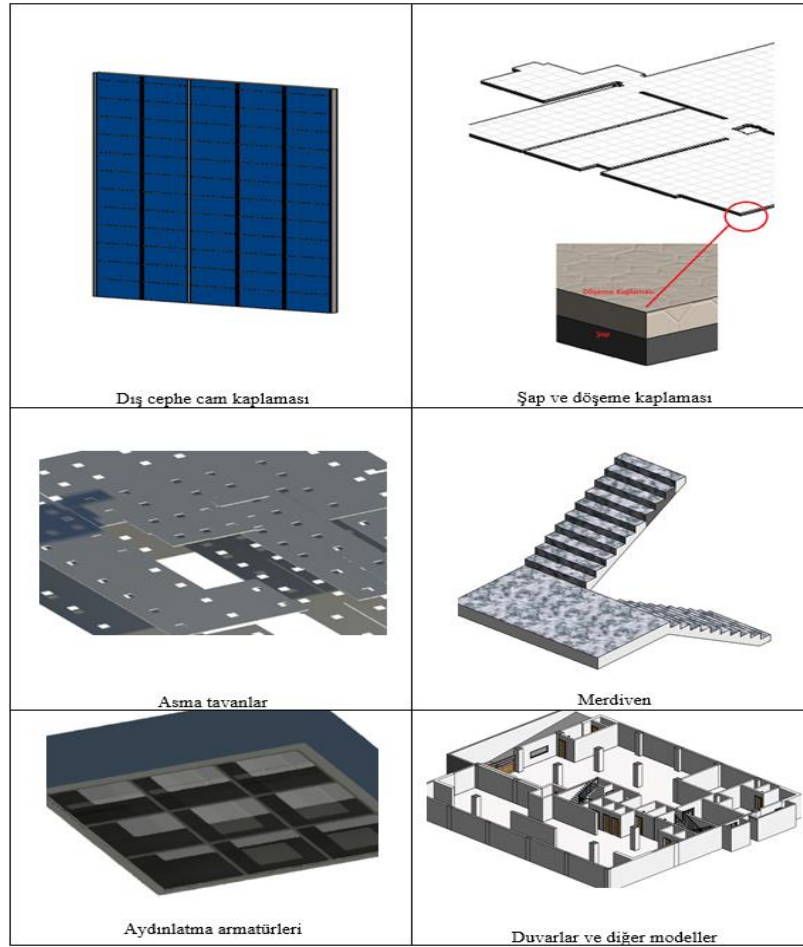
Görsel 5.3. İki boyutlu mimari ve statik projeler

Mimari proje kapsamında duvar, şap, döşeme kaplaması, alüminyum bölmeler, çatı katı parapet işleri, kapılar, pencereler, cam işleri, alüminyum ve taş yünü asma tavanlar, dış cephe cam, alüminyum ve çimentolu yonga levha kaplamaları hazır nesneler veya Revit çizim işlevleri yardımıyla geometrik nesneler olarak modellenirken; taş yünü ısı yalıtımı, sıvalar, boya işleri ve drenaj gibi imalatlar ise modellenememiştir. Elektrik tesisatı kapsamında sadece asma tavan içindeki aydınlatma armatürleri; mekanik tesisat için wc ve banyolardaki vitrifiye elemanları, mobilya ve diğer kullanım malzemeleri, tefrişat için çalışma masası, koltuk, bekleme alanları, bilgisayar, arşiv dolapları, yatak ve tv ünitesi, peyzaj işlerinde dış kapılar gibi hazır nesneler Revit kütüphane sisteminden faydalanılarak modele eklenmiştir (Görsel 5.4).

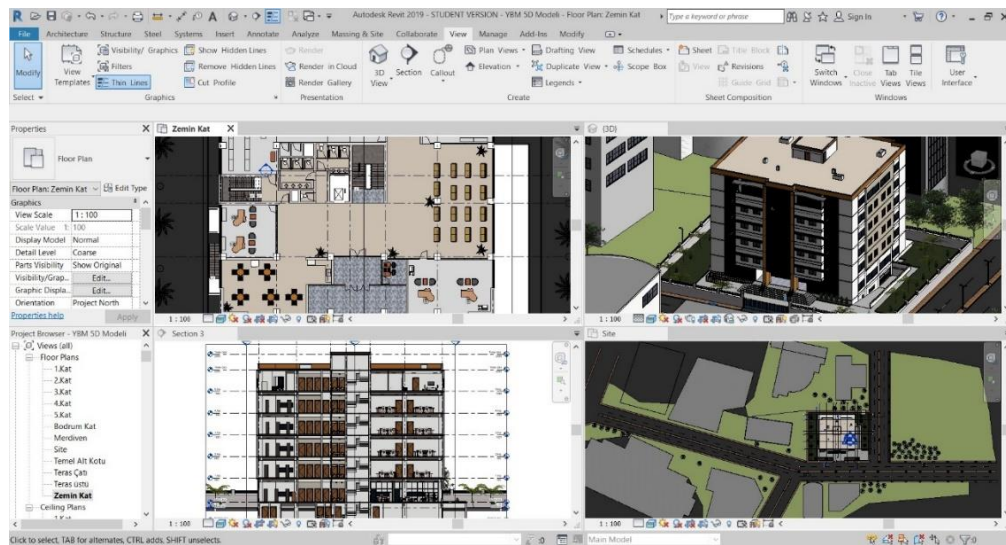
Revit programında bazı imalatların modellenemeyişi ve imatları temsil edecek hazır nesnelere zorlukla ulaşılması veya yeteri kadar bulunmaması 3 boyutlu modelin detay seviyesini düşürmektedir. Bu durum proje disiplinlerinin gerçekçi projeler üretmesini engellemektedir. Proje disiplinlerinin ihtiyaç duyduğu sayıda nesne olmayışı veya modellenemeyişi çakışma analizi gibi kullanımlarda projeler arasında sağlıklı bir koordinasyonun sağlanmasını da güçleştirmektedir. İnternette yapılan aramalarda Revit hazır nesnelere zorlukla ulaşılsa da bunların belirli standartları bulunmamaktadır. Revit

hazır nesne sayılarının arttırılması ve bunların modelleme seçeneklerinin geliştirilmesiyle daha gerçekçi dijital yapı modellerinin oluşturulması mümkün olabilecektir. 3 boyutlu modelleme imkânı vermesiyle Revit bundan sonraki süreçte geleneksel iki boyutlu Cad programlara göre daha çok tercih edilmesini sağlayacak özelliklere sahiptir. 2 boyutlu olarak çizilen projeler için ilerleyen aşamalarda yeni düzenlemeler ve veri güncellemeleri yapmak gerekirken, Revit ile oluşturulan model gelişirken aynı zamanda da yeni bilgileri de sağlayacak kapasitededir (Görsel 5.5). Örneğin 2 boyutlu mimari kat planları, döşeme ve tavan projeleri çizildikten sonra bunlar üzerinden kesitler almak ve imalata yönelik detaylar sunmak gerekmektedir. Böyle bir durumda proje disiplinlerini iki boyutta koordine etmek için zaman ve emek vermek gerekir. Projelerde olabilecek ufak bir değişiklik iki boyutta ilgili birçok bilginin yeniden güncellenmesini zorunlu kılar ve proje kapsamında hatalar yapılmasına neden olur. Revit kullanımı ile bu tip zorluklar ve hatalar ortadan kalkmaktadır. Projede bir duvarın yüksekliğinin, döşemenin kotunun ve kapının genişliğinin değişmesi gibi birçok durumda Revit değişikliği ilgilendiren bütün alanlarda verileri günceller. Çünkü Revit plan, kesit ve 3 boyutlu olarak birbirleriyle bağlantılı çalışır. İki boyutlu Cad programlarında nihai görünüm için projenin netleşmesini ve görünüşlerin çizilmesini beklemek gerekirken, Revit ile proje üretimi bittiği noktada nihai ürün de görülebilmektedir. Revit, çizimlerin 3 boyutlu olarak hazırlanması sayesinde mekanların konumları, ölçüleri ve diğer bileşenler ile ilişkileri gibi konularda daha fazla bilgi sağlamaktadır (Görsel 5.6). Geleneksel projelerde duvar, kapı, pencere gibi bileşenler sembollerle ifade edilirken, Revit'te nesne ile doğrudan görselleştirme yapılır. Nesneler üzerine malzeme ve renk gibi bilgiler atanarak gerçekçi görünüm elde edilir (Görsel 5.7). Parametrik modelleme yapabilme özelliği ile proje bileşenleri kolaylıkla revize edilebilmektedir. Bir pencerenin eni, boyu veya kalınlığı gibi özellikleri üzerinde değişiklik yapılmak istenirse, Revit'te ilgili arayüzünden ilgili parametreleri güncellemek yeterli olmaktadır. Revit Autodesk firması tarafından üretilen bir program olması sayesinde Autocad gibi iki boyutlu çizim programlarından veri alınması mümkündür. Autocad programı ile hazırlanmış 2 boyutlu projeler Revit kullanılarak 3 boyutlu hale hızlıca dönüştürülebilirler. Autocad kullanırken mantıksız bir işlem ya da çizim yapılırsa kullanıcı bunu fark etmeyebilir ancak Revitin bunu engelleyecek uyarı sistemleri mevcuttur. Böylece Revit hızlı ve hatasız proje üretilmesini kolaylaştırır. Öğrenilmesi ve uygulanması zor olduğu düşünülse de diğer iki boyutlu programlara göre birçok avantajlı

yönü bulunmaktadır. YBM sistemine de entegre olması sayesinde önümüzdeki zamanlarda daha çok tercih edilebilir.



Görsel 5.4. Hazır nesne ve modeller



Görsel 5.5. Yapının farklı noktalardan görünümü



Görsel 5.6. Yapı detayları



Görsel 5.7. *Kat görünümleri*

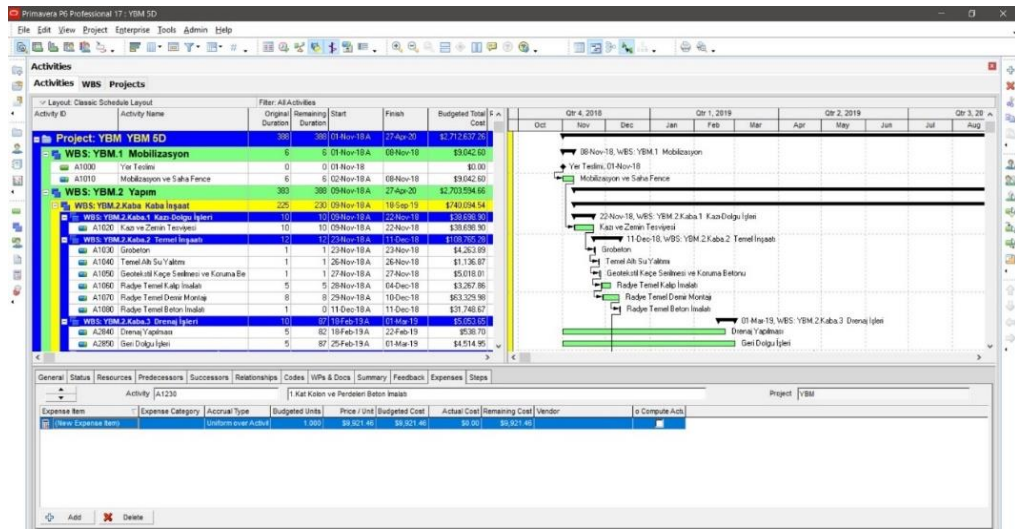
5.4. Primavera Programı İle Planlama Yapılması

Kurumsal proje yapısı ve sorumlu kişinin projeye atanması işlemleri, Primavera programının kullanımında açıklandığı için burada üzerinde durulmamıştır.

- **İş programı özeti ve kabulleri**

- Uygulama projelerinin yapım işinin başında var olduğu kabul edilmiş olup iş programında bunların hazırlanmasına yönelik süre verilmemiştir.
- Yer teslimi ve şantiye kurulması (mobilizasyon) aşamalarından başlayarak binanın kullanıma açılmasına kadar geçen süre iş programına yansıtılmıştır.
- Aktiviteler proje kapsamından ve keşif özetinden elde edilmiştir.
- Binadaki imalatlar genel olarak kat bazında ilerlemiş, daha sonra çevre düzenlemesine geçilmiştir.
- Elektrik tesisata ilişkin imalatlar iş programına yansıtılmış ancak modelde aydınlatma armatürleri dışında yapı modeline ekleme yapılmamıştır.
- Mekanik tesisata ilişkin imalatlar iş programına yansıtılmış ancak ıslak hacimlerdeki vitrifiye malzemeleri dışında yapı modeline ekleme yapılmamıştır.
- Aktivitelerin süresine ilişkin belirlemede adam-saat analizleri, puantajlar, benzer büyüklük ve özellikteki yapılardan yararlanılmıştır.
- İş takviminde çalışma günleri hafta içi olarak belirlenmiştir.
- İmalatların maliyetlerinin belirlenmesinde yaklaşık verilerden faydalanılmıştır.
- İş programı mobilizasyon ve yapım olarak 2 temel başlık altında belirlenmiş olup yapım işi ise 6 bölümde toplanmıştır.
- Yapım işi; kaba inşaat, ince işler, mekanik işleri, elektrik işleri, çevre düzenleme işleri ve altyapı işleri olarak belirlenmiştir.
- İş programında toplam 210 adet aktivite bulunmaktadır (Görsel 5.8).
- İş programında kalıp ve duvar imalatı gibi işlemlere gerçek aktivitelere yer verilirken, boyanın kuruması ve betonun prizini alması gibi suni aktivitelere yer verilmemiştir.
- Aktivitelere ait bütçeler Primavera programına ‘budgeted total cost’ toplam maliyet (malzeme, işçilik, ekipman ve yüklenici giderleri toplamı) olarak yansıtılmıştır.

