T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ ile ZAMAN ve MALİYET YÖNETİMİNİN İNCELENMESİ

Dilara ÖZYİLDİRİM

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Mayıs, 2023

Anneme ve Babama ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ ile ZAMAN ve MALİYET YÖNETİMİNİN İNCELENMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca beni yönlendiren, tezimin her aşamasında en yoğun zamanında bile desteğini esirgemeyen değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ömer Giran hocama,

Tez araştırmalarımda gerekli incelemeleri gerçekleştirmeme izin veren İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Daire Başkanlığı'na ve Anadolu Yakası Raylı Sistem Şube Müdürlüğü'ne,

BIM alanında bilgi ve tecrübelerini paylaşan, beni her zaman destekleyerek yoluma ışık tutan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistemler BIM Yöneticisi Yüksek İnşaat Mühendisi Sn. İlknur Akgüneş Ahmed'e,

Bugünlere gelmemi sağlayan, beni yetiştiren, her daim yanımda olan, eğitim sürecimde sonsuz destekleri olan canım aileme, annem Sakine Özyıldırım'a ve babam Şakir Özyıldırım'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2023 **Dilara ÖZYİLDİRİM**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **iii**
TEŞEKKÜR ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **x**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **4**
2.1. YAPI BİLGİ MODELLEME (YBM) 4
2.1.1. BIM'in Gelişim Süreci 8
2.2. BIM' İN YAYGINLIĞI 11
2.2.1. Dünyada BIM 12
2.2.2. Türkiye'de BIM Kullanımı 16
2.3. BIM AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI 17
2.3.1. Avantajları 17
2.3.2. Dezavantajları 19
2.4. BIM'İN SEKTÖRE GETİRDİĞİ YENİ KAVRAMLAR 20
2.4.1. BIM Boyutları 20
2.4.2. BIM Gelişim Seviyeleri 24
2.4.3. Nesne Tabanlı Parametrik Modelleme 26
2.4.4. Birlikte Çalışılabilirlik (Interoperability) 27
2.4.5. COBİe (Constraction Operation Building Information Exchange) - İnşaat Operasyonları Yapı Bilgi Değişimi) 29
2.4.6. Çakışma Kontrolü 30
2.4.7. Tümleşik Proje Teslimi 30
2.4.8. BIM Uygulamalarında Kullanılan Yazılımlar 33

2.5. RAYLI SİSTEM PROJELERİNDE BIM UYGULAMALARI / ENTEGRASYONU 35
3. YÖNTEM 38
3.1. BIM UYGULAMALARINDA KULLANILAN YAZILIMLAR 39
3.2. BIM UYGULAMA PLANI (BUP) 40
3.3. ÇAKIŞMA ANALİZLERİ 42
3.4. BIM TABANLI 4D MODELLEME 45
3.5. 5D MODELLEME İLE MALİYET YÖNETİMİ 47
4. BULGULAR 50
4.1. BIM UYGULAMASI: ÖRNEK BİR METRO PROJESİ İNCELEME 50
4.1.1. Proje Bilgileri 51
4.1.2. Roller ve Sorumluluklar 51
4.1.3. BIM Uygulama Planı 52
4.1.4. Ortak Veri Paylaşım 57
4.1.5. 3D Koordinasyon Modellerinin Oluşturulması 60
4.1.6. Çakışma Kontrolü 65
4.2. 4D MODEL İNCELEME 76
4.2.1. İş Programı Entegrasyonu 76
4.2.2. Faz planlama ve Simülasyon 78
4.3. 5D MODEL: METRAJ OLUŞTURMA VE MALİYET TAHMİNİ 79
5. TARTIŞMA 83
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 86
KAYNAKLAR 89

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2-1 DIKW Piramidi (Vikipedi, 2023). 5
Şekil 2-2 Yapı Bilgi Modellemesi Yaşam Döngüsü (BIM) (Dispenza, 2010). 7
Şekil 2-3 Küresel BIM Düzenlemesinin Gelişimi (Paul, 2018). 11
Şekil 2-4. Dünyada BIM Kullanımı (McGrawHill, 2012). 12
Şekil 2-5. Kuzey Amerika'daki Müteahhitlerden BIM İnşaat Verileri (McGrawHill, 2014). . 13
Şekil 2-6 BIM Olgunluk Düzeyleri (Enegbuma, et al., 2014). 14
Şekil 2-7. Metraj Oluşturma (Autodesk, 2022). 20
Şekil 2-8. BIM'de çok boyutluluk (nD) (Megahed, 2015). 21
Şekil 2-9. BIM Boyutları. 22
Şekil 2-10. BIM 6D Modelleme (Sürdürülebilirlik). 23
Şekil 2-11. 7D Modelleme (Tesis Yönetimi) (BibLus, 2021). 24
Şekil 2-12. BIM Gelişim Seviyeleri. 26
Şekil 2-13. Birlikte Çalışılabilirlik. 29
Şekil 3-1. Örnek BIM Projesinde Kullanılan Yazılımlar. 40
Şekil 3-2 Çakışma Çeşitleri. 43
Şekil 3-3. Çakışma Analizi Set Bileşenleri. 44
Şekil 3-4. BIM Tabanlı 4D Zaman İnceleme. 47
Şekil 3-5. BIM Tabanlı Projelerde Zaman ve Maliyet Entegrasyonu Yaşam Döngüsü. 49
Şekil 4-1. Metro Projesi Organizasyon Şeması. 52
Şekil 4-2 BIM Sorumlular Listesi. 52
Şekil 4-3. BIM360 Tüm Disiplinlerin Ortak Veri Paylaşım Yazılımı. 57
Şekil 4-4. Koordinasyon Modelinde Çakışma Tespitleri 58

Şekil 4-5. Ortak Veri Paylaşım Süreçleri 59
Şekil 4-6 BIM360 Walk 59
Şekil 4-7. Metro Hattı 3 Boyutlu Koordinasyon Modellemesi Uygulama Projesi Aşaması 60
Şekil 4-8. 2D İstasyon Çizim ve Kesit Görüntüsü 61
Şekil 4-9. Revit 3D Görünüşü 62
Şekil 4-10. Kot Kesit Görüntüsü. 62
Şekil 4-11 İstasyon Revit 3D Model. 63
Şekil 4-12. Navisworks Koordinasyon Modeli. 63
Şekil 4-13. İstasyon Koordinasyon Modeli. 64
Şekil 4-14 Koordinasyon Modeli Kesiti. 64
Şekil 4-15. Koordinasyon Modeli Üstten Kesiti. 65
Şekil 4-16. Çakışma Matrisi Örneği. 67
Şekil 4-17. Clash Detective Penceresi. 67
Şekil 4-18. Disiplinlerarası Çakışma Testi Rapor Örneği. 68
Şekil 4-19. Elektrik Ekipmanı ve Kablo Tepsisi Çakışma Tespiti. 69
Şekil 4-20. Duvar ile Elektrik Borusu Çakışması 70
Şekil 4-21. Gaz Beton Duvar ile Yangın Söndürne Sistemi Çakışması 71
Şekil 4-22. Kablo Tavaları Çakışması. 72
Şekil 4-23. Duvar ile Yeterli Alan Eksikliği 73
Şekil 4-24. Çakışma Analizi Çözümü Görüntüsü 74
Şekil 4-25. Çakışma Analizi Çözümü Görüntüsü (2) 75
Şekil 4-26. Çakışma Analizi Çözümü Görüntüsü (3) 75
Şekil 4-27. Çakışma Analizi Çözümü Görüntüsü (4) 76
Şekil 4-28. Örnek Proje Bir İstasyona Ait Aktivite Listesi 77
Şekil 4-29. 4D Modelleme Yapı Taşları 78
Şekil 4-30 Zaman Entegrasyonu ile 4D Model 78
Şekil 4-31. Faz Planlama Simulasyon Görüntüleri 79

Şekil 4-32 Örnek Metraj Özeti Tablosu 80
Şekil 4-33. Çakışma Tespiti Öncesi Gaz Beton Duvar Metraj Çıktısı 81
Şekil 4-34 Çakışma Tespiti Sonrası Düzenlenen Gaz Beton Duvar Metraj Çıktısı 82

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2-1 YBM kavramı (Topal, 2019). 6

Tablo 2-2. BIM Tarihinin Zaman Çizelgesi (Bergin, 2012). 10

Tablo 2-3. 2013 ve 2015'te BIM uygulama oranları (McGrawHill, 2014). 12

Tablo 2-4. . BIM' in Kısa ve Uzun Dönem Faydaları (McGrawHill, 2012). 18

Tablo 2-5. Geleneksel ve Tümleşik Proje Teslimi Karşılaştırma Tablosu (AIA, 2007) 31

Tablo 4-1. Projedeki Tüm Paydaşların BIM Yöneticileri Sorumluluk Listesi. 54

Tablo 4-2. Çakılma Testi Set Bileşenleri. 66

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
2D	**:** 2 Dimensional
3D	**:** 3 Dimensional
4D	**:** 4 Dimensional
5D	**:** 5 Dimensional
6D	**:** 6 Dimensional
7D	**:** 7 Dimensional
8D	**:** 8 Dimensional
ABD	:Amerike Birleşik Devletleri
AEC	**:** Architecture, Engineering and Construction
AIA	**:** American Institute of Architects
BCA	**:** Building and Construction Authority
BDS	: Building Description System (Bina Tanımlama Sistemi)
BIM	: Building Information Modeling
BUP	: BIM Uygulama Planı
CAM	: Computer Aided Manufacturing
CAM	: Computer-Aided Drawing
CDE	: Common Data Environment (Ortak Veri Ortamı)
COBIe	:Constraction Operation Building Information Exchange (İnşaat operasyonları Bilgi değişimi)
CORENET	**:** Construction and Real Estate Network
CPM	**:** Critical Path Method (Kritik Yol Yöntemi)
GLIDE	: Graphical Language for Interactive Design (İnteraktif Tasarım İçin Grafik Dili)
HVAC	:Heating, Vantilating, Air conditioning (Isıtma, havalandırma, iklimlendirme)
LEED	:Leadership and Environment Design (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik)
LOD	**:** Level of Development
MEP	: Mekanik, Elektrik, Tesisat

nD	:Çoklu Boyutlar
IFC	**:** Industry Foundation Classes
IPD	:Integrated Project Delivery (Tümleşik Proje Teslimi)
ISO	**:** International Organization for Standardization
PBS	**:** Public Buildings Service
TC	:Türkiye Cumhuriyeti
TOI	**:** Takeoff Item
TOQ	**:** Takeoff Quantity
UK	:United Kingdom (Birleşik Krallık)
USA	:United state of America (Amerika Birleşik Devletleri)
WBS	: Work Breakdown Structure

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ İLE ZAMAN VE MALİYET YÖNETİMİNİN İNCELENMESİ

Dilara ÖZYİLDİRİM

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı Adı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN

Uluslararası ölçekte artan ihtiyaçlar doğrultusunda sektörlerin gelişim süreçleri dijitalleşmeyle entegre bir hale gelmektedir. Türkiye'de nüfusun artışı, ekonominin inşaat faaliyetleri ile paralel bir ilerleyişe geçmesini sağlamaktadır. İnşaat projelerinde geçmişte uygulanan ve hâlâ günümüzde uygulanmaya devam eden geleneksel tasarım ve yönetim süreçleri, projenin hata yapma oranını arttırarak zaman ve maliyet gibi konularda verimsiz sonuçlara neden olmaktadır. Bu geleneksel yönetim süreçlerinden "kâğıt-tabanlı" tasarım süreçlerinin, Yapı Bilgi Modelleme (BIM) teknolojisiyle dijital dönüşüm süreçlerine olan geçişi öne çıkmaktadır. BIM, bir yapının tasarım, yapım, işletme süreçlerinin tümünde her aşamasında kullanılan dijital bir teknolojidir. Sonuç odaklı yönetimlerden süreç odaklı proje yönetimlerine doğru olan BIM çalışma felsefesi ile disiplinler arası tüm proje paydaşların sürece entegrasyonu tam sağlanarak daha koordineli bir işbirliği oluşturulabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'de BIM uygulamasını kamu sektöründe raylı sistemler özelinde hayata geçiren bir metro projesi örnek olarak incelenmiştir. Örnek projede, iş planlama

ile zaman ve maliyet yönetimi üzerinde durularak, BIM ile tasarım aşamasında tüm paydaşlarla ortak bir veri tabanında çakışmaların erken tespit edilmesini göstermektedir. Erken tespit edilen çakışmalar, ortak bir iletişim dili olması, otomatik metraj alabilme ve maliyet tahmini gibi gelişmiş yöntemlerden elde edinilen kazanımlar tezin ana hattını oluşturmaktadır. Elde edilen bulgular ve geçmişte yapılan çalışmalar analiz edilmiştir. Bu kapsamda çıkarımlar yapılarak sektör çalışanlarına ve gelecekteki çalışmalara önerilerde bulunularak sonuçlandırılmıştır.

Mayıs 2023 , 114. sayfa.

Anahtar kelimeler: İnşaat Yönetimi, Yapı Bilgi Modellemesi, Çakışma Analizi, Zaman ve Maliyet Yönetimi

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION of TIME and COST MANAGEMENT with BUILDING INFORMATION MODELLING in the CONSTRUCTION INDUSTRY

Dilara OZYILDIRIM

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Civil Engineering Programme

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Omer GIRAN

Due to the increasing global needs, the development processes of industries are becoming integrated with digitalization. The increase of population in Turkey has led to the parallel progression of the economy with construction activities. Traditional design and management processes applied in construction projects in the past and still continuing to be applied today cause inefficient results in terms of time and cost by increasing the error rate of the project. "Paper-based" design processes, which are among these traditional management processes, stand out in the transition to digital transformation processes with Building Information Modeling (BIM) technology. BIM is a digital technology used in all stages of the design, construction, and operation processes of a structure. With the BIM working philosophy towards process-oriented project management from result-oriented management, all project stakeholders can be integrated into the process more coordinately by providing a common communication language.

Within the scope of the thesis, a metro project that implements BIM application in the public sector in Turkey in terms of rail systems has been examined as an example. In the example project, the focus is on job planning and time and cost management, demonstrating early detection of conflicts with all stakeholders in a common database during the design phase with BIM. The early detected conflicts, gains obtained from advanced methods such as having a common communication language, automatic measurement taking, and cost estimation constitute the main line of the thesis. Findings and past studies have been analyzed. In this context, recommendations have been made to sector employees and future studies by making conclusions based on these findings.

May 2023, 114. pages.

Keywords: Construction Management, Building Information Modeling, Clash Detection, Time and Cost Management

1. GİRİŞ

Yapı sektörü, geçmişten günümüze nüfusun artışıyla birlikte her zaman önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte özellikle son yıllarda daha belirgin olsa da, inşaat endüstrisi bir ülkenin ekonomisinde yön verici alanlardan biridir. Bu da ülkelerin rekabet potansiyeli açısından kaçınılmaz olmaktadır. Küresel ekonomik sistemde, ülkeler arasındaki rekabet potansiyeli, ekonomik büyüme, inovasyon, yatırım, ihracat, teknoloji transferi ve insan kaynakları gibi faktörlerin bir kombinasyonuyla belirlenir. Gereksinim, rekabet ve ekonomi, inşaat projelerinin yönetimindeki kritik unsurları güçlendirme konusunu harekete geçirmiştir. Bu kritik unsurlar, inşaat projelerinin zamanında, bütçeye uygun ve kaliteli bir şekilde tamamlanmasını sağlamak için planlama, koordinasyon, izleme ve kontrol etme süreci olarak özetlenebilir. Zaman ve maliyet unsurlarının dikkatli bir şekilde yönetilmesi, inşaat projelerinin başarılı bir şekilde tamamlanması için hayati önem taşır.

Geleneksel yöntemle yürütülen inşaat projeleri, süreç boyunca planlamalar devamlı surette değişimlere uğramaktadır. Sahada inşa aşamasındayken dahi hatalarla karşılaşılarak durma noktasına gelebilecek problemler ile uğraşılmaktadır. Diğer sektörlere göre inşaat sektörünün zaman ve planlama yönetimi konusunda ciddi eksikleri bulunmaktadır. Bu sorunların esas nedenlerini, proje planlama ve yönetim sorunları, iletişim, koordinasyon eksikliği, kalite ve kaynak yönetimi oluşturmaktadır. Bu nedenle, bir işin baştan sona; tasarımından tesis yönetimine kadar her kalemi planlanmalı ve olası senaryolar oluşturulmalıdır. Bu noktada dijitalleşmek ve teknolojiyle uyum sağlamak kaçınılmaz bir noktaya gelmiştir. Diğer sektörlerde gelişen bu dijital bilinç, inşaat sektöründe gecikmeli olarak gelişmektedir. Yapı Bilgi Modelleme (BIM) teknolojisi bu bağlamda sektörde daha çok tercih edilmeye, dünyada ve ülkemizde bazı alanlarda zorunlu tutulmaya başlanmıştır.

BIM teknolojisi, tüm paydaşların projenin yaşam döngüsü boyunca tasarım, inşa etme, yönetim ve bakım süreçlerine kadar tüm aşamalarında bulunarak, projelerin daha verimli yürütülmesini sağlamaktadır. Bilinenin aksine BIM, 3D modelleme ile yapıyı dijital bir model olarak tasarlamanın yanı sıra tüm yapı elemanlarını tek bir veri tabanında yönetmektedir ve tüm ekiplerin bu veri tabanına erişimini sağlanmaktadır. Bu açıdan BIM, tüm verileri içinde bulundurarak bütünleşmiş bir sistemde veri yönetimi bakımından önemli bir araç olmaktadır.

Ayrıca, bu model üzerinde yapılan revizyonlardan bütün paydaşların haberdar olması sağlanarak ortaya çıkan sorunlar henüz tasarım aşamasında çözülebilmektedir. Bu kapsamda, farklı ekipler arasında farklı ekipman, yapı elemanları veya sistemler arasında çakışan unsurların tespit edilmesi daha kolay hale gelir. Bu tespitler, inşaat işlemlerinin zamanında tamamlanması, hataların azaltılması ve projelerin bütçelerinin korunması için son derece önemlidir. Bu da projenin hem zaman hem de maliyet açısından tasarruf etmesi demektir.

Basit projelerden raylı sistemler gibi karmaşık projelere kadar tüm dünyada BIM kullanımı yaygınlaşmaktadır. Türkiye'de ise kamu sektöründe "BIM Teknik Şartnamesi ve İhale Dokümanları" başlıklı doküman ulaştırma projeleri yapım işleri ihalelerinde kullanılmak üzere yayınlanmıştır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022). Raylı sistem projeleri, yüksek maliyetli, karmaşık projelerdir ve çeşitli disiplinlerde çalışan birçok paydaşı içerirler. Bu kapsamda, Türkiye'de bu tip projelerde BIM teknolojisinin kullanılması kaçınılmaz olmuştur. BIM teknolojisi, projenin tüm paydaşları arasında koordinasyonu sağlar ve çakışmaları tasarım sürecinde tespit ederek hataların en aza indirilmesine yardımcı olur.

Tez çalışmasının amacı zaman ve maliyet yönetimi konusunda yapı sektöründeki BIM kullanımının etkisini incelemektir. Bu bağlamda, çakışmaların belirlenmesinin zaman ve maliyetler üzerindeki etkileri, BIM kullanımıyla bu etkilerin nasıl azaltılabileceğini araştırmak ve tasarım aşamasında çözülmesiyle projelerde nasıl bir değişime neden olduğunun araştırması gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma, yapı sektöründeki tüm paydaşlar için önemlidir. Çünkü zaman ve maliyetlerin doğru yönetimi, projelerin başarılı bir şekilde tamamlanması için gereklidir. Bu nedenle, bu tez çalışması ile yapı sektöründeki tüm paydaşlarının, BIM kullanımının zaman ve maliyet yönetimi açısından önemini daha iyi anlamaları hedeflenmektedir.

Tez çalışması kapsamında örnek bir raylı sistem projesi seçilerek, söz konusu projenin ortak bir veri paylaşım ortamında dijital bir modellemesi ile bu modele bilgi altyapısı eklenerek zaman ve maliyet veri bileşenlerinin entegre edilmesi ve çakışmaların tasarım aşamasında tespitinin proje hedeflerine etkilerinin ve sistemlerin entegre kullanımıyla oluşan kazanımların tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışması, 6 ana başlıktan oluşmaktadır. Birinci bölümü olan giriş bölümünde, tezin amaç ve kapsamı tanımlanmaktadır. İkinci bölümde BIM'in tanımları, boyutları, gelişim süreci, Dünyada ve Türkiye'de yaygınlığı, geleneksel yöntemle karşılaştırılarak avantajları ve

dezavantajlarına yer verilmiştir. Bunlarla birlikte, bu dijital dönüşümün sektöre getirdiği yeni kavramlar ve BIM' in raylı sistemlerle entegrasyonu açıklanmıştır.

Üçüncü bölüm yöntem başlığını, BIM Uygulama Planı (BUP) başlıkları, ortak veri paylaşım platformları ve bu platformlar sayesinde 4D ve 5D incelemeler ile çakışma tespitlerinin nasıl yapılıp raporlandığı oluşturmaktadır. Ayrıca örnek projede kullanılan yazılımlar bu başlıkta özetlenmiştir.

Dördüncü başlık bulgular bölümünü içermektedir. Bu başlıkta olay incelemesi yapılan raylı sistem projesinin BIM kapsamındaki uygulama rehberi ve ortak koordinasyon süreçlerinin projeye olan etkisi detaylandırılmıştır. Multi disipliner bir ortamda oluşturulan 3D model ile zaman ve maliyet unsurlarının da eklenmesiyle 4D ve 5D model aşamalarına yine bu bölümde yer verilmiştir. Ayrıca örnek projede test edilen bazı çakışma analizleri üzerinden revizyonların sürece olan etkisi anlatılmıştır.

Beşinci bölüm tartışma bölümünde, literatürden edinilen veriler ile araştırma bulgularındaki çıktılar karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Son bölüm tezin sonuçları kısmında, BIM kullanımının zaman ve maliyet yönetimine olan etkileri özetlenerek, yapı sektöründeki uygulayıcılara ve gelecekteki akademik çalışmalara zaman ve maliyet yönetimi konusunda öneriler sunulmuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. YAPI BİLGİ MODELLEME (YBM)

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.

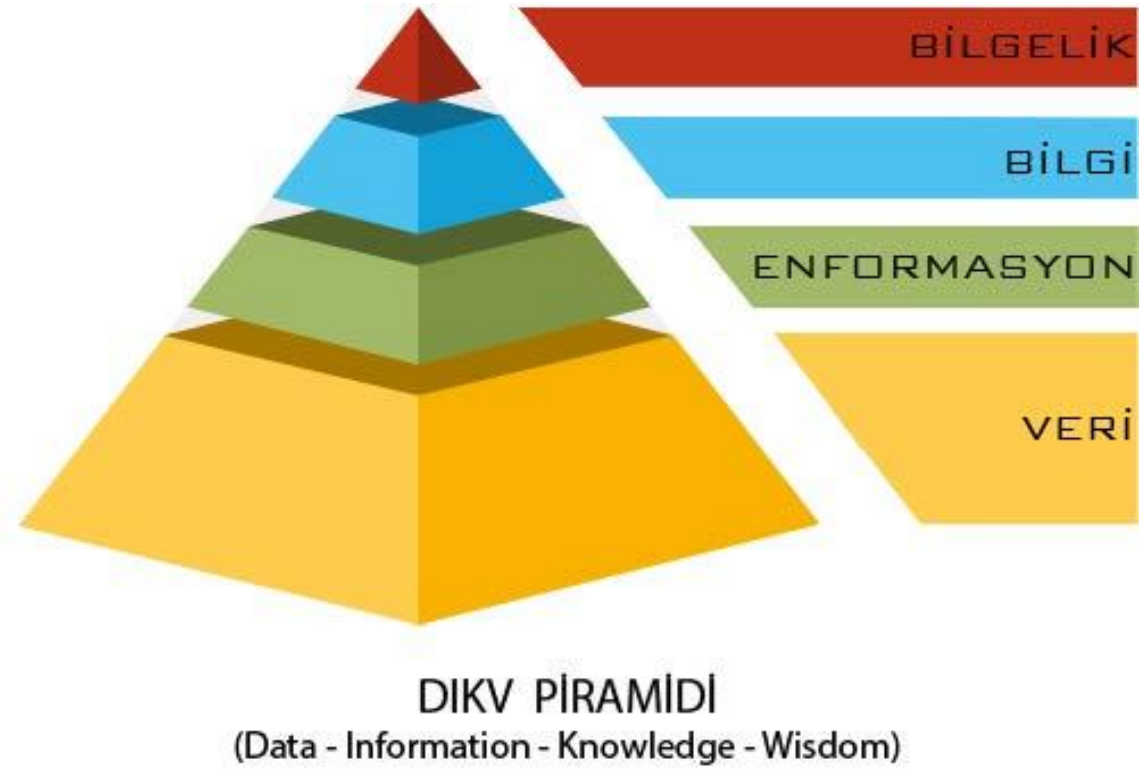
Geleneksel 2 boyutlu projelerin aksine, YBM dijital inşaatı daha fazla bilgi ve değerlendirme sunarak verimlilik, koordinasyon, kalite ve sürdürülebilirliği arttırmayı hedefler. Bu yöntem, paydaşlar arasında ortak bilgiler oluşturmayı ve projenin tüm sürecinde doğru adımlar atılmasını sağlamaktadır (Mihindu & Arayıcı, 2008).

Building Information Modelling (BIM), Türkçe çevirisiyle Yapı Bilgi Modelleme (YBM), birden fazla paydaşın bir tesisi işbirliği içerisinde planlama, inşa ve işletme sürecini kapsar. BIM, bir yapının tasarımdan, yapımına geçen süreçlerin tüm iş kalemlerinin sanal ortamda inşasını gerçekleştirip bu inşaatı geliştirmek işletme yıkım veya yeniden işlevlendirme üzerine kurulu bir sistemdir (Azhar, et al., 2011).

BIM, 2 boyutlu projelerin modellenmesi ile nesnelere sadece hacim özelliği kazandırılarak 3 boyutlu yapmak olarak nitelendirilmemektedir. BIM, projeleri, mimari, statik, mekanik gibi 3 boyutlu olarak modellenen yapıların yanı sıra, zaman, maliyet gibi geometrik olmayan özellikleri de içeren parametrik nesneleri de kapsamaktadır (Topal, 2019). Şekil 2-1'de gösterildiği gibi veri, enformasyon, bilgi ve bilgelik olarak bazı bileşenler DIKW piramidi olarak sıralanmıştır.

BIM'in açılımı incelendiğinde; 'Yapı' anlamına gelen *'Building'* ifadesi, her türlü inşaat süreci olan tüm yapıları ifade etmektedir. Bunlar; baraj, hava alanı, kule, alışveriş merkezi, alt yapı-üst yapı imalatı, yol yapım çalışması vb. her türlü yapı grup sınıfını tanımlamaktadır. Bilgi anlamına gelen *'Information'* ifadesi, yapının plan-proje verileri, yapımından yıkımını kapsayan tüm zaman verileri, yapının maliyet verileri, enerji tüketimi, karbon salınımı gibi sürdürülebilirlik bilgileri ve tesis yönetim bilgilerini kapsayan yapı ile ilgili tüm verilerin olduğu bilgi toplamıdır. *'Modelling'* kelimesi ise soyut bir tasarımın elektrik, mekanik, mimari,

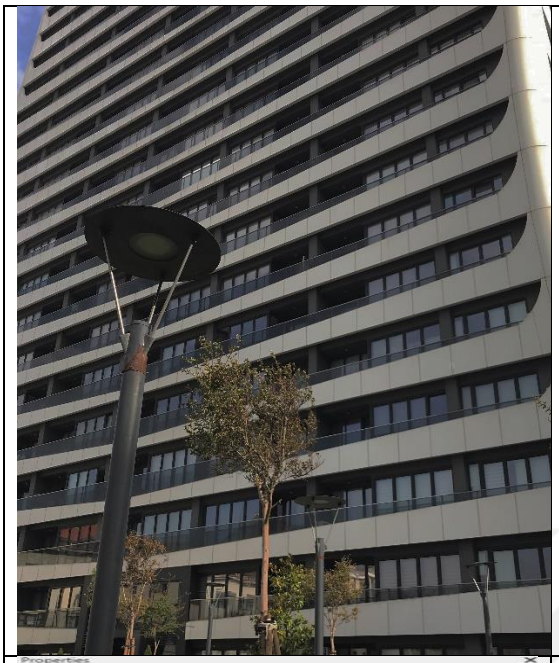
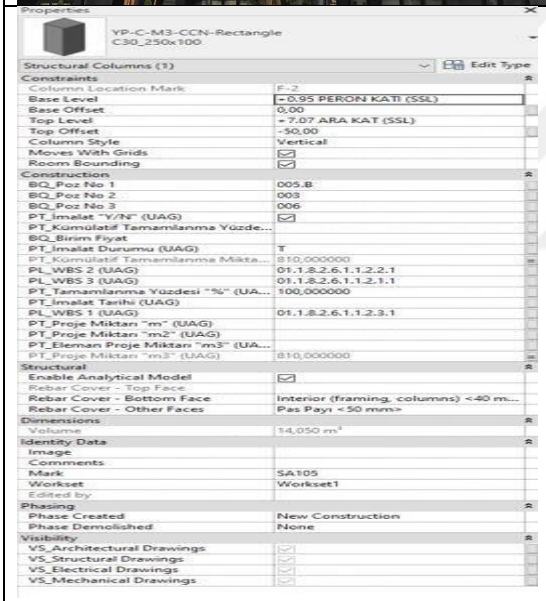
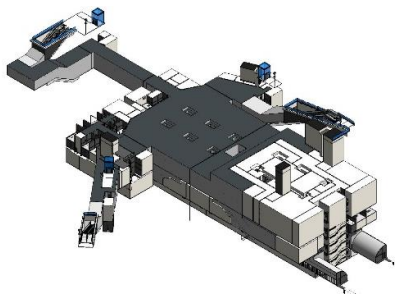
işletme programı/sistemi gibi modellerin, bilgisayar ortamında birleştirilerek gerçeğe yakın görüntüler ortaya çıkartılmasıdır (Alshamalı, 2020).

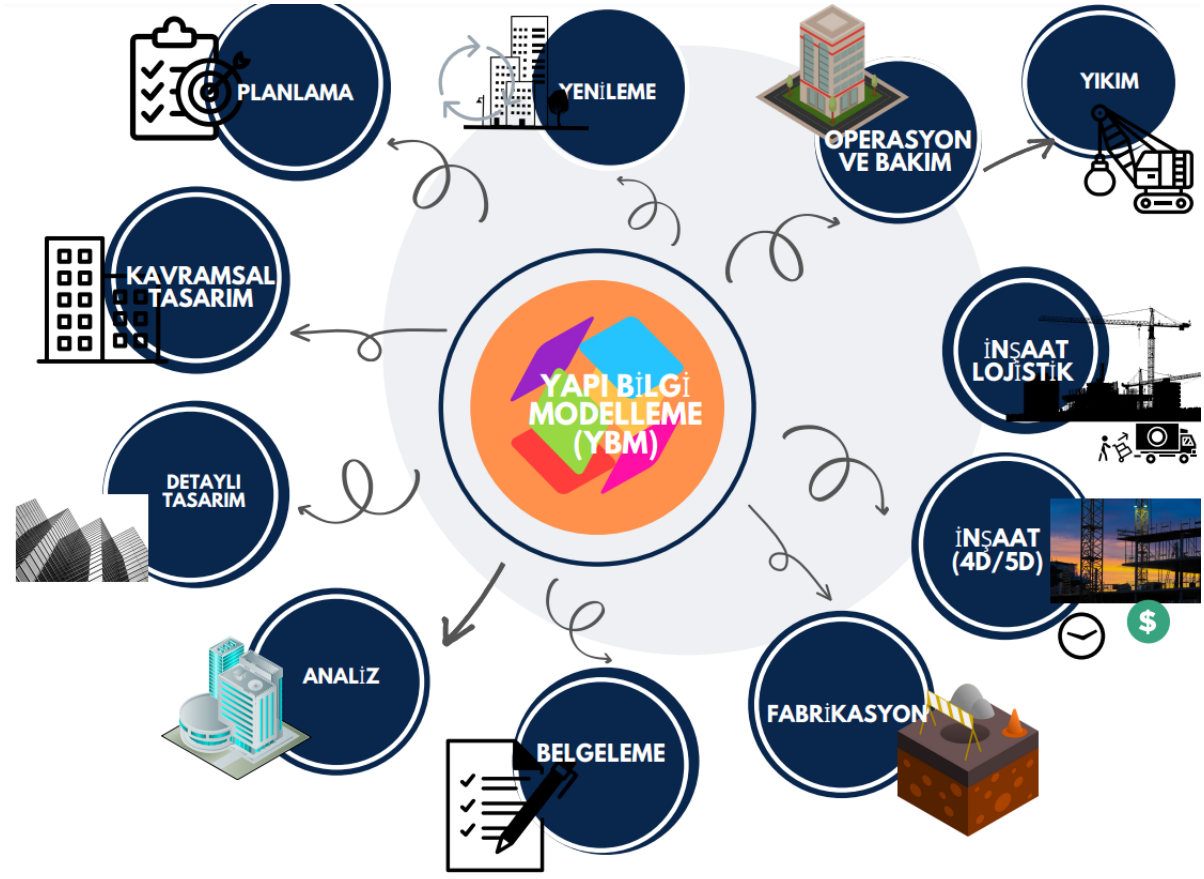


Şekil 2-1 DIKW Piramidi (Vikipedi, 2023).

Yapı, Bilgi ve Modelleme süreçlerinin entegrasyonu olan BIM sadece binalarla sınırlı kalmayarak altyapı ve üstyapıyı kapsayan tüm yapılarda kullanılır. Bu yapıların verilerini farklı platformlarda sürece dâhil ederek mimari, statik, elektrik, mekanik peyzaj gibi modellemeler sunar. Tablo 2-1'de kavramların örnekleri listelenmiştir.

Tablo 2-1 YBM kavramı (Topal, 2019).

	**YAPI (BUILDING)**	• Konutlar • Fabrikalar • Köprüler • Havaalanları • Eğitim Yapıları • İbadet Yapıları • Ulaştırma Yapıları • Raylı Sistemler • Spor Kompleksleri • Alışveriş Merkezleri • Sağlık Yapıları • Su Yapıları
	**BİLGİ (INFORMATION)**	• Eleman Detayı • Planlama • İş Programlama • Metraj • Maliyet
	**MODELLEME (MODELLING)**	• Mimari • Statik • Elektrik • Çevre • Diğer



Şekil 2-2 Yapı Bilgi Modellemesi Yaşam Döngüsü (BIM) (Dispenza, 2010).

BIM, yaşam döngüsü Şekil 2-2'de gösterildiği gibi programlama, tasarım, inşaat öncesi, yapım, inşa sonrası, analizler, simülasyon testleri, sürdürülebilirlik ve yıkım gibi evrelerin entegre edilebildiği bir modelleme sürecidir (Sarıçiçek, 2019).

BIM' in amacı; yapıyı inşa etmeden önce sanal ortamda inşa ederek, proje paydaşlarının inşaat sonrası yenilenme maliyetlerini en aza indirgeyerek, dijital ortam üzerinden tasarlama, analiz etme olanağı sağlamaktır (Hardin & Mccool, 2015).

İnşaat projelerinin birçok kaynağının ve verinin bir arada yürütülmesi gereken özel işler olması nedeniyle zaman, bütçe ve kalite konusunda hedeflenen düzeye ulaşabilmek için çeşitli yöntemler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan YBM; geleneksel 2 boyutlu projelerin aksine daha fazla bilgi, değerlendirme imkânı vermekle birlikte verimliliği, koordinasyonu, kalite ve sürdürülebilirliği arttırmak için kullanılan sanal inşaattır (Mihindu & Arayıcı, 2008).

BIM, yapı yaşam döngüsü sürecince ihtiyacı olan tüm veriyi dijital bir veri tabanında depolayan ve proje tasarımına yön veren bir yöntemdir. Dokümanlarda yapılan herhangi bir değişiklik, veri tabanında otomatik olarak üretilen tüm dokümanlara (görünüşler, listeler, vs.) yansır. Süreç boyunca elde edilen tüm veriler, daha sonra kullanılmak üzere saklanır. Bu yalnızca tasarımcının değil, tüm proje paydaşlarının ortak olarak kullanabileceği bir bilgi deposunu oluşmasını sağlar (Sacks, et al., 2008).

2.1.1. BIM'in Gelişim Süreci

BIM'in tarihçesi, 1957 yılında Dr. Patrick J. Hanratty tarafından geliştirilen CAM (Computer-Aided Manufacturing – Bilgisayar Destekli Üretim) teknolojisi ve sonrasında CAD (Computer-Aided Drawing – Bilgisayar Destekli Tasarım) teknlolojisi ile yeni bir boyut getirilerek oluşmuştur. (Barnes & Davies, 2014). CAD araçları ile 3 boyutlu modelleme 1970'li yıllarda gelişme yoluna girmiştir. Başka endüstrilerde entegre analiz araçları ve nesne tabanlı modelleme yöntemleri ilerleme kat ederken, inşaat endüstrisi 2 boyutlu klasik dizayn yöntemlerinde uzun süre sabit kalmıştır (Volk, et al., 2014)

1974 yılında Charles M.Eastman, Amerika'da Carnegie-Mellon Üniversitesi'nde "An Outline of the Building Description System (BDS)- Bina Tanımlama Sisteminin Ana Hatları " başlıklı makalesinde bir yapının sanal ortamda dijitalleştirmesi konusuna yer vermiştir. Bu makalesinde, planlama safhasında güncel durumların belirlendiği ve bunu; Building Description System'' (BDS, Bina Tanımlama Sistemi) olarak ifade ettiği gözlemlenmiştir. Başlangıcı "BDS" olarak ifade edilen sistem, günümüzde "Building Information Modeling – BIM" ismiyle kullanılmaktadır ve uluslararası alana yayılmıştır (Alshamalı, 2020). Eastman kullanıcıların sınıflandırılabilir bir veri tabanına erişmesine izin veren bir yazılım tasarımından bahsetti. BDS, BIM tarihinde bir inşaat veri tabanını ile oluşturan ilk projelerden biridir. Program bir modele çıkarılabilen veya eklenebilen bireysel öğelerin kitaplıklarını tanımlamıştır. Eastman BDS' nin çizim ve analiz verimliliğini arttıracağı ve tasarım maliyetini yüzde elliden daha fazla azaltacağı sonucuna varmıştı (Bergin, 2012).

İlk BIM ifadesi, sanayi analisti Jerry Laiserin tarafından dijital tasarım, yapım ve tesis yönetimini tanımlamak amacıyla tanıtılmıştır (Lee, et al., 2012).

Mühendislerin ve mimarların kullandığı faklı yazılımlara ait programlar işbirliğini zorlayıcı bir hale getirmektedir. Modellerin bu durumda çeşitli platformlar arasında geçişleri dosya biçimlerinin zarar görmesine sebep olmaktadır. Bu düzensizliğin çözülmesi amacıyla, 1995

yılında International Foundation Class (IFC) dosya formatı geliştirildi ve bu formatın sayesinde bir modellemeden diğerine veri alışverişine izin verecek şekilde uyarlanması sağlandı. Bu şekilde Navisworks gibi düzeltmeye uğrayan dosya formatlarını koordine etmek, veri toplama, inşaat simülasyonu ve çakışma tespiti işlevlerinde bulunabilen yazılımlar geliştirildi.

Patrick Schumacher, mimaride parametrik yapı modellerinin hareketini, 2008 yılında 'Parametricist Manifesto'sunda 'parametriklik' olarak tanımladı. (LetsBuild, 2017). BIM' in gelişim süreci özeti aşağıdaki Tablo 2.2. 'de belirtilmiştir.

BIM platformları elemanları nesneler olarak temsil eder, bu elemanların derinliği ve yüksekliği tanımlanır ve bir çizginin uzunluğu boyunca devam eder. Program daha sonra elemanın montajının içerdiği malzemenin hacmini hesaplayarak, kesitlerini ve detaylarını kolayca oluşturabilme yeteneğine sahiptir (LetsBuild, 2017).

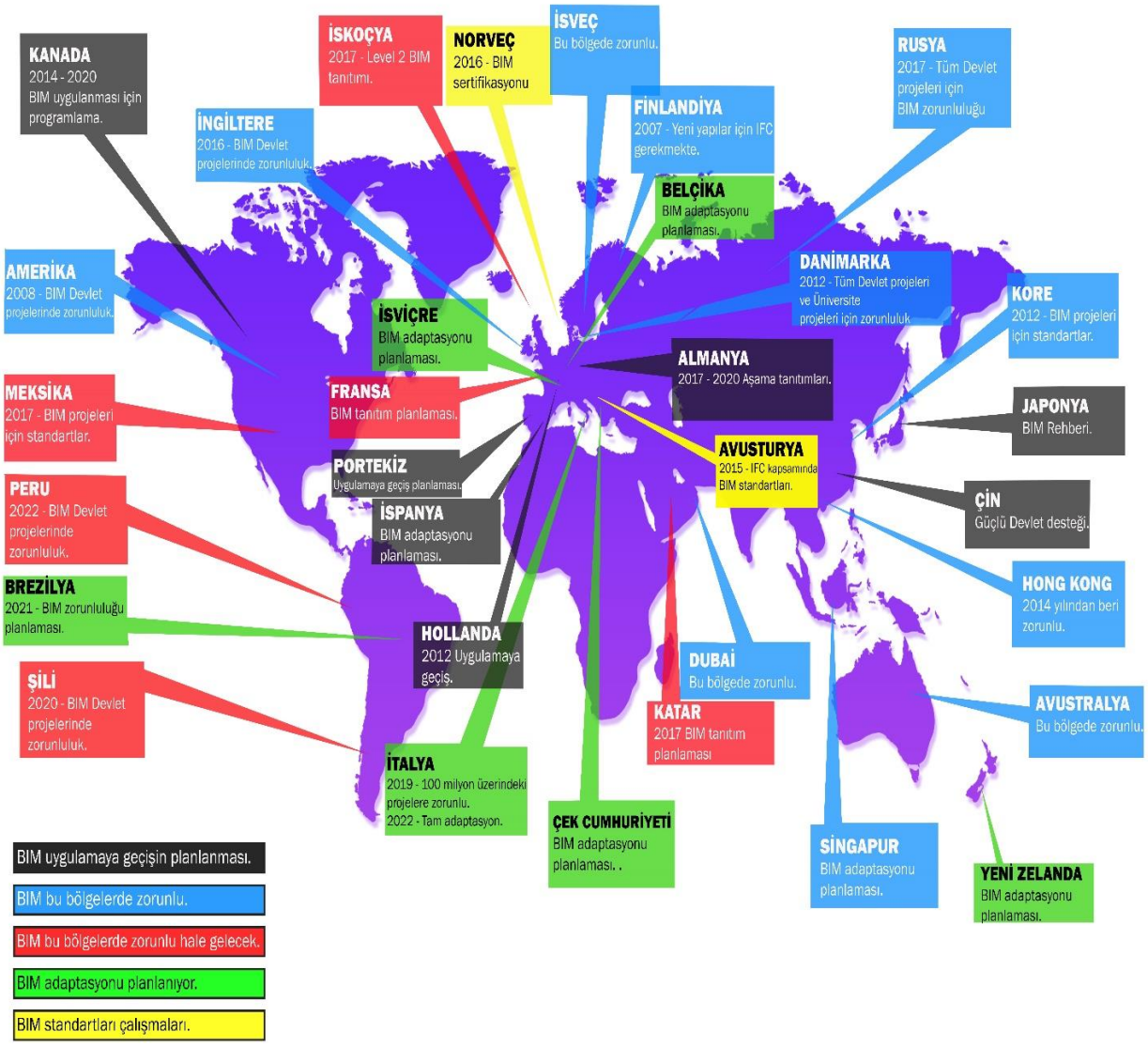
BIM ilerlemeye devam ederken, mimarlık, mühendislik ve inşaat (AEC – Architecture, Engineering and Construction) sektöründeki önemi daha çok ortaya çıkmaktadır. Günümüzde sürdürülebilir sanal tasarım uygulamaları, insan-bilgisayar etkileşimi, arttırılmış gerçeklik, bulut hesaplama ve üretici tasarım ile entegrasyonu gibi gelişmeler de göstermektedir (Bergin, 2012).

Tablo 2-2. BIM Tarihinin Zaman Çizelgesi (Bergin, 2012).

1957	Pronto- Computer Aided Machining (CAM- İlk ticari bilgisayar destekli makine işleme yazılımı)
1963	Sketchpad- Computer Aided Design (CAD - Grafik Kullanıcı Arayüzü olan 'Bilgisayar Destekli Tasarım' yazılımı)
1975	Building Description System (BDS - Bina Tanımlama Sistemi)
1977	Graphical Language for Interactive Design (GLIDE - İnteraktif tasarım için grafik dili)
1982	2D CAD
1984	Radar CH
1985	VectorWorks
1986	Really Universal Computer-Aided Production System (RUCAPS)
1987	ArciCAD
1988	Pro/Engineer
1992	Building Information Model (BIM) as official term (Resmi terim olarak YBM)
1993	Building Design Advisor
1994	MiniCAD
1995	International Foundation Class (IFC) dosya formatı
1997	ArchiCAD's Teamwork
1999	Onuma
2000	Revit
2001	NavisWorks
2002	Autodesk Revit'i satın alır.
2003	Genarative Components
2004	Revit 6 Güncelleme
2006	Digital Project
2007	Autodesk Navisworks'u satın alır.
2008	Parametricist Manifesto.
2012	Formit

2.2. BIM' İN YAYGINLIĞI

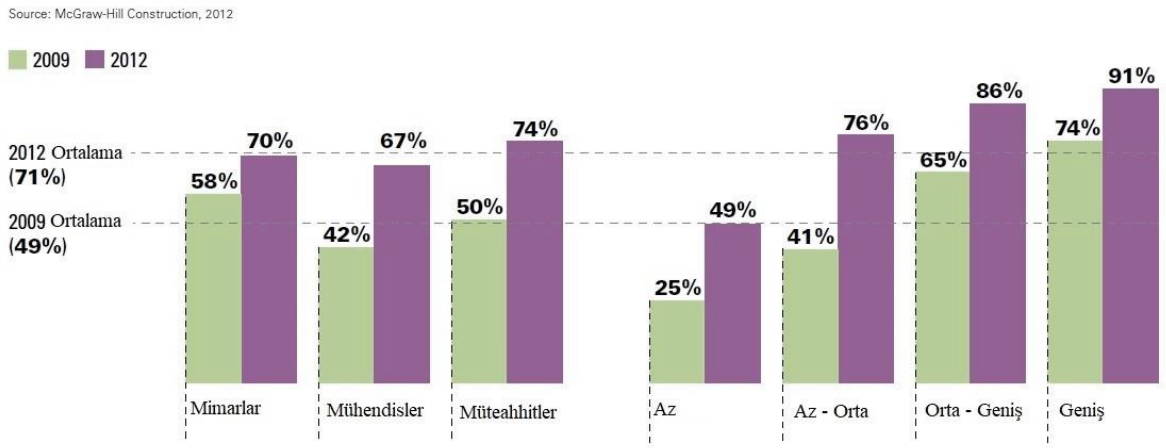
İnşaat firmalarının, verimliliklerini arttırmak amacıyla sahip oldukları bazı süreç geliştirme yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan BIM, farklı disiplinler ve proje paydaşları arasında bilgi alışverişi sırasında meydana gelebilecek sorunları azaltmaktadır. BIM kullanımı son yıllarda iyice yaygınlaşmakta olup, kullanan ülkeler pazar ortamındaki rekabette önde gelmektedir (Erdik, 2018). Bu şekilde devletlerin sisteme teşvik etmesi BIM' e geçiş ve uyum sağlama sürecini hızlandırma açısından büyük önem arz etmektedir. BIM' e uyum sağlayan ülkeler küresel olarak Şekil 2-3'te gösterilmiştir.



Şekil 2-3 Küresel BIM Düzenlemesinin Gelişimi (Paul, 2018).

2.2.1. Dünyada BIM

ABD, Singapur, Norveç, İngiltere gibi bazı ülkelerin projelerinde devlet, yükleniciler için BIM'i zorunlu kılmıştır. Özellikle Amerikan ve İngiliz şirketleri bu teşvikle BIM ile proje yönetim süreçlerinde diğer ülkelerin önüne geçmektedir (Aibinu & Venkatesh, 2014). Şekil 2-4'te görüldüğü gibi, 2012 yılında McGraw Hill Construction tarafından 2009 ve 2012 yılları arasındaki Dünyada BIM kullanımı paydaşlar açısından yüzdelik dilimlerle ifade edilmiştir.



Şekil 2-4. Dünyada BIM Kullanımı (McGrawHill, 2012).

2014 yılında McGrawHill Construciton'ın yaptığı araştırmaya göre; 2013 ve 2015 yıllarında (Tablo 2-3) BIM uygulama oranı en yüksek olan ülke ABD olarak görülmektedir. Arkasından Almanya, Avustralya, Brezilya takip etmektedir.

Tablo 2-3. 2013 ve 2015'te BIM uygulama oranları (McGrawHill, 2014).

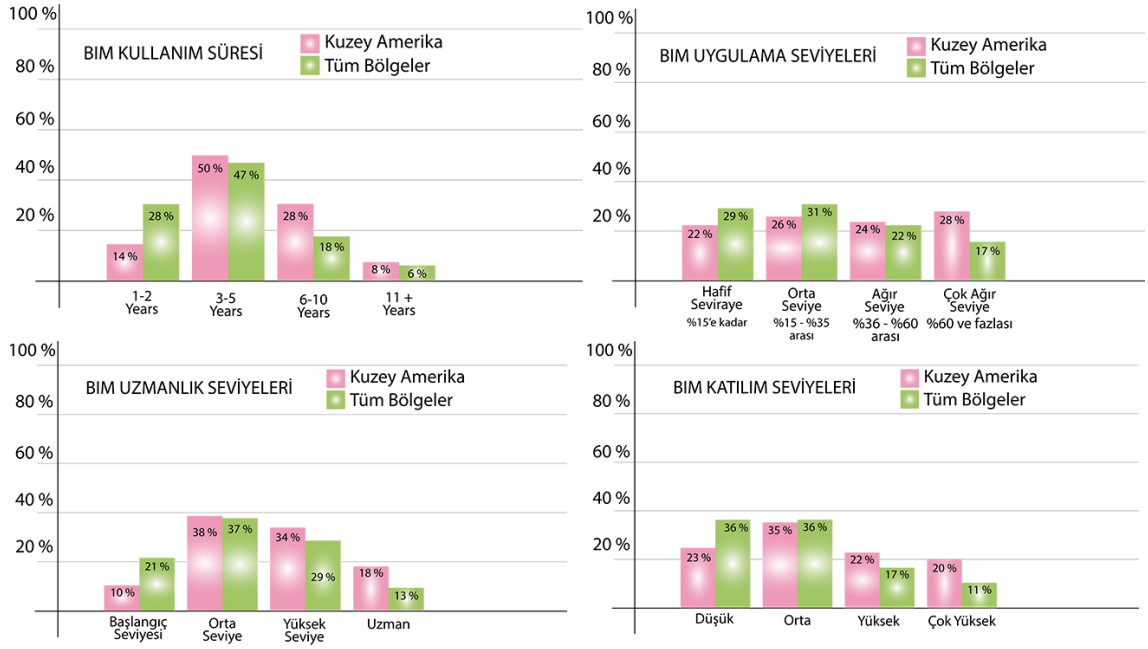
ÜLKE	**2013**	**2015**
ABD	%55	%79
İngiltere	%28	%66
Almanya	%37	%72
Brezilya	%24	%73
Avustralya	%33	%71
Yeni Zelanda	%23	%50
Japonya	%27	%43
Güney Kore	%23	%52
Kanada	%29	%54

2.2.1.1. *Amerika*

Genel Hizmetler Müdürlüğü Kamu Binaları Servisi (General Service Administration (GSA) Public Building Service (PBS)) tarafından hazırlanan yönetmeliğe göre 2007 yılından itibaren BIM mevzuatını zorunlu kılmıştır (GSA, 2007)

Genel Hizmetler İdaresi, Kamu Binaları Hizmeti aracılığıyla Ulusal 3D-4D BIM Programını kurduğu zaman itibariyle bu program, Yönetim Kurulu aracılığıyla Kamu Binaları Bilgi Teknolojisi Hizmetleri (PB-ITS) ve PBS arasında bir işbirliğine dönüşmüştür. Bu program, tüm PBS iş kollarında BIM kullanımlarını destekler.

3D, 4D ve BIM bilgisayar teknolojilerinden elde edilen görselleştirme, koordinasyon, simülasyon ve optimizasyonun gücü, GSA'nın müşteri, tasarım, inşaat, varlık yönetimi, tesis yönetimi ve program gereksinimlerini daha etkin bir şekilde karşılamasını sağlar. GSA; 3D, 4D ve BIM teknolojilerinin stratejik ve aşamalı olarak benimsenmesine kendini adamıştır (GSA, 2022). Bunun sonucunda Kuzey Amerika'da 2007 ile 2012 yılları arasında BIM' in benimsenmesi %28 'den %71'e fırladı (McGrawHill, 2012). Şekil 2-5'te McGraw Hill Construction tarafından 2013 yılında oluşturulan grafiklerde de görüldüğü gibi BIM kullanım, uygulama, uzmanlık ve katılım seviyeleri yıllara ve seviyelere göre belirtilmiştir.

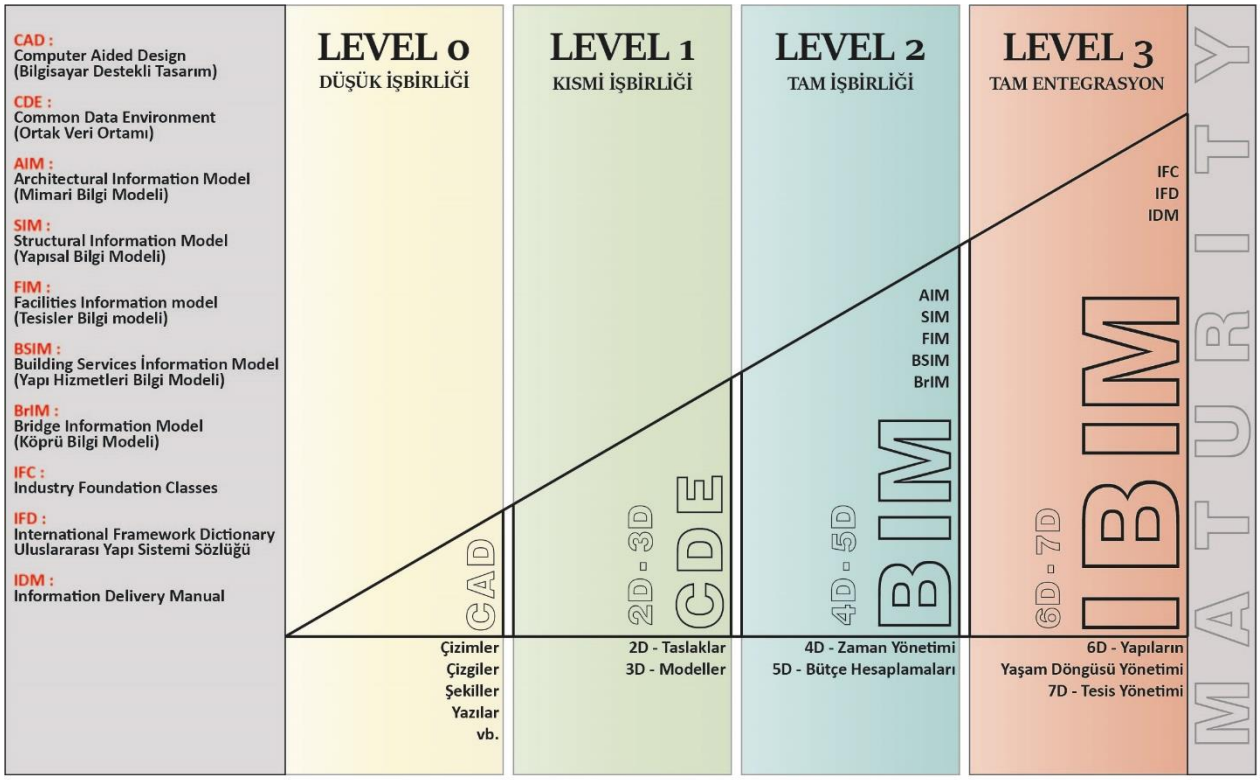


Şekil 2-5. Kuzey Amerika'daki Müteahhitlerden BIM İnşaat Verileri (McGrawHill, 2014).

2.2.1.2. *İngiltere*

İngiltere'de 2011 yılında hükümet tarafından "Hükümet İnşaat Stratejisi'' (Government Construction Strategy) adlı iş birliğine dayalı bir uygulama planı yayımlanmıştır. 2016 yılı itibariyle de tüm kamu projelerinde BIM kullanımının zorunlu hale gelmiştir (UKCO, 2011).

2011 yılında İngiltere Hükümeti tarafından 'İnşaat Stratejileri' başlığı altında 4 BIM seviyesi Şekil 2-6.' de tanımlanmıştır. Bu seviyeler tedarik için kapasitenin arttırılması, etkili ve uygun standartlar sağlamak üzere tasarlanmıştır.



Şekil 2-6 BIM Olgunluk Düzeyleri (Enegbuma, et al., 2014).

Birleşik Krallık; 2017 yılında İşletme, Enerji ve Endüstriyel Strateji Departmanı (BEIS) ile Cambridge Üniversitesi ortaklığında "The Centre for Digital Built Britain (CDBB)" kurmuştur. Bu sayede kullanıcıların ihtiyaçlarını daha iyi anlamak ve "ilk seferde doğru" teslimatı sağlamak için binaları ve altyapıları mümkün olan en hızlı ve verimli şekilde oluşturmaktır. Ek olarak, dijital bir yaklaşım daha yüksek düzeyde şeffaflık sağlayacaktır. Ayrıca, vatandaşların gelecekteki deneyimlerine dayalı olarak iyileştirmelere izin vermek için kamu hizmetlerini nasıl kullandıklarına dair fikir verecektir (GSA, 2017).

2.2.1.3. *Singapur*

BIM kullanımında önde gelen ve önemli gelişmeler gösteren ülkelerden biri Singapur'dur. Singapur'da ilk BIM tabanlı bina izinleri sistemi kullanılarak 200'den fazla proje, sanal ortamda model tabanlı projelendirme ile onaylanmıştır (McGrawHill, 2014).

CORENET (Construction and Real Estate Networks) isimli bir ağ üzerinden yönetmelik kontrolleri yürütülmüştür. CORENET (İnşaat ve Emlak Ağı), Ulusal Kalkınma Bakanlığı tarafından yönetilen, 'Yapı ve İnşaat Otoritesi' tarafından diğer kamu ve özel kuruluşlarla işbirliği içinde yürütülen büyük bir IT girişimidir.

Singapur'da inşaat sektöründeki yetkili devlet kurumu olan Building and Construction Authority (BCA), 2010 yılında BIM yol haritası hazırlayarak 2015 yılsonunda %80 oranına kadar BIM kullanımını arttırmayı hedeflemiştir. Nitekim 2012 yılında 'Singapore Bim Guide' isimli Singapur hükümetine ait bir Yapı Bilgi Modelleme Rehberi hazırlanarak kamu kurumlarında BIM kullanımıyla bilgileri aktarılmıştır (Kaneta, et al., 2016). Singapur BIM Kılavuzu, bir projenin farklı aşamalarında Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) kullanırken proje üyelerinin rollerini ve sorumluluklarını ana hatlarıyla belirten bir başvuru kılavuzudur.

Kılavuz, bir inşaat projesinde BIM kullanıldığında ilgili çeşitli olası çıktıları, süreçleri ve personeli/profesyonelleri özetlemeyi amaçlar. BIM tanımına dair bilgiler ile bu modellemelerin bize getireceği yenilikler çerçevesinde süreçlerle ilgili hedefleri içermektedir. Ayrıca yapım projelerine ait 'BIM Uygulama Planına (BIM Execution Plan – BEP) dair başlıkları da kapsamaktadır.

Bir BIM Uygulama Planının içeriği aşağıdakileri içerir:

- Proje bilgileri
- BIM hedefi ve kullanımları
- Her proje üyesinin rolleri, personel kadrosu ve yetkinliği
- BIM süreci ve stratejisi;
- BIM değişim protokolü ve gönderim formatı;
- BIM veri gereksinimi

- Ortak Modelleri işlemek için işbirliği prosedürleri ve yöntemi
- Kalite kontrol
- Teknoloji altyapısı ve yazılım (SingaporeGovernment, 2013)

Detaylandırılan bazı standartlar ve kılavuzlar dışındaki diğer ülkeler ise Özorhon (2018) tarafından aşağıdaki gibi verilmektedir;

- Almanya - BIM Guide for Germany
- Avustralya - National BIM Guide
- Çin - National BIM Standard
- Fransa - BIM Road Map
- Hong Kong - BIM Standards, User Guides and Library Components for Conractors
- Japonya - Guidelines for Architectural BIM Models
- Malezya - BIM Guideline Standard
- Yeni Zelanda - New Zealand BIM Handbook

2.2.2. Türkiye'de BIM Kullanımı

Dünyadaki çoğu gelişmiş ülkelerde BIM kullanımına bakıldığında, gün geçtikçe eğrinin arttığı görülmekte olup, standartlar ve kılavuzlar geliştirilmektedir. Bu konuyla ilgili de kamu tarafından teşvikler uygulanmaktadır.

Küresel çapta birçok ülke referans alındığında, ülkemizde BIM kullanımı diğer ülkelere nazaran yeni başlandığı söylenebilir. Fakat Türkiye'deki birtakım şirketlerin enternasyonal seviyede ihalesi yapılmış olan projelerinde ve sözleşmelerinde işveren taleplerine yönelik BIM kullanımı yaygınlaşmıştır. Fakat ülkemizdeki birçok şirketin birtakım bağlılıklarından vazgeçmek istememeleri, uyguladıkları spesifik iş stratejilerini sürdürme istekleri, var olan düzen ve yöntemlerle yol alma arzuları ülkemizde BIM' e yöneliş süreçlerini ve adapte olunmasını etkileyen unsurlardandır. Öte yandan maksimum düzeyde BIM' i kullanan ülkelerde, BIM'e geçişte baz alınabilecek kılavuzlar, kitaplar ya da bazı standartlar

bulunmaktayken, ülkemizde söz konusu geçiş süreçleri adına baz alınabilecek standartlar mevcut değildir. Buna benzer nedenlerle BIM' e geçiş yapmayı amaçlayan şirketler, gereksinimlerini saptamada ve söz konusu gereksinimleri karşılayabilen bir süreci yönetmekte problem yaşamaktadırlar (Öktem & Ergen, 2017).

Türkiye'deki özel sektör uygulamaları incelendiğinde, havalimanı, hastane gibi projelerde yapım ve bakım-işletme süreçleri, sabit firmalar tarafından yürütüldüğünde BIM uygulamalarının kullanıldığı görülmektedir. Kamu sektöründe ise, İstanbul Ulaşım A.Ş.'nin raylı sistemlerde 2014 yılından beri BIM kullanımını zorunlu hale getirdiği bilinmektedir. Ancak Türkiye'deki BIM kullanımının yaygınlaşması konusunda sektör çalışanları arasında bir farkındalık olmasına rağmen, kültürel bir değişim gerektiren BIM tabanlı çalışma süreci için henüz yeterli ilerleme kaydedilmediği gözlenmektedir. (Pehlevan, 2018).

Üretkenliğin az olması ve katılımcıların uyum problemleri, inşaat sektöründe uzun süredir büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Türk inşaat sektöründe çalışan kamu ve özel sektör katılımcılarının yer aldığı ankete göre, BIM'in başarılı olmasında etkili olan faktörler; kalifiye personel ihtiyacı, etkin liderlik, bilgi ve teknoloji mevcudiyetidir. Risk ve zorluk içermeyen BIM uygulamaları, bu sorunları çözmede etkili bir araç olabilirler (Ozorhon & Karahan, 2016).

2.3. BIM AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

2.3.1. Avantajları

- BIM' in 4D ve 5D boyutları ile otomatik metraj alabilme ve maliyet hesaplanma özelliği, süreci fark edilebilir ölçüde hızlandıracaktır. 2 boyutlu çizimler ile manuel metraj alınıp, maliyet hesaplama süreci ile hata yapma olasılığını artmaktadır. Ayrıca inceleme ve kontrol etme işlemlerini birden çok kez yapmak gerekmektedir.

- 4D ve 5D dönüşümü ile yapının tüm bileşenleri kalem kalem hesaplanabilmektedir ve 3D modelde yapılan tüm değişikliklerin metraj ve maliyet hesabı çok kısa bir zamanda revize edilebilmektedir (Gülerses, 2018).

- Projelerin tasarım aşamasındayken, modellemenin gerçekçiliği ile erken safhada sorunlar ve değişiklikler fark edilebilmektedir. Ayrıca maliyet tahminlerinin önden

yapılabilmesi sayesinde, projedeki enerji verimsizliğinin önüne geçilerek sürdürülebilirliğin ve çevresel performansın arttırılması sağlanmış olur (Gelener, 2019).

- 2007 yılında Stanford University '*Entegre Tesis Mühendisliği Merkezi - Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE)*' nin 32 büyük çaplı projede BIM kullanımı üzerinde yaptığı araştırmalar sonucu istatistiklere göre BIM' in projelere olan zaman ve maliyet avantajlarını özetle raporlamıştır:

- Bütçedeki revizyonlar %40 oranında azalmıştır.

- %3 hata ile maliyet tahmini yapılmıştır.

- Fiyat teklifi oluşturmak için %80 'den daha az zaman harcanmıştır.

- Çakışmaların etkilediği para kayıpları %10 oranında azalmıştır.

- Projenin tüm süreçlerinin süresi %7 oranında azalmıştır (Azhar, et al., 2011).

Mc Graw Hill 'in 2009-2012 yılları arasında "The Busssines Value of BIM in North America" adlı yayınında yapılan bir araştırmasında incelenen yaklaşık 30 projeden alınan verilere göre BIM'in göze çarpan faydalarını Tablo 2-4.' te uzun dönem ve kısa dönem olarak iki başlıkta toplamıştır:

Tablo 2-4. . BIM' in Kısa ve Uzun Dönem Faydaları (McGrawHill, 2012).

UZUN DÖNEM FAYDALARI	KISA DÖNEM FAYDALARI
Müşteriden memnun geri dönüş (Repeat Business)	Belgelendirmeden kaynaklanan problemlerin azalması (Reduced Document Errors and Omissions)
İş süresinin kısalması (Reduced Project Duration)	İşle ilgili yeni geliştirmelere açık olabilmesi (Market New Business)
Kar marjının artması (Increased Profits)	Hatalı imalat kaynaklı yeniden iş yapma durumların azalması
İnşa etme maliyetinin azalması (Reduced Construction Cost)	Şirketlere yeni hizmetler verilebilmesi (Offer New Services)
Sözleşme ile ilgili çözülemeyen diyalogların kolayca çözülebilmesi (Fewer Claims/Litigation)	Nitelikli ve dikkat edilmesi gereken iş süreçlerinin daha kısa sürede yapılabilmesi

2.3.2. Dezavantajları

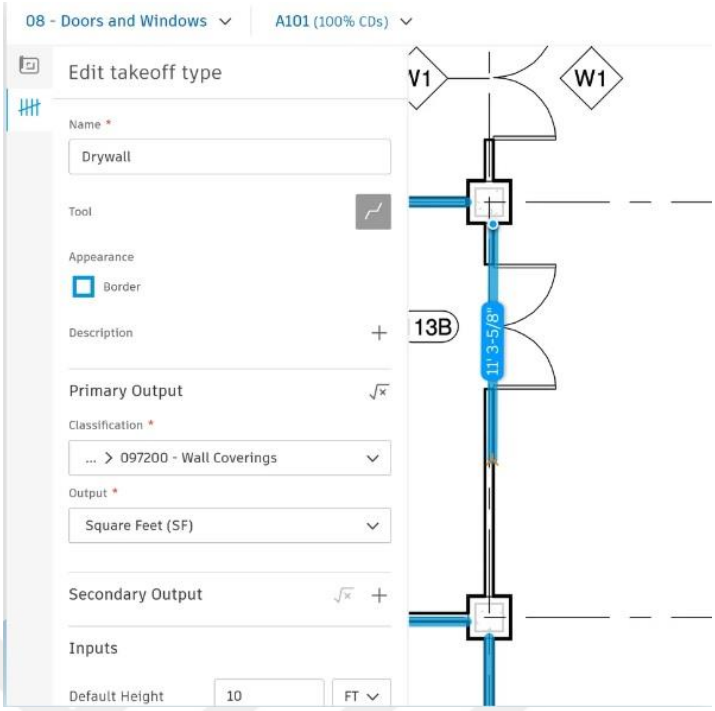
- ***3D model tasarım kabiliyeti***

- Eskiden gelen işleyişe bağlı kalmak, şirketler tarafından riskli bir adım olarak görülmektedir. Süreçlerin ve iş organizasyonlarının yeniden düzenlenmesi ya da yeni oluşumlar getirerek kurum kültürlerinin değiştirilmesi, işverenlerin oldukça zorlandığı bir adımdır. Ancak, mevcut ekibin bu alanlarda gelişimlerini sağlamaları ve 3D tasarımdan itibaren zaman ve maliyet planlamalarını/hesaplamalarını da içeren iş süreçlerine, alanında yetkin kişilerin dahil edilmesi, sürecin bir dönüm noktasıdır (Gülerses, 2018).
- aşarılı bir zaman ve maliyet planlaması için etkili ve eksiksiz bir 3D modellemenin yapılması şarttır. Yapı elemanlarının isimleri ve özellikleri tüm modellerde tutarlı olmalıdır, aksi takdirde BIM hedeflerine ulaşmak daha zor hale gelebilir ve iş yükü artabilir. Bu nedenle, kalifiye bir ekiple birlikte çalışarak süreci ilerletmek en doğru adımdır.

  • BIM sürecinin kusursuz ve eksiksiz devam edebilmesi için, 3D modelin BIM süreçlerine uygun olması çok önemlidir. Bu nedenle, modelleme işlemi, farklı imalat tiplerine özgü şablonların oluşturulmasıyla desteklenmeli ve bu şablonlar farklı tasarım isimleriyle adlandırılmalı ve kütüphaneye eklenmelidir. Bu şekilde, modelleme süreci BIM sürecine kusursuz şekilde entegre edilebilir ve iş akışı aksamadan ilerleyebilir.

  - ***Metraj Kalemlerinin Eksiksiz Olma Zorunluluğu***

  - Doğru ve ayrıntılı bir 3D modelleme, zaman ve maliyet tahminlerinin otomatik olarak yapılabilmesi için çok önemlidir. BIM 5D modelleme sürecinde, her eleman için (TOI - Takeoff Item) ve her metraj tipi için (TOQ - Takeoff Quantity) ölçümler yapılabilir. Ancak bu, eksiksiz eleman ayrıntılarının modellemesini gerektirir. (Şekil 2-7. Metraj Oluşturma) (Gülerses, 2018).



Şekil 2-7. Metraj Oluşturma (Autodesk, 2022).

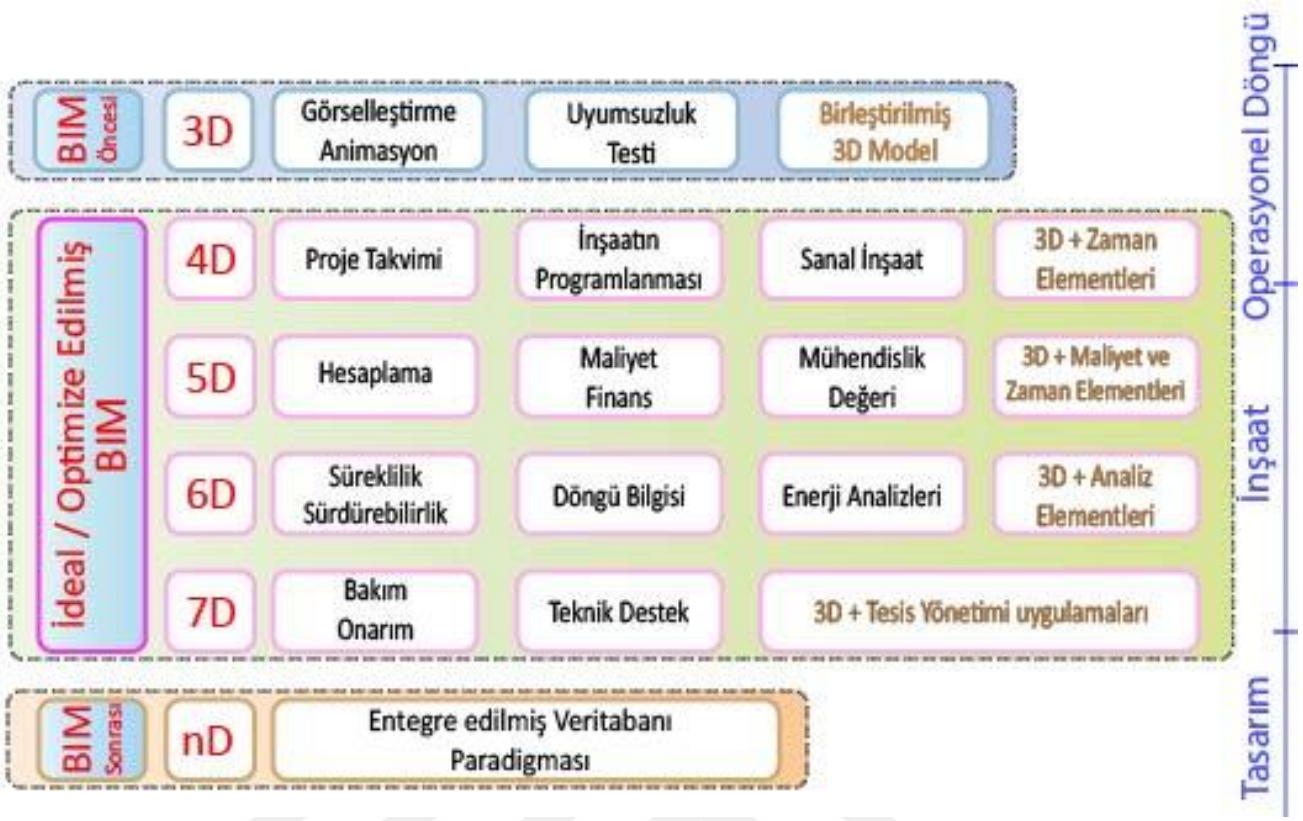
2.4. BIM'İN SEKTÖRE GETİRDİĞİ YENİ KAVRAMLAR

BIM ile inşaat sektörü bilinen geleneksel terimlerin yerine yeni kavramlar getirerek inovasyona adapte olmuştur.

2.4.1. BIM Boyutları

BIM' in modele eklenen bilgi durumuna bağlı olarak boyutları bulunmakta olup buna da 'çok boyutluluk (nBIM)' denilmektedir. Bu çoklu boyutlar 3D' den başlayıp 7D' ye kadar devam etmektedir. İş güvenliği kapsamında bir boyut üzerine de çalışmalar yapılmaktadır, bu seviye tam olarak tamamlanmamış olsa da 8. Boyut olarak nitelendirilmektedir (Özorhon, 2018).

Başka meslek terimlerinde sıklıkla kullanılan çok boyutluluk kavramı inşaat sektörüne BIM ile giriş yapmaktadır. BIM' de bahsi geçen *'bilgi'* kavramı, inşaat sektöründeki farklı alanlardaki (zaman, maliyet, sürdürülebilirlik, bakım, akustik, termal, enerji analizi vb.) konuların dâhil olduğu ve her boyut değişiminde üzerine bir bilgi boyutu daha eklendiği durumlardır.



Şekil 2-8. BIM'de çok boyutluluk (nD) (Megahed, 2015).

