



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT PROJELERİNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ İLE MALZEME VE
NAKİT AKIŞININ ANALİZİ

Majd OUNBASHI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Mayıs, 2025

İTHAF



Tez çalışmasını sevgili ve değerli aileme ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

İNŞAAT PROJELERİNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ İLE MALZEME VE NAKİT AKIŞININ ANALİZİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Akademik dönemlerim ve tezimin her aşamasında tez çalışmam boyunca;

- ❖ Cömertçe bilgi ve uzmanlık sağlayarak yol gösteren, değerli katkıları ve her adımda rehberlik eden kıymetli olan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN'e,
- ❖ Üzerimde büyük emekleri bulunan İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İnşaat Mühendislik Bölümü'ndeki tüm değerli hocalarıma,
- ❖ Türkiye'deki akademik hedeflerime ulaşmamda önemli rol oynayan, bu başarının gerçekleşmesinde büyük katkısı olan ve eğitimimi finanse ederek bana bu fırsatı sunan YTB'ye,
- ❖ Bu sürecin her aşamasında bana destek olan aileme, her zaman ilham veren ve sonsuz sevgisiyle yanımda olan annem Gehad'a, her zaman güç veren ve bu yolda ilerlememi sağlayan rahmetli babam Yahya'ya,
- ❖ Her zaman destek olan, zorlukları birlikte aştığımız ve hayatın önemli olan şeylerini hatırlatan kardeşlerim Ala, Muhammed ve rahmetli Alaa'ya,
- ❖ Çalışmam süresince yardımları, tavsiyeleri ve motivasyonları ile sürekli destek olan arkadaşlarıma ve meslektaşlarıma,

Gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2025

Majd OUNBASHI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İTHAF	ii
BÜTÇE DESTEKLERİ	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. ÇALIŞMANIN PROBLEMİ	1
1.2. ÇALIŞMANIN TEMEL AMACI.....	3
1.3. ÇALIŞMANIN İHTİYAÇLARI.....	3
1.4. ÇALIŞMANIN ARAÇLARI	4
1.5. ÇALIŞMANIN BÖLÜMLERİ	5
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	6
2.1. İNŞAAT PROJELRİN YAPISI.....	6
2.2. YAPI BİLGİ MODELLEME GENEL BAKIŞI.....	8
2.2.1. YBM Tarihi	11
2.2.2. YBM'nin Gelişim Süreci	11
2.2.3. YBM'nin Yaygınlığı.....	13
2.2.3.1. Dünyada YBM Kullanımı.....	15
2.2.3.2. Türkiye'de YBM Kullanımı	17
2.2.4. YBM'nin Olumlu ve Olumsuz Yönleri	17
2.2.5. Nesne Tabanlı Parametrik Modelleme	18
2.2.6. YBM - Model Geliştirme Seviyesi.....	19
2.2.7. YBM Bilişenleri	21
2.2.7.1. 3D Model.....	22
2.2.7.2. 4D Zamanlama ve Çizelgeleme	22

2.2.7.3. 5D Maliyet Tahmini.....	22
2.2.7.4. 6D Sürdürülebilirlik	23
2.2.7.5. 7D Tesis Yönetimi.....	23
2.3. PROJENİN MALİYET YÖNETİMİ.....	25
2.4. PROJENİN NAKİT AKIŞI	26
2.4.1. Nakit Akışı ve YBM	26
2.4.2. Nakit Akışı ve İnşaat Yönetimi.....	28
2.4.3. Nakit Girişi ve Çıkışı Arasındaki Farkları	28
2.4.4. Nakit Girişi Hesaplaması	29
2.4.5. Nakit Çıkış Hesaplaması	29
2.5. MALZEME VE NAKİT AKIŞININ ANALİZİ.....	30
2.5.1. Pareto Prensibi.....	30
3. YÖNTEM	33
4. BULGULAR	36
4.1. 3D PROJE HAZIRLANMASI	37
4.1.1. Yapı Modellemesi	39
4.1.2. Yapı Metraj	40
4.2. 4D PROJE HAZIRLANMASI	42
4.2.1. İş Süreleri	43
4.2.2. Zaman Çizelgesi	43
4.3. 5D PROJE HAZIRLANMASI	44
4.3.1. Zamanla Birlikte Nakit Akışı	45
4.4. PARETO ANALİZİ BULGULARI.....	46
4.5. SENARYO OLUŞTURULMASI.....	50
4.5.1. Birinci Senaryo: Finansmanın Düzenli Dağılımı.....	51
4.5.2. İkinci Senaryo: Finansmanın 20%'si Ön Ödeme ile Sabit Periyodik Dağılımı	53
4.5.3. Üçüncü Senaryo: Malzeme Maliyetlerindeki Artış.....	54
5. TARTIŞMA.....	57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
EKLER	70
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	72

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: Çalışmanın araçları.	4
Şekil 1.2: Tezin ilerleme aşamaları.	5
Şekil 2.1: Proje yönetim üçgeni (Radujković ve Sjekavica, 2017).	6
Şekil 2.2: Proje yönetimi süreç aşamaları (PMI, 2021).	7
Şekil 2.3: İnşaat proje aşamaları (Azhar ve diğ., 2012).	8
Şekil 2.4: YBM Kavramı (Kymmell, 2008).	9
Şekil 2.5: YBM ve bilgisayar destekli tasarım arasındaki fark (Vandezande ve diğ., 2013). ...	9
Şekil 2.6: Projenin Yaşam Döngüsü (Dispenza, 2010).	10
Şekil 2.7: YBM çalışma düzeyleri (Eastman ve diğ., 2018).	12
Şekil 2.8: YBM uyum sağlayan ülkeler (Yusuf ve diğ., 2022).	13
Şekil 2.9: Dünyada YBM Kullanımı (Smart Market, 2012).	14
Şekil 2.10: LOD ilerleme süreci, asansör örneği (Abualdenien ve Borrmann, 2022).	19
Şekil 2.11: YBM boyutları (Rifai ve diğ.,2022).	21
Şekil 2.12: Nakit akışı ve finansal karar verme için 5D YBM çerçeve (Cheng ve Lu, 2015). 27	27
Şekil 2.13: Nakit akış döngüsü (Shash ve Qarra, 2018).	29
Şekil 2.14: Pareto prensibi "80/20 kuralı" (Fewings ve Henjeweale, 2019).	30
Şekil 2.15: Proje sorunların Pareto diyagramı (Stojcetovic ve diğ., 2015).	32
Şekil 3.1: Tez çalışmasında kullanılan yazılımları.	33
Şekil 3.2: Tez çalışmasında belirlenen yöntem adımları.	35
Şekil 4.1: 2D genel planı görüntüsü.	36
Şekil 4.2: 3D modeline ait genel plan görüntüsü.	37
Şekil 4.3: 3D modeline ait kaba ve ince işleri görüntüsü.	37

Şekil 4.4: 3D modeline ait aksonometrik perspektif görüntüsü.....	38
Şekil 4.5: Revit programına ait perspektif görüntüsü.	39
Şekil 4.6: Revit programına ait 3D kesiti görüntüsü.....	39
Şekil 4.7: Revit programına ait metraj listesi görüntüsü.	40
Şekil 4.8: Revit programına ait metraj tablosu görüntüsü.....	41
Şekil 4.9: Revit programına ait 20 cm duvar metraj tablosu görüntüsü.....	41
Şekil 4.10: Proje ilerlenmesi	42
Şekil 4.11: MS Excel programına ait iş sürelerin tablo görüntüsü.	43
Şekil 4.12: Revit programına ait eleman özellikler listesi görüntüsü.	43
Şekil 4.13: MS Project programına ait zaman çizelgesi görüntüsü.	44
Şekil 4.14: Navisworks programına ait 5D model görüntüsü	44
Şekil 4.15: Üç aylık ilerleme sürecini sanal olarak gösteren 5D modelin anlık görüntüsü.	45
Şekil 4.16: Pareto analizi ile malzeme maliyet grafiği.	50
Şekil 4.17: Birinci Senaryoda nakit akışı ve kümülatif maliyet grafiği.....	52
Şekil 4.18: Birinci Senaryoda net nakit akışı ve aylık kalan maliyet grafiği.....	52
Şekil 4.19: İkinci Senaryoda net nakit akışı ve aylık kalan maliyet grafiği.....	54
Şekil 4.20: Artan malzeme maliyetlerinin toplam maliyete etkisi grafiği.	55
Şekil 4.21: Artan malzeme miktarına göre iş ilerleme grafiği	56

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2-1: Ülkelede YBM uygulamaların oranı (Smart Market, 2014).....	15
Tablo 2-2: Teknoloji ve süreçle ilgili riskler (Azhar ve diğ., 2012).....	18
Tablo 2-3: LOD hakkında detaylı bilgiler (Bloomberg ve diğ., 2012).....	20
Tablo 2-4: Proje yönetimi ve YBM ile LOD ilişkisi (Van Berlo ve Bomhof, 2014).....	24
Tablo 2-5: Projenin uygulama sırasında karşılaşılan sorunlar (Stojcetovic ve diğ., 2015).....	31
Tablo 4-1: İş kalemlerinin kodlanma tablosu.	42
Tablo 4-2: Yapım süreci ve maliyet tahmini tablosu.	46
Tablo 4-3: İş kalemlerinin Pareto analizi tablosu.	49
Tablo 4-4: Finansmanın düzenli dağılımı tablosu.	51
Tablo 4-5: Finansmanın 20%'si ön ödeme ile sabit periyodik dağılımı tablosu.....	53
Tablo 4-6: Malzeme fiyat artışlarının toplam maliyetlere etkisi tablosu.....	55
Tablo 4-7: En yüksek maliyetli üç malzemenin akış tablosu.	56

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Σ	: Toplam Simgesi

Kısaltmalar	Açıklama
2D	: 2 Dimensional, 2 boyutlu
3D	: 3 Dimensional, 3 boyutlu
4D	: 4 Dimensional, 4 boyutlu
5D	: 5 Dimensional, 5 boyutlu
6D	: 6 Dimensional, 6 boyutlu
7D	: 7 Dimensional, 7 boyutlu
8D	: 8 Dimensional, 8 boyutlu
nD	: n Dimensional, n boyutlu
CI	: Toplam nakit girişi
CO	: Toplam maliyet
CO_{mEQ}	: Ekipman maliyeti
CO_{mMP}	: İşgücü maliyeti
CO_{mMT}	: Malzeme maliyeti
CO_{mID}	: Dolaylı maliyetler
CO_{mSC}	: Alt müteahhitlerin maliyetleri
CPM	: Critical Path Method
İKY	: İş Kırılım Yapısı
LOD	: Level of Development
m	: aylık süre
n	: Tamamlanan birim sayısı
Qn	: İş kalemi n için miktar
QTO	: Quantity take-off
UPn	: İş kalemi n için birim fiyat
YBM	: Yapı Bilgi Modellemesi

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[İNŞAAT PROJELERİNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ İLE MALZEME VE NAKİT AKIŞININ ANALİZİ]

[Majd OUNBASHI]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

[Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN]

İnşaat projelerinde malzeme ve nakit akışı yönetimi süreçlerinde, malzeme tüketimindeki değişkenlikler, harcama farklılıkları ve kaynak kullanımındaki uyumsuzluklar önemli zorluklar arasında yer almaktadır. Bu faktörlerin etkin bir şekilde yönetilememesi, koordinasyon eksikliğine yol açarak maliyetlerin artmasına, kaynak israfına ve proje teslim sürelerinde gecikmelere sebep olmaktadır. Dolayısıyla, inşaat projelerinin karmaşıklığının artmasıyla birlikte bilgisayar tabanlı ve otomatik sistemlere duyulan ihtiyaç kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu bağlamda, araştırmanın temel amacı, inşaat projelerindeki malzeme ve nakit akışını takip edebilecek bir model geliştirmektir. Bu kapsamda, 3D model oluşturulmuş ve Yapı Bilgi Modellemesi'nden (YBM) faydalanılarak Revit ve Navisworks yazılımları kullanılmıştır. Model, 4D seviyesinde zaman faktörü ve 5D seviyesinde maliyet verileri ile zenginleştirilerek geliştirilmiş ve projenin sanal simülasyonu oluşturulmuştur. Önerilen yöntemde, geliştirilen 5D model, YBM entegrasyonu sayesinde geleneksel yöntemlere kıyasla daha gelişmiş bir yapı yönetimi sunmaktadır. Ayrıca, zamana dayalı maliyet yönetimini içeren simülasyonlarla proje süreçleri optimize edilmektedir. Bu süreçte, proje yönetiminin farklı yönleri değerlendirilerek iş akışının belirli senaryolar altında nasıl optimize edilebileceği incelenmektedir. Ayrıca, her

senaryo maliyet, zaman ve kaynak kullanımı kriterleri doğrultusunda analiz edilerek proje sürecine etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Elde edilen bulgular, YBM tabanlı sistemlerin projelerin finansal yönetimini iyileştirirken projelerin daha şeffaf ve denetlenebilir bir şekilde yürütülmesini sağladığını göstermektedir. Böylece, bütçe tahminleri daha doğru yapılmakta, maliyet aşırıları minimize edilmekte ve karar alma süreçleri hızlandırılarak proje başarı oranı artırılmaktadır. Araştırmanın bulgularına dayanarak, inşaat sektöründe 5D YBM sistemlerinin yaygınlaştırılmasının daha verimli ve sürdürülebilir projeler geliştirilmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Mayıs 2025 , 92 sayfa.

Anahtar kelimeler: İnşaat Proje, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), 5D Modeli, Nakit Akışı

ABSTRACT

[M.Sc. THESIS]

**[ANALYSIS OF MATERIALS AND CASH FLOW THROUGH BUILDING
INFORMATION MODELING IN CONSTRUCTION PROJECTS]**

[Majd OUNBASHI]

**İstanbul University-Cerrahpaşa
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering
Civil Engineering Program**

[Supervisor : Assist. Prof. Dr. Ömer GİRAN]

In construction projects, variations in material consumption, differences in expenditures and inconsistencies in resource utilization are among the major challenges in material and cash flow management processes. The inability to effectively manage these factors leads to a lack of coordination, resulting in increased costs, resource waste and delays in project delivery timelines. Therefore, with the increasing complexity of construction projects, the need for computer-based and automated systems has become inevitable. In this context, the primary aim of the research is to develop a model that can track material ve cash flow in construction projects. Within this scope, a 3D model was created using Building Information Modeling (BIM) with the help of Revit and Navisworks software. The model was enhanced by incorporating the time factor at the 4D level and cost data at the 5D level, leading to the development of a virtual simulation of the project. In the proposed method, the developed 5D model, through BIM integration, offers a more advanced construction management approach compared to traditional methods. Additionally, project processes are optimized with simulations that incorporate time-based cost management. In this process, different aspects of

project management are evaluated to examine how workflow can be optimized under specific scenarios. Furthermore, each scenario is analyzed based on cost, time and resource utilization criteria and its impact on the project process is comparatively assessed. The results indicate that BIM-based systems improve the financial management of projects, ensuring greater transparency and accuracy. As a result, budget estimates become more accurate, cost overruns are reduced and decision-making processes are accelerated, ultimately enhancing project success rates. Based on the research findings, it is anticipated that the widespread adoption of 5D BIM systems in the construction industry will contribute to the development of more efficient and sustainable projects. |

May 2025, |92| pages.

Keywords: Construction Project, Building Information Modeling (BIM), 5D Model, Cash Flow|

1. GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMANIN PROBLEMİ

İnşaat sektörü, diğer sanayi sektörlerine göre (zaman, maliyet ve kalite) kısıtlar dahilinde, önceden belirlenmiş bina tamamlama planlarına bağlılık açısından en karmaşık ve verimsiz sektörlerden biridir. Proje yönetiminde malzeme ve nakit akışını takip edilirken projelerdeki malzeme tüketimi, harcamalar ve kullanılacak kaynaklardaki farklılıkların ve çelişen noktalar karşılaşılan global problemler arasında yer almaktadır.

Söz konusu problemlerin ortaya çıkmasına, hızlı proje yapımındaki artış, yetersiz bütçe ve kaynaklar ve plansız ilerleme sebep olmaktadır. Bu nedenle, projelere büyük bir yoğunluk uygulanmakta ve teslimat tarihlerinde gecikmelere ve olumsuz etkilere yol açmaktadır. İnşaat sektörü ile diğer endüstri sektörleri arasındaki büyük farklılıklara rağmen birçok farklılığı ve sorunuyla bilinen inşaat sektörüne yönelik eleştiriler her zaman yöneltilmektedir.

Genellikle proje yaşam döngüsünün belirlenmiş başlangıç ve bitiş süresine sahip olduğu için kısıtlı projeler sayılmıştır. Proje yaşam döngüsünün esnasında, farklı hedef ve vizyonlara sahip bir grup şirket nihai ürün olan projeyi (bina, fabrika, altyapı vb.) elde etmek için geçici olarak sözleşme yapar. Bu ortaklık projenin tamamlanmasıyla sona erer. Farklı grup şirketlerden oluşan karmaşık ortam, çoğu zaman projenin uygulanması öncesinde, sırasında ve sonrasında zorlukları olmaya ve çatışmaya yol açar. Asıl yaşanan sorunlar aşağıda tasarım ve uygulama aşaması olarak iki bölüme ayrılmıştır:

1. Tasarım aşamasında karşılaşılan problemleri:

- Projenin ilk aşamalarında proje sahibinin yetersiz algılanması ve tam öngörülmemesi sebebiyle projenin son şeklini anlamada veya hayal etmede zorluk yaşanmaktadır.
- Projenin bir kısmını eklemek veya kaldırmak için kullanılan malzemeler değişikliklerle sonuçlanmak olup projenin bitiş noktasında gecikme ve karşılaşılan derişiklik kısmında tahsis edilen maliyette artırış veya azaltış olduğunu nedeni olmaktadır.

- İnşaat projelerinde yaklaşık maliyet ve yaklaşık metraj hazırlanırken nihai yaklaşık sonuçlar alabilmek için manuel yöntemler kullanılmasıyla hata yapma ve aktivitelerin dikkat etmeme ihtimali yüksek çıkmaktır.
- Tasarım sürecinin planlama aşamasından ayrı olarak gerçekleşmesi nedeniyle toplam proje süresinin belirlenmesinde yanlış hesaplamaktır.
- Tasarım değişiklikleri durumunda planlar arasında koordinasyonu sağlayacak bir mekanizma yoktur.

2. Uygulama aşamasında karşılaşılan problemleri:

- İnşaat projelerinin tasarım aşamasında, müteahhitlerin rolü projenin bir parçası olarak dahil edilmemesi nedeniyle yürütme aşamasında birçok soruşturma talebinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.
- Proje işleri ve hizmetleri arasındaki yetersiz koordinasyon ve proje tarafları arasındaki güçlü iletişim kanalları olamamak sebebiyle işler arasındaki çakışma ve örtüşme noktaları, uygulama aşaması dışında çoğu zaman keşfedilmemektedir.

Tasarım ve uygulama aşamasındaki anlatılan problemler işlem süresini artırır, bu da süreyi, maliyeti ve kullanılan malzemeleri etki eder. Proje uygulama verimliliğini artırmakta olup bu zorlukları aşmak amacıyla, israfı azaltarak, verimliliği en düşük maliyet ve en yüksek kaliteye artırarak soruna çözüm bulmaya çalışan birçok çalışma ve makale ortaya çıkmıştır. Ancak tasarım değişiklikleri, gecikmeler ve maliyet artışları bu zamana kadar devam etmektedir. İnşaat projelerinde, kaynakların etkili kullanılmasıyla projelerin istenen hedefe zamanında ulaştırılması ve hata riskinin en aza indirildiği bir çerçeve oluşturmak ve projelerin sürdürülebilir başarısını sağlamak açısından kritiktir. Bu bağlamda, oluşan sorunun çözüme kavuşturulması ve projenin başarılı olarak tamamlanmasına önemli bir adımdır (Toltar, 2018).

Dünyada, daha önce kullanılmayan modern teknolojilerin ve ileri teknolojilerin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte çeşitli alanlarda gelişme ve hızlanmalara tanık olmaktadır. Bunu inşaat sektörüne yansıtırsa, kesinlikle modern inşaat projelerinin doğası geçmişteki inşaatın doğasından çok farklıdır. Modern projelerin ihtiyaçları geçmişe göre daha karmaşık hale gelmiş olup mevcut projelere uygun modern teknolojilerin kullanılması gerekmektedir.

1.2. ÇALIŞMANIN TEMEL AMACI

Bu çalışmanın amacı, projenin malzeme ve nakit akışını takip etmek için model oluşturmaktır. Yapı Bilgi Modellemesinin (YBM'nin) 4D ve 5D boyutlarına göre model, süre ve maliyet verileriyle zenginleştirilerek projenin sanal bir simülasyonunu gerçekleştirmektedir.

Oluşturulan modelden elde edilen sanal uygulama sonuçları, yaklaşık metraj ve yaklaşık maliyet raporu gibi proje yöneticilerine, finans uzmanlarına projenin gerçek uygulama ilerleme sürecinde malzeme tüketimi, mali durumu, harcamalar ve kaynak yönetimi planlı bir şekilde yönetmek için detaylı bilgiler sunmayı hedeflemektedir.

Ortaya çıkan malzeme ve nakit akışı analiz edilerek gerçekleşmeden önce projenin uygulanmasında gecikme olup olmadığı keşfedilip harcamaların azaltılmasına ve proje faaliyetlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yardımcı olmaktadır.

1.3. ÇALIŞMANIN İHTİYAÇLARI

Tasarım süreci etkileşimli bir süreç olarak kabul edilir. Farklı seviyelerdeki uzmanlıklardan çeşitli girdiler gerektiren farklı bilgi ve deneyim türlerine ihtiyaç duymaktadır.

Uzmanlar projeyi tasarlarlarken sürecinde farklı girdilerle çalışsa bile kendi aralarında etkili iletişim ve koordinasyon yoluyla koordineli bir dizi çizime, spesifikasyona ve metrajlara ulaşmaları gerektiğini ifade etmektedir. Bu nedenle tasarım aşamasında zayıf iletişim, tasarım sürecinin sonuçları üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Ayrıca uygulama süreci için gerekli bilgi eksikliği, hesaplanan miktarların yanlışlığı, hata ve eksikliklerden kaynaklanan değişiklik emirleri ve zayıf görselleştirme ile yansıtılmaktadır.

Geleneksel sistemler; Bilgisayar destekli tasarım sistemler gibi kullanıldığında aynı proje için miktarlara ve fiyatlara bağımsız olarak birden fazla çizimin oluşturulmasına bağlıdır. Dolayısıyla farklı uzmanlıklara çizimleri bağlamak veya grafiksel olmayan bilgilere (şartlar, miktarlar, özellikler, fiyatlar vb.) bağlamak için uygun bir çözüme erişimi garanti edemez ve bunun yanı sıra herhangi bir değişiklik meydana geldiğinde gerektiği kadar etkili olamamakta ve kullanıcı bu değişiklik ile ilgili çok sayıda grafik ve miktarları güncelleme yoluna gitmeye zorunda kalmaktadır. İşleri ve diğ., (2022): araştırma sonucunda YBM kullanımı, bina ile ilgili çeşitli verilerin bir bilgi sistemi içinde entegrasyonunu sağladığı için daha etkin projelerin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

Modern sistemler, YBM sistemleri gibi kullanıldığında, projenin tüm bileşenlerini (planlar, miktarlar, malzeme vb.) depolayarak merkezi bir veri tabanı oluşturur. Oluşturulan veri tabanından faydalanarak değişiklik emri geldiğinde, değişiklikler ne kadar büyük olursa olsun, grafiklerin geri kalanında otomatik olarak yansıtılmaktadır. YBM'nde farklı parametreler değişerek basit bir şekilde senaryolar oluşturulabilir ve kolaylıkla test yapıp karşılaştırılması mümkündür (İşileri ve diğ., 2022).

Bu tezin amacına ulaştırmak için, bir çalışma vakası seçilip uygulama tasarım aşamasının verimliliğini artırmak için YBM aracı Revit programı kullanılmasıyla oluşturulan 3 boyutlu modelden elde edilen sanal uygulama sonuçlardan faydalanarak iki önemli ölçülebilir performans göstergelerine göre değerlendirilmektedir:

1. Proje tasarım döneminde değişiklik senaryolar meydana geldiğinde kullanılan geleneksel sistemler ile kullanılan YBM sistemleri karşılaştırılarak maliyet tahmin sürecinin etkinliğinin artırılmasına önemi çıkartmaktır.
2. Proje tasarım ve uygulama aşamalarında işlemleri yürüten kuruma ihtiyaç duyduğu bilgilerin daha etkili bir şekilde ölçülmesine ve eksikliklerin neden olduğu değişiklik emirlerinin daha iyi yönetilmesine yardım etmektir.

1.4. ÇALIŞMANIN ARAÇLARI

Seçilen proje, 3D modelleme hazırlanması için Autodesk aracı olan Revit 3 boyutlu modelleme programı kullanılmaktadır. Revit programında modelleme yapıldıktan sonra çıkan metraj ve maliyet raporları zamana eklenip MS Project aracı kullanılmasıyla malzeme ve nakit akışı sonuçlandırılmaktadır. Autodesk aracı olan Navisworks ise önceden ortaya çıkan sonuçlar görselleştirilerek günlük, haftalık, aylık ve yıllık süreçlerdeki mali durumu, harcamalar ve kaynak yönetimi planlı bir şekilde yönetilmek için detaylı bilgiler sunmayı hedeflemektedir.



Şekil 1.1: Çalışmanın araçları.

1.5. ÇALIŞMANIN BÖLÜMLERİ

<p>1. Giriş:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Asıl problemin tanımı, çalışmanın amacı, önemi ve ihtiyaç duyulan adımlar ve araçlar anlatılmıştır.
<p>2. Kavramsal Çerçeve:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • İnşaat projenin yapısı, yapı belgi modellemenin tarihi ve bilişenleri, finansal maliyetler, malzeme ve nakit akışları kontrou etmesi anlatılmıştır. literatür kısmı ise önceden yapılan çalışmalardan faydlanarak özetlenmiştir.
<p>3. Yöntem:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Çalışmasında önerilen yöntem ve kullanılan araçlar anlatılmıştır.
<p>4. Bulgular:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verilerin toplanması, analiz edilmesi ve elde edilen sonuçların sunulmuştur.
<p>5. Tartışma:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elde edilen bulgularla verilerin yorumlanması ve sonuçlarının karşılaştırılması anlatılmıştır
<p>6. Sonuç ve Öneriler:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tez çalışmasındaki ulaşılan sonuçların inşaat sektöründe tasarım ve uygulama sürecinde proje faaliyetlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanmak için öneriler verilmiştir.

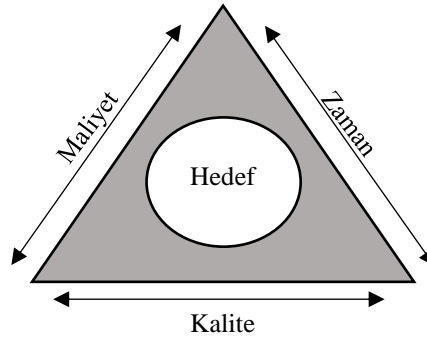
Şekil 1.2: Tezin ilerleme aşamaları.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

İnşaat endüstrisi ekonomiğe en destek veren sektörlerden biridir. Tüm büyük altyapı inşaat faaliyetlerini, inşaat şirketleri, mevcut yapılardan herhangi birinin onarımı ve değiştirilmesi, akademisyenler ve profesyoneller, müteahhitler ve elmanlar gibi çeşitli paydaşları içerir. Literatür kısmı incelendiğinde inşaat sektöründeki projenin zayıf planlama ve koordinasyon, zaman ve maliyet yanlış hesaplaması, geleneksel tasarım ve uygulama sorunları nedenleri, inşaat projelerinde YBM istemlerinin kullanımının etkili etkisi önceden yapılan araştırma makalelerden faydalanarak incelenmiştir.

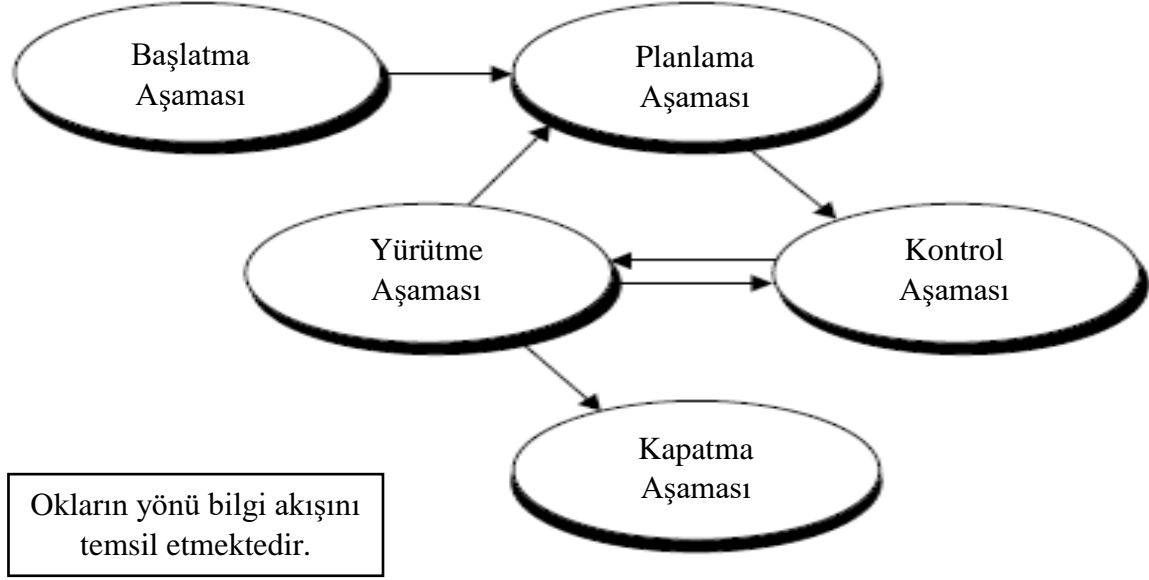
2.1. İNŞAAT PROJELRİN YAPISI

Project Management Body of Knowledge (PMBOK) uzmanlığına göre: proje, benzersiz bir ürün, hizmet veya sonuç yaratmaya yönelik geçici bir çaba olarak tanımlanmıştır. Açıklama dikkatli bir şekilde incelenirse; geçicinin, projenin başlangıç ve bitiş zamanını ifade etmiştir. Bir programla belirlenen ve benzersiz olan, ürün veya hizmetin paydaşlar için değer yaratacak yeni bir şey olması gerektiği anlamına gelmiştir (PMI, 2021). PMBOK kitabının güncellenmiş diğer versiyonu incelendiğinde, projenin bütçe dahilinde olması ve son tarihe kadar tamamlanması gerekir. Proje yönetiminin amacı, proje kapsamında zaman ve maliyeti ile birlikte kaliteli bir şekilde entegre ederek proje hedeflerini gerçekleştirmektir, (Browning 2014). Şekil 2.1'de gösterildiği gibi buna projenin “Proje yönetim üçgeni” denir. Kısaca, bir proje yöneticisi, proje hedefine ulaşmak için bilgi, araç ve teknikleri kullanarak projeye bir değer eklenmelidir (Radujković ve Sjekavica 2017).



Şekil 2.1: Proje yönetim üçgeni (Radujković ve Sjekavica, 2017).

