

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KÜÇÜK ÖLÇEKLİ YAPILAR İÇİN YAPI BİLGİ MODELLEME
(YBM) TABANLI YAPIM SÜRECİ (4D) VE MALİYETİ (5D)
TAHİMİNİ: BİR VAKA ÇALIŞMASI**

Furkan CANPOLAT

Yüksek Lisans Tezi

MİMARLIK ANABİLİM DALI

Mimarlık Bilim Dalı

TEMMUZ 2023

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**KÜÇÜK ÖLÇEKLİ YAPILAR İÇİN YAPI BİLGİ MODELLEME
(YBM) TABANLI YAPIM SÜRECİ (4D) VE MALİYETİ (5D)
TAHMINİ: BİR VAKA ÇALIŞMASI**

Tez Yazarı
Furkan CANPOLAT

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hasan POLAT

TEMMUZ 2023
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Küçük Ölçekli Yapılar İçin Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Tabanlı Yapım Süreci (4D) ve Maliyeti (5D) Tahmini: Bir Vaka Çalışması
Yazarı:	Furkan CANPOLAT
İlk Teslim Tarihi:	02.06.2023
Savunma Tarihi:	05.07.2023

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Hasan POLAT Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi	İmza Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Mehmet KARATAŞ Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAHİN Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Küçük Ölçekli Yapılar İçin Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Tabanlı Yapım Süreci (4D) ve Maliyeti (5D) Tahmini: Bir Vaka Çalışması” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

05.07.2023

Furkan CANPOLAT



ÖNSÖZ

“Küçük Ölçekli Yapılar için Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Tabanlı Süre (4D) ve Maliyet (5D) Tahmini: Bir Vaka Çalışması” adlı bu çalışma Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Bilim Dalı Lisansüstü Programında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez Danışmanım, Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü Dr. Öğr. Üyesi Hasan Polat'a, katkıları için Dr. Öğr. Üyesi Hakan Karaca ve eşi Lutfiye Şahin Karaca'ya, her konuda tecrübesini aktaran ablam Dr. Öğr. Üyesi Ela Özkan'a, öğüt ve yönlendirmeleri için Prof. Dr. Semiha Akçaözoğlu'na anlayış ve desteği için Doç. Dr. Tuğba İnan Günaydın'a, katkıları için Arş. Gör. Metehan Bulut'a, desteklerini benden esirgemeyen aileme ve kıymetli katkılarından dolayı eşim Arş. Gör. Gizem Özal Canpolat'a teşekkür ederim.

Furkan CANPOLAT

ELAZIĞ, 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
EKLER LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. YAPIM YÖNETİMİ.....	4
2.1. Yapım Maliyeti.....	5
2.1.1. Yapım Maliyeti Tahmini	6
2.1.2. Yapım Maliyeti Tahminin Amacı	8
2.1.3. Yapım Maliyeti Tahmin Hesabı	8
2.2. Yapım Süreci Planlaması.....	9
2.3. Yapım Yönetimi Evreleri	10
2.4. Yapım Yönetimi Teknikleri.....	11
2.4.1. Gantt Diyagramı	11
2.4.2. CPM Diyagramı	12
2.4.3. PERT Diyagramı	13
2.4.4. Yapım Yönetimi Tekniklerinin Tercihi.....	13
3. YAPI BİLGİ MODELLEME	15
3.1. Bilgisayar Destekli Tasarımdan (2D) Yapı Bilgi Modellemeye (3D) Geçiş	18
3.2. Yapı Bilgi Modelleme ile 4D ve 5D.....	20
3.2.1. Süre Tanımlı (4D) Modelleme	21
3.2.2. Maliyet Tanımlı (5D) Modelleme	21
3.2.3. Çok Tanımlı nD Modelleme.....	22
3.2.4. Yapı Bilgi Modelleme ile 5D Modellerin Oluşturulması	22
3.2.5. Yapı Bilgi Modelleme Müdahale Gerekliliği	23
3.3. Yapı Bilgi Modelleme Yazılımları	24
3.3.1. Autodesk Revit (AR).....	25
3.3.2. Autodesk Navisworks (AN)	27
3.3.3. Yapı Bilgi Modelleme Olgunluk Düzeyleri	27
3.4. Yapı Bilgi Modelleme ile Metraj.....	29
4. MATERYAL VE METOT	31
4.1. Materyal.....	31
4.2. Metot	31
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
5.1. Fertek Evi'nin Sanal Uygulama Evresi	37
5.1.1. Autodesk Revit Yazılımında 3D Modelin Oluşturulması	38
5.1.2. Autodesk Revit Yazılımından Metrajların Çıkarılması.....	42

5.1.3. Yapım Faaliyetlerinin ve Poz Numaralarının Belirlenmesi.....	50
5.1.4. Autodesk Navisworks Yazılımında 5D Modelin Oluşturulması	54
5.2. Fertek Evi'nin Gerçek Uygulama Evresi.....	59
5.3. Fertek Evi için Sanal ve Gerçek Uygulama Evrelerinin Karşılaştırılması.....	63
5.3.1. Yapım Süreci Tahminlerinin Karşılaştırılması.....	63
5.3.2. Yapım Maliyeti Tahminlerinin Karşılaştırılması	67
5.3.3. Yapım Faaliyetleri Sonuçlarının İlgili Tahminlerle Değerlendirilmesi.....	69
5.3.4. Autodesk Navisworks Simülasyonunun Değerlendirilmesi	83
6. SONUÇLAR.....	85
ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR.....	88
EKLER	93
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Küçük Ölçekli Yapılar İçin Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Tabanlı Yapım Süreci (4D) ve Maliyeti (5D) Tahmini: Bir Vaka Çalışması

Furkan CANPOLAT

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mimarlık Anabilim Dalı

Temmuz 2023, Sayfa: xiii + 92

Günümüz mimarlık, mühendislik ve inşaat (AEC) sektörlerinde yapım süreci ve maliyeti optimizasyonu, ulaşılması hedeflenen bir ideali yansıtmaktadır. Güvenilir metraj verilerinin elde edilmesi hedefe ulaşmak için gerekli ilk adımdır. Yapı Bilgi Modelleme (YBM); nesne tabanlı çalışması, öznetelik verilerinin eklenebilmesi vb. özellikleriyle geleneksel yöntemler ve aynı prensiplerle mimari çizim temsilleri oluşturan Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) sistemleri yerine tercih edilmektedir. Ancak YBM yazılımları yapım yönetimine bulunduğu önemli katkılara rağmen; iklim koşulları, konum özellikleri ve yapı türü/büyüklüğü farklılıklarına uyum sağlamakta hâlâ yetersiz kalmaktadır. Ayrıca öznetelik verileriyle tasarım evresinde gerçekleştirilen yapım süreci ve maliyeti tahminleri güçlenmiş olsa da yapım yönetimi tahmincisinin profesyonel müdahalesi kaçınılmazdır.

Bu tez çalışmasında, YBM teknolojisinin Türkiye’deki küçük ölçekli yapılar için gerçekleştirilen yapım süreci ve maliyeti tahminlerinin güvenilirliği sınanmaktadır. Örnek olarak seçilen Fertek Evi’nin proje müellifi tarafından BDT sistemleriyle tasarım evresi; proje müteahhidi tarafından geleneksel yöntemlerle süre ve metraj tahminleri tamamlanmıştır. YBM yazılımı olan Autodesk Revit (AR) aracıyla 3D modeli oluşturulan Fertek Evi için başka bir YBM yazılımı olan Autodesk Navisworks (AN) aracıyla süre (4D) ve maliyet (5D) verileri girilerek uygulama evresinin sanal simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Gerçek uygulama evresinin takibiyle ulaşılan sonuçlar sanal uygulama evresi ve geleneksel yöntem tahminleriyle karşılaştırılmıştır. YBM yazılımlarında gerçekleştirilen tahminler, geleneksel yöntem tahminleriyle kıyaslandığında %15,34 daha az süre ve %2,5 daha az maliyet sonucuna ulaşılmıştır. Fertek Evi’nin gerçek uygulama evresi sonuçları ile metraj tahminleri kıyaslandığında YBM yazılımlarının %96, geleneksel yöntem tahminlerinin %44 güvenilir sonuç verdiği tespit edilmiştir. Gerçek uygulama evresi sonuçları ile beton metrajı tahminleri karşılaştırıldıklarında YBM yazılımlarının %1,12 daha az, geleneksel yöntemin %6,79 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı, Yapım yönetimi, Yapı bilgi modelleme, Süre, Maliyet, Metraj

ABSTRACT

Building Information Modelling (BIM) Based Time (4D) and Cost (5D) Estimation for Small Scale Buildings: A Case Study

Furkan CANPOLAT

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Architecture

July 2023, Pages: xiii + 92

In today's architecture, engineering, and construction (AEC) industry, the optimization of construction process and cost reflects an ideal to be achieved. Reliable quantity takeoff is the first step to achieve this goal. Building Information Modelling (BIM) is preferred over traditional methods and Computer-Aided Design (CAD) systems that create architectural drawing representations with the same principles thanks to its object-based operation, ability to add attribute data, etc. However, despite its significant contribution to construction management, BIM software is still insufficient to adapt to climate conditions, location characteristics, and building type/size differences. In addition, although the construction process and cost estimations made during the design phase with attribute data have been strengthened, the professional intervention of a construction management estimator is inevitable.

In this thesis, the reliability of the construction process and cost estimations for small-scale buildings in Turkey was tested using BIM technology. The design phase of the Fertek House, which was selected as an illustration, was carried out by the project author with CAD systems, and the quantity estimations were completed by the project contractor using traditional methods. For Fertek House, for which a 3D model was created via the Autodesk Revit (AR) tool, which is a BIM software, a virtual simulation of the application phase was performed by entering time (4D) and cost (5D) data via the Autodesk Navisworks (AN) tool, which is another BIM software. The results obtained following the real application phase were compared with the virtual application phase and traditional method estimates. When the estimations performed using BIM software were compared with the traditional method estimations, 15.34% less time and 2.5% less cost were obtained. When the Fertek House's actual application phase results were compared to the amount estimates, it was found that the BIM software's calculations provided 96% reliable results, whereas the estimates from the traditional approach provided 56% reliable results. When the concrete quantity estimates were compared with the results obtained from the application phase, it was determined that BIM software was 1.12% less and the traditional method was 6.79% more.

Keywords: Building, Building management, Building information modelling, Time, Cost, Quantity takeoff...

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Yapım maliyeti	5
Şekil 2.2. Tasarım evresinde yapım maliyeti tahmini	6
Şekil 2.3. Freiman eğrisi	7
Şekil 2.4. Yapım yönetimi evreleri arasındaki ilişki	10
Şekil 2.5. Gantt diyagramı	11
Şekil 2.6. CPM ağ diyagramı	12
Şekil 2.7. PERT ağ diyagramı	13
Şekil 3.1. Yapı bilgi modellemenin görsel temsili	15
Şekil 3.2. Yapı bilgi modelleme çalışma prensibi	17
Şekil 3.3. Tasarım evresinde iş akış grafiği kıyaslaması (BDT-YBM)	19
Şekil 3.4. YBM tabanlı 5D modelin sunduğu veriler	20
Şekil 3.5. YBM tabanlı nD modelin sunduğu veriler	22
Şekil 3.6. 5D YBM modeli oluşturma süreci	23
Şekil 3.7. 4D YBM yazılımlarının Fransa'daki kullanım popülerlikleri	24
Şekil 3.8. YBM yazılımlarının kullanım popülerliği	25
Şekil 3.9. Autodesk Revit çalışma ekranı	26
Şekil 3.10. Autodesk Revit çalışma prensibi	26
Şekil 3.11. Autodesk Navisworks yazılım arayüzü	27
Şekil 3.12. YBM çalışma düzeyleri	28
Şekil 4.1. Materyal ve metot diyagramı	32
Şekil 5.1. Fertek Evi konumu	33
Şekil 5.2. Plankote	34
Şekil 5.3. Fertek Evi tasarım evresi 3D görseli	34
Şekil 5.4. Zemin kat planı	35
Şekil 5.5. B-B kesiti	36
Şekil 5.6. Doğu cephesi görünüşü	36
Şekil 5.7. Autodesk Revit family ekranı	37
Şekil 5.8. Autodesk Revit çalışma ekranı	38
Şekil 5.9. Zemin kat planı	39
Şekil 5.10. A-A kesiti	40
Şekil 5.11. Autodesk Revit yazılımına ait kesit perspektifler	41

Şekil 5.12.	Doğu cephesi görünüşü	41
Şekil 5.13.	Autodesk Revit yazılımına ait 3D model görüntüleri	42
Şekil 5.14.	Autodesk Revit metraj listesi	43
Şekil 5.15.	Autodesk Navisworks çalışma ekranı	55
Şekil 5.16.	Autodesk Navisworks çakışma analizi	55
Şekil 5.17.	Autodesk Navisworks ortamında yapım faaliyetleri ve gantt diyagramı	57
Şekil 5.18.	Autodesk Navisworks ortamında yapım süreci ve maliyeti tahmini	58
Şekil 5.19.	Hafriyat çalışması	60
Şekil 5.20.	Kaba yapı inşaatının tamamlanması	60
Şekil 5.21.	Yapım faaliyetlerine geri dönüş	61
Şekil 5.22.	Uygulama evresinin tamamlanması	61
Şekil 5.23.	Yapım süreci tahminleri ve sonuçları	66
Şekil 5.24.	Hafriyat çalışması	69
Şekil 5.25.	Blokaj çalışması	70
Şekil 5.26.	Grobeton dökümü	70
Şekil 5.27.	Su yalıtım membranlarının serilmesi	71
Şekil 5.28.	Radye temel beton dökümü	72
Şekil 5.29.	Yükseltme perdeleri beton dökümü	72
Şekil 5.30.	Su basman altı yapım faaliyetlerinin tamamlanması	73
Şekil 5.31.	Zemin ve birinci kat taşıyıcı sistemlerinin oluşturulması	74
Şekil 5.32.	Duvarların örülmesi	75
Şekil 5.33.	Çatının tamamlanması	75
Şekil 5.34.	İskelenin kurulması	76
Şekil 5.35.	İç ve dış cephe duvarların sıvanması	76
Şekil 5.36.	Duvar yalıtımının tamamlanması	77
Şekil 5.37.	Kapı ve pencere montajları	77
Şekil 5.38.	İç ve dış cephe boyasının tamamlanması	78
Şekil 5.39.	Şap atılması ve zemin kaplamalarının yerleştirilmesi	78
Şekil 5.40.	Merdivenin tamamlanması	79
Şekil 5.41.	YBM yazılımları ve geleneksel yöntem tahmin sonuçları	81
Şekil 5.42.	YBM yazılımları ve geleneksel yöntem tahmin sonuçlarının karşılaştırılması	81
Şekil 5.43.	Toplam beton miktarları karşılaştırması	82
Şekil 5.44.	Autodesk Navisworks simülasyonunun gerçeğe kıyaslanması	84

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 5.1. Mahal listesi	44
Tablo 5.2. Döşeme metraji	45
Tablo 5.3. Duvar metraji	46
Tablo 5.4. Kolon metraji	46
Tablo 5.5. Kiriş metraji	47
Tablo 5.6. Çatı metraji	47
Tablo 5.7. Merdiven metraji	48
Tablo 5.8. Kapı ve pencere metraji	48
Tablo 5.9. Kapı ve pencere malzeme metraji	49
Tablo 5.10. Cam panel metraji (Yazar, 2021).....	49
Tablo 5.11. Yapım faaliyetleri, poz numaraları ve süre tahminleri	51
Tablo 5.12. Autodesk Navisworks ortamında yapım süreci ve maliyeti tahmini	56
Tablo 5.13. Uygulama evresinin farklı zamanlarına ait yapım süreci ve maliyeti tahminleri	58
Tablo 5.14. Gerçek uygulama evresi yapım faaliyeti tarihleri ve maliyet tahminleri	62
Tablo 5.15. Kaba yapı inşaatı için yapım süreci tahminleri ve sonuçlar	64
Tablo 5.16. İnce yapı inşaatı için yapım süreci tahminleri ve sonuçlar	65
Tablo 5.17. Yaklaşık maliyet hesabı	68
Tablo 5.18. Metraj tahminlerinin uygulama evresi sonuçlarına göre kıyaslanması	80
Tablo 5.19. Beton metraji tahminlerinin uygulama evresi sonuçlarıyla kıyaslanması	82

EKLER LİSTESİ

	Sayfa
Ek- 1: Proje Müellifi İzin Belgesi.....	93
Ek- 2: Proje Mütcahhidi İzin Belgesi	94
Ek- 3: Autodesk Revit Yazılımı Mimari Temsilleri	95



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

kg	: Kilogram
m	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp

Kisaltmalar

AA	: Autodesk Autocad
AEC	: Architecture Engineering Construction
AN	: Autodesk Navisworks
AR	: Autodesk Revit
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
BIM	: Building Information Modelling
CPM	: Critical Path Method
PERT	: Program Evaluation and Review Technique
QTO	: Quantity Take-off
YBM	: Yapı Bilgi Modelleme

1. GİRİŞ

İnsanoğlu geçmişten günümüze geliştirdiği her yeni teknolojiye bir ihtiyacı karşılamak, var olan bir sistemi geliştirmek ve çalışmayı kolaylaştırmak arzusuyla ulaşmıştır. Güncel yapıları oluşturan mimari temsil ve tasarım teknolojilerine ulaşılması kademeli ve uzun soluklu bir süreci gerektirmiştir. İnsanoğlunun oyularak oluşturulmuş yeraltı yerleşimlerinden; mimari, mühendislik ve inşaat (AEC) sektörünün ortak çalışmaları sonucu yapım yönetimi evrelerinin tümü planlanmış ve sanal simülasyonları oluşturulmuş yapılara ulaşması her geçen gün daha iyiyi hedeflemesiyle gerçekleşmiştir. Bu arayışın yaradılışımız gereği süreceğinden şüphe yoktur.

Yapım yönetimi çeşitli kaynakların kullanımını süre, maliyet ve kalite kısıtlamaları dahilinde planlamak için bir araçtır (Olsen, 1971). Süre, maliyet ve kalite optimizasyonu yapım faaliyetlerinin başarısı için temel kriterlerdir (Helvacı, 2008). Yapım süreci ve maliyeti çalışmaları yapım yönetiminin temel bileşenleridir (Adeli ve Karim, 2001). Günümüz AEC sektörü, proje bazında optimum yapım maliyeti ve süreci ödünleşimini hedeflemektedir ve sektörde faaliyet gösteren firmaların önem verdikleri konuların başında gelmektedir (Bayram, 2013). Ancak yapım sürecinde süre, maliyet ve kalite açısından birçok sorunla karşılaşmaktadır (Doğan ve Polat, 2016).

Yapım yönetiminin temelini oluşturan yapım maliyeti tahmini, yapım bütçesinin oluşturulmasını veya belirlenmiş bütçeye projenin uygunluğunun kontrol edilmesini sağlamaktadır (Yılmaz ve Dikmen, 2012). Yaklaşık maliyet hesabı, yapım yönetiminin en kilit konusudur (Firoozabadi vd, 2013). AEC sektöründe yapım maliyetlerinin yüksek olması, sektörün doğasındaki rekabet faktörü ve yapım sürecinde girdi miktarının fazla olması bakımından yapım maliyeti tahmininin güvenilirliği büyük önem taşımaktadır (Seyyar, 2000). Türkiye’de ilgili bakanlık tarafından düzenlenen birim alan maliyeti yöntemi AEC sektör paydaşları tarafından ön maliyet tahmini hesaplamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Bayram vd, 2016). Ancak Türkiye’de ön maliyet tahminleriyle doğru sonuçlar elde edilmesi için uygulanacak yapım yönetimi yönteminin belirsizliği önemli bir sorundur (Polat, 2005). İnşaat sektöründe bilgi teknolojileri kullanımının oldukça ilerlediği bir ortamda teknolojik ilerlemelerden yapım yönetiminde tam anlamı ile yararlanılmaması önemli bir eksikliktir (Bettemir ve Bulak, 2022).

Yapı Bilgi Modelleme (YBM), yapım yönetimini desteklemek için bir yapının sanal modelinin oluşturulmasını sağlayan en umut verici yapım teknolojilerinden biridir (Eastman vd, 2011). YBM’nin yapım maliyetini ve süresini azaltıp; kaliteyi, iş birliğini ve verimliliği arttırarak yapım yönetimini destekleyeceği umulmaktadır. (Azhar, 2011). YBM, AEC sektöründeki yapım süreci ve maliyeti tahminlerinin aşımı sorununun çözümü için oluşturduğu sanal modellerle geleneksel çalışma yöntemlerinden çok daha faydalıdır (Kulkarni ve Mhetar, 2017). YBM yazılımları kullanılarak süreçlerin bilgisayar tarafından desteklenmesiyle geleneksel yöntemlerin

sebebiyet verdiği insan eliyle metraj çıkarımından kaynaklanacak olası hatalar azaltılmaktadır (Gerçek vd, 2016). 3D model verisine eklenen süre (4D) ve maliyet (5D) verilerini içeren sanal model, yapım yönetimi için günümüz şartlarına uyum sağlamaktadır (Smith, 2014). YBM, yapım yönetiminin kolaylaştırılması ve iyileştirilmesi için kullanılmalıdır (Bevarovsk ve Matjka, 2014). Ancak YBM tabanlı metraj çıkarımlarından yapım maliyeti tahminine geçiş hâlâ erken aşamadadır. Projesiyle ilişkili eksiksiz bir metraj çıkarımı için gerekli olan tüm veriler 3D modellere dahil edilememekte ve bazı girdiler için maliyet tahmincisinin müdahalesine ihtiyaç duyulmaktadır (Olsen ve Taylor, 2017).

Yapım yönetiminde belirtilen sorunların çözümü olarak sunulan YBM yazılımları ile farklı akademik çalışmalar yapılmıştır. Sacks ve Barak’a (2008) göre, 3D modelleme ile çalışmanın hata oranlarını ve maliyetleri azalttığı soncuna varmışlardır. Fırat vd. (2010) göre, YBM yazılımlarında metraj çalışmalarının olumlu sonuç verdiğini tespit edilmiştir. Shen ve Issa’ya (2010) göre, YBM kullanımı hataları azaltmakta ve yaklaşık maliyet hesabı sürecini hızlandırmaktadır. Becvarosk ve Matejka’ya (2014) göre, YBM tabanlı metraj çıkarımlarında geleneksel yöntemle kıyaslandığında süre tasarrufu sağlanmıştır ve hata oranı düşmüştür. Ergen ve Bettemir’e (2022) göre, YBM yazılımlarında elde edilen metraj değerleri BDT sistemlerinden elde edilen değerlere kıyasla daha doğru sonuçlar elde edilmiştir. Liu vd. (2022) göre, yapı elemanlarının birleşimleri için detaylı 3D modellerden daha güvenilir sonuçlar elde edildiğini ortaya koymuştur.

Tez çalışmanın amacı, güncel yapım yönetiminin yapım süreci ve maliyeti tahminleri konusunda kullanılan YBM alışmalarının, Türkiye’deki küçük ölçekli yapılarda ne kadar verimli sonuçlar alınabildiğinin sınanmasıdır. YBM teknolojisi ile iş programı/akışı, yaklaşık maliyet ve metraj tahminlerinin gerçek sonuçlarla ve geleneksel yöntem tahminleriyle kıyaslanarak tasarım evresinde YBM kullanımının güvenilirliğinin ortaya koyulması hedeflenmiştir. Bu çalışmanın belirtilen karşılaştırmalar vasıtasıyla literatürdeki yanlış yönelimleri ortaya koyması ve eksiklere cevap vermesi amaçlanmıştır. YBM yazılımları ile oluşturulan sanal uygulama evresi, geleneksel yöntem tahmini ve gerçek uygulama evresi verilerinin karşılaştırılmasıyla literatüre katkı sağlamak hedeflenmiştir.

Literatürde konu hakkında teorik altyapılı çalışmalar oğunluktayken uygulama odaklı çalışmalar yetersiz görülmüştür. Uygulamaya dair çalışmaların bir kısmı YBM’yi geleneksel yöntemler ve BDT ile kıyaslamakla yetinmiştir. Ancak geleneksel yöntemler ve aynı prensipleri kullanan BDT yöntemlerindeki temel kusur insan hatasına açık oluşudur. Hata yapılmadan gerçekleştirildiği takdirde geleneksel yöntemler ve BDT yöntemlerinden de doğru sonuçlara ulaşılmaktadır. AEC sektörü için temel hedef, metrajlardan çıkacak süre ve maliyet tahminlerinden insan kaynaklı hatalardan kurtulmaktır. AEC sektörü için YBM yazılımlarıyla yapılacak yapım yönetimi çalışmalarının geleneksel yöntem tahminleriyle kıyaslanırken gerçek sonuçların göz

önünde bulundurulmalıdır. Gerçek uygulama evresinin yerinde gözlemlenerek elde edilen verilerin karşılaştırılmasında kullanımı çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır.

Uygulama evresi sürecinde elde edilmiş maliyet değerleri ülkemizde yaşanan enflasyon nedeniyle tutarsızdır. Çalışma sonuçlarını saptıracağı için faturalarda görülen maliyet değerleri yerine sahaya sipariş edilen malzeme miktarları kullanılmış ve birim fiyat yöntemi kullanılarak nicelleştirilmiştir. YBM yazılımlarından çalışma için tercih edilen AR yazılımı otomatik metraj vermektedir. Ancak her yapı elemanı için bu durum geçerli değildir. Çalışma kapsamında yapım maliyeti tahminleri gerçekleştirilirken, AR yazılımından otomatik metraj çıkarılan yapım faaliyetleri kullanılmıştır. AR yazılımından metraj verisi alınamayan yapım faaliyetleri tez çalışmasına dahil edilmemiştir. Ayrıca birim fiyat yöntemi için kullanılan poz numaraları, yapım faaliyetlerinin tamamı için tespit edilememiştir. Özel poz numaralarının kullanılması çalışma kapsamında uygun bulunmaması gerekçesiyle çalışmada ilgili yapım faaliyetleri yapım maliyeti tahminlerine dâhil edilmemiştir. Gerçek uygulama evresinde kullanılan malzeme miktarlarının tamamı tespit edilememiştir. Yapım faaliyetlerinden bir kısmı için ilgili meslek erbablarının çalışması daha uygun görülmüştür. Belirtilen durumlar çalışmanın sınırlılıklarıdır.

Çalışma için uygun görülen Fertek Evi'nin proje müellifi tarafından BDT tabanlı Autodesk Autocad (AA) yazılımında hazırlanmış mimari temsillerine ve proje müteahhidi tarafından geleneksel yöntemlerle oluşturulmuş süre ve metraj tahminlerine ulaşılmıştır. Autodesk Revit (AR) yazılımında 3D modeli Autodesk Navisworks (AN) yazılımında ise süre (4D) ve maliyet (5D) verileri girilmiş ve sanal uygulama evresi tamamlanmıştır. Gerçek uygulama evresinin yerinde gözlemlenmesiyle gerçek sonuçlara ulaşılmış ve tahmin sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmiştir.

Çalışmanın “Yapım Yönetimi” ve “Yapı Bilgi Modelleme” başlıklarında ilgili konular hakkında gerekli literatür verisi sunulmuştur. “Materyal ve Metot” başlığında çalışmada kullanılan materyaller ve çalışmanın metodu verilmiştir. “Bulgular ve Tartışma” başlığında geleneksel yöntem tahminleri, sanal uygulama evresinin tamamlanması, gerçek uygulama evresini ve tüm bu çalışmalardan elde edilen verilerin kıyaslanmasına yer verilmiştir. “Sonuçlar” başlığında elde edilen verilerin tamamı bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilerek tamamlanmıştır.

2. YAPIM YÖNETİMİ

Yapım yönetiminin güncel halinin kullanımı geçmiş yüzyılın başlarında yapılan çalışmalara başlamakla birlikte bazı otoriteler tarafından Çin Seddi ve Mısır Piramitleri gibi eski eserlerin yapım dönemlerine dayandırmaktadır. Tarih öncesi dönemlerde yapımı tamamlanmış iki tarihi eserde dönemine ve ait olduğu medeniyete özgü ilkel yapım yönetim teknikleri uygulanmıştır (Kır, 2007). Antik Yunan döneminde yapı komisyonu gibi oluşumlara rastlanmıştır. Oluşumlar inşaatı tamamlanacak yapı hakkında maliyet hesaplaması ile yapım sürecini tahmin etmeye çalışmıştır (Bechtel, 1973). Günümüz anlamıyla yapım yönetimi ise özellikle sanayi devrimiyle birlikte teknolojinin hızla gelişimi ve mevcut tekniklerin sorunlara çözüm bulamayışı gibi nedenlerle 20. yy. başlarında ortaya çıkmıştır (Kır, 2007).

Ulusal ve uluslararası literatürde yapım yönetimi hakkında birçok tanım yapılmıştır. Kavram hakkındaki tanımlamalar açıklamayı, önemini vurgulamayı ve kullanım alanlarını sınıflandırmayı amaçlamaktadır. Yapım yönetimi hakkında akademik ve sektörel çalışmalarda yapılmış tanımlar:

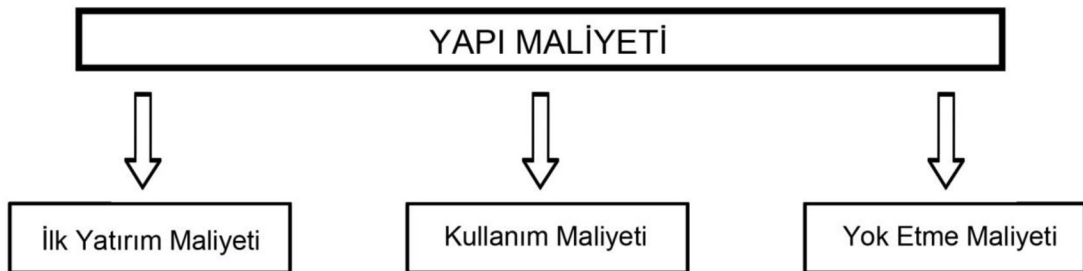
- Proje üzerinde yapım yönetimini sağlamak için tecrübe, beceri, bilgi, araç ve tekniklerin yapım faaliyetlerine uygulanmasıdır (PMBOK, 2001).
- Bir projenin beklenen düzeye ulaşması için projeye ait tüm yapım faaliyetlerinin belirli bir planlama içerisinde birçok tekniğin uygulanması ve yönetilmesi disiplini (PMBOK, 2013).
- Projelerin amaçlarına ulaşması için yapım sürecinin planlanması, organize ve kontrol edilmesidir (Lewis, 2005).
- Yapıma ait projelerin belirlenen hedefe ve amaca ulaşması için ayrılan kaynakların çeşitli tekniklerle organize edilerek yapım sürecinin gerçekleştirilmesidir (Kömürlü ve Toltar, 2018).
- Yapım faaliyetleri için gerekli çeşitli kaynakların kullanımını süre, maliyet ve kalite kısıtlamaları dahilinde tek seferlik ve karmaşık bir işin tamamlanmasını planlamak için bir araçtır (Olsen, 1971).
- Belirli bir süre ölçeğine karşı net bir hedefe ulaşan insan faaliyeti; yönetim, planlama ve değişimin kombinasyonudur (Reiss, 2013).
- Modern, endüstriyel ve ticari projelerin çeşitli yapım faaliyetlerini planlamak, koordine ve kontrol etmek amaçlarıyla kullanılan bir araçtır (Lock, 2014).
- Yapım süreci planlarını güçlü bir tek nokta altında planlamak ve kontrol etmek için özel bir planlama tekniğidir (Burke, 2013).
- Spesifik amaçlara belirlenen süre dahilinde optimum yollarla ulaşmak için kaynakların nasıl ve ne şekilde kullanılacağına belirlendiği çalışmalardır (Ece ve Kovancı, 2004).

2.1. Yapım Maliyeti

İnsanoğlunun ihtiyaç duyduğu yapıları gerçekleştirmek için harcadıkları her türlü çaba yapım bütçesini oluşturmaktadır (Bechtel, 1973). Gerçekleştirilmesi planlanan bir projenin yapım bütçesine uygunluğunun kontrol edilmesi önemlidir. Bütçeye dair kontroller yapım yönetimini beraberinde getirmiştir. Yapım yönetiminin temelini ise yapım maliyeti oluşturmaktadır. Yapım maliyeti tahmini geçmiş dönemlerde de önemli olmuştur ve günümüzde olduğu gibi yapım yönetiminde öncelik gerekli bütçenin belirlenmesi veya belirlenmiş bütçeye projenin uygunluğunun kontrol edilmesidir (Yılmaz ve Dikmen, 2012). Yapım maliyeti hakkında literatürde bulunan birkaç tanım:

- İş kalemlerinden çıkarılan metrajlar ile belirlenmiş birim fiyatlarının çarpımıyla oluşan tüm kalemlerin toplamıdır (Ashworth, 1999).
- Bir yapının oluşturulma amacına yönelik tüketilen tüm malzeme ve çalışmaların parasal değerler toplamıdır (Kuruoğlu, 2003).
- Bir yapı elde etmek üzere yapılan harcamaların toplamıdır. Girdiler için yapılan harcamalar toplamıdır (Kant ve Baykan, 2004).
- Yapı ihtiyacının tespiti ve yapı ihtiyacının sona ermesi arasında kalan süreçlerin tümünde gerçekleştirilen parasal harcamaların toplamıdır (Akinbingöl ve Gültekin, 2005).
- Tasarım evresinin bitişiyle başlanacak yapım sürecinin planlanan sürede ve beklenen kalitede tamamlanması için gerekli tüm yapım faaliyetleri parasal değerlerinin toplamıdır (Tokalakoglu, 2010).
- Projelendirilmiş bir yapının tamamlanması için gerekli fedakârlıkların parasal değerleri toplamıdır (Tarı, 2010).

İlk yatırım maliyeti, kullanım maliyeti ve yok etme maliyeti olmak üzere yapım maliyeti üçe ayrılmaktadır (Zontul, 2019) (Şekil 2.1). İlk yatırım maliyeti parasal değer anlamında en çok harcamanın yapıldığı evreyi kapsamaktadır. Harcamaların üst düzeyde olması sebebiyle akademik ve sektörel çalışmaların yoğunlaştığı evre olarak görülmektedir.



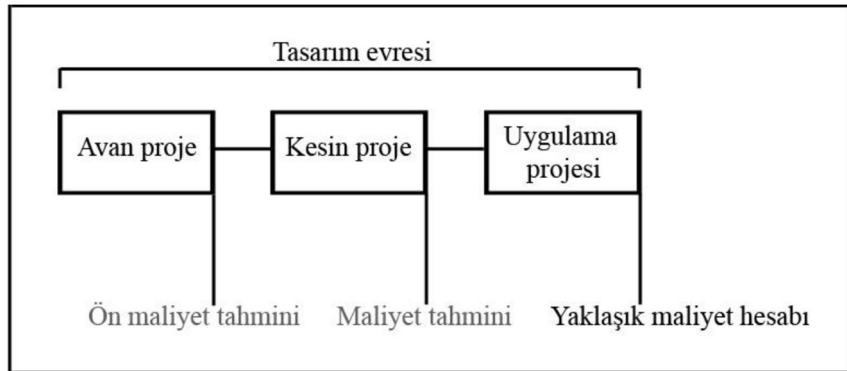
Şekil 2.1. Yapım maliyeti (Zontul, 2019)

2.1.1. Yapım Maliyeti Tahmini

Bir yapı projesinin yaşam döngüsü boyunca AEC endüstrisindeki tüm disiplinlerin ilgilendiği kritik görevlerden biri yapım maliyeti tahminidir (Ma vd, 2013). Yapım maliyeti tahmini, bir projenin yaşam döngüsünde oluşturulacak bütçe ve sağlanacak kaynakların tahsisi için ilk adım olması bakımından yapım yönetimi için hayati bir süreçtir (Hashemi vd, 2020). Yapım maliyeti tahmini, yapım yönetiminin en kilit konusudur (Firoozabadi vd, 2013). AEC sektöründe yapım maliyetlerinin yüksek olması, sektörün doğasındaki rekabet faktörü ve yapım sürecinde girdi miktarının fazla olması gerekçeleriyle yapım maliyeti tahminlerinin hızlı ve doğru bir biçimde yapılmasının önemi büyüktür (Seyyar, 2000). Yapım maliyet tahmini, bütçe kararlarını etkilemesi açısından projelerin ilk aşamasında yapılacak fizibilite çalışmalarının en önemli kısmını oluşturmaktadır (Topkaya vd, 2012). Yapım maliyeti tahmini hakkında literatürdeki bazı tanımlar:

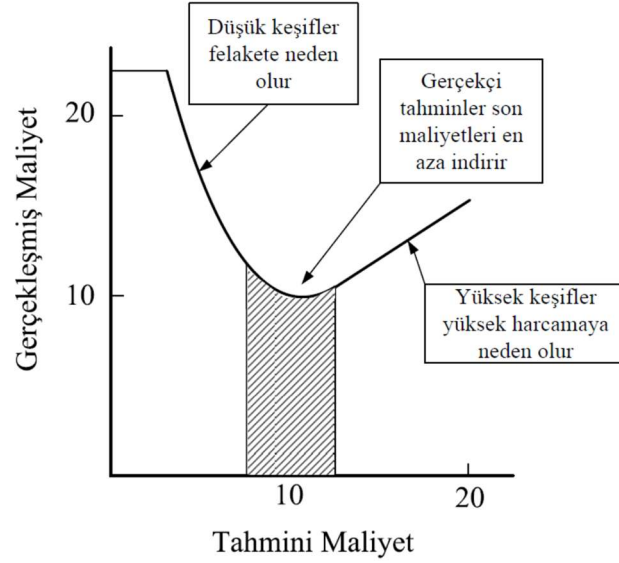
- Bir yapının maliyeti hakkında kısa dönem tahminidir (Wiley, 1957).
- Belirlenen süre içerisinde belirli koşullar altında tüm yapım faaliyetlerinin toplam maliyetlerini tespit etmek için gerçekleştirilen teknik bir süreçtir (Seyyar, 2000).

Tasarım evresindeki projeler avan proje, kesin proje ve uygulama projesi olarak üç başlıkta sınıflandırılmaktadır (Tokalakoğlu, 2010) (Şekil 2.2). Proje sınıfları arasında detay farkı bulunduğu için yapım maliyeti tahmin çalışmaları farklılık göstermektedir. Avan projeler üzerinden ön maliyet tahminleri yapılmaktadır. Belirlenen proje bütçesine uygun farklı tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan tahminlerdir. Avan proje olarak adlandırılan fikir aşamasının kâğıda dökülmesi kesin proje olarak adlandırılmaktadır. Kesin proje ile yapılan maliyet tahmini, ön maliyet tahmininden daha tutarlıdır. Tasarım evresinin başlangıcı olan avan proje ve çalışmaların devamıyla ulaşılan kesin proje bilgileri sonucu ulaşılan uygulama projesi evresinde tüm sistem detay ve kullanılacak malzeme kararları verilmiştir. Uygulama projelerinden üretilen yaklaşık maliyet hesabı tasarım evreleri arasında en detaylı metraj verilerini barındırması bakımından yapılacak yaklaşık maliyet hesabı için, ön maliyet ve maliyet tahminlerinden daha güvenilirdir.



Şekil 2.2. Tasarım evresinde yapım maliyeti tahmini (Tokalakoğlu, 2010)

Herhangi bir yapı projesinin istenen düzeyde olmasının en önemli kriterlerinden biri yapım maliyetlerinin doğru tahmin edilmesidir (Firoozabadi vd, 2013). Freiman Eğrisi ile yapım maliyeti tahminlerinin oluşturacağı sonuçları grafik haline getirilmiştir (Şekil 2.3). Yapım maliyeti tahminlerinin çok düşük veya çok yüksek olması yanlış tasarım kararlarına ve yanlış bütçe kullanımlarına sebep olmaktadır (Freiman, 1983).



Şekil 2.3. Freiman eğrisi (Freiman, 1983)

Yapım maliyeti tahmini sürecinde dikkat edilmesi gereken çeşitli faktörler mevcuttur. Faktörler dahil edilmediğinde eksik ve yanlış yapım maliyeti tahminleri yapılmaktadır. Faktörlerin yapım maliyeti tahminlerini etkilemesi projeye ait özelliklerden kaynaklanabileceği gibi projeden bağımsız olarak yapımın oluşturulacağı çevresel faktörlerden kaynaklı da olabilmektedir. Akintoye'ye (2000) göre, yapım maliyeti tahminine etki eden faktörler:

- Yapımın büyüklüğü ve karmaşıklığı,
- Proje uygulanabilirliği ve kısıtları,
- Yapım süresi ve maliyeti koşulları,
- Proje ekibinin deneyimi ve yönetsel faktörler,
- Yapım maliyeti tahmini süreci yaklaşımlarıdır.

Yapım maliyeti tahmini için mevcut çözümler tasarım modellerinin yeterli veriyi barındırdığı varsayımına dayanılarak geliştirilmektedir (Aram vd, 2014). Hatasız metraj çıkarımı, yapım maliyeti tahminlerinin doğru hesaplanabilmesi için zorunludur. Geleneksel iki boyutlu mimari temsillerden insan eliyle metraj çıkarılması hatalı sonuçlara neden olabilmektedir. YBM yazılımları kullanılarak maliyet tahmini süreçlerinin desteklenmesi ile olası hata ihtimalleri azaltılmaktadır (Gerçek vd, 2016).

2.1.2. Yapım Maliyeti Tahminin Amacı

Yapım sürecinin hedeflenen düzeyde tamamlanması için kaynakların etkin kullanılması, belirlenen sürede, maliyet limitini aşmadan ve istenen kalitede tamamlanması gerekmektedir. AEC sektörünün iç ve dış birçok faktörün etkisinde olduğu düşünüldüğünde, olumsuz etkilerinin düşürülmesi hedeflenerek başarıya ulaşılması için ilk adım fizibilite çalışmalarıdır (Topkaya vd, 2012). Yapım süreci sonunda ortaya çıkacak yapım maliyetini fizibilite çalışmaları yoluyla belirlemek, yapım maliyeti tahmininin hesaplanmasındaki amaçtır (Tokalakoğlu, 2010). Ashworth'a (1999) göre, yapım maliyeti tahmininin amacı:

- Harcamaları öngörülen bütçe dahilinde sınırlamak,
- Çeşitli yapı elemanları arasında dengeli bir harcama planına ulaşmak,
- Yaklaşık maliyet tahmini ile parasal değere sahip bir proje elde etmektir.

Günümüz AEC endüstrisi daha etkin kararlar alabilmek için gerçekçi yapım maliyeti tahminlerinde bulunmak ve yapım sürecinde oluşacak maliyet değişimlerini kontrol etmek zorundadır. Yapım maliyeti tahminleri ve kontrolü yapım yönetimi başarısında elzemdir. Yapım sürecini başarıyla tamamlamak isteyen AEC endüstrisi, yapım maliyetlerinin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlayacak yapım maliyeti tahmin sistemlerini kullanmak durumundadır.

Gerçekleştirilecek bir yapının sanal çizgilerle kurgulanması esnasında karar verilen çizgiler bütünü yapım maliyetini oluşturmaktadır. Başka bir deyişle, yapım maliyetini tasarım evresinde verilen kararlar belirlemektedir. Bu sebeple yapım maliyeti tahminin amacı tasarım evresinde bütçeye uygun değerde projeler oluşturulmasıdır.

2.1.3. Yapım Maliyeti Tahmin Hesabı

Yapım maliyeti tahmini için birim fiyat yönteminin ilk adımında, maliyet tahmincileri tarafından yapım faaliyetlerinin tanımlanmasıdır. İkinci adım, yapım faaliyetlerine göre hangi iş öğelerine ihtiyaç duyulacağının belirlenmesidir. Bu adım maliyet tahmincisinin bilgi ve deneyimini gerektirmesi sebebiyle çoğunlukla tahmin sürecindeki en az yapılandırılmış adımdır. Üçüncüsü, yapım faaliyetlerine uygun birim fiyatları barındıran bir veri tabanının seçilmesidir. Dördüncü adım, maliyet tahmincilerinin mimari temsillerden metraj çıkarmalarıdır. Son adım birim fiyatlar ile metrajların çarpılması sonucu yapımın yaklaşık maliyetlerinin hesaplanmasıdır (Lee vd, 2014). Birim fiyat yönteminde; işgücü (düz işçi, duvar ustası, demir ustası vb.) makine-teçhizat (ekskavatör, buldozer, konkasör vb.) ve malzeme (tuğla, kum, çimento vb.) yapım faaliyetlerinin tümü için uygun olan poz numarası tespit edilmektedir ve iş tanımları ile liste haline getirilmektedir. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca hazırlanan her yıl güncellenmekte olan listeler yayınlanmaktadır (Polat ve Çıracı, 2010).

Birim fiyat yöntemi ile yaklaşık maliyetin hesaplanması, yapım faaliyetleri için elde edilen metrajlar ile birim fiyatların çarpılması sonucu iş kalemlerinin maliyetlerine; ulaşılan iş kalemleri maliyetlerinin toplanması ile yapının yaklaşık maliyetine ulaşılmaktadır. İşlemler Denklem 1 ve Denklem 2’de sırasıyla belirtilmiştir (Uğur, 2007).

$$1) A [\text{Metraj}] \times B [\text{Birim Fiyat}] = M1 [\text{İş Kalemi Maliyeti}]$$

$$2) M1+M2+M3+.....+Mn = MT [\text{Yaklaşık Maliyet}]$$

Türkiye AEC sektöründe yapıların tasarım evresinde yapım maliyeti tahmin hesaplamalarında kullanılan başka bir yöntem ise birim alan maliyet yöntemidir. Birim alan maliyet yöntemi ile gerçekleştirilmesi planlanan yapım işlerinin ön maliyet tahminleri oluşturulmaktadır. Türkiye’de belirtilen yöntemin kullanımında birim alan maliyetleri için T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca hazırlanmış birim alan verileri kullanılmaktadır. Yapıların fonksiyonlarına göre gruplandırılmış olan birim alan maliyetleri, her yıl açıklanan enflasyona göre güncellenmektedir. Bu yöntem pratik olması ve projenin tasarım evresinin tamamlanmasına ihtiyaç duyulmaması bakımından yaygın olarak tercih edilmektedir (Bayram vd, 2016).

Birim alan maliyeti yöntemi ile yaklaşık maliyetin hesaplanması, yapımın tüm yapım faaliyetleri için hesaplanan proje alanı ile bakanlık tarafından oluşturulmuş birim alan maliyeti çarpılarak yaklaşık yapım maliyeti hesaplanmaktadır. Birim alan maliyet yönteminde inşaat alanının baz alınması bakımından yapım faaliyetleri tamamen farklı, proje alanı aynı olan iki yapım için sonuçlar elde edilmektedir. Bu sebeple birim alan maliyet yöntemiyle hesaplanan yaklaşık maliyetler ile gerçekleşen yapım maliyetleri arasında ciddi farklılıklar oluşmaktadır (Bayram vd, 2016).

2.2. Yapım Süreci Planlaması

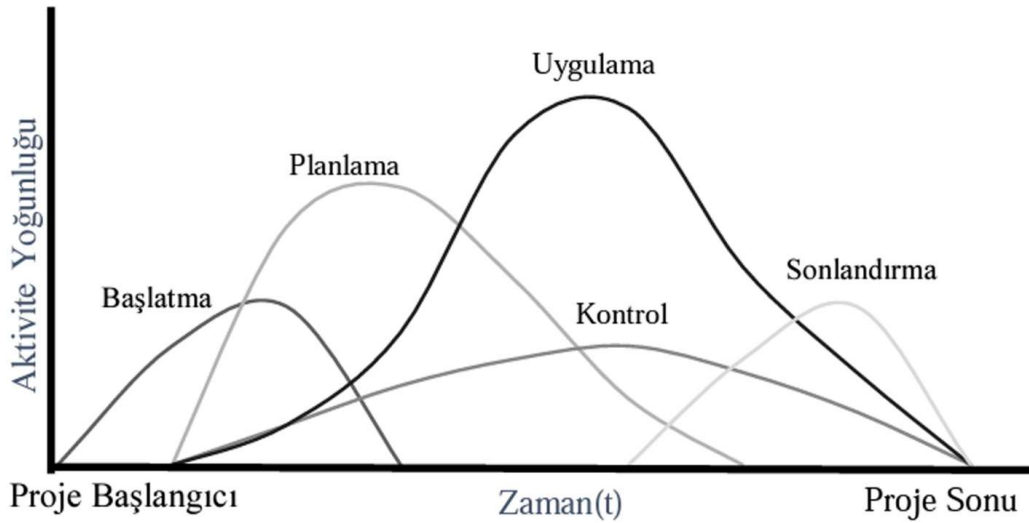
Yapım sürecinin planlanması AEC sektörü için vazgeçilmez bir unsurdur. Planlamanın temel amacı yapım faaliyetlerine ait zaman aralıklarının tahmin edilmesidir (Özdemir, 1997). Yapım süreci planlaması; yapım kapsamının belirlenmesi ve yapım faaliyetleri için sürelerin hesaplanması sürecidir. Süre tahminleri yapım konusunda uzman olan kişi veya kişilerden gelmektedir. Yapım faaliyetlerinin süre tahminleri genellikle kademeli olarak detaylandırılması yoluyla tahminin istenen kalitede olduğu varsayılmaktadır (PMBOK, 2000). Yapım süreci planlaması:

- Kaynakların etkin kullanılmasını,
- Verimliliğin artırılmasını,
- Maliyetlerin azaltılmasını,
- Beklenmedik durumların ve proje paydaşlarının organizasyonunu sağlamaktadır (Ezcan vd, 2011).

2.3. Yapım Yönetimi Evreleri

Yapım yönetimi birbirlerini takip eden, etkileşim halinde olan ve tamamlayan beş ayrı evreden oluşmaktadır (Kömürlü ve Kuzu, 2022). Yapım yönetimi evrelerinin yapım süreci içerisinde yoğunluklarının değiştiği ve birbirleri ile kesiştikleri görülmektedir (PMBOK, 2013) (Şekil 2.4). Yapım yönetimi evreleri sırasıyla;

- 1) Başlatma Evresi: Yapım işinin belirlendiği, gerekli fizibilite çalışmalarının ve değerlendirmelerin yapıldığı evredir. Fizibilite çalışmaları yapım sürecindeki kaynak ve yapım maliyeti kontrolü üzerine yapılmaktadır. Fizibilite çalışmaları sonucunda en uygun tasarımın yapımına başlanmaktadır. Çalışmalar neticesinde basitçe bir yapım süreci planlaması ortaya çıkarılmaktadır (Coşkun ve Ekmekçi, 2012).
- 2) Planlama Evresi: Yapım faaliyetlerinin planlandığı, proje paydaşlarına yapım süreci planının detaylı bir şekilde sunulduğu evredir (Kerzner, 2003). Yapım süreci planlaması ile yapım hedeflerine nasıl ulaşılabileceği belirlenmektedir (Burlton, 2001). Özetle, yapım yönetimi tekniklerinin kullanıldığı evredir.
- 3) Uygulama Evresi: Yapım süreci planına göre yapıma başlanan evredir (Gültekin, 2007). Bu evrede planlanan yapım faaliyetleri ilgili iş birimlerine dağıtılarak yapıma başlanmaktadır.
- 4) Kontrol Evresi: Uygulama evresinin belirli zaman aralıklarında yapım faaliyetine uygun inşaat araçlarıyla takip edildiği evredir. Uygulama evresi süresince yapım süreci planından oluşan sapmalar tespit edilmektedir. Sapmaların olumsuz etkileri tespit edilerek süre, maliyet ve kalite kriterlerine göre yapım süreci planı revize edilmektedir (Cleland ve Ireland, 2002).
- 5) Sonlandırma Evresi: Yapım sürecine nokta konulan evredir. Yapım sürecinin genel değerlendirilmesi yapılmaktadır.



Şekil 2.4. Yapım yönetimi evreleri arasındaki ilişki (PMBOK, 2013)

2.4. Yapım Yönetimi Teknikleri

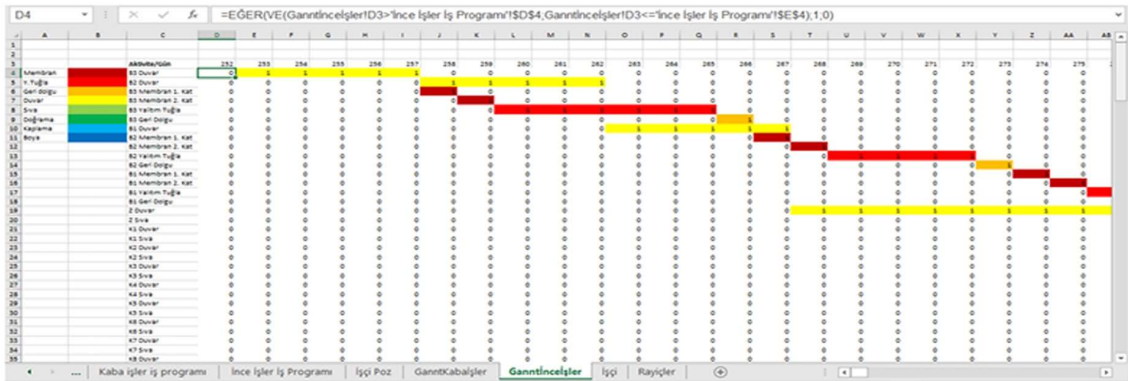
Yapım yönetim teknikleri, yapım faaliyetlerine dayanan şematik gösterim teknikleridir. Yapım sürecinin etkin bir şekilde kontrolünü sağlamaktadır. Planlanma evresinden sonlanma evresine kadar kullanılmaktadır (Coşkun ve Ekmekçi, 2012). Yapım yönetiminde ihtiyaç duyulan gereksinimler ve gelişmeler doğrultusunda farklı tekniklerde diyagram kullanılmaktadır. Kömürlü ve Onur'a (2022) göre yaygın olarak kullanılan başlıca yapım yönetimi teknikleri:

- 1) Çubuk Diyagramları (Gantt)
- 2) Ağ (Şebeke) Diyagramları (PERT-CPM)
- 3) Kutu Diyagramları
- 4) Denge ve Devre Diyagramlarıyla Planlama
- 5) Kaynak Dağılımı ve Kaynak Atama Yöntemleri

Yapım yönetiminde çubuk ve ağ diyagramları yaygın olarak kullanılmaktadır. Çubuk ve ağ diyagramları ile anlaşılması zor olan kompleks projelerde yapım faaliyetleri öncelik ve önemlerine göre planlanarak süre, maliyet ve kalite kriterleri açısından belirlenen hedeflere ulaşılması amaçlanmaktadır (Trietsch ve Baker, 2012). 1917 yılında Henry Gantt, çizelgelemede büyük kolaylıklar sağlayan Gantt Diyagramını geliştirmiştir (Kır, 2007). Gantt diyagramının geliştirilmiş halleri olarak nitelendirilen CPM ve PERT diyagramları ise 1950'li yıllarda geliştirilmiştir (Özkan, 2005). Yapım yönetim tekniklerinden CPM ve PERT, Gantt tekniğinde bulunmayan faaliyetler arasındaki sıra ve öncelikleri planlamayı sağlamaktadırlar. Ancak CPM ve PERT teknikleri basitleştirilmiş Gantt diyagramlarıdır (Kır, 2007).

2.4.1. Gantt Diyagramı

Henry Gantt tarafından oluşturulan, kendi ismini verdiği bir yapım yönetimi tekniğidir (Kır, 2007). Gantt diyagramı, bir zaman çizgisi boyunca yapım faaliyetleri için başlangıç ve bitiş zamanlarının belirlenmesi ile oluşturulmaktadır (Şekil 2.5).



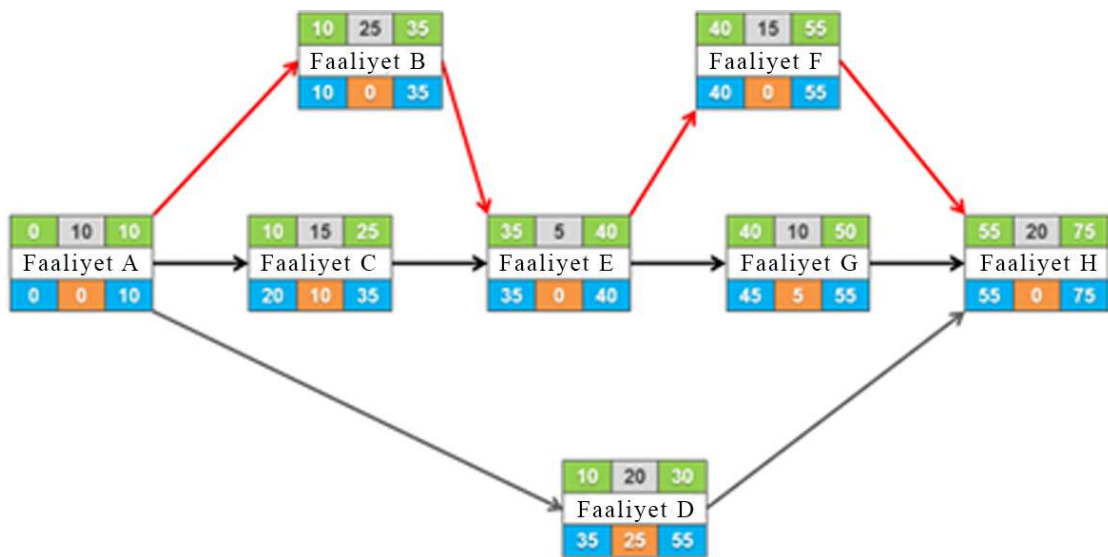
Şekil 2.5. Gantt diyagramı (Bettemir vd, 2019)

Gantt diyagramları herhangi bir zamanda hangi aktivitenin gerçekleştirileceğini gösteren çalışması kolay bir tekniktir (Heizer vd, 2008). Yapım faaliyetleri üstten alta, faaliyet süreleri soldan sağa sıralanmıştır. Gantt tekniğinde süre çizgisi boyunca sıralanan yapım faaliyetleri için gerekli süre yatay barlar ile temsil edilmektedir (Evans, 1997). Yatay çubuğun uzunluğu faaliyetin ne kadar süre içerisinde tamamlanması gerektiğini göstermektedir (Wilkes, 1993).

Hızlı ve kolay bir şekilde uygulanabilen Gantt tekniği, yapım sürecini yönetmek ve süreç içerisindeki problemleri tespit etmek için tercih edilmektedir. Ancak kapsamlı projeler için verimli değildir. Gantt diyagramlarının doldurma, blok ve sembol olmak üzere üç farklı gösterim biçimi bulunmaktadır (Kömürlü ve Kuzu, 2022).

2.4.2. CPM Diyagramı

CPM, “critical-kritik”, “path-yol” ve “method-yöntem” biçiminde bir kısaltmadır. CPM diyagramları kapsamlı ve büyük ölçekli yapım süreçlerini planlamak için geliştirilmiştir. Proje faaliyetlerinin hem düşük maliyetle hem de hedeflenen sürede ulaşılması için gereken kritik yolun oluşturulması prensibiyle çalışan bir yapım yönetimi tekniğidir (Şekil 2.6). İlk kullanım yeri 1950 yılında bir tesis projesidir. CPM tekniğiyle proje faaliyetlerinin öncelik sırası ve süreleri belirlenerek yapım süreci planlanmaktadır. CPM ile yapım sürecinin planlanabilmesi için faaliyet süreleri biliniyor olmalıdır (Yıldız, 2015). CPM diyagramı, karmaşık yapım faaliyetlerinin planlanması ve kontrol edilmesinde faydalı bir proje yönetim tekniğidir. CPM diyagramı, yapım faaliyetleri arasındaki ilişkilerin ve sürelerin göz önünde bulundurularak planlanmasını ve proje paydaşlarına sunulmasını sağlamaktadır. Belirtilen gerekçelerle AEC sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır (Kömürlü ve Kuzu, 2022).

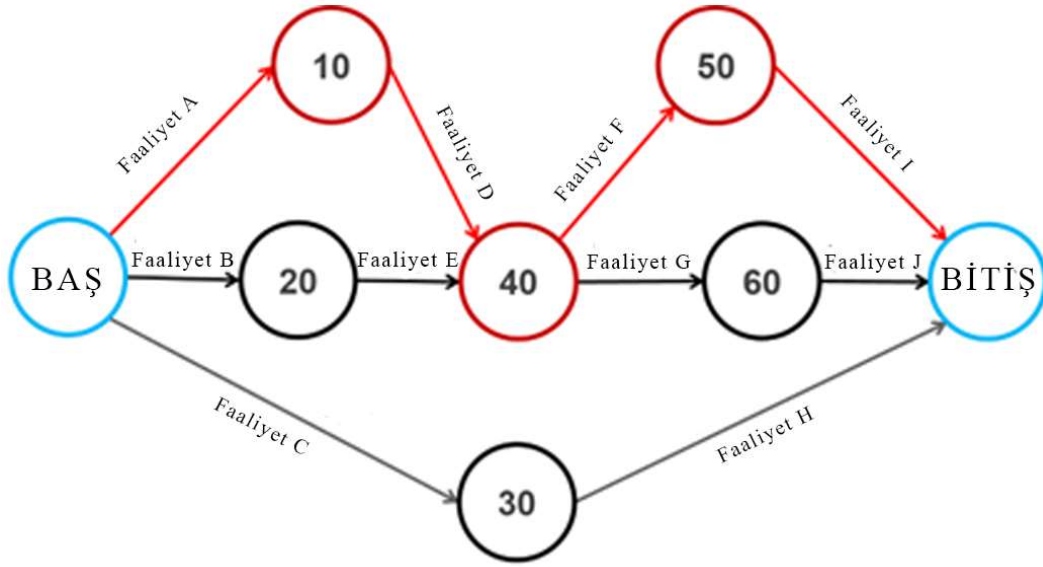


Şekil 2.6. CPM ağ diyagramı (URL-1)

2.4.3. PERT Diyagramı

PERT, “program-program”, “evaluation-değerlendirme”, “and-ve”, “review-inceleme” ve “technique-teknik” biçiminde bir kısaltmadır. PERT diyagramı süre ve maliyet açısından farklı ihtimallerin bulunduğu projeler için tercih edilen bir yapım yönetimi tekniğidir (Yalkı, 2009). PERT diyagramı, yapım süreci planlamasında yapım faaliyetlerinin sürelerini, uygulanma sıralarını ve hangi faaliyetlerin aynı anda yürütülebileceğini olasılıklar dâhilinde proje paydaşlarına görsel olarak anlatan bir yapım yönetimi tekniğidir (Kömürlü ve Kuzu, 2022).

PERT tekniğiyle hazırlanmış bir diyagram her bir proje faaliyeti için üç farklı süre tahmini barındırmaktadır (Şekil 2.7). Her tahminin gerçekleşme olasılığı bulunmaktadır ve faaliyet zamanlarının beklenen değerlerinin ve standart sapma hesaplarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Kır, 2007). Üç farklı süre tahmini, yapım faaliyetlerinin tamamlanmasında oluşabilecek olumsuz koşulların gerçekleşme ihtimallerinin en yüksek, ortalama ve en düşük halleriyle yapılan süre tahminleridir (Albayrak, 2005).



Şekil 2.7. PERT ağ diyagramı (URL-1)

2.4.4. Yapım Yönetimi Tekniklerinin Tercihi

Yapım yönetimi teknikleri kullanım amaçlarına göre değerlendirildiklerinde karmaşık olmayan ve yapım faaliyetlerinin süreleri belirlenebilen projelerde Gantt diyagramının; görece daha karmaşık ancak yapım faaliyet süreleri tahmin edilerek tespit edilecek yapım işlerinde PERT diyagramının; yapım faaliyet sürelerinin tahmin edilebildiği karmaşık projelerde CPM diyagramının tercih edilmesi teknik anlamda daha doğru olmaktadır. CPM diyagramı, Gantt diyagramı ile karşılaştırıldığında planlama ve uygulama açısından daha fazla hesaplama yapılması

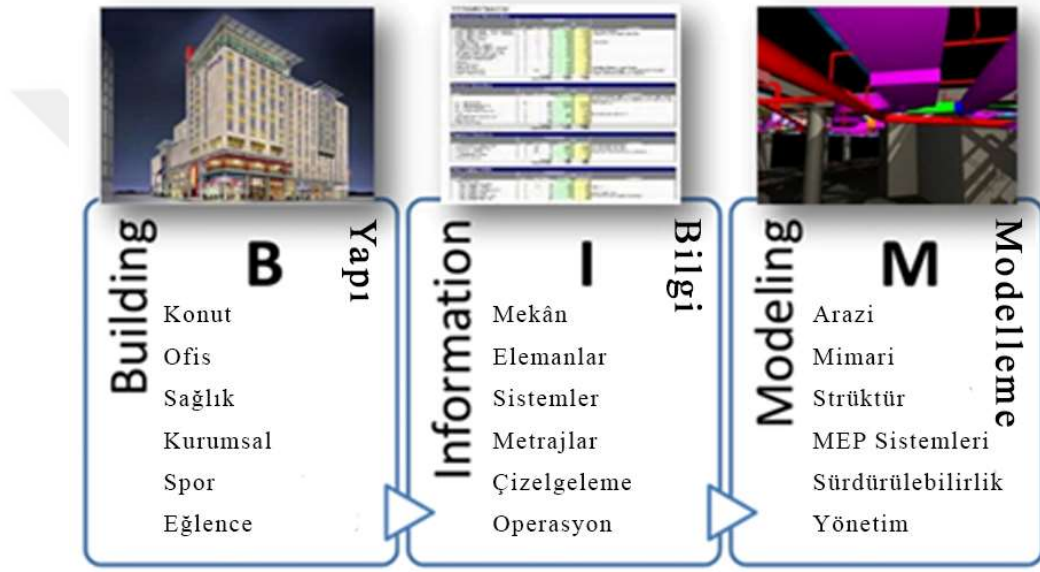
tekniki daha karmaşık hale getirmektedir. Ancak projenin türü bakımından en uygun tercih olduğunda verimli sonuçlar alınmaktadır (Kömürlü ve Kuzu, 2022). Gantt diyagramlarına dayanan PERT diyagramları ise faaliyetler arasındaki ilişkileri detaylandırması ve aynı yapım faaliyeti için farklı süre tahminlerine açık olması bakımından Gantt diyagramının gelişmiş hali olarak değerlendirilmektedir (Yıldız, 2015). PERT diyagramı yapım faaliyetleri için farklı süre tahminleri yapabilme yeteneğine sahip olduğu için olasılık arz eden projelerde tercih edilmektedir (Pontrandolfo, 2000).

Faaliyet süresi tam bilinmeden planlama imkânı sunması PERT diyagramlarının kapsamını CPM diyagramlarından daha geniş kılmaktadır. CPM diyagramlarında faaliyet sürelerinin net biçimde bilinmesi PERT tekniği ile arasındaki temel ayrımdır (Kır, 2007). Projelerde yapım faaliyetlerine ait sürelerin tahmin edilmesinde; PERT tekniği farklı ihtimallere göre şekillenirken CPM tekniğinde tek değer kullanılmaktadır (Trietsch ve Baker, 2012). CPM ve PERT; büyük ve karmaşık projelerin yönetilmesinde önemli avantajlar sunmaktadır. GANTT diyagramları ise yapım faaliyetlerine ait sürelerin görselleştirilmesiyle yapım sürecini özetlemek için kullanılmaktadır (Kır, 2007).

Gantt, CPM ve PERT diyagramlarının dezavantajları, uygulama projesi seviyesinde kullanıldığında verim alınmasıdır. Belirtilen yapım yönetimi tekniklerinde yapım faaliyetleri arasındaki bağlantıların, sürelerin ve malzeme miktarlarının bilinmesi gerekmektedir (Odabaşı, 2009). Ayrıca gerekli veriler elde edilse dahi elde edilecek sonucun doğruluğu yapım plancısının bilgi ve tecrübesine bağlıdır (Helvacı, 2008).

3. YAPI BİLGİ MODELLEME

Türkçeye YBM kavramı “building-yapı”, “information-bilgi” ve “modelling-model” Building Information Modelling (BIM) biçiminde çevrilmiştir. Her kavramın YBM içerisinde temsil ettiği terimler ve YBM yazılımlarıyla kontrolünün sağlanabileceği yapı yönetim türleri Şekil 3.1’de verilmiştir. Sanal Prototipleme Teknolojisi veya nD Modelleme olarak da adlandırılan YBM, AEC endüstrisini hızla şekillendiren devrim niteliğinde bir gelişmedir. YBM hem bir teknoloji hem de bir süreçtir (Azhar vd, 2012).



Şekil 3.1. Yapı bilgi modellemenin görsel temsili (Azhar vd, 2012)

Günümüzde kullanılan bu tanımlarla birlikte, YBM’nin ne kavram ne de terminoloji olarak kullanımı yeni değildir. Bugün YBM olarak tanımladığımız yaklaşımlar ve metodolojiler yaklaşık otuz yıl öncesine dayanmakta, “Yapı Bilgi Modelleme” en az on beş yıldır kullanılmaktadır. 1980’lerin başlarında bu yöntem veya yaklaşım, ABD’de “Yapı Ürün Modelleri” ve Avrupa’da “Ürün Bilgi Modelleri” olarak tanımlanmıştır. Bu terminolojide zamanla, yinelenen ürün terimi terk edilerek “Yapı Ürün Modeli” ve “Ürün Bilgi Modeli” kullanımlarının yerini “Yapı Bilgi Modelleme” almıştır (Eastman vd, 2011).

Proje maliyetini azaltmak/tahmin etmek ve proje teslim/inşaat süresini azaltmak AEC endüstrisinin ulaşmak için uzun süredir çaba sarf ettiği ve asla doyum noktasına ulaşamayacak bir idealdir. Yapı bilgi modellemesi, projeleri sanal olarak tasarlamının ve yönetmenin yenilikçi bir yolu olarak ortaya çıkmıştır. YBM ile inşaat projesinin sanal ortamda dijital olarak oluşturabilmekte ve yapılmak istenen analizler için simülasyonlar oluşturulabilmektedir (Eastman, 1999).

YBM'yi verimli kullanmak için ne olduğunu, hangi amaçla oluşturulduğunu, hangi ihtiyaca cevap verdiğini ve bunu nasıl yaptığını doğru anlamak önemli bir adım olacaktır. Ulusal ve uluslararası literatürde YBM hakkında birçok tanım yapılmıştır. Derlenen tanımların kaynakları konu hakkında akademik çalışmalar yapan bireyler ve AEC endüstrisine çalışan kişi ve kurumlar olarak değerlendirilebilir:

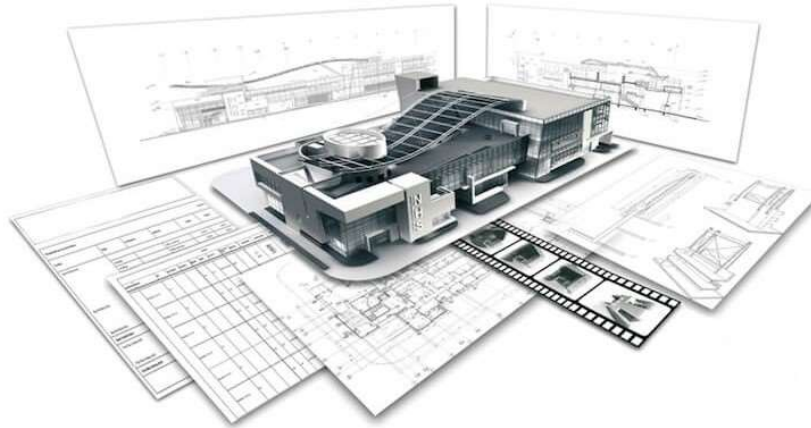
- Bir yapının tasarım, inşaat, imalat ve satın alma faaliyetlerini desteklemek için yapının bir veya daha fazla sanal (sayısal) modelinin oluşturulmasını sağlayan en umut verici gelişmelerden biridir (Eastman vd, 2011).
- Sanal ortamda yapının inşa edilmesi, AEC sektörü paydaşları için koordinasyon sağlanması ve yapım sürecinin yönetilmesidir (Azhar vd, 2009).
- Yalnızca 3D akıllı nesneler kullanmak değildir, aynı zamanda iş akışında ve proje teslim süreçlerinde önemli değişiklikler yapmaktır, bir süreç ve yazılımdır (Hardin, 2009).
- Bir tesisin tasarımını, yapımını ve yapım sürecini bilgisayar yardımıyla simüle etmek için sanal bir model oluşturulmasıdır. Tasarım evresindeki yapının sanal modeliyle sanal simülasyonunun oluşturulmasını amaçlayan bir teknolojidir (Takim vd, 2013).
- Yapı elemanlarının 3D modellerinden oluşan, yapının yaşam döngüsü ile ilgili tüm bilgileri barındıran bir çeşit simülasyondur (Kymmell, 2008).
- Akıllı nesnelere sahip model ve bulut platformuyla ulaşılan; yapı ömrü boyunca dijital gösterimini elde etmek için yapılandırılmış ve AEC sektörü disiplinlerinden ulaşılmış verileri bir araya getiren yapımı tamamlanacak proje için bütüncül bir veri üretme ve yönetme teknolojisidir (Autodesk, 2023).
- Esas olarak, bir varlığın tüm yaşam süreci boyunca ortak paylaşılan 3D modellere eklenmiş akıllı ve yapılandırılmış verilerin yaratılması, harmanlanması ve değiş tokuşuyla desteklenen, değer yaratan bir iş birliğidir (BIMTG, 2013).
- Bir yapının inşasını ve yaşam sürecini simüle etmek için sanal ortam modelinin üretilmesi ve kullanılmasıdır (AGC, 2005).
- Bir tesisin fiziksel ve tasarımsal özelliklerinin sanal ortam temsilidir. Bir tesisin yaşam süreci için güvenilir bir bilgi kaynağıdır (NBIMS, 2010).
- Yapıları tasarlamayı, inşa etmeyi ve sürdürmeyi dijital teknolojileri kullanarak daha verimli hâle getiren ortak bir çalışma yöntemidir (HM Government, 2012).

YBM, AEC endüstrisindeki en umut verici ve güncel gelişmelerden biridir. YBM teknolojisi ile yapının doğru bir sanal modeli dijital olarak oluşturulmaktadır. AEC sektörü paydaşları için uygulama evresinde karşılaşılabilecek herhangi bir sorunun tespit amacıyla simüle edilmiş bir ortamda neyin inşa edileceğini görselleştirmektedir (Azhar, 2011). Bu sayede yapı, gerçek bir inşaat alanı üzerinde uygulamadan önce bilgisayar ortamında sanal olarak inşa edilmektedir (Doğan ve Polat, 2016).

YBM, yapıya ait ilgili grafik (geometri/biçim vb.) ve öznitelik (malzeme, maliyet, fiziksel çevre kontrolü vb.) verileriyle oluşturulmuş 3D modelin meydana getirilmesiyle modelin AEC sektörü disiplinlerince ortak kullanımını amaçlayan bir çalışma prensibidir (Ofloğlu, 2014). YBM yazılımlarına ait model; yapının fiziksel özellikleri, işlevsel özellikleri ve proje yaşam döngüsü bilgileri dahil olmak üzere yapı ile ilgili bir dizi akıllı nesneyi içinde taşımaktadır (Azhar vd, 2012). Bir YBM modelinde yapı elemanlarını oluşturan akıllı nesneler bir araya getirilerek projeden sanal yapı oluşturulmaktadır (Ofloğlu, 2016). Yapı bilgi modelleme teknolojisi:

- Konsept, fizibilite ve tasarım çalışmalarında avantaj,
- Yapı performansı ve kalitesinde iyileşme,
- Projelerde entegrasyon ile iş birliği,
- Gerçekçi tasarım aşaması süreci,
- Mimari temsillerin ortak çalışması ile kolay revizyon,
- Tutarlı 2D mimari temsilleri,
- Tasarım aşamasında otomatik metraj çıkarımını,
- Enerji verimliliğini,
- Sürdürülebilirlik ve
- Yapım süreci planlamasında kolaylıklar sağlamaktadır (Eastman vd, 2011).

Dijital simülasyonu oluşturulacak 3D model üzerinde AEC sektör disiplinlerinin birlikte çalışabilmesi ve projeye ait 2D mimari temsillerinde yapılan revizyonların diğer mimari temsillere anlık bir biçimde yansması ile sektör paydaşları arasındaki iletişim kopukluklarından doğabilecek tasarım hatalarının önüne geçilmektedir (Şekil 3.2). YBM yazılımlarıyla uygulama evresine geçmeden tasarım evresindeyken düzeltme yapılması imkânını sağlamaktadır. YBM hızlı belgelendirme, doğru süre, maliyet, çakışma ve enerji analizleri ile kullanıcılara yeni bir çalışma prensibi sunmaktadır (Ofloğlu, 2016).



Şekil 3.2. Yapı bilgi modelleme çalışma prensibi (URL-2)

AEC sektörünün gelişmiş olduğu ülkeler, faydaları nedeniyle YBM yazılımlarını kullanmak istemekte ve kendi sektörlerine dahil etmek için çalışmaktadır. Yazılımlar sayesinde bir projenin tasarım aşamasında alınacak önlemlerle süre ve maliyette tasarruf sağlanmaktadır. Türkiye'deki inşaat sektörü YBM çalışmalarının farkındadır. Ancak YBM'nin Türkiye'deki kullanım oranı yazılım maliyeti ve personelin eğitim gereksinimi gibi olumsuzluklar nedeniyle düşüktür (Ergen ve Bettemir, 2022).

3.1. Bilgisayar Destekli Tasarımdan (2D) Yapı Bilgi Modellemeye (3D) Geçiş

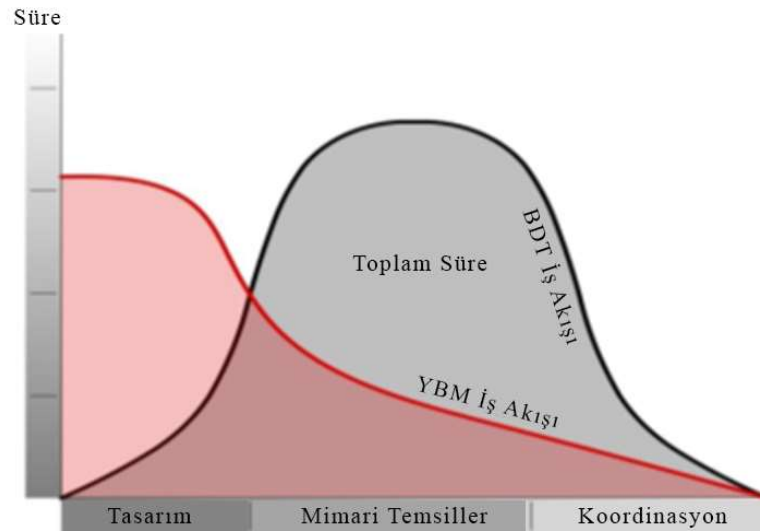
Gelişen teknoloji ile AEC sektöründe, yapım sistemleri, yapı malzemeleri ve yapım yöntemi süreçlerinde önemli değişiklikler olmuştur. Geleneksel yöntemlerle yapılan çizimler proje oluşturma sürecini uzatmakta, maliyeti ve iş yükünü arttırmaktadır. Geleneksel yöntemlerin yerine gelen Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT), dönemi için devrim niteliğinde kabul edilmektedir. El çizimlerinden bilgisayara geçiş büyük kolaylıklar getirirse de mimari temsillerin oluşturulmasındaki prensiplerde farklılık yoktur. Günümüzde popülerliği artarak devam eden Yapı Bilgi Modelleme (YBM), dönemi için yine devrim niteliğindedir (Biçer vd, 2021).

Geleneksel çizim yöntemlerini geliştirmek ve AEC sektörünü desteklemek amacıyla ortaya çıkan BDT; plan, kesit ve görünüş gibi mimari çizim temsillerinin oluşturulması için daha kolay bir çizim ortamı sağlamış, projelendirme sürecini hızlandırmış, veri korunumunu ve paylaşımını arttırmıştır. Ancak mimari çizim temsillerinin oluşturulmasında sağladığı kolaylıkları, yerine geçtiği geleneksel yöntemler ile benzer süreç ve prensiple devam ettirmektedir (Ofloğlu, 2014). AEC sektörünün değişim süreçleri incelendiğinde, projelerin oluşturulması için geleneksel yöntem çalışmalarıyla tasarım evresinin tamamlanmasının sebep olduğu süre kayıpları, fazladan maliyetler ve iş yoğunlukları vb. nedenlerle BDT sistemlerine geçilmesi, AEC sektörü için oldukça kritik bir değişimdir (Zontul, 2019).

AEC endüstrisinin beklentileri her geçen gün değişmekte ve artmaktadır. BDT sistemlerinin kullanım sürecinde zamanla inşa edilecek yapının süre, maliyet ve enerji analizlerine göre proje tasarımlarının üretimi ihtiyaç haline gelmiştir. Bilgisayar yoluyla yapılan çalışmaların süreç ve prensipleri geleneksel sistemlere dayandığı için günümüz ihtiyaçlarını BDT karşılayamamıştır. BDT sistemleri, yapıyı oluşturan elemanların geometri ve konum verilerini içeren mimari temsilleri oluşturmak için gerekli dijital dile sahip olmasına rağmen yapının uygulanabilirliği için önemli görülen öznitelik verilerinin girişine uygun değildir. BDT yazılımlarının öznitelik verilerini yapı modeli ile bütünleştirememesi çoğu kez ayrı modeller oluşturulmasını mecbur kılmaktadır (Ofloğlu, 2014). AEC endüstrisi paydaşları arasında oluşan iletişimsizlikler ve planlama evresinde koordinasyon sağlanamamasından kaynaklanan süre ve maliyet kayıpları yeni bir yapım süreci planlanmasını veya başka bir söylemle yeni bir otomasyon sisteminin oluşmasını desteklemiştir (Karagöz, 2019).

AEC sektörü, çalışma niteliklerinin artması ile teknik çizim amaçlı kullanılan BDT yazılımlarından malzeme ve imalatlar ile ilgili öznel bilgilerin kaydedilip işlenebildiği YBM yazılımlarına geçiş yapmaktadır (Bettemir ve Bulak, 2022). YBM, 2D mimari temsillerden 3D mimari modellere geçişi sağlamaktadır (Levy, 2018). Teknolojinin gelişmesiyle Türkiye inşaat sektör paydaşları yapım sürecinde efektif planlama ve tasarım evresini sağlamak adına BDT prensipli çalışmalardan YBM tabanlı çalışma yöntemlerine yönelmektedir (Bayram, 2020). Günümüzde yaygınlığı artmakta olan YBM'yi doğru anlamak ve etkin bir biçimde kullanmak için geçmiş yöntemleri ve YBM'nin çıkışı ile getirdiği kolaylıkları ne amaçla ve nasıl sağladığını anlamak gerekmektedir.

3D modeller mekânsal çatışmaların doğrudan gözlemlenmesine uygun ortamı sunmaktayken 2D mimari çizim temsilleri sunamamaktadır (Eastman, 1975). YBM'ye geçiş çalışmalarının verimliliği ve elde edilecek sonuçlarda değişimlerin yanı sıra AEC sektörü paydaşlarının tasarım evrelerindeki iş yükünde de değişimler tespit edilmiştir. BDT'de ağırlıklı çalışma belgeleme evresinde görülürken, YBM'de ağırlıklı çalışmanın tasarım kısmında olduğu görülmüştür. YBM'nin iş akışında tasarım kısmına yoğunlaşmanın sebepleri; nesne tabanlı çalışma prensibi, revizyonların tüm mimari temsillerde anlık olarak güncellenmesi ve modele girilen her veriden otomatik sonuç alınmasıdır (Şekil 3.3) (Kulkarni ve Mhetar, 2017).



Şekil 3.3. Tasarım evresinde iş akış grafiği kıyaslaması (BDT-YBM) (Kulkarni ve Mhetar, 2017).

YBM'nin BDT yerine tercihinin sebepleri ve yapım yönetimi sürecine sağladığı kolaylıklar kısaca özetlenecek olursa; AEC sektörü paydaşları için ortak çalışma ortamı sağlaması, 2D mimari çizim temsilleri yerine 3D modellerle çalışma imkânı sunması, revizyonları kolaylaştırması ve nesnelere öznel verilerinin girişiyle süre, maliyet enerji ve çakışma analizlerinin oluşturulmasıdır.

Günümüz AEC sektöründe süre, maliyet ve kalite optimizasyonu en temel gerekliliktir. Özellikle yapım süreci planlamasında alınan kararlar, süreç esnasında oluşabilecek sorunların minimuma indirgenmesi bakımından oldukça önemlidir. Metraj verilerinin tutarlılığı yapım maliyeti ve süreci tahminlerinin doğruluğu açısından temel koşuldur. Metraj çıkarımında yapılan hatalar yapım süreci planlamasının hatalı hazırlanmasına sebep olmaktadır. Geleneksel metraj yöntemleri insan kaynaklı hatalara açık, sıkça hatalara rastlanan ve proje detayına bağlı olarak uzun süreler alan yöntemlerdir. Türkiye'deki AEC sektörü paydaşları etkin yapım süreci planlamaları yapabilmek amacıyla BDT sistemlerinden YBM teknolojisine geçiş yapmaktadır. Ancak Türkiye AEC sektörünün geleneksel ve içe kapanık çalışma sistemleri YBM teknolojisine geçişi yavaşlatmaktadır (Bayram, 2020).

3.2. Yapı Bilgi Modelleme ile 4D ve 5D

İnşaat sektörünün karşılaştığı ortak sorunlar süre gecikmeleri ve maliyet aşımalarıdır. Süre ve maliyet aşımalarının oluşmasının temel sebebi yetersiz girdiler ve bilgi paylaşımı eksiklikleridir. YBM, AEC sektöründeki süre ve maliyet sorunlarına cevap vermektedir. 5D YBM, yapım yönetimini desteklemektedir. YBM'nin süre ve maliyet kontrolü için kullanımı AEC sektörünün bir ihtiyacıdır. (Kulkarni ve Mhetar, 2017). 5D modeller, YBM yaklaşımının önemli bir parçası olarak kabul edilmektedir (Smith, 2014). YBM, öznitelik verilerinin girişi ile bir yapım projesinin 5D dijital temsidir. Yapı elemanlarının parametrik kurallarını ve öznitelik verilerini ile içeren akıllı nesnelerle oluşturmaktadır. YBM ortamında oluşturulan 3D modeller genişlik, yükseklik ve derinlik bilgilerini içerirken, 4D modeller süre verilerini ve 5D modeller maliyet öznitelik verilerini barındırmaktadır (Logothetis vd, 2017). Başka bir deyişle YBM yazılımları yoluyla oluşturulan 5D modeller, oluşturulan proje hakkında ne, ne zaman ve ne kadar sorularına cevap vermektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. YBM tabanlı 5D modelin sunduğu veriler (URL-3)

YBM yazılımlarında oluşturulan 4D veya 5D modeller vasıtasıyla süre ve maliyet tahmini, bir yapının tasarım evresinde kullanıldığında minimum süre ve maliyetli projeler ortaya çıkmaktadır. YBM, bir yapım işi için çeşitli alternatifleri simüle etme yeteneğine sahip olduğu için güvenilir süre ve maliyet tahminlerinin oluşturulmasını sağlamaktadır (Rokooei, 2015). 4D ve 5D modellerin AEC sektöründe tercih edilmesi; yapım sürecini planlamasının geleneksel yollarla yapıldığında ortaya çıkan zaman kayıplarını ve insan kaynaklı hataları eninde sonunda azaltacaktır (Kraus, Watt ve Larson, 2007).

3.2.1. Süre Tanımlı (4D) Modelleme

YBM yazılımları ile yapının 3D modelindeki nesnelere “süre” ögesinin işlenmesiyle oluşturulan yeni model 4D olarak tanımlanmaktadır. Yapım sürecinin planlanması için YBM yöntemiyle 4D modellenmiş mimari projeler tercih edilmektedir. Farklı yapım faaliyeti senaryolarını analiz etmek ve optimum iş akışı oluşturmak için kullanılmaktadır. Tasarım evresinde oluşturulan yapım süreci tahminleri ile uygulama evresi kontrol edilmektedir. (Kulkarni ve Mhetar, 2017). Eastman’a vd. (2011) göre yapım sürecinin planlanmasında 4D modeller oluşturmak için üç farklı yol bulunmaktadır:

- 1) 3D veya 2D projenin mimari temsillerinden elle çıkarımlar yapılması,
- 2) 3D modelleme yapılan YBM yazılımında süre verilerinin girilerek 4D model elde edilmesi,
- 3) 3D YBM modelinin 4D YBM yazılımına aktarılması ve süre verilerinin girilmesidir.

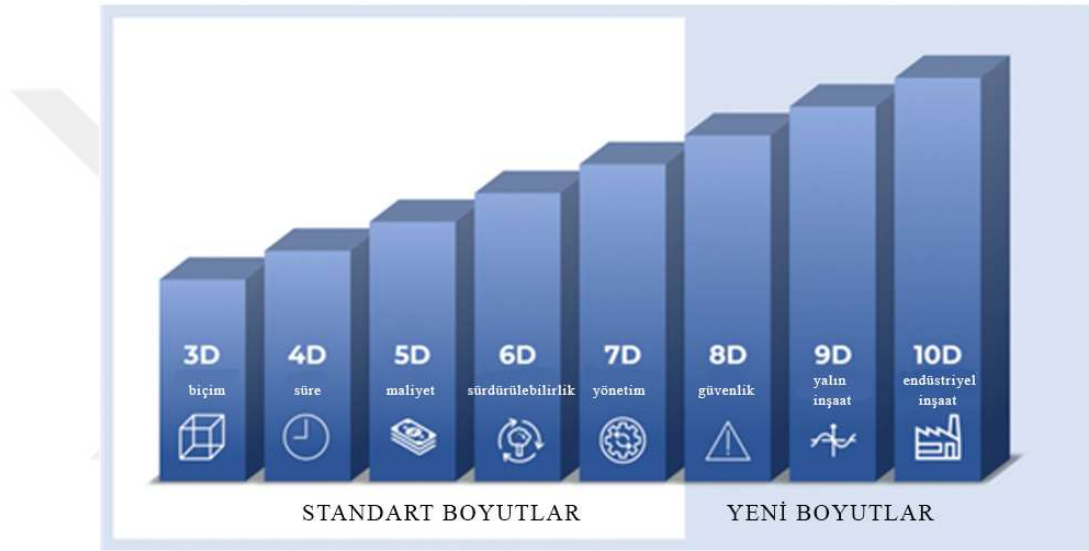
3.2.2. Maliyet Tanımlı (5D) Modelleme

YBM, AEC sektörü çalışmalarında önemli bir etkiye sahip olan nispeten yeni bir teknolojidir. YBM yazılımlarında 3D modellere süre verileri eklendiğinde 4D, maliyet verileri eklendiğinde 5D modeller elde edilmektedir. Süre ve maliyet tahmini, inşaat yönetiminde iki önemli kritik süreçtir. Geleneksel yöntemlerle yapım yönetimi süreci zaman alıcı ve insan faaliyetleri nedeniyle hataya açıktır. YBM yazılımları güvenilir yapım süreci tahminlerini kısa sürede gerçekleştirmektedir (Hasan ve Rasheed, 2019). YBM yazılımlarında proje modeli oluşturmak zaman alıcı bir sürece ihtiyaç duysa da yapım yönetimi için geleneksel bir yöntemlerden çok daha faydalıdır (Kulkarni ve Mhetar, 2017).

5D YBM modelleri genellikle bir projenin yapım maliyeti tahmini için tercih edilmektedir (Lu vd, 2016). Önde gelen yapım maliyeti yönetimi firmaları, YBM yaklaşımlarını benimsemekte ve rekabet avantajlarını fark etmektedir. YBM ortamında hazırlanan 5D modellerin sunduğu yapım faaliyeti süreleriyle entegre edilmiş maliyet tahminleri; yapım evreleri boyunca devam ettirilebilmesi ve birden fazla tasarım seçeneğini simüle etme yeteneği ile yapım tahmincisini AEC sektöründe önemli bir konuma taşımaktadır (Smith, 2014).

3.2.3. Çok Tanımlı nD Modelleme

YBM içindeki bilgiler genellikle 4D (süre), 5D (maliyet), 6D (tesis yönetimi), 7D (sürdürülebilirlik) olarak “dimension-boyut” tanımlanmaktadır. Her bir D, bir YBM modeline entegre edilmiş öznitelik verisinin bir sonucudur (Eastman vd, 2011). YBM yazılımlarının modellere katabildiği öznitelikler 7D ile sınırlı değildir. Güvenlik verileriyle 8D, yalın yapı verileriyle 9D ve sanayileşmiş yapı verileriyle 10D modeller oluşturulabilmektedir (Şekil 3.5). nD modelleme sınırları belirlenmiş bir çalışma prensibi değildir. AEC endüstrisinin ulaşmak istediği seviyeyi temsil etmektedir.



Şekil 3.5. YBM tabanlı nD modelin sunduğu veriler (URL-4)

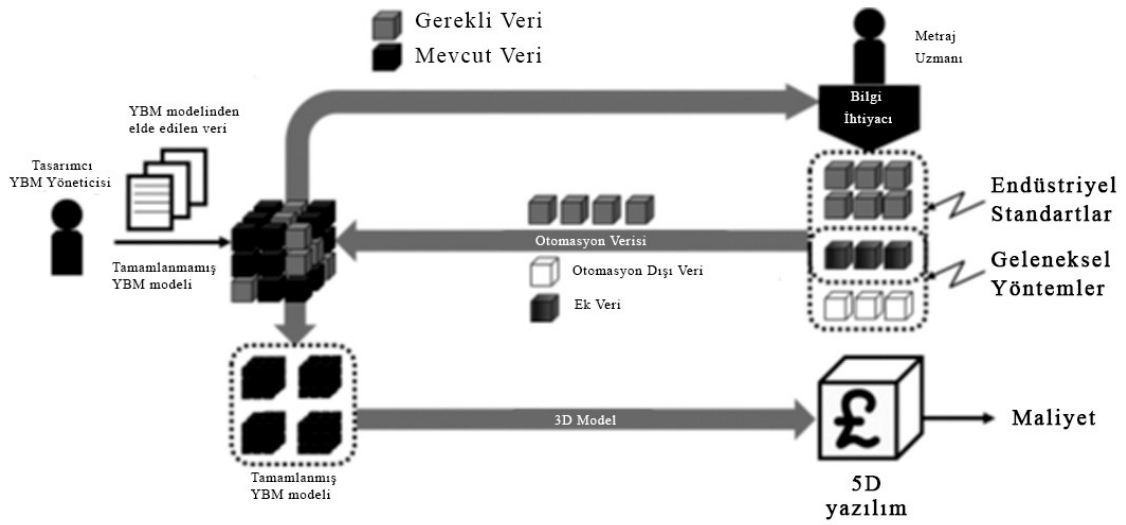
3.2.4. Yapı Bilgi Modelleme ile 5D Modellerin Oluşturulması

Bir projenin tasarım evresindeyken 5D modellenmesi için ilk adım YBM yazılımlarından 3D model oluşturulabilen herhangi birini seçmektir. Akıllı nesnelerle elde edilen 3D model yapılacak tüm işlemler için temel bilgi kaynağıdır. YBM yazılımlarıyla yapılan bir projede tasarım evresi, nesnelerin oluşturulduğu ve özniteliklerin girildiği evre olduğu için doğru tahminler elde etmek adına oldukça önemlidir. Tasarım evresinde 3D modeli oluştururken yapılacak hatalar, 5D modelden elde edilecek süre ve maliyet tahminlerinde hatalara yol açmaktadır. Ayrıca 5D model çalışmasına başlamadan önce seçilecek bir veya birden fazla YBM yazılımının hedeflenen amaca uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Yazılım seçiminde yapılacak hata süre ve maliyet kaybına sebep olacaktır.

YBM yazılımlarında oluşturulan model, tüm öznitelik verilerini içermektedir ve otomatik olarak metraj verilerine ulaşmaktadır. Modelden alınan metrajlar, 4D veya 5D modellemeye

uygun bir YBM aracına aktararak metrajlar ile yapım süreci tahminleri entegre edilmektedir (Şekil 3.6). Yapım süreci tahminleri ile entegrasyonu sağlanan metrajlara, maliyet tahminleri eklenerek yapım süreci tahminleri tamamlanmaktadır. 5D YBM modeli hazırlamak için yapılacak çalışma dört adımdan oluşmaktadır:

- 1) YBM model üretimi,
- 2) Metraj çıkarımı,
- 3) Süreç tahminleri ve metrajların entegrasyonu ve
- 4) Maliyet tahminleridir (Lu vd, 2016).



Şekil 3.6. 5D YBM modeli oluşturma süreci (Mayouf vd, 2019).

3.2.5. Yapı Bilgi Modelleme Müdahale Gerekliliği

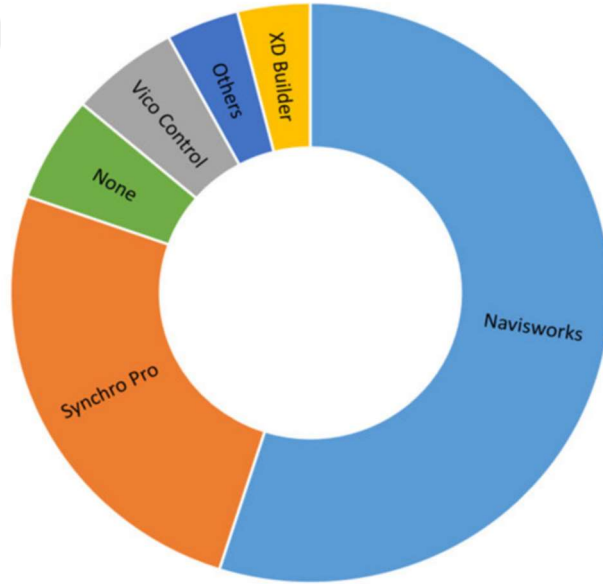
Son zamanlarda 5D YBM modelleri AEC endüstrisinde yoğun ilgi görmektedir. Nicelik belirleme giderek daha fazla otomatik hale gelmekte ve YBM yazılımları bu yönde gelişmektedir. AEC sektöründeki maliyet tahmincisinin rolü, süre (4D) ve maliyet (5D) modellemeyi içeren ve maliyet verilerini projenin bir parçası olarak proje paydaşları ile iletişimi sağlamak ve daha gelişmiş maliyet yönetimi hizmetleri sağlamak için günümüz şartlarına uyum sağlamaktır (Smith, 2014). İnsan müdahalesinin olduğu işlemlerin tümü hataya açıktır. YBM yazılımları metraj miktarlarını otomatik olarak hesaplasa da yapım faaliyetleri hakkında herhangi bir bilgi içermemektedir. Bu nedenle, maliyet tahmini için YBM yazılımları kullanılsa da bir maliyet tahmincisinin yapım faaliyeti hakkındaki öznel müdahalesi kaçınılmazdır (Lee vd, 2014). YBM modelinden gelecek malzeme ve miktar verilerinin doğruluğunu değerlendirmek, alternatif çözümler önermek ve sonuçların güvenilirliğini analiz etmek için maliyet tahmincisinin profesyonel becerisine hâlâ ihtiyaç duyulmaktadır (Alshabab vd, 2017).

3.3. Yapı Bilgi Modelleme Yazılımları

AEC sektöründeki popülerliği her geçen gün artmakta olan YBM yazılımları bir veya birden fazla YBM özelliğini birlikte sunmaktadır. Örneğin Autodesk Revit ve Graphisoft Archicad, 3D modelleme araçları sunmanın yanında nD modeller oluşturmak için gerekli veri girişini sağlarken, Autodesk Navisworks ve Vico, YBM tabanında tamamlanmış hazır bir 3D modele ihtiyaç duymaktadır.

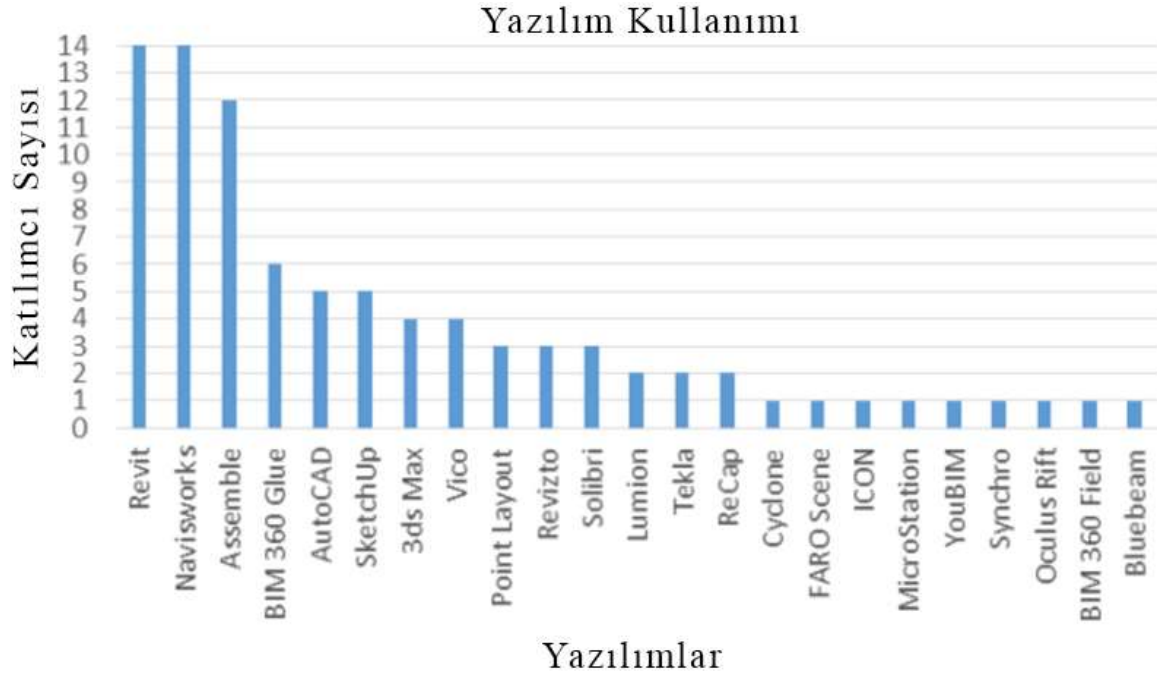
Her YBM yazılımı farklı biçimde çalışmaktadır. Kaliteli bir proje, yazılımın etkin kullanımı için temel gerekliliktir ve yazılım kalitesi, model kalitesinin yerini alamamaktadır (Bečvarovská ve Matějka, 2014). Kullanıcıların YBM yazılımlarından bekledikleri verimi almaları için projeye uygun yazılımı tercih etmeleri ve yeterli kalitede bir proje oluşturması gerekmektedir.

5D YBM modelleri için Autodesk Revit, Bentley, Vico, Assemble ve Autodesk Navisworks, metraj çıkarımları ve tahminler oluşturulmasını sağlayan popüler programlardan sadece birkaçıdır (Olsen ve Taylor, 2017). 4D YBM modellerini oluşturmak için Autodesk Navisworks, Vico Office, CostX, vb. gibi çeşitli yazılım araçları mevcuttur (Lu vd, 2016). Şekil 3.7’de görüldüğü gibi Fransa’da en çok tercih edilen 4D YBM yazılımları (Doukari vd, 2022). Çalışma kapsamında en çok tercih edilen yazılımın Autodesk Navisworks olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7. 4D YBM yazılımlarının Fransa’daki kullanım popülerlikleri (Doukari vd, 2022)

Olsen ve Taylor (2017) çalışmalarında YBM yazılımlarının popülerliklerini karşılaştırmıştır. Çalışma kapsamında AEC sektör paydaşlarına kullandıkları YBM yazılımları sorulmuştur. Alınan cevaplarda 23 farklı YBM yazılımı dile getirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre en popüler YBM yazılımları Autodesk Revit ve Autodesk Navisworks olarak belirlenmiştir (Şekil 3.8).

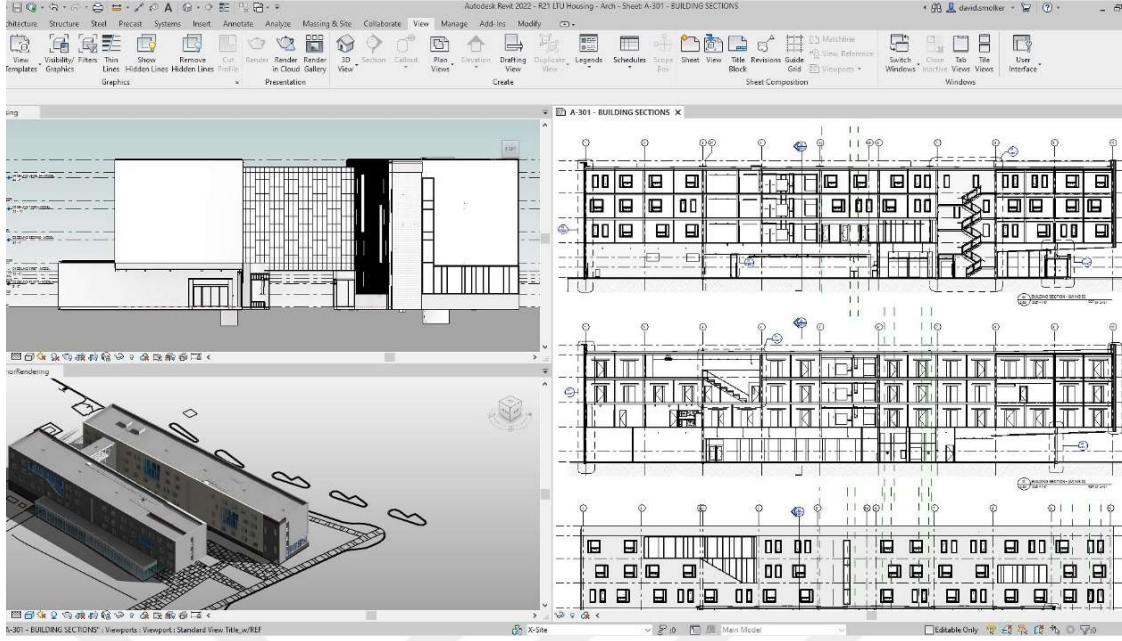


Şekil 3.8. YBM yazılımlarının kullanım popülarlığı (Olsen ve Taylor, 2017).

3.3.1. Autodesk Revit (AR)

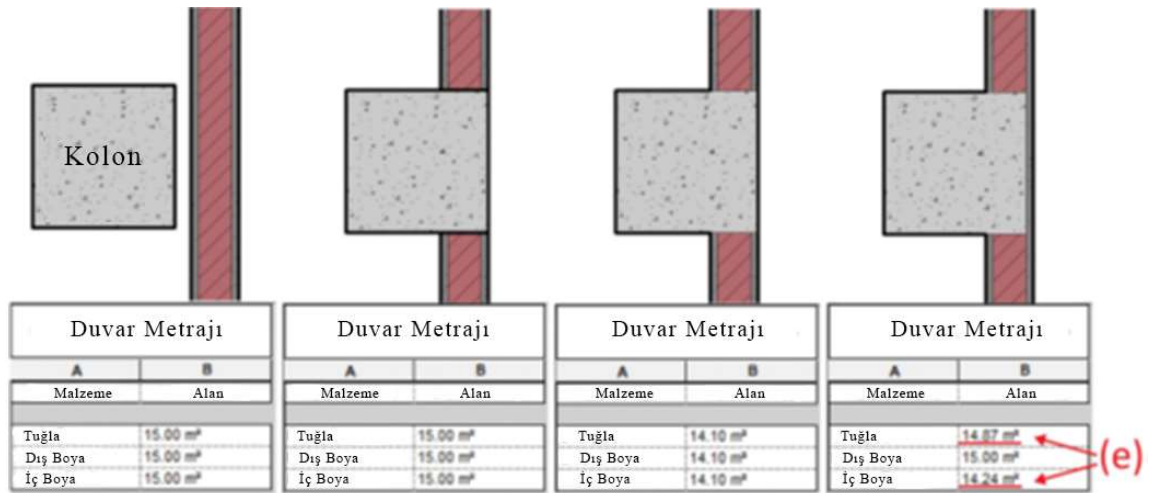
Autodesk Revit (AR), günümüzde kullanılan en popüler YBM yazılımıdır (Akkoyunlu, 2015). AR yazılımı 3D modelleme, veri saklama, otomatik metraj, görselleştirme, koordinasyon sağlama gibi avantajları ile AEC sektöründe popülarlık kazanmıştır. AR yazılımı mimarlar ve tasarımcılardan mühendis ve yapım yönetimi tahmincilerine kadar geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmektedir. AR kullanıcıları, yazılımın sahip olduğu özellikler sayesinde birden fazla YBM yazılımının yapabileceği işi tek yazılımla çözebilmektedir. Ancak birçok yapım faaliyetine ve farklı AEC sektör disiplinine ortak çalışma ortamı sunması YBM tabanlı çalışmaların tamamının gerçekleştirilebileceği anlamına gelmemektedir.

Mimari, strüktür, mekanik ve elektrik gibi 3D modellemelerin yanında, proje yönetimini ilgilendiren metraj çıktıları, kolay arayüz, yapı elemanlarını oluşturan nesnelere öznitelik verileri ekleme, görselleştirme ve bulut üzerinden tasarım ve yapım dokümanları depolama gibi bütüncül bir YBM imkânı sunması AR'nin tercih edilmesini sağlayan özelliklerindendir. Ayrıca AR'yi üreten Autodesk firmasının ürettiği Autodesk Navisworks yazılımıyla sorunsuz çalışma, çakışma kontrolü ve 4D yapım süreci planlaması gibi işlemlerin yapılabilmesi AR'nin yaygın olarak kullanılmasındaki önemli gerekçelerdendir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Autodesk Revit çalışma ekranı (URL-5)

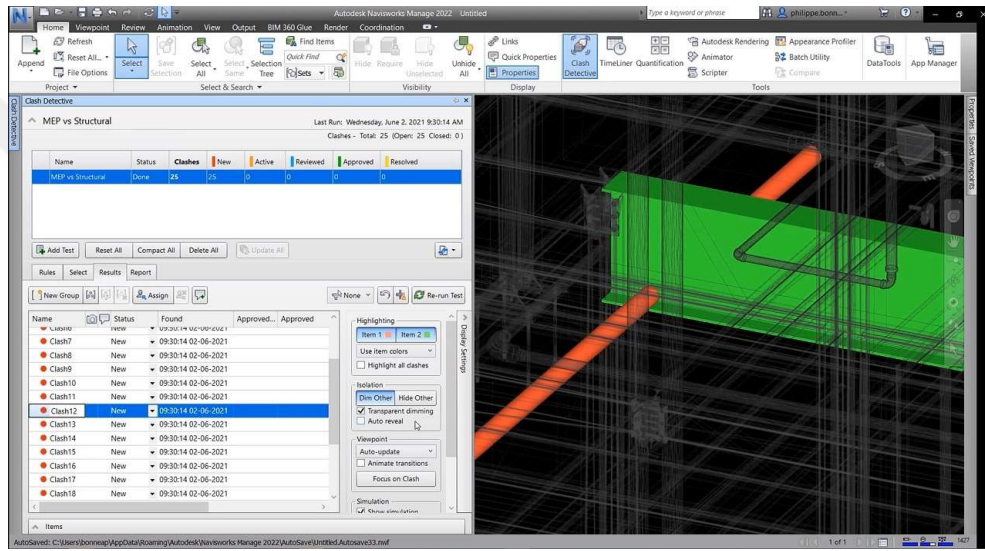
AR yazılımı çalışma prensibinde yapı elemanları farklı gruplar olarak sınıflandırılmıştır. Farklı sınıflardaki yapı elemanlarının birleştirilmesiyle oluşturulan 3D projelerden doğru metraj verilerinin elde edilmesi için yapı elemanları arasındaki ilişkilerin detaylı bir biçimde modellenmesi gerekmektedir. Gerekli ilişkiler kurulmadığı takdirde hatalı metraj çıkarımları yapılacaktır (Khosakitchalert vd, 2019) (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Autodesk Revit çalışma prensibi (Khosakitchalert vd, 2019)

3.3.2. Autodesk Navisworks (AN)

Autodesk Navisworks (AN), YBM entegrasyonuna sahip bir yazılımdır. AEC endüstrisine uygulama evresinde daha iyi kontrol sağlamak için yardımcı olmaktadır (Valunjkar, 2017). AN yazılımında 5D model oluşturularak yapım faaliyetlerine ait süre ve maliyet verilerinin bulunduğu simülasyonlar oluşturulmaktadır (Kulkarni ve Mheatar, 2017). AN yazılımı 3D modelleme imkânı sunamamaktadır. YBM tabanlı yazılımlarda hazırlanmış 3D model ile çalışmaktadır. Süre ve maliyet verilerin eklenmesiyle oluşturulan 5D model yapım yönetimi açısından önemli bir bilgi kaynağıdır (Şekil 3.11).



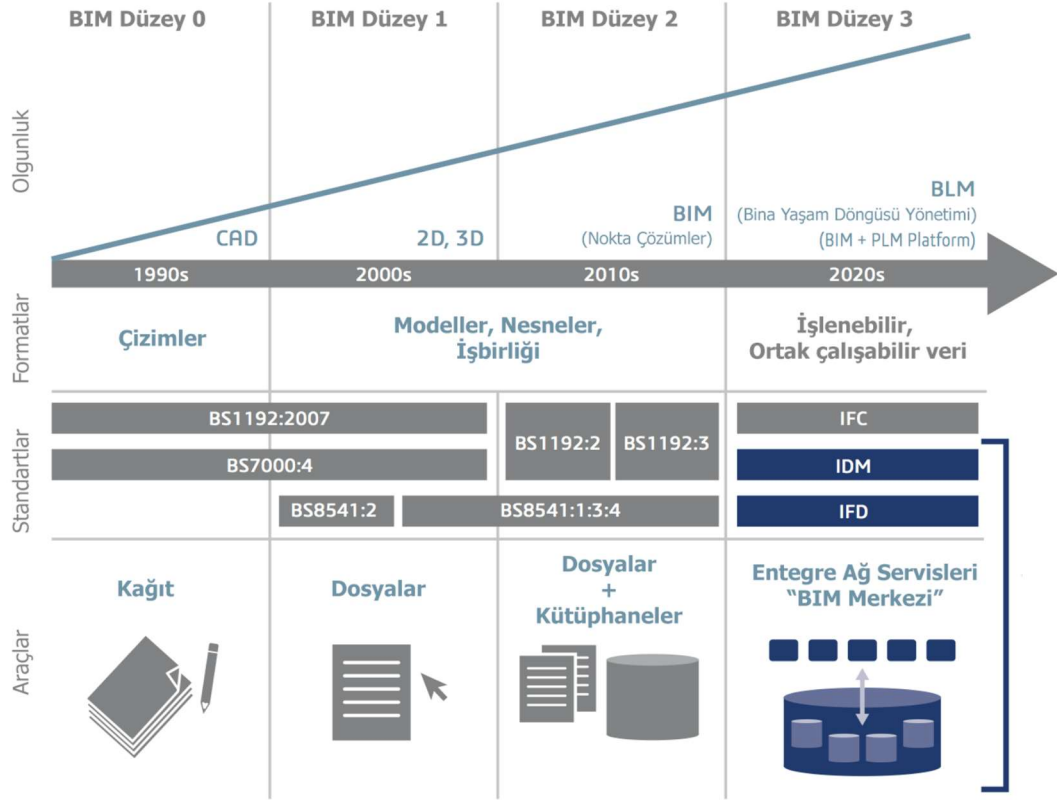
Şekil 3.11. Autodesk Navisworks yazılım arayüzü (URL-6)

AN yazılımının tercih edilme sebebi çoğunlukla çalışma ortamına aktarılan YBM tabanlı 3D modele öznitelik verilerinin girilmesi, yapım süreci planlarının oluşturulması ve 3D modelde oluşabilecek çakışmaların tespitidir. AR ve Graphisoft Archicad gibi popülerliği yüksek 3D model oluşturulabilen yazılımlarla çalışma yeteneği AN yazılımının popülerliğini arttırmıştır.

3.3.3. Yapı Bilgi Modelleme Olgunluk Düzeyleri

Mimari projelerin kapsamı ve detay seviyeleri farklılık göstermektedir. Bazı çalışmalar taslak seviyesindeyken bazıları oldukça detaylıdır. Ayrıca mimari projelerin oluşturulma yöntemleri de elde edilen mimari temsillerde farklılıklara sebep olmaktadır. Bu durum farklı olgunluk düzeylerinde çalışmaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Elde edilmek istenen veri seviyesindeki çalışmalar için uygun yöntem seçilmeli ve modeller gerekli düzeye getirilmelidir. Bu durum olgunluk düzeylerinin sınıflandırılması ve modelden beklenenlerin isimlendirilmesi ihtiyacını doğurmuştur (Şekil 3.12). Bu sınıflandırmanın herkes tarafından aynı anlaşılması için

uluslararası bir isimlendirme gerekmektedir (Kulkarni ve Mhetar, 2017). YBM çalışmaları ile başlayan sınıflandırma çalışmaları geçmiş yöntemleri de kapsamaktadır. Dört düzeye ayıran bu sınıflandırma 1990’larda BDT yöntemleriyle elde edilecek detaysız çalışmalardan AEC sektörü için hedeflenen ve hâlâ ulaşılamayan belgelendirme düzeyine kadar tüm aralığı kapsamaktadır.



Şekil 3.12. YBM çalışma düzeyleri (URL-7)

YBM Düzey 0, en yalın düzeydir. BDT prensiplerinin kullanıldığı projelerin düzeyleri olarak değerlendirilmektedir. AEC endüstrisi paydaşları arasında iş birliği ve revizyonların gerçekleştirilmesi zordur. Çalışma için herhangi bir 3D model oluşturulması söz konusu değildir (Kulkarni ve Mhetar, 2017).

YBM Düzey 1, BDT çalışmalarında oluşturulan 2D mimari temsillerin en üst seviyesi ve başlangıç düzeyinde 3D modellerin kurgulandığı düzeydir. 2D mimari temsiller profesyonel bir belgelendirme sunarken 3D modeller tasarımın estetik yönü için tercih edilmektedir. BDT sistemlerinin çalışma prensibinden YBM tabanlı çalışma prensiplerine geçiş düzeyi olarak da değerlendirilmektedir. Belge paylaşımlarının ve veri depolanmasının kolaylaştığı bu düzeyde farklı disiplinlerin bir araya gelişi YBM Düzey 0’a nispeten daha iyidir (Kulkarni ve Mhetar, 2017).

YBM Düzey 2, YBM prensiplerinin görüldüğü evredir. Nesne tabanlı çalışmaların başladığı, revizyonun kolaylaştığı ve AEC endüstrisi paydaşları arasında ortak çalışma alanları sunulan

düzeştir. YBM Düzeştir 1 ile kıyaslandığında verimlilik ve kalite artmaktadır. Nesne tabanlı çalışmanın geliştiyle öznelilik verilerinin modele aktarımı sağlanmaktadır. Modelin öznelilik verileri barındırması, süre (4D) ve maliyet (5D) tahminleri için düzeştirin uygunluğu göstermektedir. Düzeştir uygun yazılımlar yoluyla enerji ve çakışma analizleri de gerçekleştirilmektedir (Kulkarni ve Mhetar, 2017).

YBM Düzeştir 3, AEC endüstrisi için hedeflenen ideal, ulaşılmaştır istenen düzeştir. YBM Düzeştir 2’de sağlanan tüm gelişmelerin en üst seviyede gerçekleştirildiği bir hedeştir. Üst düzeştir bilgi paylaşımların olacağı ve tam otomatik kontrollerin sağlanacağı düzeştir ait modeller nD olarak adlandırılmaktadır. Ulaşılaştır ulaşılmaştacağı belirsiz bu düzeştir için soru işaretleri hâlâ mevcuttur (Kulkarni ve Mhetar, 2017).

3.4. Yapı Bilgi Modelleme ile Metraj

Yapım maliyeti tahmini için ilgili yapıım faaliyeti metrajlarının ayrıntılı bir şekilde çıkarılması gerekmektedir. Tasarım evresinde uygulama projelerinden yapı elemanlarına ait miktarların kg, m³, m², m gibi birim cinslerinden uygun olanı ile belirtilmesi ölçülmesine metraj çıkarımı (QTO) denilmektedir (Çelik vd, 2003). Metraj, yaklaşık maliyet hesabı ve yapıım süreci planlaması gibi inşaat işletmesinin ana öğelerindendir (Liu vd, 2014). İlgili literatürde Quantity Take-Off (QTO) kavramı sık kullanılmaktadır. İngilizceden “quantity-miktar” ve “take-off-çıkarmak” dolayısıyla “quantity take-off-miktar çıkarımı” biçiminde çevrilmiştir. Miktar çıkarımı Türkçe literatürde metraj olarak geçmektedir.

Yapım sürecinin paydaşlarından olan mimarların yapıım maliyeti tahmininde önemli bir görevi mimari temsillerden metraj çıkarmasıdır (Eastman, 1975). Metraj ve maliyet hesabı yapıım sürecinin hedeflenen düzeştirde tamamlanması için önemli bir rol oynamaktadır. Yapım maliyeti tahminlerinin doğru hesaplanabilmesi için metrajın hatasız çıkarılması gerekmektedir. Geleneksel 2D yöntemlerle metraj çıkarılması işgücü ve zaman gerektirdiğinden hatalı sonuçlara neden olmaktadır (Gerçek vd, 2016). Geleneksel yöntemlerle ile aynı prensipte çalışan BDT sistemleri, mimari temsillerdeki yapı elemanlarını çizgilerle ifade etmektedir. Çizgilerle ifadenin getirdiği metrajların insan eliyle tek tek çıkarılması hataya geleneksel yöntemlerle benzer biçimde hataya açık bir yaklaşımdır. Geleneksel yöntemler ve BDT sistemleri ile metraj çıkarma süreci üç aşama olarak değerlendirilmektedir:

- 1) Yapı elemanlarının öge ilişkilerini belirlemek,
- 2) Öğelerin boyutlarını bulmak,
- 3) Tanımlanan öğelerin sayısını, uzunluklarını, alanlarını ve hacimlerini hesaplamaktır (Shen ve Issa 2010).

Metraj çıkarma ve yapım maliyet tahmini, planlama evresinin en çok zaman alan ve maliyetli iş kalemleridir. Metrajlar yanlış hesaplandığında yapım maliyeti tahminleri hatalı hesaplanmaktadır. İnşa edilen her yapı benzersiz olduğu için her yapı için metraj çıkarılmalıdır (Bettemir, 2018). Ayrıntılı yapım maliyeti tahminlerinde şartnamelerin görselleştirilmesi, yorumlanması; yapım sürecinde gerekecek toplam işçilik, malzeme ve ekipman miktarlarının hesaplanması için önemli miktarda zaman harcanmaktadır (Shen ve Issa, 2010).

Planlama evresinde alınan kararlar, uygulama evresindeki olası sorunların azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Güvenilir metraj sonuçlarına ulaşılması özellikle yapım süreci ve maliyeti tahminlerinin doğruluğu açısından temel koşuldur. Hatasız 3D model oluşturma zorunluluğuna rağmen YBM tabanlı modellerden çıkarılan metrajlar, geleneksel yöntemle göre çok daha kolay elde edildiği ve doğruluk oranlarının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir (Bayram, 2020).

YBM yazılımlarında nesne tabanlı oluşturulan modeller, otomatik alınan metraj verileriyle yapım maliyeti tahminlerine zemin hazırlamıştır. Nesneler temsil ettikleri öge hakkında miktar ve özellik detayları gibi bilgileri içermektedir (Azhar ve Brown, 2009). YBM yazılımları, nesnelerin geometrisinin yanı sıra geometrik olmayan özelliklerini belirlemek için parametreler ve kurallar kullanmaktadır (Eastman vd, 2011). Sonuç olarak YBM yazılımlarıyla otomatik olarak elde edilen eksiksiz ve doğru metrajlar maliyet tahminlerine kaynak olarak kullanılmaktadır. Metraj verileri, malzeme fiyatlarıyla birleştirildiğinde tüm yapının ya da bazı kısımlarının yapım maliyeti tahmin edilmektedir. İnşaat sektöründe bilgi teknolojileri kullanımının oldukça ilerlediği bir ortamda teknolojik ilerlemelerden yapım yönetiminde tam anlamı ile yararlanılmaması önemli bir eksiklik (Bettemir ve Bulak, 2022).

YBM yazılımlarında QTO süreci 3D modellemenin tamamlanmasıyla başlamaktadır. Fiziksel ve maddi geri dönüşlerle revizyonları tamamlanan 3D modeller, otomatik QTO süreci için hazır hale gelmektedir (Choi vd, 2015). YBM yazılımlarında geliştirilen üç boyutlu modeller, yapı elemanlarını oluşturan nesneleri modelde temsil etme ve malzemeye bağlama yeteneğine sahip, veri açısından zengin, akıllı modellerdir. YBM modelleri, bir yapım işi için QTO'yu hızlandırma ve tahminin doğruluğunu artırma yeteneklerine sahiptir. Ancak YBM tabanlı metraj çıkarımlarından yapım maliyeti tahminine geçiş hâlâ erken aşamadır. Projesiyle ilişkili ve eksiksiz bir QTO için gerekli olan tüm veriler 3D modellere dahil edilememekte ve bazı veriler için maliyet tahmincilerinin müdahalesine ihtiyaç duyulmaktadır (Olsen ve Taylor, 2017).

4. MATERYAL VE METOT

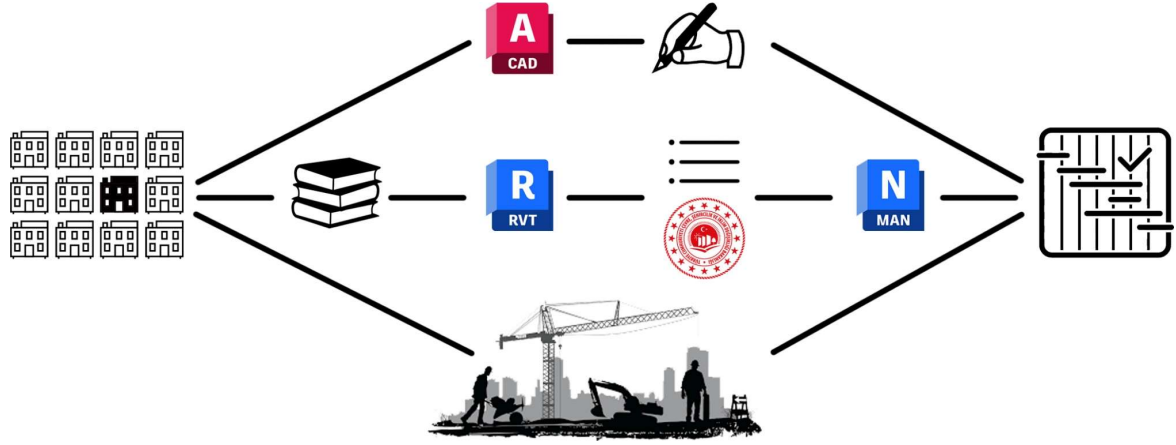
4.1. Materyal

Çalışmada yazılı ve görsel materyaller kullanılmıştır. Akademik çalışmalar, uygulama evresine dair belgeler, Autodesk Revit (AR) yazılımı kullanılarak elde edilmiş metraj listeleri, Autodesk Navisworks (AN) yazılımı kullanılarak elde edilmiş yapım süreci ve maliyeti tahmini tabloları ve T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından hazırlanmış birim fiyat listeleri tezde kullanılmış yazılı materyallerdir. Görsel materyaller ise proje müellifi tarafından Autodesk Autocad (AA) yazılımında oluşturulmuş mimari temsiller, model görselleri, AR yazılımı kullanılarak elde edilmiş mimari temsiller ve model görselleri, AN yazılımı kullanılarak elde edilmiş simülasyon ve uygulama evresinde örnek yapıya ait fotoğraflardan oluşmaktadır.

4.2. Metot

Bu tez, bilimsel araştırma yöntemlerinden literatür çalışması, alan araştırması, simülasyon ve karşılaştırmalı analiz yöntemlerinin kullanıldığı bir vaka çalışmasıdır (Şekil 4.1). Çalışmada gerçekleştirilen adımlar sırasıyla;

- Adım 1: Yapım yönetimi ve Yapı Bilgi Modelleme (YBM) hakkında ilgili literatürün taranması,
- Adım 2: Çalışmanın amacına uygun yapı türünün belirlenmesi ve örnek yapının seçilmesi
- Adım 3: Proje müellifi ve müteahhidine ulaşılarak gerekli izinlerin alınması
- Adım 4: Yapının Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) prensipleriyle AA yazılımında oluşturulmuş 2D mimari temsillerin temin edilmesi
- Adım 5: Mimari temsiller referans alınarak AR ortamında 3D modellenmesi
- Adım 6: AR yazılımından metraj listelerinin elde edilmesi
- Adım 7: Metraj listelerinden yapım faaliyetlerinin belirlenmesi
- Adım 8: Birim fiyat yöntemi için T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 01.01.2021 tarihinde yayınladığı listeden yapım faaliyetlerine uygun poz numaralarının tespit edilmesi ve birim fiyatların yapım faaliyetleriyle eşleştirilmesi
- Adım 9: Yapım faaliyetleri için süre tahminlerinin gerçekleştirilmesi
- Adım 10: AN ortamında süre (4D) ve maliyet (5D) verilerinin girilmesiyle yapım süreci ve maliyeti tahminlerinin gerçekleştirilmesi ve sanal uygulama evresinin tamamlanması
- Adım 11: Proje müteahhidi tarafından geleneksel yöntemlerle çıkarılan metrajlara ulaşılması
- Adım 12: Gerçek zamanlı uygulama evresine ait yapım faaliyetleri süre ve miktar açısından takip edilerek verilerin elde edilmesi ve gerçek uygulama evresinin tamamlanması
- Adım 13: Geleneksel yöntem, gerçek ve sanal uygulama evrelerinde ulaşılan verilerin karşılaştırılması



Şekil 4.1. Materyal ve metot diyagramı (Yazar, 2023)

Çalışma için seçilen örnek yapının tez süreci dahilinde uygulama evresinin sonlanmasına BDT sistemleriyle tasarım evresinin tamamlanmasına ve verilerin kullanımı için gerekli izinlerin alınabilmesine dikkat edilmiştir. Çalışma için seçilen örnek Niğde ili merkez ilçesindedir. Literatür taramasıyla ulaşılan veriler neticesinde çalışmaya uygunluğu, kullanım popülerliği ve yazılım kaynaklarına ulaşma kolaylığı özellikleriyle aynı çalışmaların yapılabildiği birçok YBM aracı arasında AR ve AN yazılımlarının kullanılmasına karar verilmiştir.

Uygulama evresinin farklı zamanlarında elde edilmiş maliyet değerleri enflasyon sebebiyle tutarlı olmamıştır. Yapım maliyeti tahminlerinde YBM araçlarının enflasyona yönelik bir tahmin seçeneği mevcut değildir. Belirtilen gerekçeler nedeniyle çalışma kapsamında birim fiyat yöntemi kullanılmış ve yapım faaliyetleri için belirlenen T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca hazırlanmış 01.01.2021 tarihli birim fiyat listesi kullanılmıştır.

Yapım maliyeti tahminlerinin ilgili poz numaralarına ait birim fiyatlarca elde edilmesine karar verildiği için AR yazılımında oluşturulan 3D model, poz numaralarının kullanımına yönelik oluşturulmuştur. Başka bir deyişle oluşturulan 3D model, birim fiyatların kullanılması için gerekli metraj çıktıları elde edecek detay düzeyinde hazırlanmıştır. Ayrıca tez çalışması için hazırlanan 3D model, istenen YBM çalışmaları için yeterli olgunluk düzeyine getirilmiştir.

Yapım faaliyetlerinin tamamı için uygun poz numarası bulunamaması veya AR yazılımından uygun metraj verilerinin elde edilememesi gerekçeleriyle yapım faaliyetlerinin tamamı için yapım maliyeti tahminleri gerçekleştirilememiştir. Bulgular ve Tartışma başlığı altında belirtilen durumlar irdelenmiştir. Ancak yapım süreci tahmini için kullanılmamış bir yapım faaliyeti söz konusu olmamıştır. AN ortamında süre ve maliyet verilerinin girilmesi otomatik olarak gerçekleşmemiştir. YBM araçlarının yapım faaliyetine dair süre ve maliyet tahmini bulunmamaktadır. Maliyet tahminleri için kullanılan birim fiyatlarla elde edilmiş maliyetlerin birleştirilmesi ve süre tahminleri yazar tarafından gerçekleştirilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında, tezin amacına hizmet edecek türde bir yapım işinin belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma sürecinde uygulama evresi sonlanan, BDT sistemleriyle tasarım evresi tamamlanmış ve verilerin kullanılması için gerekli izinlerin alınabileceği türden bir yapı olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca literatüre ve AEC sektörüne katkı sağlamayı hedefleyen bu çalışma için seçilen örnek; az rastlanan, karmaşık ve büyük bir yapı türü olmaması önemlidir. Belirtilen gerekçelere uygun türün konut olduğuna karar verilmiştir. Konut türü olarak müstakil ev tercih edilmiştir.

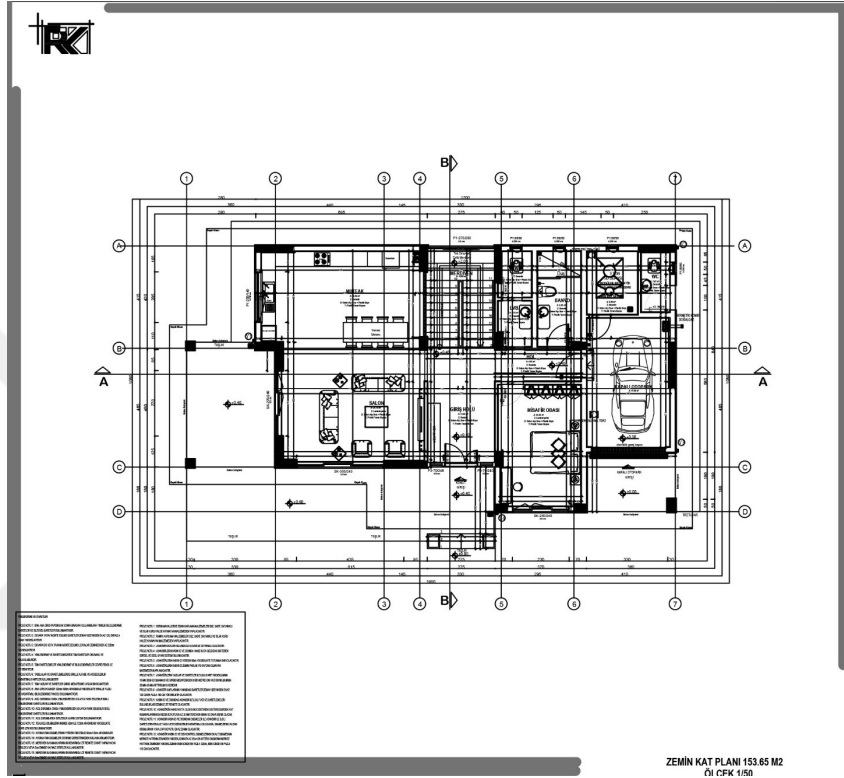
Ek-1’de çalışma kapsamında seçilmiş müstakil ev için mimari projenin müellifi RK Mimarlık’tan gerekli izinler alınmıştır. Proje müellifine ait BDT sistemleriyle oluşturulmuş mimari temsiller tez dahilinde kullanılmıştır. Ek-2’de yapımın müteahhidi Lütfiye Şahin Karaca’dan gerekli izinler alınmıştır. Ayrıca proje alanının konumuna atfen çalışma kapsamında seçilen müstakil evden “Fertek Evi” olarak bahsedilmiştir. Proje müteahhidine ait fatura, fotoğraf vd. tez dahilinde kullanılmıştır. Fertek Evi, Niğde ilinin Merkez ilçesi Fertek mahallesi Mahmut Şafak Caddesi üzerinde bulunan 199/7 ada parsel numaralı arazide konumlandırılmıştır (Şekil 5.1). Belirtilen arazide Fertek Evi harici bir yapım işi planlanmamıştır. Yapımın arazisinde eğimden kaynaklanan bir kot farkı ve hali hazırda yetişmiş ağaçlar bulunmamaktadır. Herhangi bir altyapı eksikliği veya sorunu yoktur.



Şekil 5.1. Fertek Evi konumu (Yandex Haritalar, 2020)

Konumlandığı bölgenin çevresinde belirlenen yapı türünde planlanmış müstakil evler inşa edilmektedir. Proje müellifi ve müteahhidinin öngörüsü, arazinin bulunduğu bölgenin zaman içerisinde müstakil ev yoğunluklu bir yerleşim alanına dönüşeceği. Güncel durumda yoğun bir yerleşimin bulunmaması çalışma şartlarını kolaylaştırmıştır.

Fertek Evi'nin zemin katı; salon, açık mutfak, kış bahçesi, giriş holü, rüzgarlık, veranda merdiven odalara ulaşan koridorlar, misafir odası, misafir tuvaleti, misafir banyosu, hidrofor odası, garaj ve tuvalet gibi mekânlarla oluşturulmuştur (Şekil 5.4). Ancak mekânların kullanım tercihlerinde uygulama evresi esnasında değişiklikler olmuştur. Çalışma sürecinde mekân isimleri güncel kullanımlarına göre verilmiştir.

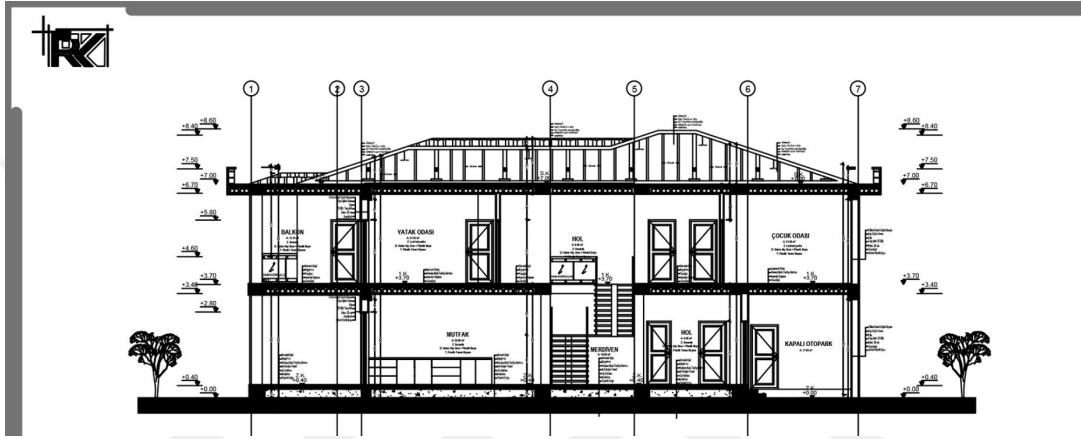


Şekil 5.4. Zemin kat planı (RK Mimarlık, 2021)

Konuta giriş doğu cephesinden sağlanmaktadır. Girişte ve karşısında bulunan merdiven bölümünde boydan camlar tercih edilerek evin doğal aydınlatması desteklenmiştir. Evin merkezinde oluşturulan bu aydınlık alandan mekânlara geçiş yapılmaktadır. Batı ve kuzey cepheleri zemin kat odalarında tercih edilmeyerek ışığa ihtiyacı daha az olan mekânlar yerleştirilmiştir. Mutfak ve salona ortak hizmet etmesi tercih edilen veranda ve kış bahçesi; konut yeşil alan ilişkisini kuvvetlendirilmiştir. Ayrıca bu mekânlara açılan camlar, zeminden tavana kadar büyük iki parça olarak tercih edildiği için kapı görevi görerek bahçe kullanımını kolaylaştırmıştır ve doğal aydınlatmaya katkı sağlamıştır.

Taşıyıcı sistem olarak betonarme tercih edilmiştir. Radye temel ile başlayan yapı, taşıyıcı perde duvarlar ile zemin kat seviyesine yükselmektedir. Zemin ve birinci katta taşıyıcılığı arttırmak adına sekiz adet perde duvar kullanılmıştır. Yapıya ait iki adet konsol döşeme bulunmaktadır. Kırmızı çatı ile yapı tamamlanmıştır. Çatıda ahşap konstrüksiyon kullanılmıştır.

A-A kesiti incelendiğinde net kat yüksekliğinin 3 metre olduğu görülmektedir (Şekil 5.5). Su basman yüksekliği ise 40 cm'dir. Çatı +7.00m kotunda başlayıp +8.60m kotuna kadar yükselmektedir. Merdiven bölümünde boydan camlar ve rıhtsız çelik merdiven tercihleri, doğal ışığın eve aktarılmasını kuvvetlendirmiştir. Merdiven evinde kullanılan camlar, iç mekânın mahremiyetini sağlamak adına renkli ve yansıtıcılığı yüksek türde seçilmiştir. Tasarım evresinde tercih edilen çatı parapetinden uygulama evresinde vazgeçilmiştir. Parapet duvarlarının başladığı noktaya kadar çatı uzatılmıştır.



Şekil 5.5. B-B kesiti (RK Mimarlık, 2021)

Doğu cephesi görünüşünde yapı elemanları tercihlerinde mimarın modern konut isteği sezinlenmektedir (Şekil 5.6). Tasarım evresinde balkonlarda tercih edilen cam korkuluklar yerine uygulama evresinde duvarlar tercih edilmiştir. Ayrıca yine uygulama evresi esnasında camların biçim ve boyutlarında değişiklikler olmuştur. Yapılan değişiklikler uygulama evresinde karşılaşılan problemlerden kaynaklanmamaktadır.



Şekil 5.6. Doğu cephesi görünüşü (RK Mimarlık, 2021)

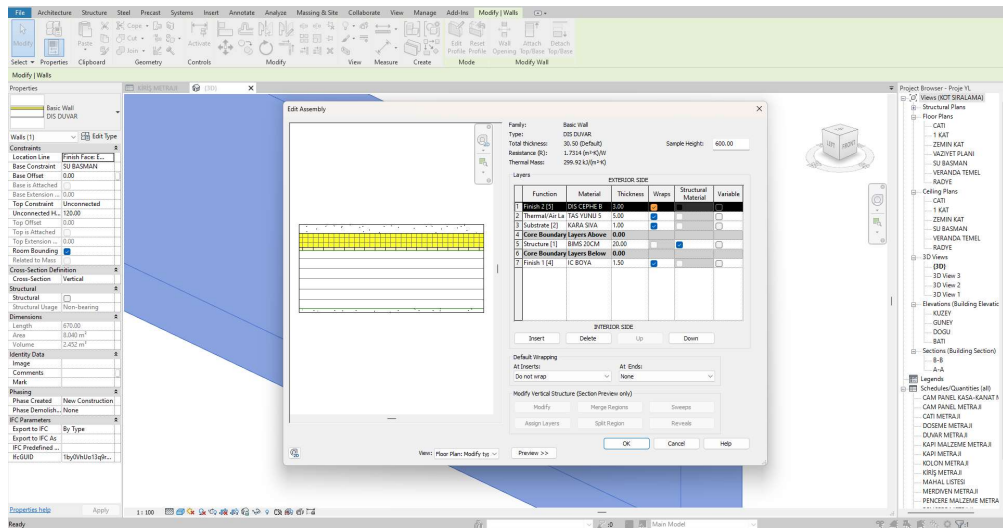
Yapım süreci ve yapım maliyeti tahminleri hakkında detaylı bir çalışma bulunmamakla birlikte 2D mimari temsiller üzerinden geleneksel yöntemlerle kabaca çalışmalar yapılmıştır. Geleneksel yöntemlerle detaysız bir biçimde çıkarılmış metraj verileri; detaylı yapım süreci ve maliyeti tahminlerine elverişli değildir. Ayrıca tasarım evresinde oluşturulan 3D model; çakışma, sürdürülebilirlik, enerji analizleri ve yapım yönetimi gibi çalışmalara gerekli verileri sağlayamamıştır.

5.1. Fertek Evi'nin Sanal Uygulama Evresi

Fertek Evi için YBM yazılımlarından Autodesk Revit (AR) ve Autodesk Naviswork (AN) ile yapımın sanal bir simülasyonu oluşturulmuştur. Elde edilmiş simülasyon, yapı elemanlarına girilen öznitelik verilerinden süre ve maliyet verilerini barındırmaktadır. Belirtilen YBM yazılımlarıyla oluşturulan ve öznitelik verilerini barındıran simülasyon sadece sanal uygulama evresinin tamamlanması değil aynı zamanda yapım süreci ve yapım maliyeti tahminleridir.

Sanal uygulama evresinin ilk adımında 3D modelleme için AR yazılımı tercih edilmiştir. Tez kapsamında; mimari temsillerin oluşturulduğu Autodesk Autocad (AA) yazılımıyla çalışabilmesi, AEC sektöründeki popülerliği ve çalışmanın amacına uygunluğu AR yazılımı tercihinin gerekçeleridir. Tez çalışmasında kullanılmış diğer YBM aracı olan AN yazılımına kadar olan süreçte AR yazılımından otomatik olarak metrajlar çıkarılmıştır.

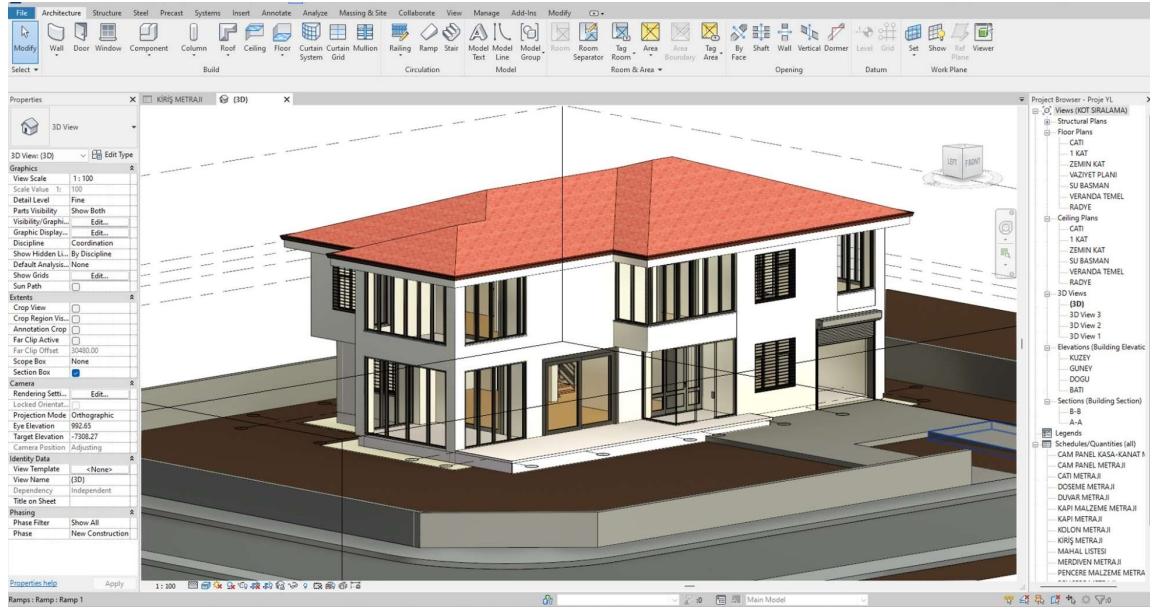
Nesne tabanlı bir YBM yazılımı olan AR'ın çalışma prensibi gereği yazılımda bulunan yapı elemanları türlerine göre kategorize edilmiştir. BDT sistemlerinde çizgilerle ifade edilen yapı elemanları evrensel mimari ve teknik çizim diline göre çizgilerin bir araya getirilmesiyle oluşturulurken; YBM yazılımlarında yapı elemanları akıllı nesnelerle 3D modellenerek oluşturulmaktadır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Autodesk Revit family ekranı (Yazar, 2021)

5.1.1. Autodesk Revit Yazılımında 3D Modelin Oluşturulması

AA ve AR birlikte çalışmaya uygun yazılımlardır. AA yazılımında oluşturulan 2D çizimler AR ortamına aktarılabilir. Ancak AA yazılımı BDT prensipleriyle çalışırken AR yazılımı YBM prensipleriyle çalışmaktadır. AA yazılımından AR ortamına aktarılan çizimler yalnızca referans olarak kullanılabilir. RK Mimarlık Ofisinden alınan AA yazılımlı mimari temsiller, AR ortamına aktarılmıştır (Şekil 5.8). Mimari temsiller referans alınarak yapı elemanları akıllı nesnelerle oluşturulmuş ve uygulama noktalarına 3D modellenerek yerleştirilmiştir.



Şekil 5.8. Autodesk Revit çalışma ekranı (Yazar, 2021)

AA ortamında tasarlanan projenin yapı elemanları teknik çizim ve mimari kabullere dayanarak çizgilerle ifade edilmiştir. YBM tabanlı yazılımlarda oluşturulan 3D modeller, yapı elemanlarını uzunluk ve derinlik özelliklerinin yanı sıra yükseklik verisini de barındırmaktadır. Ayrıca yapı elemanlarını oluşturan her nesneye uygun öznitelik verileri de girilmektedir.

YBM tabanlı oluşturulan modellerin barındırdığı öznitelik verileri, BDT sistemleriyle oluşturulan projelerden elde edilemeyen çakışma, sürdürülebilirlik, enerji analizleri ve yapım yönetimi gibi çalışmalara uygun ortamı sağlamaktadır. Öznitelik verilerine malzeme dokusu maliyeti ve malzeme kimlik bilgisi örnek olarak verilebilir.

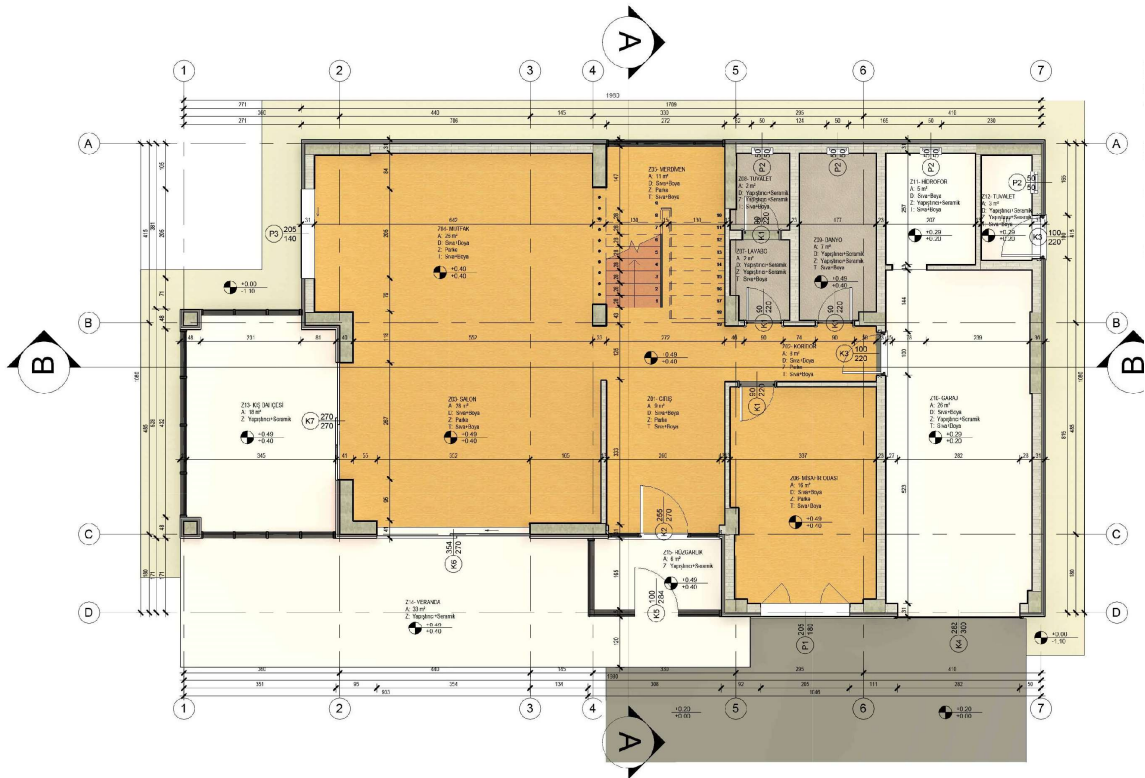
Çalışma kapsamında proje için gerekli tüm mimari temsiller, AR yazılımında oluşturulan 3D model yoluyla elde edilmiştir. Ek-3'te projenin anlaşılması için gerekli görülen mimari temsiller çalışmanın ekler bölümünde ölçekli olarak verilmiştir. AR ortamında 3D modelin oluşturulması sürecinde, uygulama evresi esnasında sorun çıkarabilecek bazı durumlar tespit edilmiştir. BDT

prensipleriyle çalışılmasından kaynaklanan tasarım hatalarına Fertek Evi'nin Gerçek Uygulama Evresi konu başlığında altında değinilmiştir.

Yapının 3D modelinin oluşturulması sürecinde öncelikle taşıyıcı sistemi oluşturan temel kolonlar, kirişler ve döşemeler yerleştirilmiştir. Taşıyıcı sistemin ardından çatı kurgulanmıştır. Bir sonraki adımda duvarlar oluşturulmuştur. Tasarım evresinde yerleri belirlenmiş pencere ve kapılar yerleştirilmiştir. Yapılan işlemlerin ardından merdivenin yeri modelde ortaya çıkarılmıştır ve merdiven oluşturulmuştur. Tüm bu işlemler sürecinde oluşturulan ve yerleştirilen yapı elemanlarının tasarım kararları belirli olduğu için tek seferde detaylı biçimde modellenmiştir. 3D modelin tamamlanması için son adımda "Join" komutuyla bitişik yapı elemanlarının uyumu sağlanmıştır.

Gelinen noktada 3D modelden elde edilen mimari temsillerin, alışıldık BDT sistemlerinden elde edilen 2D mimari temsiller haline getirilmesi için bazı mimari veriler işlenmiştir. 3D modelden ilgili metraj verilerinin çıkarılmasında AR yazılımına ait ilgili panellerde çalışmalar yapılmıştır. 3D modelin görselleştirilmesinde yazılıma ait render motoru kullanılmıştır.

AR ortamında oluşturulan planlar, 3D modelden elde edilen 2D mimari temsillerdir. Fertek Evi'nin AR yazılımında oluşturulan 3D modelinden zemin kat planı elde edilmiştir (Şekil 5.9). 2D kat planları, yapı elemanlarına gerekli verilerin girilmesi ve doğru koordinatlara yerleştirilmesiyle yazılım tarafından oluşturulmuştur.

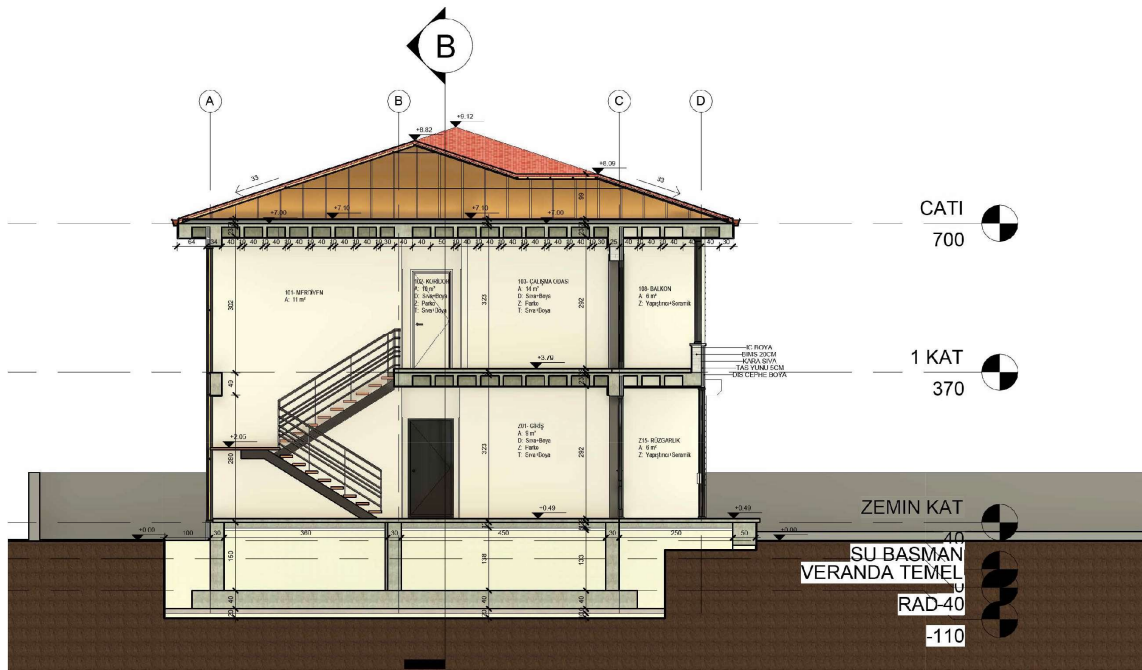


Şekil 5.9. Zemin kat planı (Yazar, 2021)

Elde edilmiş planların boyutlandırma, kotlar ve aks çizgileri gibi mimari verileri barındırması için eklemeler yapılmıştır. Ancak bu eklemelerin tamamlanmasını AR yazılımının barındırdığı özelleştirilmiş paneller ve akıllı etiketler kolaylaştırmıştır. AR yazılımında kot kapı, pencere ve mahal etiketleri akıllı nesnelerden oluşturulmuştur. Oluşturulan etiketlerin istenilen noktaya yerleştirilmesiyle ilgili yapı elemanına ait veriler otomatik olarak gelmiştir. Boyutlandırma işleminde çizgi ayarları yapılmış ve sonrasında boyut verilecek noktaların yazılıma bildirilmesi yeterli olmuştur. Aks ve kesit çizgilerinin oluşturulması boyutlandırma ile benzer bir süreci gerektirmiştir.

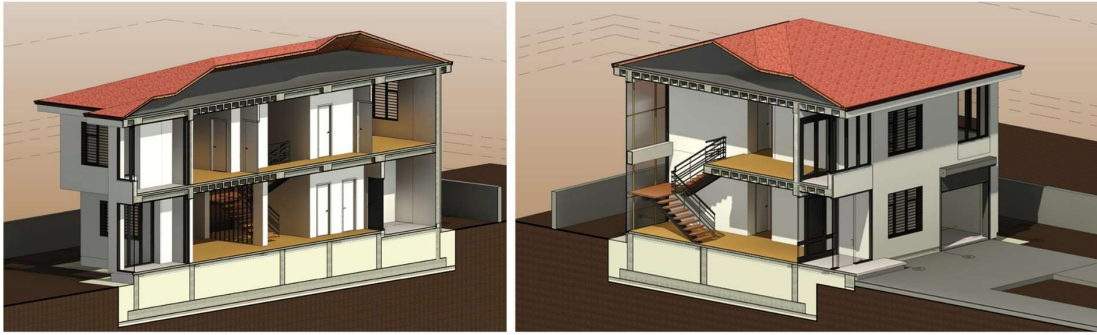
AR ortamında 3D modeli oluşturulmuş bir yapının istenen her noktasından kesitler, görüşler ve kesit perspektifler alınabilmektedir. YBM yazılımları bu yeteneği; 3D modelleme prensibi ve her yapı elemanını oluşturan nesnelerin öznitelik verilerine sahip olmasıyla kazanmaktadır. YBM ortamında belirtilen mimari temsillerin elde edilmesi için konum ve doğrultu verilerinin girilmesi yeterlidir. Ayrıca mimari verilerin işlenmesinde kullanılan akıllı nesneler, insan kaynaklı hataların önüne geçmektedir.

BDT sistemlerinde oluşturulmuş A-A kesitinin konumu referans alınarak AR yazılımından aynı kesit elde edilmiştir (Şekil 5.10). Kesitin konumu, doğrultusu ve yönünün yazılıma tanımlanmasıyla; aks çizgilerini, kat hizalarını ve B-B kesiti izini barındıran mimari temsil yazılım tarafından oluşturulmuştur. Planlarda kullanılan akıllı nesnelerin kesite işlenmesiyle kotlar elde edilmiştir. Yazılımın barındırdığı etiketlerden biri olan malzeme etiketleri kesitlerde kullanılmıştır. Planlarda boyutlandırma için yapılan ayarlamalar kesitlerde de kullanılmıştır.



Şekil 5.10. A-A kesiti (Yazar, 2021)

YBM tabanlı yazılımlarda kesit oluşturulurken işlenen konum, doğrultu ve yön veriyle istenirse kesit perspektifler de elde edilmektedir (Şekil 5.11). Yapıyı doğru anlamak ve modelin doğruluğunu kontrol etmek adına faydalı bir mimari temsildir. İkinci sıradaki görsel A-A kesitine ait kesit perspektiftir. Örnek kesit incelendiğinde merdiven evi, giriş holü ve çalışma odası mekânları ile çatı ve temel gibi taşıyıcı özellikteki konstrüksiyonları içeren A-A kesitinin anlaşılabilirliğini arttırmaktadır. Kesite giren yapı elemanlarının 3D hallerini görmek ve projede oluşabilecek hataları kontrol etmek adına önemlidir.



Şekil 5.11. Autodesk Revit yazılımına ait kesit perspektifler (Yazar, 2021)

BDT sistemlerinde oluşturulmuş doğu cephesi görünüşünün konumu referans alınarak AR yazılımından aynı görünüş elde edilmiştir (Şekil 5.12). Görünüşün konumu, doğrultusu ve yönünün yazılıma tanımlanmasıyla; aks çizgilerini, kat hizalarını ve görünüşe dik A-A kesit izini barındıran mimari temsil oluşturulmuştur. 3D modellemenin imkân sağladığı gölge ve malzeme dokusu gibi ayarlarla cephe görünüşünün anlaşılabilirliği kuvvetlendirilmiştir.



Şekil 5.12. Doğü cephesi görünüşü (Yazar, 2021)

Tasarım evresinde 3D model görüntüleri oluşturmak, 2D mimari temsillerden olan dört cephe görünüşü elde etmek kadar değerlidir. Projeler için oluşturulan model görüntüleri, cephe görünüşlerinden tasarım anlamında daha açıklayıcı görsellerdir. Tasarımın hem mimar tarafından değerlendirilmesini hem de diğer proje paydaşlarına sunulmasını kolaylaştırmaktadır.

BDT sistemlerinde oluşturulan 3D modeller, görselleştirme yazılımlarına aktarılarak gerçekçi görseller elde edilebilmektedir. AR yazılımında oluşturulan 3D modeller aynı görselleştirme yazılımlarına aktarılarak gerçekçi görseller elde edilebilirken aynı zamanda AR yazılımı içerisinde de gerçekçi görseller oluşturmak için kullanılan bir render motoru mevcuttur. AR yazılımına ait render motoruyla gerekli ayarlamalar yapıldığında 3D görseller elde edilebilmektedir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Autodesk Revit yazılımına ait 3D model görüntüleri (Yazar, 2021)

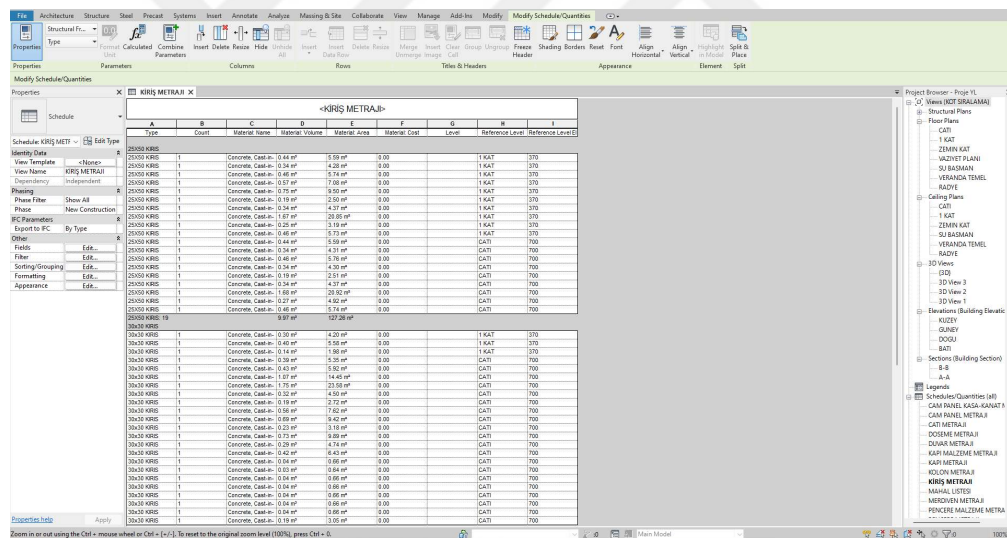
Fertek Evi'nin Proje müellifi tarafından AA ortamında çizilmiş 2D mimari temsilleri, tez çalışması kapsamında 3D modellemesi AR yazılımında tamamlanmıştır. Çalışmanın devamında AR yazılımı, 3D modelden yapı elemanlarına ait metrajların elde edilmesinde kullanılmıştır.

5.1.2. Autodesk Revit Yazılımından Metrajların Çıkarılması

AR yazılımı, 3D modeli oluşturan yapı elemanlarına dair metraj verilerini otomatik olarak çıkarmaktadır. Elde edilen metraj verileriyle yapım hakkında birçok çalışma yapılabilmektedir. Çalışma kapsamında yapım süreci ve maliyeti tahminleri için AR yazılımından elde edilen metraj verileri; yapım süreci ve maliyeti tahminleri için referans alınmıştır.

Yapım süreci tahmini için yapım faaliyetlerinin belirlenmiş ve birbirileri arasındaki gerekli ilişkiler kurulmuştur. Yapım maliyeti tahminlerinde birim fiyat yöntemi kullanılmıştır. Birim fiyatların tespiti, yapım faaliyetleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ancak yapım süreci ve maliyeti tahminleri için YBM teknolojisinin mevcut bir sistemi veya veri tabanı mevcut değildir. Birçok yapım yönetimi işinde otomatik veri sağlayan YBM yazılımları; yapım süreci ve maliyeti tahminlerinde kullanıcının bilgi ve tecrübesine ihtiyaç duymaktadır.

Tez çalışmasının 3D model oluşturulmasını takip eden adımında, metraj listelerinden yapıım faaliyetleri belirlenmiştir. AR yazılımında oluşturulan 3D modelden birçok metraj listeleri oluşturulmuş (Şekil 5.14). Metraj listeleri, her yapı elemanı için istenen öznitelik verilerini barındırmaktadır. Ayrıca yapı elemanının kullanım yeri, boyutu ve malzemesi gibi özelliklerine göre sıralanabilmektedir. İstenildiği takdirde herhangi bir sınıf başlığı altında toplam kullanım görüntülenebilmektedir. YBM yazılımlarında oluşturan metraj listelerindeki çeşitlilik, kullanıcıya en uygun verileri istenen formatta sunmaktadır.



YBM yazılımlarında yapı elemanları farklı gruplara sınıflandırıldığı için ayrı ayrı metrajlar listeleri oluşturulmaktadır. Metraj listesindeki yapı elemanlarının gerekli boyut ve öznitelik verileri yazılım tarafından kullanıcıya sunulmaktadır. Kullanıcı AR yazılımından metraj verisi talep ederken boyut ve öznitelik verilerinden dilediğini seçebilmektedir. Ancak tüm bu kullanıcı dostu yeteneklere rağmen; yapı elemanlarının farklı sınıflarda olması, bu sınıflardan metrajı gereken elemanların kullanıcı tarafından seçilmesi ve elde edilen verilerin nasıl kullanılacağı konularında yapım yönetimi hakkında çalışan proje paydaşının profesyonel müdahalesini gerektirmektedir.

Çalışma kapsamında YBM yazılımlarından AR ile gerçekleştirilen yapım süreci ve maliyeti tahminleri için çıkarılan metraj verileri; yapım faaliyetlerini ve yapım süreci tahminlerini belirlemek amaçlarıyla kullanılmıştır (Tablo 5.1).

Tablo 5.1. Mahal listesi (Yazar, 2021)

Kat	No	İsim	Alan	Duvar	Zemin	Tavan
Zemin Kat	Z01	Giriş	8.98 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z02	Koridor	7.92 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z03	Salon	27.92 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z04	Mutfak	26.20 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z05	Merdiven	11.49 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z06	Misafir Oda	16.41 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z07	Lavabo	2.44 m ²	Yapıştırıcı+Seramik	Yapıştırıcı+Seramik	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z08	Misafir Tuvaleti	2.23 m ²	Yapıştırıcı+Seramik	Yapıştırıcı+Seramik	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z09	Banyo	6.77 m ²	Yapıştırıcı+Seramik	Yapıştırıcı+Seramik	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z10	Garaj	25.75 m ²	Sıva+Boya	Yapıştırıcı+Seramik	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z11	Hidrofor	5.41 m ²	Sıva+Boya	Yapıştırıcı+Seramik	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z12	Tuvalet	2.83 m ²	Yapıştırıcı+Seramik	Yapıştırıcı+Seramik	Sıva+Boya
Zemin Kat	Z13	Kış Bahçesi	18.31 m ²		Yapıştırıcı+Seramik	
Zemin Kat	Z14	Veranda	32.65 m ²		Yapıştırıcı+Seramik	
Zemin Kat	Z15	Rüzgarlık	5.54 m ²		Yapıştırıcı+Seramik	
Zemin Kat: 15			200.84 m²			
Birinci Kat	101	Merdiven	11.02 m ²	Sıva+Boya		Sıva+Boya
Birinci Kat	102	Koridor	9.85 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Birinci Kat	103	Çalışma Oda	13.95 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Birinci Kat	104	Ebeveyn Oda	27.55 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Birinci Kat	105	Banyo	7.70 m ²	Yapıştırıcı+Seramik	Yapıştırıcı+Seramik	Sıva+Boya
Birinci Kat	106	Giyinme Oda	12.89 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Birinci Kat	107	Balkon	15.04 m ²		Yapıştırıcı+Seramik	
Birinci Kat	108	Balkon	6.29 m ²		Yapıştırıcı+Seramik	
Birinci Kat	109	Çocuk Odası	22.16 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Birinci Kat	110	Banyo	9.43 m ²	Yapıştırıcı+Seramik	Yapıştırıcı+Seramik	Sıva+Boya
Birinci Kat	111	Çocuk Odası	21.76 m ²	Sıva+Boya	Parke+Şilte	Sıva+Boya
Birinci Kat	112	Balkon	9.86 m ²		Yapıştırıcı+Seramik	
Birinci Kat: 12			167.51 m²			
Total: 27			368.35 m²			

Çalışmanın 3D modelin oluşturulması evresinde yapım faaliyetleri tespit edilemediği için metraj çıktılarından maliyet verilerine ulaşamamıştır. Ancak öznitelik verisi olarak maliyet değerleri akıllı nesnelere tanımlandığında aynı metraj listelerinde otomatik olarak güncellenerek maliyet değerlerine ulaşmıştır.

Metraj listelerinden elde edilen yapım faaliyetlerine uygun poz numaraları belirlenmiştir. Ancak bazı yapım faaliyetlere uygun poz numaraları bulunamamıştır. AEC sektöründe, uygun poz bulunmadığı takdirde özel poz numaraları ile ilgili yapım faaliyeti için maliyet çıkarılmaktadır. Tez çalışmasında öznel çalışmalarla sonuçları değiştirmemek adına özel poz numarası gerektiren yapım faaliyetleri, yapım süreci ve maliyeti tahmini çalışmalarına dahil edilmemiştir. Dahil edilmeyen yapım faaliyetlerine, yapı elemanına ait metraj listeleri kısmında gerekçeleriyle değinilmiştir.

Yapı elemanlarına ait elde edilmiş verilerden bir kısmı için alan verisi, kalan kısmı için hacim verisi kullanılmıştır. Alan ve hacim verilerinden hangilerinin kullanılacağına ilgili yapım faaliyetine ait poz numarası birimleri belirlenerek karar verilmiştir. Farklı birimlerin kullanıldığı yapı elemanlarının AR yazılımından elde edilen metraj listelerinde yer alması sebebiyle alan ve hacim verileri birlikte verilmiştir.

AR yazılımında oluşturulan 3D modele ait yatay doğrultulu yapı elemanları, yazılıma döşeme olarak tanıtılmıştır. Yatay doğrultulu yapı elemanlarının metrajlarına döşeme metrajı listelerinden ulaşılmıştır (Tablo 5.2). Yapım süreci ve maliyeti tahminleri için ilgili yapı elemanlarının alan ve hacim verileri yeterli görülmüştür. Ayrıca çalışmayı kolaylaştırmak adına aynı malzemeler tek satırda birleştirilmiştir.

Tablo 5.2. Döşeme metrajı (Yazar, 2021)

Malzeme	Alan	Hacim	Maliyet
Blokaj	253.71 m ²	25.37 m ³	0.00
Beton	749.94 m ²	138.36 m ³	0.00
Dış Cephe Boya	109.01 m ²	3.27 m ³	0.00
Grobeton	245.61 m ²	24.56 m ³	0.00
İç Boya	278.53 m ²	4.18 m ³	0.00
Parke	208.02 m ²	2.50 m ³	0.00
Şap	362.01 m ²	25.34 m ³	0.00
Seramik	28.69 m ²	0.29 m ³	0.00
Seramik Garaj	125.30 m ²	1.25 m ³	0.00
Seramik Yapıştırıcı	153.99 m ²	0.77 m ³	0.00
Sıkıştırılmış Toprak	280.91 m ²	285.64 m ³	0.00
Şilte	208.02 m ²	0.62 m ³	0.00
Su Yalıtım Membranı	230.65 m ²	0.46 m ³	0.00
Tas Yünü 5cm	232.14 m ²	23.21 m ³	0.00
Xps	178.44 m ²	8.92 m ³	0.00

Düşey doğrultuda oluşturulan yapı elemanlarını ise yazılıma duvar olarak tanımlanmıştır (Tablo 5.3). Oluşturulan duvarlar için ince yapı malzemeleriyle birlikte “Family” olarak oluşturulmuştur. Farklı yapı elemanlarını tek seferde bütüncül bir biçimde çizilmiştir. Ancak AR yazılımı istenildiğinde tek kalemde çizilen birçok yapı elemanının metrajlarını ayrı ayrı çıkarmıştır. Çalışmaya ait duvar metrajları listelerinde alan ve hacim verileri yeterli görülmüştür.

Tablo 5.3. Duvar metrajı (Yazar, 2021)

Malzeme	Alan	Hacim	Maliyet
Bims 10cm	128.30 m ²	11.84 m ³	0.00
Bims 20cm	326.93 m ²	54.20 m ³	0.00
Beton	144.70 m ²	45.03 m ³	0.00
Dış Cephe Boyası	351.57 m ²	9.62 m ³	0.00
İç Cephe Boyası	571.84 m ²	8.07 m ³	0.00
Kara Sıva	312.53 m ²	2.91 m ³	0.00
Seramik	159.94 m ²	1.51 m ³	0.00
Seramik Garaj	12.02 m ²	0.12 m ³	0.00
Seramik Yapıştırıcı	172.62 m ²	0.82 m ³	0.00
Su Yalıtım Membranı	109.46 m ²	0.22 m ³	0.00
Tas Yünü 5cm	325.07 m ²	14.86 m ³	0.00

Kolonlar, türlerine göre sınıflandırılarak tek satırda elde edilmiştir (Tablo 5.4). İstenildiği takdirde tüm kolonlar tek tek veya tüm kolonlar tek satırda görüntülenebilmektedir. Tip, adet, malzeme, hacim ve alan verileri çalışma kapsamında yeterli görülmüştür. Kolon metrajında ne kadar beton gerekeceği önemli olduğu için toplam malzeme verisi metraj listesine “Toplam” satırı eklenmiştir. Toplamın görüntülendiği satırdan kolonlar için gerekli beton miktarına ulaşılmıştır.

Tablo 5.4. Kolon metrajı (Yazar, 2021)

Tip	Adet	Malzeme	Hacim	Alan	Maliyet
25x120 Kolon	9	Beton	9.11 m ³	92.38 m ²	0.00
25x175 Kolon	3	Beton	3.54 m ³	35.04 m ²	0.00
25x185 Kolon	3	Beton	3.75 m ³	36.80 m ²	0.00
30x30 Kolon	6	Beton	1.46 m ³	20.52 m ²	0.00
30x50 Kolon	12	Beton	4.85 m ³	55.75 m ²	0.00
30x60 Kolon	6	Beton	2.91 m ³	31.85 m ²	0.00
30x70 Kolon	3	Beton	1.70 m ³	17.85 m ²	0.00
30x100 Kolon	3	Beton	2.43 m ³	23.28 m ²	0.00
L Kolon1	3	Beton	4.74 m ³	39.94 m ²	0.00
L Kolon2	3	Beton	4.37 m ³	37.26 m ²	0.00
Toplam: 51			38.85 m³	390.68 m²	

Kiriş metrajları için tip, adet, malzeme, hacim ve alan verileri çalışma kapsamında yeterli görülmüştür (Tablo 5.5). Kolonlarla benzer biçimde kiriş metrajı listelerine de toplam satırı eklenmiştir. Gerekli görüldüğü takdirde kolon ve kirişler için hazırlanan metraj listelerine kullanıldıkları kat bilgileri eklenebilmektedir. Ancak çalışma için gerekli görülmemiştir.

Tablo 5.5. Kiriş metrajı (Yazar, 2021)

Tip	Adet	Malzeme	Hacim	Alan	Maliyet
25x50 Kiriş	19	Beton	9.97 m ³	127.26 m ²	0.00
30x30 Kiriş	23	Beton	8.35 m ³	117.21 m ²	0.00
40x30 Kiriş	2	Beton	0.66 m ³	8.46 m ²	0.00
50x30 Kiriş	2	Beton	0.83 m ³	11.55 m ²	0.00
55x30 Kiriş	14	Beton	11.91 m ³	131.43 m ²	0.00
65x30 Kiriş	2	Beton	3.95 m ³	41.05 m ²	0.00
Toplam: 62			35.67 m³	436.96 m²	

Döşeme, kolon ve kiriş metrajlarıyla yapım sürecinde gerekli beton miktarı tespit edilmiştir. Ancak AR yazılımı farklı metraj listeleri oluşturularak elde edilen verileri birleştirememektedir. Oysaki aynı kata ait döşeme, kolon ve kirişler için beton dökümleri tek seferde gerçekleştirilmektedir. Belirtilen gerekçe nedeniyle yapım yönetimi için taşıyıcı sisteme ait betonarme yapı elemanlarının metraj değerleri toplanmaktadır. Farklı metraj listelerinden elde edilen beton miktarları yazar tarafından toplanmıştır.

AR yazılımı çatı metrajında, çatı örtüsünü oluşturan katmanlarını oluşturan malzeme miktarlarını vermektedir. Aynı katmanda kullanılmaları sebebiyle aynı alan değerine sahip metraj verileri elde edilmiştir (Tablo 5.6). Ancak katmanlardaki yükseklik farkları sebebiyle hacimler farklı değerlerde elde edilmiştir. Çatı konstrüksiyonun kurulmasının yapım maliyeti tahmini için 15.300.1001 poz numarası kullanılmıştır. Poz numarasına göre kurgulanacak çatının kapladığı alanın m² verisi yeterli olmaktadır. Hesaplanan alan ve poz numarasına ait birim fiyatın çarpılmasıyla mertek, aşık, makas, çatı altı kaplama tahtaları vb. çatı elemanlarının tamamı için yapım maliyeti tahmini oluşturulmuştur. 3D model oluşturulurken çatı elemanlarının modellenmesinin yapım maliyeti tahminini değiştirmeyeceği için gerekli görülmemiştir.

Tablo 5.6. Çatı metrajı (Yazar, 2021)

Malzeme	Hacim	Alan	Maliyet
Su Yalıtım Membranı	0.50 m ³	251.45 m ²	0.00
Çatı Altı Tahtası	12.57 m ³	251.45 m ²	0.00
Kiremit	12.57 m ³	251.45 m ²	0.00

Merdiven metrajı listesinde basamaklar ve taşıyıcı hakkında metraj verileri elde edilmiştir (Tablo 5.7). Ancak elde edilen verileri kullanabilecek bir poz numarası belirlenememiştir. Ayrıca AR yazılımından merdivenin diğer yapı elemanları olan korkuluk ve küpeşte hakkında miktar verisi elde edilememiştir. Veri eksikliklerini tamamlamak için özel poz numaralarının üretilmesi gerekmektedir. Öznel yoruma açık olan özel poz numaralarının tez çalışmasında kullanılmamasına karar verilmiştir. Belirtilen gerekçeler nedeniyle yapım maliyeti tahminlerine merdivene ait yapı elemanları dahil edilmemiştir. Merdiven metrajı listesinden elde edilen veriler yapım süreci tahmininde kullanılmıştır.

Tablo 5.7. Merdiven metrajı (Yazar, 2021)

Malzeme	Hacim	Alan	Maliyet
Merdiven Metal	0.31 m ³	6 m ²	0.00
Merdiven Ahşap	0.52 m ³	24 m ²	0.00

AR yazılımında oluşturulan 2D planlarda kapı ve pencereler akıllı nesnelerle etiketlenmiştir. Etiketlerle kapı ve pencere tipleri otomatik olarak belirlenmiştir. Tip verilerine ek olarak sayı, yükseklik ve genişlik verileri metraj listesi için yeterli görülmüştür (Tablo 5.8). AR yazılımının kapı ve pencere tiplerine göre verdiği metraj listeleri özellikle büyük ve karmaşık projelerde faydalıdır. Ancak yapım süreci ve maliyeti tahminleri için belirtilen verileri barındıran metraj listesi, yapım süreci ve maliyeti tahminleri için yeterli görülmemiştir.

Tablo 5.8. Kapı ve pencere metrajı (Yazar, 2021)

Tip	Adet	Yükseklik	Genişlik	Maliyet
K1	9	220	90	0.00
K2	1	270	255	0.00
K3	2	220	100	0.00
K4	1	300	282	0.00
K5	1	284	100	0.00
K6	1	270	354	0.00
K7	1	270	270	0.00
K8	2	220	100	0.00
K9	1	240	180	0.00
K10	1	270	270	0.00
Total: 20				
P1	8	180	205	0.00
P2	6	50	50	0.00
P3	2	140	205	0.00
Total: 16				

AR yazılımında kapı ve pencere metrajları için malzemelerinin belirtildiği metraj listeleri oluşturulmuştur. Kapılar ve pencereler tiplerine göre sınıflandırılarak kullanılan malzemelerin metraj verilerine ulaşılmıştır (Tablo 5.9). Malzemeler için tip, malzeme, hacim, alan ve adet verileri yeterli görülmüştür.

Tablo 5.9. Kapı ve pencere malzeme metrajı (Yazar, 2021)

Tip	Malzeme	Hacim	Alan	Maliyet	Adet
Balkon Kapısı	Kapı Kolu	0.00 m ³	0 m ²	0.00	2
Balkon Kapısı	PVC	0.14 m ³	10 m ²	0.00	2
Balkon Kapısı	Cam	0.04 m ³	4 m ²	0.00	2
Garaj Kapısı	Lastik Bant	0.00 m ³	1 m ²	0.00	1
Garaj Kapısı	Çelik	0.00 m ³	1 m ²	0.00	1
Garaj Kapısı	Alüminyum	0.16 m ³	22 m ²	0.00	1
İç Kapısı	Kapı Kolu	0.00 m ³	0 m ²	0.00	9
İç Kapısı	Kapı Ahşabı	0.92 m ³	73 m ²	0.00	9
Kayar Kapı	Cam	0.13 m ³	43 m ²	0.00	3
Kayar Kapı	PVC	0.71 m ³	47 m ²	0.00	2
Garaj Kapısı	Metal	0.12 m ³	6 m ²	0.00	1
Garaj Kapısı	Metal	0.12 m ³	6 m ²	0.00	1
Rüzgarlık	Cam	0.04 m ³	6 m ²	0.00	1
Rüzgarlık	Alüminyum	0.00 m ³	0 m ²	0.00	1
Dış Kapı	Cam	0.12 m ³	6 m ²	0.00	1
Dış Kapı	PVC	0.25 m ³	15 m ²	0.00	1
Oda Penceresi	Cam	48.36 m ²	0.16 m ³	0.00	4
Oda Penceresi	PVC	29.88 m ²	0.36 m ³	0.00	4
Tuvalet Penceresi	Cam	1.68 m ²	0.00 m ³	0.00	6
Tuvalet Penceresi	PVC	5.88 m ²	0.06 m ³	0.00	6
Mutfak Penceresi	Cam	9.53 m ²	0.03 m ³	0.00	1
Mutfak Penceresi	PVC	6.89 m ²	0.06 m ³	0.00	1
Panjur	Metal	12.54 m ²	0.05 m ³	0.00	5

Cam paneller balkonlarda, verandada ve merdivende kullanılmıştır. Cam panel metrajları için malzeme, adet, alan ve hacim verileri çalışma kapsamında yeterli görülmüştür (Tablo 5.10). Çalışmayı kolaylaştırmak adına aynı malzemeler tek satırda toplanmıştır.

Tablo 5.10. Cam panel metrajı (Yazar, 2021)

Malzeme	Adet	Alan	Hacim	Maliyet
Cam	47	77.61 m ²	1.94 m ³	0.00
Yeşil Cam	15	15.72 m ²	0.39 m ³	0.00
PVC	184	98.62 m ²	1.77 m ³	0.00

AR yazılımından otomatik olarak metraj listeleri elde edilmiştir. Elde edilen metraj listelerinde yapı elemanlarına ait gerekli verilerin bulunmasına yapım süreci ve maliyeti tahminlerinin güvenilirliğini sağlamak adına özen gösterilmiştir. Metraj listelerinden yapım faaliyetleri tespit edilmiştir. Yapım faaliyetlerinden poz numaralarına geçileceği için metraj listelerinde elde edilen birim değerlerinin pozlara uygun olması gerekmektedir. Poz numaralarının tespiti sürecinde bazı metraj listelerinde değişiklikler yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında verilmiş metraj listeleri en son kullanılan güncel halleridir.

Fertek Evi'nin sanal uygulama evresinde gelecek adım yapım faaliyetlerinin belirlenmesi, yapım faaliyetleri için gerekli süre tahminlerinin yapılması ve yapım maliyeti tahminleri için yapım faaliyetlerine ait poz numaralarının belirlenmesidir.

5.1.3. Yapım Faaliyetlerinin ve Poz Numaralarının Belirlenmesi

Yapım süreci ve maliyeti tahminleri için yapım faaliyetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma sürecinde belirlenmiş yapım faaliyetleri için gerekli süre tahminleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapım maliyeti tahminleri için birim fiyat yöntemi tercih edilmiştir. Birim fiyatları tespit etmek amacıyla metraj listeleri referans alınarak belirlenmiş yapım faaliyetlerine uygun poz numaraları seçilmiştir. Poz numaralarının tespitinde T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2021 yılında hazırlanmış poz numaraları kullanılmıştır. Poz numaraları yapım faaliyetlerine ait iş tanımlarını, birimini, yılına göre güncel birim fiyatlarını, analizini, tarifini ve yapım şartları gibi verileri barındırmaktadır. Çalışma sürecinde poz numaralarına ait veriler incelenerek yapım faaliyetine en uygun olanı tercih edilmiştir.

Her yapım faaliyetine uygun poz numarası belirlenmesi mümkün değildir. Yapım faaliyetlerinden bir kısmı için özel poz numaralarının oluşturulması gerekmektedir. YBM teknolojisiyle yapım maliyeti tahminlerini değerlendiren bu çalışmada; özel poz numaralı yapım faaliyetlerinin öznel yoruma ihtiyaç duyması ve BDT sistemleriyle tamamlanan tasarım evresinde yapım maliyeti tahmini gerçekleştirilmediği dolayısıyla kıyaslanacak bir veri bulunmadığı için yazar tarafından oluşturularak çalışmada kullanılması çalışmanın amacına uygun görülmemiştir. Ancak yapım süreci tahminlerinde her yapım faaliyetinin eksiksiz olarak planlamaya katılması çalışmanın güvenilirliği açısından gereklidir. Belirtilen gerekçe sebebiyle yapım faaliyetlerinin tümü yapım süreci tahminlerinde kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılmış yapım faaliyetleri, yapım faaliyetlerine ait poz numaraları ve gerekli süreler birleştirilmiştir (Tablo 5.11). Poz numarası bulunmayan yapım faaliyetlerine ait iş tanımları, yapım faaliyetine ait süre tahminlerini çalışmak adına oluşturulmuştur. Yapım faaliyetlerinin tablodaki veriliş sırası iş akışını göstermektedir. Ancak bazı yapım faaliyetleri aynı anda sahada uygulanabileceği için yapım süreci planlamasının son hali AN yazılımından elde edilen sonuçlarda verilmiştir.

Tablo 5.11.Yapım faaliyetleri, poz numaraları ve süre tahminleri (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığına hazırlanan poz numaraları kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır, 2021)

Yapım Faaliyeti	Poz	Açıklama	Birim	Birim Fiyat	Süre Tahmini
Hafriyat	15.120.1001	Makine ile yumuşak ve sert toprak kazılması (serbest kazı)	m ³	6,15	1 GÜN
Blokaj yapılması	74.042.0009	Blokaj yapılması	m ³	121,19	1 GÜN
Grobeton dökümü	15.150.1003	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 16/20 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	266,94	1 GÜN
ARA					2 GÜN
Su yalıtım membranının serilmesi	15.255.1009	3 mm ve 4 mm kalınlıkta elastomer esaslı (- 20 °C soğukta bükülmeli) polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtüler ile iki kat su yalıtımı yapılması	m ²	75,84	1 GÜN
Radye temel beton dökümü	15.150.1006	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	291,94	7 GÜN
ARA					2 GÜN
Yükseltme perdeleri beton dökümü	15.150.1006	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	291,94	5 GÜN
Su yalıtım membranının serilmesi	15.255.1009	3 mm ve 4 mm kalınlıkta elastomer esaslı (- 20 °C soğukta bükülmeli) polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtüler ile iki kat su yalıtımı yapılması	m ²	75,84	1 GÜN
Sıkıştırılmış toprak dolgusu	43.610.1005	Ariyetten alınan toprakla hendek ve temel dolgusu yapılması	m ³	71,98	2 GÜN
XPS levhalarla zeminde ısı yalıtımı	153.351.602	4 cm kalınlıkta yüzeyi düzgün levhalar (xps - 200 kpa basınç dayanımlı) ile yatayda (zemin yada arakat döşeme betonu üzerinde vb.) ısı yalıtımı yapılması	m ²	97,59	1 GÜN
Blokaj yapılması	74.042.0009	Blokaj yapılması	m ³	121,19	1 GÜN
Beton dökümü	15.150.1006	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	291,94	1 GÜN
ARA					2 GÜN
Zemin kat beton dökümü	15.150.1006	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	291,94	14 GÜN
Birinci kat beton dökümü	15.150.1006	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	291,94	14 GÜN
ARA					2 GÜN

Tablo 5.11. (Devamı)

Bims'ten 10cm duvar yapımı	15.230.1002	10 cm kalınlığındaki taşıyıcı olmayan bimsbeton duvar blokları ile duvar yapılması (bimsbeton tutkalı ile) (min. 1,50 n/mm ² ve 600-900 kg/m ³ , 900 kg/m ³ hariç)	m ²	42,40	10 GÜN
Bims'ten 20cm duvar yapımı	15.230.1006	19 cm kalınlığındaki taşıyıcı olmayan bimsbeton duvar blokları ile duvar yapılması (bimsbeton tutkalı ile) (min. 1,50 n/mm ² ve 600-900 kg/m ³ , 900 kg/m ³ hariç)	m ²	57,20	10 GÜN
Çatının kurgulanması	15.300.1001	Ahşaptan oturtma çatı yapılması (çatı örtüsü altı tahta kaplamalı)	m ²	154,88	10 GÜN
Taş yünü serilmesi	15.325.1102	Ahşap çatı üzerine her renkte oluklu bitümlü levhalarla çatı örtüsü yapılması (kategori r _≥ 1400 n/m ²) (yangın sınıfı broof)	m ²	62,95	2 GÜN
Kiremitlerle çatının örtülmesi	15.305.1001	Üst ve alt kiremit (alaturka) ile çatı örtüsü yapılması (Sızdırmazlık Sınıfı: Grup 1) (150 donma-çözülme çevrimine dayanıklı) (3 Latalı sistem)	m ²	160,76	3 GÜN
ARA					120 GÜN
Dış cephe sıvası	15.275.1101	250/350 kg çimento dozlu kaba ve ince harçla sıva yapılması (dış cephe sıvası)	m ²	56,86	15 GÜN
İç cephe sıvası	15.275.1106	250 kg çimento dozlu harç ile kaba sıva yapılması	m ²	34,18	15 GÜN
Duvar yalıtımı	15.340.1001	5 cm kalınlıkta yüzeye dik çekme mukavemeti en az 7,5 kPa (TR 7,5) taş yünü levhalar ile dış duvarlarda dıştan ısı yalıtımı ve üzerine ısı yalıtım sıvası yapılması (Mantolama)	m ²	97,63	10 GÜN
Merdiven cephesi temperli ve renkli cam montajı	10.380.1702	6 (yeşil) mm + 6 mm kalınlıkta 16 mm ara boşluk çıtalı, dış camı temperli, renkli güneş kontrol camı, iç camı ısı kontrol kaplamalı düz cam. Yalıtım Camları (TS 3539-1,2,3,4,6 EN 1279-1,2,3,4,6) (Hava (Kuru) Dolgulu)			1 GÜN
Cam montajı	10.380.1751	4 + 4 mm kalınlıkta 12 mm ara boşluk çıtalı, dış camı temperli, nötral, ısı kontrol kaplamalı, iç camı düz cam yalıtım camları (TS 3539-1,2,3,4,6 EN 1279-1,2,3,4,6) (Hava (Kuru) Dolgulu)			1 GÜN
Pvc takılması	15.455.1001	Plastik doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması (sert pvc doğrama profillerinden her çeşit kapı, pencere, kaplama ve benzeri imalat)			7 GÜN
Kapı kasası	15.510.1001	Ahşaptan masif tablalı iç kapı kasa ve pervazı yapılması yerine konulması			2 GÜN
Kapı kanadı	15.510.1101	Ahşaptan masif tablalı iç kapı kanadı yapılması ve yerine konulması			1 GÜN
Kapı kolu	10.400.2181	Pirinç kapı kolu takımı kol kısmı minimum 475 gr			1 GÜN
Dış cephenin boyanması	15.540.1304	Brüt beton, sıvalı veya eski boyalı yüzeylere, astar uygulanarak silikon esaslı su bazlı boya yapılması (dış cephe)	m ²	42,79	7 GÜN
İç cephenin boyanması	15.540.1215	Yeni sıva yüzeylere astar uygulanarak iki kat su bazlı mat boya yapılması (iç cephe)	m ²	33,03	10 GÜN

Tablo 5.11. (Devamı)

Şap atılması	15.250.1101	2.5 cm kalınlığında 400 kg çimento dozlu şap yapılması	m ²	36,70	3 GÜN
Merdiven çeliklerinin yerleştirilmesi		Merdivenin taşıyıcı elemanlarını olan kutu profil çeliklerin (20x20 cm) yerleştirilmesi			3 GÜN
Merdiven korkuluklarının montajı		Çelik merdiven korkuluklarının montajı			1 GÜN
Merdiven ahşaplarının montajı		Merdiven basamaklarını oluşturan ahşap basamakların (5x130 cm) montajı			4 GÜN
Banyo seramiklerinin yerleştirilmesi	10.240.3664	Her türlü renk, desen ve yüzey özelliğinde, parlak, sırsız porselen karo (60x90-60x120 cm anma ebatlarında) (rektifiyeli)	m ²	125,00	2 GÜN
Garaj seramiklerinin yerleştirilmesi	15.375.1052	(30 x 30 cm) veya (33 x 33 cm) anma ebatlarında, her türlü desen ve yüzey özelliğinde, 1.kalite, renkli seramik yer karoları ile 3 mm derz aralıklı döşeme kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)	m ²	61,30	7 GÜN
Parkelerin yerleştirilmesi	15.490.1003	Ac4 sınıf 32 laminat yer kaplaması ile döşeme kaplaması yapılması (süpürgelik dahil)	m ²	64,49	3 GÜN
Cam montajı	103.801.751	4 + 4 mm kalınlıkta 12 mm ara boşluk çıtalı, dış camı temperli, nötral, ısı kontrol kaplamalı, iç camı düz cam yalıtım camları (TS 3539-1,2,3,4,6 EN 1279-1,2,3,4,6) (Hava (Kuru) Dolgulu)			1 GÜN
Cam kasalarının takılması	154.701.010	PVC ve alüminyum doğramaya profil ile 4+4 mm kalınlıkta 12 mm ara boşluklu çift camlı pencere ünitesi takılması			1 GÜN
Panjur montajı	254.758.101	Panjur (galvanizli sacdan)			3 GÜN

Yapım faaliyetleri arasındaki ilişkiler, belirlenen süreler ve birim fiyatların birleştirilmesi çalışmanın materyallerinden biri olan AN yazılımında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin AN ortamında birleştirilmesiyle 5D model elde edilmiş ve Fertek Evi'nin sanal uygulama süreci tamamlanmıştır. Çalışma kapsamında maliyet değerlerine ulaşmak için yapım faaliyetlerine uygun poz numaraları belirlenmiştir. Belirlenen poz numaralarına ait güncel fiyatlarla yapı elemanları birleştirilmiştir. Yapı elemanları için öznitelik verilerinin girilmesiyle yapım maliyeti tahmini tamamlanmıştır. Yapım faaliyetlerine süre değerlerinin eklenmesiyle uygulama evresinin hangi gününe kadar toplamda ne kadar harcama yapıldığı görülmektedir.

Yapım faaliyetlerinden merdiven yapımı için gerekli metraj verilerine ulaşılamadığı için yapım maliyeti tahminlerinde kullanılamayacağına AR yazılımından metrajların elde edilmesi adımı bahsedilmiştir. Yapım faaliyetlerinin poz numaralarıyla eşleştirilmesi sürecinde çalışmaya uygun olmayan bazı yapım faaliyetleri tespit edilmiştir.

İskele kurulması ve kalıpların sökülüp takılması hakkında AR yazılımından gerekli metraj verileri alınamamıştır. Veri alınamayan yapım faaliyetlerinden yapım maliyeti tahminleri yapılması

çalışma kapsamında uygun görülmemiştir. Ayrıca metraj verileri elde edilmiş yapı elemanlarından kapılar ve pencerelerde ise gerçek uygulama evresinde aynı metraj sonuçları elde edileceği belirlenmiştir. Aynı metraj verilerinin kullanılması AR yazılımının metraj çıktılarının güvenilirliğini sınamayacaktır. Belirtilen gerekçe nedeniyle yapım maliyeti tahminlerinde kullanılmamıştır. Yapım maliyeti tahmini çalışılmayan yapım faaliyetlerinin birimleri ve birim fiyatları tabloya eklenmemiştir. Yapım maliyetinde kullanılamayacağı belirtilen yapım faaliyetleri yapım süreci tahminlerinde kullanılmıştır.

Tez çalışması kapsamında kolon, kiriş ve döşeme gibi betonarme yapı elemanlarında bulunan donatılarla ilgili çalışmaların ilgili meslek erbaplarınca yapılmasının daha doğru olacağına karar verilmiştir. AR yazılımı donatıların 3D modele eklenmesine izin vermektedir. Ancak ilgili AEC sektörü paydaşları tarafından oluşturulmaları gerektiğine kanaat getirilmiştir. Belirtilen yapı elemanlarının metraj verilerinden sadece beton miktarları elde edilmiş ve çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Mekanik, elektrik vb. çalışmalar için yapım süreci tahminlerinde belirlenen yapım faaliyetleriyle birlikte yürütülebileceğine karar verilmiştir.

5.1.4. Autodesk Navisworks Yazılımında 5D Modelin Oluşturulması

AR yazılımında uygulama evresinin planlanması ve değerlendirilmesi için uygun bir ortam mevcut değildir. Ancak yapım yönetiminin proje üzerinde daha efektif olması adına yapım süreci ve maliyetini planlayan AR yazılımıyla uyumlu YBM araçları kullanılabilir. Çalışma kapsamında YBM araçlarından AN yazılımında; çakışma analizi, yapım süreci ve maliyeti tahminleri gerçekleştirilmiştir.

Çakışma analiziyle 3D modelin yapı elemanları arasındaki birleşim noktalarının yapıma uygunluğu kontrol edilmiştir. Gerçekleştirilen analiz bir anlamda AR yazılımında oluşturulan 3D modelin kontrolünün sağlanmasıdır. Güvenilir yapım süreci ve maliyeti tahminleri için tespit edilen çakışma noktaları AR yazılımında tekrar düzenlenmelidir.

Belirlenmiş yapım faaliyetleri AN yazılımına girilmiş ve yapım faaliyetlerine uygun yapı elemanları eşleştirilmiştir. AN yazılımında yapım faaliyetlerine başlangıç ve bitiş tarihleri aralarındaki yapım sırası ilişkileri göz önünde bulundurularak girildiğinde yapım için optimum sonuç elde edilmektedir. Ayrıca girilen tarihler için yazılım tarafından otomatik olarak Gantt Diyagramı oluşmaktadır. Diyagram yardımıyla yapım faaliyetleri için tarihlerin belirlenmesi olası hata riskini azaltmaktadır.

Maliyet verilerinin yapım faaliyetleriyle birleştirilmesi sonucu Fertek Evi'ne ait 5D modele ulaşılmıştır. Yapım faaliyetlerinin tamamına maliyet değerleri girildiğinde yaklaşık yapım maliyeti hesabı yazılım tarafından tamamlanmaktadır. Yapım faaliyetleri ve yapım faaliyetlerine ait veriler AN yazılımı tarafından istenildiği takdirde bir simülasyona dönüştürülebilmektedir. Oluşturulan

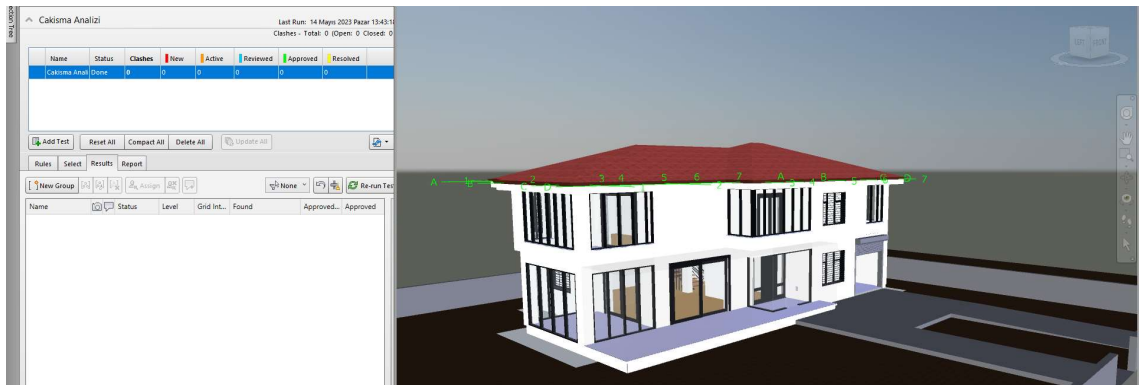
simülasyona istenildiği takdirde uygulama evresinin gününe ait maliyet değerleri eklenebilmektedir.

AN ve AR yazılımları birlikte çalışmaya uygun YBM araçlarıdır. Ortak çalışmalarının avantajı olarak AR yazılımında 3D modeli hazırlanmış proje veri kaybı yaşanmadan AN ortamına aktarılabilir. Fertek Evi'nin AR yazılımında hazırlanmış 3D modeli, AN yazılımına aktarılmıştır (Şekil 5.15). 3D modele ait yapı elemanları, AR yazılımında oluşturulmuş kat hizalarına göre gruplanarak görüntülenmektedir.



Şekil 5.15. Autodesk Navisworks çalışma ekranı (Yazar, 2021)

Fertek Evi için AN yazılımında yapılmış ilk çalışma çakışma analizidir (Şekil 5.16). Çakışma analizi, 3D modelde fark edilmeyen çakışma hatalarının tespit edilmesi için gerçekleştirilmiştir. Çakışma analizi sonucunda herhangi bir çakışma tespit edilmemiştir. Çakışma tespit edilmemesi 3D modelin düzgün bir biçimde tamamlandığını göstermektedir. Çakışma analizinin gerçekleştirilmesinde tolerans değeri 1 cm olarak seçilmiştir. Belirlenen tolerans değeri, çalışma sahasında sorun teşkil etmeyecek maksimum çakışma miktarı olarak değerlendirilebilir.



Şekil 5.16. Autodesk Navisworks çakışma analizi (Yazar, 2021)

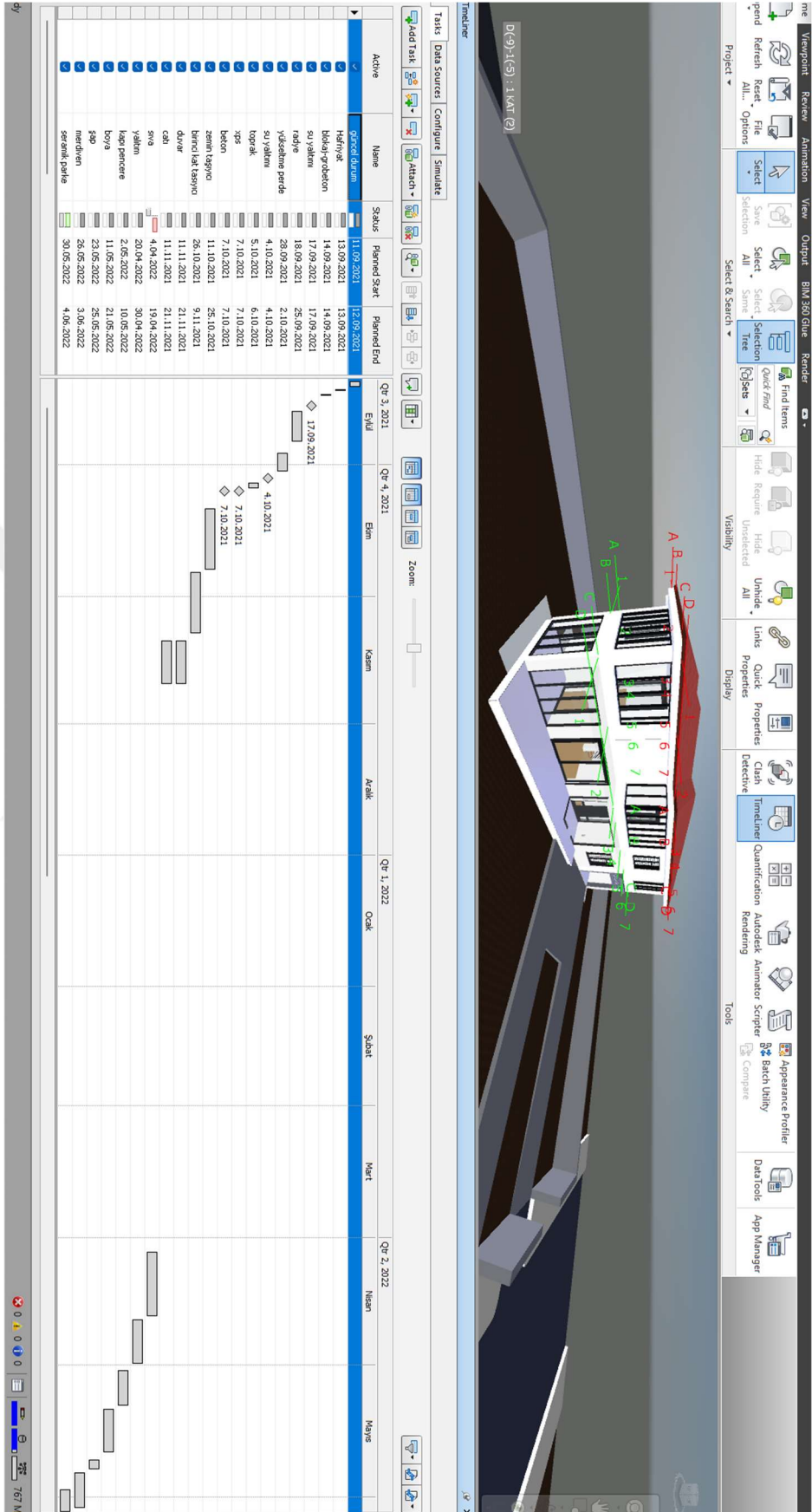
AN yazılımına tespit edilen yapım faaliyetleri başlangıç ve bitiş tarihleriyle birlikte eklenmiştir. Yapım faaliyetleri, yapımı tamamlanacak yapı elemanlarıyla eşleştirilmiştir. Poz numaralarından elde edilmiş birim fiyat ile metraj değerinin çarpım sonuçlarının eklenmesiyle Fertek Evi için yapım süreci ve maliyeti tahminleri tamamlanmıştır (Tablo 5.12).

Tablo 5.12.Autodesk Navisworks ortamında yapım süreci ve maliyeti tahmini (Yazar, 2021)

Yapım Faaliyeti	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Maliyet Tahmini
Hafriyat	13.09.2021	13.09.2021	2.567,87 TL
Blokaj-Grobeton	14.09.2021	14.09.2021	9.532,48 TL
Su Yalıtımı	17.09.2021	17.09.2021	15.587,4 TL
Radye Temel	18.09.2021	25.09.2021	24.000,39 TL
Yükseltme Perde	28.09.2021	02.10.2021	15.378,16 TL
Su Yalıtımı	04.10.2021	04.10.2021	10.206,55 TL
Toprak Dolgusu	05.10.2021	06.10.2021	20.567,37 TL
Xps	07.10.2021	07.10.2021	17.413,22 TL
Beton	07.10.2021	07.10.2021	6.250,44 TL
Zemin Taşıyıcı	11.10.2021	25.10.2021	13.548,94 TL
Birinci Kat Taşıyıcı	26.10.2021	09.11.2021	15.942,84 TL
Duvar	11.11.2021	21.11.2021	24.140,32 TL
Çatı	11.11.2021	21.11.2021	93.980,89 TL
Sıva	04.04.2022	19.04.2022	55.254,23 TL
Yalıtım	20.04.2022	30.04.2022	31.737,58 TL
Kapı Pencere Montaj	02.05.2022	10.05.2022	0
Boya	11.05.2022	21.05.2022	47.795,94 TL
Şap	23.05.2022	25.05.2022	13.285,77 TL
Merdiven	26.05.2022	03.06.2022	0
Seramik Parke	30.05.2022	04.06.2022	45.411,68 TL
TOPLAM			462.562,80 TL

Yapım faaliyetleri için belirlenmiş birim fiyatlarla metrajların çarpımı yazar tarafından gerçekleştirilmiştir. Elde edilmiş sonuçlar yapım faaliyetlerine AN yazılımında tanımlanmıştır. Pazar günleri ve resmî tatillerde yapım faaliyeti planlanmamıştır. Müteahhit tarafından kış aylarındaki uygunsuz hava koşulları düşünülerek yapıma dört ay ara verilmesi kararına sanal uygulama evresinde de uyulmuştur. Aynı zaman aralığında tamamlanacak yapım faaliyetleri birlikte değerlendirilmiştir.

Yapım faaliyetlerine girilen tarihlerle AN yazılımı tarafından Gantt Diyagramı otomatik olarak elde edilmiştir (Şekil 5.17). Gantt diyagramı; yapım faaliyetlerinin planlamasında ve yapım faaliyetleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde kolaylık sağlamıştır. Ayrıca oluşturulan yapım süreci planlamasının anlatımını kolaylaştırmaktadır.



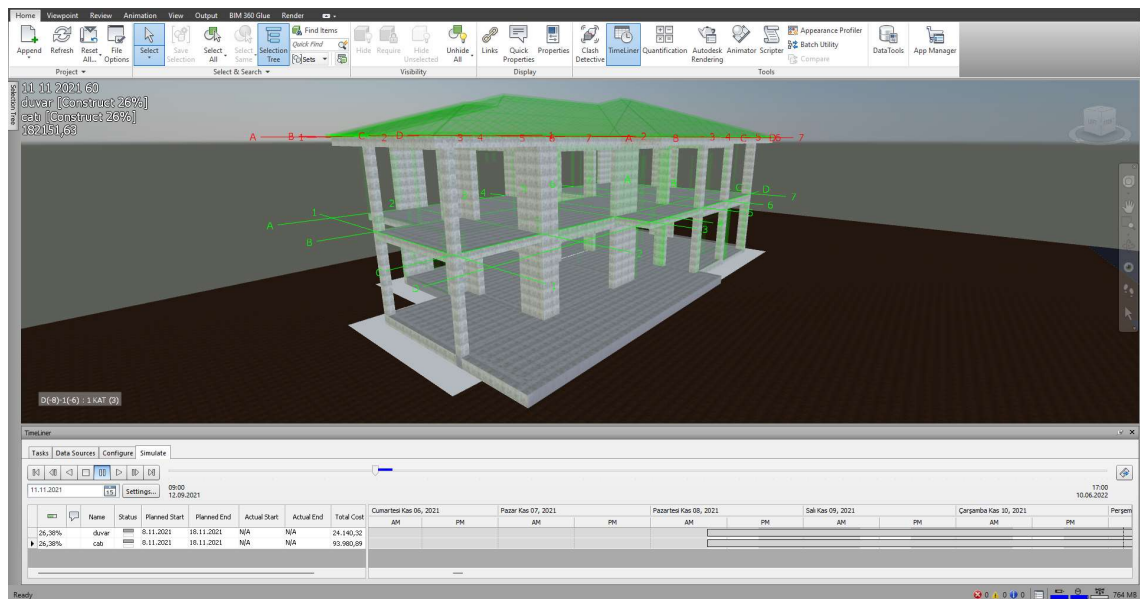
Şekil 5.17. Autodesk Navisworks ortamında yapım faaliyetleri ve gantt diyagramı (Yazar, 2021)

AN yazılımında yapım faaliyetlerine ait verilerin girilmesiyle istenen tarihe ait yapım süreci ve maliyeti tahminleri gerçekleştirilebilmektedir. AN yazılımının belirtilen özelliğiyle yapımın kontrol evresi için planlama evresinde veri elde edilmektedir. AN yazılımının bu yeteneği tüm yapım faaliyetleri için süre ve maliyet verilerini barındırmasıyla kazanmaktadır. Fertek Evi'nin sanal uygulama evresinde dahil her ayın birinci günü için yapım süreci ve maliyeti tahminleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 5.13).

Tablo 5.13. Uygulama evresinin farklı zamanlarına ait yapım süreci ve maliyeti tahminleri (Yazar, 2021)

Tarih	Uygulama Evresi Günü	Yapım Faaliyeti	Güncel Maliyet
01.10.2021	20	Yükseltme Perde	78.996,44 TL
01.11.2021	51	Birinci Kat Taşıyıcı	146.121,09 TL
01.12.2021	80	Ara	269.116,65 TL
01.01.2022	112	Ara	269.116,65 TL
01.02.2022	142	Ara	269.116,65 TL
01.03.2022	171	Ara	269.116,65 TL
01.04.2022	201	Ara	269.116,65 TL
01.05.2022	232	Kapı Pencere Montaj	356.107,46 TL
01.06.2022	262	Merdiven-Zemin	433.713,98 TL

Sanal uygulama evresinin farklı zamanlarına ait simülasyon sonuçları da elde edilebilmektedir. Kaba yapı sürecinin devam ettiği ikinci ayın sonu için yapım süreci ve maliyeti tahmini simülasyon yoluyla tamamlanmıştır (Şekil 5.18).



Şekil 5.18. Autodesk Navisworks ortamında yapım süreci ve maliyeti tahmini (Yazar, 2021)

AN yazılımında sanal uygulama evresinin simülasyonu oluşturulmuştur. Simülasyon oluşturmak için yapım faaliyetleri ile yapım faaliyetlerine ait yapı elemanları eşleştirilmiştir. Simülasyon, sanal uygulama evresine ait herhangi bir gün için tarih, uygulama evresinin günü, seçilen tarihte devam eden yapım faaliyetleri ve uygulama evresinin başlangıcından seçilen tarihe kadar yapılmış harcamaları barındırmaktadır. Yapım faaliyetleri ve yapım faaliyetlerine ait yapı elemanlarının eşleştirilmesiyle uygulama evresine ait herhangi bir gün için sanal görüntü sunmaktadır. Belirtilen veriler yapım yönetiminin kontrol evresinde kullanılmaktadır.

AR ortamında gerçekleştirilen çalışmaların büyük çoğunluğunda yazılım tarafından otomatik sonuçlar elde edilmiştir. Ancak AN yazılımından otomatik sonuç anlamında yapım faaliyetlerine ait girilmiş tarihler üzerinden elde edilen Gantt Şeması ve simülasyona ulaşılmıştır. AR yazılımında girilmiş maliyet değerleri AN yazılımında görüntülenememiştir. Ayrıca AN ortamında çalışılırken AR yazılımında yapı elemanı için oluşturulmuş tüm katmanlar görüntülenememiştir. AN ortamında özellikle maliyet değerlerinin elle girilmesi, YBM'nin otomatik veri elde edilerek çalışması sistemine uygun bulunmamıştır. Ancak belirtilen sorunlara rağmen AN yazılımından yeterli sonuçlara ulaşılmıştır.

Sanal uygulama evresinde AR yazılımında 3D model oluşturulmuş ve metraj listelerine ulaşılmıştır. Metraj listelerinden yapım faaliyetleri belirlenmiştir. Belirlenmiş yapım faaliyetleri üzerinden yapım süreci ve maliyeti tahminleri gerçekleştirilmiştir. Tahmin verileri AN ortamında modellerle birleştirilmiş ve 5D model elde edilmiştir. Sırasıyla AR ve AN yazılımlarında gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde Fertek Evi'nin sanal uygulama evresi tamamlanmıştır. Tez çalışmasının devamında gerçek uygulama evresi gözlemlenmiştir.

5.2. Fertek Evi'nin Gerçek Uygulama Evresi

Tez çalışması kapsamında sanal uygulama evresi 5D modelin oluşturulmasıyla tamamlanmış Fertek Evi'nin gerçek uygulama evresi yerinde gözlemlenmiştir. Gerçek uygulama evresindeki yapım faaliyetleri, yapım faaliyetlerine ait süreler ve kullanılan malzeme miktarları gözlemlenmiştir. Yapım sürecinde gerçekleşen aksaklıkların uygulama evresine etkisi değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler sanal uygulama evresi ve geleneksel yöntem tahminleriyle karşılaştırmak amacıyla tablolastırılmıştır. Sanal uygulama evresi ile gerçek uygulama evresini görseller yoluyla kıyaslamak için yapım süreci fotoğraflandırılmıştır.

Sanal uygulama evresi, tasarım evresinin başlangıcı ile uygulama evresinin başlangıcı arasında tamamlanmıştır. Gerçek uygulama evresinde proje müellifi ve müteahhidiyle sanal uygulama evresinde elde edilmiş veriler paylaşılmamıştır. Fertek Evi'nin tasarım evresi 2021 yılının haziran ayında başlanmıştır. Uygulama evresine 2021 yılının eylül ayında geçilmiştir. Uygulama evresi taşeren ve maddi gerekçeler nedeniyle verilen aralar sonucu 15 ay sürmüştür.

Uygulama evresi 17.09.2021 tarihinde hafriyat çalışması ile başlamıştır (Şekil 5.19). Proje müteahhidi tarafından oluşturulan planlamaya göre kış aylarının iklim şartları düşünülerek uygulama süreci iki ayrı zaman diliminde planlanmıştır. İlk zaman dilimi için iki aylık süre yeterli görülmüştür. Belirlenmiş zaman diliminde kaba yapı inşaatının bitirilmesi hedeflenmiştir. Uygulama sürecinin ikinci zaman dilimi için nisan ayı uygun görülmüştür.



Şekil 5.19. Hafriyat çalışması (Yazar, 2021)

Gerçek uygulama evresinin ilk zaman dilimi için proje müteahhidi tarafından tahmin edilmiş iki aylık süre yeterli olmamıştır. Kaba yapı inşaatı sürecinde on üç günlük bir sarkma yaşanmış ve 2021 yılının aralık ayında tamamlanmıştır (Şekil 5.20). Yapım faaliyetleri iklim kaynaklı duraklatılmadan tamamlandığı için herhangi bir sorun yaşanmamıştır. Yetmiş üç gün süren ilk zaman diliminde gerçekleştirilen yapım faaliyetleri sırasıyla:

- 1) Yer tespiti ve hafriyat,
- 2) Blokaj, grobeton ve temel dökümü,
- 3) Kolonlar, kirişler ve döşemelerin beton dökümleri,
- 4) Duvarların örülmesi ve
- 5) Çatının kurgulanmasıdır.



Şekil 5.20. Kaba yapı inşaatının tamamlanması (Yazar, 2022)

2022 yılının nisan ayıyla birlikte gerçek uygulama evresinin ikinci zaman dilimi başlamıştır (Şekil 5.21). Proje müteahhidi tarafından ince yapı inşaatı için üç aylık sürede bitirilmesi hedeflenmiştir. Temmuz ayının başlarında uygulama evresinin tamamlanmasıyla yapının kullanıma hazır hale gelmesi planlanmıştır.



Şekil 5.21. Yapım faaliyetlerine geri dönüş (Yazar, 2022)

Gerçek uygulama evresinin ikinci zaman dilimi için ayrılan üç aylık süre yeterli olmamıştır. 2022 yılının temmuz ayında tamamlanması planlanan uygulama evresi 2022 yılının aralık ayında tamamlanmıştır (Şekil 5.22). Uygulama evresinin ikinci zaman dilimi için planlanan ile gerçek süre değerleri arasında ciddi fark oluşmuştur. Belirtilen fark taşeronların istenen tarihlerde şantiyede olmamaları ve maddi problemler nedeniyle oluşmuştur. İnce yapı inşaatı sürecinin istenen zamanda tamamlanmayacağı fark edildiğinde yapım faaliyetleri müteahhit yavaşlatılmıştır. Dokuz ay süren ikinci zaman diliminde gerçekleştirilen yapım faaliyetleri sırasıyla:

- 1) Dış duvarlarda mantolama,
- 2) İç ve dış duvarların boyanması,
- 3) Pencere ve kapıların montajı,
- 4) Zemin kaplamaları,
- 5) Merdivenin yerleştirilmesi ve
- 6) Tesisat vb. işlerin tamamlanmasıdır.



Şekil 5.22. Uygulama evresinin tamamlanması (Yazar, 2022)

Gerçek uygulama evresi 28.12.2022 tarihinde kontrol ve sonlandırma evreleriyle birlikte tamamlanmıştır. Süreç boyunca gerçekleştirilen yapım faaliyetleri ve yapım faaliyetlerine ait başlangıç ve bitiş tarihleri tespit edilmiştir (Tablo 5.14). Geleneksel yöntemlerle tahmin edilen değerlerle sahaya sipariş edilen miktarlar birim fiyatlarla çarpılarak sayısallaştırılmıştır.

Tablo 5.14. Gerçek uygulama evresi yapım faaliyeti tarihleri ve maliyet tahminleri (Yazar, 2022)

Yapım Faaliyeti	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Maliyet Tahmini
Hafriyat	17.09.2021	17.09.2021	2.718,30 TL
Blokaj	17.09.2021	17.09.2021	3.393,32 TL
Grobeton	18.09.2021	18.09.2021	7.474,32 TL
Temel Kalıbı	19.09.2021	19.09.2021	-
Temel Su Yalıtımı	20.09.2021	20.09.2021	15.850,56 TL
Temel Donatı	21.09.2021	24.09.2021	-
Temel Beton	25.09.2021	25.09.2021	2.6274,6 TL
Perde Kalıpları	26.09.2021	26.09.2021	-
Su Yalıtım Membranı	26.09.2021	26.09.2021	9.252,48 TL
Beton Dökümü	27.09.2021	27.09.2021	16.932,52 TL
Sıkıştırılmış Toprak	29.09.2021	29.09.2021	21.594,12 TL
Blokaj	29.09.2021	29.09.2021	242,38 TL
Xps	29.09.2021	29.09.2021	8.978,28 TL
Donatı	29.09.2021	29.09.2021	-
Döşeme Beton	30.09.2021	30.09.2021	7.006,56 TL
Kalıp Çakımı ve Donatı	01.10.2021	07.10.2021	-
Beton	08.10.2021	08.10.2021	15.764,76 TL
Kalıp Çakımı ve Donatı	12.10.2021	18.10.2021	-
Beton Dökümü	19.10.2021	19.10.2021	18.976,10 TL
Duvar	20.10.2021	30.10.2021	19.647,20 TL
Çatı	23.10.2021	15.11.2021	36.861,44 TL
İskele	02.04.2022	02.04.2022	-
Kara Sıva İç-Dış	03.04.2022	09.04.2021	69.776,60 TL
Yalıtım	10.04.2022	20.04.2022	26.750,62 TL
Kapı-Pencere Montajı	21.04.2022	06.05.2022	-
Dış Boya	22.04.2022	26.04.2022	25.887,95 TL
Çatı Boruları	27.04.2022	27.04.2022	-
İskele Sökümü	28.04.2022	28.04.2022	-
Şap Atılması	28.04.2022	28.04.2022	12.202,75 TL
Merdiven	07.05.2022	16.09.2022	-
İç Boya	11.05.2022	13.05.2022	34.186,05 TL
Panjur	21.05.2022	21.05.2022	-
Seramik	26.05.2022	28.05.2022	28.047,65 TL
Ahşap	02.07.2022	03.07.2022	13.349,43 TL
TOPLAM		28.12.2022	474.410,85 TL

Fertek Evi'nin gerçek uygulama evresi 28.12.2022 tarihinde tamamlanmıştır. Gerçek uygulama evresinin ilk zaman dilimi olan kaba yapı inşaatı sürecinde kayda değer herhangi bir sorun yaşanmamıştır. Planlama evresinde öngörülemeyen sorunlar proje müellifi, müteahhidi ve inşaat işçileri tarafından sahada çözülmüştür. Ancak ince yapı inşaatı sürecinde artan maliyet değerleri ve taşeronlar kaynaklı gecikmeler süreci uzatmıştır. Tez çalışmasının devamında Fertek Evi'ne ait sanal uygulama evresi, geleneksel yöntemlerle elde edilmiş tahminler ve gerçek uygulama evresinde elde edilmiş veriler karşılaştırılmıştır.

5.3. Fertek Evi için Sanal ve Gerçek Uygulama Evrelerinin Karşılaştırılması

BDT araçlarından AA kullanılarak tamamlanmış 2D mimari temsiller, YBM araçlarından AR yazılımı ortamında 3D modellenmiştir. Oluşturulan 3D modele AN yazılımı ortamında süre ve maliyet verileri girilerek 5D modele elde edilmiştir. 5D model yapım süreci ve maliyeti tahminlerini barındırmaktadır. Gerçek uygulama evresinde uygulanmış yapım faaliyetleri için proje müteahhidi tarafından geleneksel yöntemle tamamlanmış yapım süreci ve maliyeti tahminlerine ulaşılmıştır. Gerçek uygulama evresinde gerçekleştirilen yapım faaliyetleri yerinde gözlemlenmiştir. Belirtilen çalışmalar sonucunda elde edilmiş tüm veriler çalışma kapsamında karşılaştırılmıştır.

YBM ortamında ve geleneksel yöntemle hazırlanmış yapım süreci ve maliyeti tahminleri metraj verilerine dayanılarak hazırlanmıştır. YBM yoluyla yapılan çalışmalar için AR yazılımında hazırlanan 3D modelden otomatik olarak metraj verilerine ulaşılmıştır. Çalışmada kullanılan geleneksel yöntem tahminleri ise proje müteahhidi tarafından hesaplanmış metraj verileridir. İki farklı metraj tahminleri üzerinden yapım maliyeti tahminlerine ulaşmak için birim fiyat yöntemi kullanılmıştır. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hazırlanmış 01.01.2021 tarihli birim fiyat listelerinden yararlanılmıştır.

5.3.1. Yapım Süreci Tahminlerinin Karşılaştırılması

Proje müteahhidi tarafından geleneksel yöntemle hazırlanan yapım süreci tahminlerinde uygulama evresi iki bölüme ayrılmıştır. İki bölüme ayırma kararında kış aylarının iklim şartları önemli bir etkidir. Eylül ayında başlayan uygulama evresinin ilk bölümünün kış ayları başlamadan sonbahar mevsimi içerisinde bitirilmesi hedeflenmiştir. İki aylık süre ayrılan ilk evresinde kaba yapı inşaatı faaliyetlerinin tamamlanması planlanmıştır. Uygulama evresinin ikinci bölümü için üç aylık süre yeterli görülmüştür. YBM yazılımlarıyla gerçekleştirilen sanal uygulama evresi, karşılaştırmayı kuvvetlendirmek adına proje müteahhidinin kararları doğrultusunda aynı tarihlerde başlatılmış ve kış aylarında herhangi bir yapım faaliyeti planlanmamıştır.

YBM araçlarından AN kullanılarak yapım faaliyetleri için oluşturulan süre tahminleri girilmiştir. Süre tahminlerinin belirlenmesinde YBM araçlarının katkısı olmamıştır. Proje müteahhidi tarafından geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen hesap yapım faaliyetleri için ayrı ayrı tahminleri barındırmamaktadır. Kaba yapı inşaatı sürecinin tamamlanması için iki aylık sürenin yeterli olduğuna karar verilmiştir. Uygulama evresi yerinde gözlemlenerek sonuçlar ilgili tablolara işlenmiştir.

Yapım sürecinin ilk bölümü olan kaba yapı inşaatı hakkında yazar tarafından YBM yazılımlarında ve proje müteahhidi geleneksel yöntemle tahminde bulunulmuştur. Gerçek uygulama evresi sonuçları takip edilmiş ve ilgili tahminlerle birleştirilmiştir (Tablo 5.15). Sanal uygulama evresinde yapım faaliyetleri metraj listelerinden yola çıkılarak belirlenmiştir. Belirlenen yapım faaliyetleri için gerekli süreler yazar tarafından tahmin edilmiştir. Belirtilen çalışmaların detaylı tabloları sanal uygulama evresi başlığı altında verilmiştir. Proje müteahhidi tarafından yapım faaliyetleri özelinde tahminlerde bulunulmadan çalışılmış geleneksel yöntem hesabına ulaşılmıştır.

Tablo 5.15.Kaba yapı inşaatı için yapım süreci tahminleri ve sonuçlar (Yazar, 2023)

Yapım Faaliyeti	YBM Yazılımları Tahmini	Geleneksel Yöntem Tahmini	Uygulama Sonucu
Hafriyat	1	-	1
Blokaj-Grobeton	1	-	1
Su Yalıtımı	1	-	1
Radye Temel	7	-	6
Yükseltme Perde	5	-	4
Su Yalıtımı	1	-	1
Toprak Dolgusu	2	-	1
Xps	1	-	1
Beton	1	-	1
Zemin Taşıyıcı	14	-	12
Birinci Kat Taşıyıcı	14	-	9
Duvar	10	-	11
Çatı	10	-	24
Toplam	68	60	73

Kaba yapı inşaatı süreci için geleneksel yöntem tahmini ile YBM yazılımında gerçekleştirilen detaylı süre tahmini kıyaslandığında YBM yönteminin gerçeğe daha yakın sonuç verdiği görülmüştür. Ancak her iki yöntemle gerçekleştirilmiş tahminler gerçek uygulama evresi sonuçlarından düşük kalmıştır. Yapım faaliyetleri özelinde AN yazılımına girilen veriler ile gerçek uygulama evresi sonuçları kıyaslandığında yapım faaliyetlerinin büyük bir bölümünde sonuçların

yakın olduğu tespit edilmiştir. Ciddi farklılığın oluştuğu çatının kurgulanması için gerçekleştirilen tahmin ile sonuç arasında oluşan farkın sebebi sahada yaşanan gecikmeler ve yapım esnasında gerçekleşen hatalardır. Yapım sürecinin ikinci bölümü olan ince yapı inşaatı süreci için YBM yazılımında ve geleneksel yöntemlerle tahminlerde bulunulmuştur. Tahmin değerlerine ulaşılırken kaba yapı inşaatında belirtilen her iki yöntemin belirtilen prensipleri sürdürülmüştür. Gerçek uygulama evresi sonuçlarına yerinde gözlem yoluyla ulaşılmış ve tahminlerle birleştirilmiştir (Tablo 5.16).

Tablo 5.16.İnce yapı inşaatı için yapım süreci tahminleri ve sonuçlar (Yazar, 2023)

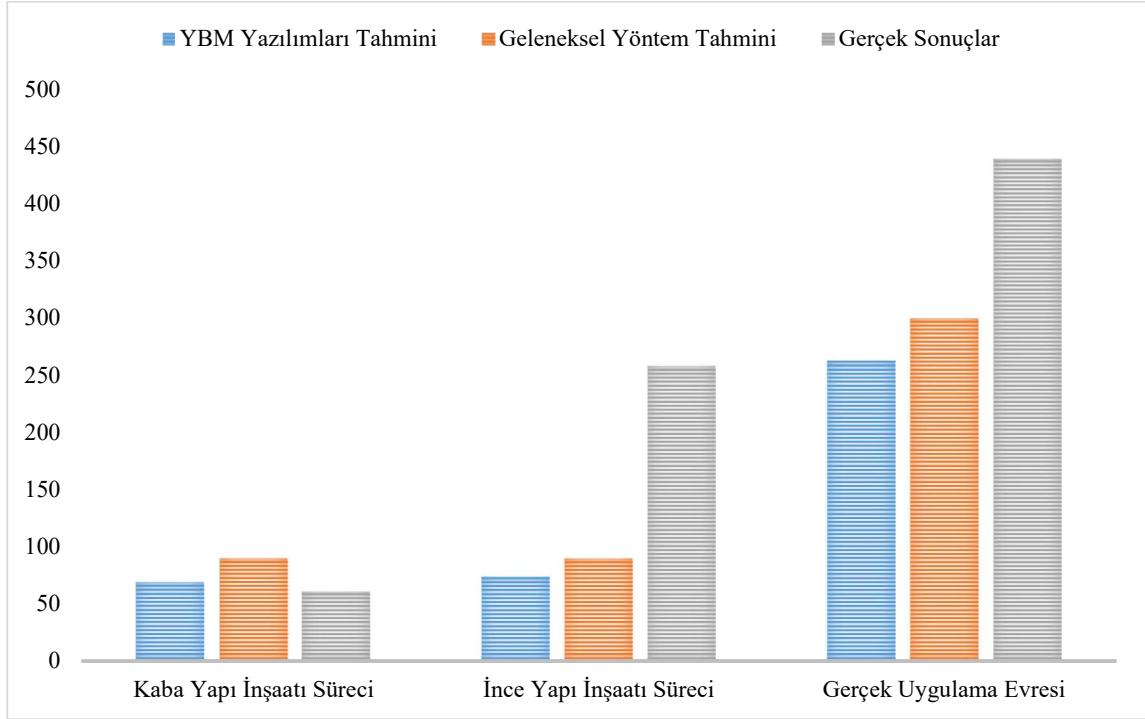
Yapım Faaliyeti	YBM Yazılımları Tahmini	Geleneksel Yöntem Tahmini	Uygulama Sonucu
Sıva	15	-	7
Yalıtım	10	-	11
Kapı Pencere Montaj	7	-	25
Boya	10	-	5
Şap	3	-	1
Merdiven	7	-	130
Seramik Parke	7	-	3
Toplam	59	90	182

İnce yapı inşaatı süreci için gerçekleştirilen tahminler ile sonuçlar arasında büyük farklar oluşmuştur. YBM yazılımlarında gerçekleştirilen tahminlerle geleneksel yöntem tahmini kıyaslandığında bir aylık fark oluşmuştur. Oluşan farkın sebebi yapım faaliyetleri arasında kurulan ilişkililerdir. YBM yazılımlarında gerçekleştirilen tahmin çalışmalarında optimum süre hedeflenerek birlikte sürdürülmesi mümkün olan yapım faaliyetleri aynı zaman dilimlerinde karşılaştırılırken geleneksel yöntem tahmininde gerekli takibin sağlanamayacağı düşüncesiyle süre tahmini yüksek tutulmuştur.

İnce yapı inşaatı süreci için yapım faaliyetlerinden gerçekte elde edilen sonuçlar YBM yazılımları tahminlerinden daha kısayken tüm süreç daha uzun görülmektedir. Bu farkın temel sebebi merdivenin inşa edilmesinde ve dış kapı montajında yaşanan gecikmelerdir. Dış kapı montajında yaşanan sorun iç mekânda gerçekleştirilen yapım faaliyetlerinin aksamasına sebep olmuştur. Merdiven süreci diğer yapım faaliyetlerinde yaşanan sorunlar ve maddi problemler sonucu uzamıştır.

Kaba ve ince yapı inşaatı süreçleri için gerçekleştirilen yapım süreci tahminlerinde resmî tatillerde ve pazar günleri yapım faaliyeti planlanmamıştır. Ayrıca yapım faaliyetleri arasındaki ilişkiler gözetilerek gerekli aralar verilmiştir. Güvenilir yapım süreci tahminlerine ulaşmak için

belirtilen durumlar dikkate alınmalıdır. Uygulama evresi için toplam gün tahminleri ve uygulama evresi sonuçları Şekil 5.23'teki gibidir.



Şekil 5.23. Yapım süreci tahminleri ve sonuçları (Yazar, 2023)

Uygulama evresinin kaba yapı inşaatı süreci için ayrılan ilk zaman diliminde yapım faaliyetlerinin tamamlanmasında büyük sorunlar ve aksamalardan kaynaklı süre kayıpları yaşanmamıştır. Sonuç olarak ilk zaman dilimi için YBM yazılımlarıyla yapılmış tahminlerle gerçek uygulama evresi sonuçları tutarlıdır. İlk zaman dilimi için geleneksel yöntem tahmininin daha yüksek çıkmasının bir sebebi de oluşabilecek aksaklıklara bırakılmış pay olmuştur. Uygulama evresinin kaba yapıya ait yapım faaliyetleri arasındaki ilişkiler ince yapı inşaatı faaliyetlerine kıyasla daha basittir. Yapım faaliyetlerinin arasındaki bağlantıların daha basit olması ve sürecin doğru yönetilmesiyle proje müteahhidi tarafından tahmin edilmiş süreden daha azı kaba yapı inşaatı süreci için yeterli olmuştur.

İnce yapı inşaatı sürecini kapsayan ikinci zaman dilimine ait yapım faaliyetleri ilk zamanda olduğu gibi tahmin edilen süreden daha hızlı bitirilmek istenmiştir ancak enflasyon kaynaklı maliyet problemleri ve taşeronlardan kaynaklı zaman kayıpları yaşanmıştır. Bazı yapım faaliyetlerinde ilgili taşeronlar kaynaklı süre kayıpları yaşanmıştır. Yapım faaliyetleri kritik imalatlardaki hatalar yüzünden aksamıştır. Dış kapı montajında yaşanan aksaklık nedeniyle iç cephe boyası ve zemin işlerine üç hafta geç başlanmıştır. Yapım faaliyetlerinde inşaat işçileri tarafından yapılan hatalar nedeniyle aksamalar yaşanmıştır. Örneğin eğik örülen bir duvar iç

cephenin boyanması esnasında fark edilerek kırılmış ve yeniden yapılmıştır. Pencere kasalarına yerleştirilen camlar birkaç gün içerisinde kendiliğinden çatlamıştır. Camların tekrar yerleştirilmesi beklenmiştir. Belirtilen durum sebebiyle iç ve dış cephe boya faaliyetlerine geçişte iki haftalık bir süre kaybedilmiştir. Zeminin ve duvarlar yapımlarının tamamlanmasıyla başlanacak merdiven yapımında aksaklık yaşanmıştır. Merdivenin yerleştirilmesinin ardından ahşap yüzeylerinin verniklenmesinde yaşanan problemler iki haftalık gecikmeye sebep olmuştur. İkinci zaman dilimi için yapılan tahminlerle uygulama evresinde elde edilen gerçek süre arasında ciddi farklar oluşmuştur. Aksaklık payı bırakılan geleneksel yöntem tahmini, ikinci zaman dilimi olan ince yapı inşaatı için gereken süreye YBM yazılımları tahmininden daha tutarlı sonuç vermiştir. Ancak hem YBM yazılımları tahmini hem de geleneksel yöntem tahmini gerçek uygulama evresi sonuçlarından oldukça uzak kalmıştır.

Yapım süreci tahminleri yapım yöneticisinin profesyonel müdahalesine ihtiyaç duymaktadır. Optimum süreler gözetilerek hazırlanmış YBM tahminleri ve geleneksel yöntem tahminlerinin tutarlılığının altında yatacak temel unsurdur. Yapım faaliyetlerinde aksaklıklar yaşanmayan kaba yapı inşaatı süreci için tahminler hem toplamda hem de yapım faaliyetleri özelinde tutarlı bulunmuştur. Gerçek uygulama evresinin ikinci zaman dilimi olan ince yapı inşaatı sürecinde ise yaşanan aksaklıklar nedeniyle YBM yazılımları tahminleri oldukça düşük kalmıştır. Çalışmanın devamında YBM yazılımları ve geleneksel yöntemlerle metraj değerleri üzerinden yapım maliyeti tahminleri gerçek uygulama evresinde kullanılan malzeme miktarları referans alınarak değerlendirilmiştir. Yapım faaliyetleri sözel olarak tek tek incelenmiş ve gereken süreler hakkında bilgiler verilmeye devam edilmiştir.

5.3.2. Yapım Maliyeti Tahminlerinin Karşılaştırılması

Yapım maliyeti tahminleri için her iki yöntemle gerçekleştirilen metraj çıkarımları, ilgili yapım faaliyetine ait birim fiyatlarla çarpılması sonucu elde edilmiştir. Birim fiyat değerlerine T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından oluşturulmuş 01.01.2021 tarihli poz numaralarından ulaşılmıştır (Tablo 5.17). Poz numaralarına ait birim ve iş tanımına sanal uygulama evresi başlığı altında değinilmiştir. Çalışmanın amacı olan metraj çıkarımlarının değerlendirilmesinin maddi bir değere kavuşturulmasıyla nicelleştirilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan birim fiyat yöntemiyle yapım faaliyetleri hem ayrı ayrı hem de bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Tez çalışmasının başlangıcında, gerçek uygulama evresinde elde edilen sonuçlar olmadan değerlendirme yapmanın yetersiz olduğuna kanaat getirilmiştir. Ancak sahada gerçekleştirilen yapım faaliyetlerinin hepsi için kullanılan malzeme miktarlarına net rakamlarla ulaşılamamıştır. Belirtilen gerekçe nedeniyle tabloya eklenmeyerek, yapım faaliyetlerinin incelendiği gelecek bölümde sözel bir değerlendirmede bulunulmuştur. Ulaşılan malzeme miktarları ilgili yapım faaliyetine değinilirken verilmiştir.

Tablo 5.17. Yaklaşık maliyet hesabı (Yazar, 2023)

Yapım Faaliyeti	Birim Fiyat	YBM Yazılımı Tahmini	Geleneksel Yöntem Tahmini	YBM Yazılımı Maliyet Tahmini	Geleneksel Yöntem Maliyet Tahmini
Hafriyat	6,15	417,54	442	2.567,87 TL	2.718,30 TL
Blokaj	121,19	24,56	28	2.976,42 TL	3.393,32 TL
Grobeton	266,94	24,56	28	6.556,04 TL	7.474,32 TL
Su Yalıtımı	75,84	205,53	209	15.587,39 TL	15.850,56 TL
Radye Temel	291,94	82,21	90	24.000,38 TL	26.274,60 TL
Yükseltme perdeleri	291,94	52,23	58	15.248,02 TL	16.932,52 TL
Su Yalıtımı	75,84	134,58	122	10.206,54 TL	9.252,48 TL
Sıkıştırılmış Toprak	71,98	285,64	300	20.560,36 TL	21.594,00 TL
Blokaj	121,19	0,81	2	98,16 TL	242,38 TL
XPS	97,59	178,44	92	17.413,95 TL	8.978,28 TL
Döşeme Betonu	291,94	21,41	24	6.250,43 TL	7.006,56 TL
Zemin Kat Beton Dökümü	291,94	46,41	54	13.548,93 TL	15.764,76 TL
Birinci Kat Beton Dökümü	291,94	54,61	65	15.942,84 TL	18.976,1 TL
10 cm Duvar	42,4	128,3	145	5.439,92 TL	6.148,00 TL
20 cm Duvar	57,2	326,93	236	18.700,39 TL	13.499,20 TL
Çatı Konstrüksiyonu	154,88	251,45	238	38.944,57 TL	36.861,44 TL
Taş Yünü	62,95	232,14	238	14.613,21 TL	14.982,10 TL
Kiremit	160,76	251,45	238	40.423,10 TL	38.260,88 TL
ARA					
Dış Cephe Sıvası	56,86	460,58	605	26.188,57 TL	34.400,30 TL
İç Cephe Sıvası	34,18	850,37	1035	29.065,64 TL	35.376,30 TL
Duvar yalıtımı	97,63	325,07	274	31.736,58 TL	26.750,62 TL
Kapı-Pencere	-	-	-	0	0
Dış Cephe Boyası	42,79	460,58	605	19.708,21 TL	25.887,95 TL
İç Cephe Boyası	33,03	850,37	1035	28.087,72 TL	34.186,05 TL
Şap	36,7	362,01	332,5	13.285,76 TL	12.202,75 TL
Merdiven	-	-	-	0	0
Banyo Seramik	125	188,63	180	23.578,75 TL	22.500,00 TL
Garaj Seramik	61,3	137,32	90,5	8.417,716 TL	5.547,65 TL
Parke	64,49	208,02	207	13.415,20 TL	13.349,43 TL
Panjur	-	-	-	0	0
Toplam				462.562,80 TL	474.410,85 TL

Bazı yapım faaliyetleri farklı gerekçeler nedeniyle çalışmada kullanılmamıştır. Belirtilen duruma çalışmanın sınırlılıklarında ve sanal uygulama evresinde değinilmiştir. Kısaca özetlemek gerekirse YBM yazılımından metraj verilerine ulaşamayan, ilgili meslek erbabı tarafından çalışılması daha uygun görülen ve çalışmanın amacına uygun görülmeyen yapım faaliyetleri için yapım maliyeti tahmininde bulunulmamıştır. Ancak yapım faaliyetlerinin tamamı için yapım süreci tahminlerinde bulunulduğu için ilgili tabloya maliyet değerleri sıfır olarak eklenmiştir.

YBM yazılımı ve geleneksel yöntemlerle elde edilen metraj verileri arasında farklar olmuştur. Ancak bazen geleneksel yöntemin bazen YBM yazılımı sonucunun fazla gelmesi sebebiyle yapım maliyeti tahminlerinden birbirlerine yakın değerler elde edilmiştir. Ancak yapım faaliyetleri arasında oluşan ciddi farklar sahada zorluklar çıkarmıştır. Özellikle uygulama evresinin ikinci zaman diliminde gerçekleştirilen ince yapıya ait yapım faaliyetlerinde yaşanan maddi problemler düşünüldüğünde doğru metraj verileri oldukça önemli olmuştur.

5.3.3. Yapım Faaliyetleri Sonuçlarının İlgili Tahminlerle Değerlendirilmesi

Gerçek uygulama evresinin yerinde takibiyle gerçekleştirilen geleneksel yöntem ve YBM yazılımları tahminlerinin güvenilirliğinin gerçek uygulama evresi verileriyle sınanması hedeflenmiştir. Geçmiş çalışmalarda çoğunlukla izlenen geleneksel yöntem ve YBM yazılımı metraj çıkarımlarının karşılaştırılması yetersiz görülmüştür. Geleneksel yöntem tahminlerinin yoruma ve tecrübeye açık bir biçimde insan eliyle gerçekleştirilmesi sebebiyle kişiden kişiye farklı sonuçlar elde edilmesi sebebiyle gerçek uygulama evresi takip edilmiştir.

İki farklı yöntemle gerçekleştirilen hafriyat tahminlerinde farklılık görülmüştür. Geleneksel yöntemle çıkarılan metraj için ciddi bir çalışma yapılmamıştır. Çünkü hafriyat yapmak için ekskavatörle saat üzerinden anlaşılmıştır. Harita mühendisi tarafından kazı alanının sınırları tespit edilmiştir. Uygulama esnasında yaşanan tek problem haritacının ölçüm hatası sebebiyle eksik kazı yapılmıştır. Yaşanan hata sonrası eksik alan tekrar kazılmış ve hafriyat çalışması tamamlanmıştır (Şekil 5.24). Ancak belirtilen durum sebebiyle süre kaybı yaşanmıştır.



Şekil 5.24. Hafriyat çalışması (Yazar, 2021)

Kazısı tamamlanan alanda silindirle düzeltme çalışması yapılmadığı için düzgün bir yüzey elde edilememiştir. Düzgün bir yüzeyin oluşturulmaması sebebiyle blokaj malzemesi gereken miktardan daha fazla kullanılmıştır (Şekil 5.25). Blokaj işlemi tamamlandığında yer yer tasarım aşamasında karar verilen 10 cm'den yüksek değerlere ulaşılmıştır.



Şekil 5.25. Blokaj çalışması (Yazar, 2021)

Grobeton, blokajı oluşturulan çakılların üstüne dökülmüştür. Blokajın çakıllardan oluşması ve düzeltme işlemlerinin gerçekleştirilmemesi sebebiyle dökülen grobeton çakılların arasından toprağa akmıştır. Grobetonun dökümü öncesinde belirtilen durumun gerçekleşeceği göz önünde bulundurularak hesaplanan metraj değerinden fazlası sipariş edilmiştir. Fazladan sipariş edilen grobetonun tamamı kullanılmıştır (Şekil 5.26). Grobeton metrajında saha tecrübesinin önemi öne çıkmış ve geleneksel yöntem tahmini, YBM yazılımından elde edilmiş metraj değerinden daha doğru sonuç vermiştir.



Şekil 5.26. Grobeton dökümü (Yazar, 2021)

Su yalıtım membranı için AR yazılımından otomatik alınan tahmin ile geleneksel yöntemle elde edilmiş tahmin sonuçları yakındır. Geleneksel yöntemle elde edilmiş metraj değerine göre sahaya getirilen su yalıtım membranı yeterli olmuştur (Şekil 5.27). Uygulama evresinin devamında farklı zamanlarda tekrar su yalıtım membranları uygulanmıştır. Ancak hem kullanılan miktarın azalması hem de benzer sonuçların elde edilmesi sebebiyle kalan su yalıtımı işlemlerinden bahsedilmemiştir.



Şekil 5.27. Su yalıtım membranlarının serilmesi (Yazar, 2021)

Geleneksel yöntemle çıkarılan beton metrajlarının tamamında elde edilen değerler daha yüksek bir değere yuvarlanmıştır. Beton metrajının yüksek tutulmasının sebepleri; geleneksel yöntemle elde edilmiş metraj değerine tam olarak güvenilmemesi ve sahaya sipariş edilen beton miktarının fazlasının beton firmasına iade edilebilmesidir. Sahaya gelen betonun fazla gelmesinin süre ve maliyet kaybına yol açmaması proje müteahhidine esnek davranma imkânı sunmuştur.

Betonla ilgili yapım faaliyetlerinde sahaya gelen betonlar arasında yoğunluk farkı sorun oluşturmuştur. Yoğunluk farkı sipariş edilen beton miktarına göre birden fazla kamyonun geldiği durumlarda yaşanmıştır. Gelen kamyonlardaki betonlar arasında yoğunluk farklılıkları görülmüştür. Belirtilen yoğunluk farkının sebebi yol boyunca betonun kurumaması için suyun karıştırılmasıdır. Ayrıca beton firmasının yoğun olduğu günlerde gecikmeler yaşanmıştır. Belirtilen sorunlar uygulama evresinde beklenmeyen süre ve maliyet kayıplarına sebebiyet vermemiştir. Bu problemler her inşaatta beton faaliyetleri esnasında yaşanabilecek problemlerdir. Geleneksel yöntem ve YBM yazılımında gerçekleştirilen tahminlerin her ikisinde de bu durum göz önünde bulundurularak planlama yapılmıştır.

Radye temel için sahaya 90 m³ beton sipariş edilmiştir. Sipariş edilen beton miktarı fazla gelmiş ve fazla olan 7 m³ beton iade edilmiştir. AR yazılımında elde edilmiş 82,21 m³ metraj değerinin sahada uygulanan miktara oldukça yakın olduğu görülmüştür. Radye temel 83 m³ beton dökümüyle tamamlanmıştır (Şekil 5.28). YBM yazılımından elde edilen metraj sonucunun gerçeğe oldukça yakın olduğu ve geleneksel yöntem tahmininden daha güvenilir sonuç verdiği görülmüştür.



Şekil 5.28. Radye temel beton dökümü (Yazar, 2021)

Yükseltme perdeleri için geleneksel yöntemle 58 m³ beton gerekeceği hesaplanmıştır. Sahaya 60 m³ beton sipariş edilmiş ve 54 m³ beton yeterli olmuştur (Şekil 5.29). YBM yazılımından elde edilmiş metraj değeri 52,2 m³ olmuştur. AR yazılımıyla elde edilmiş metraj tahmini, geleneksel yöntemle elde edilmiş metraj değerinden daha güvenilir sonuç vermiştir.



Şekil 5.29. Yükseltme perdeleri beton dökümü (Yazar, 2021)

Geleneksel yöntemle yapılan sıkıştırılmış toprak için metraj tahmininde detaya inilmemiştir. Sipariş edilen miktarın fazla gelmesi durumunda gelecek yapım faaliyetlerinde kullanılması planlanmıştır. Su yalıtım membranlarında radye temel sürecinde olduğu gibi herhangi bir problem yaşanmamıştır. Ancak geleneksel yöntem ile sipariş edilmiş xps yeterli olmamış ve xpsler

uygulanırken sahaya daha fazlası sipariş edilmiştir. Yapım faaliyeti devam ederken eksik xpslerin tedarikinin sağlanmasıyla süre kaybı yaşanmamıştır. Gelen xps miktarı bilinmemekle birlikte YBM yazılımlarından gelen metraj verisi geleneksel yöntem tahmininden daha fazlasının gerekeceği sonucuna ulaşılmıştır. Döşeme betonu dökümü için geleneksel yöntemle 24 m³ hesap edilmiş ve sahaya 25 m³ beton sipariş edilmiştir. 3 m³ betonun fazla gelmesi sonucu 22 m³ beton kullanılarak su basman altı yapım faaliyetleri tamamlanmıştır (Şekil 5.30). AR yazılımından beton için alınan 21,41 m³ beton metrajı verisi geçmiş beton kullanılan yapım faaliyetlerinde olduğu gibi sahada uygulanan değere yakın bir sonuç vermiştir.



Şekil 5.30. Su basman altı yapım faaliyetlerinin tamamlanması (Yazar, 2021)

Zemin ve birinci katların taşıyıcı sistemini oluşturulan kolonlar, kirişler ve döşemelerin yapımı için sahaya sipariş edilen beton miktarlarıyla tahminler kıyaslandığında geleneksel yöntem tahminlerinin daha yakın olduğu görülmüştür. Ancak geleneksel yöntem tahminlerinin daha yakın oluşu yapım için belirlenen 7 cm döşeme kalınlığının üstüne çıkılarak döşeme kalınlığının yaklaşık 10 cm olarak tamamlanmasıdır. Zemin ve birinci kat taşıyıcı sistemlerinin yapımında yaşanan döşeme kalınlığı hatası sonucu geleneksel yöntem tahminleri sahada kullanılan malzeme miktarına daha yakın sonuç vermiştir. Ancak döşeme kalınlığında yapılan yaklaşık 3 cm değerinde pay AR yazılımından elde edilen metrajlara eklendiğinde YBM yazılımları tahminlerinin geleneksel yöntem tahminlerinden sonuca daha yakın olduğu tespit edilmiştir.

Geleneksel yöntem tahminine uyularak zemin kat taşıyıcı sistemi için 54 m³ beton ısmarlanmıştır. Sahaya gelen betondan 3 m³ iade edilmiş ve zemin kat taşıyıcı sistemi için 51 m³ beton yeterli olmuştur. AR yazılımından metrajı çıkarılan zemin kat taşıyıcı sistemi için gerekli beton miktarı ise 46,41 m³'tür. Zemin kat taşıyıcı sisteminin üst alanı 168 m² ile 3 cm döşeme kalınlığı 5,04 m³ betonun fazladan kullanıldığı tespit edilmiştir. AR yazılımı tahminine hata sonucu kullanılan 5,04 m³ beton eklendiğinde 51,45 m³ değerine ulaşılmaktadır. Ulaşılan değer, sahada kullanılan beton miktarına geleneksel yöntem tahmininden daha yakındır. Birinci kat taşıyıcı sisteminde ise geleneksel yöntem tahmine uyularak 65 m³ beton ısmarlanmıştır. 2,5 m³ beton fazla

gelerek iade edilmiş ve 62,5 m³ beton yeterli olmuştur. AR yazılımından birinci kat taşıyıcı sistemi için çıkarılan beton metrajı ise 54,61 m³'tür. Zemin kat taşıyıcısında yaşanan hataya benzer biçimde döşemede yaklaşık 3 cm fazladan kalınlık elde edilmiştir. Birinci kat taşıyıcısının 251 m² alanı ile fazladan kalınlık çarpıldığında 7,53 m³ fazladan beton kullanıldığı görülmektedir. AR yazılımı tahmini ile fazladan kullanılan beton miktarı toplandığında 62,14 m³ değerine ulaşılmaktadır ve sahada uygulanan beton miktarına geleneksel yöntem tahmininden daha yakın olduğu görülmüştür. Taşıyıcı sistemin yapımı için kullanılan beton miktarı, yapım sürecindeki hata payının YBM yazılımları tahminlerine eklenmesiyle değerlendirildiğinde önceki beton kullanılan yapım faaliyetlerinde olduğu gibi AR yazılımı sonuçları sahada uygulanan değere daha yakındır. Sahada yaşanan kalınlık sorunu süre anlamında herhangi bir sorun teşkil etmemiş ve taşıyıcı sistem tamamlanmıştır (Şekil 5.31).



Şekil 5.31. Zemin ve birinci kat taşıyıcı sistemlerinin oluşturulması (Yazar, 2021)

Fertek Evi'nin radye temelinde, yükseltme duvarlarında, döşeme, kolon ve kirişlerde beton kullanılmıştır. Gerekli betonun tespit edilmesi için yazar tarafından YBM yazılımlarında ve proje müteahhidi tarafından geleneksel yöntemlerle metrajlar çıkarılmıştır. Gerçek uygulama evresinde ilgili yapım faaliyetleri yerinde gözlemlenmiş ve beton miktarları tespit edilmiştir. Sahada kullanılan beton miktarları ile tahminler kıyaslandığında YBM yazılımları tahminlerinin ilgili yapım faaliyetlerinin tamamı için daha güvenilir sonuç verdiği görülmüştür. Gerçek uygulama evresinde kullanılan miktarlara net biçimde ulaşıldığı için çalışmanın amacına ulaşması adına değerli görülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçlar bir bütün olarak verilip değerlendirilirken betonun kullanıldığı yapım faaliyetleri ayrıca değerlendirilmiştir.

Duvarlar için gerçekleştirilen geleneksel yöntem tahminleriyle sahaya sipariş edilen bims miktarlarının yapım için uygun olmadığı görülmüştür. Kalınlığı 20 cm olan duvarlar için bimsler yetersiz kalırken 10 cm kalınlığındaki duvarlar için bimsler fazla gelmiştir. Fazla gelen 10 cm kalınlığındaki bimsler ile 20 cm kalınlığında planlanan balkon parapetleri iki sıra örülmüştür. İki sıra örülmesiyle 10 cm kalınlığındaki bimslerin tamamı kullanılmıştır. Ancak kalınlığı 20 cm

olacak duvarların miktarı azaltılmasına rağmen sahaya ısmarlanan bimsler yeterli olmamış ve duvar ustasının tahminine uyularak sahaya 20 cm kalınlığında bimsler sipariş edilmiştir. AR yazılımında elde edilmiş metraj çıktıları ile geleneksel tahminler kıyaslandığında AR yazılımının 10 cm bimsler için daha az, 20 cm bimsler için daha fazla sonuç verdiği tespit edilmiştir. Sahada benzer bir tablonun görülmesi, duvarlar için YBM yazılımları tahminlerinin geleneksel yöntem tahminlerinden daha güvenilir sonuç verdiğini göstermiştir. Fazla gelen 10 cm bimslerin farklı yerlerde kullanılması ve eksik kalan 20 cm bimslerin uygulama esnasında siparişiyle duvarlar tamamlanmıştır (Şekil 5.32).



Şekil 5.32. Duvarların örülmesi (Yazar, 2021)

Çatı konstrüksiyonunun kurulması için metraj değeri olarak hem geleneksel yöntemde hem de YBM yazılımında çatının alan verisi kullanılmıştır. İki metraj sonucu arasında yaklaşık 10 m² değerinde bir fark görülmüştür. Görülen farklılığın sebebi BDT yazılımıyla oluşturulan projeden kaynaklanmıştır. Ancak yaşanan problem uygulama evresinde aksamaya sebebiyet vermeden tamamlanmıştır (Şekil 5.33).



Şekil 5.33. Çatının tamamlanması (Yazar, 2021)

İnce yapı faaliyetlerinin hem iç hem dış cepheye ait faaliyetleri için iskele kurulması gerekmiştir. İskele bir günde kurulmuş ve gerekli yapım faaliyetleri tamamlanana kadar kaldırılmamıştır (Şekil 5.34). Yapım süreci tahminlerine iskelenin kurulması poz numarası tespit edilerek dahil edilmiştir. Kısa süreli bir işlem olması ve kurulması esnasında problem yaşanmadığı için yapım süreci tahminlerini olumsuz etkilememiştir. Ancak yapım maliyeti tahminlerine, metraj çıktılarının alındığı AR yazılımından bir sonuç alınamadığı için eklenmemiştir. AR yazılımından iskele için sonuç alınamamasının sebebi yazılımının diğer yapı elemanları için oluşturduğu herhangi bir panelin bulunmamasıdır.



Şekil 5.34. İskelenin kurulması (Yazar, 2022)

Sıva ve boya işleri için hesaplanan geleneksel yöntem tahminlerine ait metraj çıkarımında yanlış hesap yapılmıştır. Tahminlere uyularak sahaya sipariş edilen boya ve sıva miktarları fazla gelmiştir. Dış cephe boyası için 12 kova alınmış ancak 10 kova boya yeterli olmuştur. Tavan boyası için sipariş edilen kovalardan 2 tanesi fazla gelmiştir. Fazladan sipariş edilen malzemelerin tamamının iadesi sağlanamadığı için maliyet artmıştır. Sipariş edilen miktarların fazla gelmesi ve AR yazılımı sonuçlarının daha düşük olması düşünüldüğünde; boya ve sıva faaliyetleri için YBM yazılımları tahminlerinin daha güvenilir olduğu görülmüştür. İç ve dış cephenin sıvanması için gerçekleştirilen tahminlerle yakın sürede tamamlanmıştır (Şekil 5.35).



Şekil 5.35. İç ve dış cephe duvarların sıvanması (Yazar, 2022)

Duvar yalıtımı için yapılmış tahminler arasında yaklaşık 50 m² fark görülmüştür. Geleneksel yöntem tahminine göre sahaya sipariş edilen yalıtım malzemesi yeterli olmamış ve fazlası sipariş edilmiştir. Özellikle dış cephede kullanılan 20 cm kalınlığında bimslerin tahmininde hata yapıldığı düşünüldüğünde duvar metrajı hesabında benzer bir hata yapıldığı düşünülmüştür. Uygulama evresinde ne kadar yalıtım malzemesinin kullanıldığı tespit edilemese de sahaya sipariş edilen miktarın yetmemesi ve AR yazılımı metrajının daha yüksek değerde olması YBM yazılımları tahmininin daha güvenilir sonuç verdiğini göstermiştir. Yapım faaliyeti esnasında malzeme siparişi yapılması herhangi bir süre kaybına sebep olmamıştır (Şekil 5.36).



Şekil 5.36. Duvar yalıtımının tamamlanması (Yazar, 2022)

Kapı ve pencere için belirlenen yapım faaliyetleri yapım maliyeti tahminlerine dahil edilmemiştir. Dahil edilmemesinin sebebi geleneksel yöntemle kaç adet gerekeceği ve boyutlarının belirlenmesi harici bir tahminin bulunmaması ve gerçek uygulama sonucu maliyetlerinin enflasyon nedeniyle çalışmada kullanılmamasıdır. Ancak yapım sürecinin önemli bir parçası olması sebebiyle yapım süreci tahminlerinde kullanılmıştır. Sahada uygulama esnasında dış kapı için yeterli alanın bırakılmaması önemli bir problem olmuştur. Dış kapının montajının sağlanamaması nedeniyle birçok iç mekân yapım faaliyeti üç hafta kadar aksamıştır. Yaşanan aksama kapı kasasının sökülüp tekrar montajıyla çözülerek çözülmüştür (Şekil 5.37).



Şekil 5.37. Kapı ve pencere montajları (Yazar, 2022)

İç ve dış cephe için gerekli malzemelerin siparişinde sıvayla aynı hesaba uyulması sebebiyle benzer sorunlar yaşanmıştır. Kapı montajının gecikmesi sebebiyle iç cephe boyası aksamıştır. Yakın zamanlarda başlanan cepheler farklı zamanlarda tamamlanmıştır (Şekil 5.38).



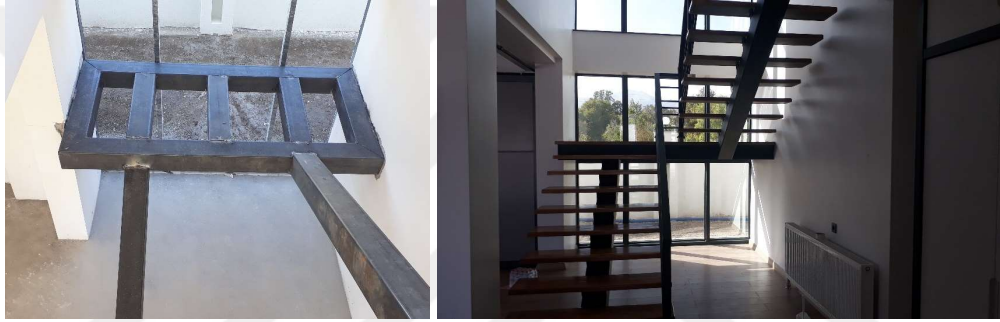
Şekil 5.38. İç ve dış cephe boyasının tamamlanması (Yazar, 2022)

Şap ve zemin kaplamaları için gerçekleştirilen tahminler birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Geleneksel yöntem tahminine göre sipariş edilmiş malzemeler yeterli gelmiştir. Kapıdan kaynaklı geç başlanan yapım faaliyeti, YBM yazılımlarında tahmin edilen süreye yakın bir değerde tamamlanmıştır (Şekil 5.39).



Şekil 5.39. Şap atılması ve zemin kaplamalarının yerleştirilmesi (Yazar, 2022)

Merdivenler için AR yazılımından gerekli metraj verilerinin tamamı elde edilememiştir. Proje müteahhidi tarafından merdiven için herhangi bir geleneksel yöntem tahmin verisi bulunmamaktadır. Gerçek uygulama evresinde sahaya sipariş edilen malzemelerin miktarı tespit edilememiştir. Belirtilen gerekçeler nedeniyle yapım maliyeti tahminlerine dahil edilememiştir. Ancak yapım süreci tahminlerinde bulunulmuştur. Önceki yapım faaliyetleri nedeniyle geç başlanan merdiven yapımında problemler yaşanmış ve beklenenden çok uzun sürede tamamlanmıştır (Şekil 5.40). Merdiven yapımının uzamasının bir sebebi de istenen sürede uygulama evresinin ikinci diliminin tamamlanamayacağının görülmesi ve beklenmeyen maliyet artışları olmuştur. Yaklaşık dört ay süren merdiven yapımı için toplamda parça parça iki hafta kadar süre gerekmiştir.



Şekil 5.40. Merdivenin tamamlanması (Yazar, 2022)

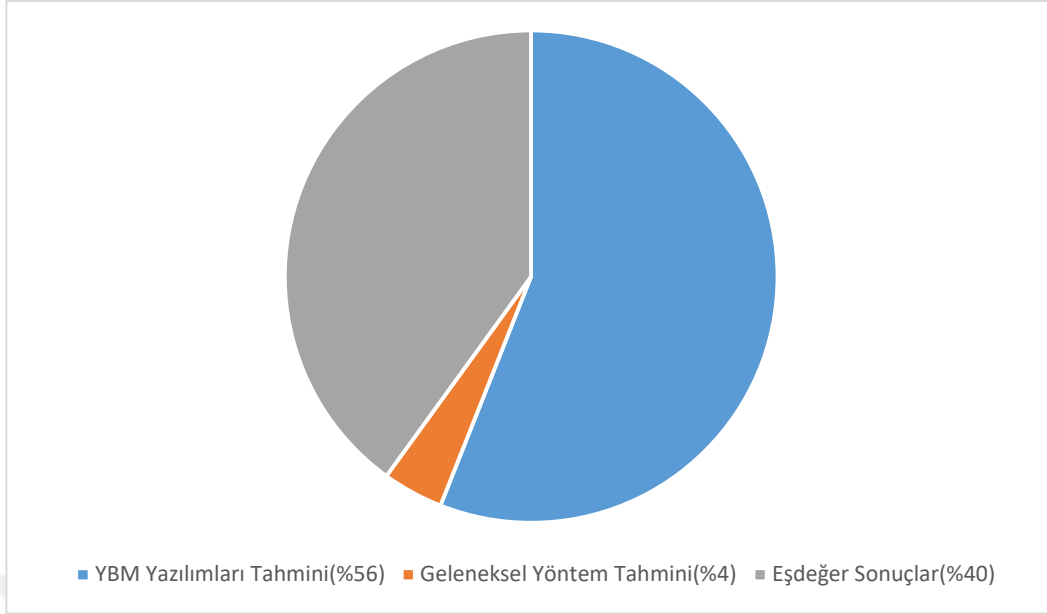
Geleneksel yöntem ve YBM yazılımlarında gerçekleştirilen tahminleri doğru biçimde değerlendirmek için gerçek uygulama evresi yerinde gözlemlenmiştir. Yapım faaliyetleri için ayrı ayrı değerlendirmelerde bulunulmuştur. Geleneksel yöntem ve YBM yazılımları tahminleri için tabloyla sayısal bir değerlendirme yapılabilirken gerçek uygulama evresinde kullanılan malzemelerin miktarlarına net verilerle ulaşılammıştır.

Proje müteahhidi tarafından geleneksel yöntemlerle hesaplanmış metraj değerleri üzerinden sahaya ısmarlanan malzeme miktarlarının ilgili yapım faaliyeti için uygunluğu değerlendirilmiştir. YBM yazılımları ve geleneksel yöntemle oluşturulmuş yapım maliyeti tahminleri yakın olmasına rağmen sahaya sipariş edilmiş malzeme miktarları uygulama evresi esnasında problemlere sebep olmuştur. Yirmi beş farklı yapım faaliyeti için sahada gereken malzeme miktarları ve tahminler kıyaslanarak güvenilir tahminler işaretlenmiştir (Tablo 5.18). Gerçek uygulama evresinde kullanılan malzeme miktarları referans alınarak YBM yazılımları ve geleneksel yöntemlerle elde edilmiş metraj ve yapım süreci tahminleri tabloda görülen karşılaştırma yöntemiyle değerlendirilmiştir. YBM yazılımları ve geleneksel yöntem tahminlerinden gerçek uygulama evresi sonuçlarına uygun olanları işaretlenerek tahminlerin güvenilirliği için yüzdesel bir değere ulaşılması ve yöntemlerin başarıları nicelleştirilerek literatüre katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

Tablo 5.18. Metraj tahminlerinin uygulama evresi sonuçlarına göre kıyaslanması (Yazar, 2023)

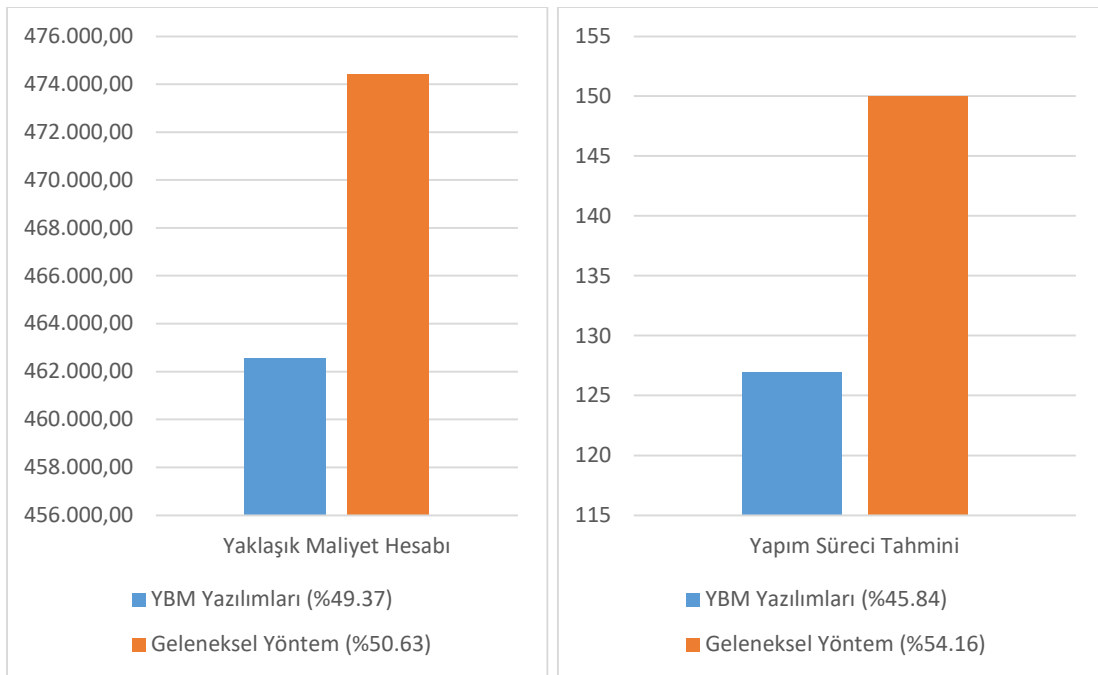
Yapım Faaliyeti	Geleneksel Yöntem Tahmini	YBM Yazılımı Tahmini	Yapım Faaliyeti	Geleneksel Yöntem Tahmini	YBM Yazılımı Tahmini
Hafriyat	X	✓	Taş Yünü	✓	✓
Grobeton	✓	X	Kiremit	✓	✓
Su Yalıtımı	✓	✓	Dış Cephe Sıvası	X	✓
Radye Temel	X	✓	İç Cephe Sıvası	X	✓
Yükseltme perdeleri	X	✓	Duvar yalıtımı	X	✓
Su Yalıtımı	✓	✓	Dış Cephe Boyası	X	✓
Sıkıştırılmış Toprak	✓	✓	İç Cephe Boyası	X	✓
XPS	X	✓	Şap	✓	✓
Döşeme Betonu	X	✓	Banyo Seramik	✓	✓
Zemin Kat Beton Dökümü	X	✓	Garaj Seramik	✓	✓
Birinci Kat Beton Dökümü	X	✓	Parke	✓	✓
10 cm Duvar	X	✓			
20 cm Duvar	X	✓			
Çatı Konstrüksiyonu	✓	✓			

Tablo 5.18’de görülen yirmi beş farklı yapım faaliyeti için gerçekleştirilmiş YBM yazılımları ve geleneksel yöntem tahminleri sahada kullanılan malzeme miktarları ve yapım faaliyetleri için gerekli süreler referans alınarak tutarlı sonuçlara ulaşılmış olanlar işaretlenmiştir. YBM yazılımlarıyla oluşturulmuş tahminlerin yirmi dört farklı yapım faaliyeti için güvenilir sonuç vererek %96 değerinde başarılı olduğu görülmüştür. Gerçek uygulama evresinde elde edilmiş sonuçlara uygun olmayan tek yapım faaliyeti tahmini grobeton dökümü olmuştur. Grobeton için istenen yüksekliğin elde edilmesinde 3D model oluşturulurken belirlenen yüksekliği girilmektedir. Ancak uygulanan beton blokajların arasından sızarak zemine inmiş ve belirtilen sebeple daha fazla malzeme kullanılmıştır. Fakat AR yazılımından elde edilmiş veri üzerinden saha tecrübesi ile sızacağı tahmin edilerek daha fazla sipariş edildiği takdirde problem yaşanmayacaktır. Geleneksel yöntem tahminleri ise on bir farklı yapım faaliyeti için gerçeğe yakın sonuç vererek %44 değerinde güvenilir sonuç vermiştir. On farklı yapım faaliyetinde ise her iki yöntemden de güvenilir sonuçlar alınmıştır. Yakın sonuçlar elde edilen yapım faaliyetlerinin ortak özellikleri ise belirtilen on yapım faaliyetinin duvar veya zemin kaplama işlerinden oluşmasıdır. Başka bir deyişle ortak doğru sonuç alınan yapım faaliyetleri ortak özellikleri 2D yapımlar olmalarıdır. YBM yazılımları ve geleneksel yöntem tahminlerinden sırasıyla %96 ve %44 değerlerinde güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar ışığında YBM yazılımları tahminlerinin geleneksel yöntem tahminlerine kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.41).



Şekil 5.41. YBM yazılımları ve geleneksel yöntem tahmin sonuçları (Yazar, 2023)

YBM yazılımları ile geleneksel yöntemlerle elde edilmiş yapım süreci ve maliyeti tahminleri kıyaslandığında %15,34 daha az süre ve %2,5 daha az maliyet sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 5.42). Gerçek uygulama evresi sonuçlarının referans alınarak yapım faaliyetlerinin %96'sında güvenilir sonuçlar veren YBM yazılımları tahminlerinin gerçekleştirilen yapım süreci ve maliyeti tahminleri için güvenilir olduğu görülmüştür.



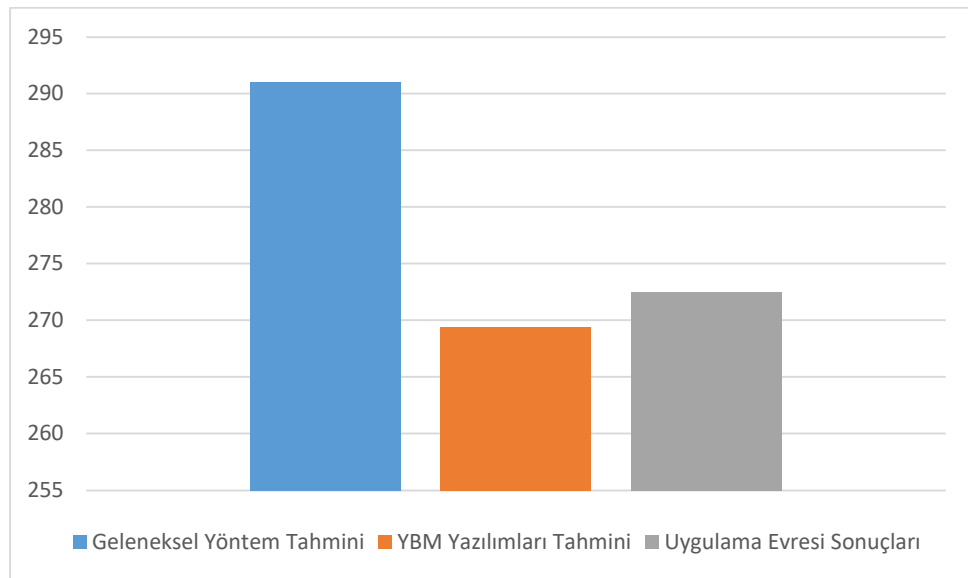
Şekil 5.42. YBM yazılımları ve geleneksel yöntem tahmin sonuçlarının karşılaştırılması (Yazar, 2023)

Gerçek uygulama evresi esnasında taşıyıcı strüktür elemanları için kullanılan beton miktarlarına ulaşılmıştır. Proje müteahhidi tarafından geleneksel yöntemlerle ve yazar tarafından YBM yazılımlarıyla beton metrajları tahmin edilmiştir. Belirtilen çalışmalarla ulaşılan sonuçlar Tablo 5.19’da verilmiştir. Yapım faaliyetleri özelinde karşılaştırma yapıldığında betonun kullanıldığı yapım faaliyetlerinin tamamında YBM yazılımları tahminlerinin geleneksel yöntem tahminlerinden uygulama evresi sonuçlarına daha yakın olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.19.Beton metrajı tahminlerinin uygulama evresi sonuçlarıyla kıyaslanması (Yazar, 2023)

Yapım Faaliyetleri	Geleneksel Yöntem Tahmini	YBM Yazılımları Tahmini	Uygulama Evresi Sonuçları
Radye Temel	90	82,21	83
Yükseltme Perdeleri	58	52,23	54
Zemin Döşemesi	24	21,41	22
Zemin Kat Taşıyıcı Sistemi	54	51,45	51
Birinci Kat Taşıyıcı Sistemi	65	62,14	62,5

Gerçek uygulama evresi sonuçları ile YBM yazılımları ve geleneksel yöntem beton metrajı tahminleri toplanmıştır (Şekil 5.43). Geleneksel yöntem tahmini 291 m³, YBM yazılımları tahmini 269,44 m³ ve uygulama evresi sonucu 272,5 m³’tür. Uygulama evresinden elde edilmiş toplam sonuç ile YBM yazılımları ve geleneksel yöntem tahmini kıyaslandığında beton metrajı için YBM yazılımları tahmininin daha güvenilir olduğu belirlenmiştir. Uygulama evresi sonuçlarıyla karşılaştırıldığında YBM tahmini %1,12 daha azken geleneksel yöntem tahmini %6,79 daha fazladır.



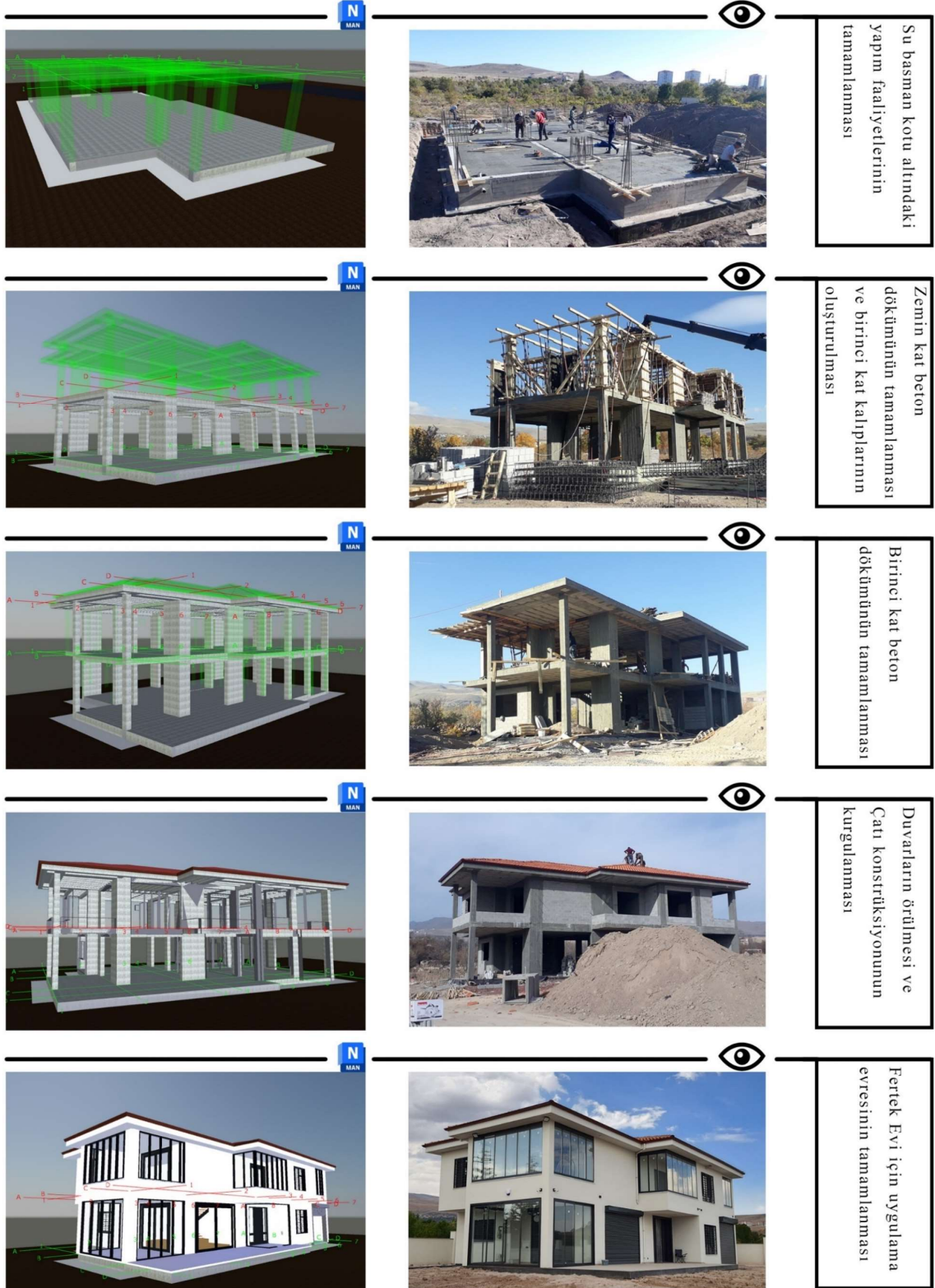
Şekil 5.43. Toplam beton miktarları karşılaştırması (Yazar, 2023)

Tez çalışmasında güncel yapım yönetiminin yapım süreci ve maliyeti tahminleri konusunda YBM çalışmalarından Türkiye’deki küçük ölçekli yapılarda ne kadar verimli sonuçlar alınabildiği değerlendirilmiştir. YBM teknolojisi ile iş programı/akışı, yaklaşık maliyet ve metraj tahminlerinin gerçek sonuçlarla ve geleneksel yöntem tahminleriyle kıyaslanarak tasarım evresinde YBM kullanımının güvenilirliğinin ortaya koyulması hedeflenmiştir. Bu çalışmanın belirtilen karşılaştırmalar vasıtasıyla literatürdeki yanlış yönelimleri ortaya koyması ve eksiklere cevap vermesi amaçlanmıştır.

Sanal uygulama evresi YBM yazılımları AR ve AN yazılımlarında tamamlanmıştır. Sanal uygulama evresinde tespit edilen yapım faaliyetleri için gerekli süreler yazar tarafından belirlenmiştir. AR yazılımından elde edilen metraj değerlerini maddi değeri olan bir hale getirmek ve proje müteahhidi tarafından geleneksel yöntemlerle hesaplanmış metrajlarla kıyaslamak için birim fiyat yöntemi kullanılmıştır. Birim fiyat değerleri T. C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından 01.01.2021 tarihinde yayınlanmış poz numaraları kullanılmıştır. Yapım faaliyeti ve poz numaralarının eşleştirilmesi yazar tarafından yapılmıştır. Gerçek uygulama evresinde gerçekleştirilen yapım faaliyetleri yerinde gözlemlenmiştir. Proje müteahhidi tarafından geleneksel yöntemlerle hesaplanmış yapım süreci ve maliyeti tahminlerine ulaşılmıştır. Belirtilen çalışmalar sonucu elde edilen veriler, YBM yazılımlarının güvenilirliğini sınamak üzere kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar sonucunda YBM yazılımlarının, geleneksel yöntem tahminlerine kıyasla daha güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca AR yazılımından 3D model oluşturulması sonucu otomatik olarak elde edilen metraj değerleri ile sahada kullanılan malzeme miktarları kıyaslandığında %96 oranında tutarlı olduğu ortaya konulmuştur. Literatürde eksik olarak görülen gerçek uygulama evresi sonuçlarının çalışmalarda nadiren kullanılması düşünülerek literatüre katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

5.3.4. Autodesk Navisworks Simülasyonunun Değerlendirilmesi

Çalışmanın YBM yazılımlarında sanal bir uygulama evresi oluşturulması esnasında AN yazılımında girilen verilerle otomatik simülasyon elde edilmiştir. Elde edilen simülasyon süre ve maliyet değerleri vermekle birlikte yapının o güne ait sanal bir görüntüsü elde edilmiştir. Sanal görüntüler gerçek inşaatta aynı yapım faaliyeti gerçekleştirildiği fotoğraflarıyla kıyaslanmıştır (Şekil 5.44). AN yazılımına ait görüntüler yazılıma ait simgeyle, gerçek görüntüler göz simgesiyle ifade edilmiştir. Sağ tarafta verilen yazılar yapım sürecinde gelinecek yapım faaliyetini belirtmektedir. Oldukça benzer sonuçlar elde edilmiştir. AN yazılımından elde edilen görüntülerde yeşil renkle tasvir edilen kısım gelecek yapım faaliyetini temsil etmektedir. Atanan doku ve renkleriyle gösterilen yapı elemanları o inşaat gününe kadar yapımı tamamlanmış yapım faaliyetlerine aittir.



Şekil 5.44. Autodesk Navisworks simülasyonunun gerçekte kıyaslanması (Yazar, 2023)

6. SONUÇLAR

Örnek olarak seçilen Fertek Evi için Yapı Bilgi Modelleme (YBM) yazılımları Autodesk Revit (AR) ve Autodesk Navisworks (AN) kullanılarak sanal bir uygulama evresi oluşturulmuş, proje müteahhidi tarafından Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) tabanlı mimari temsillerden geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen tahminlere ulaşılmış ve gerçek uygulama evresi yerinde takip edilmiştir. Belirtilen çalışmalardan elde edilen veriler toplanmış; yapım süreci ve maliyeti tahminleri ile sonuçlar kıyaslanarak literatüre katkı hedeflenmiştir. Tez çalışması sürecinde ulaşılan veriler ve bulgular ışığında elde edilen sonuçlar:

- YBM araçlarından AR yazılımında oluşturulan 3D modelin yapının anlaşılması ve uygulama evresinin sorunsuz tamamlanması açısından olumlu bulunmuştur. Proje müellifi tarafından 2D mimari temsillerle oluşturulan proje kaynaklı hataların sahada çözülmesi gerekmiştir. YBM prensibiyle 3D hazırlanmış projenin geleneksel yöntem prensipleriyle çalışan BDT tabanlı projeden daha güvenilir olduğu görülmüştür. Ancak YBM yazılımlarıyla mimari temsillere ulaşmak için BDT yazılımlarına kıyasla daha fazla süre gerekmiştir.
- Fertek Evi için AR yazılımında oluşturulan 3D modelden metrajlar otomatik olarak elde edilmiştir. Ulaşılan metraj çıktılarında herhangi bir insan müdahalesi söz konusu değildir. Ancak otomatik metraj çıkarımı için oluşturulan 3D modelin eksiksiz, hatasız ve çalışmaya uygun olgunluk düzeyinde tamamlanması gerekmiştir. Gerçek uygulama evresinde sahaya ısmarlanan malzemelerin miktarlarını belirlemek için proje müteahhidi tarafından mimari temsiller üzerinden metrajlar çıkarılmıştır. Metraj çıkarma sürecinin AR yazılımında oldukça pratik bir biçimde tamamlandığı, geleneksel yöntemde ise metraj çıkarımlarının uzun süreler gerektirdiği üstelik hata tespit edildiğinde tekrar tekrar çalışıldığı görülmüştür.
- AN yazılımında yapım faaliyetleri başlangıç ve bitiş tarihleriyle tanımlanmıştır. Yaklaşık maliyet hesabı için birim fiyat yöntemi kullanılan çalışmada, AR yazılımından alınan metraj değerleri birim fiyatlarla çarpılmış ve ulaşılan maliyet değerleri AN yazılımında ilgili yapım faaliyetlerine girilmiştir. AN yazılımında süre ve maliyet değerlerinin girilmesiyle 5D model elde edilmiştir. Girilen süre ve maliyet değerleri referans alınarak uygulama evresinin sanal bir simülasyon videosu AN yazılımından otomatik olarak elde edilmiştir. AR ve AN yazılımlarında gerçekleştirilen işlemlerle Fertek Evi'nin sanal uygulama evresi tamamlanmıştır. Tasarım evresinde çalışan AEC sektör paydaşlarının uygulama evresini anlamaları ve ortak çalışmaları adına sanal uygulama evresi çalışmaları faydalı görülmüştür.
- Süre ve maliyet değerlerinin girilmesi için YBM yazılımlarına ait herhangi bir veri tabanı mevcut değildir. Girilen verilerin belirlenmesi sürecinde yapım yöneticisinin profesyonel müdahalesi kaçınılmazdır. Belirtilen durum yapım süreci ve maliyeti tahminlerinin hâlâ insan kaynaklı hatalara açık olduğunu göstermektedir.

- Gerçek uygulama evresinde yapım faaliyetleri yerinde gözlemlenmiştir. Yapım faaliyetleri hakkında tahminlerde bulunmak için saha tecrübesinin önemi bir kez daha anlaşılmıştır. Geleneksel yöntemlerle matematik hesabı yapmanın veya YBM yazılımlarında yapı elemanlarının akıllı nesnelerle modellenmesinin tüm yapım faaliyetleri için doğru sonuçlara ulaşmakta yeterli olmadığı görülmüştür.
- Yapım süreci tahmini açısından değerlendirme yapıldığında yapım faaliyetlerinin küçük ölçekli bir projede dahi optimum planlamayla tamamlanamadığı görülmüştür. Birçok farklı projeden aynı dönemde iş alan taşeronların ilgili yapım faaliyetleri için zamanında sahada olmaları ince yapı inşaatı sürecinde sağlanamamıştır. Ayrıca ince yapı inşaatında ülkemizdeki enflasyon kaynaklı değişen maliyetler, yapım faaliyetlerini sekteye uğratmıştır. Belirtilen gerekçelerle istenen zamanda başlanamayan yapım faaliyetleri istenen zamanda tamamlanamamıştır. Kaba yapı inşaatı sürecinde ise ciddi aksaklıklar yaşanmamıştır. Geleneksel yöntem tahminleri ve YBM yazılımlarıyla oluşturulan tahminler sahada elde edilen sonuçlar referans alınarak kıyaslandığında kaba yapı inşaatı süreci için YBM yazılımları tahminlerinin, ince yapı inşaatı süreci için geleneksel yöntem tahminlerinin gerçek sonuçlara daha yakın olduğu görülmüştür. Ancak ince yapı inşaatı süreci için elde edilen her iki tahmininde gerçek değerden oldukça düşük kaldığı tespit edilmiştir.
- Yaklaşık maliyet hesabı için birim fiyat yöntemi kullanılmış ve YBM yazılımları ve geleneksel yöntem metraj çıkarımları sayısallaştırılmıştır. Birim fiyatlarla maliyet değerlerine ulaşmak için malzeme miktarları çıkarılmıştır. Sahaya sipariş edilen malzeme miktarlarına proje müteahhiti tarafından geleneksel yöntemlerle hesaplanan metraj değerleri üzerinden karar verilmiştir. Sahaya gelen malzeme miktarının yapım faaliyeti için uygunluğu yerinde gözlemlenmiştir. Her iki yöntemde yakın yaklaşık maliyet hesapları elde edilmiştir. Buna rağmen yapım faaliyeti üzerinden tek tek değerlendirildiğinde büyük farklar görülmüştür. Belirtilen durum küçük ölçekli Fertek Evi'nde sorun teşkil etmemiştir. Ancak büyük ölçekli bir projede herhangi bir yapım faaliyeti için büyük farkların oluşması sorun oluşturulabileceği öngörülmektedir.
- Tez çalışması kapsamında gerçek uygulama evresinin takibiyle ulaşılan sonuçlar sanal uygulama evresi ve geleneksel yöntem tahminleriyle karşılaştırılmıştır. YBM yazılımlarında gerçekleştirilen tahminler geleneksel yöntem tahminleriyle kıyaslandığında %15,34 daha az süre ve %2,5 daha az maliyet sonucuna ulaşılmıştır. Fertek Evi'nin gerçek uygulama evresi sonuçları ile metraj tahminleri yapım faaliyetleri üzerinden tek tek kıyaslandığında YBM yazılımlarının %96, geleneksel yöntem tahminlerinin %44 güvenilir sonuç verdiği tespit edilmiştir. Beton malzemesinin metraj tahminleri ile uygulama evresinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında YBM yazılımları tahmini %1,12 daha azken geleneksel yöntem tahmininin %6,79 daha fazla olduğu görülmüştür.

ÖNERİLER

Çalışmanın AR yazılımında 3D modelleme sürecinde YBM prensipleri arasında en önemli faydalarından biri olarak istenen yerden plan, kesit ve görünüş gibi mimari temsillerin elde edilebilmesi olarak görülmüştür. Ayrıca herhangi bir 2D mimari temsil üzerinde çalışma yaparken yapı elemanlarında yapılan değişikliklerin tüm 2D mimari temsillerde ve 3D modelde eş zamanlı güncellenmesi çalışma sürecini hızlandırmıştır. Revizyonların sık yaşanabileceği projelerde AR ve aynı prensipte herhangi bir YBM yazılımının tercih edilmesi proje müellifinin yararına olacaktır.

Kesite giren yapı elemanlarının 3D hallerini görmek ve projede oluşabilecek hataları kontrol etmek için AR yazılımının istenen yerden istenen doğrultuda kesit alabilme özelliğinden çalışma esnasında faydalanılmıştır. Mimari temsillerden cephe görünüşlerinin ve kesitlerin yapı elemanlarına atanan dokularla otomatik olarak oluşması sunumları kolaylaştıracağı görülmüştür. Ayrıca gerçekçi görseller elde edilmesi için yazılımın kendine ait render motoru bulundurması ve kesit perspektif elde edilmesi yine projenin AEC sektör paydaşları tarafından anlaşılmasını ve projenin müşteriye sunulmasını desteklemektedir.

YBM yazılımlarıyla yapım yönetimi faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinin daha güvenilir ve kolay olduğu görülmüştür. Mimari temsillerin oluşturulma süreci sancılı geçse de metraj listelerine ulaşmakta ve revizyonlarda büyük kolaylık sağlamaktadır. Çalışma kapsamında yapım yönetimi evrelerinin tamamında ayrı ayrı faydalanılmıştır. Küçük ölçekli bir projede dahi hataların yaşandığı ve karmaşık hesapların gerekmediği düşünüldüğünde; büyük, kompleks ve aynı meslek grubundan birçok AEC sektör paydaşının çalıştığı projelerde daha faydalı olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Yapım faaliyetlerine ait metraj çıkarımlarında görülen büyük farklar, büyük ölçekli bir projede nakit akışı ve iş planlamasında sorunlar oluşturacaktır. Kompleks projelerde kullanımının özellikle yapım yönetimi çalışmaları için çok daha elzem olduğu görülmüştür.

Enflasyon değerlerinin düşük olduğu bir ülkede bu çalışmanın gerçek maliyet değerlerine faturalar üzerinden doğrudan ulaşılması, çalışmalara eklenmesi ve yaklaşık yapım maliyeti tahminleriyle kıyaslanmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Adeli, H. ve Karim, A. (2001). *Construction Scheduling, Cost Optimization and Management*, CRC Press, Florida.
- Akınbingöl, M. ve Gültekin, A. T. (2005). Bina Üretimi Yapım Evresinde Maliyet Planlama ve Denetimine Yönelik Bir Maliyet Yönetim Modeli Önerisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4), 499-505.
- Akintoye, A. (2000). Analysis of Factors Influencing Project Cost Estimating Practice, *Construction Management & Economics*, 18(1), 77-89.
- Akkoyunlu, T. (2015). *Kentsel Dönüşüm için BIM Uygulama Planı Önerisi*, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Albayrak, B. (2005). *Proje Yönetimi*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Alshabab, M. S., Vysotskiy, A. E., Khalil, T., Petrochenko, M. V. (2017). BIM-Based Quantity Takeoff, *Construction of Unique Buildings and Structures*, 4 (55), 124-134.
- Aram, S., Eastman, C. ve Sacks, R. (2014). A Knowledge-Based Framework for Quantity Takeoff and Cost Estimation in the AEC Industry Using BIM, *The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014)*, IAARC Publications, Sidney.
- Ashworth, A. (1999). *Cost Studies of Buildings*, Longman Scientific & Technical, Harlow.
- Associated General Contractors of America. (2005). *The Contractor's Guide to BIM*, AGC 2005 Research Foundation, Las Vegas.
- Autodesk. (2023). <https://www.autodesk.com.tr/solutions/bim> (Erişim Tarihi: 23.04.2023)
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry, *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252.
- Azhar, S. ve Brown, J. (2009). BIM for Sustainability Analyses, *International Journal of Construction Education and Research*, 5(4), 276-292.
- Azhar, S., Brown, J. ve Farooqui, R. (2009). BIM-Based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software, *45th ASC Annual Conference*, 1(4), 276-292, Gainesville, Florida.
- Azhar, S., Khalfan, M. ve Maqsood, T. (2012). Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond, *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12(4), 15-28.
- Bayram, S. (2013). *Türkiye Kamu İnşaat Projelerindeki Maliyet ve Süre Sapmalarının Yapay Zekâ Yöntemleri ile Kıyaslamalı Analizi*, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayram, S. (2020). Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Kapsamında Geleneksel Metraj ile Yazılımın Karşılaştırılması, *Yapı Bilgi Modelleme*, 2(2), 58-65.
- Bayram, S., Öcal, M. E., Oral, E. L., Atış, C. D. (2016). Yapım Maliyeti Tahmininde Birim Fiyat Yöntemi-Yapı Yaklaşık Maliyetleri Kıyaslaması, *Politeknik Dergisi*, 19(2), 175-183.
- Bechtel, H. (1973). *Wirtschafts Geschichte*, Callwey, Köln.
- Bečvarovská, R. ve Matějka, P. (2014). Comparative Analysis of Creating Traditional Quantity Takeoff Method and Using a BIM Tool, *Construction Economics Conference*, Czech Technical University, Prague.
- Bettemir, O. ve Bulak, Ö. (2022). İnşaat Sürecinin İş Çizelgelemesi, Yönetimi ve Optimizasyonu, *Teknik Dergi*, 33(6), 12945-12986.
- Bettemir, Ö. H. (2018). Development of Spreadsheet Based Quantity Take-Off and Cost Estimation Application, *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 1(3), 108-117.
- Bettemir, Ö. H., Gündüz, E., Akkurt, O., Hilal, E. F. E., Arslan, M. A. (2019). İnşaat İşlerinin İş Programına Bağlı Nakit Akışı Değişkenliğinin Saptanması ve Düzenlenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1), 211-223.

- Biçer, Z. Ö. P., Zontul, K. ve Hasözhan, M. (2021). Yapım Maliyetlerinin Hesaplanmasında Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Sisteminin Örnek Uygulama Üzerinden İrdelenmesi, *Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1-21.
- Burke, R. (2013). *Project Management: Planning and Control Techniques*, John Wiley & Sons, London.
- Burlton, R. T. (2001). *Business Process Management: Profiting From Process*, Sams Publishing, USA,
- Choi, J., Kim, H. ve Kim, I. (2015). Open BIM-Based Quantity Take-Off System For Schematic Estimation of Building Frame in Early Design Stage, *Journal of Computational Design and Engineering*, 2(1), 16-25.
- Cleland, D. I. ve Ireland, L. R. (2002). *Project Management, Strategic Decision and Implementation*, 4. Baskı, McGrawHill, Boston.
- Coşkun, O. ve Ekmekçi, İ. (2012). Bir İnşaat Projesinin Evreleri ile Zaman ve Maliyet Analizinin Proje Yönetim Teknikleri Vasıtasıyla İncelenmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(20), 39-53.
- Çelik, M. H., Kanıt, R. ve Baykan, U. N. (2003). Kamuya Ait Bina İnşaatlarında Tahmin Edilen Maliyet ile Gerçekleşen Maliyet Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi, *Politeknik Dergisi*, 6(4), 677-692.
- Dogan, E. ve Polat, H. (2016). A Research For Efficiency of Using Prefabrication Building Components in Building Information Modeling (BIM) Process, *International Multilingual Academic Journal*, 1(1), 1-7.
- Doukari, O., Seck, B. ve Greenwood, D. (2022). The Creation of Construction Schedules in 4D BIM: A Comparison of Conventional and Automated Approaches, *Buildings*, 12(8), 1-33.
- Eastman, C. (1975). The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design, *AIA Journal*, 63(3), 46-50.
- Eastman, C. (1999). *Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction*, CRC Press, Florida.
- Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, John Wiley & Sons, London.
- Ece, E. ve Kovancı, A. (2004). Proje Yönetimi ve İnsan Kaynakları İlişkisi, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(4), 75-85.
- Ergen, F. ve Bettemir, Ö. H. (2022). Development of BIM Software with Quantity Take-off and Visualization Capabilities, *Journal of Construction Engineering Management & Innovation*, 5(1), 01-14.
- Evans, J. R. (1997). *Production/Operations Management: Quality, Performance, and Value*, West Group, USA.
- Ezcan, V., Işıkdag, Ü. ve Kuruoğlu, M. (2011). İnşaat Sektöründe Süreç Yönetimi, *XIII. Akademik Bilişim Konferansı*, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Firat, C. E., Arditi, D., Hamalainen, J. P., Stenstrand, J., Kiiras, J. (2010). Quantity Take-off in Model-Based Systems, *27th CIB W78 Conference*, CIB Publication, Cairo, Egypt.
- Freiman, F. (1983). The Fast Cost Estimating Models, In *Transactions of the 27th Annual Meeting of the American Association of Cost Engineers*, American Association of Cost Engineers, Morgantown.
- Gerçek, B., İlal, M. E., Tokdemir, O. B., Günaydın, H. M. (2016). Yapı Bilgi Modellemesi Yardımıyla Metraj ve Maliyet Hesabı, *4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Hardin, B. (2009). *BIM and Construction Management*, Wiley, Indianapolis.
- Hasan, A. N. ve Rasheed, S. M. (2019). The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry, *Civil Engineering Journal*, 5(2), 412-421.
- Heizer, J., Render, B. ve Munson, C. (2008). *Operations Management*, Prentice-Hall, USA.
- Helvacı, A. (2008). *Comparison of Parametric Models for Conceptual Duration Estimation of Building Projects*, Doktora Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- HM Government. (2012). *Building Information Modelling, Industrial strategy: Government and Industry in Partnership*, Crown, London.
- Kanıt, R. ve Baykan, U. N. (2004). Bina Yaklaşık Maliyetinin Çoklu Doğrusal Regresyon ile Belirlenmesi, *Politeknik dergisi*, 7(4), 359-369.
- Karagöz, M. E. (2019). BIM ile Yapı Yaklaşık Maliyeti Hesaplama Önerisi, *Yapı Bilgi Modelleme*, 1(1), 39-45.
- Kerzner, H. (2003). *Project Management A System Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*, John Wiley & Sons Inc., USA.
- Khosakitchalert, C., Yabuki, N. ve Fukuda, T. (2019). Improving the Accuracy of BIM-Based Quantity Takeoff for Compound Elements, *Automation in Construction*, 106 (2019), 102891.
- Kır, E. (2007). *Yazılım Sektöründe Proje Yönetimi*, Yüksek Lisans Tezi, Kadir Has Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Kömürlü R. ve Toltar L. (2018). İnşaat Proje Yönetimi; Projenin Başarısına Etkisi, *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 3(2), 249-258.
- Kömürlü, R. ve Onur, K. (2022). İnşaat Projelerinde Kullanılan Proje Yönetim Tekniklerinin Analizi, *Artium*, 10(1), 45-53.
- Kraus, W. E., Watt, S. ve Larson, P. D. (2007). Challenges in Estimating Costs Using Building Information Modeling. AACE International Transactions, *AACE International Transactions*, IT11-IT13, Morgantown.
- Kulkarni, S. B. ve Mhetar, G. (2017). Cost Control Technique Using Building Information Modeling (BIM) For a Residential Building, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 10(1), 324-330.
- Kuruoğlu, M. (2003). *İnşaatçılar İçin Yeni İhale Düzeninde Pratik Teklif Fiyatı Belirleme Yöntemi*, İTO Yayınları, İstanbul.
- Kymmell, W. (2008). *Building Information Modeling Planning and Managing Construction Projects with 4D Cad and Simulations*, McGraw-Hill Education Ltd, New York.
- Lee, S. K., Kim, K. R. ve Yu, J. H. (2014). BIM and Ontology-Based Approach For Building Cost Estimation, *Automation in Construction*, 41(2014), 96-105.
- Levy, S. M. (2018). *Project Management in Construction*, Mc Graw Hill Education, New York.
- Lewis, J. P. (2005). *Project Planing, Scheduling & Control*, Mc Graw Hill, New York.
- Liu, H., Lu, M. ve Al-Hussein, M. (2014). BIM-Based Integrated Framework For Detailed Cost Estimation and Schedule Planning of Construction Projects, *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, ISARC Publication, Sydney.
- Lock, M. D. (2014). *The Essentials of Project Management*, Ashgate Publishing Ltd., USA.
- Logothetis, S., Karachaliou, E. ve Stylianidis, E. (2017). From Oss Cad to Bim For Cultural Heritage Digital Representation, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Nafplion, Greece.
- Lu, Q., Won, J. ve Cheng, J. C. (2016). A Financial Decision Making Framework For Construction Projects Based on 5D Building Information Modeling (BIM), *International Journal of Project Management*, 34(1), 3-21.
- Ma, Z., Wei, Z. ve Zhang, X. (2013). Semi-Automatic and Specification-Compliant Cost Estimation for Tendering of Building Projects Based on IFC Data of Design Model, *Automation in Construction*, 30, 126-135.
- Mayouf, M., Gerges, M. ve Cox, S. (2019). 5D BIM: An Investigation Into the Integration of Quantity Surveyors Within the BIM Process, *Journal of Engineering, Design and Technology*, 17(3), 537-553.
- Nagalingam, G., Jayasena, H. S. ve Ranadewa, K. A. T. O. (2013). Building Information Modelling and Future Quantity Surveyor's Practice in Sri Lankan Construction Industry, *The Second World*

Construction Symposium 2013: Socio-Economic Sustainability in Construction, Colombo, Sri Lanka.

- NBIMS. (2010). National Building Information Modeling Standard. http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSv1_p1.pdf (Erişim Tarihi: 23.03.2023)
- Odabasi, E. (2009). Models for Estimating Construction Duration: An Application for Selected Buildings on the METU Campus, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ofluoğlu, S. (2014). Yapı Bilgi Modelleme: Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik, *Mimarist*, 1-5.
- Ofluoğlu, S. (2016). Yapı Bilgi Modelleme ve Kullanım Alanları, *Timöb Dergisi*, 1-5.
- Olsen, D. ve Taylor, J. M. (2017). Quantity take-off Using Building Information Modeling (BIM), and its Limiting Factors, *Procedia Engineering*, 196 (2017), 1098-1105.
- Olsen, R. P. (1971). Can Project Management Be Defined?, *Project Management Quarterly*, 2(1),12-14.
- Özdemir, İ. (1997). Bina İnşaatında Yapı Teslim Süresinin En Az Maliyetli Hesabı, *Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi*, İzmir.
- Özkan, Ş. (2005). *Yöneylem Araştırması Nicel Karar Teknikleri*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- PMBOK. (2000). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, PMI Project Management Institute, USA.
- PMBOK. (2001). *Project Management Body of Knowledge*, PMI Project Management Institute, USA.
- PMBOK. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (Proje Yönetimi Bilgi Birikimi Kılavuzu)*, PMI Project Management Institute, USA.
- Polat, D. A. (2005). *Türkiye’de Tasarım Öncesi Evrede İnşaat Maliyeti Tahmini için Bir Yöntem Önerisi*, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Polat, D. A. ve Çıracı, M. (2010). Türkiye’de Tasarım Öncesinde Maliyet Tahmini İçin Veri Tabanı Modeli, *İTÜ Dergisi/a Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 4(2), 59-69.
- Pontrandolfo, P. (2000). Project Duration in Stochastic Networks by the PERT-Path Technique, *International Journal of Project Management*, 18(3), 215-222.
- Reiss, G. (2013). *Project Management Demystified: Today's Tools and Techniques*, Routledge, London.
- Rokooei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 210(2015), 87–95.
- Firoozabadi, K. J., Rouhani, S. ve Bagheri, N. (2013). Review of EPC Projects Cost Estimation and Minimum Error Technique Introduction, *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 2(12), 1-7.
- Sacks, R. ve Barak, R. (2008). Impact of Three-Dimensional Parametric Modeling of Buildings on Productivity in Structural Engineering Practice, *Automation in Construction*, 17(4), 439-449.
- Seyyar, B. (2000). *Bina Tasarım Sürecinde Bilgisayar Destekli Maliyet Tahmin Sistemleri*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Shen, Z. ve Issa, R. R. (2010). Quantitative Evaluation of the BIM-Assisted Construction Detailed Cost Estimates, *Journal of Information Technology in Construction*, 15(2010), 234-257.
- Smith, P. (2014). BIM & the 5D Project Cost Manager, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 119(2014), 475-484.
- Takim, R., Harris, M. ve Nawawi, A. (2013). Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Quality of Life Within Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 101(2013), 23-32.
- Tarı, S. (2010). *Yapı Kooperatiflerinde İnşaat Yapım Yöntemleri ve Muhasebe Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Tayefeh Hashemi, S., Ebadati, O. M. ve Kaur, H. (2020). Cost Estimation and Prediction in Construction Projects: A Systematic Review On Machine Learning Techniques, *SN Applied Sciences*, 2, 1-27.

- Tokalakoğlu, D. (2010). *Kamu İnşaat Sektöründe Yaklaşık Maliyet Hesabı Şartnamesi Oluşturulmasına Yönelik Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Topkaya, E., Yönez, E., Kuruoğlu, M. ve Çelik, L. Y. (2012). İnşaat Sektöründe Kullanılan Ön Maliyet Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Engineering Sciences*, 7(1), 263-272.
- Trietsch, D. ve Baker, K. R. (2012). PERT 21: Fitting PERT/CPM for Use in the 21st Century, *International Journal of Project Management*, 30(4), 490-502.
- Uğur, L. O. (2007). *Yapı Maliyetinin Yapay Sinir Ağı ile Analizi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- BIM Task Group (2013). BIM: Management for Value, Cost and Carbon Improvement Strategy, *The Government Construction Client Group From the BIM Industry Working Group*, London.
- Valunjkar, M. S. P. R. S. (2017). Improve the Productivity of Building Construction Project using Clash detection Application in Building Information Modeling, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(3), 1784-1790.
- Whang, S. W. ve Park, S. M. (2016). Building Information Modeling (BIM) for Project Value: Quantity Take-off of Building Frame Approach, *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(12), 7749-7757.
- Wiley, J. (1957). *Building Cost Manual*, The Joint Committee on Building Costs of Chicago Chapter of the American Institute of Architects and the Appraisers Division of the Chicago Real Estate Board, John Wiley & Sons, Chicago.
- Wilkes, M. (1993). *Operational Research: Analysis and Applications*, McGraw-Hill Book, USA.
- Yalkı İ. (2009). *Proje Yönetimi ve CPM-PERT Teknikleri Üzerine Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yıldız A. (2015). *Farklı Coğrafi Bölgelerde Petrol Kuyusu Açma Maliyetlerinin PERT-CPM Proje Planlama Teknikleri ile Karşılaştırılmalı Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, I. ve Dikmen, S. Ü. (2012). Osmanlı Döneminde Kullanılan Yaklaşık Maliyet Tahmin Yöntemleri, *Engineering Sciences*, 7(1), 73-83.
- Zontul, K. (2019). *Yapım Maliyetlerinin Hesaplanmasında Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Sisteminin Örnek Uygulama Üzerinden İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- URL-1: <https://www.project-risk-manager.com/blog/pert-vs-cpm/> (Erişim Tarihi: 12.02.2023)
- URL-2: <https://graphisoft-nord.de/archicad-bim/> (Erişim Tarihi: 15.02.2023)
- URL-3: <https://kbd.group/4d-5d-bim/> (Erişim Tarihi: 25.02.2023)
- URL-4: <https://buildext.com/en/bim-dimensions/> (Erişim Tarihi: 03.03.2023)
- URL-5: <https://www.autodesk.com/products/revit/architecture> (Erişim Tarihi: 05.03.2023)
- URL-6: <https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview?term=1-EAR&tab=subscription> (Erişim Tarihi: 07.03.2023)
- URL-7: <https://docplayer.biz.tr/docs-images/91/104608507/images/82-0.jpg> (Erişim Tarihi: 12.03.2023)

EKLER

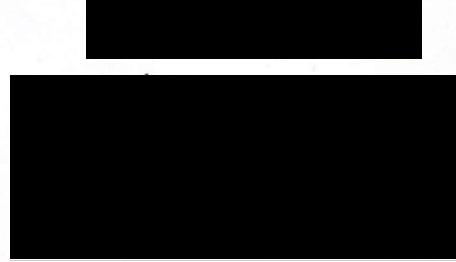
EK- 1: PROJE MÜELLİFİ İZİN BELGESİ

30.08.2022

İLGİLİ MAKAMA

Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Mimarlık Anabilim Dalı 201123101 numaralı Furkan CANPOLAT isimli yüksek lisans öğrencisinin "Küçük Ölçekli Yapılar İçin Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Tabanlı Süre (4D) ve Maliyet (5D) Tahmini: Bir Vaka Çalışması" başlıklı tezinde müellifi olduğumuz projeye ait mimari çizim, teknik çizim vd. tez dahilinde kullanmasında bir sakınca yoktur.

RK MİMARLIK

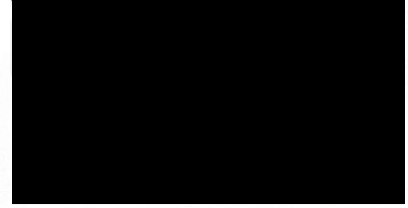


EK- 2: PROJE MÜTEAHHİDİ İZİN BELGESİ

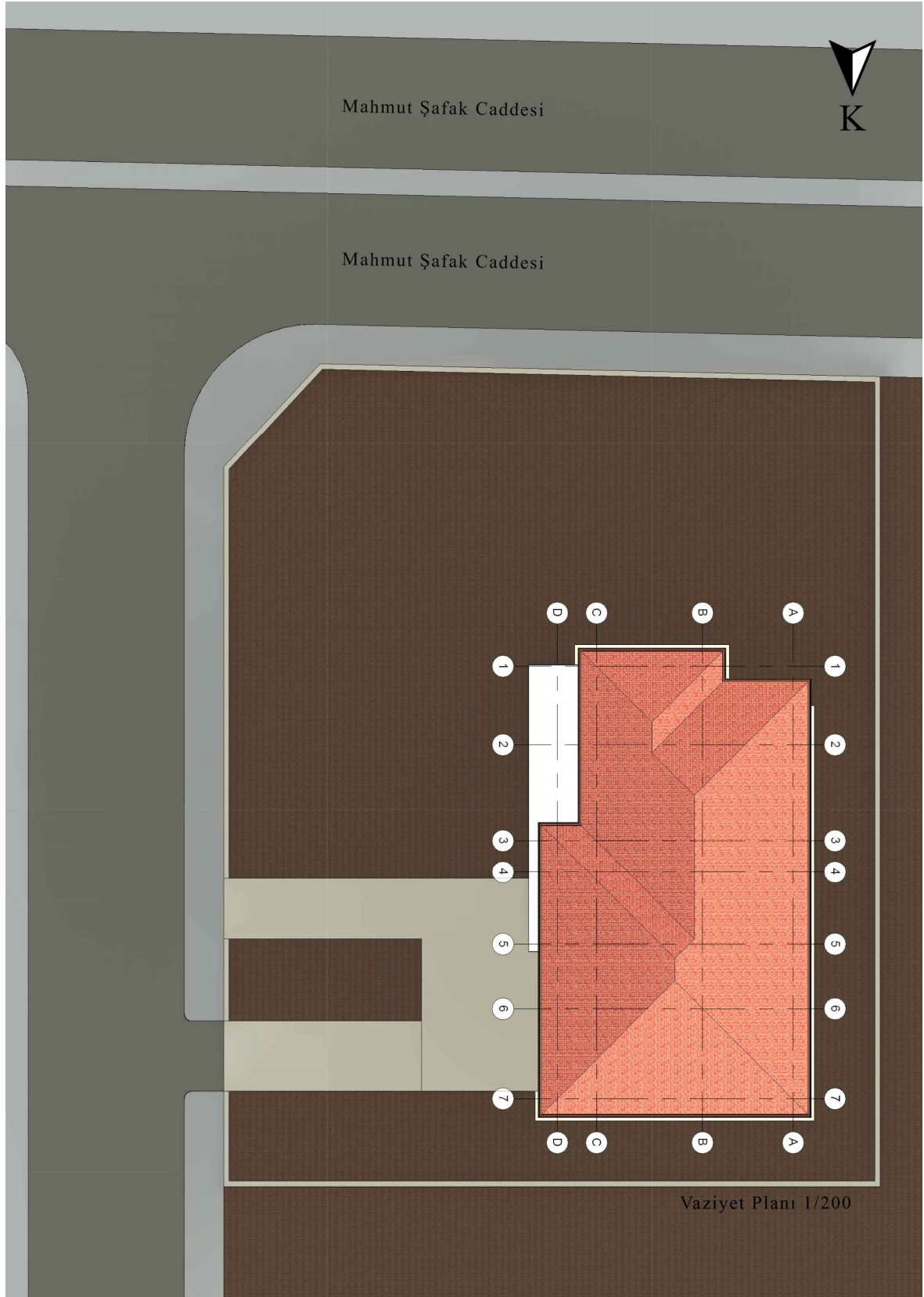
30.08.2022

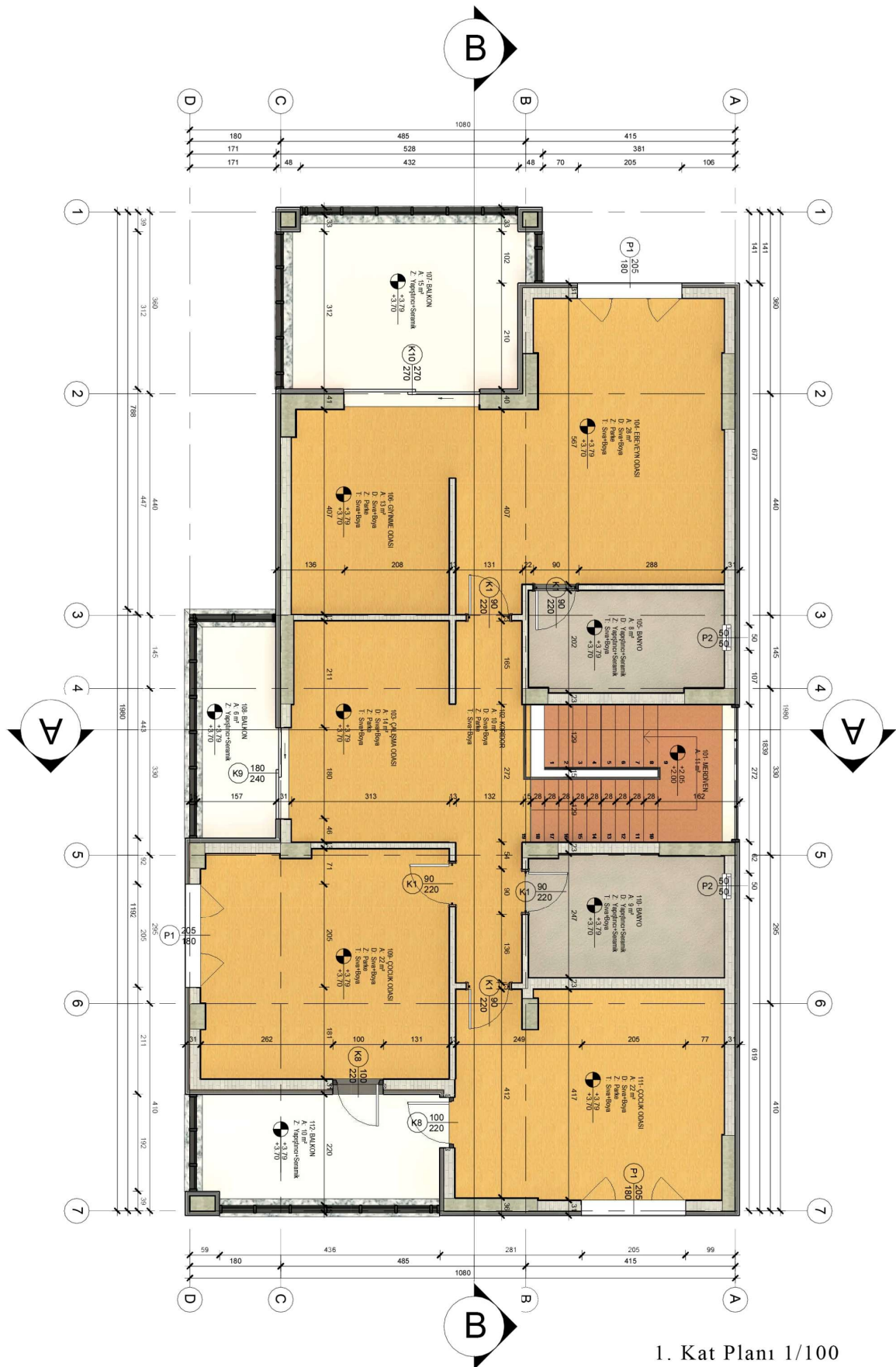
İLGİLİ MAKAMA

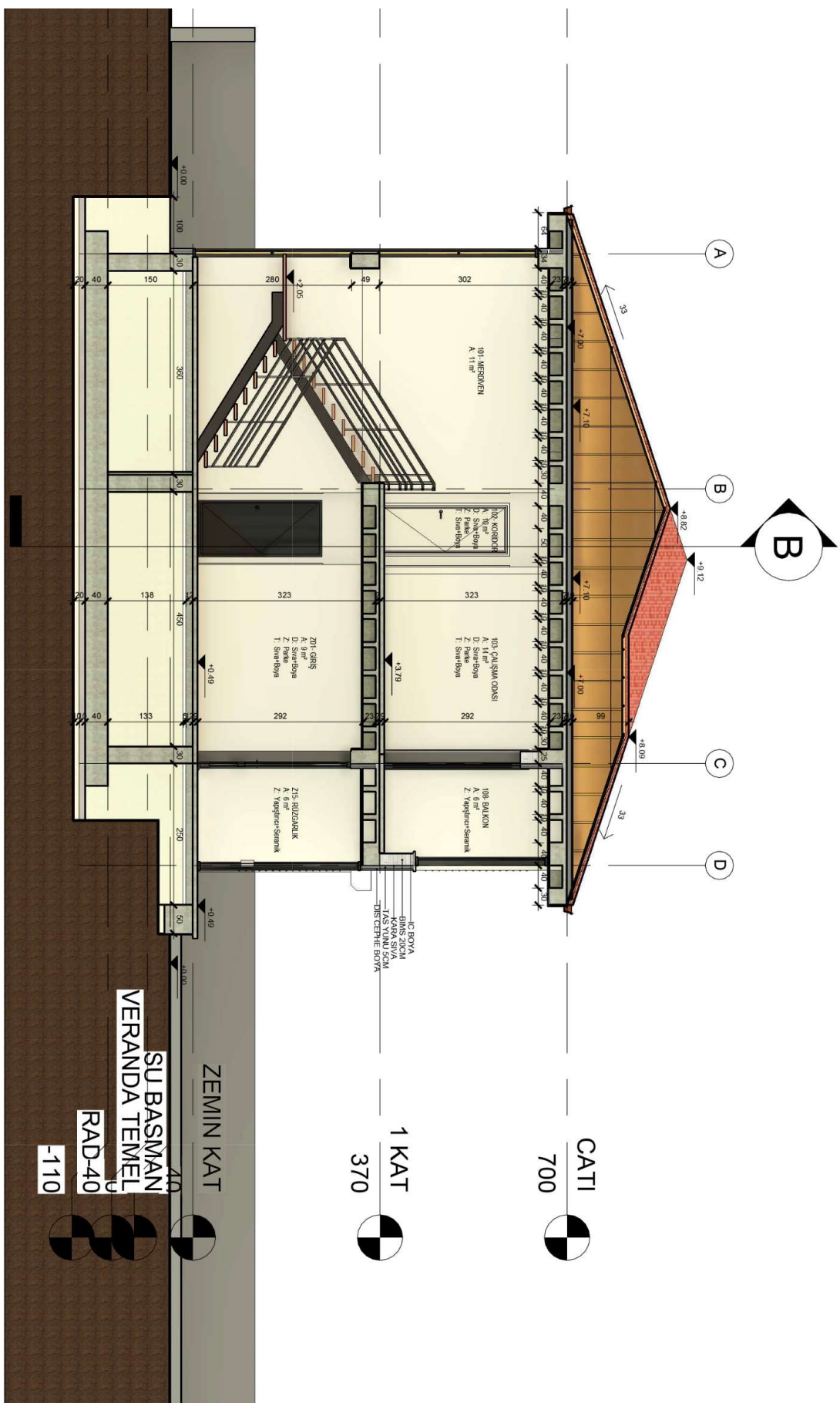
Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Mimarlık Anabilim Dalı 201123101 numaralı Furkan CANPOLAT isimli yüksek lisans öğrencisinin "Küçük Ölçekli Yapılar İçin Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Tabanlı Süre (4D) ve Maliyet (5D) Tahmini: Bir Vaka Çalışması" başlıklı tezinde müteahhiti olduğum projeye ait fatura, fotoğraf vd. tez dahilinde kullanmasında bir sakınca yoktur.

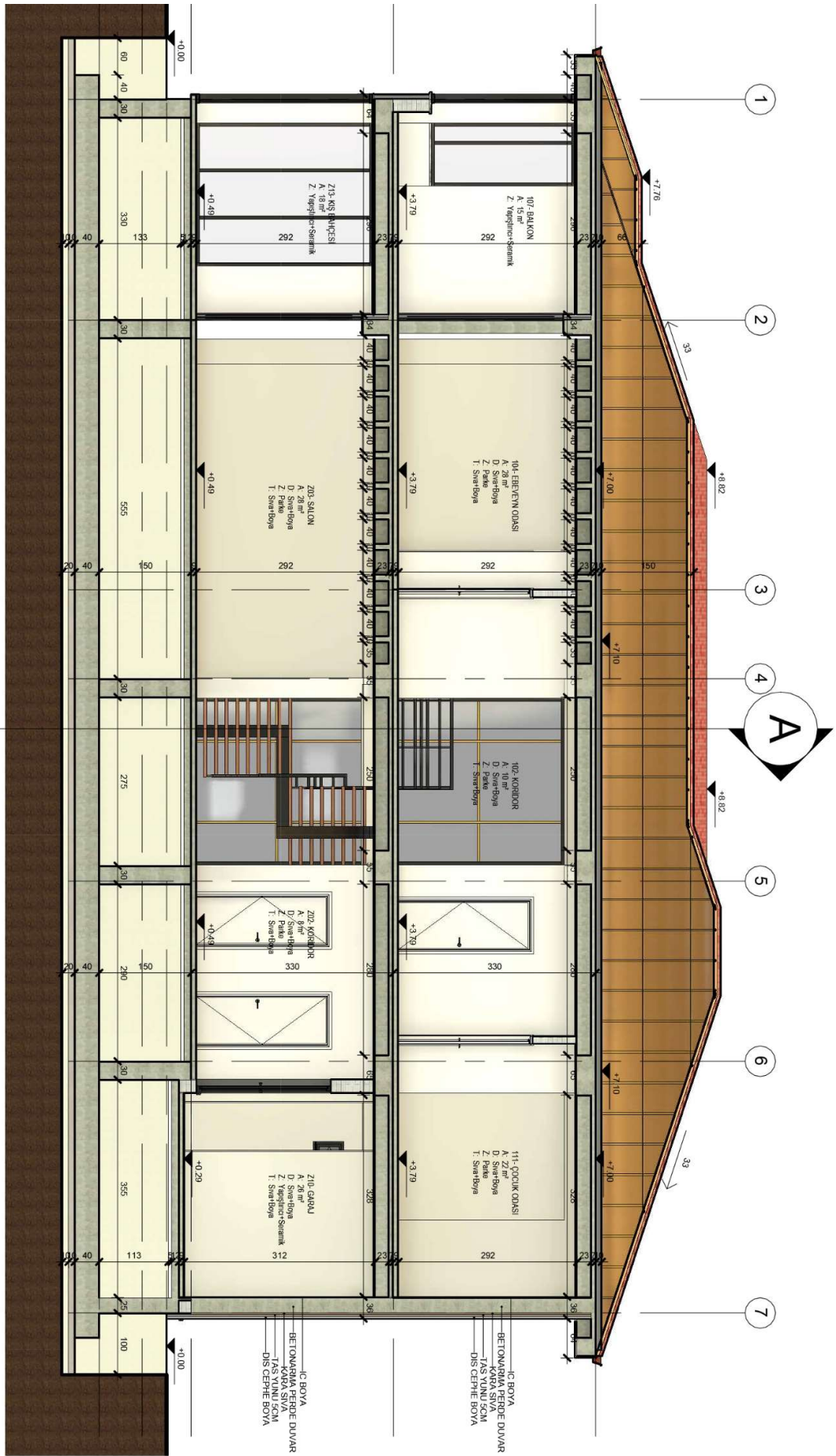


EK- 3: AUTODESK REVİT YAZILIMI MİMARİ TEMSİLLERİ



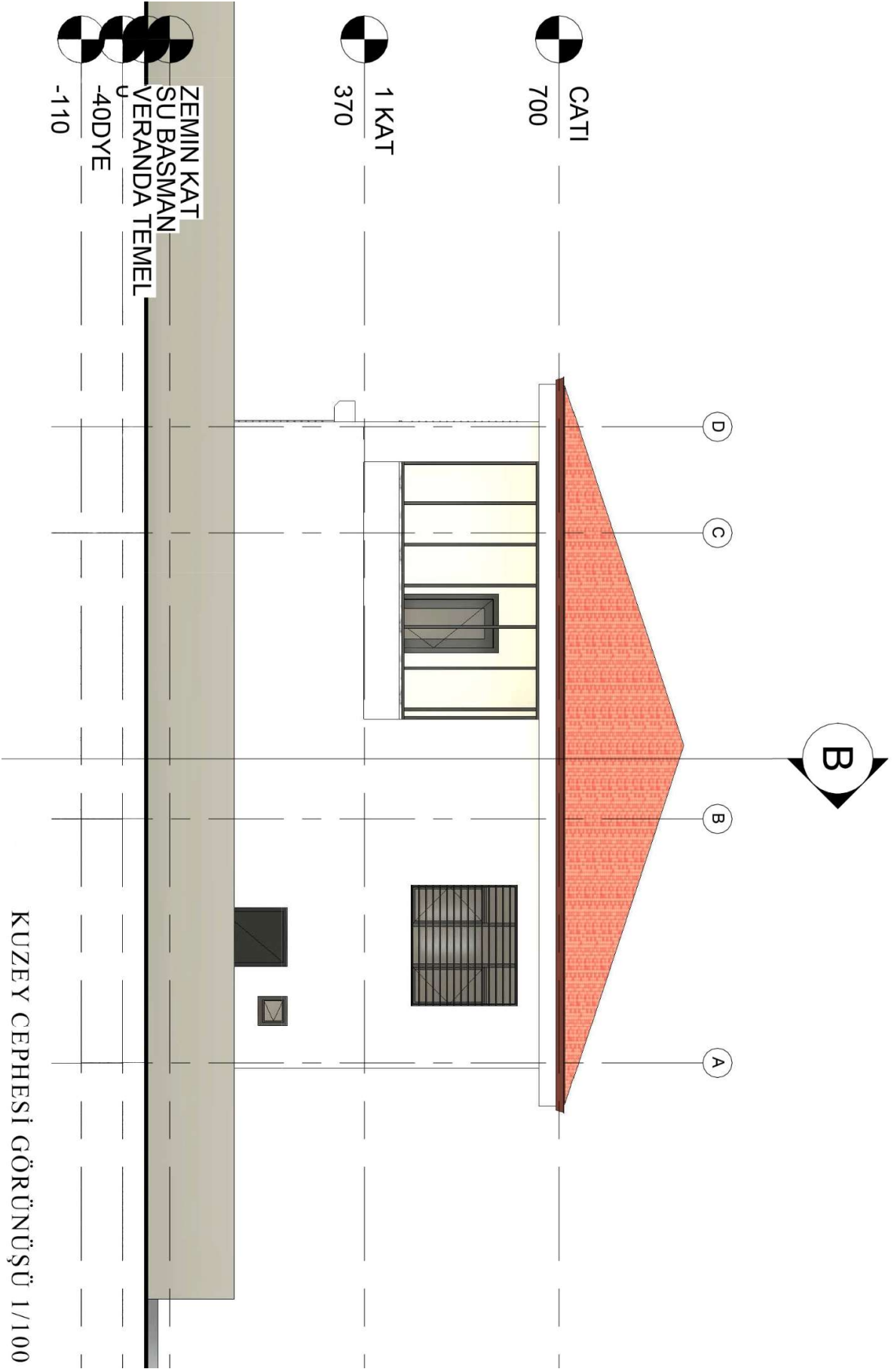


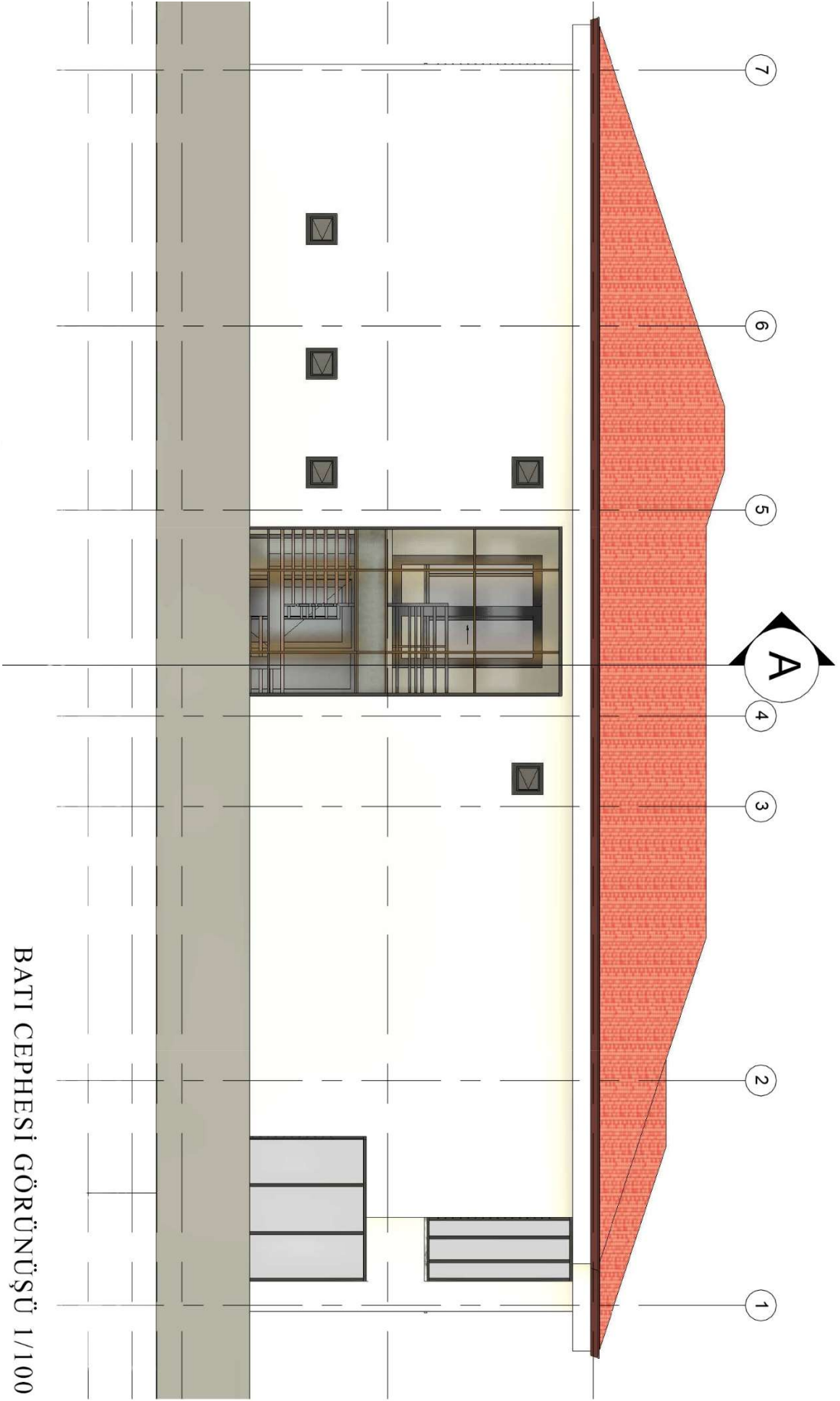




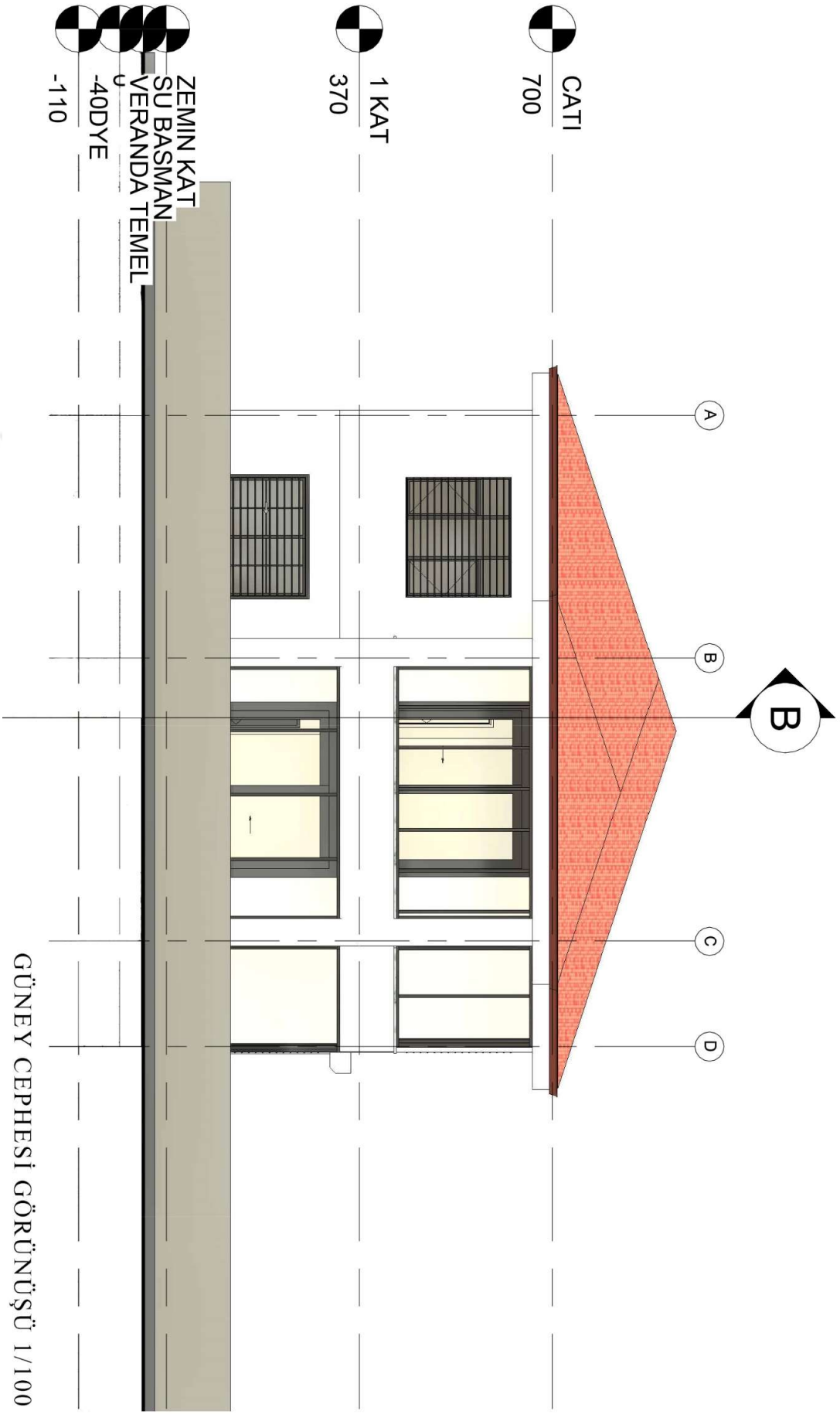


DOĞU CEPHESİ GÖRÜNÜŞÜ 1/100





BATI CEPHESİ GÖRÜNÜŞÜ 1/100



ÖZGEÇMİŞ

Furkan CANPOLAT

Category	Value
Category 1	Value 1
Category 2	Value 2
Category 3	Value 3
Category 4	Value 4
Category 5	Value 5
Category 6	Value 6
Category 7	Value 7

[REDACTED]

[REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]
 [REDACTED]
 [REDACTED]

AKADEMİK FAALİYETLER

Bildiriler:

1. Mimaride Bir Tasarım Ögesi Olarak Kolon Kullanımı
2. Yapılarda Şeffaflık Algısının Mies Van Der Rohe Çalışmaları Bağlamında Analizi