- Aktivitelere maliyetlerin yansıtılması sonucunda yapım işinin toplam bütçesi 2.712.637,00 USD olmuştur.
- Tablo 5.2'deki iş kırılım yapısı (work breakdown structure, WBS) oluşturulurken kaba inşaat işleri 11 gruba, ince inşaat işleri 18 gruba, mekanik tesisat işleri 7 gruba, elektrik tesisat işleri ise 15 gruba ayrılmıştır. Proje sorumlusu (responsible manager) ise Primavera programında var olan standart listeden seçilmiştir.
- Aktivite arasındaki mantık bağları ve ilişkileri kritik yol metoduna uygun olarak oluşturulmuştur. Proje süresinin makul sürede tamamlanmasına dikkat edilmiştir.



Görsel 5.8. İş Programı ve aktivite bütçeleri

- Revit içerisinde imalatları temsil eden her nesne için Primavera programında aktivite oluşturulmuştur. Fakat iş programındaki her aktivite için Revit programında nesne bulunmamaktadır. Kazı işleri, drenaj işleri, yangın algılama ve ihbar tesisatı, tv tesisatı imalatları gibi.
- İş programındaki aktivitelerin imalat sıralarının belirlenmesinde yapım sürecindeki imalat sıralaması dikkate alınmıştır.
- Primavera programındaki iş programı ve maliyet verileri Ms Excel 2016 programında kullanılabilecek '*.xlsx' uzantılı dosya olarak dışa aktarılmıştır.
- '*.xlsx' uzantılı dosya, not defteri programı kullanılarak '*.csv' uzantılı dosya olarak kaydedilmiştir.
- Timeliner alanındaki 'data sources' sekmesinden '*.csv' uzantılı dosyadaki veriler Navisworks programına aktarılmıştır.

Tablo 5.2. İş kırılım yapısı

WBS Code	WBS Name	Responsible Manager
YBM	YBM 5D	LOB 2
YBM.1	Mobilizasyon	LOB 2
YBM.2	Yapım	LOB 2
YBM.2.Kaba	Kaba İnşaat	LOB 2
YBM.2.Kaba.1	Kazı-Dolgu İşleri	LOB 2
YBM.2.Kaba.2	Temel İnşaatı	LOB 2
YBM.2.Kaba.3	Drenaj İşleri	LOB 2
YBM.2.Kaba.4	Bodrum Kat Kaba İnşaat	LOB 2
YBM.2.Kaba.5	Zemin Kat Kaba İnşaat	LOB 2
YBM.2.Kaba.6	1 Kat Kaba İnşaat	LOB 2
YBM.2.Kaba.7	2 Kat Kaba İnşaat	LOB 2
YBM.2.Kaba.8	3 Kat Kaba İnşaat	LOB 2
YBM.2.Kaba.9	4 Kat Kaba İnşaat	LOB 2
YBM.2.Kaba.10	5 Kat Kaba İnşaat	LOB 2
YBM.2.Kaba.11	Teras Kat Kaba İnşaat	LOB 2
YBM.2.İnc	İnc İşler	LOB 2
YBM.2.Mek	Mekanik İşler	LOB 2
YBM.2.Mek.4	Havalandırma Tesisatı	LOB 2
YBM.2.Mek.5	Sihhi Tesisat	LOB 2
YBM.2.Mek.6	Kalorifer Tesisatı	LOB 2
YBM.2.Mek.7	Yangın Tesisatı	LOB 2
YBM.2.Mek.8	Mutfak ve Wc Tesisatı	LOB 2
YBM.2.Mek.9	Müşterek Tesisat	LOB 2
YBM.2.Mek.10	Otomatik Kontrol	LOB 2
YBM.2.El	Elektrik İşleri	LOB 2
YBM.2.El.4	Data ve Telefon Tesisatı	LOB 2
YBM.2.El.5	Yangın Algılama ve İhbar Tesisatı	LOB 2
YBM.2.El.6	Aydınlatma Tesisatı	LOB 2
YBM.2.El.7	Seslendirme Tesisatı	LOB 2
YBM.2.El.8	Tv Tesisatı	LOB 2
YBM.2.El.9	OCTV Tesisatı	LOB 2
YBM.2.El.10	Topraklama	LOB 2
YBM.2.El.1	Çevre Aydınlatma	LOB 2
YBM.2.El.2	Eğitim Salonu Görüntü Sistemleri	LOB 2
YBM.2.El.3	Jeneratör Tesisatı	LOB 2
YBM.2.El.11	Pano Montajları	LOB 2
YBM.2.El.12	Asansör Montajı	LOB 2
YBM.2.El.13	Ups Tesisatı	LOB 2
YBM.2.El.14	Kablolama	LOB 2
YBM.2.El.15	Kablo Kanalları	LOB 2
YBM.2.Pey	Çevre Düzenleme İşleri	LOB 2
YBM.2.Alt	Altyapı İşleri	LOB 2

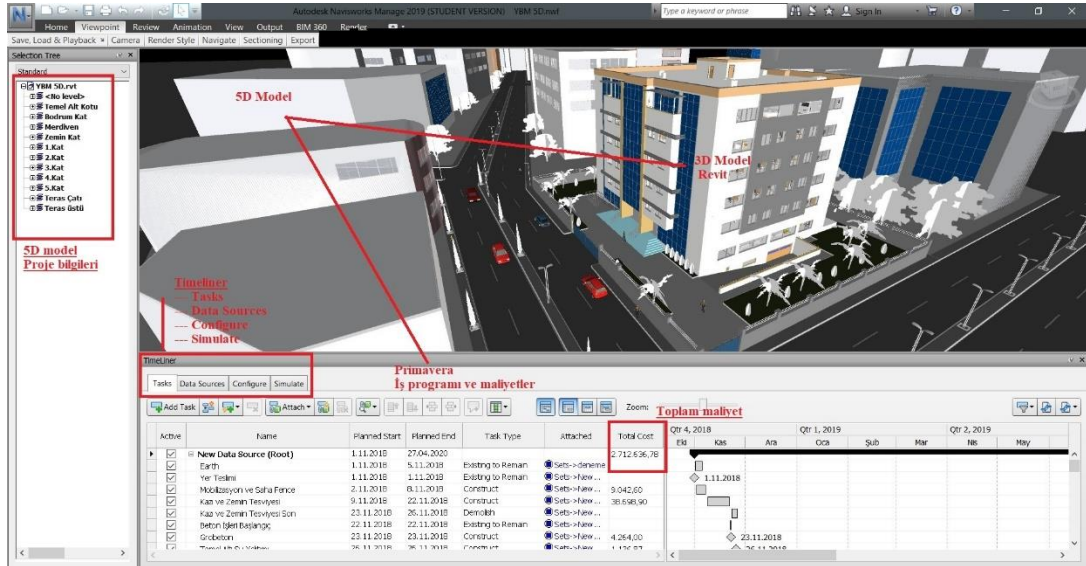
5.5. Navisworks Programı ile Yapılan İşlemler

Navisworks, Revit ile oluşturulan 3D model ve Primavera ile hazırlanan planlama ve maliyet bilgilerinin bütünleştirildiği ortamdır. Revit ve Primavera verilerinin

Navisworks ortamına nasıl aktarıldığı, programların kullanım bölümünde açıklanmıştır. Bu bölümde 5D modelin kullanımı üzerinde durulmaktadır.

- 5D Modelin oluşturulması

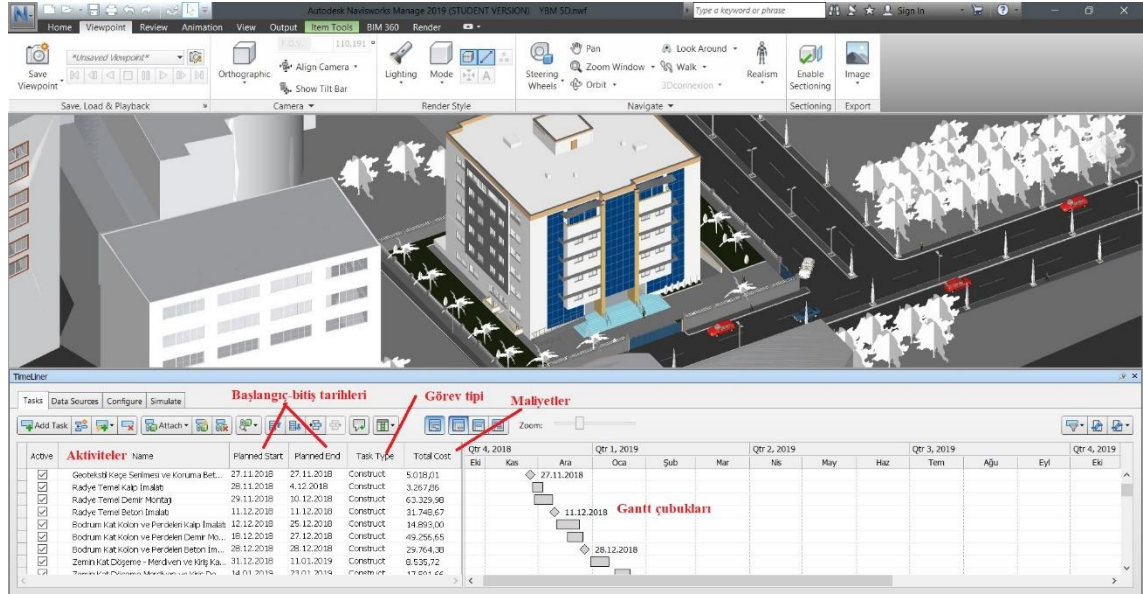
Revit ile oluşturulan 3 boyutlu yapı modeli ile Primavera verileri Ms Excel yardımıyla '*.csv' uzantılı dosya olarak Navisworks'e aktarılmıştır. Üst taraf yapıyı temsil eden 3 boyutlu model, alt taraf ise planlama ve maliyet verilerini içeren alanlardır. Revit içerisindeki proje bilgileri ve kapı, pencere, duvar ve dış cephe cam kaplamalar gibi yapım işindeki imalatları temsil eden geometrik nesneler üstteki alanda korunmaktadır. Altta ise 'tasks', 'data sources', 'configure' ve 'simulate' sekmelerini barındıran 'timeliner' alanı vardır. Primavera programındaki aktivite sayıları, başlangıç-bitiş tarihleri ve toplam maliyet de burada da aynıdır. Tasks sekmesinde aktivite adları, planlanan başlama ve bitiş tarihleri, maliyet gibi bilgilerin girileceği sütunlar bulunmaktadır. Data sources, Primavera ve Ms Project gibi programlarla hazırlanan planlama ve maliyet verilerinin Navisworks'e aktarıldığı, configure simülasyon görseli ile ilgili ayarların yapıldığı sekmedir. Simulate ise önceki üç sekmeye girilen bilgiler kullanılarak yapım, planlama ve maliyet simülasyonunun gerçekleştirildiği bölümdür (Görsel 5.9).



Görsel 5.9. Navisworks programına Revit ve Primavera verilerinin aktarılması

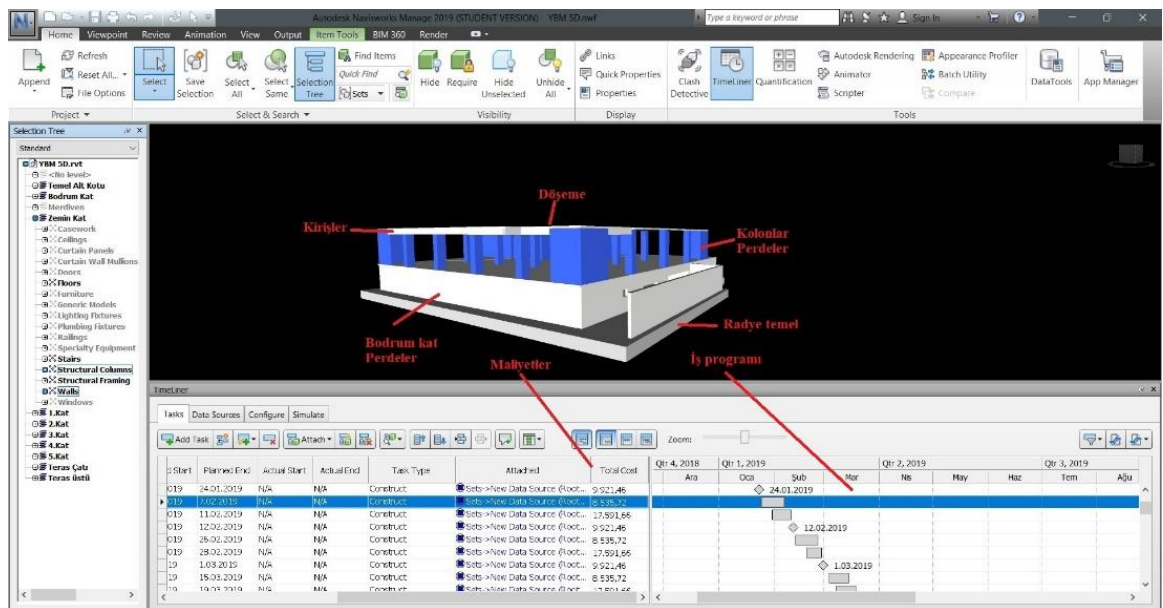
Revit ve Primavera verileri sorunsuz bir şekilde Navisworks'e aktarılmıştır. Primavera programındaki gibi timeliner alanındaki sol sütunda da 210 adet aktivite,

tarihleri ve maliyetleri bulunmaktadır. Sağ sütunda ise başlangıç-bitiş tarihlerini temsil eden Gantt çubukları bulunmaktadır (Görsel 5.10).



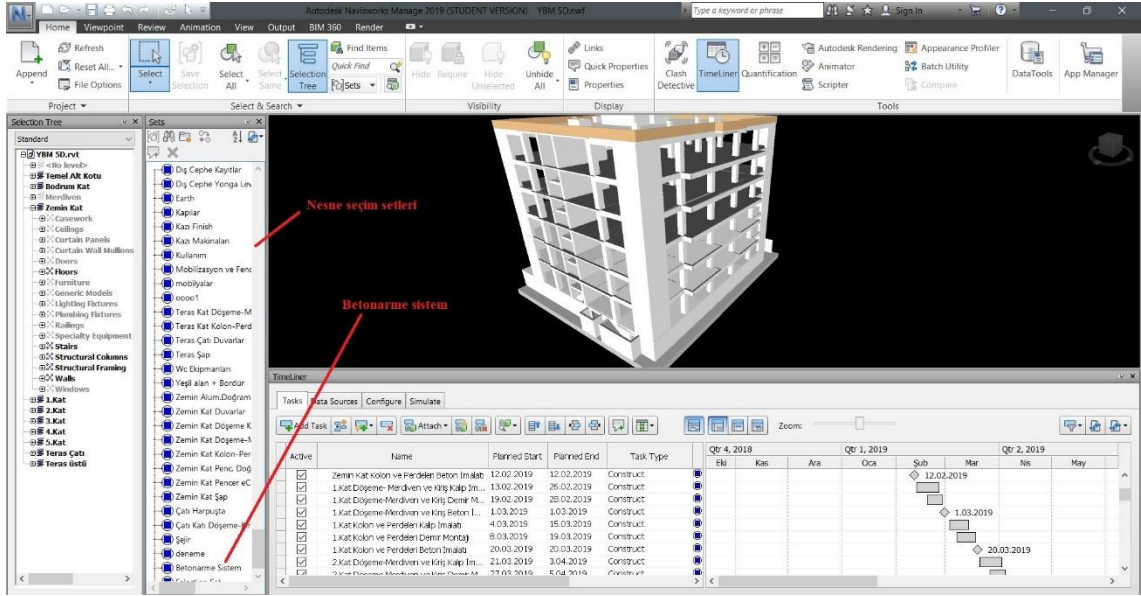
Görsel 5.10. Timeliner ve aktiviteler

Bundan sonraki aşamada timeliner alanından aktiviteleri temsil eden model nesneleri ile iş programının uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Örneğin iş programından aktivite olarak zemin kat kolon-perdeleri kalıp imalatı ve 3 boyutlu modelden zemin kata ait kolon ve perdelerin nesneleri seçilmiş ‘attach current selection’ komutu ile birbirleri ile ilişkilendirilmişlerdir.



Görsel 5.11. Kolon-perde imalatları ile iş programının ilişkilendirilmesi

Buradaki amaç yapım simülasyonunda ilgili tarihte zemin kat kolon-perdelerinin oluşmasını ve maliyet takibinin gerçekleşmesini sağlamaktır (Görsel 5.11).



Görsel 5.12. Yapı taşıyıcı sistemi

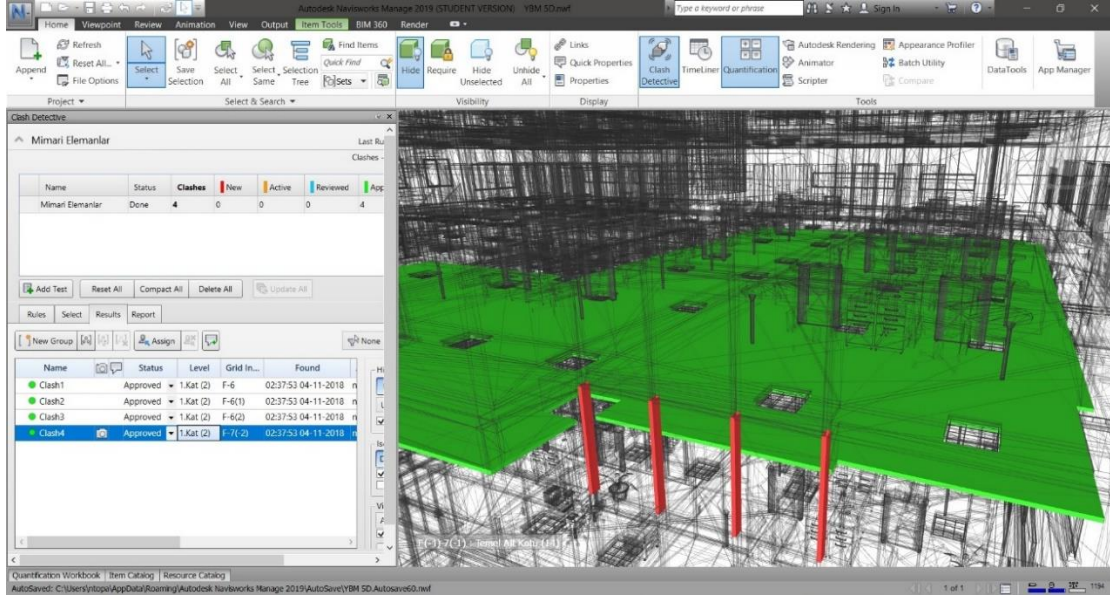
Bu işlem yapıdaki bütün taşıyıcı sistem ve iş programındaki diğer aktiviteleri temsil eden diğer nesneler için gerçekleştirilmiştir. Navisworks programında yapının taşıyıcı sistemine ait elemanlar seçilerek “Betonarme Sistem” adı ile set haline getirilmiştir (Görsel 5.12). Böylelikle tek tek seçerek taşıyıcı sistem nesnelerini görselleştirmek yerine, soldaki ‘Sets’ sütunundan sistemin bütününe ve detaylarına ulaşmak mümkün olacaktır.

- Çakışma analizi

Çakışma analizi ile ilgili bilgiler inşaat sektöründe YBM kullanımı bölümünde detaylı olarak verilmiştir. 3 boyutlu projeler arasındaki uyumun kontrol edilebilmesi amacıyla disiplinlere ait model nesneleri arasında çakışma analizlerinin yapılması gerekmektedir. Çakışma analizleri yapılabilmesinin temeli YBM projelerinin 3 boyutlu ve imalatları (aktiviteleri) temsil eden akıllı nesnelerden oluşacak şekilde dijital hazırlanmasıdır. Çakışma analizleri çeşitli kriterler ve toleranslar belirlenerek yapılabilir. Aynı noktadan nesnelerin geçişinin engellenmesi, nesnelere ihtiyaç duydukları geometrik toleransların sağlanması veya iş akışlarındaki anormalliklerin önlenmesi amacıyla analizler yapılabilir. Bu çalışmada aynı noktadan geçen nesnelerin başka bir ifadeyle birbirlerine engel olan imalatların tespit edilmesi amacıyla yapılan çakışma analizi

üzerinde durulmaktadır. Disiplinler tarafından hazırlanan mimari, statik ve mekanik-elektrik projeleri kendi içlerinde doğru olsalar bile yapı modelinin bir bütün halinde hatasız olması, yapım sürecinin aksamaması ve fazla harcamaların önlenmesi açısından önemlidir. İmalat ve montaj esnasında ortaya çıkabilecek hatalar yapım sürecini aksatacaktır. Proje yöneticileri açısından bu durum hızlı karar almayı zorunlu kılacağından, yeni hatalara da yol açabilecektir. Örneğin tavan projesinde taş yünü asma tavan taşıyıcı parçalarının konumları ile panellerin yerden yükseklikleri belirlenmiştir. Benzer şekilde asma tavan içinden taşıyıcı sisteme ait bir giriş elemanı, su tesisatına ait borular, havalandırma sistemine ait kanallar ve elektrik tesisatı kablo taşıma kanalları geçiyor olabilir. İmalat ve montajın sorunsuz yürütülebilmesi için tavan içerisindeki elemanların geçtiği yerlerin diğerlerini engellememesi şarttır. Projeler arasında koordinasyon sağlanmadan asma tavan ve tesisat elemanları ile ilgili imalatların başladığını düşünürsek, son aşamada bu elemanların aynı alandan geçirilmesinin mümkün olamayacağı görülecektir. Sahada yapılacak hızlı değerlendirmelerden sonra ilgili projelerde değişiklik yapılarak imalata devam edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılabilir. Ancak hızlı alınan kararlar neticesinde yeni yanlışlar yapma ihtimali doğabilir, projelerin tutarlılıkları zarar görebilir. Bu durum daha önce yapılan imalat ve montajların boşa gitmesine neden olabilir. Fazladan işçilik ve malzeme maliyetleri ortaya çıkacak projesi süresi etkilenecektir. YBM içerisinde disiplinlere ait aktiviteler nesneler ile temsil edildiğinden bunların arasındaki koordinasyonun dijital model üzerinde kontrol edilmesi hataları ve geri dönüşleri önleyebilir. Asma tavan içerisinden geçen giriş ve tesisat elemanlarının geçtiği noktalar dijital yapı üzerinden tespit edilir ve aralarındaki uyum kontrol edilir. Sahada imalat ve montaj işleri başlamadan gerekiyorsa projeler düzeltilir. Bu sayede karşılaşılabilecek fazla işçilik ve malzeme maliyetlerinin önüne geçilebilir, proje süresinin uzamasına engel olunabilir. Sahada karşılaşılabilecek fazladan maliyetlerin aksine çakışma analizi ucuz ve etkili bir yöntemdir. Dijital olarak inşa edilmiş bir yapı üzerinden projelerin kontrol edilmesi yapım işinin planlanan şekilde yürütmesine katkı sunabilir. Çakışma analizi işlemi bütün disiplinler arasında yapılabilir. Mekanik ve elektrik tesisatı, mimari elemanlar ve mekanik tesisatı, elektrik ve su tesisatına ait elemanları veya disiplinlerin kendileri arasında yapılabilir. Çakışma analizinin kapsamını disiplinlerin çeşitliliği ve projelerin türü belirler. Bu çalışmada çakışma analizi Navisworks programında yapılmaktadır. Bunun için 'clash dedective' komutu kullanılarak projelere ait nesneler arasındaki uyum kontrol edilmektedir.

Oluşturulan 5 katlı yapı projesinde sadece taşıyıcı sistem ve mimari elemanlar bulunmaktadır. Bu nedenle mimari elemanlar arasında çakışma analizi yapılarak imalata engel durumlar tespit edilmeye çalışılmaktadır.



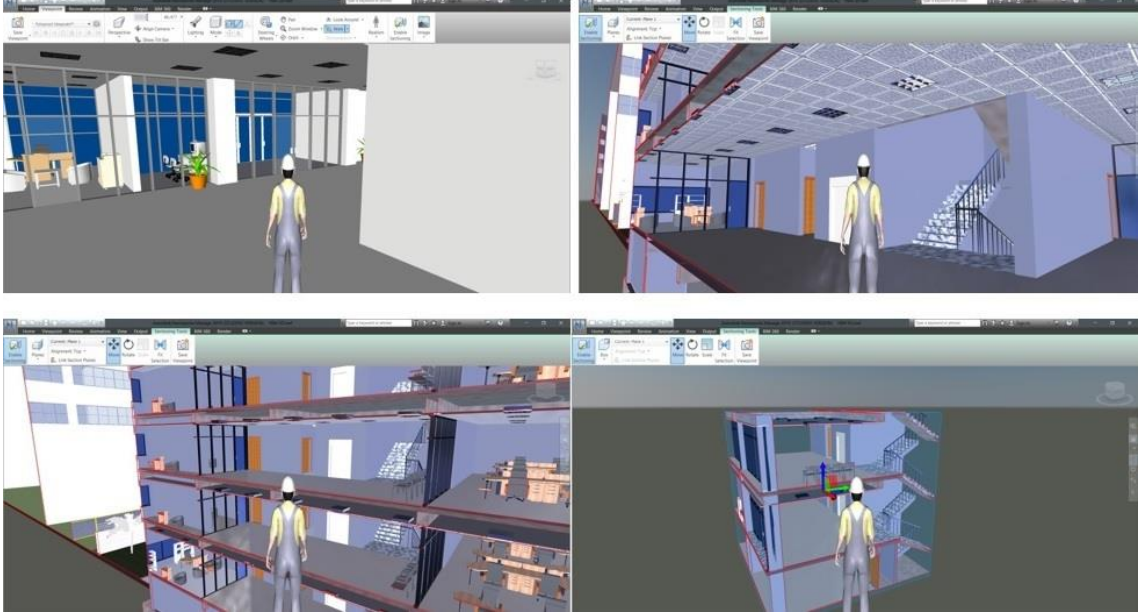
Görsel 5.13. 5D model çakışma analizi

Zemin kat ve dış cephe mimari nesneleri arasında yapılan çakışma analizinde dış cephe cam kaplama kayıt elemanları ile asma tavan arasında 4 adet çakışma olduğu görülmüştür (Görsel 5.13).