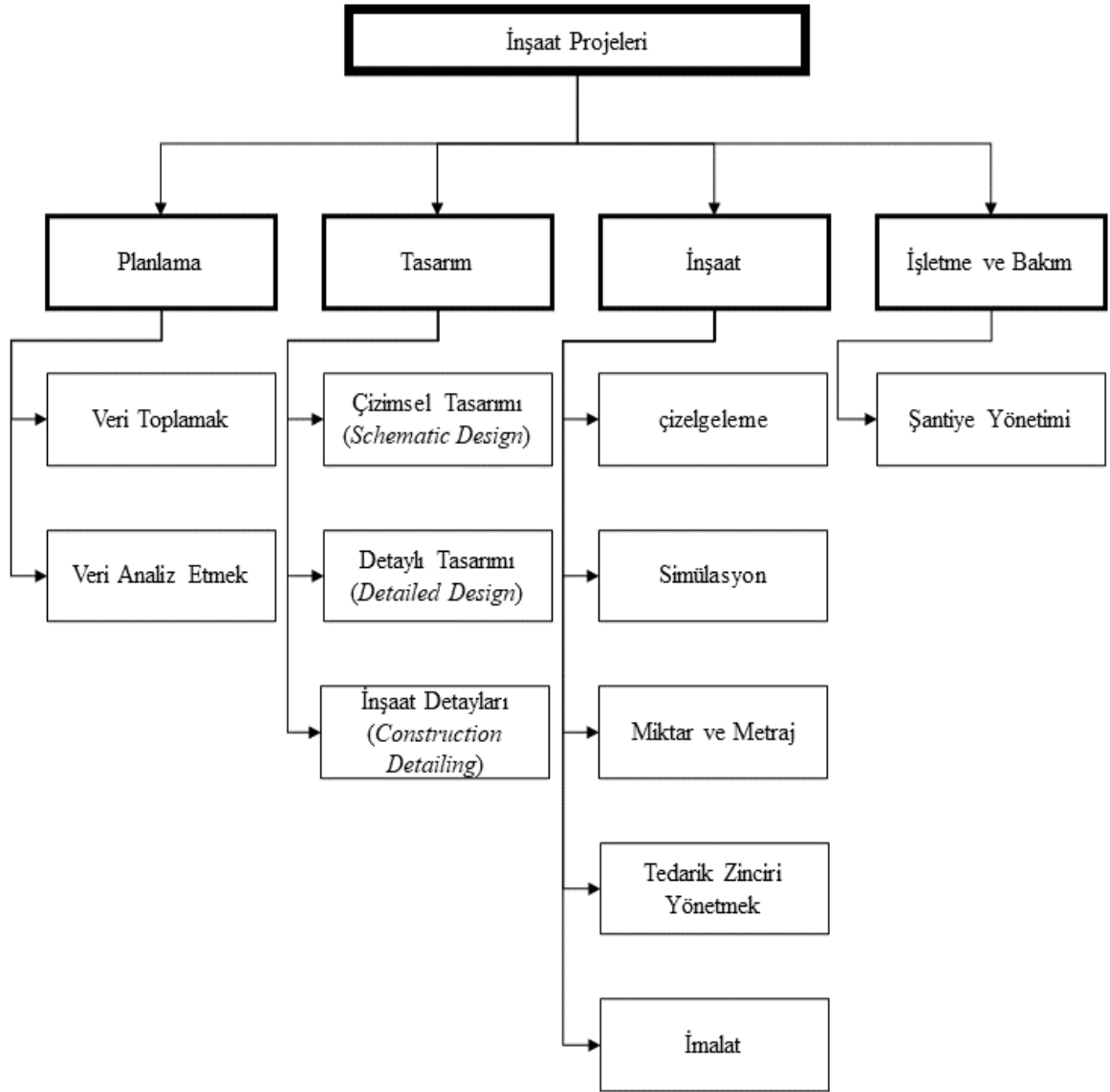
Temel olarak, proje yönetimi süreci beş aşamadan oluşur: başlatma, planlama, yürütme, kontrol ve kapatma (PMI, 2021). Şekil 2.2'de göstermektedir.



Şekil 2.2: Proje yönetimi süreç aşamaları (PMI, 2021).

Şekil 2.3'de görülebilen inşaat proje aşamaları planlama, tasarım, inşaat, işletme ve bakım dört aşamaya ayrılmıştır. Projenin ilk aşamasında planlama projenin analizini ve programlanmasını yapar. Ek olarak, mevzuatlar ve düzenlemeler toplanır ve analizleri yapılır (Azhar ve diğ., 2012). Saha analizi, 3D sunum, tasarım koordinasyonu, maliyet ve zaman tahmini, tasarım aşamasının bir parçasıdır (Cao ve diğ., 2015). Tasarım aşaması üç bölümden oluşur. Birinci bölüm *şematik* tasarımı (*Schematic Design*): seçeneklerin analiz edilmektedir. İkinci bölüm detaylı tasarımı (*Detailed Design*): 3D modeller yapılarak yapısal, mekanik, elektrik sistemlerin detayları tamamlanmaktadır. Son bölüm inşaat detayları (*Construction Detailing*): planlama (4D) ve maliyet tahminleri (5D) sağlamaktadır (Azhar ve diğ., 2012). İnşaat aşaması, planlama aşamasında planlanan faaliyetleri yürütmek için imalat, zamanlama simülasyonu, miktar kalkış, saha kaynağı ve tedarik zinciri yönetimi ve imalattan oluşur. İşletme ve bakım aşamaları şantiye yönetimi içerir (Azhar ve diğ., 2012; Cao ve diğ., 2015).

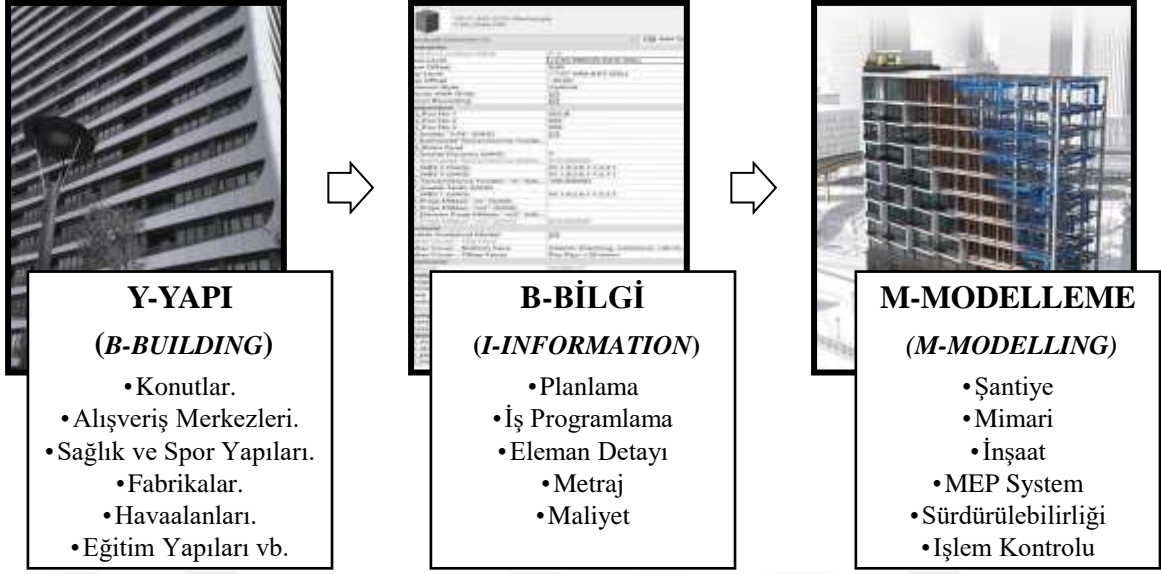
Başarılı bir proje yönetim sistemi oluşturmak ve projenin profesyonellerinin gerektiğinde daha iyi kararlar almak için önemli olan, bilgiye doğru zamanda erişilebilmesidir. Bu hedefe ulaşmak için, Yap Belgi Modelleme yöntemlerini kullanmasıyla toplanmış verileri etkili bir şekilde analiz ederek proje süreçlerini optimize eder ve ekiplerin karar verme süreçlerini kolaylaştırır.



Şekil 2.3: İnşaat proje aşamaları (Azhar ve diğ., 2012).

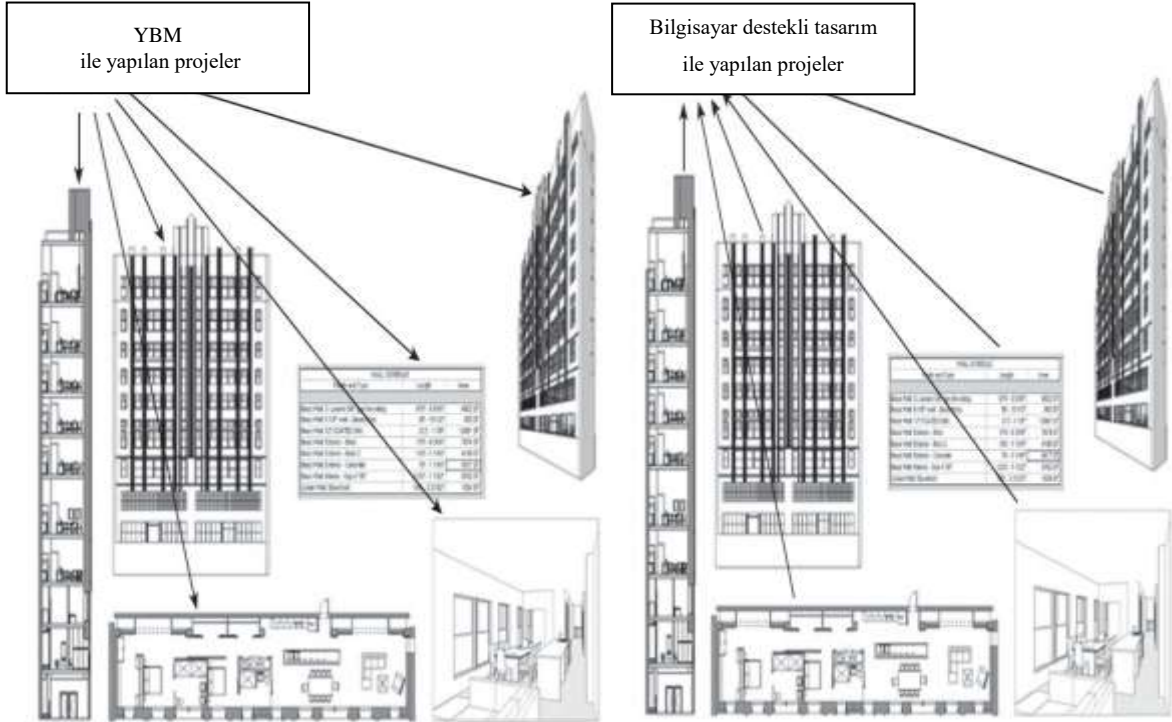
2.2. YAPI BİLGİ MODELLEME GENEL BAKIŞI

İnşaat mühendisliğindeki en yeni teknolojilerden biri olan YBM, projeye ilgili her detayı içeren ve tek bir şablona yerleştiren bir sistemdir (Eastman ve diğ., 2018). Şekil 2.4'de gösterdiği gibi YBM Türkçe ifadesiyle veya İngilizce çevirisiyle Building Information Modelling sırasıyla (Yapı, Bilgi ve Modelleme) anlamına gelen kelimelerinin ilk harflerinden oluşur. YBM, yapının tasarımından yapım sürecine kadar tüm iş kalemlerinin sanal olarak inşa edilmesi, geliştirilmesi ve işletmelerin yıkılması veya yeniden işlevlendirilmesi için kullanılan bir sistemdir. Mühendislik ve inşaat endüstrisindeki gelişmeler, birden fazla paydaşın bir tesisin planlanmasını, tasarımını, inşa etmesini ve işletme sürecini kapsar (Azhar, 2011).



Şekil 2.4: YBM Kavramı (Kymmell, 2008).

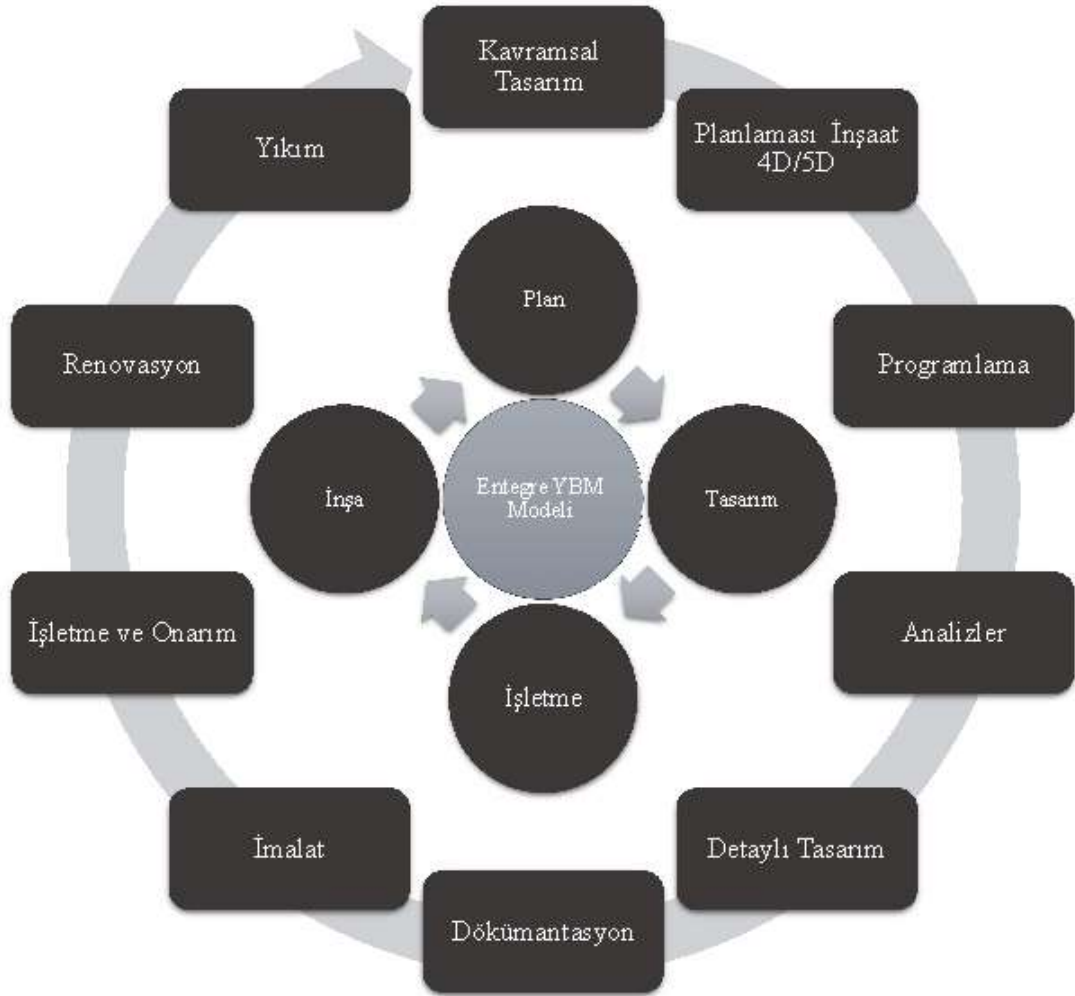
YBM ve geleneksel bilgisayar destekli tasarım arasındaki fark Şekil 2.5'de gösterildiği gibi YBM teknolojisinin, planların, bölümlerin ve yüksekliklerin otomatik olarak üretildiği binanın 3D modelini sağlamasıdır. Tüm görünümüler otomatik olarak güncellendiğinden bir bileşeni değiştirmek veya düzenlemek çok kolaydır. Ayrıca model verileri içerir ve fiziksel ve işlevsel özelliklere sahip akıllı nesnelere oluşturur (Azhar ve diğ., 2012).



Şekil 2.5: YBM ve bilgisayar destekli tasarım arasındaki fark (Vandezande ve diğ., 2013).

Diğer açısından bakıldığında; geleneksel 2 boyutlu projelerden farklı olarak YBM dijital inşaatı bilgi ve değerlendirme sağlayarak verimlilik, koordinasyon, kalite ve sürdürülebilirliği geliştirme seviyesini yükseltmeyi amaçlar. Bu yöntem sayısından, projenin tüm sürecinde paydaşların arasındaki bilgilerinin paylaştıklarını kolaylık sağlar (Mihindu ve Arayıcı, 2008).

Proje Taraflarına yardım etmek amacıyla proje ilerleme adımları planlar, miktarlar, çizelgesi, zaman, şartname ve tüm proje belgelerini besleyen bir merkezi veri tabanıdır. Bu sayısından projenin ilk aşamasında kullanıcılara doğru, koordineli ve erişilebilir bilgiler ve binayı tamamlamak için gereken tüm işlevleri, gerçekliği simüle eden bir dijital sanal model aracılığıyla sağlar. Ayrıca projenin tasarım ve uygulama aşaması, Şekil 2.6'de gösterildiği gibi YBM sisteminden faydalanarak proje sahipleri, yöneticileri, tasarımcıları, müttehitler ve diğer proje sorumlular gibi projenin yaşam döngüsü boyunca projenin yapılan planlamasına göre eksiksiz son hedefine ulaşmak yaygın olarak kullanır (Eastman ve diğ., 2018).



Şekil 2.6: Projenin Yaşam Döngüsü (Dispenza, 2010).

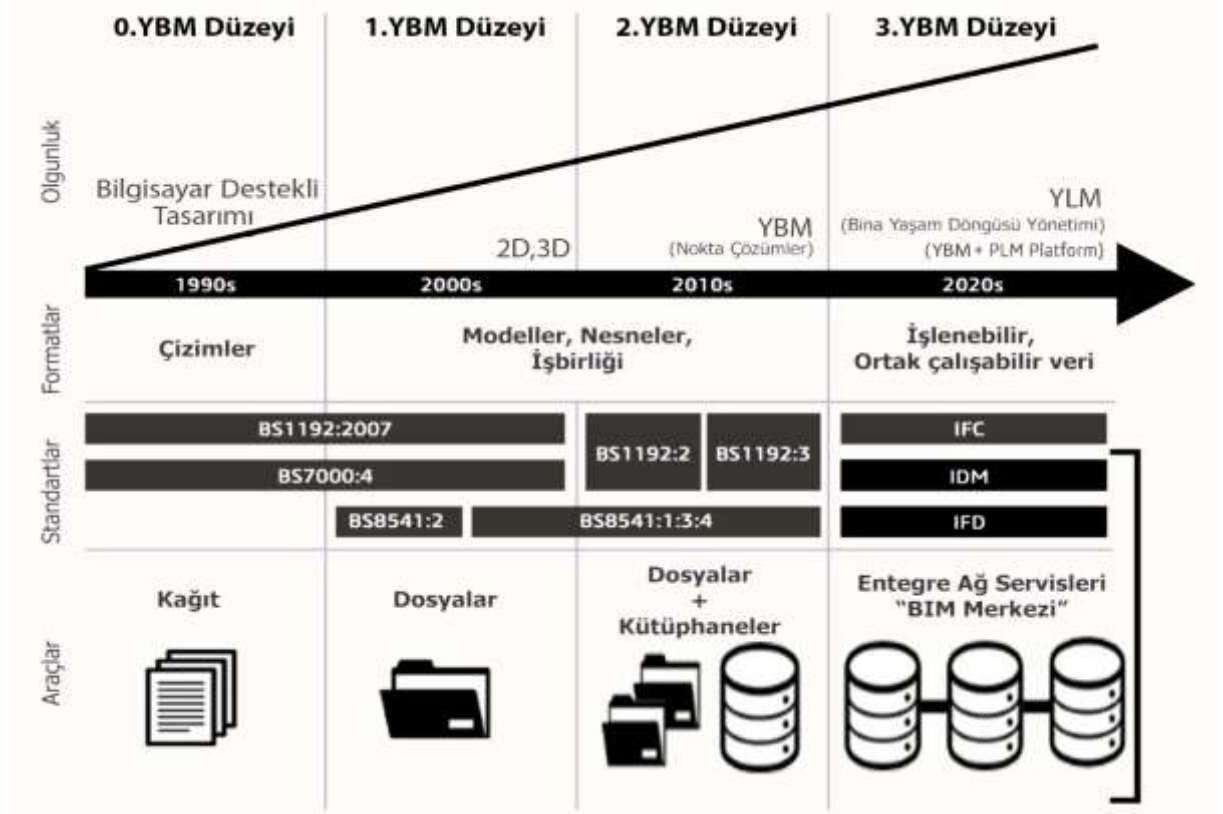
2.2.1. YBM Tarihi

Her proje yukarıda belirtilen proje yönetiminin süreç aşamaları ve proje aşamalarına göre bir belirsizlik seviyesi içerir. Herhangi bir yönetsel sorunu gözden kaçırmadan bu belirsizlikleri yönetmek önemli performans göstergesidir. YBM 1970 yılının ortasında Eastman tarafından yapılan yapı tanımlama sistemi prototipi ile ilk kez ortaya çıkmıştır. Eastman'ın makalesinden sonra yapı tanımlama sisteminin gelişimi dünyanın farklı yerlerinde farklı açıklamalarla devam etmiştir. 1970 ve 1980 yılları arasında Avrupa, ürün bilgi modellerini incelenmiştir. ABD ise yapı ürün modellerinden bahsetmiştir. 1986 yılının son zamanlarda Robert Aish tarafından kullanıldığı anlamda yapı modellemesi teriminin ilk belgelenmiş kullanımı olmuştur. 1992 yılında ise Van Nederveen ve Tolman makalelerinde YBM'ni kullandılar ve Jerry Laiserin YBM terimini ilk kullanan ve popülerleştiren kişidir (Eastman ve diğ., 2018).

2.2.2. YBM'nin Gelişim Süreci

Geleneksel yöntemlerle hazırlanan çizimler, proje oluşturma zamanı uzatma, maliyeti ve iş zorluluğunu artırma nedeni olur. Bilgisayar destekli tasarımın geleneksel yöntemlerin yerine geçmesi, bir devrim niteliğindedir. El ile yapılan çizimlerinden bilgisayara geçiş kolaylıklar getirmesine rağmen mimari temsillerin oluşturulmasındaki ana prensiplerde büyük bir değişiklik olmamıştır. Bilgisayar destekli tasarım sistemleri kullanma sayısından hızlı çizim imkânı hızlı çizim imkânı, kısa zamanda ve düşük maliyetle proje oluşturma sürecini sağlamıştır. Son zamanlarda Teknolojinin sürekli geliştirmesiyle birlikte Bilgisayar destekli tasarım sistemlerinin de çizim sürecinde yetersiz ve eksik kaldığı görülmüş ve alternatif olarak YBM sistemleri oluşturulmaya başlanmıştır (Biçer ve diğ., 2021).

YBM, inşaat sektöründeki projelerin yapısı iki boyutlu (2D) tabanlı çizim bilgi sistemlerinden üç boyutlu (3D) nesne bilgi sistemlerine kaydırmada etkilidir (Mihindu ve Arayıcı, 2008). Bu dönüşümde bina tasarımının ve yapımının aşamalarında kullanılan dokümantasyon yöntemini, insan tarafından okunabilen manuel davranışlardan değişmesine yardımcı olur ve yapı elemanlarının dijital açıklamalarını, bilgisayar tarafından okunabilen zaman ve maliyet dahil olmak üzere diğer bilgilerle zenginleştirebilir (Arayıcı ve diğ., 2012). YBM teknolojisinin gelişmesiyle inşaat sektöründe yapım sistemleri, malzemeleri ve yapım süreçleri dünya çapında büyük bir değişiklik olmuştur (Biçer ve diğ., 2021). Bu durumda, olgunluk düzeylerinin sınıflandırılması ve modelden beklenenlerin isimlendirilmesi için Şekil 2.7'de gösterildiği gibi dört düzeye ayıran sınıflandırılmasıyla paydaşlar tarafından aynı anlaşılması için uluslararası bir isimlendirme gerektirir (Kulkarni ve Mhetar 2017).



Şekil 2.7: YBM çalışma düzeyleri (Eastman ve diğ., 2018).

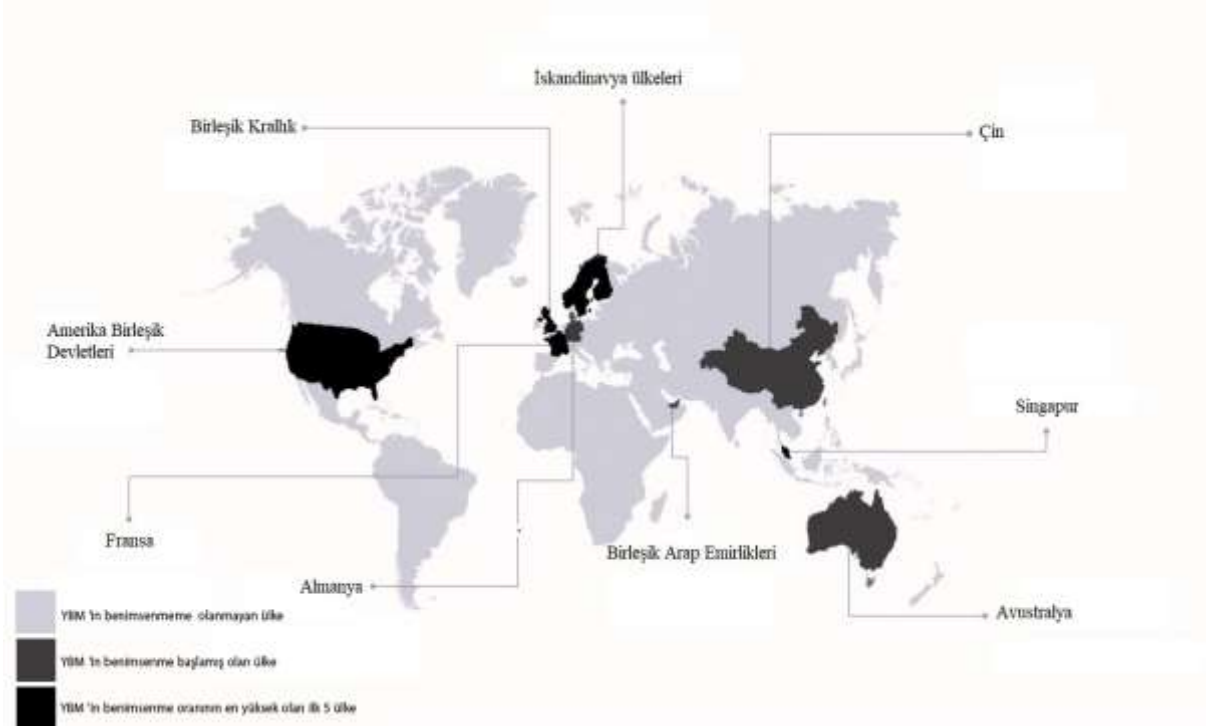
- 0.YBM düzey, ilk düzeydedir. Diğer alanlardaki modellerle veya bilgi alışverişinin kaydedilmesi gereken standartlarla koordineli bir ilişki yoktur. Ek olarak, bu düzeyde projenin herhangi bir 3D model geliştirilmesi veya oluşturulması söz konusu değildir (Khosrowshahi ve Arayıcı, 2012; Kulkarni ve Mhetar, 2017).
- 1.YBM düzey, Geleneksel veya bilgisayar destekli tasarımı yöntemlerle oluşturulan 2D mimari çizimler üst seviyesine aldırarak amacıyla 3D modellerin kurgulandığı düzeydir. 2D mimari temsiller profesyonel bir belgelendirme sunmasına rağmen 3D modeller tasarım açısından birçok kullanıcı tarafından tercih edilir. Bu, bilgisayar destekli tasarım yöntemlerinden YBM yöntemlerine geçiş anlamına gelir (Khosrowshahi ve Arayıcı, 2012; Kulkarni ve Mhetar, 2017).
- 2.YBM düzey, YBM prensiplerinin gösterildiği düzeydir. Bu seviye, YBM prensiplerinin etkili bir şekilde uygulandığı, revizyon süreçlerinin kolaylaştığı ve inşaat endüstrisi paydaşları arasında iş birliği imkanları sunan bir düzeydir. 1.YBM düzeyine kıyasla verimlilik ve kalite artmasına yardımcı olunur ve aynı zamanda nesne tabanlı çalışmanın gelişimiyle öz nitelik verilerinin modele aktarımı sağlanır. Düzeye uygun

yazılımlar yoluyla projenin süresi (4D) ve projenin yaklaşık maliyet (5D) tahminleri enerji ve çakışma analizleri de gerçekleştirilir (Khosrowshahi ve Arayıcı, 2012; Kulkarni ve Mhetar, 2017).

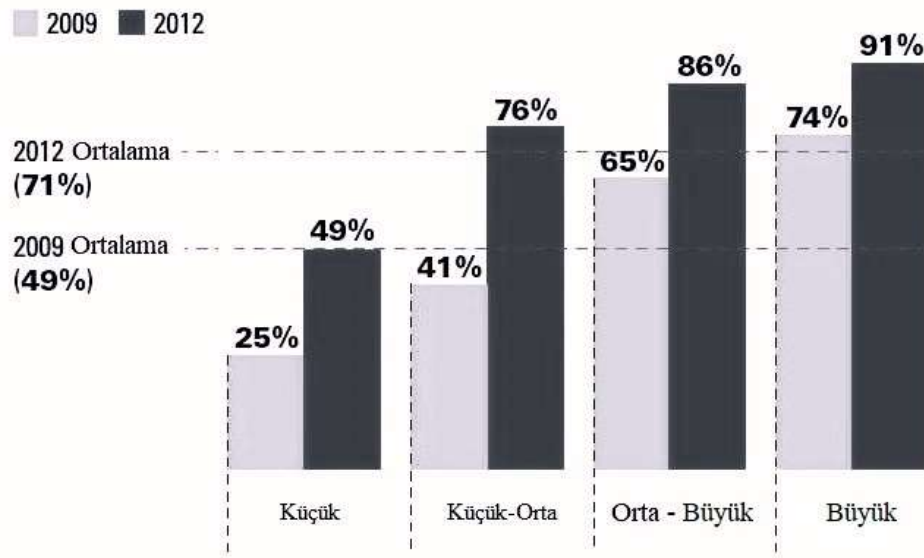
- 3.YBM düzey, inşaat sektöründeki inşaat sektöründeki gelişmiş modeller için ideal ve arzu edilen düzeydir. 2.YBM düzeyinde gerçekleşen tüm aşamalar en üst seviyeye ulaşmayı amaçlar. Bu düzeyde bilgi paylaşımların olacağı ve otomatik kontrollerin sağlanacağı düzeye ait modeller n-D olarak isimlendirilir (Khosrowshahi ve Arayıcı, 2012; Kulkarni ve Mhetar, 2017).

2.2.3. YBM'nin Yaygınlığı

YBM'ye uyum sağlayan ülkeler Şekil 2.8'de gösterilmektedir ve söz konusu ülkeler global olarak bu süreci teşvik etmekte olup YBM teknolojisine geçiş ve uyum sağlama sürecini hızlandırmak amacıyla büyük bir öneme sahiptir (Smart Market, 2012).



sıra Amerika Birleşik Devletleri'ndeki farklı düzeylerde birçok sektör oluşturulmuş YBM programları ve standartları ve YBM hedefleri yayınlamıştır. Örneğin, 2007 yılında, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Yapı Bilimleri Enstitüsü (NIBS) Ulusal Yapı Bilgi Modelleme Standardını (NBIMS-USTM) yayınlamıştır (Ahmed ve diğ., 2021). Amerika Birleşik Devletleri dışında, Avrupa'daki birçok ülke YBM uygulamalarına girişmiştir. Örneğin; Birleşik Krallık hükümeti 2016 yılına kadar tüm hükümet projelerinde YBM'nin kullanılmasını zorunlu hale gelmiştir (Aibinu ve Venkatesh, 2014). Kamu sektöründe YBM kullanmaya başlaması Asya'ya daha sonra gelmesine rağmen Asya bölgelerinde hızla gelişmiştir. Örneğin, Korea ve Japonya kendi YBM komitelerini kurmuş ve birkaç YBM kılavuzu yayınlamıştır. Ayrıca 2012 yılında Çin hükümeti 12.Ulusal Beş Yıllık Planına YBM ile ilgili konuları da eklemiştir (Cheng ve Lu, 2015). Şekil 2.9'de McGraw Hill Construction tarafından 2009 ve 2012 yıllarındaki dünyada YBM kullanımı paydaşlar açısından yüzdelik dilimlerle ifade edilmiştir.



Şekil 2.9: Dünyada YBM Kullanımı (Smart Market, 2012).

Şekil 2.9'da 2009 ve 2012 yılları arasında yapılan araştırmanın sonuçlarına göre: Büyük şirketlerin %74'ü 2009 yılında YBM'yi projelerinde kullanmaya başlamıştır. 2012 yılında bu oran %91'e kadar ulaşmıştır. Orta-Büyük şirketlerin %65'i 2009 yılında ve %86'ı 2012 yılında YBM'yi projelerinde kullanmaya başlamıştır. Küçük-Orta şirketler de kullanım oranları 2009 yılında %41 olan grup 2012 yılında %76 olmuştur. Küçük şirketlerde ise kullanım oranı 2009'den 2012 iki katına çıkmasına rağmen yalnızca %49'u 2012'de YBM'yi projelerinde kullanmaya başlamıştır (Smart Market, 2012).

Tablo 2-1 gösterdiği gibi 2014 yılında McGraw Hill Construction tarafından gerçekleştirilen araştırmaya göre, 2013 ve 2015 yılları arasında YBM uygulama oranları incelendiğinde, en yüksek orana sahip ülkenin ABD olduğu tespit edilmiştir. ABD'yi takip eden diğer ülkeler sırasıyla Brezilya, Almanya, Avustralya'dır.

Tablo 2-1: Ülkelerde YBM uygulamaların oranı (Smart Market, 2014).

Ülke	ABD	Brezilya	Almanya	Avustralya
Yıl: 2013	%55	%24	%37	%33
Yıl: 2015	%79	%73	%72	%71

2.2.3.1. Dünyada YBM Kullanımı

1. Amerika kıtası:

- Amerika Birleşik Devletleri: YBM teknolojisini ilk kullanan ülkelerden biri olduğu için YBM ürünlerinin en büyük üreticileri ve tüketicileri arasında yer almaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki kamu sektörü, ulusal kuruluşlar ve devlet üniversiteleri dâhil olmak üzere çeşitli seviyelerde YBM uygulamasına katkıda bulunmaktadır. Bu, YBM uygulanmasında Amerika Birleşik Devletleri'ni diğer ülkelerden ayıran en önemli farktır (Zhou ve diğ., 2019).

2. Avrupa kıtası:

- Birleşik Krallık: Mayıs 2011 yılında, Birleşik Krallık hükümeti tarafından tüm merkezi devlet dairelerinin 2016 yılına kadar 2. seviye YBM benimsenmesi talep edilmiştir. 2011 yılında YBM Görev Grubu, bu hedefi gerçekleştirmek ve YBM uygulamasında kamu sektörü yeteneğini güçlendirmek amacıyla kurulmuş olup, Birleşik Krallık endüstri, hükümet, kamu, profesyonel kurumlar ve akademiden gelen uzmanlığı bir araya getirmeyi hedeflemiştir (Jiang ve diğ., 2022).
- Norveç: 2010 yılında Norveç hükümeti YBM'in benimsenmesine olan bağlılığını belirtmiş ve Norveç'teki birçok kamu sektörü organı hükümeti takip etmek için YBM programları başlatmıştır. Örneğin, Norveç Savunma Malzemesi Ajansı, hükümetin açıklamasından sonra üç YBM pilot projesi yürütmeye başlamıştır (Cheng ve Lu, 2015).

- İsveç: YBM, İsveç inşaat sektöründe kullanılmaktadır. İsveç Ulaştırma İdaresi tarafından 2013 yılında sonraki yıllarda kullanacaklarını belirtmiştir (Smith, 2014).

3. Asya kıtası:

- Kore: Son yıllarda Kore hükümet ve kamu kuruluşları tarafından yürütülen tasarım ve inşaat projelerinde YBM kullanımı hızla artılmıştır. Yaklaşık 10 yıldır Kore'de kamu inşaat projeleri ve özel inşaat projeleri de YBM aktif olarak kullanılıyordu. Ocak 2012 yılında, Kara Ulaştırması ve Denizcilik İşleri Kore Bakanlığı tarafından YBM uygulama yol haritası yayınlanmıştır. Ayrıca 2011 yılında 2012-2015 döneminde 4D YBM'nin tüm büyük inşaat projelerinde kullanılacağı belirtilmiştir (Lee ve diğ., 2020).
- Japonya: 2016 yılında Japonya'da hükümet sektörleri ve özel inşaat sektörü tarafından YBM'in faaliyetleri esas olarak benimsenmiştir. Proje ve inşaat aşamalarıyla ilgili olan profesyonellerin yaklaşık 50'sini kapsayan bir düzeyde YBM uygulaması kaydedilmiştir (Sampaio, 2021). Ayrıca, ülke genelindeki üniversitelerde ve teknik eğitim kurumlarında YBM odaklı müfredatları yaygınlaşması, sektördeki farkındalığın artmasına katkı sağlamıştır.
- Çin: Yeni bir başlangıç olarak, Çin YBM teknolojisinde hızlı bir şekilde yetişmektedir. 2012 yılında Çin hükümeti tarafından YBM konularını ve bir YBM çerçevesini içeren 12. Ulusal Beş Yıllık Planı yayınlanmıştır. Ayrıca inşaat endüstrisi YBM 'in benimsenmesinde güçlü bir destek gösterilmiştir. Çin hükümeti, 2015- 2020 yıllarında YBM'nin kullanımını yayma hedefini belirlemiş ve işletmeleri çakışma analizi, 4D proje yönetimi dâhil olmak üzere farklı uygulamalar için YBM kullanmaya teşvik etmiştir (Zhou ve diğ., 2019).

4. Avustralya kıtası:

- Avustralya: 2012 yılında Avustralya, Ulusal YBM girişimi raporunda birkaç ulusal YBM kabul hedefi belirtmiştir. Rapordaki üç ana öneri şunlardır: İlk öneri, 1 Temmuz 2016 tarihine kadar tüm Avustralya Hükümeti tedarikleri için tam 3 boyutlu işbirlikçi YBM gerekliliği, ikinci öneri tam 3 boyutlu açık YBM kullanılmak ve son öneri ise Ulusal YBM Girişimi Planının uygulanmasını gerektiren Avustralya eyaletlerinin ve bölgelerinin teşvik edilmesidir (Smith, 2014; Cheng ve Lu, 2015).

2.2.3.2. Türkiye'de YBM Kullanımı

Dünyada birçok gelişmiş ülkede, YBM kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve bu alanda kılavuzlar ile standartlar geliştirilmektedir. Kamu kurumları da bu konuda teşvikler uygulayarak YBM in benimsenmesine destek olmaktadır. Son yıllarda Türkiye'de inşaat sektörü önemli ilerleme kaydetmesine rağmen inşaat yönetimi ve bilgi teknolojilerinden etkili bir şekilde faydalanmamıştır. Daha fazla ilerleme kaydetmek ve küresel hedeflere ulaşmak için YBM kullanımı önem taşımaktadır (Tekin ve Atabay, 2019).

Şahinkaya ve diğ., (2022) yılında yapılan araştırmadan elde edilen verilere göre: Türkiye'deki YBM sistemini şirketlerin %67'si henüz yeterince bilmemekte ve %50'i henüz kullanmamaktadır. Ayrıca araştırmaya katılanların %70'i ise YBM sisteminin nasıl kullanıldığını bilmemektedir. Araştırmaya katılanların %41'i YBM'nin proje maliyetlerini azaltacağını düşünmüş ve %58'i YBM ile inşaat aşamasından önce olası sorunları belirlemenin mümkün olduğunu teyit etmiştir. Söz konusu araştırmaya göre Türkiye'de YBM sisteminin kullanımı ve farkındalığının emekleme aşamasında olduğunu göstermektedir.

Ozorhon ve Karahan (2016) yaptıkları araştırmadaki anket incelendiğinde Türkiye Mühendisler Birliği, Türk Müşavir Mühendisler ve Mimarlar Birliği ve Türkiye İnşaat Sanayicileri İşveren Sendikası üyelerine gönderilmiştir. Gönderilen 282 anket formuna 96 katılımcı doğru yanıtlar vermiştir. Toplanan veriler, YBM uygulamasının önemini değerlendirip istatistiksel analizin sonuçlarına göre en önemli üç faktörün: (1) tecrübeli personel varlığı, (2) etkili liderlik olduğu ve (3) teknolojinin ve bilgilerin mevcudiyeti olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca YBM'nin Türk inşaat sektöründeki algısı ve uygulamaları hakkında önemli bilgiler sağlayacak inşaat işiyle ilgili derneklerin üyelerine de anket uygulanmıştır.

2.2.4. YBM'nin Olumlu ve Olumsuz Yönleri

YBM teknolojisinin bilişenlerinin sektöre sağladığı olumlu getiriler arasında şunlar bulunmaktadır: Proje işlemlerinin hızlandırılması, farklı aşamalarında erişilebilir daha etkili koordinasyon ve kontrol olması, projelerin gelişmiş görselleştirilmesi, entegre enerji analizi, çatışma tespiti, bulut tabanlı iş birliği imkânı, veri toplama ve zenginleştirme yetenekleri ve nesne odaklı ve akıllı modeller ile toplam maliyetlerin azaltılması yer almaktadır (Tomek ve Matějka, 2014).

YBM'ye diğer açıdan bakıldığında, riskleri ve eksiklikler gibi olumsuzluklar incelendiğinde standardizasyon ve yasal sözleşmeye bağlı riskler ve nitelikli personel eksikliği

tespit edilmiştir. Ayrıca birlikte çalışabilirlik eksikliği hâlâ bir sorundur (Azhar ve diğ., 2012). Tablo 2-2 teknoloji ve süreçle ilgili riskler kategorize edilerek sınıflandırılmıştır.

Tablo 2-2: Teknoloji ve süreçle ilgili riskler (Azhar ve diğ., 2012).

	Teknoloji ile İlgili Riskler	Süreçle İlgili Riskler
Riskler	YBM standardizasyon eksikliği	Yasal riskleri
	Format eksikliği	Sözleşme riskleri
	Birlikte çalışabilirlik	Organizasyonel riskler
	Nitelikli personel eksikliği	İşbirliği eksikliği
Etkiler	Tutarsızlıklar	Çatışmalar
Çözüm	İşbirliği çalışmalarını yönetmek için entegre proje teslimini benimsenmelidir	

2.2.5. Nesne Tabanlı Parametrik Modelleme

Dünyada, YBM ve parametrik modelleme vasıtasıyla inşaat sektörünün süreçleri ve teknolojileri değişme fırsatlarını sunar. Bu değişikliği de gerçekleştirmek için kapsamlı bilgi tabanı ve derin beceri ihtiyaç duyulur. Parametrik modelleme için kullanılan parametreler sözlükte incelendiğinde, sistemin özelliklerini tanımlanır (Haliburton ve diğ., 2011).

Bilgisayar destekli tasarım sistemlerini kullanıcılar tarafından yapılan tasarımlarda, elemanların detayları sadece 2D tasarımlar çizgisel olarak tanımlanması görülmektedir. Nesne tabanlı parametrik modellemelerle bu elemanların parametreleri birbirine bağlantı sağlanmasına yardım etmektedir. Örneğin; geleneksel modellerde pencere veya kapı sadece en boy kalınlık olarak görülmektedir. Tam aksine nesne tabanlı parametrik modellemelerde bir pencere incelendiğinde, pencere malzemesi, özellikleri, yanındaki duvarla olan ilişkisi yangına karşı dayanıklılığı ve yalıtım durumu, fiyatı vb. içermektedir (Yang ve diğ., 2017).

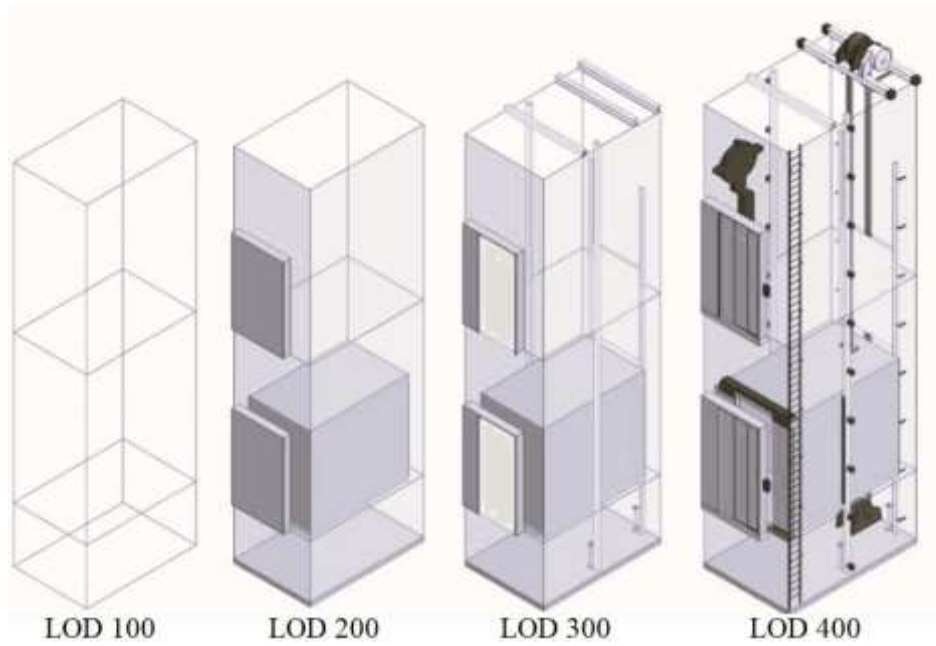
YBM ve parametrik modelleme vasıtasıyla tasarlanan yapılar sanal ortamda inşa edildiği sayısından tasarım esnasında projenin herhangi bir değişiklik durumuna karşılaştığında (boyutları değişikliği, malzeme değişikliği, açılış yön değişikliği, fiyat değişikliği gibi) tüm model ile ilgili olan unsurlar teknik çizimler ve çizelgeler gibi manuel değişiklik yapma ihtiyaç olmadan otomatik değişiklik gerçekleşir (Kaçmaz, 2019).

2.2.6. YBM - Model Geliştirme Seviyesi

YBM modelleri farklı aşamalarda farklı bilgilerden oluşur. Bu nedenle, Amerikan Mimarlar Enstitüsü tarafından her aşamadaki detaylar ve minimum gereksinimler hakkında bir standart yayınlanmıştır. "The Model Level of Development (LOD)" tanımlayan terimi, LOD 100'den LOD500'e kadar altı seviyeyi sınıflandırmaktadır. Ayrıca seviyeler kümülatif olarak toplanır. LOD tasarımın ilerleme süreci, Şekil 2.10'da bir asansör örneği ile gösterilmektedir. Bu örnek, YBM forumun spesifikasyonuna göre modellenmiştir (Bloomberg ve diğ., 2012).

LOD 100 (Kavramsal Model) seviyesinde asansörün malzemesi, boyutları ve konumu gösterilmektedir. LOD 200 (Yaklaşık Geometri) seviyesinde asansörün plan sınırları ve iniş ve biniş yolları gösterilmektedir. LOD 300 (Detaylı Geometri) seviyesinde asansörün ilgili herhangi bir ekipman ve yapısal destek modellenmektedir. LOD 400 (Detaylandırma) seviyesinde tüm bağlantılar, destekler, çerçeveleme ve diğer tamamlayıcı bileşenler modellenmektedir. Son olarak, LOD 500 (Uygulama Projesi) seviyesinde, model öğeleri boyut, şekil, konum, miktar ve yönelim açısından doğrulanmış projenin bir temsildir (Abualdenien ve Borrmann, 2022).

Tablo 2-3'te, gereksinimler, analiz, çizgileme, maliyet, diğer özellikler ve tasarım aşaması dâhil olmak üzere ana başlıklara göre LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400 ve LOD 500 seviyelerinin sıralamasıyla ayrıntıları gösterilmektedir (Bloomberg ve diğ., 2012).



Şekil 2.10: LOD ilerleme süreci, asansör örneği (Abualdenien ve Borrmann, 2022).

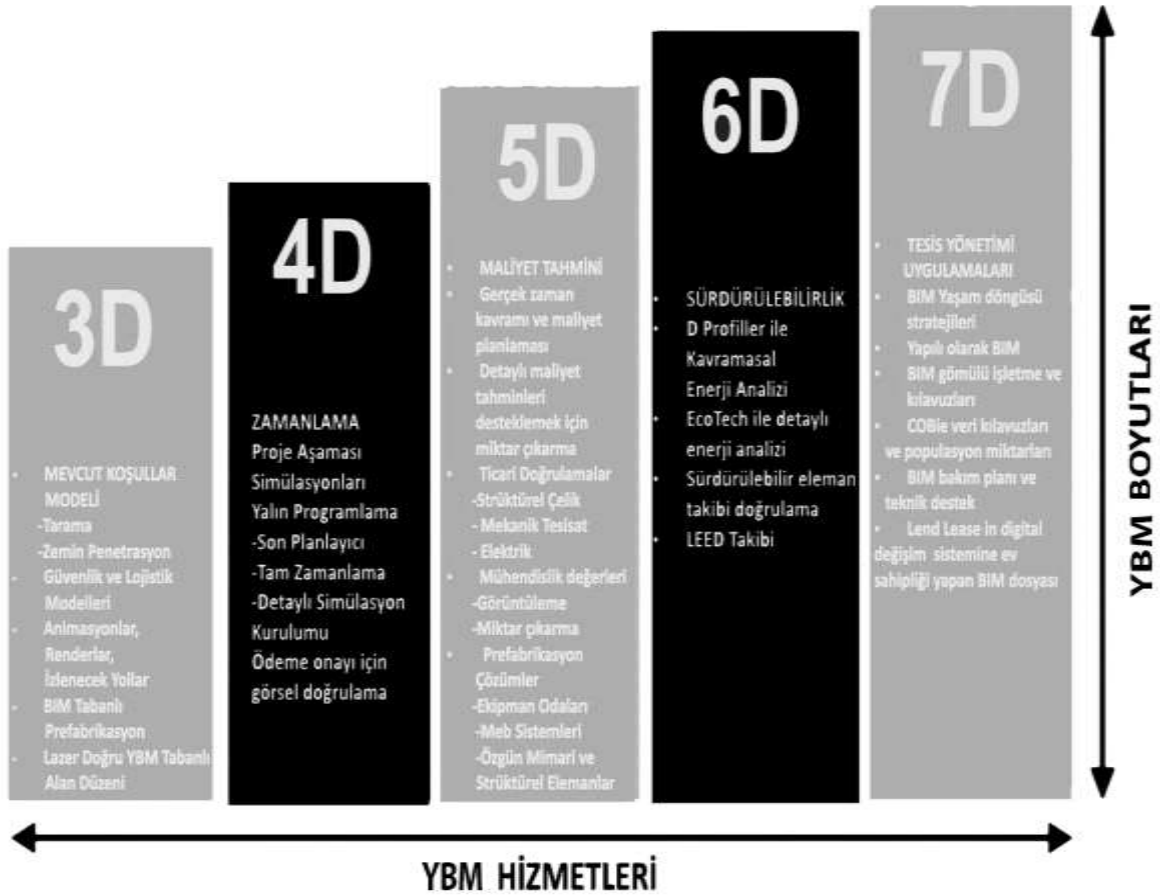
Tablo 2-3: LOD hakkında detaylı bilgiler (Bloomberg ve diğ., 2012).

	LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
Gereksinimler	3D parametrik elemanları: alan, yükseklik, hacim, konum ve yönler.	Genel elemanlar: miktarlar, boyutlar, şekiller, konum ve yönler.	Montaj elemanları: miktarlar, boyutlar, şekiller, konum ve yönler.	Doğru model: tüm inşaat detaylarını malzemeler, notlar, renkler veya diğer özellikler içerir.	As built Proje
Analiz	Alan ve hacme göre model analiz.	Proje performansına göre analizi	Proje performansına göre analizi	Yapısal analiz, enerji analizi, çakışma tespiti ve maliyet analizi.	Mock-up
Çizelgeme	Özel çizelgeme	Detaylı çizelgeme	Daha Detaylı çizelgeme	Tam çizelgeme	Modeli görselleştirme ve zaman ile bağlama.
Maliyet	Alan ve hacme göre model maliyet tahmini.	Hacim ve miktara göre model maliyet tahmini.	Detaylı bilgilere göre model maliyet tahmini.	Gerçek miktara göre model maliyet tahmini.	Maliyet entegre model.
Diğer özellikler	Site analizi, topografik bilgiler ve yapı fonksiyonu	Modelin kalınlığa ve genişliğe göre miktar hesabı.	Sanal simülasyon, çizimleri, raporlar ve grafikler malzeme miktar.	2D ve 3D çizimler, Çatışma tespiti.	3D koordinasyon
Tasarım aşaması	Ön tasarım: kavramsal tasarım, kütle ve konsept.	Şematik tasarım: yaklaşık geometri	Geliştirilmiş tasarım: detaylı geometri.	Nihai Model-İmalat: yapı tamamlanması ve Teklif edilen elemanların temsili.	Projenin bakımı ve As-built modeli.

2.2.7. YBM Bilişenleri

YBM, modelde LOD den duyulan gerekli ihtiyaçları gerçekleştirdiği zamanda yüksek hizmeti sunar. YBM ile yapılan modellere eklenen bilgiler ve özellikler durumuna bağlı olarak çok boyutluluk 3D' den başlayıp 7D'ye kadar devam etmektedir. Bir yapı projesi yaşam döngüsünde nD modeline bakıldığında YBM'in bir uzantısı olarak görülmektedir. Bu bilgiler arasında metraj ve maliyet, planlama ve çizelgeleme, enerji tüketimi, erişilebilirlik ve sürdürülebilirlik, termal ve diğer bilgiler bulunur (Ershadi ve diğ., 2021; Doukari ve diğ., 2023).

YBM, bir projeyi temsil eden boyutların sıralamalarına göre 2D, 3D modeli, 4D zamanlama ve çizelgeleme, 5D maliyet tahmini, 6D sürdürülebilirlik ve enerji, 7D tesis yönetimi, nD gibi herhangi birini veya tümünü içerebilir ve kullanıcıların bir projenin karar verme süreci esnasında belirsizliklerin azaltılmasına yardım etmekle projenin bütün işlem aynı ortamda görmesini ve simüle etmesini sağlar (Kamardeen, 2010). Şekil 2.11'de gösterildiği gibi YBM boyutları özetlenmiştir.



Şekil 2.11: YBM boyutları (Rifai ve diğ.,2022).

2.2.7.1. 3D Model

3D model bir ortamda tasarım ve planlama yapmak sürecin netliğini artırır. Bunun için uzay ilişkileri ve izometriden tahmini miktarlara kadar değişen grafiksel ve grafiksel olmayan bilgilerin entegrasyonunu ve görselleştirilmesini gerekir. 3D modeldeki LOD önemli bir faktörlerden biridir. Malzeme özellikleri, proje parametreleri, aile parametreleri, bileşen özellikleri, birim maliyetleri ve tedarikçilerle ilgili ayrıntılar modelde belirtilmesi gerekir. Geleneksel 2D modellerde görülemeyen geometrik (şekil ve boyut), topografik (uzay), yapısal ve ek bilgiler gibi anlamsal veriler olarak tasarımcılara göstermesini yardımcı olur. Bu, tasarım belgeleri için hataları ortadan kaldıran ve projelerin kalite standartlarına uygunluğunu artıran bir tür kalite güvencesidir. Daha fazla gelişme, değişiklik ve yıkım gibi güncellemeler daha organize bir şekilde yönetilebilir (Ershadi ve diğ., 2021).

2.2.7.2. 4D Zamanlama ve Çizelgeleme

Planlama aşamasında inşaat faaliyetlerini planlamak için kullanılan 4D modelleme, planlama süreci, zamanlama ve zamana entegre edilmiş faaliyetlerle ilgilidir. Ayrıca YBM tabanlı bir entegrasyon sayılır. Günümüz inşaat dünyasında YBM'yi uygulayan şirketler inşaat veya izleme dönemlerinde farklı zamanlama yöntemleri (Bar grafikleri, Gantt grafikleri veya Kritik Yol Yöntemi (CPM) gibi hesaplama işlemlerinde kullanılmaktadır. 3D modele zaman eklenerek 4D modeli oluşturulur. 4D modellerin temel istihdamın amacı zaman tasarrufu sağlamaktır. 4D modelinden oluşturulan proje takvimi ve farklı ilerleme raporu sayısından inşaatı daha etkili bir şekilde izleme ve kontrol etme yeteneğine katkı verir ve aynı zamanda şantiyenin kaynaklarını ve lojistiğini de yönetir (Brito ve Ferreira, 2015).

2.2.7.3. 5D Maliyet Tahmini

5D model, maliyet verilerinin YBM modeline entegre edilmesidir. Maliyet tahmini, inşaat projeleri için metrajın yanı sıra ana finansal parametredir. Ön tasarım aşamalarında metrajı hesaplaması ve maliyet tahminleri yapılması gereken en önemli adımlardan biridir. İnşaat başlamadan önce maliyetin bütçenin üzerinde olması, tasarım değiştirilme ve revizyonlar yapılabilme imkânı sağlanmasına yardımcı olur ve ayrıntılı hesaplamalar neredeyse anında zaman ve çaba tasarrufu sağlar. Burada YBM süreci oldukça avantajlıdır. 5D modelin miktar bilgisi ve mimari bilgilerine dayanarak bütçelemenin doğruluğunu artırabilen YBM 3D sistemi tahmin edilebilir ve maliyet yönetilebilir. Tüm gerekli veriler modele işlenirse doğru hesaplamalar üretir ve inşaat planı oluşturma adımında, doğru çizimin bina bilgileri ve hacim bilgileri ile inşaat ilerleme yönünün belirlenmesinde kesinlik sağlanabilir (Jeong, 2022).

2.2.7.4. 6D Sürdürülebilirlik

6D modelin amacı, çevre kirliliği ve binanın sürdürülebilirliği ile ilişkili olan enerji verimliliği ve simülasyon ile ilgili yönlerdir. Bunun yanı sıra malzemelerin yaşam döngüsü sürecinde ilgili hususlar göz önünde bulundurulmaktadır (Charef ve diğ., 2018). Bu model sayesinde binanın gerçek davranışı simüle edilmesine ve binanın tasarımı hakkında karar verimsine yardımcı olur (Mellado ve Lou, 2020). Ayrıca sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği artırmakla binanın kullanımında daha fazla kalite sağlar ve malzeme tüketiminin azaltılmasına ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılmasına yardımcı olur (Zhan ve diğ., 2021). YBM araçları " IES-VE'nin ERGON " modülü gibi gerçek operasyonel veriler ile modelleme yapılır ve entegre süreçlerini kullanarak LEED standardının gereklilikleri ışığında, azalan su tüketimi gibi çeşitli yönlerden analiz edilebilir ve değerlendirilebilir. YBM'in inşaatı iyileştirmeye nasıl yardımcı olabileceğine odaklanan çok sayıda araştırma olmasına rağmen sürdürülebilirlik alanlarında YBM sürecini araştıran sınırlı çalışma bulunmaktadır (Wei ve diğ., 2023).

2.2.7.5. 7D Tesis Yönetimi

7D model, sürdürülebilir tasarımlara ve inşaat projelerine yeni ve modern bir strateji benimsemek amacıyla oluşturulmuştur (Sampaio ve diğ., 2023). Bu modelle, projenin istihdam döneminde projeye hizmet edip işletme ve bakım aşamalarına geçirir. YBM ile entegre ederek tesis yönetiminin dört zorluğu ortaya çıkmıştır:

- Sürdürülebilir operasyonlar için gerekli kritik bilgileri tanımlamak.
- YBM modeli ve diğer tesis yönetim araçları arasında bilgi transferini yönetmek.
- Modeli oluşturmak için performans düzeyini yönetmek.
- Yapı dokümantasyonunun eksik olduğu durumlarda belirsizliğe dikkate çekmek.

Bu zorlukların çözümünü bulmak için gerekli süre içinde verileri toplayıp analiz etmek ve YBM modelini tutarlı bir şekilde güncellenmelidir. Proje yönetimi ve YBM birbirlerine bağlıdır. Ana amaçları genel maliyeti azaltarak ve zamandan tasarruf ederek verimliliği artırmaktır. Proje yönetimi ile YBM'nin entegre edildiğinde tüm proje paydaşları tarafından paylaşılan ortak bir ağa bilgi toplayarak istenen amacı sağlar. Ayrıca bina yaşam döngüsü yönetimi bilgi toplamayı, görselleştirmeyi ve simülasyonu kolaylaştırır (McArthur, 2015). Tablo 2-4'te proje yönetimi ve YBM ile LOD hakkında bir özet bulunmaktadır.

Tablo 2-4: Proje yönetimi ve YBM ile LOD ilişkisi (Van Berlo ve Bomhof, 2014).

Proje Aşamalar	3D	4D	5D	6D	7D	LOD
Kavramsal Model	Veri toplamak ve bilgi devretmek	Veri toplamak ve bilgi devretmek	Veri toplamak ve bilgi devretmek	Veri toplamak ve bilgi devretmek	Veri toplamak ve bilgi devretmek	LOD 100
Yaklaşık Geometri	Seçenekler analizi	Aşamalar analizi ve planlama analizi	Maliyet analizi	Uygun malzeme soruşturma		LOD 200
Detaylı Geometri	Üç boyutlu model oluşturmak ve alan koordinasyon sağlamak	Bağlantı süresi ve çizelgeme	Maliyet verileri bağlanmak ve Maliyet Tahmin çıkarılmak	Sürdürülebilirlik analizi ve zorluluklar tanımlamak	Güvenlik planı hazırlamak	LOD 300
Detaylandırma	Teknik çizimler	Planlama, çakışma tespiti ve proje ilerleme izlemesi	Maliyet Tahmin ve yaklaşık keşif Hazırlaması	Alan yönetmek, atıklar oranı azaltılmak ve dönüştürülmüş malzemeler kullanmak	Yapı bakımı sağlamak ve kontrol etmek	LOD 400
Uygulama projesi ve tesis yönetmek					Bakım süresi yönetmek	LOD 500

2.3. PROJENİN MALİYET YÖNETİMİ

İnşaat projelerinde başarının temel kriterleri arasında maliyet yönetimi önemli bir rol oynar. Proje maliyet yönetimi, planlama, maliyet belirleme, analiz, kontrol etme ve değerlendirme ile ilgilenen müteahhitlerin ve mühendislerin proje maliyetini yönetmek için kullandıkları bir yöntemdir (Miri ve Khaksefidi, 2015).

İnşaat projesindeki maliyet yönetimi uygulamaları incelendiğinde, nakit akışı tahmini, ihale bütçeleme ve başlangıç maliyet planlama en etkili maliyet yönetimi teknikleri olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca inşaat projelerinin maliyet yönetimini etkileyen en önemli faktörler de uygunsuz yönetim, kaynakların verimsiz dağıtımı, malzemelerin plansız kullanımı, karmaşık ödeme mekanizmaları, şantiyelerde malzeme hırsızlığı ve inşaat işleri sırasında varyasyon olarak gösterilmektedir. Bu nedenle projenin yaşam döngüsü boyunca kontrol edilmelidir (Albtoush ve diğ., 2020).

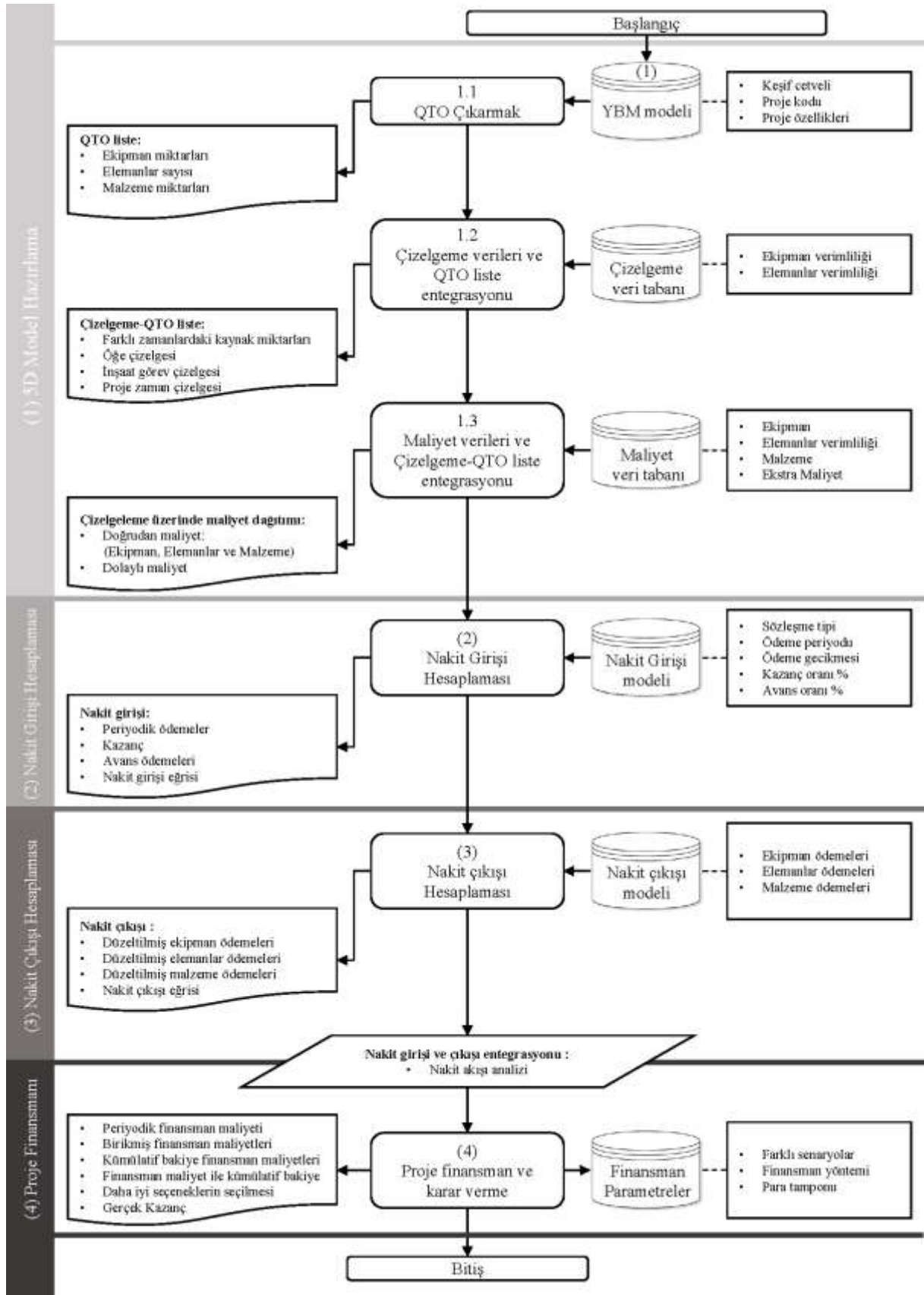
Her proje için inşaat yapı şirketleri tarafından bir bütçe miktarı önerilir ve müteahhitler bu projeyi kazandıktan sonra ihaledeki bütçeye göre iş kalemlerini uygulanmak zorundadır. Proje zamanlamasının, projenin gerçek maliyeti ve tahmini maliyeti göz önünde bulundurularak yapılması gereklidir. Dolayısıyla, malzeme masraflarının, amaçlanan kazanç oranını karşılayacak pay masrafı için bir tutar miktarı sunmaları beklenmektedir. Bunun yanı sıra maliyete zaman, kalite gibi uygun özellikleri eklemeye de ihtiyaç vardır. Yeni planlama yöntemleri olmasına rağmen projenin her bir bileşenindeki en küçük değişiklikler bile maliyeti etkileyecektir (Miri ve Khaksefidi, 2015).

Proje maliyet yönetimi, bir model oluşturulması, bileşenlerin ve özelliklerinin tanımlanması, analiz, sonuçların kontrolü ve gruplandırma adımlarından oluşur. Daha sonra, ulaşılan bilgilerden faydalanarak her bir tanımlanan bileşen maliyeti ayrı ayrı hesaplanır. Benzer değerler elde etmek amacıyla özellikler ve kalite dikkate alınarak toplam maliyete eklenmesi gerekir. Genellikle, Proje ihaleye sunulmadan önceki nihai maliyet raporu hazırlanması ve gerekli bütçenin onaylanması için maliyet-fayda analizi yapılmalıdır. Nihai maliyet, rapor aracılığıyla tüm ödemeler ve belgeler karşılaştırıldıktan sonra proje maliyet parametreleri netleştirilmeye ve maliyet yönetimi uzmanlarının vereceği son kararlarına yardımcı olur. Diğer açıdan kapsamlı maliyet ise, bütçe ve bitirme maliyeti ile ilgili ayrıntıları kontrol ve takip edebilmek için çizelgeler, grafikler ve diyagramlar kullanılması gerekir (Potts ve Ankrah, 2013).

2.4. PROJENİN NAKİT AKIŞI

2.4.1. Nakit Akışı ve YBM

Günümüzde inşaat sektörü ekonomik krizin etkilerden çıkan zorluklarla devam etmesine rağmen gerçek finansman şirketleri proje finansmanı yönetimi ile ilgili uygulamalarını iyileştirmeye teşvik etmemektedir. Dolayısıyla projenin yüksek sermaye harcamaları ve pazardaki yüksek rekabet seviyesi ile inşaat şirketleri çok sayıda riski kabul etmek zorunda kalmaktadır (Purnus ve Bodea, 2016). İnşaat projelerinin ilk aşamalarında maliyet tahmininde doğruluğun önemi yaygın olarak vurgulanmıştır. Maliyet tahminine önem verilmesine rağmen projenin ilk dönemlerinde bilgi eksikliği nedeniyle sorunlar ortaya çıkabilir ve bir hata olduğunda belirlenmiş maliyet aşımına ve proje gecikmelerine yol açılmasına neden olabilir (Lee ve diğ., 2016). İnşaat projelerinde tahmini olarak belirlenmiş maliyet, nakit akışı yanlış yönetildiğinde, projenin yürütülmesinde çeşitli sorunlar ortaya çıkarabilir ve nakit akışı yönetiminin eksikliğinden harcamaların gerekli olandan daha az olması nedeniyle nihai teslim tarihinde ve proje ilerleme raporlarında büyük bir değişimle karşılaşılabilir (Elghaish ve diğ., 2021). YBM incelendiğinde söz konusu nakit akışının, uygun veri girişi (zaman ve maliyet) sağlayarak (5D) bir modeli oluşmaktadır. YBM tüm proje verilerini düzenlemedeki rolünü vurgulamaya yardımcı olurken bu verilere kullanıcılar inşaat projesinin fiziksel ve mekânsal yönleriyle kolayca ilişkilendirebilir (Olowa ve diğ., 2023). YBM, bir proje üzerinde hem geometrik hem de geometrik olmayan bilgiler içerir (Eastman ve diğ., 2018). Bu bilgilerden faydalanmakla proje sorumluları, müttehitler ve diğer paydaşlar için proje çizelgeleme ve maliyetle ilgili verileri entegre ederek proje nakit akışını hesaplamaları ve modeller geliştikçe tahmini düzenli olarak güncellemeleri sağlanır (Elghaish ve diğ., 2019). Kim ve Grobler (2013) tarafından yapılan çalışmada, metraj, zamanlama ve maliyet tahmini dâhil olmak üzere otomatik süreçlere dayalı nakit akışlarını analiz etmek için bir yöntem önermiştir. Otomatik süreç sayesinde, nakit akışlarını analiz ederken harcanan zaman ve çaba haftalardan dakikalar mertebesine azaltılabilir. Uygulama sürecinde, ödemelerin sipariş sırasında çözülmesi gerekirken ödemelerin bir kısmı ilişkili görevler tamamlandıktan sonra toplu olarak yapılır. Bununla birlikte, YBM'in 5D modelleriyle her model için farklı nakit akışı senaryolarını hızlı bir şekilde karşılaştırarak mühendislerin ve müteahhitlerin kararlarına ve teklif verme stratejilerine yardımcı olur. YBM'in 5D modeli çerçevesinin yapısı, proje düzeyinde nakit akışı ve finansal karar verme süreci açıklanmaktadır. Söz konusu süreç Şekil 2.12'de açıklandığı gibi, çerçeve dört aşamadan oluşmaktadır: 5D model hazırlama, nakit girişi hesaplaması, nakit çıkışı hesaplaması ve proje finansmanıdır (Cheng ve Lu 2015).



Şekil 2.12: Nakit akışı ve finansal karar verme için 5D YBM çerçeve (Cheng ve Lu, 2015).

2.4.2. Nakit Akışı ve İnşaat Yönetimi

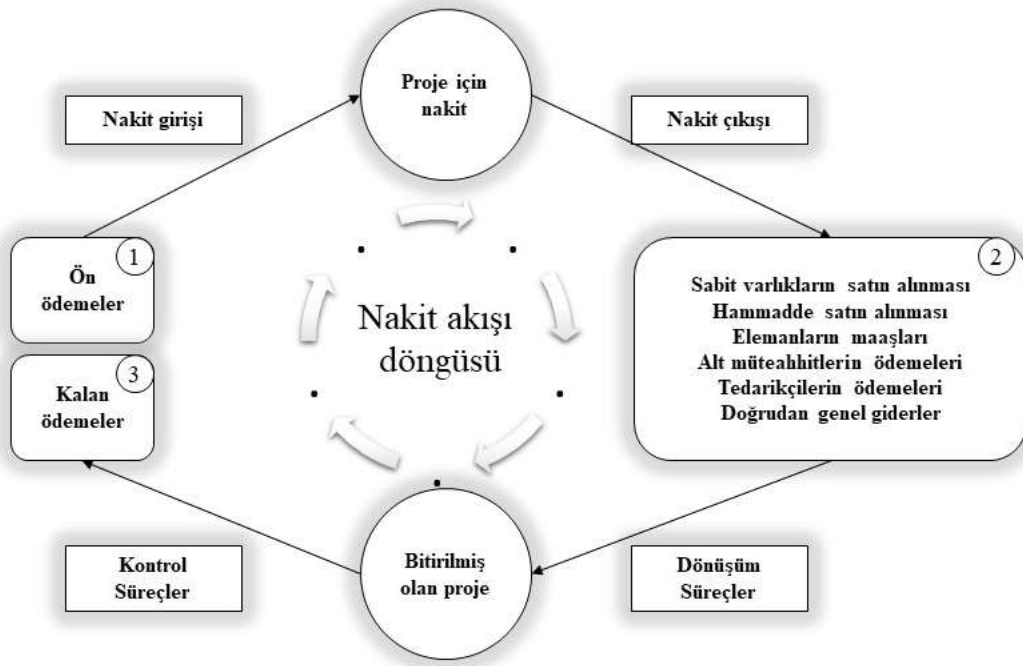
Genellikle nakit akışı tahminin doğruluğu, modelin doğruluğuna ve ayrıntı düzeyine bağlıdır. Modele, modellemede yeterli gelişim seviyeye ulaştıktan sonra gerekli malzemeler, insan gücü ve ekipman tahmini atanır. Sonrasında her bir faaliyetin süresini belirlemek için çalışanların ve ekipman verimliliğinin ayrıntılarını içeren zamanlama verileriyle entegre edilir. Aynı zamanda tahmini kaynak programları, harcamaların miktarı ve maliyetleri belirlemek amacıyla maliyet verileriyle malzeme, insan gücü ve ekipman maliyetlerini hesaba katmak için birleştirilmelidir. Denetim ve sigorta gibi diğer maliyetler ise maliyet programına ayrı olarak eklenir. YBM modele üretilen maliyet zamanlama dosyası eklenerek 5D modeli oluşturulabilir. Modelde, projelerin günlük tüketim beklentilerine dayanarak elde edilen miktarlarla nakit girişi veya çıkış ayrıntılarını temsil etme imkânı bulunmamaktadır. Bu nedenle nakit akışı değişikliklerini doğru bir şekilde analiz etmek için nakit girişi (gelir) ve nakit çıkış (ödeme) ayrıntılarına ihtiyaç vardır (Ranjbar ve diğ., 2021).

2.4.3. Nakit Girişi ve Çıkışı Arasındaki Farkları

Nakit akışı, belirli bir dönemde gelir ve giderler arasındaki farkıdır. Nakit girişi ve nakit çıkış terimleri, sırasıyla proje sahibinin periyodik ödemelerini ve proje maliyetlerini ifade eder (Zayed ve Liu 2014).

Müteahhitlere göre nakit girişi, projenin gerçekleştirilen faaliyetleri için proje mali sorumlusundan müteahhide gelen dönemlik ödemeler yoluyla yapılan ödemeyi ifade eder. Nakit çıkışı ise müteahhitten alt müteahhitlere ve tedarikçilere yapılan ödemeleri ifade eder (Omopariola ve diğ., 2020).

Şekil 2.13'te gösterildiği gibi bir inşaat projesinde nakit akışı, sözleşme süresi boyunca gerçekleşir. Projenin başlangıcında sözleşmeye göre müteahhitler, belirli bir ilerleme yüzdesinin tutturulması gerektiğinde gerçekleştirilecek yatırımları finanse etmek için ön ödeme ve borç kullanabilirler. Sabit varlıkların satın alınmasını, malzeme satın alınmasını ve elemanların maaşlarını, genel giderleri, tedarikçi ödemelerini karşılayacak para miktarını temin edebilmek için inşaat müteahhitler öz sermayelerini kullanırlar. Böylece kaynakların kombinasyonu bitirilmiş olan proje dönüştürülür. İş kalemleri kontrol döneminde proje sahibi, üzerinde anlaşmaya varılan bir değerlendirme yöntemine dayanarak tamamlanmış veya kısmen tamamlanmış inşaat işinin değeri hesaplanır ve müteahhide bitmiş iş kalemleri için belirli bir hakkediş ödemesi yapılır (Shash ve Qarra 2018).



Şekil 2.13: Nakit akışı döngüsü (Shash ve Qarra, 2018).

2.4.4. Nakit Girişi Hesaplaması

(Ranjbar ve diğ., 2021) tarafından sunulan denklemlere göre nakit akışının girişi aşağıdaki Denklem (2.1)'e göre hesaplanır:

$$CI = \sum_{n=1}^n (UP_n \times Q_n) \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'deki kısaltmalar: *CI*: Toplam nakit girişi; *n*: Tamamlanan birim sayısı; *UP_n*: İş kalemi *n* için birim fiyat; *Q_n*: İş kalemi *n* için miktar olarak ifade etmektedir.

2.4.5. Nakit Çıkış Hesaplaması

(Ranjbar ve diğ., 2021) tarafından sunulan denklemlere göre nakit akışının girişi aşağıdaki Denklem (2.2)'e göre hesaplanır:

$$CO = \sum_{m=1}^m (CO_{mEQ} + CO_{mMP} + CO_{mMT} + CO_{mID} + CO_{mSC}) \quad (2.2)$$

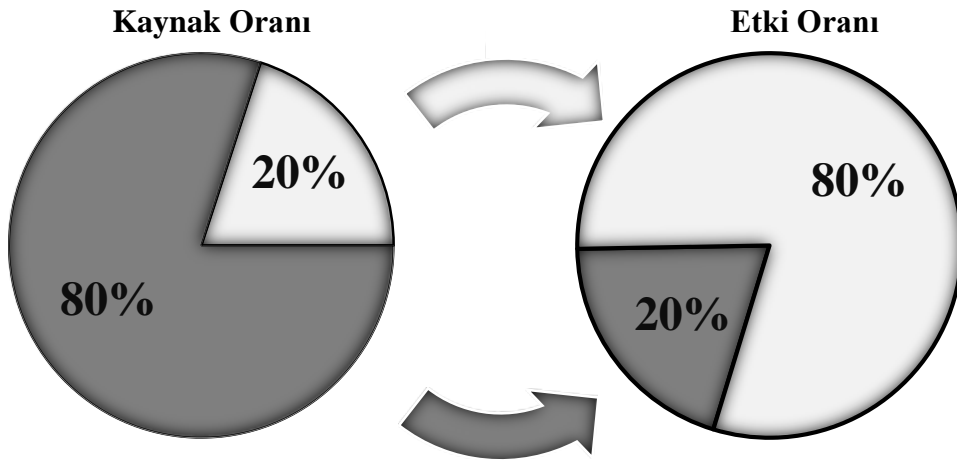
Denklem (2.2)'deki kısaltmalar: *CO*: Toplam maliyet; *CO_{mEQ}*: Ekipman maliyeti; *CO_{mMP}*: İşgücü maliyeti; *CO_{mMT}*: Malzeme maliyeti; *CO_{mID}*: Dolaylı maliyetler; *CO_{mSC}*: Alt müteahhitlerin maliyetleri; *m*: aylık süre olarak ifade etmektedir.

2.5. MALZEME VE NAKİT AKIŞININ ANALİZİ

Malzeme ve nakit akışı kontrolü proje yönetiminin en kritik unsurlarındandır. Bu kontrol, malzeme gerekli yapı malzemelerinin zamanında ve doğru miktarda tedarik edilmesini içerirken nakit akışı projedeki tüm finansal işlemlerin düzenli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini kapsar. Malzeme ve nakit akışını kontrol etmek için doğru analiz yöntemleri kullanılması gerekir. Yöntemlerden biri olan Pareto prensibidir.

2.5.1. Pareto Prensibi

Pareto analizi, sonuçlar üzerinde büyük bir etkiye sahip olan sınırlı sayıda girdi faktörünü tanımlayan istatistiksel bir karar verme tekniğidir. Bu teknik, girdilerin yalnızca %20'sinin çıktılarının %80'ini oluşturduğunu belirten Pareto prensibine dayanır ve diğer alanlarda "80/20 kuralı" olarak bilinir (Dunford ve diğ., 2014). Pareto analizinin sonuçları, Pareto grafiği aracılığıyla temsil edilerek büyük bir sorunu parçalarına ayırmaya ve hangi parçaların en önemli olduğunu belirlemeye yardımcı olur. Şekil 2.14'te birçok olay için etkilerin yaklaşık %80'inin nedenlerin %20'sinden kaynaklandığını belirtir (Fewings ve Henjeweale, 2019).



Şekil 2.14: Pareto prensibi "80/20 kuralı" (Fewings ve Henjeweale, 2019).

Stojcetovic ve diğ., (2015) tarafından yapılan çalışmada, projelerde Pareto prensibi uygulamalar hakkında örnek olarak şunlardır:

1. İş kalemlerinin %20'si tüm proje süresinin %80'ini alması.
2. İş kalemlerinin %20'si tüm proje bütçesinin %80'ini alması.
3. Proje ekibinin %20'si proje iş kalemlerin %80'i üzerinde çalışabilmesi.

Pareto analizi, bir sorunun çeşitli nedenlerini sıralayarak ve kaynakları en büyük etkiye sahip olanlarla ilgilenmeye tahsis ederek orantısız bir iyileştirme yapılabileceğini göstermektedir. İnşaatlarda çok sayıda nedenin sonucu olarak proje programında sorun yaşanabilmektedir. Gözlem ve veri toplama yoluyla 8 nedenin olduğu belirlenebilir. Pareto analizi sorunların %80'inin ilk 2 veya 3 nedenden kaynaklandığını gösterebilir. Proje yönetimi ekibi daha sonra kaynakları 8 nedenin tümü yerine bu 2 veya 3 nedene hedefleyerek yanıt planlayabilir (Irfanto, 2022). Pareto analizi, şu adımlardan oluşur: (Stojcetovic ve diğ., 2015)

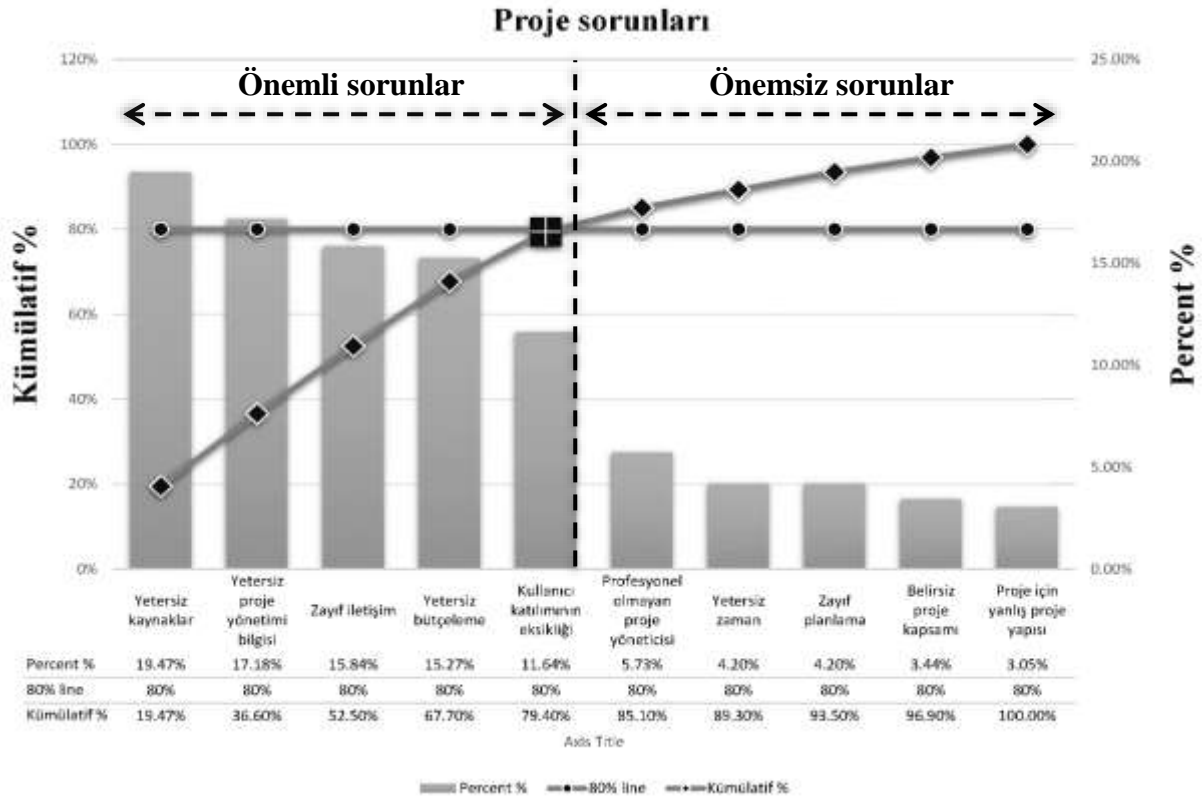
1. Projelerin uygulanması sırasında karşılaşılan sorunlara ilişkin verilerin toplanması.
2. Projelerin uygulanması sırasında sorunların tekrarlanma sıklığının belirlenmesi.
3. Her sorunun yüzde payının belirlenmesi.
4. Her sorunun kümülatif yüzdesinin belirlenmesi.
5. Pareto diyagramının oluşturulması.
6. Diyagramların analizi ve iyileştirme önlemlerinin önerilmesi.

Stojcetovic ve diğ., (2015) tarafından yapılan araştırma sonucunda inşaat şirketinin proje yönetimiyle ilgilenen çalışanlarıyla yapılan görüşmelere dayanarak Tablo 2-5'te proje uygulaması sırasında ortaya çıkan 10 sorunu sunulan veriler vurgulanmıştır.

Tablo 2-5: Projenin uygulama sırasında karşılaşılan sorunlar (Stojcetovic ve diğ., 2015)

Proje sorunları	Frequency	Percent %	Kümülatif %
Yetersiz kaynaklar	102	19.47	19.47
Yetersiz proje yönetimi bilgisi	90	17.18	36.6
Zayıf iletişim	83	15.84	52.5
Yetersiz bütçeleme	80	15.27	67.7
Kullanıcı katılımının eksikliği	61	11.64	79.4
Profesyonel olmayan proje yöneticisi	30	5.73	85.1
Yetersiz zaman	22	4.20	89.3
Zayıf planlama	22	4.20	93.5
Belirsiz proje kapsamı	18	3.44	96.9
Proje için yanlış proje yapısı	16	3.05	100.0
Toplam	524	100	

Sorunları tanımladıktan sonraki adım sıklığını hesaplamak veya her sorunun tekrarlanma sıklığını belirlemektir. Kaynakların yetersizliği çoğu zaman sorun olarak ortaya çıkar. Diğer açıdan proje için yanlış proje yapısı ise en nadir görülen sorunlardan biridir. Tablo 2-5'i doldurduktan sonraki adım Pareto diyagramının oluşturulmasıdır. X ekseninde projelerin uygulanması sırasında ortaya çıkan girdi öğelerini (sorunları) ve Y ekseninde bunların oluşma sıklığını girilir. Sağ taraftaki Y ekseninde, yüzde olarak ifade edilen öğelerin (sorunların) kümülatif değeri bulunur (Stojcetovic ve diğ., 2015).



Şekil 2.15: Proje sorunların Pareto diyagramı (Stojcetovic ve diğ., 2015).

Tablo 2-5'teki proje sorunları verileri Şekil 2.15'teki Pareto diyagramına aktarıldığında 5 sorunun tüm sorunların %80'ini oluşturduğu görülmektedir. Projeler genellikle zaman, bütçe ve kaynaklar açısından sınırlı olması sebebiyle projenin başarılı bir şekilde uygulanmasına büyük katkı sağlayabilmek için sunulan sonuçlar, proje kaynakların yönlendirilmesine ve proje yöneticisi ve tüm proje ekibi için önemli bilgiye sahip olmasına yardımcı olur. Sonuçlar proje yöneticisinin, projenin planlanan uygulamasını tehlikeye atabilecek en kritik faaliyetleri tahsis etmesini ve soruların çözmesini sağlar ve kaynaklar projenin başarısı üzerinde büyük etkisi olan temel öğelere odaklanana kadar proje yöneticisi, proje üzerinde büyük etkisi olmayan öğelerin analizi konusundaki yükünden kurtulacaktır (Stojcetovic ve diğ., 2015).

3. YÖNTEM

Tez çalışmasında analizler, hesaplamalar ve veri görselleştirme süreçleri için dört yazılım (Revit, MS Excel, MS Project ve Navisworks) kullanılmıştır. Kullanılan yazılı ve görsel malzemeler, teorik çalışmaların yanı sıra yapılan hesaplamalar ile desteklenmiştir.

- Yazılı malzemeler: Revit programında oluşturulan malzemelerin metraj tabloları, MS Project ile hazırlanan iş programından projenin iş ilerleme süresi, başlangıç ve bitiş tarihleri, toplam iş gün sayısı ve zaman çizelgeleri, MS Excel programı kullanılmasıyla oluşturulan raporlar, grafikler ve hazırlanan birim fiyat listeleri.
- Görsel malzemeler: Autocad programı ile oluşturulmuş mimari ve yapısal planlar, Revit programı ile elde edilen 3D model görselleri.

Navisworks programı, yazılı ve görsel malzemelerin entegrasyonunu sağlamak için kullanılmıştır. Bu sayede mali durum, harcamalar ve kaynak yönetimi görselleştirilmiş ve proje sürecinde nakit akışı ve zamana bağlı değişimler izlenmiştir. Şekil 3.1'deki tez çalışmasında kullanılan yazılımlar göstermektedir.



Şekil 3.1: Tez çalışmasında kullanılan yazılımları.

Tez çalışmasında, malzeme ve nakit akışının izlenmesi ve yönetilmesinde YBM'nin etkinliğini değerlendirmek amacıyla, finansal kesintiler ve maliyet aşımı yaşayan bir inşaat projesi olan Mustafa Marawi Okulu, Suriye'nin Halep ilçesinde ele alınmıştır.

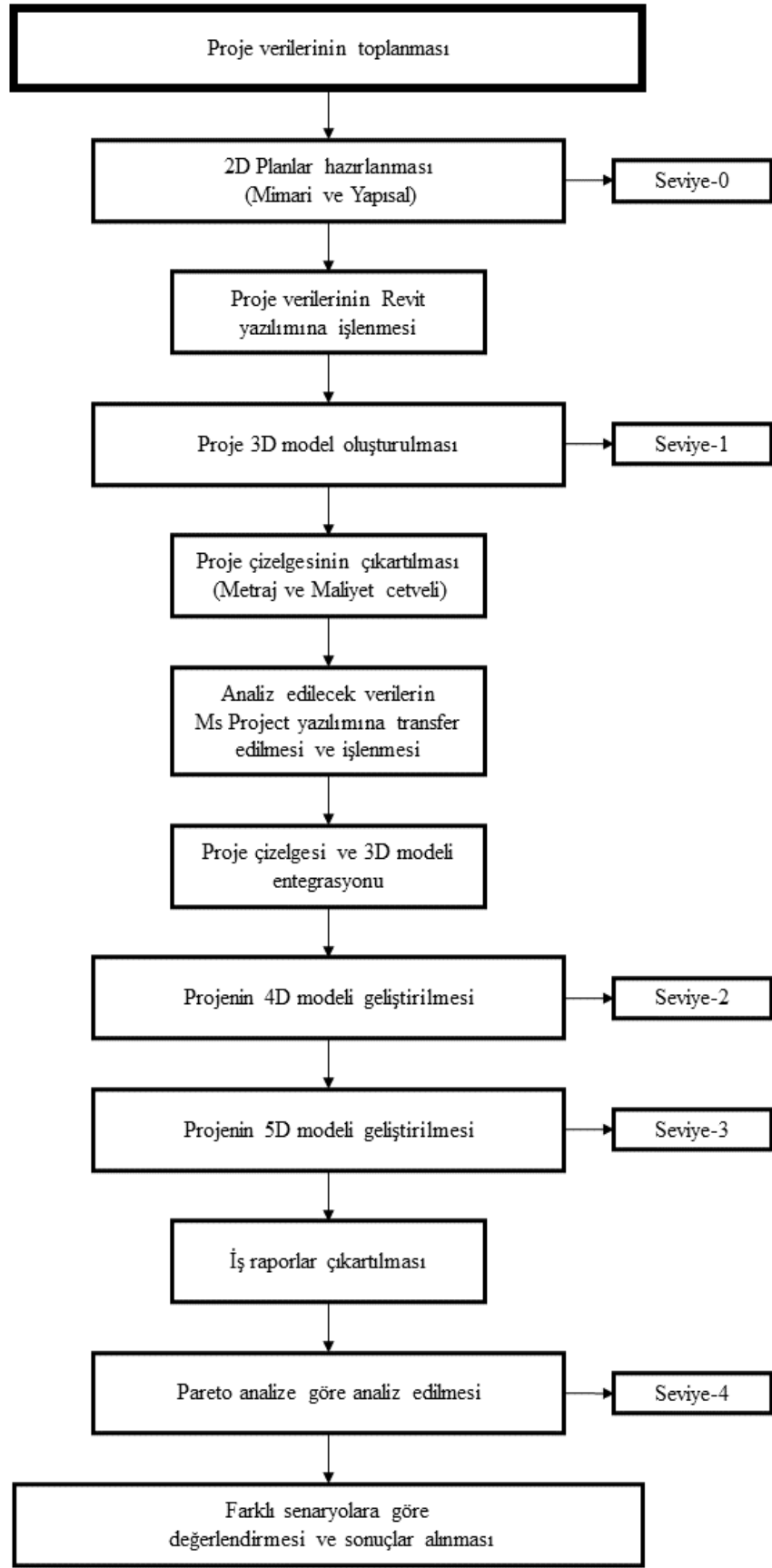
Mevcut mimari verilerin ve gerekli tabloların hazır olması çalışmanın yürütülmesini kolaylaştırmıştır. 2D planlar hazırlanmasından sonraki ilk aşamada, Revit programı kullanılarak yapı elemanlarının modellenmesi ve metraj hesaplamaları yapılmıştır. Bu aşamada, yapı elemanlarının LOD 300 seviyesine kadar tüm detayları dijital ortama aktararak net bir proje yönetimi sağlanmıştır. İkinci aşamada, MS Project programı ile zaman çizelgesi oluşturulup metraj tablolarına entegrasyonu sağlanmıştır. Bu süreç, projedeki tüm işlerin belirlenen zaman çerçevesinde ilerlemesini ve zamanında tamamlanmasını sağlamıştır. Üçüncü aşamada ise, zaman çizelgesi ile birlikte nakit akışı gerçekleştirilmiştir. Son aşamada, 5D modelden çıkarılan sonuçlar ve iş raporu, Pareto analizi ile değerlendirilmiş ve farklı senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolar, projelerin gerçek uygulama sırası dikkate alınarak aşama aşama ilerlemenin takip edilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Araştırma kapsamında üç farklı senaryoya ilişkin çalışmalar sunulmaktadır:

- Birinci Senaryo: Finansmanın Düzenli Dağılımı.
- İkinci Senaryo: Finansmanın 20%'si Ön Ödeme ile Sabit Periyodik Dağılımı
- Üçüncü Senaryo: Malzeme Maliyetlerindeki Artış

YBM'nin kullanımı ve farklı senaryoların oluşturulmasıyla yapı elemanları nD ortamında modellenmiş inşaat sürecinin her aşamasında gerçek zamanlı veriler elde edilmiştir. Bu sayede, planlı ve öngörülebilir bir süreç yönetimi sağlanmıştır.

YBM'nin sunduğu izleme ve kontrol mekanizmaları, proje yöneticilerinin olası sorunları erken tespit etmelerini ve gerekli önlemleri almalarını kolaylaştırmıştır. Ayrıca, nakit akışının zamanla nasıl değiştiği ve bu değişikliklerin projeyi nasıl etkilediği konusunda detaylı analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sayesinde, proje sürecinde kaynak kullanımı optimize edilmiş ve kaynaklar verimli bir şekilde yönetilmiştir.

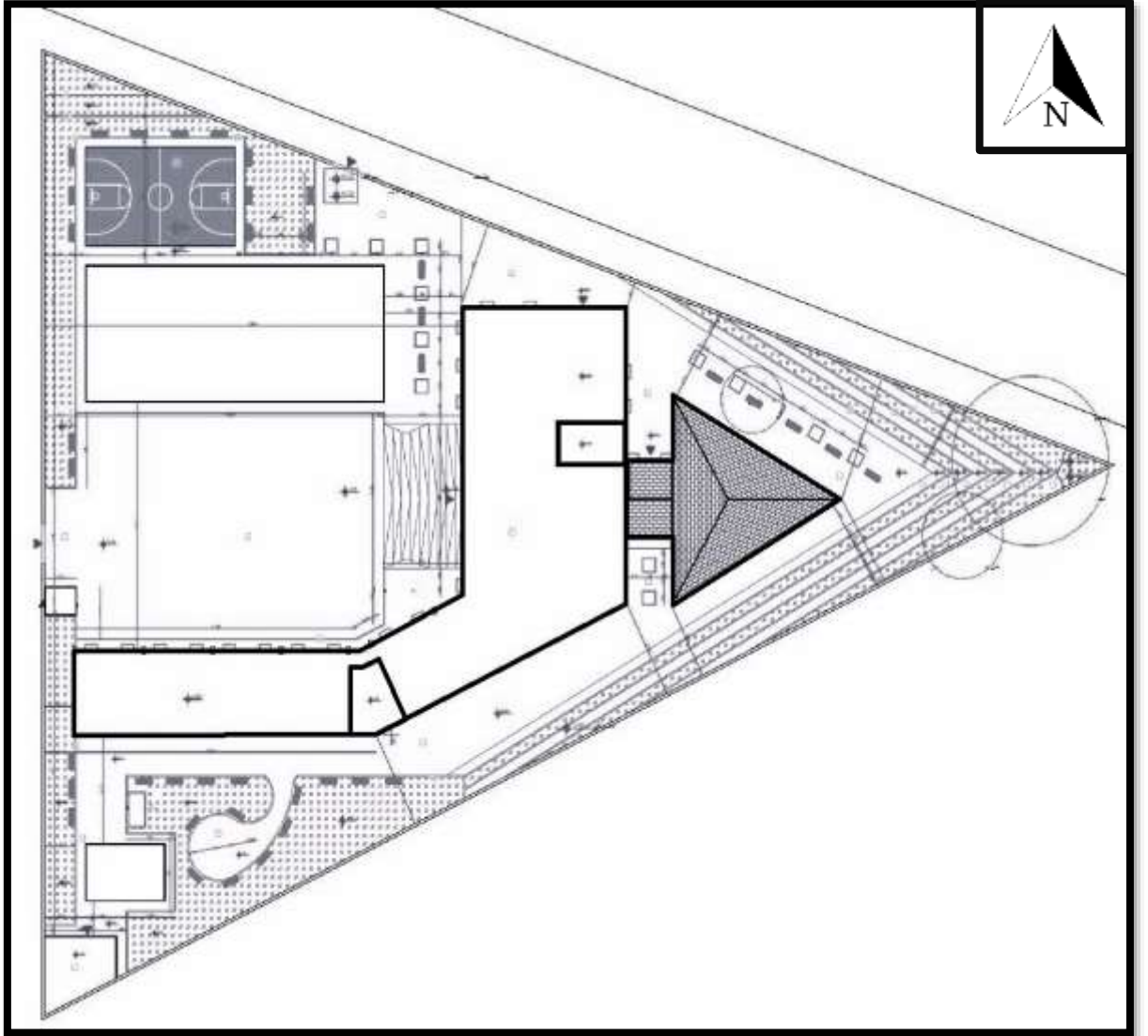
Bu yaklaşım, proje sürecinin her aşamasında daha sağlıklı kararlar alınmasına olanak tanımıştır. Ayrıca, her aşama için belirlenen hedeflere ulaşılması adına sürekli izleme ve düzenli geri bildirimlerle süreçler daha iyileştirilmiştir. Şekil 3.2'de verilen tez çalışmasının akış şeması incelendiğinde, çalışmanın yöntemi beş aşamadan oluşmaktadır: 2D planların hazırlanması, 3D modelin oluşturulması, 4D modelin geliştirilmesi, 5D modelin geliştirilmesi ve Pareto analizi ile farklı senaryoların değerlendirilmesi.



Şekil 3.2: Tez çalışmasında belirlenen yöntem adımları.

4. BULGULAR

Çalışmada incelenen proje, bodrum, zemin, birinci ve ikinci katlardan oluşmaktadır. Zemin katta çok amaçlı salon ve bekçi evi bulunmaktadır. Projenin alan hesaplamalarına göre, toplam alan 4915 m² olup bodrum kat 930 m², zemin kat 1460 m², birinci kat 1200 m², ikinci kat 1200 m² ve çatı alanı 1200 m² olarak belirlenmektedir. Kat yükseklikleri incelendiğinde, normal kat yüksekliği 3,9 m, merdiven evi tavan yüksekliği ise 2,5 m olarak tespit edilmektedir. Şekil 4.1'de genel plan gösterilmektedir.



Şekil 4.1: 2D genel planı görüntüsü.

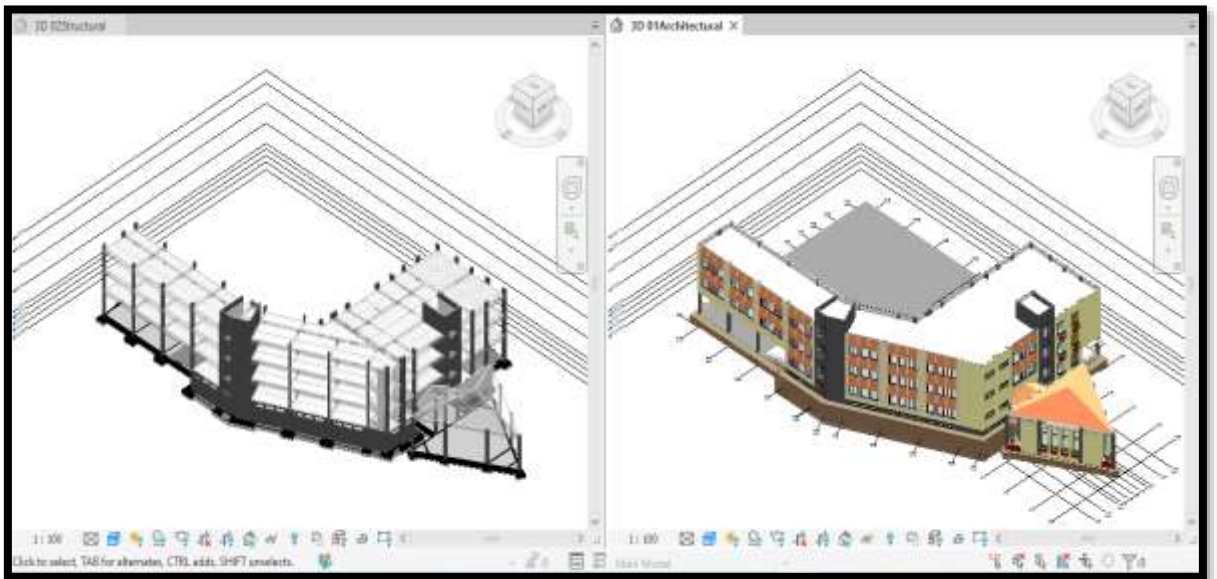
4.1. 3D PROJE HAZIRLANMASI

3D proje hazırlığında, bu süreç detaylı bir şekilde incelenmiş olup Şekil 4.2'de gösterildiği gibi projeye dijital bir yön kazandırmıştır.



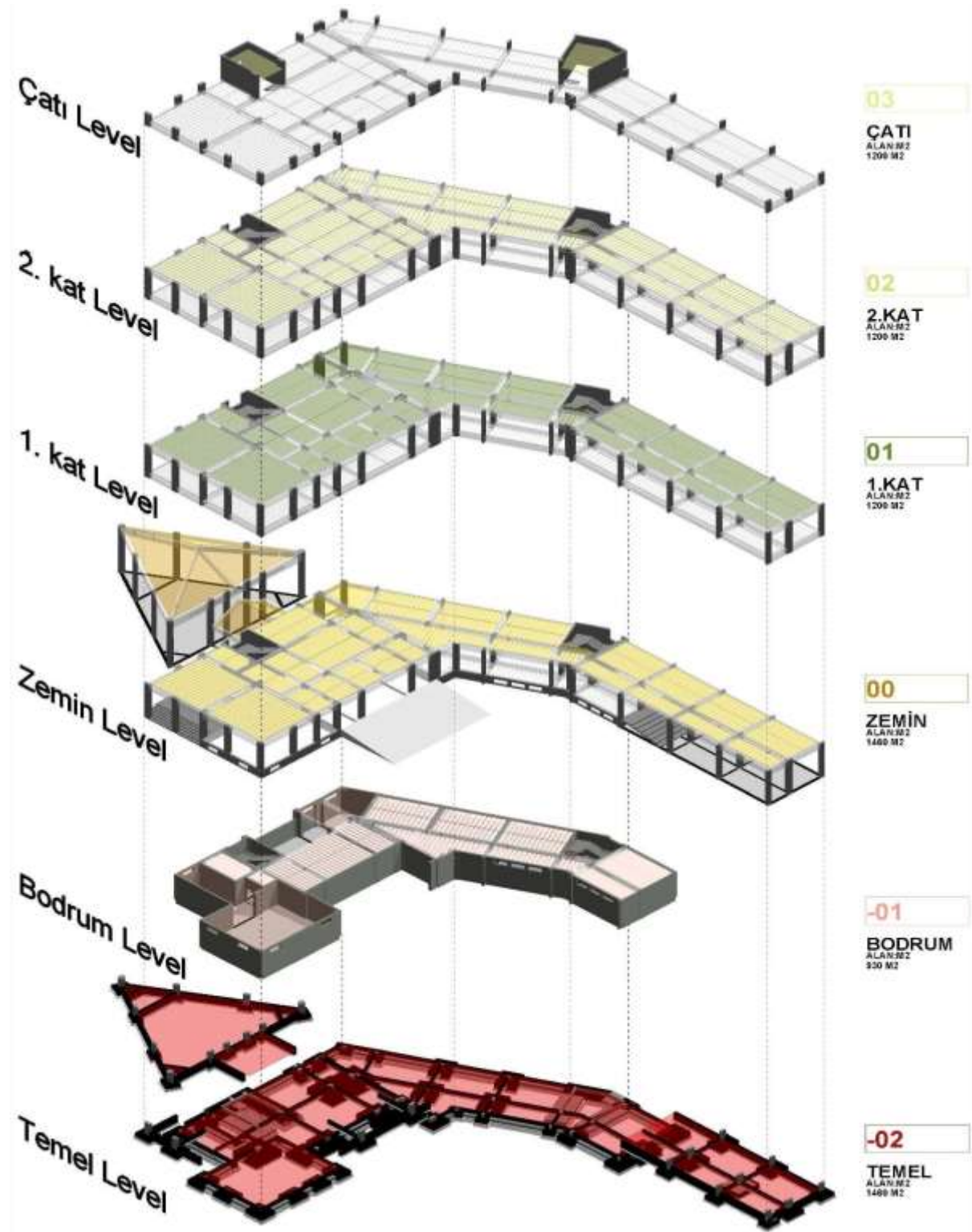
Şekil 4.2: 3D modeline ait genel plan görüntüsü.

Şekil 4.3'te projeye ait mühendislik planları incelenmiş, mimari ve yapısal detaylar gözden geçirildikten sonra yapının kaba işleri (temel, duvar, kolon, döşeme, merdiven) ve ince işleri (kaplama, iç mekân detayları, estetik unsurlar) dijital ortamda modellenmiş ve bu aşama 3D modelde sunulmuştur.



Şekil 4.3: 3D modeline ait kaba ve ince işleri görüntüsü.

Şekil 4.4'teki yapının aksonometrik perspektif görüntüsünde, 3D modelleme ile her elemanın üç boyutlu ortamda etkileşimi ve yapı bileşenlerinin mekânsal ve mimari ilişkileri açıkça ortaya konmuştur.



Şekil 4.4: 3D modeline ait aksonometrik perspektif görüntüsü.

4.1.1. Yapı Modellemesi

Projede kullanılan malzemeler ve boyutlar gibi bilgiler, 3D modele entegre edilerek detaylı model elde edilmiştir. Mimari plana uygun olarak X-Y-Z koordinat sistemi ve kotları belirlendikten sonra projeye ait her eleman konum ve yükseklik bilgilerine göre modellenmiştir. Model, LOD 300 seviyesine getirilmiş ve yapının yapısal ile mimari elemanlarının teknik veriler doğrultusunda üç boyutlu olarak oluşturulduğu doğrulanmıştır. Şekil 4.6'da yapının perspektifi, Şekil 4.5'te ise modelin 3D kesiti görüntüsü sunulmaktadır.



Şekil 4.5: Revit programına ait perspektif görüntüsü.



Şekil 4.6: Revit programına ait 3D kesiti görüntüsü.

4.1.2. Yapı Metraj

Modelleme sürecinin ardından gerçekleştirilen metraj hesaplamaları sonucunda, projede kullanılan malzemelerin miktarları ve her bileşenin ölçüleri belirlenmiş olup Şekil 4.7'de metraj listesi sunulmaktadır.



Şekil 4.7: Revit programına ait metraj listesi görüntüsü.

Revit programı, yapı elemanlarının boyutlarına ve malzeme türlerine göre metretül, metrekaire ve metreküp birimlerinde metraj çıkarmış olup Şekil 4.8'de duvarın kaba ve ince sıvasına ait yüzey alanı (metrekare) ve hacim (metreküp) hesaplamaları örnek sunulmaktadır.

<004-1-1Kaba ve İnce sıva Çimento harcı 200Kg/m3 Metrajı (m3)>						
A	B	C	D	E	F	G
Type	Layer ID	Count	Material :Name	Unit Cost (TL/m3)	Volume m3	Area m2
İç ince sıva 2.5 cm	FN-Z-3-1	13	05-Çimento harcı 200	990	13.757	550.30
FN-Z-3-1: 13					13.757	550.30
İç ince sıva 2.5 cm	FN-Z-3-2	27	05-Çimento harcı 200	990	24.671	986.84
FN-Z-3-2: 27					24.671	986.84
İç ince sıva 2.5 cm	FN-Z-3-3	22	05-Çimento harcı 200	990	18.699	747.97
FN-Z-3-3: 22					18.699	747.97
İç ince sıva 2.5 cm	FN-Z-3-4	23	05-Çimento harcı 200	990	18.701	748.03
FN-Z-3-4: 23					18.701	748.03
Grand total: 85					75.828	3033.14

Şekil 4.8: Revit programına ait metraj tablosu görüntüsü.

Şekil 4.9'da ise örnek olarak bir duvarın yüzey alanı (metrekare) ve hacmi (metreküp) hesaplama işlemleriyle birlikte blok sayısı ve çimento harcı gibi bilgiler de belirlenmiş olup bu sayede projedeki tüm yapı elemanlarının detaylı miktar bilgilerine ulaşılmıştır.

<005-1-2Block Block 20cm ve Çimento harcı Metrajı (m3)>						
A	B	C	D	E	F	G
Type	Layer ID	Material :Name	Unit Cost (TL/m3)	Volume m3	Number(40*20*20cm)	Çimento harcı m3
Dış Duvar 30cm (Blo	ST-BL-OW-1	03-Block 20 cm	28230	105.80	6612	39.65
ST-BL-OW-1: 33				105.80	6612	39.65
Dış Duvar 30cm (Blo	ST-BL-OW-2	03-Block 20 cm	28230	70.40	4400	26.40
ST-BL-OW-2: 28				70.40	4400	26.40
Dış Duvar 30cm (Blo	ST-BL-OW-3	03-Block 20 cm	28230	71.75	4483	26.90
ST-BL-OW-3: 29				71.75	4483	26.90
Dış Duvar 30cm (Blo	ST-BL-OW-4	03-Block 20 cm	28230	32.55	2034	12.20
ST-BL-OW-4: 28				32.55	2034	12.20
Grand total: 118				280.50	17530	105.20

Şekil 4.9: Revit programına ait 20 cm duvar metraj tablosu görüntüsü.

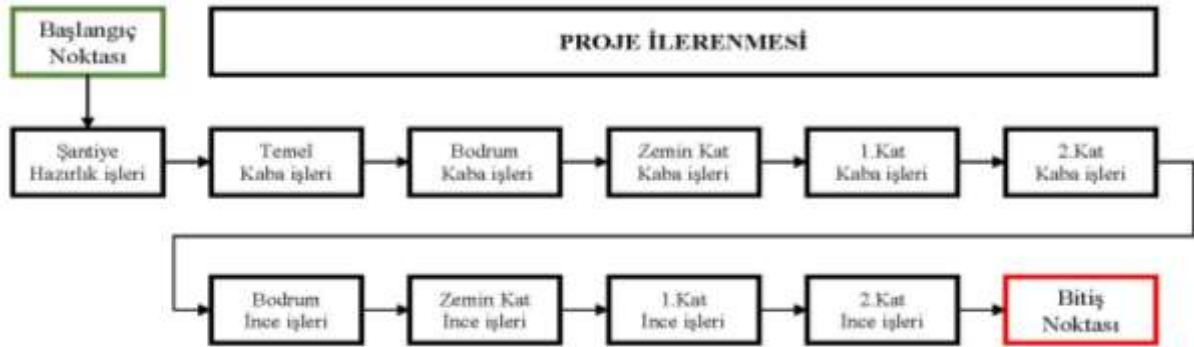
4.2. 4D PROJE HAZIRLANMASI

4D proje hazırlanarak modellenmiş yapı bileşenlerinin zaman çizelgesiyle entegre edildiği doğrulanmıştır. Şekil 4.9'da gösterildiği gibi, her ana iş kalemine benzersiz bir ID kodu atanarak İş Kırılım Yapısı (İKY) hiyerarşisinin oluşturulduğu doğrulanmış olup Tablo 4-1'de sunulan İKY, projenin ana iş gruplarına ve alt görev gruplarına ayrılmasını sağlayan bir yapı olarak belirlenmiştir. Bu yapı, projenin düzenlenmesi, her iş grubunun maliyetinin hesaplanması ve iş yükünün dengelenmesi amacıyla çeşitli seviyelere ayrıldığı belirlenmiştir.

Tablo 4-1: İş kalemlerinin kodlanma tablosu.

NO	ID kodu	İş kalemi	NO	ID kodu	İş kalemi
1	PR	Şantiye hazırlık işleri	2	ST	Kaba işleri
3	SO	Hafriyat işleri	4	C	Beton işleri
5	CN	Grobeton beton işleri	6	CM	Blokaj betonu işleri
7	CLR	Hafif donatılı betonarme işleri	8	CR	Donatılı betonarme işleri
9	V	Dikey eleman işleri	10	H	Yatay eleman işleri
11	SS	Merdiven işleri	12	BL	Blok işleri
13	EW	Dış blok işleri	14	IW	İç blok işleri
15	AZ	Bitümlü yalıtım işleri	16	FN	İnce işleri
17	Z	Sıva işleri	18	E	Binanın dış kaplama işleri
19	RBW	Kırmızı blok işleri	20	I	Binanın iç kaplama işleri
21	IWS	Tesisat alt yapı işleri	22	WA	Sihhi tesisat alt yapı işleri
23	EL	Elektrik tesisat alt yapı işleri	24	ME	Mekanik tesisat alt yapı işleri
25	ISW	Su yalıtım işleri	26	CW	Karo zemin kaplama işleri
27	MOS	Mozaik kaplama işleri	28	TAW	Mermer kaplama işleri
29	BRW	PVC kaplama işleri	30	YSW	Sarı taş kaplama işleri
31	GTW	Çimin kaplama işleri	32	YPW	Gri taş kaplama işleri
33	CE	Seramik kaplama işleri	34	MW	Süpürgelik kaplama işleri
35	PW	Boya işleri	36	M	Doğrama işleri

Hiyerarşik yöntemde, iş kalemlerinin yapısal, mimari, sıhhi tesisat, elektrik tesisat ve mekanik tesisat olarak bölümlere ayrılıp sıralandığı ve tabloda gösterildiği gibi ardışık numaralandırıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, MS Excel kullanılarak zaman tablosunun hazırlandığı ve Şekil 4.10'da gösterildiği gibi MS Project programında yapı bileşenlerinin belirli bir sırayla işlendiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.10: Proje ilerlenmesi

4.2.1. İş Süreleri

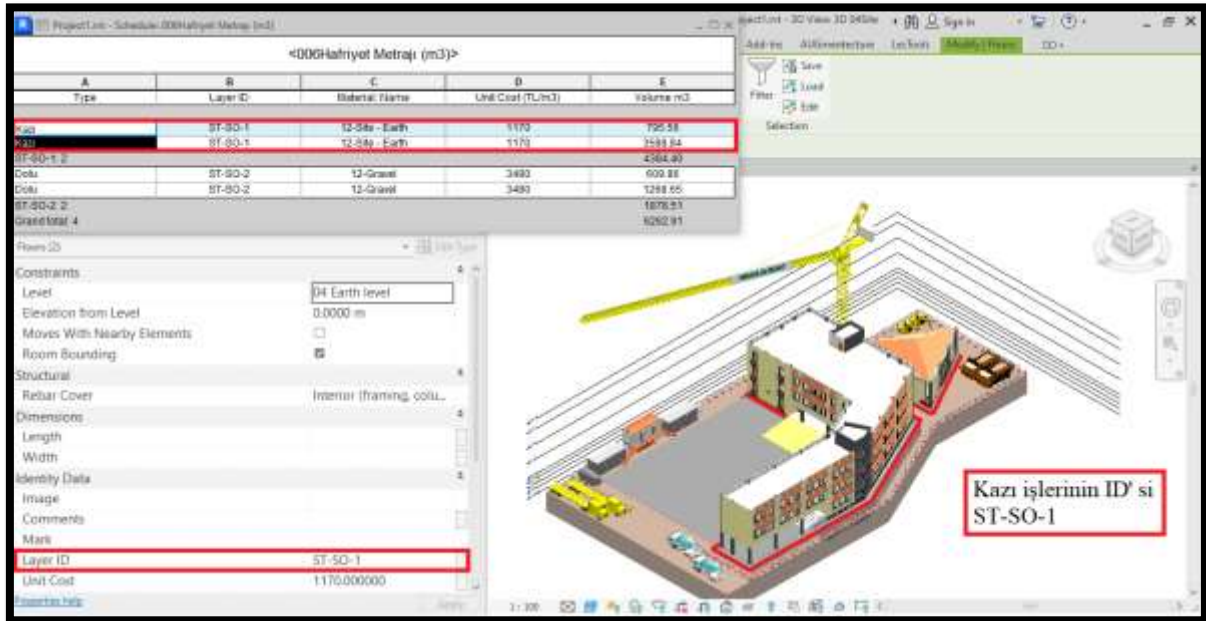
MS Excel programında oluşturulan tablodaki verilerin, Revit programından elde edilen metraj bilgileri ile işlenerek her bir görevin süresinin belirlendiği doğrulanmıştır. EK-1 ve EK-2'de sunulan kaba ve ince işlerin maliyet ve iş süreleri kullanılarak, Şekil 4.11'de hafriyat işlerine ait MS Excel tablo görüntüsünün hazırlandığı tespit edilmiştir. Bu süreçte her bir iş için “süre” bilgilerinin tanımlanması belirlenen adımlarla doğrulanmıştır.

Tablo 1 - Yapının Kaba İşlerinin Maliyet ve İş Sürelerini											
Notlar	Toplam Fiyat TL	Birim Fiyat	Toplam Süre (Gün)	Süre (Gün)	Ekip Sayısı	Günlük Verimlilik	Kritik Kaynaklar	Metraj	Birim	İş Tanımı	kod No
Hafriyat İşleri											
	5.129.750,000	1.170,00	6	5,4805	5	160	Paletli Ekskavator	4384,40	m3	Kazı işleri	ST-SO-1
	6.537.215,000	3.480,00	4	3,9136	6	80	Ekipman + İşçiler	1878,51	m3	Dolgu işleri	ST-SO-2
	3.533.305,000	1.410,00	6	5,0118	5	100	Damperli Kamyon	2505,89	m3	Nakliyat işleri	ST-SO-3

Şekil 4.11: MS Excel programına ait iş sürelerin tablo görüntüsü.

4.2.2. Zaman Çizelgesi

Revit programından çıkarılan modeldeki her bir elemanın, MS Project programında belirlenen iş kalemleri ile ilişkilendirilip uygun bir zaman çizelgesinin oluşturulduğu doğrulanmış olup, bu süreç proje faaliyetlerinin mantıksal sıralamasını ortaya koymuş ve Şekil 4.12'de gösterilen Revit programında eleman özellikler listesinde her bir elemanın ID'si sayesinde iş akışında hangi elemanın hangi aşamada yer alacağı net bir şekilde belirlenmiştir.



Şekil 4.12: Revit programına ait eleman özellikler listesi görüntüsü.

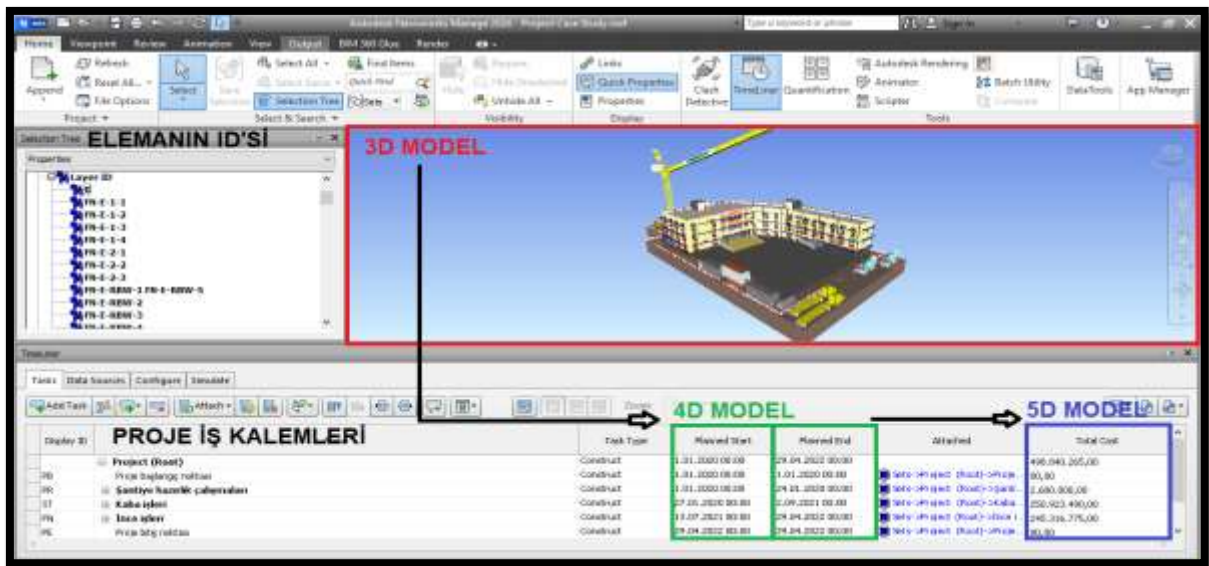
Projenin zaman çizelgesinin hazırlanması sırasında, MS Project programında Revit programından gelen yapı elemanları ile iş kalemleri arasındaki ilişkilerin tanımlandığı belirlenmiştir. Her iş kalemine bir başlama ve bitiş tarihi atanıp projedeki bağımlılıklara göre düzenlendiği doğrulanmıştır. Şekil 4.13'te, projenin teknolojik şartlara uygun olarak ilerlemesi ve çalışmaların en kısa sürede tamamlanması sağlanmış olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.13: MS Project programına ait zaman çizelgesi görüntüsü.

4.3. 5D PROJE HAZIRLANMASI

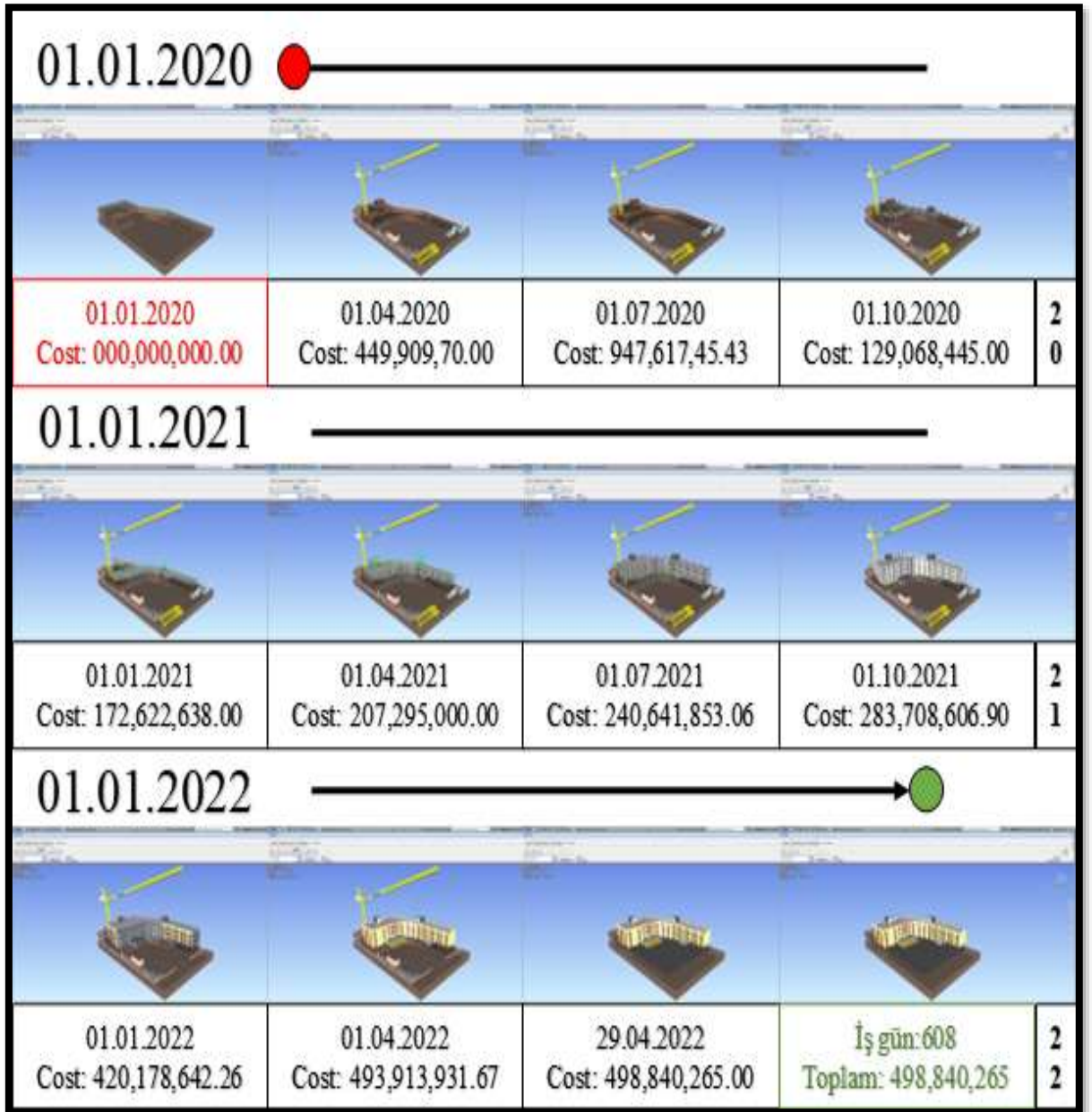
5D proje hazırlanması, sanal gerçeklik programları aracılığıyla yapının kapsamlı ve gerçek bir şekilde temsil edilmesini sağlamış ve bu süreçte, Şekil 4.14'te Navisworks programı ile proje maliyetlerinin zamanla birlikte simülasyonu yapılarak maliyet kontrolü sağlanmıştır.



Şekil 4.14: Navisworks programına ait 5D model görüntüsü

4.3.1. Zamanla Birlikte Nakit Akışı

Şekil 4.15'te, projedeki üç aylık ilerleme süreçlerini sanal olarak gösteren 5D modelin anlık görüntüleri yer almıştır. Bu görseller aracılığıyla, her dönem gerçekleşen inşaat aşamaları detaylı bir şekilde incelenmiş ve proje yönetimi süreçlerine yönelik gerekli analizler yapılmıştır. 01/01/2020 tarihinde başlayıp 29/04/2022 tarihinde sona eren proje sürecinde, toplam maliyet 498,840,265.00 TL olarak belirlenmiştir. Şekil 4.10'da gösterildiği gibi, proje belirli bir sırayla işlenmiş ve Şekil 4.15'te bu sıraya uygun olarak 608 gün süresince fiili çalışma yapılması tespit edilmiştir.



Şekil 4.15: Üç aylık ilerleme sürecini sanal olarak gösteren 5D modelin anlık görüntüsü.

4.4. PARETO ANALİZİ BULGULARI

Tablo 4-2'de, her bir yapım aşaması için gereken zaman ve maliyet bilgileri detaylı bir şekilde sunulmuş ve proje iş akışı bu verilere göre optimize edilmiştir. Her iş kaleminin zaman ve maliyet bilgileri, projedeki genel iş akışını ve işlerin sırasını belirlemek için kullanılmıştır.

Tablo 4-2: Yapım süreci ve maliyet tahmini tablosu.

İKY	İş Kalemleri	Süre Gün	Başlangıç	Bitiş	Metraj m3/m2/m/kg	Maliyet (TL)
PB	Proje başlangıç noktası	----	1/1/20	1/1/20	-----	-----
PR	Şantiye hazırlık çalışmaları	18	1/1/20	1/24/20	-----	2,600,000.00
PR-1	Şantiye temizlenmesi	3	1/1/20	1/3/20	-----	600,000.00
PR-2	Depo hazırlanması (İnşaat malzemeleri ve makineleri)	5	1/6/20	1/10/20	-----	1,000,000.00
PR-3	Kabin yerleşmesi (Mühendisler ve işçiler)	7	1/13/20	1/21/20	-----	600,000.00
PR-4	Su ve elektrik açılması	3	1/22/20	1/24/20	-----	400,000.00
ST	Kaba işleri	419	1/27/20	9/2/21	-----	250,923,490.00
ST-SO	Hafriyat işleri	89	1/27/20	5/28/20	m3	15,200,270.00
ST-SO-1	Kazı işleri	6	1/27/20	2/3/20	4,384.40	5,129,750.00
ST-SO-2	Dolgu işleri	4	5/15/20	5/20/20	1,878.51	6,537,215.00
ST-SO-3	Nakliyat işleri	6	5/21/20	5/28/20	2,505.89	3,533,305.00
ST-C	Beton işleri	350	2/4/20	6/7/21	m3	201,693,635.00
ST-C-CN	(Beton:150 Kg/m3) Gro beton işleri	3	2/4/20	2/6/20	-----	1,921,425.00
ST-C-CN-1	(150 kg/m3' lük) Temellerin ve bağ Kirişlerin altına Gro beton döküm işleri	3	2/4/20	2/6/20	71.95	1,921,425.00
ST-C-CM	(Beton: 150 Kg/m3) Blokaj betonu işleri	3	2/10/20	2/12/20	-----	3,751,670.00
ST-C-CM-1	(150 kg/m3' lük) Temellerin altına blokaj betonu döküm işleri	3	2/10/20	2/12/20	164.80	3,751,670.00
ST-C-CLR	(Beton: 200 Kg/m3 ve Demir: 40 Kg/m3) Hafif donatılı betonarme işleri	10	5/21/20	6/3/20	-----	5,820,470.00
ST-C-CLR-1	Bodrumda tesviye betonu döküm işleri	10	5/21/20	6/3/20	99.30	5,820,470.00
ST-C-CR	(Beton: 350 Kg/m3) Donatılı betonarme işleri	342	2/14/20	6/7/21	-----	190,200,070.00
ST-C-CR-1	(Demir: 90 Kg/m3) Temeller elemanların döküm işleri	34	2/14/20	4/1/20	333.05	31,588,125.00
ST-C-CR-2	(Demir: 60 Kg/m3) Bağ kirişler döküm işleri	11	4/2/20	4/16/20	86.54	6,837,095.00
ST-C-CR-V	(Demir: 90 Kg/m3) Dikey eleman (Kolon, İstinat ve Kesme duvar) işleri	255	4/17/20	4/8/21	-----	52,153,870.00
ST-C-CR-V-1	Temel boyun elemanların döküm işleri	7	4/17/20	4/27/20	33.95	3,258,010.00
ST-C-CR-V-2	Bodrum dikey elemanların döküm işleri	33	6/11/20	7/27/20	191.30	18,576,365.00
ST-C-CR-V-3	Zemin dikey elemanların döküm işleri	20	9/4/20	10/1/20	112.70	10,846,965.00
ST-C-CR-V-4	1.Kat dikey elemanların döküm işleri	15	12/16/20	1/5/21	83.70	8,063,910.00
ST-C-CR-V-5	2.Kat ve Çatı dikey elemanların döküm işleri	21	3/11/21	4/8/21	118.25	11,408,620.00
ST-C-CR-H	(Demir: 60 Kg/m3) Yatay eleman (Döşeme ve Kiriş) işleri	221	8/3/20	6/7/21	-----	89,639,805.00
ST-C-CR-H-1	Bodrum yatay elemanların döküm işleri	19	8/3/20	8/27/20	189.69	12,347,095.00
ST-C-CR-H-2	Zemin yatay elemanların döküm işleri	44	10/8/20	12/8/20	447.29	29,032,875.00
ST-C-CR-H-3	1.Kat yatay elemanların döküm işleri	37	1/12/21	3/3/21	381.74	23,854,100.00
ST-C-CR-H-4	2.Kat yatay elemanların döküm işleri	38	4/15/21	6/7/21	391.63	24,405,735.00
ST-C-CR-SS	(Demir: 60 Kg/m3) Merdiven işleri	185	8/3/20	4/16/21	-----	9,981,175.00
ST-C-CR-SS-1	Bodrum merdiveni döküm işleri	2	8/3/20	8/4/20	7.65	612,955.00
ST-C-CR-SS-2	Giriş ile zemin merdiveni döküm işleri	11	10/8/20	10/22/20	100.72	8,070,190.00
ST-C-CR-SS-3	1.Kat merdiveni döküm işleri	2	1/12/21	1/13/21	8.10	649,015.00
ST-C-CR-SS-4	2.Kat merdiveni döküm işleri	2	4/15/21	4/16/21	8.10	649,015.00
ST-BL	Blok işleri	63	6/8/21	9/2/21	m3	18,321,585.00
ST-BL-OW	Dış blok işleri	51	6/24/21	9/2/21	-----	7,918,515.00
ST-BL-OW-1	Zemin dış blok işleri	13	6/24/21	7/12/21	105.80	2,986,735.00
ST-BL-OW-2	1.Kat dış blok işleri	8	7/23/21	8/3/21	70.40	1,987,390.00
ST-BL-OW-3	2.Kat dış blok işleri	9	8/17/21	8/27/21	71.75	2,025,505.00
ST-BL-OW-4	Çatı parapet blok işleri	4	8/30/21	9/2/21	32.55	918,885.00
ST-BL-IW	İç blok işleri	50	6/8/21	8/16/21	-----	10,403,070.00
ST-BL-IW-1	Bodrum iç blok işleri	5	6/8/21	6/14/21	36.82	1,849,300.00
ST-BL-IW-2	Zemin iç blok işleri	7	6/15/21	6/23/21	48.37	2,429,140.00
ST-BL-IW-3	1.Kat iç blok işleri	8	7/13/21	7/22/21	57.63	2,894,380.00
ST-BL-IW-4	2.Kat iç blok işleri	9	8/4/21	8/16/21	64.32	3,230,250.00
ST-AZ	Bitümen ile yalıtım işleri	13	4/28/20	5/14/20	-----	15,708,000.00
ST-AZ-1	Bitümen ile temeller, temellerin boyunu ve bağ kirişler yalıtım işleri	13	4/28/20	5/14/20	1925.00	15,708,000.00

Tablo 4-2: (Devamı).

İKY	İş Kalemleri	Süre Gün	Başlangıç	Bitiş	Metraj m3/m2/m/kg	Maliyet (TL)
FN	İnce işleri	209	7/13/21	4/29/22	-----	245,316,775.00
FN-Z	Sıva işleri	105	7/27/21	12/20/21	m2	18,052,425.00
FN-Z-1	Dış kaba sıva işleri	38	10/28/21	12/20/21	-----	2,616,740.00
FN-Z-1-1	Kuzey cephede dış kaba sıva işleri	7	10/28/21	11/5/21	476.41	628,860.00
FN-Z-1-2	Güney cephede dış kaba sıva işleri	4	11/8/21	11/11/21	250.86	331,135.00
FN-Z-1-3	Doğu cephede dış kaba sıva işleri	14	11/12/21	12/1/21	654.75	864,270.00
FN-Z-1-4	Batı cephede dış kaba sıva işleri	13	12/2/21	12/20/21	600.36	792,475.00
FN-Z-2	İç kaba sıva işleri	67	7/27/21	10/27/21	-----	7,547,905.00
FN-Z-2-1	Bodrum iç kaba sıva işleri	8	7/27/21	8/5/21	1,128.50	1,489,620.00
FN-Z-2-2	Zemin iç kaba sıva işleri	10	8/25/21	9/7/21	1,428.04	1,885,020.00
FN-Z-2-3	1.Kat iç kaba sıva işleri	10	9/20/21	10/1/21	1,438.37	1,898,650.00
FN-Z-2-4	2.Kat iç kaba sıva işleri	11	10/11/21	10/25/21	1,515.06	1,999,875.00
FN-Z-2-5	(Parapet iç cephesi) Çatı iç kaba sıva işleri	2	10/26/21	10/27/21	208.14	274,740.00
FN-Z-3	İç ince sıva işleri	70	8/13/21	11/18/21	-----	7,887,780.00
FN-Z-3-1	Bodrum iç ince sıva işleri	11	8/13/21	8/27/21	1,457.79	1,443,210.00
FN-Z-3-2	Zemin iç ince sıva işleri	12	9/27/21	10/12/21	2,282.86	2,260,030.00
FN-Z-3-3	1.Kat iç ince sıva işleri	12	10/13/21	10/28/21	2,048.82	2,028,330.00
FN-Z-3-4	2.Kat iç ince sıva işleri	13	11/2/21	11/18/21	2,177.99	2,156,210.00
FN-E	Binanın dış kaplama işleri	62	11/26/21	2/21/22	m2	19,367,820.00
FN-E-1	Sarı taş ile dış cephe kaplama işleri	54	12/8/21	2/21/22	-----	15,435,110.00
FN-E-1-1	Kuzey cephede sarı taş kaplama işleri	8	12/8/21	12/17/21	467.23	3,644,395.00
FN-E-1-2	Güney cephede sarı taş kaplama işleri	5	12/20/21	12/24/21	250.88	1,956,865.00
FN-E-1-3	Doğu cephede sarı taş kaplama işleri	18	1/7/22	2/1/22	656.40	5,119,920.00
FN-E-1-4	Batı cephede sarı taş kaplama işleri	14	2/2/22	2/21/22	604.35	4,713,930.00
FN-E-2	Beyaz taş ile dış cephe kaplama işleri	44	12/22/21	2/21/22	-----	1,568,425.00
FN-E-2-1	Güney cephede beyaz taş kaplama işleri	3	12/22/21	12/24/21	48.43	639,275.00
FN-E-2-2	Doğu cephede beyaz taş kaplama işleri	3	1/28/22	2/1/22	53.49	706,070.00
FN-E-2-3	Batı cephede beyaz taş kaplama işleri	3	2/17/22	2/21/22	16.90	223,080.00
FN-E-RBW	Kırmızı blok ile dış cephe kaplama işleri	62	11/26/21	2/21/22	-----	2,364,285.00
FN-E-RBW-1	Kuzey cephede Çok amaçlı salonun çatı kırmızı blok kaplama işleri	16	11/26/21	12/17/21	119.05	821,445.00
FN-E-RBW-2	Güney cephede kırmızı blok kaplama işleri	6	12/17/21	12/24/21	83.85	578,565.00
FN-E-RBW-3	Doğu cephede kırmızı blok kaplama işleri	7	1/24/22	2/1/22	102.50	707,250.00
FN-E-RBW-4	Batı cephede kırmızı blok kaplama işleri	3	2/17/22	2/21/22	37.25	257,025.00
FN-I	Binanın iç kaplama işleri	209	7/13/21	4/29/22	-----	97,083,990.00
FN-I-IWS	Tesisat alt yapı işleri	192	7/13/21	4/6/22	-----	24,860,000.00
FN-I-IWS-WA	Sihhi tesisat alt yapı işleri	167	7/16/21	3/7/22	-----	5,460,000.00
FN-I-IWS-WA-1	Sihhi tesisat kara tesisatı işleri	61	7/16/21	10/8/21	-----	3,360,000.00
FN-I-IWS-WA-1-1	Bodrum sihhi tesisat kara tesisatı işleri	7	7/16/21	7/26/21	-----	800,000.00
FN-I-IWS-WA-1-2	Zemin sihhi tesisat kara tesisatı işleri	7	8/16/21	8/24/21	-----	960,000.00
FN-I-IWS-WA-1-3	1.Kat sihhi tesisat kara tesisatı işleri	5	9/13/21	9/17/21	-----	800,000.00
FN-I-IWS-WA-1-4	2.Kat sihhi tesisat kara tesisatı işleri	5	10/4/21	10/8/21	-----	800,000.00
FN-I-IWS-WA-2	Sihhi tesisat beyaz tesisatı işleri	16	2/14/22	3/7/22	-----	2,100,000.00
FN-I-IWS-WA-2-1	Bodrum sihhi tesisat beyaz tesisatı işleri	5	3/1/22	3/7/22	-----	500,000.00
FN-I-IWS-WA-2-2	Zemin sihhi tesisat beyaz tesisatı işleri	5	2/22/22	2/28/22	-----	600,000.00
FN-I-IWS-WA-2-3	1.Kat sihhi tesisat beyaz tesisatı işleri	3	2/17/22	2/21/22	-----	500,000.00
FN-I-IWS-WA-2-4	2.Kat sihhi tesisat beyaz tesisatı işleri	3	2/14/22	2/16/22	-----	500,000.00
FN-I-IWS-EL	Elektrik tesisat alt yapı işleri	192	7/13/21	4/6/22	-----	6,800,000.00
FN-I-IWS-EL-1	Elektrik tesisat kara tesisatı işleri	64	7/13/21	10/8/21	-----	4,000,000.00
FN-I-IWS-EL-1-1	Bodrum elektrik tesisat kara tesisatı işleri	10	7/13/21	7/26/21	-----	900,000.00
FN-I-IWS-EL-1-2	Zemin elektrik tesisat kara tesisatı işleri	15	8/4/21	8/24/21	-----	1,300,000.00
FN-I-IWS-EL-1-3	1.Kat elektrik tesisat kara tesisatı işleri	15	8/30/21	9/17/21	-----	900,000.00
FN-I-IWS-EL-1-4	2.Kat elektrik tesisat kara tesisatı işleri	15	9/20/21	10/8/21	-----	900,000.00
FN-I-IWS-EL-2	Elektrik tesisat beyaz tesisatı işleri	38	2/14/22	4/6/22	-----	2,800,000.00
FN-I-IWS-EL-2-1	Bodrum elektrik tesisat beyaz tesisatı işleri	8	3/28/22	4/6/22	-----	600,000.00
FN-I-IWS-EL-2-2	Zemin elektrik tesisat beyaz tesisatı işleri	10	3/14/22	3/25/22	-----	1,000,000.00
FN-I-IWS-EL-2-3	1.Kat elektrik tesisat beyaz tesisatı işleri	10	2/28/22	3/11/22	-----	600,000.00
FN-I-IWS-EL-2-4	2.Kat elektrik tesisat beyaz tesisatı işleri	10	2/14/22	2/25/22	-----	600,000.00
FN-I-IWS-ME	Mekanik tesisat alt yapı işleri	174	7/13/21	3/11/22	-----	12,600,000.00
FN-I-IWS-ME-1	Mekanik tesisat kara tesisatı işleri	64	7/13/21	10/8/21	-----	4,200,000.00
FN-I-IWS-ME-1-1	Bodrum mekanik tesisat kara tesisatı işleri	10	7/13/21	7/26/21	-----	1,000,000.00
FN-I-IWS-ME-1-2	Zemin mekanik tesisat kara tesisatı işleri	10	8/11/21	8/24/21	-----	1,200,000.00
FN-I-IWS-ME-1-3	1.Kat mekanik tesisat kara tesisatı işleri	10	9/6/21	9/17/21	-----	1,000,000.00
FN-I-IWS-ME-1-4	2.Kat mekanik tesisat kara tesisatı işleri	10	9/27/21	10/8/21	-----	1,000,000.00

Tablo 4-2: (Devamı).

İKY	İş Kalemleri	Süre Gün	Başlangıç	Bitiş	Metraj m3/m2/m/kg	Maliyet (TL)
FN-I-IWS-ME-2	Mekanik tesisat beyaz tesisatı işleri	20	2/14/22	3/11/22	-----	8,400,000.00
FN-I-IWS-ME-2-1	Bodrum mekanik tesisat beyaz tesisatı işleri	5	3/7/22	3/11/22	-----	2,000,000.00
FN-I-IWS-ME-2-2	Zemin mekanik tesisat beyaz tesisatı işleri	5	2/28/22	3/4/22	-----	2,400,000.00
FN-I-IWS-ME-2-3	1.Kat mekanik tesisat beyaz tesisatı işleri	5	2/21/22	2/25/22	-----	2,000,000.00
FN-I-IWS-ME-2-4	2.Kat mekanik tesisat beyaz tesisatı işleri	5	2/14/22	2/18/22	-----	2,000,000.00
FN-I-ISW	Su yalıtım işleri	45	10/28/21	12/29/21	m2	11,953,120.00
FN-I-ISW-1	Dış duvarlar ve çatı su yalıtım işleri	45	10/28/21	12/29/21	-----	11,953,120.00
FN-I-ISW-1-1	Kuzey cephede su yalıtım işleri	4	11/10/21	11/15/21	452.12	1,808,480.00
FN-I-ISW-1-2	Güney cephede su yalıtım işleri	2	11/16/21	11/17/21	269.94	1,079,760.00
FN-I-ISW-1-3	Doğu cephede su yalıtım işleri	5	12/6/21	12/10/21	671.25	2,685,000.00
FN-I-ISW-1-4	Batı cephede su yalıtım işleri	5	12/23/21	12/29/21	634.56	2,538,240.00
FN-I-ISW-1-5	Çatı döşemesi su yalıtım işleri	7	10/28/21	11/5/21	960.41	3,841,640.00
FN-I-CW	Karo zemin kaplama işleri	124	11/9/21	4/29/22	m2	48,961,400.00
FN-I-CW-MOS	Mozaik kaplama işleri	63	11/9/21	2/3/22	-----	12,056,680.00
FN-I-CW-MOS-1	Çatı mozaik kaplama işleri	16	11/9/21	11/30/21	956.55	4,835,375.00
FN-I-CW-MOS-2	2.Kat mozaik kaplama işleri	9	12/8/21	12/20/21	516.89	2,612,855.00
FN-I-CW-MOS-3	1.Kat mozaik kaplama işleri	9	12/30/21	1/11/22	505.11	2,553,335.00
FN-I-CW-MOS-4	Zemin mozaik kaplama işleri	3	1/21/22	1/25/22	158.47	801,080.00
FN-I-CW-MOS-5	Bodrum mozaik kaplama işleri	5	1/28/22	2/3/22	248.08	1,254,035.00
FN-I-TAW	Mermer kaplama işleri	103	12/8/21	4/29/22	-----	36,904,720.00
FN-I-TAW-1	2.Kat mermer kaplama işleri	12	12/8/21	12/23/21	337.63	5,106,670.00
FN-I-TAW-2	1.Kat mermer kaplama işleri	12	12/29/21	1/13/22	359.22	5,433,250.00
FN-I-TAW-3	Zemin mermer kaplama işleri	23	1/19/22	2/18/22	1,029.16	15,566,030.00
FN-I-TAW-4	Bodrum mermer kaplama işleri	9	3/1/22	3/11/22	240.17	3,632,525.00
FN-I-BRW	Bodrumdaki spor salonu PVC kaplama işleri	4	3/8/22	3/11/22	184.30	1,350,005.00
FN-I-YSW	Girişteki rampa sarı taş kaplama işleri	5	3/17/22	3/23/22	124.25	1,223,240.00
FN-I-YPW	Dışarıdaki toplama alanı gri taş kaplama işleri	17	4/7/22	4/29/22	1,009.45	4,593,000.00
FN-I-CE	Seramik kaplama işleri	95	8/13/21	12/23/21	m2	8,510,655.00
FN-I-CE-1	Zemin seramik kaplama işleri	12	12/8/21	12/23/21	-----	1,811,285.00
FN-I-CE-1-1	2.Kat seramik kaplama işleri	4	12/8/21	12/13/21	111.43	689,775.00
FN-I-CE-1-2	1.Kat seramik kaplama işleri	4	12/14/21	12/17/21	101.45	628,000.00
FN-I-CE-1-3	Zemin seramik kaplama işleri	2	12/20/21	12/21/21	45.64	282,530.00
FN-I-CE-1-4	Bodrum seramik kaplama işleri	2	12/22/21	12/23/21	34.08	210,980.00
FN-I-CE-2	Duvar seramik kaplama işleri	70	8/13/21	11/18/21	-----	6,699,370.00
FN-I-CE-2-1	Bodrum seramik kaplama işleri	15	8/13/21	9/2/21	205.29	1,406,235.00
FN-I-CE-2-2	Zemin seramik kaplama işleri	18	9/27/21	10/20/21	250.13	1,713,390.00
FN-I-CE-2-3	1.Kat seramik kaplama işleri	13	10/11/21	10/27/21	253.64	1,737,435.00
FN-I-CE-2-4	2.Kat seramik kaplama işleri	13	11/2/21	11/18/21	268.95	1,842,310.00
FN-I-MW	Süprügelik kaplama işleri	76	12/1/21	3/16/22	m	2,798,815.00
FN-I-MW-MOS	Mozaik süprügelik kaplama işleri	50	12/1/21	2/8/22	-----	1,410,075.00
FN-I-MW-MOS-1	Çatı mozaik süprügelik kaplama işleri	5	12/1/21	12/7/21	211.65	283,615.00
FN-I-MW-MOS-2	2.Kat mozaik süprügelik kaplama işleri	7	12/21/21	12/29/21	315.37	422,595.00
FN-I-MW-MOS-3	1.Kat mozaik süprügelik kaplama işleri	7	1/12/22	1/20/22	302.25	405,015.00
FN-I-MW-MOS-4	Zemin mozaik süprügelik kaplama işleri	2	1/26/22	1/27/22	91.04	121,990.00
FN-I-MW-MOS-5	Bodrum mozaik süprügelik kaplama işleri	3	2/4/22	2/8/22	131.99	176,860.00
FN-I-MW-TAW	Mermer süprügelik kaplama işleri	59	12/24/21	3/16/22	-----	1,388,740.00
FN-I-MW-TAW-1	2.Kat mermer süprügelik kaplama işleri	3	12/24/21	12/28/21	128.16	268,495.00
FN-I-MW-TAW-2	1.Kat mermer süprügelik kaplama işleri	3	1/14/22	1/18/22	132.51	277,605.00
FN-I-MW-TAW-3	Zemin mermer süprügelik kaplama işleri	6	2/21/22	2/28/22	272.95	571,830.00
FN-I-MW-TAW-4	Bodrum mermer süprügelik kaplama işleri	3	3/14/22	3/16/22	129.27	270,810.00
FN-PW	Boya işleri	126	8/30/21	2/21/22	m2	10,848,550.00
FN-PW-1	Kırmızı boya ile dış cephe kaplama işleri	52	12/10/21	2/21/22	-----	274,465.00
FN-PW-1-1	Kuzey cephede kırmızı boya kaplama işleri	6	12/10/21	12/17/21	64.35	123,550.00
FN-PW-1-2	Güney cephede kırmızı boya kaplama işleri	1	12/24/21	12/24/21	8.65	16,610.00
FN-PW-1-3	Doğu cephede kırmızı boya kaplama işleri	3	1/28/22	2/1/22	33.45	64,225.00
FN-PW-1-4	Batı cephede kırmızı boya kaplama işleri	2	2/18/22	2/21/22	36.50	70,080.00
FN-PW-2	İç boya işleri	120	8/30/21	2/11/22	-----	10,574,085.00
FN-PW-2-1	Bodrum iç boya işleri	19	8/30/21	9/23/21	1,339.15	1,894,895.00
FN-PW-2-2	Zemin iç boya işleri	30	10/13/21	11/23/21	2,134.25	3,019,965.00
FN-PW-2-3	1.Kat iç boya işleri	27	11/24/21	12/30/21	1,891.95	2,677,110.00
FN-PW-2-4	2.Kat iç boya işleri	27	12/31/21	2/7/22	1,869.25	2,644,990.00
FN-PW-2-5	(Parapet iç cephesi) Çatı iç boya işleri	4	2/8/22	2/11/22	238.25	337,125.00
FN-M	Doğrama işleri	121	8/6/21	1/21/22	-----	99,963,990.00

Tablo 4-2: (Devamı).

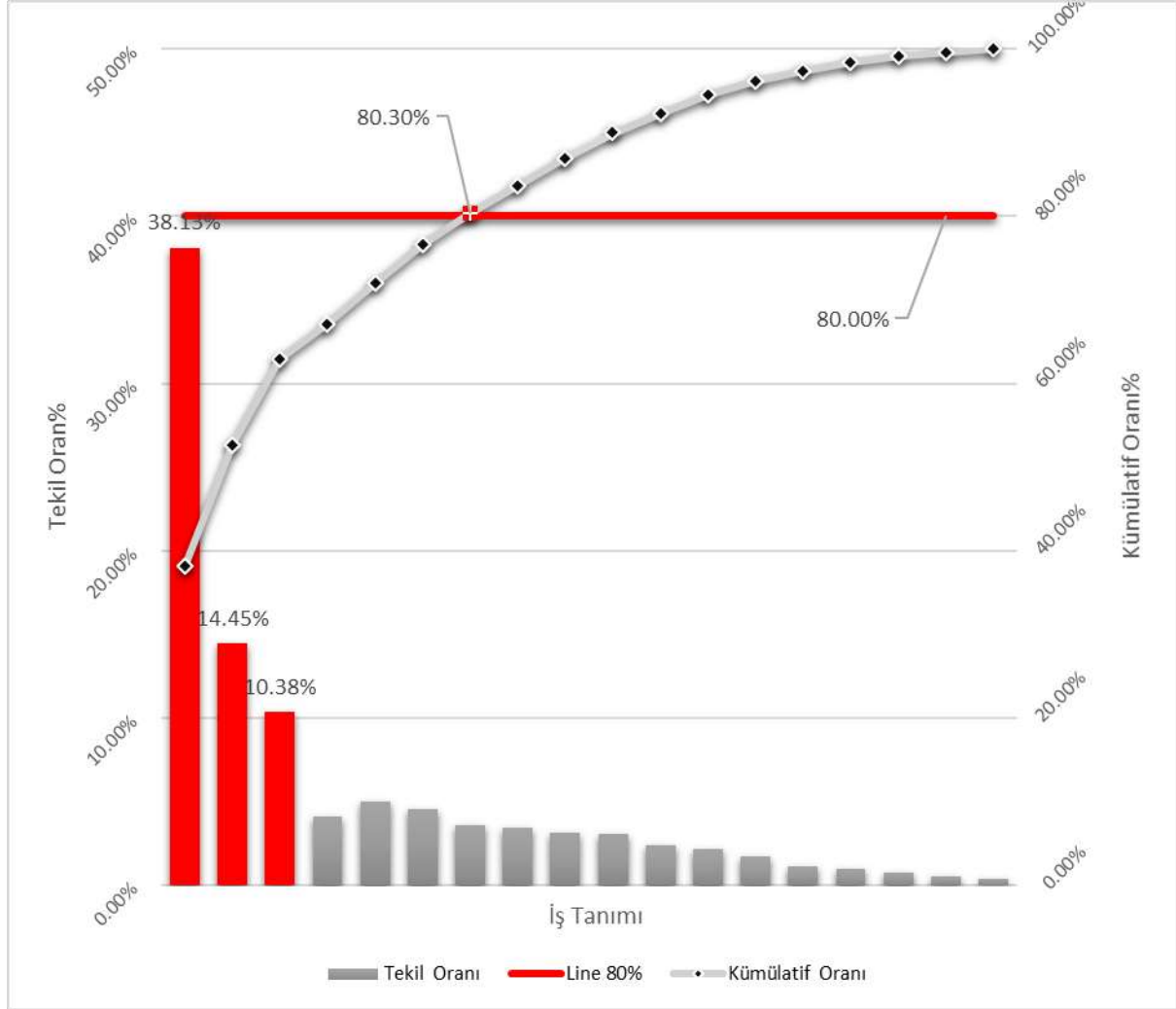
İKY	İş Kalemleri	Süre Gün	Başlangıç	Bitiş	Metraj m3/m2/m/kg	Maliyet (TL)
FN-M-1	Dış doğrama işleri	55	11/8/21	1/21/22	-----	84,451,490.00
FN-M-1-1	Dış alüminyum doğrama işleri	39	11/8/21	12/30/21	m2	21,090,590.00
FN-M-1-1-1	Kuzey cephede dış alüminyum doğrama işleri	11	11/8/21	11/22/21	106.90	4,188,340.00
FN-M-1-1-2	Güney cephede dış alüminyum doğrama işleri	12	11/12/21	11/29/21	115.00	4,505,700.00
FN-M-1-1-3	Doğu cephede dış alüminyum doğrama işleri	11	12/2/21	12/16/21	208.65	8,174,905.00
FN-M-1-1-4	Batı cephede dış alüminyum doğrama işleri	8	12/21/21	12/30/21	107.75	4,221,645.00
FN-M-1-2	Dış demir doğrama işleri	55	11/8/21	1/21/22	kg	63,360,900.00
FN-M-1-2-1	Kuzey cephede dış demir doğrama işleri	22	11/8/21	12/7/21	8,080.00	15,028,800.00
FN-M-1-2-2	Güney cephede dış demir doğrama işleri	17	11/12/21	12/6/21	6,630.00	12,331,800.00
FN-M-1-2-3	Doğu cephede dış demir doğrama işleri	26	12/2/21	1/6/22	10,015.00	18,627,900.00
FN-M-1-2-4	Batı cephede dış demir doğrama işleri	24	12/21/21	1/21/22	9,340.00	17,372,400.00
FN-M-2	İç doğrama işleri	62	8/6/21	11/1/21	-----	15,512,500.00
FN-M-2-1	İç ahşap doğrama işleri	62	8/6/21	11/1/21	m2	4,961,645.00
FN-M-2-1-1	Bodrum iç ahşap doğrama işleri	5	8/6/21	8/12/21	40.30	1,155,805.00
FN-M-2-1-2	Zemin iç ahşap doğrama işleri	5	9/8/21	9/14/21	44.52	1,276,835.00
FN-M-2-1-3	1.Kat iç ahşap doğrama işleri	5	10/4/21	10/8/21	40.30	1,155,805.00
FN-M-2-1-4	2.Kat iç ahşap doğrama işleri	5	10/26/21	11/1/21	47.88	1,373,200.00
FN-M-2-2	İç alüminyum doğrama işleri	59	8/6/21	10/27/21	m2	1,821,875.00
FN-M-2-2-1	Bodrum iç alüminyum doğrama işleri	2	8/6/21	8/9/21	10.10	395,720.00
FN-M-2-2-2	Zemin iç alüminyum doğrama işleri	2	9/8/21	9/9/21	16.20	634,715.00
FN-M-2-2-3	1.Kat iç alüminyum doğrama işleri	2	10/4/21	10/5/21	10.10	395,720.00
FN-M-2-2-4	2.Kat iç alüminyum doğrama işleri	2	10/26/21	10/27/21	10.10	395,720.00
FN-M-2-3	İç demir korkuluk doğrama işleri	58	8/6/21	10/26/21	kg	8,728,980.00
FN-M-2-3-1	Bodrum iç demir Korkuluk doğrama işleri	4	8/6/21	8/11/21	672.00	1,249,920.00
FN-M-2-3-2	Zemin iç demir Korkuluk doğrama işleri	13	9/8/21	9/24/21	2,570.00	4,780,200.00
FN-M-2-3-3	1.Kat iç demir Korkuluk doğrama işleri	2	10/4/21	10/5/21	726.00	1,350,360.00
FN-M-2-3-4	2.Kat iç demir Korkuluk doğrama işleri	1	10/26/21	10/26/21	725.00	1,348,500.00
PE	Proje bitiş noktası	-----	4/29/22	4/29/22	-----	-----
Proje		608	1/1/20	4/29/22		498,840,265.00

Tablo 4-3'te Pareto Prensibi (80/20 Kuralı) temel alınarak yapılan çalışmada, toplam 18 iş kaleminden 7'sinin proje maliyetinin %80'ini oluşturduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4-3: İş kalemlerinin Pareto analizi tablosu.

NO	İş Tanımı	Toplam Fiyat TL	Tekil Oran	Line 80%	Kümülatif
1	Betonarme işleri (Beton Oranı:350 Kg/m3)	190,200,065.000	38.13%	80.00%	38.13%
2	Demir doğrama işleri	72,089,880.000	14.45%	80.00%	52.58%
3	Zemin ve süpürgelik kaplama işleri	51,760,220.000	10.38%	80.00%	62.96%
4	Blok toplam işleri	20,685,875.000	4.15%	80.00%	67.10%
5	Tesisatı işleri	24,860,000.000	4.98%	80.00%	72.09%
6	Alüminyum doğrama işleri	22,912,465.000	4.59%	80.00%	76.68%
7	Sıva işleri	18,052,425.000	3.62%	80.00%	80.30%
8	Cephe taş kaplama kaplama işleri	17,003,535.000	3.41%	80.00%	83.71%
9	Bitümen ile yalıtım işleri	15,708,000.000	3.15%	80.00%	86.86%
10	Hafriyat işleri	15,200,270.000	3.05%	80.00%	89.90%
11	Su yalıtım işleri	11,953,120.000	2.40%	80.00%	92.30%
12	Boya işleri	10,848,550.000	2.17%	80.00%	94.47%
13	Seramik kaplama işleri	8,510,655.000	1.71%	80.00%	96.18%
14	Hafif donatılı betonarme işleri (Beton Oranı: 200 Kg/m3)	5,820,470.000	1.17%	80.00%	97.35%
15	Ahşap doğrama işleri	4,961,640.000	0.99%	80.00%	98.34%
16	Blokaj betonu işleri (Beton Oranı: 150 Kg/m3)	3,751,670.000	0.75%	80.00%	99.09%
17	Şantiye hazırlık çalışmaları	2,600,000.000	0.52%	80.00%	99.61%
18	Grobeton beton işleri (Beton Oranı:150 Kg/m3)	1,921,425.000	0.39%	80.00%	100.00%
		498,840,265.00			100.00%

Ayrıca, Şekil 4.16'da ilk üç iş kaleminin (Betonarme işleri, Demir doğrama işleri ve Zemin ve süpürgelik kaplama işleri) sırasıyla 38.13%, 14.45% ve 10.38% oranlarında maliyete katkıda bulunduğu ve bu üç iş kaleminin toplamda maliyetin %60'ını aştığı belirlenmiştir.



Şekil 4.16: Pareto analizi ile malzeme maliyet grafiği.

4.5. SENARYO OLUŞTURULMASI

İnşaat projelerinde, Tablo 4-2'de gösterilen yapısal (kaba inşaat) ve dekoratif (ince inşaat) işlerin mali tablolarının yanı sıra, Şekil 4.15'te projedeki tüm işlerin doğru sırayla gerçekleştirilmesini sağlayan iş programı ele alınmıştır. Bu süreçte, proje yönetiminin farklı yönleri değerlendirilerek iş akışının belirli senaryolar altında nasıl optimize edilebileceği incelenmiştir. Ayrıca, her senaryo maliyet, zaman ve kaynak kullanımı kriterleri doğrultusunda analiz edilerek proje sürecine etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında üç farklı senaryoya ilişkin çalışmalar sunulmuştur.

4.5.1. Birinci Senaryo: Finansmanın Düzenli Dağılımı.

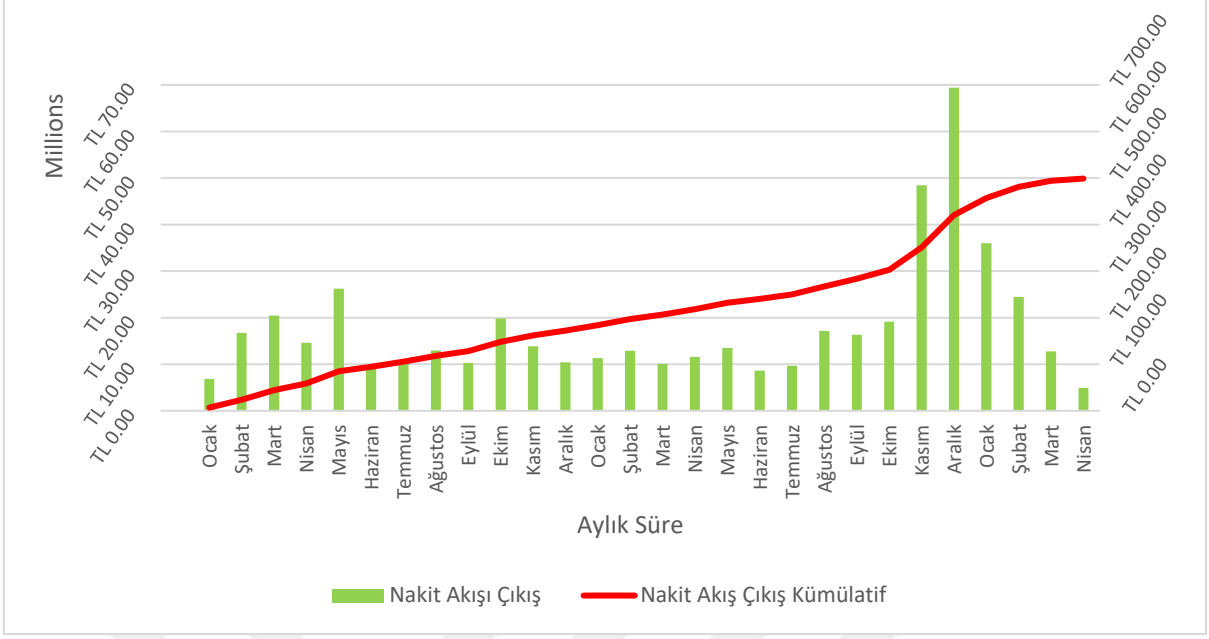
Birinci senaryo kapsamında Tablo 4-4'ün sunduğu verilere göre: 2021 yılının aralık ayında nakit çıkış değerlerinden maksimum değeri 69,405,184.98 TL olarak kaydedilmiştir. Nakit girişleri ise 2020 yılının ocak ayından 2022 yılının nisan ayına kadar düzenli aylık olarak dağıtılmış ve her ay 17,815,723.75 TL seviyesinde sabit kalmıştır. Toplam maliyeti, Şekil 4.17'da gösterildiği üzere, 2022 yılının nisan ayında 498,840,265.00 TL olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.18'de aylık kalan maliyetlerdeki değişimler iki farklı dalga hareketiyle karakterize edilmiştir:

- Pozitif dalga: 2020 yılının ocak ayında başlamış ve 2021 yılının aralık ayında bitmiştir.
- Negatif dalga: 2022 yılının ocak ayında başlamış ve 2022 yılının nisan ayında bitmiştir.

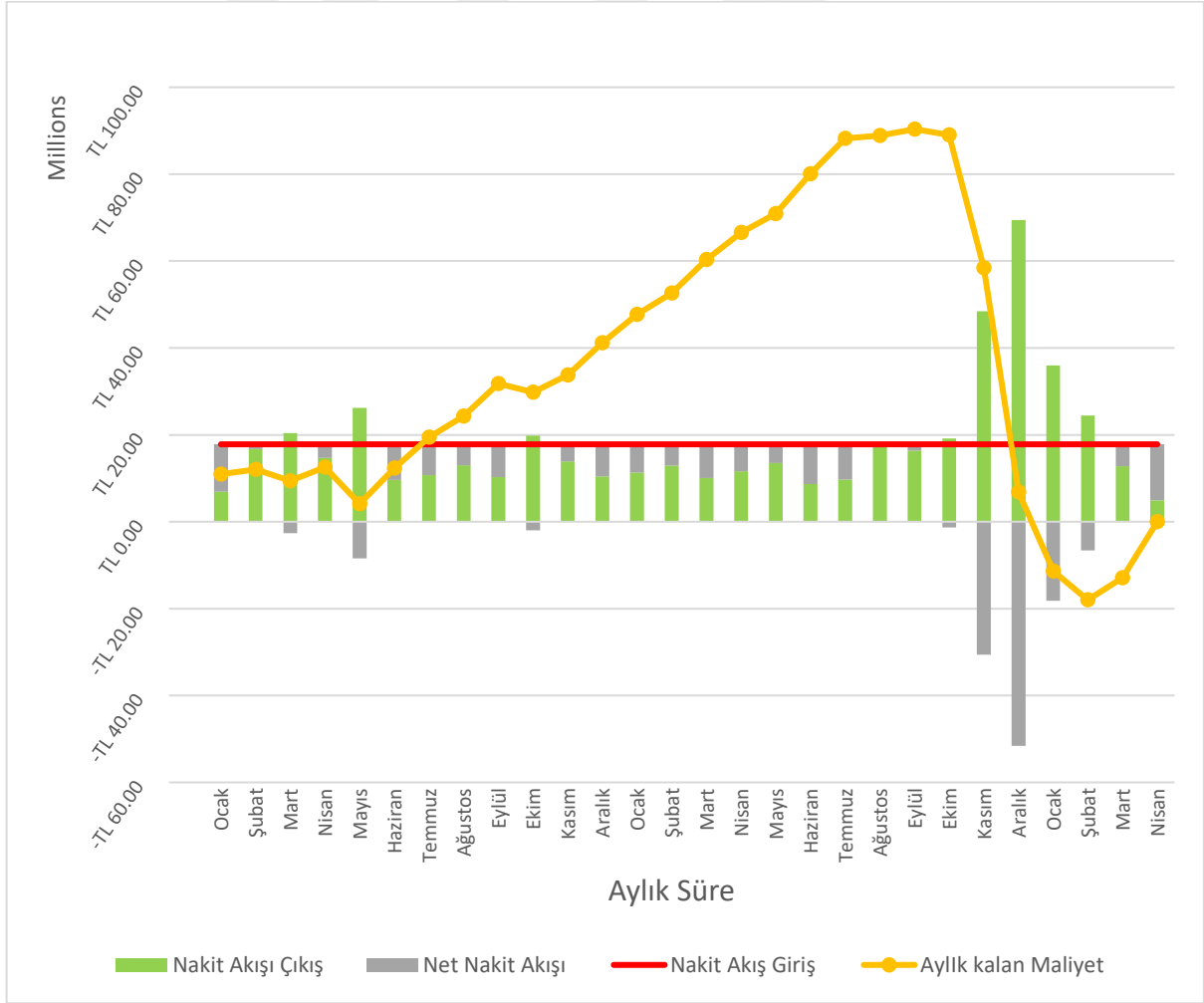
2022 yılının ocak, şubat ve mart ayların sırasıyla -11,368,211.80 TL, -18,001,867.50 TL- ve -12,922,723.75 TL olarak kaydedilen değerler proje için tahsis edilen nakit miktarının bu dönemlerde yetersiz kaldığını göstermiştir.

Tablo 4-4: Finansmanın düzenli dağılımı tablosu.

Yıl	Ay	Nakit Akışı Çıkışı	Nakit Akış Girişi	Net Nakit Akış	Aylık kalan Maliyet	Nakit Akış Çıkışı Kümülatif	Yüzde %
2020	Ocak	6,874,791.67	17,815,723.75	10,940,932.08	10,940,932.08	6,874,791.67	1.38%
	Şubat	16,747,740.83	17,815,723.75	1,067,982.92	12,008,915.00	23,622,532.50	4.74%
	Mart	20,439,375.00	17,815,723.75	-2,623,651.25	9,385,263.75	44,061,907.50	8.83%
	Nisan	14,649,090.58	17,815,723.75	3,166,633.17	12,551,896.92	58,710,998.08	11.77%
	Mayıs	26,227,925.92	17,815,723.75	-8,412,202.17	4,139,694.75	84,938,924.00	17.03%
	Haziran	9,627,023.12	17,815,723.75	8,188,700.63	12,328,395.38	94,565,947.12	18.96%
	Temmuz	10,695,482.88	17,815,723.75	7,120,240.87	19,448,636.25	105,261,430.00	21.10%
	Ağustos	12,960,050.00	17,815,723.75	4,855,673.75	24,304,310.00	118,221,480.00	23.70%
	Eylül	10,304,616.75	17,815,723.75	7,511,107.00	31,815,417.00	128,526,096.75	25.76%
	Ekim	19,829,785.41	17,815,723.75	-2,014,061.66	29,801,355.34	148,355,882.16	29.74%
	Kasım	13,856,599.43	17,815,723.75	3,959,124.32	33,760,479.66	162,212,481.59	32.52%
	Aralık	10,410,156.41	17,815,723.75	7,405,567.34	41,166,047.00	172,622,638.00	34.60%
2021	Ocak	11,287,672.68	17,815,723.75	6,528,051.07	47,694,098.07	183,910,310.68	36.87%
	Şubat	12,894,108.11	17,815,723.75	4,921,615.64	52,615,713.71	196,804,418.79	39.45%
	Mart	10,083,130.51	17,815,723.75	7,732,593.24	60,348,306.95	206,887,549.30	41.47%
	Nisan	11,615,694.92	17,815,723.75	6,200,028.83	66,548,335.78	218,503,244.22	43.80%
	Mayıs	13,487,379.87	17,815,723.75	4,328,343.88	70,876,679.66	231,990,624.09	46.51%
	Haziran	8,638,465.15	17,815,723.75	9,177,258.60	80,053,938.26	240,629,089.24	48.24%
	Temmuz	9,667,723.27	17,815,723.75	8,148,000.48	88,201,938.74	250,296,812.51	50.18%
	Ağustos	17,142,219.63	17,815,723.75	673,504.12	88,875,442.86	267,439,032.14	53.61%
	Eylül	16,339,514.53	17,815,723.75	1,476,209.22	90,351,652.08	283,778,546.67	56.89%
	Ekim	19,160,170.56	17,815,723.75	-1,344,446.81	89,007,205.27	302,938,717.23	60.73%
	Kasım	48,422,159.90	17,815,723.75	-30,606,436.15	58,400,769.12	351,360,877.13	70.44%
	Aralık	69,405,184.98	17,815,723.75	-51,589,461.23	6,811,307.89	420,766,062.11	84.35%
2022	Ocak	35,995,243.44	17,815,723.75	-18,179,519.69	-11,368,211.80	456,761,305.55	91.56%
	Şubat	24,449,379.45	17,815,723.75	-6,633,655.70	-18,001,867.50	481,210,685.00	96.47%
	Mart	12,736,580.00	17,815,723.75	5,079,143.75	-12,922,723.75	493,947,265.00	99.02%
	Nisan	4,893,000.00	17,815,723.75	12,922,723.75	0.00	498,840,265.00	100.00%
					0.00	498,840,265.00	100.00%



Şekil 4.17: Birinci Senaryoda nakit akışı ve kümülatif maliyet grafiği.



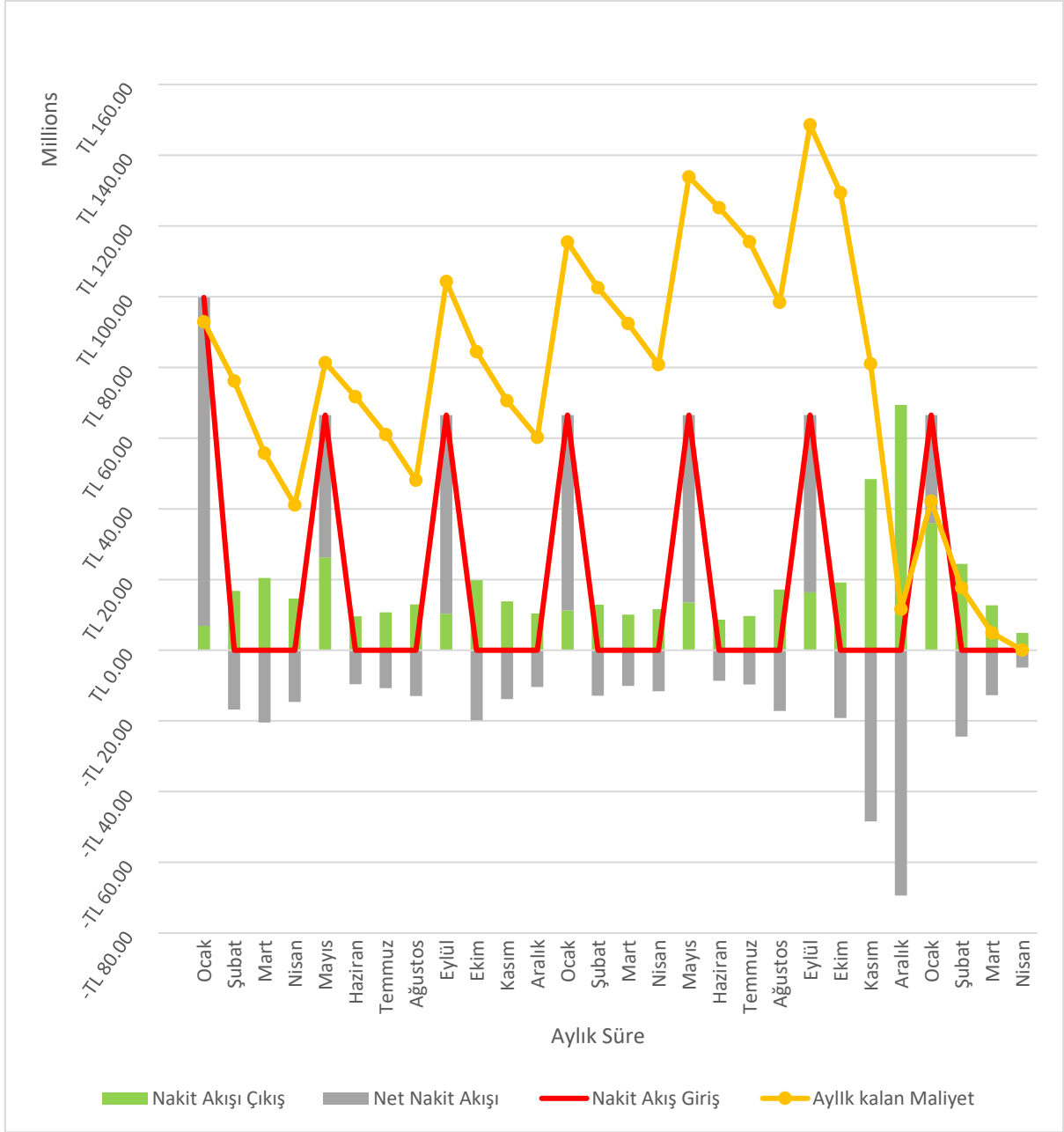
Şekil 4.18: Birinci Senaryoda net nakit akışı ve aylık kalan maliyet grafiği.

4.5.2. İkinci Senaryo: Finansmanın 20%'si Ön Ödeme ile Sabit Periyodik Dağılımı

İkinci senaryo kapsamında Tablo 4-5'ün sunduğu verilere göre: 2020 yılının ocak ayından 2022 yılının nisan ayına kadar finansmanın 20%'si olan miktar 99,768,053.00 TL ön ödeme ile sabit periyodik ödemeler olarak dağıtılmıştır. Ön ödeme yatırıldıktan sonra her dört ay 66,512,035.33 TL seviyesinde sabit periyodik ödemeler kalmıştır. Şekil 4.19'da aylık kalan maliyetlerdeki değişimler negatif dalga oluşmadan pozitif dalga ile 2020 yılının ocak ayında başlamış ve 2022 yılının nisan ayında bitmiş hareketiyle karakterize edilmiştir.

Tablo 4-5: Finansmanın 20%'si ön ödeme ile sabit periyodik dağılımı tablosu.

Yıl	Ay	Nakit Akışı Çıkışı	Nakit Akışı Girişi	Net Nakit Akışı	Aylık kalan Maliyet	Nakit Akış Çıkış Kümülatif	Yüzde %	
1.Dönem: 99,768,053.00 TL								
2020	Ocak	6,874,791.67	99,768,053.00	92,893,261.33	92,893,261.33	6,874,791.67	1.38%	
	Şubat	16,747,740.83	0.00	-16,747,740.83	76,145,520.50	23,622,532.50	4.74%	
	Mart	20,439,375.00	0.00	-20,439,375.00	55,706,145.50	44,061,907.50	8.83%	
	Nisan	14,649,090.58	0.00	-14,649,090.58	41,057,054.92	58,710,998.08	11.77%	
	2.Dönem: 66,512,035.33 TL							
	Mayıs	26,227,925.92	66,512,035.33	40,284,109.41	81,341,164.33	84,938,924.00	17.03%	
	Haziran	9,627,023.12	0.00	-9,627,023.12	71,714,141.21	94,565,947.12	18.96%	
	Temmuz	10,695,482.88	0.00	-10,695,482.88	61,018,658.33	105,261,430.00	21.10%	
	Ağustos	12,960,050.00	0.00	-12,960,050.00	48,058,608.33	118,221,480.00	23.70%	
	3.Dönem: 66,512,035.33 TL							
	Eylül	10,304,616.75	66,512,035.33	56,207,418.58	104,266,026.92	128,526,096.75	25.76%	
	Ekim	19,829,785.41	0.00	-19,829,785.41	84,436,241.51	148,355,882.16	29.74%	
Kasım	13,856,599.43	0.00	-13,856,599.43	70,579,642.08	162,212,481.59	32.52%		
Aralık	10,410,156.41	0.00	-10,410,156.41	60,169,485.67	172,622,638.00	34.60%		
4.Dönem: 66,512,035.33 TL								
2021	Ocak	11,287,672.68	66,512,035.33	55,224,362.65	115,393,848.32	183,910,310.68	36.87%	
	Şubat	12,894,108.11	0.00	-12,894,108.11	102,499,740.21	196,804,418.79	39.45%	
	Mart	0.00	0.00	-10,083,130.51	92,416,609.70	206,887,549.30	41.47%	
	Nisan	0.00	0.00	-11,615,694.92	80,800,914.78	218,503,244.22	43.80%	
	5.Dönem: 66,512,035.33 TL							
	Mayıs	23,570,510.38	66,512,035.33	53,024,655.46	133,825,570.24	231,990,624.09	46.51%	
	Haziran	20,254,160.07	0.00	-8,638,465.15	125,187,105.09	240,629,089.24	48.24%	
	Temmuz	9,667,723.27	0.00	-9,667,723.27	115,519,381.82	250,296,812.51	50.18%	
	Ağustos	17,142,219.63	0.00	-17,142,219.63	98,377,162.19	267,439,032.14	53.61%	
	6.Dönem: 66,512,035.33 TL							
	Eylül	16,339,514.53	66,512,035.33	50,172,520.80	148,549,683.00	283,778,546.67	56.89%	
	Ekim	19,160,170.56	0.00	-19,160,170.56	129,389,512.44	302,938,717.23	60.73%	
Kasım	48,422,159.90	0.00	-48,422,159.90	80,967,352.54	351,360,877.13	70.44%		
Aralık	69,405,184.98	0.00	-69,405,184.98	11,562,167.56	420,766,062.11	84.35%		
7.Dönem: 66,512,035.33 TL								
2022	Ocak	35,995,243.44	66,512,035.33	30,516,791.89	42,078,959.45	456,761,305.55	91.56%	
	Şubat	24,449,379.45	0.00	-24,449,379.45	17,629,580.00	481,210,685.00	96.47%	
	Mart	12,736,580.00	0.00	-12,736,580.00	4,893,000.00	493,947,265.00	99.02%	
	Nisan	4,893,000.00	0.00	-4,893,000.00	0.00	498,840,265.00	100.00%	
				0.00		498,840,265.00	100.00%	



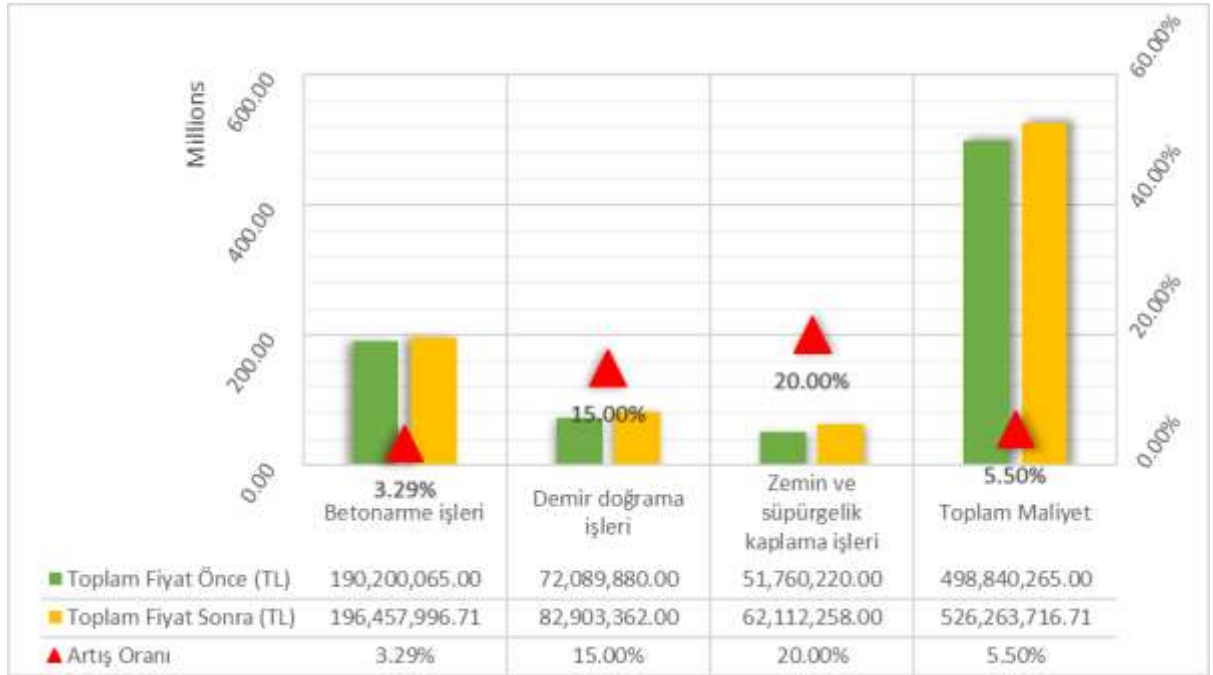
Şekil 4.19: İkinci Senaryoda net nakit akışı ve aylık kalan maliyet grafiği.

4.5.3. Üçüncü Senaryo: Malzeme Maliyetlerindeki Artış

Şekil 4.16'da gösterildiği üzere, ilk üç iş kaleminde kullanılan ham madde fiyatlarındaki artış nedeniyle bu iş kalemlerinin toplam maliyetlerinde belirgin bir yükseliş meydana gelmiştir. 2021 yılının ilk ayından itibaren başlayan bu maliyet artışı, Şekil 4.20'de gösterildiği gibi Betonarme işleri için %10, Demir doğrama işleri için %15 ve zemin ve süpürgelik kaplama işleri için %20 oranında gerçekleşmiştir. Tablo 4-6'da sunulan verilere göre, bu artışlar doğrudan ilgili iş kalemlerinin toplam maliyetine yansımış ve Şekil 4.20'de gösterildiği gibi toplam maliyette %5,50 oranında bir artışa neden tespit edilmiştir.

Tablo 4-6: Malzeme fiyat artışlarının toplam maliyetlere etkisi tablosu.

Yıl	Ay	Betonarme işlerinde 10% artış (TL/m ³)		Demir doğrama işlerinde 15% artış (TL/KG)		Zemin kaplama işlerinde 20% artış (TL/m ²)		Süpürgelik işlerinde 20% artış (TL/m)	
		Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra
2020	Ocak	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Şubat	10,219,687.50	10,219,687.50	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Mart	20,439,375.00	20,439,375.00	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Nisan	11,024,167.50	11,024,167.50	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Mayıs	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Haziran	7,880,882.12	7,880,882.12	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Temmuz	10,695,482.88	10,695,482.88	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Ağustos	12,960,050.00	12,960,050.00	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Eylül	10,304,616.75	10,304,616.75	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Ekim	19,829,785.41	19,829,785.41	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Kasım	13,856,599.43	13,856,599.43	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Aralık	10,410,156.41	10,410,156.41	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2021	Ocak	11,287,672.68	12,416,439.95	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Şubat	12,894,108.11	14,183,518.92	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Mart	10,083,130.51	11,091,443.56	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Nisan	11,615,694.92	12,777,264.41	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Mayıs	13,487,379.87	14,836,117.86	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Haziran	3,211,280.92	3,532,409.01	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Temmuz	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Ağustos	-----	-----	1,249,920.00	1,437,408.00	-----	-----	-----	-----
	Eylül	-----	-----	4,780,200.00	5,497,230.00	-----	-----	-----	-----
	Ekim	-----	-----	2,698,860.00	3,103,689.00	-----	-----	-----	-----
	Kasım	-----	-----	21,043,363.64	24,199,868.19	4,835,375.00	5,802,450.00	-----	-----
	Aralık	-----	-----	28,593,955.59	32,883,048.93	9,645,245.28	11,574,294.34	974,705.00	1,169,646.00
2022	Ocak	-----	-----	13,723,580.77	15,782,117.89	13,454,613.94	16,145,536.73	804,610.00	965,532.00
	Şubat	-----	-----	-----	-----	10,227,395.78	12,272,874.94	748,690.00	898,428.00
	Mart	-----	-----	-----	-----	6,205,770.00	7,446,924.00	270,810.00	324,972.00
	Nisan	-----	-----	-----	-----	4,593,000.00	5,511,600.00	-----	-----
		190,200,065.00	196,457,996.71	72,089,880.00	82,903,362.00	48,961,405.00	58,753,680.00	2,798,815.00	3,358,578.00

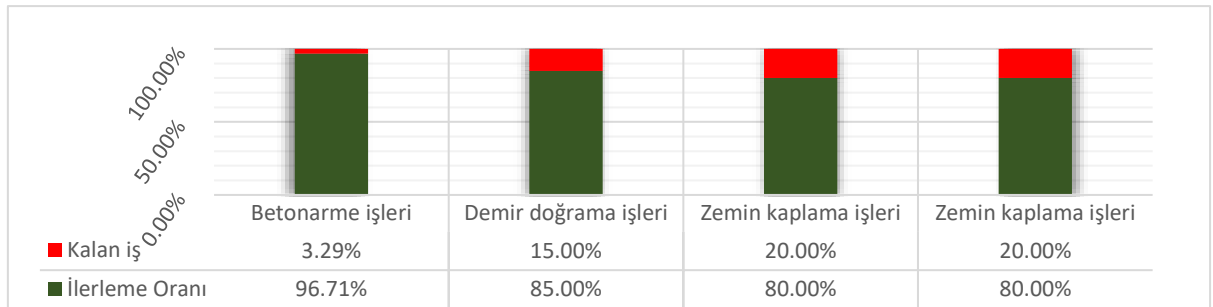


Şekil 4.20: Artan malzeme maliyetlerinin toplam maliyete etkisi grafiği.

Tablo 4-7: En yüksek maliyetli üç malzemenin akış tablosu.

Yıl	Ay	Betonarme işleri (m3)		Demir doğrama işleri (KG)		Zemin kaplama işleri (m2)		Süpürgelik kaplama işleri (m2)	
		Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra
2020	Ocak	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Şubat	134.03	134.03	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Mart	268.06	268.06	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Nisan	144.58	144.58	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Mayıs	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Haziran	103.36	103.36	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Temmuz	140.27	140.27	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Ağustos	169.97	169.97	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Eylül	135.14	135.14	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Ekim	260.06	260.06	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Kasım	181.73	181.73	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Aralık	136.53	136.53	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2021	Ocak	148.03	133.23	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Şubat	169.10	152.19	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Mart	132.24	119.01	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Nisan	152.34	137.10	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Mayıs	176.88	159.19	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Haziran	42.12	37.90	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Temmuz	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Ağustos	-----	-----	672.00	571.20	-----	-----	-----	-----
	Eylül	-----	-----	2,570.00	2,184.50	-----	-----	-----	-----
	Ekim	-----	-----	1,451.00	1,233.35	-----	-----	-----	-----
	Kasım	-----	-----	11,313.64	9,616.59	956.55	765.24	-----	-----
	Aralık	-----	-----	15,373.09	13,067.13	1,056.58	845.26	655.18	524.14
2022	Ocak	-----	-----	7,378.27	6,271.53	1,322.69	1,058.15	525.80	420.64
	Şubat	-----	-----	-----	-----	775.30	620.24	404.94	323.95
	Mart	-----	-----	-----	-----	548.72	438.98	129.27	103.42
	Nisan	-----	-----	-----	-----	1,009.45	807.56	-----	-----
		2,494.42	2412.34	38,758.00	32,944.30	5,669.29	4,535.43	1,715.19	1,372.15

Tablo 4-7'de, malzeme fiyatlarındaki artışın, gerekli malzeme miktarına olan etkisi sunulmaktadır. Yeni fiyatlar dikkate alındığında projedeki iş ilerleme oranlarını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Şekil 4.21'de sunulan verilere göre, betonarme işleri için %96,71, demir doğrama işleri için %85 ve zemin ile süpürgelik kaplama işleri için %80 oranında gerçekleşmesi gereken ilerleme, artan malzeme fiyatları nedeniyle plana uygun şekilde ilerlemediği tespit edilmiştir.



Şekil 4.21: Artan malzeme miktarına göre iş ilerleme grafiği

5. TARTIŞMA

Tez çalışmasında yapılan analizler, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. YBM'nin 5D modeli, geleneksel yöntemlerle yapılan maliyet tahmini yönetimine kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Geleneksel yöntemlerde manuel hesaplamalara dayandığından hata payı yüksekken YBM'nin modelleme yetenekleri tahmin doğruluğunu artırmaktadır. Bu çalışma, YBM'nin nakit akışı üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu öne süren Cheng ve Lu (2015) tarafından yapılan araştırmadan farklılık göstererek YBM'nin projelerde kapsamlı bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Smart Market (2012) tarafından yapılan çalışmada, YBM'nin proje planlamasında zamanlama ve maliyet tahminlerinin doğruluğunu artırdığı belirtilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, YBM'nin maliyet tahminleri ve nakit akışı yönetimi üzerindeki olumlu etkilerinin önceki araştırmalarla tutarlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, YBM tabanlı maliyet tahmini ve nakit akışı yönetim sistemlerinin finansal riskleri önemli ölçüde azalttığı ve proje sürecinde nakit akışını optimize ederek finansal istikrarı sağladığı gözlemlenmiştir.

Alnaser ve diğ., (2023) tarafından yapılan araştırmada da belirtilen YBM tabanlı maliyet tahmini yöntemlerinin geleneksel hesaplama tekniklerine kıyasla daha doğru sonuçlar sunduğunu doğrulamaktadır. Tez çalışmasında gerçekleştirilen senaryo analizleri, finansman yönetimi stratejilerinin proje performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. İlk senaryoda, finansmanın düzenli dağıtımı, belirli aylarda nakit akışı dengesizliğine yol açarak bazı iş kalemlerinde gecikmelere neden olmuştur. 2022 yılının ocak, şubat ve mart aylarında sırasıyla -11,368,211.80 TL, -18,001,867.50 TL ve -12,922,723.75 TL olarak kaydedilen negatif değerler, projeye tahsis edilen nakit miktarının yetersiz olduğunu ve çalışma hızını olumsuz etkilediğini göstermektedir. Bu tür finansal dalgalanmaların proje süreçlerinde aksamalara neden olduğu, Azhar ve diğ., (2012) tarafından yapılan çalışmada belirtilen YBM'nin proje süreçlerindeki şeffaflığı artırdığı bulgusuyla da örtüşmektedir. İkinci senaryoda, 2020 yılının ocak ayından itibaren finansmanın %20'sinin ön ödeme olarak sağlanması ve kalan kısmının periyodik olarak dağıtılması, önceki senaryoda gözlemlenen nakit akışı problemlerini büyük ölçüde azaltmış ve işlerin daha düzenli ilerlemesini sağlamıştır. Bu bağlamda, Pishdad ve Onungwa (2024) tarafından yürütülen çalışmayla paralellik göstermekte

ve YBM'nin finansal sürdürülebilirliği artırıcı etkisini desteklemektedir. Üçüncü senaryoda malzeme fiyatlarındaki artışların proje sürecine olumsuz etkiler yarattığı belirlenmiştir. 2021 yılının başından itibaren yaşanan maliyet artışları, betonarme işleri için %10, demir doğrama işleri için %15 ve zemin ile süpürgelik kaplama işleri için %20 oranında gerçekleşmiş olup toplam proje maliyetinde %8,06'lık bir artışa yol açmıştır. Dolayısıyla, iş programında negatif etkiler yaratmış ve belirli iş kalemlerinde ilerlemeyi yavaşlatmıştır. Malzeme fiyatlarındaki artışların projelerde yarattığı etkiler üzerine yapılan araştırmalar, YBM'nin 5D modelinin maliyet tahminlerinde yüksek doğruluk sağlayarak fiyat dalgalanmalarına karşı önleyici tedbirler geliştirilmesine yardımcı olduğunu göstermektedir (Mahmoud ve diğ., 2022).

Pareto analizi sonuçlarına göre, üçüncü senaryodaki üç iş kalemi toplam proje maliyetinin %60'ını oluştururken geri kalan iş kalemleri ise %40'lık bir paya sahiptir. Ayrıca, malzeme maliyetlerindeki artışın proje ilerleme oranlarına etkisi incelendiğinde, artan maliyetler nedeniyle bazı iş kalemlerinin tamamlanma oranlarında düşüş gözlemlenmiştir. Betonarme işlerinin %96,29 seviyesinde tamamlandığı, demir doğrama işlerinde ilerleme oranının %85'e gerilediği ve zemin ile süpürgelik kaplama işlerinde ise %80'e düştüğü belirlenmiştir. Bu durum, Mahmoud ve diğ., (2022) tarafından yürütülen araştırmasına göre malzeme fiyatlarındaki dalgalanmaların proje ilerleyişi üzerindeki doğrudan etkisini göstermekte ve malzeme fiyatlarındaki artışın proje ilerleyişini doğrudan etkileyerek planlanan sürelerin uzamasına ve proje yönetiminde ek önlemler alınmasını gerektirdiğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, 5D YBM modeli, tahmin edilen maliyetlerle gerçekleşen harcamalar arasındaki farkları belirleyerek proje bütçesinin daha etkin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Tartışma sonucunda, inşaat projelerinde maliyet dalgalanmalarına karşı önleyici tedbirlerin alınmasının ve tedarik zinciri yönetiminin daha esnek bir şekilde planlanmasının önemi vurgulanmaktadır (Azhar ve diğ., 2012).

Tez çalışması belirli bir projeye odaklandığı için elde edilen sonuçların genellenebilirliği sınırlı ve gelecek araştırmaların farklı türdeki projelerde test edilmesi gerekmektedir. YBM 5D modeli, maliyet ve nakit akışı tahminlerinin doğruluğunu artırmakla kalmayıp aynı zamanda proje yönetiminin çeşitli aşamalarında stratejik ve verimli kararlar alınmasını da katkı sağlar. Bu sayede, proje süreçlerinin daha verimli yönetilmesi mümkün olmaktadır. YBM entegrasyonunun etkinliği, kullanılan yazılım ve projeye özgü verilerle değişebilir; ancak bulgular, YBM tabanlı proje yönetiminin etkinliğini göstermekte ve literatüre katkı sunmaktadır (Pishdad ve Onungwa, 2024).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan analizler sonucunda, inşaat projelerindeki nakit akışını etkileyen faktörlerin projenin finansal başarısını doğrudan etkilediği ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda, inşaat sektöründe karşılaşılan en büyük finansal zorluklardan birinin nakit akışının etkin bir şekilde yönetilememesi olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen bulgular, YBM tabanlı sistemlerin projelerin finansal yönetimini iyileştirirken, projelerin daha şeffaf ve denetlenebilir bir şekilde yürütülmesini sağladığını göstermektedir. Başarıyla tamamlanmış bir projenin, tüm görevlerin belirlenen zaman çerçevesi içinde ve tahsis edilen finansal kaynaklar dâhilinde gerçekleştirilmesine bağlı olduğu açıkça görülmektedir. Bu doğrultuda, YBM'nin sunduğu faydalar yalnızca maliyetlerin yönetimi ile sınırlı kalmamakta, aynı zamanda projelerin ilerleyişinin daha verimli bir şekilde izlenmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra YBM kullanarak malzeme akışları ve proje ilerlemesinin doğru bir şekilde analiz edilmesi, maliyet artışlarını önceden tahmin etmek ve etkili bir planlama yapmak adına kritik bir rol oynamaktadır. Buna ek olarak, YBM ile gerçekleştirilen malzeme ve nakit akışı analizi, proje yönetiminde önemli bir yenilik sunmuş ve inşaat projelerinin (kalite, maliyet ve zaman) gibi üç temel unsuru arasındaki dengeyi sağlamada etkili bir araç olarak öne çıkmıştır. Birçok çalışma, inşaat nakit akışı tahminini ve analizini ele almış olsa da nakit akışı oluşturma için simülasyonun pratik kullanımı hâlâ yaygın değildir.

Tez çalışmasında, mevcut simülasyon yaklaşımı genişletilmiş ve nakit akışı alternatiflerinin oluşturulmasını sağlamıştır. Bu süreçte, proje paydaşlarının YBM ortamında simülasyon senaryoları aracılığıyla nakit akışı tahminleri, analizleri ve alternatifleri oluşturabilmelerini sağlamaktadır. Bu yöntem, finansal senaryoların uygulanabilirliğini doğrulama ve alternatiflerle karşılaştırma yapma imkânı sunmaktadır. Ayrıca, nakit akışı parametrelerini ve alternatiflerini değerlendirerek, en uygun ve uygulanabilir olanını seçmek suretiyle maliyet tahmin süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu, inşaat sektöründe finansal yönetim sistemlerinin daha verimli hale gelmesini sağlayacak ve projelerin başarı oranını artıracaktır.

Gelecekteki araştırmalar, bu çalışma ile inşaat projelerinin finansal yönetimini geliştirme noktasında önemli bir temel atılmış olmasına rağmen, ilerleyen süreçlerde

uygulamalar ve gelişmeler için bazı öneriler ve stratejiler ortaya konmuştur. YBM'nin entegrasyonunun derinleştirilmesiyle birlikte, inşaat projelerinin finansal yönetiminde devrim niteliğinde yeniliklerin mümkün olacağı öngörülmektedir. Bu doğrultuda, proje yönetiminin daha verimli hale gelmesi ve sürdürülebilir başarı elde edilmesi için aşağıda belirtilen unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır:

➤ **Öncelikli Araştırma ve Model Geliştirme**

- YBM'in daha geniş kapsamlı bir şekilde uygulanması için araştırma yapılması: YBM'in yalnızca nakit akışı değil, tüm proje parametrelerini yönetebilecek şekilde genişletilmesi önerilmektedir. Bu, projelerin daha esnek ve ölçeklenebilir olmasına katkı sağlayacaktır.
- YBM'nin proje başlangıcından sonuna kadar tüm süreçleri kapsayacak şekilde entegre edilmesi: YBM'nin, proje sürecinin her aşamasını kapsayacak şekilde entegre edilmesi, tüm süreçlerin tek bir platformda birleştirilmesini sağlar ve yönetimi kolaylaştırır.

➤ **Modelin Uygulanması ve Adaptasyonu**

- Mevcut modelin farklı projelere uygulanması: Önerilen modelin, farklı projelere uygulanması gerektiği belirtilmektedir. Örneğin altyapı proje gibi projeleri, mevcut modelin karşılaşılabileceği zorlukları göz önünde bulundurarak incelenmelidir.
- Faaliyet maliyetlerinin ve sürelerinin değişken olmasına dikkat edilmesi: Bu modelin geliştirilmesi, maliyetlerin ve sürelerin proje süresince değişebileceğini dikkate alarak yapılmalıdır. Böylece, daha esnek ve gerçekçi finansal tahminler elde edilebilir.

➤ **Gerçek Zamanlı Takip ve Optimizasyon**

- Tasarım değişikliklerinin nakit akışına etkisinin analiz edilmesi: Tasarımda yapılan değişikliklerin veya sözleşme şartlarındaki değişikliklerin nakit akışını nasıl etkilediği daha ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir.
- Yapay zekâ tabanlı otomatik optimizasyon araçlarının kullanılması: YBM ile entegre yapay zekâ tabanlı optimizasyon araçlarının kullanımı, nakit akışı parametrelerini otomatik olarak optimize etmeye yardımcı olabilir. Bu, proje süresince daha verimli kararlar almayı sağlar.

Sonuç olarak, tez çalışmasında sunulan çalışmalar, inşaat projelerindeki nakit akışı tahmin süreçlerini iyileştirme konusunda önemli adımlar atmış olsa da optimizasyon ve daha geniş uygulama potansiyeli hala büyük bir gelişim alanına sahiptir. Gelecek araştırmalar, inşaat projeleri için daha kesin, uyarlanabilir ve risk bilincine sahip finansal planlar oluşturmak amacıyla YBM'in stokastik ve otomatik optimizasyon araçları ile entegrasyonunun genişletilmesine odaklanabilir.



KAYNAKLAR

- Abualdenien, J. and Borrmann, A., 2022, Levels of detail, development, definition, and information need: A critical literature review. *Journal of information technology in construction*, 27, 363–392. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.018>
- Ahmed, S., Safour, R. and Zaarour, B., 2021, BIM adoption around the world. *International journal of BIM and engineering science*, 4(2), 31–44. <https://doi.org/10.54216/IJBES.040203>
- Aibinu, A. and Venkatesh, S., 2014, Status of BIM adoption and the BIM experience of cost consultants in Australia. *Journal of professional issues in engineering education and practice*, 140(3), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000193](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000193)
- Albtoush, A.M.F., Doh, S.I., Rahman, A.R.B.A. and Albtoush, J.A.A., 2020, Factors affecting the cost management in construction projects. *International journal of civil engineering and technology*, 11(1), 105–111. <https://doi.org/10.34218/ijciet.11.1.2020.011>
- Alnaser, A.A., Alsanabani, N.M. and Al-Gahtani, K.S., 2023, BIM impact on construction project time using system dynamics in Saudi Arabia's construction. *Buildings*, 13(9), 1–20. <https://doi.org/10.3390/buildings13092267>
- Arayici, Y., Egbu, C., and Coates, P., 2012, Building information modelling (BIM) implementation and remote construction projects: Issues, challenges, and critiques. *Electronic journal of information technology in construction*, 17, 75–92.
- Azhar, S., 2011, Building information modelling (BIM): Trends, benefits, risks and challenges for the AEC industry, *Leadership and management in engineering*, 11, 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- 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. <https://doi.org/10.5130/ajceb.v12i4.3032>

- Biçer, Ö., Zontul, K., ve Hasözhan, M., 2021, Yapım maliyetlerinin hesaplanmasında yapı bilgi modelleme (YBM) sisteminin örnek uygulama üzerinden irdelenmesi. *Bayburt üniversitesi fen bilimleri dergisi*, 4(1), 1–21.
- Bloomberg, M.R., Burney, D.J., and Resnick, D., 2012, *BIM guidelines*. New York City department of design and construction. https://www.sonda-mco.com/upfiles/Caso-Exito-Implementacion-BIM-DDC_Guidelines_1441043716.pdf
- Brito, D.M., and Ferreira, E.A.M., 2015, Strategies for representation and analyses of 4D modeling applied to construction project management. *Procedia economics and finance*, 21, 317–324. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00189-6](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00189-6)
- Browning, T.R., 2014, A quantitative framework for managing project value, risk, and opportunity. *IEEE transactions on engineering management*, 61(4), 742–753. <https://doi.org/10.1109/TEM.2014.2326986>
- Cao, D., Wang, G., Li, H., Skitmore, M., Huang, T. and Zhang, W., 2015, Practices and effectiveness of building information modelling in construction projects in China. *Automation in construction*, 49, 213–222. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.014>
- Charef, R., Alaka, H., and Emmitt, S., 2018, Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of building engineering*, 19, 242–257. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.028>
- Cheng, J.C.P., and Lu, Q., 2015, A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide. *Journal of information technology in construction*, 20, 1–14.
- Dispenza, K., 2010, The daily life of building information modeling (BIM). *Buildipedia*. <https://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim>
- Doukari, O., Kassem, M., and Greenwood, D., 2023, Building information modelling. In T. Lynn, P. Rosati, M. Kassem, S. Krinidis, ve J. Kennedy (Eds.), *Disrupting buildings: Digitalisation and the transformation of deep renovation* (s. 39–51). *Palgrave studies in digital business and enabling technologies*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32309-6_3

- Dunford, R., Su, Q., Tamang, E. and Wintour, A., 2014, The pareto principle. *The Plymouth student scientist*, 7(1), 140–148. <https://doi.org/10.24382/swfr-wr17>
- Eastman, C., Lee, G., Sacks, R., and Teicholz, P., 2018, *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. New Jersey: John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Elghaish, F., Abrishami, S., Abu-Samra, S., Gaterell, M., Hosseini, M. R., and Wise, R., 2019, Cash flow system development framework within integrated project delivery (IPD) using BIM tools. *International journal of construction management*, 21(6), 555–570. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1573477>
- Elghaish, F., Abrishami, S., Hosseini, M.R. and Abu-Samra, S., 2021, Revolutionising cost structure for integrated project delivery: A BIM-based solution, *Engineering, construction and architectural management*, 28(4), 1214–1240. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2019-0222>
- Ershadi, M., Davis, P., Jefferies, M. and Mojtahedi, M., 2021, Implementation of building information modelling in infrastructure construction projects: A study of dimensions and strategies. *International journal of information systems and project management*, 9(4), 41–60. <https://doi.org/10.12821/ijispm090403>
- Fewings, P. and Henjewe, C., 2019, *Construction project management: An integrated approach* (3th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781351122030>
- Haliburton, J., Clayton, M. J., Ozener, O., Farias, F. and Jeong, W. S., 2011, Parametric modeling and BIM: Innovative design education for integrated building practices. J. Cheon, *ACADIA Regional 2011: Parametricism*, association for computer aided design in architecture. University of Nebraska -Lincoln, ABD.
- Irfanto, R., 2022, The analysis cause of casting repair work with pareto chart in project X. *Jurnal teknik sipil*, 18(1), 41–48. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.4485>
- İşiler, M., Yanalak, M. ve Selbesoğlu, M. O., 2022, Arazi yönetimi paradigması çerçevesinde Türkiye’de binalar için enerji kimlik belgesi uygulamasının değerlendirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir üniversitesi mühendislik bilimleri dergisi*, 11(3), 689–705. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1054333>

- Jeong, H., 2022, A study on the development of standardization for building process based on BIM. *Journal of pharmaceutical negative results*, 13(3), 488–495. <https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.S03.094>
- Jiang, R., Wu, C., Lei, X., Shemery, A., Hampson, K. D. and Wu, P., 2022, Government efforts and roadmaps for building information modeling implementation: Lessons from Singapore, the UK and the US. *Engineering, construction and architectural management*, 29(2), 782–818. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2019-0438>
- Kamardeen, İ., 2010, 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. C. Egbu, 26. *Uluslararası ARCOM konferansı bildirileri*, Association of researchers in construction management. University of Leeds, İngiltere.
- Kaçmaz, Ş., 2019, Parametrik tasarım ve BIM. *Yapı bilgi modellemesi*, 1(1), 3–9.
- Khosrowshahi, F. and Arayici, Y., 2012, Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry. *Engineering, construction and architectural management*, 19(6). <https://doi.org/10.1108/09699981211277531>
- Kim, H. and Grobler, F., 2013, Preparing a construction cash flow analysis using building information modeling (BIM) technology. *Journal of construction engineering and project management*, 34(2), 113-127. <https://doi.org/10.6106/JCEPM.2013.3.1.001>
- Kulkarni, S. B. and Mhetar, G., 2017, Cost control technique using building information modeling (BIM) for a residential building. *International journal of engineering research and technology*, 10(1), 23-30.
- Kymmell, W., 2008, *Building information modeling: Planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations*. McGraw-Hill.
- Lee, M., Lee, D., Kim, T. and Lee, U.K., 2020, Practical analysis of BIM tasks for modular construction projects in South Korea. *Sustainability*, 12(17), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su12176900>
- Lee, X. S., Tsong, C. W. and Khamidi, M. F., 2016, 5D building information modelling – A practicability review. M. R. Ali, 4. *Uluslararası IBCC konferansı Bildirileri*. University of technology, Kuala Lumpur.

- Mahmoud, B. Ben, Lehoux, N., Blanchet, P. and Cloutier, C., 2022, Barriers, strategies, and best practices for BIM adoption in Quebec prefabrication small and medium-sized enterprises (SMEs). *Buildings*, 12(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/buildings12040390>.
- McArthur, J.J., 2015, A building information management (BIM) framework and supporting case study for existing building operations, maintenance, and sustainability. *Procedia engineering*, 118, 1104–1111. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.450>
- Mellado, F. and Lou, E.C.W., 2020, Building information modelling, lean and sustainability: An integration framework to promote performance improvements in the construction industry. *Sustainable cities and society*, 61, 1–56. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102355>
- Mihindu, S. and Arayici, Y., 2008, Digital construction through BIM systems will drive the re-engineering of construction business practices. M. Bannatyne, *Proceedings of the 12th international conference on information visualisation*, IEEE. Londra, Birleşik Krallık.
- Miri, M. and Khaksefidi, M., 2015, Cost management in construction projects: Rework and its effects, *Mediterranean journal of social sciences*, 6(6), 209-215. <https://doi.org/10.5901/mjss.2015.v6n6s6p209>
- Olowa, T., Witt, E. and Lill, I., 2023, Building information modelling (BIM)-enabled construction education: Teaching project cash flow concepts. *International journal of construction management*, 23(9), 1494-1505. <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1979300>
- Omopariola, E.D., Windapo, A., Edwards, D.J. and Thwala, W.D., 2020, Contractors' perceptions of the effects of cash flow on construction projects. *Journal of engineering, design and technology*, 18(2), 308-325. <https://doi.org/10.1108/JEDT-04-2019-0099>
- Ozorhon, B. and Karahan, U., 2016, Critical success factors of building information modeling implementation, *Journal of management in engineering*, 33(3), 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.00005](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.00005)
- Pishdad, P. and Onungwa, I.O., 2024, Analysis of 5D BIM for cost estimation, cost control and payments, *Journal of information technology in construction*, 29, 525–548. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.024>

- PMI, 2021, *The standard for project management and a guide to the project management body of knowledge (PMBOK)* (7th ed.). Project management institute.
- Potts, K. and Ankrah, N., 2013, *Construction cost management: Learning from case studies* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203752944>
- Purnus, A. and Bodea, C. N., 2016, Multi-criteria cash flow analysis in construction projects. *Procedia engineering*, 182, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.597>
- Radujković, M. and Sjekavica, M., 2017, Project management success factors. *Procedia engineering*, 182, 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.048>
- Ranjbar, A. A., Ansari, R., Taherkhani, R. and Hosseini, M. R., 2021, Developing a novel cash flow risk analysis framework for construction projects based on 5D BIM. *Journal of building engineering*, 44, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103341>
- Rifai, A. I., Thalib, H., Isradi, M. and Prasetijo, J., 2022, Implementation of building information modelling for road rehabilitation and reconstruction project: Liquefaction disaster of Palu Area. *International journal of entrepreneurship and business development*, 5(4), 781–791. <https://doi.org/10.29138/IJEBD.V5I4.1914>
- Sampaio, A.Z., 2021, Maturity of BIM implementation in the construction industry: Governmental policies. *International journal of engineering trends and technology*, 69(7), 92–100. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I7P214>
- Sampaio, A.Z., Domingos, I., and Gomes, A., 2023, The 7D BIM model used in the maintenance of buildings. I. Smith, In J. F. L. C. Semião, N. M. S. Sousa, R. M. S. da Cruz, & G. N. D. Prates (Eds.), *INCREaSE 2023: Advances in sustainability science and technology*. Washington, ABD.
- Shash, A.A. and Qarra, A. Al., 2018, Cash flow management of construction projects in Saudi Arabia. *Project management journal*, 49(5), 781–791. <https://doi.org/10.1177/8756972818787976>
- Smart Market., 2012, *The business value of BIM in North America: Multi-year trend analysis and user ratings (2007–2012)* Smart market report, https://download.autodesk.com/us/offercenter/smartmarket2012/SmartMarket_2012_Prelim.pdf

- Smart Market., 2014, *The business value of BIM for construction in major global markets: How contractors around the world are driving innovation with building information modeling SmartMarket report.* https://proddrupalcontent.construction.com/s3fs-public/DCN_SMR/BIMConstructionGlobalMarkets_DDA_Secured.pdf
- Smith, P., 2014, BIM implementation - global strategies. *Procedia engineering*, 85, 484–495. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575>
- Stojcetovic, B., Šarkočević, Ž., Lazarević, D. and Marjanović, D., 2015, Application of the pareto analysis in project management. J. Smith, *9th International quality conference.* center for quality, Faculty of engineering, University of Kragujevac, Beograd, Sirbistan.
- Şahinkaya, G., Sesli, F. A., Koç, V. ve Uzun, Ö. F., 2022, Yapı bilgi modellemesi'nin Türkiye için uygulanabilirliğinin araştırılması. *Bilecik Şeyh Edebali üniversitesi fen bilimleri dergisi*, 9(1), 555–563. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.1099947>
- Tekin, H. and Atabay, Ş., 2019, Building information modelling roadmap strategy for Turkish construction sector. *Proceedings of the institution of civil engineers: Municipal engineer*, 172(3). <https://doi.org/10.1680/jmuen.17.00001>
- Toltar, L., 2018, İnşaatta proje yönetimi: Projenin başarısına etkisi. *Kocaeli Üniversitesi mimarlık ve yaşam dergisi*, 1, 249–258. <https://doi.org/10.26835/my.488853>
- Tomek, A. and Matějka, P., 2014, The impact of BIM on risk management as an argument for its implementation in a construction company. *Procedia engineering*, 85, 501–509. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.577>
- Van Berlo, L.A.H.M. and Bomhof, F., 2014, Creating the Dutch national BIM levels of development. M. Karlshøj, *Proceedings of the 2014 international conference on computing in civil and building engineering*, ASCE, ABD.
- Vandezande, J., Krygiel, E. and Read, P., 2013, *Mastering Autodesk Revit architecture 2014: Autodesk official press* (1st. ed). John wiley and sons.
- Wei, G., Mohd Sarman, A., Gungat, L., Li, M., Shen, L. and Siew Fang, G., 2023, Application of building information modelling (BIM) six dimension (6D) in green buildings: A case study of sunshine and daylight analysis. *Jurnal kejuruteraan*, 35(2), 511–521. [https://doi.org/10.17576/JKUKM-2023-35\(2\)-23](https://doi.org/10.17576/JKUKM-2023-35(2)-23)

- Yang, X., Koehl, M. ve Grussenmeyer, P., 2017, Parametric modelling of as-built beam framed structure in BIM environment. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences - ISPRS archives*, 42(3), 651–657. <https://doi.org/10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLII-2-W3-651-2017>
- Yusuf, A.O., Opawole, A., Musa, N.A., Kadiri, D.S. and Ebunoluwa, E.I., 2022, Capability improvement measures of the public sector for implementation of building information modeling in construction projects. *Organization, technology and management in construction*, 14(1), 2710–2730. <https://doi.org/10.2478/otmcj-2022-0014>
- Zayed, T. and Liu, Y., 2014, Cash flow modeling for construction projects. *Engineering, construction and architectural management*, 21(2), 170–189. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2012-0082>
- Zhan, S., Chong, A. and Lasternas, B., 2021, Automated recognition and mapping of building management system (BMS) data points for building energy modeling (BEM). *Building simulation*, 14(1), 43–52. <https://doi.org/10.1007/S12273-020-0612-7>
- Zhou, Y., Yang, Y. and Yang, J. Bin., 2019, Barriers to BIM implementation strategies in China. *Engineering, construction and architectural management*, 26(3), 554–574. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2018-0158>

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

İNŞAAT PROJELERİNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ İLE MALZEME VE NAKİT AKIŞININ ANALİZİ

ORJİNALLİK RAPORU

% 7 BENZERLİK ENDEKSİ	% 5 İNTERNET KAYNAKLARI	% 4 YAYINLAR	% 4 ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ
---------------------------------	-----------------------------------	------------------------	--------------------------------

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	% 2
2	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 1
3	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<% 1
4	toad.halleksi.net İnternet Kaynağı	<% 1
5	www.b2bmedya.com İnternet Kaynağı	<% 1
6	www.finma.ch İnternet Kaynağı	<% 1
7	Roberto Gorrieri. "Process Algebras for Petri Nets", Springer Science and Business Media LLC, 2017 Yayın	<% 1
8	dspace.balikesir.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
9	Li, C.. "Commutativity of Pfaffianization and Backlund transformations for a special two-dimensional lattice", Physics Letters A, 20070226	<% 1