Çok boyutlu modelleme projenin, tasarım safhalarının başından sonuna kadar süren hatta bakım ve sürdürülebilirliğin de dâhil olduğu tüm ömrünü sanal ortamda canlandırmamızı sağlar (Şekil 2-8.). Bu sayede belirsizlikleri en aza indirgeyerek, tasarım öncesi ve tasarım sırasındaki karar verme sürecini en doğru şekilde yönlendirmemizi sağlar (Kamardeen, 2010).

BIM boyutlarından, sektörde en fazla bilinen 3D modelleme, parametrik ve akıllı elemanların sanal ortamda görsel olarak tasarlanmasıdır. Şekil 2-9.'da görüldüğü üzere 4D modelleme, tasarlanan modele 'zaman' boyutu eklenerek iş akışı planlaması, 5D maliyet, 6D ile enerji analizi ile sürdürülebilirlik, 7D işletme ve bakım operasyon süreci, 8D Güvenlik, 9D yalın yapılar ve henüz çalışılma aşamasında olan 10D endüstrileşmiş yapılar dâhil edilir (Smith, 2014).



Şekil 2-9. BIM Boyutları.

2.4.1.1. *3D Modelleme*

BIM' in en çok bilinen ve en yaygın boyutu olan 3 boyutlu modelleme, yapının mimarının inşaat makine, elektrik mühendislerinin bir arada bulunarak inşaatı sanal ortamda oluşturmasıdır. Paydaşlar, yapının her elemanının parametrik bir şekilde modellenmesini sağlar. Bu sayede disiplinlerarası çakışma durumunda oluşabilecek sorunları önceden 3 boyutlu model üzerinde görüntüleyerek çözüm bulunabilmektedir (Uzun, 2019).

2.4.1.2. *4D Modelleme*

Tasarımın, inşaatın planlama ve programlama süreciyle bağlantılı olup senkronize çalıştığı modellemedir. İnşaat sürecini gerçek hayattaki gibi canlandırma imkânı olur. BIM' de planlama fonksiyonlarının (4D Modelleme) kullanımı, kullanıcıların tüm projeyi 3D ortamında sanal bir görüntüde zaman ile optimize edilmiş bir çizelge oluşturmasını sağlar (Jiang, 2011).

2.4.1.3. *5D Modelleme*

BIM modeline ‘maliyet’ boyutu eklenerek, projenin zamana bağlı finansal durumunu tanımlar ve maliyet bütçesini anlık incelenebilmektedir. Bu sayede maliyet tahminini önden yaparak, tasarım esnasında ortaya çıkabilecek zayiat durumlar en aza indirgenir (Gelener, 2019).

2.4.1.4. *6D Modelleme (Sürdürülebilirlik)*

6D Modellemede projenin inşaatından önce projenin enerji tüketim analizlerini yapar ve çevreye verilecek zararı minimize ederek sürdürülebilir bir model oluşmasını sağlar. BIM uygulanan programlardan Revit’ te bulunan LEED eklentisi (Leadership in and Environment Design) ile gün ışığı analizi yaparak enerji, hava, iç mekân kalitesi, inovasyon ve tasarım süreçleri, malzemeler ve kaynaklar, **y**erel öncelikler, sürdürülebilir alanlar, suyun verimli kullanımı gibi konulara bakılarak değerlendirmeler sonucunda LEED sertifika seviyesine ulaşmak mümkündür.

3 boyutlu modele yapının malzemesini, yüzey kaplama çeşidini, camın yalıtım özelliklerini, yapının konumunu girdiğimizde, tarihe ve saate göre gün ışığına göre bir enerji performans analizi yapabilmektedir. Bu analizlerden çıkarım yapılarak, optimum şekilde bina yerleşimi yapılır. Sonuçta bahsedilen sürdürülebilir yapı modeli BIM boyutlarından biri olan 6D modelleme Şekil 2-10’daki sürdürülebilirlik kapsamı altında kavramları karşılar (Uzun, 2019).



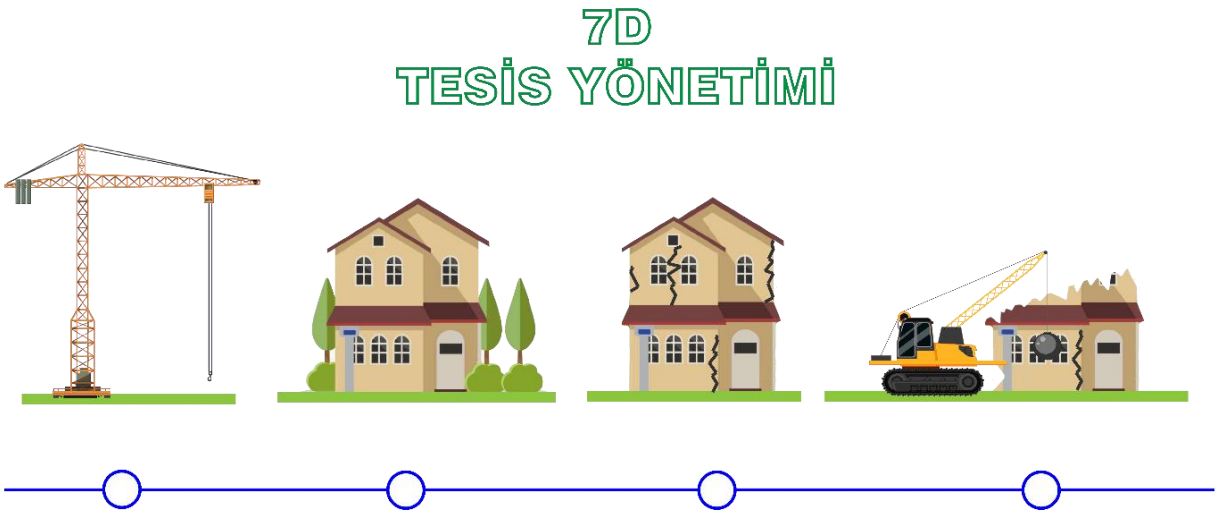
Şekil 2-10. BIM 6D Modelleme (Sürdürülebilirlik).

2.4.1.5. *7D Modelleme (Tesis Yönetimi)*

BIM, tüm yaşam döngüsü boyunca tüm sorunlarla ilgilenebilen güçlü bir süreçtir. BIM sadece bir araç değil, bina tesislerinin tasarımına, inşasına ve yönetimine yönelik bütünsel bir yaklaşımdır (Şekil 2-11). 7D Modelleme, binanın yaşam döngüsünü yönetebilmek ve gerekli kararları alabilmek için tesis yöneticisine veya mal sahibine bina tasarımı ve diğer unsurlar hakkında doğru bilgi verme açısından çok önemli bir rol oynar. Bu boyut ile yapının yaşam döngüsü boyunca bakım/kullanım kılavuzları, garanti bilgileri, teknik özellikleri gibi verilerin takibi yapılır.

Tesis yönetimi ile bir projenin yaşam döngüsü boyunca hizmet kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanarak yapının ilk gününden yıkımına kadar en iyi şekilde kalması sağlanır. İşletme yönetimi, varlık yönetimi, bakım, sözleşme yönetimi, yenileme, yenileme vb. tüm faaliyetleri içerdiği için bina tesis yönetimi BIM modelinin önemli bir boyutudur.

Sonuç olarak Tesis Yönetimi, binanın kaliteli işleyişini sağlar. Tesis Yönetimi veya Operasyon Yönetimi binanın performansını iyileştirmeyi sağlar. Binanın işletme döneminin, binanın tüm yaşam döngüsünün en maliyetli dönemi olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle, iyi bir tesis yönetimiyle maliyeti azaltmak çok önemlidir. BIM ve Tesis Yönetiminin entegrasyonu, daha kaliteli ve standartlaştırılmış veriler ile benzersiz bir yaklaşımdır. (UnitedBim, 2022).



Şekil 2-11. 7D Modelleme (Tesis Yönetimi) (BibLus, 2021).

2.4.2. BIM Gelişim Seviyeleri

BIM Olgunluk Seviyeleri (Level of Development – LoD), tasarımda rolü olan tüm paydaşlara inşaat öncesi veya inşaat sürecinde, birlikte doğru bir koordinasyon sağlayabilmeleri için

gerekli referansı en yalın ve güvenilir bir veri kalitesi ile sunar. Bu yapı bilgi modellerinin bir parçası olan gelişim seviyeleri, model elemanların geometrik veya geometrik olmayan özelliklerini (malzeme, yalıtım, işçilik detayları vb.) seviyelerine göre sisteme girişini yapılarak ulaşılmak istenen seviyeye/hedefe göre belirlenir. Bu sayede, paydaşlar projenin sadece kontrol etmek istediği gelişim seviyesine göre erişim sağlayabilmektedir. İhtiyacı dışında olan aşamalardaki hiçbir inşaat safhasıyla uğraşmasına gerek olmadan gerekli kontrolleri yaparak revizyonlara kısa yoldan hâkim olmaktadır.

Gelişim Seviyeleri olarak adlandırılan Level of Development kavramlarında en yaygın olarak kullanılan referans Amerikan Mimarlar Enstitüsü (The American Institute of Architects-AIA) yayınlanmış olan AIA belgesi E202-2008 dokümanlarıdır ve bu referanslar model elemanların içereceği boyut, konum, nicelik ve nitelikle ilgili minimum bilgileri ifade eder (Harness, 2013). Bu gelişim seviyeleri, LOD 100 geometrik olmayan kavramsal modelleme ile başlayarak uygulama modeline kadar kademe kademe olarak LOD 200, LOD 300, LOD 400 ve LOD 500 modelleri ile ifade edilir (Şekil 2-12).

Seviye detayları BIM uygulayan firmanın, BIM' i uygulama süreçlerine göre değişebilmektedir. Ön tasarım çalışması LOD 100 seviyesindeki bilgileri içermekte iken, ihale süreçleri LOD 300 seviyelerinde ilerlemelidir (Gülerses, 2018).

LOD temel detay seviyeleri;

- LOD 100: Teorik olarak modellemede bulunan yapı elemanlarının ön tahmini olarak geometrik olmadan belirlendiği aşamadır. Yaklaşık boyut, şekil ve konumları taslak olarak veya yazı ile tanımlanır.

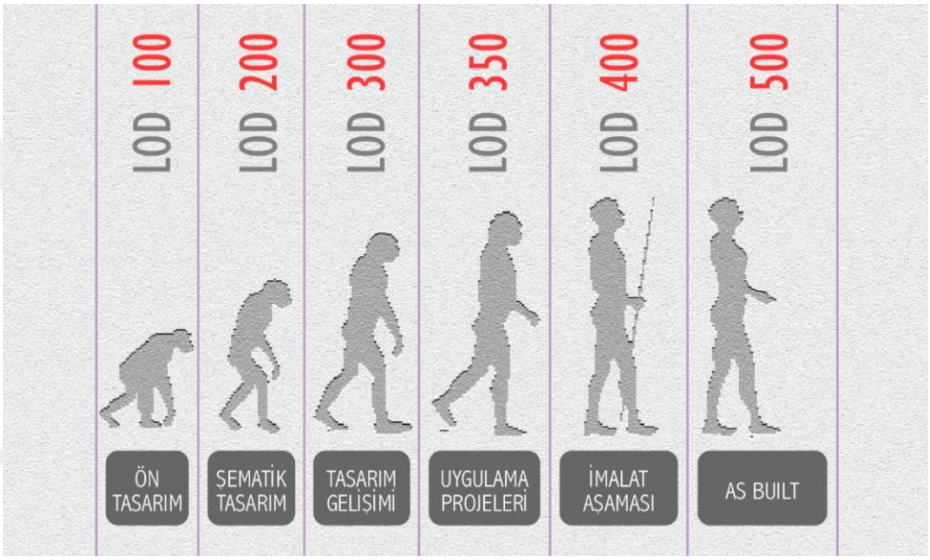
- LOD 200: Elemanların konumu, boyutu, hacmi ve projede üzerindeki kapladıkları alan tanımlanabilir. LOD 200 seviyesinde elemanın genel hatlarıyla projede diğer nesnelerden farklılıkları ayırt edilebilir. Geometrik olmayan bilgiler de bu aşamada elemanlara eklenebilir. Nesnelerin şekli, lokasyonu ve yön durumu hakkında eklenen veriler yaklaşık olarak tanımlanır.

- LOD 300: Bir önceki aşamada yaklaşık olarak ifade edilen verilerin netlik kazandığı imalata ve montaj durumuna hazır hale geldiği seviyedir. Çizime eklenmeyen

geometrik olmayan verilerin de modele eklendiği tasarımın son aşamalarına gelinen boyuttur.

- LOD 400: Bu seviye ile yapının inşaat sürecine ait bilgiler modele eklenir. Modelin üretim/imalat, montaj gibi yapım/inşaata ait uygulama ayrıntılarına ulaşılabilir.

- LOD 500: İnşa süreci bitmiş yapının modeline başlanan (as-built) işletme sürecine başlandığı aşamadır. Bu gelişim seviyesi BIM' in boyutlarından olan 7D bakım ve işletme boyutu için gerekli olan seviyedir (Uzun, 2019).



Şekil 2-12. BIM Gelişim Seviyeleri.

2.4.3. Nesne Tabanlı Parametrik Modelleme

Parametreler, sistemin tepkisini belirlemek için yeterli olan özelliklerin kombinasyonudur. Özellikler, dikkate alınan sisteme bağlı olarak her tür boyuta sahip olabilir; Parametreler boyutsuzdur ya da zaman boyutuna veya onun karşılılığına sahiptir

Parametre teriminin, sözlükteki anlamı 'değişken' olarak görülmektedir. Değişken ifadesi nesnelerin niteliklerini her bir ayrıntısına kadar 'nicelik' olarak belirtme anlamı taşır.

Bilgisayar destekli tasarımlarda, elamanların detayları tasarımcılar tarafından bilinen fakat bilgisayar algoritmasında sadece bir çizgi model olarak tanımlanmaktaydı. Örneğin; geleneksel modellerde iki boyutlu olarak çizilen bir kapı veya pencere sadece plan görünümünde en boy kalınlık olarak görülmekteydi. Nesne tabanlı parametrik modellemelerle bu elemanlar ebat bilgilerinin dışında nitelikleri arasında bağlantı kurmaktadır. Örneğin, bir pencere malzemesi,

özellikleri, yanındaki duvarla olan ilişkisi yangına karşı dayanıklılığı, yalıtım durumu, görünüş veya kesiti, fiyatı vb. niteliklerini içerisinde barındırmaktadır. Bununla birlikte parametreliğini de koruyarak model içerisinde değişkenliklere ayak uydurabilmektedir. Herhangi bir revizyon durumunda (açılış yön değişikliği, malzeme, fiyat değişikliği gibi) bütün modelinde kesitlerde, görünüşlerde özetle bağlantılı olduğu tüm modellerde otomatik revizyon gerçekleşmektedir BIM ile yapılar sanal ortamda inşa edildiği için, enerji tüketim maliyetlerini tasarım esnasında hesap edebilir ve değişiklik yapılabilir. Bu sayede istenilen ihtiyaca göre projenin hesapları revize edilebilir (Uzun, 2019).

Parametrik modellemenin sürece katkısını özetleyecek olursak;

- Tasarım aşamasındaki revizyonun, modellerde otomatik güncellenmesi.
- Elemanlardaki kesit, boyut, malzeme gibi niteliklerin ve niceliklerin revizyon durumunda modeldeki yapısal davranışın değişikliğe ayak uydurarak sonuç vermesi.
- İmalat süreçleri ile modelin bütüncüllüğü tam sağlanarak süreden tasarruf sağlanması.
- Daha esnek ve daha verimli tasarımlar üretebilmesi (DynamicAcademy, 2022).

2.4.4. Birlikte Çalışılabilirlik (Interoperability)

Projenin inşa öncesi tasarım sürecinin efektif bir süreç olması gerekir. Verim elde edebilmenin en etkin yolu iyi bir iletişimden geçmektedir. İnşaat sektöründe dijitalleşmeye Bilgisayar Destekli Tasarım ile geçilse de iletişim konusundaki eksiklik hala süregelmektedir.

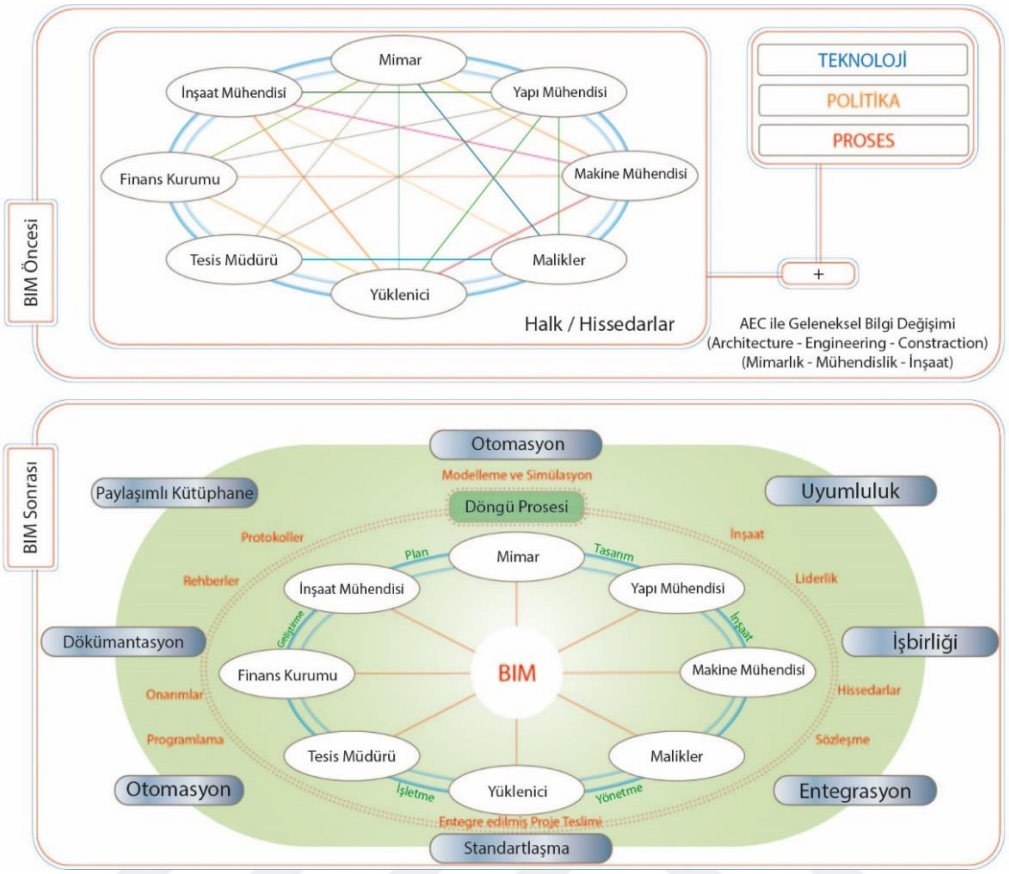
Yapım öncesi, yapım süreci ve yapım sonrasında daimi bir iletişim mekanizmasına sahip olunmalıdır. Bu mekanizma ile proje sürecinde bütün paydaşların işbirliği içerisinde çalışması gerekmektedir. İnşaat sürecinin birçok katılımcı ile birlikte ilerlenmesi gereken bir süreç olması bu uygulamayı kaçınılmaz hale getirmektedir. Yapı Bilgi Modelleme, dosya transferleri ile bilgi alışverişinin bir sistem üzerinden kolaylıkla sağlandığı ‘Birlikte Çalışabilirlik’ özelliğine sahiptir. Yazılımla ilgili olarak, birlikte çalışabilirlik terimi, farklı programların ortak bir değişim formatı seti aracılığıyla veri alışverişi yapma, aynı dosya formatlarını okuma ve yazma ve aynı protokolleri kullanma yeteneğini tanımlamak için kullanılır. Bu da openBIM olarak tanımlanmaktadır.

İnşaat sektöründe proje verilerine erişmesi gereken çok farklı alanlarda birçok paydaş bulunmaktadır. Bu verilerden yararlanmak, yalnızca tek bir yazılım seçeneği veya Open BIM kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Tek bir yazılım uygulanması zor olan bir çözümdür. Yazılım için her paydaşın çeşitli gereksinimleri vardır, bu nedenle tek bir platform herkes için efektif bir biçimde çalışmayacaktır. Open BIM ise bir dizi yazılım sistemi arasında bilgi alışverişine izin vererek ortak bir dil ile birlikte çalışabilirlik sağlar. Bu sayede yazlım firmalarının küçük veya büyük ölçekli olmalarına bakılmaksızın BIM sistemini kullanabilmelerine de ortak bir dil ile teşvik olmaktadır. Ayrıca farklı bilgilerin standart bir kalitede ilerleyebilmesi için BIM için kullanılan IFC (Industry Foundation Class) olarak adlandırılan bir uzantı da bulunmaktadır.

BIM ile modelleme, projenin farklı paydaşlarının tek bir model üzerinde çalışabilme ve kullanıcıların yine mevcut proje üzerinden revizyonları gerçekleştirebilme imkânı sunar (Yalçınkaya, et al., 2014). Bu sayede mimari, statik, mekanik-elektrik, yalıtım ve bakım, enerji gibi konuların paydaşlar arasında tek bir model üzerinden çakışma, iş programları, imalat değişiklikleri birlikte değerlendirilebilir (Elmuallim & Gilder, 2014).

Şekil 2-13'te görüldüğü gibi BIM öncesinde Geleneksel Bilgi Değişimi ile paydaşlar arasındaki karmaşık düzen, Birlikte Çalışabilirlik ilkesi ile BIM sonrasında tek platformda toplanmıştır.



Şekil 2-13. Birlikte Çalışılabilirlik.

2.4.5. COBİe (Constraction Operation Building Information Exchange) - İnşaat Operasyonları Yapı Bilgi Değişimi)

İnşaat Operasyonları Yapı Bilgi Değişimi, yapının yaşam döngüsü boyunca tesis yönetiminde ve işletme/bakım süreçlerinde kullanılan birçok formatta dışa aktarılabilme özelliğine sahip geometrik olmayan veri biçimi olarak tanımlanmaktadır.

BIM grafik bilgilerinin ve verilerinin miktarı, tesis yaşam döngüsü boyunca her safhada değişir. Tasarım aşamasında grafiksel bilgi esastır; daha sonra inşaat aşaması başladığında grafiksel bilgiye olan azalmaya başlar. İnşaat ve işletme aşamalarında öznitelik verileri artmaya başlar ve öncelik kazanır. Yapı faaliyet aşamasına geçtiğinde BIM' deki verilerin önemi artar, çünkü yapıyı sürdüren yöneticilerin ve sahiplerinin grafiklerden daha çok verilere gereksinimi vardır.

Birleşik Krallık 'ta inşaat bilgi devir yönetimi (handover management) ve işletme-bakım yönetimi alanında uzman bir şirket olan Sabbagh'a (2014) göre, yapının ömrü boyunca inşaat maliyetleri; toplam bina maliyetlerinin yaklaşık %24'ünü, tasarım maliyetleri yaklaşık %3'ünü, işletme ve bakım giderleri %73'ünü kapsar.

2.4.6. Çakışma Kontrolü

3D ortamında çizilen projeler, sahada hayata geçirilmeden önce gerekli kontroller yapılarak çakışma testleri (clash detection) adı verilen analizler yapılır. Bu analizler, projelerin metrajının doğruluğu ve sahada uygulanma esnasında zayiat oluşmaması adına yapı elemanlarının birbiriyle olan ilişkisini sağlıklı olarak çözümlemiş olur.

BIM, yapının tasarım sürecinde mimari, statik, elektrik ve mekanik projelerinin inşa aşamasına gelmeden bütünleşik olarak çalışma prensibinde olmasını sağlar. Yapının tüm proje süreçlerinde bütünleşik olarak çalışıp çalışamama durumunu çakışma tespitleriyle analiz edebilmesini sağlar.

Çakışma analizleri, BIM süreçlerinde önemli bir adımdır. Proje tasarım aşamasında, çakışan yapı elemanları önceden tespit edilir ve metraj hatalarının önüne geçilir. Metraj hesaplarının doğrudan maliyete etki etmesi sebebiyle, projenin yaşam döngüsü boyunca daha tasarım aşamasındayken en doğru şekilde hesaplanması iş gücü, zaman ve maliyet kaybı yaşamama açısından büyük önem taşımaktadır.

2.4.7. Tümleşik Proje Teslimi

Vikipedi'ye (2022) göre Tümleşik Proje Teslimi (IPD – Integrated Project Delivery), yapıların tasarımından bakımına kadar olan süreci bir kuruluş veya mal sahibi tarafından başka bir kuruluşla yasal anlaşmalar yaparak yürütme ve finanse etme süreçlerine denir. Tümleşik Proje Teslim Yöntemlerini özetlersek;

- Tasarla-İhale-Yap (Design Bid Built)
- Yapım Yönetimi ile Tasarla-İhale-Yap(Construction Management)
- Tasarla-İnşa Et (Design Built)
- Kamu-Özel Ortaklığı
- Tümleşik Proje Teslimi (Integrated Project Delivery) (Vikipedi, 2022).

Bu sözleşme yönetimlerinden BIM ile birlikte sektöre kazandırılan yeni yöntem IPD ile Geleneksel Proje Teslim Yöntemleri proje paydaşları, süreç, risk, bedel, iletişim-teknoloji ve kontratlar(anlaşmalar) gibi konularda Tablo 2-5'te kıyaslanmıştır.

AIA (American Institute Of Architect) göre Tümleşik proje Teslimi (IPD), tasarım, imalat ve inşaatın tüm aşamalarında atık üretimini azaltmak ve verimliliği artırmak için projedeki tüm katılımcılarla işbirliği içerisinde olarak, bu sürece insanları, sistemleri, iş yapılarını ve uygulamalarını entegre eden bir proje teslim yaklaşımıdır (AIA, 2007).

IPD ve yalın inşaat felsefesi birbirleriyle ilişkilidir. Yalın İnşaat; projedeki paydaşların koordinasyon ve iletişimi en yüksek seviyede tutarak, iyi bir süreç yönetimi ile yapıların üretim ve inşaat aşamalarında israfı minimize eder. IPD ile ortak sonuçlar elde eden bir felsefedir.

İnşaat sektöründe oldukça tercih edilen Tasarla-İnşa Et veya Tasarla-İhale Et inşa Et gibi proje teslim süreçlerinden farklı olarak projelerin tüm yaşam döngüsü boyunca devam eder. IPD, bilgi ve deneyimin erken katkısını teşvik eder ve kilit katılımcıların proaktif katılımını gerektirir (Sacks, et al., 2008).

Tablo 2-5. Geleneksel ve Tümleşik Proje Teslimi Karşılaştırma Tablosu (AIA, 2007)

Geleneksel Proje Teslim		**Entegre (Tümleşik) Proje Teslim**
Parçalanmış.	Proje paydaşları	Entegre bir ekip.
Lineer, ayrık, bilgi gerektikçe bir araya getirilir.	Süreç	Eş zamanlı, çok aşamalı, erkenden katkıda bulunabilirlik.
Bireysel yönetim, mümkün olan en geniş ölçüde aktarılır.	Risk	Topluca yönetim şekli, uygun biçimde paylaşılmış.
Bireysel takip; maksimum getiri için minimum çaba; genellikle ilk maliyete dayalı	Bedel	Proje başarısına bağlı ekip başarısı; değer bazlı
Kâğıt üzerinde, 2 boyutlu, analog.	İletişim-Teknoloji	Dijital tabanlı, sanal, Yapı Bilgi Modelleme (3,4 ve 5 boyutlu).
Risk paylaşılmayan.	Kontratlar (Anlaşmalar)	Ekip çalışmalı, takım tabanlı, paylaşıma açık, risk paylaşımı.

Entegre Proje Teslimi, bütün paydaşların ortak değerleri ve hedefleri taşıyarak işbirliği üzerine kurulu bir sistemle ilerlemesi sonucunda başarılı olabilir. AIA'ya (2007) göre ideal bir proje teslim yönteminin 7 esas ilkesi olmalıdır;

1. Karşılıklı Saygı: Entegre bir projede mal sahibi, mimar, danışmanlar, yüklenici, taşeronlar ve tedarikçiler işbirliğinin önemini anlar ve projenin çıkarları doğrultusunda bir ekip olarak çalışır ve tüm disiplinler proje sürecine olabildiğince erken katılım sağlar.

2. Karşılıklı Fayda: IPD süreci erken katılımlı bir süreç olduğundan tazminat yapısı bunu tanıyarak ilerlemelidir ve risk adil dağılmalıdır.

3. Erken Hedef: Projenin yaşam döngüsü boyunca işbirliği içinde hedefleri erkenden belirlenir.

4. Gelişmiş Boyutta İletişim: İletişimde saydamlık esas alınarak, sorunların erkenden belirlenerek çözülmesi hedeflenir.

5. Tanımlanmış Standartlar: Dijital bilgi alışverişi, saydam protokole ve veri standartlarına bağlı olmalıdır.

6. Uygun Teknoloji: Projelerin teknolojiyle entegrasyonu, gündeme adapte olmuş, işlevselliği ve birlikte çalışabilirliği artıracak biçimde olmalıdır.

7. Yüksek Performans: Bu madde ile projelerin tasarım çözümlerinin optimizasyonu tam sağlanmış biçimde, daha yüksek performanslı ve sürdürülebilir tasarımı hedefleyerek ilerler.

BIM, projenin bilgi veri tabanına sahip olması durumu nedeniyle IPD için kaçınılmazdır. BIM, bir projenin inşaat yaşam döngüsü boyunca tasarım, lojistik proje yönetimi, uzun dönemli enerji performansı ve bakım gibi amaçlar için tüm paydaşların işbirliği içerisinde bir platform olanağı sunar. Geleneksel uygulamalarla kıyaslandığında, projenin süresini ve atık malzeme üretimini azaltması, tasarım modeliyle sürekli revize halinde olabilmesiyle öne çıkar. Yapıların inşaatı öncesinde planlama ve inşaat aşamasını sanal ortamda uygulayarak çok erken safhada maliyet tahmini yapılır.

BIM bir araçtır, bir proje teslim yöntemi değildir. Fakat IPD süreç yöntemleri BIM ile birlikte ilerleyerek maksimum verim elde edilir. IPD için gerekli olan işbirliğini verimli bir şekilde gerçekleştirmek için BIM gereklidir, fakat BIM olmadan da Tümleşik Proje Teslimi gerçekleştirilebilir.

IPD proje ekibi, kullanılacak yazılımları seçerken fonksiyonel ve birlikte çalışılabilir bir temeli taban alacak şekilde süreci organize eder. Açık uygulama platformları, BIM ve diğer modellerin sürece entegrasyonu için gereklidir. Projelerin tüm seviyelerinde verim elde etmek için veri değişimi protokolleri gelişim içerisinde olmalıdır. Bu sayede sektörde kullanımı ve kabul sürecinin hızlanma sürecine girmesi kaçınılmazdır (AIA, 2007).

2.4.8. BIM Uygulamalarında Kullanılan Yazılımlar

Doğru bir BIM modeli oluşturmak için üç ana unsur olan yazılım çeşitleri vardır; bunlar 3D model oluşturmak amaçlı (mimari, statik, MEP vb.), 3 boyutlu model tamamlayıcı planlama, zaman, maliyet, enerji performans analizi vb. BIM yazılımları, paydaşların ortak paydada iletişim sağlamaları ve birlikte çalışabilmeleri için bulut tabanlı yazılımlardır.

Autodesk Revit: Bütün disiplinler için geçerli olan bu modelleme yazılımı, BIM konusunda öne çıkan verilere ve değerlere odaklanan esnek programlardandır. Kaliteli modelleme ile daha kullanışlı tasarımlar oluşturmakla birlikte güçlü koordinasyon açısında da öne çıkan bir yazılımdır. Nesnelerin parametrik işlevli olması, standartların optimizasyonu, verileri içe ve dışa aktarmada kullanışlı olması ve bulut tabanlı özelliği ile kolay erişilebilir olması Revit yazılımını kaçınılmaz hale getirir. 3 ayrı disiplin için de kullanıma uygundur. Bunlar;

Revit Architecture: Bu modül ile mimari projeler 2B ve 3B görünümler ile tasarlanabilir, belgelenebilir ve mühendislerle koordine olabilir. Bununla birlikte erken safhalardaki tasarımlarla enerji analizleri ile binanı ömrü boyunca performans düzeyleri ölçülür. Ayrıca metraj oluşturup maliyet tahmini de yapılabilir.

Revit Structure: Çelik ve beton tasarımı yapılarak detaylı modeller oluşturulur ve bu modellerin analizi yapılarak metraj işlemi gerçekleştirilir.

Revit MEP: 3 boyutlu elektrik ve mekanik işlerin tasarımı ve belgelemeleri ile birlikte enerji verimliliği sağlamak amaçlı enerji analizleri yapılabilmektedir.

Tekla BIMsight: Profesyonellere 3D modelleri, veri ve bilgi paylaşımını birleştirerek, çakışmaları çözme ve tasarım aşamalarında çakışmaları kontrol etme amaçlı bir BIM çözümüdür.

Allplan: Mimarlar için tüm tasarım sürecini içeren bir yazılımdır. İlk taslak sunumundan çalışma çizimlerinin üretimine, ayrıntılı yerleşim sunumlarına ve inşaat projesinin maliyetine kadar destek sağlamaktadır.

ArchiCAD: Birincil amacı tasarım ve modelleme olan bir 3D BIM yazılımı, meslekler için tüm iş akışını iyileştirmeyi başardığı gibi şehir planlama, tasarım ve mimarlık alanında son derece etkin kullanılmaktadır. ArchiCAD' in tüm özelliklerinin, hem estetik hem de teknolojik kısımları dahil olmak üzere görselleştirme amaçları için mümkün olduğunca yararlı olması amaçlanmıştır. ArchiCAD, ilk BIM uygulamalarından biri olarak kabul edilir ve gerektiğinde hem 3D hem de 2D model olarak çalışabilir. Modelleme (simülasyon -görselleştirme) özelliklerinin ve BIM işlevleri, ArchiCAD' in herhangi bir inşaat veya mimarlık firması için yararlı olmasını sağlar ve bu nedenle ArchiCAD, piyasadaki BIM yazılımının en başlangıç dostu örneklerinden biri olarak kabul edilir.

Navisworks: İnşaat BIM modellerini görselleştirmek ve yönetmek için en gelişmiş içe aktarma özelliğine sahip, Autodesk tarafından oluşturulan başka bir BIM çözümüdür. Navisworks ve Revit arasındaki temel fark, Navisworks' ün daha çok AEC (mimarlık, mühendislik ve inşaat) profesyonelleri için bir proje inceleme çözümü olmasıdır.

Navisworks projenin inşaat öncesi ilk aşamalarında, proje sonucunu baştan kontrol etme ve tahmin etme konusunda oldukça önem arz etmektedir. Gerçek inşaat başlamadan önce herhangi bir sorunun tespit edilmesine yardımcı olmak için hem model koordinasyonu hem de çakışma tespiti dâhil edilmiştir. Ayrıca model animasyonunun tek bir model içinde veri toplama gibi özellikleri de bulunmaktadır.

Autodesk BIM360: Autodesk' in inşaat yönetimi ve proje teslimi ile çalışan bir BIM çözümüdür. Tasarım, proje ve inşaat süreçlerini tek bir süreçte birleştiren bu bulut tabanlı çözüm, her paydaşın verilere erişilebilirliğini sağlayarak erken aşamada karar alınmasını sağlar.

Vectorworks Architect: Bir inşaat projesini ilk tasarımdan başlayarak tüm yaşam döngüsü boyunca destekleyecek kadar esnek olan tasarım odaklı bir yazılımdır. İleri düzeydeki kapsamlı 3D modelleme kabiliyeti ile tasarım ve modelleme için mimarların tercih ettiği önde gelen yazılımlardandır.

Primavera ve MS Project: İnşaat öncesinde meydana gelebilecek tüm görevleri sıralayarak yöneten, düzenleyen ve kontrol eden sürece 4D simülasyon denir. Çizelgeleme, maliyet tahmini, metraj çıkartma ve simülasyon gibi 4D süreçlerini yürüten yazılımlar arasında en sık tercih edilen yazılımlar arasında Primavera ve MS Project görülmektedir.

2.5. RAYLI SİSTEM PROJELERİNDE BIM UYGULAMALARI / ENTEGRASYONU

Ülkelerin hızlı nüfus artışı ile nüfusun geniş alana yayılma isteğiyle birlikte kentlerin her kesimine ulaşma isteği söz konusu olabilmektedir. Türkiye'de İstanbul gibi nüfusun yoğun olduğu kentlerde hem zamandan kazanmak hem de enerji sorunu yaratmadan çevreye duyarlı kullanabilecek ulaşım yollarından ilk akla gelen raylı sistemler gitgide önem kazanmıştır. Raylı sistemler ekonomik ve bölgesel kalkınma için kritik bir altyapı endüstrisidir. Ülkemizde 1856-1866 yılları arasında ilk demiryolu inşaatı gerçekleşmiştir. (Özbayraktar, 2018). Kent içi raylı sistemler erişilebilirliği arttırma amaçlı ve diğer ulaşım ağlarıyla entegre olabilmelidir. Bu kapsamda Metro inşaatlarının tasarım kriterleri etüt aşamasından itibaren belli kabuller çerçevesinde;

- Planlanan raylı sistemin efektif olmasını,
- Mevcut sorunlarda rehber olabilmesini,
- Şehri ve trafiği doğrudan veya dolaylı etkilen esas ve ölçütlerde olması,
- Nüfusa ait olan insanları ve taşınabilecek yolcuları etkileyebilecek ölçütler,
- İşletmecilere ve tesisleri etkileyen esaslar,

Üzerinde durulmak üzere 7 bölümde tasarım kriterleri belirlenmiştir (İBB, 2019).

Bir kent için ulaşım sağlama konusu iyi bir planlama ve yönetim ile doğru çözüme ulaştırılır. Ulaşım planlama, mevcut olan kaynakları kullanarak, ilerde ihtiyaç olabilecek kaynakları da öngörerek kullanabilir kılma iyi bir planlamayla sağlanabilir. Bu yönetim anlayışıyla, maliyeti minimize ederek verimliliği arttırma sonucunda sistem başarıyla devam ettirilebilir. Bu bir yönetim kültürüdür (Gündüz, et al., 2011).