- Avatar (third person)

YBM projelerinin önemli özelliklerinden bir tanesi de avatar kullanımıdır. Avatar dijital olarak inşa edilen yapı içerisinde normal insan boyutlarında gezinme işlemidir. Çakışma analizinde nesneler arasındaki ilişkiler görülebilirken, avatar 3 boyutlu dijital yapı modeli içerisinde gezinmeyi ve proje detaylarının daha etkin bir şekilde görülmesini sağlar. Bu amaçla disiplinler Navisworks programının avatar özelliğini kullanabilir. Her disiplin kendi açısından yapıyı inceleme ve sorunları fark etme olanağı bulur. Avatar bulunduğu konum üzerinden görüntüler ve detaylar yakalar. Avatar konumu disiplinlerin koordinasyon çalışmalarında kullanılabileceği referans olarak kullanılabilir. Örneğin Görsel 5.14’de avatar farklı noktalarda konumlandırılmış ve yapının iki ve üç boyutlu kesitleri alınmıştır. Avatarın görüş açısından tasarım ve binanın sahip olduğu donanımlar incelenmektedir. Daha önce Revit programı ile modellenen kirişler, kolonlar, asma tavanlar, asansör, merdiven ve korkuluklar, alüminyum doğramalar ve camları,

aydınlatma armatürleri, zemin kaplamaları ve tefrişat elemanları görülebilmektedir. Avatarın kullanımı ile proje bileşenlerine ve detaylarına daha hızlı adapte olmak mümkün olabilmektedir.



Görsel 5.14. Avatar ile yapının incelenmesi

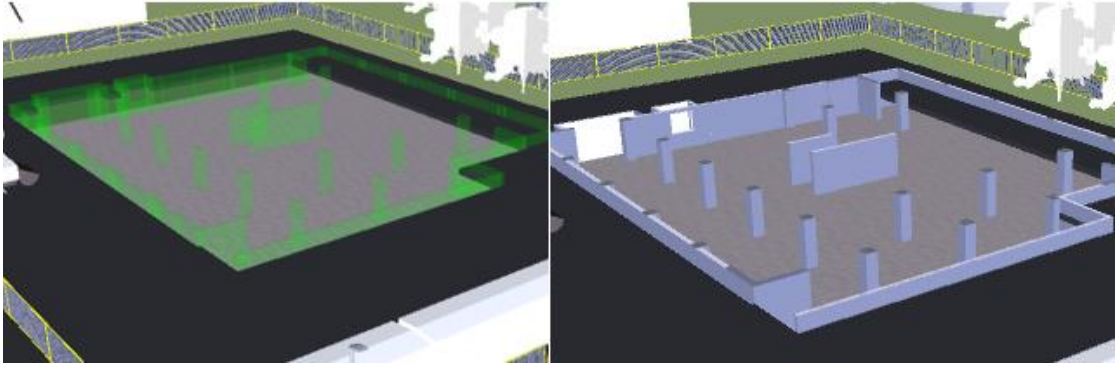
İnsan boyutlarında proje içerisinde gezinebilme olanağı sayesinde mekanları ölçüleri ve kullanımları hakkında daha fazla bilgiye sahip olunabilir. Proje kapsamında sorun olmasa bile daha etkin kullanım amaçlı veya yapı sahiplerinin talepleri doğrultusunda projelerde değişikliğe gidilmesinin gerektiği durumlarla karşılaşılabilmektedir. Böyle durumlarda avatar kullanımı ile nihai proje hakkında gerçeğe yakın bilgilere sahip olunabilmektedir. Projeler üzerinde incelemeler detaylı yapılabilir ve kararlar daha hızlı alınabilir. Proje üretim süreci daha verimli ilerler.

- **Yapım aşamaları ve maliyet simülasyonu**

Revit ve Primavera verileri Navisworks'e aktarıldıktan sonra iş programı ve maliyetler aktivitelerle ilişkilendirilerek uyumlu hale getirilmiştir. Sonrasında çakışma analizi ve avatar ile proje detayları incelenmiştir. Burada yapım aşamaları ve maliyet simülasyonu üzerinde durulmaktadır. Geleneksel yapım işlerinde öncelikle projeler hazırlanır ve maliyet çalışması yapılır. Yapım işine ait iş grupları ve aktiviteler belirlenir. Sonrasında iş programı hazırlanarak yapım işi süreci zaman, maliyet ve kalite ekseninde yürütülmeye çalışılır. Primavera kullanımı sırasında açıklandığı gibi iş programındaki

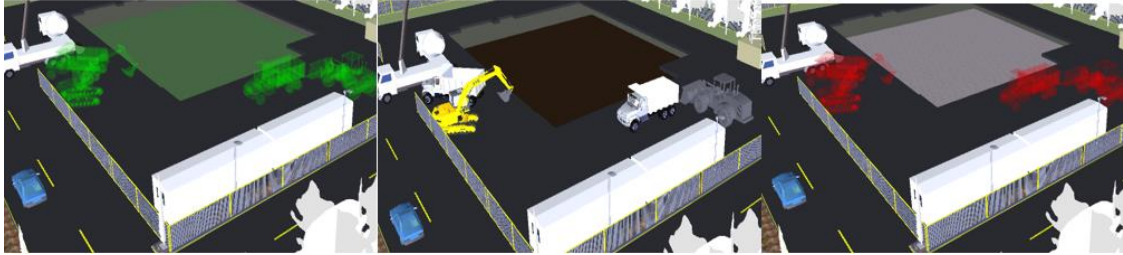
yapım işi aktiviteleri başlangıç-bitiş tarihleri ve gantt çubukları ile ifade edilebilir. Programa bakıldığında aktiviteler, tarihler ve ilgili diğer bilgiler görülür. Fakat belli bir zaman sonra maliyetin ne durumda olacağı belirlenebilirken, yapının nasıl bir görünüme ve detaylara sahip olacağı bilinemeyebilir. Örneğin proje başladıktan 2 ay sonra hangi aktivitelerin tamamlanacağı programda görülebilirken yapının fiziki görünümü tam olarak belirlenemeyebilir. İnşaatın genel durumu hakkında yapı sahipleri, yüklenici ve çalışanlar arasında genel bir kanı olsa da zihinlerde aynı görüntü oluşmayabilir. İş programı süreci ile yapım işinin görsel olarak uyumlu hale getirilmesi zaman ve maliyet gibi yapım işi öncesinde belirlenen amaçları gerçekleştirmede avantaj sağlayabilir. İş programındaki herhangi bir günde simülasyon durdurularak proje çevresinde ve iç mekanlarında avatar ile gezilebilir. Bu kullanım seçilen günde işin ilerlemesi hakkında herkesin aynı fikre sahip olmasını sağlayabilir. Yapım işindeki insanlar arasındaki iletişim ve koordinasyonu arttırabilir. Herkesçe görülebilen görsel referanslar üzerinden koordinasyon toplantılarının yürütülmesi daha verimli olabilir. Yapım işinin başarısı hedeflenen zaman, maliyet ve kaliteye ulaşılması ile ölçülebilir. Projenin süresinin aşılmaması, öngörülen maliyet içerisinde, amaçlanan kalitede tamamlanması yapı sahipleri ile yükleniciler arasında oluşabilecek problemleri de engeller. Navisworks ile gerçekleştirilen 5D model simülasyonu iş programı ile belirlenen zaman, maliyet ve yapım sürecinin bütünleştirilmesidir. İş programının herhangi döneminde yapının fiziki durumunun, detaylarının ve maliyetin takip edilebilmesi bu model ile mümkün olabilir.

Yapım ve maliyet simülasyonu temelde Revit ile modellenen yapının kolon, duvar, kapı, dış cephe kaplama gibi imalatları temsil eden nesnelerinin aktivite ilişkileri ve mantık bağlamında iş programı sırası ile yapı gerçekte inşa ediliyormuş gibi yapıya eklenmeleridir. Simülasyon işlemi bir çeşit dijital inşaat sürecidir. Bu inşaat sürecinin belirleyici unsuru ise yapı model nesneleri ile ‘timeliner’ alanına girilen aktivite bilgileridir. Timeliner alanındaki her aktivitenin bir başlangıç ve bitiş tarihi ile maliyeti vardır. İş programındaki başlangıç ve bitiş tarihine göre aktiviteler simülasyonda görünür hale gelir, tamamlandıktan sonra ise yapı modelinin bir nesnesi olurlar. Örneğin yapının zemin katına ait döşeme kalıp ve demir imalatı aktiviteleri başladığında bunların aktif faaliyetler olduğunun gösterilmesi amacıyla simülasyon ekranında döşemeye ait nesneler yeşil renkte görülürler (Görsel 5.15). İş programı ilerleyip bu aktiviteler tamamlandığında renkleri gri olur ve yapı modelinin bir nesnesi olurlar. Daha sonra zemin kat döşeme, kalıp ve demir imalatı ile ilgili aktiviteler başlayacaktır.



Görsel 5.15. *Aktivite hareketlerinin gösterilmesi*

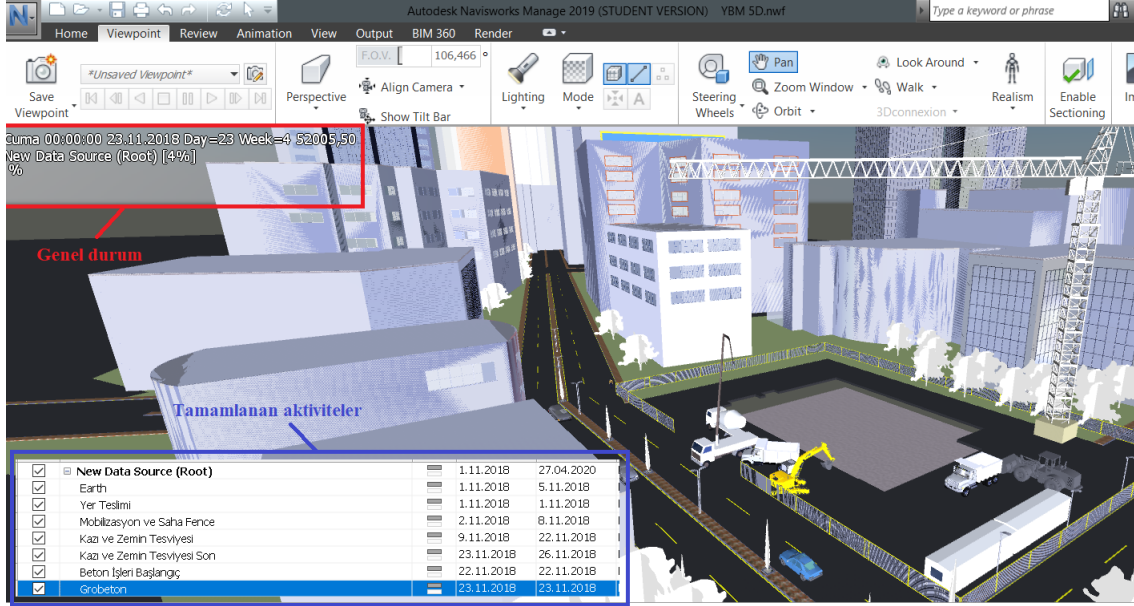
Yapı modeline dahil olmayan ancak yapım sürecinin akışı hakkında daha fazla bilgi vermek ve simülasyon görselliğini arttırmak amacıyla kullanılan şantiye ofisi, kule vinç ve beton mikseri gibi yardımcı nesneler ise yerleştirme aşamasında yeşil ve temsil ettikleri işlerin tamamlandığının ve simülasyon ekranından kaldırılmasının ifade edilmesi açısından kırmızı renkte görülürler (Görsel 5.16).



Görsel 5.16. *Yardımcı nesnelerin simülasyondan kaldırılması*

Simülasyon iş programına göre zaman ilerlerken yapının tamamlanma düzeyini ve oluşan maliyeti göstermektedir. Yapım simülasyonu başladıktan sonra şantiye kurulumu tamamlanmış, saha çevresi kapatılmış ve kule vinç sahanın uygun bir noktasına yerleştirilmiştir. İş makinaları kazı işlerinin başladığını, devam ettiğini ve beton mikseri-pompası beton işlerinin yapıldığını göstermek amacıyla simülasyon ekranında belirlemiştir. Bu görüntülerden hareketle lojistik faaliyetlerinin yürütülmesi ve sahada iş güvenliği önlemlerinin alınması gerektiği gibi sonuçlara ulaşılabilir. Yapım işinin ilerleyen döneminde ise kazı ve beton imalatlarının tamamlandığını göstermek amacıyla iş makinaları ve beton mikseri-pompası simülasyon ekranında görünmeyecektir. İş başladıktan 23 gün sonra yer teslimi, kazı ve grobeton aktivitelerinin tamamlandığı mavi

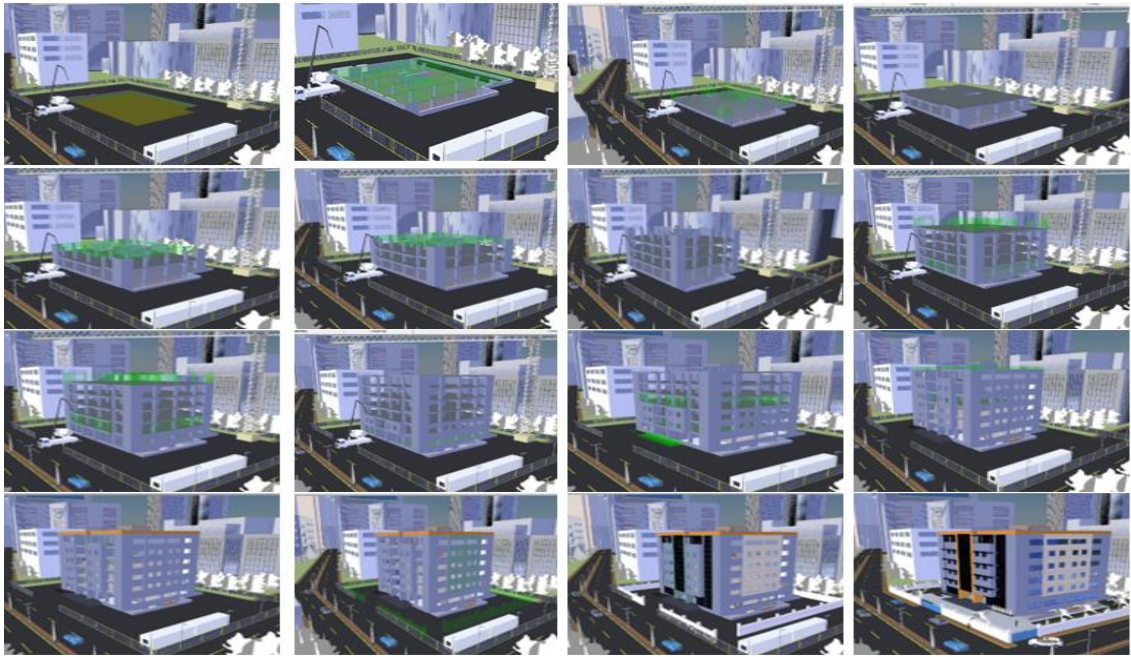
çerçeve içerisinde gösterilmiştir. Kırmızı çerçeve içinde ise gelen tarih, kaçınıcı haftada olunduğu, o ana kadarki maliyet ve genel tamamlanma yüzdesi görülmektedir. Örneğin 23 gün sonra, genel ilerleme yüzdesi %4 ve toplam maliyet 52.005,50 USD olmuştur (Görsel 5.17).



Görsel 5.17. Simülasyon verileri

Kırmızı çerçeve içerisindeki alana daha fazla bilgi eklemek için sırasıyla ‘simulate’ sekmesi, ‘settings komutu’, ‘overlay text’ arayüzü kullanılır. Bu arayüzden seçimler yapılarak zaman, maliyet ve aktivitelerle ilgili diğer bilgilerin kırmızı çerçeve içerisinde görülmesi sağlanabilir. Görünümle ilgili metin boyutu ve renk gibi ayarlar yapılabilir. Yapının 3 boyutlu modelinde elektrik ve mekanik tesisatın geneli ile ilgili bir modelleme yapılmadığı, elektrik tesisat için aydınlatma armatürleri ve mekanik tesisat için ıslak hacimlere lavabo ve klozet gibi nesnelerin eklendiği Revit bölümünde ifade edilmiştir. Dolayısıyla yürütülecek simülasyonda sadece belirtilen nesneler yapı modeli içerisinde imalatı temsilen görünür hale gelecektir. Seslendirme, havalandırma, kalorifer ve yangın tesisatı gibi Primavera iş kırılım yapısında belirtilen alanlarla ilgili nesneler yapı modelinde olmadığından bunlar sadece iş programında başlangıç-bitiş tarihleri ve maliyetleri ile gösterilmiştir. Yapının 3 boyutlu modelinde taşıyıcı sistem için radye temel, perde duvarlar, kolon, kiriş ve döşemeler nesne olarak modellendiği için yapı simülasyonunda görünmektedirler. Ayrıca mimari ve çevre düzeni için modellenmiş dış cephe kaplamaları, merdivenler ve çevre duvarı gibi nesneler yapı simülasyonunda

görünür hale gelerek, yapı içerisindeki konumlarını alırlar. Simülasyon sonunda yapı tamamlanmış olarak görülmektedir. Bunun anlamı oluşturulan iş programına göre yapım sürecinin dijital olarak tamamlanmasıdır. 5D model simülasyonunda belirlenen dönemler halinde yapının fiziki durumu ve detayları hakkında görsel referanslar alınabilir. Görsel 5.18’de aylık ilerleme durumuna göre yapının durumu ve yapım işi tamamlandıktan sonraki görüntüleri elde edilmiştir. Bu tip bir görsel yapı sahipleri ve yükleniciler arasındaki ödemelere dayanak oluşturabilir. Yükleniciler tarafından ödeme taleplerinde kullanılabilir.

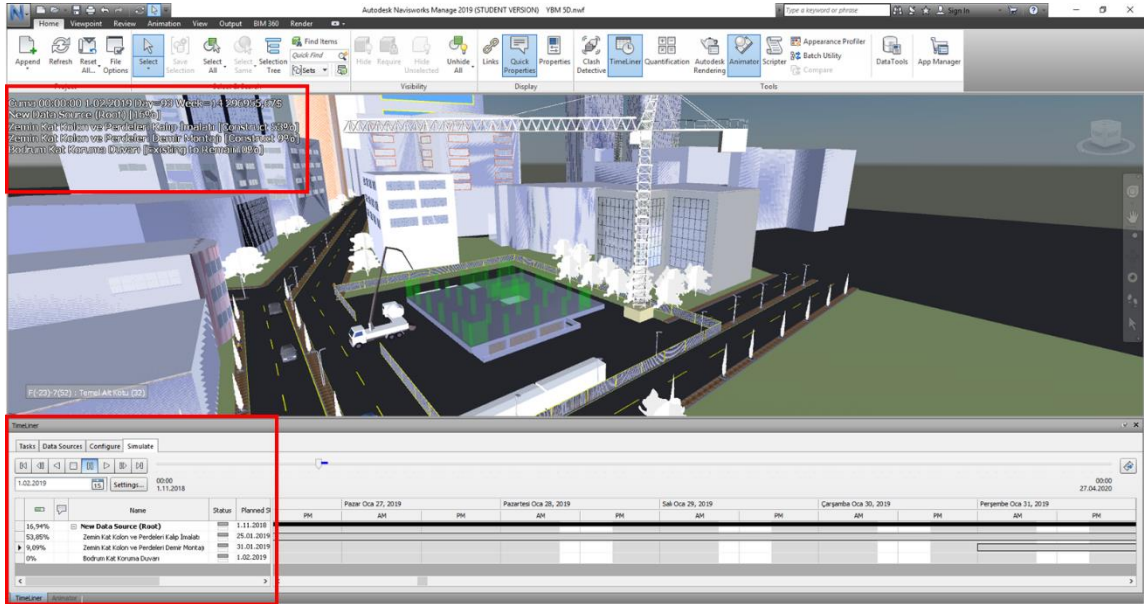


Görsel 5.18. *Aylık ilerlemeli simülasyonlar*

- Simülasyon aşamaları ve bilgiler

Proje maliyetinin 2.712.637,00 USD olduğu genel bilgiler bölümünde açıklanmıştır. Bu aşamada iş programına göre yapım ve maliyet simülasyonu üç aylık dönemler halinde yapılarak elde edilen bilgiler üzerinde durulacaktır. Simülasyonda belirli bir tarihte yapımın durumunu görebilmek ‘timeliner’ alanındaki ‘simulate’ sekmesi içindeki takvimden gün seçimi yapılabilir. Görsel 5.19’da iş programında gelinen tarihte sahanın çevresi kapatılarak şantiye ofisi yerleştirilmiş ve mobilizasyon işleri tamamlanmıştır. Kule vinç sahada uygun bir yerde konumlandırılmıştır. İmalatların tamamlandığını göstermek amacıyla sonlanan işleri temsil eden nesneler gri renkte, devam eden işler ise yeşil renkte görülmektedir. Yapının radye temeli, bodrum kat kolon

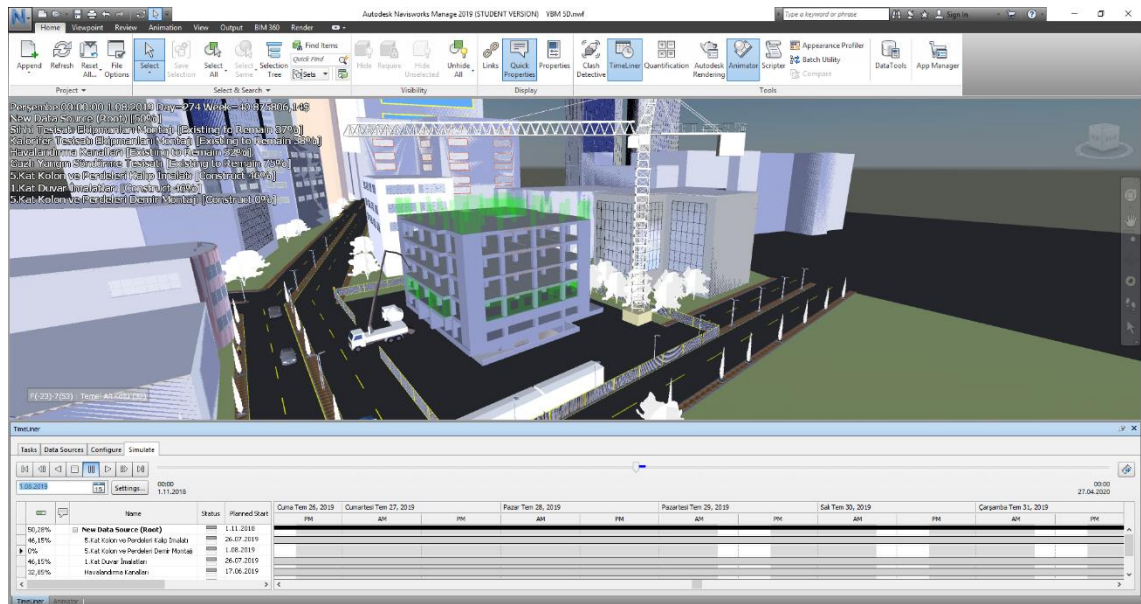
ve perdeleri kalıp, demir ve beton imalatları tamamlanmış ve bunlar gri renkte görülmektedir. Daha sonra zemin kat döşeme kalıp, demir ve beton imalatları bitirilmiştir. Gün itibarıyla zemin kat kalıp ve demir imalatları ile ilgili imalatlar yapılmakta ve yeşil olarak görülmektedir. Beton imalatları olduğunun görsel olarak da ifade edilmesi açısından beton mikseri-pompası sahada görülmektedir. Böylece simülasyonun bu aşamasını gören çalışanlar ilk bakışta o tarihte beton imalatının olduğunu görebilecektir. Sol üstte kırmızı çerçeve içerisinde gösterilen alanda simülasyonun içeriği hakkında bilgiler verilmektedir. 3 ay sonrasında projedeki ilerlemenin %16 olduğu, zemin kat kolon-perde kalıp ve demir imalatlarının yapıldığı maliyetin ise yaklaşık 297.000 USD olduğu görülmektedir. Sol alttaki çerçevede ise aktivite bilgileri yer almaktadır.



Görsel 5.19. Yapım simülasyonu-1

Yapım simülasyonları aktivite adları, başlangıç-bitiş tarihleri ve maliyetlerden ibaret değildir. Simülasyon görüntülerinden işçi, malzeme ve ekipman teminine yönelik de bilgiler edinebilir. Bu tarihte kalıp imalatı için, kalıp malzemesi ve kalıpcı ustası-yardımcısı; demir imalatı için projesine uygun kalınlıklarda inşaat demiri, demirci ustası-yardımcısı temin edilmesi, beton siparişi verilmesi gerektiği gibi bilgilere de ulaşılabilir. Ayrıca kule vincin konumuna göre sahadaki personelin bilgilendirilmesi, malzeme taşıma esnasında can ve mal güvenliği açısından olumsuzluklarla karşılaşılabilmesi için iş güvenliği önlemlerinin alınması gerektiği sonuçlarına ulaşılabilir. Benzer şekilde yapım

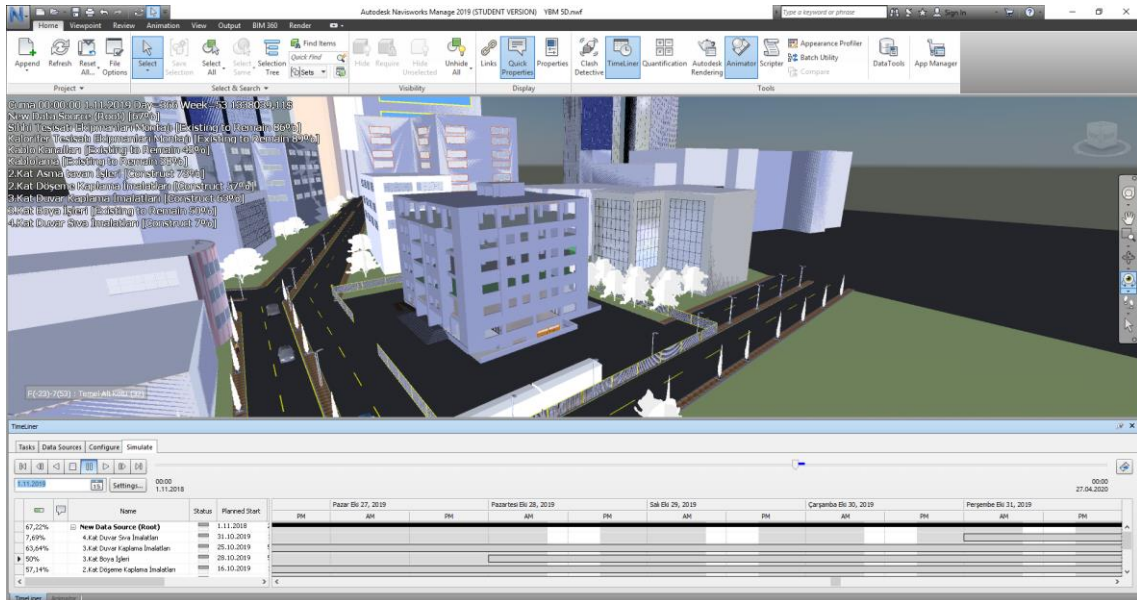
Görsel 5.20’de kaba inşaat devam etmektedir. Zemin, 1 ve 2.katların kalıp, demir ve beton imalatları tamamlanmıştır. 3.kat döşemesi kalıp ve demir imalatları devam etmektedir. 6 ay sonrasında projedeki ilerlemenin %33 olduğu, yaklaşık 480.000 USD olduğu görülmektedir.



111

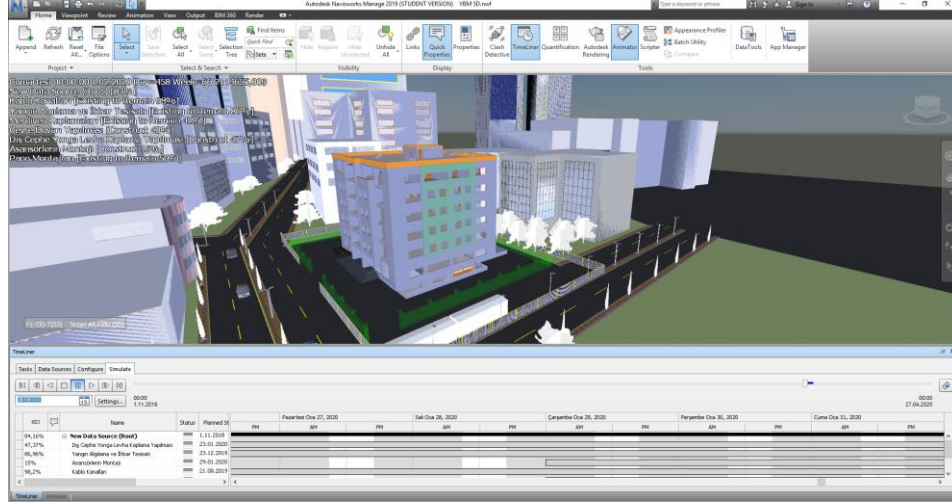
Görsel 5.21’de kaba inşaatın tamamlanmak üzere olduğu, 5 kat kolon-perde kalıp ve demir imalatlarının yapıldığı görülmektedir. İnce işlerle ilgili duvar imalatları başlamış ve 1.katta devam etmektedir. Mekanik tesisat kapsamındaki işlerin hazırlıkları yürütülmektedir. Bu görselden ve soldaki bilgilerden hareketle, sıhhi, havalandırma ve kalorifer tesisatları için malzeme ve çalışan temin edilmesi gerektiği sonucu çıkarılabilir. 9 ay sonrasında projedeki ilerlemenin %50 olduğu, yaklaşık 876.000 USD olduğu görülmektedir.

Görsel 5.22’de kaba inşaatın tamamlandığı yapının taşıyıcı sistemin oluşmasından anlaşılabilir. Kaba inşaatın bittiğinin diğer bir ifadesi ise beton mikser ve pompasının simülasyon ekranından kalkmasıdır. Bir diğer değişiklik ise kule vincin sahadan kaldırılmasıdır. Yapının uzak noktalarına ağır malzeme taşıma işlemine artık ihtiyaç duyulmayacağı sonucu çıkarılabilir. Duvar imalatları biten katlarda sıva işlerine başlanmıştır. Katlarda asma tavan imalatı ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Mekanik ve elektrik tesisat için çalışmalar yapılmaktadır. Bu görselden duvar, asma tavan, sıva ve tesisat işleri için çalışan ve malzeme temin edilmesi gerektiği sonucu çıkarılabilir. 12 ay sonrasında projedeki ilerlemenin %67 olduğu, yaklaşık 1.338.000 USD olduğu görülmektedir.



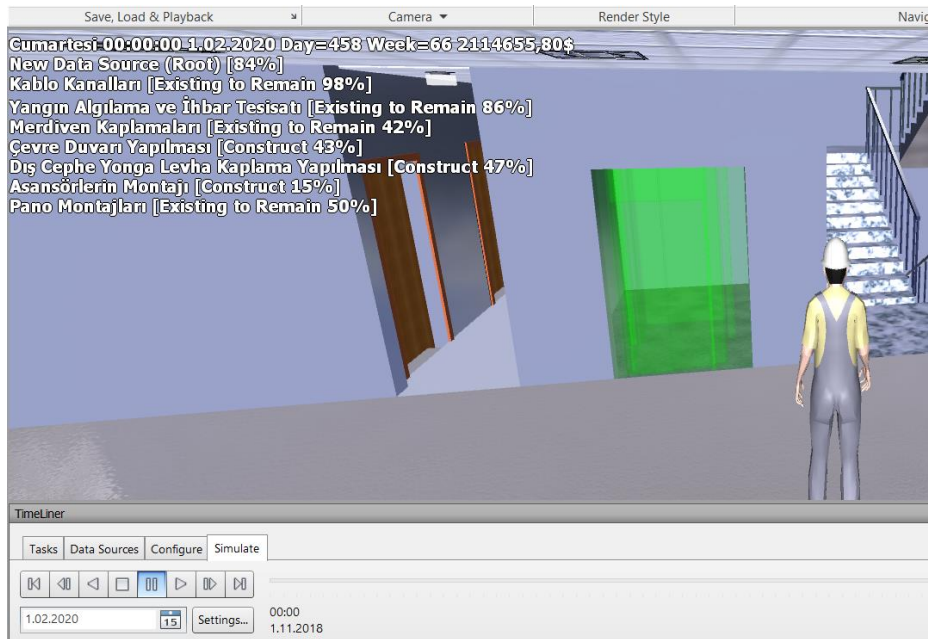
Görsel 5.22. Yapım simülasyonu-4

Yapının dış cephe çimentolu yonga levha kaplama ve çevre duvarı imalatı yapılmaktadır. 15 ay sonrasında projedeki ilerlemenin %84 olduğu, maliyetin yaklaşık 2.114.000 USD olduğu görülmektedir.



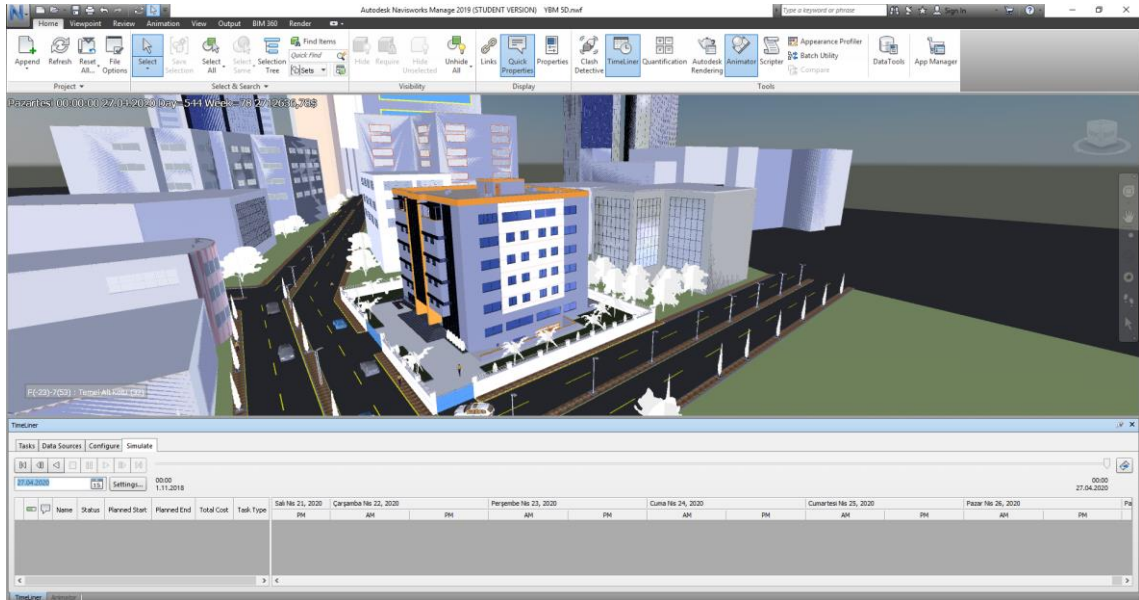
Görsel 5.23. Yapım simülasyonu-5

Kablo kanalları, yangın algılama ve ihbar tesisatı, merdiven kaplamaları, asansör ve pano montajı imalatları ise devam eden diğer aktivitelerdir (Görsel 5.23). Avatar ile iç alanlarda tamamlanan imalatlara bakıldığında döşeme, merdiven kaplamalarının ve kapı montajlarının yapıldığı, asma tavan ve aydınlatma işlerinin bitirildiği görülmektedir (Görsel 5.24).



Görsel 5.24. Avatar ile yapım işinin içeriden izlenmesi

Şantiyelerde yapılan iş programları genel olarak 3 boyutlu görsellerden mahrumdur. İş programları, hangi tarihte ne kadar iş yapılacağı, işlerin hangi aşamada olması gerektiği, bütçenin ne durumda olduğu, ilerleme veya gecikme gibi noktalarda bilgiler verir. Fakat şantiyelerdeki koordinasyon toplantılarında belirli bir günde işin görsel, detay ve aşama olarak ne durumda olacağı açıklansa bile genellikle disiplinlerin zihninde ortak bir imge yaratmayabilir. Yapım işindeki disiplinlerin fazlalığı ve uzmanlık gerektiren imalatların yoğunluğu çalışanların zihinlerinde aynı görselin oluşmamasına neden olur. Her disiplin yapım işi sürecinde kendisi ile ilgili çalışmalara odaklanır ve diğer alanlara ait imatları düşünmeyebilir. Kısıtlı alanlarda ve imatlarında mutabık kalınsa bile, işin geneli düşünüldüğünde ortak bir dilin edinilmesi için her disiplinin kavrayabileceği referanslara ihtiyaç duyulur. YBM 5D modelin görselinde belirli bir günde yapım simülasyonu durdurulduğu anda, yapımın içerde ve dışarda ne aşamada olduğu görülebilir. Bu görüntü ve detay bilgileri bütün disiplinler için referans olur, disiplinler arası koordinasyonun sağlanmasına katkı sunar, projenin yönetilmesi noktasında yöneticilerin işini kolaylaştırır. İş programının sonunda yapım işinin bittiği görülmektedir. Revit ile modellenen yapının aslına uygun olarak dijital inşaat süreci tamamlanmıştır (Görsel 5.25).



Görsel 5.25. Yapımın tamamlanması

Dış cephede alüminyum, cam ve çimentolu yonga levha kaplamalar, giriş merdiveni ve korkuluklar görülmektedir. Bina çevresinde peyzaj işleri kapsamında belirtilen çevre duvarı, giriş kapıları, andezit plaklarla döşeme kaplaması işleri

bitirilmiştir. Yeşil alan ve bordür çalışmaları sonrası ağaçlandırma yapılmıştır. Yapı kullanıma açılmıştır. Karşılaşılan maliyet ise proje başında tespit edildiği gibi 2.712.637,00 USD olmuştur.

6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Gelişen teknolojiden dünyadaki bütün sektörler gibi inşaat sektörü de etkilenmektedir. Teknolojik yenilikler nedeniyle günümüzde inşa edilen yapılar, eski binalara göre çok daha karmaşık sistemlere sahip olmaktadır. Bu durum yapının projelendirme ve yapım sürecinde detaylı çalışma ihtiyacı yaratmakta, bu süreçlerin kontrol altında tutulmasını bir zorunluluk olarak ortaya çıkarmaktadır. Yapıyı içeren disiplinlere ait sistemlerin karmaşıklığı her aşamada uzmanların iş yükünü arttırmaktadır. Teknolojik gelişim, karmaşık sistemler, artan detaylar ve iş yükü nedeniyle inşaat sektöründe para ve zaman gibi en temel iki unsur daha da dikkatli izlenmesi gereken bir noktaya gelmektedir. Proje ve yapım sürecinin dikkatli bir şekilde yürütülmesiyle, para ve zaman daha etkin yönetilmekte dolayısıyla projenin ve firmaların başarısı artmaktadır. Bu noktada yapım işine ait sürecin iyi yönetilebilmesi ve daha fazla verim alınabilmesi için de yeni teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. YBM teknolojisi inşaat sektörüne ihtiyaç duyduğu kolaylığı ve verimliliği sağlayabilecek yetenektedir.

YBM teknolojisinin yakın bir gelecekte dünyada daha etkin bir konuma gelmesi öngörülmektedir. Bir yapının gerçekte inşa edilmeden önce, tüm detayları ile bilgisayar ortamında modellenmesi, inceleme ve analizler yapılabilmesi ve yapım simülasyonunu gerçekleştirilmesi yaşanacak problemlerin önüne geçilmesinde önemli katkılar sağlayacaktır. Bu sayede para ve zaman kaybına neden olan hatalara, geri dönüşlere, ekstra harcamalara, kontrolsüz nakit akışlarına engel olunabilecektir.

Bu çalışmada YBM teknolojisi içerisinde ve kendi üretim amaçları doğrultusunda tek olarak da kullanılabilen PrimaveraP6 Professional P17 ve Autodesk Revit 2019 programları tercih edilmiştir. Yapım ve maliyet simülasyonu için Autodesk Navisworks 2019 programı kullanılmış ve 5D model incelenmiştir.

Primavera programı ile yapının iş programı ve bütçesi, yer teslimi aşamasından başlayarak binanın kullanıma açılması aşamasına kadar oluşturulmuştur. İş programında aktiviteler arasındaki ilişkiler ve mantık bağlamı dikkate alınmış, başlangıç ve bitiş tarihleri bunlara uygun olarak belirlenmiştir. Primavera inşaat sektöründe proje yönetimi ve planlama amacıyla sıklıkla kullanılan bir programdır. Aynı anda farklı projelerin yönetilmesi mümkündür. Gelişmiş raporlama seçenekleri vardır. Bu çalışmada Primavera

verileri Ms Excel yardımıyla ‘.csv’ uzantılı dosya olarak Navisworks programına aktarılmıştır. Bu durum Primavera’da yapılan değişikliklerin Navisworks’te otomatik güncellenmesini engellemektedir. Örneğin Primavera’da bir aktivitenin başlangıç tarihi değiştirildiğinde, bu farklılık Navisworks’e yansımamış, programlar arasında bir bağlantısızlık oluşmuştur. İş programı ve bütçeler Navisworks’e aktarıldıktan sonra, Primavera etkisiz hale gelmiştir. Dolayısıyla Primavera’nın çalışmaya katkısı aktiviteler arasındaki mantık bağları ve ilişkilerin kurulabilmesi, bu sayede kritik yol metoduna göre başlangıç ve bitiş tarihlerinin belirlenebilmesi olmuştur. Primavera kullanmadan Navisworks içerisindeki timeliner alanında iş programı yapmak mümkün olsa da aktiviteler arasındaki ilişki ve mantık bağlarının kurulması ve sürecin takip edilmesi zor olabilmektedir. Timeliner alanında yapılacak iş programı gantt şeması düzeyinde kalmaktadır ve hatalara açıktır. Fakat büyük çaplı projelerin planlama bilgilerinin oluşturulmasında veya projede kapsamlı bir değişiklik olması nedeniyle aktivitelerin sayısının, maliyetlerinin veya tarihlerinin güncellenmesi durumunda bu işlemleri Primavera ile yapmak ve Navisworks’e aktarmak daha kısa süren ve hataları engelleyen bir çalışma olabilecektir.

Revit programı ile yapının taşıyıcı sistemi, mimari detayları, çevre düzeni modellenmiştir. Elektrik ve mekanik tesisatları adına modelleme yapılmamış olup aydınlatma, vitrifiye ve diğer mobilya elemanları için hazır nesneler kullanılmıştır. Revit programında yapılan modelleme 2 ve 3 boyutlu olmak üzere, proje detaylarında yapılan değişiklikler ilgili bütün alanlarda anında güncellenmektedir. Revit plan, görünüş ve 3 boyutta bağlantılı olarak çalışmaktadır. Bu durum tasarımcıyı iş yükünden kurtarmakta ve projenin bazı detaylarını atlayıp gözden kaçırmasını engellemektedir. Standart çizimlerde 2 boyutlu olarak ifade edilen mimari ve diğer disiplinlere ait elemanlar, Revit programında hızlı bir biçimde 3 boyutlu modellenerek görünür hale getirilmektedir. Bu durum tasarımcıya projeyi oluşturan her elemanın birbiri ile olan ilişkisini görebilme imkânı sunar, hata oranı azalır. Revit programının malzeme ve 3 boyutlu hazır nesne kütüphanesi sayesinde yapının gerçeğe yakın modelinin elde edilmesi mümkündür. Ancak bu nesnelere ulaşmak kolay değildir ve belirli standartları bulunmamaktadır. Görselleştirme açısından Revit programı standart 2 boyut çizim programlarına göre daha avantajlıdır ve ileride daha çok tercih edilebilir. Parametrik modelleme özelliği sayesinde nesne tasarımı kolay ve hızlı olmaktadır. Ancak sıva, boya gibi geometrik olmayan imalatları temsil edecek nesne modellemesi yapılamamıştır. Bu durum projenin

detaylarında eksikliklere neden olmaktadır. Yapım işinin paydaşları için, Revit programı ile oluşturulan modelin olumlu tarafı herkesin aynı ürünü görmesi, farklı değerlendirmelerin önüne geçilmesidir. Böylelikle yapım işi başlamadan, disiplinler arası iletişim ve koordinasyonun sağlanmasına yönelik ilerleme kaydedilmiş olur. Bu çalışmada elektrik ve mekanik tesisata ilişkin modelleme yapılmamıştır. Bu disiplinlere ait modellemeler yapılmış olsaydı analiz ve incelemelerin daha verimli yürütülebileceği düşünülmektedir.

Autodesk Navisworks programı; Primavera verilerinin ve Revit modelinin entegre edilerek uyumlu hale getirildiği, yapıyı oluşturan elemanlar arasında çakışma analizlerinin yapıldığı, yapım işinin simüle edildiği ortamdır. Navisworks programında 3D model, zaman ve maliyetin birleşimi olarak ifade edilen 5D model oluşturularak yapım işinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı olarak, yapım işinin aşamaları ve maliyet, simülasyon ortamında takip edilmiştir. 5D modelin başarısı; temelde 3D modelin detaylı bir biçimde, sahada yapı inşa ediliyormuş gibi oluşturulmasına bağlıdır. Modelin oluşturulması sürecinde Revit gibi temel unsuru oluşturan programlarda detaylara girilmesi, yapı bileşenlerinin nesne olarak temsil edilmesi, hata oranını ve geri dönüşleri azaltabilecektir. Yapı içerisindeki nesnelerin fazlalığı görselliği zenginleştirecektir. Çakışma analizi ve avatar gibi uygulamalardan verim alınmasını sağlayacaktır. Benzer şekilde Primavera ya da başka bir ortamda oluşturulacak iş programının da nesnelerin hepsini ve diğer aktiviteleri de kapsayacak şekilde detaylı yapılması gerekmektedir. Nesneler ile iş programındaki aktivite ve maliyetlerin ilişkilendirilmesi simülasyonun daha gerçekçi olmasında etkili olacaktır. Modelin oluşturulması ve sonraki süreç bu teknolojiyi kullanılabilecek teknik insanlarla mümkündür. Yazılımlar geçmişe nazaran çok fazla gelişme kaydetmiş olsalar da YBM teknolojisine kısa zamanda adapte olmak, geleneksel 2 boyutlu sistemi terk etmek zor olabilmektedir. İlerleyen zamanlarda YBM teknolojisi bütün paydaşların kullanımından memnuniyet duyacağı bir konuma gelebilecektir.

5D model görsel açıdan zengindir ve kullanımı ile çalışanların projeye adaptasyonu daha hızlı olabilir. Paydaşlar arasında iletişim ve koordinasyon sağlanabilir. Karar verici durumundaki insanlara katkı verebilir. Dijital yapı modelinin inceleme ve analiz araçları sayesinde hatalar engellenebilir. Titiz ve sistemli bir çalışma ile yapım işinin aşamaları ve maliyetler kontrol altında tutulabilir, proje yönetiminde avantaj sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Abanda, F. H., Kamsu-Foguem, B. and Tah, J. (2017). BIM – New rules of measurement ontology for construction cost. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. February. s.1-18.
- Ahmed, M. I., Brijbhushan, S. and Maneeth , P. D. (2017). Planning, Scheduling, Resource allocating and tracking of residential (G+2) villa using Primavera P6. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. e-ISSN: 2395-0056 Volume: 04 Issue: 08, s. 967-971.
- AIA-The American Institute of Architects. (2013). *Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents*.
- Albayrak, B. (2001). *Proje Yönetimi ve Proje Danışmanlığı*. İstanbul: Betaş Yayınevi.
- Alpay, C. (2007). *Bir İnşaat Projesinin Primavera ile Planlanması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Anderson, A., Dossick, C., Azari, R., Taylor, J., Hartmann, T. and Mahalingham, A. (2014). Exploring BIMs as avatars: using 3D virtual worlds to improve collaboration with models. *Construction Research Congress ©ASCE 2014*. 19-21 May, 2014. Atlanta, Georgia, USA, s.179-188
- Arayıcı, Y. (2015). *Building Information Modelling (1st edition)*. Bookboon.com, ISBN: 978-87-403-1098-6.
- Aşar, D. (2016). *Primavera P6*. İstanbul: Abaküs Yayınları
- Autodesk, (2019). *Revit Brochure 2019 Build for BIM*
- Autodesk, (2019). *Autodesk Navisworks User Guide*.
- Ayçam, İ. ve Erbaş, R. (2017). Yapı bilgi sistemlerinin (BIM) ofis binalarında kullanım alanları ve potansiyeli. *Makine Mühendisleri Odası-Tesisat Mühendisliği Dergisi* Temmuz-Ağustos 2017 Sayı:60, s.22-32.

- Azhar, S., Hein, M. and Sketo, B. (2008). Building information modeling: Benefits, risks and challenges. *Proc., 44th Associated Schools of Construction National Conference, Auburn, AL.*
- Azhar S., Nadeem A., Mok J. Y.N. and Leung B.H.Y. (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"* August 4-5, 2008, Karachi, Pakistan, s.435-446.
- Baydar, M. F. (2013). *Planlamada Ms Project ve Primavera 'yı Anlamak*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Baykal, G. ve Aydın, U. (2015). *Revit Architecture Giriş ve Orta Düzey*. İstanbul: Abaküs Yayınları.
- Becerik-Gerber, B. and Rice, S. (2010). The perceived value of building information modeling in the U.S. building industry. *Journal of Information Technology in Construction*, ISSN 1874-4753, s.185-201.
- BIM Forum. (2018). *Level of Development Specification & Commentary* (Version:2018)
- Boeykens, S. (2012). Bridging Building Information Modeling and Parametric Design. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, 9th ECPPM Conference Proceedings*, s. 453-458
- Czmocha, I., & Pekala, A. (2014). Traditional Design versus BIM Based Design. *XXIII R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP) (TFoCE 2014)*, s. 210-215
- Çetiner, O. (2010). *Mimarlıkta Yapıma Katkıda Bulunan Bilgi Modelleme Teknolojisine Giriş ve Örnekler*. İstanbul: Yalın Yayıncılık.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Listen, K. (2011). *BIM Handbook A Guide To Building Information Modeling*. ISBN 978-0-470-54137-1
- Elmas, Ç. ve Elmas, A. (2018). *Uluslararası Standartlara Göre Proje Yönetimi*. Ankara: Seçkin Yayınevi.

- Erbaş, S. (2013). Mimaride parametrik tasarım ve eğitimi. *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi- Journal of Research in Education and Teaching*. Kasım. Cilt:2 Sayı:4. ISSN: 2146-9199
- Ersoy, M. S. (2014). *Proje Yönetimi*. Ankara: İmaj Yayınevi.
- Gajendran, T. and Brewer, G. (2012). Research Report. Building Information Modelling (BIM): an Introduction and International Perspectives. Australia. University of Newcastle
- Golabchi, A., Akula, M. and Kamat, R. (2013). Leveraging BIM For Automated Fault Detection In Operational Buildings. *Proceedings of the 30th ISARC*, s.187-197. Montréal, Canada.
- Hardin, B. and Mccool, D. (2015). BIM and Construction Management Proven Tools, Methods and Methods. (Second Edition). ISBN: 978-1-118-94276-5
- Hasan, A. and Rasheed, S. (2019). The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry. *Civil Engineering Journal Vol. 5, No. 2, February*, s.412-421
- Hattab, M. and Hamzeh, F. (2013). Information Flow Comparison Between Traditional and Bim-Based Projects in the Design Phase. *Proceedings for the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, s. 761-770. Fortaleza. Brazil.
- Hergunsel, M.F. (2011). *Benefits of building information modeling for construction managers and BIM based scheduling*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, United States: Worcester Polytechnic Institute.
- HM Government. (2012). *Buildin Information Modelling,Industrial strategy: Government and Industry in Partnership*
- ISO Standart. (2017). The International Organization for Standardization. ISO and Construction ISBN 978-92-67-10779-0
- Jones, S. A. and Bersntein, H.M. (2014). *The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets, Smart Market Report*. McGrawHill Construction.

- Kerosuo, H., Miettinen, R., Mäki, T. and Paavola, S. (2012). Expanding uses of building information modeling in life-cycle construction projects. IEA 2012: *18th World congress on Ergonomics - Designing a sustainable future*, s.114-119
- Khatib, J., Chileshe, N. and Sloan, S. (2007). Antecedents and benefits of 3D and 4D modelling for construction planners. *Journal of Engineering, Design and Technology* Vol. 5 No. 2, s.159-172.
- Koutamanis, A. (2017). Briefing and Building Information Modelling: Potential for integration. *International Journal of Architectural Computing* Vol. 15(2) s.119-133.
- Kubba, S. (2017). Handbook of Green Building Design and Construction (Second Edition). ISBN: 978-0-12-810433-0
- Kumar, B. (2015). A Practical Guide to Adopting BIM in Construction Projects. ISBN: 978-184995-146-3
- Kuruoğlu, M. (2002). *İnşaat Sektöründe Bilgisayar Destekli Planlama Metot ve Örnekleri*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi.
- Kymmell, W. (2008). Building Information Modeling Planning and Managing Construction Projects with 4D Cad and Simulations.
- Lahdou, R. and Zetterman, D. (2011). *BIM for Project Managers*. Göteborg. Chalmers University of Technology.
- Lavanya, N. and Prasad, D. (2017, 06). 3D Modeling and Clash Deduction of PBS-Television Center, Hawaii. *World Journal of Research and Review (WJRR)* Volume-4, Issue-6, s.19-24.
- Lee, X., Tsong, C. and Khamidi, M. (2016). 5D Building Information Modelling– A Practicability Review. *MATEC Web of Conferences* 66, IBCC 2016. s.1-7
- Liberatore, M., Johnson, B. and Colleen A., S. (2001, 04). Project Management in Construction: Software Use and Research Directions. *Journal Of Construction Engineering And Management*, 127(2) s. 101-107.
- McArthur, J. (2015). A building information management (BIM) framework and supporting case study for existing building operations, maintenance and

- sustainability. *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction*. May 2015.
- Mesároš, P., Smetanková, J. and Mandičák, T. (2019). The Fifth Dimension of BIM – Implementation Survey. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 222(1):012003 · January 2019
- Mihindu, S. and Arayıcı, Y. (2008). Digital Construction through BIM Systems will Drive the Re-engineering of Construction Business Practices, *ID: 308, Submitted for the 12th International Conference Information Visualisation*. s. 1-6. 9- 11 July 2008. London.
- Nagaraju, S. and Kumar, S. (2016). Schedule and Resources Optimization using Primavera in Metro Rail Project. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, e-ISSN: 2320-2092, (Vol 4, Issue 7), s.86-90.
- Ofluoğlu, S. (2009). Yapı Bilgi Modelleme: Yeni Nesil Yazılımlar. <http://www.sayisalmimar.com/yayin/ybm.pdf> (Erişim tarihi: 02.02.2018)
- Oracle. (2009). *Primavera P6 Project Management- Reference Manual- Version 6.2.1*.
- Öcal, E. ve Pancarcı, A. (2014). *Yapı İşletmesi ve Mal Oluş Hesapları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Öz Döşer, A. (2016). *Integration of BIM to facility management (Yapı Bilgi Modellemesinin (BIM) Tesis Yönetimine Entegrasyonu)*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özlük, S. (2018). *Girişimciler için İnşaat ve Müteahhitlik*. Ankara: Seçkin Yayınevi.
- Özorhon, B. (2018). *Yapı Bilgi Modellemesi*. İstanbul: Abaküs Yayınları.
- Ozorhon, B. ve Karahan, U. (2016). Critical Success Factors of Building Information Modelling (BIM) Implementation. *ASCE Journal of Management in Engineering*.
- Pehlevan, E. E. (2018). Yapı bilgi modellemesi (BIM) ve Türkiye’de kullanımı. *İmo İstanbul Bülteni Dergisi*, s.21-24.

- Pitake, S. and Patil, D. (2013). Visualization of Construction Progress by 4D. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, Volume 4 Issue 7- july 2013. 3000-3005.
- PMI- Project Management Institute. (2013). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK®Guide) Fifth Edition*. Newtown Square: Project Management Institute.
- Popov, V., Migilinskas, D., Juocevicius, V. and Mikalauskas, S. (2008). Application Of Building Information Modelling And Construction Process Simulation Ensuring Virtual Project Development Concept In 5D Environment. *The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. June 26-29,2008. s.616-624
- Preece, C., Ahankoob, A., Preece, C. and Rostami, R. (2012). Potential Application of BIM in Construction Dispute and Conflict. *Management in Construction Research Association (MiCRA)*, s. 178-184. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Pučko, Z., Štrukelj, A. and Šuman, N. (2015). Project Management Software Based on BIM to Evaluate Construction Time and Cost. *12Th International Conference Organization, Technology And Management In Construction*, s.309-323. Primosten, Croatia.
- Rokoei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities,Challenges and Outcomes. *4th International Conference on Leadership, Technology, Innovation and Business Management*, s. 87-95.
- Sardroud, J., Mehdizadehtavasani, M., Khorramabadi, A.and Ranjbardar, A. (2018). Barriers Analysis to Effective Implementation of BIM in the Construction Industry. *35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2018)*, s. 64-71. Berlin, Germany.
- Sattineni, A. and Macdonald, J. (2014). 5D-Bim: A Case Study Of An Implementation Strategy In The Construction Indusry. *The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014)*, s. 361-367. Sydney, Australia.

- Silva, M., Salvado, F., Couto, P. and Azevedo, Á. (20016). Roadmap Proposal for Implementing Building Information Modelling (BIM) in Portugal. *Open Journal of Civil Engineering*, s.475-481.
- Smith, P. (2014). BIM Implementation- Global Strategies. *Creative Construction Conference*,2014. s. 482-492
- Stanley, R. and Thurnell, D. (2014). The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand. *Australasian Journal of Construction Economics and Building* (14) 1, s.105-117
- Takim, R., Harris, M. and Nawawi, A. (2013). Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for quality of life within Architectural, Engineering and Construction (AEC) industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 101, 8 November 2013. s.23-32
- Uğur, L. O. (2012). *Modern İnşaat Yönetimi*. Ankara: Alter Yayınevi.
- Yalçinkaya, M., Öztürk, G. and 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*, 6-8 Kasım 2014. Antalya.
- Yilmaz, G., Asli, A. and Demirors, O. (2019). A reference model for BIM capability assessments. *Automation in Construction an International Research Journal*. 101, s.245-263.
- http-1:<https://www.magicsoftware.com/2013/10/why-do-integration-projects-fail>
(Erişim tarihi:28.8.2018)
- http-2:<http://duvartipiklima.blogspot.com/2016/04/yerden-stma-sistemi-hesab.html>
(Erişim tarihi:16.2.2019)
- http-3:<https://rebanas.com/gambar/images/desain-rumah-2-kamar-tidur-cocok-keluarga-kecil-meskipun-ruang> (Erişim tarihi:16.2.2019)
- http-4:<http://teknikressamm.blogspot.com/2015/01/parametrik-tasarim-nedir.html>
(Erişim tarihi:17.2.2019)
- http-5:<https://docplayer.biz.tr/16646585-Parametrik-yapi-modelleme-bim-in-temeli.html> (Erişim tarihi:17.2.2019)

http-6:http://www.sayisalmimar.com/kurslar/mke_bst500/makale/tuanahan_kamci.pdf
(Erişim tarihi:16.2.2019)

http-7: <https://www.designtechsys.com/articles/parametric-modelling> (Erişim
tarihi:08.04.2019)

http-8:[http://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d-bim-
explained/](http://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d-bim-explained/) (Erişim tarihi:17.2.2019)

http-9:<https://www.buildingincloud.net/en/bim-collaboration-2/> (Erişim
tarihi:15.2.2019)

http-10:https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/BIM_maturity_levels (Erişim
tarihi:17.2.2019)

http-11:[https://www.trace-software.com/blog/elec-calc-bim-maturity-model-and-bim-
levels/](https://www.trace-software.com/blog/elec-calc-bim-maturity-model-and-bim-levels/) (Erişim tarihi:18.2.2019)

http-12:[https://www.cdbb.cam.ac.uk/Resources/ResoucePublications/BISBIMstrategy
Report.pdf](https://www.cdbb.cam.ac.uk/Resources/ResoucePublications/BISBIMstrategyReport.pdf) (Erişim tarihi:18.2.2019)

http-13: <https://www.srinsofttech.com/bim-level-of-development-lod-300-400-500.html>
(Erişim tarihi:09.04.2019)

http-14:<https://hvacnew.com/bim/> (Erişim tarihi:2.3.2019)

http-15:<https://www.enneyapi.com.tr/construction-wallpaper-6/> (Erişim tarihi:8.3.2019)

http-16:<https://www.theb1m.com/video/what-is-4d-bim> (Erişim tarihi:10.3.2019)

http-17:<https://www.srinsofttech.com/5d-bim-cost-estimation-quantity-take-offs.html>
(Erişim tarihi:10.2.2019)

http-18:<https://ekolojist.net/tarih-boyu-surdurulebilirlik-kavrami-aciklamalari/> (Erişim
tarihi:15.2.2019)

http-19:<https://abgrup-makale.blogspot.com/2015/03/surdurulebilir-bina-nedir.html>
(Erişim tarihi:13.2.2019)

http-20:[https://www.canon.ie/Images/Think%20Build_final%20indesign%20package
_131216_LR_tcm24-1503749.pdf](https://www.canon.ie/Images/Think%20Build_final%20indesign%20package_131216_LR_tcm24-1503749.pdf) (Erişim tarihi:10.10.2018)

http-21:<https://www.autodesk.com/products/insight/overview> (Erişim tarihi:10.10.2018)

http-22:https://www.sayisalmimar.com/kurslar/beykent/bpa_01_seminer.pdf (Erişim tarihi:10.10.2018)

http-23:<https://thebimhub.com/2015/10/17/bim-a-model-method/#.W75knWgzZPY> (Erişim tarihi:10.10.2018)

http-24:https://imoistanbul.org/imoarsiv/seminer-notlari-nisan-2016/tekil/esin-ergen/BIM_Ergen_IMO.pdf (Erişim tarihi:4.10.2018)

http-25:<https://ecodomus.com/press-releases/bim-for-fm-for-hong-kong-mtr-mass-transit-railway/> (Erişim tarihi:16.2.2019)

http-26:<https://bimestimate.eu/en/the-theory-of-evolution-bim-3d-7d/> (Erişim tarihi:10.10.2018)

http-27:<https://www.buildingincloud.net/wp-content/uploads/2017/03/BIM-Software-list.pdf> (Erişim tarihi:12.2.2019)

http-28:<https://www.cadneeds.com/2017/08/revit-architecture-modern-house-design-8.html> (Erişim tarihi:19.8.2018)

http-29:<https://www.thenbs.com/knowledge/the-national-bim-report-2018> (Erişim tarihi:23.2.2019)

http-30:<https://cadsay.com/revit-nedir> (Erişim tarihi:22.8.2018)

http-31:<https://www.micronworld.com/product153> (Erişim tarihi:22.2.2018)

http-32:<https://www.protabilgisayar.com.tr/urun/detay/45> (Erişim tarihi:23.8.2018)

http-33:<https://revitmepturkey.blogspot.com/2014/02/revit-ornek-proje-sgk-ofis-bolumu.html> (Erişim tarihi:15.11.2018)

http-34:<https://cadsay.com/primavera-nedir> (Erişim tarihi:30.8.2018)

http-35:https://www.ronwinterconsulting.com/The_History_of_Primavera_Scheduling.pdf (Erişim tarihi:23.2.2019)

http-36:<https://blog.tkaraca.com/2015/is-plani-is-programi/> (Erişim tarihi:30.8.2018)

http-37:<https://murat.kuruoglu.com.tr/MURKUR/documan/%C4%B0%C5%9E%20PROGRAMI%20HAZIRLAMA%20TEKN%C4%B0KLER%C4%B0.pdf> (Erişim tarihi:20.12.2017)

http-38:<https://support.office.com/tr-tr/article/outlook-a-aktarmak-i%C3%A7in-csv-dosyalar%C4%B1-olu%C5%9Fturma-ve-bunlar%C4%B1-d%C3%BCzenleme-4518d70d-8fe9-46ad-94fa-1494247193c7> (Erişim tarihi:15.2.2019)

http-39:<https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview> (Erişim tarihi:28.8.2018)

http-40:<https://forums.autodesk.com/t5/diger-urunler/autodesk-navisworks-u-kullanmak-icin-10-iyi-neden/td-p/5697175> (Erişim tarihi:2.8.2018)

http-41:<https://fikirsan.com/uc-boyutlu-proje> (Erişim tarihi:10.2.2019)

http-42:<https://www.cbyazilim.com/blog/2d-projelerden-3d-metraj.html> - (Erişim tarihi:10.2.2019)

http-43:<https://www.garadesign.com/3d-modelleme-nedir/> (Erişim tarihi:14.3.2019)

http-44:<https://thebimhub.com/2015/10/03/benefits-of-3d-bim-modeling-services-during-pre-co/#.XIqeGKAzZPY> (Erişim tarihi:10.3.2019)

http-45:<https://www.youtube.com/watch?v=a5xk8xZeY3M> (Erişim tarihi:14.3.2019)

http-46:https://www.associationofconstructionanddevelopment.org/articles/view.php?article_id=10780 (Erişim tarihi:12.3.2019)

http-47:<https://www.srinsofttech.com/bim-clash-detection.html> (Erişim tarihi:12.3.2019)

http-48:<https://www.thebimcenter.com/2016/03/what-is-clash-detection-how-does-bim-help.html> (Erişim tarihi:13.3.2019)

http-49:<https://knowledge.autodesk.com/support/navisworks> (Erişim tarihi:13.3.2019)

http-50:<https://www.thebimcenter.com/2016/03/what-is-clash-detection-how-does-bim-help.html> (Erişim tarihi:13.3.2019)

http-51:<https://www.engineersirelandcork.ie/downloads/16.02.24%20EI%20BIM%20-EDC.pdf> (Erişim tarihi:12.3.2019)

http-52:<https://slideplayer.com/slide/4580713/> (Erişim tarihi:16.3.2019)

http-53:<https://www.supplychainschool.co.uk/uk/bim/construction/level-2/level-2.aspx>
(Erişim tarihi:16.3.2019)

http-54:<https://www.geospatialworld.net/article/bim-adoption-around-the-world-how-good-are-we/> (Erişim tarihi:12.3.2019)

http-55:https://www.bentley.com/en/project-profiles/morphosis-architects_perot-museum-of-nature-and-science (Erişim tarihi:13.2.2019)

http-56:<https://www.theb1m.com/video/top-3-bim-projects-in-china> (Erişim tarihi:12.3.2019)

http-57:<https://www.tekla.com/references/crusell-bridge> (Erişim tarihi:12.3.2019)

http-58:<https://www.skanska.co.uk/expertise/projects/57212/Barts-and-the-London-hospitals/additionalinformation> (Erişim tarihi:12.3.2019)

http-59:<https://www.autodesk.com.tr/redshift/istanbul-yeni-havalimani/> (Erişim tarihi:12.3.2019)