



**YAPI BİLGİ MODELLEMESİ İLE  
YAPILABİLİRLİĞİN GELİŞTİRİLMESİ:  
ENDÜSTRİYEL TESİS İNŞAATI  
PROJESİNDE BİR VAKA ÇALIŞMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Arda EVCİMEN**

**Eskişehir 2018**

**YAPI BİLGİ MODELLEMESİ İLE YAPILABİLİRLİĞİN GELİŞTİRİLMESİ:  
ENDÜSTRİYEL TESİS İNŞAATI PROJESİNDE BİR VAKA ÇALIŞMASI**

**Arda EVCİMEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yapı Yönetimi Anabilim Dalı  
Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Serkan KIVRAK**

**Eskişehir  
Eskişehir Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Aralık 2018**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Arda EVCİMEN'in "Yapı Bilgi Modellemesi İle Yapılabilirliğin Geliştirilmesi: Endüstriyel Tesis İnşaatı Projesinde Bir Vaka Çalışması" başlıklı tezi 17/12/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Yapı Yönetimi Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

<b><u>Jüri Üyeleri</u></b>	<b><u>Unvanı Adı Soyadı</u></b>	<b><u>İmza</u></b>
Üye (Tez Danışmanı)	: Dr. Öğr. Üyesi Serkan KIVRAK	.....
Üye	: Prof. Dr. Gökhan ARSLAN	.....
Üye	: Doç. Dr. Serdar ULUBEYLİ	.....

**Prof.Dr. Ersin YÜCEL**

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**

## ÖZET

### YAPI BİLGİ MODELLEMESİ İLE YAPILABİLİRLİĞİN GELİŞTİRİLMESİ: ENDÜSTRİYEL TESİS İNŞAATI PROJESİNDE BİR VAKA ÇALIŞMASI

Arda EVCİMEN

Yapı Yönetimi Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık 2018

Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Serkan KIVRAK

Tasarım inşaat projelerinde kendinden sonra gelen tüm aşamaları doğrudan etkileyen bir süreç olup, bu süreçte meydana gelen çizimlerin yapılabirlik yeterlilikleri özellikle yapım aşamasında gerekli koşulların sağlanması için anahtar faktör olur. Yapı bilgi modellemesi inşaat endüstrisinde yükselen bir eğilim olup, tasarımların yapılabirlik yeterliliklerinin geliştirilmesinde de önemli katkılar vermektedir. Bu çalışma endüstriyel tesislerin yapım sürecinde ortaya çıkabilecek yapılabirlik problemlerinin erken tespiti ve önlenmesinde yapı bilgi modellemesinin araç olarak kullanılabilceği bir öneri sunmaktadır. Yapımı tamamlanan bir enerji santrali projesi vaka çalışması olarak seçilmiştir. Yapım sürecinde ortaya çıkan yapılabirlik problemleri tespit edildikten sonra, tesis alt yapısı ve yoğun donatı örgülü bir ekipman temeli modelleri kullanılarak önleyici çözümler üretilmiştir. Yapı bilgi modellemesi araçları kullanılarak geliştirilen alternatif yöntemler, inşaatın yapım süreci devam ederken kullanılan yöntemler ile kıyaslanmıştır. Yapı bilgi modellemesi araçları ile hızlı ve etkin bir şekilde yapılabirlik incelemesinin yapıldığı, tasarımların yapılabirlik yeterliliklerini geliştirdiği görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Yapılabirlik, Yapı Bilgi Modelleme, Endüstriyel Tesis,  
Basit Nesne Animasyonu, 3B Modelleme

## ABSTRACT

### IMPROVING CONSTRUCTABILITY WITH BUILDING INFORMATION MODELLING: A CASE STUDY IN INDUSTRIAL PLANT CONSTRUCTION PROJECT

Arda EVCİMEN

Department of Civil Engineering

Programme in Construction Management

Eskişehir Technical University, Graduate School of Sciences, December 2018

Supervisor: Dr. Lecturer Serkan KIVRAK

Design is a process that directly affects all subsequent phases of construction projects. Constructability competences of the drawings made in this process becomes a key factor, especially in order to achieve the necessary conditions during the construction phase. Building information modeling is a rising trend in the construction industry, and it also contributes significantly to the development of constructability competences of designs. This study presents a suggestion using building information modeling as a tool for the early identification and prevention of constructability problems that might occur in the construction process of industrial plants. A completed power plant project was selected as a case study. After the identification of constructability problems that emerged during the construction process preventive solutions have been proposed using plant infrastructure and a heavy reinforcement equipment foundation models. Then, the alternative methods developed using building information modeling tools are compared with the methods used during construction process. It has been found that constructability review using building information modelling tools has been performed quick and efficiently. Moreover, it also improved constructability capabilities of the designs.

**Keywords:** Constructability, Building Information Modeling, Industrial Plant, Simple Object Animation, 3D Modeling

## TEŞEKKÜR

Tez alıŐmama katkı ve yardımlarından dolayı sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Serkan KIVRAK'a; alıŐma hayatımda gösterdikleri anlayıŐ ve destekleri iin sayın yöneticilerim ve değerli alıŐma arkadaşlarıma; son olarak her zaman yanımda olan ve ihtiyacım olan motivasyonu sağlayan aileme teşekkür ederim.

Arda EVCİMEN



.../.../20...

## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

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

Arda EVCİMEN

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

BAŞLIK SAYFASI .....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
GÖRSELLER DİZİNİ .....	xii
KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Çalışmanın Yöntemi .....	1
2. YAPILABİLİRLİK .....	3
2.1. Yapılabilirlik Kavramı.....	4
2.2. Yapılabilirlik İlkeleri.....	8
2.2.1. Yapım sırası.....	10
2.2.2. Basitleştirme .....	11
2.2.3. Standartlaştırma .....	12
2.2.4. Kolay bulunabilir kaynakların kullanımı.....	13
2.2.5. Müsaade edilebilir toleranslara izin verme .....	14
2.2.6. Ön üretim ve ön montaj kullanımı .....	14
2.2.7. İnşaat alanına ulaşım .....	17



2.2.8. Malzeme/ personel/ ekipman erişimi.....	18
2.2.9. Tüm hava koşullarında yapım ve erken dış kabuk oluşturma..	19
2.2.10. Toprak altı çalışmaların en azda tutulması.....	20
2.3. Yapılabilirlik İncelemesi .....	21
2.4. Yapılabilirlik İncelemesi Yöntem ve Araçları .....	22
2.4.1. Hakem değerlendirmesi.....	24
2.4.2. Tasarım sürecine diğer proje paydaşlarını dahil etme.....	25
2.4.3. Öğrenilen dersler .....	26
2.4.4. Beyin fırtınası .....	27
2.4.5. Geri bildirim sistemi.....	28
2.4.6. Bilgisayar destekli tasarım .....	29
2.4.7. Kontrol listeleri .....	29
2.4.8. Yapılabilirlik sorumlusu .....	31
3. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ – YAPILABİLİRLİK İLİŞKİSİ.....	32
3.1. Yapı Bilgi Modellemesi .....	32
3.1.1. Yapı bilgi modellemesi kavramı .....	32
3.1.2. YBM olgunluk seviyeleri .....	34
3.1.3. Gelişmişlik seviyesi.....	35
3.1.4. Parametrik modelleme .....	36
3.1.5. Birlikte çalışabilirlik .....	37
3.1.6. YBM'nin kullanımı.....	40
3.1.6.1. 3B modelleme.....	41
3.1.6.2. 4B modelleme.....	41
3.1.6.3. 5B modelleme.....	42
3.1.6.4. 6B modelleme.....	43
3.1.6.5. 7B modelleme.....	44

3.1.7. YBM'nin avantajları ve karşılaşılan problemler .....	45
3.1.8. YBM'de kullanılan yazılımlar .....	47
3.1.9. Türkiye'de YBM'nin gelişimi .....	48
3.2. Yapılabilirliğin Geliştirilmesinde YBM Kullanımı .....	49
3.2.1. 3B görüntüleme aracı olarak YBM .....	50
3.2.2. Analiz aracı olarak YBM .....	52
3.2.3. 4B planlama ve simülasyon aracı olarak YBM.....	54
3.2.4. İletişim ve işbirliği aracı olarak YBM.....	57
4. YAPILABİLİRLİĞİN YBM İLE GELİŞTİRİLMESİ .....	59
4.1. İnşaat Aşamasında Ortaya Çıkan Yapılabilirlik Problemlerin Tanımlanması .....	61
4.2. YBM Kullanılarak Yapılan Yapılabilirlik İncelemesi .....	67
4.2.1. Tesis alt yapısı yapı bilgi modeli .....	68
4.2.1.1. Modelin oluşturulması ve kapsamı.....	69
4.2.1.2. Çakışmaların tespiti.....	73
4.2.2. Ekipman temeli yapı bilgi modeli.....	74
4.2.2.1. Modelin oluşturulması ve kapsamı.....	75
4.2.2.2. Yapım sırasının oluşturulması.....	77
4.3. Geleneksel Yöntemler İle YBM'nin Karşılaştırılması .....	82
5. SONUÇ .....	93
KAYNAKÇA.....	95
ÖZGEÇMİŞ	

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> Literatür taramasında geçen bazı yapılabirlik ilkeleri .....	9
<b>Tablo 2.2.</b> Literatür taramasında geçen bazı yapılabirlik incelemesi yöntemleri .....	23
<b>Tablo 2.3.</b> Örnek kontrol listesi.....	30
<b>Tablo 3.1.</b> YBM'nin yararları .....	46
<b>Tablo 3.2.</b> YBM'de kullanılan programlar ve üreticileri .....	48
<b>Tablo 3.3.</b> 4B modellerin kullanım alanlarına göre faydaları .....	55
<b>Tablo 4.1.</b> Altyapı modelinin oluşturulmasında kullanılan betonarme projeler listesi ..	83
<b>Tablo 4.2.</b> Altyapı modelinin oluşturulmasında kullanılan altyapı projeleri listesi .....	84

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Betonarme ön üretim yapı elemanları .....	16
Şekil 2.2. Örnek erişilebilirlik problemi ve çözüm önerileri .....	19
Şekil 3.1. YBM'ye farklı bakış açıları .....	33
Şekil 3.2. YBM seviyeleri .....	34
Şekil 3.3. YBM gelişmişlik seviyeleri .....	36
Şekil 3.4. YBM'nin boyutları .....	41
Şekil 3.5. CAD ve YBM ile 4B modellerin oluşturulma süreçleri .....	56
Şekil 4.1. Betonarme Projelerin Hazırlanma Süreci.....	61
Şekil 4.2. Detayların yoğun olarak verildiği örnek plan kesiti.....	63

## GÖRSELLER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Görsel 2.1.</b> Ankraj içeren bir kolonun imalat sırası .....	11
<b>Görsel 2.2.</b> İnşaat sahasında üretilen ön üretim elektrik bakım rögarı.....	16
<b>Görsel 2.3.</b> Gerekli zemin koşulları sağlanmamasından dolayı devrilen mobil vinç ....	18
<b>Görsel 2.4.</b> Örnek hakem değerlendirmesi .....	25
<b>Görsel 2.5.</b> Öğrenilmiş ders kaydı için kullanılan kayıt sistemi .....	27
<b>Görsel 3.1.</b> IFC modellerin içerdiği veriler .....	40
<b>Görsel 3.2.</b> 4B model ile planlanan ve fiziki durumun karşılaştırılması .....	42
<b>Görsel 3.3.</b> 5B modelleme kullanılarak yapılan metraj tablosu .....	43
<b>Görsel 3.4.</b> Binalarda enerji ve gün ışığı analizlerinin yapılması .....	44
<b>Görsel 3.5.</b> İşletmede kullanılan model içine gömülen ekipman bilgileri .....	45
<b>Görsel 3.6.</b> ‘Third Person View’ ile modelin görüntülenmesi .....	51
<b>Görsel 3.7.</b> YBM ile çakışma tespitlerinin yapılması ve görüntülenmesi .....	53
<b>Görsel 3.8.</b> Koordinasyon toplantısından bir görüntü .....	58
<b>Görsel 4.1.</b> 3B Vaziyet planı .....	70
<b>Görsel 4.2.</b> Boru mekanik özelliklerin tanıtıldığı program arayüzü .....	71
<b>Görsel 4.3.</b> Yağmur suyu drenaj hattı yapı bilgi modeli .....	72
<b>Görsel 4.4.</b> Altyapı yapı bilgi modeli.....	73
<b>Görsel 4.5.</b> Navisworks ‘Clash Detective’ aracı arayüzü .....	74
<b>Görsel 4.6.</b> Örnek ağır sanayi ekipmanı modeli .....	75
<b>Görsel 4.7.</b> Ekipman temeli yapı bilgi modeli .....	76
<b>Görsel 4.8.</b> Donatı özelliklerinin programa tanıtılması.....	77
<b>Görsel 4.9.</b> Navisworks ‘Animator’ aracı .....	78
<b>Görsel 4.10.</b> Basit nesne animasyonu temel betonu öncesi aşamalar .....	79
<b>Görsel 4.11.</b> Basit nesne animasyonu gövde donatılarını gösteren aşamalar.....	80

<b>Görsel 4.12.</b> Basit nesne animasyonu üst donatı aşamaları ve gövde betonu .....	81
<b>Görsel 4.13.</b> Temel derinliği artırılmadan önceki değişkenlerin durumu .....	85
<b>Görsel 4.14.</b> Temel derinliği artırıldıktan sonra değişkenlerin durumu .....	86
<b>Görsel 4.15.</b> Kontrol paftası ve yorumlar .....	89
<b>Görsel 4.16.</b> Navisworks ile tespit edilen çakışmalar .....	90
<b>Görsel 4.17.</b> Çakışmaların program ile otomatik görüntülenmesi .....	90
<b>Görsel 4.18.</b> Navisworks'dan otomatik olarak alınmış rapor .....	91



## KISALTMALAR DİZİNİ

AACE: American Association of Cost Engineers

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

AEC: Architecture /Engineering/Construction

AGC: Associated General Contractors of America

AIA: The American Institute of Architects

ASCE: American Society of Civil Engineers

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

BIM: Building Information Modelling

CAD: Computer Aided Design

CIFE: Center for Integrated Facilities Engineering

CII: The Construction Industry Institute

CIIA: The Construction Industry Institute in Australia

CIRIA: Construction Industry Research and Information Association

CPA: Construction Plant-hire Association

EPC: Engineering Procurement Construction

IAI: Industry Alliance for Interoperability

IFC: Industry Foundation Classes

IPENZ: Institution of Professional Engineers New Zealand

ISO: International Standards Organization

LEED: Leadership in Energy and Environmental Design

LOD: Level of Development

PMI: Project Management Institute

YBM: Yapı Bilgi Modelleme

WSDOT: Washington State Department of Transportation

## 1. GİRİŞ

Tasarım inşaat projelerinde kendinden sonra gelen tüm aşamaları doğrudan etkileyen bir süreç olup, bu süreç içerisinde meydana gelen çizimlerin yapılabirlik yeterlilikleri özellikle yapım aşamasında gerekli koşulların sağlanması için anahtar faktör olur. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ya da BIM (Building Information Modelling) inşaat endüstrisinde yükselen bir eğilim olup tasarımların yapılabirlik yeterliliklerin geliştirilmesinde de önemli katkıları vermektedir.

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada amaçendüstriyel tesislerin yapım sürecinde ortaya çıkabilecek yapılabirlik problemlerinin tespiti ve önlenmesinde YBM'ninaraç olarak kullanılması için bir öneri sunmaktır. Ayrıca genel olarak bu çalışma aşağıdaki sorulara cevap aramaktadır.

- Yapılabirlik inşaat projelerinde neden önemli?
- YBM araç olarak kullanılarak yapılabirlik incelemesi nasıl yapılabir?
- Yapılabirlik incelemesinde geleneksel ile YBM'nin araç olarak kullanıldığı yöntemler arasındaki farklar nelerdir?
- YBM ile tasarımların yapılabirlik yeterlilikleri geliştirilebilir mi?
- Endüstri yapılarının inşaat aşamasında ortaya çıkabilecek yapılabirlik problemleri neler olabilir ve bunlar nasıl çözülebilir?

### 1.2. Çalışmanın Yöntemi

Bir önceki bölümde verilen sorulara yanıt aramak ve çalışmanın amacını gerçekleştirebilmek için;

- Yapılabirlik kavramı hakkında kitap, dergi, makale ve daha önce yapılmış bilimsel çalışmalardan kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve düzenlenmiştir.
- Bu bilgiler ışığında yapılabirlik kavramı, ilkeleri ve yapılabirlik inceleme yöntemleri tanımlanmıştır.
- YBM kavramı ile ilgili kapsamlı literatür taraması yapılmış YBM kavramı ve özellikleri tanımlanmıştır.



- YBM'nin yapılabirliğin gelişiminde kullanımı ve ilişkisi literatürdeki çalışmalardan örnek verilerek açıklanmıştır.
- Bir enerji santrali projesi vaka çalışması olarak seçilmiş ve yapım sürecinde ortaya çıkan yapılabirlik ilişkili problemler sahadan gönderilen yazılı dokümanlar kullanılarak tespit edilmiş ve gruplandırılmıştır.
- Vaka çalışmasında ortaya çıkan yapılabirlik problemlerini YBM kullanılarak tasarım aşamasında önlemenin nasıl yapılabileceğini göstermek için 3B ve 4B olmak üzere iki adet model üretilmiştir.
- Bu modeller üzerinden problemlere çözümler önerilmiş ve yapım sürecinde kullanılmış geleneksel ile YBM kullanılarak yapılan inceleme ve değerlendirme yöntemleri kıyaslanmıştır.

Bu çalışmada 2. bölümde yapılabirlik kavramı, ilkeleri ve inceleme yöntemleri tanımlanmıştır. 3. bölümde YBM kavramı ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve YBM ile yapılabirliğin geliştirilmesi, bir araç olarak yapılabirlik incelemesinde nasıl kullanıldığı yapılan literatür taramasından derlenmiştir. 4. Bölümde ise endüstriyel tesis inşaatı vaka çalışması olarak seçilerek yapılabirliğin YBM ile nasıl geliştirilebileceğini gösteren bir öneri sunulmuş ve geleneksel ile YBM kullanılarak yapılan inceleme yöntemleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak vaka çalışması yapılan proje üzerinden endüstriyel tesislerde YBM'nin yapılabirliğin gelişimine katkıları 5. bölümde verilmiştir

## 2. YAPILABİLİRLİK

Yapılar sırasıyla; düşünce, tasarım ve detay mühendislik, tedarik, yapım ve işletme aşamalarından geçerler (Kurt, 2012, s. 2). Düşünce aşaması projenin başlangıç aşamasıdır. Bu aşamada ortaya atılan fikir değerlendirilir ve gerekli araştırmalar yapılır. Fizibilite çalışmaları bu aşamasının bir parçasıdır ve bu çalışmalar kapsamında yapılacak yatırımın ekonomik, teknik, finansal ve hukuki değerlendirmeleri yapılır (http-1). Fizibilite çalışmaları sonucunda yatırımcı bu yatırımın değer getireceğine inandığına karar verip, yatırımın gerçekleşmesi için gerekli kaynakları sağlayıp ve gerekli izinleri alındıktan sonra yatırım artık hayata geçmeye hazırdır. Bir sonraki aşama olan tasarım ve detay mühendislik aşamasında ortaya çıkan düşüncelerin üretim ve yapım ile somutlaştırmak için çizim ve hesaplar ile desteklenen yol haritaları oluşturulur. Üretim, yapımda kullanılacak elemanların endüstriyel yöntemler ile imalatlarını içerir. Yapım ise belli standart ve yönetmeliklere uyulup tasarımlarda belirtilen özelliklere göre yatırımı fiziki olarak ortaya çıkarma işidir. Yatırımın yapım süreci tamamlandıktan sonra ise amacına uygun olarak yarar sağlaması ve topluma değer katması için işletmeye alma aşaması başlar. Bu aşamada gerekli test ve kontroller ile devreye alma ve kabul yapılır. Tüm bunların sonunda yatırım işletmeye alınmış olup fiziki olarak değişken bir süreçten çıkıp durağan bir süreç olan kullanım aşamasına girmiş bulunmaktadır.

Teknolojinin hızla gelişimi ve küreselleşme ile gelen teknoloji transferi, kullanılan malzeme çeşitliliğinin artması, inşaat endüstrisinde bilgisayar programların kullanımındaki ilerleme ve benzeri gelişmeler ile yeni tekniklerin ve yöntemlerin yaygınlaşması sonucu toplumun ihtiyaçlarına cevap veren daha karmaşık ve ayrıntılı projeler ortaya çıkmaya başlamıştır. İnşaat projelerinin bu teknolojiler ile gün geçtikçe daha da karmaşıklaşması sonucu çözümlenmesi zor, farklı disiplinlere ait detayların iç içe olduğu tasarımlar olarak endüstriye yansımıştır. Bu tasarımlar hem yapım aşamasını yönlendiren hem de tamamlanmış yapının meydana getirdikleri etkilerin kullanım ömrü boyunca süreceği düşünülürse kritik bir rol oynar. Tasarımlar yapılacak yatırımın amaçlarına sadece cevap vermemeli, sorunsuz bir yapım ve işletme aşamasını da desteklemelidir (Dunston and Williamson, 1999). Yapılan tasarımların hesaplamalar, standartlar ve yönetmeliklere uygunluğu kadar sahada 'yapılabilir' olması, proje hedeflerini gerçekleştirmek için önemli bir kısas olarak ortaya çıkabilmektedir.

## 2.1. Yapılabilirlik Kavramı

Yapılabilirlik bir kavram olarak ortaya çıkmadan önce İngiltere’de bir takım çalışmalar yapılmıştır. Emmerson (1962) yayımladığı raporda tasarımcılar ile yükleniciler arasında yeni bir ilişki formunun geliştirilmesini önermiştir. Ek olarak bu raporda tasarımcı ile yüklenici arasındaki bağlantının yetersizliği ve her ikisinin de inşaat sürecini birbirinin gözünden göremeyişi değinilen noktalardan biridir. Banwell (1964) ise tasarım ve yapımın birlikte düşünülmesinin gerekliliğini ve geleneksel sözleşme durumunda yüklenicinin uzmanlaştığı bilgi ve tekniklerini değerlendirebileceği tasarım aşamasından çok uzakta olduğunu vurgulamıştır. Tavistock (1965) sorumlulukların paylaşımı ve ilişkilerin şeklinin proje paydaşları arasındaki iletişim problemlerinin nedeni olabileceğini vurgulamıştır. Bu raporlar sonucunda Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) yapım aşamasında çıkan sorunları araştırmak üzere bir çalışma başlatmıştır. Bu çalışma yapılabilirliğe yoğunlaşmış olup tasarımların maliyet verimliliği açısından müşterilere gereken olanağı sağlamadığını vurgulamıştır (Qing,2014; http-2). CIRIA (1983) hazırladığı raporda yapılabilirliği, bir tasarımının tamamlanmış yapının tüm gereksinimlerine bağlı olarak inşaatı kolaylaştırma derecesi olarak tanımlamıştır. Amerika’da ise bu kavram 1970’lerin sonlarında inşaat sektöründe kalite verimliliğini, üretkenliği ve maliyet etkinliğini arttırmaya yönelik araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır (ASCE, 1991). Yıllar içerisinde yapılabilirlik kavramı farklı kurumlar tarafından yorumlanmış ve şu şekilde tanımlanmıştır.

- The Construction Industry Institute (CII, 1986) genel proje hedeflerine ulaşmak için planlama, tasarım, satın alma ve saha operasyonlarında inşaat bilgisi ve tecrübesinin en iyi şekilde kullanılması;
- The Construction Industry Institute in Australia (CIIA,1993) ise inşaat sürecinde inşaat bilgisinin optimum şekilde entegrasyonunu sağlamak ve proje hedeflerinin ve inşaat performansının maksimize edilmesini sağlamak için çeşitli proje ve çevresel kısıtlamaların dengelenmesi için bir sistem;
- American Society of Civil Engineers (ASCE,2007) tüm proje hedefleri ile tutarlı olarak planlama, tasarım, tedarik, yapım, işletme, bakım ve devreden çıkarma aşamalarında yapım bilgi ve tecrübesi ile birleşimi olarak tanımlamıştır.

- Institution of Professional Engineers New Zealand (IPENZ,2008) yapılabirliği yapım öncesi safhasında inşaat sürecini baştan sona kadar değerlendiren bir proje yönetim tekniği olarak tanımlamış ve bu yöntemi proje yapım aşamasına geçmeden önce hataları, gecikmeleri ve maliyet aşımlarını azaltmak veya önlemek için engelleri tanımlayacağını belirtmiştir.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE,2015) yapılabirliği inşaat dokümanlarının yapım ekibine projeyi tamamlamak ve teslim etmek için müşterinin beklentileri ve belgelenmiş proje gereklilikleri ile buluşan gerekli bilgileri ne kadar iyi sağladığının ölçütü olarak tanımlamıştır.

Bu kurumların dışında araştırmacılar yapılabirliği yaptıkları çalışmalar sonucu kendilerine göre de yorumlamıştır. Williams (1982) tarafından ileri sürürmüş yapılabirlik tanımı bir binayı bir araya getirmenin en ekonomik ve etkili yolu olmuştur (Illingworth, 2000, s. 99). Illingworth (1984) yapılabirliği; hem güvenli hem de standartlaştırmaya veya proje düzeyinde basitleştirmeye başvurmadan tasarlanan ürünün inşaatının başarılmasında montaj sürecinin problemlerini tanıyan ve çözen tasarım felsefesi olarak tanımlamıştır. Yapılabirlik tüm bu tanımlara göre, proje inşaat aşamasına geçmeden önce tasarımı oluşturan tüm çizim ve dokümanların genel anlamda sahanın fiziki şartlarına ve mevcut yapım yöntemlerine uygunluğu, ayrıca yapım sonrası işletme ve yıkım aşamalarını da düşünün yeterlikler olarak tanımlanabilir.

Yapılabirlik iş gücü verimliliğine etkiyen birkaç faktör arasında en önemlisi olup; yapılabir tasarımlar inşaat maliyetlerini düşürür (Adams, 1989; Dong, 1996; Williamson 1999). Bu nedenle yapılabirlik kavramı proje yönetiminde üstünde durulması gereken bir faktör olup sadece tasarımcılar için değil tüm proje paydaşları tarafından önemsenmesi gereken bir kavramdır. Tasarım kaynaklı uygulamada çıkacak problemlerin önüne geçilmesi; tasarımcıya daha az düzeltme, yükleniciye iş gücü ve hız, müşteriye de daha az maliyet ve iş süresi boyunca anlaşmazlıkların daha az yaşandığı projeler olarak geri döner. Bu sadece büyük tesislerin projeleri için değil inşaat endüstrisindeki tüm projeler için işin sonunda önemli bir memnuniyet ölçütü olabilmektedir. AACE (2009) yapılabirliğin amaçlarını aşağıdaki gibi tanımlamıştır;

- Tasarımdaki boyut ve malzeme seçimindeki belirsiz özelliklerden kaynaklanan hatalar tespiti,

- Proje şartnamesinde tasarıma dayalı inşaatı zor veya yüksek maliyetli işlerin tespiti,
- Sektörün düzgün bir şekilde inşa edilmesi için gerekli olan proje özelliklerini ileri taşıma,
- Anlaşılması ve doğru teklif verilmesi zor olan proje özelliklerini belirlenme.

Tasarımların yapılabilir olmasının getirdiği yararlar ise şu şekilde sıralanmıştır (CII, 2012, s. 2.01-4);

- Toplam proje maliyetlerini ortalama % 4,3 oranında azaltır (Tasarım, tedarik, inşaat ve işletme ve bakım maliyetlerine etkiler).
- Proje sürecini ortalama % 7,5 oranında azaltır.
- Proje güvenliği, iş güvenliği ve projenin çevresel etkisini geliştirir.
- Proje kalitesini artırır (Kullanılabilirlik, işlevsellik ve güvenilirlik).
- Proje takımının ilişkilerini geliştirir.
- İş tekrarlarını ve planlamadaki revizyonları minimize eder.
- İşin ilerlemesini arttırır (Planlama, tasarım, yapım ve başlangıç programları).

Tasarım, kavramsal planlama ve inşaat aşamaları arasında geçiş aşaması olup düşüncelerin çizimler ile somutlaştığı aşamadır ve bu aşamada inşaat için yapım ekibine yol haritaları oluşturulur. Tasarımların yapılabilirlik yetersizlikleri sahada ortaya çıkması sorunların büyüklüğüne bağlı olarak hemen çözülebileceği gibi tasarımların tamamen değişmesine de neden olabilir. Sorunun anlaşılması, değerlendirilmesi, tasarımın yeniden hazırlanma süreçleri proje için zaman kaybına ve sıkışan takvimlerin etkisiyle bulunan günü kurtaran çözümler hedeflenen kalitenin düşmesine neden olabilir. Ayrıca bu tip gecikmelerden kaynaklı enerji santralleri gibi yüksek gelir getiren endüstri tesislerinin planlanandan geç faaliyete girmesi sonucu işletmeden kazanılacak önemli derecede maddi gelir kayıplarına da neden olabilir. Yüklenicinin tasarımları gerçekleştirebilmesi için elindeki yöntemlerin yetersizliği sözleşme yükümlülüklerinden dolayı büyük maddi zararlara sebep olabileceği gibi şirketlerin iflası ile de sonuçlanabilir. Bütün bu olası kayıplara rağmen yapılabilirliğin gelişmesini önleyen engelleri IPENZ (2008) aşağıdaki gibi sıralamıştır:

- İşe başlangıç aşamasındaki bol zaman,
- Projenin ilk aşamalarında ilave para ve çaba harcama konusundaki isteksizlik,
- Götürü miktar ve tasarla yap tipi sözleşmelerin sınırlandırılması,

- Tasarım firmasının yapım aşaması ile ilgili deneyim eksikliği,
- Tasarımcıların zaten bir analiz yaptıkların algısı,
- İnşaatçılar ile tasarımcılar arasında karşılıklı saygının olmaması,
- Değerli olabilmesi için çok geç talep edilen inşaat girdileri,
- Saha sorumluklarının açık ve koordine olmaması,
- Müşteriler arası farklılıkların hemen çözülememesi,
- İnşaat planı ve bütçesinin kapsama bağlı olmaması,
- Müşteri proje temsilcisinin deneyimsiz olması,
- Yüklenicinin işi dengesiz riskler ile kabul ediyor olması,
- Seyrek saha gözlemlerinin yapıyor olması,
- Müşterinin karar almada zorlanması,
- Temel sorunların anlaşma imzalandıktan sonra çözülüyor olması,
- Şirketin deneyimli personelinin süreksizliği,
- Müşavir personelinin deneyimsizliği,
- Şirket yöneticisinin deneyimsizliği,
- İnşaat sözleşme yönetim hizmetlerinin sözleşmede olmaması,
- Proje anlaşmalarının iyi koordine olmaması,
- Projenin hızlı takip edilmesi,
- İnşaat bütçesinin esnek olmaması,
- Değişim emirlerinin yüksek hacimli olması,
- İnşaat programının esnek olmaması,
- Müşteri kararlarının sistematik olarak belgelenmeyişi,
- Müşavir yöneticisinin deneyimsiz olması,
- Müşterinin bir komite olması,
- Müşterinin, kamuda ilgi meydana getiren, tasarım karar verme süreçlerine baskı uygulayan yüksek bir kamusal profile sahip olması.

O'Connor vd., (1994) aktif yapılabirlik programları olduğunu iddia eden şirketler üzerinde yaptığı çalışmada etkili yapılabirliğin gelişmesine yönelik engelleri organizasyonlara göre ayırmış ve en önemli engelleri;

- Genel yükleniciler için götürü miktar ve tasarla yap tipi sözleşmelerin sınırlandırılması,
- Tasarımcılar için tasarım firmasının yapım aşaması ile ilgili deneyim eksikliği,

- EPC (Engineering Procurement Construction) şirketleri için bir projenin ilk aşamalarında ilave para ve çaba harcama konusundaki isteksizlik ve
- Proje yöneticileri için yapılabirliğin hiçbir kanıtlanmış faydasının bulunmadığı inancı olarak tespit etmiştir.

Song and Chua (2006) ise yapılabirliğin uygulanmasındaki en önemli engellerin inşaat endüstrisinde yapılabirliğin kazandırdıklarının ölçülmesinin zorluğu, yapılabirlik analiz ve ölçümlerinin gerekliliklerini yerine getirecek metotların yetersizliği olarak dile getirmiştir.

## 2.2. Yapılabirlik İlkeleri

Kurumlar ve araştırmacılar yapılabirliği geliştirmek için yaptığı çalışmalarda bu kavram için 'ilke', 'faktör' , 'konsept' gibi farklı kelimeler ile adlandırılan ancak temelde bu kavramın gelişmesini amaçlayan eylemler ya da öneriler geliştirmişlerdir. Bu çalışmada bu eylem ve önerilerden 'yapılabirlik ilkesi' olarak bahsedilecektir. Tablo 2.1'de bazı kurum ve araştırmacılar tarafından belirlenen yapılabirlik ilkeleri verilmiştir. Nima vd., (2001) projenin farklı aşamalarına entegre ettiği yapılabirliği artıran 23 ilke belirlemiştir. Bu ilkelerin içeriği genel olarak konsept planlama,tasarım/ üretim ve saha çalışmaları aşamalarında aşağıdaki gibi özetlenebilir.

**Konsept planlama aşamasında:** Konsept planlama aşamadaki ilkeler genel olarak tüm proje paydaşlarının bir yapılabirlik programı oluşturmasını ve bu program çerçevesinde yapılabirlik kavramını formülize ederek tüm proje boyunca sürdürülebilir olmasını amaçlar. Tasarımlara başlamadan önce yapım, işletme ve bakım aşamalarının gereksinimlerini karşılayabilmek ve verimliliği artırmak için; yapılacak sözleşme türü ve sayısı, proje takviminin ve bitiş tarihinin belirlenmesi, kullanılacak yapım yöntemlerin belirlenmesi, inşaat alanının ve yapının inşaatından yıkımına kadar tüm evrelerdeki işlerin sırasının incelenmesi ve bunların üzerinde çalışılması önem taşır. Böylece konsept planlama aşamasında yapım bilgi ve deneyimi kullanılıp tasarım ve uygulama aşamasında proje paydaşlarının birbirlerine müdahale etmeleri engellenebilir.

**Tasarım ve üretim aşamasında:** Tasarım ve üretimin yapım sırasına göre yapılabilmesi için inşaat programı bu eylemler başlamadan önce oluşturulması gerekliliği bu aşamada ortaya çıkan ilk ilkedir. Daha sonraki ilkeler tasarımların basit ve anlaşılır, uzman profesyoneller tarafından değerlendirilmiş, tüm evrelerde personel, malzeme ve araç erişimine izin veren ve kötü hava koşullarında çalışmaya imkan

tanınmasını hedefler. Ayrıca tasarlanan elemanlar standartlaştırılmalı, modüler ve ön montaj parçaların uygulanması üzerine düşünülmeli ve çalışılmalıdır. Bu aşamada yapılabilişliğin gelişmesine katkı sağlayacak bir diğler ilke ise şartnamelerin tıpkı tasarımlarda olduğu gibi anlaşılır ve basit olmasıdır. Son olarak tüm bu üretim ve tasarım aşamalarında ileri düzey bilgi teknolojilerinin kullanımı ilkesi oluşabilecek problemlerin üstesinden gelmek ve yapılabilişliğin gelişmesinde oldukça önem taşır.

**Tablo 2.1.** Literatür taramasında geçen bazı yapılabilişlik ilkeleri

Kaynak	Yapılabilişlik İlkeleri
CIRIA (1983)	Kapsamlı araştır ve tasarla; Temel saha üretimi gereksinimlerini için planlama; Yapı işlerini pratik olacak şekilde sıralamak ve erken dış kabuk için planlama; Basit montaj ve ticari alımlar için planlama; Maksimum tekrarlama ve standardizasyon için ayrıntı; Başarılabiliş toleranslar için ayrıntı; Sağlam ve uygun malzemeleri belirtilmesi.
CII (1986)	Uygulanabilir inşaat plan ve programı; Tasarımın Basitleştirilmesi; Elementlerinin standardizasyonu ve tekrarlanması; Verimliliğin artması için şartnameler, Modüler ve ön montaj tasarımlarının, prefabrikasyonun ve montajın yararlarını geliştirmesi gerekliliği.
Adams (1989)	Kapsamlı inceleme, tasarım aşamasında erişimin düşünülmesi, tasarım aşamasında depolanmanın düşünülmesi, yeraltında minimum zaman geçirme için tasarım, yapının erken dış kabuk oluşturulması için tasarım, uygun malzemenin kullanımı, mevcut beceri özellikleri için tasarım, basit montaj için tasarım, maksimum tekrarlama için planlama/standartlaştırma, tesis kullanımını maksimize etme, mantıklı toleranslara izin verme, kullanışlı işlem dizinine izin verme, işin tekrarlanmasından kaçınılması; mevcut ve sonradan gelen işlere zarar vermemek için planlama, güvenli ve etkili iletişim için tasarım.
CII (1993)	Bütünleşme, inşaat bilgisi, ekip becerileri, kurumsal hedefler, mevcut kaynaklar, dış faktörler, program, inşaat metodolojisi, erişilebilirlik, şartnameler, inşaat yeniliği, geribildirim.
Delice (2011)	Yapım aşamalarının tanımlanması, basitleştirme, standartlaştırma, kolay bulunabilir kaynakların kullanılması, endüstrileşmiş yapım tekniklerinin kullanımı, şantiyeye ulaşımın ve şantiye içi ulaşılabilirliğin sağlanması, boyutsal tolerans, kolay bulunabilir malzemelerin kullanılması, her türlü hava koşulunda yapım, sistemler entegrasyonu, bina elde etme süreçlerinde yer alan ekipler arası iletişim, tasarımın yeterli düzeyde anlatımı, yapım ve montaj için ulaşılabilirliğin sağlanması, arsa ve çevresel şartlar araştırmalarının yapılması, dış kabuğu ilk aşamada oluşturma için tasarım, yapıda iş güvenliğinin dikkate alınması, taşınabilir parçaların kullanımı, toprak altı çalışmaların en azda tutulması, şantiyedeki depolama olanaklarının oluşturulması, yapım ekiplerinin tek seferde işlerini tamamlaması, geliştirilmiş detayların kullanımı.
Vardhan and Yates (1992)	Proje amaçları, sözleşme stratejileri, inşaat bilgi ve tecrübesi, yapım için saha planı, tasarım detayları ve şartnameler, proje yöneticisinin rolü.
Lam vd. (2011)	Sahaya özel faktörler, yer altında çalışma, hava, yenilik, tasarımın koordinasyonu ve rasyonelleşmesi, detay verme, esneklik, araç-tesis ve ekipman, Materyaller, bağlantı parçaları, ürünler ve alt montajlar, iş güvenliği, saha planı, girişı ve çevresi, kaynakların kullanımı, malzeme sistemleri, montaj sırası, standartlaştırma, prefabrikasyon.
Akpan vd. (2014)	Saha inceleme, proje planı geliştirme, yapım yöntemlerinin seçimi, saha ekibinin katılımı, müşterinin kurumsal ve proje hedeflerini anlama, yapım süreci programı, montaj sürecinin basitleştirilmesi, standartlaştırma, modülerleştirme, sanal inşaat, pratik çalışma dizisi, depolanmanın düşünülmesi, güvenli inşaat sistemleri, mevcut beceriler için tasarım, uygun malzemenin kullanımı, tesis kullanımını artırma, açık ve detaylı bilgilerin sağlanması, makul toleranslara izin verme, işin tekrarlanmasından kaçınılması, inşaat malzemelerinin seçiminde havanın olumsuz etkileri göz önüne alma.



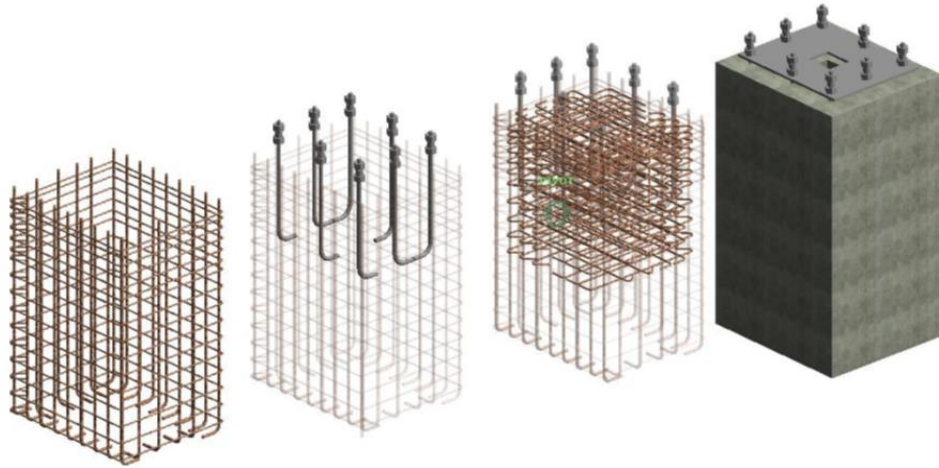
**Saha çalışmaları aşamasında:** Saha çalışmalarında iş sırasının doğru yapılması, işin tekrarlanması veya yapılmış işe zarar vermesini minimize etmek için önem taşır. Kullanılacak yöntem ve malzemeler tasarım ve şartnameler sınırlı kalmamalı elde bulunan mevcut kaynaklar kullanılarak bulunan yenilikçi çözümler yapılabilirliği artırmada etkin olmaktadır. Proje boyunca yapılabilirlik problemleri ile ilgili geri bildirimler belgelendirilmeli ve daha sonraki projelere öğrenilmiş ders olarak aktarılmalıdır.