Ulaşım planlama; kent yapısını ve kültürünü belirleyen uzun vadeli çözümler için gereklidir. Bir yerde kentleşme, toplu yaşam sağlanıyorsa ilk önce bu yaşama ve kentsel kullanımlarla entegre olunabilecek bir ulaşım ve taşıma ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu ulaşımlara ne kadar fazla yatırımlar yapılsa da, yoğun ulaşım hatlarının toplu ulaşım yerine bireysel araçlar kullanımı tercih ediliyorsa bu bir sorun çözümü değildir. Bir çözüm, başka problemler yaratıyorsa planlama ve yürütmede kusurlar olduğunu belirtmek gerekir.

Ulaşımda oluşan yoğun ulaşım ihtiyacını karşılama talebi, daha hızlı, güvenilir, ekonomik, konforlu, çevre dostu ve kaynaklarla uyumlu olmalıdır. Mevcut teknolojiler göz önünde bulundurulduğunda bu talepleri ve ihtiyaçları raylı sistemlerle karşılamak söz konusu olabilmektedir. Bu doğrultuda raylı sistem uygulamaları, büyük problemlerin önüne geçmektedir. Fakat proje alanlarının kullanımı, planlamasından itibaren kaynakların yanlış kullanımıyla entegre olan planlamalar eksik kalmış, koordine olma konusunda sıkıntılar yaşanmıştır.

Bir ülkenin gelişmişliğinin en önemli ögelerinden biri olan ulaşım sektörü, günümüz inovasyonunu çevreye duyarlı bir şekilde karşılayabilmelidir. Günümüz taşımacılığında efektif bir etki olması nüfusun artması ve zamandan kazanma isteği; yükü ve hızı arttırarak raylı sistemlerle sağlanabilmektedir. Bu ulaşım ağları, modern dünyada hızla artan kentleşme isteği ve bu kentleşme ile doğan ihtiyaçları karşılayabilecek bir duyarlılıkla projelendirilmelidir.

Kent içinde toplu taşımalarla bütünleşme sağlanarak kontrollü ve koordinasyonun sağlanması raylı sistemlerin iyi bir planlamasına ve tasarımına bağlıdır. Bu kapsamda inovasyonu tam sağlanan, ekonomik ve sosyal açıdan yerin durumuna uygun, insan odaklı geniş bir ağı ile tüm popülasyona dokunabilen bir raylı sistem çalışması BIM ile mümkün olabilmektedir.

Raylı sistemlerle BIM' in entegrasyonu; işbirliği, zaman tasarrufu, maliyet optimizasyonu, ulaşım ağları arasındaki karışıklıkların giderilmesi, tesis yönetimi optimizasyonu, kalite yönetimi, prefabrikasyon gibi avantajlar sağlar. BIM modelinin benimsenme süreci, yazılımların standardizasyonlarının, programlamaların ve şartnamelerin temellerinin oturtulması gibi eksiklik ve sınırlamalar uyarlanabilirliği zorlaştırmaktadır. Bu kapsamda BIM' in sadece bir teknolojik geçiş olmadığını, ürün/hizmet, süreç ve iş modeli inovasyonu olduğunu söylemek mümkündür. Süreç ve proje yönetiminde köklü bir değişiklik için tüm paydaşların katılımı, değişim yönetimi ve ortak bir iş birliği gerektirmektedir. Değişimin değişmez olduğu kabullenilmesi gereken bir olgudur.

BIM ‘i esas kılan ana özellikleri, işbirliği kurabilme, çakışma ve çatışmaları minimize etme ve görselleştirmedir. Bu özelliklerin çatışma giderme, temel olarak zayiat, risk, zaman ve maliyet kaybını azaltma alt başlıklarını oluşturur. Raylı sistem projelerinde BIM kullanımının esas hedefi, tasarım süreçlerinde tam entegrasyon sağlamak, proje paydaşları arasındaki iletişimi iyileştirmek ve çakışmaları tasarım sürecinde tespit etmektir.

BIM sürecinin demiryolunun altyapı sürecine dâhil edilmesi sürekli gelişim ile gerçekleştirilmelidir. Bu yöntemin geliştirilmesi, tüm kullanıcıların çalışmalarının yaşam döngüsüne eklemesi ve yönetimlerin teşvikleriyle sağlanmalıdır. Bu entegrasyon ve süreç yönetimi ile birçok ülkede inşaat sektörünün gelişimini yavaşlatan bazı kısıtların (tasarımlardaki hatalardan veya revizyonlardan kaynaklanan gecikmeler, maliyet kontrol ve tesis yönetimi eksikliği) üstesinden gelmek mümkündür.

Demiryolu projeleri kısa dönemli projeler olmamakla birlikte, fikir aşamasından gerçekleştirmeye, işletmeye ve bakım süreçlerine kadar birçok aşamaları içermektedir. Bu aşamalarda farklı alanlardaki paydaşlar arasında belge alışverişleri, disiplinlerarası çalışmalarındaki iş birliklerinin zorluğu hataları kaçınılmaz bir hale getirir (Bensalah, et al., 2019).

Raylı sistemleri BIM ile inovatif bir biçimde dijital modellere yönetim anlayışı, bir veri tabanı etrafında çalışma işbirliğini geliştirir, proje planlama sürecini optimize eder ve projenin yaşam döngüsü boyunca ekonomik avantajlar sağlamasını benimser. Bu kabullenme ile son yıllarda akademik araştırmalar ve endüstriyel gelişmeler, mimari, mühendislik, inşaat ve tesis yönetimi gibi alanlarda BIM süreçlerinin gelişimine odaklanmış ve testlerle tüm yönleriyle desteklemeyi amaçlamıştır. Bu sayede projenin yaşam döngüsü boyunca tüm katılımcıların, ortak yazılım tabanlı bir sistemde işbirliği ile bilgi paylaşımını vaat eder.

3. YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında Türkiye'deki inşaat sektöründe, BIM uygulamalarından raylı sistem projeleri incelenmiştir. Raylı sistemlerin inşaat sektöründeki önemi ve proje süreçlerinde ne gibi zorluklar ve risklerle karşılaşıldığına değinilmiştir. Bu kapsamda BIM ile bütünleşmiş bir sürecin projenin iş akışına sağladığı katkılar örnek bir metro projesi üzerinden projenin genel hatlarıyla anlatılmıştır. Bu yaklaşım ile kent içi bir raylı sistem projesinin görselleştirme, çakışma testleri, zaman ve maliyet planlaması başta olmak üzere 3D'den itibaren ilerleyen tüm boyutlarından bahsedilmiştir.

Bu kapsamsa, Yapı Bilgi Modellemesi kullanılarak zaman ve maliyet açısından projenin olası çakışmalarının tasarım aşamasında tespit edilmediğinde revizyon bedelinin maliyete ve sürece etkisi ile birlikte projenin yönetilmesi üzerinde durulmuştur. Örnek bir raylı sistem modeli üzerinde, olay incelemeleri yaparak projelere zaman ve maliyet modellemelerinin entegre edilmesiyle, çakışmaların tasarım aşamasında tespitinin proje hedeflerine etkilerinin ve sistemlerin entegre kullanımıyla oluşan kazanımların tespit edilmesi hedeflenmektedir.

Örnek projenin BIM Uygulama Planı (BUP) incelenmiştir. Bu doğrultuda koordinasyon modelleri, ortak veri paylaşım platformları ve bu platformlar sayesinde çakışma tespitlerinin nasıl yapılıp raporlandığı incelenmiştir.

BIM' in dâhil olduğu bir projede zaman ve maliyet incelemesi yöntemleri aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir:

1. BIM Ugulama Planı (BUP- BIM Execution Plan): Süreç başlamadan BIM ile yönetimi gerçekleşen projenin bütün yaşam döngüsü BIM Uygulama Planı ile kurgulanmıştır. Bu plan bütün projeye rehber niteliği taşımaktadır. Ayrıca BUP bir yapı projesinin BIM süreçlerini organize etmek, BIM yönetimini tanımlamak, rolleri ve sorumlulukları belirlemek, standartları ve prosedürleri yönlendirmek ve paydaşlar arasındaki iletişimi sağlamak için kullanılır. BUP, proje başlangıcında hazırlanır ve proje boyunca gereken durumlarda revize edilip güncellenen dinamik bir rehberdir.

2. İş Süreçleri ve Çakışma Analizi: BIM kullanarak projedeki iş süreçlerini analiz ederek, her bir işin ne kadar zaman aldığını ve hangi aşamalarda çakışmaların meydana geldiği analiz edilmiştir. BIM modelini kullanarak, proje süresince potansiyel çakışma noktalarını belirlenir. Bu sayede tasarım aşamasında çakışmalar çözülerek projenin daha verimli bir şekilde planlanır ve yönetilir. Bu yöntem, projenin kritik yolunu belirler ve süreçler arasındaki bağımlılıkları etkiler.

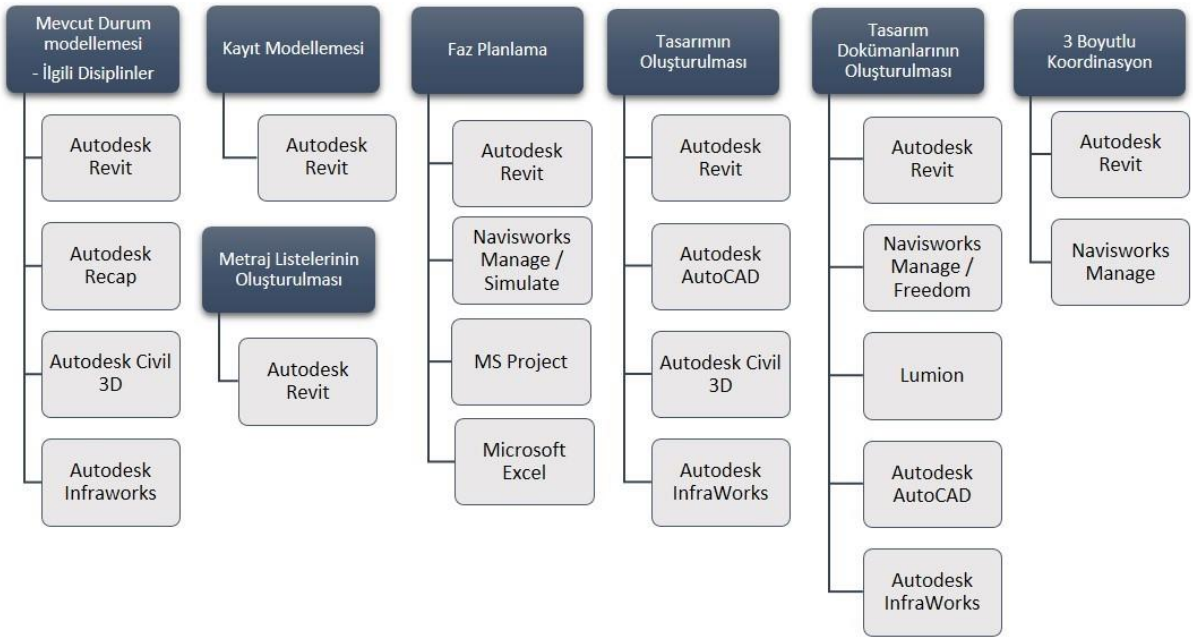
3. 4D Modelleme: Bu modelleme ile her bir aşamanın ne zaman başlanacağını ve ne zaman tamamlanacağını gösteren bir zaman çizelgesi oluşturulması sağlanır. BIM modelini kullanarak, projenin zaman çizelgesini görselleştirilir. Bu yöntem, proje süresi boyunca takvimle ilgili sorunların nasıl çözüleceğini belirlemede projenin erken safhalarında yardımcı olur. Yapının 3D modellemesi yanı sıra, malzeme, işçilik, ekipman ve diğer maliyet unsurları gibi 4D modelleme verileri de dahil edilir.

4. 5D Modelleme: BIM' in bir diğer uzantısı olan 5D modelleme, maliyet bilgilerini içerir. 5D modelleme, inşaat projelerinin maliyetlerini tahmin etmek, bütçeleri yönetmek ve finansal riskleri azaltmak için kullanılır. Bu modeller, projenin tüm paydaşları arasında daha iyi bir işbirliği ve daha öngörülebilir bir inşaat süreci ile inşaat projelerinin planlanması, yönetimi ve tamamlanması sürecindeki verimliliği artırır ve maliyetleri azaltır.

5. Risk Analizi: BIM modelini kullanarak, projenin risklerini belirlenebilir. Bu, projenin herhangi bir aşamasında beklenmedik bir durum meydana geldiğinde ne kadar maliyet ve zaman kaybına neden olacağını belirlemenizi sağlar. Bu yöntem, projenin risklerini minimize etmek için alınacak önlemleri belirlemede yardımcı olabilir.

3.1. BIM UYGULAMALARINDA KULLANILAN YAZILIMLAR

Proje kapsamında BIM hedeflerini ve kullanımını sağlamak için ilgili disiplinlere ait farklı yazılımlar kullanılmıştır. Süreçte planlanan yazılım versiyonları güncellenme ihtimali de göz önünde bulundurularak uygulama planında kullanım amacı, disiplin, yazılım ve versiyon olarak raporlanmıştır. Kullanılan yazılımlar Şekil 3-1'de listelenmiştir.



Şekil 3-1. Örnek BIM Projesinde Kullanılan Yazılımlar.

3.2. BIM UYGULAMA PLANI (BUP)

BIM Uygulama Planı, "Metro İnşaat ve Elektromekanik Sistemler Temin, Montaj ve İşletmeye Alma İşleri'' kapsamında bilgi yönetimi ve güncel tutulan bir süreç yönetimi referans kaynağı niteliği taşır. Bu kaynak, olarak "The Pennsylvania State University" tarafından hazırlanan "BIM Project Execution Planning Guide V2.2" kitabını temel almaktadır. BIM Uygulama Planı (BUP) aşağıdaki unsurları içermektedir:

- Proje kapsamı amaçları ve ihtiyaçlar: Tüm projenin BIM süreçlerinin tarif, talep ve amaçlarına uygun ihtiyaçlar belirlenir. Ana hedefler, doküman isimlendirme, zaman planlama, bütçeleme, proje bilgileri, personel anahtar listesi, proje organizasyon şeması ve her projede öznel olarak değişebilen birçok bilgi listesi BUP içerisinde belirtilmektedir.

- BIM kullanımları: Bu başlıkta BIM kullanılacak bilgi modellerinin hangi çalışmalarda (tasarım, yapım, işletme) ve ne şekilde olması gerektiği belirtilir.

- BIM model detay seviyeleri: 3D bilgi modeline ait projenin her aşamasında hangi detay seviyelerinde olması gerektiği detaylandırılmaktadır. Her bileşen kendi başlığında

detaylandırılarak, LOD seviyeleri ve matrisleri yine içerdiği bilgilere göre proje süresince güncellenerek oluşturulmuştur.

- Roller ve sorumluluklar: BIM uygulama planında idare, danışman, yüklenici ve tasarımcı gibi tüm proje paydaşlarının kendi organizasyonu içlerinde detaylandırılarak rolleri, sorumlulukları açıklanır. Bu başlıkta her paydaşın süreç yönetimi, bilgi yönetimi, kontrolü, denetimi, takibi, hangi konularda rolleri ve sorumluluğu olduğu açıklanmaktadır.

- Kontrol denetlemeleri ve teknik altyapı: Kontrolün konusu, açıklaması, sorumlu taraf/taraflar, hangi yazılımda ve ne sıklıkta olacağı belirtilir. Hangi BIM kullanım aşamasında, hangi disiplinin ilgileneceği ve hangi yazılım ve versiyonları açıklanmaktadır.

- Veri paylaşım: Modellerin paydaşlar arasındaki yönetim, iletişim, iş birliği, doküman yönetimi, proje onayları gibi tüm süreçler şeffaf ortak bir bulut ortamında paylaşımı ve bu ortak veri paylaşımın hangi platformlarda olacağı belirtilmektedir.

- İş birliği prosedürleri: İş birliği stratejileri, koordinasyon toplantıları sıklıkları/paydaşları ve paydaşlar arasındaki veri paylaşımları, süreçleri, metodolojileri belirtilir.

- Model yapılanması: Modele ait dosya ve nesne, model seviyeleri, görünümü, pafta, modele tanımlı tablo, malzeme isimlendirmesi, ölçü ve koordinat sistemleri belirtilmesi gibi tüm oluşumlar BUP üzerinde belirtilir.

- BIM zaman çizelgesi: BUP, projenin BIM süreçleri için bir zaman çizelgesi, takvim ve planlamalar içerebilir. BIM aktivitelerinin ne zaman başlayacağı, hangi aşamalarda ne kadar zaman harcanacağı, BIM süreçlerinin projenin genel zaman çizelgesine nasıl entegre edileceği gibi konular BUP' te belirtilir.

- Metraj listelerinin oluşturulması: Her modele ait ayrı metraj listesi olacak şekilde, metraj çeşidine göre bütün tabloların isimlendirilmeleri, iş kalemleri, zaman planlamaları gibi entegre olabilecek tüm konular bu rehberde belirtilmekte ve güncellenmektedir.

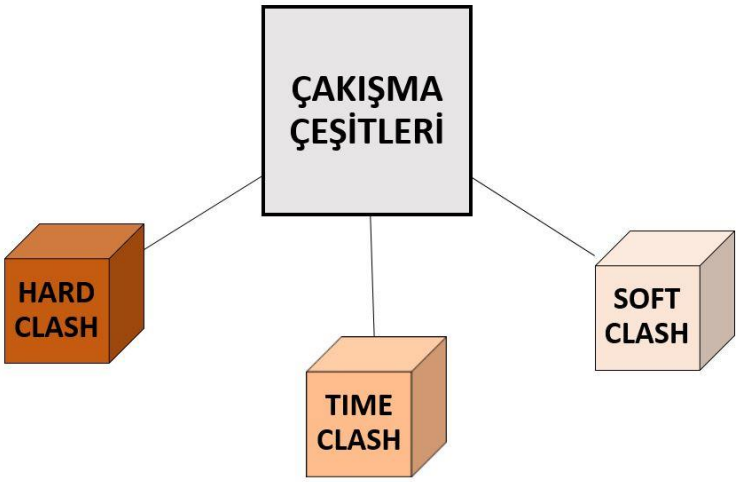
- Diğer: Her projenin bilgi seviyesi ve bilgi yönetimi değişmekle birlikte projenin öznel bir veri tabanı bulunmaktadır. Buna bağlı olarak veri paylaşım detayları, alt başlıkları hedefe ve ihtiyaca yönelik güncellenmektedir. Ek bilgi olarak projenin her aşamasında eklenebilme olanağı bulunmaktadır. BIM'e yönelik eğitimler, risk yönetimi ve kalite kontrol gibi konular BUP içerisinde yer alabilmektedir.

3.3. ÇAKIŞMA ANALİZLERİ

Bir projenin sahada inşasına başlanmadan tasarım aşamasında sorunların giderilmesi projeyi oldukça ileriye taşır. Genellikle sorunlarla sahada inşaat aşamasında karşılaşılmasının en büyük nedeni, disiplinlerin ilk olarak sahada bir araya gelmesidir. Geleneksel inşaat yönetim anlayışı bunu benimsemektedir. Fakat bu anlayışla hem zamandan hem de maliyetten oldukça kayıplar yaşanmaktadır.

BIM ile birlikte, projelerde mimari, yapısal, mekanik, elektrik gibi tüm disiplinler bir araya gelerek bir koordinasyon modeli oluştururlar. Bu koordinasyon modelinde, doğal olarak çakışmalar meydana gelebilmektedir. Çakışmaların tespit edilmesi için yukarıda belirtildiği gibi bazı BIM yazılımları kullanılmaktadır. Tam da bu noktada çakışmaların erken tespiti, analizi ve çözümü ile uygulamaya gelmeden zaman ve maliyetten tasarruf edilmektedir.

Planlama ve süreç yönetimi; süreç başlamadan bitme noktasına kadar olması gerekir. Bir çakışmanın sahada montaj esnasında tespiti, o işin bir süre durmasına hatta ertelenmesine neden olduğu gibi doğrudan işçilik ve ekipman maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Bu kapsamda erken analiz edilen çakışmalar, iş gücü kaybının azalmasını, ekipman kullanımında gereksiz süre uzatımı yaşanmasının engellenmesini sağlayabilmektedir. Şekil 3-2'de gösterildiği gibi dijital inşaat tasarım sürecinde, 3 tip çakışma başlığı vardır. Bunlar:



Şekil 3-2 Çakışma Çeşitleri.

- Hard Clash: BIM modelinde iki veya daha fazla nesnenin fiziksel açıdan aynı alanda kesişmesi durumudur. Kolon-kirişin aynı geometrik alanda çakışması, boru ile kanal çakışması veya farklı disiplinler içerisinde klima kanalı ile perdenin çakışması gibi kesişmeler örnek verilebilir. Yapısal uyum sorunları, montajda önemli hatalara ve kayıplara yol açabilmektedir. Çakışma tespiti ve analizlerini sağlayan yazılımlar sayesinde metrajlarda da önemli hataların önüne geçilmektedir.

- Soft Clash: Modelde, herhangi bir nesne diğer nesnelerin geometrik alanında çakışmadığı fakat ayarlanan tolerans aralığına girdiği durumlarda yani yakın mesafede olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Bu tür çakışmalar, montaj, bakım ve onarım uygulamalarımda sorun yaratabilmektedir. Bu tür konfigürasyon bakımından çakışmalara örnek olarak, asma tavan ile duvar panelleri arasındaki ilişki örnek verilebilir. Somut olarak bir çakışma olmasa da yeterli boşluklar bırakılmazsa montaj esnasında uyum problemlerine rastlanabilmektedir.

- İş Akışı Çakışmaları (Time Clash): Bu tarz 4D çakışmaları, iş programında zaman planlamada yanlış öncül belirleme sebebiyle meydana gelmektedir. Direkt tasarımla bağlantılı olmamasıyla birlikte, saha ilerleyişine göre işçilik, kaynak kullanım gibi disiplin gerektiren alanlarda iyi bir planlamayla minimize edilebilmektedir. Örneğin, kablo tesisatı yapılan alanda demir döşenmesi ve beton dökümü işlemleri yürütülmesi

planlanıyorsa bu bir iş akışı çakışmasıdır. Bu sebeple, aktivitelere ait başlangıç ve bitiş tarihleri diğer öncüllere göre değerlendirilmelidir.

Tanımlamalardan ve örneklerden özetle; farklı nesnelerin aynı fiziksel ortamda kesişme veya çakışma durumunda hard clash, nesnelerin yakın mesafede birbirlerinin tolerans aralıklarında olduğu durumlarda soft clash sınıfına dâhil edilmektedir. Son olarak 4. Boyutta karşılaşılan ve genellikle sahada rastlanan time clash çakışması, genel iş zaman çizelgesinde montaj, teslimat, döşeme, tesisat gibi daha inşaatın daha birçok aşamasının iş akışlarının çakışması durumudur.

Bu çakışma türleri, BIM' in dâhil olduğu bir projede, çakışma tespiti yapabilen araçlarla tespit edilerek, beklenen potansiyel uyumsuzluklar erken safhada belirlenir ve çözüme gidilebilir.



Şekil 3-3. Çakışma Analizi Set Bileşenleri.

Şekil 3-3'te özetlenen, BIM ile birlikte ana disiplinlerde meydana gelebilecek fiziksel çakışmalardan örnekler aşağıda listelenmiştir.

- Mekanik-Elektrik-Tesisat Sistemler: Elektrik kabloları ile mekanik ekipmanlarının aynı alandan geçmesi, tesisat hattının elektrik panosu ile çakışması veya tam tersi elektrik kabloları ile tesisat/havalandırma boru hatlarıyla çakışması örnek verilebilir.

- Yapısal-Mekanik- Boru Hatları: Taşıyıcı sistemler ile mekanik sistemler (havalandırma, ısıtma ve klima) bir araya geldiğinde ve birbirlerinin akışını engellediğinde çakışmalar oluşmaktır. Aynı şekilde sıvıların ve gazın taşınma işlemini sağlayan boru hatları da duvar içinden geçme durumunda yapısal sistemle çakışma meydana gelebilmektedir.

- İnşaat ekipmanları ve diğer sistemler: İnşaat ekipmanları, inşaat sırasında kullanılan çeşitli araç ve makinelerdir. Örneğin, bir vinç, bir havalandırma boru hattıyla çakışabilir.

- Ekipman Çakışmaları: İnşaat sürecinde kullanılan araç ve donanımların başka sistemlerle çakışması da bir geometrik çakışma türüdür. Bu tip çakışmalara bir iskele sistemi ile bir hattın aynı alanda olması veya bir beton kalıbının henüz prizi oluşmadığı için elektrik kablosu tesisatını engellemesi inşaat ve yapı sistemleri içerisindeki örnekler olarak belirtilebilir.

- Yangın Algılama Sistemleri-Elektrik-Mekanik sistemler: Bir yangın algılama hattı veya sistemi ile elektrik kablo sistemleri gibi diğer hatların arasında güvenlik sorunu teşkil eden çakışmalardır.

Bu örneklerin yanı sıra, BIM uygulamalarında tespit edilebilecek daha pek çok çakışma türü bulunmaktadır.

3.4. BIM TABANLI 4D MODELLEME

BIM tabanlı projelerde zaman yönetimi, 3D modelleme verilerine 4. Boyut zaman bileşenleri eklenerek inşaat sürecinde verimli olan bir yöntemdir. Bu yöntemde projenin her aktivesi, iş, kaynak planlaması yapılarak zaman çizelgeleriyle optimizasyonu sağlanır. 4D modelleme, inşaat projelerinin yönetiminde zaman ve maliyet açısından büyük bir avantaj sağlar. Bu yöntem, inşaat sürecini daha öngörülebilir hale getirir ve projenin tamamlanmasına yönelik riskleri azaltır.

Bu doğrultuda 4D modelleme, süreçlerde yönetimi artırarak iletişim ve koordinasyonu paydaşlar arasında maksimize etmek gibi amaçlara hizmet etmektedir. BIM projelerinin zamana dayalı ilerleme sürecini simule ederek faz planlama olarak adlandırılan zaman çizelgesi simülasyonu sağlanır. Faz planlaması ile tarih, zaman kısıtlamasına dayalı olarak başka iş ekipman ve kaynakları değerlendirilerek daha fonksiyonel en verimli şekilde süreç yürütülebilir. Örnek proje üzerinden faz planlama süreçleri bulgular bölümünde detaylandırılacaktır.

Özetle zaman yönetiminde 4D modelleme, zaman çakışmalarını tespit ederek kaynakları ve süreyi en optimum şekilde yönetmek için kullanılan bir metodolojidir. Aşağıda Şekil 3-4. 'te belirtilen 4D modelleme aşamaları özetlenmiştir:

- 3D BIM Modeli Oluşturma: İlk aşamada projenin tüm paydaşları ortak bir 3D model üzerinde bileşenlerini modeller ve bu modelleme sürecinde nesnelerin konumu, boyut durumu ve koordinasyonları oldukça önemlidir.

- Zaman Çizelgeleri: Yapının süreç içerisinde gereksinimde bulunulacak olan malzeme, ekipman ve adam-saat süreleri gibi zamana ait tüm bilgiler, projenin başlangıç ve bitiş tarihleri tanınarak çizelgenin yapı taşları oluşturulur.

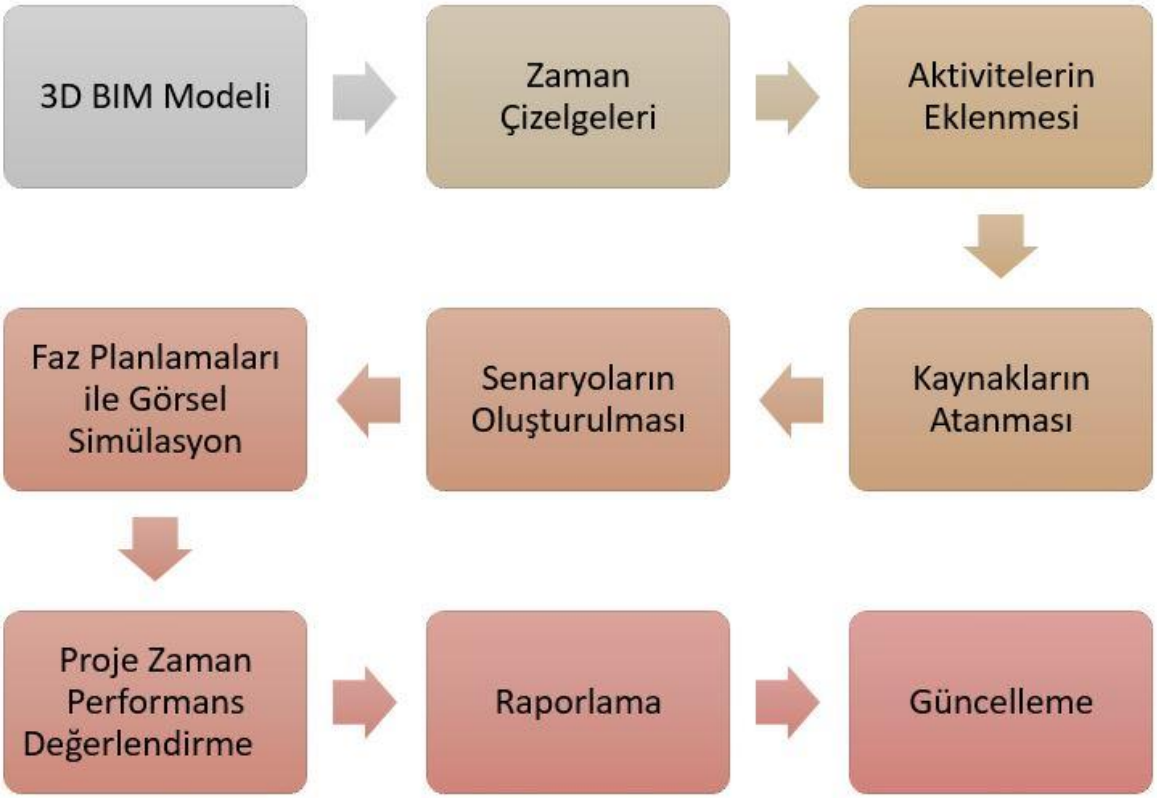
- Aktivitelerin ve Kaynakların Eklenmesi: Projenin her aşamasında planlanan aktiviteler belirlenerek, bu aktiviteler arasındaki ilişkiler, bağımlılıklar ve sorumluluğu olan kaynaklar zaman çizelgesinde ilişkilendirilir.

- Senaryoların Oluşturulması: 3 boyutlu modele zaman bileşenleri eklenerek 4. Boyutlar tanımlanma işlemi gerçekleştirilir. Bu zaman çizelgeleri ve bileşenlerin vaziyetlerine göre farklı zamanlara yönelik senaryo kritikleri yapılmaktadır.

- Görsel Simülasyon: projenin zaman içerisindeki ilerleme durumunu, tamamlanma yüzdelerini takip ederek proje sürecindeki gecikme durumları tayin edilebilmektedir. Ayrıca farklı zamanlara ait senaryoları simüle etme özelliği süreç içerisindeki önemli noktalardandır.

- Raporlama ve Değerlendirme: 4D modelleme süreçlerindeki ilerlemelerin detaylı raporlaması gerçekleştirilerek olası gecikme durumları analiz edilmektedir ve bu durumların proje sürecine etkisine yönelik çözüm önerileri geliştirilebilmektir.

Bu aşamalar, BIM 4D modelleme sürecinde kullanılan temel aşamalardır ve projeye özel olarak belirlenen kriterler de ek olarak kullanılabilir. Projenin gereksinimlerine ve hedeflerine bağlı olarak, 4D modelleme süreci farklı kıstaslarla yönlendirilebilir.



Şekil 3-4. BIM Tabanlı 4D Zaman İnceleme.

3.5. 5D MODELLEME İLE MALİYET YÖNETİMİ

5D Modelleme süreci, 3 boyutlu modele zaman ve maliyet bilgilerinin entegrasyonu ile oluşur. Tasarım süreci içerisinde projeye eklenen bu verilerin, herhangi bir revizyon durumunda otomatik olarak değişerek metraj çıktısına ve dolayısıyla maliyet çıktısına etkisi öngörülebilir. Aşağıda, 5D modellemenin kriterleri olarak kabul edilebilecek özellikler listelenmiştir:

- Maliyet tahminleri: Projenin tüm yaşam döngüsü boyunca oluşabilecek maliyetleri tahmin edebilme ve veriyi tutabilme,

- Bütçe yönetimi: Süreçte kullanılan tüm verilerle ile bütçeyi verimli bir sistemle yönetebilme,

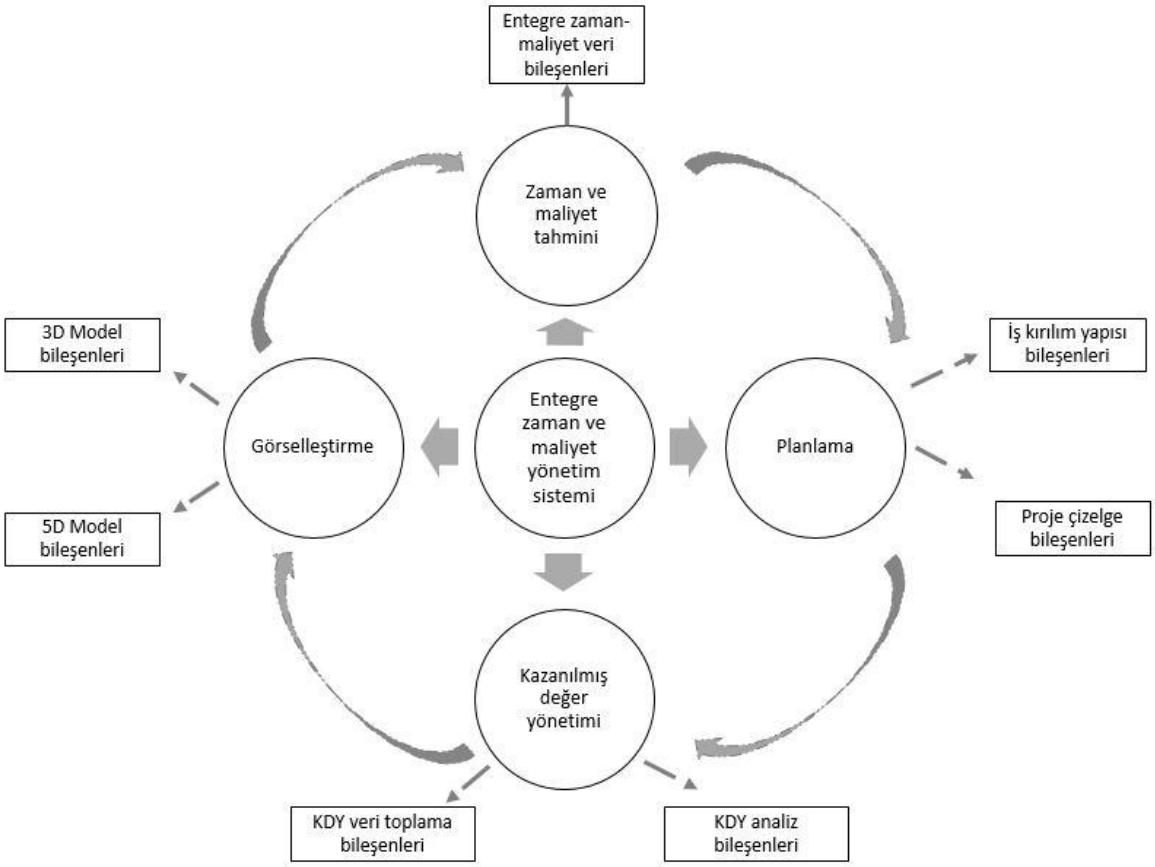
- Değişiklik yönetimi: Proje üzerinde yapılan tüm revizyonların bütçeye etkisini ve bedelini hesaplama,

- İhale yönetimi: İnşaat projelerinde kullanılan tedarik zinciri yönetimi ve malzeme yönetimi,

- Tedarik zinciri yönetimi: Malzemelerin zamanında tedarik edilmesi ve uygun fiyatlarla temin edilmesini sağlayan bir sistemdir.

5D modelleme, inşaat projelerinin maliyetlerinin yönetiminde büyük bir avantaj sağlar. Bu yöntem, projenin maliyetlerinin öngörülebilir hale gelmesini sağlar ve değişikliklerin maliyetler üzerindeki etkisini takip etmeye yardımcı olur. Bu sayede, proje yöneticileri, projenin bütçesini daha etkili bir şekilde yönetebilir ve inşaat projesindeki maliyetleri düşürme konusunda daha iyi bir kontrole sahip olurlar.

Bir BIM projesinde zaman ve maliyet entegrasyonunu Şekil 3-5'te olduğu gibi 4 aşamada özetlersek; görselleştirme özelliği ile 3D model bileşenleri ve 5D model bileşenleri projeye girilebilmektedir, proje çizelge bileşenleri ile iş kırılım yapısı bileşenleri girilerek bir planlama evresi oluşmaktadır. Ayrıca model bileşenlerinin entegrasyonu ile zaman ve maliyet tahmini özellikleri aktif olarak kullanılmaktadır. Kazanılmış değer yöntemi olarak adlandırılan veri bileşenlerinin analizi ile bir değer analizi yapabilmek mümkündür.



Şekil 3-5. BIM Tabanlı Projelerde Zaman ve Maliyet Entegrasyonu Yaşam Döngüsü.

4. BULGULAR

BIM; inşaat sektöründe geleneksel inşa yöntemlerinden farklı olarak dijital ortamda tüm paydaşların tek platformda koordineli bir 3D modelleme yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Bilgilerin ortak bir veri paylaşımında yönetilmesi, projelerin yaşam döngüsünü önemli ölçüde etkilemektedir. Paydaşlar arasında ortak iletişim ile revizyonlar güncel tutularak projenin erken aşamalarında efektif çözümler üretilebilmektedir. Buna ek olarak 3D modele zaman parametresi ve ilgili aktiviteler eklenerek iş programı model ile entegre olabilmektedir. Bu sayede 4D model olarak adlandırılan inşa sürecinin yapım, bakım, yenileme, güçlendirme vb. aşamaları ile faz planlama sürecine girilebilmektedir. Her revizyonda dinamik olarak değişen parametik metraj çıktısı ve maliyet tahmini gibi bilgi yönetimleri de 5D modelleme aşamalarında bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında BIM kullanımının 4D ve 5D modellemelerin proje üzerinde nasıl etkileri olduğu incelenmiştir. BIM'in sağladığı faydaların, zaman ve maliyet kapsamında incelenmesinin inşaat sektörü açısından önemi örnek bir proje üzerinden anlatılmıştır. Proje sürelerinin zaman aşımına uğramadan tamamlanması, süreç boyunca maliyetlerin aşımının minimize edilmesi ve paydaşların ortak platformda çalışmasının iletişim ve işbirliği açısından projenin verimliliğine olan etkilerini anlatmak tezin ana hedeflerinden biri olmuştur.

4.1. BIM UYGULAMASI: ÖRNEK BİR METRO PROJESİ İNCELEME

Yapı sektöründe en karmaşık ve birçok kalemi içinde barındıran raylı sistem projelerinin efektif bir bir sonuç alabilmesi önemli süreç adımlarını izlemekten geçmektedir. Bu adımları gerçekleştirme amacı BIM süreçlerinin raylı sistem ile entegre olmasını kaçınılmaz hale getirmektedir. Bu tez çalışmasının amacına ulaşması için İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistemler Daire Başkanlığı Anadolu Yakası Raylı Sistemler Şube Müdürlüğü İdaresinde olan bir metro projesi üzerinde vaka olay incelemesi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Gerekli izin yazıları tezde ‘Kurum İzin Yazıları’ başlığı altında ek olarak belirtilmiştir. Bu kapsamda projeden sorumlu idare, danışman ve yüklenici firmalardan BIM süreçlerinden sorumlu ilgili personellerle görüşmeler gerçekleştirilmiştir ve proje ilgili modelleri incelenmiştir. Bu inceleme üç aşamada gerçekleşmiştir:

İlk aşamada söz konusu örnek raylı sistem projesinde uygulanan sözleşme gereği uygulanmakta olan BIM süreçlerinin kapsam ve işleyiş prosedürlerini belirten BIM Uygulama Planı incelenmiştir. Genel kapsam ve gereklilikler detaylı bir şekilde BUP'ta verilmiştir. Öte yandan proje aşamasına göre gereklilikler ve prosedürler proje yaşam döngüsü boyunca ihtiyaç duyulması halinde tüm paydaşlar ile mutabık kullanılarak değişebilmekte ve yeni gereklilikler ile güncellenmeler gerekebilmektedir. Bu sebeple projede, uygulama planı projenin tüm aşamalarında gerekli görüldüğünde revizyonlarla güncel olması sağlanmaktadır. Vaka çalışmasının ikinci aşamada, modellerin ve proje verilerinin paylaşımının, işlenmesinin, incelenmesinin, iş akışlarının yapıldığı ortak veri paylaşım platformlarının süreçteki rolü ve etkisi incelenmiştir

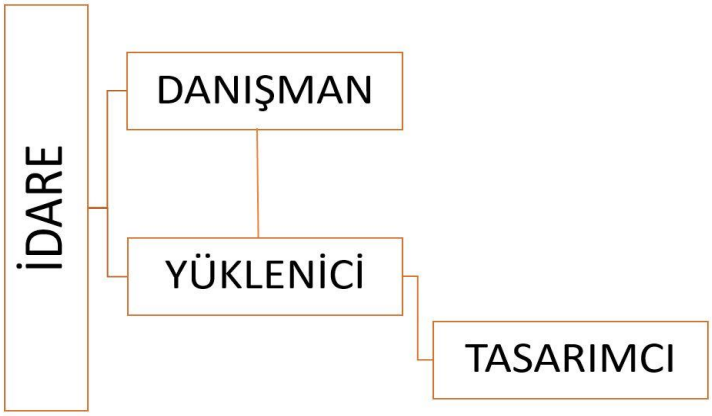
Üçüncü aşamada, projedeki BIM ile tüm disiplinlerde 3D modellerin Revit üzerinden tasarımı, 4D modeller ve MS Project kullanılarak hazırlanan proje iş programı ve oluşturulan 5D modeller ile metraj ve maliyet hesapları incelenmiştir. Proje 4D modelleri Navisworks yazılımı kullanılarak oluşturulmakta ve ilerlemelere yönelik faz planlama modelleri oluşturulmaktadır. Disiplin bazında oluşturulan modellerde ilgili elemanların metrajı alınabilmektedir. 3B koordinasyon için disiplin bazında oluşturulan modeller Navisworks yazılımı kullanılarak birleştirilerek istasyon bazında BIM Koordinasyon modelleri oluşturulmaktadır. Bu koordinasyon modelleri çakışma testlerine tabi tutularak tasarımdaki hatalar tespit edilmekte ve tasarım iyileştirilerek sahada imalat aşamasına geçilmeden önce olası hatalar düzeltilmektedir. Bu süreç imalat hatalarını öngörerek proje için önemli zaman ve maliyet kayıplarını engellenmektedir. Yine örnek projede test edilen çakışma analizleri üzerinden revizyonların sürece olan etkisi 4.1.6 bölümünde anlatılmıştır.

4.1.1. Proje Bilgileri

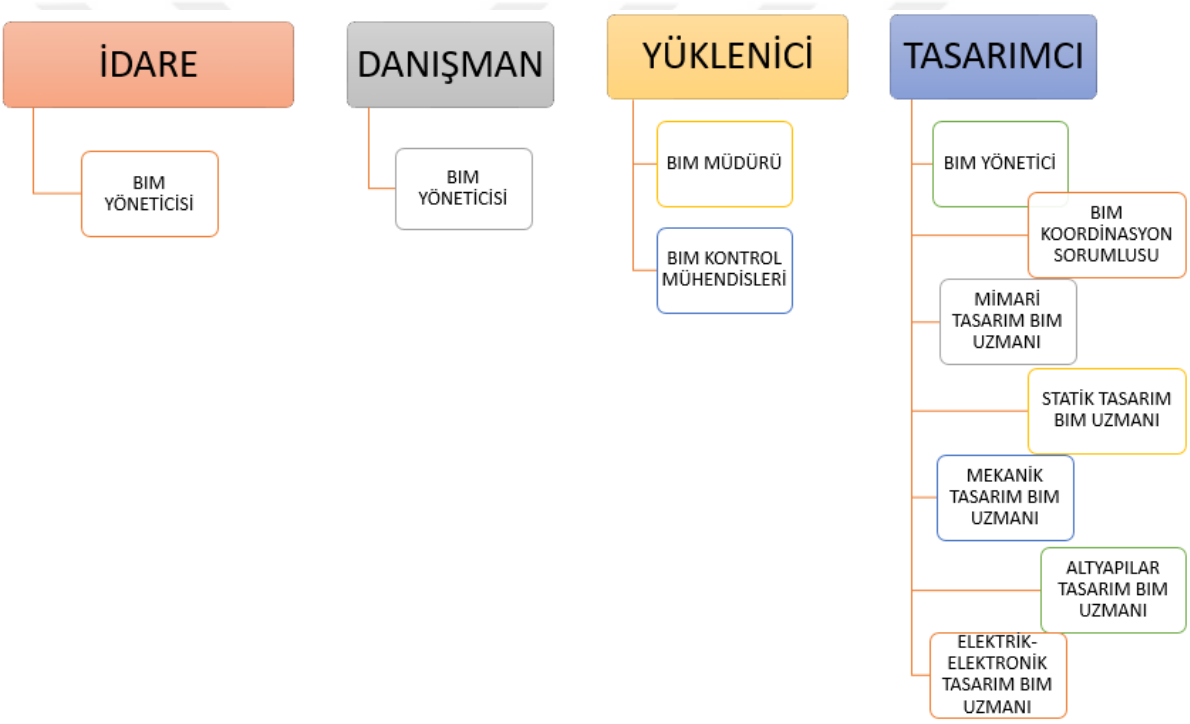
Örnek Metro Hattı, 11 adet istasyonu ile tren parklanma alanları, geçiş tünelleri ve makasları bulunan 13 km güzergâh uzunluğunda olup inşaat ve elektromekanik Sistemler temin, montaj ve işletmeye alma işleri kapsamaktadır.

4.1.2. Roller ve Sorumluluklar

İdare, danışman, yüklenici ve tasarımcıdan oluşan paydaşlar projenin tüm yaşam döngüsünde planlanan iş programı dâhilinde süreç boyunca BIM metodolojisine uygun multidisipliner bir performans sergilemektedirler. Metro Projesi'ne ait organizasyon şeması ve sorumlular listesi Şekil 4-1 ve Şekil 4-2' deki gibidir.



Şekil 4-1. Metro Projesi Organizasyon Şeması.



Şekil 4-2 Metro Projesi BIM Ekip Listeleri.

4.1.3. BIM Uygulama Planı

Uygulama planında proje kapsamında "The Pennsylvania State University" tarafından hazırlanan "BIM Project Execution Planning Guide V2.2" rehber kaynak olarak alınmıştır. 'BIM Hedefleri ve Potansiyel BIM Kullanımları' başlığı altında projenin verimlilik ve kalite artırımı amaçlı tüm disiplinleri barındıran akıllı bir model ile koordinasyon sağlanması amacıyla bazı tasarım aşamaları listelenmiştir. Bunlar:

- Tasarımın oluşturulması,
- Tasarım dokümanlarının oluşturulması,
- 3D koordinasyon
- Mevcut durum modellemesidir.

Oluşturulan model üzerinden idarece belirlenen iş kalemleri baz alınarak metraj listelerinin oluşturulmaktadır. Aynı zamanda proje kapsamında aktiviteler listelenerek, model entegrasyonu sağlanması hedefi ile faz planlaması yapılmaktadır. Faz planı ile model üzerinden planlama yapılarak aynı zamanda ilerlemeler takip edilmektedir. Yine BIM kullanımı yapım aşamalarından şantiye mobilizasyonu sağlanmakta ve yapım sistemi tasarımı gerçekleştirilmektedir.

Mevcut durumlar As-Built proje olarak BIM modellinde güncel bilgiler 'Kayıt Model' olarak hazırlanmaktadır. Hazırlanan BIM modeli bakım-işletme safhasında kullanıma hazır hale gelir. Uygulama planında tasarım ve yapım sürecine ait BIM kullanımı süreçlerini kapsamaktadır. İlerleyen aşamalarda işletme ve bakım süreçleri detaylandırılarak gerekli çalışmalarda bulunulması hedeflenmektedir. Modellerin iş programına bağlanması ve metraj bilgilerinin çekilerek birim fiyatlara göre değerlendirilmesi onaylı kesin projelerden sonra başlanması planlanmaktadır.

BIM yöneticileri; projenin BIM uygulamaları boyunca süreç yönetimi koordinasyon toplantıları organizasyonu, BUP dokuman geliştirme süreci, ISO 19650-1:2018 ve ISO 19650-2-2018 standardına uygun şekilde veri yönetimi, BIM süreci kapsamında modellerin kalite kontrolü, sunulan tüm modellere ait model değişkenlerinin, akıllı nesnelerin şartnameye uygunluğunun denetimi, saha ilerlemelerinin modele işlenmesi koordinasyonu, 4D kapsamında modellere saha ilerlemesine göre girilmiş iş programı kontrolü, çakışma testleri analiz ve raporları gibi süreç boyunca güncellenebilmekte olan aşağıdaki Tablo 4.1. verilen sorumluluklara sahiptir.

Tablo 4-1. Projedeki Tüm Paydaşların BIM Yöneticileri Sorumluluk Listesi.

Paydaşlar	Yetkililer	Sorumluluklar
Yüklenici	**BIM Müdürü**	BIM süreci standartlarının oluşturulması ve takibi BUP hazırlanma, doküman güncelleme ve geliştirme sürecinin yönetimi BIM koordinasyon toplantılarının organize edilmesi BIM'in uygulanmasının başlatılmasına yönelik süreç yönetimi Disiplinlerarası koordinasyon sağlanması ve takip edilmesi Saha bilgilerinin modele işlenmesinin yönetimi Planlama yazılımı ve faz planlama yazılımı arasında entegrasyonun kontrolü Modellerin BIM süreci açısından kalitesinin kontrolü Hazırlanan Faz Planlama Modelleri (4B BIM modelleri) ile güncel proje durumunun raporlanması İstasyon bazlı iş programının ve Faz Planlama (4B) simülasyonlarının hazırlanarak koordinasyon toplantıları öncesinde sunulması 3 Aylık periyotlarla "BIM Faaliyet Raporu'nun sunulması
	BIM Kontrol Mühendisleri	Tasarım ve modelleme faaliyetlerinin kontrolü BIM modellerinin kontrolü ve şartnameye uygunluğunun denetimi Akıllı nesne kütüphanesinin ve akıllı nesne parametrelerinin şartnameye uygunluğunun denetimi Model ve elemanların kodlama sistemi standartlarına uygunluğunun takip edilmesi Disiplin içi ve disiplinlerarası çakışmaların model üzerinden kontrol edilmesi Model üzerinden oluşturulan metraj listelerinin uygunluğunun denetimi

Tablo 4-1 (devam):

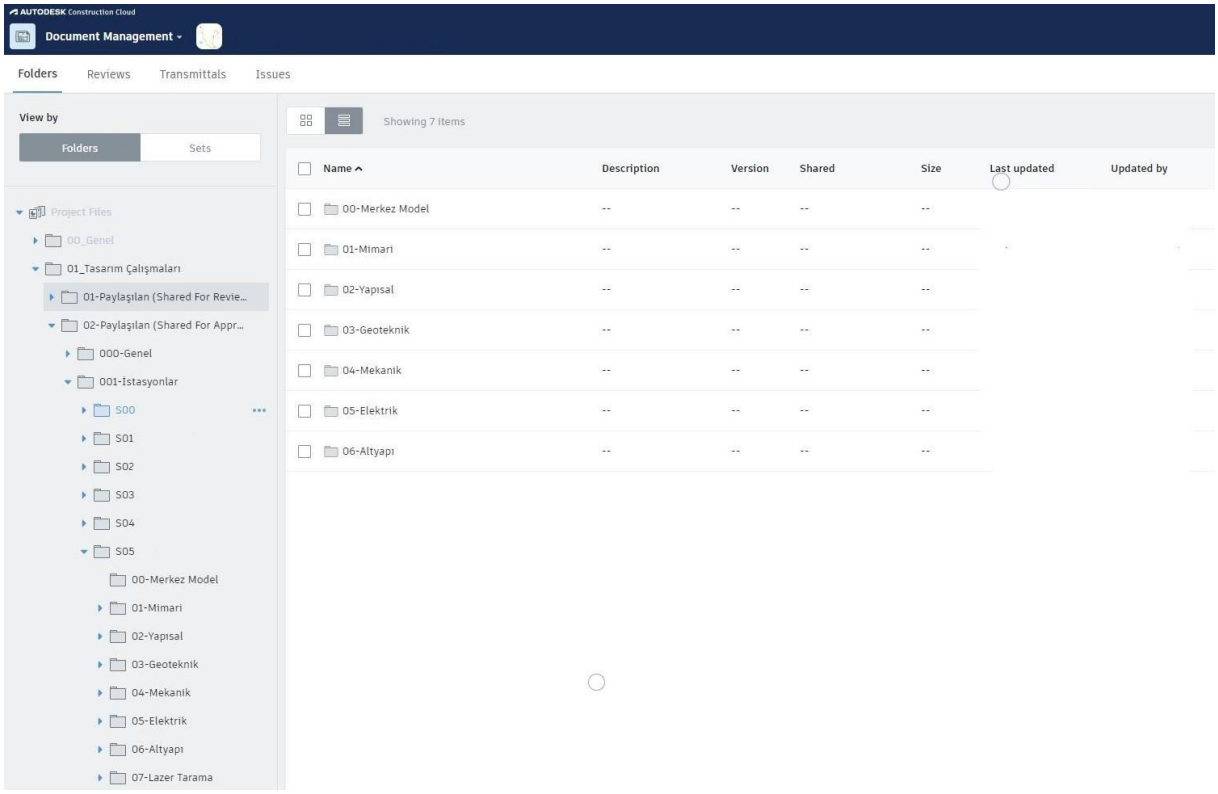
Tasarımcı	**BIM Yöneticisi**	Proje BIM standartlarının oluşturulması, güncellenmesi ve takip edilmesi BIM Uygulama Planının hazırlanması, güncellenmesi ve kontrol edilmesi Disiplinlerarası koordinasyonunun sağlanması ve takip edilmesi Modellerin modelleme kalitesinin kontrol edilmesi Disiplinlerarası çakışma analizi raporlarının kontrolü 3B Model üzerinden, 2B çizimlerin üretim süreçlerinin yönetilmesi Nesne kütüphanesinin yönetimi
	BIM Koordinasyon Sorumlusu	BIM Uygulama Planının hazırlanması, güncellenmesi ve kontrol edilmesi Farklı disiplinlerce hazırlanmış olan modellerin birleştirilmesi Birleştirilmiş model üzerinden çakışma testlerinin gerçekleştirilmesi Disiplinlerarası çakışma analizi raporlarının oluşturulması Disiplinlerarası çakışma analizi raporlarının kontrolü ve dağıtımı Nesne kütüphanesinin yönetimi Planlama yazılımı ve faz planlama yazılımı arasında entegrasyonun yapılması
	Mimari-Statik-Mekanik-Elektrik Elektronik-Altyapı BIM Uzmanları	Her disiplinin disiplin içi tasarım ve modelleme faaliyetlerinin yürütülmesi Disiplin içi BIM modellerinin yönetimi Model üzerinden metraj listeleri oluşturulması ve kontrolü Model ve elemanların kodlama sistemi standartlarına uygunluğunun takip edilmesi Disiplin içi çakışmaların kontrol edilmesi ve gerekli düzeltmelerin gerçekleştirilmesi

Tablo 4-1 (devam):

İdare-Danışman	**BIM Yöneticileri**	BIM'in uygulanmasının başlatılmasına yönelik süreç yönetimi BIM Uygulama Planı dokümanı geliştirme sürecinin yönetimi ISO 19650-1:2018 ve ISO 19650-2-2018 standardına uygun şekilde veri yönetimi Ortak Veri Ortamı Protokolü dokümanı geliştirme sürecinin yönetimi Modellerin BIM süreci açısından kalitesinin kontrolü Sunulan tüm modellerin, model parametrelerinin, akıllı nesnelerin şartnameye uygunluğunun denetlenmesi İş programının kontrolü ve takip edilmesi Saha bilgilerinin modele işlenmesinin yönetimi BIM koordinasyon toplantılarının organize edilmesi
	BIM Kontrol Mühendisleri	Tasarım ve modelleme faaliyetlerinin kontrolü BIM modellerinin kontrolü ve şartnameye uygunluğunun denetimi Akıllı nesne kütüphanesinin ve akıllı nesne parametrelerinin şartnameye uygunluğunun denetimi Model ve elemanların kodlama sistemi standartlarına uygunluğunun takip edilmesi Disiplin içi ve disiplinlerarası çakışmaların model üzerinden kontrol edilmesi Model üzerinden oluşturulan metraj listelerinin uygunluğunun denetimi

4.1.4. Ortak Veri Paylaşım

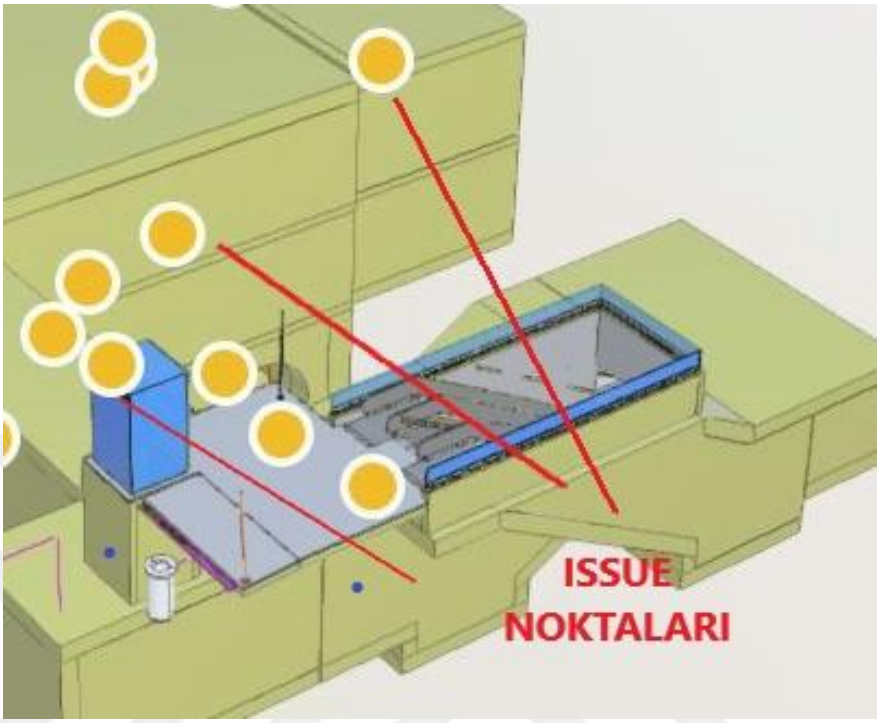
Tezin hedefini gerçekleştirmede en önemli etkenlerden olan ortak veri paylaşım platformları olay incelemesinde üzerinde durulan ikinci aşama olmuştur. Projeye ait tüm disiplinlere ilişkin çalışmaların tek platformda işlenmesi koordinasyonu önemli ölçüde artırarak sahada uygulanma potansiyeli olan hataların tasarım esnasında önüne geçilmesini sağlar. Bu kapsamda EDMS ve BIM360 yazılımları kullanılarak süreç optimize edilmiştir. EDMS (Electronic Document Management System/Software), elektronik ortamda dokümanların tutulmasını ve yönetilmesini sağlayan bir sistemdir. Bir diğer bulut sistemi BIM360, Şekil 4-3.' te görüldüğü gibi farklı disiplinlerin tek bir modelde çalışma imkânı sağlamaktadır.



Şekil 4-3. BIM360 Tüm Disiplinlerin Ortak Veri Paylaşım Yazılımı.

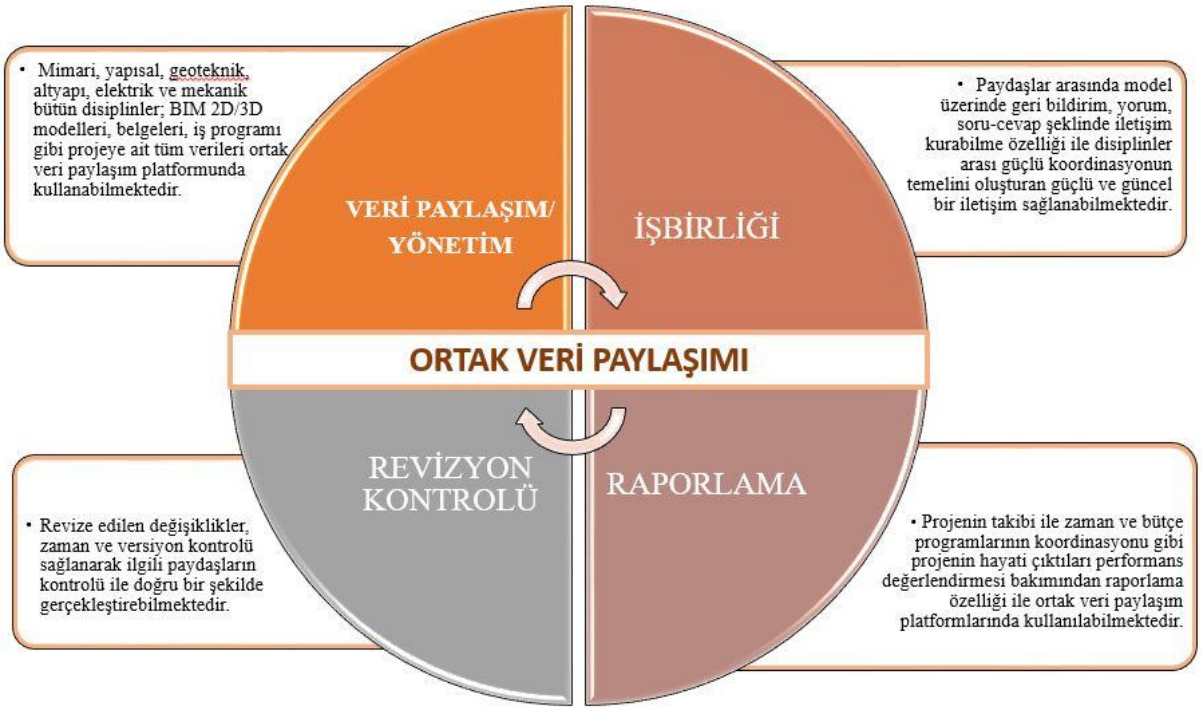
Veri paylaşımın ortak model üzerinde olması, tasarımcı, yüklenici, danışman ve idare arasında revizyonlar ve kontrol açısından oldukça efektif olmaktadır. Tasarımcıdan yükleniciye gelen disiplinler arası koordinasyon modelinde Şekil 4-4'te görülen 'issue' lar tanınarak gerekli değişikliklerin yapılması için 'Issue Management (Problem Yönetimi)' süreci boyunca geri bildirimler yapılabilmektedir. Bu sayede çakışmaları değerlendirip son tarihe kadar ilerlemeler ve revizyonlar sağlanmaktadır. Örneğin, bulut sistem ile ortak veri paylaşım sistemi ile istasyon

yapılarının sahada imalat sürecine başlanmadan geoteknik modeller ve altyapı modellerinin etkileşimine bakılarak deplase projeleri hazırlanabilme olanağı olmaktadır.



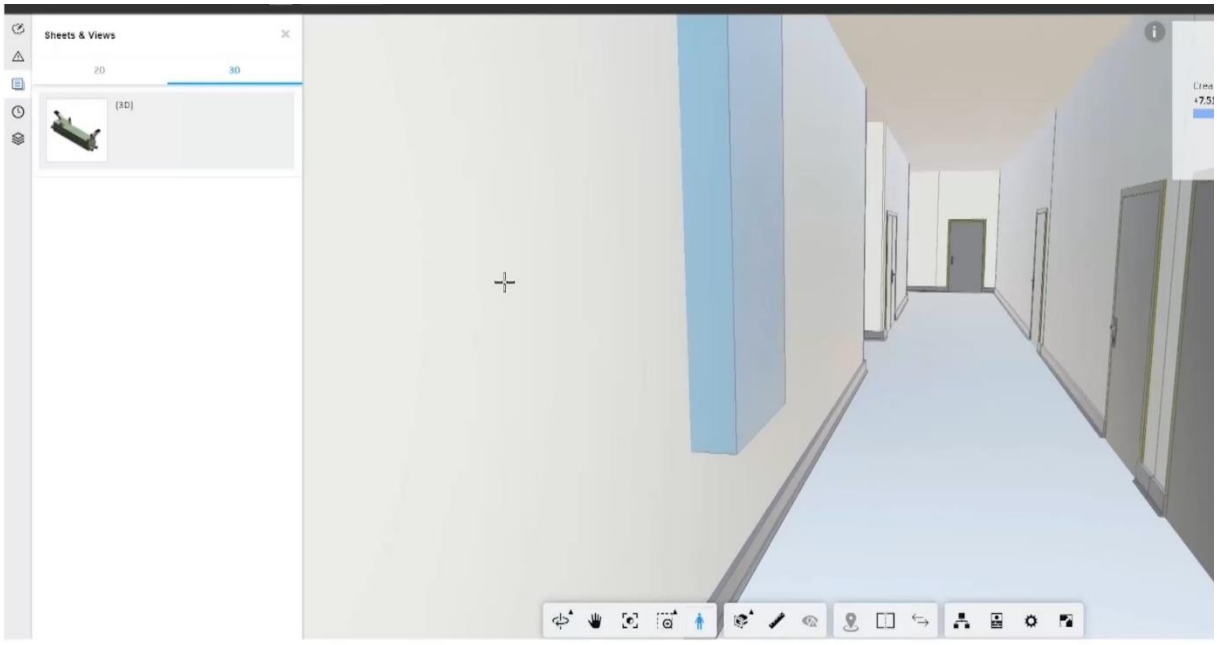
Şekil 4-4. Koordinasyon Modelinde Çakışma Tespitleri

Projelerde farklı disiplinlerdeki paydaşlar, ortak çalışmayla daha verimli bir koordinasyon sistemi kurmayı sağlayabilmektedirler. Güncel veri paylaşımları ile projenin yaşam döngüsü boyunca ortak bir dijital platformda veri bütünlüğü sağlanır. Bu sayede iyi bir planlama ve yönetimle zaman ve maliyet kontrolü doğru sağlanarak iyi bir proje performans süreci gerçekleştirilmektedir. Bu ortak veri paylaşım platformları ile projenin süreç başlıkları aşağıdaki Şekil 4-5'teki gibi olmaktadır.



Şekil 4-5. Ortak Veri Paylaşım Süreçleri

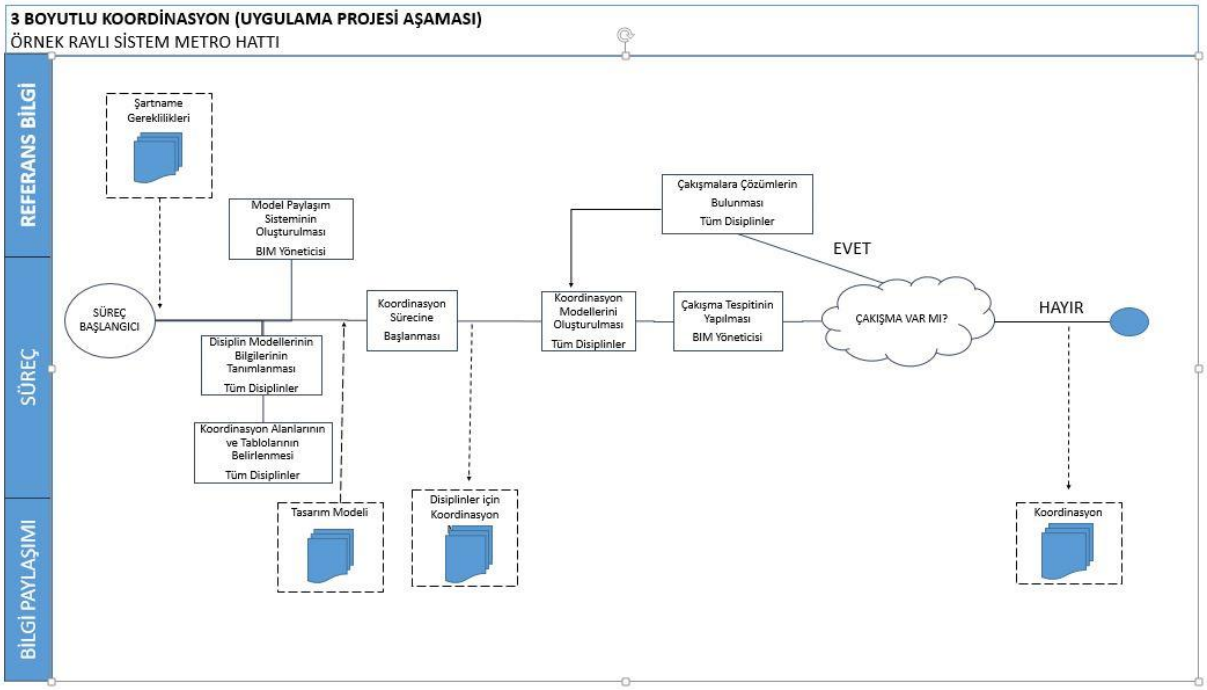
Bu ortak veri paylaşımının en önemli özelliklerinden biri de diğer BIM yazılımlarda da olan Şekil 4-6'daki Walkthrough özelliğidir. Bu işlevle sanal modelde gerçek zamanlı gezinme özelliği sağlanabilmektedir. Bu özellik sayesinde herhangi bir çakışma sanal yürüyüş esnasında görünebilir ve bakış açıları oluşturulabilmektedir.



Şekil 4-6 BIM360 Walk

4.1.5. 3D Koordinasyon Modellerinin Oluşturulması

BIM projelerinde, bütün disiplinler (mimarlık, yapısal mühendislik, mekanik mühendislik, elektrik mühendisliği vb.) kendi içinde bileşenlerini 3 boyutlu olarak bilgiyi de dâhil ederek modelleyebilmektedir. Çakışmaların tespit edilmesi ve analizi için ilk olarak 3D koordinasyon modellerinin doğru yerleştirilmesi ve anlaşılır olması oldukça önemlidir. Raylı Sistem Metro hattı uygulama projesi aşamasında 3 boyutlu koordinasyon modelleri oluşturulması şablonu Şekil 4-7'de görülmektedir.

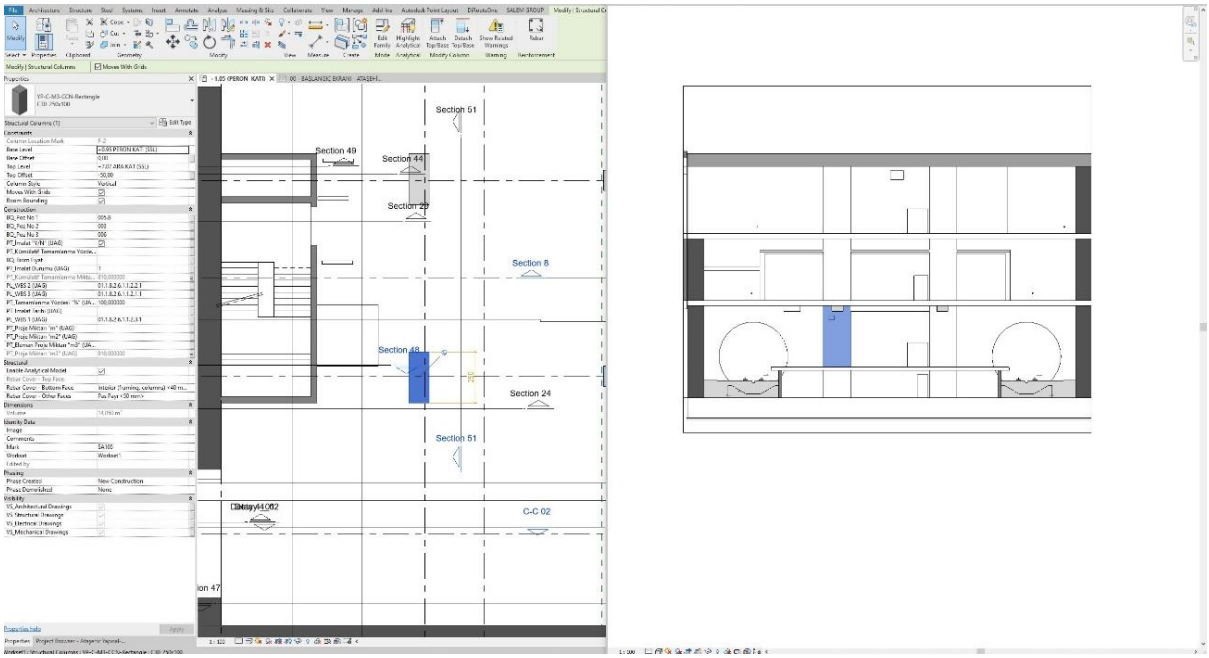


Şekil 4-7. Metro Hattı 3 Boyutlu Koordinasyon Modellemesi Uygulama Projesi Aşaması

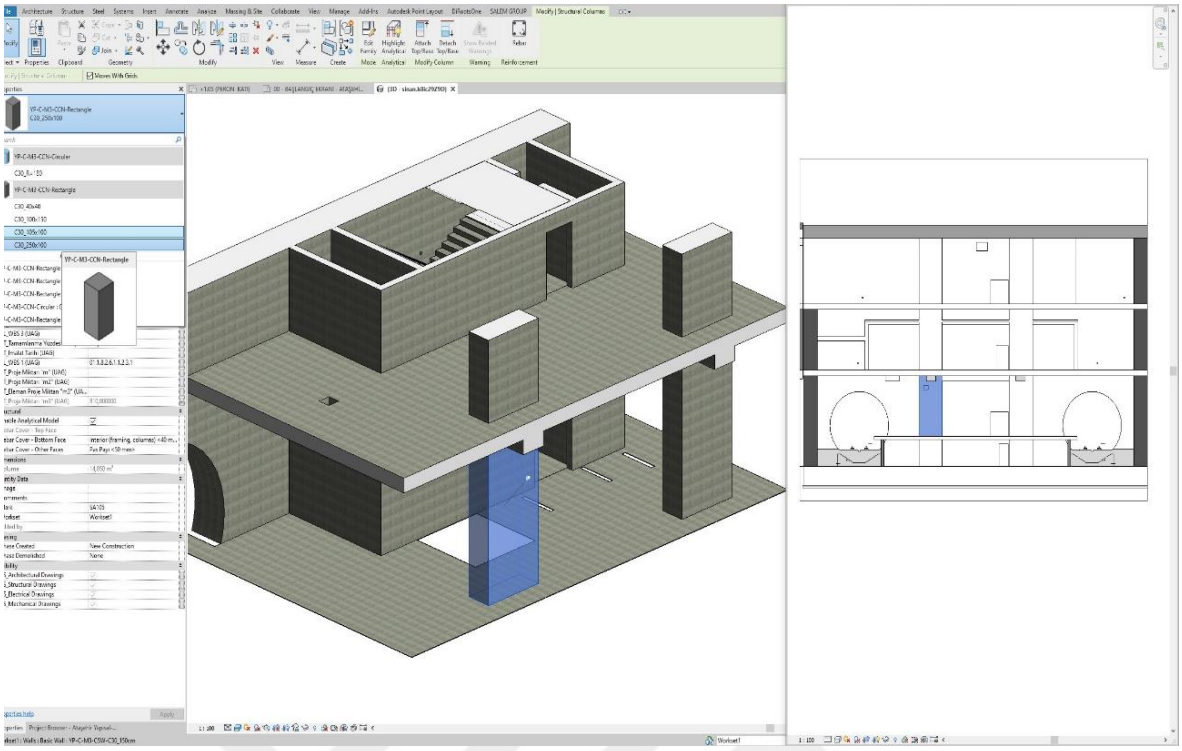
2D modeller, nesnelerine parametrik olarak her nesnenin fiziksel özellikleri, kat seviyesi, malzeme, poz bilgisi gibi bilgileri içermektedir. Revit BIM modellerinde nesneler, çeşitli bilgilere kadar tanımlanabilir. Bu bilgiler, nesnenin özelliklerine ve kullanım amaçlarına bağlıdır. Örneğin, bir duvar nesnesi, yüksekliği, kalınlığı, malzeme tipi, yerleşim planındaki konumu gibi özelliklere sahip olabilir. Bir pencere nesnesi ise genişliği, yüksekliği, çerçeve malzemesi, cam tipi gibi özelliklere sahip olabilir. Bunun yanı sıra, nesnelerin ayrıntılı geometrik bilgileri de modellerde yer alabilir.

Örneğin, bir kapı nesnesinin boyutları, açılma yönü, menteşe konumları, kilit mekanizması gibi ayrıntıları da modellerde tanımlanabilir. Ayrıca, nesnelerin maliyetleri, enerji tüketimleri, yapısal özellikleri gibi bilgiler de Revit modellerinde yer alabilir. Bu bilgiler, projenin bütçe ve

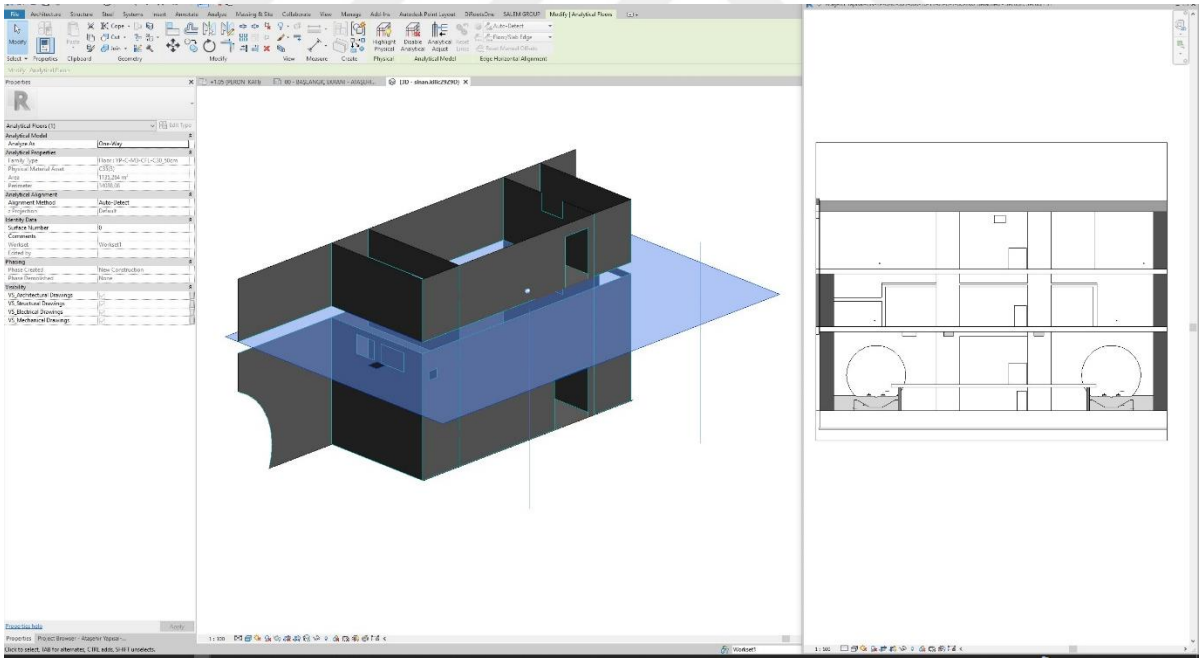
performans hedefleri gibi faktörleri de dikkate alarak, nesnelerin daha etkili bir şekilde tasarlanmasına olanak sağlayabilir. Şekil 4-8 metro projesinden bir istasyona ait iki boyutlu olarak bir plan çizimi kesit ve görünüşü göstermektedir. Ayrıca bir kolona ait özellikler sekmesinde de ne kadar bilgi girilebildiği görülmektedir. Bu kolonun da hem planda hem kesitte incelemesi de yapılabilmektedir. Şekil 4-9 aynı kolonun 3D görünüşü ve Şekil 4-10 herhangi bir kattan kesitini içermektedir.



Şekil 4-8. 2D İstasyon Çizim ve Kesit Görüntüsü



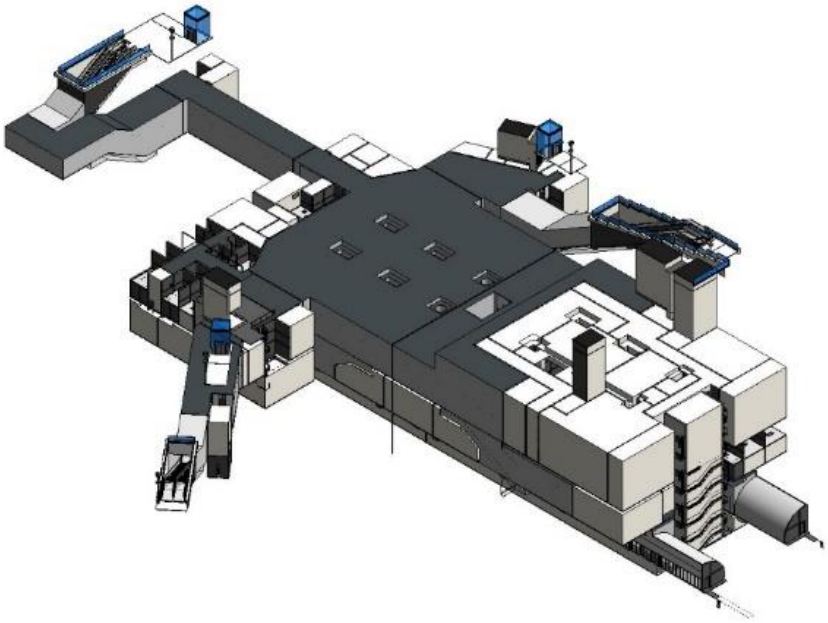
Şekil 4-9 Revit 3D Görünüşü



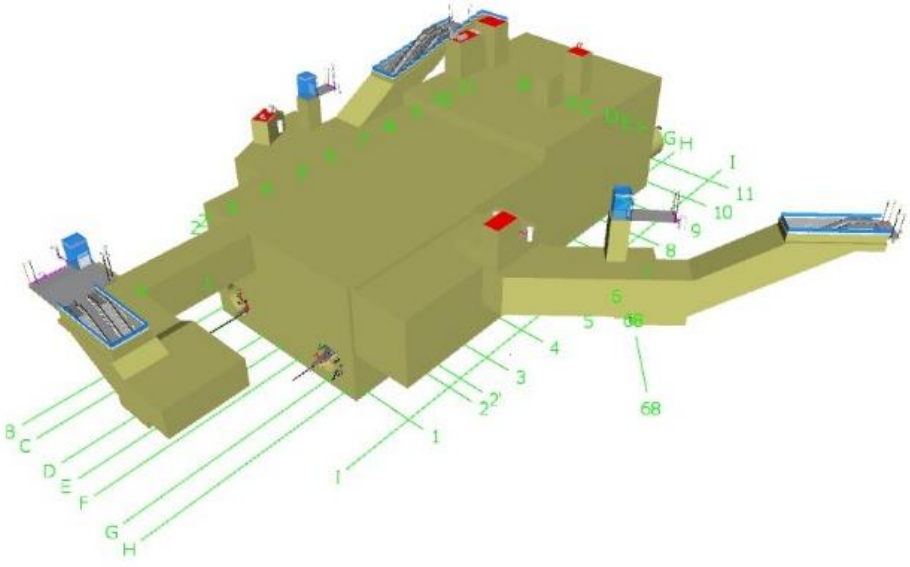
Şekil 4-10 Kot Kesit Görüntüsü.

Mühendislerin yapısal, mekanik, elektrik gibi disiplinler içinde kendi bileşenlerini Revit gibi 3D modelleme yazılımlarda standart ve kurallara uygun modelleyebilmektedir. Disiplinlerarası entegrasyon denilen birleşim modelleri ile modeller arasında bilgi akışı ve veri koordinasyonu sağlanabilmektedir. Bileşenler arasındaki iyi entegrasyon, doğru bir koordinasyon modeli

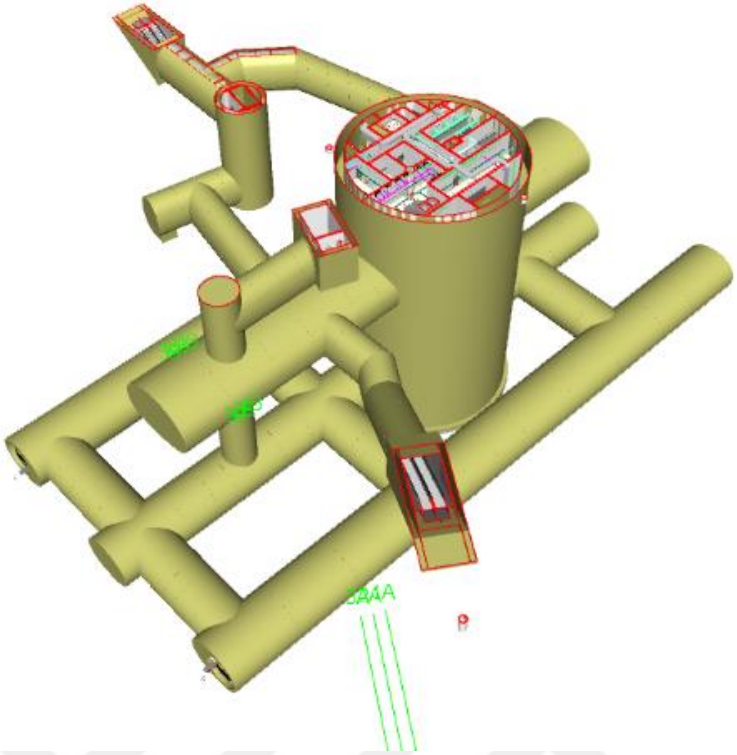
oluşturulması demektir. Bu kapsamda hazırlanan BIM istasyon modelleri Şekil 4-11, Navisworks koordinasyon modelleri ve kesitleri Şekil 4-12, Şekil 4-13, Şekil 4-14 ve Şekil 4-15'te görülmektedir.



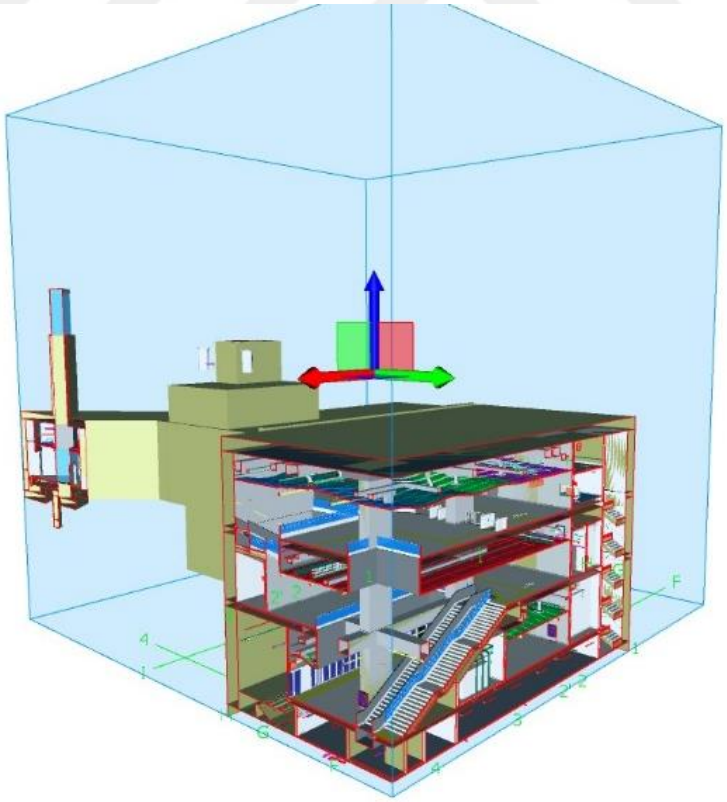
Şekil 4-11 İstasyon Revit 3D Model.



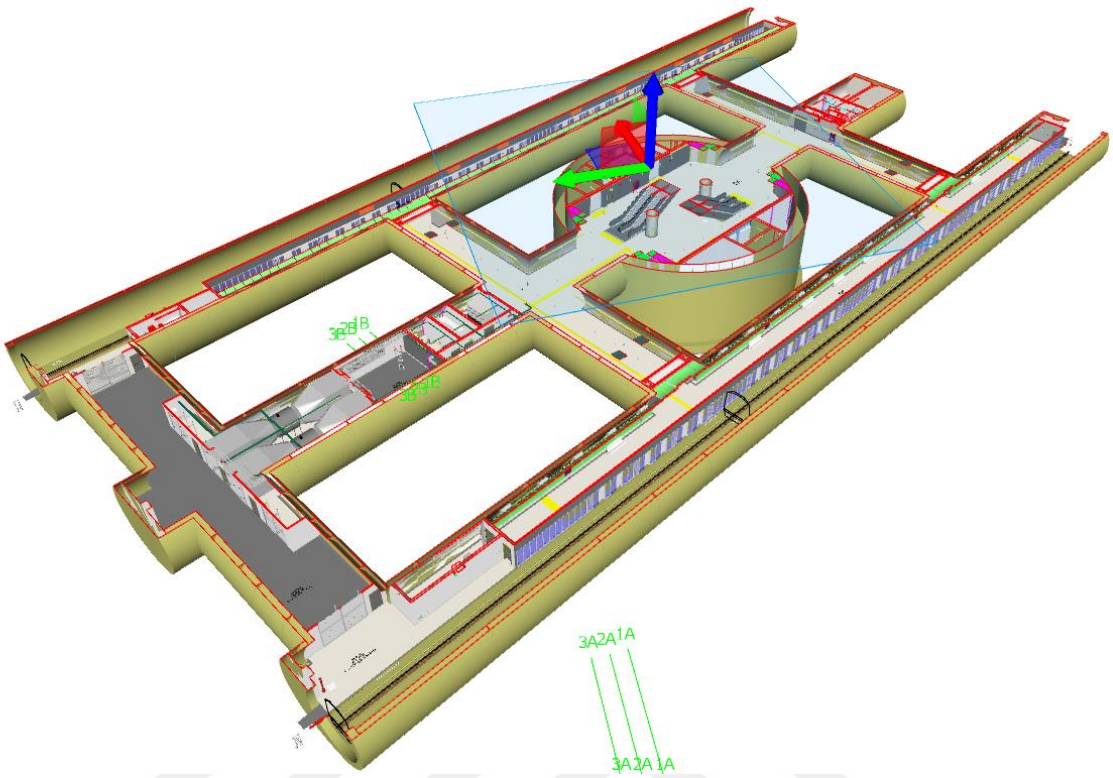
Şekil 4-12 Navisworks Koordinasyon Modeli.



Şekil 4-13 İstasyon Koordinasyon Modeli.



Şekil 4-14 Koordinasyon Modeli Kesiti.



Şekil 4-15 Koordinasyon Modeli Üstten Kesiti.

4.1.6. Çakışma Kontrolü

Ortak bir veri tabanında tüm paydaşların erişilebilirliği sağlanarak 3 boyutlu koordinasyon modelleri oluşturuldu. Diğer adımda yapıya ait tüm elemanlar içerisinde çakışan unsurların tespit edilmesi için model, Revit ile entegre olan Autodesk Navisworks yazılımına aktarılmaktadır.

Navisworks'ün, Navisworks Freedom, Navisworks Simulate ve Naviswork Manage olmak üzere 3 farklı ürünü bulunmaktadır. Navisworks Manage, yalnızca 4 boyutlu modelleme özellikleri içeren Navisworks Simulate'in aksine, 4B modelleme ve çakışma tespiti için tüm özellikleri içerir. Bu projede 3 üründe kullanılmıştır.

Navisworks Simulate yalnızca 4 boyutlu modelleme niteliklerini içerirken Naviswork Manage 4D modelleme ve çakışma analizleri yapabilme özelliklerine sahiptir. Ayrıca çakışma tespiti, projenin zaman çizelgesiyle entegrasyonu sonucu koordinasyon ve görselleştirme özellikleri model üzerinde değişikliklere otomatik revize edilebilmektedir. Navisworks, 3 farklı dosya

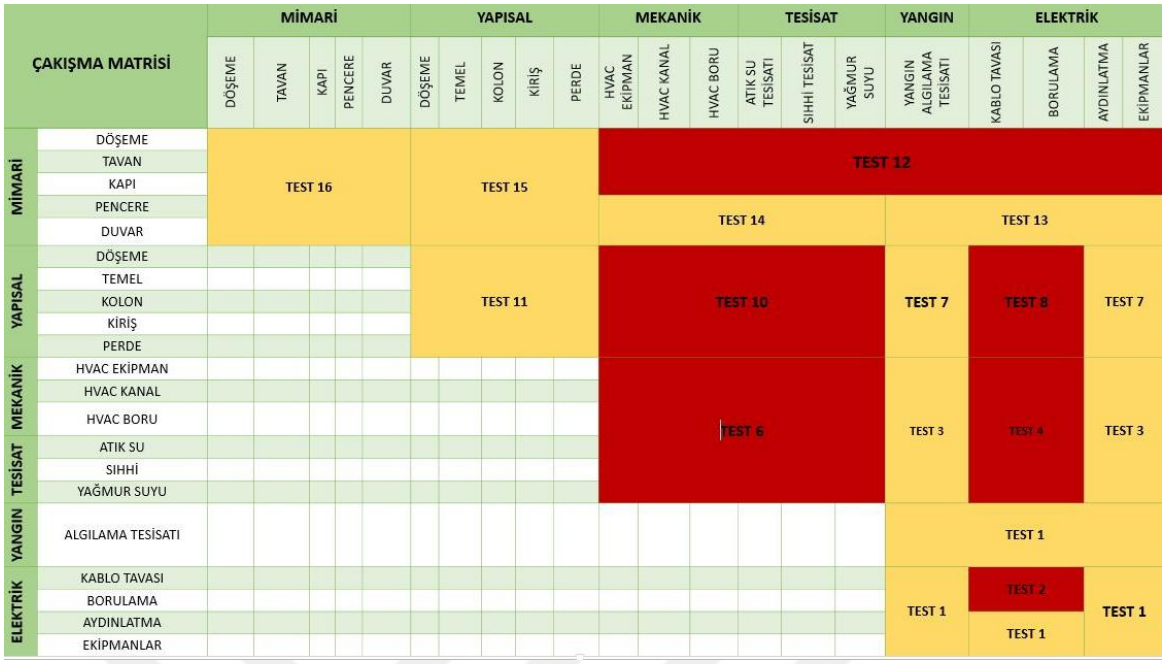
formatı içermektedir. Bunlar; Revit ile içe aktarım yapılabilecek NWC Navisworks Cache File), referans dosyası niteliği taşıyan NWF (Navisworks File Set) ve tüm ekiplerle ortak çalışabilmek için paylaşım yapılan NWD (Navisworks Document File) olarak ayrılmaktadır.

Özetle, ilk olarak Revit' ten dışa aktarılıp Navisworks formatına gelen dosyanın NWD ve ya NWF formatında dosyası oluşturulma işlemi tamamlanmaktadır. Modelde çakışabilecek kritik unsurları (elektrik, mekanik, yapısal vs.) belirledikten sonra hazır setler oluşturulmuştur. Tablo 4-2'de listelenen arama setleri (search set) modeller içerisinde bulunan elemanların parametreleri kullanarak seçilmesini sağlamaktadır.

Tablo 4-2. Çakılma Testi Set Bileşenleri.

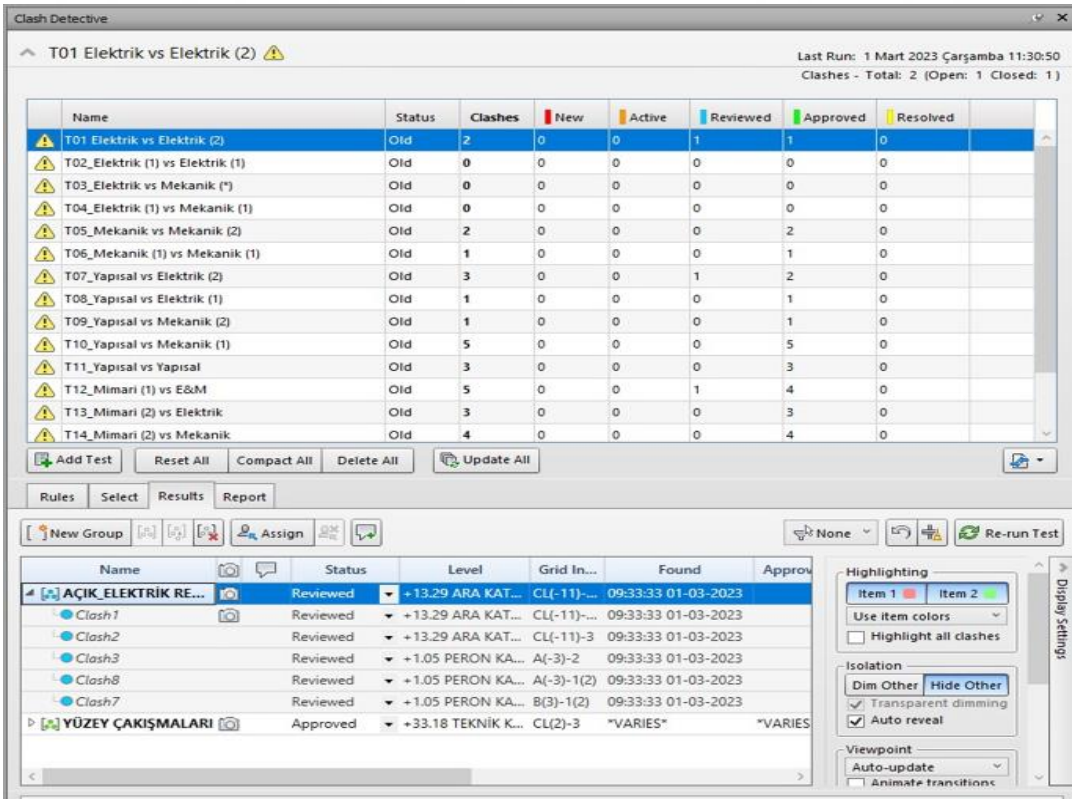
Set A	Set B	Çakışma Testi Adı
Elektrik	Elektrik	Test 01- Elektrik vs Elektrik
Elektrik 1	Elektrik 1	Test 02- Elektrik 1 vs Elektrik 1
Elektrik	Mekanik	Test 03- Elektrik vs Mekanik
Elektrik 1	Mekanik 1	Test 04- Elektrik 1 vs Mekanik 1
Mekanik	Mekanik	Test 05- Mekanik vs Mekanik
Mekanik 1	Mekanik 1	Test 06- Mekanik 1 vs Mekanik 1
Elektrik 2	Yapısal	Test 07- Elektrik 2 vs Yapısal
Elektrik 1	Yapısal	Test 08- Elektrik 1 vs Yapısal
Mekanik 2	Yapısal	Test 09- Mekanik 2 vs Yapısal
Mekanik 1	Yapısal	Test 10- Mekanik 1 vs Yapısal
Yapısal	Yapısal	Test 11- Yapısal vs Yapısal
Elektrik-Mekanik	Mimari 1	Test 12- Elektrik-Mekanik vs Mimari 1
Elektrik	Mimari 2	Test 13- Elektrik vs Mimari 2
Mekanik	Mimari 2	Test 14- Mekanik vs Mimari 2
Yapısal	Mimari	Test 15- Yapısal vs Mimari
Mimari	Mimari	Test 16- Mimari vs Mimari

Daha sonra Clash Detective paneli açılır ve New Clash Test ile başlanır. Arama setleri içerisinde bulunan elamanları ilgili test ve grup altında Şekil 4-16.'da görüldüğü gibi çakışma matrisleri oluşturulabilmektedir.



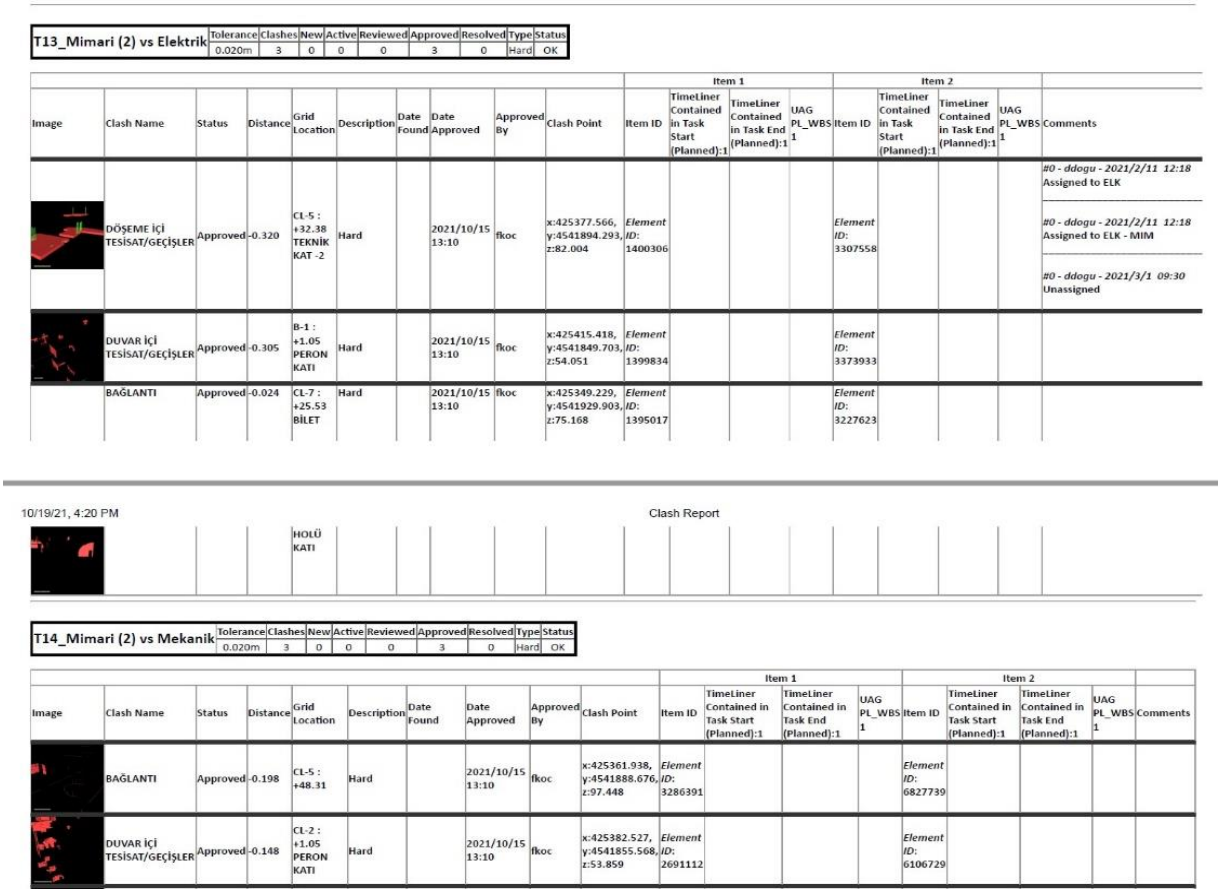
Şekil 4-16. Çakışma Matrisi Örneği.

Şekil 4-17 penceresi "Selection A" (Seçim A) ve "Selection B" (Seçim B) seçeneklerini kullanarak, çakışma testi yapılmak istenen öğeler seçilir ve "Run Test" (Testi Çalıştır) ile test başlatılmaktadır.



Şekil 4-17. Clash Detective Penceresi.

Bu doğrultuda BIM yazılımı çakışmaları otomatik olarak tespit edebilmekte ve çakışmaların listelendiği bir rapor formatında raporlayabilmektedir. Bu sayede çakışmaların konumuna ve detaylarına kolaylıkla ulaşılabilmektedir. Şekil 4-18 olay incelemesi yapılan metro projesine ait mimari, mekanik ve elektrik disiplinlerine ait örnek bir rapor formu görülmektedir.



T13_Mimari (2) vs Elektrik

Tolerance	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved	Type	Status
0.020m	3	0	0	0	3	0	Hard	OK

Image	Clash Name	Status	Distance	Grid Location	Description	Date Found	Date Approved	Approved By	Clash Point	Item 1				Item 2				Comments
										Item ID	TimeLiner Contained in Task Start (Planned):1	TimeLiner Contained in Task End (Planned):1	UAG PL_WBS 1	Item ID	TimeLiner Contained in Task Start (Planned):1	TimeLiner Contained in Task End (Planned):1	UAG PL_WBS 1	
	DÖŞEME İÇİ TESİSAT/GEÇİŞLER	Approved	-0.320	CL-5 : +32.38 TEKNİK KAT -2	Hard		2021/10/15 13:10	fkoc	x:425377.566, y:4541894.293, z:82.004	*Element ID:* 1400306				*Element ID:* 3307558				*#0 - ddogu - 2021/2/11 12:18* Assigned to ELK *#0 - ddogu - 2021/2/11 12:18* Assigned to ELK - MIM *#0 - ddogu - 2021/3/1 09:30* Unassigned
	DUVAR İÇİ TESİSAT/GEÇİŞLER	Approved	-0.305	B-1 : +1.05 PERON KATI	Hard		2021/10/15 13:10	fkoc	x:425415.418, y:4541849.703, z:54.051	*Element ID:* 1399834				*Element ID:* 3373933				
	BAĞLANTI	Approved	-0.024	CL-7 : +25.53 BİLET	Hard		2021/10/15 13:10	fkoc	x:425349.229, y:4541929.903, z:75.168	*Element ID:* 1395017				*Element ID:* 3227623				

				HOLÜ KATI														

T14_Mimari (2) vs Mekanik

Tolerance	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved	Type	Status
0.020m	3	0	0	0	3	0	Hard	OK

Image	Clash Name	Status	Distance	Grid Location	Description	Date Found	Date Approved	Approved By	Clash Point	Item 1				Item 2				Comments
										Item ID	TimeLiner Contained in Task Start (Planned):1	TimeLiner Contained in Task End (Planned):1	UAG PL_WBS 1	Item ID	TimeLiner Contained in Task Start (Planned):1	TimeLiner Contained in Task End (Planned):1	UAG PL_WBS 1	
	BAĞLANTI	Approved	-0.198	CL-5 : +48.31	Hard		2021/10/15 13:10	fkoc	x:425361.938, y:4541888.676, z:97.448	*Element ID:* 3286391				*Element ID:* 6827739				
	DUVAR İÇİ TESİSAT/GEÇİŞLER	Approved	-0.148	CL-2 : +1.05 PERON KATI	Hard		2021/10/15 13:10	fkoc	x:425382.527, y:4541855.568, z:53.859	*Element ID:* 2691112				*Element ID:* 6106729				

Şekil 4-18. Disiplinlerarası Çakışma Testi Rapor Örneği.

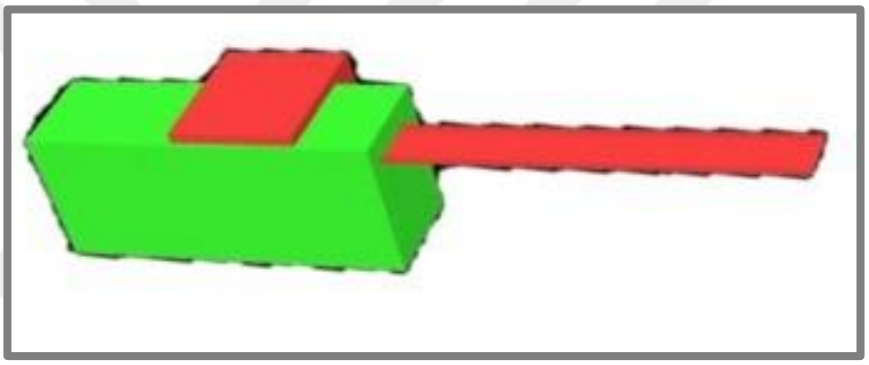
Bu kapsamda çakışma testlerinde var olan çakışma statülerine ait açıklamalar aşağıda belirtilmiştir.

- Approved (Kabul edilmiş): Kişi tarafından ilgili programda çakışmanın kabul edilmesi durumunu belirtmektedir.
- New (Yeni): İlk kez yapılan veya revize çakışma testinde ilk kez bulunan çakışma durumunu belirtmektedir.
- Active (Aktif): Revize edilen çakışma testinde çözülmemiş/hala aktif olan çakışma durumunu belirtmektedir.

- Resolved (Çözülmüş): Revize edilen çakışma testinde çözülmüş olan çakışma durumunu belirtmektedir.

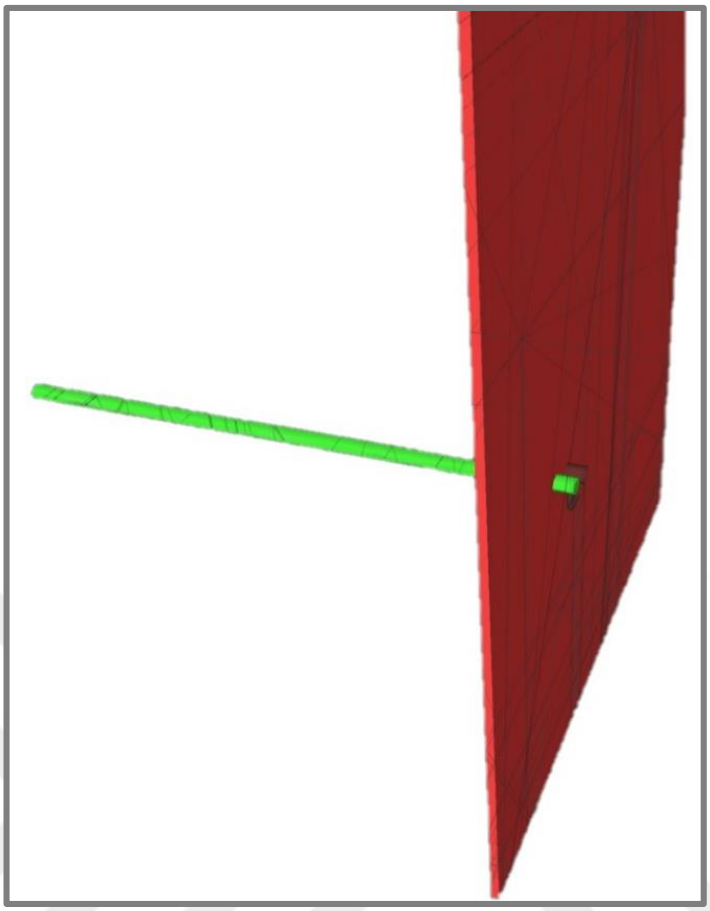
Bu raporlar, ekiplerin sorunları çözmelerine ve inşaat işlemlerini uygun şekilde planlamalarına yardımcı olur.

Şekil 4-19'da görülen metro hattına ait çakışma testindeki disiplin setleri içerisinde elektrik-elektrik çakışmasından bir örnek görülmektedir. Bir bina içindeki elektrik ekipmanı ve kablo tepsisi arasında bir çakışma meydana geldiğinde kablo tepsisi ile elektrik ekipmanı arasında yeterli mesafe yoksa, kablo tepsisini yeniden düzenlemek veya ekipmanı başka bir yere taşımak gerekebilir. Tasarım esnasında çakışmaların tespiti ve önlenmesi, güvenli ve etkili bir elektrik sistemi için önemlidir.



Şekil 4-19. Elektrik Ekipmanı ve Kablo Tepsisi Çakışma Tespiti.

İkinci örnek olarak Şekil 4-20 duvar ile bir elektrik borusu çakışmasıdır. Mimari-Elektrik çakışma sınıfına girmektedir. Bu tip çakışmalarda rezervasyon boşluğu açılarak tasarım esnasında çözüme gidilmektedir. Rezervasyon boşluğu açarak elektrik borusunun duvar içinden geçirilmesi, duvar içindeki diğer yapısal öğelerle çakışmayı önlemek için etkili bir yöntemdir. Ancak, çakışmanın tamamen önlenmesi için elektrik tesisatının tasarımı ve inşası sırasında önceden planlama yapılması gerekmektedir. Elektrik borularının duvar içinde geçirilmesi sırasında, BIM gibi dijital araçların kullanılması ve önceden planlama yapılması, çakışma riskini önemli ölçüde azaltacaktır. Ayrıca, elektrik tesisatı ile ilgili yönetmelik ve standartların dikkatli bir şekilde takip edilmesi de önemlidir.

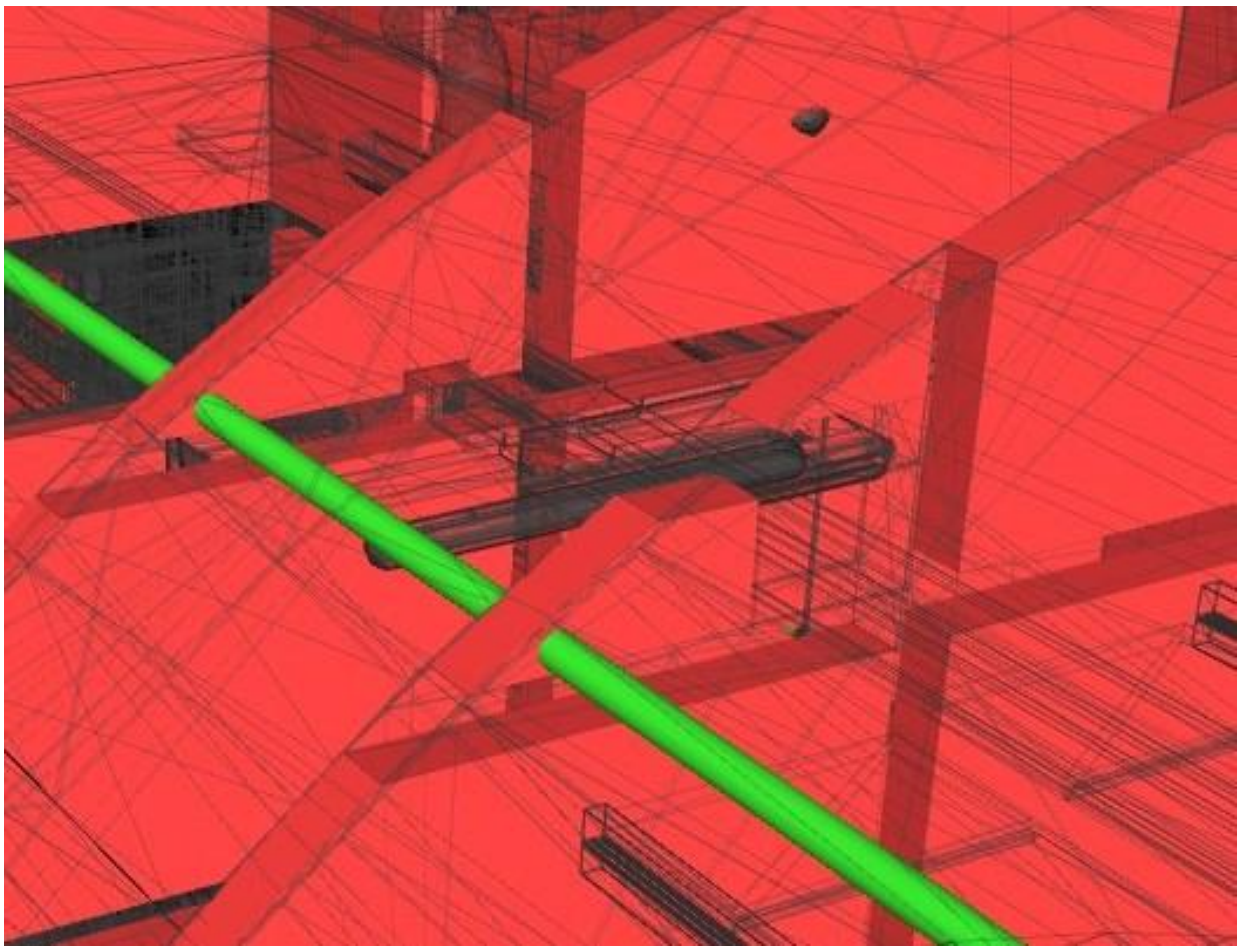


Şekil 4-20. Duvar ile Elektrik Borusu Çakışması

Bir diğer örnek Şekil 4-21 mekanik- mimari disiplinlerinin çakışmasıdır. Bu çakışmada gaz beton duvar ile yangın söndürme sistemi çakışmaktadır duvarlarla yangın söndürme sistemleri arasında çakışma, yangın söndürme sisteminin etkisiz hale gelmesine neden olabilir ve yangının kontrol edilmesini zorlaştırabilir. Bu nedenle, bu tür bir çakışmanın tespit edilmesi ve çözülmesi önemlidir. Duvarlar ve yangın söndürme sistemleri arasındaki çakışma, mühendislik disiplinleri ve yangın güvenliği disiplinleri arasındaki çakışmaya bir örnektir. Beton duvarların inşası genellikle yapısal mühendislik prensiplerine dayanırken, yangın söndürme sistemleri yangın güvenliği mühendisliği ve yangın bilimi disiplinlerine dayanır.

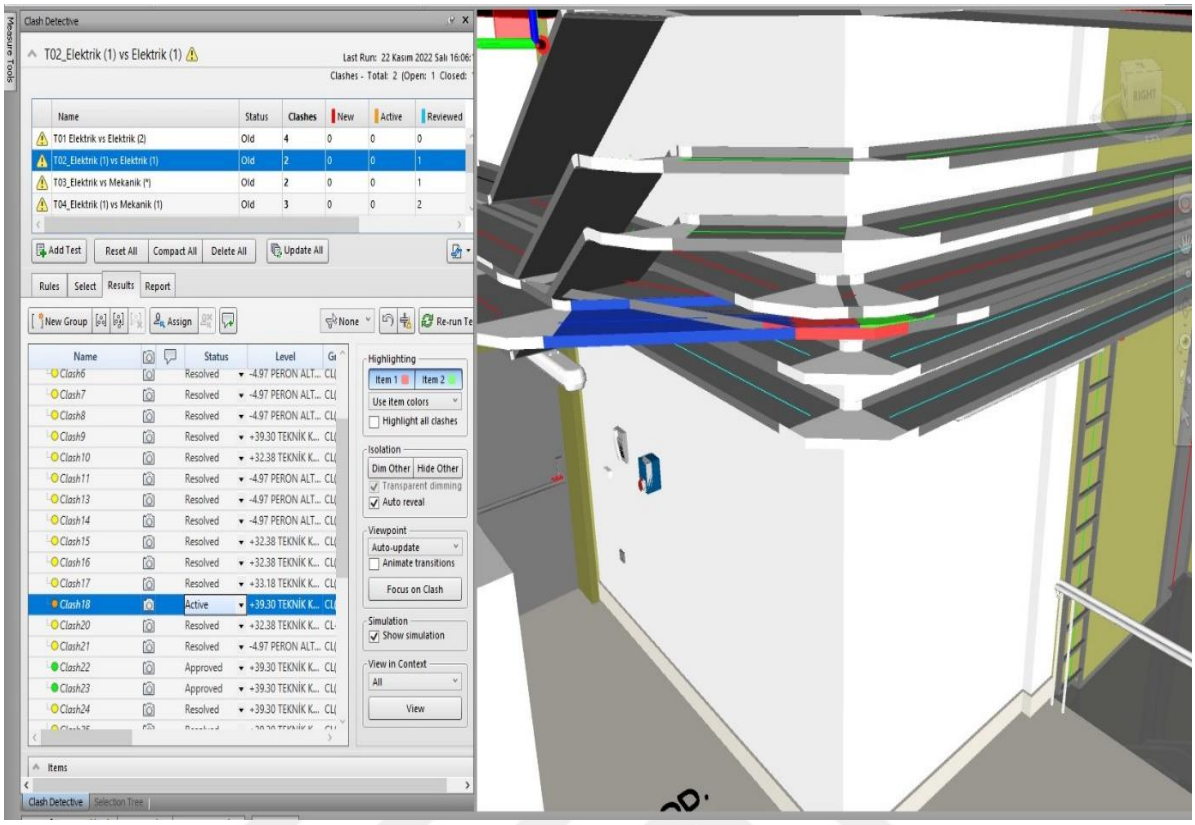
Bu durumda, mühendislik disiplinleri ve yangın güvenliği disiplinleri arasında bir çakışma meydana gelir. Yangın söndürme sistemi, beton duvarlarda yangın güvenliği sağlamak için kullanılmaktadır. Ancak, yangın söndürme sistemi ve beton duvarlar arasındaki uyumsuzluk, yangın güvenliği risklerini artırabilir. Duvardaki rezervasyon boşluğu, yangın söndürme sistemi cihazlarına yer açmak için bir alan sağlayabilir ve yangın söndürme sisteminin etkili bir şekilde çalışmasını sağlayabilir. Ancak, bu işlem, duvardaki yapısal bütünlüğü bozabilir veya yangın

güvenliği açısından risk oluşturabilir. Bu nedenle, duvarda rezervasyon boşluğu açılması gerektiğinde, bu işlemi yapacak olan kişilerin titizlikle açması oldukça önemlidir.



Şekil 4-21. Gaz Beton Duvar ile Yangın Söndürme Sistemi Çakışması

Son örnek çakışma olan Site İstasyonundaki şekil 4-22'de görülen kablo tavaları çakışması detaylı incelenecektir. Bu çakışma ayrıca 4D ve 5D modelleme incelemesi başlığı altında detaylandırılacaktır. Site istasyonu S07/333/701 kablo tavalarının çakışma tespiti ile kablo tavası, yanındaki duvarda köşeli tasarımdan pah çözümüne gidilmiştir. Ardından kablo tavası çakışması engellenmiştir, pah çözümü sonucunda tava genişletilmiştir.



Şekil 4-22. Kablo Tavaları Çakışması.

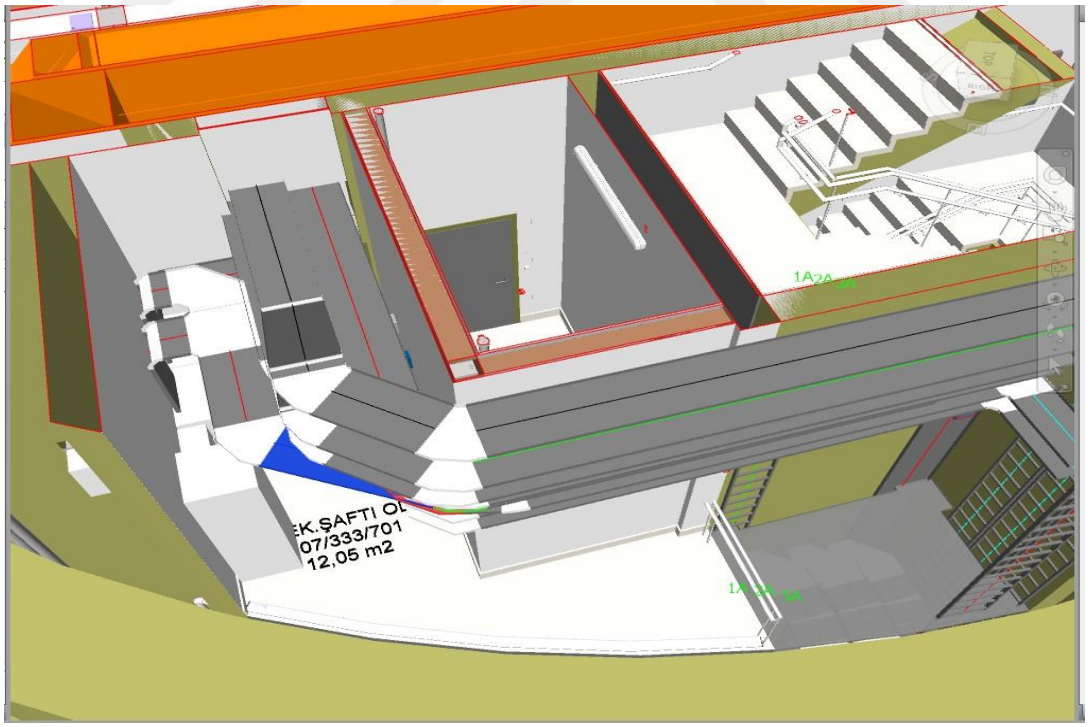
Kablo tavanlarının tasarım aşamasında, kablo güzergâhları, dönüş açıları, kablolama yoğunluğu gibi faktörlerin doğru hesaplanmaması veya dikkate alınmaması sonucu çakışmalar meydana gelebilir. Örneğin, farklı tesisat sistemlerinin (elektrik, mekanik, yangın söndürme, vs.) kablo tavanında planlanmadan geçirilmesi çakışmalara yol açabilir. Kablo tavanlarındaki çakışmalar, yapısal olarak BIM projelerinde "geometrik clash" veya "koordinasyon clash" olarak adlandırılan clash türüne örnek verilebilir. Bu clash türü, farklı bileşenlerin fiziksel olarak birbirleriyle çakışması sonucu ortaya çıkar.

Kablo tavanlarındaki çakışmalar, kablo güzergâhlarının, donanımların veya bileşenlerin aynı fiziksel alanda bulunması, üst üste gelmesi veya çakışması sonucu ortaya çıkabilir. Örneğin, elektrik kablosu ile havalandırma borusu arasında çakışma olması durumunda geometrik clash meydana gelmiş olur. Bu tür çakışmalar, BIM yazılımları ve diğer dijital koordinasyon araçları kullanılarak tespit edilebilir ve çözülebilir.

Eğer kablo tavalarının çakışması, yeterli alan eksikliği nedeniyle, yani çakışan bileşenlerin birbirlerine fiziksel olarak engel olmamalarına rağmen, yerleşimleri gerektiği gibi gerçekleştirilemediği için ortaya çıkmışsa, bu durum "soft clash" olarak adlandırılabilir. Soft

clash, çakışan bileşenlerin yerleşimleri veya ilişkileri nedeniyle otomatik olarak tespit edilemediği ve insan müdahalesi gerektiren çakışma türüdür. Yani, iki bileşenin birbirini engellememesine rağmen, yeterli alan eksikliği nedeniyle doğru yerleşim gerçekleştirilemediğinde soft clash meydana gelebilir.

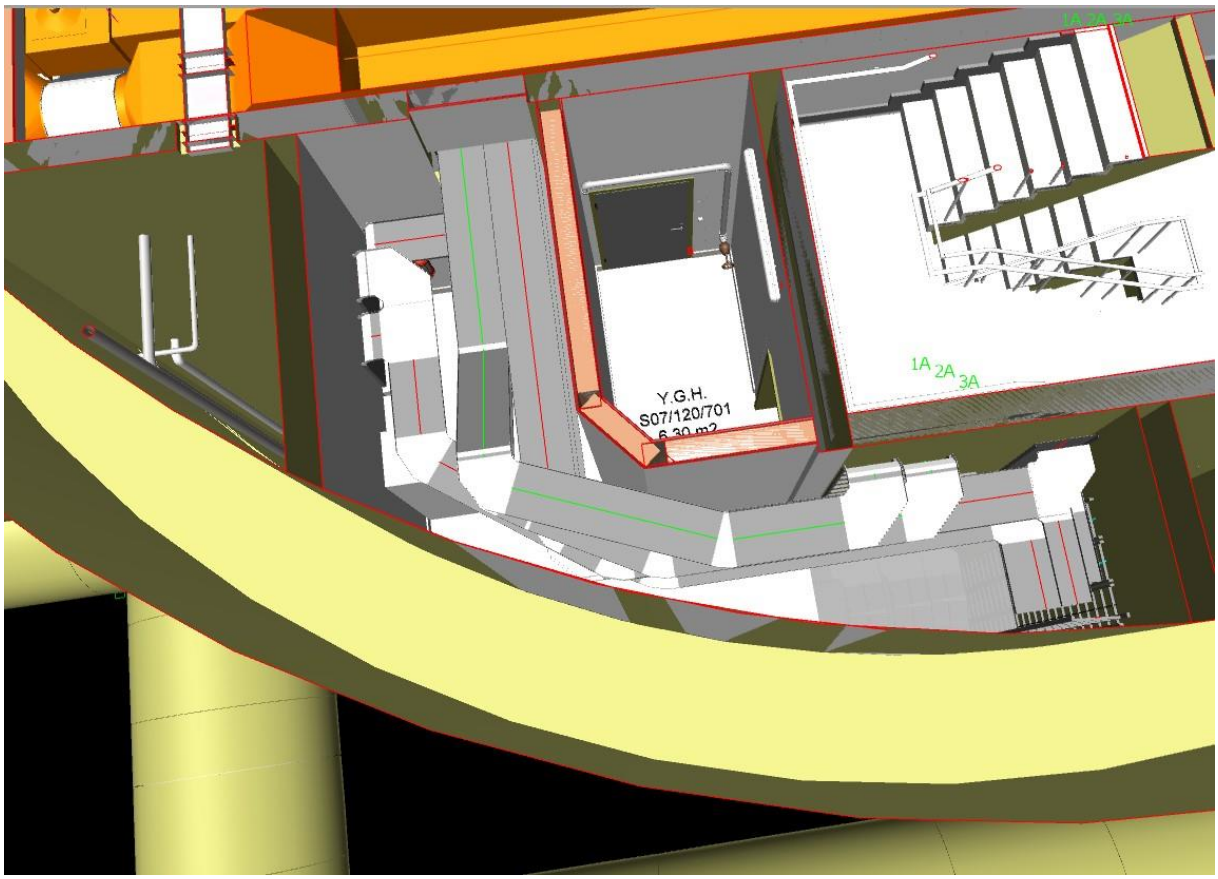
Kablo tavalarının hem yeterli alan eksikliği hem de Şekil 4-23.'te görüldüğü gibi duvarın eğimsizliği nedeniyle çakışması, farklı çakışma türlerine örnek olabilir. Öncelikle, yeterli alan eksikliği nedeniyle çakışma, "soft clash" olarak adlandırılan bir çakışma türüdür. Bu durumda, kablo tavalarının çakışan bileşenlerin birbirlerine fiziksel olarak engel olmamalarına rağmen, yerleşimleri gerektiği gibi gerçekleştirilemediği için çakışma ortaya çıkmıştır. Böyle durumlarda, kablo tavalarının çakışmaları, otomatik olarak tespit edilemeyebilir ve insan müdahalesi gerektirebilir. Diğer yandan, duvarın eğimsizliği nedeniyle çakışma, "geometrik clash" olarak adlandırılan bir çakışma türüdür. Örneğin, kablo tavalarının duvarın eğimine uygun bir şekilde monte edilmesi gerektiği halde, duvarın eğimsiz olduğu veya uygun eğimde olmadığı durumlarda, kablo tavaları duvarla çakışabilir ve çelişen verilere sahip olabilir. Bu durumda, kablo tavalarının çakışmaları, fiziksel olarak tespit edilebilir ve çözümlenebilir.



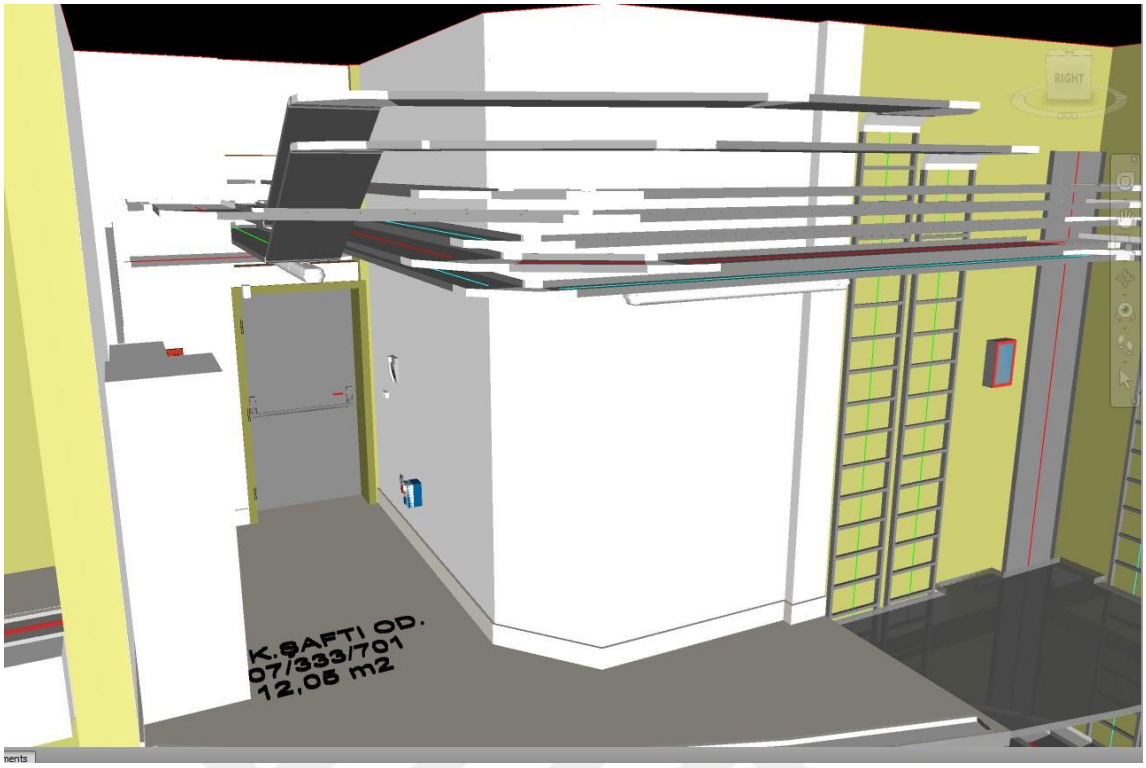
Şekil 4-23. Duvar ile Yeterli Alan Eksikliği

Öte yandan, kablo tavalarının projeden alınan Şekil 4-24., 4-25, 4-26. Ve 4-27., ve Şekil görüntülerdeki gibi duvarın eğimi ile çözülmesi, geometrik clash olarak adlandırılan bir

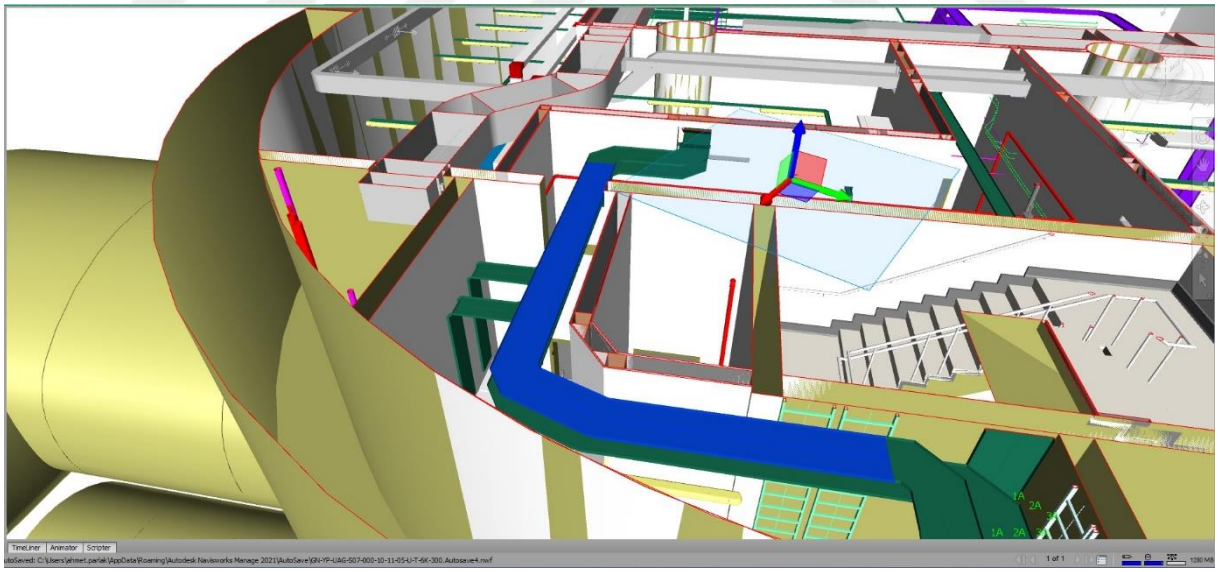
çakışma türüne örnek olabilir. Özetle, kablo tavalarının hem yeterli alan eksikliği hem de duvarın eğimsizliği nedeniyle çakışması, hem "soft clash" hem de "geometrik clash" olarak adlandırılan çakışma türlerine örnek olabilir.



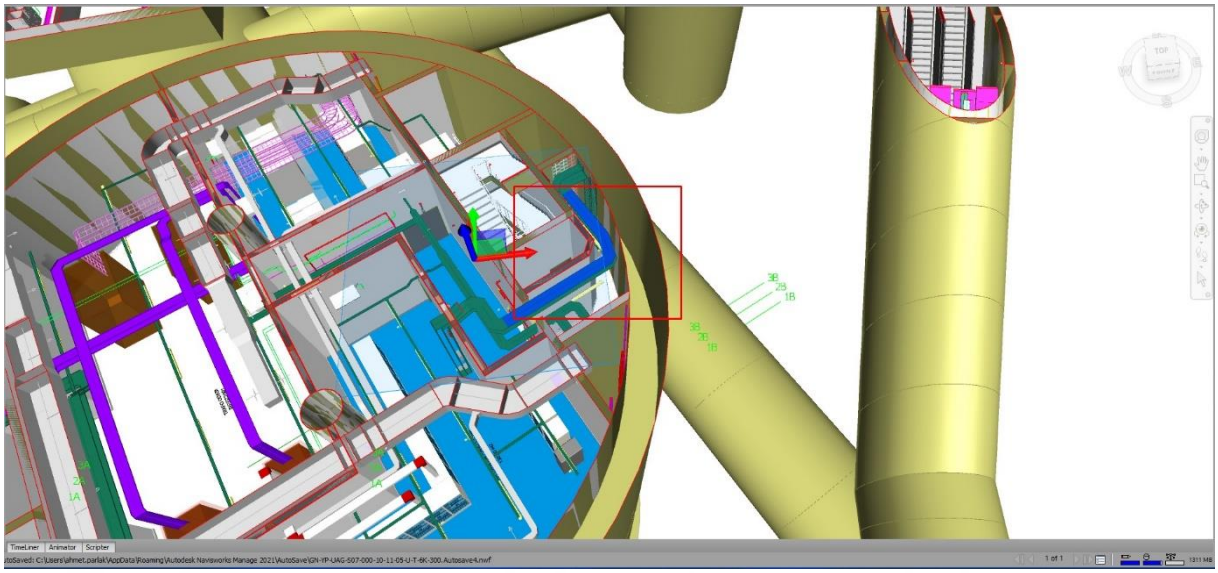
Şekil 4-24. Çakışma Analizi Çözümü Görüntüsü



Şekil 4-25. Çakışma Analizi Çözümü Görüntüsü (2)



Şekil 4-26. Çakışma Analizi Çözümü Görüntüsü (3)



Şekil 4-27. Çakışma Analizi Çözümü Görüntüsü (4)

BIM projelerinde, 3D modellemeler, çakışmaların tespiti için kullanılan çeşitli çakışma detektörleri veya çakışma analiz araçları ile kontrol edilebilir ve çakışmaların çözümlenmesi için proaktif bir yaklaşım benimsenebilir. Bu sayede, kablo tavanlarındaki çakışmaların önceden tespit edilerek inşaat sürecinde ve sonrasında oluşabilecek maliyetli hataların ve gecikmelerin önüne geçilebilir.

4.2. 4D MODEL İNCELEME

4D modeller, çakışma algılama analizine ek olarak Navisworks, program yazılımını 3d bileşik modele bağlayarak inşaat projesinin programlanmasını, görselleştirilmesini ve simülasyonunu içermektedir.

4.2.1. İş Programı Entegrasyonu

Bu başlıkta modele programlama ve planlama kısımları entegre edilir. İnşaat süreçleri karmaşık birçok aktivitenin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu aktiviteler, zaman ve para kıstasında planlanmaktadır. BIM modelinin zaman boyutunu ekleyerek projenin zamanlamasını ve süreçlerin ne zaman gerçekleşeceğini gösterir. Bu sayede, inşaat projesinin tüm aşamaları zaman çizelgesinde gösterilerek proje yönetimindeki etkinlik artırılır.

BIM tabanlı çizelgelemede MS Project üzerinden aktiviteler, kaynaklar, ekipmanlar, malzeme bilgisi, süreleri, öncülleri girilerek otomatik olarak bir Gantt şeması oluşturmakta ve kritik yolu otomatik olarak belirlemektedir. Faaliyetler, İş Kırılım Yapısı (WBS) kilometre taşları ve

faaliyetler değerlendirilerek süreleri tahmin edilmiş ve Excel ve MS Project kullanılarak çizelge oluşturulmuştur. Etkinlikleri yönetmek için Excel kullanılmıştır.

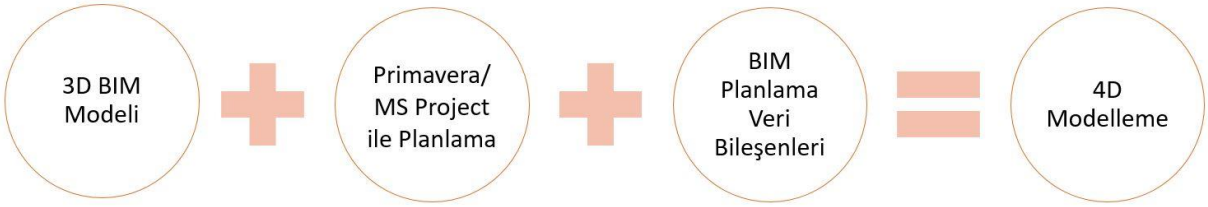
WBS, projenin tüm faaliyetlerini küçük parçalara ayırarak ayrıntılı bir faaliyet listesi oluşturur. Bu parçalar her seviyede daha küçük parçalara ayrılabilir ve sonuçta projenin tüm faaliyetleri ayrıntılı bir şekilde listelenir. WBS, proje faaliyetlerinin yapısını, önceliklerini, bağımlılıklarını ve kaynak ihtiyaçlarını gösteren bir yapısal birim ağacıdır. Bu yapısal birim ağacı, proje ekiplerine projenin tamamını anlama ve yönetme imkânı sağlar. Ayrıca Gantt şeması, bir projenin ilk aşamalarında oluşturulur. Programlar işgücü, ekipman ve malzeme bilgisi gibi kaynakları içerir. CPM, etkinlik süresini ve bağımlılıkları gösterir. Her aktivite için kayan noktayı gösterir. Önemli olan, kritik faaliyetin programı etkilemeden ertelenebileceğinin bilinmesidir. Gecikme süresi olmadığı anlamına gelir. Bu listeler aktiviteleri, başlangıç- bitiş tarihlerin, tamamlanma yüzdesini ve Gannt şemasını göstermektedir. Şekil 4-28. Projenin bir istasyonunun küçük bir kesitinden alınan aktivite listesini göstermektedir.

6	Çelik Donatı S420 (Açık Alanda)
	Kalıp İmalatları
3	Kalıp (Açık Alanda)
	Beton İmalatları
005.A	Demirsiz C16/C20 Beton İmali ve Dökülmesi
005.B	Demirli C30/37 Beton İmali ve Dökülmesi
	Yalıtım İmalatları
008.A	Dikey yüzeylerde su yalıtımı uygulaması (geotekstil keçe, 3 mm kalınlıklı PVC membr
008.B	Temel döşemesinde su yalıtımı uygulaması (geotekstil keçe, 3 mm kalınlıklı PVC mem
9	Su Tutucular (Açık Alanda)
	Dolgu İmalatları
002.A	Kazıdan çıkan veya Ariyetten Alınan Malzeme ile Dolgu Yapılması
002.B	Kum, çakıl, Kırma Tas ve Benzeri Malzeme ile Dolgu Yapılması
	Diğer Kaba Yapı İmalatları
7	Dilatasyon Fugası Yapılması
	+1.05 (Peron Katı)
	Demir İmalatları
6	Çelik Donatı S420 (Açık Alanda)
	Kalıp İmalatları
3	Kalıp (Açık Alanda)
	Beton İmalatları
005.B	Demirli C30/37 Beton İmali ve Dökülmesi
	Yalıtım İmalatları
008.A	Dikey yüzeylerde su yalıtımı uygulaması (geotekstil keçe, 3 mm kalınlıklı PVC membr
9	Su Tutucular (Açık Alanda)

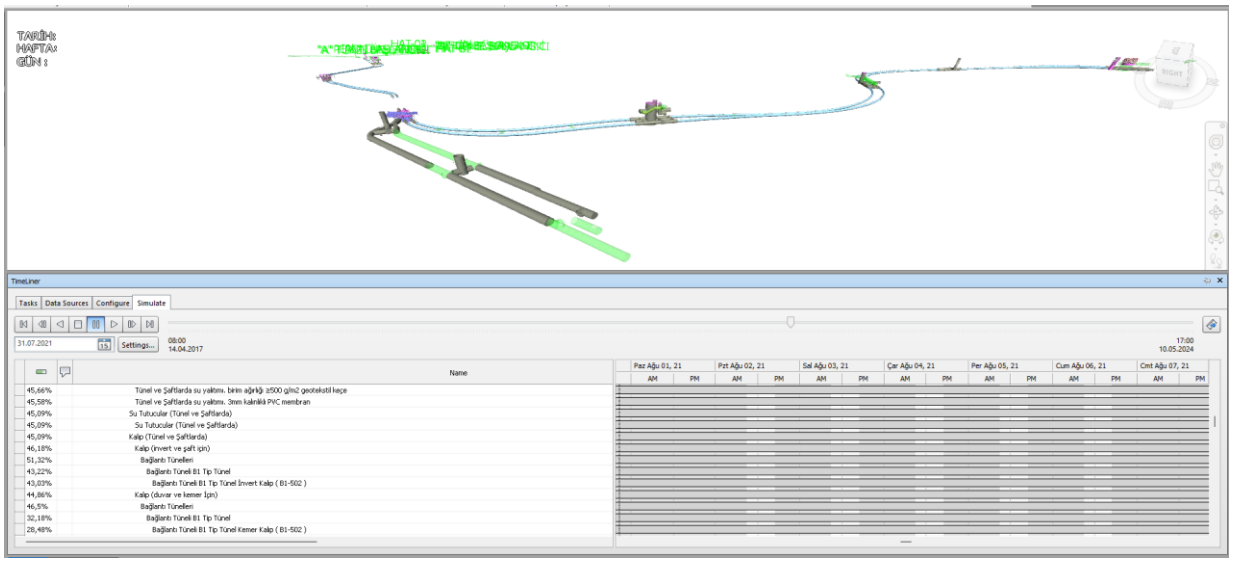
Şekil 4-28. Örnek Proje Bir İstasyona Ait Aktivite Listesi

MS Project üzerinden hazırlanan iş programı, 3D koordinasyon BIM modelleriyle entegre olarak Navisworks üzerinde bir bileşik model oluşturuldu. Şekil 4-29. Navisworks 4D modelleme akışını özetlemektedir. Şekil 4-30. Gannt şeması, aktiviteler ve planlamayla ilgili

diğer detayları da içeren bir iş programı ile 3D genel istasyona ait koordinasyon modelinin Navisworks üzerinden eşleştirilmiş bileşik modeli göstermektedir.



Şekil 4-29. 4D Modelleme Yapı Taşları

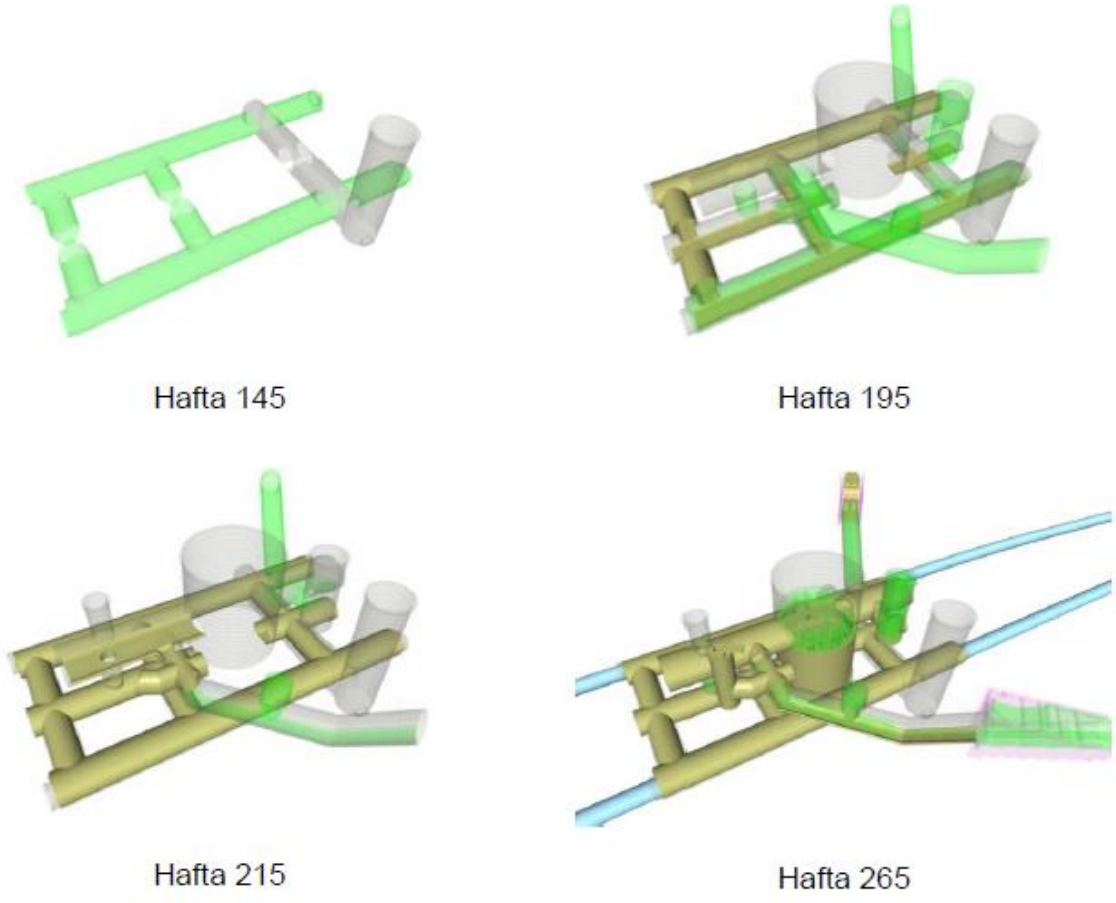


Şekil 4-30 Zaman Entegrasyonu ile 4D Model

4.2.2. Faz planlama ve Simülasyon

İş programı ile 3D BIM programlarının tek bir bileşik model oluşturmasıyla 4D simülasyon modelleri oluşmaktadır. Faz planlama, Navisworks' ün en önemli kullanım alanlarından biridir. Navisworks ile BIM modelleri kullanarak, proje takvimlerini oluşturma, proje kaynaklarını yönetme ve iş programlarını hazırlama işlemlerine yardımcı olur. Böylece, proje yöneticileri ve diğer ilgili taraflar, projenin ilerlemesini daha iyi takip edebilirler. Navisworks, ayrıca BIM modelleri üzerinde zaman üzerinden de çakışma analizleri yaparak, farklı bileşenlerin bir araya geldiğinde ortaya çıkabilecek sorunları önceden tespit etme imkânı sağlar. Bu sayede, projenin ilerlemesi sırasında çakışma ve uyumsuzluklar daha az görülür, proje tamamlama süresi kısalır ve proje maliyetleri azaltılır.

Faz planlamanın yanı sıra modeli simule etme özelliği ile inşaatın tamamlanma yüzdelerini görselleştirme imkânı ile Şekil 4-32. örnek gibi anlık görüntü olarak veya video şeklinde simülasyonlar oluşturulur. Bu simülasyonlar istenilen tarihteki projenin görüntüsünü verebilmektedir. Sonuç olarak, Navisworks' ün BIM verileri kullanarak faz planlama ve simülasyon işlemlerini gerçekleştirme imkânı, inşaat projelerinin daha etkili ve verimli bir şekilde yönetilmesini sağlar.



Şekil 4-31. Faz Planlama Simulasyon Görüntüleri

4.3. 5D MODEL: METRAJ OLUŞTURMA VE MALİYET TAHMİNİ

BIM modeli, projenin tüm unsurlarını içeren ve malzeme listeleri, maliyet tahminleri ve zamanlama bilgileri gibi verileri içeren bir dijital modeldir.

5D maliyet tahmini ve maliyet tahmini aşamasında, BIM modelindeki tüm unsurların özellikleri belirlenir ve malzeme listeleri hazırlanır. Bu liste, her bir malzemenin adı, miktarı ve maliyeti gibi bilgileri içerir. Malzeme listesi, önceden belirlenmiş birim fiyatlara göre toplam maliyeti hesaplar. Bunun yanı sıra, malzeme listeleri kullanılarak işçilik maliyetleri ve ekipman

maliyetleri de hesaplanabilir. İşçilik maliyetleri, işçi sayısı, çalışma saatleri ve ücretlerine dayanarak hesaplanırken, ekipman maliyetleri, kullanılan makinelerin sayısı ve saatlik kiralama ücretlerine göre hesaplanabilir.

Revit modeli kullanılarak malzeme miktar çıkışları oluşturulur. Kaynaklar ilgili faaliyete atanarak MS Project'te ekipman ve insan gücü toplanır. Şekil 4-32 projenin bir noktasından Revit üzerinden alınan metraj özetini göstermektedir.

-1.84 PERON ALTI KATI								
02.2023	124.B	S05/306/001	0-014	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	1466	249	37 m²
02.2023	124.B	S05/306/001	0-015	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	615	249	15 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-020	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	1196	249	30 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-011	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	585	249	15 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-007	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	270	249	7 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-006	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	735	249	18 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-002	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	450	249	11 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-001	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	320	249	8 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-003	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	222	249	6 m²
02.2023	124.B	S05/304/001	0-008	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	630	249	16 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-009	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	150	249	4 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-010	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	390	249	10 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-005	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	270	249	7 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-016	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	615	249	15 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-013	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	615	249	15 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-017	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	720	249	18 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-019	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	270	249	7 m²
02.2023	124.B	S05/208/001	0-018	Basic Wall: YP-A-M3-PWL-Aerated_Concrete _20cm	-1.84 PERON ALTI KATI	270	249	7 m²
-1.84 PERON ALTI KATI: 18								244 m²

Şekil 4-32 Örnek Metraj Özeti Tablosu

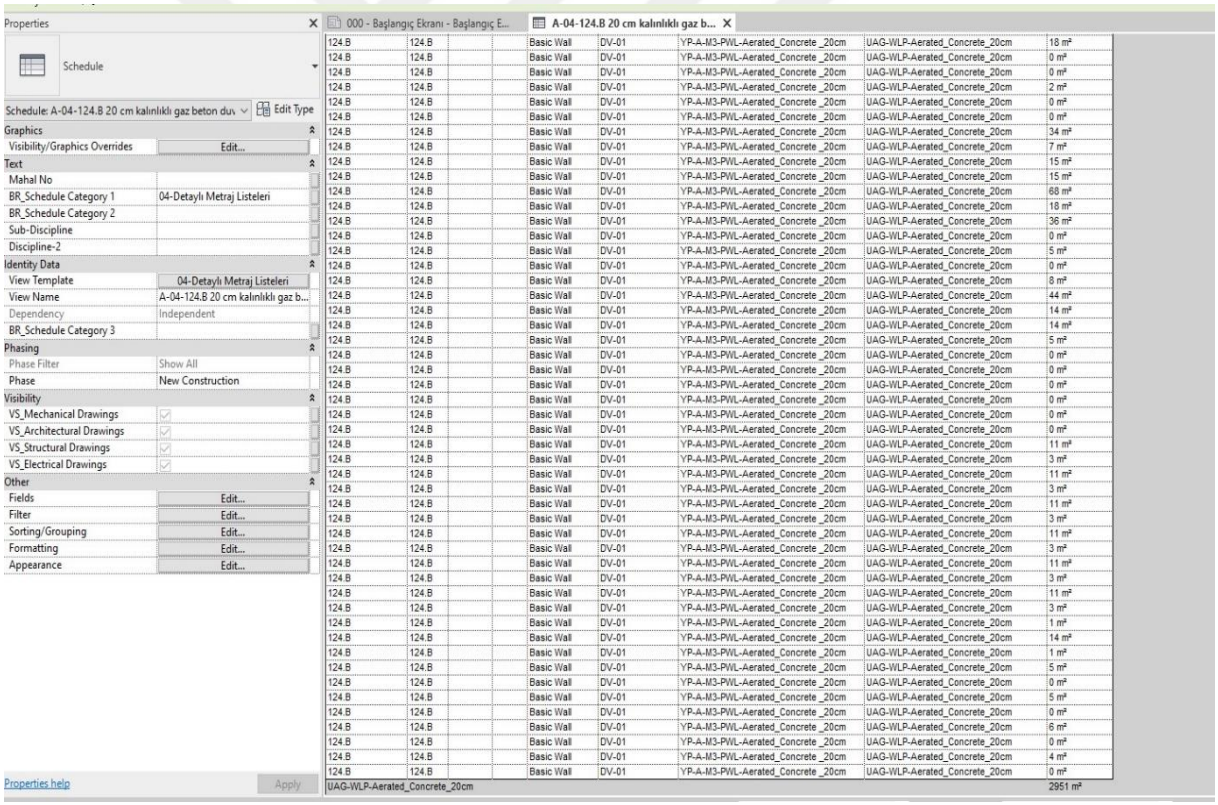
Çakışma analizleri başlığı altında incelenen kablo tavalarının çakışmasındaki (Şekil 4-23) gaz beton duvarın metrajı yaklaşık 21 m²'dir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait malzeme birim fiyat listesinden alınan verilere göre (2023), malzeme birim fiyatı 230 □/m² olduğundan 4830 □ gaz beton duvarın maliyeti bulunmaktadır. Sıva birim fiyatı 165 □/m²'den 21 m² bir sıva malzeme maliyeti ortalama 3500 □'dir. Son olarak 500 □ bir boya için çıkan malzeme maliyeti fiyatıdır. Bir gaz beton duvar iş kalemine ait (İMO, 2016) adam/saat değerine göre; bir duvar işçisi 1,855 saat/m²'den ortalama 40 saatini ayırması gerekir. Sıva ve boya kalemi de eklenince adam/saat değerleri sırasıyla 1,631 saat/m² ve 0,613 saat/m²'den 35 saatlik sıva işçisi, 13 saatlik de boya işçisi çalışması gerekmektedir. Sonuç olarak iki duvar işçisi, bir sıva ve boya işçisi ile toplamda ortalama 5.500□'lik 7 günlük işçi maliyeti eklenmelidir. 21 m² bir duvar için işçi ve malzeme maliyetine yaklaşık ayırılması gereken bütçe miktarı 14.000 □'dir.

Bu duvarın kablo tavası çakışması sonucu duvarın yıkılıp tekrardan eğimli bir pah duvarı yapılması gerekmektedir. Yapım + yıkım + yeniden yapım olarak düşünüldüğünde maliyet, hesaplanan maliyet değerinden yaklaşık iki katından fazla değerde çıkmaktadır. Zaman hesabı için de bu çakışma sonucu yine aynı hesap yapıldığında 15 günlük bir gecikme söz konusu olmaktadır.

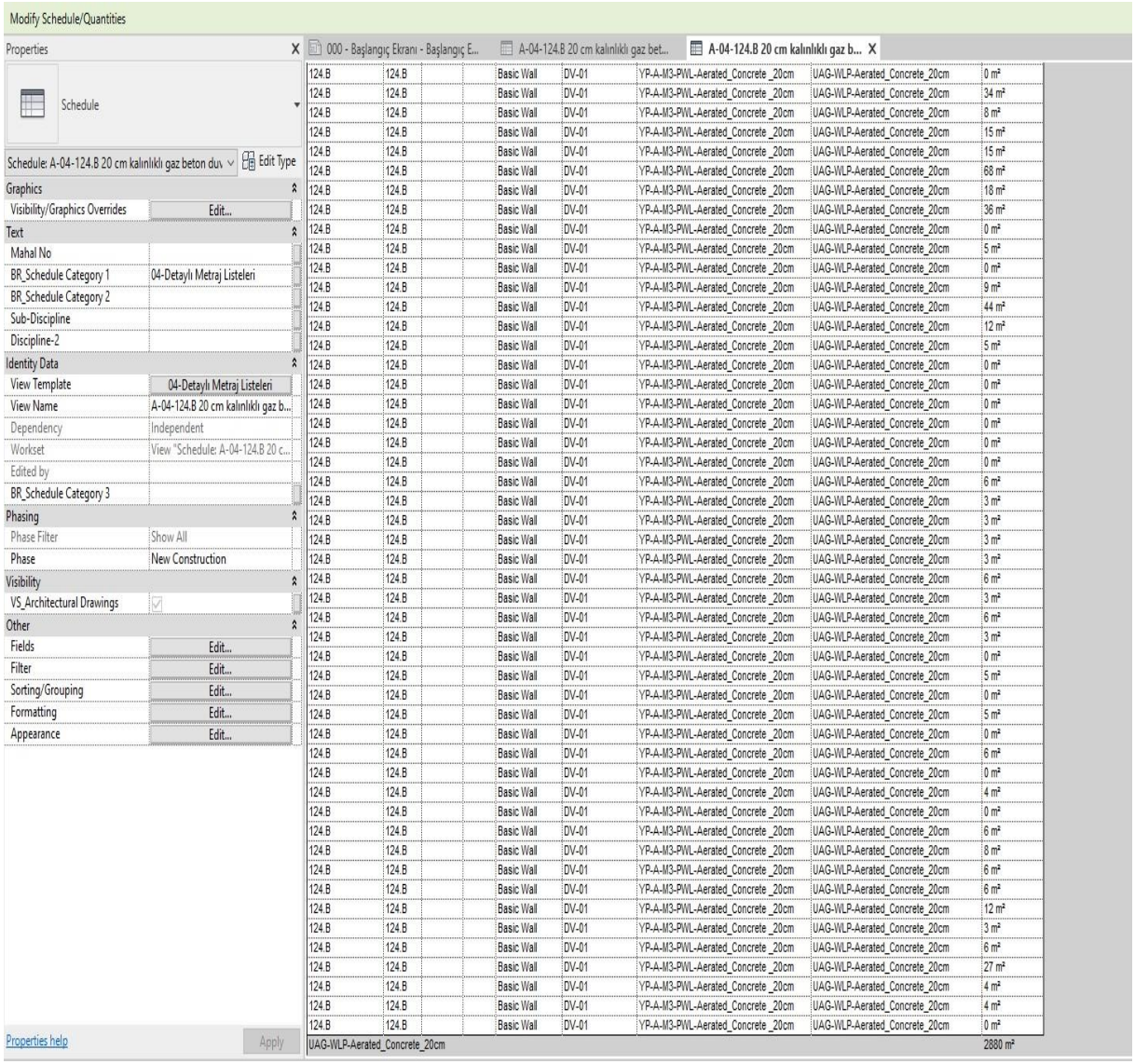
Bu çakışmalar gibi bazı çakışma durumlarıyla ile karşılaşılmadan önce planlanan 20 cm kalınlığında bir gaz beton duvar metrajı Şekil 4-33.'te görüldüğü üzere 2951 m² iken, çakışmaların çözümü ile Şekil 4-34. 'te 2880 m²'lik revizyona uğramıştır. Bu da sadece gaz beton duvarda olan yaklaşık 70 m²'lik bir revizyon demektir. Bu hesaplar ile BIM kullanarak çakışmaların tasarım esnasında tespit edilmesi ile inşaat sürecinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlandığına dair raylı sistemlerden bir örnek gösterilmiştir.

Bu kapsamda, çakışmaların önceden tespit edilmesi, sahada yapılan değişikliklerin önüne geçerek inşaat projesinin zamanında ve bütçesi içinde tamamlanmasını sağlar. Ayrıca, tasarım aşamasındaki hataların sahada düzeltilmesine bağlı olarak inşaat projesi için gereksiz ekstra maliyetlerin önüne geçilmesi ve malzeme, işçilik, ekipman, araç maliyetleri ve şantiye giderleri gibi çoğu endirekt maliyetlerin zayiatı da en aza indirgenmiş olur.

T



Şekil 4-33. Çakışma Tespiti Öncesi Gaz Beton Duvar Metraj Çıktısı



Şekil 4-34 Çakışma Tespiti Sonrası Düzenlenen Gaz Beton Duvar Metraj Çıktısı

5. TARTIŞMA

Tez çalışması, proje yaşam döngüsünü BIM ile yürütme durumunda nasıl etkileri olduğunu incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bir projenin başarıyla tamamlanması, planlanan zamanlama ile bütçe aşımına uğramadan gerçekleşmesi anlamına gelmektedir. Zaman ve maliyet konusunda sapmaların yaşanmasının en büyük nedenleri arasında koordinasyon ve iletişim eksikliği gelmektedir. İnşaat sektöründe çözülmesi gereken problemlerin başında düzenli ve verimli iletişim gelmektedir. Domino taşı mantığında diğer problemler de bu konuların eksiklikleri yüzden ortaya çıkmaktadır. Geçmişten günümüze inşaat projelerinde yaşanan problemlerin, büyük bir kısmı doğru planlama, doğru iletişim ve yönetim gerçekleştirmemekten kaynaklanmaktadır. Kamu alanındaki projelerden özel sektörlerdeki projelere, en basit yapılardan en karmaşık yapı sistemlerine kadar, yapıların iyi bir planlama sistemiyle ve ortak bir yönetim diliyle sürdürülmesi gerekmektedir. Bu noktada Türkiye'de uzun yıllardır akademik çalışmalar bulunmakta fakat henüz tüm alanlarda aktif olarak kullanılmamaktadır. Kamuda, BIM'in tüm boyutları aktif olarak gerçekleştirilmese de İstanbul Büyükşehir Belediyesi 2014 yılı itibariyle BIM kullanımını zorunlu tutarak mevcut metro projelerinde hayata geçirmektedir.

Bu kapsamda bir yapının tüm yaşam döngüsü boyunca; dijital olarak tasarlanması, oluşturulması ve yönetilmesini sağlayan bir süreç olan BIM ile sürdürülen ve örnek olay incelemesi yapılan bir raylı sistem projesinde, BIM süreçleri ile çakışmaların tasarım sürecindeki düzeltmelerinin zaman ve maliyete etkisi incelenmiştir. Tasarım aşamasında oluşan çakışmaların içerisinden farklı çakışma türlerine örnek olarak bir elektrik-elektrik ve elektrik-mimari çakışması seçilmiştir. Kablo tavalarının yetersiz alan eksikliği nedeniyle çakışması, tasarım sürecinde tespit edilerek nasıl bir çözüme gidileceği belirlenmiştir. Pah duvarı çözümü ile sürecin devamı sağlanarak çalışma sonucunda çakışmaların önlenmesinin zaman kaybının azaltılması açısından önemli olduğu belirlenmiştir.

Zamandan tasarruf edilmesinin yanında, maliyete olan etkisini analiz etmek amaçlı bu çakışmanın sahada fark edilmesi durumunda; bir gaz beton duvarın yapım, yıkım ve yeniden yapımın maliyetinin hesabı yapılmıştır. Bu doğrultuda, BIM kullanımının tasarım sürecinde çakışmaların düzeltilmesi ile gerekli olan işgücü, malzeme ve ekipman gibi kaynakların planlanması daha doğru yapılmıştır. Böylece, BIM ile tasarım hatalarının minimuma indirgenmesi ve proje verimliliğinin artırılması sağlanmıştır.

BIM ile birlikte bilgiyi daha verimli yöneten, projenin yaşam döngüsü boyunca zamandan ve maliyetten tasarruf eden gerçek bir inşaat projeleri üzerinde Azhar ve diğ., (2008) tarafından yapılan çalışmaların sonucunda BIM'in somut ve soyut sonuçları açıklanmıştır. Bu vaka çalışmalarından biri olan $46.000.000 bütçeli Hilton Aquarium, koordinasyon oturumları sayesinde, proje ekibi sistem çakışmalarını hızlı bir şekilde belirleyip çözerek tahmini $200.000 tasarruf sağlamıştır ve aylarca sürmesi muhtemel gecikmelerden tasarruf etmiştir. Diğer vaka çalışması olan $300.000.000 bütçeli One Island East ticari ofis binasının, neredeyse tüm koordinasyon sorunları BIM ile yönetilmiştir. Bu sayede ihale ve inşaattan önce 2000'den fazla çakışma ve hata tespit edilmiştir. Bu da geleneksel bir 2D sürecinin doğasında bulunan eksik tasarım bilgilerine göre önemli bir maliyet tasarrufu sağlandığı anlamına gelmektedir.

Yöndem (2017), devlet kurumları tarafından düzenlenen inşaat projeleri ihalelerinde ortaya çıkan anlaşmazlık ve sorunların önemli zaman ve maliyet kayıplarına neden olabileceğini ve BIM kullanımıyla da ihale öncesinde tasarım aşamasında tespit edilebileceği gösterilmiştir.

Jiang (2011), 4D otomatik metraj oluşturma ve maliyet tahmini üzerinde durduğu bir vaka çakışmasında BIM modeli üzerinde zamanlama ve maliyet tahmin süreçlerini açıklamıştır. Bu vaka çalışmasında, 15 dakika içinde otomatik ve güvenilir bir şekilde otomatik metraj oluşturma ile yüklenicilerin maliyet tahmininde önemli ölçüde zaman tasarrufu yapmasını sağlayacaktır. Öte yandan BIM teknolojisi ile bina modelindeki tasarım değişiklikleri sonucunda metraj listesini dakikalar içinde güncelleyerek daha hızlı bir maliyet geri bildirimi alabildiğini göstermektedir.

Topal (2019), 5 katlı bir bina projesinde BIM süreçlerini uygulayarak düzgün ve koordinasyonlu bir çalışma sonucunda 5D modellemenin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebileceğini ve projenin maliyetlerinin planlanan değerlerde sonuçlanabileceğini öne sürmüştür.

Liu H. ve diğ. (2014) tarafından sunulan araştırmada, detaylı maliyet tahmini ve zamanlama planlaması için BIM tabanlı entegre bir sistem önerilmiş ve bina projesi üzerine yapılan bir örnek çalışmayla açıklanmış ve doğrulanmıştır.

Bu kapsamda BIM'in en büyük faydalarından biri, çakışmaların tespit edilmesi ve önlenmesidir. Bu durum, BIM kullanımının güçlü yönlerinden biridir. Bu konuda bir SWOT analizi yaparsak:

Güçlü Yönler:

- BIM sayesinde, yapı projelerinde çakışmalar tespit edilebilir ve önlenir. Bu sayede proje süresi kısaltılabilir ve maliyetler azaltılabilir.
- BIM, tasarım ve inşaat aşamalarında işbirliği ve koordinasyonu artırır.
- BIM, projelerin daha doğru ve verimli bir şekilde planlanmasını ve yönetilmesini sağlar.
- BIM, projelerin dijital olarak simüle edilmesine imkân verir, böylece tasarım ve inşaat süreçleri önceden test edilebilir ve geliştirilebilir.

Zayıf Yönler:

- BIM'in kullanımı, eğitimli personel ve uygun yazılımların bulunması gerektirir.
- BIM'in doğru bir şekilde kullanılması için, tüm projede yer alan paydaşların BIM kullanımına uygun şekilde çalışması gerekir.

Fırsatlar:

- BIM, yapı sektöründe dijital dönüşümü hızlandırmak için kullanılabilir.
- BIM sayesinde, proje yönetimi ve işbirliği süreçleri daha verimli hale getirilebilir.
- BIM, müşterilerin beklentilerine daha iyi yanıt vermek için kullanılabilir.

Tehditler:

- BIM, yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması için altyapı yatırımlarına ihtiyaç duyabilir.
- BIM'in kullanımı, tüm projede yer alan paydaşların BIM kullanımına uygun şekilde çalışması gerektirir. Bu, sektörde yeterli sayıda eğitimli personelin olmaması durumunda bir sorun olabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sektörlerin kendi içinde güncel kalmayı hedeflemesinin en büyük nedenleri arasında rekabet faktörü gelmektedir. Rekabette önde gelebilmenin anahtarı, profesyonel bir proje yönetimiyle gereksinimlere yeterli cevabı vermesi ve teknolojik inovasyonlara adapte edilerek mümkün olabilmektedir. İnşaat sektörü, son yıllarda dijital dönüşüm konusunda hızlı adımlar atmaya çalışsa da hala diğer sektörlere kıyasla geride kalmaktadır. Bu durum, inşaat sektöründe süreçlerin büyük ölçüde kâğıt ve kalemlerle yürütüldüğü, çizimlerin elle yapıldığı ve sınırlı sayıda insan gücüne dayandığı gerçeğinden kaynaklanmaktadır. İnşaat projelerinin zamanında ve bütçe dâhilinde tamamlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple inşaat sektörü, BIM gibi dijital teknolojilerden yararlanarak zaman ve maliyet açısından önemli kazanımlar sağlayabilmektedir. Bu teknoloji sayesinde, inşaat projeleri daha hızlı, daha verimli ve hatayı en aza indirgeyerek gerçekleştirilebilmekledir.

Yapı sektöründe BIM alanında, dünya çapında ABD ve İngiltere gibi gelişmiş ülkelerin mecburi tutması sebebiyle kayda değer standartlar ve prosedürler oluşturulmaktadır. Özel sektörde ise, işverenlerden kurum kültürlerinde yenilikçi olmayı ve dijitalleşmeyi benimseyenler, BIM'i süreçlerine dâhil etmektedir. Türkiye'de tez kapsamında bahsedildiği üzere özel sektörde sınırlı olarak kullandığı gibi kamu alanında da İstanbul'da metro inşaatlarında aktif olarak kullanılmaktadır.

Bir yapı projesinin tasarım süreçlerinden tesis yönetimine kadar tüm süreçlerinde rolü olan BIM ile birlikte daha iyi bir işbirliği, hataların azaltılması, maliyetten ve zamandan tasarruf sağlanması, verimlilik artışı ve daha sürdürülebilir yapılar inşa edilebilmektedir. Tez kapsamında yapılan çalışmalar neticesinde; tasarım sürecindeki farklı paydaşların ortak bir platformda çalışması, tüm verilerin bir arada toplanması ve analiz edilmesi ile çakışmalar erkenden tespit edilmektedir. Böylece, inşaat sürecinde ortaya çıkabilecek olan hataların sayısı ve yeniden iş yapılması gereksinimi azaltılmaktadır. İnşaat sürecindeki tüm paydaşlarla işbirliği ve koordinasyonu sağlanarak çakışmaların erken tespit edilmesi, projeye zaman ve maliyet tasarrufu sağlayarak verimliliği arttırmaktadır ve projelerin başarıyla tamamlanmasına büyük katkı sağlamaktadır. Bu katkıları aşağıda özetlenmiştir:

- Tasarım ve planlama sürecinin daha hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi,
- Projenin daha iyi planlanması sayesinde zaman ve maliyet açısından önemli kazanımlar elde edilmesi,
- Projelerin daha doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi sayesinde inşaat hatalarının ve kayıplarının azaltılması,
- İşbirliği ve koordinasyonun arttırılması sayesinde proje ekiplerinin daha iyi çalışması,
- Projenin tamamlanması sonrası bakım ve yönetim işlemlerinin daha kolay bir şekilde gerçekleştirilmesi gibi kazanımlar sağlanması sektörün dijital dönüşüm sürecinde önemli adımlar atılması açısından başlıca sebeplerdir.

Bu çalışmanın sonuçları, BIM'in tasarım sürecindeki etkinliğini göstermektedir. Ancak, BIM teknolojisinin tam potansiyelinden faydalanmak için, tasarım sürecindeki tüm paydaşların BIM kullanımına adapte olması gerekmektedir. Bu nedenle, eğitim materyalleri hazırlanmalı ve tasarım sürecinde BIM kullanımının önemi vurgulanmalıdır. Üniversiteler, özel sektörler ve kamu sektörleri bu alanda bilgi paylaşımlarında bulunarak bu kapsamda eğitim programlarını yaygınlaştırmalıdır. Ayrıca, BIM'in kullanımı ile ilgili standardizasyon ve yönergelerin oluşturulması da önemlidir. Bu sayede, BIM kullanımının daha da yaygınlaşması ve farklı paydaşların farklı platformlarda çalışmak zorunda kalmaması sağlanabilir. Bunun yanı sıra, BIM kullanımı için gerekli olan yazılım ve donanımların sürekli güncellenmesi ve iyileştirilmesi de gerekmektedir.

Bu tez doğrultusunda daha aktif BIM kullanımına teşvik amaçlı, ileride yapılacak çalışmalara ışık tutabilmek için öneriler maddeler halinde listelenmiştir:

- BIM alanında yaygınlaşmayı ve adaptasyonu arttırmak amacıyla örnek eğitim müfredatları geliştirilmesi ve danışmanlıkların arttırılması,
- Sektörün tüm ilgili kurumlarında gerekli standart ve mevzuatların oluşturulması ve geliştirilmesi,
- Kamunun teknik tüm alanlarda personellere hem sürecin felsefesini hem de tüm adımlarıyla ilgili eğitim, bilgi ve yeterlilik sağlanması,

- Gerekli donanım ve yazılımların bulundurulması,
- Hükümetlerin BIM uygulanmasında gerekli araştırma ve geliştirme ortamları sağlayarak gerekli bütçe/kaynak ayırması,
- Özel firmaların işverenlerinin, kurum yapılarında gerekli kültür değişimlerini sağlayarak BIM gibi teknolojik çözümleri mecburi kılması,
- İnşaat sektörünün her kesiminde BIM alanında yetkin uzmanların yetiştirilmesi ve bu alanda ekiplerin oluşturulması,
- Tasarımcıdan tedarikçiye kadar süreçlerde tam entegrasyon sağlanmalıdır.

Sonuç olarak, BIM teknolojisinin tasarım sürecindeki etkinliği ve çakışmaların tespit edilmesi ve düzeltilmesindeki katkısı zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bu nedenle, BIM teknolojisi, inşaat sektöründe daha yaygın bir şekilde kullanılmalı ve paydaşlar arasında BIM kullanımı için gerekli eğitim, standartlar ve donanımlar sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

AIA, 2007. *A Working Definition – Integrated Project Delivery.* [Çevrimiçi]
Available at: https://info.aia.org/SiteObjects/files/IPD_Guide_2007.pdf
[Erişildi: 12 Temmuz 2022].

Aibinu, A. & Venkatesh, S., 2014. Status of BIM Adoption and the BIM Experience of Cost Consultants in Australia. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice,* 140(3), pp. 8-10.

Alshamalı, H., 2020. *Yapı Bilgi Modellemesinin3D ve 4D Fonksiyonlarının Örnek Bir İnşaat Projesi Üzerinde İncelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi dü. Adana: Çukurova Üniversitesi.

Autodesk, 2022. *Perform faster, more accurate takeoffs.* [Çevrimiçi]
Available at: https://construction.autodesk.com/tools/construction-takeoff-software/?_ga=2.268564977.1019675903.1662129150-1408061963.1662129150
[Erişildi: 19 Aralık 2022].

Azhar, S., Hein, M. & Sketo, B., 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering,* 11(3), pp. 241-252.

Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J. & Leung, 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), Karachi, Pakistan, USAID.

Barnes, P. & Davies, N., 2014. *BIM in Principle and in Practice.* London: ICE Publishing.

Bensalah, M., Elouadi, A. & Mharzi, H., 2019. Overview: the opportunity of BIM in railway. *Smart and Sustainable Built Environment,* 8(2), pp. 103-116.

Bergin, M., 2012. *A Brief History of BIM.* [Çevrimiçi]
Available at: http://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim/
[Erişildi: 17 Mart 2022].

BibLus, 2021. *Facility Management e BIM 7D.* [Çevrimiçi]
Available at: https://biblus.accasoftware.com/ptb/facility-management-e-bim-7d/
[Erişildi: 25 Aralık 2022].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2023. [Çevrimiçi]
Available at: https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/2023-b-r-m-f-yatlar-18012023-20230118092356.pdf

Dispenza, K., 2010. *The Daily Life of Building Information Modeling (BIM).* [Çevrimiçi]
Available at: http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim

DynamicAcademy, 2022. *Paremetrik Modelleme.* [Çevrimiçi]
Available at: https://www.dynaaca.com/Urun/parametrik-modelleme.html
[Erişildi: 10 Ocak 2023].

Elmuallim, A. & Gilder, J., 2014. BIM: innovation in design management, influence and challenges of implementation. *Architectural Engineering and Design Management*, 10 Eylül, pp. 183-199.

Enegbuma, W. I., Aliagha, G. U. & Ali, K. N., 2014. Preliminary building information modelling adoption model in Malaysia. *Construction Innovation,* 14(4), pp. 408-432.

Erdik, M., 2018. *Yapı Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Adaptasyonu.* Yüksek Lisans Tezi dü. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi.

Gelener, C., 2019. *İnşaat Sektöründen Bir Uygulama ile Yapı Bilgi Modellemesi.* Yüksek Lisans Tezi dü. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi.

GSA, 2007. *GSA Building Information Modeling Guide 01 - BIM Guide Overview.* [Çevrimiçi]
Available at: https://www.gsa.gov/real-estate/design-and-construction/3d4d-building-information-modeling/bim-guides/bim-guide-01-bim-overview
[Erişildi: 18 Aralık 2022].

GSA, 2017. *Creating a Digital Built Britain: What you need to know.* [Çevrimiçi]
Available at: https://www.gov.uk/guidance/creating-a-digital-built-britain-what-you-need-to-know
[Erişildi: 18 Aralık 2022].

GSA, 2022. *3D-4D building information modeling.* [Çevrimiçi]
Available at: https://www.gsa.gov/real-estate/design-and-construction/3d4d-building-information-modeling
[Erişildi: 18 Aralık 2022].

Gülerses, F., 2018. *Yapı Bilgi Modellemesi (5D) ile Maliyet Yönetiminin Avantaj ve Dezavantajlarının Tespiti.* Yüksek Lisans Tezi dü. İstanbul(İstanbul): İstanbul Teknik Üniversitesi.

Gündüz, A. Y., Kaya, M. & Aydemir, C., 2011. Kentiçi Ulaşımında Karayolu Ulaşımına Alternatif Sistem: Raylı Ulaşım Sistemi. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi,* 2(1), pp. 134-151.

Hardin, B. & Mccool, D., 2015. *BIM and Construction Management Proven Tools, Methods and Methods.* 2nd Edition dü. New York, NY, USA: John Wiley & Sons.

Harness, S. H., 2013. *2008 AIA Documents Advance the Use of BIM and Integrated Project Delivery.* [Çevrimiçi]
Available at: https://content.aia.org/sites/default/files/2017-02/2008 Docs Advance the Use of BIM and Integrated Projecct Delivery.pdf
[Erişildi: 20 Aralık 2022].

İBB, 2019. *Raylı Sistem Projeleri Planlama ve Tasarım Teknolojileri.* [Çevrimiçi]
Available at: https://www.ibb.istanbul/Uploads/2019/10/3.-ASLI-sAHiN-AKYOL---RAYLI-

SiSTEM-PROJELERi-PLANLAMA-VE-TASARIM-TEKNOLOJiLERi.pdf
[Erişildi: 12 Mayıs 2022].

İMO, 2016. *İnşaat İmalatlarında Adam/Saat Tabloları.* [Çevrimiçi]
Available at: https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/84df8e36c312234_ek.pdf
[Erişildi: 15 Ocak 2023].

Jiang, X., 2011. *Developments in Cost Estimating and Scheduling in BIM Technology.* PhD Thesis dü. Boston: Northeastern University.

Kamardeen, I., 2010. *8D BIM Modelling Tool for Accident Prevention Through Design.* Leeds, UK, Association of Researchers in Construction Management, pp. 281-289.

Kaneta, T., Furusaka, S., Tamura, A. & Deng, N., 2016. Overview of BIM Implementation in Singapore and Japan. *Journal of Civil Engineering and Architecture,* 10(12), pp. 1305-1312.

Lee, S.-K., An, H.-K. & Yu, J.-H., 2012. *An Extension of the Technology Acceptance Model for BIM-Based FM.* Indiana, United States, ASCE, pp. 602-611.

LetsBuild, 2017. *A history of BIM.* [Çevrimiçi]
Available at: https://www.letsbuild.com/blog/a-history-of-bim
[Erişildi: 15 Kasım 2022].

Liu H., L. M. A.-H. M., 2014. *BIM-Based Integrated Framework for Detailed Cost Estimation and Schedule Planning of Construction Projects.* 31st ISARC, Sydney, Australia, The International Association for Automation and Robotics in Construction.

McGrawHill, 2012. *Smart Market Report - The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2007–2012),* USA: McGraw Hill Construction.

McGrawHill, 2014. *Smart Market Report - The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets,* USA: McGraw Hill Construction.

Megahed, N. A., 2015. Towards a Theoretical Framework for HBIM Approach in Historic Preservation and Management. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research,* 9(3), pp. 130-147.

Mihindu, S. & Arayıcı, Y., 2008. *Digital Construction through BIM Systems will Drive the Re-engineering of Construction Business Practices.* London, EEE Computer Society, pp. 1-6.

Ozorhon, B. & Karahan, U., 2016. Critical Success Factors of Building Information Modelling (BIM) Implementation. *ASCE Journal of Management in Engineering,* 33(3), pp. 1-10.

Öktem, S. & Ergen, E., 2017. *BIM'e Geçiş Sürecinin Operasyonel Çerçevesı.* 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, Samsun, İnşaat Mühendisleri Odası.

Özbayraktar, S., 2018. *Türkiye'de Raylı Sistemlerin Tarihçesi.* [Çevrimiçi]
Available at: https://selcukozbayraktar.com/2020/05/25/turkiyede-rayli-sistemlerin-tarihcesi/
[Erişildi: 7 Haziran 2022].

Özorhon, B., 2018. *Yapı Bilgi Modellemesi.* 1. Baskı dü. İstanbul: Abaküs Kitap Yayın Dağıtım.

Paul, S., 2018. *BIM adoption around the world: how good are we?.* [Çevrimiçi]
Available at: https://www.geospatialworld.net/article/bim-adoption-around-the-world-how-good-are-we
[Erişildi: 17 Kasım 2022].

Pehlevan, E. E., 2018. Yapı bilgi modellemesi (BIM) ve Türkiye'de kullanımı. *İmo İstanbul Bülteni Dergisi,* pp. 21-24.

Pehlevan, E. E., 2018. Yapı bilgi modellemesi (BIM) ve Türkiye'de Kullanımı. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Bülteni,* 3(148), pp. 21-24.

Sabbagh, M., 2014. BIM and COBie for Facility Management. *Yapı Bilgi Modelleme,* 1(1), pp. 10-20.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G. & Teicholz, P., 2008. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.* 3rd Edition dü. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons Inc.

Sarıçiçek, T., 2019. *Türkiye'de Mimarlık Şirketleri için BIM Uygulama Yol Haritası.* Yüksek lisans Tezi dü. İstanbul: Hasan Kalyoncu Üniversitesi.

SingaporeGovernment, 2013. *Singapore BIM Guide.* [Çevrimiçi]
Available at: https://www.corenet.gov.sg/general/bim-guides/singapore-bim-guide-version-20.aspx
[Erişildi: 20 Aralık 2022].

Smith, P., 2014. BIM Implementation – Global Strategies. *Procedia Engineering,* 85(1), pp. 482-492.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022. *BIM Teknik Şartnamesi ve İhale Dokümanları.* [Çevrimiçi]
Available at: https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/stratejik-yonetim/bim-teknik-sartnamesi-rev-no-03-02-09-2022.pdf
[Erişildi: 15 Nisan 2023].

Topal, N., 2019. *İnşaat projelerinde yapı bilgi modellemesi uygulamaları: 5D modelleme ile örnek vaka çalışması.* Yüksek Lisans Tezi dü. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.

UKCO, 2011. *Government Construction Strategy.* London, UK: Minister for the Cabinet Office.

UnitedBim, 2022. *What are BIM Dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D, and 7D BIM Explained.* [Çevrimiçi]
Available at: https://www.united-bim.com/what-are-bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d-bim-explained-definition-benefits/
[Erişildi: 15 Ocak 2023].

Uzun, F., 2019. *BIM - Yapı Bilgi Modellemesine Geçiş ve Uygulama Süreçlerinin İncelenmesi: 3 Vaka Analizi.* Yüksek Lisans Tezi dü. İstanbul: Maltepe Üniversitesi.

Vikipedi, 2022. *Proje teslim yöntemleri.* [Çevrimiçi]
Available at:

https://tr.wikipedia.org/wiki/Proje_teslim_y%C3%B6ntemleri#:~:text=Proje%20teslim%20y%C3%B6ntemi%2C%20bir%20kurulu%C5%9F,etmek%20i%C3%A7in%20kullan%C4%B1lan%20bir%20sistemdir.
[Erişildi: 26 Aralık 2022].

Vikipedi, 2023. *DIKW pyramid.* [Çevrimiçi]
Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/DIKW_pyramid
[Erişildi: 15 Mart 2023].

Volk, R., Stengel, J. & Schultmann, F., 2014. Building information Modeling BIM for existing buildings-Literature review and future needs. *Automation in Construction,* March, Cilt 38, pp. 109-127.

Yalçınkaya, M., Öztürk, G. & Arditi, D., 2014. *Yapı İşletmesi ve Bakımı için Bilgi Gereksinimlerinin Belirlenmesi ve Yapı Bilgi Modelleme Araçları ile Otomatik Transferi.* 3. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, Antalya, Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.

Yöndem, F., 2017. *Kamu yapım işi ihalelerinde tasarımdan kaynaklanan problemlerin yapı bilgi modellemesi ile ihale öncesinde belirlenmesi..* Yüksek Lisans Tezi dü. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi.