



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA VE LOJİSTİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**KARAYOLU VE SANAT YAPILARI PROJELERİ İÇİN YAPI BİLGİ
MODELLEMESİ (YBM)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HALİL KARA

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ YAVUZ ABUT

**YALOVA
ŞUBAT 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA VE LOJİSTİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

KARAYOLU VE SANAT YAPILARI PROJELERİ İÇİN YAPI BİLGİ MODELLEMESİ
(YBM)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HALİL KARA
205115035

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ YAVUZ ABUT

YALOVA
ŞUBAT 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “KARAYOLU VE SANAT YAPILARI PROJELERİ İÇİN YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (YBM)” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Halil KARA



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve doğru yolu gösteren sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ABUT'a, tez hazırlık sürecinde yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Eren UZAR'a, iş programının hazırlanmasında değerli katkılarını sunan Karayolları 1. Bölge Müdürlüğü'nden Okay Çağrı GÜLER'e teşekkür ederim. Her zaman yanımda oldukları ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için aileme teşekkür ederim.

Şubat 2024

Halil KARA





İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
KARAYOLU VE SANAT YAPILARI PROJELERİ İÇİN YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (YBM)	xiii
ÖZET	xiii
BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) FOR PROJECTS OF HIGHWAY AND ENGINEERING STRUCTURES.....	xv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
2. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ.....	3
2.1. Proje Yönetimi.....	3
2.1.1. Kapsamı	3
2.1.2. Türleri	5
2.2. YBM'nin Tanımı ve Seviyeleri	8
2.3. Ulaştırma Yapıları için YBM Tasarım Algoritması	12
2.3.1. Saha modellemesi	13
2.3.2. Saha/güzergâh analizi	13
2.3.3. Görselleştirme.....	14
2.3.4. Tasarım oluşturma	15
2.3.5. Yüzey analizi	16
2.3.6. Tasarımın incelenmesi	16
2.3.7. Tasarımdaki değişiklikler	16
2.3.8. Mühendislik analizi	17
2.3.9. 4 boyutlu ve 5 boyutlu analizler	18
2.3.10. Standart doğrulaması	18
2.3.11. Maliyet tahmini.....	18
2.3.12. Çakışma tespiti	19
2.4. YBM'nin Ulaştırma Yapılarında Kullanımı.....	20
2.4.1. Tüneller.....	21
2.4.2. Köprüler.....	22

2.4.3.	Havalimanları	24
2.4.4.	Yollar	25
2.4.5.	Demiryolları.....	26
2.4.6.	Diğer Altyapılar	27
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
3.1.	Amaç.....	29
3.2.	3 Boyutlu Modelleme	29
3.2.1.	CAD.....	29
3.2.2.	Nesne tabanlı CAD teknolojileri	30
3.3.	Parametrik Tasarım.....	30
3.4.	YBM'nin Karayolu ve Sanat Yapılarına Uygulanması.....	31
3.4.1.	Senaryo 1	32
3.4.2.	Senaryo 2	40
3.4.3.	Senaryo 3	49
3.5.	Senaryoların GZFT Analizi	53
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	57
	KAYNAKLAR.....	59
	ÖZGEÇMİŞ	65
	TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER.....	65
	DİĞER YAYIN VE ESERLER	65

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

Km	: Kilometre
Km/sa	: Kilometre/saat
m	: Metre
m ³	: Metreküp

KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BIM	: Building Information Modeling
BrIM	: Köprü Bilgi Modellemesi
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CPM	: Kritik Yol Yöntemi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DWG	: CAD Programlarında Kullanılan Dosya Biçimi
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GZFT	: Güçlü ve Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler
IoT	: Nesnelerin İnterneti
IFC	: Endüstri Temel Sınıfı
İHA	: İnsansız Hava Aracı
KBM	: Karayolu Bilgi Sistemi
LİDAR	: Işın Algılama ve Mesafe Ölçme
LOD	: Detay Seviyesi
PERT	: Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği
PYE	: Proje Yönetim Enstitüsü
SQL	: Yapısal Sorgulama Dili
YBM	: Yapı Bilgi Modellemesi



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Gantt şemasının güçlü ve zayıf yönleri [10]	6
Tablo 2.2. Kritik yol yönteminin güçlü ve zayıf yönleri [10]	7
Tablo 2.3. Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniğinin güçlü ve zayıf yönleri [10]	8
Tablo 2.4. YBM özelinde standartlar	9
Tablo 3.1. Koridor optimizasyonu için girilen yol teknik bilgileri	33
Tablo 3.2. Aliyman bilgileri	36
Tablo 3.3. Profil bilgileri	37
Tablo 3.4. İnşaat bilgileri	37
Tablo 3.5. Köprü montajına ilişkin temel bilgiler	37
Tablo 3.5. (Devam) Köprü montajına ilişkin temel bilgiler	38
Tablo 3.6. Toprak işleri bilgileri	38
Tablo 3.7. Km'ye göre kümülatif kazı-dolgu hacimleri	39
Tablo 3.8. Yatay kurp listesi	39
Tablo 3.9. Dikey kesişim noktaları	40
Tablo 3.10. Köprü bilgileri	40
Tablo 3.11. Yolun inşaat ve toprak işlerine göre maliyet oranları	40
Tablo 3.12. Profil analizi için girilen bilgiler	41
Tablo 3.13. Profil bilgileri	44
Tablo 3.14. İnşaat bilgileri	45
Tablo 3.15. Köprü montajına yönelik temel bilgiler	45
Tablo 3.16. Toprak işleri bilgileri	46
Tablo 3.17. Km'ye göre kümülatif kazı-dolgu hacimleri	47
Tablo 3.18. Dikey kesişim noktaları	48
Tablo 3.19. Köprü bilgileri	48
Tablo 3.20. Yolun inşaat ve toprak işlerine göre maliyet oranları	48
Tablo 3.21. Tünel bilgileri	49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. YBM seviyeleri ve boyutları [14]	10
Şekil 2.2. İtalya, İngiltere ve ABD'nin YBM standartlarında LOD karşılaştırması [1]	11
Şekil 2.3. YBM'nin boyutları [1].....	12
Şekil 2.4. YBM uygulamalarından olan Infracore programından bir görüntü	13
Şekil 2.5. Infracore programında mühendislik görünümü özelliği	14
Şekil 2.6. Infracore programında görüş mesafesi analizi	17
Şekil 3.1. İş akış şeması	32
Şekil 3.2. 2 boyutlu yol koridoru.....	34
Şekil 3.3. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (1).....	34
Şekil 3.4. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (2).....	35
Şekil 3.5. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (3).....	35
Şekil 3.6. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (4).....	35
Şekil 3.7. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (5).....	36
Şekil 3.8. Profil kesit görünümü.....	36
Şekil 3.9. Kütle diyagramı.....	38
Şekil 3.10. Toprak kazı işleri şeması.....	39
Şekil 3.11. Planning Road ile çizilen yol	41
Şekil 3.12. Profil kesit görünümü.....	42
Şekil 3.13. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (1).....	42
Şekil 3.14. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (2).....	43
Şekil 3.15. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (3).....	43
Şekil 3.16. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (4).....	44
Şekil 3.17. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (5).....	44
Şekil 3.18. Kütle diyagramı.....	46
Şekil 3.19. Toprak kazı işleri şeması.....	47
Şekil 3.20. Manuel olarak tünel ekleme (1)	49
Şekil 3.21. Manuel olarak tünel ekleme (2)	49
Şekil 3.22. Microsoft Project'te iş takvimi (gant şeması)	51
Şekil 3.23. Microsoft Project'te iş takvimi (gant şeması) devamı	52



KARAYOLU VE SANAT YAPILARI PROJELERİ İÇİN YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (YBM)

ÖZET

Ulaştırma yatırımları, ülkelerin ekonomik kalkınmasında önemli bir rol oynayan ve bütçelerin büyük bir kısmını oluşturan projelerdir. Bu yapılarda kullanım kapasitesi arttıkça, daha ekonomik ve sürdürülebilir teknoloji ve modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bina ve tesis sektöründeki gelişmeler, ulaştırma sektörüne de yansımaktadır. Bu gelişmelerden birisi de bir yapının proje yaşam döngüsü boyunca 3 boyutlu olarak bilgisayar ortamında modellenmesine ve yönetilmesine olanak sağlayan Yapı Bilgi Modellemesi (YBM)'dir. YBM, mühendislikte yeni bir bakış açısı oluşturarak, çok boyutlu ve değişken süreçleri merkezden yönetilebilir hale getirmiştir. Bunun yanı sıra Türkiye genelinde, YBM ile çeşitli bina projelerinin hayata geçirildiği, ulaştırma alanında ise birtakım tesis, istasyon, havalimanı ve raylı sistem projelerinin gerçekleştirildiği literatürden bilinmektedir. Ancak, karayolu ve sanat yapıları projeleri üzerinde irdelenen akademik çalışmaların YBM özelinde sınırlı ve temel düzeyde kaldığı birçok çalışmada bildirilmiştir. Bu tez çalışmasında, karayolu ve sanat yapılarında YBM'nin uygulanmasına yönelik 3 boyutlu karayolu projelerinin çeşitli senaryolar ile detaylandırılması amaçlanmıştır. Ayrıca, YBM'nin 4. boyutu olan zaman kavramına yönelik bir iş planı da hazırlanmış olup, süreçlerdeki çakışmaların tespit edilerek yorumlanması hedeflenmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise alternatif tasarımların güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehdit olasılıkları tahmin edilmiştir. Genel olarak, Infracore'sün proje hazırlık aşamasında ön bilgi edinmek için tasarım ve analiz yönünün iyi olduğu, ancak geliştirilmesi gereken yönlerinin olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, Microsoft Project'te 4. boyut kapsamında iş takviminin oluşturulmasının, iş kalemlerindeki çakışmaları tespit etme ve bu alanlarda önlem alma konusunda fayda sağlayabileceği görülmüştür. Karayolu ve sanat yapıları projelerinde YBM kullanımına yönelik çalışmalarda 4. boyut ile zaman, 5. boyut ile maliyet, 6. boyut ile sürdürülebilirlik analizi, 7. boyut ile işletme, 8. boyut ile güvenlik ve kazaların izlenmesi ve değerlendirilmesi konularının etraflıca tartışılması, bu alandaki YBM kullanımını daha ileri düzeylere taşıyacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yapı Bilgi Modellemesi, Ulaşım modellemesi, Karayolu, Sanat yapıları



BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) FOR PROJECTS OF HIGHWAY AND ENGINEERING STRUCTURES

ABSTRACT

Transportation investments are projects that play a significant role in the economic development of countries and constitute a large portion of budgets. As the usage capacity of these structures increases, there is a need for more economical and sustainable technologies and models. Developments in the building and facility sector also reflect on the transportation sector. One of these developments is Building Information Modeling (BIM), which allows the modeling and management of a structure in 3D in a computer environment throughout the project lifecycle. BIM has provided a new perspective in engineering, making multidimensional and variable processes centrally manageable. Furthermore, it is known from the literature that various building projects have been implemented with BIM in Türkiye, while some facilities, stations, airports, and rail system projects have been carried out in the transportation sector. However, it has been reported in many studies that academic research on the project of highway and engineering structures remains limited and at a basic level in terms of BIM. In this thesis, the aim is to detail 3D road projects for the implementation of BIM in highway and engineering structures through various scenarios. Additionally, a work plan for the fourth dimension of BIM, which is time, has been prepared, aiming to identify and interpret clashes in processes. In the final section of the study, strengths and weaknesses of alternative designs, as well as opportunities and threats, have been predicted. In general, it has been observed that Infracore is strong in design and analysis aspects for obtaining preliminary information during project preparation, but areas for improvement have been identified. On the other hand, it has been observed that creating a project schedule in the context of the fourth dimension in Microsoft Project can be beneficial in identifying clashes in work items and taking preventive measures in these areas. Thorough discussion of the BIM usage in the project of highway and engineering structures, such as time in the fourth dimension, cost in the fifth dimension, sustainability analysis in the sixth dimension, operation in the seventh dimension, and monitoring and evaluation of safety and accidents in the eighth dimension, will advance the use of BIM in this field to more advanced levels.

Keywords: Building Information Modeling, Transportation modeling, Highways, Engineering structures.



1. GİRİŞ

İnşaat endüstrisi, artan belirsizlikler, genişleyen yaklaşımlar, birçok inşaat aşaması ve sürecinde kullanılan benzersiz teknolojiler nedeniyle son derece dinamik bir karaktere sahiptir. İnşaat endüstrisinde, çeşitli paydaşların olması, kesin ve belirsiz olayların gerçekleşmesi, değişken bir çalışma ortamına yol açmaktadır. Aynı zamanda bu endüstri, altyapıların geliştirilmesinde önemli bir rol oynamanın yanı sıra, gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerdeki sosyoekonomik durumu ve yaşam standartlarını da iyileştirmekte, vasıflı ve vasıfsız işçiler için istihdam olanakları yaratmakta ve ülkelerin gayri safi yurtiçi hasıllarına (GSYİH) katkı sağlamaktadır. Gerçekleştirilen projeler, öngörülen fiziksel (malzeme, para, insan gücü vb.) ve fiziksel olmayan (zaman, beceri vb.) kaynaklar dahilinde tamamlandığında başarılı sayılmaktadır. Ancak, son yıllarda paydaşlar arasındaki iletişim eksikliği nedeniyle çeşitli zorluklarla karşılaşmıştır. Aynı şekilde, zaman, bütçe aşımaları ve yaşam ortamına zarar veren atık ve emisyonların doğaya salınması verimliliği düşürmüştür. Bu durum, inşaat faaliyetlerinde yeni teknolojilerin benimsenmesinin, sektörün yenilenmesinde ve ilerlemesinde önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Proje yöneticileri, inşaat projelerini başarıya ulaştırmak için, etkinliği, üretkenliği, mükemmelliği, altyapı değerini ve dayanıklılığını artırmalı, yaşam döngüsü maliyetlerini, proje paydaşlarının iş birliğini ve bağlantısını genişleterek harcanan süreleri azaltmalıdır. Bu amaçlar doğrultusunda yeni teknolojiler her geçen gün sektöre girerek geleneksel yöntemleri dijitalleşmeye yönlendirmektedir [1].

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), bir binanın başlangıcından bitişine kadar olan süreçte planlama, inşaat, işletim ve bunlarla ilgili verileri yönetme imkânı sağlayan, kullanıcıları koordine eden yazılımlar topluluğudur [2]. Bu açıdan bakıldığında, YBM'nin projelerde kullanılması inşaat süreçlerinde üretkenliği artırırken, bakım, onarım ve işletim maliyetlerini kontrol altında tutabilmeyi sağlar. Bu durum hem kamu hem de yüklenici firmalara ekonomik açıdan doğru kararlar vermeyi ve iş takvimine uymayı kolaylaştıran bir avantajdır [3]. YBM, gelişen teknolojilerle birlikte bina inşaatı sektöründe yaygın olarak kullanılmakta olup, inşaat öncesinde kontrolü, inşaat sonrasında ise işletmeyi sağlamaktadır. YBM, aynı zamanda bilgiyi yönetme modeli olduğundan birçok alana evirilebilmektedir. Ulaştırma sektörü de yeni gelişmeleri kendisine kolay bir şekilde adapte edebilen bir alan olarak inşaat sektörünü domine etmektedir [4]. Gelişmiş ülkeler YBM'yi benimseme konusunda aktif bir eğilim gösterirken, gelişmekte olan ülkeler çeşitli dezavantajlar nedeniyle hala başlangıç aşamasındadır. Örneğin Finlandiya, Danimarka, İsveç, Singapur ve Hong Kong gibi birçok ülke, YBM'yi uygulama yönünden lider ülkeler olarak kabul edilmektedir. Afrika ve Nijerya gibi ülkelerde ise, YBM

farkındalığı ve benimsenme düzeyi nispeten düşüktür. Öte yandan Asya ülkelerinde de bazı bölgelerde YBM uygulamasının çok az olduğu ya da hiç olmadığı görülmektedir. Türkiye’de ise, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından 2022 yılında, YBM Teknik Şartnamesi ve İhale Dokümanları belgesi yayımlanmıştır. Bu belge ile Bakanlığa ait projelerin yaşam döngüsü boyunca verilerin etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi amaçlanmaktadır [5]. Bunun yanı sıra ülkemiz genelinde, YBM ile çeşitli bina projelerinin hayata geçirildiği, ulaştırma alanında ise tesis, istasyon ve raylı sistem projelerinin gerçekleştirildiği literatürden bilinmektedir. Ancak, karayolu ve sanat yapıları özelindeki kapsamlı projeler üzerinde gerçekleştirilen akademik çalışmaların sınırlı ve temel düzeyde kaldığı bildirilmiştir [6].

Bu tez çalışmasında, karayolu ve sanat yapıları projelerinde YBM’nin uygulanmasına yönelik Autodesk Infraworks yazılımı kullanılarak, 3 boyutlu karayolu projelerinin çeşitli senaryolar ile detaylandırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Microsoft Project üzerinden YBM’nin 4. boyutuna yönelik bir iş planı hazırlanmış olup, tanımlanan bu iş süreçlerindeki çakışmaların tespit edilerek yorumlanması hedeflenmiştir. Tezin devam eden ikinci bölümünde, literatür taraması yapılarak, YBM’nin kapsamı, ulaştırma alanındaki kuramsal çerçevesi ve kullanım alanları araştırılmıştır. Üçüncü bölümde, çalışma yönteminin çerçevesi açıklanmış, karayolu ve sanat yapılarında YBM’nin incelenmesine yönelik Autodesk Infraworks ve Microsoft Project’te oluşturulan senaryolar irdelenmiştir. Son bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ

İnşaat sektöründeki son trendlerden biri olan YBM hem akademik çalışmaların hem de sektör uygulamalarının odak noktalarından birisi olmuştur. Bu bölümde literatür geniş bir kapsamda taranmış olup, YBM'nin temel görevi olan proje yönetiminin kapsamı ve teknikleri, YBM'nin tanımı, seviyeleri, ulaştırma yapılarındaki tasarım algoritması ve kullanım alanları incelenmiştir.

2.1. Proje Yönetimi

Proje yönetimi, bir projenin planlanması, organize edilmesi, izlenmesi ve kontrol edilmesi süreçlerini ve proje hedeflerine zaman, maliyet, kapsam ve performans/kalite kriterleri doğrultusunda ulaşmak için ilgili paydaşların yönetimini ve liderliğini içermektedir. Projeler belirli bir süre içinde tamamlanması gereken geçici faaliyetlerdir [7]. Ayrıca, daha önce yapılmamış veya benzeri olmayan bir ürün, hizmet veya sonuç üretmek için gerçekleştirilen benzersiz girişimlerdir. Bu tanıma göre, Proje Yönetim Enstitüsü (PYE) bir projeyi “benzersiz bir ürün, hizmet veya sonuç yaratmak için üstlenilen geçici bir çaba” olarak tanımlamaktadır. PYE proje yönetimini ise şu şekilde tanımlamaktadır: “Proje Yönetimi, proje faaliyetlerinde bilgi, beceri, araç ve tekniklerin kullanılarak paydaş gereksinimlerini ve isteklerini karşılamak veya aşmak için uygulanan bir yönetim disiplini [8]. Paydaş gereksinimlerini ve isteklerini karşılamak veya aşmak, (1) kapsam, zaman, maliyet ve kalite, (2) farklı gereksinimlere ve beklentilere sahip paydaşlar ve (3) belirlenmiş gereksinimler (ihtiyaçlar) ve belirlenmemiş gereksinimler (istekler) arasındaki çelişkili taleplerin dengelenmesini gerektirir”. Proje yöneticileri, proje hedeflerine ulaşmak ve kısıtlamaları yönetmek için etkin yürütme, sürekli kontrol, başarılı teslimat ve proje ekibinin verimli olmasını sağlama gibi genel yönetim yetkinliklerini kullanmaktadırlar. Bu nedenle, proje yönetimi sadece projenin bitirilmesi değil, aynı zamanda projeyi uygun bir şekilde yönlendirmeye kontrol etmeye olanak sağlayan kapsamlı ve bütünsel yönetim becerilerini de kapsar [1].

2.1.1. Kapsamı

Günümüzde proje yönetimi hem üretim hem de hizmet sektörlerini içeren çok çeşitli meslek ve sektörlerde uygulanmaktadır. Ayrıca yetkin ve bilgili bir proje yöneticisi, proje başarısı için hayati önem taşımaktadır. PYE, proje yönetim bilgisini birbiriyle bağlantılı on alana ayırmaktadır. Bunlar proje entegrasyonu, kapsamı, maliyeti, zamanı, kalitesi, kaynağı, iletişimi,

tedariki, riski ve paydaş yönetimi olarak özetlenebilir. Bu kapsam daha da artırılabilir ancak bu on alan genel olarak kabul görmektedir [1, 8, 9].

Proje entegrasyon Yönetimi, proje kapsamını, tüzüğünü ve değişikliklerini koordine etmek, denetlemek, izlemek ve kontrol etmek için bir plan oluşturmayı içerir.

Projelerde kapsam yönetimi, projeler üzerindeki değişikliklerin fazla olması ve buna rağmen koordinasyonun doğru bir şekilde sağlanabilmesi gerektiğinden başarı ölçütlerinin en önemlisi olarak kabul edilir.

Projelerde zaman yönetimi, projelerdeki çeşitli çalışma faaliyetlerinin gerektirdiği zaman çerçevesini belirleyen ve uygulayan bir süreçtir. Ancak etkili zaman yönetimi, kar elde etmek için program ve bütçe hedeflerine uygun, önceden planlı ve etkin bir çalışma sistemine sahip olmak zorundadır. Zamanın etkili bir şekilde yönetilememesi, projenin genel karmaşıklığına yeterince önem verilmemesi, planlanan işlerin veya beklenmedik olayların dikkatli bir şekilde ele alınmaması nedeniyle inşaat projelerinde gereksiz zaman ve maliyet artışlarına yol açabilir.

Projelerin maliyet yönetiminde projelerin kapsamlı bir yaşam döngüsüne ve çok sayıda mühendislik disiplinine sahip olması süreci zorlaştıran hususlardır. Bu zorluklardan bazıları şunlardır: Kesin olmayan ön maliyet tahminleri, bilginin zamanında işlenememesi, paydaşlar arasındaki veri paylaşımının senkronize yönetilememesi ve maliyet bilgilerinin çevrimdışı ortamda yapılması vb. şeklindedir.

Projelerde kalite yönetimi, süreç boyunca alınan tedbirlerin uygulanması ile faaliyetler, müşteriler ve sonuçlar arasındaki ilişkileri analiz ederek hedeflere ulaşmayı sağlamaktır. Bir nesnenin kalitesi sadece dış tasarımıyla değil, aynı zamanda tasarım gereksinimlerini ve iç özelliklerini ne kadar karşıladığıyla da ilgilidir.

Projelerde kaynak yönetimi, bir proje ekibinin planlanması, tedarik edilmesi, işe alınması, geliştirilmesi ve yönetilmesi ile ilişkilidir. Ayrıca kaynak yönetimi, proje yaşam döngüsü boyunca hareketliliği artırma, uygun kaynakları bulma, performansı ve sonuçları yönetme ve iş kalemlerine göre personel atamalarını gerçekleştirme konularında zorunlu görülmektedir.

Projelerde iletişim yönetimi, sürecin tam işlevsel bir şekilde gerçekleştirilmesini ve istenen sonuçlara ulaşmayı sağlar. Kısacası, etkili iletişim yönetimi, projelerde kaynakların verimli bir şekilde planlanması, yönetilmesi ve izlenmesi amacına hizmet eder.

Projelerde tedarik yönetimi, satıcıların seçimi, satın alma, sözleşmenin yönetilmesi ve kapatılması ile ilgilidir. Genel olarak projelerde de hizmet, ekipman ve araç tedarikini içerir.

Bundan dolayı tedarikçilerin nasıl seçildiği ve nasıl denetlendiği proje yaşam döngüsü içinde önemli bir husustur.

Projelerde risk yönetimi, genel inşaat yönetimi süreçlerinde önemli bir rol oynar ve asla göz ardı edilmemelidir. Risk yönetimi, beyin fırtınası, elektronik tabloların kullanılması, GZFT analizi yapılması ve risk kayıtlarının kullanılması gibi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilir. Projeler de doğası gereği benzer olmayan ve baştan sona karmaşık süreçleri içerdiğinden çeşitli risk yönetimi yaklaşımları ve tutumları kullanarak risk ve belirsizliklere karşı önlem almak çok önemlidir.

Projelerde paydaş yönetiminde bir projenin başarılı şekilde tamamlanmasında önemli bir unsurdur. Literatürde paydaşlar iç ve dış olarak nitelendirilmiştir. İç paydaşların projeye tutarlı ve resmi bir ilişkisi varken, dış paydaşlar sadece projeyi etkilemektedir. İç paydaşlar talep tarafı ve arz tarafı olarak ikiye ayrılabilirken, dış paydaşlar için özel ve kamu kategorileri oluşturulabilir.

Projelerde güvenlik yönetimi, artan karmaşıklık ve belirsizlikler nedeniyle göz ardı edilmemesi gereken bir alandır. Yaralanma ve ölümlere yol açan belirsiz kazalardan kaçınmak için projelerde yer alan tüm paydaşların performans izleme ve değerlendirmesi gerçekleştirilmeli ve güvenlik protokollerini uygulama konusunda yaptırım uygulanmalıdır.

2.1.2. Türleri

Proje planlamasının en önemli çıktısı proje çizelgeleridir. Proje çizelgeleri, projenin zaman parametreleri üzerine kurulur ve yöneticilerin proje süreci boyunca tüm proje ekibinin çabalarını koordine etmesine ve kolaylaştırmasına yardımcı olur. Proje çizelgeleri, proje kontrol sistemlerinin etkili bir parçasıdır.

Projeler için çeşitli çizelgeleme teknikleri vardır. Bunlar arasında en çok bilinenleri grafik gösterim tekniği olan Gantt Şeması, Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT: Program Evaluation and Review Technique) ve Kritik Yol Yöntemi (CPM: Critical Path Method) gibi ağ diyagramı yöntemleri vardır [10].

Gantt Şeması, birçok şirkette proje planlama ve kontrol amacıyla en sık kullanılan tekniklerden birisidir. Bölümlere ayrılmış iş yapısını temel alan iki boyutlu bir grafiktir. Bu teknik şematik olarak gösterildiğinde yatay eksen zaman ölçeğini, dikey eksen ise faaliyetlerin unsurlarını ifade eder.

Gantt şemasının hazırlanması kolaydır. Karmaşık olmayan tasarımı sayesinde kullanım kolaylığı sağlar. Gantt şeması, yöneticilerin projenin ana ve alt faaliyetlerini izlemelerini sağlar. Ancak bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

- Aşamalar arasında oluşan zayıf ilişkileri tanımlamaz,
- Karşılaşılabilecek gecikmeleri ve potansiyel sorunları göstermez,
- Görevlerin ve ihtiyaçların koordinasyonu için gerekli kaynakları sağlamaz.
- Her bir görevin tamamlanmasını göstermez, sadece görevin her bölümünün başlangıcını, bitişini ve süresini gösterir.

Tablo 2.1’de Gantt şemasının güçlü ve zayıf yönleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Gantt şemasının güçlü ve zayıf yönleri [10]

Kriterler	Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
Uygulanabilirlik	Kısa faaliyetlerde küçük hatalar meydana gelir.	Faaliyetler arasındaki ilişkileri göstermenin bir yolu yoktur.
Güvenilirlik	Her faaliyet için tek bir zaman tahmininin bulunması aşırı karmaşıklıktan kaynaklanan hataları önler.	Tahminler zaman içinde değişebilir, bu nedenle güvenilir değildirler.
Uygulama	Tüm sistemler arasında en kolaydır.	Süreç standartları mevcut olmadığında ve iyileştirilmesi gerektiğinde kontrol çok zordur.
Simülasyon yeteneği	-	Belirgin bir yetenek yoktur.
Güncelleme Durumu	Periyodik olarak güncellenmesi kolaydır. Bilgisayar kullanımı zorunlu değildir.	Mevcut şema güncellenemediği için grafiklerin yeniden çizilmesi gerekmektedir.
Esneklik	Kaynak gereksinimlerini tahmin etmek için de kullanılabilir.	Tahminler çok sık değişiyorsa, birçok grafiğin yeniden hazırlanması gerekebilir.
Maliyet	Veri toplama ve işleme masrafsızdır. Mevcut grafikler güncellenebilir ve daha ekonomik programlar kullanılırsa gösterimler daha da ekonomik olabilir.	Grafikler esnek değildir. Program değişiklikleri zaman alıcı ve maliyetli yeni grafikler gerektirebilir. Pahalı temsil araçları kullanılır.

Gantt şemasının 1917 yılında geliştirilmesinden sonra, proje yönetim yöntemlerindeki en büyük aşama 1956-1958 yılları arasında kaydedilmiştir. Bu dönemde yöntemler birbirinden bağımsız olarak gelişse de birçok ortak özelliğe sahip iki yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği ve Kritik Yol Yöntemi’dir. Her ikisi de bir ağ ya da grafik üzerine yerleştirilmiş birbiriyle ilişkili görevlerin programlanmasına dayanmaktadır. Her iki yöntem de sadece bir kez uygulanan uzun vadeli projeleri planlamak için geliştirilmiştir.

Aralarındaki en önemli fark, faaliyet sürelerinin tahmin edilmesidir. Diğer bir deyişle, iki yöntem arasındaki temel fark, Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği'nde faaliyet süreleri iyimser, kötümser ve en olası sürelerin ortalaması olarak hesaplanırken, Kritik Yol Yöntemi tekniğinde bunların doğrudan belirlenebileceği varsayılır [11].

Kritik Yol Yöntemi, dünyada en çok kullanılan ağ diyagramı yöntemlerinden birisidir. Birçok projede zaman yönetimi doğru sağlanamadığı için başarılı olamamaktadır. Bu nedenle kritik yol yöntemi, projenin toplam süre kısıtını doğru bir şekilde sağlamak için önemli bir analiz yöntemidir. 1957 yılında J. E. Kelly ve M. R. Walker tarafından geliştirilmiştir. Sistemin ilk geliştirme amacı, kimya tesislerindeki bakım durumlarını planlamaktır. Yöntemin genel amacı projeyi zamanında bitirmektir. Kritik faaliyetlerin tanımlanmasına ve kaynakların bunlara yeniden atanmasına dayanır [10]. Tablo 2.2'de Kritik Yol Yöntemi'nin kriterler bazında güçlü ve zayıf yönleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Kritik yol yönteminin güçlü ve zayıf yönleri [10]

Kriterler	Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
Uygulanabilirlik	Faaliyetler ve işlemler arasındaki ilişkiler doğru bir şekilde ortaya konur.	Olası tamamlanma süresini bulmak için bir formül yoktur. Teknik tahminci önemlidir.
Güvenilirlik	Her faaliyet için tek bir zaman tahmininin bulunması, aşırı karmaşıklıktan kaynaklanan hataları önler.	Büyük bir projedeki küçük hataların toplamı önemli kararları etkileyebilir.
Uygulama	Faaliyetler arasındaki ilişkilerin gösterimi karmaşıksa, projenin anlaşılması kolaylaşır.	Sisteme alışkın olmayan kişilere tekniği anlatmak zordur. Programlamanın karmaşıklığı müşterilerde çekimserlik yaratabilir.
Simülasyon yeteneği	Bilgisayarlı uygulamalarda zaman-maliyet-kaynak konularını farklı alternatifler arasında değerlendirmek için uygundur.	Çok küçük bir proje hariç tüm projeler için bir bilgisayar gerekir.
Güncelleme Durumu	Faaliyetler açıkça tanımlanmıştır ve gerektiğinde zaman tahminleri elde edilebilir.	Orta karmaşıklıkta projeler için bile hesaplama programları gerekir.
Esneklik	Ağ bölümleri kolayca değiştirilebilir. Bir zaman ölçeği üzerinde çizilirse, kaynak gereksinimlerini tahmin etmek için kullanılabilir.	Orta karmaşıklıkta projeler için bile hesaplama programları gerekir.
Maliyet	Daha iyi planlama ve kontrol sayesinde toplam proje maliyetleri önemli ölçüde azaltılabilir.	Yöntem hem planlar hem de durum raporlaması için bir araç olarak kullanılırsa, önemli miktarda veri gerekir. Bu nedenle maliyet nispeten yüksektir.

Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği, ABD Donanması'nın Polaris roketleri üzerinde yapılan çalışmalarla geliştirilmiştir. 1950'lerin sonunda Polaris roketleri programının geliştirilmesi için ABD Donanması ile Booz, Allen ve Hamilton şirketlerinin gözetiminde bir araştırma ekibi kurulmuştur. Bu ekip projeyi planlamak, kontrol etmek ve değerlendirmek için bazı istatistiksel ve matematiksel teknikler kullanmıştır. Değerlendirme ve kontrol aşamalarına ilişkin yaptıkları analizler sonucunda bu teknik geliştirilmiştir. Teknik, faaliyet süresi tahminlerinde yüksek derecede belirsizlik olması durumunda kullanılır. Başka bir ifadeyle, faaliyet süreleri Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniğinde olasılıksal olmasına rağmen, Kritik Yol Yönteminde deterministiktir [10]. Tablo 2.3'te bu tekniğin kriterler bazında güçlü ve zayıf yönleri verilmiştir.

Tablo 2.3. Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniğinin güçlü ve zayıf yönleri [10]

Kriterler	Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
Uygulanabilirlik	Faaliyetlerin sırasını ve faaliyetler arasındaki ilişkileri doğru bir şekilde ortaya koyar.	Küçük projeler için daha karmaşıktır.
Güvenilirlik	Olasılıksal zaman tahminleri, tek başına zaman tahminlerinden daha doğrudur.	Her faaliyet için üç tahmin elde etmek daha fazla bilgi gerektirir ve ek hatalara neden olabilir.
Uygulama	Faaliyetler arasındaki ilişkilerin grafiksel gösterimi kolay anlaşılır olduğundan daha çok tercih edilmektedir.	İlk kez kullananlar için oldukça karmaşıktır. Bu nedenle başlangıçta uygulanması kolay değildir.
Simülasyon yeteneği	Bilgisayarlı uygulamalarda zaman-maliyet-kaynak konularını farklı alternatifler arasında değerlendirmek için daha uygundur.	Çok küçük bir proje hariç tüm projeler için bir bilgisayar gerekir.
Güncelleme Durumu	Olaylar açıkça tanımlanır ve kaybedilen zaman tekrar elde edilebilir.	Çalışma süresine ilişkin tahminler zaman alıcıdır ve bilgisayar hesaplamalarının kullanılmasını gerektirir.
Esneklik	Değişiklikleri yansıtacak yeni proje zaman tahminleri hemen değişir.	Orta karmaşıklıkta projeler için bile hesaplama programları gerekir.
Maliyet	Daha iyi planlama ve kontrol sayesinde toplam proje maliyetleri önemli ölçüde azaltılabilir.	Diğer tüm sistemlerden daha fazla veri ve hesaplama gerektirir. Bu nedenle sistemin maliyeti yüksektir.

2.2. YBM'nin Tanımı ve Seviyeleri

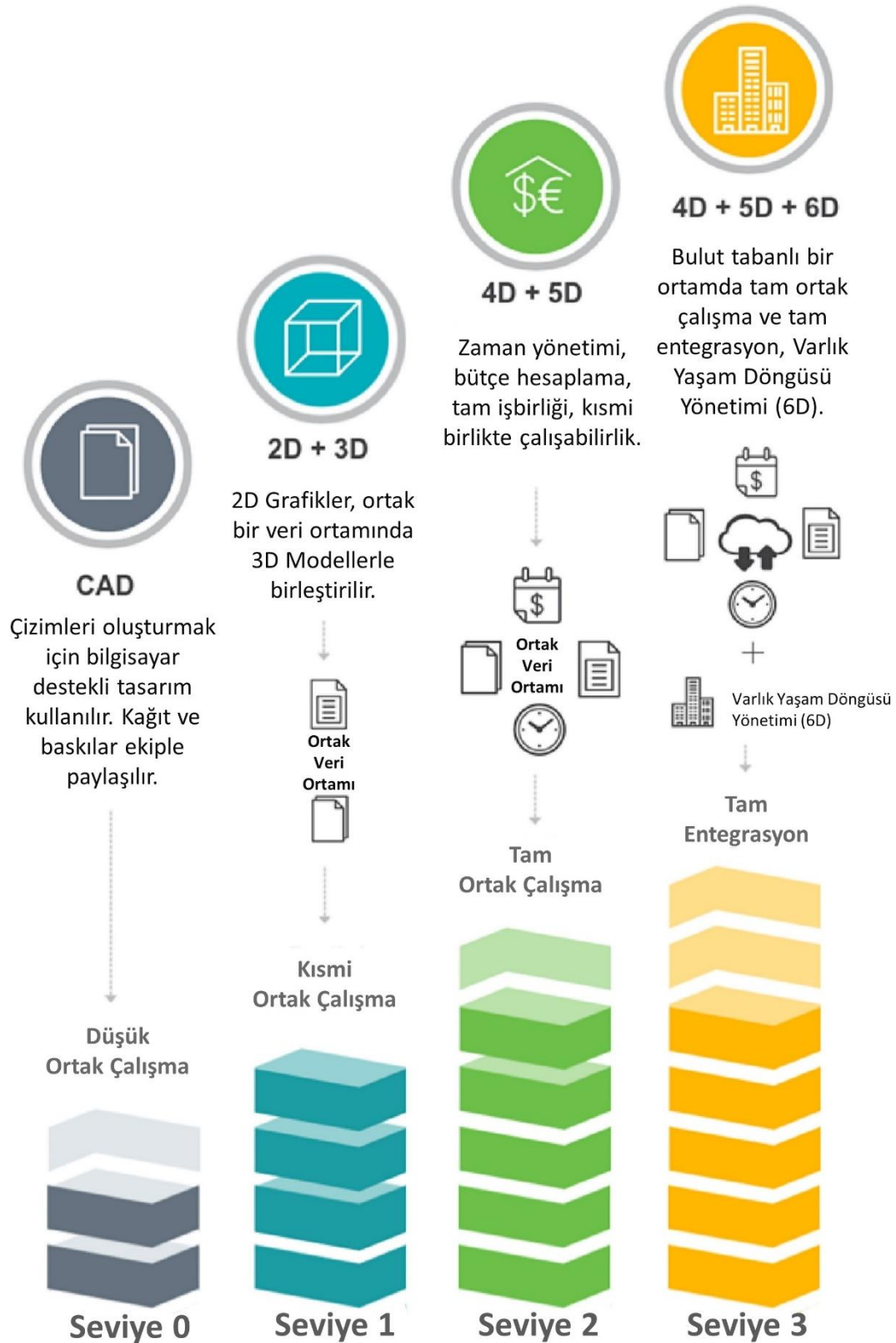
YBM kavramı 1970'lerde ortaya çıkmış, ancak 'bina modeli' terimi ilk kez 1980'lerin ortalarında bilimsel makalelerde kullanılmıştır [12]. YBM, çeşitli yapı elemanlarının dijital temsillerinin oluşturulması ve kullanılması için bir yöntem veya yaklaşımdır. YBM modelleri,

inşaatta karar verme süreçlerine destek olmak için çıkarılabilir, değiştirilebilir ve bulut tabanlı ağlar aracılığıyla paylaşılabilir veriler içerir. YBM su, enerji, elektrik, gaz, iletişim hizmetleri, yollar, köprüler, limanlar, tüneller vb. altyapı projelerinin tasarımı, inşası ve işletilmesi için çeşitli kurumlar tarafından kullanılmaktadır. YBM, atık oluşumunu ve gereksiz çalışmayı azaltarak projenin mevcut zaman, maliyet ve malzeme sınırları içerisinde tamamlanmasını sağlar. Genel olarak YBM, inşaat projelerinin sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirilmesi ve teslim edilmesi için zamanında karar verilmesine yardımcı olan bir bilgi işleme aracı olarak kabul edilmektedir [1]. YBM özelindeki standartlar inşaat öncesi ve inşaat sonrası aşamaları, kalite ve veri paylaşımını kapsamaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Raylı Sistemler YBM Teknik Şartnamesi 2024 yılında yayımlanmış ve bazı standartlar bu şartnamede tarif edilmiştir (Tablo 2.4) [13].

Tablo 2.4. YBM özelinde standartlar

TS EN ISO 19650-1	ISO/CD 19650-4	TS EN ISO 16739-1
TS EN ISO 19650-2	TS EN ISO 19650-5	TS EN ISO 29481-1
TS EN ISO 19650-3	TS EN 17412-1	TS EN ISO 29481-2

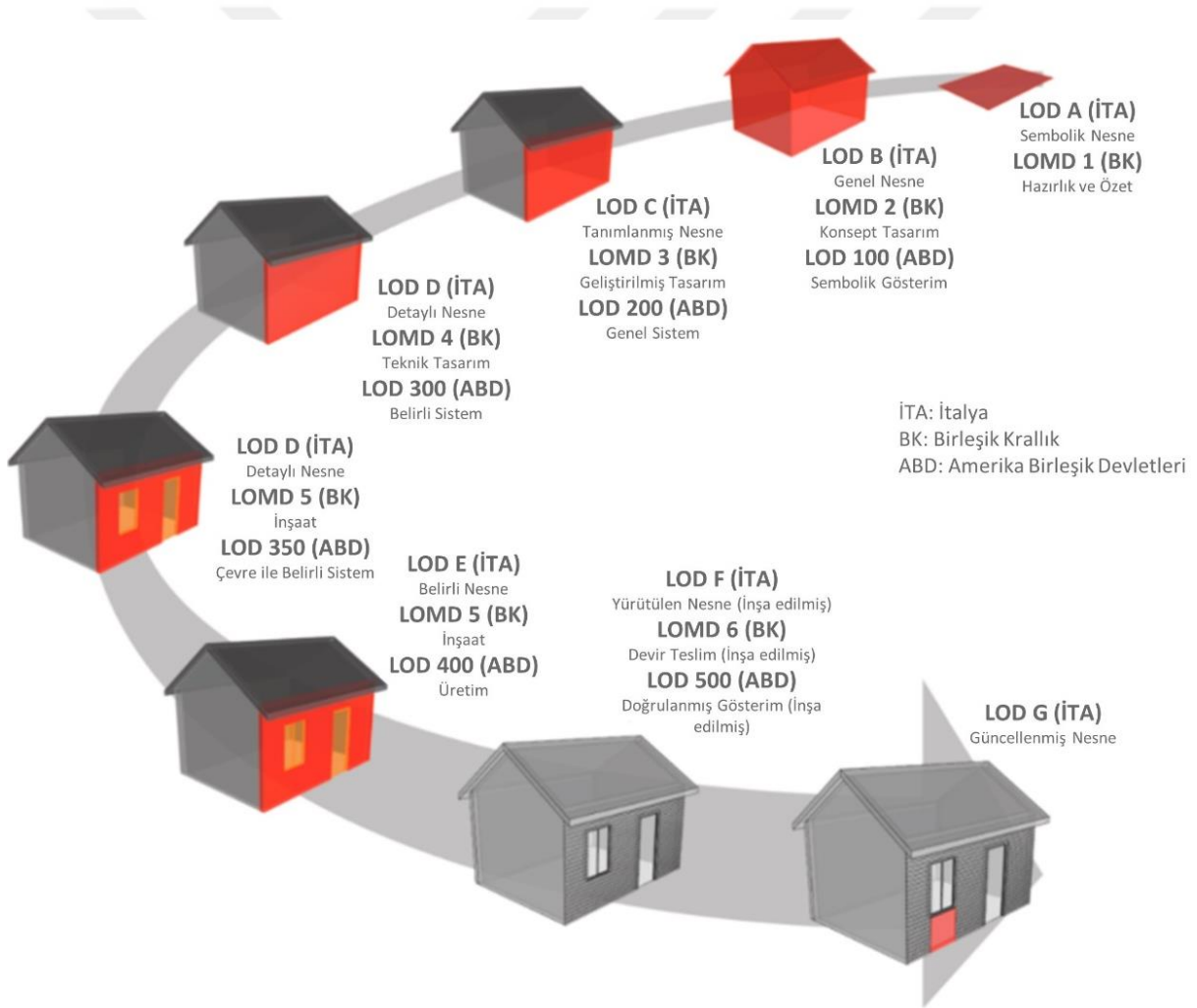
Bir inşaat projesinde YBM kullanımının olgunluk seviyesi, dört seviyede (Seviye 0, Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3) sınıflandırılır. Seviye 0, YBM'nin ilk olgunluk düzeyidir ve CAD'in (Bilgisayar Destekli Tasarım) tek başına kullanıldığı anlamına gelir. Bu seviyede, ekip üyeleri arasında iş birliğine dayalı bir karar verme süreci bulunmaz. YBM'nin bu olgunluk düzeyi artık geçmişte kalmıştır ve gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerdeki idare ve firmalar bu seviyenin ötesine geçmiş bulunmaktadır. Seviye 1'de, kavramsal çalışmalar için 3 boyutlu CAD modelleme ve bilgilerin belgelenmesi için 2 boyutlu CAD modelleme kullanılır. Bu seviyede CAD standartlarına uyulur ve bilgiler ortak veri ortamı aracılığıyla işlenir ve paylaşılır. Seviye 2'de uygun bir iş birliği ortamı sayesinde bilgi işleme kolaylaştırılmıştır. Bu seviyede tüm proje paydaşları ve ekip üyeleri 3 boyutlu CAD kullanabilmektedir. YBM'nin bu seviyesi verilerin etkin yönetimi sayesinde çalışma süresini, maliyeti ve zamanı azaltmaya yardımcı olduğu için gelişmiş ülkelerde zorunlu kılınmıştır. Bunun yanı sıra Seviye 3'te YBM, ekip üyelerine herhangi bir ortamdan erişip değiştirebilecekleri tek bir proje modeli üzerinde çalışma imkânı sağlamaktadır [1]. YBM'nin olgunluk seviyeleri Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. YBM seviyeleri ve boyutları [14]

Detay seviyesi (LOD: Level of Detail), bina modeli unsurlarının içeriğini ifade etmektedir ve çeşitli aşamalarda YBM modellerinden elde edilen verilerin güvenilirlik ve görselliklerini

tanımlamaktadır. LOD, modellenen unsurların kullanımının ve zorluklarının anlaşılmasına yardımcı olurlar. Bu yüzden sözleşmelerde ve YBM uygulama planlarında tamamlayıcı bilgi olarak kullanılabilirler. Böylece LOD, geometrik model gereksinimi, tesis yönetimi gereksinimi, iş birliğine dayalı karar verme gereksinimi vb. gibi projenin her aşamasının minimum içerik gereksinimlerinin belirlenmesine ve bilgilendirilmesine yardımcı olur. ABD YBM Forumu'nda LOD, 100 (kavramsal proje modeli) ile 500 (inşa edilmiş model) arasında değişmektedir. Bununla birlikte, Birleşik Krallık YBM Protokolünde LOD, hem 'ayrıntı düzeyini' hem de 'bilgi düzeyini' kapsayan 7 düzeyle ifade edilir. Benzer şekilde, İtalyan Standartlarında nesnenin farklı gelişim durumunu göstermek için alfabetik olarak A'dan G'ye kadar seviyeler ifade edilmiştir [1]. Bu standartların kısa tanımlarıyla karşılaştırılması Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. İtalya, İngiltere ve ABD'nin YBM standartlarında LOD karşılaştırması [1]

YBM, 3 boyutlu bina modellerinin görsel bir illüstrasyonu olarak, projenin ilk aşamalarında tasarım konusunda net bir fikir sağlayabilmektedir. 3 boyutlu modeller, farklı disiplinler

arasındaki çakışmaları tespit etmek için de kullanılırlar. 3 boyutlu YBM modeline zaman boyutu eklendiğinde, projenin zaman simülasyonu 4 boyutlu YBM modelleri ile etkin bir şekilde gösterilebilir. 4 boyutlu modeller sayesinde, proje zaman çizelgesi, ekipman, işçilik, malzeme ve zaman gibi çeşitli kaynakların günlük ihtiyaçları dikkate alınarak optimize edilebilir. 4 boyutlu modele maliyet boyutu dahil edildiğinde, 5 boyutlu YBM modeli projeye ilişkin çeşitli maliyetlerin net, doğru ve hızlı bir şekilde tahmin edilmesini sağlar. Bunun yanında, maliyet ve zamandan tasarruf sağlamak için alternatif seçenekler de analiz edilebilir. Ayrıca, tasarımdaki değişiklikleri ve uyumsuzlukları anlık güncellemeler ile kontrol etme ve gözden geçirme imkânı da sunar.

Sürdürülebilirlik analizi veya enerji analizi 5 boyutlu YBM'ye 6. boyut olarak entegre edilmiştir. Bu sayede 6 boyutlu YBM, inşaat planlamacılarına ve uygulayıcılarına toplam enerji ve karbon emisyonlarını hesaplamak için yardımcı olmakta ve enerji tüketimini azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, 7 boyutlu YBM modelleri, proje yaşam döngüsü süresince operasyon ve tesis yönetimi gibi işlevleri kapsamaktadır. Ayrıca 7 boyutlu YBM'ye yol ağı izleme ve kaza analizleri gibi güvenlik bilgileri eklenerek 8 boyutlu YBM elde edilir. Şekil 2.3'te YBM modellerinin boyutları ve kısaca özellikleri sunulmaktadır [1].



Şekil 2.3. YBM'nin boyutları [1]

2.3. Ulaştırma Yapıları için YBM Tasarım Algoritması

YBM uygulamasının tasarım aşamasındaki önemi, inşaat ve işletme aşamalarına kıyasla daha fazladır. Bunun nedeni, tasarım aşamasında çok sayıda faaliyetin yürütülmesidir. YBM uygulamalarının ayrıntılı açıklamaları aşağıdaki alt başlıklarda verilmektedir.

2.3.1. Saha modellemesi

Tasarımcı, bir projeye başlamadan önce çevre ve arazi koşullarını daha iyi anlayabilmek için çeşitli araçlar kullanarak mevcut durumu görüntüleyebilmektedir. Bu araçlar çevreyi daha gerçekçi kılmak için bitki örtüsü, ağaçlar, evler, su alanları, yollar, köprüler vb. nesneleri içerebilir (Şekil 2.4). YBM tabanlı uygulamalar raster verileri, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) verileri ve gerçeklik yakalama verileri gibi büyük miktarda mevcut veriyi işlemek ve içe aktarmak için araçlar sunmaktadır. Gerçeklik yakalama teknolojisi ile veri toplama yöntemleri arasında en yaygın olanları insansız hava araçları (İHA) ile statik ve mobil LiDAR sistemleridir. YBM uygulamaları ile ortam oluşturulduktan sonra, arazinin yüksekliği veya eğimi gibi topografik analizler yapılabilir. Girdi verilerinin varlığına veya uygunluğuna bağlı olarak (örneğin tematik haritalar oluşturmak için kullanılabilecek CBS verileri gibi) ilave analizler de gerçekleştirilebilir. YBM modeli, mevcut araçlarla uygun şekilde analiz edildikten sonra, proje sahasının en uygun yerini belirlemek veya en uygun güzergahı seçmek için kullanılabilmektedir [15].

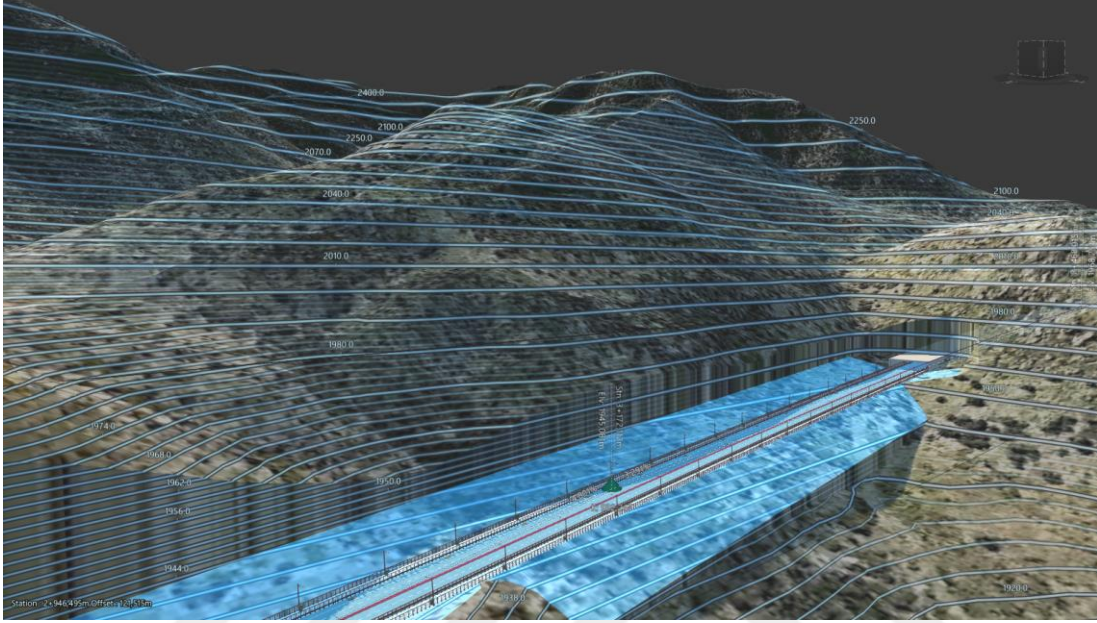


Şekil 2.4. YBM uygulamalarından olan Infracore programından bir görüntü

2.3.2. Saha/güzergâh analizi

YBM ve CBS araçları, belirli bir alandaki mülklerin değerlendirilmesi yoluyla gelecekteki bir proje için en uygun saha konumunu belirlemek için kullanılırlar. Gelecekteki bir inşaat sahasının konumsal özellikleri inşaat maliyetlerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu

nedenle önemli finansal taahhütlerde bulunmadan önce bu potansiyel etkileri anlamak gerekir. Konum verileri bir güzergahın diğer kriterlere göre analiz edilmesi için kullanılırlar (Şekil 2.5). Bir otoyol sahasının veya koridorunun 3 boyutlu modeli ile sular, gürültü yayılımı, binalar, ormanlar, tarihi yerler vb. nesneler arasındaki ilişkiler analiz edilerek avantaj ve dezavantajlar değerlendirilebilmektedir [15].



Şekil 2.5. Infraworks programında mühendislik görünümü özelliği

2.3.3. Görselleştirme

Model merkezli bir teknoloji olan YBM, tasarımın her aşamasında gelişmiş bir görselleştirme oluşturmayı mümkün kılmaktadır. 3 boyutlu proje modeli farklı paydaşların tasarım konseptini ve ayrıntılarını daha iyi anlamasına yardımcı olur. Altyapı projeleri çok sayıda paydaşı ilgilendirdiğinden açık ve anlaşılır olarak sunulmalıdır. Proje ekibi için görselleştirme kısmı nihai tasarımın daha doğru olmasını ve tasarım kalitesinin artmasını sağlamaktadır. Ayrıca görselleştirme, müşterinin ve tasarımcıların önerilen çeşitli çözümler arasından seçim yapması gereken durumlarda faydalı olmaktadır. Görselleştirme ile sunulan YBM modeli, yol güvenliğinin denetiminde de kullanılabilir. Projeyi denetleyen kişiler, gelecekteki bir projeye her açıdan (özellikle de bir sürücünün perspektifinden) bakarak, olası kaza kara noktalarını kolay bir şekilde tespit edebilir ve iyileştirmeler önerebilirler.

Mevcut görselleştirme yaklaşımı, görselleştirmelerin uzman şirketler tarafından üretilmesini zorunlu kılmakta ve bu durum, maliyetlerin artmasına ve süreçlerin uzamasına yol açmaktadır. Ek olarak, söz konusu görselleştirmelerin statik görüntüler olması ve proje modeliyle dinamik bir bağlantı kurmamaları önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Buna karşın, YBM tabanlı iş

akışı bu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır. YBM tabanlı iş akışında görselleştirme, canlı modele doğrudan bağlıdır ve modelde yapılan her türlü değişiklik anında görselleştirmeye yansıtılmaktadır [15].

2.3.4. Tasarım oluşturma

YBM araçlarını kullanarak bir otoyol projesindeki bir nesne için bir bilgi modeli geliştirmeyi içeren sürece tasarım oluşturma süreci denmektedir. Bu süreçte YBM modelinin tasarımıyla paralel olarak geliştirilmesi önemlidir. Klasik yöntemde, 2 boyutlu çizimler baz alınarak tamamlanmış bir projeyi sonradan YBM modeline dönüştürmek kaynak israfına yol açmaktadır, dolayısıyla bu yöntem hatalı bir yaklaşımdır. Tasarım oluşturma sürecinde, YBM araçları kullanılarak 3 boyutlu modeller kümesi oluşturulur. Bu modeller, yapısal tasarımı, trafik tasarımı, gürültü bariyerleri, drenaj sistemleri ve aydınlatma gibi çeşitli diğer unsurları temsil etmektedir. Tasarım oluşturma araçları, bu modellerin oluşturulmasını ve şartname, program, maliyet, özellikler, malzemeler vb. bilgileri içeren bir veri tabanı ile bağlantılı hale getirilmesini sağlar.

Tasarım oluşturma, kesitleri düzgün olmayan ve hizalama boyunca değişkenlik gösteren doğrusal nesnelerle ilgili bir kavramdır. Bazı durumlarda, ticari yazılımların sunduğu modelleme araçları, bu özel gereksinimleri karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, tasarımcıların programlama bilgisine ihtiyaç duymadan özel içerikler oluşturabilmelerini sağlayacak, kullanımı kolay araçlara sahip olmaları kritik önem taşımaktadır. Otoyol ve karayolu projelerinde kullanılan modelleme araçları, projenin türüne göre büyük ölçüde değişkenlik gösterirler ve bu nedenle çeşitli ve özelleştirilmiş bir yapıdadırlar. Örneğin, yol tasarımı için kullanılan araçlar, köprü tasarımı için kullanılan araçlardan önemli ölçüde farklıdır.

Yol projelerinde dikkate alınması gereken önemli bir unsur, mevcut zeminle (düzensiz bir şekle sahip olan) olan etkileşimlerdir. Bu durum, mimarlık sektöründe kullanılan ve yüzeylerin nispeten iyi tanımlandığı ve hassas olduğu yerleşik YBM modelleme araçlarıyla önemli bir tezat oluşturmakta ve yol planlaması için özel araçların geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Yol modellemesinde düzensiz şekillerin baskın olması, YBM'nin inşaat mühendisliğinde bu kadar yavaş benimsenmesinin nedenlerinden biridir.

Model tabanlı araçlar, önemli bir tasarım değişikliğinin daha kolay ele alınmasına olanak tanımaktadır. Nesneler arasındaki ilişkiler tek tek sayfalara aktarılacak yerine modelde

tutulduğu için kesit ve profil çizimleri kısa sürede kolayca yeniden oluşturulabilmekte ve çeşitli güncellemeler hemen yapılabilir [15].

2.3.5. Yüzey analizi

Nesnelerin ayrıntılı incelemesini yapabilmek için hacim analizi gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Mevcut yüzey üzerinde gerçekleştirilen tüm analizler, tasarlanan yüzeyler üzerinde de uygulanabilir. Önerilen tasarım müdahaleleri yükseklik, eğim, bakı ve hidroloji açısından değerlendirilebilir ve toprak işleri gereksinimlerini dengelemek için yarma ve dolgu hesaplamaları da yapılabilir.

Karayolu tasarımında, yüzey oluşturma ve yönetme araçları birçok durumda makul bir çözüm olarak kendini kanıtlamıştır. Yol yenileme projelerinde taban zemini yüzeyi, üst kaplama yüzeyi ve kazı yüzeyi bu duruma örnek olarak verilebilir. Bu araçlar, karmaşık yol geometrilerini modellemeyi ve hassas analizler gerçekleştirmeyi kolaylaştırarak, tasarım sürecini optimize etmeye yardımcı olmaktadır [15].

2.3.6. Tasarımın incelenmesi

İlk tasarım aşamasının ardından, yarma/dolgu miktarlarını hesaplamak, saha analizleri ve trafik simülasyonları gerçekleştirmek gibi çeşitli araçlar kullanılabilir. Model merkezli bir yaklaşım, tasarımda yatay ve dikey değişiklikleri, istinat duvarı eklemeyi, köprü ve tünel gibi unsurların dahil edilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu sayede tasarımcı, birçok farklı tasarım alternatifini inceleyebilir ve her birinin verim ve performansını karşılaştırabilir.

Tasarımın incelenmesi, proje programı, yerleşim planı, aydınlatma veya yol güvenliği gibi istenen kriterleri değerlendirmek için YBM modelinin kullanıldığı bir süreçtir. Örneğin, tasarım alternatiflerinin analizi için yüksek detayda sanal bir model oluşturulabilir ve bu model üzerinde interaktif bir ortamda inşa edilebilirlik incelenebilmektedir. Bu tarz incelemeler, olası inşaat sorunlarının erken aşamalarda tespit edilerek, ortadan kaldırılmasına olanak sağlayabilmektedir [15].

2.3.7. Tasarımdaki değişiklikler

3 boyutlu modelleme, peyzajda yapılan değişikliklerin yanı sıra boru çaplarında veya kaplama kalınlıklarında meydana gelen değişiklikleri modelde anında yansıtacak ve saha şartlarına uygun olarak tekrar hesaplayacak şekilde geliştirilmiştir. Modelleme, üstyapı hesaplamaları,

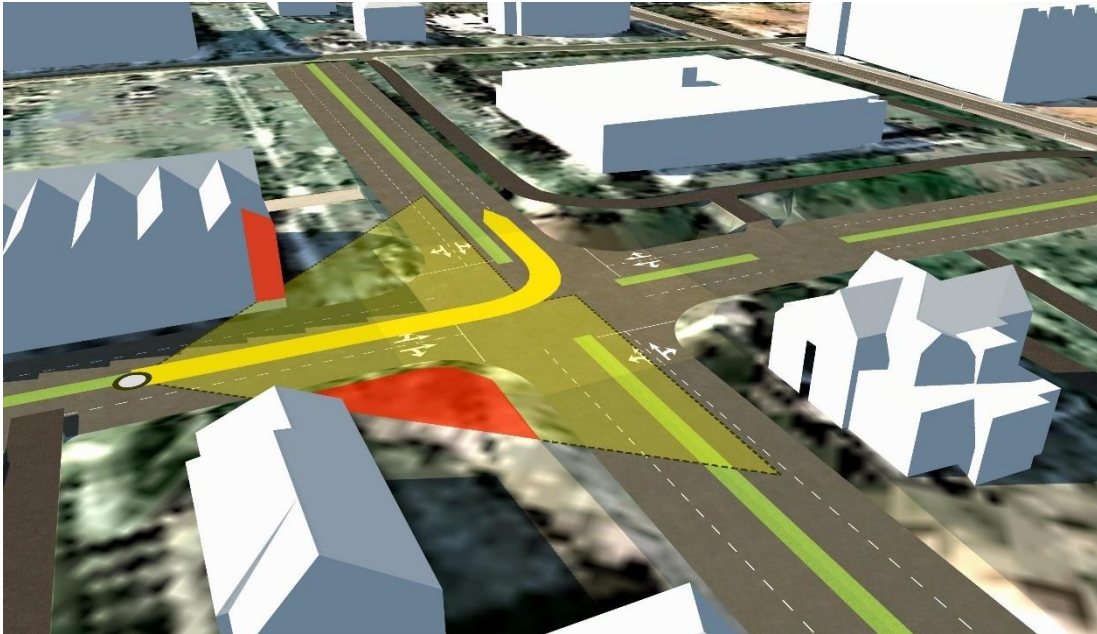
boru ağıları, saha tesviyesi ve yüzey bilgileri gibi farklı tasarım bileşenlerini dinamik bir çerçeve içinde analiz ederek, tasarım değişikliklerine hızlı bir şekilde uyum sağlayabilmektedir [15].

2.3.8. Mühendislik analizi

Yol ve otoyol projeleri genellikle çok geniş alanları kapsamakta ve bu nedenle çok sayıda araziye etkilemektedir. YBM teknolojisi, farklı veri türlerini (2 boyutlu CAD çizimleri, CBS verileri, 3 boyutlu arazi modelleri) birleştirebilir ve bunları planlanan proje sınırlarıyla karşılaştırarak projenin mevcut parselleri ve irtifak haklarını nasıl etkilediğine dair daha iyi bir fikir verebilmektedir.

Mühendislik analizi, tasarım özelliklerine dayalı akıllı modelleme araçlarının kullanıldığı bir süreçtir. YBM ortamında, köprüler ve tüneller gibi tasarlanmış yapıların performansı, yapısal analiz gibi çeşitli yöntemler kullanılarak simüle edilir ve analizi gerçekleştirilir.

Modelleme aşamasında elde edilen bilgiler, yapısal tasarım ve analiz için gerekli minimum standartları belirlemek ve optimizasyon çalışmaları gerçekleştirmek için kullanılırlar. Bu analizler doğrultusunda, etkili, verimli ve inşa edilebilir yapısal sistemler oluşturmak için yapısal tasarımın geliştirilmesi ve iyileştirilmesi sağlanır. Bu bilgilerin tamamı, dijital imalat ve inşaat sistemi aşamalarında kullanılacak temel verileri oluşturmaktadır [15]. Şekil 2.6'da mühendislik analizine örnek olarak Infracore'de görüş mesafesi analizi verilmiştir.



Şekil 2.6. Infracore programında görüş mesafesi analizi

2.3.9. 4 boyutlu ve 5 boyutlu analizler

Tasarlanan çözümlerin gözden geçirilmesi ve çeşitli hatalar ile uyumsuzlukların tespiti için doğrulama araçları kullanılmaktadır. YBM tabanlı araçlar, 3 boyutlu proje modeline dayalı olarak sorunların daha etkin bir şekilde belirlenmesine, incelenmesine ve raporlanmasına yardımcı olurlar. Bu problemler, uygunsuz modelleme veya tasarımın kendisindeki hatalardan kaynaklanabilmektedir.

Bir YBM modeli tamamlandıktan ve doğrulandıktan sonra proje detayları, programları ve lojistiği gözden geçirmek için 4 boyutlu, 5 boyutlu analizler ve simülasyonlar gerçekleştirilebilir. 4 boyutlu modelleme, paydaşların proje süresi boyunca inşaatı görselleştirmelerine ve programdaki olası problemleri tespit etmelerine olanak tanır. Sürece bir maliyet bileşeni eklenmesiyle 5. boyut ortaya çıkar. 5 boyutlu mühendislik modelleri, paydaşların maliyetleri değerlendirmesine ve inşaatın her aşaması için nakit akışlarını modellemesine olanak tanımaktadır [15].

2.3.10. Standart doğrulaması

Standart doğrulaması, model parametrelerinin projeye özgü kodlar ve standartlarla karşılaştırılması işlemidir. Bu kodlar, yol tasarımı, güvenlik ve seçilen hizmet seviyesi için temel düzenleyici gereklilikleri temsil etmektedirler.

Standartların tasarım gereklilikleriyle karşılaştırılması, kullanılan tasarım parametrelerinin (tasarım hızı, yolun yatay ve dikey unsurları, üst kot ve tesviye planlarının analizi) kapsamlı bir analizini içerir. Ek olarak, geçiş görüş ve duruş görüş kontrolleri de gerçekleştirilebilmektedir [15].

2.3.11. Maliyet tahmini

Metraj çıkarma, belirli bir inşaat projesinde kullanılan malzeme miktarının ve iş kalemlerinin sayısının belirlenmesi işlemidir. YBM, bu miktarları modelden otomatik olarak çıkarmak ve projenin maliyetini tahmin etmek için kullanılabilir. YBM'nin bu kullanımının bir diğer faydası da erken tasarım aşamalarında çeşitli tasarımların maliyetlerini karşılaştırmaya imkân sağlayarak, bütçe aşım riskini önlemeye yardımcı olmasıdır.

YBM aracı ile modelden üretilen maliyet çıkarımı, 2 boyutlu çizimlerden elde edilen veya manuel olarak yapılan metrajdan çok daha doğru ve güvenilirdir.

YBM yaklaşımda, ön tasarıma yönelik araçlar, proje modeline bağlı olarak maliyet tahmin süreci için gerekli olan miktarların otomatik olarak çıkarılmasını sağlar. Bu sayede müşteri, tasarım aşamasının erken dönemlerinde seçilen çözümlerin maliyeti hakkında bilgi sahibi olabilir. Tasarım süreci ilerledikçe, YBM modelindeki detaylı malzeme miktarları ve mekansal bilgiler vasıtasıyla maliyet tahmini daha da belirgin hale gelmektedir. Dikey mimari projelerinde, standartlaştırılmış unsurların daha yaygın kullanımıyla birlikte bu alanda önemli bir ilerleme kaydedilmiştir. Altyapı projelerinde ise genellikle kombine bir yaklaşım tercih edilmektedir; bu yaklaşımda CAD araçları, tasarım araçlarının özellikleriyle birlikte metrajın bir kısmını sağlarken, diğer bir kısmı YBM modelinden doğrudan elde edilebilmektedir [15].

2.3.12. Çakışma tespiti

Çakışma tespiti, doğrulama araçlarının kullanıldığı bir süreçtir. Bu analizler, bir disiplinin diğeri üzerindeki etkisini kontrol etmeyi amaçladığından, karmaşık ve birleştirilmiş bir model üzerinde gerçekleştirilir. Bu tür analizler, proje ekibinin inşaat öncesinde olası tasarım problemlerini daha iyi öngörmesi ve çözmesi açısından oldukça faydalıdır.

Geleneksel yöntemde çakışmalar, 2 boyutlu çizimlerin manuel olarak üst üste bindirilmesiyle tespit edilir. Buna karşın YBM teknolojisi, tüm disiplinlerden modelleri bir araya getirerek inşaat öncesinde çakışmaları tespit edebilme imkânı sunmaktadır. Otomatik çakışma tespiti, tasarım hatalarının veya eksikliklerinin belirlenmesinde önemli bir yaklaşımdır. Nesneler birbirine çok yakınsa bu durum "yumuşak çakışma" olarak kabul edilirken, nesnelerin üst üste binmesi veya aynı konumda olması "sert çakışma" olarak tanımlanır.

Tasarım ve inşaattaki her paydaş iş akışlarını yürütmek için farklı YBM araçları ve teknolojileri kullanmaktadır. Örneğin, yol tasarımı OpenRoad'da, drenaj modeli Civil 3D'de, yapısal tasarım Revit'te hazırlanabilirken, bazı modeller CAD araçlarıyla da oluşturulabilir (örneğin, bir DWG dosyasındaki 3 boyutlu trafik işaretleri). Bu programlar birbirleriyle senkronize olmadığından, çakışmalar meydana geldiğinde proje ekibini uyaramazlar. Bu nedenle, Navisworks gibi farklı platformlardaki 3 boyutlu modelleri tek bir platformda bir araya getirerek, çakışma analizi ve tespiti gerçekleştirebilen YBM araçları kullanılabilmektedir. Çakışma tespiti hataları azaltarak inşaat süresini kısaltır, projenin maliyetini düşürerek tüm paydaşlar için daha sorunsuz bir süreç sağlar [15].

2.4. YBM'nin Ulaştırma Yapılarında Kullanımı

YBM, inşaat sektöründe son yıllarda öne çıkan ve projenin tüm paydaşları arasında bilgi akışını kolaylaştıran bir yaklaşım olduğu kabul edilmektedir. YBM'nin temelini oluşturan unsurlar, paydaşlar arasında sorunsuz bir bilgi alışverişi ve fiziksel, anlamsal ve işlevsel verilerin yazılım araçlarıyla yönetilmesidir. Bu sayede, projenin tüm aşamalarında daha iyi koordinasyon ve daha etkin bir karar verme süreci sağlanmaktadır.

YBM, bina projeleri ve tesis yönetimi alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, ulaşırma projelerinde uygulaması hala gelişme aşamasındadır. Ulaşırma altyapısının her bir alt alanı, köprü, demiryolu ve havalimanları gibi, kendine özgü ve ayrı ayrı ele alınması gereken inşaat unsurlarını içermektedir. Bu durum, her alt alan için tüm gereksinimleri kapsayacak tek bir platform veya aracın geliştirilmesini zorlaştırmaktadır. Bunun yerine, her alana özgü kavramlar ve araçlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin, nesne yönelimli modelleme, Köprü Bilgi Modellemesi, Demiryolu Altyapı Bilgi Modellemesi ve Havalimanı Bilgi Modellemesi gibi farklı alanlarda özelleştirilmiş araçlar geliştirilmiştir. Bu tür özelleştirilmiş araçlar, alana özgü gereksinimlere daha iyi yanıt verebilmektedir.

YBM'nin ulaşırma projelerinde daha etkin bir şekilde uygulanabilmesi için, kavramların ve araçların geliştirilmesine yönelik araştırmaların artırılması gerekmektedir. Ayrıca, farklı altyapı türleri için özel kılavuzlar ve standartlar da geliştirilmelidir. Bu sayede, YBM'nin tüm potansiyelinin ortaya çıkarılması ve ulaşırma projelerinde daha etkin bir şekilde kullanılması mümkün olacaktır.

Otoyol projeleri, inşaat sektöründe çok sayıda paydaşı olan önemli projelerdir. Ancak, Karayolu Bilgi Modellemesi (KBM) gibi yeni ve yararlı bir kavram, sektörde yeterli düzeyde uygulanamamaktadır. KBM'nin kapsamı ve içeriği konusunda standart ve kılavuz eksikliği de bu durumu zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, KBM ile ilgili kavramsal, yöntemsel ve teknolojik araştırmalar yapılması, otoyol projelerinde YBM ile sağlanan faydaların artırılması için gereklidir.

Bu bölümde, karayolu ve sanat yapılarında YBM'nin kullanımına yönelik literatür taraması yapılmış ve yapısal çeşitliliğine göre gruplandırılarak irdelenmiştir. Literatürdeki çalışmalar, YBM'nin karayolu ve sanat yapılarında kullanılmasının, sadece bakım maliyetlerini ve riskleri düşürmekle kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir ve güvenli bir ulaşım altyapısı oluşturmaya da katkıda bulunacağını göstermektedir [4].

2.4.1. Tüneller

Tüneller en çok izlenen ulaştırma altyapılarıdır. Bunun nedeni ise özellikleri ve güvenlik gereksinimlerinin yüksek olmasıdır. Tasarım ve inşaat aşamalarından işletme ve bakım faaliyetlerine kadar büyük oranlarda bilgiye ihtiyaç duyulur. Diğer yapılara kıyasla, özellikle de binalarla karşılaştırıldığında, bu tür altyapılara uygulanan daha az YBM çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmalar çoğunlukla projenin başlangıç aşamalarına odaklanmıştır. Örneğin, İsrail'de bir dağ yolu tünelinin inşaatı sırasında, işletme ve bakımında kullanılmak üzere bilgileri yönetmek için bir YBM modeli hazırlanmıştır [16]. Pakistan'da bir hidroelektrik santraline erişimi sağlayan tünel inşaatında, delme ve patlatma yöntemiyle gerçekleştirilen tünel yönetimi için YBM temelli bir çerçeve kullanılmıştır [17]. Her iki durumda da inşaat sırasında belgeleri görselleştirmek ve yönetmek için Autodesk Civil 3D, Revit veya Dynamo gibi yazılımlar kullanılmıştır. Buna ek olarak, geleneksel proje dokümantasyonunun (elektronik tablolar, metin belgeleri ve iki boyutlu CAD planları) kullanımına devam edilmiştir. YBM modeli, IFC (Tüm YBM yazılımlarında okunabilen dosya formatıdır. Açılımı “Industry Foundation Classes” şeklindedir.) açık standartları kullanılarak Wuhan'da (Çin) bir metro tünelinin inşası sırasında risklerin belirlenmesi için de kullanılmıştır [18]. Çok fazla akademik çalışma, tasarım aşamasında karar vermeyi kolaylaştırmaya odaklanmaktadır. Örneğin, Slovenya'da yapının zeminle etkileşiminin sonlu elemanlar analizi için yapı geometrisini senkronize edebilen bir YBM modeli geliştirilmiştir [19]. Ayrıca birkaç çalışmada bir tünelin tasarım alternatiflerinin incelenmesi sırasında hesaplama maliyetini ve hazırlanma süresini azaltmak için bir modelde gerekli olan ayrıntı düzeyi araştırılmıştır [20, 21]. Öte yandan, Çin'deki Wuhan Yangtze Nehri tüneline her bir bileşenin konumunun ve montajının doğrulanabilmesi için standartların uygulanması incelenmiştir. Bu tünel 4650 m uzunluğunda ve 15,2 m kesit çapında olup bir kentsel otoyol ile bir yeraltı hattını birleştirmektedir [22]. Bir başka çalışma, Çin'deki iki demiryolu tünelinin inşaatı sırasında ortak çalışmaya dayalı bir platformun oluşturulması için gereken donanım ve yazılım gereksinimlerini incelemektedir [23].

Çin'de bir dağ tünelinin inşaatında kullanılmak üzere otomatik izleme sistemi geliştirilmiştir. Bu izleme üç seviyede gerçekleştirilmektedir. İlk seviye, yeraltı su seviyesi gibi bilgilerin sensörler aracılığıyla toplanmasıdır. Toplanan bilgiler kablosuz ağlar üzerinden gerçek zamanlı olarak aktarılmaktadır. İkinci seviyede, bilgiler uydu iletişimi kullanılarak sunucuya iletilir. Son olarak bilgiler bulutta analiz edilerek YBM modeliyle karşılaştırılır ve dijital ikizde

görselleştirilir. İzleme sistemi, bilgileri operatörlere gönderir ve bir arıza durumunda otomatik olarak erken uyarı verir [24].

Bir başka örnek de Çin'in Hangzhou kentindeki Wenyi Road Tüneli'nde fan arızası nedenlerinin analizi için sensör gibi teknolojilerle inşaat ve işletme binası arasındaki bilgi alışverişi için standartların uygulanmasıdır. Bu çalışma, dijital ikiz kapsamında tünelin işletme ve bakımı için karar analizi sürecini göstermektedir. Ancak çalışmada, görselleştirme modeli ile karşılaştırma modeli arasında bazı kısıtlamalar tespit edilmiştir [25].

Kentsel ortamda YBM, Çin'deki Taiyuan metrosunda 23 yeraltı istasyonunun işletme ve bakımı için uygulanmıştır. Vaka çalışması, gerekli verilerin alımı, analizi, yönetimi ve aktarımını kapsamaktadır. Çalışmaya işletme ve bakım departmanlarından personeller dahil edilmiş ve ihtiyaçlara uygun bir ayrıntı düzeyi belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda istasyonlara ait tüm bilgiler bir web sayfası üzerinden yönetilebilir hale getirilmiştir. Buna ek olarak, paylaşılan bilgi 3 boyutlu modelden üretilmiştir [26].

Çin'in güneydoğusundaki 1,5 km uzunluğundaki Lingxia karayolu tüneli için de bir tesis yönetimi sistemi geliştirilmiştir. Yapının Revit modeli, işletme ve bakım gereksinimleri için harici bir SQL veri tabanına bağlanmış ve mevcut bilgilerle sanal etkileşime izin veren bir Unity 3 boyutlu grafik ara yüzünde görselleştirilmiştir [27]. Son olarak, tünellerde yangın kontrolü ve önlenmesi için YBM kullanımı araştırılmış [28], tünellerde yangının önceden analiz edilmesi için büyük veri ve yapay zekâ kullanımı irdelenmiştir [29]. YBM modellerinin bu tür olaylara karşı güvenlikte önemli bir gelişme sunduğu bildirilmiştir [30].

Ülkemizde yapılan çalışmalara bakıldığında ise YBM ile yapılan ilk raylı sistem projesinin 2013 yılında başlatılan Mecidiyeköy-Mahmutbey metro hattı ve 2016'da uzatılması ile yeni halini alan Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey metro hattı olduğu bildirilmiştir [31].

2.4.2. Köprüler

En fazla akademik yayına sahip ulaştırma altyapısı, köprü tipi projelerdir [32]. Bu altyapı türü, diğer yapılara kıyasla benzersiz bileşenlere sahip olduğundan, modellemesi oldukça zordur. Ancak YBM, köprü tasarımında zamandan tasarrufa ve verimliliğe imkân sağlamaktadır [33]. Bu nedenle, bazı çalışmalar modelleme süresini azaltmak ve elemanları çok sayıda projeye uyarlamak için parapetler [3], kazıklar, kolonlar, tabliyeler ve hatta değişken kesitli kirişler gibi elemanların modellenmesini araştırmaktadır [34].

3 boyutlu köprü modelleme teknolojisi, halen gelişim sürecinde olan ve çok sınırlı sayıda yazılım paketi tarafından desteklenen bir alandır. Bu teknoloji, köprü yapılarının analizi ve tasarımı için kullanılan yazılımlarla uyumlu hale getirildiği takdirde, köprü mühendisliği alanında önemli faydalar sağlayabilecektir [30].

Bununla birlikte, köprü yaşam döngüsünde YBM metodolojisinin kullanımını araştırmak ve keşfetmek için az sayıda vaka çalışması mevcuttur. Bazı çalışmalar teorik olasılıkları diğer bilgi teknolojileri ile birlikte ele almaya çalışmaktadır [35]. Köprünün kullanım ömrü boyunca karbon ayak izinin değerlendirilmesi [36] veya işletme ve bakım kapsamında üretilen bilgileri yönetmek ve paylaşmak için bir web sayfasının geliştirilmesi örnek olarak verilebilir.

YBM metodolojileri, nesnelerin interneti (IoT) gibi gelişmiş teknolojilerle entegre edilebilmektedir. Bu entegrasyon, köprünün yaşam döngüsü süresince güvenilirliği artıran bir yapısal yönetim sistemi oluşturmaya imkân sağlayabilmektedir. Ayrıca, Köprü Yönetim Sistemleri, köprünün yaşam döngüsünün her aşamasında karar vericilere yardımcı olan kapsamlı bir araç sunabilir ve işletme ve bakım maliyetlerini azaltarak yapısal performansı iyileştirebilirler [37].

Köprü tasarım sürecinde, görsel programlama araçları, Köprü Bilgi Modellemesi (BrIM: Bridge Information Modeling) oluştururken zaman tasarrufu sağlar [34], bilgi işleme ve yönetimini optimize etmeye yardımcı olurlar [38]. YBM iş birliği platformları, ulusal veya uluslararası standartlara uygun olarak ortak veri ortamı kurar ve iş akışlarının tüm paydaşlarla birlikte yürütülmesini sağlarlar.

Ayrıca, Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (AUS) son birkaç yılda önemli derecede yaygınlaştığı ve çok sayıda veri sağladığı unutulmamalıdır. Gerekli veriler, sensörler aracılığıyla toplanmakta ve BrIM modeli gibi birleşik ve görsel bir veri tabanında temsil edilmektedir [39].

Köprü Bilgi Modellemesi tabanlı yapılan denetimler, gereksiz veri toplamayı ortadan kaldırmaya, olası insan hatalarını en aza indirmeye ve denetim süresini kısaltarak denetimin kalitesini artırmaya yardımcı olurlar. Bu tarz bir denetim, Iowa'da mevcut bir otoyoldaki bir köprüde uygulanmıştır. Araştırmacılar, tasarım dokümanlarını, geçmiş denetim verilerini ve buluttaki diğer bilgileri, her denetçinin tabletindeki bir uygulamadan erişilebilen 3 boyutlu bir modelde birleştirmiştir [40].

ABD'nin Oregon eyaletindeki bir karayolu köprüsünde, yapısal çatlakları belirleyebilmek amacıyla, yüksek çözünürlüklü görüntüleme için İnsansız Hava Aracı (İHA) kullanılmıştır.

Fakat bu çalışma, mevcut köprü modellemesi ve görüntü işleme teknikleri ile ilgili kısıtlardan dolayı büyük ölçekli bu uygulama için sınırlı kalmıştır [41].

Diğer çalışmalar, köprü üzerinde yoğun trafiğin oluşturduğu titreşimlerin ve dinamik davranışın incelenmesi için büyük ölçüde altyapı izleme uygulamalarına odaklanmıştır. Örneğin, Tekla Structures'ta bir YBM yazılımı kullanılarak, ortak veri platformlarının yapısal sonuçları yönetmede sağladığı avantajlar incelenmiştir. Ayrıca, yapısal hesaplama programları ile veri paylaşımında birlikte çalışabilirlik üzerine bir analiz yapılmıştır [30].

2.4.3. Havalimanları

Ulaştırma altyapılarının önemli bir parçası olan havalimanları, son yıllarda yolcu sayısının artması nedeniyle, yolcu hareketliliğinde önemli bir artışı da beraberinde getirmiştir. Adolfo Suárez Madrid Barajas havalimanında 2015 yılında 18R-36L pistinin yenilenmesinin ardından, bir Havalimanı Pist Yönetim Sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde yoğunlukla periyodik saha denetimlerinden elde edilen ve bir veri tabanı ile oluşturulan bir model detaylandırılmıştır. Ayrıca, bu veri tabanının nasıl yönetileceği ve IoT cihazları kullanılarak gerçek zamanlı olarak nasıl güncelleneceği de çalışma içerisinde tartışılmıştır [42].

Havalimanları, geniş alanlara ihtiyaç duyan büyük ölçekli altyapı projeleridir. YBM ve CBS arasındaki entegrasyon sayesinde planlama, tasarım ve bakım süreçlerinde çevresel etkilerin daha verimli bir şekilde değerlendirilmesi sağlanabilmektedir [43].

Ancak altyapının bütünsel olarak (pistler, yolcu terminali ve destek hizmetleri) incelendiği çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bir havalimanının tamamının YBM ile modellenmesi, paydaşların yüksek düzeyde bilinçli olmasını gerektirmektedir. Basra Körfezi'ndeki bir havalimanı projesinde, bakım-onarım süreci için bir YBM entegrasyonu planlanmıştır. Bu projede 580.000'den fazla personeli ve disiplinlere göre ayrılmış 10 adet YBM modelini yönetebilmek için bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Sürecin her aşamasında, bilgi işleme yeteneğinden mobil cihaz kullanımına kadar çeşitli kısıtlamalar ortaya çıkmıştır [44]. Başka bir çalışmada havalimanı terminali genişletme projeleri için bir YBM iş akışı önerilmiştir. Napoli Capodichino Uluslararası Havalimanı'nın kalkış bölümünün 'IV Köprüsü' adlı yükseltilmiş bir yaya yolu ile genişletilmesi örneği, bu iş akışının inşaat süresini ve maliyetini azalttığını göstermiştir [30, 45, 46].

Son olarak, ülkemizde fiziksel olarak da inşa edilmiş olan İstanbul Havalimanı projesi, 7 boyutta gerçekleştirilmiş olup, inşaat sonrası işletmeyi de kapsamaktadır. Bu kapsamda hazırlanan bir çalışmada, İstanbul Havalimanı inşaatında kullanılan YBM'nin, işin yönetilmesi

ve şantiyede teslim edilmesi sırasında taşeronlar üzerinde yetki sahibi olunması, tasarım ve inşaat aşamasında kalitenin iyileştirilmesi, şantiye ve ofislerdeki atıkların azaltılması, sorunların sahadaki hızlı çözümü ve koordinasyonun güçlendirilmesi gibi konularda önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir [47].

2.4.4. Yollar

Yol altyapı projeleri için YBM sürekli gelişen bir teknoloji olarak ön plana çıkmaktadır. Altyapı tasarımına yönelik Autodesk Civil 3D, InfraWorks veya OpenRoads gibi yazılımlar kullanılmakta ve yol projelerinin geometrik özelliklerinin otomatikleştirilmesi veya iyileştirilmesi için YBM'nin sağladığı fırsatlar üzerine literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda; yol tasarımı [48], yol kesit elemanları parametreleri [3, 49, 50] veya en uygun kavşak tipinin [51] belirlenmesi gibi konular incelenmektedir. Bunun yanı sıra, Revit'te geliştirilen bir yolun 3 boyutlu modeli, Abaqus'e aktararak yol üstyapısının yapısal analizi gerçekleştirilmiştir [52]. Yol üstyapısının parametrik olarak modellenmesi, kaplamanın servis ömrü boyunca yüzey durumunun takip edilmesine imkân vermektedir [53]. Bu şekilde bir YBM modeli, Zemin Radarı ve Mobil Lazer Tarayıcı verileriyle zenginleştirilerek bakım/onarım kararlarına katkı sağlayabilmektedir [54].

Altyapı yönetiminden elde edilen bilgiler, yol yüzeyine yönelik bilgilerle birlikte kullanılabilir. Fas'ta A7 otoyol projesinde, IFC standartlarını temel alan bir metodoloji geliştirilmiştir. Bu metodoloji, bakım ve onarım sürecinden gelen bilgileri bütünleştirmeyi ve diğer tesis yönetim sistemleriyle paylaşmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, yol altyapısının bakım ve onarım işlemlerinin iyileştirilmesi için, openBIM (binaların yaşam döngüsüne dayalı standartlar ve iş akışları kullanan bütünsel bir yaklaşım) ile uyumlu olarak IFC standardının genişletilmesinin mümkün olabileceği bildirilmiştir [55].

Karayolu mühendisliğinde YBM uygulamaları, üstyapı tasarımındaki hataların tekrarlama ihtimallerini düşürmektedir. Bu amaçla, Dynamo ile üstyapı tasarımının kontrolünü yapabilen bir yol modeli geliştirilmiştir. Ayrıca, Python tabanlı bir alt program ile bu modelin Mekanistik Ampirik Üstyapı Tasarım Kılavuzu'na entegrasyonu sağlanmıştır. Bu alt program, geometrik tasarım ve üstyapı analizini bir arada yaparak, yol sektöründe YBM teknolojisinin kullanımını artırmayı hedeflemektedir [56].

Benzer bir yaklaşımla, yol bakımı planlaması için YBM tabanlı bir analiz aracı tasarlanmıştır. Bu araç, zaman verilerine dayalı olarak bakım alternatiflerini öngörmeyi ve uygun olanı

seçmeyi sağlamaktadır. Bu YBM aracı, yol kaplama tasarımı ile bakım planlamasını entegre ederek, döngüsel ekonomiyi desteklemeyi amaçlamaktadır [57].

Güney Kore'deki "Yangpyeong-Icheon Expressway Zone 4" otoyol projesi için bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, YBM ve 3 boyutlu nesne oluşturma standartlarının, maliyet ve inşaat sürecinin koordinasyonunu sağlayarak, verimli bir inşaat yönetimi sağlayacağı bildirilmiştir. Ayrıca, YBM tabanlı kazanılan değer ve süreç yönetimi, veri oluşturma sürecinin bir bileşeni olarak incelenmiştir. YBM'de nesneye dayalı kazanılan değer ve süreç yönetiminin, otoyol inşaat projelerinin performansını iyileştirdiği gösterilmiştir [58].

Bakım ve varlık bilgi yönetimi alanında, Birleşik Krallık'ta sensör teknolojisi ile donatılmış bir otoyolun ürettiği büyük verinin yönetimi araştırılmıştır. Büyük veri, gerçek zamanlı olarak güncellenen ve çeşitli kaynaklardan gelen verilerin etkin bir şekilde işlenmesini ve analiz edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, paydaşlar arasında veri paylaşımını kolaylaştırmakta ve mobil uygulama aracılığıyla verilere erişimi mümkün kılmaktadır [59].

Otoyol projelerindeki bilgi yönetimini kolaylaştırmak amacıyla 3 boyutlu akıllı nesne modeli kullanımı önerilmektedir. Bu modelin uygulanabilirliği, Kore'de bir otoyol projesinde prototip olarak test edilmiştir. Model, 3 boyutlu yol modellemesinin yanında, maliyet ve zaman çizelgesi tahminlerini de otomatik olarak üretmek için kullanılmıştır [30, 60, 46].

2.4.5. Demiryolları

YBM, demiryolu projelerinde planlama, tasarım, işletme ve bakım faaliyetlerini desteklemek için kullanılabilecek bir yöntemdir. Bir çalışmada, balastlı bir demiryolu hattının nokta bulutu verileri kullanılarak tersine mühendislik ile modellenmesi ve YBM modelinin demiryolu bakımı için uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu çalışma, demiryolu tesislerinin bakımında otomasyon teknolojisinin faydalarını ortaya koymuştur [61].

Kent içi kapsamında Bologna'daki bir Tramvay Hattı'nın bir kısmının tasarımında Altyapı YBM yaklaşımı uygulanmıştır. Yaklaşım, topografik etütten başlayarak, farklı disiplinlerin modelleri tek bir dijital ortamda birleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda YBM'nin altyapı tasarım optimizasyonunda yararlı bir yöntem olduğu ve kullanıcılara altyapının 3 boyutlu çevresel bağlamı ve uyumu hakkında bilgiler sağladığı bildirilmiştir [62].

YBM, balast tabakasında geotekstil ve geogrid kullanan bir demiryolu hattının rehabilitasyonu için uygulanmıştır. Demiryolu hattının mekansal ve parametrik olarak modellenmesi ve inşaat

süreçlerinin simüle edilmesi, 3 boyutlu ve 4 boyutlu YBM modelleri oluşturularak sağlanmıştır. YBM metodolojisinin uygulanabilir olduğu ve daha fazla geliştirme ihtiyacını vurgulayan bazı zorluklara ve sınırlamalara rağmen faydalarla uygulanabileceği sonucuna varılmıştır [63].

İtalya'daki Cancellò-Benevento demiryolu hattının altyapısı dijitalleştirilerek bilgilerin sistematik hale getirilmesi amaçlanmıştır. Özel olarak tasarlanmış ve IFC4×2 şemasına dayanan yazılım aracılığıyla etüt, veri yönetimi, bakım, finansal değerlendirme ve genel varlık yönetimi için birleştirilmiş bir dijital model geliştirilmiştir [64].

Benzer bir çalışmada ise Güney Kore standartlarına uygun olarak demiryolu nesneleri için YBM kütüphaneleri geliştirilmiştir. Şartnameler, ortak ve tesise özgü öznitelik bilgilerinin kütüphanelere entegre edilmesiyle oluşturulmuştur. Geliştirilen kütüphane kullanılarak yapılan test modellemesinin sonucunda, yol modellemesi için ortalama %38,2'lik bir fark ve köprü modellemesi için ortalama %50,2'lik bir fark ile önemli bir verimlilik artışı sağlanmıştır [30, 65, 46].

2.4.6. Diğer Altyapılar

Altyapı yaşam döngüsü için YBM'nin potansiyeline yönelik çalışmalar literatürde geniş ölçekte yer almaktadır. Ancak daha spesifik altyapı uygulamalarını içeren çalışma sayısı sınırlıdır. Buna rağmen, farklı yazılımlarla demiryolu altyapısının tasarımı [66], YBM ve CBS'nin entegrasyonu ile hidroelektrik santrallerin izlenmesi [67], açık standartlar kullanılarak atık su arıtma tesislerinin planlanması [68] gibi çeşitli örnekler YBM literatüründe yer almaktadır.

YBM ve CBS'nin entegre edildiği bir model, Güney Kore'de 1,5 km uzunluğunda bir kanalizasyon şebekesinin yenilenmesinde kullanılmıştır. Mevcut topografik ve belediye hizmetlerinin verilerine dayanarak ve bir İHA destekli fotogrametri çalışması ile mevcut tesis ağının tamamı modellenmiştir. Bu model, planlama ve kazı işlemlerinin optimize edilmesine katkıda bulunmuş ve bakım/onarım faaliyetleri veya potansiyel toprak işleri projeleri için bir veri kaynağı oluşturmuştur [30, 69].



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Amaç

Bu bölümde, kavramsal tasarım araçlarından olan Autodesk Infracore ile bir karayolu kesimi ve birkaç sanat yapısı tasarlayarak, çok kısa bir süre içerisinde yapılması hedeflenen bir proje hakkında ön bilgi alınabilmesinin mümkün kılınması amaçlanmıştır. Çalışma yönteminde üç ayrı senaryo oluşturulmuş olup, ilk iki senaryoda Infracore içerisinde farklı analiz yöntemleri ile karayolu ve sanat yapıları tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Son senaryoda ise ikinci senaryoya yönelik YBM'nin 4. boyutuna vurgu yapmak için iş takvimi oluşturulmuş ve iş kalemleri arasındaki çakışmalar tespit edilmiştir. Bütün senaryolar bir iş akış diyagramı çerçevesinde ele alınmıştır.

3.2. 3 Boyutlu Modelleme

YBM ile ilgili yanlış anlaşılmalardan birisi de bir projenin 3 boyutlu olması durumuyla, o projenin YBM özelliği kazanacağı konusundaki yanlış anlaşılma. Ulaştırma altyapıları ele alınırken, 3 boyutlu tasarımlar projelerde zaten kullanılmaktadır. Ancak, YBM'nin asıl amacı olan koordinasyon, çakışma analizleri, metraj gibi faaliyetler taşıma projeleri kapsamında büyük ölçeklerde icra edilememektedir. YBM'nin bu hizmetleri yapabilme potansiyelinin olmasına rağmen, genel olarak dikey mimaride kullanılıyor olması ve taşıma alanındaki standart ve kılavuzların henüz olgunlaşmaması, bu kabuğun dışına çıkılamamasındaki etkenlerdir. Ulaştırma projelerinde mevcutta kullanılan tasarım araçları ile bir projeyi tasarlamak, metrajları çıkartıp maliyet bulmak, 3 boyutlu tasarım elde etmek için genel olarak profesyonellerden destek almak ya da gerekirse tasarımcı firmalara ihale ile yaptırmak gibi uzun soluklu ve maliyetli bir iş akışı söz konusudur. YBM, bu süreçlerden elde edilecek ön izlemeyi çok kısa bir sürede işin sahibi idareye verebilme potansiyeline sahiptir.

Genel olarak, YBM'nin temel işlevleri ve gerekli yeterlilikler hakkında bilgi eksikliği bulunmaktadır. Bu nedenle, altyapı endüstrisinde hala CAD araçlarının yaygın olarak kullanıldığı ve YBM araçlarının verimli bir şekilde kullanılmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda, YBM araçlarını ve teknolojilerini altyapı yaşam döngüsü süreçlerindeki ilgili görevler ve faaliyetlerle entegre etmek önemlidir [15].

3.2.1. CAD

Birçok sektör (inşaat, imalat, otomotiv endüstrisi vb.) projeleri etkin bir şekilde desteklemek için CAD teknolojisini kullanmaktadır. En yüksek verimlilik düzeyine ulaşmak için CAD

araçları genellikle tüm teknik meslekler için başlangıç noktası olarak kabul edilir. Ancak, istenen disipline (örneğin, yol tasarımı) göre özelleştirilmesi için tekrarlayan prosedürlerin programlanması ve ayarlanması gerekmektedir. AutoCAD yazılımı, CAD teknolojisinin bir örneğidir ve bu yazılımı kullanarak programlama, maliyet tahmini ve yapısal tasarım gibi bazı avantajlardan yararlanmak mümkündür. 1990’larda CAD, elde çizim yaparak proje hazırlamanın yerini almış olsa da tasarım yaklaşımını, proje iş birliği biçimini veya kâğıt tabanlı proje teslimini önemli ölçüde değiştirmemiştir [15].

3.2.2. Nesne tabanlı CAD teknolojileri

Nesne Tabanlı CAD Teknolojileri, yapı bileşenlerinin bir CAD platformunda simüle edilmesine odaklanmaktadır. Bu teknolojiler, yapı bileşenlerinden metraj verilerinin ve 2 boyutlu dokümantasyonun çıkarılmasına yardımcı olurlar. Ayrıca, enine kesit ve boyuna profiller gibi çeşitli çizimlerin otomatik olarak oluşturulmasını da desteklerler. Genellikle tasarlanan altyapı hakkında bilgi içerdikleri için YBM ile uyumlu oldukları kabul edilir. Bu teknolojiye dayalı yazılım ürünleri günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır [15].

3.3. Parametrik Tasarım

Parametrik modelleme, bir altyapı nesnesinin ileri düzeyde bilgi modellemesini yapmakta olup CAD ve nesne tabanlı CAD teknolojilerinden daha verimlidir. Parametrik modellemede konsept tasarıma başlanılmadan önce projenin işlevi, maliyeti, çevresel etkisi, inşaat uygulamaları ve kültürel, estetik yönleri açısından projenin tüm yönleri dikkate alınır. Bu alınan konsept kararlar projenin geneli açısından büyük önem taşımaktadır. Geçmişte konsept tasarım, profesyonel bir tasarımcının bilgisine, deneyimine, uzmanlığına ve tasarım ekibinin diğer üyelerinden alınan geri bildirimlere dayanıyordu. Bu aşamada hızlı sonuçlar alma ve alternatiflerin değerlendirilmesi nedeniyle incelemeler genellikle sezgisel olarak yapılmaktadır. Uzun bir süre boyunca 2 boyutlu CAD çizimleri sektörde oldukça yaygın bir konsept tasarım aracıydı. CAD sisteminin YBM ortamına uyarlanamaması nedeniyle yazılım firmaları yeni araçlar geliştirdiler. Autodesk tarafından 2011 yılında geliştirilen Infracore buna örnek olarak verilebilir. Infracore, tasarım süreçlerinde verimliliği artırmak ve maliyeti düşürmek için altyapının daha sürdürülebilir planlanması, tasarlanması, inşa edilmesi ve yönetilmesine yönelik Autodesk’in YBM portföyüne yeni bir eklenti olarak ortaya çıkmıştır. Program, erken tasarım planlaması ve teklif aşamasında kentsel ölçekli YBM yaklaşımı için CBS verilerini kullanarak, başka bir yazılıma ihtiyaç duymadan çalışmaktadır. AutoCAD programının 1980’li yıllardaki geleneksel el çiziminin yerini almasına benzer şekilde, Infracore, YBM konusunda

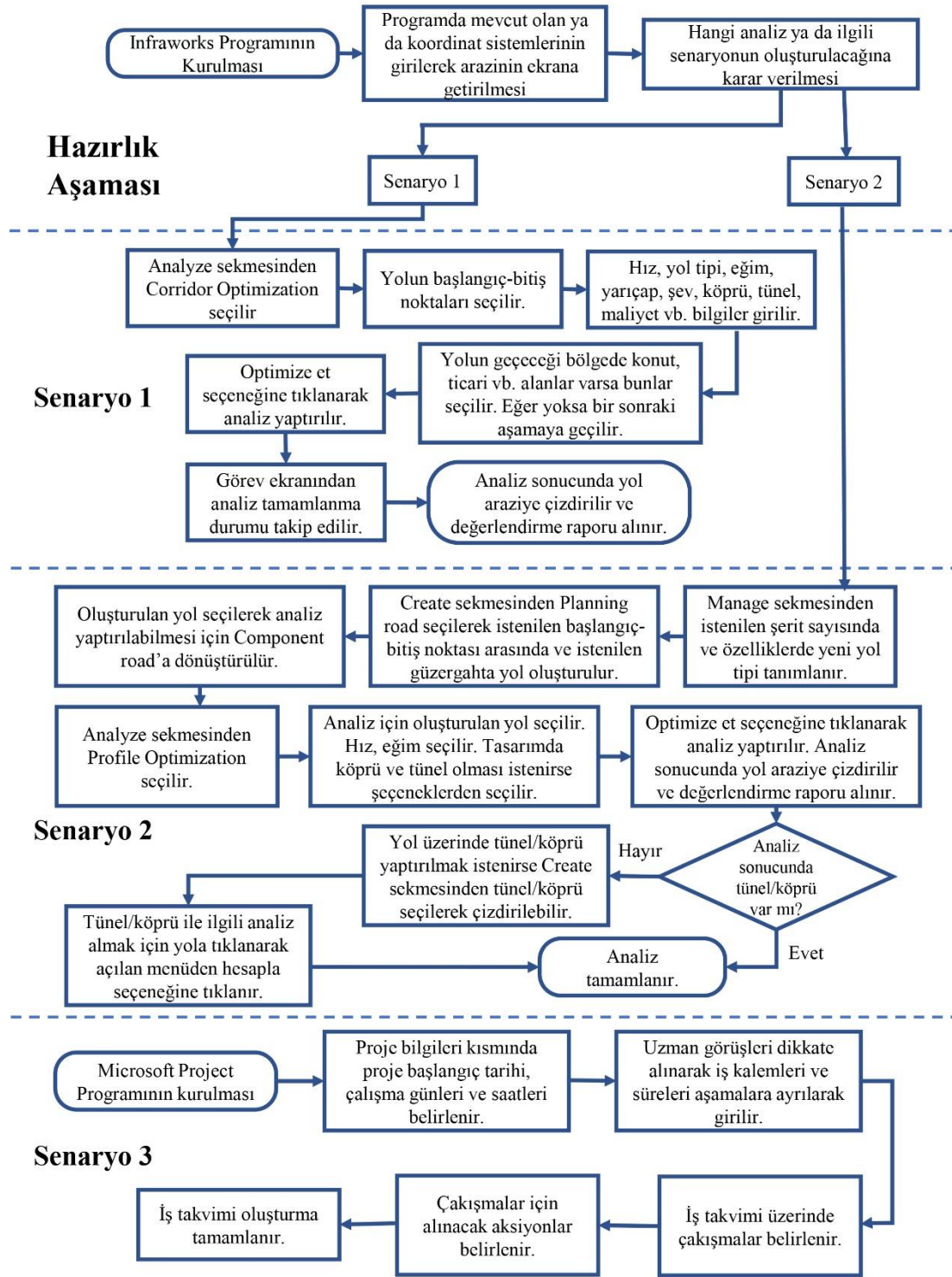
kentsel planlamadan tasarım ve inşaat, hatta bir projenin yaşam döngüsü boyunca işletme ve bakımına kadar geniş bir spektrumda kullanım imkânı sunabilmektedir.

Infracore, YBM'nin temel özelliklerinden biri olan akıllı ve parametre tanımlı nesneleri kullanmaktadır. Bu durum, pratik olarak tek bir tıklama ile kullanıcının standart kavşak düzenini bir dönel kavşağa değiştirebildiği, trafik şeritlerini ekleyebildiği veya çıkarabildiği ve basitçe farklı çözüm önerisini deneyebildiği senaryolara olanak sağlamaktadır. Gelecekte yapılacak bir yolun başlangıç ve bitiş noktası arasında en uygun güzergahı belirlemek için yükseklik analizi, eğim analizi, hafriyat faktörleri vb. çeşitli YBM analizleri bulunmaktadır. Infracore gibi konsept tasarım programları ile bir proje öncesinde hafriyat, maliyet hesaplama, gerçeğe yakın görselleştirme gibi işlemler profesyonel kişilere ya da firmalara başvurulmadan hızlı ve düşük maliyet ile elde edilebilmektedir [15, 70].

3.4. YBM'nin Karayolu ve Sanat Yapılarına Uygulanması

YBM'nin karayolu ve sanat yapılarında uygulanmasına yönelik literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu bağlamda bu çalışmada, üç ayrı senaryo oluşturulmuş olup, birinci ve ikinci senaryoda Infracore'te farklı çözümleme yöntemleri ile bir karayolu kesimi ve çeşitli sanat yapıları tasarlanıp, sonuçları analiz edilecektir. Üçüncü senaryoda ise, ikinci senaryonun 4. boyuta taşınması için öneri mahiyetinde bir iş takvimi sunulacaktır. Ayrıca birinci ve ikinci senaryoda karşılaşılan zorluk ve kolaylıklar da açıklanarak iki senaryo arasındaki farklılıkların mukayese edilebilmesine olanak sağlanacaktır.

Yapılan senaryolarda program içerisinde tanımlı örnek bir dağlık arazi modeli kullanılmıştır. Ayrıca WGS84 koordinat sisteminde ve programda tanımlı olan AASHTO Metric 2011 kurallarına göre analiz yapılmıştır. Senaryoların gerçekleştirilmesinde Şekil 3.1'deki gibi bir iş akış şeması baz alınmıştır.



Şekil 3.1. İş akış şeması

3.4.1. Senaryo 1

Infraworks'te "Koridor Optimizasyonu (Corridor Optimization)" seçeneği ile değerlendirmesi yapılan senaryodur. Bu yöntemde karayolunun başlangıç-bitiş noktaları seçilir ve ilgili diğer ek bilgiler de girilerek programın en optimum sonucu vermesi beklenir (Tablo 3.1). Ek bilgiler

olarak proje hızı, yol tipleri (sadece programda tanımlı olan yol seçenekleri (Component Roads)), konut-ticari vb. alanlar, şev uzunluk ve eğimleri, minimum yarıçap, maksimum eğim, altyapı ve toprak işi maliyet bilgileri girilerek analiz başlatılır. Analiz süresi yolun uzunluğuna göre değişmektedir.

Çalışma kapsamında Infracore'de tanımlı dağlık bir arazi üzerinde koridor optimizasyonu yapılmıştır. Arazi üzerinde iki nokta seçilmiş olup bu noktaların birbirine uzaklığı 2853,23 m'dir. Yol tipi seçilirken sadece programda tanımlı olan "Component Road" seçeneklerinden 2x2 şeritli bir yol seçilmiştir. Ayrıca "Hangi kazı yüksekliğinden sonra tünel yapılacak?" seçeneği de aktif değildir. Dolayısıyla alınan sonuçlarda tünel yapısı için bir hesaplama veya gösterim bulunmamaktadır. Optimizasyonda maliyet bilgisi girilmemiş olup, programdaki varsayılan değerler kullanılmıştır. Maliyet ile ilgili rapor sonuçları ise yüzde cinsinden verilmiştir.

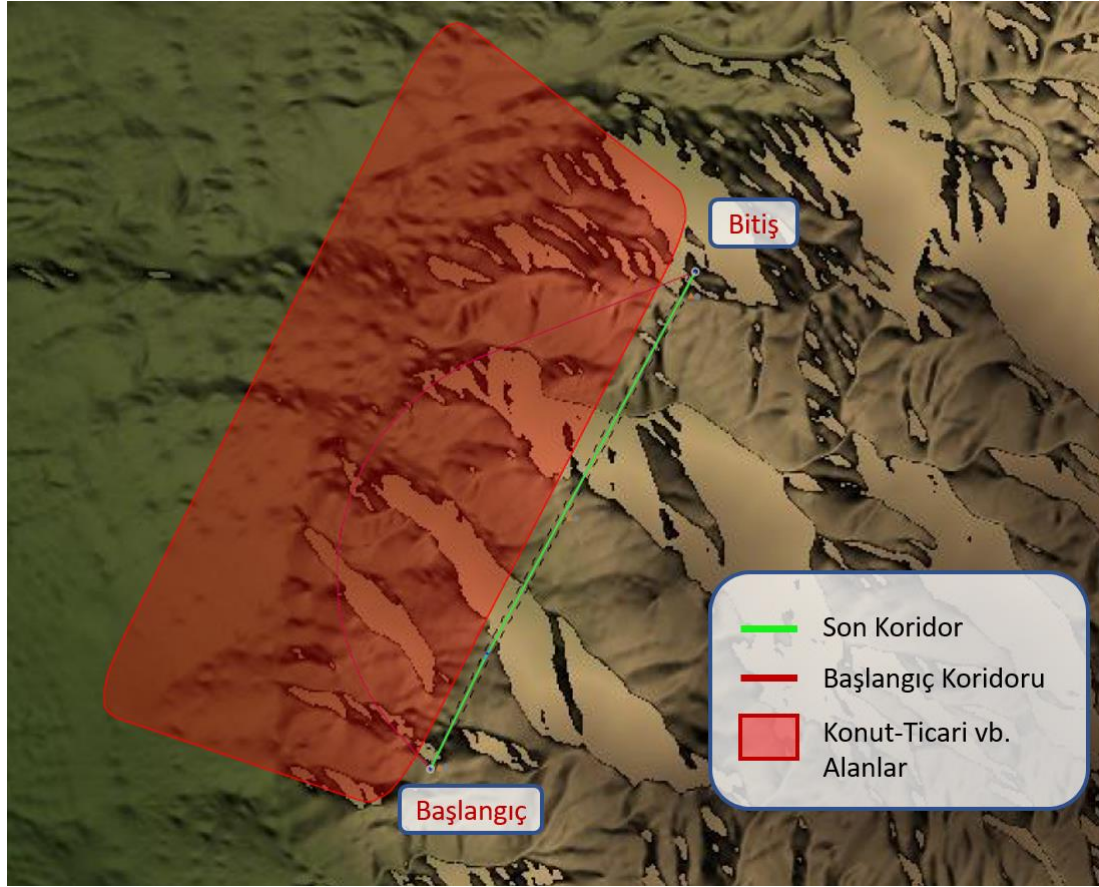
Tablo 3.1. Koridor optimizasyonu için girilen yol teknik bilgileri

Teknik Detaylar	Değerler
Hız	130 km/sa
Şerit Sayısı	2x2 (2 şerit gidiş, 2 şerit geliş)
Hangi dolgu yüksekliğinden sonra köprü yapılacak?	20 m
Hangi kazı yüksekliğinden sonra tünel yapılacak?	20 m
Enine şev uzunluğu	30 m
Kazı eğimi	3:1
Dolgu eğimi	3:1
Minimum kurp yarıçapı	500 m
Maksimum boyuna eğim	%5
Konut-ticari alan seçildi mi?	Evet

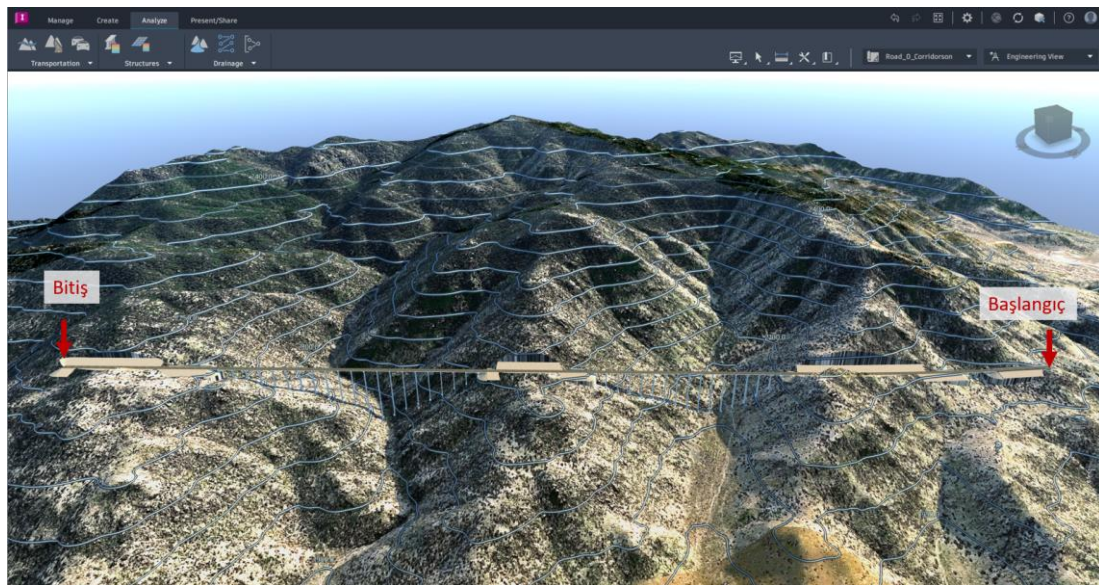
Şekil 3.2'de analiz sonuç raporundan alınan 2 boyutlu koridor optimizasyonu görülmektedir. Arazide konut-ticari vb. alan tanımlandığı için yeşil çizgi ile gösterilen koridor, optimum hesaplamayı ifade etmektedir. Ancak konut-ticari vb. alan tanımlanmaması durumunda optimum yol, kırmızı çizginin olduğu koridor olacaktır.

Şekil 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7'de optimizasyon sonucu yolun 3 boyutlu gösterimi verilmektedir. Koridorda üç adet viyadük (köprü) hesaplanmıştır. Ancak Tablo 3.1'de tünel yapılması için belirtilen 20 m yüksekliğin aşılmasına rağmen, tünel yaptırma seçeneği aktif olmadığı için tünel hesaplanmamıştır. Bunun yerine tünel gereken yerler kazı yapılarak 3:1 eğim ve 30 m uzunluğunda şev yapılmış ve sonrası dik bir şekilde çıkmıştır. Yine bu kesimlerde istinat

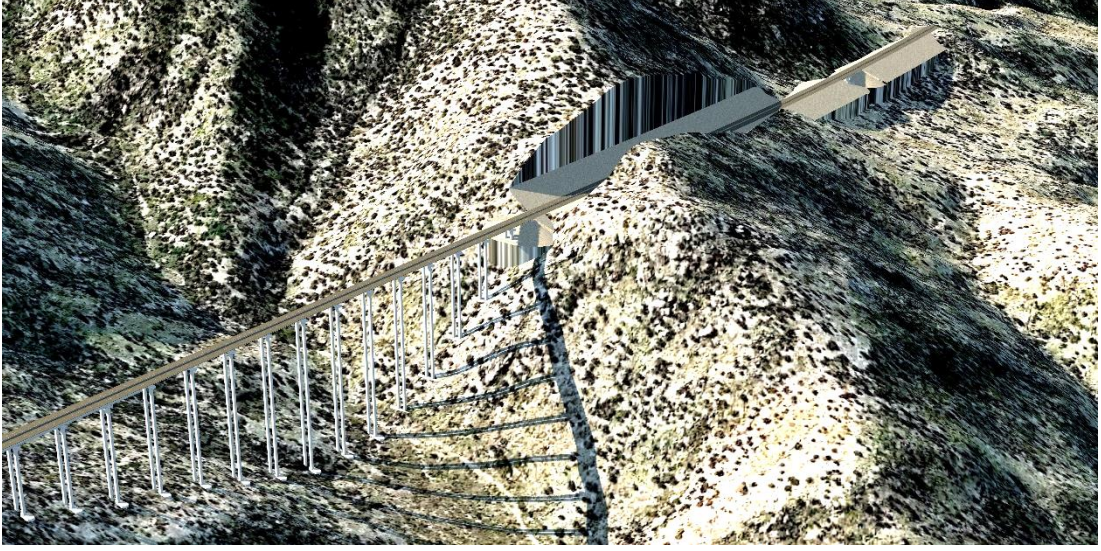
duvarı ya da ilk şevden sonra palye şeklinde devam etmesi beklenirken, program bunu gerçekleştirememiştir. Tasarımda yol tipi özel olarak belirlenemediğinden emniyet şeridi bulunmamaktadır. Ayrıca refüj ve korkuluklar da beton bloklar ile donatılmıştır.



Şekil 3.2. 2 boyutlu yol koridoru



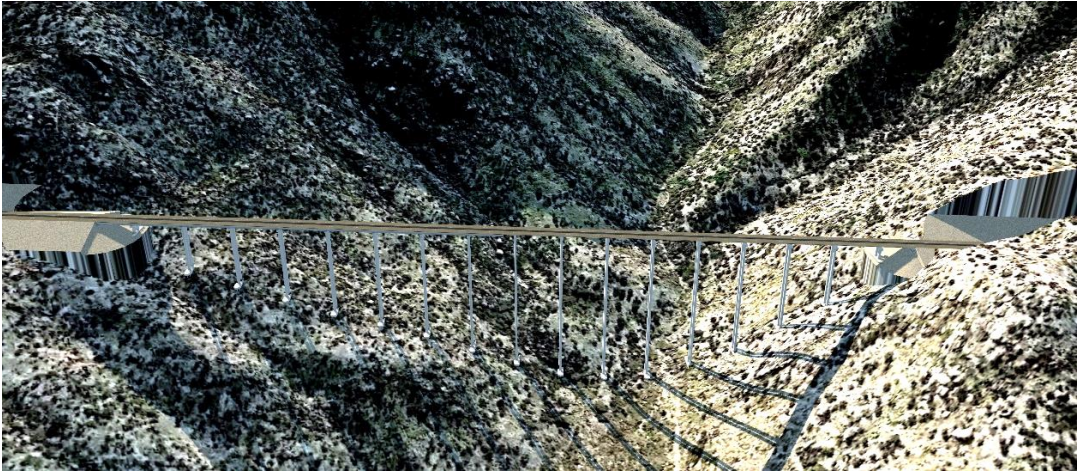
Şekil 3.3. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (1)



Şekil 3.4. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (2)



Şekil 3.5. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (3)

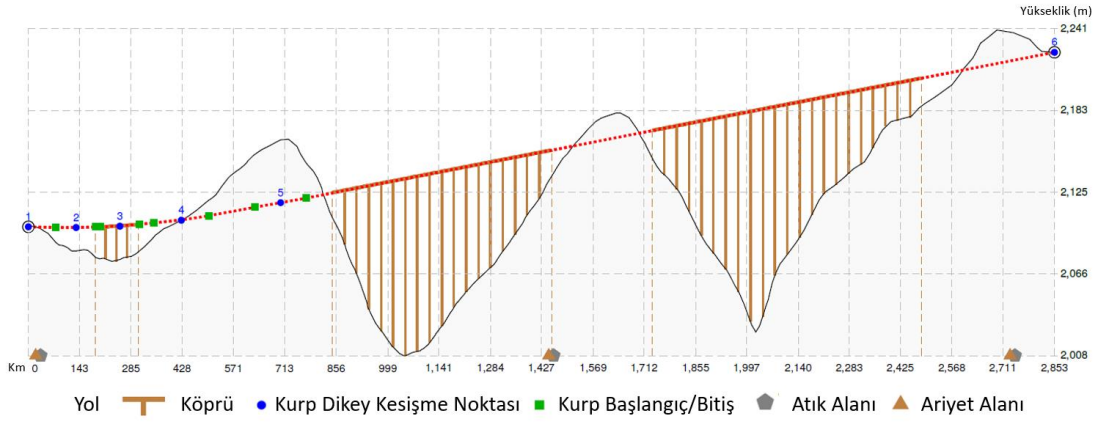


Şekil 3.6. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (4)



Şekil 3.7. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (5)

Optimizasyon sonucunda alınan rapor içeriği aşağıda açıklanmaktadır. Şekil 3.8’de tasarıma ait profil kesiti gösterilmektedir. Arazi siyah düz çizgi ile, yol ise kırmızı kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Tasarımda 4 düşey kurp kesişim noktası bulunmakta olup, 3 adet köprü bulunmaktadır.



Şekil 3.8. Profil kesit görünümü

Tablo 3.2’de tasarım hızının 130 km/sa, minimum yarıçapın 1112,58 m, maksimum enine eğim %4, yatay kurp sayısının 3 adet ve tarama genişliğinin 37,5 m olduğu görülmüştür.

Tablo 3.2. Aliyman bilgileri

Kriter	Değer	Kriter	Değer
Birim	Metre	Minimum yarıçap	1112,58 m
Tasarım hızı	130 km/sa	Maksimum enine eğim	%4
Tarama genişliği	37,50 m	Yatay kurp sayısı	1

Tablo 3.3’de dikey kesişme noktası, yani yolun başlangıç-bitiş noktaları ile düşey kurpların dikey kesişme noktalarının sayısının 6, iki düşey kurp arasındaki dikey kesişme noktaları arası minimum uzaklığın 81,25 m’dir. Yol 130 km/sa planlandığı için maksimum eğim %5 olmuştur.

Tablo 3.3. Profil bilgileri

Kriter	Değer	Kriter	Değer
Uzunluk	2853,23 m	Minimum dikey kesişme noktası boşluğu	81,25 m
Dikey kesişme nokta sayısı	6	Yol başlangıç yüksekliği	2099,85 m
Maksimum eğim	%5	Yol bitiş yüksekliği	2224,59 m

Tablo 3.4’te yol inşaatı ile ilgili temel bilgiler yer almaktadır. Modelde tünel yapılamadığından değeri boş olarak sonuçlanmıştır. Yol genişliği her bir şeridin uzunlukları toplamını ifade etmekte olup, referans genişlik ise şerit genişlikleri ile refüjün toplamıdır.

Tablo 3.4. İnşaat bilgileri

Kriter	Değer	Kriter	Değer
Köprü sayısı	3	Köprü yapmadan önceki maksimum dolgu yüksekliği	20 m
Tünel sayısı	0	Tünel yapmak için aşılması gereken maksimum kazı yüksekliği	-
Yol genişliği	14,40 m	Kazı eğimi	0,33
Referans genişlik	15,01 m	Dolgu eğimi	0,33

Tablo 3.5’te köprü montajına yönelik temel bilgiler verilmiştir. Köprü tasarımları AASHTO’ya göre planlanmıştır.

Tablo 3.5. Köprü montajına ilişkin temel bilgiler

Kriter	Değer	Kriter	Değer
Tabliye genişliği	14,40 m	Kolon aralığı	6 m
Kiriş sayısı	2	Temel genişliği	14,40 m
Kaplama yüksekliği	2 m	Temel uzunluğu	5,60 m
Kaplama derinliği	2,5 m	Temel derinliği	1,50 m

Tablo 3.5. (Devam) Köprü montajına ilişkin temel bilgiler

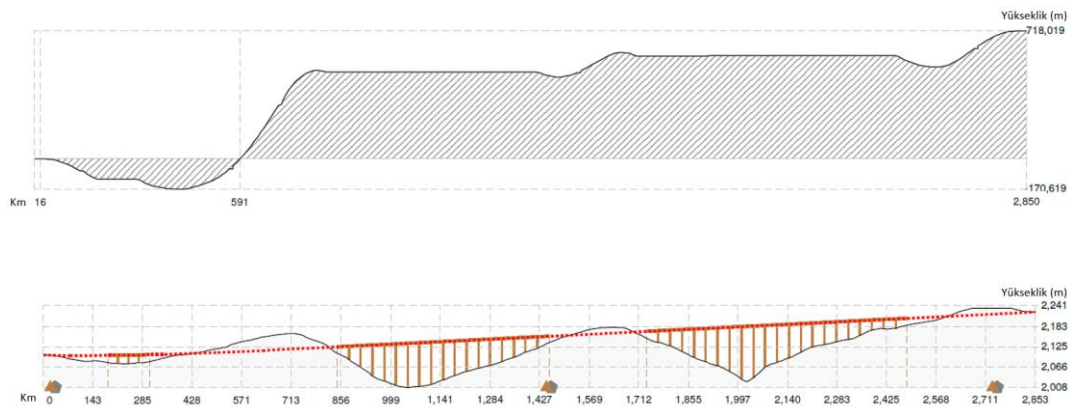
Kriter	Değer	Kriter	Değer
Kolon sayısı	2	Temelin yerden yüksekliği	0,25 m
Kolon genişliği	2 m		

Tablo 3.6’da hafriyat işlerinin program içerisinde kaç bölüme ayrıldığı, kazı-dolgu miktarları, arazinin tesviye edilmesiyle taranan alan miktarı gibi veriler değerlendirilmiştir. Tabloda tekrar kullanılabilirlik faktörünün 1 olması ise toprak işlerinden elde edilen dolgu malzemesinin kullanılabilir malzeme olduğunun göstergesidir.

Tablo 3.6. Toprak işleri bilgileri

Kriter	Değer	Kriter	Değer
Hafriyat bölümlerinin sayısı	20	Ariyet alanı sayısı	3
Hafriyat alt bölümlerinin sayısı	305	Tarama genişliği	37,5 m
Zemin sayısı	1	Kümülatif kazı	52358,88 m ³
Maksimum bölüm uzunluğu	142,66 m	Kümülatif dolgu	52358,88 m ³
Atık çukurlarının sayısı	3	Tekrar kullanılabilirlik faktörü	1

Şekil 3.9’da temel tabakası için kütle diyagramı verilmiştir. Diğer adıyla brükner eğrisi olarak da bilinir. Şekil 3.10’da ise belirlenen kilometrelerde kaç m³ kazı yapıldığı gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Kütle diyagramı



Şekil 3.10. Toprak kazı işleri şeması

Tablo 3.7’de km’ye göre kümülatif kazı ve dolgu miktarları ile net hesap ortaya koyulmuştur.

Tablo 3.7. Km'ye göre kümülatif kazı-dolgu hacimleri

KM	Kümülatif Kazı (m ³)	Kümülatif Dolgu (m ³)	Kümülatif Net (m ³)
0	0	0	0
142,66	150,81	68.617,57	-68.466,76
285,32	766,32	113.548,44	-112.782,12
427,99	2.046,25	172.532,18	-170.485,93
570,65	115.844,33	173.178,54	-57.334,21
713,31	480.254,45	173.178,54	307.075,91
855,97	671.757,81	186.131,65	485.626,16
998,63	672.432,37	186.145,88	486.286,49
1.141,29	673.163,75	186.147,50	487.016,25
1.283,96	673.903,09	186.179,45	487.723,64
1.426,62	674.738,47	186.252,86	488.485,62
1.569,28	699.582,61	215.351,42	484.231,19
1.711,94	812.495,53	218.966,25	593.529,28
1.854,60	813.184,90	235.992,08	577.192,81
1.997,26	814.050,17	236.150,35	577.899,81
2.139,93	814.770,25	236.158,04	578.612,21
2.282,59	815.486,77	236.159,09	579.327,67
2.425,25	816.254,36	236.232,37	580.021,99
2.567,91	816.653,27	297.576,71	519.076,56
2.710,57	920.227,54	301.391,54	618.836,00
2.853,23	1.022.399,65	304.381,15	718.018,50

Tablo 3.8’de yol üzerindeki kurp noktası ve yarıçapı verilmiştir.

Tablo 3.8. Yatay kurp listesi

Noktalar	Başlangıç Km	Bitiş Km	Yarıçap
1	0+626,014	0+671,519	1112,87 m

Tablo 3.9’da başlangıç-bitiş noktaları ile 4 adet düşey kurp bilgisi verilmiştir.

Tablo 3.9. Dikey kesişim noktaları

Noktalar	Km	Yükseklik	Uzunluk
1	0	2099,85	0
2	0+131,76	2099,09	110,36
3	0+254,39	2100,24	110,36
4	0+425,32	2104,42	153,84
5	0+701,39	2117,00	141,48
6	2+853,23	2224,59	0

Tablo 3.10’da her bir köprünün uzunluk ve payanda sayısı verilmiştir.

Tablo 3.10. Köprü bilgileri

Noktalar	Başlangıç Km	Bitiş Km	Uzunluk	Payanda Sayısı
1	0+185	0+305	120	3
2	0+845	1+455	610	17
3	1+735	2+485	750	21

Tablo 3.11’de toplam yol maliyetinin inşaat ve toprak işleri olarak ayrım oranları verilmiştir.

Tablo 3.11. Yolun inşaat ve toprak işlerine göre maliyet oranları

Toplam Maliyet	İnşaat Maliyeti	Toprak işleri maliyeti
%100	%85,37	%14,63

3.4.2. Senaryo 2

Infracore’te “Profil Optimizasyonu (Profile Optimization)” kullanarak yol tasarlama işleminin gerçekleştirildiği senaryodur. Profil optimizasyonu belirlenen parametrelere göre bir yolun eğimini, yüksekliğini, köprü, tünel yapımını ve toprak işlerini en uygun şekilde analiz edilmesi işlemidir. Programda çizilen yol seçilerek profil optimizasyonu sayfası açılır. Yolun hızı, eğimi, köprü ve tünel kullanılması durumu ve maliyet bilgileri girilir. Ardından optimizasyon başlatılır. Analiz süresi koridor optimizasyonuna göre daha uzun sürmektedir.

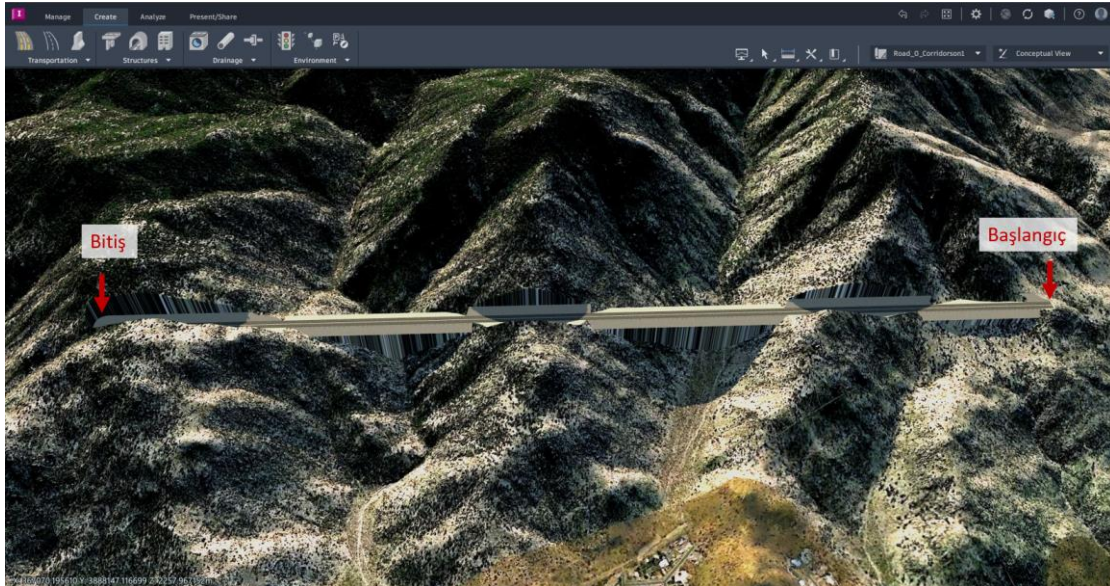
Senaryo 2 kapsamında bir yolun profil optimizasyonu yöntemi ile analizi gerçekleştirilmiş olup, ardından manuel olarak bu yola tünel eklenerek hesaplamaları yapılmıştır. Bu analiz yapılırken Senaryo 1’de kullanılan yolun başlangıç ve bitiş koordinatları bu analizde de kullanılmıştır. Koridor optimizasyonunda tanımlı olan 2x2 yol yerine, bu analizde 2x3 (3 gidiş, 3 geliş) şeklinde refüjü, banketi ve korkulukları olan bir yol tanımlanmıştır. Programda analiz işlemleri sadece Component Road’ta tanımlı yol seçeneklerinden yapılabilmektedir. Bu yüzden bu yol tipi Component Road ile kullanılmadığından, Planning Road ile düz bir şekilde yol

tanımlanmıştır. Daha sonrasında çizdirilen bu yol, Component Road'a dönüştürülerek profil optimizasyonunda kullanılabilir hale getirilmiştir. Profil optimizasyonu sayfası açılarak ilgili yol seçilmiş hız bilgisi, eğim ve köprü yapılması durumu girilerek analiz başlatılmıştır. Senaryo 1'in analizine benzer olarak, bu analizde de tünel yapılması durumu seçilememektedir. Ancak program manuel olarak tünel çizmeye izin vermekte fakat detaylı bir analiz alınamamaktadır. Tablo 3.12'de verilen hız, eğim, köprü-tünel durumları profil analizi sayfasından; şerit sayısı şev uzunluğu, kazı-dolgu eğimi ise Planning Road kısmında yol çizilme aşamasında girilmiştir.

Tablo 3.12. Profil analizi için girilen bilgiler

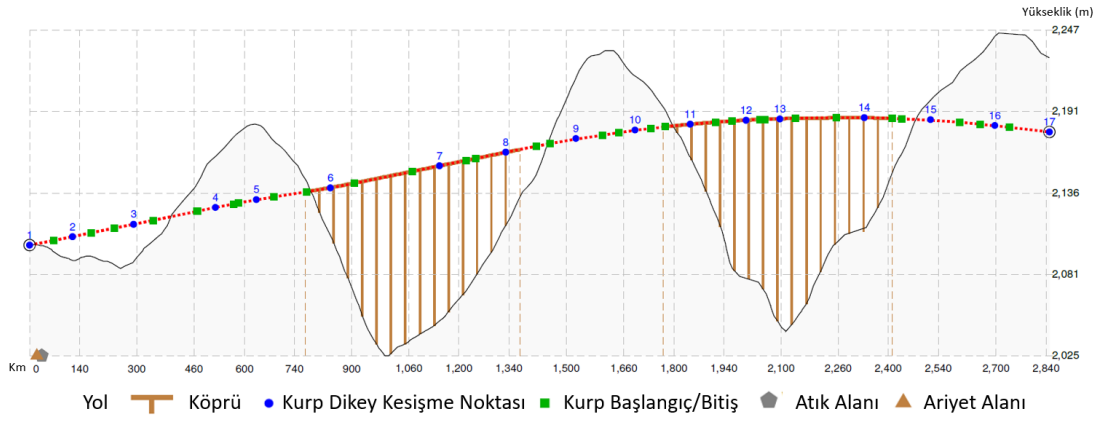
Teknik Detaylar	Değerler
Hız	130 km/sa
Maksimum boyuna eğim	%5
Gerekmesi durumunda köprü yapılacak mı?	Evet
Gerekmesi durumunda tünel yapılacak mı?	-
Şerit Sayısı	2x3 (3 şerit gidiş, 3 şerit geliş)
Enine şev uzunluğu	30 m
Kazı eğimi	3:1
Dolgu eğimi	3:1

Şekil 3.11'de profil analiz yaptırılmadan önce Planning Road ile çizilen yol görülmektedir.



Şekil 3.11. Planning Road ile çizilen yol

Şekil 3.12'de profil analizi sonucunda oluşan profil kesiti görülmektedir. Şekle göre yol boyunca çok sayıda düşey kurp oluşmuştur.

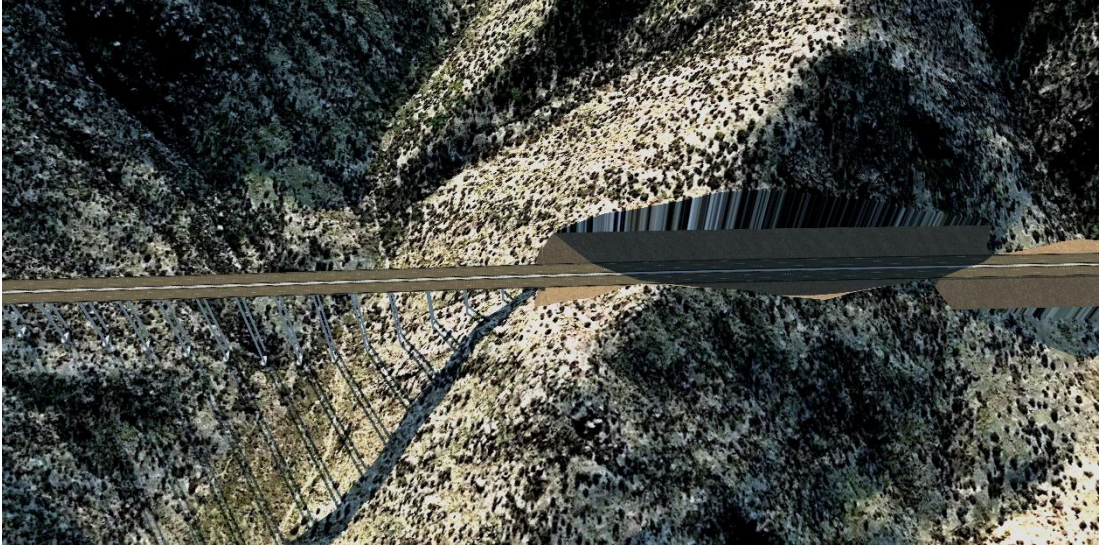


Şekil 3.12. Profil kesit görünümü

Şekil 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 ve 3.17’de optimizasyon sonucu yolun 3 boyutlu görsellerine yer verilmiştir.



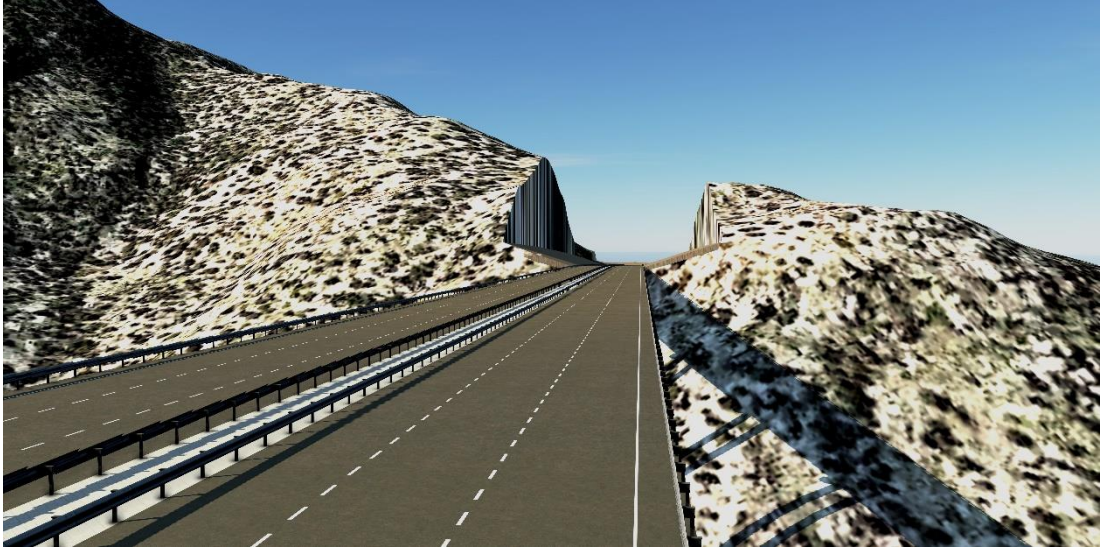
Şekil 3.13. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (1)



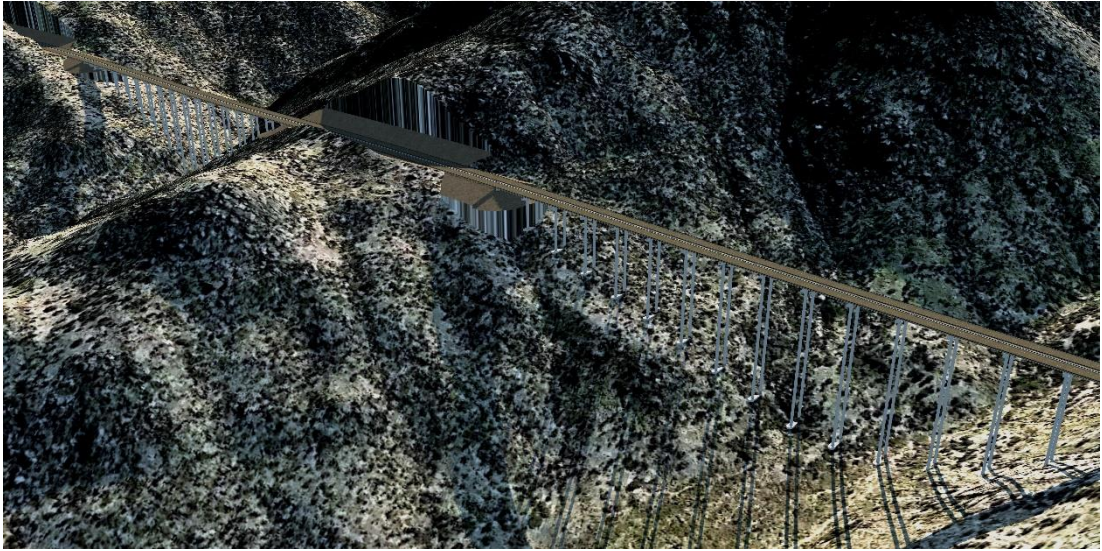
Şekil 3.14. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (2)



Şekil 3.15. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (3)



Şekil 3.16. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (4)



Şekil 3.17. Karayolunun 3 boyutlu gösterimi (5)

Tablo 3.13'te yolun toplam uzunluğunun 2849,73 m, başlangıç-son arasındaki yükseklik farkının 77 m, maksimum eğimin ise %5 olduğu analiz sonucunda bulunmuştur. Başlangıç ve son dikey kesişmelerin dışında 15 adet düşey kurp oluşmuştur. Bunlar arasında minimum dikey kesişme noktası aralığı ise 81,25 m olmuştur.

Tablo 3.13. Profil bilgileri

Kriter	Değer	Kriter	Değer
Uzunluk	2849,73 m	Minimum dikey kesişme noktası arası boşluğu	81,25 m
Dikey kesişme noktası sayısı	17	Yol başlangıç yüksekliği	2100,52 m
Maksimum eğim	%5	Yol bitiş yüksekliği	2177,52 m

Tablo 3.14'te köprülere ilişkin bilgiler verilmiş olup programda köprü kullanımına izin verildiği ancak tünel kullanımına izin verilmediği rapor çıktısında da görülmüştür. Sonuç olarak iki adet köprü oluşturulmuş olup, toplam yol genişliği 21,95 m, referans genişlik ise 27,54 m olmuştur. Kazı ve dolgudan oluşan şev eğimi ise 0,33 olmuştur.

Tablo 3.14. İnşaat bilgileri

Kriter	Değer	Kriter	Değer
Köprü sayısı	2	Köprü kullanımı	Evet
Tünel sayısı	0	Tünel kullanımı	-
Yol genişliği	21,95 m	Kazı eğimi	0,33
Referans genişlik	27,54 m	Dolgu eğimi	0,33

Tablo 3.15'te köprü montajına ait bilgiler verilmiştir. Senaryo 1'den farklı olarak, tabliye, temel genişliği ve kolon sayısı değişmiştir.

Tablo 3.15. Köprü montajına yönelik temel bilgiler

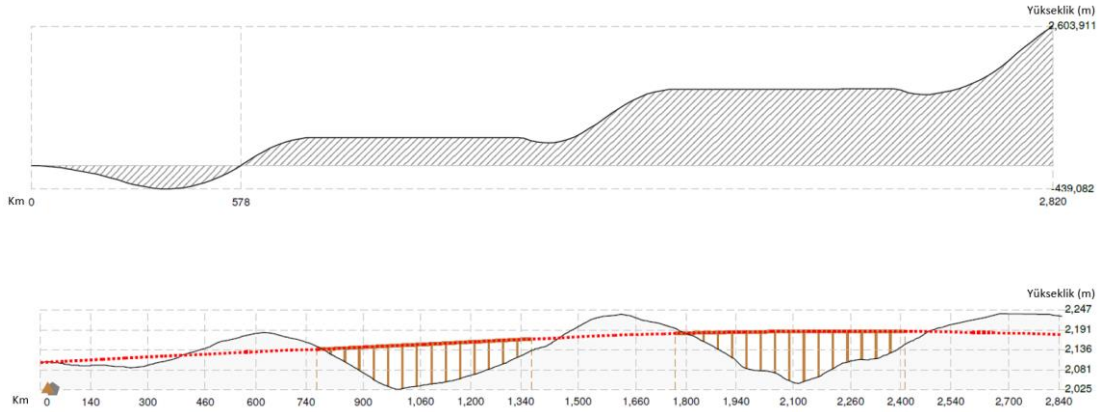
Kriter	Değer	Kriter	Değer
Tabliye genişliği	21,95 m	Kolon aralığı	6 m
Kiriş sayısı	2	Temel genişliği	21,95 m
Kaplama yüksekliği	2 m	Temel uzunluğu	5,60 m
Kaplama derinliği	2,5 m	Temel derinliği	1,50 m
Kolon sayısı	3	Temelin yerden yüksekliği	0,25 m
Kolon genişliği	2 m		

Tablo 3.16'da hafriyat işlerinin program içerisinde kaç bölüme ayrıldığı kazı-dolgu miktarları, arazinin tesviye edilmesiyle taranan alan miktarı gibi veriler değerlendirilmiştir. Tabloda tekrar kullanılabilirlik faktörünün 1 olması ise toprak işlerinden elde edilen dolgu malzemesinin kazı bölgesinde dolgu için kullanılabilir olduğunun göstergesidir. Ancak sonuçlarda kümülatif kazı miktarının dolgudan fazla olması hafriyat atığının meydana geldiği ve Senaryo 1'e göre daha maliyetli bir analiz olduğu görülmüştür.

Tablo 3.16. Toprak işleri bilgileri

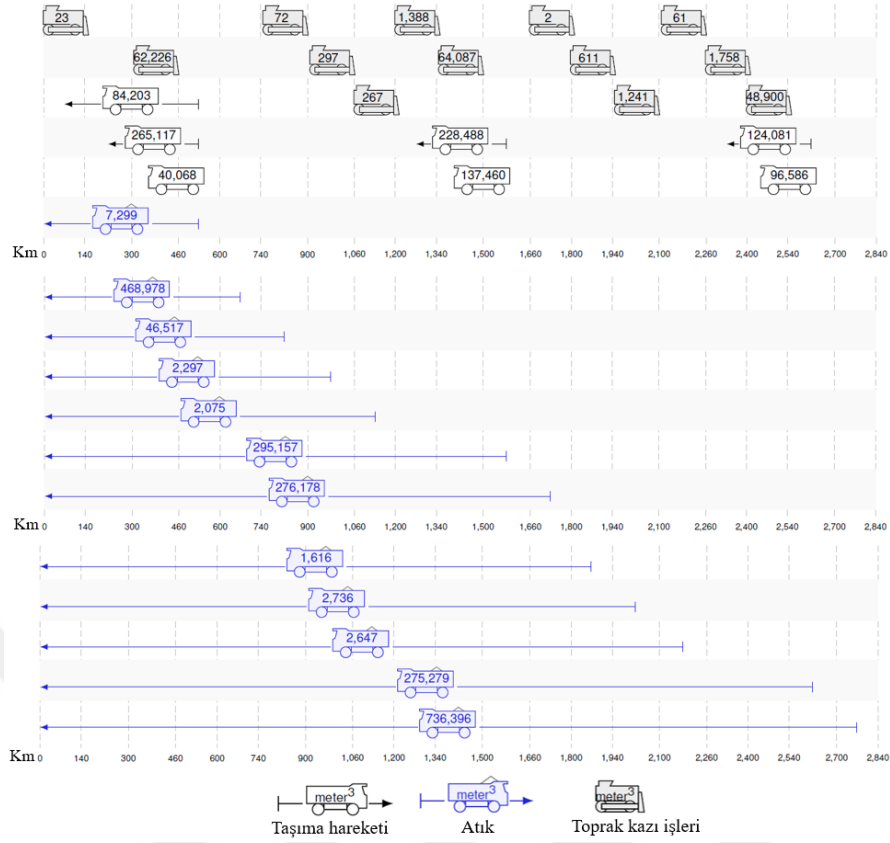
Kriter	Değer	Kriter	Değer
Hafriyat bölümlerinin sayısı	19	Ariyet alanı sayısı	1
Hafriyat alt bölümlerinin sayısı	142	Tarama genişliği	44,78 m
Zemin sayısı	1	Kümülatif kazı	3.274.110,32 m ³
Maksimum bölüm uzunluğu	160 m	Kümülatif dolgu	1.156.935,84 m ³
Atık çukurlarının sayısı	1	Tekrar kullanılabilirlik faktörü	1

Şekil 3.18’de temel tabakası için kütle diyagramı verilmiştir. Diğer adıyla brükner eğrisi olarak da bilinir.



Şekil 3.18. Kütle diyagramı

Şekil 3.19’da km’ye göre kaç m³ kazı işlerinin yapıldığı şematik olarak gösterilmiştir. Kazı miktarının fazla olması nedeniyle şemada atık durumu fazla olarak görünmektedir.



Şekil 3.19. Toprak kazı işleri şeması

Tablo 3.17’de km’ye göre kümülatif olarak kazı-dolgu ve net hacimler gösterilmektedir.

Tablo 3.17. Km'ye göre kümülatif kazı-dolgu hacimleri

Km	Kümülatif kazı m3	Kümülatif dolgu m3	Kümülatif net m3
0	0	0	0
140,00	23,05	84.225,76	-84.202,71
300,00	23,05	349.343,03	-349.319,98
460,00	62.249,34	451.637,24	-389.387,90
600,00	458.935,75	451.637,24	7.298,51
740,00	927.913,42	451.637,24	476.276,18
900,00	974.180,71	451.746,91	522.433,80
1.060,00	976.566,22	452.019,58	524.546,64
1.200,00	978.523,23	452.162,76	526.360,47
1.340,00	980.690,57	452.474,92	528.215,66
1.500,00	1.045.162,82	558.146,02	487.016,79
1.660,00	1.706.267,08	558.146,02	1.148.121,06
1.600,00	1.982.204,13	558.146,02	1.424.058,11
1.940,00	1.984.070,00	558.559,09	1.425.510,91
2.100,00	1.987.257,45	559.456,81	1.427.800,63
2.260,00	1.989.943,56	559.649,11	1.430.294,46
2.400,00	1.992.324,10	559.887,63	1.432.436,48
2.540,00	2.041.224,09	669.655,67	1.371.568,42
2.700,00	2.537.170,49	669.655,67	1.867.514,82
2.840,00	3.273.566,76	669.655,67	2.603.911,09

Tablo 3.18’de dikey kesişim noktaları verilmiş olup, 15 adet düşey kurp hesaplanmıştır.

Tablo 3.18. Dikey kesişim noktaları

Noktalar	Km	Yükseklik	Uzunluk
1	0	2.100,52	0
2	119,90	2.106,52	104,71
3	290,57	2.114,81	109,75
4	519,38	2.126,25	102,58
6	633,37	2.131,56	97,10
6	840,42	2.139,60	134,08
7	1.144,57	2.154,52	150,21
8	1.331,21	2.163,84	167,93
9	1.527,14	2.173,03	145,76
10	1.691,27	2.178,80	89,79
11	1.846,86	2.183,14	139,31
12	2.001,70	2.185,73	78,51
13	2.097,01	2.186,71	85,26
14	2.332,56	2.187,53	155,29
15	2.518,39	2.185,86	160,77
16	2.697,15	2.181,92	84,75
17	2.849,73	2.177,52	0

Tablo 3.19’da köprü bilgileri verilmiş olup iki adet köprünün toplam uzunluğu 1240 m ve 29 payandası vardır.

Tablo 3.19. Köprü bilgileri

Noktalar	Başlangıç Km	Bitiş Km	Uzunluk	Payanda Sayısı
1	0+770	1+370	600	14
2	1+770	2+410	640	15

Tablo 3.20’de maliyet oranları gösterilmiştir. Senaryo 1’e göre maliyet oranlarında önemli değişiklik görülmüştür. Bunun sebebi ise kazı işlerinden elde edilen hafriyatın büyük olması ve tamamının dolguda kullanılmayıp atık olarak kalması başlıca nedendir.

Tablo 3.20. Yolun inşaat ve toprak işlerine göre maliyet oranları

Toplam Maliyet	İnşaat Maliyeti	Toprak işleri maliyeti
%100	%44,97	%55,03

Profil analizinin sonuçları verilmiştir. Bu senaryoda ayrıca manuel olarak tünel eklenerek, alınan hesaplar da sonuç olarak verilmiştir. Ancak, Tablo 3.20 ve öncesinde verilen sonuçlara tünel dahil edilememektedir. Bu yüzden tünel sonuçları kendi içinde değerlendirilmelidir. Şekil 3.20 ve 3.21’de tünel yapıldıktan sonraki yolun 3 boyutlu görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.20. Manuel olarak tünel ekleme (1)



Şekil 3.21. Manuel olarak tünel ekleme (2)

Tablo 3.21’de tünele ait bilgiler yer almakta olup, toplam tünel uzunluğu 664,16 m, sahada gerçekleştirilecek toplam beton dökümü ise 47.264,82 m³ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.21. Tünel bilgileri

Tünel No	Başlangıç Km	Uzunluk	Sahada Beton Dökümü
1	0+421,09	386,81 m	27.526,22 m ³
2	1+476,92	277,35 m	19.738,60 m ³

3.4.3. Senaryo 3

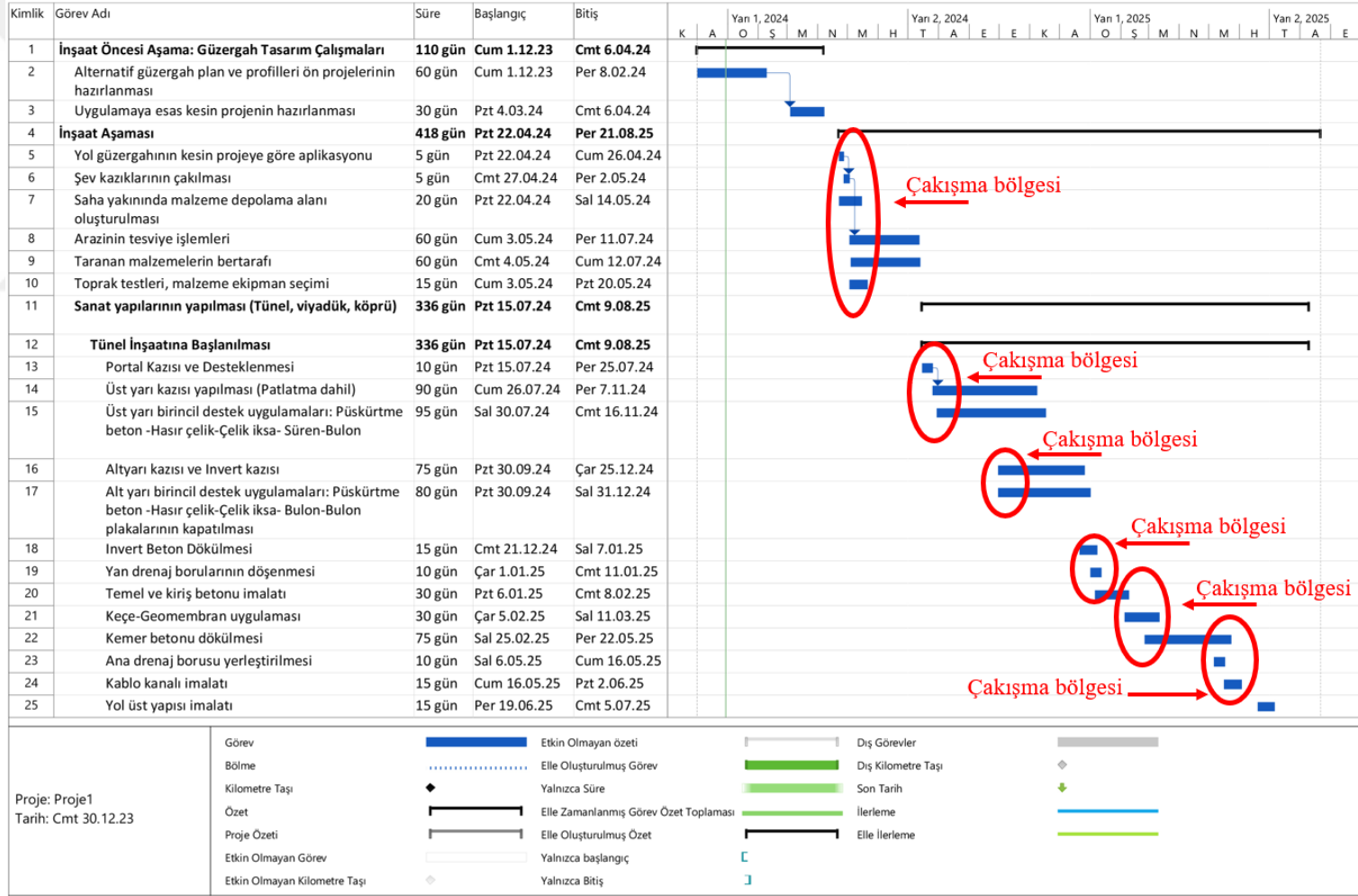
İnşaat projelerinde garanti edilen yapım süresinde işi bitirmek önemli bir husustur. Çünkü proje süresinin uzaması paydaşlar için ekonomik olarak ekstra bir maliyet ve kullanıma açılmasında

ekstra bir gecikme anlamına gelmektedir. Projelerin bitiş sürelerindeki yaşanan gecikmelerdeki başlıca sorunlar, iş takviminde çakışan iş kalemlerinin olması, ilgili paydaşların koordinasyonsuz çalışması, tedarikte yaşanan sorunlar, doğru planlama yapılamaması vb. gelmektedir. Bilgisayar destekli tasarım çıktığından beri tasarım ve planlama modelleri ayrı ortamlarda hazırlanmakta ve bir entegrasyon içermemekteydi. Günümüzde zaman yönetiminde entegrasyonu sağlamak için YBM kapsamında 4. boyut kullanılmaya başlanmıştır. Bu boyutta 3 boyutlu model oluşturulduktan sonra bulut tabanlı proje yönetim programlarında proje iş kalemleri oluşturulur ve uzman paydaşlarla zaman planlaması yapılmaktadır. Proje sürecinde herhangi bir değişiklik olması durumunda değişiklik otomatik olarak tüm paydaşlarda gözlemlenmektedir.

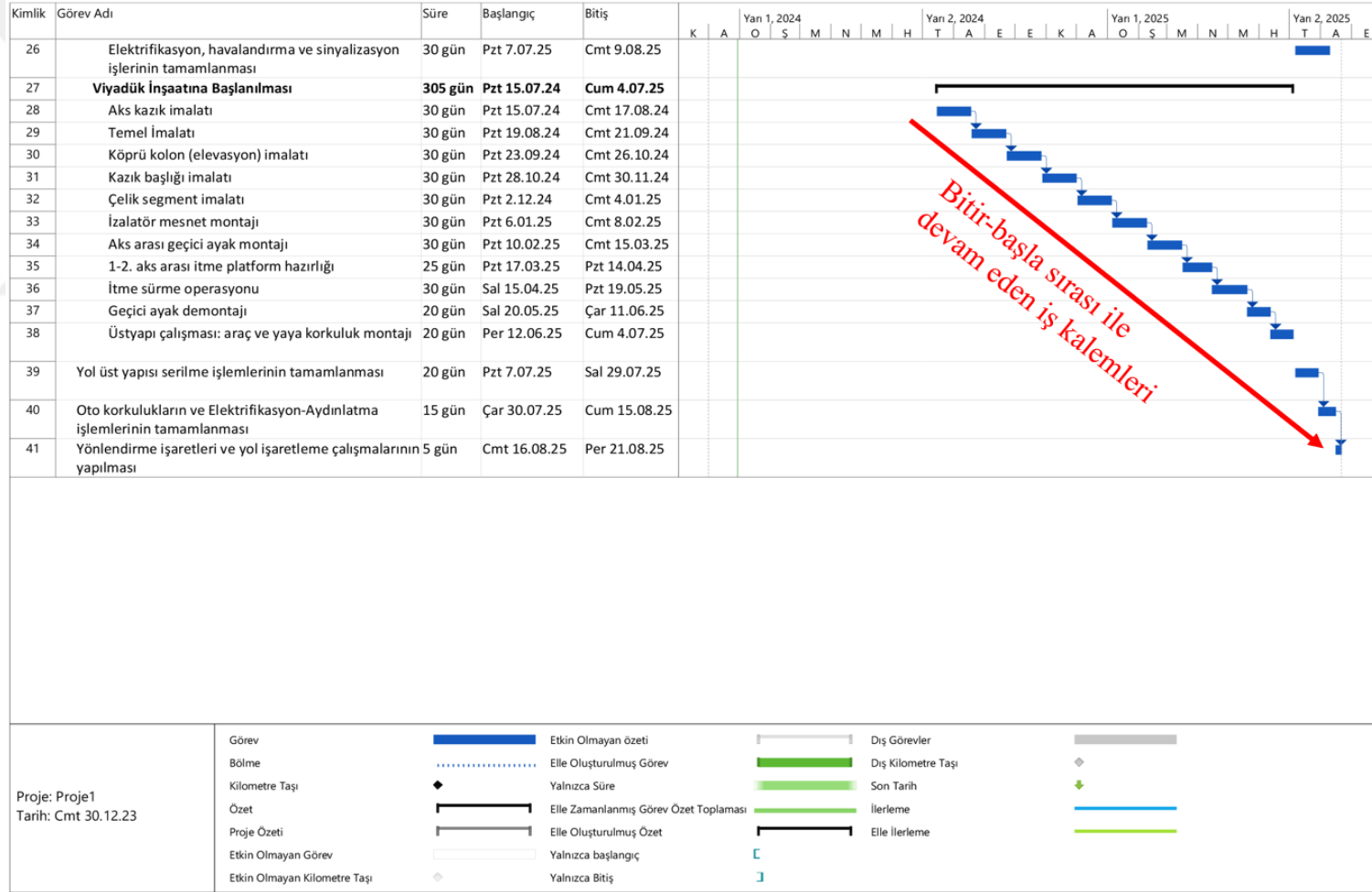
Projelerde süreçte ilerleme kaydedilmesi, iş kalemlerinin doğru belirlenmesi ve planlanmasından geçer. Bu iş kalemlerinin yanlış ya da hatalı yapılması süreçte olumsuz durumlara yol açabilir. Geleneksel yöntemde iki boyutlu olarak gerçekleştirilen tasarımlarda bu durumların gözlemlenmesi iyi uzmanlık gerektirmekteydi. Ancak YBM modellemesinde bu gibi durumlar 3 boyutlu modellemeler ve koordinasyon sayesinde daha kolay yönetilebilmektedir.

Bir çalışmada, farklı firmalardan 91 adet çalışan ile anket yöntemi kullanılarak YBM'nin faydaları ortaya konmaya çalışılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, %45 oranında çalışan, “çakışma analizi” yapıldığında zamandan %10'dan fazla tasarruf sağlandığını, %42 oranında çalışan ise, “birlikte çalışabilirlik” kullanıldığında %10'dan daha fazla tasarruf sağlandığı yanıtlarını vermiştir. Bu sonuçlar da iş takviminde doğru planlamanın önemine vurgu yapmaktadır [71].

Senaryo 3'te YBM'nin 4. boyutu için Microsoft Project'te iş programı oluşturulmuştur. Buradaki iş kalemleri ve süreleri uzman kişilerce belirlenmiştir. İş programında sürelerin girilmesi ile iş kalemlerinde oluşacak olan olası çakışmalar da tespit edilmiştir. Bu çakışmaların proje sürecinde dikkatlice yönetilmesi, proje süresi ve maliyet açısından önemlidir. Şekil 3.22 ve 3.23'teki iş kalemlerine bakıldığında çakışma bölgelerinin toprak işlerinde ve tünel inşaatında olduğu görülmektedir. Köprü inşaatı kısmında süreç, daha çok bitir-başla düzeninde ilerlemiştir.



Şekil 3.22. Microsoft Project'te iş takvimi (gantt şeması)



Şekil 3.23. Microsoft Project'te iş takvimi (gant şeması) devamı

3.5. Senaryoların GZFT Analizi

GZFT (Güçlü, Zayıf yönler, Fırsatlar ve Tehditler) analizi, İngilizce adıyla SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats), bir kuruluşu ya da bir ürünü dört seviyede analiz etmek ve konumlandırmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Güçlü ve Zayıf Yönler, kuruluşların ve ürünlerin misyonlarını gerçekleştirmelerini destekleyen ve engelleyen iç (kontrol edilebilir) faktörlerdir. Fırsatlar ve Tehditler ise misyonları gerçekleştirmeyi sağlayan ve engelleyen dış (kontrol edilemeyen) faktörlerdir. Bu dört alandaki faktörler tanımlanarak karar verme, planlama ve strateji oluşturmak için temel yetkinlikler tanımlanabilmektedir [72].

GZFT'nin tüm yönlerine ilişkin tanımları aşağıda açıklanmıştır.

Güçlü Yönler: Bir kuruluşun veya ürünün bir işi yapmada iyi performans gösterdiği anlamına gelir.

Zayıf Yönler: Bir kuruluşun veya ürünün bir işi yapmada iyi performans gösteremediği ve yetersiz kaldığı anlamına gelir.

Fırsatlar: Bir kuruluşun veya ürünün rakiplerinin bir işlevi sağlamada kendisi kadar iyi performans göstermediği anlamına gelir ve rakibine göre rekabet avantajına sahip olduğunu ifade eder.

Tehditler: Bir kuruluşun veya ürünün zayıf yönü olarak tanımlandığı ancak rakibinin güçlü yönü olduğu ve ilgili özelliği sağlamada rakibi kadar iyi performans göstermediği anlamına gelir. Kuruluşun veya ürünün rakibi karşısında rekabetçi bir dezavantaja sahip olduğunu ifade eder.

Bu bölümde kurgulanan senaryoların GZFT analizi yapılarak, birbirlerine göre karşılaştırmalı mukayeseleri yapılmıştır.

Senaryo 1

Güçlü yönler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Başlangıç-bitiş noktaları ve diğer bilgiler girilerek optimum geçki, eğim, dever, kazı-dolgu vb. gibi detaylar otomatik olarak hesaplanır ve yol 3 boyutlu olarak modele işlenir.
- Modelde konut/ticari vb. alanlar seçilerek yolun bu alanlardan geçmesi engellenir.
- Optimum geçki elde edildiğinden hafriyat miktarlarının hesaplanması da kolaydır.

- İş kalemlerinin birim fiyatları girilerek yaklaşık bir maliyet çıkartılabilir.
- Güzergâh üzerinde maksimum kazı yüksekliği tanımlanarak daha fazla yüksekliklerde viyadük yapılması sağlanabilir.

Zayıf yönler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Sadece programda tanımlanmış olan yollar ile analiz yapılabilmektedir. Yani istenilen şerit sayısında ve genişliğinde bir yol tipi ile analiz yapılamamaktadır.
- Dolgu yüksekliğinin maksimum değerinden sonra tünel yapılması program tarafından bir seçenek olarak sunulmamaktadır. Bu yüzden tek şevden sonra palye de yapılamayıp şev, dik ve uzun bir şekilde çıkmaktadır.
- Sadece analizin verdiği güzergâh kullanılabilmektedir.
- Yol üzerinde bir kurpta herhangi bir değişiklikte analiz güncellenmemektedir.

Fırsatlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Koridor analizi proje öncesi yol hattının nereden geçebileceğine ilişkin bilgi verebilir.
- Proje öncesinde idare kuruluşa ön bilgi verebilir ve bunun için harcanan paradan tasarruf sağlanabilir.
- 4. boyut entegrasyonu ile projeye ait iş kalemlerinin ne kadar zaman alacağına yönelik değerlendirmelerde bulunulabilir.

Tehditler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Sonuçlardan elde edilen hafriyat ve maliyet hesapları güven aralığının dışında kalabilir.

Senaryo 2

Güçlü yönler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Özel yol tipi oluşturularak analiz yapılabilmektedir.
- Kullanıcı güzergahı kendisi belirleyebilmektedir. Bu durum bir yolun güzergahının korunması durumunda kolaylık sağlamaktadır.
- Köprü yapılması seçeneği tercih edildiğinde, kazı yüksekliği bilgisi verilerse köprü oluşturulabilmektedir.
- Manuel olarak tünel yapımına izin verilmektedir.

Zayıf Yönler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Analiz sonucunda Senaryo 1'e göre daha fazla hafriyat çıkmakta, dolayısıyla kazı-dolgu dengesindeki fark görece fazla olmaktadır.
- Bu analizde de tünel tasarımı seçeneği bulunmamaktadır.
- Manuel olarak tünel yapıldığında ilk optimizasyon sonucuna dahil edilmemektedir.
- Yol uzunluğuna göre çok fazla düşey kurp oluşturulmuştur.
- Tek şevden sonra palye de yapılamayıp şev, dik ve uzun bir şekilde çıkmaktadır.

Fırsatlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Programın geliştirilmesiyle köprü uzunluğunun çok fazla olacağı yerlerde uyarı vererek güzergahın değiştirilmesi gerektiği uyarısı verilebilir.
- 4 boyutlu entegrasyonu ile projeye ait iş kalemlerinin ne kadar sürebileceğine ilişkin değerlendirmelerde bulunulabilir.

Tehditler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Sonuçlardan elde edilen hafriyat ve maliyet hesapları güven aralığının dışında kalabilir.
- Yol üzerinde fazlaca düşey kurp çıkması idare kuruluşun ve yüklenicinin ön inceleme yaparken bu sonuçlara güvenme olasılığını düşürebilir.
- Köprü ayaklarının fazla uzun olması, kazı oranının dolguda kullanılamamasına sebep olabilir ve bu durum hafriyat dengesizliğine yol açarak maliyet oranlarının değişmesine neden olabilir.

Senaryo 3

Güçlü yönler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Projenin ne kadar sürede biteceğine ilişkin bilgi alınabilmektedir.
- Süreç boyunca hangi iş kalemlerinde çakışma olabileceği konusunda çıkarım yapılabilir.

Zayıf yönler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Öneri senaryoda Infracore ile henüz bir entegrasyon olmadığı için iş takvimi manuel olarak oluşturulmuştur.

Fırsatlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Çakışma öngörülen alanlar için önlemler alınabilir.
- YBM'de akıllı ve parametre tanımlı nesnelerin kullanılması nedeniyle tek tıklama ile iş takviminin oluşturulabilmesi mümkün olabilir.
- YBM'nin 4. boyutunun entegre edilmeye çalışılması, 5. boyut ve diğer üst boyutların önünü açabilir.

Tehditler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Analiz yöntemleri ile 4. boyut entegrasyonu sırasında iş takviminin kalibrasyonu çok yönlü yapılmadığı takdirde kullanıcılar tarafından beklenen ilgiyi görmeyebilir.
- Her arazinin durumuna göre inşaat uygulama metodunun farklı olarak uygulanabileceğinden çıkan iş takviminde hatalı iş kalemleri olabilir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ulaştırma altyapısı, bir ülkenin işletmelerini, topluluklarını ve insanlarını birbirine bağlamada kritik bir rol oynar. Yaşamın neredeyse her yönünü destekler ve bir ülkenin ekonomik istikrarı, güvenliği ve uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından hayati öneme sahiptir. Bu yüzden ulaştırma altyapısına ayrılan bütçenin iyi değerlendirilmesi, doğru yatırımların yapılması, yapılan yatırımların planlı, ekonomik ve sürdürülebilir olmasına dikkat edilmelidir. Zira ulaştırma yatırımları büyük bütçe gerektirdiğinden hata yapmanın telafisi ekstra maliyetler gerektirmektedir. Projeler uzun soluklu çalışmalar gerektirdiğinden, proje öncesi yapılacak fizibilite araştırmalarının da hızlı ve doğru karar verilmiş olması gerekmektedir. Geçmişte idare kuruluşlarının bir projenin analizini ve 3 boyutlu modelini yaptırmak için uzman kişiler veya firmalara başvurması gerekiyordu. Gelişen teknolojiye, hatta yazılım yapan yazılımların geliştiği ortamda, bu alanın da gelişmesi kaçınılmaz bir durumdur. CAD teknolojisinin gelişmesi, tasarımları kâğıttan bilgisayar ortamına geçirmiştir, ancak disiplinler arası entegrasyon konusunda hala yeterli değildir. YBM bu soruna çözüm olmak için ortak bir dilin konuşulduğu, koordinasyonun sağlandığı bir ortam sağlamaktadır. Fakat bu alanda da uzmanlık gerekmektedir. Türkiye’deki YBM üzerine eğitim veren üniversite sayısı azdır ve eğitim için özel kurslara başvurulmaktadır [73].

Proje öncesi aşamada ön hazırlık yapılması için YBM alanında çokça gelişmeler yaşanmaktadır. Autodesk’in Infracore programı bu alanda geliştirilmiş, hızlı bir şekilde arazi altlığı sunan, yol ve sanat yapıları çizip analiz yapmaya olanak sağlayan bir yapıdadır.

Bu tez çalışmasına da konu olan Infracore ile literatürde çok az sayıda çalışma yapılmış olan karayolu ve sanat yapılarında YBM uygulanmasına yönelik bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada Infracore programından faydalanılarak iki senaryo oluşturulmuş ve yapılan analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Senaryolara altlık olarak seçilen arazi Infracore’nin yeteneklerini gözlemleyebilmek amacıyla dağlık olarak seçilmiştir. Senaryo 1’de Koridor Optimizasyonu kullanılmıştır. Koridor Optimizasyonu, yolun başlangıç-bitiş noktalarının belirlenerek ve temel teknik bilgilerin girilerek tam analizin yapıldığı bir yöntemdir. Senaryo 2’de ise Profil Optimizasyonu kullanılmıştır. Profil Optimizasyonu, çizilmiş bir yolun seçilerek ek teknik bilgilerin de girilerek kısmi bir analizin (eğim, köprü kullanımı, hafriyat vb.) yapıldığı bir yöntemdir. Her iki senaryoda da aynı başlangıç-bitiş noktası kullanılmış olup, analiz yöntemlerinin birbirlerine göre olumlu ve olumsuz yönleri değerlendirilmiştir. Çalışmada kurgulanan senaryolara üçüncü bir senaryo daha eklenmiştir. Bu senaryoda YBM’nin kendine

has özelliklerinden olan 4. boyutu vurgulanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla üçüncü senaryo için örnek bir iş takvimi hazırlanmıştır. İş takvimi hazırlanırken Microsoft Project programı kullanılmıştır. Genel olarak senaryolar değerlendirildiğinde, Infracore programının analiz bağlamında güçlü yeteneklerinin olmasının yanı sıra geliştirilmeye açık yanlarının olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, Koridor Optimizasyonu yönteminin kullanıcıya hızlı, optimum ve sistematik bir kolaylık sağladığı görülmüştür. Ancak özel yol tipi ile analiz yapmaya izin vermemesi kullanıcı önündeki önemli bir kısıttır. Profil Optimizasyonu mevcut bir yolu veya özelleştirilmiş bir yol tipini profil kapsamında analiz edebiliyor olması bir avantajdır ancak senaryolarda aynı başlangıç-bitiş noktası kullanılmasına rağmen ikinci senaryoda hafriyat dengesi sağlanamamıştır. Ayrıca program genelinde tünel kullanımı ve analizine izin verilmemesi diğer bir olumsuz taraftır. Senaryolarda ortaya çıkan viyadüklerin ayaklarının uzun olması, tasarımın dağlık bir arazide gerçekleştiriliyor olmasından kaynaklanmaktadır. Bir yol analizi için daha düz bir arazi seçilerek işlemler gerçekleştirilebilir. Infracore'nin bahsedilen zorlukların aşılması durumunda birçok firmanın proje öncesinde ön bilgi edinmek için ilk başvuracakları program olacağı değerlendirilmektedir. Üçüncü senaryoda YBM'nin 4. boyutunun kullanılmasını vurgulamak ve Infracore'e yeni bir boyut kazandırmak amaçlanmıştır. Bu senaryo ile YBM'nin kapsamı gereğince odaklanılması gereken alanın iş takviminde öngörülen çakışmalar olması gerektiği vurgulanmıştır. Çünkü YBM'nin çıkış noktasının paydaşları koordine etmek, çakışmaları tespit ederek maliyet ve zaman tasarrufu sağlamak olduğu anlaşılmaktadır [58]. Dolayısıyla, karayolu ve sanat yapıları projelerinde YBM kullanımına yönelik çalışmalarda 4. boyut ile zaman, 5. boyut ile maliyet, 6. boyut ile sürdürülebilirlik analizi, 7. boyut ile işletme, 8. boyut ile güvenlik ve kazaların izlenmesi ve değerlendirilmesi konularının etraflıca tartışılması, paydaşların kurulan modeller üzerinde analizler yaparak sonuçlarını bilim dünyası ile paylaşması, bu alandaki YBM kullanımını çok daha ileri düzeylere taşıyacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] M. S. Raza, B. A. Tayeh, Y. I. Abu Aisheh, ve A. M. Maglad, “Potential features of building information modeling (BIM) for application of project management knowledge areas in the construction industry”, *Heliyon*, c. 9, sy 9, s. e19697, Eyl. 2023.
- [2] E. J. Belcher ve Y. S. Abraham, “Lifecycle Applications of Building Information Modeling for Transportation Infrastructure Projects”, *Buildings 2023*, Vol. 13, Page 2300, c. 13, sy 9, s. 2300, Eyl. 2023.
- [3] S. A. Biancardo, N. Viscione, A. Cerbone, ve E. Dessi, “BIM-Based design for road infrastructure: A critical focus on modeling guardrails and retaining walls”, *Infrastructures 2020*, Vol. 5, Page 59, c. 5, sy 7, s. 59, Tem. 2020.
- [4] U. Ertaymaz ve G. Atasoy Ozcan, “Modeling highway projects: The need for Highway Information Modeling (HIM) guideline and information exchange”, *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation (Online)*, c. 2, sy 1, ss. 10-17, Mar. 2019.
- [5] Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, *BIM Teknik Şartnamesi ve İhale Dokümanları*. Ankara, 2022.
- [6] H. Kara ve Y. Abut, “The benefits of Building Information Modeling (BIM) for roads and engineering structures”, içinde *10th International Baskent Congress on Physical, Engineering, and Applied Sciences*, Ankara, Eki. 2023, ss. 109-114.
- [7] P. Fewings ve C. Henjewe, *Construction project management: An integrated approach*, 3. bs. New York: Routledge, 2019.
- [8] PMI, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, 6. bs. Project Management Institute, 2017.
- [9] S. A. Javed ve S. Liu, “Evaluation of project management knowledge areas using grey incidence model and AHP”, içinde *2017 International Conference on Grey Systems and Intelligent Services (GSIS)*, Sweden, Eki. 2017.
- [10] C. Akdeniz ve N. Yildiz, “The comparison of critical path method with other scheduling methods”, içinde *Proceedings of the 1 st International Engineering Conference On Developments in Civil & Computer Engineering Applications*, Irak: Ishik University, Kas. 2014, ss. 53-59.
- [11] M. P. Spinner, *Project Management, Principles and Practices*, 1. bs. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- [12] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, ve K. Liston, *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.
- [13] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, *İBB Raylı Sistemler BIM Teknik Şartnamesi*, 1. bs. İstanbul: İBB, 2024.

- [14] C. Panteli, A. Kylili, ve P. A. Fokaides, "Building information modelling applications in smart buildings: From design to commissioning and beyond A critical review", *J Clean Prod*, c. 265, s. 121766, Ağu. 2020.
- [15] UNECE, *Building Information Modelling (BIM) for road infrastructure: TEM requirements and recommendations*. Geneva: United Nations Economic Commission, 2021.
- [16] A. Mitelman ve U. Gurevich, "Implementing BIM for conventional tunnels - a proposed methodology and case study", *Journal of Information Technology in Construction*, c. 26, sy 34, ss. 643-656, Eyl. 2021.
- [17] A. Sharafat, M. S. Khan, K. Latif, ve J. Seo, "BIM-Based Tunnel Information Modeling Framework for Visualization, Management, and Simulation of Drill-and-Blast Tunneling Projects", *Journal of Computing in Civil Engineering*, c. 35, sy 2, Mar. 2021.
- [18] L. Zhang, X. Wu, L. Ding, M. J. Skibniewski, ve Y. Lu, "BIM-Based risk identification system in tunnel construction", *Journal of Civil Engineering and Management*, c. 22, sy 4, ss. 529-539, Ağu. 2016.
- [19] R. Klinc, D. Gabršček, J. Česnik, M. Žibert, M. Hostnik, ve J. Logar, "Development of a semiautomatic parametric method for creation of an I-BIM model of a tunnel for use in FEM software", *J Adv Transp*, c. 2021, ss. 1-18, Mar. 2021.
- [20] A. Osello, N. Rapetti, ve F. Semeraro, "BIM methodology approach to infrastructure design: Case study of paniga tunnel", *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, c. 245, s. 062052, Eki. 2017.
- [21] J. Ninić, H.-G. Bui, C. Koch, ve G. Meschke, "Computationally efficient simulation in urban mechanized tunneling based on multilevel BIM models", *Journal of Computing in Civil Engineering*, c. 33, sy 3, May. 2019.
- [22] Y. Zhou, Y. Wang, L. Ding, ve P. E. D. Love, "Utilizing IFC for shield segment assembly in underground tunneling", *Autom Constr*, c. 93, ss. 178-191, Eyl. 2018.
- [23] Z. Song, G. Shi, J. Wang, H. Wei, T. Wang, ve G. Zhou, "Research on management and application of tunnel engineering based on BIM technology", *Journal of Civil Engineering and Management*, c. 25, sy 8, ss. 785-797, Eyl. 2019.
- [24] H. Qian, "Design of tunnel automatic monitoring system based on BIM and IOT", *J Phys Conf Ser*, c. 1982, sy 1, s. 012073, Tem. 2021.
- [25] G. Yu, Y. Wang, Z. Mao, M. Hu, V. Sugumaran, ve Y. K. Wang, "A digital twin-based decision analysis framework for operation and maintenance of tunnels", *Tunnelling and Underground Space Technology*, c. 116, s. 104125, Eki. 2021.
- [26] G. Wang ve Z. Zhang, "BIM implementation in handover management for underground rail transit project: A case study approach", *Tunnelling and Underground Space Technology*, c. 108, s. 103684, Şub. 2021.
- [27] L. Chen, P. Shi, Q. Tang, W. Liu, ve Q. Wu, "Development and application of a specification-compliant highway tunnel facility management system based on BIM", *Tunnelling and Underground Space Technology*, c. 97, s. 103262, Mar. 2020.

- [28] P. Huang, X. Deng, W. Huang, ve Q. Lin, “Research on safety of operation and maintenance of utility tunnel based on BIM and computer technology”, *J Phys Conf Ser*, c. 1815, sy 1, s. 012009, Şub. 2021.
- [29] X. Zhang vd., “Perspectives of big experimental database and artificial intelligence in tunnel fire research”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, c. 108, s. 103691, Şub. 2021.
- [30] J. J. Cepa, R. M. Pavón, M. G. Alberti, A. Ciccone, ve D. Asprone, “A review on the implementation of the BIM methodology in the operation maintenance and transport infrastructure”, *Applied Sciences*, c. 13, sy 5, s. 3176, Mar. 2023.
- [31] E. Akdeniz ve S. Oflluğlu, “Metro istasyonlarında sürdürülebilir tesis yönetimi: BIM destekli dijital ikiz uygulamaları”, *Yapı Bilgi Modelleme*, Ara. 2023.
- [32] A. Costin, A. Adibfar, H. Hu, ve S. S. Chen, “Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations”, *Autom Constr*, c. 94, ss. 257-281, Eki. 2018.
- [33] R. Blanco Rávena, J. Martínez García, B. Mozas González, M. García Alberti, ve A. A. Arcos Álvarez, “Uso de la metodología BIM en la remodelación de un puente existente = Use of BIM methodology in the re-modelling of an existing bridge”, *Anales de Edificación*, c. 5, sy 3, s. 100, Ara. 2019.
- [34] A. Girardet ve C. Botton, “A parametric BIM approach to foster bridge project design and analysis”, *Autom Constr*, c. 126, s. 103679, Haz. 2021.
- [35] Y. Tian, T. Jiang, ve F. Wu, “Research on the application of BIM technology in bridge engineering”, *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, c. 798, sy 1, s. 012014, Haz. 2021.
- [36] S. Kaewunruen, J. Sresakoolchai, ve Z. Zhou, “Sustainability-based lifecycle management for bridge infrastructure using 6D BIM”, *Sustainability*, c. 12, sy 6, s. 2436, Mar. 2020.
- [37] Z. Yin, Y. Li, J. Guo, ve Y. Li, “Integration research and design of the bridge maintenance management system”, *Procedia Eng*, c. 15, ss. 5429-5434, 2011.
- [38] Á. Moreno Bazán, M. G. Alberti, A. Arcos Álvarez, ve J. A. Trigueros, “New perspectives for BIM usage in transportation infrastructure projects”, *Applied Sciences*, c. 10, sy 20, s. 7072, Eki. 2020.
- [39] A. Adibfar ve A. Costin, “Next generation of transportation infrastructure management: Fusion of intelligent transportation systems (ITS) and Bridge Information Modeling (BrIM)”, içinde *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, Cham: Springer International Publishing, 2019, ss. 43-50.
- [40] F. A. Al-Shalabi, Y. Turkan, ve S. Laflamme, “BrIM implementation for documentation of bridge condition for inspection”, 2015.
- [41] Y. Xu ve Y. Turkan, “BrIM and UAS for bridge inspections and management”, *Engineering, Construction and Architectural Management*, c. 27, sy 3, ss. 785-807, Kas. 2019.

- [42] A. Pacios Álvarez, J. Ordieres-Meré, Á. P. Loreiro, ve L. de Marcos, “Opportunities in airport pavement management: Integration of BIM, the IoT and DLT”, *J Air Transp Manag*, c. 90, s. 101941, Oca. 2021.
- [43] F. D’Amico, A. Calvi, E. Schiattarella, M. Di Prete, ve V. Veraldi, “BIM and GIS data integration: A novel approach of technical/environmental decision-making process in transport infrastructure design”, *Transportation Research Procedia*, c. 45, ss. 803-810, 2020.
- [44] B. Kula ve E. Ergen, “Implementation of a BIM-FM platform at an International Airport Project: Case study”, *J Constr Eng Manag*, c. 147, sy 4, Nis. 2021.
- [45] S. A. Biancardo, N. Viscione, C. Oreto, R. Veropalumbo, ve F. Abbondati, “BIM approach for modeling airports terminal expansion”, *Infrastructures (Basel)*, c. 5, sy 5, s. 41, May. 2020.
- [46] A. Salzano, M. Intignano, C. Mottola, S. A. Biancardo, M. Nicolella, ve G. Dell’Acqua, “Systematic literature review of open infrastructure BIM”, *Buildings*, c. 13, sy 7, s. 1593, Haz. 2023.
- [47] B. Keskin, B. Ozorhon, ve O. Koseoglu, “BIM implementation in mega projects: Challenges and enablers in the Istanbul Grand Airport (IGA) Project”, içinde *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, Cham: Springer International Publishing, 2019, ss. 881-888.
- [48] N. Bongiorno, G. Bosurgi, F. Carbone, O. Pellegrino, ve G. Sollazzo, “Potentialities of a highway alignment optimization method in an I-BIM environment”, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, Mar. 2019.
- [49] S. A. Biancardo, N. Viscione, A. Cerbone, ve E. Dessì, “BIM-Based Design for Road Infrastructure: A Critical Focus on Modeling Guardrails and Retaining Walls”, *Infrastructures (Basel)*, c. 5, sy 7, s. 59, Tem. 2020.
- [50] S. A. Biancardo, A. Capano, S. G. de Oliveira, ve A. Tibaut, “Integration of BIM and procedural modeling tools for road design”, *Infrastructures (Basel)*, c. 5, sy 4, s. 37, Nis. 2020.
- [51] K. Castañeda, O. Sánchez, R. F. Herrera, E. Pellicer, ve H. Porras, “BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design”, *Autom Constr*, c. 131, s. 103911, Kas. 2021.
- [52] F. Tang, T. Ma, Y. Guan, ve Z. Zhang, “Parametric modeling and structure verification of asphalt pavement based on BIM-ABAQUS”, *Autom Constr*, c. 111, s. 103066, Mar. 2020.
- [53] S. Antonio Biancardo, N. Viscione, C. Oreto, ve F. Russo, “BIM approach for smart infrastructure design and maintenance operations”, içinde *Models and Technologies for Smart, Sustainable and Safe Transportation Systems*, IntechOpen, 2021.
- [54] F. D’Amico, L. Bertolini, A. Napolitano, V. Gagliardi, ve L. Bianchini Ciampoli, “A novel BIM approach for supporting technical decision-making process in transport infrastructure management”, içinde *Earth Resources and Environmental Remote*

- Sensing/GIS Applications XII*, K. Schulz, K. G. Nikolakopoulos, ve U. Michel, Ed., SPIE, Eyl. 2021, s. 19.
- [55] S. Ait-Lamallam, R. Yaagoubi, I. Sebari, ve O. Doukari, “Extending the IFC standard to enable road operation and maintenance management through OpenBIM”, *ISPRS Int J Geoinf*, c. 10, sy 8, s. 496, Tem. 2021.
 - [56] F. Tang, T. Ma, J. Zhang, Y. Guan, ve L. Chen, “Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM”, *Autom Constr*, c. 113, s. 103152, May. 2020.
 - [57] C. Oreto, L. Massotti, S. A. Biancardo, R. Veropalumbo, N. Viscione, ve F. Russo, “BIM-Based pavement management tool for scheduling urban road maintenance”, *Infrastructures (Basel)*, c. 6, sy 11, s. 148, Eki. 2021.
 - [58] Y. Kim, D. Lee, ve D. Park, “A case study on BIM object-based earned value and process management in highway construction”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, c. 26, sy 2, ss. 522-538, Şub. 2022.
 - [59] Z. Aziz, Z. Riaz, ve M. Arslan, “Leveraging BIM and Big Data to deliver well maintained highways”, *Facilities*, c. 35, sy 13/14, ss. 818-832, Eki. 2017.
 - [60] H. Kim, Z. Shen, H. Moon, K. Ju, ve W. Choi, “Developing a 3D intelligent object model for the application of construction planning/simulation in a highway project”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, c. 20, sy 2, ss. 538-548, Mar. 2016.
 - [61] S. Park, S. Kim, ve H. Seo, “Study on representative parameters of reverse engineering for maintenance of ballasted Tracks”, *Applied Sciences*, c. 12, sy 12, s. 5973, Haz. 2022.
 - [62] E. M. Acerra, G. F. D. Busquet, M. Parente, M. Marinelli, V. Vignali, ve A. Simone, “Building Information Modeling (BIM) application for a section of Bologna’s Red Tramway Line”, *Infrastructures (Basel)*, c. 7, sy 12, s. 168, Ara. 2022.
 - [63] S. Park, S. Kim, ve H. Seo, “Study on representative parameters of reverse engineering for maintenance of ballasted tracks”, *Applied Sciences*, c. 12, sy 12, s. 5973, Haz. 2022.
 - [64] A. Ciccone, S. Stasio, D. Asprone, A. Salzano, ve M. Nicoletta, “Application of openBIM for the management of existing railway infrastructure: Case study of the Cancellor–Benevento railway line”, *Sustainability*, c. 14, sy 4, s. 2283, Şub. 2022.
 - [65] M. B. Seo ve D. Lee, “Development of railway infrastructure BIM prototype libraries”, *Applied Sciences*, c. 10, sy 22, s. 8118, Kas. 2020.
 - [66] S. A. Biancardo, M. Intignano, N. Viscione, S. Guerra De Oliveira, ve A. Tibaut, “Procedural modeling-based BIM approach for railway design”, *J Adv Transp*, c. 2021, ss. 1-17, Mar. 2021.
 - [67] S. Zhang, D. Hou, C. Wang, F. Pan, ve L. Yan, “Integrating and managing BIM in 3D web-based GIS for hydraulic and hydropower engineering projects”, *Autom Constr*, c. 112, s. 103114, Nis. 2020.

- [68] H. Söbke, P. Peralta, K. Smarsly, ve M. Armbruster, “An IFC schema extension for BIM-based description of wastewater treatment plants”, *Autom Constr*, c. 129, s. 103777, Eyl. 2021.
- [69] A. Sharafat, M. S. Khan, K. Latif, W. A. Tanoli, W. Park, ve J. Seo, “BIM-GIS-Based integrated framework for underground utility management system for earthwork operations”, *Applied Sciences*, c. 11, sy 12, s. 5721, Haz. 2021.
- [70] J. Huang ve R. Bhat, “Making something from Nothing: integrating Autodesk® InfraWorks™ into your design”, *Autodesk University*, 2013.
- [71] B. Sever, “Yapı Bilgi Modellemesinin (BIM) proje yönetiminde zaman ve maliyete olan etkisinin incelenmesi”, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, 2022.
- [72] B. Phadermrod, R. M. Crowder, ve G. B. Wills, “Importance-performance analysis based SWOT analysis”, *Int J Inf Manage*, c. 44, ss. 194-203, Şub. 2019.
- [73] S. M. Kalfa, “Building information modeling (BIM) systems and their applications in Turkey”, *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, c. 1, sy 1, ss. 55-66, Mar. 2018.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya'nın Serik ilçesinde tamamladı. 2015 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Ulaştırma Mühendisliği Bölümünden 2020 yılında mezun oldu. 2021 yılından beri Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığında Ulaştırma Mühendisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

H. Kara ve Y. Abut, “The Benefits of Building Information Modeling (BIM) for roads and engineering structures”, 10th International Baskent Congress on Physical, Engineering, and Applied Sciences, Ankara, Eki. 2023, ss. 109-114.

DİĞER YAYIN VE ESERLER

H. Kara, G. Sarısoy ve Y. Delice, “Yeşil dalga uygulamalarında ışıklı kılavuz sistem kullanımının değerlendirilmesi”. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5(2), 15-32, 2022.