Yapılabilirlik ilkelerini belirleyen kurum ve araştırmacılar farklı olsa da belirledikleri maddeler sahada uygulanabilir, ekonomik, verimliliği artırıcı tasarımların oluşturulmasını ve buna bağlı olarak sahada tasarım kaynaklı problemleri minimize etmeyi hedefler. Tablo 2.1’de verilen çalışmalarda geçen yapılabilirlik ilkelerinden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

### **2.2.1. Yapım sırası**

Yapım sırası proje planlamadaki ana kavramlardan biridir. Yapım sırası yapılabilirliği geliştirmede etkili olduğu gibi gereksiz kaynak kullanımını kısıtlayan önemli bir faktördür. Bu kaynaklar maliyet, hız ve kalite ile doğrudan ilişkilidir. Pratik ve etkin yapım sırası ile kastedileni; işlerin mantıksal olarak doğru sıralanarak hem birbirini takip eden işlerde önceki işin, daha sonra gelecek olan işin montaj ve benzeri işlemlerine izin vermesi hem de birbirlerine paralel zamanda yapılan işlerin birbirini etkilememesi olarak açıklanabilir. Örneğin çelik bir yapının tekil temellerinde kolonların tüm donatılarının ankrajlar yerleştirilmeden tamamlanması daha sonraki ankraj montajının çiroz ve etriye gibi yatay donatılardan dolayı yapılmasına engel olabilir. Görsel 2.1’de gösterildiği gibi sahada donatı ve ankrajın montajından sorumlu ekipler birbirleri ile koordineli çalışarak, ankrajları yerleştirdikten sonra yatay yönlü donatıların montajını yaparak doğru işlem sırasını sağlayıp problemsiz olarak imalatı gerçekleştirebilir. Bir diğer örnek ise birbirine paralel zamanlı işlerin yapılması ile ilgilidir. Yine çelik yapılardan örnek vermek gerekirse, çok katlı çelik yapılarda birbirini takip eden katlarda üst katın çelik montaj işlerinin yapımı esnasında alt katta çalışmak malzeme düşme olasılığı nedeniyle iş güvenliği açısından tehlikeli olabilir. Bu nedenle alt kattaki işlerin üst kat çelik montaj işlerinin yapımı tamamlandıktan sonra başlayacak şekilde planlamak gerekmektedir. Bu örneklerdeki gibi problemlerin önüne geçebilmek için yapım sırasının etkili bir şekilde sağlanması tüm proje paydaşlarının

sorumluluğundadır ve yapılabilirliğin geliştirilmesi için her paydaş ayrı ayrı katkıda bulunması gerekir. İnşaata başlamadan önce tüm tasarımların detaylı olarak incelenmesi bu aşamadan sorumlu profesyonellerin ilk görevidir. Deneyimli profesyoneller zihinlerinde yapım sırasını canlandırarak bu konu hakkında çıkan problemleri önceden görebilirler ve önlemlerini alırlar. Tasarımcılar da tıpkı bu profesyoneller gibi tasarımları gerçekleştirirken uygulamayı zihinlerinde canlandırarak işlerin birbirleri ile ilişkilerini doğru tahlil etmeleri gerekmektedir. Böylece uygulamada problemsiz tasarımlar üretebilirler. Tasarımcıların çizimlerde vereceği referans projeler, dikkat edilmesi gereken noktaları açıklayan uyarı metinleri ve ek açıklamalar yapım sırasındaki problemlerin önüne geçmek için diğer etkili bir yöntem olarak sayılabilir. Bu açıklamalar tasarımların daha etkili gözden geçirilmesini sağlayarak doğru bir şekilde iş sırasının yapılmasına neden olur. Örneğin temel altından geçen bir altyapı imalatı var ise ilgili yapının temel projesine bu not olarak belirtilebilir ve altyapı projesinin numarası referans olarak yazılabilir. Böylece saha ekibinin burada yapılacak imalatın gözden kaçırılması olasılığı azaltılabilir.



**Görsel 2.1.** Ankraj içeren bir kolonun imalat sırası

### 2.2.2. Basitleştirme

Tasarımların basitleştirilmesi yapılabilirliğe etkiyen en önemli ve temel faktörlerden biridir. Tasarımı standartlaştırma, bileşen azaltma ve basit ekleme yöntemleri kullanarak basitleştirmek tasarım verimliliğini yapılabilirlik açısından

artırabilir (Hiley and Yagci, 2001). Ek olarak tasarımların basitleştirilmesi çizimlerde verilen detayların anlaşılmasını artırarak sahada yanlış veya eksik imalat yapılma oranını azaltabilir. Daha basit anlatımları olan tasarımlar sadece bunları uygulayacak olan kişiler için değil tasarımı kontrol edenler için de verimliliği artıran bir faktör olarak ortaya çıkabilir. Kontrol sürelerinin azalması paftaların yayımlanma sürecini de kısaltan bir faktördür. Ek olarak basit anlatıma sahip paftalar yapım sürecinde çıkabilen problemlerin daha çabuk anlaşılması ve çözülmesine katkıda bulunabilir. Bu durumda anlaşılabilirlik kadar öğrenilebilirlik de önemli olabilir. O'Connor vd., (1987) verimli inşaat süreçlerine olanak tanıyan tasarımları basitleştirmek için beş ilke önermiştir. Bunlar;

- Montaj için minimum bileşen, eleman veya parça kullanma,
- Yaygın boyut ve biçimde kolaylıkla bulunabilen materyalleri kullanma,
- Yüksek işçilik ve özel kontroller gerektirmeyen basit ve uygulanması kolay bağlantı elemanları kullanma,
- Boyutsal yerleşim için alan yeterliliğine izin veren tasarımlar kullanma ve
- İşlerin birbirine bağımlılığını minimize eden tasarımları kullanma.

O' Connor bu faktörler ile tasarımların sadece tam sayı olan ölçüler içermesi gibi çizimlerin standartları ile ilgili özellikler dışında uygulama ile doğrudan ilişkili üretim, malzeme, işçilik, işlem sırası gibi faktörlerinde basitleştirilmesi ile yapılabirliğin artırılabilceğini belirtmiştir. Üretim ve montajın verimliliğini artırmaya yönelik tasarımlar özellikle prefabrik yapılarda yapım süresini kısaltıp maliyeti azaltabilir. Ayrıca daha az bileşenden ürün elde etmeyi hedefleyen tasarımlar hem taşıma maliyetlerini hem de sahadaki depolama için alan ihtiyaçlarını azaltabilir.

### **2.2.3. Standartlaştırma**

Yapılabilirliğe katkıda bulunan bir diğer faktör olan standartlaştırma belirli bir faaliyetle ilgili olarak ekonomik fayda sağlamak üzere bütün ilgili tarafların yardım ve işbirliği ile belirli kurallar koyma ve bu kuralları uygulama işlemidir (http-3). Delice (2011) tasarım sürecinde yapı sistemlerinin, malzeme tiplerinin, detayların ve boyutların standartlaştırılması yapılabirlik faktörü olan standartlaştırmanın alt ölçütleri olarak belirlemiştir. Standartlaştırma ile kaynak ihtiyacı azaldığı gibi uygulamaların basitleştirilmesi ile hızlı ve ekonomik inşaat süreçleri sağlanabilir. O' Connor vd., (1987) standartlaştırmanın avantajlarını;

- Tekrar eden işlerin öğrenilmesinin yararları ve üretkenliğin artması,
- Aynı malzemeden daha fazla alınması sonucu toplu satın alma indirimleri,
- Daha az farklı materyalden gelen basitleştirilmiş malzeme temini ve yönetimi olarak sıralamıştır.

Ayrıca yapım sırasında uygulanan yöntemlerin azaltılması tasarım, malzeme ve işçilik gibi faktörlerin kontrolü için harcanan kaynakların da azaltılmasını sağlar. Örneğin çelik yapılarda kontrol için uygulanan yöntemler ile betonarme yapıların kontrolü için uygulanan yöntemler birbirinden farklıdır. Betonarme yapılarda yapım sürecinde beton basınç deneyleri, çelik çekme deneyleri yapılan kontrol yöntemlerine örnek verilebilir. Çelik yapılarda ise kaynak kalitesi, torklama ve boya kalınlığı gibi kontroller yapılır. Bu kontrolleri yapacak hem ekipler birbirinden farklı olur hem de kullanılan kontrol aletleri birbirinden farklıdır. İnşaat projelerinde standart detaylar kullanımı yapım ekibine her uygulamada deneyim kazandırarak uyguladıkları detayı tanımalarını sağlayarak, imalat sürecini daha hızlı ve kaliteli olmasını sağlayabilmektedir. Kat yükseklikleri, aks aralıkları ve temel boyutları aynı tutularak betonarme yapılarda kalıp işleri için kullanılacak malzeme ve işçilik giderleri azaltılabilir. Örneğin tünel kalıp sistemleri ile kalıp işlerindeki standartlaştırma ile çok yüksek katlı binaların yapım süresini oldukça kısaltan bir faktör olarak sayılabilir.

#### **2.2.4. Kolay bulunabilir kaynakların kullanımı**

Fizibilite çalışmalarının bir parçası olarak görülebilecek bir kavram olan kolay bulunabilir kaynakların kullanımı tasarımlar ile desteklenebilir bir yapılabirlik faktörüdür. Sahanın coğrafi konumu, piyasa koşulları ve sosyopolitik durum gibi kaynakların ve becerilerin bulunabilirliğini etkileyen faktörler tasarım aşamasında dikkate alınmalıdır (CIIA,1996). Wong vd., (2004) kaynakların kullanımında dikkat edilmesi gereken faktörleri;

- Yerel tesislerin ve ekipmanların kullanımına izin verme,
- Yerel olarak bulunabilen yapım bilgisine sahip iş gücüne izin verme,
- Tesislerin ve iş gücünün ekonomik olarak kullanılmasına izin verme,
- Mümkün olduğu kadar az sayıda tedarikçi ile çalışma olarak sıralamıştır.

Tasarımcının detaylardaki küçük düzenlemeleri yapım aşamalarında kaynakların bulunabilirliği ile ortaya çıkacak büyük problemlerin önüne geçebilir. Örneğin ön montaj olarak üretilen ağır bir sanayi ekipmanının sahada yerleştirilmesi için gerekli olan

kapasitedeki vinç o bölgede bulunmayabilir. Yüksek kapasitedeki vinçlerin mobilizasyon, kiralama gibi ücretlerinin yüksek olması ve her zaman bulunmayışı projeye hem maliyet hem de beklemelerden dolayı zaman kaybı olarak yansıyabilir. Tasarımcının bu parçayı iki parça olarak tasarlaması sahada yapım süresinde yaşanacak bu problemi ortadan kaldırabilir. Tasarım aşamasında alınacak önlemler maliyetin düşürülmesinde etkin rol oynayabileceğini gösteren bir başka örnek; dolar/euro kurunun yüksek olduğu durumlarda tasarımlarda ithal yerine yerel malzemelere ağırlık verilmesi ve detayları bu malzemeler ile çözülecek şekilde ayarlanması verilebilir. İnşaat alanına yakın üretim tesislerinde bulunabilen malzemelerin seçimi de bir diğer maliyet azaltıcı önlemdir. Uluslararası projelerde ise tasarımcılar mutlaka o ülkenin standartlarını gözden geçirmeli bu standartları karşılayacak şekilde tasarımlar yapmalıdır. Ayrıca standartlar gibi o bölgede o işi yapabilecek kalifiye elemanın olup olmadığını da göz önünde bulundurmalıdır.

#### **2.2.5. Müsaade edilebilir toleranslara izin verme**

Çizimlerde verilen değerler ile üretimdeki değerler arasında farklılıklar olabilir. Bu değerler arasındaki fark ürünün işlevini yerine getirmesini engellemiyor ise müsaade edilebilir bu fark tolerans olarak tanımlanabilir. Sahada kullanılan çeşitli malzemeler ve bileşenler farklı kompozisyona ve farklı birleştirme yöntemlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, kabul edilen pratik tolerans seviyesi malzeme ve bileşenler için gereklidir (Ferguson, 1989). Özellikle çelik ve betonarmenin bir arada kullanıldığı kompozit yapılarda, fan ve pompa gibi ekipmanları taşıyan temel ve kaidelerde kabul edilebilir toleranslar mutlaka tasarımcı tarafından düşünülmelidir. Örneğin çelik bir kolonun beton temele bağlantısı için konulan ankrajlar beton dökümü sonrasında yerinden sapabilir. Tasarımcının düşeyde, yatayda ve açıda olabilecek sapmayı düşünerek montaj için vereceği müsaade edilebilir toleranslar ile sahada bu sapmadan kaynaklanabilecek problemin önlenmesi sağlanabilir. Aynı şekilde aynı malzemelerin birleşme detaylarında da genleşme, büzülme, oturma gibi faktörlerden dolayı tolerans tasarımcı tarafından düşünülmesi gereken bir faktördür.

#### **2.2.6. Ön üretim ve ön montaj kullanımı**

Bu tip endüstriyel üretim teknikleri ile imalatı yapılmış parçaların kullanımı sahada yapılabilişliğe katkıda bulunan bir diğer faktördür. Prefabrikasyon veya ön üretim, yapı elemanlarının şantiye dışında üretilerek şantiyede birleştirilmesine dayanan

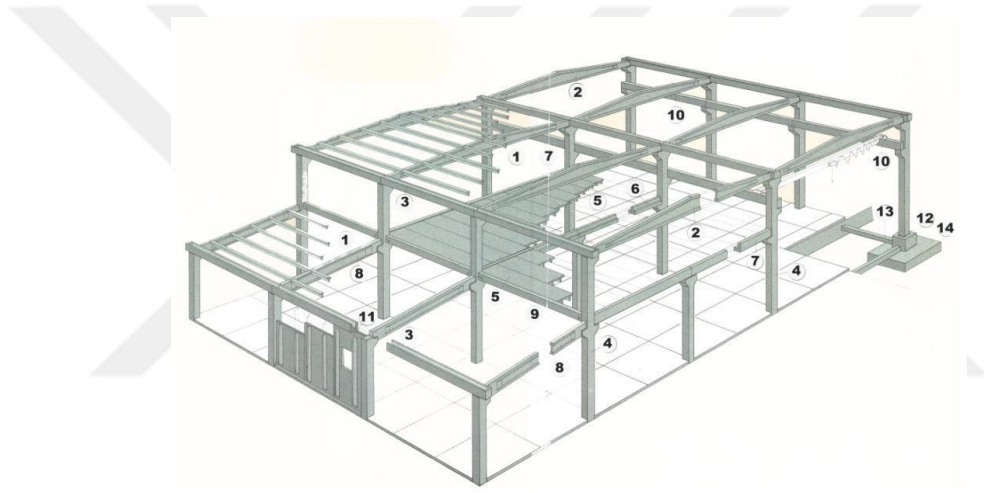
bir yapı üretim tekniğidir (Acar, 2006). Türkiye Prefabrik Birliği prefabrikasyonun avantajlarını şu şekilde sıralamıştır(http-4);

- Projenin hızlı tamamlanması,
- Endüstriyel ortamda, etkin kalite kontrol ile yapı elemanı üretimi,
- Teknolojik avantajlar
- Hava koşullarından bağımsız (kısmi) üretim olanağı,
- Yapımda ekonomi,
- Mimari tasarımda esneklik,
- Çevre dostu teknoloji,
- Kolay bakım, uzun ömür,
- Yangına, korozyona direnç,
- Sabit fiyat, zamanında teslim ve
- Yerli girdi kullanımı olarak sıralamıştır.

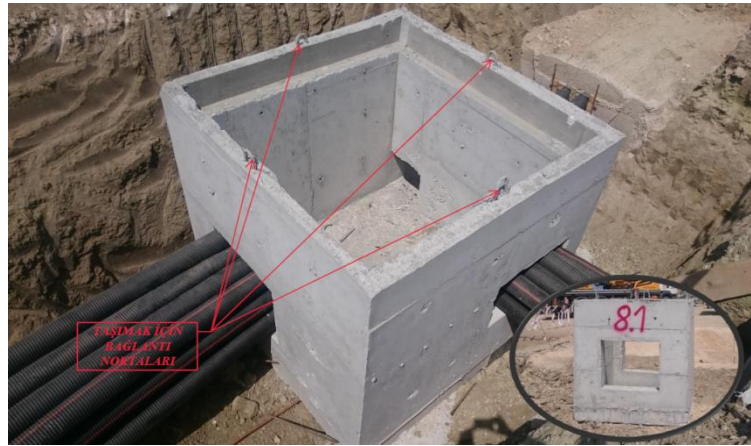
Sahada temel çalışmaları sürerken kolon ve kiriş gibi elemanların aynı anda üretilip yerinde imalatlarda birbirlerini takiben yapılan işlerin bu sistemle aynı anda yapılması projenin tamamlanma süresini etkili bir şekilde azaltır. Ayrıca endüstriyel standartlarda üretilen yüksek kaliteli ürünler ile daha geniş açıklıklar gibi mimari özellikleri daha düşük maliyetle geçilmesi sağlanabilir. Prefabrik elemanlar sadece yapım sürecinde değil işletme ve yıkım aşamalarında da yapılabilirliğe doğrudan etki eden faktörleri içerir. Ancak tasarımlar yapılırken ön üretim-ön montaj parçaların sahaya ulaşımı, sahadaki montaj için gerekli ekipman ve kalifiye elemanın olup olmadığı düşünülmelidir. Örneğin dağlık ve ulaşım imkanlarının kısıtlı olduğu bir yere yapılacak bir yapıda prefabrik elemanlar kullanılacak ise üretimin yapılacağı tesisin uzaklığı, elemanları taşıyacak olan araçların sahaya mevcut yollar üzerinden ulaşımında problem yaşayıp yaşamayacağı düşünülmeli gerekmektedir. Şekil 2.1'deki gibi çelik yapı elemanları, duvar panelleri, bağlantı elemanları, yalıtım elemanları gibi ön üretim/montaj elemanları dışında teknolojinin gelişmesi ile günümüzde her türlü yapı elemanı, boşluklu döşemeler, köprü kirişleri, bariyerler, traversler, beton boru, menfez, rögar, trafo köşkleri, elektrik direkleri ve rüzgar enerjisi kuleleri gibi ürün yelpazesi geniş betonarme prefabrik elemanlar da mevcuttur.

Ön üretimden faydalanmanın bir başka yolu ise yapı elemanlarının inşaat sahası içerisinde üretilmesi ancak daha sonra projede belirtilen yerlerine yerleştirilmesi

sayılabilir. Örnek olarak yeraltı elektrik kablo hatlarında kullanılan bakım rögarları verilebilir. Yer üstünde üretilen bu elemanlar imalat esnasında taşıyıcı araçlar ile bağlantısını sağlamak için yerleştirilen gömülü elamanlar sayesinde daha sonradan üretildikleri alandan projedeki yerlerini götürülebilir. Bu tip bir yapım yöntemi ile sahada kazısı yapılması belli nedenlerden dolayı yapılamayan bölgelerde kazı beklenmeden oradaki elemanın yapımı önceden tamamlanabilir. Bu şekilde Görsel 2.2’de görüldüğü gibi kazı tamamlandıktan sonra kalıp/donatı montajı ve beton dökümü için beklemeye gerek kalmaz. Ek olarak mevcut işin azalmasından dolayı açığa çıkan personel bu tip işlere yönlendirilip verimin artırılması sağlanabilir.



**Şekil 2.1.** Betonarme ön üretim yapı elemanları1- Aşık, 2- Çatı Makası, 3- Oluk Kirişi, 4-Kolon, 5-Çift T Kirişi, 6-Ters T Kiriş, 7-L Kirişi, 8-I Kirişi, 9-Hatıl (Dikdörtgen) Kiriş, 10-Vinç Kirişi, 11-Çift T Cephe Paneli, 12-Soket, 13-Bağ Hatılı, 14-Temel (Türkiye Prefabrik Birliği-http-5)



**Görsel 2.2.** İnşaat sahasında üretilen ön üretim elektrik bakım rögarı

### 2.2.7. İnşaat alanına ulaşım

İnşaat alanına ekipman, malzeme, personelin ulaşımı yapım aşaması başlanılmadan önce mutlaka değerlendirilmesi ve üzerinde çalışılması gereken bir konudur. Sahaya ulaşım güzergahındaki yol ve trafik durumu yapım sürecinde iş programına etkiyen önemli bir faktör olarak ortaya çıkabilmektedir. Örneğin şehir merkezlerinde yapılan inşaatlarda beton dökümü için çevredeki trafik ve yol durumu hem pompa kurulumu hem de beton mikserlerin zamanında ulaşabilmesi için önem taşımaktadır. Yeteri kadar geniş olmayan yollarda trafiğin geçici olarak kapatılmasını gerektiren durumlarda önceden izin alınması gibi işlemler hem yükleniciye ek prosedürler getirir hem de izin alınan günlere işin mutlaka yetişmesi için programları sıkıştırabilir. Özellikle hava koşullarının elverişsiz olduğu durumlarda beton dökümü esnasında trafik nedeniyle beton mikserlerinin seri olarak gelmemesi yapı elemanlarının beton dökümü tamamlanmadan priz alması gibi istenilmeyen ve yapısal güvenlik için riskli durumların oluşmasına neden olabilir. Trafik kadar yol durumu da malzeme ve ekipmanın ulaşımı için önem teşkil etmektedir. Özellikle güzergahları dağlık arazilerden geçen dar ve eğimleri elverişsiz yollarda büyük ekipman ve malzemeleri taşıyan araçlar yolda kalabilmekte bu da ekipmanın veya malzemenin sahaya geç kalmasından kaynaklı işlerin geç başlamasına neden olabilmektedir. Kar, buzlanma gibi kötü hava koşulları da bu araçların ulaşımı için önemli bir etkidir. İnşaat alanına ulaşım konusu şantiye yönetimi ve planlama ilişkili bir konu olarak gözüксе de özellikle ön montaj ve prefabrik elemanlarda doğrudan tasarım ile ilişkili bir konu olarak karşılaşılabılır. Üretilcek elemanların boyutları ve ağırlığı doğrudan onları taşıyacak araçları belirler. Tasarımcı sadece yapı gereksinimlerini değil tasarladıkları elemanın sahaya ulaşımını da düşünmeli, elinde yoksa müşteriden güzergah ve bölgenin iklim özelliklerini de talep etmelidir. Örneğin proje sürecinde üretim ve montajın ağırlıklı olarak paralel gittiği geniş çaplı bir boru hattı projesinde standart üretilcek parçaların yol durumuna göre tamamının ya da özellikle kış ayları gibi belli periyotlarda üretilenlerin boylarının kısaltılması taşınmasını kolaylaştırarak sahaya ulaşım kolaylığı artırılabilir. Bu durum sahada kaynak gibi montaj işlerini artıracak olsa da etkin bir planlama ve tasarımcı-yüklenici koordinasyonu ile proje süresinin kısalmasında etkili adımlar atılabilir. Şantiye dışı ulaşım gibi şantiye içi ulaşım da yapılabilirliği etkileyen bir faktördür. Alt yapı çalışmaları, çevre binalardaki zemin güçlendirme çalışmaları, temel kazıları da saha içi ulaşımına etkileyen faktörler olarak ortaya çıkabilir. Bir diğer



saha içi ulaşımda düşünülmesi gereken konu zemin ve yer altı yapıların durumudur. Özellikle yüksek kapasiteli mobil vinçlerin hareketi ve yüksek tonajlı malzeme kaldırımı sırasında bu durumun göz önünde bulundurmuyup önlem alınmazsa yüksek maddi kayıplar getirebileceği gibi ölümlü kazalara da neden olabilir (Görsel 2.3). Bunlara ek olarak inşaat alanına kum, çakıl, donatı gibi yapı malzemelerini getirecek kamyon, tır gibi araçların şantiye alanına giriş ve çıkışlarının kolay sağlanabilmesi için manevraalabilecekleri alanlarında saha içinde düşünülmesi gerekmektedir.

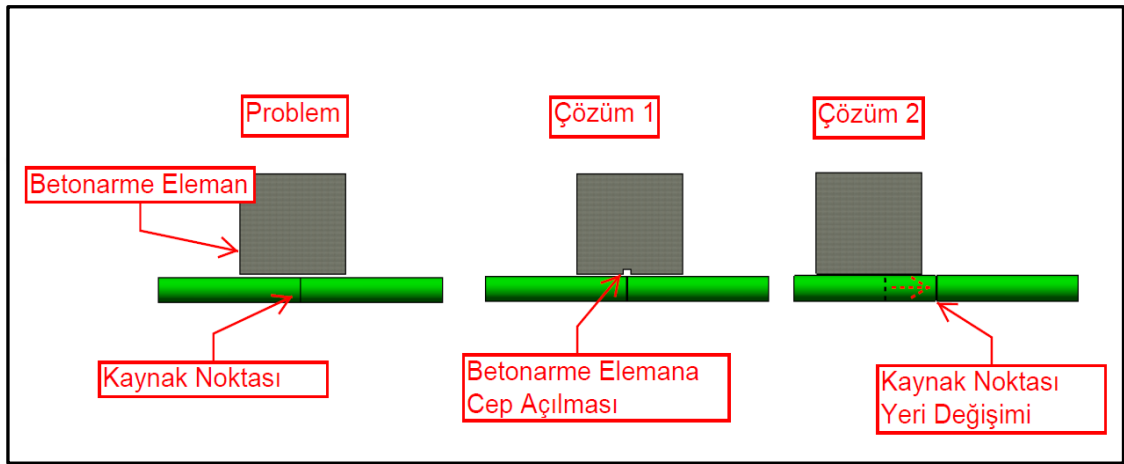


**Görsel 2.3.** Gerekli zemin koşulları sağlanmamasından dolayı devrilen mobil vinç(CPA,2014)

### 2.2.8. Malzeme/ personel/ ekipman erişimi

Tasarımlar yapılırken malzeme, personel ve ekipmanların erişiminin düşünülmesi sadece inşaat aşaması için değil işletme aşamasında bakım ve onarım için de düşünülmesi gereken bir yapılabirlik faktörüdür. Erişilebilirliğin düşünülmemesi durumunda yapılmış imalat bozulabilir, tasarımlarda küçük veya büyük çaplı değişiklikler olabilir. Örneğin endüstriyel tesislerde büyük ekipmanları içeren bir yapı yapılırken tasarımcının ekipman parçalarının giriş ve çıkışını sağlayacak şekilde kapı veya bu görevi görececek açıklıkları boyutlandırılmalıdır. Bir başka örnek olarak ise metal elemanları birleştirme yöntemi olan kaynak yapılırken bu işlemi yapacak olan personelin erişimin düşünülmesi verilebilir. Örneğin uzun ve büyük çaplı boru hattı projelerinde boruları birleştirmek için kaynak yöntemi kullanılıyorsa mutlaka boru birleşim bölgelerinin etrafındaki yapı veya benzerinin bulunması durumu kontrol edilmelidir. Bu boru hattı yeraltından geçiyorsa boru birleşim bölgesinin çok yakınından geçen temel gibi bir

betonarme eleman o noktada kaynak yapacak personelin erişimine izin vermeyebilir. Bu durumda Şekil 2.2’de gösterildiği gibi eğer boru hattının yakınından geçen bu yapı aynı projenin parçası ise betonarme tasarım yapılırken o bölgede bir cep açılabilir ya da boru üretimi o nokta için farklı uzunlukta üretilerek kaynak noktası ötelenebilir. Bu durum sahada fark edilmesi durumunda ya boru ya da betonarme elemana sahada müdahale edilmesi durumunda kalınır. Bu da ek maliyet ve zaman olarak projeye yansır.



Şekil 2.2. Örnek erişilebilirlik problemi ve çözüm önerileri

Sadece büyük tesislerde değil konutlarda da erişilebilirlik önem taşır. Örneğin dar koridorlar ve kapılar, çok dik merdivenler, engelliler için rampa ve asansörün olmaması konutlarda kullanımı kısıtlayan erişilebilirlik problemleri arasında sayılabilir. Malzeme ve personel gibi yapım için ekipman erişimi de çok önemlidir. Örneğin dış kabuğu tamamlanmış bir yapının daha sonra içinde betonarme imalat yapılacak ise beton dökümü için pompa gibi araçların bomunun ulaşımı için açıklıkların bırakılması bu aktivite sırasında ortaya çıkabilecek erişilebilirlik problemlerin önüne geçilmesinde etkili olabilir.

### 2.2.9. Tüm hava koşullarında yapım ve erken dış kabuk oluşturma

Kötü hava koşulları inşaat programlarının ötelenmesine neden olabilen önemli bir faktördür. Tasarımcıların inşaatın yapılacağı alandaki iklimi tanımaları ve ona göre malzeme, metot seçimi yapılabilirliği artırabilen bir faktör olarak ortaya çıkar. Çok sıcak ve soğuk iklimlerde betonarme imalatlarda betonda doğru katkı kullanımı ve kürlenme yapılması. Aynı şekilde çok sıcak iklimlerde iş programlarını sabah daha erken

saatlerde başlatıp günün en sıcak olduğu öğle saatlerinde verilen paydosun süresini uzatma ve akşam saatlerinde gerekli aydınlatmayı sağlayıp işlerin bir kısmının bu zamanlarda yapılması yapılabilirliği artırabilir. Ayrıca iklim koşulların elverişsiz olduğu proje alanlarında ön üretim parçalarının kullanımını artırma da alınabilecek önlemler arasındadır. Kötü hava koşullarının etkisini azaltmak için alınabilecek etkili bir diğer yöntem ise erken dış kabuk oluşturmaktır. Cephe ve çatının tamamlanması ile bina içerisinde yapılacak olan boya, kaplama, sıva ve montaj gibi işlerin hava koşullarından etkilenme ihtimali ortadan kalkar. Erken dış kabuk oluşturma bir diğer avantajı ise depolama için güvenli alanlar oluşturulmasıdır. Örneğin çimento nemden etkilenen bir malzemedir. Erken kabuk oluşturulduğu koşullarda çimento bina içerisinde depolanabilir ve böylece başka depolama alanı yoksa hem parça parça malzeme alımının getirdiği iş yükünden hem de ihtiyaç varsa ek depolama giderlerinden tasarruf edilir.

#### **2.2.10. Toprak altı çalışmalarının en azda tutulması**

Zemin seviyesinin altında yapılan çalışmalar özellikle zeminin zayıf olduğu projelerde ön plana çıkmaktadır. Zemin güçlendirmelerinde harcanan zaman, derin kazılarda göçme tehlikesi, su gibi problemlerden dolayı toprak altı çalışmalarının en azda tutulması ve olabildiğince çabuk bitirilmesi yapılabilirliği artıran bir faktördür. İnşaat alanındaki kazılar hem iş güvenliği için bir tehlike unsuru olur hem de çevre binalardaki yapılan çalışmaları etkilemektedir. Örneğin alt yapı çalışmaları için açılan kazılar doğru planlama yapılmadığında saha mobilizasyonu etkileyen önemli bir faktördür. Yer altı su seviyesi de toprak altı çalışmalarda göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle yağmurlu bahar aylarında yer altı su seviyesinin yükselmesi ile temeller için yapılan kazı gibi alanların su ile dolması ile buradaki çalışmaların su boşaltılıncaya kadar durmasına neden olur. Buna benzer bir diğer örnek ise hidroelektrik santraller gibi su kaynaklarına yakın yerlerde yapılan projelerde yine yer altı su seviyesinin yüksek olmasından dolayı zemin seviyesi altında yapılan çalışmaları olabildiği kadar yaz aylarına getirecek şekilde planlamak bu bölgelerdeki yapılabilirliği artırabilir. Tasarımcılar da sunacakları alternatif metotlar ile toprak altı çalışmalarının en aza indirgemesinde katkıda bulunabilir. Örneğin zayıf zeminlerin güçlendirilmesi için çeşitli yöntemler vardır. Tasarımcının belirleyeceği yöntem imalat aşamasında önemli katkılar sağlayabilir. Jet enjeksiyonun yapım hızı genellikle kazıklı temel uygulamalarına göre daha hızlıdır.

İstenilen zemin özellikleri sadece jet enjeksiyon kullanılarak sağlanabiliyorsa tek başına bu yöntemi uygulamak zemin altında harcanan süreyi oldukça kısaltabilir.

### 2.3. Yapılabilirlik İncelemesi

Tasarımların yapılabilirlik yeterliklerini gözden geçirmek ve eksikliklerini inşaat aşaması öncesi gidermek için yapılabilirlik incelemesi kavramı ortaya çıkmıştır. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO,2000) yapılabilirlik incelemesini ‘kapsamlı inşaat bilgisi olan bir ekip tarafından projenin erken tasarım aşamasında projenin yapılabilir aynı zamanda uygun maliyetli, teklif verilebilir ve bakım yapılabilirliğinden emin olmak için yararlanılan bir süreç’ olarak tanımlamıştır. Pettee’e (2012) göre yapılabilirlik incelemesi teklif dokümanlarının inşaat profesyonelleri tarafından iş gerekliliklerinin açık, belgelerin bir birleri ile koordineli; teklifte, yapımda ve proje yönetiminde yükleniciye yardımcı olacağına emin olmak için yapılan bağımsız ve yapılandırılmış bir değerlendirmedir. Pettee (2012) aynı zamanda birçok kavramın yapılabilirlik incelemesiyle karıştırıldığını vurgulamıştır. Yapılabilirlik incelemesinin hakem denetimi, fizibilite çalışması veya teklifler için yeterlilik değerlendirmesi olmadığını belirtmiştir. Ayrıca bu incelemede iş güvenliği, sürdürülebilirlik ve yıkım için analizlerin yapılmadığını da belirtmiş olup bu kavramı kalite kontrolden de ayrı tutmuştur. Yapılabilirlik incelemesi çizimler ile şartnameler gibi dokümanlar arasındaki çelişkileri önlemeyi ve minimize edilen çelişkiler ile daha az bilgi isteklerinin, saha talimatlarının, değişiklik emirlerini ve sonuç olarak anlaşmazlık, dava ve resmi işlerin hiçbir şekilde olmamasını hedefler. Ancak bunun ötesinde yapılabilirlik incelemesi, tüm proje paydaşları için daha az ek sözleşme, kaliteli inşaat dokümanlarından gelen kaliteli teklifler, minimum gecikmeler, proje hedeflerinin anlaşılmasının artışı, daha yumuşak inşaat süreci, daha hızlı tamamlama ve daha az yönetim maliyeti olarak sonuçlanmalıdır.

Yapılabilirlik incelemesi genellikle aşağıdakileri içerir (Douglas,2008);

- Proje tasarımı sırasında yapımın katılımı,
- Detaylı proje kapsamı incelemesi,
- Detaylı yapım planı ve şartnamelerin incelenmesi,
- Uygulama planı gelişimi ve incelemesi,
- Detaylı iş ve bütçe planı incelemesi,

- Belirlenen alternatiflerin geliştirilmesi.

Yapılabilirlik incelemesi yapılır iken (1)İnşaat çizimlerinin ve şartnamelerin tutarlılığı, açıklığı ve eksiksizliğine, (2)Genel şartların tutarlılığı, uygulanabilirliği ve kapsamlılığına, (3) Montaj teknolojisinin, yönteminin veya malzemesinin uygulanabilirliğine, (4) Çizimler ve saha koşullarının tutarlılığına ve (5) Projeye özgü konuların tanımlanmasına, bunların olası sonuçlarına ve öneriler geliştirilmesine odaklanılır (Touran, 2006).

Tüm inşaat projeleri için büyüklüğüne bakılmaksızın yapılabilirlik incelemesi yapılmalıdır. Yaklaşık 2 milyon dolar veya düşük bedelli projeler için başlangıçta ve % 90'lık tasarım aşamasında basit bir yapılabilirlik incelmeye yapılabilir. 25 milyon dolar ya da daha az bedelliler için başlangıç, % 30, % 60 ve % 90 tasarım aşamalarında yapılmalı; 25 milyon doları aşan projeler için ise yapılabilirlik inceleme süreci tasarım aşamasının tamamında devamlı olmalıdır (IPENZ,2008).

#### **2.4. Yapılabilirlik İncelemesi Yöntem ve Araçları**

Tasarımların yapılabilirlik yeterliliklerini tespit etmek ve geliştirmek için çeşitli araç ve yöntemler geliştirilmiştir.Yapılan bazı çalışmalarda geçen yapılabilirlik araçları Tablo 2.2'de verilmiştir.Fisher vd., (2000) inşaat projelerinde uygulanan 27 yapılabilirlik araç ve yöntemi belirlemiştir. Uygulaması en temel ve en kolay olan, bir kuruluşun görevini yerine getirme şeklini denetleyen ilk 13 araç ilke/süreç tabanlı araçlar olarak adlandırılmıştır. Bir sonraki 10 araç ise yapılabilirliği uygulayan ve ölçen modelleme araçlarıdır. Son olarak gelişmiş en ileri bilgisayar araçlarına dayalı grafiksel ve grafiksel olmayan iki gruba ayrılmış teknoloji tabanlı araçlardır. Arditi vd., (2002) tasarım şirketleri için yapılabilirlik incelemesi üstüne yaptığı araştırmada en çok kullanılan araçların hakem değerlendirmesi (peer review) ve geribildirim sisteminin olduğunu belirtmiştir. Amade (2016) ise yaptığı çalışmada bulunduğu coğrafyada kullanılan 16 araç ve teknik belirlemiştir. Bunların en çok kullanılanları şirketin geçmiş çalışmalarından öğrenilen dersler, beyin fırtınası ve hakem değerlendirmesi olmuştur. Kamari and Piplikar (2012) hakem değerlendirmesi ve geribildirim sistemlerini yüksek düzeyde yapılabilirlik elde etmek için kullanılan en yaygın araçlar olduğunu vurgulamıştır.Raviv vd., (2012) literatürdeki ana yapılabilirlik yöntemlerini farklı yaklaşımlar veya uygulama yolları ile karakterize edilen yedi gruba ayırmıştır. Bunlar,

**Tablo 2.2.** *Literatür taramasında geçen bazı yapılabirlik incelemesi yöntemleri*

<b>Kaynak</b>	<b>Yapılabirlik İncelemesi Yöntemleri</b>
Fisher vd., (2000)	İlke ve görevlerin açıklanması, yapılabirlik ekibinin oluşturulması ve toplantılar, bakım ve onarım için veri girişi, yapılabirlik organizasyonun yapısı oluşturulması, öneri formları, teklif öncesi bilgilendirme konferansları, yapım öncesi bilgilendirme toplantıları, sözleşmedeki teşvik edici hükümler, ortaklık anlaşmaları, yüklenici tarafından belirlenen programlar, uygulama sorumluluk matrisi, takım oluşturma süreci, yapılabirlik mühendisliği, inşaat sonrası inceleme kontrol listesi, proje yapılabirlik anlaşması, kurumun yapılabirlik kontrol listeleri, resmi uygulama süreci, yapılabirlik sorumlusu, değer mühendisliği süreci, fikir / öğrenilen dersler günlüğü, kritik yol metodu, maliyet / fayda analizi formu, yapılabirlik kaynakları, CAD,hypermedia/ multimedya /CD ROM/ hypertext, veri tabanları, analitik - simülasyon, yapay zeka, karar destek sistemleri.
Amade (2016)	Öğrenilen dersler, beyin fırtınası, hakem değerlendirmesi, grafik bilgisayar tabanlı araçlar (CAD), müşteri/yüklenici/tedarikçiler ile görüşme, sözleşmede teşvik edici maddeler, resmi uygulama süreci, yapılabirlik kaynakları, geri bildirim sistemleri, kalite güvencesi ve kontrolü, PDMS (Plant Design Management System) modelleri, kurumsal uygulama kılavuzları, grafiksel olmayan bilgisayar modelleri, küçük ölçekli fiziksel modeller.
Pocock vd., (2006)	Hakem değerlendirmesi, CSI uygulama el kitabını izleme, yapım uzmanı tarafından değerlendirme, iş programlarında yapılabirlik değerlendirmelerine bir faaliyet olarak yer verme, tasarım ekibinde bir yapım uzmanının bulunması, yapım hatalarını önlemek için veri tabanı veya kontrol listeleri uygulama, gelecekte kullanım için CII ve benzeri kurumsal yönetmelikler kullanılarak belgelenen sonuçlar, bağımsız teknik değerlendirmeler, 'bakılacak maddeler' kontrol listesi, kontrolör veya deneyimli saha çalışanları, ISO sertifikalı kalite işletim sistemi, Dr. Checks (yorumları toplama ve yönetmek için Web tabanlı bir araç), uzman yardımcı personel,3B animasyon modelleme.
Raviv vd., (2012)	Yapılabirlik Mühendisi/sorumlusu, tasarım kalite kontrolü, yüklenicinin erken projeye katılımı, öğrenilen dersler, yapı bilgi modelleme, imalat çizimleri, hakem değerlendirmesi, işletme ve bakım ile ilgili veri girişi, kurumsal prosedürler/kontrol listeleri, işverenin katılımı, beyin fırtınası, teşvik edici sözleşme yükümlülükleri.
Arditi vd., (2002)	Hakem değerlendirmesi, geri bildirim sistemleri, beyin fırtınası, bilgisayar modelleri. Fiziksel modeller, yüklenici/müşteri/tedarikçilerle görüşme, kalite kontrol/kalite güvencesi, proje yöneticilerinin katılımı, tasarım kontrol listeleri.

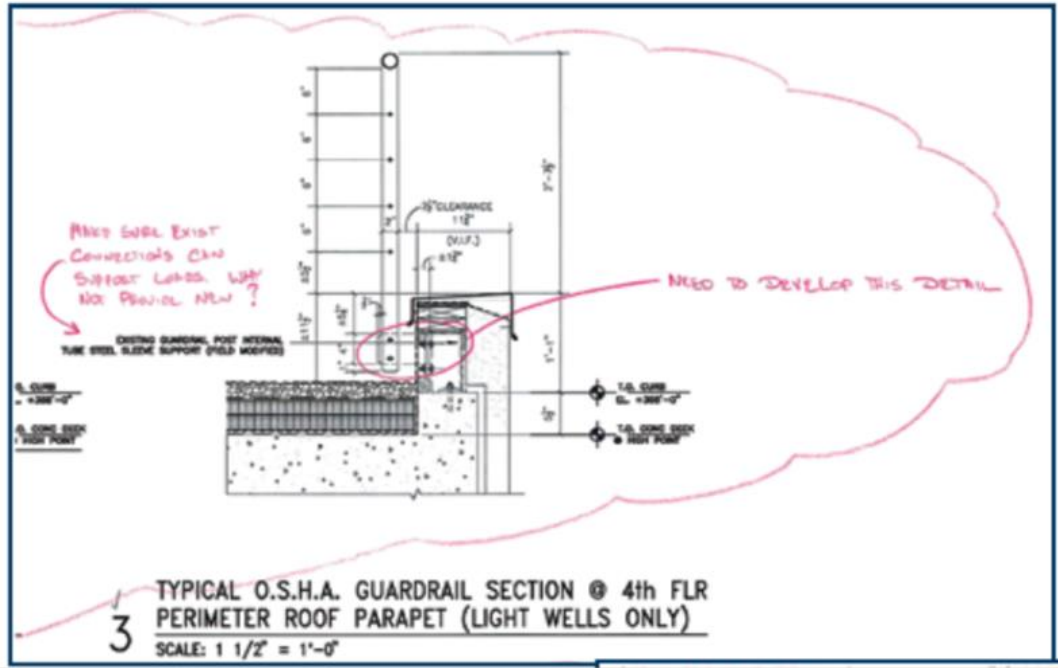
- (1) Resmi kurumsal şartnameler: Yapılabirliği uygulamada örgütün niyetini ayrıntılarıyla açıklayan ifadeler.
- (2) Kurumsal prosedürleri, öğrenilen dersleri, teknik meseleleri vb. içeren kontrol listeleri.
- (3) Kurumsal önlemler: Bunlar, yapımın uygulanmasına ayrılmış yönetim ekipleri kurmak için kurum tarafından alınan idari tedbirlerdir.
- (4) Sözleşmesel önlemler: İlgili tarafların hepsinin risk ve ödül paylaşması için yaygın satın alma yöntemleri veya yenilikçi satın alma yöntemleri dahilinde alınan önlemler.
- (5) Sistem modelleme ve analiz yöntemleri: Proje ile ilgili işlemleri gerçekleştirmek veya analiz etmek için kullanılan usul ve yöntemler.
- (6) İncelemeler: bir inceleme, tasarım ve yapım aşamasında gerçekleştirilen bir kalite güvencesi yönteminin bir adımıdır.

(7) İleri teknoloji yöntemleri: Bu yöntemler, son yıllarda proje modellemesinde göze çarpan ilerlemelerden faydalanmaktadır. Bunlar, Yapı Bilgi Modelleme (BIM) (Eastman vd., 2008), multimedya, sanal gerçeklik, coğrafi bilgi sistemleri, veri tabanları, yapay zeka, karar destek sistemleri ve uzman sistemler gibi analitik simülasyon araçları içermektedir.

Temellerinde ortak hedefleri amaçlayan bu araçlardan bazıları artık çok tercih edilmemeye başlanmış ve teknolojinin gelişmesiyle bilgisayar tabanlı 3B modeller ön plana çıkmaya başlamıştır (Arditi vd.,2002; Kamari and Piplikar, 2012). Tablo 2.2’de verilen en çok kullanılan yapılabirlik incelemesi yöntem ve araçlarından olan hakem değerlendirmesi, tasarım sürecine diğer proje paydaşlarını dahil etme, öğrenilen dersler, beyin fırtınası, geri bildirim sistemi, bilgisayar destekli tasarım, kontrol listeleri ve yapılabirlik sorumlusu bir sonraki bölümde kısaca açıklanmıştır.

#### **2.4.1. Hakem değerlendirmesi**

Hakem değerlendirmesi (peer review) tasarımcı ile aynı deneyime ve beceriye sahip olan bir profesyonel tarafından yapılan tasarımların hatalarını düzeltmeye veya detayları geliştirmeye yönelik Görsel 2.4’ deki gibi yazılı yorumlara veya grafik notlara dayanan bir değerlendirmedir. Bu değerlendirme ile farklı bakış açılarına ve uzmanlık alanlarına sahip profesyonellere daha ayrıntılı ve başarılı sonuçlar içeren dokümanlar oluşturmak için işbirliği yapma fırsatı sağlar. Tasarımcı ile tasarımı değerlendiren arasındaki deneyim ve becerilerdeki farklılıklar genellikle birbirlerine katkı yaparak daha iyi bir nihai ürün olarak sonuçlanır. Bu incelemedeki en önemli noktalardan biri bu değerlendirmenin tasarım ekibinden bağımsız olarak çalışan profesyoneller tarafından gerçekleştirilmesi ve detaylara daha çok önem verilmesidir. Bu değerlendirmede her iki tarafında açık fikirli olmaları, yapıcı yorumlara ve farklı bakış açılarına duyarlı olmaları gerekmektedir. Arditi vd., (2002) hakem değerlendirmesi projenin planlama ve yönetim yönlerine odaklanan ‘proje yönetimi’ ve teknik yönlerine odaklanan ‘proje tasarımı’ olarak iki türe ayırmıştır. Sadece inşaat öncesi evrelerde değil inşaat sırasında da bu değerlendirmeden faydalanılabilir. İnşaat aşamasında ortaya çıkan önemli tasarım değişikliklerinin hakem değerlendirmesine tabi tutulması gerekebilir. Sonuç olarak bu incelemenin yapılabilmesi için talep edilen deneyimli ve yetkili üçüncü bir kişi yapılabirlik problemlerini azaltabilir ve inşaat sürecinde daha uygulanabilir tasarımlar ortaya çıkmasına neden olur (Stieve,2012).



Görsel 2.4. Örnek hakem değerlendirmesi (Stieve, 2012)

#### 2.4.2. Tasarım sürecine diğer proje paydaşlarını dahil etme

Tasarım sürecine müşterinin/işverenin, yüklenicinin, üreticiler ve tedarikçilerinin dahil edilmesi yapılabirliğin gelişmesine katkı sağlayan bir başka değerlendirme çeşididir. Tasarım sürecine dahil olan diğer profesyoneller tasarımcının saha ile ilgili deneyim eksikliğini kapatmada önemli bir rol oynarlar. Müşterinin görüş ve önerilerini tasarımın erken aşamalarında bildirmesi tasarımların müşterinin beklentilerini tamamen karşılayacak şekilde oluşmasına ve tasarımlar tamamlandıktan sonra müşteri müdahalesinin azalmasına neden olur. Müşteri/işveren yatırımcı konumunda olduğu için tasarım tamamlanmış olsa bile değişiklik istekleri genellikle tasarımcı tarafından reddedilemez. Ancak bu ilave süre ve maddi kayıp olarak geri dönebilir. Bu durum projelerde istenmeyen durumdur. Yüklenicinin tasarım sürecine dahil olması elindeki yapım yöntemlerine göre tasarımın şekillenmesini sağlayabilir. Elindeki yapım yöntemlerinin yeterliliği yükleniciye hızlı ilerleyen ve risklerin minimize edildiği uygulamalar gerçekleştirebilir. Ayrıca yüklenicinin tasarım sürecine dahil olması yapacağı işi erken tanımasına, karşılaşılabir problemleri erken fark etmesine ve bunlara önlem almasını sağlar. Ancak tasarım tamamlandıktan sonra yapılan ihale süreçlerinde yüklenicinin tasarım aşamasına dahil olması beklenemez. Üretici ve tedarikçilerin tasarım aşamasına dahil olması tıpkı müşteri ve yüklenicide olduğu gibi yapılabirliğin



gelişmesine pozitif etki sağlayabilir. Tasarımcı alacakları görüşler ile malzeme seçimlerinde alternatifleri artar ve daha verimli ve ekonomik yapılar yapma olanağı bulabilir. Ayrıca üretici ve tedarikçilerin tasarıma dahil olması yine yüklenicide olduğu gibi elinde bulunan malzeme ve yöntemlere göre üretim ve tedarikin yapılması sağlanabilir. Bir tesis projesi için varsa işletme ekibinin de tasarım sürecine dahil edilmesi onların tecrübelerinden faydalanarak tesis devreye girildikten sonra çıkan sorunların önüne geçilmesi tasarım aşamasında gerçekleşebilir. Diğer proje paydaşlarının tasarım sürecine dahil olmasının olumlu yanları dışında olumsuz yanları da olabilir. Yüklenici, üretici ve tedarikçiler elindeki imkanların yetersiz olması, yapılacak işleri daha düşük maliyetlere gerçekleştirmek adına kendi imkanlarını zorlamak istemeyebilir ve işin tüm yükünü tasarımcının göğüslemesini isteyebilir. Aynı şekilde müşteri de daha düşük maliyete işi gerçekleştirmek için belli bir kalite standardını sağlamayan tasarımlar gerçekleştirmesini isteyebilir. Önemli olan sadece tek bir paydaşın yararına değil tüm proje paydaşlarının katkıda bulunduğu ve herkese yarar sağlayacak verimli tasarımlar elde etmektir.

#### **2.4.3. Öğrenilen dersler**

Öğrenilen dersler, projeyi geliştirme sürecinden kazanılan öğrenmedir(PMI, 2004, s. 363). Bu kavram, gelecekte yapılacak olan işlerin daha iyi yerine getirilmesi için geçmişteki işlerden kazanılan tecrübeyi özetleyen bir dizi kural veya ilke olarak tanımlanabilir. Bu yöntem ile proje bazlı çalışmalarda kazanılan bilgi proje sonunda kurumdan ayrılan personel ile kaybolmaz ve bir sonraki projelerde kullanılabilir. Bu yöntemde aktarılmış olan bilgi basit ve kolayca erişebilir olmalıdır. Problemlerin çözümleri bekletilmeden hemen kayıt altına alınmalı ve daha sonra kullanılması ve unutulmaması için interaktif bir sistem ile yönetilmelidir. Genellikle kayıt sistematığı Görsel 2.5’de gösterildiği gibi basit bilgisayar programları ile oluşturulur. Aktarılan bilgiler ‘Neler iyi gitti?’, ‘Ne tür olumsuzluklar yaşandı?’ ,’Nelerin eksikliği hissedildi?’ gibi soruların cevabını içeriyor olmalıdır.Öğrenilmiş derslerin etkin kullanılabilmesinde izlenilecek yol haritası muhtemel bilgi kaynaklarının tanımlanması, bilgilerin gözden geçirilmesi, öğrenilmiş dersler belgelerinin hazırlanması, bilgilerin dağıtılması ve bilgilerin kullanılmasını içerir (Doğançay,2010). Bu süreçte sistemin etkili bir şekilde işleyebilmesi için tüm projepaydaşlarının karşılaşılan problemlerin aktarılmasında şeffaf olmaları, problemlerigizlememeleri gerekir. Bu sistemde sadece

problemler değil bir çalışma sonucunda ortaya çıkan iyi sonuçlar da ilgili veri tabanına kaydedilip aktarılabilir. Böylece geçmişte sadece problemlerden alınan derslerle sınırlı kalınmayıp, doğru uygulamalarından elde edilen sonuçlarda daha sonraki projelerde kullanılması için kayıt altına alınabilir. Sonuç olarak geçmişte elde edilen hem iyi hem de kötü sonuçlar sonucu elde edilen tecrübe proje bazlı kalmaz ve kurum içinde tüm personelin gelecekteki projeler için kullanması için bir altyapı oluşturulur.

Eylemler	
Ekle	Önizleme
Kaydet	Kaydet ve Kapat
Kapat	

**ÖĞRENİLMİŞ DERS EKLE** (Expired)  
PROJE\_NOTES Yprojeler/wk99.nsf (Wikipy)

Alınan Dersler | Diğer | Güvenlik | Text/HTML/<head> | Revizyon/Son Geçerlilik Tarihi/Takvim | CSS | Medya | Tartışma / Süreç | Eklr

**İçerik**

Proje Adı: 212 İstanbul Power Outlet

Referans Süreç: Uygulama

İlgili Disiplin / Bilgi Alanı: Kalite Yönetimi

Sorunun / Olayın Tanımı: İnce yapıda kalite sorunları

Neden / Nasıl: Toplam inşaat süresi olan 24 ay sabit tutularak kaba inşaaata ayrılan süre 14 ay'dan 18 ay'a çıkarılmış, ince işlere ayrılan kısıtlı süre içinde ortak alandaki temel ince imalat işleri ve geciken kiracı dekorasyonları koordinasyonsuz ve ortak alanda yapılan işlere zarar verecek şekilde yapılmıştır.

Bulunan Çözümler: Kaba inşaatı tamamlanan kat ve bölümler, ince yapı işlerine başlanacak şekilde koruma altına alındı ve ilgili kat/bölümlerdeki işler paralel yapılarak ince yapıya kalan süre en etkin şekilde kullanılarak ve uygun bir süre uzatımı verilerek proje uygun zamanda işletmeye açıldı ve işveren önemli maddi kayba uğramadı.

Önerilen Önlemler: 1) Deneyimli tasarımcılarla, bu tür gecikmeleri önleyici sözleşme koşullarında çalışılmalı, 2) Ana Yüklenici ile gecikme cezası kadar erken bitirme primi vb. motivasyon unsurlarına yer verilmeli, 3) Kiracı Dekorasyonu Yönetim Birimi Proje Yönetiminden bağımsız çalıştırılmamalı, 4) Pazarlama/işletme Grubu ana kiracılarla imzalanan sözleşme koşulları hakkında önceden bilgilendirilmeli.

İlgili Dokümanlar: İş Bitirme Raporu

Dersin Yönelik Olduğu Kişi / Kurum: İşveren, Pazarlama/işletme Firması, Tasarımcı Firmalar, Ana Yüklenici, RY

**Diğer**

Konu/Başlık:

Etiketler:

Anahtar Kelimeler: İnce yapı, dekorasyon, işletme, pazarlama, gecikme, ceza, prim, fast-track, paralel, tasarımcı, sözleşme, inşaat, süre

Durum:  Taslak  Yayınla  Kilitli  Deneyim  Arşiv

Yazar: Haluk Doğançay

Doküman Versiyonu 1.0

Görsel 2.5. Öğrenilmiş ders kaydı için kullanılan kayıt sistemi (Doğançay, 2010)

#### 2.4.4. Beyin fırtınası

Bir konu hakkında bireylerin bir grup içerisinde her birinin herhangi bir kısıtlama olmadan özgürce fikir üretebildikleri tekniğe beyin fırtınası olarak adlandırılmaktadır.

Bu yöntem bir problem listesinin yapılmasında, bunların olası nedenlerinin ve çözümlerinin tanımlanmasında ve bir hareket planı geliştirilmesinde kullanılır. Grup çalışmasının esas alındığı bu yöntemde gruplar tartışılacak konuya hakim kişiler tarafından oluşturulmalıdır ve beyin fırtınası yöntemini doğru şekilde uygulatacak bir de lidere ihtiyaç vardır. Gruplardaki kişi sayının çok olması yapılan toplantıların süresini uzatacağı gibi liderin yönetimini de zorlaştırır. Tam aksine sayının az olması ise üretecek fikirleri sınırlar. Toplantılar herkesin rahat edebileceği bir ortamda yapılmalıdır. Problem açıkça sunulmalı ve daha sonra her bireyin fikri sırayla mantıklı veya işe yarar olup olmadığına bakılmaksızın kaydedilmelidir. Fikri olmayan bireyler pas diyebilir. Beyin fırtınası tekniğinin en önemli özelliklerinden bir tanesi bireyler fikirlerini paylaştıktan sonra grup içindeki diğer bireylerin herhangi bir müdahale veya eleştiri yapmasına izin verilmemesi olmasıdır. Lider bu görevi üstlenir. Ancak önerilen bir fikir grup içinde başka bir birey tarafından geliştirilebilir. Toplantı sonunda üretilen fikirler daha sonra değerlendirme aşamasına girer. Fikir üretme aşaması optimum bir toplantı süresi kadar sürse de değerlendirme aşaması birkaç aya yayılan daha uzun süreler alabilir. Ancak bu inşaat projeleri için zaman kaybına sebep olabilir. Bu nedenle değerlendirme aşamasında da olabildiği kadar kısa sürmeli ve hemen çözüme ulaşılması amaçlanmalıdır. Değerlendirme aşamasına toplantıdan hemen sonra başlanmamalı birkaç gün yeni fikirlerin ortaya çıkabileceği ya da var olan fikirlerin geliştirilebileceği düşünülerek beklenmelidir. Değerlendirme aşamasında öncelikle açıkça belli olan mantıksız veya işe yaramaz fikirler elenir. Daha sonra fikirler gruplandırılır. Yetersiz görülen fikirler tekrardan gözden geçirilir. Derecelendirme ve oylama yöntemi kullanılarak probleme çözecek en iyi düşünce belirlenmeye çalışılır. Beyin Fırtınası bireylerde düşünme becerilerini ve yaratıcılığı geliştiren bir yöntem olup karmaşık yapılabirlik problemlerine takım çalışmasına dayalı yaratıcı çözümler geliştirilmesi için etkin bir yöntem olabilmektedir (Nakiboğlu,2003).

#### **2.4.5. Geri bildirim sistemi**

Bir iş tamamlandıktan sonra belirlenen hedeflere ulaşıp ulaşılmadığını değerlendirmek için kullanılan araçlar geri bildirim sistemleri olarak tanımlanabilir. Geri bildirim ile yapımı tamamlanan tasarımların kullanım evresinde müşteriden gelen olumlu ya da olumsuz görüşler/eleştiriler firma tarafından değerlendirilip daha sonra yapacakları tasarımlarını bu görüşler doğrultusunda iyileştirmeleri beklenir. Bu sistemler öğrenilen derslerde kullanılan sistemle benzerlik gösterir. Bu iki sistem

arasındaki farkı öğrenilen derslerin projenin yapım sürecinde, geri bildirim sistemini ise proje yapımından sonra ortaya çıkan iyi veya kötü sonuçların /görüşlerin değerlendirilmesi olarak söylenilebilir. Ancak ikisinde de bu bildirimlerin depolanıp kurumsal tecrübe olarak projeden projeye aktarılması hedeflenir.

#### **2.4.6. Bilgisayar destekli tasarım**

İnşaat mühendisliğinde gerek detayların yüksek kalitede sunumu gerek daha kapsamlı ve hatasız hesaplamalar vermesi nedeniyle CAD (Computer Aided Design) önemli bir yer tutmaktadır. CAD sistemlerinden önce tasarımlar kağıt üzerinde elle yapılıyordu ve bu oldukça iş gücü isteyen bir süreçti. Ayrıca gün geçtikçe daha karmaşık yapıların ortaya çıkmasıyla elle yapılan tasarımlar detaylandırmada yetersiz kalmıştır. CAD sistemlerinde kağıt kalem gibi araçlar yerine kullanıcılar bilgisayar ve yazılımları kullanarak her türlü bina, makine, altyapı ve benzeri ürün tasarımlarını kolayca ve hızlı bir şekilde yapabilirler. Elle yapılan tasarımlara göre CAD sistemleri bir veri tabanı oluşturmakta ve tasarımların istenildiği zaman ve dilendiği kadar kağıt üstüne dökülüp çoğaltılmasına olanak tanımaktadır. CAD sistemleri ile yapılan tasarımlarda düzenlemeler ve değişiklikler de daha hızlı ve kolay olmaktadır. Bu sistemler teknolojinin hızla gelişmesiyle iki boyutlu (2B) ile kalmayıp günümüzde artık daha çok kullanılmaya başlanan üç boyutlu(3B) ve dört boyutlu(4B) tasarımlar sunmakta olup ayrıca animasyonlar da yapılabilmektedir. Birçok CAD yazılımı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları AutoCAD, Solidworks, Inventor, NetCAD, ArchiCAD, CATIA, Siemens PLM NX'dir. Ayrıca 3D Studio Max, Maya, Blender gibi görsel sunumlar için 3B animasyon programları da kullanılmaktadır. Yapılabilirlik incelemesinde CAD'den, çizimlerin iki ve üç boyut olarak görüntülenmesinden yararlanılabileceği gibi ayrıca zaman faktörünün eklenmesiyle 4B olarak iş programlarının animasyonlar ile görüntülenebilmesine olanak sağlar. Ayrıca günümüzde bu sistemler ile alınan yüksek kalite görselleştirme özellikleri ile gerçeğine çok yakın görüntülenebilen modeller elde edilebilmektedir. Böylece daha az zamanda daha ayrıntılı ve kapsamlı değerlendirmeler yapılabilir.

#### **2.4.7. Kontrol listeleri**

Kontrol listeleri yapılabilirlik değerlendirmelerinde kullanılan bir diğer kullanılan ölçme aracıdır. Kontrol listeleri projenin tasarım ve yapım süreçlerinde kurumun veya sözleşmelerin belirlediği kurallara uyulup uyulmadığını, ilgili süreç içerisinde işlemlerin

yerine getirilip getirilmediğinin ve belli davranışların gösterilip gösterilmediğini belirlemek için kullanılır. Kontrol listelerinde belirlenen öğeler açık ve net olmalıdır. Bu öğelerin yerine getirilip getirilmediği evet/hayır, yerine getirildi/getirilmedi, yapıldı/yapılmadı, 'X' gibi işaretler veya kelimeler ile belirlenir (Tablo 2.3). Böylece değerlendirmeyi yapan kişinin tasarım veya yapım ile ilgili sorunların giderilip giderilmediğini görmesi veya problemlerin nedenlerinin tespiti amaçlanır. Bu kontrol

**Tablo 2.3.** Örnek kontrol listesi (Delice, 2011, s.124)

**Yapıma Hazırlık Süreci Yapılabilirlik Kontrol Listesi**

Proje Adı:

Proje Sorumlusu:

Kontrol Eden:

Yapılabilirlik Alt Ölçütleri	İlk Kontrol	Açıklama	Son Kontrol
1.Şantiyeye Ulaşımın ve Şantiye İçi Ulaşılabilirliğin Sağlanması			
Sahaya ulaşılabilirlik analizlerinin yapılması			
Şantiyeye giriş çıkışın sağlanması			
Şantiye içi ulaşılabilirliğin sağlanması			
2. Şantiyedeki Depolama Alanlarının Oluşturulması			
3. Arsa ve Çevresel Şartların Araştırılması			
Topografik yapı analizi			
İklim,yağış durumu ve bitki örtüsü analizi			
4. Taşınabilir Parçaların Kullanımı			
5. Yapım Aşamalarının Tanımlanması			
İş programı yapma			
6. Kolay Bulunabilir Kaynakların Kullanımı			
Yer altı kaynaklarının kullanımı (su vb.)			
Mevcut elektrik, telefon vb.kablolu hatların analizi ve kullanımı			
Yakın çevre işgücünün kullanımı			
7. Kolay Bulunabilen Malzemelerin Kullanılması			
8. Hertürlü Hava Koşullarında İmalat			
9. Yapım Ekiplerinin Tek Seferde İşlerini Tamamlaması			
10. Sistemler Entegrasyonu			
Yapı elemanı,tayıcı sis. Ve servis sis. bütünleme			
11. Dış Kabuğu İlk Aşamada Oluşturma			
Yağış ve soğuktan korunma			
Diğer canlılardan korunma (hırsızlık, güvenlik vb.)			
12. Yapımda İş Güvenliğinin Dikkate Alınması			
13. Bina Elde Etme Süreçlerinde Yer Alan Ekipler Arası İletişim			
Tasarımcılar ile iletişim			
Yapımcılar ile iletişim			
Malzeme ve sistem tedarikçileriyle iletişim			

dikkate alındı: (√) dikkate alınmadı: (x) gerekli değil: (-)

tasarımın öncesinde/sonunda ve belli yüzdeleri tamamlandığında yapılabileceği gibi sadece tasarım ile sınırlı kalınmayıp yapım hazırlık ve yapım aşaması için de yapılabilir. Kurumlar oluşturdukları listeleri hazır kaynaklardan alabilecekleri gibi kurum içi geri bildirimlere dayalı sorunlardan yola çıkarak da bu listelere özel maddeler ekleyebilir. Örneğin betonarme tasarımlar yapılmadan önce yerleri verilen nesnelerin kaynak ilebağlantısı sağlamak için konulan çelik levhaların kiriş ve kolonların birleşim bölgelerindeki kesit alanı ile çakışabilir. Bu levhaların kolon kiriş birleşim bölgelerinde olması istenilmeyen bir durumdur. Çünkü imalat tamamlandığında levha beton içerisinde kalır ve işlevini yerine getiremez. Yapım ekibinden bu tip geri bildirimleralan tasarım ekibi kontrol listelerine ‘Kolon kiriş birleşim bölgelerinde gömülü çelik levhalar var mı?’ sorusunu ekleyerek bundan sonraki projelerde yapım öncesi bu konuya dikkat etmeleri sağlanır. Ayrıca kontrol listeleri ile aynı geri bildirim sistemlerinde olduğu gibi kurumsal hafıza oluşturulur ve kazanılan tecrübenin proje bitiminde diğer projelerde kullanılması sağlanır. Kontrol listeleri farklı yapı türleri ve sınıfları için ayrı ayrı oluşturulması gerekmektedir. Örneğin bir baraj yapısının gereksinimleri ile bir hastane yapısının ya da altyapı inşaatının gereksinimleri, dikkat edilmesi gereken noktalar farklıdır. Çelik bir yapı için hazırlanan kontrol listesi betonarme yapıların ihtiyaçlarına cevap vermeyebilir. Ek olarak çok disiplinli projelerde her disiplin için kendine ait bir kontrol listesi olması kapsamlı bir değerlendirme için gerekli olabilir. Tutarlı bir kontrol listesi, inşaat projelerinde hataların, tutarsızlıkların ve atlamalar sayısının en aza indirgenmesi için yararlıdır (WSDOT, tarihsiz).

#### **2.4.8. Yapılabilirlik sorumlusu**

Bu kişi yapılabilirlik programının uygulanması ve geliştirilmesi için yetki ve sorumluluğu olan bir mühendis veya proje ekibinden bir görevli olabilir. Bu kişi görevini yerine getirebilmesi ve yapılabilirliği bir model olarak uygulayabilmesi için yönetim tarafından desteklenmesi gerekir. Yapılabilirlik sorumlusu sadece planlama aşamasında değil yapım aşamasında da yapılabilirlik ile ilgili problemleri giderme, önlemleri alma ve ilgili koordinasyonu sağlamakla görevli olup ayrıca geribildirimleri ve çıkan problemleri belgelemek ve yönetime sunmak bu kişinin görevleri arasındadır. Ayrıca bu kişi mevcut yapılabilirlik programının varsa yetersizliklerini gidermeli ve sürekli geliştirmelidir (AASHTO,2000).

### **3. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ – YAPILABİLİRLİK İLİŞKİSİ**

#### **3.1. Yapı Bilgi Modellemesi**

Bu bölümün ilk kısmında yapı bilgi modellemesi kapsamlı bir literatür taraması ile işlenerek bu kavramı oluşturan temel faktörler ve özellikleri tanıtılacaktır. İkinci kısmında ise yapılabİLİRLİĞİN gelişimde yapı bilgi modellemesinden nasıl yararlanıldığı ve kullanılan araçlardan bahsedilecektir.

##### **3.1.1. Yapı bilgi modellemesi kavramı**

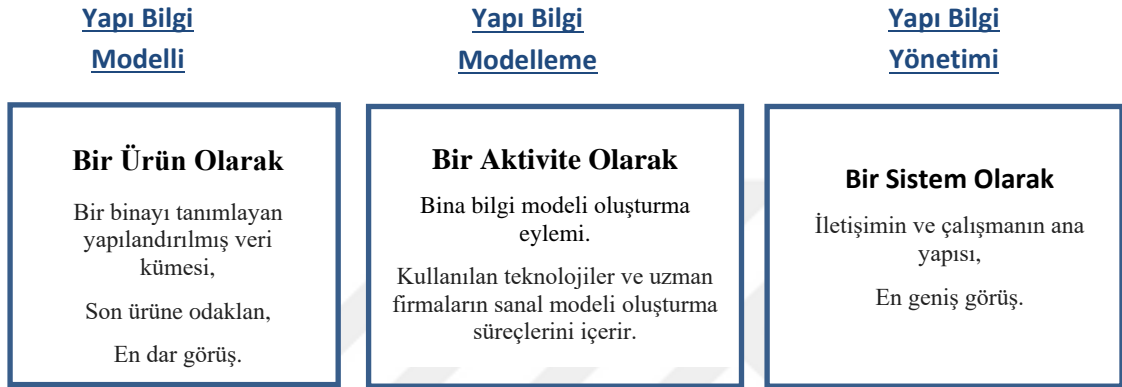
Geleneksel tasarım yöntemlerinde gerçekleştirilecek yapı için farklı disiplinlere ait tasarımlar 2B modeller üzerinde hazırlanarak proje teslim süreci parçalı olarak gerçekleştirilmektedir. Proje paydaşları arasındaki iletişim bu 2B modeller üzerinden olur ve bu modellerdeki hata ve eksiklikler genellikle öngörülemeyen maliyetler, gecikmeler ve bunların sonucu ortaya çıkan anlaşmazlıklara neden olmaktadır. Bu tip nedenlerden dolayı mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrilerinde, proje maliyetini düşürmek, üretkenliği ve kaliteyi artırmak ve proje teslim süresini azaltmak için uzun zamandan beri bir takım teknikler araştırılmaktadır. Yapı bilgi modellemesi bu hedefleri gerçekleştirme potansiyeli sunan bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır (Eastman vd., 2011; Azhar vd., 2008). Yapılan literatür taramasında bazı kaynaklardan alınan YBM'nin tanımları aşağıdaki gibidir.

- National BIM Standard- US; bir tesisin fiziksel ve işlevsel özelliklerinin sayısal bir temsili, kavramsal tasarımdan yıkıma kadar olan yapı yaşam döngüsü boyunca kararlar için güvenilir bir temel oluşturan ve bir tesis hakkında bilgi elde etmek için paylaşılan bir bilgi kaynağı olarak tanımlamıştır (http-6).
- Autodesk ise mimari, mühendislik ve inşaat profesyonellerine binaları ve altyapıyı daha verimli bir şekilde planlamak, tasarlamak, inşa etmek ve yönetmek için fikir ve araçlar sağlayan akıllı bir 3B model tabanlı süreç (http-7) olarak ve
- Associated General Contractors of America (AGC) bir tesisin yapımı ve işletimini temsil etmek için bir bilgisayar yazılım modelinin geliştirilmesi ve kullanılması olarak tanımlamıştır (AGC, 2005).

YBM bir ürün, aktivite ve sistem olarak yorumlanabilmekte ve farklı işlevleri yerine getiren araçlar olarak tanımlanabilmektedir. Maunula vd., (2008), YBM'nin bir ürün olarak görülmesini en dar bakış açısı olarak yorumlarken, bir sistem olarak

düşünülmesini en geniş bakış açısı olarak değerlendirmiştir (Şekil 3.1). YBM ile ortaya çıkan modeller zengin içeriğe sahip, nesne yönelimli, akıllı, parametrik, sayısal bir gösterimdir ve çeşitli kullanıcıların ihtiyaçlarına uygun görünüm ve verileri ayıklayabilir. Ek olarak karar verme ve tesis teslim sürecini iyileştirmek için kullanılacak bilgileri üretmek için analiz yapar (AGC, 2005).

## YBM TANIMI



Şekil 3.1. YBM'ye farklı bakış açıları (Maunula vd.,2008)

Yapı bilgi modellemesinin ülkemizde ve Dünya'da inşaat endüstrisinde yaygınlaşması ile bu kavram zaman zaman başka modelleme yöntemleri ile karıştırılabilmektedir. Eastman vd., (2011,s. 19) aşağıda verilen türde modelleri bu teknolojiye dahil etmemektedir.

- Yalnızca 3B veri içeren ve nesne özelliklerine az ya da hiç sahip olmayan modeller,
- Herhangi bir davranışı desteklemeyen modeller,
- Binayı tanımlamak için birleştirilmesi gereken birden fazla 2B CAD referans dosyasından oluşan modeller ve
- Bir görünüşünde boyutsal değişikliklere izin veren ancak diğer görünüşlerine otomatik olarak yansıtmayan modeller.

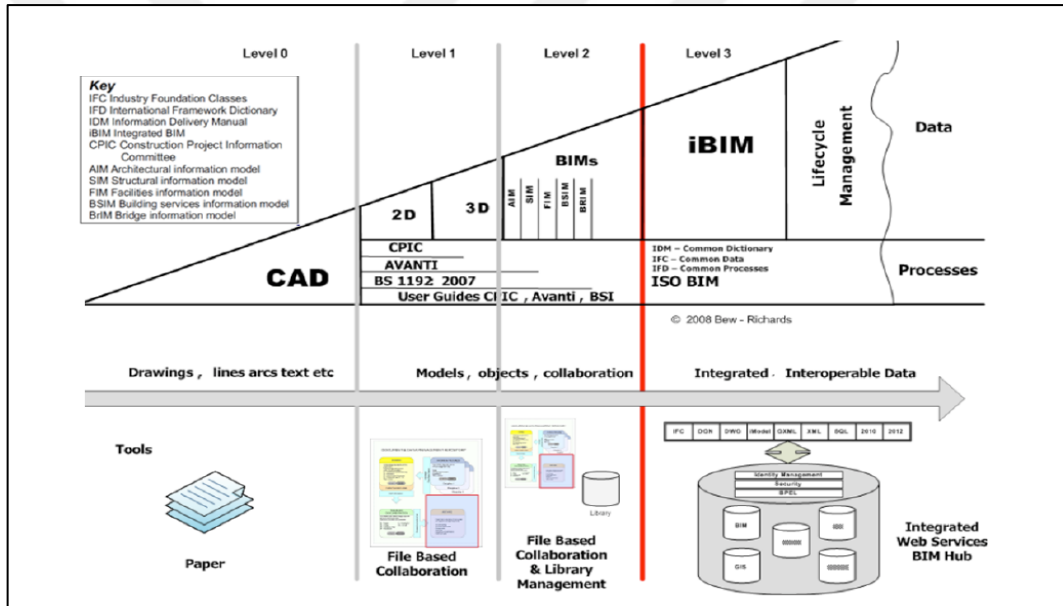
Yukarıdaki özellikleri taşıyan modeller sadece grafik olarak görselleştirmeyi destekleyen modeller olup; model içerisindeki nesnelere bilgi yüklenemediğinden dolayı bu teknolojiye dahil olmazlar. Örneğin Google SketchUp ile hızlıca 3B modeller üretilebilir ya da Autodesk 3DS Max ile çok daha gerçekçi 3B modeller oluşturulabilir. Ancak bu modelleri içeren nesnelere herhangi bir bilgi yüklenemediği için herhangi bir



analiz için destek sağlayamamaktadır. Bazı modeller nesnelere tanımlayabilir ancak parametrik bilgi kullanmadıkları için nesnelere konumlarını veya oranlarını ayarlayamazlar.

### 3.1.2. YBM olgunluk seviyeleri

YBM'nin uygulama seviyeleri kullanıcıların ihtiyaç ve beklentilerine göre değişmektedir ve kullanılan modelin boyutu, kullanım amacı, kullanıcılar arasında bilgi paylaşımı gibi kriterler bu seviyeleri belirlemektedir (Şekil3.2). Olgunluk seviyesi olarak adlandırılan sıfırdan üçe kadar gruplanmış olup bu seviyelerin kapsamı aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.2. YBM seviyeleri (BIM Task Group, 2012)

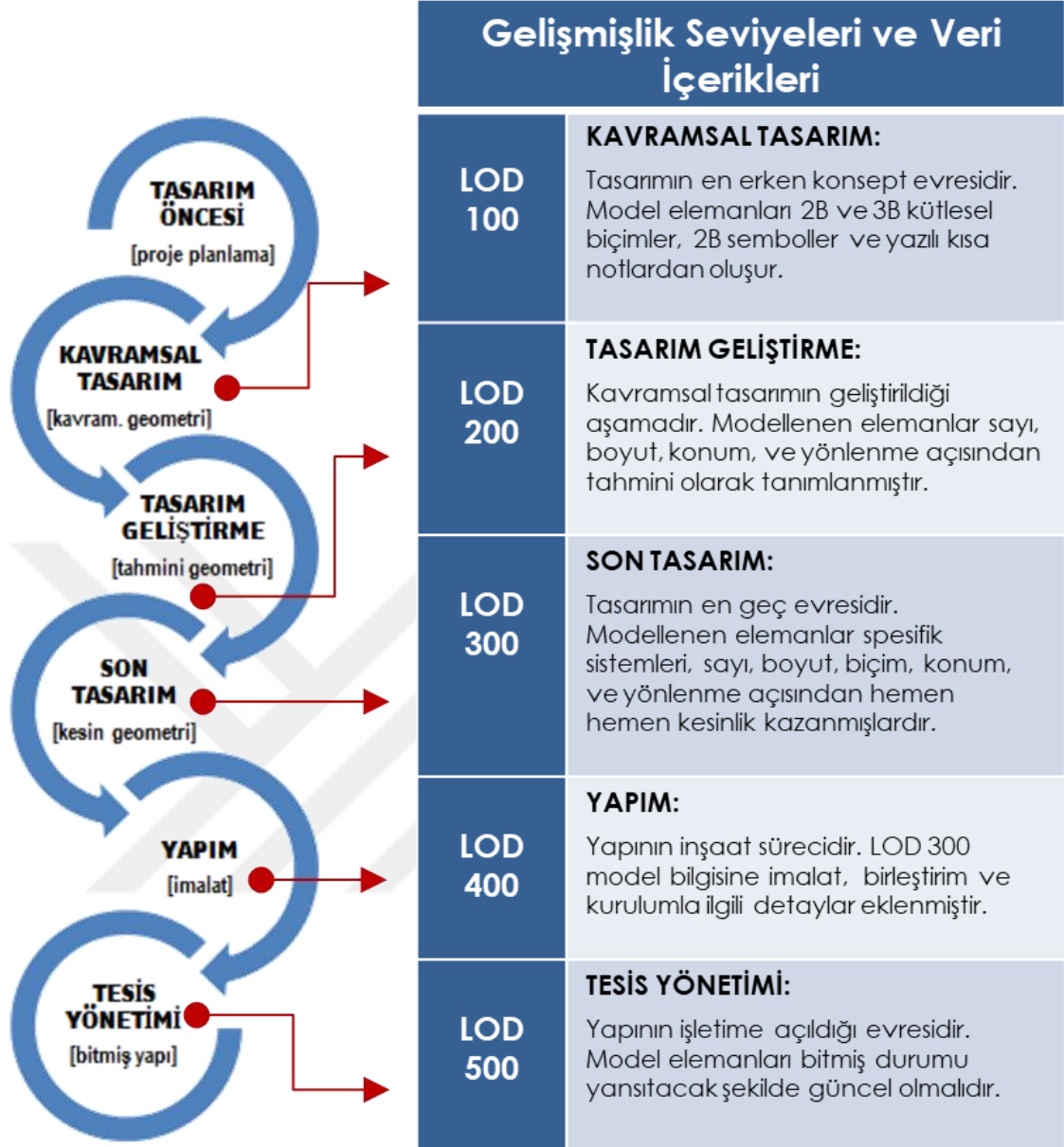
- Seviye 0: Üretim bilgileri için 2B CAD çizimi kullanılmaktadır. Çıktı ve dağıtım, kağıt veya elektronik baskılardan veya ikisinin bir karışımından yapılır.
- Seviye 1: Birçok kuruluşun şu anda faaliyet gösterdiği seviyedir. Bu seviye konsept çalışmaları için 3B CAD, resmi onay belgeleri ve üretim bilgilerini içeren 2B çizimlerin karışımını içerir.
- Seviye 2: Bu seviye işbirliği için kullanılan disiplin tabanlı YBM ile ilgilidir. Her disiplin 3B model üzerinde çalışır ancak tek bir model üzerinde

çalışma zorunluluğu yoktur. Bu seviyedeki en önemli nokta bilgi paylaşımının proje paydaşları arasında nasıl paylaşılacağıdır. Tasarım bilgisi ortak bir dosya formatında paylaşılır. Seviye 2 yaklaşımı 4B inşaat planlama simülasyonlarından ve 5B maliyet tahminlerinden yararlanabilir. İngiltere 2016'dan sonra kamu projelerinde seviye 2 YBM kullanımını zorunlu tutmuştur.

- Seviye 3: Tüm proje paydaşlarının erişiminin olduğu tek bir model üzerinde çalışılan, model üstünde değişiklik yapılabilen ve son olarak çelişen bilgiler için riskleri ortadan kaldırarak avantaj sağlayan seviyedir (Arayıcı,2015; http-8).

### **3.1.3. Gelişmişlik seviyesi**

Bir yapının bilgi modeli hazırlanırken ilgili modelin ne kadar ayrıntı içereceğini ve bu ayrıntıların ne tür bilgiler içereceği modellemeye başlamadan önce belirlemek gerekmektedir. Gelişmişlik seviyesi (Level of Development, LOD), bir modeli oluşturan öğelerde yer alması gereken minimum boyutsal, mekansal, niteliksel, niceliksel ve yetkili kullanımı desteklemek için bir elemana dahil edilen diğer veriler olarak tanımlanmıştır (AIA,2013). The American Institute of Architects (AIA) tarafından sektör tarafından da kabul edilmiş beş gelişmişlik seviyesi tanımlanmaktadır. Bunlar Şekil 3.3'de verilmiştir. Şekil 3.3'de verilen gelişmişlik seviyeleri dışında kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde LOD 250, LOD 350 gibi farklı ara seviyelerde kullanılmaktadır. LOD bazen gelişmişlik seviyesi (Level of Development) yerine detay seviyesi (Level of Detail) olarak yorumlanmaktadır. Bu ikisi arasında önemli farklılıklar vardır. Detay seviyesi modeli oluşturan öğelerde ne kadar detay bulunduğu. Gelişmişlik seviyesi ise yukarıda açıklandığı gibi elemanın içerdiği bilgi seviyesidir (BIM Forum,2016). Betonarme bir ekipman temeli için gelişmişlik seviyeleri için somut bir örnek olarak vermek gerekirse; LOD 100 belli boyutlarda bir ekipman temeli olacağını, LOD 200 bu ekipman temelinin yaklaşık boyutlarını, LOD 300 bu ekipman temelinin gerçek boyutlarını, LOD 400 ekipman temelindeki donatı ve ekipmanın montajı yapılması için gerekli olan ankraj- gömülü plaka gibi bağlantı elemanlarının geometrik özelliklerini ve LOD 500 ise bu temelde bulunan tüm öğelerin beton- çelik sınıfı gibi malzeme özellikleri, gömülü elemanların civata, somun, plaka gibi alt birleşenlerinin özellikleri içerir.



Şekil 3.3. YBM gelişmişlik seviyeleri (http-9)

### 3.1.4. Parametrik modelleme

Parametrik modelleme YBM'yi geleneksel 3B modellemeden ayıran ve YBM'nin temelini oluşturan bir faktördür. Parametre Türk Dil Kurumu tarafından 'özel bir durum için tanımlanmış değişebilir bir nicelik, bir etki ya da ilişki göstermek için kullanılan değişken' olarak tanımlanmıştır. Parametrik YBM nesnelere; geometrik tanım dışında veri ve kurallar ile ilişkilendirilmiş, veri girişinden kaynaklı tutarsızlıklara izin vermeyen, tanımlanmış parametrik kurallar ile nesnede yapılan değişikliği nesneyi barındıran modele otomatik olarak yansıtan ve barındırdıkları nitelikleri dışa

aktarabilen, yayınlatabilen ve bağlantı kurabilme yeteneğine sahip nesnelere olarak tanımlanmaktadır (Eastman vd., 2011). Parametrik modelleme, koordinasyon ve veri değişim yönetimini sağlayan bir projedeki tüm unsurlar arasındaki ilişkileri belirtir (http-10). Parametrik modelleme ile akıllı nesnelere yaratılabilmektedir. Böylece parametrik nesnelere geometri dışında içerdiği veri ile bir davranış sergiler. Örneğin parametrik bir duvar nesnesine sıva, yalıtım, boya gibi katmalar, duvarın cinsini içeren malzeme özellikleri yüklenebilir. Ek olarak duvar nesnesine, aynı parametrik kurallar ile tanımlanmış bir pencere ya da kapı eklendiğinde duvar bu nesnelere tanıyarak otomatik olarak o kısımda boşluk oluşturabilme özelliğine sahiptir. Aynı zamanda duvarın en, boy, yükseklik gibi geometrik özellikleri değiştirildiği zaman parametrik kurallara dayalı olan tüm özellikler otomatik olarak değişmektedir. Geleneksel modellemede tüm bu işlemler elle kullanıcı tarafından yapılmaktadır. Buna ek olarak genel bir öge önceden tanımlanmış özelliklere sahip bir şablon görevi görebilir. Bu şablon modele daha sonra veri girişi yapılarak kolay ve hızlı biçimde istenildiği kadar davranış olarak benzer, geometrik olarak farklı nesnelere elde edilebilir. Parametrik modellemenin yukarıda bahsedildiği gibi birçok avantajı vardır. Bu avantajlara ek olarak;

- Render dahil olmak üzere modeli görüntülemek için birçok yol sunar.
- Tasarımda değişiklikler olursa ve parçalar arasında tam iki yönlü ilişki varsa, modelin bölümlerini günceller.
- Parametrik modelleme görsel olarak daha çekici ve erişilebilirdir.
- Nihai ürünün neye benzeyeceği konusunda daha net bir fikir verir. Oranlar ve form daha iyi değerlendirilebilir.
- Tasarım amacı daha net şekilde yakalanabilir.
- 3B sistemler otomatik çizim üretimi sağlar.
- Üretim süreciyle daha iyi bütünleşmeyi sağlar ve ürün geliştirme zamanını azaltmaya yardımcı olur.
- Modellerin ayrıntı seviyesi analiz ve prototiplendirme için daha iyidir (http-11).

### **3.1.5. Birlikte çalışabilirlik**

Yapı bilgi modellemesi sadece bir model üzerinden proje ve sözleşme dokümanlarının elde edilmesi dışında aynı zamanda bir bilgi paylaşım platformu ve

proje paydaşları arasında iletişim aracıdır. Bununla birlikte oluşturulmuş her yapı bilgi modeli aynı kapsamda değildir ve kullanım amaçlarına göre farklı tiplere ayrılmaktadır. Bunlar;

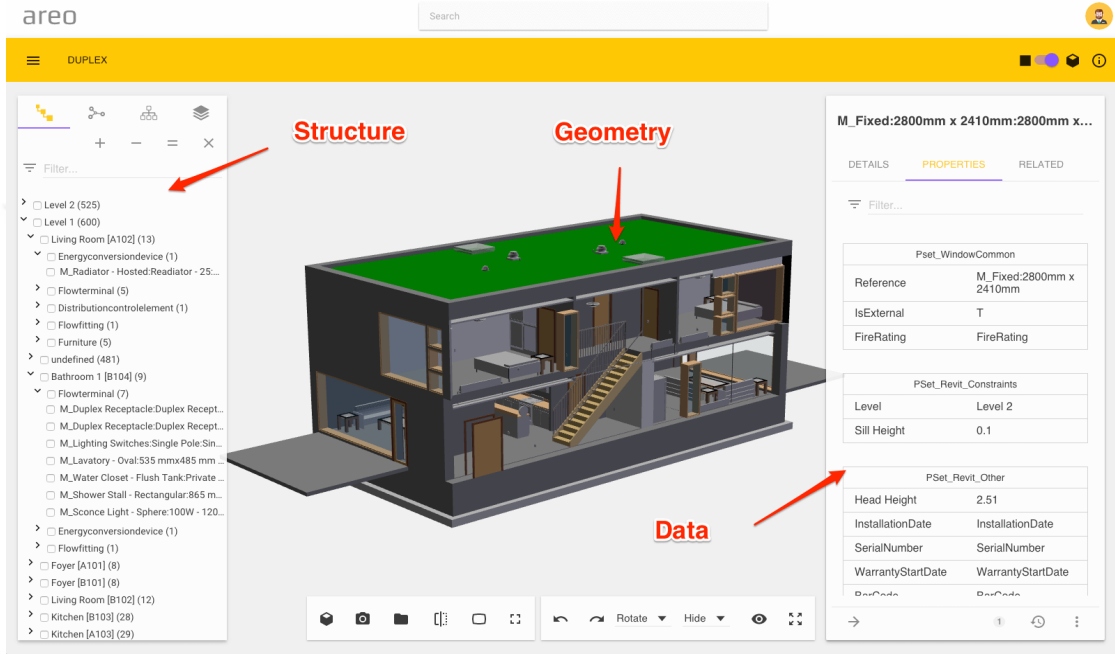
- ‘Hollywood’ YBM: Yüksek kalitede görüntüleme sağlayan ve genellikle şirketlerin ihaleleri kazanmak için kullanılıp, üretkenliği düşük ve inşaat sürecinde veri elde etmek için kullanılmayan 3B modellerdir (Hergunsel,2011; Liu,2010). Yazışmalarda, koordinasyon toplantılarında bu modeller görüntüleme aracı olarak kullanılabilir. Örneğin geleneksel proje teslim sistemi kullanılan bir projede tasarımcı oluşturduğu 3B modeli yüklenici ve işveren gibi proje paydaşları ile Navisworks ve benzeri görüntüleme yazılımlarını destekleyen bir dosya uzantısı ile paylaşabilir. Paydaşlar modeli görüntüleyerek projedeki detayları daha iyi anlamaları sağlanabilir. Model üzerinde değişiklik yapamazlar veya kapsamlı bir veri elde edemezler. Bu YBM potansiyelin çok küçük bir kısmı olarak görülebilir.
- Yalnız YBM: Bazen YBM bir organizasyon içerisinde tek bir disiplin tarafından kullanılarak organizasyon içerisindeki diğer disiplinler veya diğer proje paydaşları ile paylaşılmaz. Bu ‘yalnız’ YBM (Lonely BIM) olarak tanımlanmaktadır. Örneğin mimari disiplinlerde geleneksel 2B kesit, görünüş ve planlar elde edilmek için bu tip 3B modellerden yararlanılabilir. Mimar yapıyı 3B olarak tasarlar proje dokümanlarını bu model üzerinden elde eder. Ancak diğer proje paydaşları ile bu model paylaşılmaz. Yani model bir iletişim aracı değildir. Mimar YBM’nin istenildiği yerden kolay ve hızlı şekilde kesit elde edilmesi, revizyon durumunda tüm proje dokümanlarında aynı anda değişiklik olması, enerji analizi gibi avantajlarından faydalanır. Bu tür, şirketlerin YBM sistemine adapte olma sürecinde tercih edilebilmektedir.
- Sosyal YBM: Bu türde tüm proje paydaşları arasında paylaşılan işbirlikçi bir model kullanılır ve tasarımcılar diğer proje paydaşlarından elde ettiği yapım bilgisi ile bu model geliştirilebilir. Temel olarak ‘yalnız’ YBM’nin tam tersidir. Ancak ‘yalnız’ YBM’de yeterli deneyimi biriktirdiğinde kullanıcılar Sosyal YBM’de daha iyi iletişim sağlayabilir ve verimliliği geliştirir (Liu,2010). Bu modellerden planlama, maliyet analizi, mep koordinasyonu, yapılabirlik raporları hazırlanabilir. Tüm bunların yanında model sözleşme dokümanı

değildir. Yani model üzerinden alınan bir verinin saha uygulamalarında bir geçerliliği yoktur. Uygulamada onaylı projeler ve dokümanlar kullanılmalıdır.

- İççe (Intimate) YBM: Bu tip tek bir kaynak üzerinden tüm proje paydaşlarının veri alış verişinde bulunduğu; tasarım, yapım ve işletmenin de dahil olduğu tüm yapı yaşam döngüsü aşamalarında kullanılan ideal yaklaşımı kapsamaktadır. Modeli diğer tiplerden ayıran en önemli özelliklerden biri sözleşme dokümanı olmasıdır. Risk ve ödüller proje paydaşları tarafından paylaşılır. Bu da entegre proje teslimatı ile mümkün hale gelmektedir. Bu tipte YBM'nin tüm potansiyeli kullanılarak proje zamanının ve maliyetinin azaltılması hedeflenir.

Yalnız YBM'den, sosyal ve iççe YBM'ye doğru geçişlerde kullanıcı sayısı artmakta ve kullanıcıların ortak çalışacağı bir platform ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu platformda proje paydaşları arasında birlikte çalışabilirlik faktörü YBM'nin amaçlarını gerçekleştirmek ve potansiyelini açığa çıkarmak için ön plana çıkmaktadır. Teknolojik temelli bir bakış açısına göre birlikte çalışabilirlik; beraber çalışan şirketler arasında elektronik ürün ve proje verisinin yönetme ve bunlar ile iletişim kurma becerisidir (Young.Jrvd., 2007). YBM inşaat sürecinden tesis yönetimine kadar koordine edilen yapılandırılmış bilgiler ile ilgilidir. Bunun başarılı bir şekilde çalışması için birlikte çalışabilirlik kritiktir ([http-12](#)). Günümüzde birçok YBM yazılımının olması ve farklı YBM yazılımları arasında veri transferi ve dönüşümünde yaşanan problemler yazılımlardan bağımsız ve tarafsız bir veri standardı ihtiyacına neden olmuştur. Bu nedenle yapı ve yazılım sektörünün önde gelen firmaları 1994 yılında şimdiki adı BuildingSMART olan Uluslararası Birlikte Çalışabilirlik Kurumu'nu (IndustryAllianceforInteroperability – IAI) kurmuşlar ve 1997 yılında IndustryFoundation Classes (IFC) adıyla yeni bir veri standardı oluşturmuşlardır ([http-13](#)). IFC, AEC (architecture/engineering/construction) yazılım uygulamaları arasındaki değişim için bina bilgilerinin tutarlı veri tasvirlerinin genişletilebilir setini tanımlamak üzere geliştirilmiş bir şemadır (Eastman vd.,2011). IFC, ISO (International StandartsOrganization) tarafından tanınan tek inşaat bilgi standardıdır (Özcan,2010). IFC, dünya çapında yaklaşık 150 yazılım uygulaması tarafından desteklenmektedir. Bu tip birlikte çalışabilirlik inşaat endüstrisini artan bir şekilde işbirlikçi hale getirdiği için çok önemlidir ([http-14](#)). Bu şekilde paydaşlar herhangi bir yazılıma bağlı kalmadan IFC formatında modeller üzerinden veri alış verişinde bulunabilirler. IFC modelleri bina geometrisini ve bina bilgisini içermektedirler (Görsel 3.1). Bunlar asıl YBM dosyaların

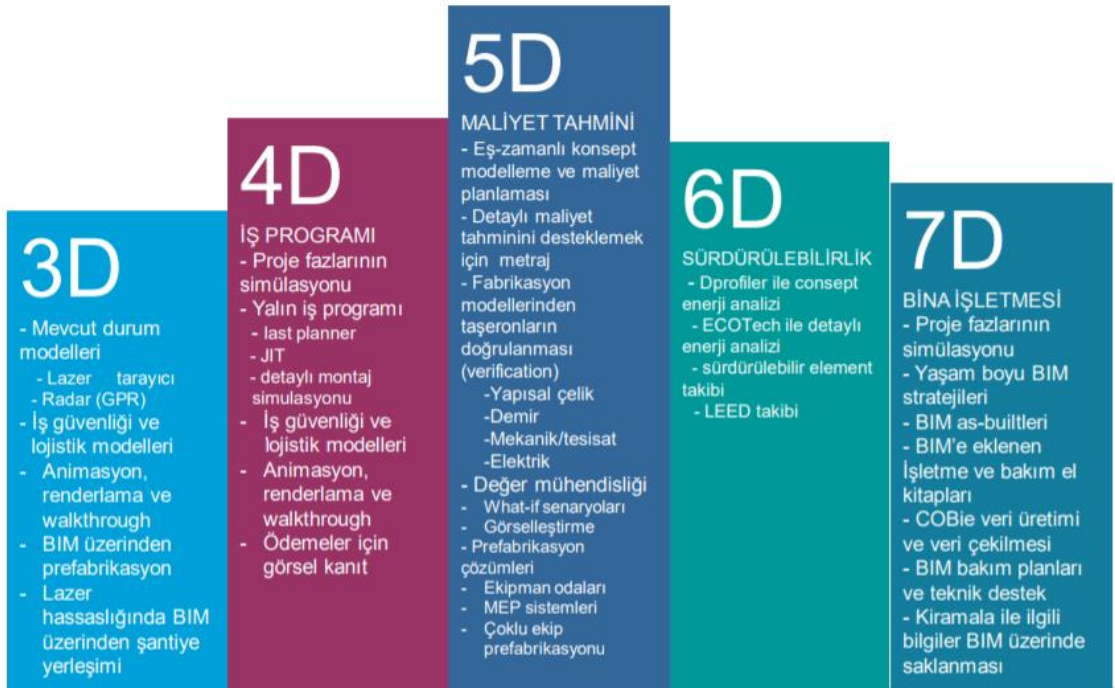
içerdiği bilgilerin bir kısmını veya tamamını içermektedirler. Bu veri birden fazla yazılımda farklı yollarla görüntülenebilir, analiz edilebilir ve değiştirilebilir. Açık, ücretsiz ve iyi yapılandırılmış değişim formatı birlikte çalışabilirlik ile ilgili tüm problemlerin üstesinden gelme de sektördeki açığı kapatmak için çalışmalar devam etmektedir (http-15).



Görsel 3.1. IFC modellerin içerdiği veriler (http-15)

### 3.1.6. YBM'nin kullanımı

YBM bilgi bakımından zengin ve CAD'deki 3B grafik birimlerinden daha fazla boyut içermektedir. Özellikle çok boyutlu bina bilgi modellemesi kavramı, bina bilgilerinin karmaşık hiyerarşilerini kapsamlı bir biçimde tanımlamaktadır (Ghaffarianhoseini vd.,2017). 3B modellere zaman boyutunun eklenmesi ile 4B, maliyet boyutu ile 5B modeller elde edilir. Sürdürülebilirliği destekleyen modeller 6B, tesis işletmesinde kullanılan modeller ise 7B modellerdir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. YBM'nin boyutları (http-16)

### 3.1.6.1. 3B modelleme

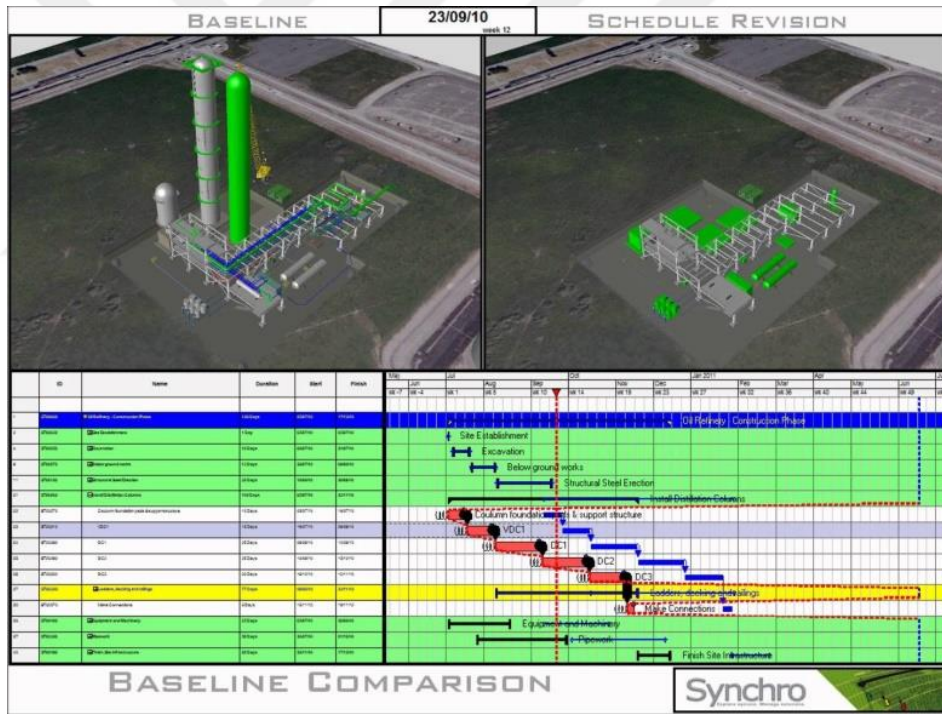
YBM'nin temellerinden biri olan 3B modelleme ile ayrıntılı görüntüleme ve proje paydaşları arasında koordinasyon yapılabilir. Ayrıca bu model ile konsept tasarım aşamasından yıkıma kadar projenin yaşam döngüsü boyunca geliştirilebilir. Modelin üzerinden alınan kesit ve görünüşler ile projenin uygulamada daha iyi anlaşılması sağlanır. Ek olarak model içinde sanal olarak gezinebilme özelliği ile projede yaşanan problemlerin tanımlanması ve çözümlenmesi proje takımının saha ziyaretlerine ihtiyaç kalmadan sağlanabilir. Yapılan çakışma analizleri ile çok kısa sürede disiplinler arası koordinasyon problemlerinin yapım öncesinde çözülerek iş tekrarlarının önüne geçilir. Bu da projede maliyet ve zamandan tasarruf sağlar. 3B modellerin bir başka kullanıldığı alan ise prefabrikasyondur. YBM ile prefabrik parçaların üretimi yüksek hassasiyet ve doğruluk ile olur. Bu da sonuç olarak uygulamada bir birine tam oturan parçalar ile verimlik artırılmaktadır.

### 3.1.6.2. 4B modelleme

3B modeller ile zaman kavramının bütünleşmesi ile 4B modeller ortaya çıkmaktadır. 3B modeli oluşturan öğelere geometrik, malzeme, fiziksel gibi özelliklerine ek olarak o öğenin yapımının başlangıç ve bitiş tarihlerinin tanıtılması ile



4B model elde edilir. Bu model ile inşaatın aşamaları planlanan ile fiziki durumunun karşılaştırılması görselleştirilebilir (Görsel 3.2). Disiplinler arası iş planı bu modeller üzerinden yapılabilir. Geleneksel 2B planlama yöntemleri gibi iş yapım sırasındaki zamansal çakışmalar bu modeller üzerinde de tespit edilebilir. Buna ek olarak gelişmiş 4B modeller tasarımda değişiklik meydana geldiğinde kritik yolu etkileyecek olan değişiklikleri otomatik olarak tespit etmekte ve proje için genel olarak hangi etkileri olacağını gösterebilmektedir (Khoshnava vd.,2012). 4B modellere vinç, iş makineleri gibi araçlar dahil edilerek saha lojistik planlaması yapıp, trafik güzergahlarına bağlı olarak çalışma alanları düzenlenebilir. Bu araçların dahil edildiği modellerin bir diğer avantajı ise iş güvenliği ile ilgili risklerin bu modeller üzerinden tespit edilerek önlemlerin alınması sayılabilir.



Görsel 3.2. 4B model ile planlanan ve fiziki durumun karşılaştırılması (http-18)

### 3.1.6.3. 5B modelleme

4B modellerin üzerine maliyet boyutunun eklenmesi ile 5B modeller oluşmaktadır. Bu modelleri oluşturan nesnelere birim fiyat gibi maliyet ile ilgili bilgiler yüklenerek kapsamlı ve geleneksel yöntemlere göre hızlı bir şekilde metrajlar elde edilip, maliyet tahminleri yapılabilmektedir. Model üzerine yüklenen bilgi sadece birim

fiyat ile sınırlı kalmamakta üretici bilgileri, nakliye giderleri gibi birim fiyata zaman zaman dahil olmayan ilave giderler ve fatura, irsaliye gibi dokümanlarda yüklenebilmektedir. Tüm bu bilgileri içeren modeller ile hesaplamalar farklı kıyaslara göre otomatik olarak elde edilip, proje maliyeti ile ilişkili konularda hızlı ve etkin kararlar alınabilir. Bu modeller de tasarım üstündeki değişiklik olduğu zaman maliyette meydana gelen değişiklikleri otomatik olarak sağlamaktadır. 5B modeller ile yapı inşaata başlamadan önce metrajlar her mahal için hazır olmakta ve inşaat sürecinde daha kontrollü ve etkin maliyet kontrolü yapılabilmekte, hakedişlerin hazırlanma ve kontrol süreçleri geleneksel yöntemlere göre daha hızlı olabilmektedir (Görsel 3.3).

The screenshot displays the Autodesk Navisworks Manage 2014 interface. The top part shows a 3D perspective view of a building's structural framework, including columns and beams, rendered in various colors (purple, green, red). Below the 3D view is the 'Quantification Workbook' window, which contains a hierarchical tree on the left and a data table on the right. The table lists various building components with their respective dimensions and quantities.

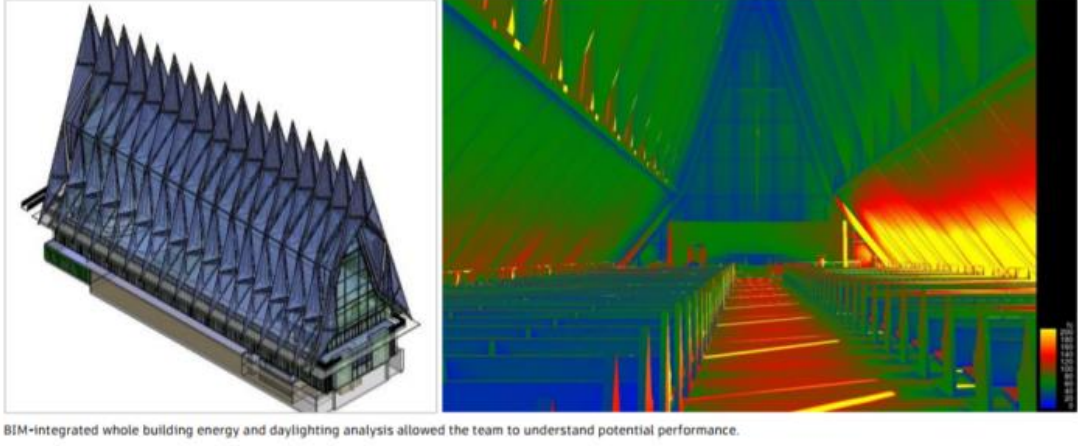
Status	WBS	Name	Width	Thickness	Height	Area	Count
2.6		Windows and External Doors					
2.6.1		Curtain panel Clear Glazing	246.952 m	6.299 m	148.526 m	163.797 m <sup>2</sup>	248.000 ea
2.6.1		Curtain panel Fit Pattern Gl	389.411 m	9.668 m	268.458 m	357.499 m <sup>2</sup>	357.000 ea
2.6.1		Curtain panel Glass Art Glaz	0.813 m	0.851 m	2.134 m	0.867 m <sup>2</sup>	2.000 ea
2.6.1		Curtain panel infill panel Gl	9.279 m	0.279 m	0.140 m	0.110 m <sup>2</sup>	11.000 ea
2.6.1		Curtain panel infill panel ins	172.176 m	0.635 m	148.368 m	7.261 m <sup>2</sup>	76.000 ea

Görsel 3.3. 5B modelleme kullanılarak yapılan metraj tablosu (<http://19>)

### 3.1.6.4. 6B modelleme

6B modeller yapıdaki sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğinin geliştirilmesinde kullanıcılara katkı sağlar. Bu modeller ile gün ışığı, güneş/gölge, güneş ışınlamı, iklimsel analiz, rüzgar ve enerji analizleri yapılarak bina performansına ilişkin verilerin erken tasarım evresinde doğru ve kapsamlı olarak elde edilmesini sağlar (Görsel 3.4). Bu veriler ile de bina için gerçek enerji talebi gibi soruların yanıtlanması sağlanabilir. Ayrıca bu modellerden Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) gibi

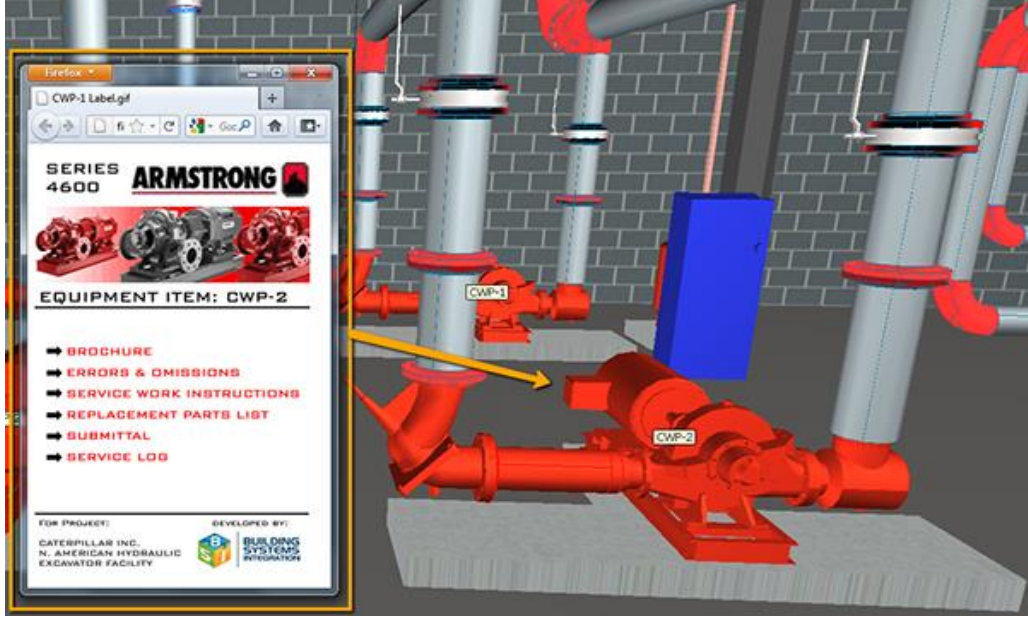
yeşil bina derecelendirme sistemlerinin sertifikasyonları için dokümanlar sağlanabilmektedir (İlhan ve Yaman, 2015; Ofluoğlu, 2016).



**Görsel 3.4.** Binalarda enerji ve gün ışığı analizlerinin yapılması (<http-20>)

### 3.1.6.5. 7B modelleme

Tesis yönetiminde kullanılan 7B modeller yapı tamamlandığında mevcut fiziki özellikler ile bire bir aynı olan 'as-built' modellerdir. Bu modeller içerdiği nesnelere gömülü veriler ile bakım ve onarım dönemlerinin daha hızlı ve efektif olması sağlanmaktadır (Öz Döşer,2016). Geleneksel yöntemlerde yapı ile ilgili bilgilerin büyük çoğunluğu yapı sahibine 2B dokümanlar olarak teslim edilmektedir. Bu 2B tabanlı bilgiler yapı sahibine doküman kontrolünü sağlamakta zorluklar çıkarabileceği gibi bu dokümanların mevcut durumu yansıtması gibi problemler ile de karşılaşılabilir. Ancak Görsel 3.5'de görüldüğü gibi 7B YBM ile tüm bu dokümanlar yerine tek bir model üzerinden yapıya ait tüm bilgiler elde edilebilmektedir (Arayıcı, 2015). Yapıya ait bilgiler sadece 3B elemanlar ile sınırlı kalmaz, ekipmanlar ile ilgili kullanım kılavuzu, garanti belgeleri gibi belgelerde modele gömülerek, istenildiği zaman erişimi sağlanabilir. Hastaneler, alışveriş merkezleri, hava limanları, metro hattı ve istasyonları, endüstriyel tesisler, gibi büyük yapıların işletme aşamasında kullanılan yapı ile ilgili bilgi kaynağı olan bu modeller 2B çizimlere göre oldukça avantajlı ve bilgi erişiminde pratiktir.



Görsel 3.5. İşletmede kullanılan model içine gömülen ekipman bilgileri (http-21)

### 3.1.7. YBM'nin avantajları ve karşılaşılan problemler

Günümüzde inşaat endüstrisinde kullanımı hızla artan bu teknoloji yapım öncesi, yapım, işletme ve yıkım dahil tüm aşamalarda yapı sahibi, tasarımcı, müşavir, yüklenici, alt yükleniciler ve üreticiler dahil olmak üzere tüm proje paydaşlarına kayda değer bir şekilde yarar sağlamaktadır. Yapılan literatür taramasında farklı kaynaklardan YBM'nin avantajları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Yapılan çalışmalar YBM'nin sağladığı avantajlar ile 3B modellemeden çok daha fazlası olduğunu göstermektedir. YBM ile daha tasarım aşamasında iken inşaatın sanal versiyonu oluşturulur ve inşaat başlamadan yapılan inceleme, analiz ve değerlendirmeler ile sorunlar tespit edilip çözülür, iş programları ve kesin maliyet hesapları yapılabilir. İnşaat aşamasında saha bilgi istekleri ve değişiklik emirlerinin sayısının azalmasında önemli katkıda bulunur. Saha bilgi istek ve değişiklik emirlerinin azalması ile proje takvimlerindeki ilave yükün azalmasından dolayı programlar sıkışmaz ve proje kalitesi artabilir. Ayrıca yapılan değişikliklerden kaynaklı maliyet artışlarının da önüne geçilmiş olur. Sadece tasarım ve yapım aşamalarında değil inşaat tamandıktan sonra da tesis yönetiminde, bakım ve onarım süreçlerinde YBM'den yararlanılabilmektedir. Bir binanın işletme ömrü maliyeti toplam yaşam döngü maliyetinin yüzde 60 ile 85'idir (Christianand Pandeya,1997) ve araştırmalar bakım-onarım safhaları sırasında yetersiz bilgi erişimi ve birlikte çalışabilirlik sorunları

**Tablo 3.1. YBM'nin yararları**

Arayıcı,2015,s. 198	Etkili ve hızlı değerlendirme, Çakışma analizi ve koordinasyon gelişimi, Bütünleşmiş tasarım ve planlama uygulamaları, Tasarım aşamasında 3B ve 4B görselleştirme, Etkili ve sürdürülebilir ürün seçimi, otomatik enerji analizi, Yapım öncesi tesis yönetimi bilgisinin elde edilmesi, Onarım dönemlerinde aktif katkıları, Doğru metraj, maliyet tahmini ve yönetimi, Sanal ön inşaat, Hızlı revizyon kontrolü.
Qian,2012	Paydaşlar arasında geliştirilmiş proje işbirliği ve kontrol, Verimli üretkenlik (daha az yeniden çalışma, çelişkiler ve değişiklikler), Daha iyi proje kalitesi ve performansı, Daha hızlı proje teslimatı, Azaltılmış israf, Azalan inşaat maliyetleri, Yeni gelir ve iş fırsatları .
Azhar,2011	Hızlı ve daha etkili süreçler, Daha iyi tasarım, Kontrollü maliyetler ve çevresel bilgiler, Daha iyi ürün kalitesi, Otomatik montaj bilgisi, Daha iyi müşteri servisi, Tesis yönetimi için hazır data.
Hergunsel,2011 (Örnek vaka çalışmasından)	Projenin ihtiyaçlarını ve beklentilerini birlikte görselleştirme, MEP koordinasyon için ayrılan zamanı azaltma, Saha bilgi isteklerini azaltma, Ek giderlerden kaçınma, Daha hızlı ve kaliteli malzemeler, Sahada zamandan ve iş gücünden kazanma, İnşaat programlarından gecikmelerden kaçınma, İnşaat sürecindeki maliyetlerden kaçınma, Yapı sahibine olumlu izlenim, Bakım ve onarım dönemlerinde yapı sahibine yardım potansiyeli.
Kuehmeier,2008	Anlaşmazlıkların çözümü, Değişikliklerin meydana geldiği zaman maliyetleri ayarlanması, Tasarım / yapım sürecini hızlandırılması, Son maliyetin azaltılması, Tek veri girişi, Alternatif çözümler-tasarım optimizasyonu, Çakışma tanımlama ve çözümlenme, Yapılabilirlik, İnşaat sıralaması / programlama, Yaşam döngüsü değerlendirmeler, Operasyonel simülasyonlar.

nedeniyle ABD'de yıllık olarak yaklaşık 10 milyar doların her yıl kaybolduğunu göstermektedir (Newton, 2004'den aktaran Azhar vd., 2012). Tesis yönetimi için YBM kullanımı bu kayıpları önlemeye önemli ölçüde yardımcı olabilir (Azhar vd., 2012).

Stanford University Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE) YBM kullanan 32 büyük projeye dayanarak yaptığı çalışmada YBM'nin yararlarını rakamlar ile aşağıdaki şekilde göstermiştir;

- Bütçe dışı değişikliklerin %40' a kadar oranda azaltılması,
- Maliyet tahminini kesinliği %3 içinde kalması,
- Bir maliyet tahmini oluşturmak için harcanan zamanın %80'e kadar azalması,
- Çakışma algılamaları yoluyla sözleşme bedelinin% 10'una kadar tasarruf,
- Proje süresinde %7'ye kadar azalma (Azharvd.,2008).

YBM'nin inşaat endüstrisine kazandırdığı birçok yararın yanında bu sisteme geçişte ve adapte olma sürecinde bir takım zorluklar ile karşılaşmaktadır. Bunlar;

- Teknik zorluklar: YBM yazılımlarının işlevselliğinin geliştirilmesi ve özellikle yeni YBM araçlarını kullanırken proje üyeleri arasındaki bilgi paylaşımını kısıtlanması.
- Beceri ve eğitim zorlukları: Bir firma içinde proje ekibi üyelerinin YBM becerilerinin yetersizliği ve uygun eğitim olanaklarına erişimdeki zorluklar.
- Yasal ve usule ilişkin zorluklar: YBM dokümanlarının ve sorumlulukların net bir şekilde ifade edilmesi, etkili YBM kabulü için aşılması gereken bir sorundur.
- YBM yazılımının maliyeti: YBM yazılımının maliyetinin düşürülmesi, benimsenmesi için önemli bir konudur (Brewer vd.,2012).

### **3.1.8. YBM'de kullanılan yazılımlar**

Bugün inşaat endüstrisinde 3Bmodelleme, planlama, maliyet tahmini, sürdürülebilirlik ve bina işletmesinde konularında farklı proje paydaşları tarafından kullanılan birçok yazılım mevcuttur. Tablo 3.2'de YBM doğrudan veya dolaylı olarak kullanılan yazılımlar verilmiştir. McGraw-HillConstruction (2008) tarafından yapılan anket Autodesk ürünlerinin inşaat endüstrisinde en çok kullanıma sahip olduğunu göstermektedir (%67 Revit ve %71 Navisworks). 2017 yılında yayımlanan NBS raporunda ise İngiltere pazarında Autodesk ürünlerinin %66'lık bir oranla hakim olduğunu göstermektedir. Aynı rapor Graphisoft, Nemetschek ve Bentley ürünlerinin de Revit 'e alternatif olarak kullanıldığını göstermektedir ([http-22](http://22)).

**Tablo 3.2.** YBM'de kullanılan programlar ve üreticileri (http-23)

3B Modelleme	Revit, Infracad 360, AutoCAD Civil 3D, AutoCAD Architecture (AUTODESK); AECOSim Building Designer, MicroStation, OpenRoads, ProStructures, Generative Components (BENTLEY SYSTEMS); Allplan, Graphisoft ArchiCAD, Vectorworks (NEMETSCHEK); SketchUp Pro (TRIMBLE); Solidworks, Catia (DASSAULT SYSTÈMES); Midas Design (Midas Information Technology); Edificius (ACCA Software); VisualARQ (VISUALARQ); CADSoft Envisioneer (CADSoft); ARC+ x9 (ARC-TECHNO)
4B İş Programı	NavisworksManage (AUTODESK); Navigator (BENTLEY SYSTEMS); Vico Office (TRIMBLE), Gest Mideplan (ARKTEC); iTWO (RIB SOFTWARE); Gestproject (Micad Global Group); MS Project (MICROSOFT); Primavera P6 (ORACLE); Synchro Professional (SYNCRHO Ltd.); TCQ (ITEC); PriMus-K (ACCA Software)
5B Maliyet Tahmini	NavisworksManage (AUTODESK); ConstructSim (BENTLEY SYSTEMS); Nevaris (NEMETSCHEK); Vico Office (TRIMBLE), Gest Mideplan (ARKTEC); iTWOPresto Cost-it (RIB SOFTWARE); DESTIN IEstimator (Beck Technology); Excel (MICROSOFT); TCQ 2000 BIM (ITEC), PriMus, PriMus IFC (ACCA Software)
6B Sürdürülebilirlik	Vasari, GreenBuildingStudio, Ecotect Analysis (AUTODESK); Hevacomp, AECOSim Energy, Simulator (BENTLEY SYSTEMS); EcoDesigner STAR (NEMETSCHEK); Sefaira (TRIMBLE), Design Builder (DesignBuilder); VE-Pro (IES); OpenStudio (OpenStudio)
7B Bina İşletmesi	Building OPS (AUTODESK); AssetWise, Bentley Facilities (BENTLEY SYSTEMS); Crem Solution, ArchiFM (NEMETSCHEK); Tekla BIM Sight (TRIMBLE), GestProject (Micad Global Group); NEXT-FM (LEMSYS); YouBIM (YUBIM); Archibus (Archibus); EcDomus (EcoDomus); Onuma (ONUMA), FMSystems Interact (FMSystems); BIM Consultant (Handle Software Company)

### 3.1.9. Türkiye'de YBM'nin gelişimi

Dünya'da YBM'nin yaygınlaşması ile Türk İnşaat Sektörü'nde de YBM yükselişte bir trend olarak ortaya çıkmakta ve farklı proje tiplerinde YBM 'nin kullanıldığı görülmektedir. Özorhon ve Karahan (2016) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de YBM uygulamalarının sırasıyla en çok konut projelerinde, ofis/ticari bina projelerinde ve endüstriyel projelerde kullanıldığı belirtilmektedir. Aynı çalışmada sektördeki kullanıcıların YBM kullanımını en çok seviye 2'de gerçekleştirdiğini ve firmaların YBM'ni daha çok tasarım ve yapım öncesinde kullandığını belirtmiştir.

Özorhon (2018) Türkiye'de gerçekleştirilen 3 adet raylı sistem projesi, 3 adet sağlık tesisi, 4 adet havalimanı başta olmak üzere toplam 13 projeyi ele aldığı kaynakta YBM'nin en çok sırasıyla; 3B modelleme, 4B simülasyon, metraj, saha koordinasyonu ve çakışmaların tespiti fonksiyonlarının kullanıldığını belirtmiştir. Aynı kaynakta bu projelerde en çok kullanılan YBM yazılımlarını ise Revit, Navisworks ve Tekla olduğu görülmüştür.

### 3.2. Yapılabilirliğin Geliştirilmesinde YBM Kullanımı

Yapılabilirlik analizlerinde ve yapılabilirliğin gelişiminde YBM'in yer alması gün geçtikçe kullanımı artan bu şekilde gerçekleştirilen proje tesliminin yaygınlaşması ile artmaktadır. YBM kullanımından önce bilgisayar destekli tasarım yöntemlerine dayalı 2-3 ve 4B modeller yapılabilirliğin geliştirilmesinde ve analizlerinde kullanılmıştır. Hijazivd., (2009) daha önce kullanılan değerlendirme yöntemlerinin yapılabilirliğin net ve doğru bir şekilde ölçülmesinde yetersiz olduğunu belirtmiştir. 2B CAD çizimlerine dayalı yapılan yapılabilirlik değerlendirilmesi farklı disiplinlerden birçok çizimi barındırdığı, elle yapılan ve kullanıcının kendi dikkati ve tecrübesine dayalı bir yöntem olduğu için yavaş ve göreceli sonuçlar veren bir yöntem olarak değerlendirilebilir. 2B CAD sistemlerinden YBM kullanıma geçişte ara bir basamak olarak kabul edilebilecek olan 3B ve 4B CAD modellerine dayalı sistemler yapılabilirliğin gelişiminde 2B CAD sistemlerine kıyasla önemli katkılar sağlamıştır (O'Brien vd.,2012; Herritt,2012; Staub and Fischer,1998; Hartmann and Fischer, 2007). Ancak bu modeller geometrik veri dışında kayda değer bir bilgi içermediği için otomatik yapılan analizlere izin vermemektedir. Yapılan araştırmalar 3B ve 4B bilgisayar destekli modellerin 3B bileşenlere ek olarak parametre veya nitelik içeren ve birbirleri ile bağlantılı elemanlardan oluşan YBM'ye doğru ilerlediğini göstermektedir (Alvarado and Lacature,2010). Bölüm 3.1.6'da bahsedilen YBM'nin boyutları üç ve dört boyutlu modelleri kapsadığı için yapılabilirliğin geliştirilmesinde ve analizlerinde kullanılan tüm avantajları YBM tarafından da sağlanabileceği söylenilebilir. Eastmanvd., (2011) yapılabilirlik değerlendirmesinde ve ilgili problemlerin çözülmesinde YBM'nin kullanılabilirliğini geniş bir kapsamda değerlendirmiştir. Yapılan literatür taramasına göre yapılabilirlik problemlerinin tespiti, çözümü ve yapılabilirliğin gelişiminde üç ve dört boyutlu modellerden ağırlıklı olarak faydalandığı görülmüştür. Koo and Fischer (2000) bu modelleri görselleştirme, bütünleşme ve analiz aracı olarak üç grupta değerlendirmiştir. Gao and Fischer (2008) üç ve dört boyutlu modellerin temel kullanımını; deneyim olarak yeterli olmayan proje katılımcıların etkileşimi, inşaat planlaması, çizim üretimi ve çakışma tespiti olarak bulmuşlardır. O'Brien vd., (2012) yaptığı çalışmada iki ulaştırma projesi için geliştirilen üç ve dört boyutlu CAD modelleri iletişim, teknik tasarım kontrolü, inşaat planlaması ve çalışma alanı yönetimi için kullanmışlardır. YBM kavramının yaygınlaşması ile yapılabilirlik ilişkili araştırmalarda 3B ve 4B CAD modelleri yerine yapı bilgi modeli yer almaya



başlamıştır. Hijazivd., (2009) yapılabirlik değerdirmesinde YBM ve 4B CAD simülasyon modelini beraber kullanmıştır. Sulankivd., (2014) iş güvenliğini en önemli yapılabirlik faktörlerinden biri olarak kabul ettiği çalışmasında iş güvenliği ve yapılabirliğin desteklenmesinde YBM kullanımını altı ana başlık altında belirtmiştir. Bunlar; (1) Görsel inceleme, (2) Birleşik modelde çakışma tespiti, (3) YBM tabanlı inşaat planlaması, (4) Üç ve dört boyutlu görselleştirme, (5) YBM'in işbirliği aracı olarak kullanımı ve (6) YBM tabanlı kontrol, analiz, değerdendirme, iş güvenliği ve yapılabirlik ölçümü. Yazar literatürde geçen bu bilgileri referans alarak yapılabirliğin geliştirilmesinde YBM'yi 3B görüntüleme aracı, analiz aracı, 4B planlama aracı ve iletişim/ işbirliği aracı olarak kullanım gruplarına ayırmış ve bu araçların yapılabirliğin gelişiminde nasıl kullanılabileceğini ve yararlarını takip eden bölümlerde açıklamıştır.

### **3.2.1. 3B görüntüleme aracı olarak YBM**

Geleneksel yapılabirlik inceleme yöntemleri genellikle 2B CAD çizimlere dayanmaktadır. Bu çizimler kullanılarak yapılan yapılabirlik değerdirmelerinde genellikle sınırlı sayıda uzmanın kendi çabaları ile çizimleri tek tek gözden geçirip yorumlamasına dayanmaktadır. Çok disiplinli projelerde paftaların kendi içlerinde koordinasyonu, ilgi sorumlunun her disipline aynı bilgi ve tecrübeye sahip olmaması, değerdendirme için zamanın kısıtlı olması gibi nedenlerden dolayı 2B CAD çizimlerine dayalı olarak yapılan yapılabirlik değerdirmeleri projenin ihtiyacını karşılayacak oranda verimliliğe ulaşamayabilir. 3B modelleme ve 3B modellerin elektronik olarak entegrasyonu ile yapılan yapılabirlik değerdirmeleri bina sistemlerinin kesin gösterimi ile gerçekleşmektedir (Staub-Frenchand Khanzode,2007). YBM temel olarak 3B modellerle dayandığı için yapılabirlik değerdirmesi sırasında gerekli olan ihtiyacı karşılayabilir. Üç boyutlu modelin yine YBM temellerinde olan bilgi tabanlı nesnelere içermesi yapılabirlik değerdirmeleri daha kapsamlı ve etkili hale getirmektedir. Geleneksel yöntemlerde çizimlerde olmayan ayrı dokümanlarda olması gereken bilgiler model içerisinde entegre olmasından dolayı projenin büyüklüğüne bağlı olarak sayısız doküman ve çizimden elde edilen bilgi tek bir model görüntülenerek elde edilebilir. 3B platform 2B CAD çizimlerine göre daha anlaşılır olması ilgili disiplinler dışında kalan proje paydaşlarının da yapılan değerdirmelere katılımı sağlanabilir. Örneğin yeni yapılan bir tesis inşaatında geleneksel 2B CAD çizimlerin ilgili disipline mensup olmayan iş güvenliği uzmanı, işletme personeli gibi proje çalışanların yorumlaması zor olabilir. Ancak 3B model ve görüntüleme aracı bir program ile bu

paydaşların projeyi yorumlaması hem hızlı hem de kolay bir şekilde sağlanabilir. Böylelikle yapılabilirlik değerlendirmeleri sırasında bu paydaşların bilgi ve tecrübeleri yapılabilirlik değerlendirmelerine kolaylıkla aktarılabilir. 3B görüntüleme yaygın olarak kullanılan programlardan biri olan Autodesk Navisworks veya buna benzer programların araçları ile gerçeğine çok yakın proje içinde gezintiler yapılabilmektedir. Navisworks'un sağladığı 'Third Person View' işlevi sahnede üçüncü kişi bakış açısıyla gezinmeye ve bu işlev aktive edildiğinde sahnede bir avatar kullanılarak kullanıcının tasarım ile nasıl etkileşime girdiği tam olarak görülmesine olanak tanır (Görsel 3.6). Bunun dışında Navisworks'un 'fly' ve 'walk' işlevleri ve navigasyon araçları modeller üstünde kullanıcı gözünden ayrıntılı olarak görüntülemeyi sağlar.



**Görsel 3.6.** 'Third Person View' ile modelin görüntülenmesi (<http-24>)

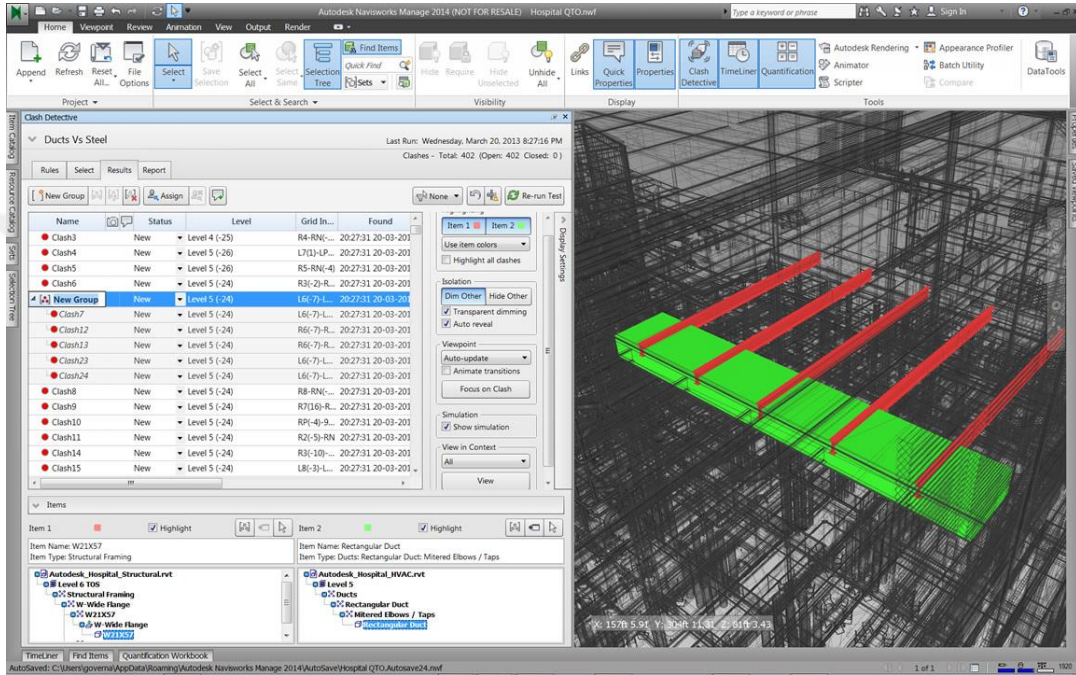
İleri 3B görüntüleme araçlarının yapılabilirliğin gelişimine sağladığı bazı avantajlar şunlardır;

- Görselleştirme kullanılarak daha hızlı karar verme sağlanır.
- Görselleştirme karar vericilerin fikir birliğine varma sürecini hızlandırır.
- İş güvenliği ile ilgili konular 3B modellerle daha iyi ele alınır.
- Görselleştirmeyi kullanmak güven oluşturur ve teklif süreci başlamadan önce anlaşmazlıkların çözülmesini sağlar.
- 3B modelleme yoluyla yapılan sanal inceleme tasarım kalitesini artırır. (Herritt,2012)

### 3.2.2. Analiz aracı olarak YBM

Bir yapının YBM kullanılarak oluşturulan modeli akıllı nesnelere içermesinden dolayı geleneksel 2B veya 3B CAD sistemlerinde otomatik olarak gerçekleştirilmeyen analizler yapılabilmektedir. Bunlardan bazıları enerji, sürdürülebilirlik, aydınlatma, yapı, akustik, hava akışı ve yapı fonksiyon analizleridir. Ayrıca 5B modeller ile yapı maliyet analizleri de yapılabilmektedir. Daha yapılabilir tasarımlar oluşturmada bu analizlere ayrı ayrı ya da toplu olarak başvurulabilir. Bunların dışında yapılan çalışmalarda yapılabilişin geliştirilmesinde başvuru YBM araçları ile yapılan analizlerden biride nesne çakışma analizleridir. Tasarımsal olarak çakışma, yapıyı oluşturan bileşenler boyutsal olarak koordine olmadığında ve kesiştikleri zaman ortaya çıkarlar (http-25). Geleneksel yapı tasarım sürecinde tüm disiplinler genellikle başlangıçta mimari veriyi taban olarak kendi disiplinlerine ait modelleri oluştururlar. Daha sonra tüm disiplinler bir araya geldiği zaman oluşturulan ana modelde disiplinler arasında çakışmalar ortaya çıkabilir. Yapım aşaması öncesinde tespit edilen potansiyel çakışmaların önlenmesi maddi açıdan götürüsü yüksek olan gecikmelerin ve iş tekrarlarının azaltılmasına yardımcı olur (Autodesk, 2010). Yapılabilirlik değerlendirmesinde yapılan çakışma analizlerinde geleneksel yöntemler ve YBM tabanlı yöntemler farklılık gösterir. 2B CAD çizimleri ile yapılan çakışma analizleri kullanıcının kendi çabası ile katmanları üst üste getirmesiyle tespit edilir. Ancak kontrol yapılırken plan üstünde kesişen elemanların üçüncü bir boyut içinde kontrol edilmesi gerekir. Plan üstünde kesişen nesnelere kot olarak kesişmiyorlarsa üç boyutlu uzayda da kesişmiyor demektir. Kullanıcı çabası ise yapılan 2B tabanlı çakışma analizleri bu tip nedenler dolayı zaman alıcı, hataya eğilimli ve güncel projelerin kullanımını gerektirmektedir (Eastman vd., 2011, s. 273). 3B modellerden yapılan çakışma analizleri ise yine kullanıcının kendi çabası ile yapılabileceği gibi bunun için otomatik sistemler de vardır. Ancak bu katı (solid) olarak oluşturulmayan modellerde kesişen yüzeylerden dolayı tutarlı veriler elde edilemeyen anlamsız çok sayıda çakışma içeren analiz sonuçları elde edilebilir. Bu da kullanıcının tek tek tüm sonuçları değerlendirmesi gerekir ve zaman gerektirebilir. Tüm bunların yanında YBM tabanlı yapılan çakışma analizleri modelleri oluşturan nesnelere bilgi içerdiğinden dolayı belli kurallara dayalı olarak yapılabilir (Görsel 3.7). Örneğin birçok disipline ait nesnelere içeren bir model disiplin disiplin ayrı ayrı analiz edilebileceği gibi tüm disiplinler aynı anda analiz edilebilir. Ek olarak istenilen miktarda toleranslar belirlenerek de analizler

gerçekleştirilebilir. Yapılan tüm analizler otomatik olarak raporlanabilir, çakışmalar tek tek görüntülenebilir ve aynı zamanda çakışan elemanlardan hangi disiplin tarafından düzeltme yapılacağı yine model üstünden atanabilir. YBM sürecinde bu çakışmalar sahada iş başlamadan önce tasarım aşamasında kolaylıkla fark edilebilir (Autodesk, 2010).



**Görsel 3.7.** YBM ile çakışma tespitlerinin yapılması ve görüntülenmesi (http-17)

Tüm bunlara ek olarak YBM tabanlı çakışma analizleri farklı tip çakışmaları sunabilir. Bunlardan ilki 'hard clash' olarak adlandırılan iki elemanın aynı alanda yer aldıklarından dolayı meydana gelen çakışmalardır. Çelik taşıyıcı sistemden oluşmuş bir binada çelik bir kiriş ile havalandırma sistemine ait bir parçanın çakışması bu tip çakışmalara verilen basit bir örnek olabilir. 'Soft clash' olarak adlandırılan çakışmalar ise bir elemana ihtiyacı olan uzaysal ya da geometrik toleranslar verilmediğinde ortaya çıkar. Bu tip çakışmalara ait toleranslar ilgili elemana erişim, servis, montaj, güvenlik ya da bakım gibi farklı kısaltmaları içerebilir. Buna bölüm 2.2.8' de verilen boru hattı-betonarme temel (montaj-erişim) örneği gösterilebileceği gibi; yüksek gerilim hatlarının yakınına binalar yapılması (güvenlik) veya çelik bir binada çaprazın önüne gelen bir pencerenin tam olarak açılmasına engel olması (servis) gibi örneklerde gösterilebilir.

### 3.2.3. 4B planlama ve simülasyon aracı olarak YBM

4B YBM bölüm 3.1.6.2 'de temel yönleri ile tanıtılmıştır. Bu bölümde 4B YBM ile ilgili daha kapsamlı bilgiler verilecek ve yapılabirliğin geliştirilmesinde kullanımına değinilecektir. Geleneksel yöntemlerde planlama yapılırken temelde çubuk diyagramlar (bar charts) kullanılmış daha sonra bu diyagramların aktivitelerin birbirleri ile olan ilişkilerini ve projeyi tamamlamak için gereken kritik yolu hesaplamadıkları için MS Project, Primavera gibi kritik yol yöntemini kullanan yazılımlar günümüzde kullanılmaya başlanmıştır. Bu tip programlar sayesinde birbirlerine bağımlı ya da bağımsız iş kalemleri ile planlama yapılabilir, bu iş kalemlerine kaynak atanabilir, kritik yol hesaplanabilir, maliyet ve iş gücü analizleri ve raporlamalar yapılabilir. Ancak bu tip geleneksel yöntemlerde planlama içinde yer alan iş kalemleri ile doğrudan doğruya tasarım ya da yapı modeli ile bağlantı oluşturamamaktadır. Programlar bu nedenle tasarım ile genellikle uyumsuz, proje paydaşlarının çizelgeleri ve bunların saha lojistiği üzerinde etkisini kolayca anlamaları için zorluklar yaratmaktadır (Eastman vd.,2011 s. 281). Yapının 3B modeline iş programındaki kalemlerinin gerçekleşme sürelerinin entegre edilmesiyle oluşan 4B modeller sağladığı avantajlar ile tasarım -yapı modeli ile planlama arasındaki boşluğu doldurmak için kullanılabilir yöntemler arasında yer almaya başlamıştır. Gökyiğit, (2014) 4B modellemenin sunduğu faydaların ortak çıktısını proje kapsamının eksiksiz olarak, daha az zamansal ve maddi kayıpla tamamlanmasına sunulan destek olarak özetlemiştir.4B modellemenin faydaları Tablo 3.3'de gösterilmiştir. Bölüm 3.1.7'de verilen YBM yazılımları arasında 4B iş programlarının oluşturulmasında kullanılan yazılımlar verilmiştir. Francis ve Harrison, (2011) 4B yazılımların kullanım amaçlarını; (1) projenin doğası ve özel ayrıntıları hakkında müşteri ile uyum sağlama, (2) taşeronlara iş süreçlerini kesintiye uğratmadan boş, net ve güvenli çalışma alanları üretme , (3) paydaşlar arasında daha iyi iletişim ve (4) sürecin değerlendirilmesi ve sorunların proje takımıyla birlikte çözülmesi olarak sıralamış ve en popüler 4B yazılımlarını Autodesk Navisworkss, Bentley Navigator, Vico ve Synchro olarak belirtmiştir.

4B YBM araçları seçilirken kullanım amaçlarına göre proje paydaşlarının farklı beklentilerini karşılayabiliyor olmalıdır. Eastman vd., (2011, s. 290) bu araçlar değerlendirilirken göz önüne alınması gereken kısıtları; model alabilme kapasitesi, program alabilme kapasitesi, 3B bina modellerini birleştirme/ güncelleme yetisi, bilgiyi yeniden düzenleme yetisi, geçici bileşenleri barındırma, animasyon, analiz, veri çıktıları

**Tablo 3.3.** 4B modellerin kullanım alanlarına göre faydaları (Gökyiğit,2014)

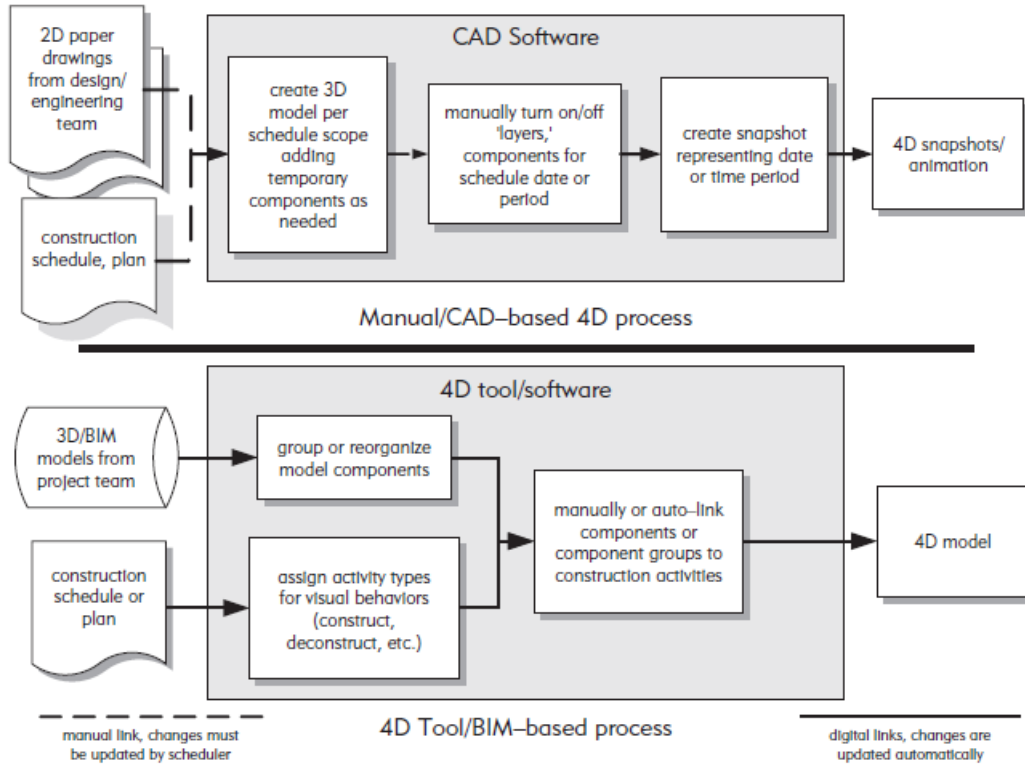
<b>Görselleştirme aracı olarak kullanımın faydaları</b>	<b>İnşaat sırasını görselleştirme ve yorumlanması</b>
	Planlama ile ilgili farklı yorumların azaltılması
	Planlamayı yorumlama sürecinin kısaltılması
	Potansiyel problemlerin inşaata başlamadan önlenmesi
	<b>Alansal proje kısıtlamalarının gösterilmesi</b>
	Zaman ve mekan çakışmalarının tespiti
	Şantiye içindeki potansiyel ulaşım sorunlarının tespiti
<b>Bütünleşme aracı olarak kullanımın faydaları</b>	<b>Tasarım ve yapım bilgisinin standardlaştırılması</b>
	İş tekrarları ve revizyonların azalması
	Prefabrikasyonun değerlendirilmesi
	Tüm disiplinleri içeren proje simülasyonu
	<b>Proje katılımcıları arasındaki etkileşimin yükseltilmesi</b>
	Paydaşlar arasındaki etkileşimin artırılması
	Geri bildirimlerin oluşturulması
	Alternatif senaryoların değerlendirilmesi
	Değişiklik emri ve bilgi taleplerinin azaltılması
	Tasarım kaynaklı oluşan problemlerin önlenmesi
<b>Analiz aracı olarak kullanımın faydaları</b>	<b>Güvenlik tehlikelerinin öngörülmesi</b>
	Kaza riski olan bölgelerin tespiti ve önlemlerin alınması
	<b>Şantiye alanına göre kaynak ve ekipman tahsisi</b>
	Materyal planlaması
	Şantiye çalışma alanı yönetimi
	<b>Yapılabilirlik incelemesi</b>
Verilerin proje yöneticilerine sunulması	

ve son olarak bina model bileşenleri ve programda yer alan aktiviteleri otomatik bağlama özelliği olarak belirlemiştir. 4B modellerin üretim sürecinde CAD ve YBM yaklaşımları Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Bunlardan 4B tabanlı yapı bilgi modellerinin üretim sürecinde ilk olarak Revit benzeri YBM araçları kullanılarak 3B model oluşturulur. Daha sonra bu model Navisworks benzeri yazılımlara aktararak modellenen her bir objenin başlangıç – bitiş tarihleri gibi planlama ile ilgili veriler tanımlanır. Planlama verileri yazılım içerisinde elle tanımlanacağı gibi eğer destekliyorsa MS Project /Primavera gibi yazılımlar tarafından hazırlanmış iş programlarının aktarılması ile hazır programlar da kullanılabilir. Daha sonra simülasyon araçları ile 4B modeller oluşturulmuş olur.

Yapılabilirliğin geliştirilmesinde tıpkı 3B modellerden olduğu gibi 4B modellerden de faydalanılmaktadır. 4B modeller yapılabilirlik ve iş sırası problemlerinin inşaat başlamadan önce tanımlanmasına yardımcı olur ( Staub – Frenchand Khanzode,2007) . 3B modellerde yapılan çakışma analizlerinin benzeri olan iş akışları çakışma (work flow clash) tespiti aynı mekanda aynı zamanda çalışacak olan ekip ve ekipmanların tespiti yapılabilir, aktif olan çalışma alanları belirlenebilir. Zaman-

mekan çakışmalarını tanımlamak için aşağıda listelenmiş bilgilerin model içinde bulunması gerekmektedir (Staub and Fischer, 1998).

- Mekansal bilgi: yapı bileşenlerinin konumu ve içinde bulunduğu alan,
- Geçici bilgi: aktivite başlangıç ve bitiş zamanı ve aktivite süresi,
- İlişkisel bilgi: aktiviteden önceki ve sonraki aktiviteler ile ilgili mantıksal bilgi ve aktivite ve 3B model arasındaki ilişkiler,
- Geometrik özellikler: gerekli analiz türüne bağlı olarak uzunluk, alan, hacim ve benzeri özellikler.



Şekil 3.5. CAD ve YBM ile 4B modellerin oluşturulma süreçleri (Eastman vd.,2002)

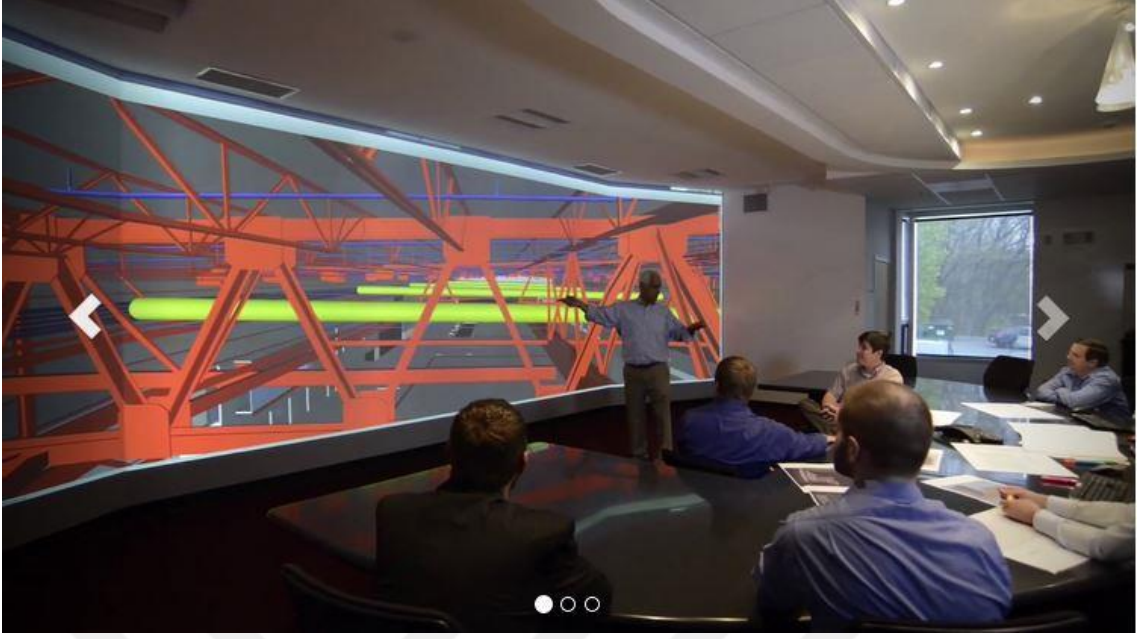
Geçici çalışma ve depolama alanlarının verimli konumu ve dağıtımını yapılabilişliğinin artırılmasında etkilidir (Hijazivd., 2009). Depolama alanlarının sınırlı ve ekipmanların yoğun olduğu projelerde inşaat süreci tamamlanmadan sahaya gelen ekipmanların yerine konulamaması ciddi problemlere neden olabilmektedir. 4B YBM modeller ile saha imalat süreçleri ve ekipmanların sahaya gelişi otomatik ve görsel olarak takip edilebilir. Böylece ekipmanların depolanması için ilave depolama

masrafları ortadan kalkar ya da sahada uygun ve güvenli olmayan ortamlarda kalması engellenebilir. Buna benzer olarak farklı disiplinlere ait ekiplerin aynı ortamda çalışması iş verimini azaltan ve iş güvenliği açısından problemlere neden olabilmektedir. Bölüm 2.2.8. 'de bahsedilen yapılabirlik faktörlerinden malzeme, ekipman ve ekip erişimi de 4B modeller ile kapsamlı olarak incelenebilen ve bu konu ile alakalı problemlerin çözümünde kullanılan tekniklerin içerisinde yer almaktadır. Koo and Fischer (2000) 4B modellerin olası lojistik ve erişilebilirlik sorunlarını tespit etmek için kullanılabileceğini belirtmiştir. Staub and Fischer(1998) benzer çalışmasında 4B modellerin erişim, geçici destek elemanları, çalışma alanının mevcudiyeti ve önceden gerekli olan işlerin tamamlanması ile ilgili olan yapılabirlik problemlerini ortaya çıkarmaya yardımcı olduğunu belirtmiştir. Tüm bunlara ek olarak 4B modeller kullanılarak yapılan yapılabirlik değerlendirmeleri daha az zamanda, daha kapsamlı ve daha az deneyimli personel tarafından gerçekleştirilebilir ve sonuçlar etkili bir şekilde iletilir (O'Brien vd.,2012).

#### **3.2.4. İletişim ve işbirliği aracı olarak YBM**

İkinci bölümde tasarımların yapılabir olmasında proje paydaşları arasındaki iletişimin önemi vurgulanmıştır. 3B ve 4B modeller proje paydaşları arasında etkili bir şekilde iletişim ve koordinasyonu sağlayan araçlar arasında yer almaktadır. Hartmann and Fischer, (2007) proje ekiplerinin tasarımların yapılabirlik değerlendirmesi yaparken bilgi iletişimini desteklemek için 3B ve 4B modellerden nasıl kullanılabileceğini açıklamıştır. O'Brienvd., (2012) 3B modellerde her bir öge türüne göre nesnenin gösterilmesini sağlayan bir renk bulunduğunu ve bu yalnızca 2B ile çizilen siyah-beyaz nesnelerin şeklini ve yerini bulmaktan daha kolay olduğunu belirtmiştir. Ayrıca tüm disiplinlere ait proje bilgileri tek bir modelde olması tüm paydaşların bu model üzerinde çalışması da iletişim ve koordinasyonu artırılmasındaki başka bir sebeptir. 3B ve 4B modellerin kullanıldığı koordinasyon toplantılarında 2B çizimlerle sağlanamayan iletişim proje paydaşları arasında sağlanabilmektedir (Hartmann vd., 2008).Görsel 3.8'de görüldüğü gibi koordinasyon toplantılarında proje ile ilgili konular bu modeller üzerinden tartışılmakta ve sorunlara çözüm aranmaktadır.





**Görsel 3.8.** *Koordinasyon toplantısından bir görüntü ([http-26](#))*

#### 4. YAPILABİLİRLİĞİN YBM İLE GELİŞTİRİLMESİ

Bu çalışmanın amacı endüstriyel tesislerin yapım sürecinde ortaya çıkabilecek yapılabirlik problemlerinin tespiti ve önlenmesinde YBM'nin araç olarak kullanılması için bir öneri sunmaktır. Çalışmanın amacını gerçekleştirebilmek için 2 ve 3. bölümde;

- Yapılabirlik kavramı hakkında kitap, dergi, makale ve daha önce yapılmış bilimsel çalışmalardan kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve düzenlenmiştir.
- Bu bilgiler ışığında yapılabirlik kavramı, ilkeleri ve yapılabirlik inceleme yöntemleri tanımlanmıştır.
- YBM kavramı ile ilgili kapsamlı literatür taraması yapılmış YBM kavramı ve özellikleri tanımlanmıştır.
- YBM'nin yapılabirliğin gelişiminde kullanımı ve ilişkisi literatürdeki çalışmalardan örnek verilerek açıklanmıştır.

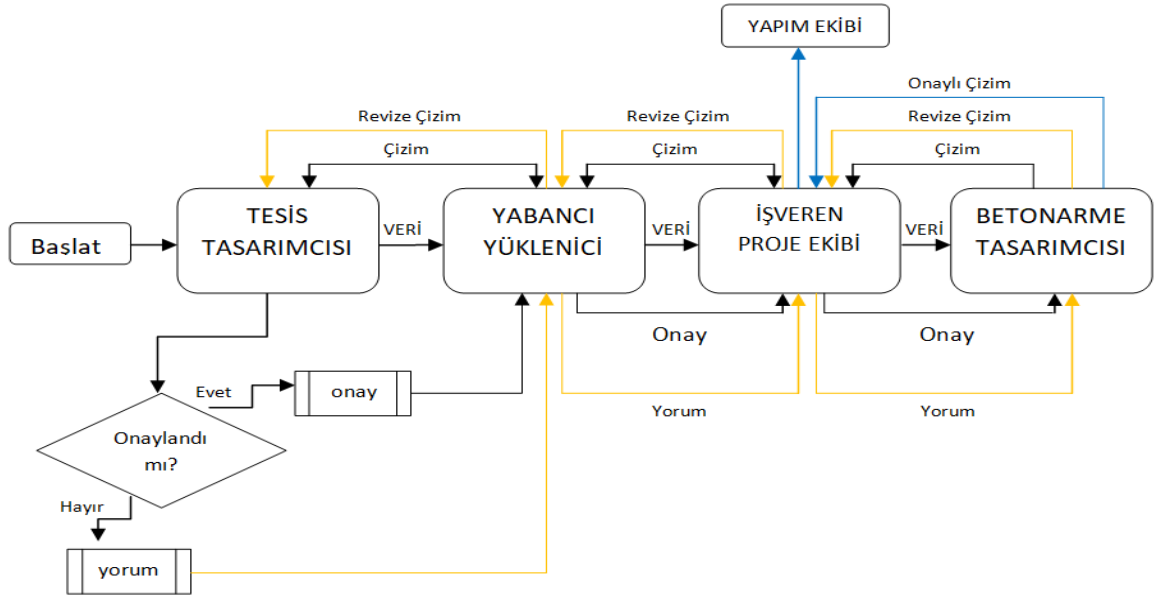
Bu bölümde iseproje yapım sürecindeki yapılabirliğe etkileyen faktörlerin nasıl geliştirileceğini daha iyi anlayabilmek için geleneksel proje teslim sistemi ile Türkiye'de yapılmış olan bir enerji santrali projesi vaka analizi için seçilmiştir.

Tesis proje teslim süreci 2B çizimler ile gerçekleşmiş ve yapım sürecinde tasarımların yapılabirlik yetersizliklerinden kaynaklı problemler ortaya çıkmıştır. Endüstriyel tesislerde bu tip problemlerinin yapım aşamasından önce nasıl önlenebileceğini göstermek için bu çalışmada YBM tabanlı 3B ve 4B modellerden yararlanarak yapılabirlik değerlendirmesi yapılmıştır. Bunun için uygulanacak yöntemin basamakları aşağıda sıralanmıştır.

- 1- Yüklenici firmalar tarafından yapı sahibine elektronik yazılı belgeler ile gönderilen sahadaki problemlerden yapılabirlik ile ilişkiler tespit edilip, gruplanmış,
- 2- Bu problemleri yapım öncesi önlemek ve çözmek için vaka çalışması yapılan tesise ait alt yapı hatları 3B olarak ve tesiste bulunan bir adet ekipman temeli 4B olarak modellenmiş ve
- 3- Bu modeller ile sahada yaşanan problemlerin nasıl önlenebileceği ya da çözülebileceği gösterilmiş ve son olarak vaka çalışması yapılan projede yapım aşamasında uygulanan teknikler ile karşılaştırılmıştır.

Yatırım bedeli 1.05 milyar dolar olan bu proje yapma başlamasından üç yıl sonra ilk ünitesi onu takiben ikinci ünitesi devreye girmiştir. Taşıyıcı sistemleri çelik ve betonarme olan binalardan oluşmuş bu tesiste; betonarme tasarımlar yerli firmalar tarafından geriye kalan tesisteki tüm disiplinler ve çelik taşıyıcı sistem tasarımlarının neredeyse tamamı yabancı firmalar tarafından yapılmıştır. Betonarme tasarım yapılırken kullanılan statik ve dinamik yükler, ekipman verileri ve mimari özellikler gibi bilgiler yabancı tasarımcı firmalar tarafından yerli firmalara aktarılmış ve betonarme tasarımlar bu bilgiler ışığında standartlar ve yönetmeliklere göre oluşturulmuştur. Yerel ve yabancı tasarımlar arasındaki tüm bilgi akışı yapı sahibinin proje ekibi kontrolünde gerçekleştirilmiştir. Yapım işlerinde ise betonarme imalatlar yerel yükleniciler, geriye kalan tüm işleri yabancı bir yüklenici firma tarafından yine yapı sahibinin kontrollüğünde yapılmıştır.

Yabancı tasarımların yeterlilikleri ‘yapılabilirlik incelemesi’ adı altında özel bir değerlendirme yöntemi kullanılıp kullanılmadığı bilinmemektedir. Ancak statik ve mimari projeler işverene onay için gönderilmeden önce ilgili mühendis ve mimarın kendi çabası ile paftaların kendi içlerinde karşılaştırılması gibi kontroller yapılmıştır. Ayrıca özellikle proje için kritik veya özel metotların kullanıldığı (baca ve silolarda kullanılan kayar kalıp gibi) yapılarda tasarımcı-yapı sahibi -yüklenicinin bulunduğu toplantılar yapılmış, bilgi ve görüş alış verişinde bulunulmuştur. Son olarak yerel tasarım firmaları tarafından hazırlanan tüm projeler onay alınması için yapı sahibi proje ekibine gönderilmiştir. Tüm bu tasarımlar yabancı tasarım firmasından gelen bilgilere göre yapıldığı için, yapı sahibi proje ekibi yerel firmalar tarafından yapılan projeleri yabancı tasarım firmasına kontrol ettirmiştir. Yabancı tasarım firmasının ve yapı sahibi proje ekibinin varsa yorumlarına göre düzeltilerek son halini alan projeler sahaya imalat için gönderilmiştir. Betonarme projelerin hazırlanma süreci Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Projenin endüstriyel yapı sınıfına girmesi nedeniyle diğer yapı sınıflarına göre inşaat disiplinine ait detaylar diğer disiplinler ile daha çok etkileşim halinde olmuş, yerel ve yabancı birçok proje paydaşı içermesi ise proje koordinasyonunu yapım yönetiminde ön plana çıkarmıştır. Koordinasyon haftalık toplantılar, yerli ve yabancı tasarım ve yüklenici firmaların sahada tam zamanlı bulunan koordinasyon mühendisleri, yerel tasarım firmasının merkez ofisinde bulunan tam zamanlı yabancı tasarım firmasının koordinasyon mühendisleri ile ağırlıklı olarak sağlanmıştır. Yapı sahibinin proje ekibi tüm bu sürece dahil olmuştur.



Şekil 4.1. Betonarme Projelerin Hazırlanma Süreci

#### 4.1. İnşaat Aşamasında Ortaya Çıkan Yapılabilirlik Problemlerin Tanımlanması

İnşaat aşamasında ortaya çıkan yapılabilirlik ile ilişkili problemlerin tespiti için yapım ekibinden yapı sahibine gönderilen inşaat sürecinde ortaya çıkmış sorunları içeren elektronik yazılı belgelerden yararlanılmıştır. İlk olarak bu belgelerde geçen problemlerin hangilerinin yapılabilirlik yetersizliği ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra tespit edilen bu problemler kendi içlerinde beş gruba ayrılmıştır. Bunlar;

- Projeyi anlayamama ve detayların eksikliği,
- Disiplinler arası ve disiplin içi paftalar arası tutarsızlıklar,
- Yapım metodu ile ilgili zorluklar,
- Yapı elemanlarının birbirleri ile çakışması ve
- Tasarım/İnşaat programı kaynaklı problemlerdir.

Tüm problemlerin ortaya çıkmasına etki eden en önemli faktörün sorunların çözülme süreci incelendiğinde proje paydaşları arasındaki koordinasyon eksikliği olduğu söylenilebilir. Koordinasyon yapılan periyodik toplantılar ile sağlanmaya çalışılsa da, tesisin genel tasarımlarını yapan firmanın yurtdışında olması, Türkiye’de bulunan proje tasarım takımındaki çalışan personelin kısıtlılığı

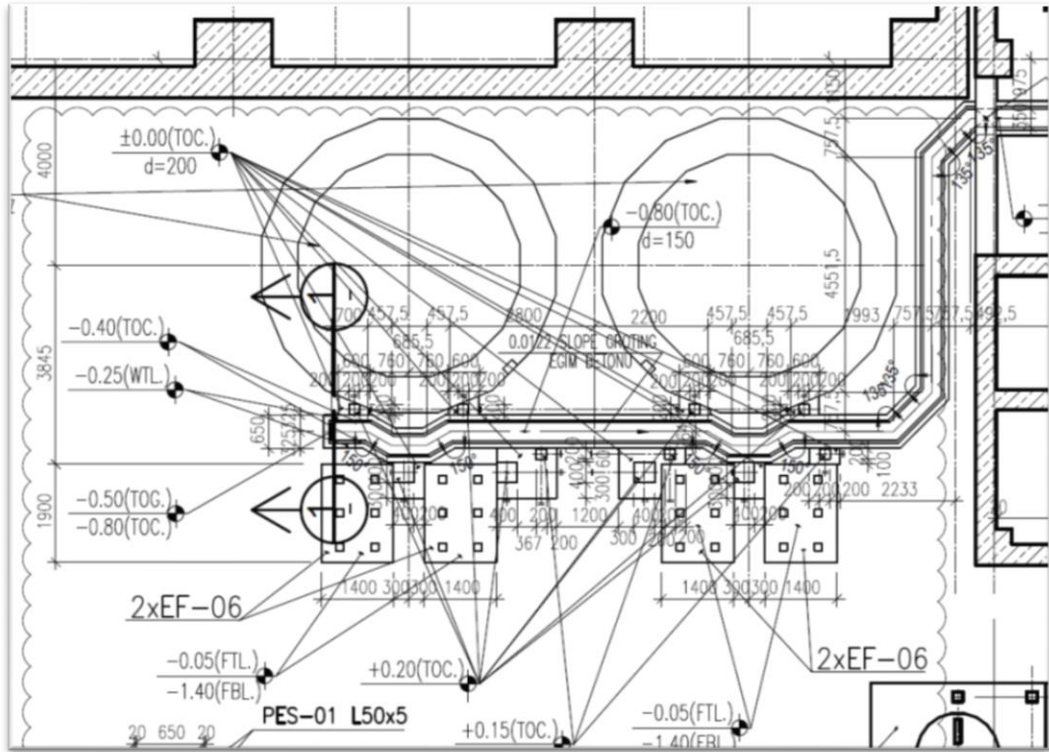
koordinasyon problemlerinin önüne geçememiştir. Ayrıca saha imalatını gerçekleştiren yüklenici firmalardaki zaman zaman ortaya çıkan kalifiye personel ve gerekli kaynakların yetersizliği de bir diğer faktör olarak sayılabilir. Aşağıda bu problemlerin içerikleri açıklanmıştır.

- **Projeyi Anlayamama ve Detayların Eksikliği:**

Vaka incelemesi yapıldığı endüstriyel tesiste diğer yapı türlerine göre disiplin sayısının fazla olması ve bu disiplinlerin birbirlerini doğrudan etkilemeleri zaman zaman paftalarda daha fazla detay verilmesine neden olmuştur. Standart konut tipi inşaat projelerinde statik, mimari, elektrik ve mekanik disiplinleri dışında genellikle yapım için başka projelere ihtiyaç duyulmaz. Bu disiplinleri içeren işler uygulamada genellikle belli standart yöntemlerle ard arda yapıldığı için her bir disipline ait ayrı paftalara bakılarak yapım sorunsuz şekilde halledilebilmektedir. Ancak vaka incelemesinin yapıldığı bu tesiste standart bu disiplinler dışında kimyasal proses ve mekanik ekipmanlar ile ilişkili disiplinleri içeren detaylarda paftalarda yer almıştır. Mekanik ekipmanları yapıya bağlantıyı sağlayacak elemanlar, proses hatları için verilen detayların uygulanması betonarme imalatın yapımından sonra değil betonarme imalatlara entegre edilerek yapılmıştır. Bu nedenle tüm bu detaylarla ilgili bilgileri içeren paftaların aynı anda kullanılması zorunlu olmuştur. Projelerde betonarme yapım ile ilişkili diğer disiplinlere ait detaylar mimari ve kalıp planları içerisinde ya doğrudan detay olarak ya da referans pafta kodu verilerek gösterilmiştir. Statik ve mimari paftalar içerisinde kendi verileri dışında diğer disiplinler ile ilgili detayların verilmesi proje dilinin ağır olmasına sebep olmuştur. Örneğin mekanik ekipmanların montajı için beton yüzeyindeki gömülü çelik plakaların ya da proses sonucu çıkan bir atığı uzaklaştırmak için betonarme elemandan geçen boruların kalıp planlarında verilmesi, bu elemanların her birinin ölçü, kot, malzeme özellikleri gibi ek verilerin de paftalara yüklenmesine yol açmıştır. Bu da Şekil 4.2’de görüldüğü gibi daha çok detay içeren paftalar meydana getirmiş ve anlaşılabilirliği azaltmıştır. Buna bağlı olarak özellikle projenin ilk evresinde sahada yanlış ve eksik imalatlar gibi sorunlar ortaya çıkmıştır.

Paftaların anlaşılabilirliği öte yandan sadece tasarımcı ile alakalı olmayıp bu paftaları uygulamada kullanacak personelin teknik bilgisi ve deneyimine bağlı göreceli bir kavramda olabilmektedir. Pafta üzerinde verilen detayların açık olmasına rağmen personelin proje okuma yetersizliğinden dolayı anlayamaması, inşaat sürecinde paftada

verilen detayların yetersiz olması gibi de anlaşılabilir. Örneğin bu projede birden çok bulunan fan ve değirmen temelleri gibi yoğun donatı içeren betonarme elemanların ilk kez yapımı sırasında saha ekibi paftaları anlamada zorlanmış ve tasarımcı firmadan 3B görseller veya daha çok kesit içeren çizimler talep etmişlerdir. Daha sonra imalatı yapılan benzer temelerde ise proje dilinde herhangi bir değişiklik olmamasına rağmen herhangi anlaşılabilirlik ile ilgili bir problem ile karşılaşmamıştır. Aynı şekilde tesisin en önemli yapılarından biri olan türbin temelini birincisinin yapımında yüklenici firmanın projede verilen detayların hem doğru bir şekilde anlayamamasından hem de bazı verilerin projelerde net olarak verilmemesinden dolayı çözüm süreci uzun zaman alan önemli problemler ile karşılaşmıştır. İkinci türbin temelini yapımı ise ilkinin göre daha kısa sürede ve daha az problem ile karşılaşarak tamamlanmıştır. Burada fan ve değirmen temellerinden farklı olarak saha ekibinin deneyim kazanması dışında sahada imalat aşamasında ortaya çıkan detayların eksikliklerin tespit edilip giderilmesi de neden olmuştur. Buradan da anlaşıldığı gibi ikinci türbin temelini sahada elde edilen deneyimler sonucu detay eksiklikleri tamamlanmış yapılabirlik yeterlilikleri daha yüksek bir tasarım ile imalatının yapıldığı söylenebilir.



Şekil 4.2. Detayların yoğun olarak verildiği örnek plan kesiti

Tüm detayların aynı paftalarda verilmesinin dışında aynı mahalde yapılacak imalatın farklı paftalarda yer alması da sahada detayların birleştirilmesi sırasında problemlere neden olmuştur. Paftalar arası koordinasyonun yeteri kadar sağlanamamasından dolayı yapım sırasının yanlış yapılmasından kaynaklı yapılan imalatın bozulması ve tekrarlanması, imalat sırasında yerleştirilmesi gereken elemanların unutulması gibi problemler ile karşılaşmıştır. Sahadaki küçük temellerin bir arada üst üste yer aldığı ve yoğun olduğu yerlerde o bölgeye özel genel vaziyet planlarına ihtiyaç duyulmuştur.

Bir diğer problemin ise paftaların imalat detayları gibi bazı detaylar için referans çizimlere yönlendirmesi ancak bu çizimlerin saha ekibinin elinde bulunmamasıdır. Yabancı tasarım firmasının detay içeren paftalarına erişim için düzenli bir şekilde yapılandırılmış bir sunucunun bulunmaması her ihtiyaç duyulan eksik çizim için yerel saat farkı gibi etkenlerden dolayı hemen cevap alınamayan mail trafiklerine neden olmuş; bu da sahaya işlerin gecikmesi olarak yansımıştır. Örneğin imalatı yurtdışında yapılmış hazır olarak gelmiş bir gömülü eleman kaybolmuş ve zaman kaybetmemek için imalatın yerer firmalara yaptırılması istenmiştir. Ancak gerekli imalat çizimlerinin saha ekibine geç ulaşması bu elemanın imalatının gecikmesine; buna bağlı olarak beton döküm tarihinin gecikmesine neden olmuştur. Bu durum zaman zaman hakediş raporlarının onaylanmasında da gecikmelere neden olmuştur. Örneğin kalıp paftalarında ankraj, plaka gibi elemanların montaj için gerekli olan kot, ölçü gibi özelliklerinin verilip ağırlık gibi özelliklerin olmaması sahadaki süreci etkilememiş ancak ağırlık üzerinden adam saat hesabı yapıldığı için işçilik ücretinin hesaplanmasında veri yetersizliğinden dolayı problemlere neden olmuştur. Bu problem sahada montajı yapılacak tüm gömülü elemanların imalata gelmeden önce yüklenici ve işveren ekibinden personellerin kontrollerinde ağırlıkları ölçülüp tutanaklar düzenlenerek çözülmüştür. Böylece referans paftalara hakediş aşamasında gerek duyulmamıştır, ancak bu işlem için ek zaman, işçilik ve maliyet gerektirmiştir.

- **Paftalar Arası Tutarsızlıklar:**

Paftalar arasında aynı eleman için verilen bilgiler arasındaki tutarsızlıklar projelerin boyutlarına bakılmaksızın hepsinde ortaya çıkabilen bir durumdur. Bunun temel nedeni bir disiplinde yapılan revizyonların diğer disipline aktarılmaması olabileceği gibi aynı disiplinde planda yapılan bir değişikliğin kesit ve görünüşlerde

değiştirilmesinin unutulması da olabilmektedir. Bu projede de disiplinler arası paftalarda tutarsızlıklar, plan/kesit/görünüş arasında tutarsızlıklar, aynı kod numarasında farklı paftaların gelmesi gibi problemler ile karşılaşmıştır. Bu inşaat sürecinde durumun fark edilerek imalatın doğru verilerin teyit sürecinin beklenilmesi gibi zaman kaybettiren problemlere neden olduğu gibi imalatın yanlış yapılıp sonradan fark edilmesi ile yapılan imalatın yıkımı gibi daha ciddi, hem zaman ve hem de kaynak kaybı yaratan problemlere de neden olmuştur. Proje sürecinde bu konudan kaynaklı problemler tesis içerisindeki mekanik ekipmanın oldukça çok olması ve taşıyıcı sistemi çelik olan birçok yapıyı içerdiği için en çok ankraj, beton içi gömülü çelik plaka gibi elemanların kot ve ölçülendirmelerinde karşılaşmıştır.

- **Yapım Metodu ile İlgili Zorluklar:**

Vaka incelemesinin yapıldığı bu endüstriyel tesiste ağır ekipman içeren binalar, titreşim yükleri gibi dinamik yükler, geniş açıklıkların bulunması gibi nedenlerden dolayı standart yapılara göre genellikle daha büyük kesit içeren ve daha karışık donatı örgüsüne sahip betonarme elemanları içermiştir. Bu nedenle bu yapıların inşaat sürecinde standart yapı tiplerinde uygulanan metotları uygulamak bazı durumlarda sorunlara neden olmuştur. Bu tip projelerde yüklenicilerin elinde bulunan ekipman ve iş gücü kaynaklarının endüstriyel tesis inşaatı gereksinimlerini karşılayabilecek yeterlilikte olması gereklidir. Bu projede yüklenicilerin uygulamada izlemek istedikleri metotların konut tipi küçük ölçekli yapılara benzerlik gösterdiği ve müşavir firma tarafından bu metotların uygulanmasına izin verilmemesinden dolayı problemler ortaya çıkmıştır. Örneğin fan/değirmen temelleri gibi titreşime maruz kalan yapılarda beton dökümünün tasarımcı firma tarafından tek aşamada döküleceği ön görülmüş tasarımlar ona göre yapılmıştır. Ancak böyle bir beton dökümü için asimetrik bir geometriye sahip olan bu temeller için özel yapım ya da daha fazla işçilik gerektiren kalıp sistemleri gerekmektedir. Ayrıca ekipmanların bağlantı parçalarının yer alacağı bölgeler için özel kalıp imalatı yapılması gerekmektedir. Özellikle kalıp sistemlerin maliyetinin standart kalıp sistemlerine göre fazla olması yüklenici firmalara ilave maddi yük getireceği için yüklenici firmalar beton dökümünü tek aşamada yapmak yerine birden çok aşamada yapılmasını talep etmişlerdir. Bu taleplerin değerlendirme süreci içerisinde hem tasarımlarda düzenlemeler yapılması için hem de yüklenicilerin gerekli kaynakları sağlaması için ek süreler gerekmiştir. Ek olarak türbini taşıyan yüksek kolon ve



perdelerin yine titreşime maruz kalmalarından dolayı tasarımcı tarafından tek aşamada dökülmesini ön görmesi, yükleniciler tarafından fan ve değirmen temellerine benzer şekilde birden fazla aşamada beton dökülmesi için talepte bulunmalarına sebep olmuştur. Türbin betonarme taşıyışında çıkan bir başka problem ise donatıların çok yoğun ve çaplarının büyük olması, yüksek tonajda ve sayıda gömülü elemanlar içermesinden kaynaklı yapım esnasında işçilik kaynaklı zorlukların yaşanmasıdır. Saha ekibi bu gömülü elemanların imalatı tamamlanıp sahaya gelene kadar tonaj ve biçimleri hakkında kesin bilgileri olmamıştır. Donatı ile etkileşimlerini değerlendirmeden donatı imalatının başlanması ile daha sonra bu elemanların montajında sorunlar ortaya çıkmıştır. Türbin tedarikçi firmanın bu elemanların montajının sifıra yakın tolerans ile yapılmasının istenmesi çok yoğun donatı örgüsünün elemanlar tamamen yerleştirilmeden tamamlanması bazı bölgelerde donatının sökülüp tekrardan montajının yapılmasına neden olmuştur.

- **Yapı Elemanlarının Birbiriyle Çakışması:**

Projede bulunan disiplinlerin artması ile yapının karmaşıklaşması, tasarımları farklı firmaların yapması ve bunla ilişkili olarak koordinasyon ve kontrol yetersizliklerinden dolayı yapı elemanları arasında zaman zaman çakışmalardan kaynaklı problemler meydana gelmiştir. Bu konu ile ilgili sahada en çok karşılaşılan problemler arasında donatı örgüsü çok yoğun olan yapılarda gömülü çeliklerin yerleştirilmesine izin verecek kadar aralığın olmayışından meydana gelen çakışmalar sayılabilir. İçinde kontrol odası gibi betonarme küçük yapıların bulunduğu kazan binası gibi büyük çelik yapılarda betonarme kolon- çelik çapraz gibi taşıyıcı yapı elemanların çakışması, mekanik ekipman ile taşıyıcı sistem elemanlarının çakışması, birbirine yakın bina temellerin çakışması gibi problemler ile de karşılaşılmıştır. Bir diğer çakışma ile ilgili önemli problem altyapı inşaatı sırasında yaşanmıştır. Ana tasarımcı firmanın proses ile ilgili boru hatlarının daha önceden tasarımı tamamlanan yağmur ve atık su hatlarını göz önünde bulundurmadan tasarlamasından dolayı inşaat öncesi çakışmaların tespiti, çözümü ve revizyon süreçlerinden kaynaklı önemli zaman kaybına neden olmuş ve paftaların düzeltilip gönderilmesine rağmen yapım esnasında bu tip problemler ile karşılaşılmasının önüne geçilememiştir.

- **Tasarım/İnşaat Programı Kaynaklı Problemler:**

Tesisteki yapıların inşaat ve tasarım sürecinin zaman zaman paralel gitmemesinden kaynaklı problemler ortaya çıkmıştır. Bu probleme etki eden temel faktörler; yabancı yüklenici firmanın sürekli iş programını değiştirmesi, betonarme tasarımlar için yabancı tasarımcıdan gelecek verilerin beklenilmesi, gelen verilerin eksik veya hatalar içermesi ve yerel tasarımcı firmanın iş tekrarlarından kaynaklı kendi iş programından kaynaklı gecikmeler sayılabilir. Yapım aşamasının tasarımlar tamamlanmadan başlanması mümkün olmadığından dolayı yüklenici firmaların iş planı ve programı yapımı, erken malzeme siparişi verilmesi gibi konularda da problem yaşamıştır. Bir diğer iş programı kaynaklı problem ise yapım sırasında çıkan problemlerdir. Farklı disiplinlere ait işlerin birbirini etkilemesi ve aynı anda yapılması istenilmesi iş programlarında çakışmalara neden olmuş iş güvenliği, malzeme ve personelin ulaşımı gibi sorunlar meydana gelmiştir. Örneğin türbin binasının kompozit döşemelerini çelik taşıyıcıya bağlayan stud çivilerinin montajı sırasında çıkan kıvılcım, malzeme düşme tehlikesi gibi nedenlerden dolayı iş güvenliği kapsamında bir alt kotta yapılan çalışmalar durdurmuş bu da bu bölgede yapılan işlerde gecikmelere neden olmuştur. Benzer şekilde trafo bölgesindeki altyapı imatları trafo bölgesinde yapılacak kontroller ve testler ile aynı zamana denk gelmiş ekipman ulaşımı ve iş güvenliği için altyapı hatları için açılmış kazılar geri kapatılmıştır.

#### **4.2. YBM Kullanılarak Yapılan Yapılabilirlik İncelemesi**

Bu çalışmada YBM kullanılarak, vaka incelemesi yapılan projedeki önceki bölümde bahsedilen yapılabilirlik problemlerinin önlenmesi veya çözüm üretilmesi hedeflenmektedir. Bu amaç doğrultusunda tesisin yapım sürecinde yapım ekibinin en çok problem yaşadıkları uygulamalardan altyapı ve ekipman temeli imatları vaka analizinin modelleri olarak seçilmiştir. İlk olarak tesisin altyapı imatlarının yapı bilgi modeli Autodesk Revit kullanılarak modellenmiş ve Navisworks kullanılarak çakışma tespitleri yapılmıştır. Bir ekipman temelini donatı dahil tüm elemanları yine Revit kullanılarak yapı bilgi modeli oluşturulmuş. Naviswork ile 3B bu modele yapım sırasının da anlaşılabilmesi için zaman faktörünün eklenmesiyle 4B bir model oluşturulmuştur. Son olarak elde edilen bu modellerden yapılabilirlik problemlerinin nasıl çözülebileceği gösterilmiş ve proje süreci içerisinde sahada uygulanan değerlendirme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

#### 4.2.1. Tesis alt yapısı yapı bilgi modeli

Tasarımında birçok disiplinin yer aldığı vaka incelenmesi yapılan endüstriyel tesisin altyapısı; hem YBM'nin mimarının ön planda olduğu üstyapı projeleri dışında, inşaat mühendisliğinde altyapı uygulamalarında kullanımı göstermek hem de altyapı projeleri ile ilgili ortaya çıkabilecek geleneksel CAD kullanımdan kaynaklı yapılabirlik ile ilişkili risklerin YBM araçları kullanılarak nasıl önüne geçildiğini göstermek adına model olarak seçilmiştir.

Endüstriyel yapılarda altyapı işleri konut, hastane, otel gibi yapılardan farklı olarak inşaat yapım sürecinde daha önemli yer tutabilmektedir. Temiz ve pis su hatları ve yağmur suyu gibi drenaj sistemlerine ek olarak tesis içi işlemler için gerekli olan kimyasal hatlar ve bu işlemler sonucu ortaya çıkan atıkları uzaklaştıracak kimyasal atık hatları mevcuttur. Bunların dışında yangın söndürme sistemleri için gerekli olan su hatları, elektrik ve otomasyon için kullanılan yeraltı kablo kanalları, tesis binaları arasındaki yerel proses hatları, sıvı/gaz yakıt hatları ve benzeri iletim hatları tesis içerisinde bir ağ oluşturur. Bu ağın her bir birleşeni farklı disiplinlere ait olduğu için farklı tasarımcıların beraber çalışması kaçınılmaz olmaktadır. Üretim getirisinin yüksek olduğu bu tesislerde inşaat sürecinin hedeflenen zaman diliminde bitirmek ve tesisin faaliyete girmesi için altyapı işleri en az diğer inşaat işleri kadar kritik rol oynar. Örneğin bir tesis içerisindeki üretim için gerekli olan tüm binaların inşaatı tamamlanmış olsa bile yangın söndürme sistemi için gerekli olan kullanım suyunun altyapısı tamamlanmamış ise üretime geçilemeyebilir. Çünkü gerek iş güvenliği gerekse sigorta kapsamına giren binaların poliçelerde belirtilen maddelerin yerine getirilmemiş olmasından dolayı tesis sahibine önemli riskler yüklenir. Aynı zamanda tüm bu hatlar genellikle kısıtlı saha alanlarından dolayı birbirine çok yakın geçebilmekte olup inşaat aşamasında beraber veya art arda yapılır. Bu da birinde çıkabilecek hem tasarım hem de yapısal bir problemin tüm hatlarının inşaat programını etkileyeceği anlamına gelir. Altyapı işlerinin tesis inşaatının genellikle son periyoduna kalmasının ve dar bir zaman aralığında yapılmasının başka bir nedeni ise tesis yapıların kaba inşaatı devam ederken mobil vinç, fore kazık makinesi gibi ağır vasıtaların saha içerisinde çalışması ya da malzeme sevkiyatı için kullanılan yollarda altyapı için kazı işlerinin yapılamamasıdır. Ek olarak tesisteki inşaat aşamasında kullanılacak enerjiyi karşılayacak geçici enerji nakil hatları ve trafolar, test aşamasında atıkları uzaklaştıracak geçici hatlar, kule vinç temelleri gibi betonarme elemanların tasarlanmış olan hatlar ile gerekli alan yoksa

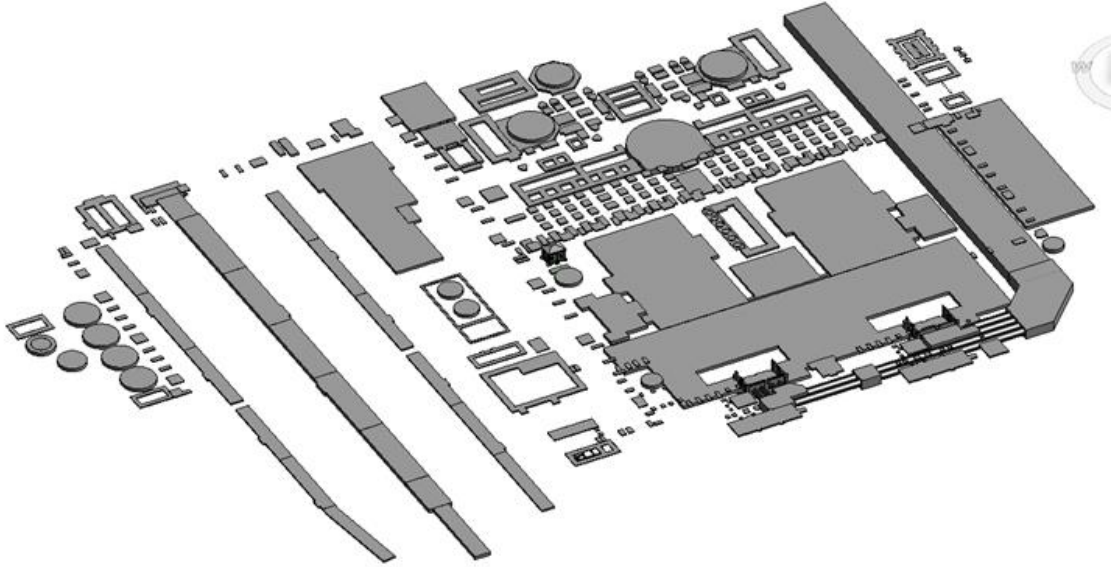
çakışabileceklerinden dolayı bu faktörler altyapı işlerinde inşaat programında önemli riskler oluşturup gecikmelere neden olabilmektedir. İş planlaması yapılırken bu faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bir diğer risk faktörü ise kendi cazibesi ile akan hatlar sayılabilir. Basınçlı sistemlerde hatlarda küçük çaplı uzunluk değişimi veya ilave dirsek eklenmesi verim azalmalarına neden olup belirli aralıklarda törele edilebilmektedir. Ancak kendi cazibesi ile akan sistemlerin başlangıç ve bitiş kotları sabit olup sıfır toleransa sahip olmaları halinde aynı güzergahta eğim değiştirmek mümkün olmamaktadır. Tasarım ve inşaat sürecinde alt yapı hatlarının herhangi birinde olan değişiklikler tüm disiplinleri etkilediği için birden çok tasarım firmasının çalıştığı projelerde, paftalar tasarımcılar arası paylaşılırken hem bilgi aktarımı sürecinde hem de revizyonların yapılması için beklenen süre dâhilinde zaman kaybına neden olmaktadır. Ayrıca firmanın işveren ile yaptığı sözleşmeye göre bu revizyonlar belli yüzdeleri geçtiğinde ilave proje bedeli maliyetlerine de neden olabilmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı altyapı işlerinde çizimlerin sahada uygulanabilir olması son derece önem taşır.

#### **4.2.1.1. Modelin oluşturulması ve kapsamı**

Bu çalışma için oluşturulacak altyapı modeline tesisin genelinde olan yangın söndürme için gerekli olan söndürme suyunu karşılayacak boru hatları, yağmur ve pis su drenaj hatları, trafo bölgesi acil durum yağ drenaj hattı ve 3 adet kimyasal atık drenaj hatları seçilmiştir. Proses ile ilgili yerel hatlar yeterli veri olmadığından dolayı çalışma dışında bırakılmıştır. Ayrıca oluşturulan modelde kapsamlı bir çakışma analizi ve görüntüleme yapmak için bina temelleri, saha içi soğutma suyu hattı ve menfezleri son olarak yer altı betonarme kanallarda dahil edilmiştir.

Bu çalışmada Autodesk Revit 2017'nin öğrenci lisanslı sürümü, yapı bilgi modeli oluşturmak için kullanılmıştır. İlk olarak yeni oluşturulan Revit dosyasına 'Insert' sekmesi altında bulunan 'Import CAD' aracı kullanılarak daha önceden koordinatlı olarak hazırlanmış tesisteki tüm betonarme yapıları içeren 2B CAD dosyası bir şablon oluşturması amacı ile yüklenmiştir. Daha sonra tesisteki bina temellerini, yağmur suyu drenaj hatlarının bağlanacağı menfezler, soğutma suyu boruları ve menfezleri, yeraltı kanalları ve istinat duvarlarını içeren tüm betonarme elemanlar Revit'in 'family' dosyasında 'create' sekmesi altındaki 'extrusion', 'revolve' gibi standart 3B modelleme araçları kullanılarak ayrı ayrı modellenip bir 'family' kütüphanesi oluşturulmuştur.

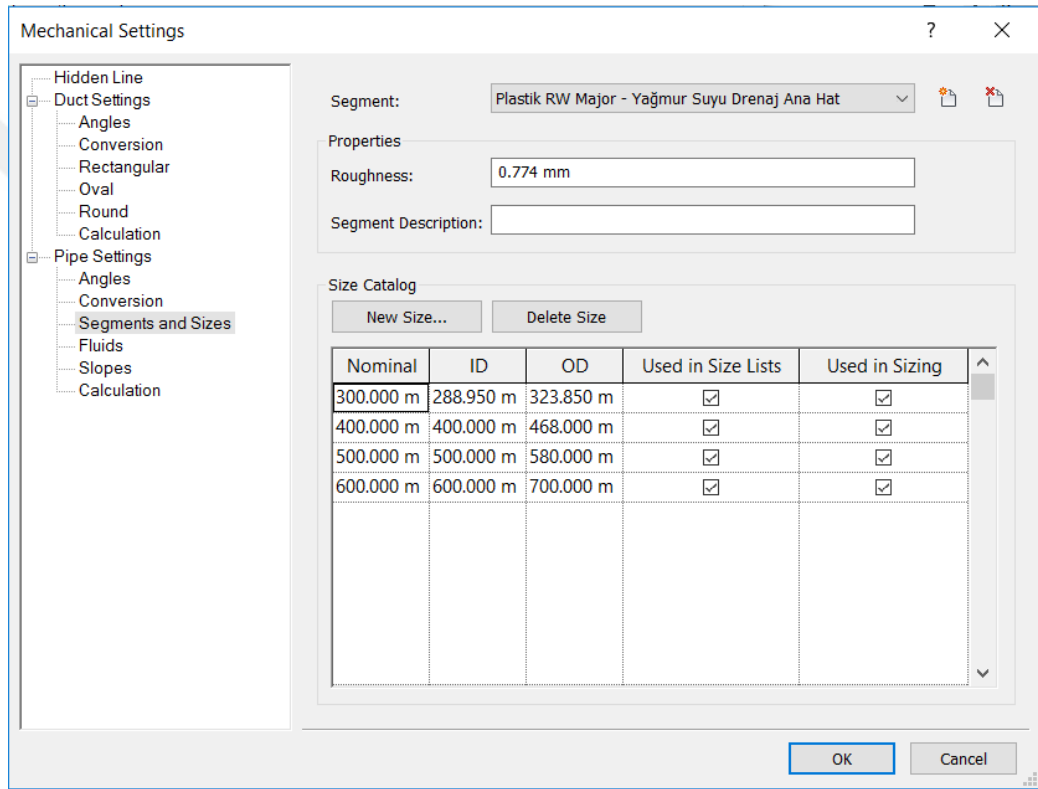
'family' tipi olarak 'structural foundation' seçilmiştir. Ayrıca her bir betonarme elemana bir kod ya da ad verilmiş böylece ileride programdan alınacak olan raporların anlaşılır olması amaçlanmıştır. Bu modeller 'family' dosyasındaki 'load into project' aracı kullanılarak projeye yüklenmiş ve önceden proje içine 'import' edilmiş 2B CAD çizimi referans alınarak yerleştirilmiştir. Altyapıda kullanılacak bir model oluşturmak amaçlandığı için betonarme elemanlar bulunduğu bölgedeki altyapının kotuna göre bir kota kadar modellenmiş daha üst kotlar bu çalışmanın dışında tutulmuştur. Sonuç olarak koordinatlı ve kotlu 3B bir vaziyet planı oluşmuştur. Ayrıca bu vaziyet planına saha içi betonarme menfezlerin dışında kalan 3750mm çaplı soğutma suyu boruları da eklenmiştir. Görsel 4.1'de 3B vaziyet planı gösterilmiştir.



**Görsel 4.1.** 3B Vaziyet planı

Bir sonraki aşama olarak çalışmada kullanılacak olan altyapı hatları ayrı ayrı projeler oluşturularak modellenmiştir. Yine ilk adım olarak koordinatlı CAD dosyası projeye 'import' edilerek bir şablon oluşturulmuştur. Yağmur ve pis su hatları için her bir rögar projelerindeki veriler doğrultusunda yine 3B modellenip 'family' kütüphanesi oluşturulmuştur. Rögarlar programa 'structural foundation' olarak tanıtılmıştır. Bu 'family' dosyaları vaziyet planının oluşturulmasında olduğu gibi projelere 'import' edilen CAD dosyasının referans alınarak yerleştirilmiştir. Daha sonra 'System' sekmesinin altındaki 'pipe' aracı kullanılarak boru modellenmesine başlanmıştır. Her

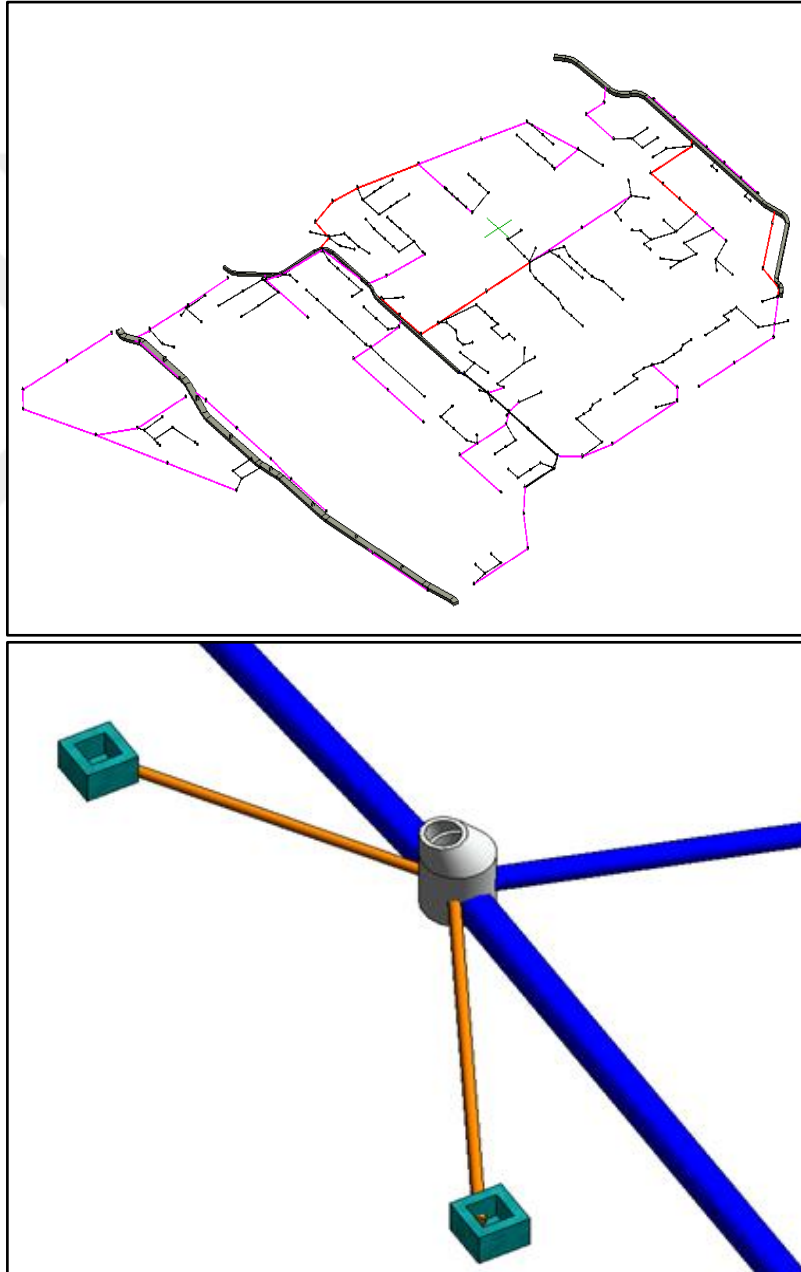
hat için 'type properties' de tipleri ve 'segment and sizes' sekmesi altında boru özellikleri programa tanıtılmıştır. Burada Revit'in kendi içinde tanımlı bölümler kullanılmamış olup yeni bölümler oluşturulmuştur. Görsel 4.2. 'de Revit'de boru özelliklerin programa tanıtıldığı ara yüz gösterilmiştir. Boruların iç ve dış çap gibi teknik özellikleri imalatçı firmaların kataloglarından alınmıştır. Daha sonra rögarlarda olduğu gibi 'import' edilen CAD projesi referans alınarak projede belirtilen güzergah ve kotlar kullanılarak borular oluşturulmuştur.



**Görsel 4.2.** Boru mekanik özelliklerin tanıtıldığı program arayüzü

Görsel 4.3'de örnek olarak yağmur suyu hattının 3B modeli gösterilmiştir. Aynı yöntemler kullanılarak yangın suyu hattı, pis su drenaj hattı, kimyasal hatlar ve trafo sahası acil durum yağ drenaj hatları modellenmiştir. Modeller birleştirilmeden önce her biri kullanıcı kaynaklı hataların önüne geçmek ve sağlıklı bir çakışma tespiti yapmak için kontrolleri yapılmış ve sonra hepsi tek bir projede birleştirilerek üzerinde çakışma tespiti yapılacak son model oluşturulmuştur. Bu model 3B vaziyet planının tüm altyapı projelerinin daha önceden belirlenmiş bir referans noktası alınıp üstüne kopyalanarak

koordinatlara bağlı kalarak elde edilmiştir. 3B vaziyet planına altyapı projeleri taşınmadan önce tüm Revit dosyaları aık iken ‘manage’ sekmesinin altında bulunan ‘transfer project standarts’ aracı kullanılarak diğer projelerdeki boru özellikleri bu projeye transferi sağlanmıştır. Böylece oluşturulan yeni projeye herhangi bir verinin tekrar girilmesine gerek kalmamıştır. Oluşturulan son model Görsel 4.4’de gösterilmiştir.



**Görsel 4.3.** Yağmur suyu drenaj hattı yapı bilgi modeli

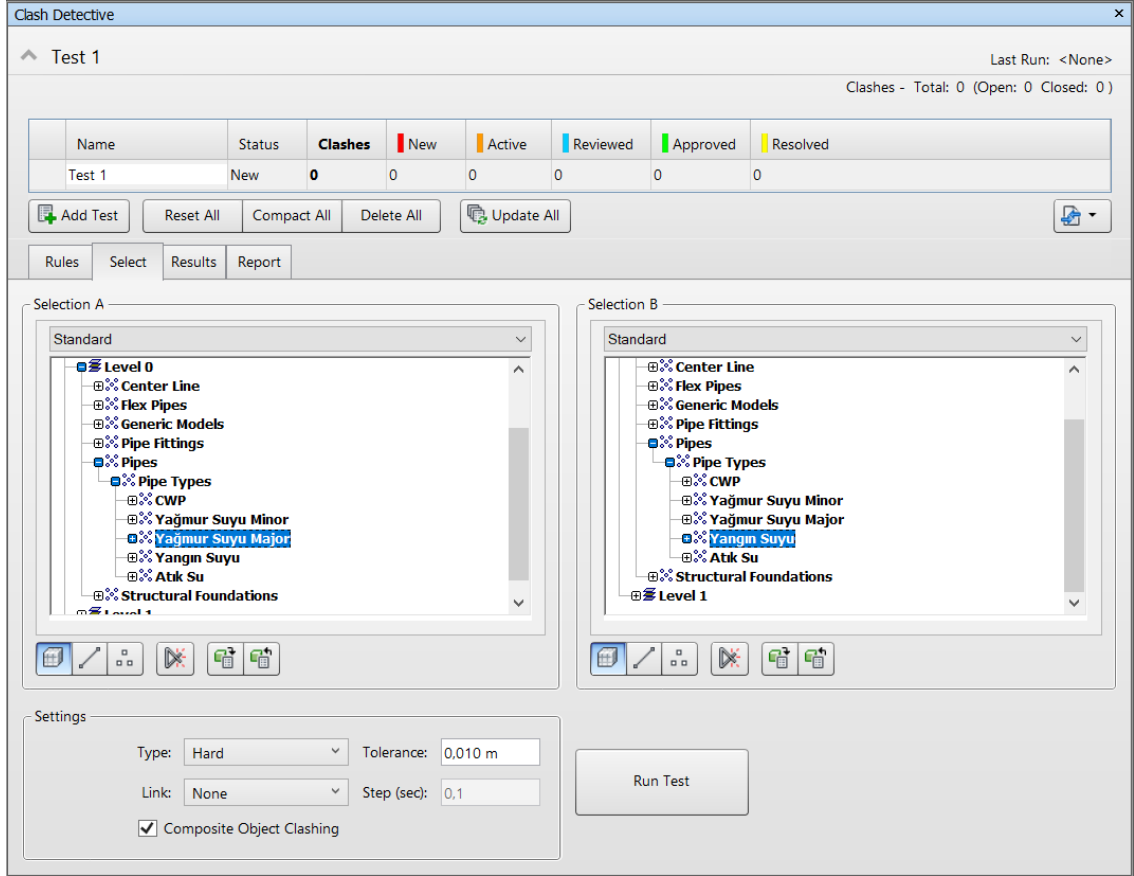


**Görsel 4.4.** *Altyapı yapı bilgi modeli*

#### **4.2.1.2. Çakışmaların tespiti**

Oluşturulan modelde altyapıyı oluşturan hatlar arasındaki çakışmaların tespiti için koordinasyon araçlarının daha güçlü olmasından dolayı Autodesk Navisworks kullanılmıştır. Revit ile oluşturulan 3B model Navisworks'a 'import' komutu ile aktarılmıştır. Daha sonra Navisworks'un 'clash detective' aracı kullanılarak çakışma analizi yapılmıştır. Çakışma analizi yapılırken her bir altyapı hattı bir diğer hat ve tesiste bulunan bina temelleri ile ayrı ayrı test edilmiştir. Bunun için 'home' sekmesi altında bulunan 'clash detective' aracı seçildikten sonra 'add test' komutu kullanılarak 'select' 'den test edilecek hatlar seçilmiştir. Tolerans değeri olarak sahada müsaade edilebilir değer 10cm olarak seçilmiştir. 'Run Test' komutu ile çakışma analizi yapılmıştır. İlgili aracın Navisworks ara yüzü Görsel 4.5'de gösterilmiştir.





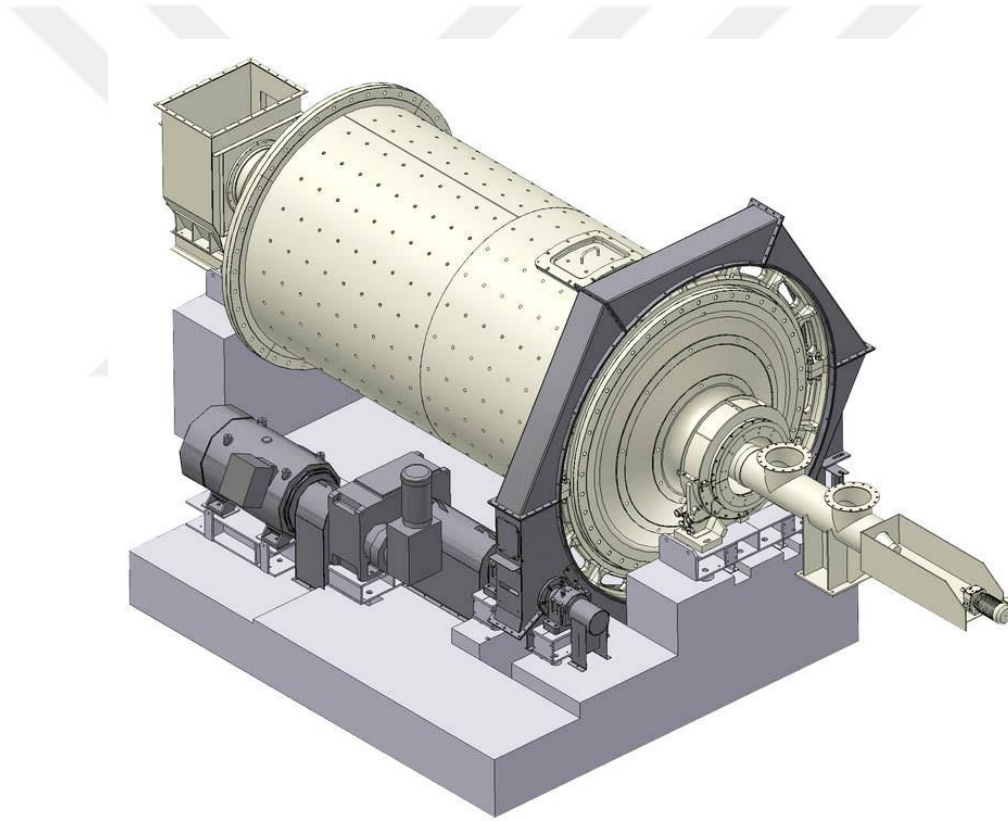
Görsel 4.5. Navisworks 'Clash Detective' aracı arayüzü

#### 4.2.2. Ekipman temeli yapı bilgi modeli

Endüstriyel tesislerde statik dışında dinamik yükler de yaratan değişik makine türleri olup bunların sayısı oldukça yoğun olabilmektedir. Bu makinelerin temelleri kütlesi oldukça büyük olan blok şeklinde, içi boş kutu şeklinde veya daha karışık yapıya sahip kolon, kiriş, döşeme içeren tipte olabilir (Özkan ve İnada, 1984). Kömür/çimento/farin değirmenleri, su pompaları, türbin, jeneratör, kompresörler, fanlar; döner fırınlar, kırıcılar bu tip makinelerdir. Görsel 4.6'da çelik bilyeli değirmen ve temel modeli örnek olarak gösterilmiştir. Bu temellerinin uygulamada doğru bir şekilde yapılmaması işletme aşamasında ekipmanın ve tesisin zarar görmesine sebep olabilir. Bu tip temeller çok yoğun bir donatı örgüsüne sahip olabilmektedir. Ayrıca bu temeller makineyi temele bağlayacak beton içi gömülü elemanlar, drenaj, enerji veya yakıt ihtiyacı için yine beton içinde gömülü kalacak boru ve benzeri elemanları da yoğun miktarda içerebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında yoğun donatı örtüsüne sahip yapıların inşaat aşamasında ortaya çıkabilecek yapılabirlik problemlerini tespit etme ve önleme yollarını YBM ile gösterebilmek için ağır bir sanayi ekipmanın temeli ikinci model olarak seçilmiştir. Üretilen 4B model ile

- Görsel olarak yapılabirlik incelemesi yapılması,
- Model üstünden uygulama için kalıp ve donatı paftaları üretilmesi,
- Karmaşık donatı örtüsüne sahip yapılarda animasyonlar ile yapım sırasını göstererek inşaat öncesi yapım ekibine uygulamanın anlatılarak inşaat sırasında hız ve verimliliğin artırılması amaçlanmıştır.

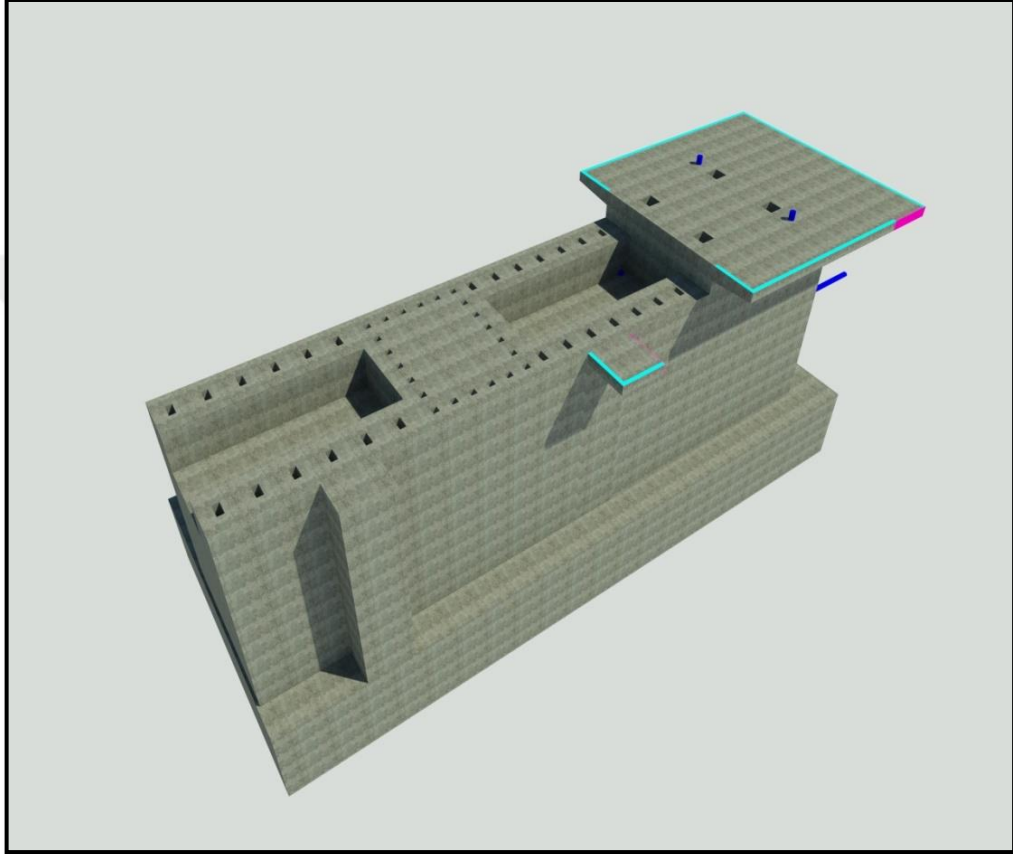


**Görsel 4.6.** Örnek ağır sanayi ekipmanı modeli (<http-27>)

#### **4.2.2.1. Modelin oluşturulması ve kapsamı**

Bu modelin oluşturulmasında kullanılacak veri 2B CAD paftalarından sağlanmıştır. İlk olarak oluşturulacak model Revit proje dosyasında bulunan standart temel modelleme araçları ile oluşturulamayacağı için 'family' oluşturulmuştur. 'New'>'Family'> 'Metric Generic Model' seçilerek dosya REVIT' de oluşturulmuştur.

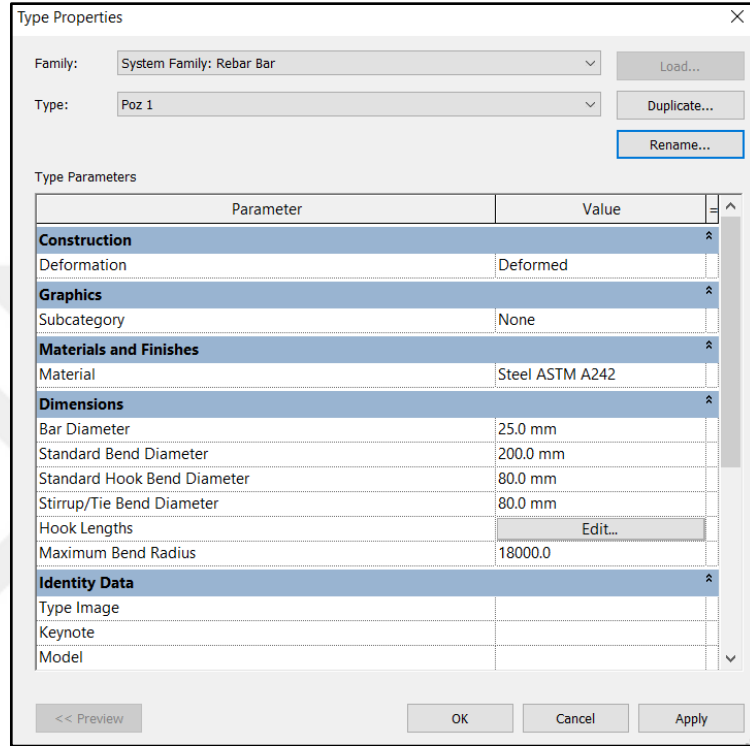
Daha sonra 2B CAD kalıp planı şablon olarak kullanılması için 'insert' sekmesi altında bulunan 'import CAD' aracı ile 'family' dosyasına yüklenmiş ve ' Create' sekmesi altında bulunan 'extrusion' , 'Blend' , 'Sweep' gibi standart modelleme araçları ile 3B model oluşturulmuştur. Oluşturulan model Görsel 4.7'de gösterilmiştir. Daha sonra bu



**Görsel 4.7.** Ekipman temeli yapı bilgi modeli

model içinde donatıları oluşturmak için 'new'>'project' > 'structural template' seçilerek yeni bir proje oluşturulmuştur. Daha önce oluşturulmuş 'family' dosyası 'load into project' komutu ile açılmış projeye yüklenmiştir. Structure'> 'Reinforcement'>'Rebar' seçilerek 'Rebar Shape Browser' açılmıştır. Görsel 4.8'de gösterildiği gibi 2B CAD projesinde verilen pozlar oluşturulmaya başlamadan önce malzeme, gönyeleme, kanca detayları gibi projede verilen özellikler ' type properties' de düzenlenmiştir. Donatıların boyutsal detayları ise 'properties' den düzenlenmiştir. Pas payları 'reinforcement' aracılığında bulunan 'cover' sekmesinden yine projeden verilen özelliklere göre tanımlanmış daha sonra model seçilip 'properties'den yüzeylere göre atanmıştır. Son

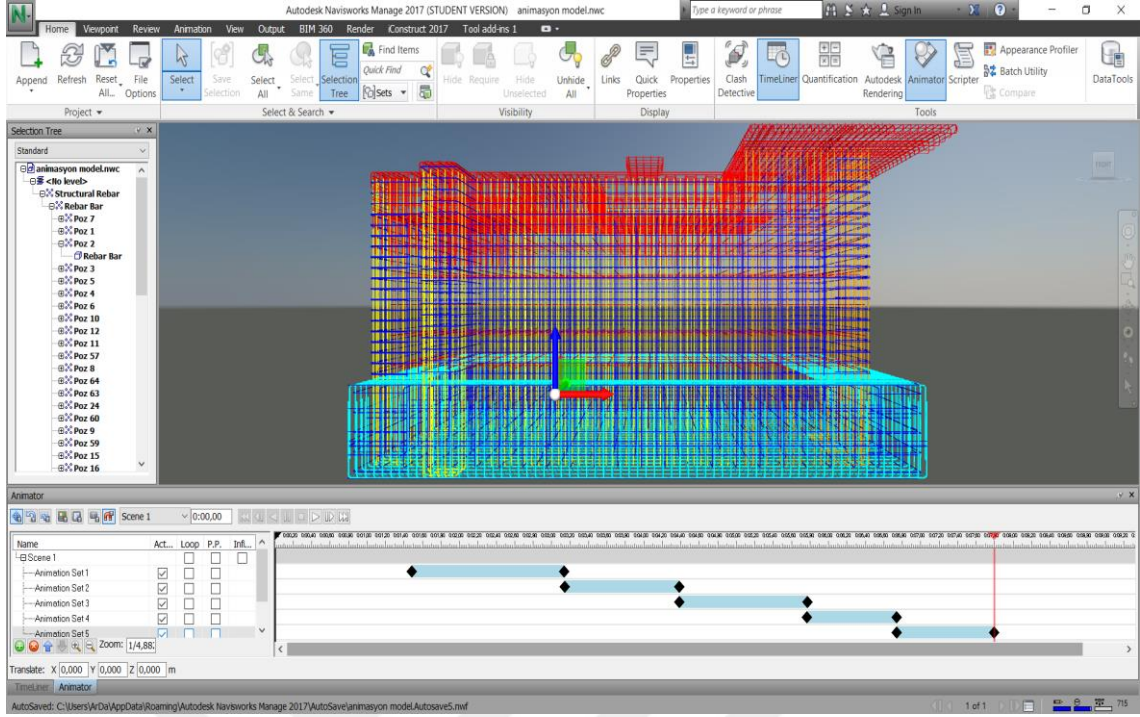
olarak 3B görünüm üzerinden program donatı otomatik tanımlamaya izin vermediği için modelin belirli yerlerinden kesit ve planlar oluşturulmuş bunlar üzerinden donatılar modele tanımlanmıştır. Donatılar modellenirken Revit araçları ile hızlı bir modelleme gerçekleştirilmiştir. Donatı aralıkları, sayısı otomatik veya elle ayarlanabilmektedir.



**Görsel 4.8.** Donatı özelliklerinin programa tanıtılması

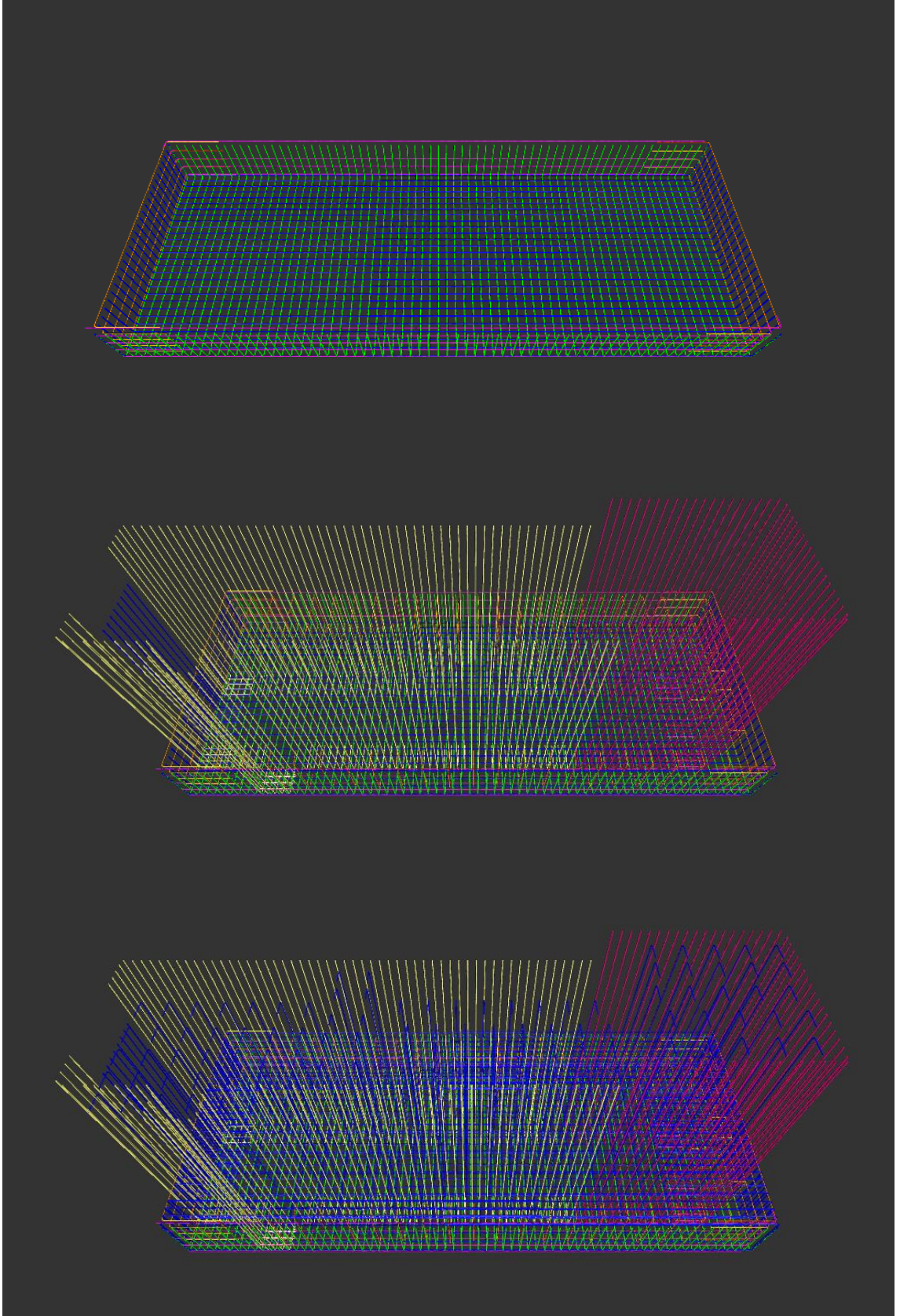
#### 4.2.2.2. Yapım sırasının oluşturulması

Autodesk Revit ile hazırlanan ekipman donatı modelinin yapım sırasını gösteren animasyonu oluşturmak için Autodesk Navisworks kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında karmaşık bir donatı örgüsüne ait yapıların yapım sırasını canlandırmak ve bunun üzerinden yapılabirlik incelemesi yapıp problemlerin yapım öncesinden tespiti için basit nesne animasyonu oluşturulması amaçlanmıştır. Animasyonun hazırlanmasında Navisworks'un içinde bulunan 'timeliner' ve 'animator' araçlarından nesnelere tarih ve süre gibi bilgiler tanımlanmayacağı için 'animator' aracı kullanılmıştır. Revit ile oluşturulan model ilk olarak Navisworks' e aktarılmış ve daha sonra 'animator' aracı içerisinde 'addscene' ile sahne oluşturulmuştur. Mantıksal yapım sırasına uyularak her bir donatı grubu seçilerek 'add animation sets' > 'from current

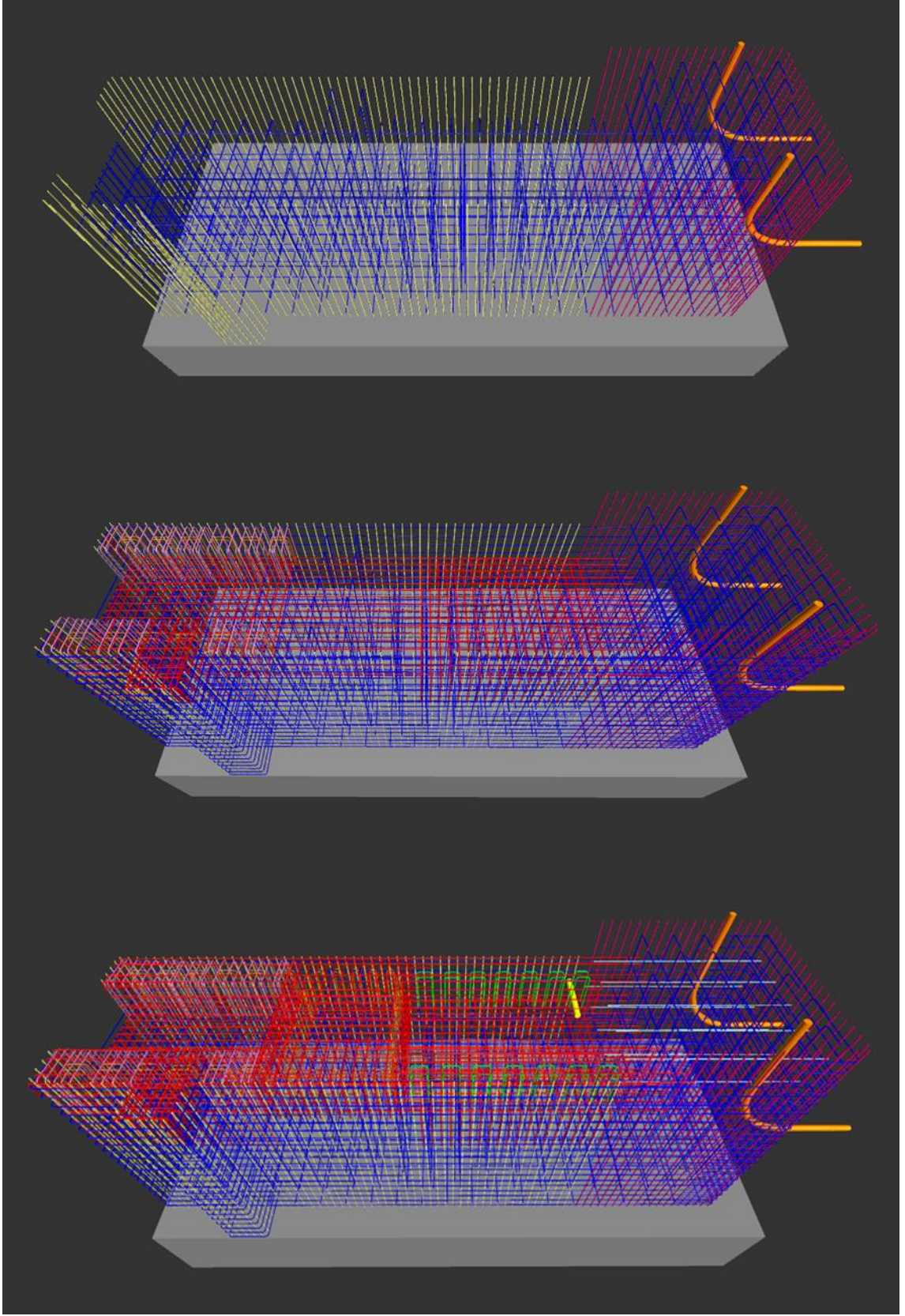


**Görsel 4.9.** Navisworks 'Animator' aracı

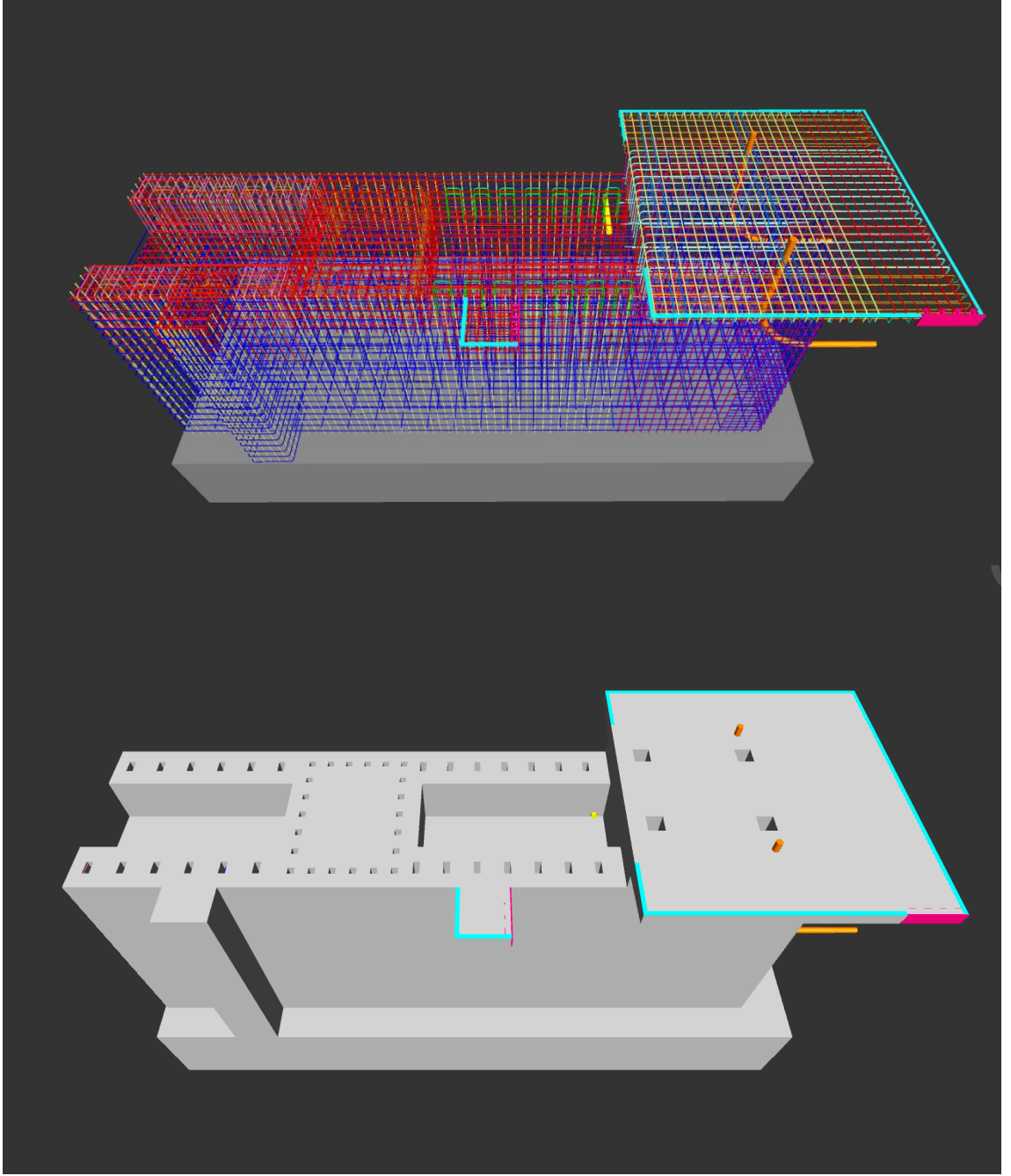
selection' komutları kullanılarak yapım aşamaları programa tanıtılmıştır. Görsel 4.9'da 'animator' aracının bulunduğu program ara yüzü gösterilmektedir. Örneğin modelde bulunan temel alt donatılarından ilk grup 'aşama 1' olarak daha yerine konulacak ikinci grup 'aşama 2' olarak daha sonra konulacak sehpa donatıları 'aşama 3' olarak tanıtılarak modelde bulunan tüm nesnelerin yapım sırası aşama aşama oluşturulmuştur. Daha sonra nesnelere seçilerek 'capturekeyframe' ve 'translateanimation set' sekmeleri kullanılarak nesnelerin ilk ve son konumları elle programa tanıtılarak yapım sırasını gösteren basit nesne animasyonu oluşturulmuştur. Animasyonun daha anlaşılabilir olması için donatı gruplarının farklı renklerle atanmıştır. Her bir aşamanın gösterimi 3sn. olarak belirlenmiştir. 'Play' komutu ile nesnelerin yapım sırasına göre animasyon içerisinde gösterimi kontrol edilmiştir. Son olarak diğer görsel ayarlar yapılmış ve 'animation' sekmesi altında 'exportanimation' aracı kullanılarak hazırlanan animasyon 'windowsavi' formatında kaydedilmiştir. Görsel 4.10'da temel betonu dökülmeden önceki aşamalar, Görsel 4.11'de temel betonu döküldükten sonra gövde donatılarını içeren aşamalar ve Görsel 4.12'de ise üst donatıların ve ekipman temelinin son halini gösteren aşamaların ekran alıntıları verilmiştir.



**Görsel 4.10.** *Basit nesne animasyonu temel betonu öncesi aşamalar*



**Görsel 4.11.** Basit nesne animasyonu gövde donatılarını gösteren aşamalar



**Görsel 4.12.** Basit nesne animasyonu üst donatı aşamaları ve gövde betonu



### 4.3. Geleneksel Yöntemler İle YBM'nin Karşılaştırılması

- **Projeyi Anlayamama ve Detayların Eksikliği:**

YBM ile oluşturulan 3B modellerin geleneksel 2B CAD çizimlerinden daha fazla anlaşılır olduğu için hem daha hızlı yapılabilirlik incelemesi gerçekleştirilebilir hem de sahada projeyi anlayamama ve detayların eksikliğinden kaynaklı yapılabilirlik problemlerinin önüne geçilebilir. Üzerinde çalışılan vaka çalışmasında oluşturulan ekipman temelinin donatı uygulama projesinde 5 adet kesit 3 adet plan verilmiştir. Ancak Revit ile oluşturulan modelden istenildiği yerden istenildiği kadar kesit ve plan alınabilmiştir. Böylece sahada sadece verilen kesitlere bağlı kalınmayarak daha doğru ve hızlı imalat yapılması sağlanabilir. Aynı mahalde verilen her detay Revit ile oluşturulan modele 'family' olarak yüklenebilmesinden dolayı istenildiği zaman her detay tek başına ayrıntılı olarak görüntülenebilir. Böylece 2B CAD çizimlerinde pafta üzerinden fazla detay verilmesinden dolayı anlaşılabilirlik ile ilgili problemlerin önüne geçilir. Farklı disiplinlere ait yapı elemanları aynı model içerisinde istenildiği zaman tek başına istenildiği zaman diğer disiplinler ile beraber görüntülenebilir. Böylece geleneksel yöntemlerde olduğu gibi farklı paftalar arasında kullanıcının sürekli geçiş yapmasına gerek kalmaz. Örneğin oluşturulan alt yapı projesinin yapı bilgi modeli 12 tane alt yapı ve 66 tane betonarme 2B CAD detay projeleri kullanılarak oluşturulmuştur. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de bu projelerin isimleri verilmiştir. Ancak tüm bu verilere Revit ile yapılan tek bir model üzerinden erişim sağlanabilmiştir. Tüm proje paydaşları aynı model içerisinde çalıştığı için tüm veriler tek bir modelde toplanır. Böylece projelerde referans paftaların verilmesine gerek kalmamaktadır. YBM ile oluşturulan modeller sadece 3B olması dışında bilgi içeren bir model olması da detaylara daha çabuk ulaşılmasını sağlamıştır. Yapı elemanlarına malzeme özelliklerinin tanımlanıp ağırlık, hacim gibi fiziksel özelliklerinin otomatik olarak hesaplanması ile hakkediş aşamasında bu tip verilerin olmamasından kaynaklı problemlerinde önüne geçilebilir. Ek olarak alt yapı modeline boruların iç/dış çap gibi özellikleri de modele girilmiştir. Böylece yapılan kontrollerin sahada uygulama ile birebir aynı şekilde olması sağlanmıştır. İstenildiğinde bu bilgilere ek olarak üretici bilgileri gibi verilerde girilerek saha/tedarikçi koordinasyonun artırılması da sağlanabilir. Geleneksel yöntemlerle hazırlanan 2B CAD çizimleri bu faydaları sağlamadığı görülmüştür. Projenin büyüklüğüne bağlı olarak onlarca proje çıktısı ve detaylar sahada uygulama anında taşınabilir mobil cihazlarla ile tek bir model üzerinden

kolaylıkla erişilebilir. Böylece diğer proje paydaşlarından detay paftalarının beklenilmesi ile zaman kayıplarının önüne geçilebilir.

**Tablo 4.1.** Altyapı modelinin oluşturulmasında kullanılan betonarme projeler listesi

No	Çizim Adı
01	C01 To C04 – Fly Ash Silos Foundation Formwork Plan And Sections
02	C05,C06 – Bottom Ash Silo Foundation Formwork Plan And Sections
03	C07,C08 – Bottom Ash Silo Foundation Formwork Plan And Sections
04	C17 Air Compressor House And E.S.P. Distribution Room Foundation Formwork Plan
05	C17 Air Compressor House And E.S.P. Distribution Room Ground Slab Formwork Plan
06	D1~D10 Transformers Building And Sd26-27,Sd28-29 Foundation Marking Plan
07	F07 Foundation & C01,C02,C03 Column Formwork Plan
08	F03,F08 Foundation & C01,C02,C03 Column Formwork Plan
09	F06 Foundation Formwork Plan
10	F09 Formwork Plan And Sections Formwork Plan And Sections
11	F01,02,04,05,10,11 Foundation Formwork Plan And Sections
12	D13 Coal Handling Complex House Inside Plant Foundation Formwork Plan
13	H04 – Condensate Polishing Plant Foundation Formwork Plan
14	H05 Dm Water Pumps Room And H06, H07, H08, H09 Demin Water Tanks Foundation Plan
15	H10 Hydrogen Generation Facility Foundation, Ground Slab Formwork Plan
16	H11 Hydrogen Storage Tank Room Foundation Plan
17	J01 Turbine Building Foundation Formwork Plan
18	J04 Central Control Building Foundation Formwork Plan
19	Unit 4 / J05 Boiler House Foundation Formwork Plan
20	Unit 5 / J06 Boiler House Foundation Formwork Plan
21	Unit 4 / J07 Esp & Bag Filter Foundation Formwork Plan
22	Unit 5 / J08 Esp & Bag Filter Foundation Formwork Plan
23	Unit- 4 J11 Induced Draft Fan Foundation Formwork Plan
24	Unit- 5 J12 Induced Draft Fan Foundation Formwork Plan
25	J19 Aux-Boiler House Foundation Formwork Plan
26	J20 Fuel Oil Tank Storage Area Foundation Formwork Plan
27	J21-Fuel Oil Pump House Foundation Formwork Plan
28	J22,23 Condensate Storage Tank Foundation Formwork Plan
29	M10 Transfer Tower Foundation Formwork Plan, Sections And Details
30	M11 Crusher House Foundation Formwork Plan, Sections And Details
31	M20 Structure Foundation Formwork Plan, Sections And Details
32	M28 Magnetic Sep. Room M29 Sampling Point Foundation Formwork Plan And Sections
33	M43 Bc 30.13-1/2 Gallery Foundation Formwork Plan And Sections
34	M44 Conveyor Gallery Foundation Formwork Plan And Sections
35	M47 Aux. Stockyard Area Stacker Reclaimer Foundation Formwork Plan
36	M47 Aux. Stockyard Perimeter Retaining Wall Foundation Formwork Plan And Section
37	Unit 4 P03 Ggh Foundation Formwork Plan And Sections
38	Unit 5 P04 Ggh Foundation Formwork Plan And Sections
39	Unit 4 P05 Recycle Pump House Foundation Formwork Plan
40	Unit 5 P06 Recycle Pump House Foundation Formwork Plan
41	Unit 4 P07 Booster Fan Foundation Formwork Plan
42	Unit 5 P08 Booster Fan Foundation Formwork Plan
43	P09 Electrical Control House Foundation Formwork Plan
44	P10 Emergency Storage Tank Foundation Formwork Plan
45	P11 Aeration Fan Building Foundation Formwork Plan
46	P12 Process Building Foundation Formwork Plan
47	P15 – Ammonia Storage Area Foundation Formwork Plan

**Tablo 4.1. (Devam)** Altyapı modelinin oluşturulmasında kullanılan betonarme projeler listesi

48	S01 Fire Fighting Pump House Foundation Formwork Plan
49	S02 Foam Fire Fighting Room Foundation Formwork Plan
50	S03-Emergency Oil PitForTransformer Foundation Formwork Plan
51	S04-Oily Waste Water Treatment Room Foundation Formwork Plan
52	S08-Waste Water Collection Tank Foundation Formwork Plan
53	S09-S10 Fire FightingWater Tank FoundationFormwork Plan
54	D3700mm İç Çaplı Soğutma Suyu Transfer Hatları Temel Kalıp Planı
55	Sd-25 Temel Kalıp Planı Ve Kesitleri
56	Sd-28-29 Temel Kalıp Planı Ve Kesitleri
57	Sd 26-27 Temel Kalıp Planı Ve Kesitleri
58	X26 PipeRack (Part-1) M43 Conveyor Foundation Formwork Plan
59	X26 Pipe Rack (Part-2) Foundation Formwork Plan
60	X26-Piperack Between M10- D13 Formwork Plan
61	X26 PipeRack -3 Foundation Formwork Plan, Sections&Details
62	X26 PipeRack -4 Foundation Formwork Plan, Sections&Details
63	J18- Chimney Foundation& ±0.000 Formwork Plans
64	Flue Duct Racks Nearby Boiler Foundation Formwork Plan And Sections
65	Retaining Wall (Front Part) Layout Plan And Reinforcement Details
66	Retaining Wall (SidePart) Layout Plan And Reinforcement Details

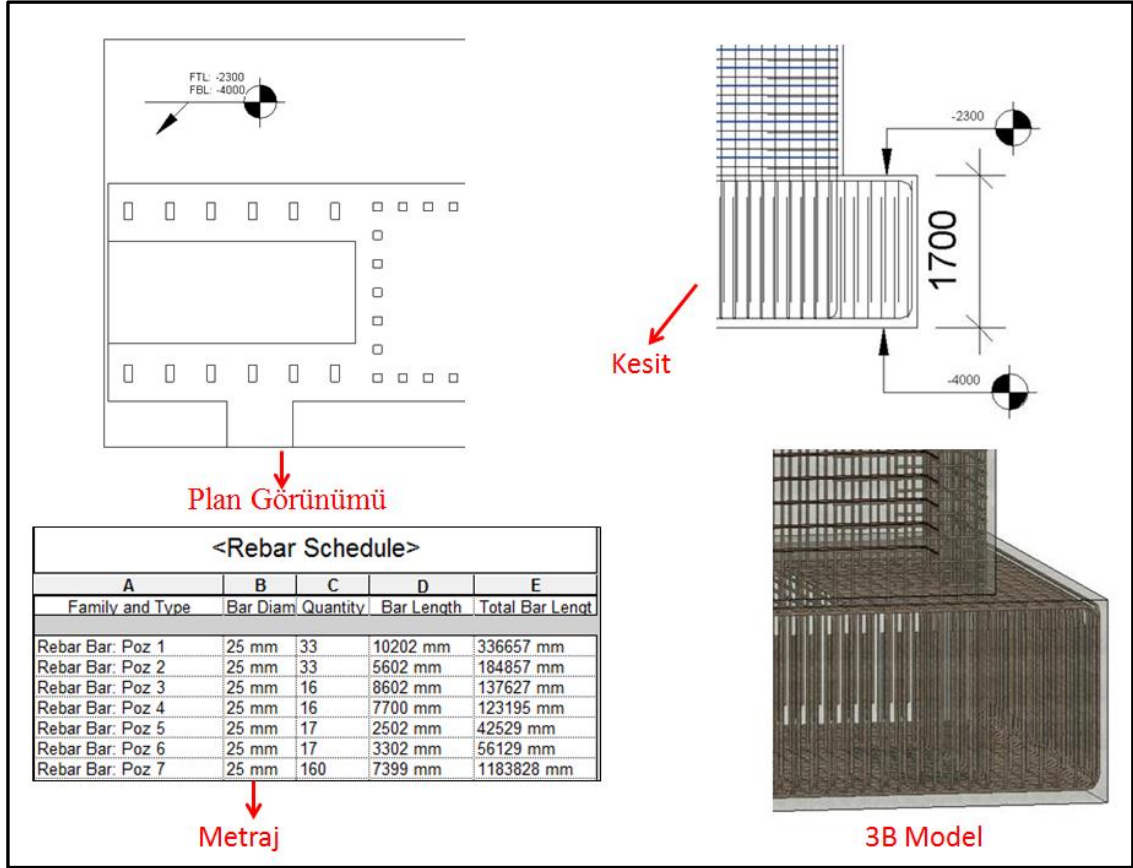
**Tablo 4.2.** Altyapı modelinin oluşturulmasında kullanılan altyapı projeleri listesi

01	New Menhole Formwork Plan And Sections
02	Infrastructure Application Project Infrastructure Application Project
03	Infrastructure Application Project StormWater Boxes Construction Plan
04	Infrastructure Application Project Infrastructure Details
05	WasteWater Network Construction Plan
06	Emergency Oil Discharge Pipe Plan
07	Fire FightingWaterPipe Plan
08	Chemical Channel Plan
09	Vent 3 MenholeFormwork Plan AndSections
10	Hydrojen Channel Plan
11	ChemicalLine 1&2

- **Paftalar Arası Tutarsızlıklar**

YBM sistemi ile hazırlanan paftalarda hepsi tek bir modelden üretildiği için birbirleri ile tutarlıdır. Parametrik modelleme ile yapılan tüm değişiklikler aynı anda tüm paftalara aktarılır. Örneğin Görsel 4.13 ve 4.14’de görüldüğü gibi hazırlanan ekipman temeli modelinde temel derinliğinin artırılması ile hem kesitlerde hem görünüşlerde aynı anda temel derinliği artmış ve ölçülendirme ve kotlar da otomatik olarak değişmiştir. Buna ek olarak temel donatılarının uzunlukları da otomatik olarak artmıştır. Yine parametrik modelleme sayesinde Revit ile oluşturulan metraj tabloları da yapılan bu değişikliğe takiben otomatik olarak revize olmuştur. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta donatıların mutlaka hazırlanan 3B modele tanıtılmış olmasıdır. Revit ile donatılar otomatik olarak yerleştirilebileceği gibi kullanıcı elle ‘move’, ‘copy’

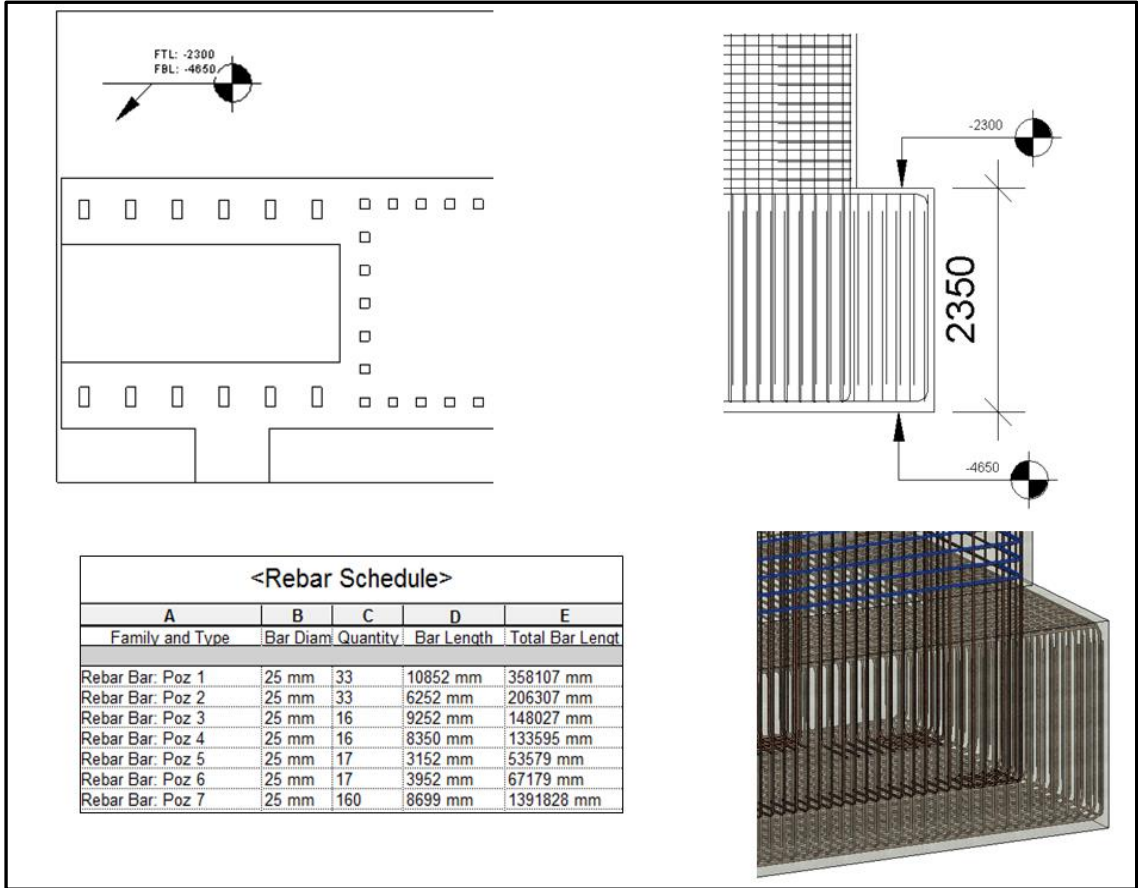
gibi komutlar ile de yerleştirebilmektedir. Araştırmacı bu şekilde yerleştirdiği donatıların 3B modelde herhangi bir değişiklik yaptığında donatıların aynı kaldığını görmüştür.



**Görsel 4.13.** Temel derinliği artırılmadan önceki değişkenlerin durumu

Ekipman temelinde yapılan bu değişiklikler sadece bu modelden üretilen inşaat disiplinine ait paftalarda değil, aynı modelden oluşturulacak diğer disiplinlere ait paftalarda da temel boyutları gibi inşaat disiplini ait detayların otomatik olarak değişeceği tespit edilmiştir. Geleneksel proje teslim sisteminde ise bir paftada yapılan tüm değişiklikleri kullanıcı elle tek tek değiştirmek zorundadır. Planda yapılan bir değişikliğin kesitler ve görünüşlerde ayrı ayrı değiştirilmesi gerektiği gibi donatıların boylarındaki değişimlerden dolayı metraj tabloları da kullanıcı tarafından yeniden oluşturulması gerekir. Ayrıca yapılan değişikliklerin diğer proje paydaşlarına aktarılması ve onların da tek tek bu detayları değiştirmesi gerekir. Bu hem zaman kaybına neden olur hem de kullanıcı kaynaklı hataların ortaya çıkma olasılığını

artırabilmektedir. Tasarımlarda ortaya çıkan bu hatalar da sahaya yapılabilirlik problemleri olarak yansır. YBM ile görüldüğü gibi bu tip hataların ortaya çıkma olasılığı oldukça düşüktür. Böylece paftaların tutarsızlığından kaynaklı yapılabilirlik problemlerinin önüne geçilmiş olur.



**Görsel 4.14.** Temel derinliği artırıldıktan sonra değişkenlerin durumu

- **Yapım Metodu ile İlgili Zorluklar:**

Geleneksel 2B CAD proje teslim sistemi ile yüklenici firmalar ve yapım ekibi genellikle projelerin tasarım sürecine dahil olmazlar ve projeler tamamlandıktan sonra yapım öncesi inceleme imkanını bulurlar. Araştırmacı tarafından önerilen YBM ile yapılan proje teslim sistemi ile yapımı gerçekleştirecek yüklenici firmalar eğer belli ise tasarım sürecine diğer proje paydaşları gibi bir veri bulutu üzerinden ulaşabilir. Bu da tasarım aşamasında yüklenicilerin sürece dahil olmasını sağlar ve göndereceği anlık yorumlar ile tasarımların yapılabilirliği geliştirilebilir. Böylece yapım aşamasında hem

tasarımların revizyonu sırasında kaybedilecek zamanın önüne geçilir, hem de tasarımcının yapmış olduğu bir işin tekrarlamasından kaynaklı iş yükünü azaltır. YBM ile yükleniciler 2B CAD paftaları üzerinden yapılan hazırlık çalışmalarından çok daha etkili bir şekilde bir ön hazırlık süreci geçirirler. Bu çalışma kapsamında yapım sırasının animasyon olarak oluşturulan ekipman temeli yapı bilgi modeli ile deneyimsiz yapım ekiplerinin bile çok karışık detayları sahada uygulama öncesi hazırlanan animasyonları izlemesi ile uygulamayı anlaması kolaylaştırılabilir. Böylece sahada projede verilen detayların hepsi birebir ve eksiksiz olarak uygulanır. Projenin yanlış anlaşılmasından kaynaklı iş tekrarlarının ve zaman kaybının önüne geçilir. Bu animasyon ve modeller ile yüklenici yapım sürecini sanal bir ortamda gerçeğine benzer bir şekilde tamamlar. Böylece sahada fark edeceği problemleri sanal modeller üzerinden belirleyerek yapım öncesi bu problemlere karşı önlemler alınabilir. Sanal model üzerinde çözülen problemler ile sahada işe başlamadan önce yüklenici yapacağı işi tanımış, anlamış, gerekli ekipman ve araçlarını belirlemiştir. Bu animasyonlar ve modeller özellikle bu vaka çalışmasında türbin kaideleri gibi çok fazla detay içeren ve özel yapım yöntemleri gerektiren yapılar için oldukça yararlı olacağı düşünülmektedir.

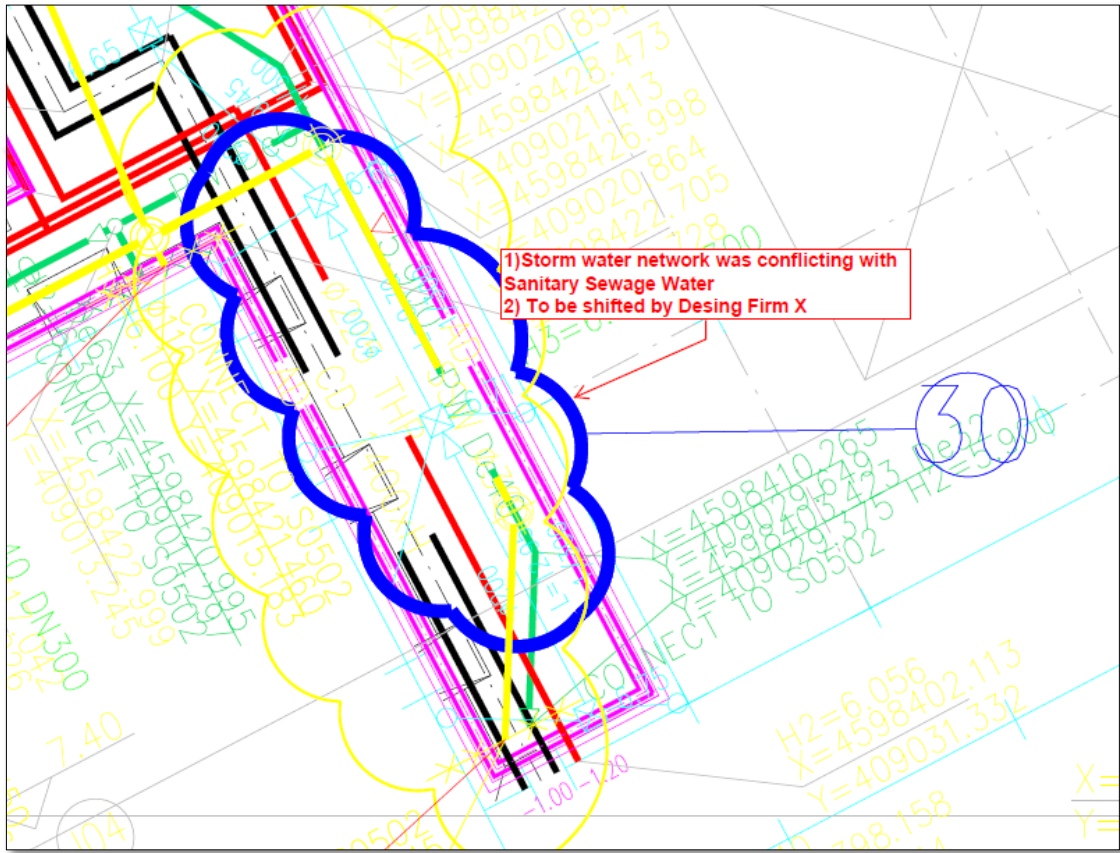
Oluşturulan basit nesne animasyonların diğer bir kullanım alanı da yapılabirlik incelemesidir. Yüklenici veya işveren oluşturulan animasyonlar ile özellikle endüstriyel tesislerdeki kritik ve özel yapım yöntemleri ile yapımı gerçekleşen yapıların, yapım öncesinde geleneksel yöntemlere göre oldukça hızlı bir yapılabirlik incelemesi yapabilir. Geleneksel yöntemlerde proje yöneticileri ve sorumlular 2B paftalardaki detayları zihinlerinde 3B canlandırmaları ile bir yapılabirlik incelemesi yaparken basit nesne animasyonları detaylı bir şekilde 3B olarak bu canlandırmayı hazır olarak sunar. Böylece yapılabirlik incelemesinde belli bir deneyimi elde etmiş sorumlular dışında daha deneyimsiz personeline bu surece katılması sağlanabilir. Navisworks ile hazırlanan animasyonları oluşturulan nesnelere ek olarak bilgi içermesi yapılabirlik incelemesinde daha çok detayın irdelenmesini sağlar. Sonuç olarak önerilen yapılabirlik incelemesi yöntemi ile geleneksel yöntemlere göre daha hızlı, daha detaylı, daha çok proje paydaşının katıldığı bir yapılabirlik incelemesi yapılarak yapım öncesi problemlerin tespiti ve çözümü ile yapım sürecinde kaynakların en verimli şekilde kullanılması sağlanabilir.

- **Yapı Elemanlarının Birbiriyle Çakışması:**

Vaka incelemesi yapılan bu projede altyapı imalatlarına geçilmeden önce tasarımların birbirleri arasında etkileşimleri görmek ve çakışmaları tespit etmek için geleneksel 2B görüntüleme yöntemleri kullanılmıştır. Tüm altyapıyı toplu olarak görmek için her bir hata ait olan paftalar Autocad aracılığı ile koordinatlı olarak üst üste katmanlar halinde birleştirilmiştir. Oluşturulan proje çok fazla kot, koordinat gibi bilgileri içermesinden dolayı oldukça karışık ve anlaşılması zor bir dile sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca bu proje sadece altyapıyı oluşturan hatların projelerinden oluşmuştur ve tesiste bulunan betonarme yapıların bilgilerini içermediği görülmüştür. İzlenen bu yöntemde ilk olarak tespit edilen sorunun projenin sadeleştirilmesi ve betonarme temellerinde çakışma tespitine katılması gerektiği olmuştur. Buna ek olarak projelerde boruların uç noktalarında kotlar ve eğim verilmiş olsa bile üst üste gelen hatlarda kontrol için noktasal olarak kot hesabı yapılması gerekmektedir. Bu noktasal hesabı oldukça yoğun bir ağa sahip olan projede yapmak oldukça zor ve zaman alıcıdır. Diğer bir konuda boruların sadece nominal çaplarının projede verilmesinden dolayı çakışma tespitlerinde buna bağlı kalarak yapılan hesaplamalardır. Nominal çap genellikle yaklaşık olarak iç çapa denk gelmektedir. Ancak çakışma tespitlerinde önemli olan dış çaptır. Farklı standartlardan, basınç değerlerinden ve üreticilerden dolayı dış çapların farklılık göstereceğinden dolayı çakışma analizi yapılırken bu etkenlerde göz önünde bulundurulmalıdır. Sadece nominal değerlere bağlı kalarak yapılan çakışma tespitleri özellikle büyük çaplı borularda proje üstünde yapılan incelemelerde ve sahada farklı sonuçlar vermiştir.

Tasarımcı firmalar çakışmaların tespiti ve düzeltilmesi için tüm hatların birleştirilmesi ile oluşturulan 2B proje üzerinden çakışma görülen yerler bulut içine alınıp numaralandırılmış ve tablolar oluşturulmuştur. Görsel 4.15’de tablolardaki yorumların çizim üzerine yazılmış hali gösterilmiştir. Hazırlanan bu çizim ve tablolar üzerinden işveren kontrollüğünde firmalar arası koordinasyon sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu süreç dahilinde hem yerli-yabancı tasarım firmasının temsilcileri arasında hem de sahada konu hakkında bir çok toplantı yapılmıştır. Tasarımlar arasında çakışmaların giderilmesi firmaların ortak çaba göstermeleri ile sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca yapılan ilk revizyondan sonra yine çakışmalar tespit edilmiş ve bu proje revizyonu için yine ek süre gerekmiştir. Değişiklerin yapılması sonrası tekrardan talep edilen

değişiklikler, tüm sistemin tekrardan gözden geçmesine ve kontrol sürecinin uzamasına neden olmuştur. Sonuç olarak yapılan tüm kontrollere ve birçok revizyona rağmen sahada yapım sürecinde çakışmalar tespit edilmiş, problemlerin çözümü tasarım firmaların ve işverenin kontrolünde sahada yerinde çözüm üretimi ile olmuştur. Bu da tasarım sürecinde kaybedilen zamana ilaveten sahada da çözüm için ayrı bir zaman kaybı ile sonuçlanmıştır.



Görsel 4.15. Kontrol paftası ve yorumlar

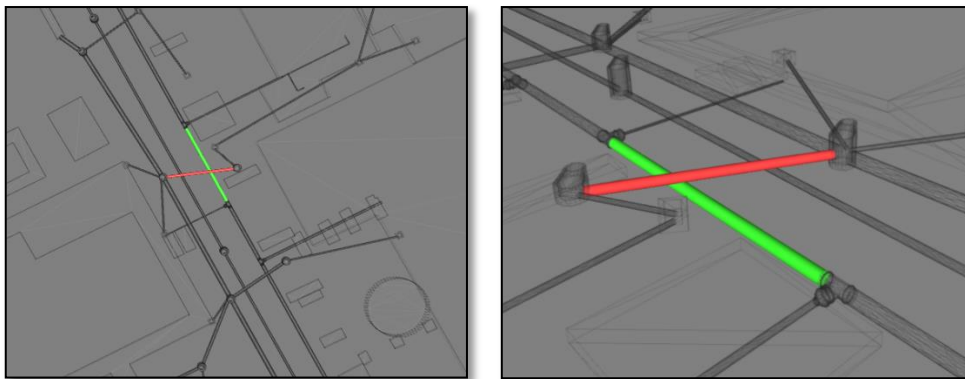
Önerilen YBM'nin araç olarak kullanıldığı yapılabirlik incelemesinde altyapıyı oluşturan hatlar arasındaki çakışmaların tespiti oluşturulan model üzerinden otomatik olarak yapılmıştır. Her bir hat diğer hatlar ve betonarme elemanlar ile tek tek çakışma tespitleri yapılmış ve toplamda 36 adet test dakikalar içerisinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tespitler Navisworks 'Clashdetective' aracının çok sütunlu bir tablo olan sonuçlar sekmesinde gösterilmiştir (Görsel 4.16). Bu tabloda sütunun verileri kullanılarak alfabetik, sayısal, tarihle alakalı veya durum sütununda yeni, etkin, incelendi, onaylandı,



çözümlendi gibi iş akışı sırasına göre sıralama yapılabilmektedir. Ayrıca ‘AssignedTo’ sütunun altında çözümün kimin kapsamında olacağı otomatik olarak atanabileceği ve yorumların yazılabileceği görülmüştür. Kullanıcılar birbirleri ile çakışan elemanları Navisworks ile 3B model üzerinde otomatik olarak belirgin renklerle kolayca görüntüleyebilir ve bu elemanların nerede olduğunu bulmak için zaman kaybı yaşamaz(Görsel 4.17). Tüm detaylar görsel olarak sunulduğu için oldukça açık ve anlaşılırdır.

Name	Status	Found	Description	Assigned To	Distance
Clash1	1 Active	19:54:38 14-05-2017	Hard	Tasarım Şirketi 1	-0,080 m
Clash2	1 Resolved	19:54:38 14-05-2017	Hard	Tasarım Şirketi 2	-0,071 m
Clash3	1 Approved	19:54:38 14-05-2017	Hard	Tasarım Şirketi 2	-0,067 m
Clash4	1 Active	19:54:38 14-05-2017	Hard	Tasarım Şirketi 3	-0,059 m
Clash5	1 Reviewed	19:54:38 14-05-2017	Hard	Tasarım Şirketi 1	-0,059 m
Clash6	1 Resolved	19:54:38 14-05-2017	Hard	Tasarım Şirketi 1	-0,052 m
Clash7	1 New	19:54:38 14-05-2017	Hard	Tasarım Şirketi 2	-0,052 m
Clash8	1 New	19:54:38 14-05-2017	Hard	Tasarım Şirketi 2	-0,050 m

**Görsel 4.16.** Navisworks ile tespit edilen çakışmalar



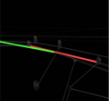
**Görsel 4.17.** Çakışmaların program ile otomatik görüntülenmesi

Programın ara yüzündeki verilerin ‘Report’ sekmesini kullanarak otomatik raporların alınması ek olarak raporların hazırlanmasındaki zaman kaybını önler. Çok büyük projelerde çakışmaların sayısının oldukça fazla olabileceğinden dolayı bu

raporların hazırlanması sıkışık proje takvimi içerisinde ek problemlere neden olabilir. Otomatik alınan raporlar tespit edilen çakışmaların tüm detaylarını Görsel 4.18'deki gibi göstermiştir. Tüm bu özellikler kullanılarak hem hızlı ve anlaşılır bir değerlendirme yapılmış hem de problemlerin giderilmesi için koordinasyonun sağlanması yine program üzerinden sağlanabileceği görülmüştür.

Clashes	
Report Batch	
<b>Test 1 Clash</b>	
Tolerance	0,010m
Total	42
New	42
Active	0
Reviewed	0
Approved	0
Resolved	0
Type	Hard
Status	OK

	Name	Clash1
	Distance	-0,093m
	Description	Hard
	Status	New
	Clash Point	-210,734m, 195,872m, 5,489m
	Date Created	2018/5/20 10:30:22

<b>Item 1</b>	
Element ID	676808
Layer	Level 0
Item Name	Pipe Types
Item Type	Pipes: Pipe Types: Yağmur Suyu Major

<b>Item 2</b>	
Element ID	758911
Layer	Level 0
Item Name	Pipe Types
Item Type	Pipes: Pipe Types: Yangın Suyu

**Görsel 4.18.** Navisworks'dan otomatik olarak alınmış rapor

Programın otomatik olarak yapılan tespitlerin doğruluğunun kontrolü hem araştırmacının 2B çizimler üzerinden kontrolü ile hem de imalat sırasında sahadan gelen geri dönüşleri içeren dokümanların kontrolü ile sağlanmıştır. Sonuç olarak Navisworks ile elde edilen sonuçların imalat sırasında tespit edilen çakışmalar ile tutarlı olduğu görülmüştür.

Önerilen YBM'nin araç olarak kullanıldığı inceleme yönteminde sorunların düzeltilmesi için her tasarım firması ayrı ayrı projelerde çalışmak yerine tek bir model üzerinden çalışır. Değişiklikler bu model üzerinden yapılırken yapılan değişikliklerin diğer hatlar ile etkileşimi anlık yapılan testler ile analiz edilir. Böylece problemler tek seferde çözülür ve iş tekrarlarından yaşanacak zaman kaybının önüne geçilir. Tüm proje paydaşları BIM 360 benzeri bulut bilişim servisleri ile üzerinde çalışılan modele

diledikleri zaman ve yerden ulaşabilirler. Bu da proje esnasında ortaya çıkan tasarım firmaların farklı coğrafyada olmasından kaynaklı sorunların önüne geçebilir. Çözüm süreci böylece tüm proje paydaşları arasında anlık olarak takip edilip iş programları ayarlanabilir.

- **Tasarım/İnşaat Programı Kaynaklı Problemler:**

YBM ile yapım ekibi veri akışını etkin bir şekilde takip edebilir. Böylece saha da yapılan iş programları tasarım programlarına göre yapılır. Aynı şekilde yüklenicinin modele veri girişi yapması ile tasarımcının da hangi yapılara öncelik vermesi gerektiği anlatılabilir.Örneğin sahada depolama alanları inşaatı başlayacak bölgelerde seçilmemesi gerekmektedir. Çünkü bu hem başlayacak yapının gecikmesine hem de bu alanda bulunan malzemeleri başka bir alana taşımak için ek maliyetlere neden olur. Yapım ekibi tasarım sürecini YBM üzerinden takip etmesi ile hangi alanı ne kadar sürede kullanabileceğini belirleyebilir. Ya da tasarımcı sahada zemin güçlendirmesi bitmiş alanları yüklenicinin veri girişi yapması ile görerek tasarımlarını bu alanlarda hızlandırabilir. Bu şekilde YBM etkin bir koordinasyon aracı olarak kullanılır.Ek olarak YBM ile farklı disiplinlere ait aynı zamana denk gelen işlerde tespit edilebilir. Navisworks ile oluşturulan 4B modeller üzerinden yapılan çakışma analizleri yapısal elemanlardaki fiziksel çakışmaları tespit etmek dışında aynı bölgede yapılan aynı zamanlı işleri de tespit edebilmektedir. Bu şekilde yapılan tespitler ve koordinasyon ile yapılabilirlik geliştirilebilir.

Yapılan literatür taramasında Leicht and Messner, (2007) geleneksel tasarım ile YBM yöntemleriniierken tasarım evresi için karşılaştırdığı çalışmada ikisi arasındaki belirlenen farkları; geometrik bilginin görselleştirilmesi, daha fazla analiz için veri kullanılabilirliği ve bilginin varlığı olarak üç kategoriye ayırmış ve YBM'nin avantajlarını göstermiştir. Özorhon, (2018, s. 53) YBM'nin kullanımı; işçilere iş sırasının anlaşılması, iş tekrarının azalması gibi faydalar sağlarken yüklenicilere sanal olarak inşa etme, veriyi tahmin ve sıralama için kullanma; mühendislere ise veri ile simülasyon ve inceleme süresinin azalması gibi faydalar sağladığını belirtmiştir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de yapımı tamamlanan bir enerji santrali projesinde meydana gelen tasarımların yapılabirlik yetersizliklerinden kaynaklanan problemler, yüklenici firmalar tarafından gönderilen yazılı dokümanlar ile tespit edilmiştir. Bu problemleri çözmek veya yapım aşamasından önce önlemek için yapı bilgi modellemesinden faydalanılmış ve geliştirilen alternatif yöntemler inşaatın yapım süreci devam ederken kullanılan çözüm yöntemleri ile kıyaslanmıştır.

Tespit edilen problemler (1) Projeyi anlayamama ve detayların eksikliği, (2) Disiplinler arası ve disiplin içi paftalar arası tutarsızlıklar, (3) Yapım metodu ile ilgili zorluklar, (4) Yapı elemanlarının birbirleri ile çakışması ve (5)Tasarım/İnşaat programı kaynaklı problemler olarak 5 gruba ayrılmıştır. Tespit edilen problemlere yapı bilgi modellemesi kullanılarak alternatif çözümlerin üretilmesi için hazırlanan tesis alt yapı hatları ve tesiste kullanılan ağır sanayi ekipmanı temelinin 3B modelleri ve buna ek olarak ekipman temelinin yapım sırasını gösteren basit nesne animasyonu kullanılmıştır. Alternatif çözümlerin yapım sürecinde uygulanan ile karşılaştırılması ve bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- YBM kullanılarak oluşturulan tek bir model üstünden yapılabirlik incelemesi detaylı bir şekilde yapılmıştır. Modelin içerdiği farklı disiplinlere ait bilgilerin hepsine bütün olarak erişilebilmiş ve birbirleri ile etkileşimleri otomatik olarak görüntülenmiştir.
- Oluşturulan modelden istenildiği kadar kesit ve görünüş elde edilmiştir. Bu kesit ve görünüşlerin birbiriyle tutarlı olduğu ve model üzerinde yapılan herhangi bir değişikliğin otomatik olarak bu kesit ve görünüşlere yansıdığı ve kullanıcının elle bir müdahalesinin gerek olmadığı görülmüştür.
- Modellerden otomatik olarak metraj tabloları elde edilmiş ve model üstünde yapılan herhangi bir değişikliğin otomatik olarak bu tablolara yansıdığı görülmüştür.
- Ağır sanayi ekipmanlarının betonarme temellerindeki karışık donatı örgüsünün anlaşılabilirliğini sağlamak için basit nesne animasyonundan faydalanılmıştır. Basit nesne animasyonu ile yapım sırası otomatik olarak görüntülenmiş ve yapılabirlik değerlendirmesi yapılabirlik görülmüştür.

- Tesis altyapısını oluşturan hatlar arasındaki çakışmalar üç boyutlu ve otomatik olarak tespit edilmiştir. Raporlama da aynı şekilde otomatik olarak kullanılan programlar tarafından sağlanmıştır. Projenin tasarım ve yapım sürecinde haftalarca zaman alan çakışma tespiti Navisworks ile saniyeler içinde gerçekleşmiştir. Navisworks ile tespit edilen nesne çakışmaları sahadaki gerçek durum ile karşılaştırılmış ve programın verdiği sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.

- Tasarım /inşaat programı kaynaklı problemlere bu çalışma kapsamında hazırlanan modellerden YBM tabanlı çözüm yöntemleri somut olarak üretilmesi gösterilmemiştir. Ancak Navisworks araçlarının kullanımı sırasında modellere veri girişi yapılması yeterlikleri, iş kalemlerine tarih bilgisi girilmesi sonucu zamansal çakışma analizlerinin program tarafından yapılabilecek bir ara yüze sahip olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada bulunan sonuçlar literatürde geçen yapı bilgi modellemesinin sağladığı avantajları teyit etmiştir. Yapılabilirliğin geliştirilmesinde YBM'nin kullanımı ve sağladığı avantajlarına literatürde geçen çalışmalar ile paralellik göstermiştir. Ancak literatürde bu konuda endüstriyel tesislere yönelik bir çalışma bulunamamıştır. Basit nesne animasyonlarının belli bir detay seviyesinin altındaki yapılarda kullanılması, modellerin oluşturulmasına ayrılan ilave zaman ve maddi kaynakların kullanılması gibi nedenlerden dolayı verimli olamayabilir. Bununla beraber proje paydaşlarının sahip olduğu tecrübeden dolayı bu tip yapılarda bu şekilde bir yöntemin kullanılmasına ihtiyaç doğmayabilir. Ancak endüstriyel tesislerde türbin, değirmen temeli gibi özel yapıların yapımında, özellikle yapımını daha önce deneyimlememiş personel için basit nesne animasyonlarının ve 3B modellerin verimliliği artırıcı bir yöntem olarak düşünülmektedir. Yapı bilgi modellemesi tabanlı 3B modeller ve basit nesne animasyonlarını sadece görsel bir araç olmaktan çıkartarak, modellerin içinde barındırdığı bilgi sayesinde geleneksel CAD tabanlı modellere göre tüm proje paydaşlarına, projenin her aşamasında katkı sağlayan bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

Gelecekte YBM ile oluşturulan basit nesne animasyonlarının ve 3B modellerin projelerde kullanılabilirliği, verimlilikle ilişkileri, inşaat sektöründe çalışan mühendis, işçi, yönetici gibi sınıflardaki performans ilişkisi ve sağlanan faydaların çalışanların tecrübeleri ile ilişkilerini içeren detaylı çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKÇA

- AACE International. (2009). *Recommended Practice No 30R-03- Implementing project constructability*. AACE International.
- AASHTO Subcommittee on Construction. (2000). Constructibility review best practices guide.
- Acar, M.Ş., 2006, *Türkiye’de Beton Prefabrikasyonun Tarihçesi*. İstanbul: Türkiye Prefabrik Birliği.
- Adams, S. (1989). Practical buildability. London, UK: Construction Industry Research and Information Association.
- AGC-Associated General Contractors of America. (2005). *The Contractor’s Guide to BIM*, 1st ed. AGC Research Foundation, Las Vegas, NV.
- ASHRAE. Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications (I-P Edition). (2015). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- AIA-The American Institute of Architects. (2013). *Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents*.
- Akpan, E.O.P., Amade B., Okangba, S.E. and Ekweozor C.O. (2016). Constructability practice and delivery processes in the nigerian construction industry. *Journal of Building Performance*, 5 (1), 10-21.
- Alvarado, A.M.O. and Lacouture, D.C. (2010). Interaction of processes and phases in project scheduling using BIM for A/E/C/FM integration. *Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice*, Banff, Alberta, Canada, May 8-10, 2010. American Society of Civil Engineers, s.939-948.
- Amade, B. (2016). Constructability tools and techniques in use in the nigerian construction industry. *PM World Journal*, 5(3). [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net) .(Erişim tarihi: 12.03.2017)
- American Society Of Civil Engineers (ASCE). (1991) Constructability and constructability programs: white paper. *ASCE Journal of Construction Engineering & Management*, 117 (1), 67-89.

- American Society Of Civil Engineers (ASCE). (2007). Constructability Concepts and Practice. J.A. Gambatese, J.B. Pocock, P.S. Dunston (Editörler), Introduction (s.1). ASCE, Virginia..
- Arayici, Y. (2015). Building Information Modelling (1st edition). Bookboon.com, ISBN: 978-87-403-1098-6.
- Arditi, D., Elhassan, A. and Toklu, Y.C. (2002). Constructability analysis in the design firm. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128 (2), 117-126.
- Autodesk, (2010). Coordinated, Complete Control, Autodesk Navisworks Brochure. (BR0C1-000000-MZ04).
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, Vol. 11, Issue 3 (July 2011), 241-252.
- Azhar, S., Hein, M., and Sketo, B. (2008). Building information modeling: Benefits, risks and challenges. *Proc., 44th Associated Schools of Construction National Conference*, Auburn, AL.
- Azhar, S., Khalfan M. and Maqsood T. (2012). Building information modeling (BIM): now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12 (4), 15-28.
- Azhar S., Nadeem A., Mok J. Y.N. and Leung B.H.Y. (2008) Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects. *First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC-I) "Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice"* August 4-5, 2008, Karachi, Pakistan, 435-446.
- Banwell, H. (1964). The placing and management of contracts for building and civil engineering work. London: HMSO.
- Barlish, K. and Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM – A case study approach. *Automation in Construction* 24, s149–159.
- BIM Forum. (2016). *Level of Development Specification*. Version:2016 s. 11.

- BIM Task Group. (2012). *BIM Industrial Strategy: Government and Industry Partnership*.
- Brewer, G., Gajendran, T. and Goff, R. (2012). *Building information modelling (BIM): an introduction, introduction and international Perspectives*. The University of Newcastle.
- CII. (1986). *Constructability: A primer*. University of Texas, Austin, Tex.: Construction Industry Institute.
- CII-Construction Industry Institute. (2012). *CII Best Practices Guide: Improving Project Performance* (Implementation Resource 166-3, Version 4.0). United States of America: The University of Texas at Austin.
- CIIA- Construction Industry Institute Australia. (1993). *Constructability principles file*. Adelaide, Australia: Univ. of South Australia.
- CIIA. (1996). *Constructability manual*. Adelaide, Australia: Construction Industry Institute Australia.
- CIRIA-Construction Industry Research and Information Association, (1983). *Buildability: An assessment*. London: CIRIA.
- CPA-Construction Plant-hire Association, (2014). *Ground Conditions for Construction Plant*. London: Construction Plant-hire Association.
- Delice, Ş. (2011). *Yapılabilirlik ölçütünün bina üretim sürecinde kullanılması için bir kontrol listesi önerisi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul:İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Doğançay, H. (2010). *Yapı sektöründe öğrenilmiş dersler: bir veritabanı uygulaması katılımcı veri biriktirme/ kritik kitleye ulaşma/ şeffaf paylaşım. 11. Uluslararası Proje Yönetimi Kongresi: Öğrenilmiş Dersler*, İstanbul,02-03 Nisan,2010.
- Dong, C.J. (1996). *Effects of Design on Buildability*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Singapore :Nanyang Technological University.
- Douglas, E.E.(2008). *Schedule constructability review*.H.L. Stephenson (Ed.) *AACE International Transactions 2008 Cost Engineers' Notebook, 2nd Edition*.AACE International.



- Dunston, P.S. and Williamson, C.E. (1999). Incorporating maintainability in constructability review process. *Journal Of Management In Engineering*, 15 (5), 56-60.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. And Liston, K. (2008). BIM Handbook A Guide To Building Information Modeling. Second Edition. New Jersey. John Wiley & Sons, Inc.
- Emmerson, H. (1962). Survey of problems before the construction industry ministry of works, London.
- Ferguson, I. (1989). *Buildability in Practice*. London: Mitchell's Professional Library.
- Fisher, D.J., Anderson, S.D. and Rahman, S.P. (2000). Integrating construction tools into constructability review process. *Journal Of Construction Engineering And Management*, 126, 89-96.
- Francis, T. and Harrison, D. (2011) 4D Technology with navisworks timeliner and 3D printing / rapid model prototyping. *Seventh International Revit Technology Conference*, Australia.
- Gao, J. and Fischer, M. (2008). *Framework and case studies comparing implementations and impacts of 3D/4D modeling across projects*. CIFE Technical Report #TR172 March 2008. Stanford Universty.
- Ghaffarian Hoseini, A., Zhang, T., Nwadigo, O., GhaffarianHoseini A., Naismith, N., Tookey, J. and Raahemifar, K. (2017). Application of nD BIM integrated knowledge-based building management system (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* ,72, 935–949.
- Gökyiğit, E. (2014). *Türk inşaat sektöründe 4 boyutlu (4d) modellemenin uygulanabilirliği*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hartmann, T. and Fischer, M. (2007). Supporting the constructability review with 3D/4D models, *Building Research & Information*, 35 (1), 70-80.

- Hartmann, T., Gao J. and Fischer M. (2008) Areas of application for 3D and 4D modelson construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*.134,s.776-785.
- Hergunsel, M.F. (2011). *Benefits of building information modeling for construction managers and BİM based scheduling*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Unites States: Worcester Polytechnic Institute.
- Herritt, M. B., (2012). *Advanced modeling techniques for enhanced constructability review: a survey of state practice and related research*. CTC & Associates LLC.
- Hijazi, W., Alkass, S. and Zayed, T. (2009). Constructability assessment using BIM/4D CAD simulation model. *2009 AACE International Transactions*. s BIM.04.1-14.
- Hiley, A and Yagci, O. (2001). The implementation of constructability: a prerequisite in raising the quality of project outcome. *17th Annual Association of Researchers in Construction Management Conference, Greater Manchester, UK, 5-7 September 2001*, University of Salford, Vol. 1, 260-70.
- Illingworth, J.R. (1984). Buildability - tomorrows need?.*Building Technology and Management*, 22(2).
- Illingworth, J.R. (2000). *Construction methods and planning*.(Second edition). London: Spon Press, s.99.
- İlhan, B. ve Yaman, H. (2015). BIM ve sürdürülebilir yapım bütünleşme: IFC–tabanlı bir model öneri. *Megaron*,10 (3) ,440-448.
- IPENZ -The Institution of Professional Engineers New Zealand. (2008). Practice Note 13: Constructability.
- Kamari, A.A. and Pimplikar S.S, (2012). Architectural designs and constructability issues. *AKGEC International Journal Of Technology*, 3 (1), 8-17.
- Khoshnava, S.M., Ahankoob, A., Preece C., and Rostami,R. (2012). Potential application of BIM in construction dispute and conflict. *Management in Construction Research Association (MiCRA)Postgraduate Conference*, 178–184.ISBN 978-983-44732-0-4.

- Koo, B. and Fischer, M. (2000). Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 126 (4), 251-260.
- Kuehmeier, J.C., (2008). Building information modeling and its impact on design and construction firms. Yayımlanmamış Yüksek lisan Tezi. United States: University of Florida.
- Kurt, M.İ. (2012). *İnşaat sektöründe proje aşamasında koruyucu ve önleyici iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının değerlendirilmesi*. Ankara: T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.
- Lam, P.T.I., Wong, F.W.H. and Chan, A.P.C. (2006). Contributions of designers to improving buildability and constructability. *Design Studies* 27 (4), 457-479.
- Leicht, R.M. and Messner, J.I. (2007) Comparing Traditional Schematic Design Documentation to a Schematic Building Information Model. *The 24 th International Conference on Information Technology in Construction*, Maribor, Slovenia, s 39.
- Liu. Z. (2010). *Feasibility analysis of BIM based information system for facility management at WPI*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, United States: Worcester Polytechnic Institute.
- Maunula, A., Riitta, S. and Hirvensalo, A. (2008). Implementation of Building Information Modeling (BIM) - A process perspective. *Innovations in Networks - Proceedings of the APMS 2008 Conference, An Event of the IFIP Working Group 5.7*, Finland, s379-386.
- McGraw Hill Construction. (2007) *Smart Market Report: Interoperability in the Construction Industry*. New York.: McGraw-Hill Construction.
- Nakiboğlu, M. (2003). Kuramdan uygulamaya beyin fırtınası yöntemi. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 3 (1).
- Nima, M.A., Abdulkadir, M.R. and Jaafar, M.S. (2001). Evaluation of the role of the contractor's personnel in enhancing the project constructability. *Structural Survey*, 19 (4), 193-200.

- O'Brien, W.J., Gau, P., Schmeits C., Goyat, J. and Khwaja, N. (2012). Benefits of three and four dimensional computer-aided design model applications for review of constructability. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2268, s 18-25 Washington: Transportation Research Board of the National Academies.
- O'Connor, J.T. and Miller, S.J. (1994). Barriers to constructability implementation. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 8 (2), 110-128.
- O'Connor, J.T., Rusch, S.E. and Schulz M.J. (1987). Constructability concepts for engineering and procurement. *Journal of Construction Engineering and Management*, 113 (2), 235-248.
- Ofluoğlu, S. (2016). *Bim ve sürdürebilirlik*. 18. Akademik Bilisim Konferansi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi.
- Özcan H. (2010). *Yapı bilgi sistemleri ve mimarlıktaki yeri*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öz Döşer, A.M. (2016). Integration of BIM to facility management. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ozorhon, B. ve Karahan, U. (2016). Critical Success Factors of Building Information Modelling (BIM) Implementation. *ASCE Journal of Management in Engineering*.
- Ozorhon, B. (2018). *Yapı Bilgi Modellemesi*. İstanbul: Abaküs Yayınları.
- Pettee, S.R. (2012). Constructability reviews- an introduction. <http://cmaanet.org/articles-white-papers> (Erişim tarihi:18.10.2017)
- PMI-Project Management Institute. (2004). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK) (3<sup>rd</sup> ed.)*. Newtown Square: Project Management Institute.
- Pocock, J.B., Kuennen, S.T., Gambatese, J. and Rauschkolb. J. (2006). Constructability state of practice report. *Journal Of Construction Engineering And Management*, 132 (4), 373-383.
- Qian, A. (2012). Benefits and ROI of BIM for Multi-Disciplinary Project Management. National University of Singapore.

- Qing, Y.Y. (2004). *Modeling a decision support system for buildable designs*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Singapore: Department Of Building School Of Design And Environment National University Of Singapore.
- Raviv, G., Shapira, A. and Sacks, R. (2012). Relationship between methods for constructability analysis during design and constructability failures in projects. *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World*, Indiana, United States, May21-23, 2012, ASCE, pp. 515-524. ISBN: 9780784412329. H. Cai, A. Kandil and P.S. Dunston (Eds).
- Song, Y. and Chua, D.K.H. (2006). Modeling of functional construction requirements for constructability analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132 (12), 1314-1326.
- Sulankivi, K., Tauriainen, M. and Kiviniemi, M. (2014). Safety aspect in constructability analysis with BIM. *Conference: CIB W099 International Conference Achieving Sustainable Construction Health and Safety*, Lund, Sweden, 2 – 3 June 2014. Lund University, pages 586 – 596.
- Staub, S. and Fischer, M. (1998). Constructability reasoning based on a 4D facility model. *Proceedings of Structural Engineering World Congress*, San Francisco.
- Staub-French, S. and Khanzode, A. (2007). 3D and 4D modeling for design and construction coordination : issues and lessons learned. *ITcon* ,12,381-407.
- Stieve , D.R., (2012). Building envelope peer reviews- tips and techniques. *Interface Technical Journal*. September. <http://rci-online.org/publications/rci-interface/technical-articles-archive-rci-interface-technical-journal-2012/>. (Erişim tarihi:18.10.2017)
- Tavistock- The Tavistock Institute of Human Relations, (1965). *Communications in the building industry: the report of a pilot study*. UK: Tavistock Publication.
- Touran, A. (2006). *Owners risk reduction techniques using a CM*, Checklist for Capital Construction Projects, *CMAA Research Report*. Washington, D.C.: Construction Management Association of America.
- Vardhan, C.H. and Yates, J.K. (1992). Implementation of constructability concepts. *Project Management Journal*, 23(4), 29–38.

- WSDOT-Washington State Department of Transportation (Tarihsiz). *A manual of instruction for the implementation of the constructability review process*. Washington.
- Williamson, M.T. (1999). *Buildability – The Effect of Design Complexity on Construction Productivity*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Dundee, UK: University of Dundee, Department of Civil Engineering.
- Wong F. W. H., Lam, P.T.I. and Shen L.Y. (2004). A dynamic design management system for improving buildability of construction. *20th Annual ARCOM Conference*, 1-3 September 2004, Heriot Watt University. Association of Researchers in Construction Management, Vol. 1, 185-94. Khosrowshahi, F (Ed.).
- Young Jr., N.W., Jones, S.A. and Bernstein, H.M. (2007). *Interoperability in the Construction Industry, Smart Market Report*,. McGraw Hill Construction.
- http-1: <http://www.fizibilite.info/fizibilite-calismasi-raporu/> (Erişim tarihi:08.10.2017)
- http-2:<https://www.ukessays.com/essays/construction/development-of-buildability-and-constructability-construction-essay.php> (Erişim tarihi: 31.03.2017)
- http-3:<https://www.tse.org.tr/tr/icerikdetay/2250/4630/ulusal-standardizasyon.aspx>  
(Erişim tarihi: 01.11.2017)
- http-4:<http://www.prefab.org.tr/tr/prefabrikasyonun-ozellikleri/sayfa/43.aspx> (Erişim tarihi: 01.11.2017)
- http-5:<http://www.prefab.org.tr/tr/yapi-elemanlari/sayfa/5.aspx> (Erişim tarihi: 05.11.2017)
- http-6: <https://www.nationalbimstandard.org/about> (Erişim tarihi: 30.10.2017)
- http-7: <https://www.autodesk.com/solutions/bim> (Erişim tarihi: 30.10.2017)
- http-8:<https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained> (Erişim tarihi: 30.10.2017)
- http-9:[http://www.sayisalmimar.com/kurslar/beykent/bpa\\_01\\_seminer.pdf](http://www.sayisalmimar.com/kurslar/beykent/bpa_01_seminer.pdf) (Erişim tarihi: 30.10.2017)
- http-10:<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Revit-GetStarted/files/GUID->

- 71F2C8EE-2A90-4076-A6C7-702082566DDF-htm.html (Erişim tarihi: 05.11.2017)
- http-11:<http://www.concurrent-engineering.co.uk/Blog/bid/92175/An-Introduction-to-Parametric-Modelling> (Erişim tarihi: 30.10.2017)
- http-12:<https://www.thenbs.com/knowledge/building-information-modelling-and-interoperability> (Erişim tarihi: 30.10.2017)
- http-13:<http://sayisalmimar.com/2013/12/ybm-gereksinim-ve-birlikte-calisabilirlik/> (Erişim tarihi: 30.10.2017)
- http-14: <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-ifc> (Erişim tarihi:05.11.2017)
- http-15: <http://blog.areo.io/what-is-ifc/> (Erişim tarihi:05.11.2017)
- http-16:<http://www.bimpanzee.com/bim-3d-4d--5d--6d---7d.html> (Erişim tarihi:05.11.2017)
- http-17:[http://www.adtechi.com/index\\_files/AutodeskNavisworksSimulate.html](http://www.adtechi.com/index_files/AutodeskNavisworksSimulate.html) (Erişim tarihi:05.11.2017)
- http-18:<https://www.youtube.com/watch?v=OgV3NC3VMCA> (Erişim tarihi: 05.11.2017)
- http-19:<http://beyonddesign.typepad.com/posts/2013/03/whats-new-in-navisworks-2014.html> (Erişim tarihi:05.11.2017)
- http-20:[http://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/insight-360/pdf/USAFA\\_customer\\_story.pdf](http://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/insight-360/pdf/USAFA_customer_story.pdf) (Erişim tarihi:05.11.2017)
- http-21:<http://www.virtualbuildingstudios.com/services/7d-services/> (Erişim tarihi: 05.11.2017)
- http-22:<https://www.thenbs.com/knowledge/nbs-national-bim-report-2017> (Erişim tarihi: 30.10.2017)
- http-23:<http://www.buildingincloud.net/wp-content/uploads/2017/03/BIM-Software-list.pdf> (Erişim tarihi: 27.11.2017)
- http-24:<https://knowledge.autodesk.com/support/navisworks-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Navisworks/files/GUID->

4AB66C35-CF9A-47BD-B31B-1EE5D89D25DA-htm.html (Erişim tarihi:  
30.10.2017)

http-25: <https://www.thenbs.com/knowledge/clash-detection-in-bim> (Erişim tarihi:  
30.10.2017)

http-26:[https://thebimhub.com/2015/01/19/odeh-engineers-bim-immersion  
room/#.WdFUNmi0NPY](https://thebimhub.com/2015/01/19/odeh-engineers-bim-immersion-room/#.WdFUNmi0NPY)(Erişim tarihi: 19.11.2017)

http-27:<http://www.hongjigroup.com/product/wet%20ball%20mill.html> (Erişim tarihi:  
25.03.2018)





## ÖZGEÇMİŞ

AdıSoyadı :Arda EVCİMEN

YabancıDil : İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı: Tarsus /1990

E-Posta : evcimen.arda@gmail.com

### Eğitim

- 2013, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

### Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

- 2013, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara