

**TARİHİ YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (TYBM/HBIM) OBJE
KÜTÜPHANESİ OLUŞTURMA ARAÇLARI VE YÖNTEM
DEĞERLENDİRMESİ**

ZEHRA KALPAKLI

**YÜKSEK LİSANS
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ NURAY BENLİ YILDIZ**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARİHİ YAPI BİLGİ MODELLEMESİ OBJE KÜTÜPHANESİ
OLUŞTURULMASI VE KULLANIMI ÜZERİNE LİTERATÜR
İNCELEMESİ VE YÖNTEM ARAŞTIRMASI

ZEHRA KALPAKLI tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **MİMARLIK** Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğretim Üyesi **NURAY BENLİ YILDIZ**
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğretim Üyesi **Nuray BENLİ YILDIZ**
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Meryem Elif **ÇELEBİ KARAKÖK**
Akdeniz Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi **Hande AKARCA**
Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 26/07/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

26 Temmuz 2023

Zehra KALPAKLI

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında her zaman sabırlı, neşeli ve anlayışlı olmasının yanı sıra gösterdiği tüm destek ve yardımından dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Nuray Benli Yıldız'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Varlıklarıyla ve sevgileriyle bana güç veren, eğitim ve öğretim hayatımda maddi ve manevi olarak desteklerini her daim hissettiğim canım aileme;

Bu kıymetli yolda ilerlememe vesile olan, beni her zaman destekleyen, motivasyon kaynağım ve yol arkadaşım Said Sönmez'e;

Her zaman ve her koşulda benimle olan, bir diğer motivasyon kaynağım, çok sevgili dostum Rumeysa Ersoy'a;

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen güzel arkadaşlarıma ve kıymetli hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

26 Temmuz 2023

Zehra KALPAKLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	12
1.1. PROBLEMİN TANIMLANMASI	13
1.2. AMAÇ	15
1.3. KAPSAM.....	16
1.4. YÖNTEM	19
2. BIM-EBIM-HBIM.....	21
2.1. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (BIM-BUILDING INFORMATION MODELING).....	21
2.1.1. Uygulama Boyutları.....	22
2.1.2. Gelişim Seviyeleri.....	22
2.1.3. Olgunluk Seviyeleri.....	23
2.1.4. Yapı Bilgi Modellemesi Teknolojisinin İnşaat Sektöründe Kullanılması.....	24
2.1.4.1. Planlama Aşamasında BIM	24
2.1.4.2. Tasarım Aşamasında BIM.....	24
2.1.4.3. Yapım Aşamasında BIM.....	25
2.1.4.4. Yapının Kullanılması ve İşletilmesi Aşamasında BIM	26
2.2. MEVCUT YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (EBIM, EXISTING BUILDING INFORMATION MODELING).....	27
2.3. TARİHİ YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (HBIM-HISTORICAL BUILDING INFORMATION MODELING).....	28
2.3.1. Gelişim Seviyeleri (LOD, LOG).....	31
2.3.2. Scan to BIM (Tarama verilerinden BIM Modele)	33
2.3.3. Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi Süreci ve Aşamaları.....	35
2.3.3.1. Veri Toplama	35
2.3.3.2. Modelleme.....	35
2.3.3.3. Belgeleme.....	37
2.3.3.4. Analiz	39
2.3.3.5. Genişletilmiş Gerçeklik (XR, Extended Reality)	40
3. HBIM KÜTÜPHANESİ.....	42
3.1. HBIM OBJESİ	43
3.2. HBIM KÜTÜPHANESİNİN PARAMETRİK OLARAK TANIMLANMASI	44
3.2.1. Revit Yazılımı-Family ile Parametrik Nesneler Oluşturma Örneği.....	45
3.3. TARİHİ YAPI BİLGİ MODELLEMESİ PARAMETRİK KÜTÜPHANE TASARIM ARAÇLARI	46
3.3.1. BIM Yazılımları	47
3.3.1.1. Revit	47
3.3.1.2. Archicad.....	48
3.3.1.3. İdeCad.....	50

3.3.1.4. <i>FreeCAD</i>	53
3.3.2. CAD Yazılımları.....	54
3.3.2.1. <i>Rhinoceros</i>	54
3.3.2.2. <i>SketchUp</i>	54
3.3.3. Eklentiler.....	55
3.3.3.1. <i>Dynamo</i>	55
3.3.3.2. <i>Grasshopper</i>	56
4. HBİM UYGULAMALARINDA OBJE KÜTÜPHANESİ KULLANIMI-LİTERATÜRDEKİ ÖRNEKLERİN İNCELENMESİ	57
4.1. MURPHY VE DİĞERLERİ, 2012.....	57
4.2. MURPHY VE DİĞERLERİ, 2012.....	58
4.3. BAİK VE DİĞERLERİ, 2014	59
4.4. BAİK VE DİĞERLERİ, 2017	61
4.5. BRUSAPORCİ VE DİĞERLERİ, 2018	62
4.6. BAGNOLO VE DİĞERLERİ, 2019	64
4.7. CARVAJAL-RAMİREZ VE DİĞERLERİ, 2019.....	65
4.8. MACHETE VE DİĞERLERİ, 2021	67
4.9. SAMPAIO VE DİĞERLERİ, 2021.....	69
4.10. ALSHAWABKEH VE DİĞERLERİ, 2021	70
4.11. KONTOUDAKİ VE DİĞERLERİ, 2022	72
5. BULGULAR.....	76
5.1. HBİM ALANINDA LİTERATÜR İNCELEMESİ VE YAZILIM KARŞILAŞTIRMASI	76
5.1.1. HBİM Alanındaki Literatür Çalışmalarının İncelenmesi.....	76
5.1.2. HBİM Uygulamalarında Kullanılan Yazılımların Karşılaştırılması	80
5.2. TEZ KAPSAMINDA HBİM OBJE KÜTÜPHANESİ OLUŞTURULMASI İÇİN GELİŞTİRİLEN VE ÖNERİLEN YÖNTEMLERİN İNCELENMESİ	83
5.2.1. Yöntem Denemesi 1	84
5.2.2. Yöntem Denemesi 2	86
5.2.3. Yöntem Önerisi.....	91
5.3. HBİM UYGULAMALARININ TARİHİ YAPILARDA KULLANIMLARININ YARARLARI VE SORUNLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	93
5.3.1. HBİM Kullanımının Yararları	93
5.3.2. HBİM Kullanımında Karşılaşılan Sorunlar	94
6. SONUÇLAR.....	97
6.1. AVANTAJLAR.....	97
6.2. KISITLILIKLAR	99
6.3. ÖNERİLER.....	100
7. KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	117

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 Tez akış şeması	18
Şekil 2.1. LOD Seviyeleri (LOD Specification sayfa 48,49 2019) dan uyarlanmıştır (Çeviren: Z. Kalpaklı).	23
Şekil 2.2. Üç aşamalı lineer olgunluk seviyeleri (Succar,2009)' dan uyarlanmıştır [18] (Çeviren: Z. Kalpaklı).....	24
Şekil 2.3. Tasarım safhasında projenin yapı bilgi modeli iş akış şeması [23].	25
Şekil 2.4. Yapı Bilgi Modellemesinin inşaat aşamalarında kullanımı [31] (Çeviren: Z. Kalpaklı)	26
Şekil 2.5. Brumana ve diğerlerinin miras yapısı için LOG seviyelerinin önerisi [54] (Çeviren: Z. Kalpaklı)	33
Şekil 2.6 Scan to BIM iş akış şeması [59] (Çeviren: Z. Kalpaklı)	34
Şekil 2.7 Nokta bulutundan modellemeye iş akış şeması [70] (Çeviren: Z. Kalpaklı)..	36
Şekil 2.8 Dokümantasyon araçlarının sürece ilişkin değişimi [65].	38
Şekil 2.9 Makine öğrenimi ile cepheden elde edilen hasar tespiti [86] (Çeviren: Z. Kalpaklı).....	39
Şekil 2.10 HBIM ve XR projeleri gelişim süreçleri [89] (Çeviren: Z. Kalpaklı)	41
Şekil 3.1 Revit içerisindeki Phasing araç kutusu [110]	48
Şekil 3.2. Archicad içerisinde renovasyon araç kutusu	50
Şekil 3.3. İDE ODT ara yüzü.....	51
Şekil 3.4 İde render aracı görüntüsü [107]	52
Şekil 3.5 İdecad'de alınmış iç mekan renderı [117]	52
Şekil 3.6 Trimble Scan Essentials for SketchUp aracı görüntüsü	55
Şekil 4.1 Parametrik nesne kütüphanesindeki objelerden bazıları [69].....	57
Şekil 4.2. Henrietta Caddesi için oluşturulmuş HBIM modeli [38]	59
Şekil 4.3 CityGML içerisinde obje gösterimi [38]	59
Şekil 4.4. Yapıya ait nesnenin model gelişim süreci [97] (Çeviren: Z. Kalpaklı).....	60
Şekil 4.5 a) Baik ve arkadaşlarının (2017) pencereyi nokta bulutundan revit family ile modellemesi b) d)Vaka çalışmalarının JHBIM modelinin zaman akışı [103] (Çeviren: Z. Kalpaklı).....	62
Şekil 4.6. Revitte yapılmış olan saray cephesinin modeli ve parametrik pencere öğeleri [123]	63
Şekil 4.7. Çalışmada 3. olarak ele alınan Paris'teki Saint-Étienne-du-Mont kilisesinin cephesindeki sütunun modeli ve resmi [5].....	64
Şekil 4.8 Çalışma kapsamında Revit programında üretilen çeşitli sütun tipleri [5]	65
Şekil 4.9. Cortijo del Fraile yapısının günümüzdeki durumu [124]	66
Şekil 4.10. Parametrik kütüphane objesi olarak modellenen tonoz, kemer, payanda elemanları [124] (Çeviren: Z. Kalpaklı).....	66
Şekil 4.11. Cortijo del Fraile yapısının HBIM modelinden Lumion ile oluşturulmuş renderları	67
Şekil 4.12. 4 farklı detay seviyesine sahip geometrik şekillerin render ve modelleri	69
Şekil 4.13. Kapıların üretilmiş farklı family tipleri	70
Şekil 4.14. Pencereilerin üretilmiş farklı family tipleri	70
Şekil 4.15. Matbouli Evi nokta bulutundan HBIM modele	71
Şekil 4.16. Asfan Kalesi nokta bulutundan HBIM modele [126].....	72
Şekil 4.17. Parametrik olarak modellenen (sağ) kolonun nokta bulutu verisine (sol) göre ayarlanması [122]	73

Şekil 4.18 HBIM obje kütüphanesi oluşturan yayınlarda kullanılan teknik, araç ve yazılımların incelenmesi [127]	74
Şekil 5.1. HBIM model oluşturan ve parametrik kütüphane oluşturan yayınların incelenen tüm yayınlara oranla dağılımı	77
Şekil 5.2. Makalelerin ülkelere göre dağılımı	78
Şekil 5.3. HBIM model oluşturan makalelerde kullanılan yazılım ve eklentiler	78
Şekil 5.4. İncelenen HBIM makalelerindeki genişletilmiş gerçeklik uygulamalarının kullanımı	79
Şekil 5.5. Tüm yayınların arasında algoritmik modelleme yapan yayınların dağılımı ve parametrik kütüphane oluşturma oranı	79
Şekil 5.6. Algoritmik modellerde kullanılan araçlar	80
Şekil 5.7 HBIM uygulamalarında kullanılan yazılımların karşılaştırılması	82
Şekil 5.8. Tez kapsamında HBIM kütüphanesi oluşturmak için denenen yöntem şeması	84
Şekil 5.9. a) 251 ada 7 parseldeki yapının günümüzde çekilmiş hali b) 251 ada 8-7 10 parsellerdeki yapıların 1935-1940'lı yıllarda çekilmiş fotoğrafı	85
Şekil 5.10. a) Yapının mevcut hali [137], b) Restorasyon Projesi [136]	85
Şekil 5.11 Kapı kanadı alternatiflerinin parametrik obje olarak oluşturulması 7a) Kapı parametreleri, 7b) Tek kanatlı versiyonu 7c) Tek kanatlı, panjurlu versiyon, 7d) Çift kanatlı örgü kemerli versiyonu, 7e) Çift kanatlı, tepelikli versiyonu [138]	86
Şekil 5.12. Profil ismi oluşturulması	87
Şekil 5.13. Profil ölçülendirmesinin yapılması	88
Şekil 5.14. Pencere kasasının oluşturulması	88
Şekil 5.15. Pencere içine cam yerleştirilmesi	89
Şekil 5.16. Pencerenin kütüphane içerisine kaydının yapılması	90
Şekil 5.17. Kütüphane içerisinden pencere objesinin seçilmesi	90
Şekil 5.18. Pencere objesinin çeşitli ayarları	90
Şekil 5.19. Revitte elde edilen pencere modelleri	91
Şekil 5.20. Modellenen pencerelerin restorasyon projesi 2B çizimleri	91
Şekil 5.21. Library Part Maker ile kapı modelinin oluşturulması [139]	92
Şekil 5.22. Library Part Maker ile üretilen kapı objesi [139]	93

KISALTMALAR

3B	3 Boyutlu
3D	3 Dimension (3 Boyutlu)
2D	2 Dimension (2 Boyutlu)
AIA	American Institute of Architects(Amerikan Mimarlar Enstitüsü)
BIM	Building Information Modeling (Yapı Bilgi Modellemesi)
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
GDL	Geometric Description Language (Geometrik Tanımlama Dili)
HAOL	Hijazi Architectural Object Library (Hicazi Mimari Obje Kütüphanesi)
HBIM	Historical Building Information Modeling(Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi)
ICOMOS	International Council on Monuments and Sites (Anıtlar ve Sitler
Uluslararası	Konseyi)
LOD	Level of Development (Gelişim Seviyesi)
LOG	Level of Geometry (Geometri Seviyesi)
NURBS	Non-Uniform Rational B-Spline (Düzlemsel olmayan Rasyonel B Spline)
TLS	Terrestrial Laser Scanning (Yersel Lazer Tarama)
VR	Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)
XR	Extended Reality (Genişletilmiş Gerçeklik)

ÖZET

TARİHİ YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (TYBM/HBIM) OBJE KÜTÜPHANESİ OLUŞTURMA ARAÇLARI VE YÖNTEM DEĞERLENDİRMESİ

Zehra KALPAKLI

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nuray BENLİ YILDIZ

Temmuz 2023, 116 sayfa

Kültürel miras, insanların geçmişlerini, kimliklerini ve değerlerini yansıtan ve korunması önemli olan kolektif bir bellektir. Kültürel miras içerisinde çok önemli bir yere sahip olan tarihi yapıların akıllı nesneler şeklinde modellenmesi, koruma ve restorasyon süreçlerinde önemli bir ilerleme olarak kabul edilmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte BIM (Yapı Bilgi Modellemesi), öncelikle mimari yapılar için kullanılmış ve daha sonra mevcut yapılar ve miras yapıları dahil olmak üzere geniş bir kullanım alanı bulmuştur. HBIM (Historic Building Information Modeling, Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi) ise miras yapılarında koruma, rölöve restorasyonu, yönetim ve işlev değişikliği gibi konularda sanal akıllı modellerden yararlanan bir yaklaşımdır. Bu gelişmeler ile birlikte tarihi yapıların akıllı nesneler şeklinde modellenmesi, koruma ve restorasyon süreçlerinde önemli bir adım haline gelmiştir. Literatürde HBIM model oluşturulması aşamasında çeşitli denemeler ve araştırmalar yapılmış, çok sayıda farklı yazılım ve programlar kullanılmıştır ancak şimdiye kadar tek bir standart yöntem belirlenmemiştir. BIM model üretimi aşamasında kütüphanelerde yer alan parametrik objelerden sıklıkla yararlanılmaktadır. Çoğu BIM yazılımlarında yalnızca yeni tasarlanan yapılar için kütüphaneler bulunmakta, miras binaları için önceden tanımlanan parametrik kütüphaneler ise yer almamaktadır. Nokta bulutundan HBIM' e varan bu dönüşüm otomatik olarak şu an gerçekleşmediği için mimari öğeleri temsil eden parametrik bir nesne kütüphanesinin kullanılması HBIM modeli elde etme sürecini kolaylaştırmaktadır. Bu bağlamda tez kapsamında literatürdeki parametrik obje kütüphanesi oluşturarak HBIM uygulaması yapan makaleler incelenmiş ve HBIM uygulama yazılım ve yöntemleri anlatılmıştır. HBIM model üretimi yapan 50 adet makale analiz edilmiştir. Yapılan incelemelerde obje kütüphanesi uygulanma oranının düşük olduğu görülmüştür. HBIM obje kütüphanesinin kullanımının avantajlarına değinilerek bu yöndeki uygulamaların artırılması gerektiğine vurgu yapılmıştır. Ayrıca HBIM uygulamalarında sıklıkla kullanılan yazılımlar maliyet, donanım gereksinimleri, arayüz dilleri, nokta bulutu ile birlikte çalışabilirliği bakımlarından elde edilen bilgiler ışığında karşılaştırılmış ve ilk kez HBIM alanında uygulama yapacak bir firma veya uzmana yol göstereceği ümit edilen bir tablo oluşturulmuştur. Tablo sonucunda yazılımların birbirlerine göre farklı avantajlara sahip olduğu, eldeki imkân ve yazılım bilgisine göre tercih yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Literatürde yer alan HBIM modeli üretme yöntemleri dışında yapılan 2 adet yöntem denemesi anlatılmış ve 1 adet yöntem önerisinde bulunulmuştur.

Anahtar sözcükler: Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi (HBIM), Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), HBIM Kütüphanesi, Parametrik Objeler

ABSTRACT

HISTORICAL BUILDING INFORMATION MODELING (TYBM/HBIM) OBJECT LIBRARY TOOLS AND METHOD EVALUATION

Zehra KALPAKLI

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Architecture

Master's Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Nuray BENLİ YILDIZ

July 2023, 116 pages

Cultural heritage, which reflects the past, identities, and values of people and requires preservation, encompasses significant physical, intellectual, and intangible entities. Within cultural heritage, the modeling of historical buildings as smart objects has been recognized as a significant advancement in conservation and restoration processes. With the advancement of technology, Building Information Modeling (BIM) has initially been used for architectural structures and later found wide application, including existing and heritage buildings. Historic Building Information Modeling (HBIM) is an approach that utilizes virtual intelligent models for aspects such as conservation, surveying restoration, management, and functional changes in heritage structures. These developments have made the modeling of historical buildings as smart objects a crucial step in preservation and restoration processes. In the literature, several attempts and research studies have been carried out in the creation of HBIM models, employing a variety of software and programs. However, a standardized method has not yet been established. When it comes to BIM model production, the utilization of parametric objects from libraries is commonly practiced. While most BIM software provides libraries primarily for newly designed structures, pre-defined parametric libraries specifically tailored for heritage buildings are often absent. Due to the lack of an automated process for the conversion from point cloud to HBIM, the utilization of a parametric object library representing architectural elements facilitates the process of obtaining an HBIM model. In this context, within the scope of this thesis, articles implementing HBIM through the creation of parametric object libraries in the literature were examined, and HBIM implementation methods were described. A total of 50 articles related to HBIM model production were analyzed from various perspectives. The analyses revealed a low rate of implementation of object libraries. The advantages of utilizing an HBIM object library have been highlighted, emphasizing the need to increase applications in this direction. Moreover, a comparison has been drawn among frequently employed software in HBIM applications, taking into account factors such as cost, hardware prerequisites, interface languages, and integration capabilities with point cloud data. This table endeavors to serve as a guiding resource for a company or practitioner embarking on their inaugural venture into the realm of HBIM. As a result of the table, it has been seen that the software has different advantages compared to each other, and it is necessary to choose according to the available possibilities and software knowledge. In addition to the HBIM model production methods found in the literature, two method attempts have been described, and one method proposal has been put forward.

Keywords: Historical Building Information Modeling (HBIM), Building Information Modeling (BIM), HBIM Library, Parametric Object

1. GİRİŞ

Kültürel miras, insanlığın tarihinden itibaren gelen ve biriken, toplumun ortak geçmişini yansıtan değerli ve önemli niteliklere sahip olan her türlü fiziksel, zihinsel ve somut olmayan varlıkları ifade eder. Bu varlıklar insanların kimliklerini, tarihlerini, geleneklerini ve değerlerini yansıtır. Bu sebeple kültürel mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılması büyük ehemmiyet taşır.

UNESCO, (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization/ Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü), ICOMOS (International Council on Monuments and Sites/Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi) gibi uluslararası kuruluşlar kültürel mirasın korunması ve yönetilmesi konusunda çalışmalar yapmaktadır. Ülkeler kültürel mirası korumak için yasalar, yönetmelikler ve ulusal mirası korumak için kurumlar oluşturarak koruma önlemleri almaktadır.

Tarihi yapılarda belgeleme, mirasımızı koruma ve gelecek nesillere aktarma açısından büyük öneme sahiptir. Bu belgeleme süreci, yapının geometrisini, orijinal özelliklerini, yapı malzemelerini ve yapısal detayları kaydetmek amacıyla gerçekleştirilir. Tarihi yapılarda doğru ve kapsamlı bir belgeleme, restore edilme veya koruma çalışmalarının temelini oluşturur ve kültürel mirasın sürdürülebilirliğine katkı sağlar.

ICOMOS (Uluslararası Anıtlar ve Sit Alanları Konseyi), koruma projelerinde BIM teknolojilerine doğrudan atıfta bulunmamış olsa da verilerin dijitalleştirilmesinin ve birbirleriyle bağlantılı olarak işlenmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, veri tutarsızlığını azaltma ve çalışma yükünü hafifletme amacıyla geleneksel koruma projelerinde dijitalleşmeye dayanan yöntemlerin kullanılmasını desteklemektedir [1].

Yapı tasarımı ve üretimi alanında dijital tasarım ve yönetim yöntemi olan BIM'in (Building Information Modeling-Yapı Bilgi Modellemesi) gelişimi ile birlikte projelerin tasarım, yapım ve işletme süreçlerinde bilgi paylaşımını kolaylaştırarak verimliliği arttırmakta ve hataları azaltmaktadır. BIM, 3D modelleme, veri entegrasyonu ve iş birliğini destekleyen bir yaklaşım olmasıyla beraber gelişmektedir ve inşaat projelerinin daha etkili ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine katkı sağlamaktadır.

Yeni yapı tasarımı için geliştirilmiş olan BIM zamanla mevcut ve miras yapılarında da kullanılmaya başlanmıştır. Tarihi binaların dijital olarak modellemesi ve yönetimi için kullanılan bir BIM yaklaşımına HBIM (Historical Building Information Modeling-Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi) denir. BIM teknolojilerinin gelişmesi ve tarihi binaların korunmasıyla ilgili artan farkındalık, HBIM'in yaygınlaşmasını sağlamıştır. HBIM tarihi yapıların özgün tasarımlarını, malzeme ve yapısal özelliklerini, restorasyon süreçlerini ve diğer tarihsel verileri dijital olarak temsil eder. HBIM, restorasyon projelerinde doğru ve ayrıntılı verilerin paylaşılmasını, iş birliğini ve karar verme süreçlerini kolaylaştırarak, tarihi binaların korunması ve sürdürülebilir kullanımı konusunda önemli bir araç haline gelmiştir.

Miras yönetimi ve restorasyon sürecinde, farklı paydaşlar arasında düzenlenen verilerin ele alınması genellikle zorlu bir görevdir. Ancak, BIM teorik olarak bilginin kullanıcılara bütünsel bir şekilde ulaştırılması için ideal bir ortam sunar. Özellikle mimari restorasyon sürecinde, 3D geometrik modeller ve kültür varlıkları kütüphanesi gibi BIM bileşenleri, kültürel mirasın korunması ve yönetimi için gereken ihtiyaçları karşılayacak bir çözüm sunmaktadır.

BIM' in mimari restorasyon projelerinde kullanımı, bir dizi önemli avantaj sunar. 3D geometrik modeller, restorasyon projelerinin daha iyi planlanmasını ve görselleştirilmesine katkıda bulunur. Bu, restorasyon sürecinin daha verimli ve etkili bir şekilde ilerlemesini sağlar. Ayrıca, kültür varlıkları kataloğu gibi BIM bileşenleri, tarihi binaların özelliklerini ve tarihî değerlerini kaydetmek için kullanılabilir. Tüm bu faktörler birleştiğinde BIM, mimari restorasyon projelerinde önemli bir rol oynar ve tarihi yapıların korunması ve gelecek kuşaklara aktarılmasında büyük fayda sağlar.

1.1. PROBLEMİN TANIMLANMASI

Kültürel mirasın belgelenmesi ve yönetiminde kullanılan BIM ile önemli ilerlemeler kaydedilmesine karşın BIM yazılımlarının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Özellikle bir miras yapısının belgelenmesi sürecinde çok sayıda resmi prosedür gerekmektedir. Bu prosedürlerin yerine getirilmesi zaman alıcı olmakta ve ek kaynak ihtiyacı meydana gelmektedir. Ayrıca miras yapılarının öğeleri için BIM yazılımlarında parametrik kütüphane bulunmaması sebebiyle karmaşık ve düzensiz elemanlara sahip olan tarihi yapıların modelinin manuel olarak yapılması beklenmektedir [2].

Parametrik kütüphane BIM yazılımlarında kullanılan, bir yapı veya bileşenin geometrik ve parametrik özelliklerini içeren dijital bir koleksiyondur. Bu kütüphaneler, tasarım sürecinde kullanılan standart bileşenlerin, malzemelerin, sistemlerin her bir bileşeninin belirli özelliklerinin (boyutlar, malzeme özellikleri, performans verileri vb.) de eklendiği modelleri içerir. Bu parametreler, bir bileşenin esnek bir şekilde özelleştirilmesine ve tasarımda kullanılmasına olanak tanır.

HBIM uygulamalarında parametrik nesne kütüphaneleri yaygın olarak kullanılmamaktadır. Tarihi binaların benzersiz olması, her binanın kendine özgü mimari, malzeme ve yapısal özellikler barındırması nedeniyle standart bileşenlerin miras yapılarıyla uyumunun yetersiz olmasına sebep olur. İlâveten tarihi yapıların kaynakları, tarihsel verileri ve dokümantasyonları sınırlı olabildiği için HBIM kütüphanelerinin oluşturulması zorlaşmaktadır. HBIM projelerinde, HBIM parametrik kütüphanesinin yetersizliği nedeniyle çoğunlukla manuel modelleme ve veri girişi yöntemleri kullanılmaktadır. Bu durumda, birçok elemanın sıfırdan modellenmesi gerektiğinden model oluşturma sürecinde zaman almaktadır[3]. Aynı zamanda, verilerin doğruluğunu sağlamak amacıyla çok sayıda veri toplanıp işlendiği için modelin doğruluğunda azalmalar görülebilmektedir [4] [5].

HBIM sürecinde, yazılımlardaki kısıtlamalar nedeniyle modelleme aşamasında birçok zorlukla karşılaşılır. Miras yapılarının özgün ve çeşitli formlara sahip olmasıyla birlikte, mevcut yazılımların bu çeşitliliği kapsama konusunda sınırlı olması, modelleme sürecinin temel zorluğunu oluşturur [6]. BIM yazılımları genellikle karmaşık ve detaylı çözümlerin oluşturulmasında yetersiz kalmaktadır [7]. Bu kısıtlamaların üstesinden gelmek için modelleme aşamasında farklı programların kullanılması mümkündür. Fakat bu yaklaşım dosya formatlarının çeşitliliği ve dosya formları arasındaki entegrasyon gereksinimini beraberinde getirir. Bu da, daha fazla program kullanma ihtiyacıyla birlikte dosya boyutunun şişmesi gibi yeni sorunların ortaya çıkmasına neden olur [8].

Miras yapılarının dijital ortamda akıllı modellerinin oluşturulması günümüzdeki teknoloji ve gelişmelerle kolaylıkla gerçekleştirilememektedir. Bu süreçte bir dizi zorlukla karşılaşılır, çünkü model oluşturmak için çeşitli aşamaların takip edilmesi, donanımlı bilgisayar ve teknolojik cihazlara ihtiyaç duyulması, BIM yazılımlarının dışında diğer yazılım ve programlara hâkim olunması gibi gereklilikler bulunmaktadır.

HBIM uygulamalarında tek bir uygulama yöntemi bulunmamasıyla birlikte çok sayıda

yazılım kullanılmaktadır ve her yazılım farklı özellikleri barındırmaktadır. İlk kez HBIM uygulaması yapacak olan bir teknik eleman için uygulamalarda görülen yazılım çeşitliliği kafa karıştırıcı olmakta, doğru yazılımı seçmek ve karar vermek zaman almaktadır. Bu durum uygulamaların kullanılması ve yaygınlaşması açısından büyük bir zorluk oluşturmaktadır.

1.2. AMAÇ

Bu tez çalışması, miras yapılarının öğelerini gerçeğe son derece yakın bir şekilde oluşturmak için sıfırdan bir model üretmek yerine BIM yazılımlarının içerisinde bulunan parametrik nesne kütüphanelerini kullanmanın daha etkin bir yöntem olduğunu göstermeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, hem miras yapının özelliklerini hassas bir şekilde yansıtırken hem de modelleme sürecini büyük ölçüde kolaylaştırır.

BIM yazılımlarında (Revit, Archicad, İdecad, Freecad) bulunan nesne kütüphaneleri genellikle miras yapıların mimari öğeleriyle uyumsuz ve yetersiz olmaktadır. Bu durum, her bir miras yapısı için manuel olarak model oluşturulmasını gerektirmektedir. Ancak HBIM modelleme sürecini daha kolay ve hızlı hale getirmek için, miras yapıların öğelerini içeren parametrik kütüphanelerin BIM yazılımlarına entegre edilmesi ile birlikte mimarlar ve mühendisler mevcut imkanlarını kullanarak, başka yazılım bilgisine ihtiyaç duymadan ve donanımlı cihazlara bağlı kalmadan, miras yapıları özgü modelleri daha hızlı ve kolay bir şekilde oluşturabileceklerdir.

Bu çalışma süresince literatürde tarihi yapılar için HBIM'in önemi; HBIM'in uygulaması, avantajları, kısıtlılıkları gibi konuları incelenmiştir. HBIM uygulamalarının artırılması için parametrik obje kütüphanelerinin oluşturulmasının ve kullanılmasının önemli olduğu vurgulanarak obje kütüphanesinin yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda literatürdeki parametrik HBIM kütüphanesi oluşturan makaleler incelenmiş, uluslararası düzeyde yapılan çalışmaların izledikleri yöntemler tespit edilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları tez sürecinde yazar tarafından denenmiş, lakin farklı zorluklarla karşılaşmıştır. Sürecin başarıyla yürütülmesi için gereken donanım, uzmanlık, kodlama bilgisi gibi konuların sonucu etkilediği görülmüştür. Bunların dışında dosya format çeşitliliğini azaltan daha verimli ve entegre bir modelleme süreci sunan bir yöntem araştırması yapılmıştır.

Bu tez çalışması, HBIM parametrik obje kütüphanesi oluşturma ve kullanma,

HBIM uygulamalarında taşıdığı önemi vurgulamayı, literatürde mevcut parametrik obje üretme yöntemlerini detaylı bir şekilde araştırmayı ve bu yöntemlere ek olarak yeni bir kütüphane objesi elde etmek için kullanılabilecek yöntemleri keşfetmeyi amaçlamaktadır.

Ayrıca HBIM’de kullanılan BIM, CAD yazılımları ve eklentileri farklı açılardan kıyaslayarak, HBIM kütüphanesi oluşturmaya yeni başlayacak olan tasarımcı, mimar, restoratör uzmanı, restoratörlere yol gösterici bir kılavuz olması hedeflenmiştir.

1.3. KAPSAM

Araştırma kapsamında tezde, HBIM’ in gelişimi, uygulama aşamaları, tarihi yapılarda kullanımının avantajları anlatılmıştır. Ardından HBIM kütüphanesinin, tarihi yapıların HBIM uygulamalarındaki ehemmiyeti üzerinde durulmuş, HBIM kütüphanesi için parametrik obje üretme yöntemleri detaylı bir şekilde araştırılmış ve bulunan farklı yaklaşımlar incelenmiştir. Bununla birlikte, nesne kütüphanelerinin oluşturulması konusunda literatürdeki yaklaşımların dışında farklı iş akışları denenmiş olmasına rağmen bu konuda çeşitli kısıtlılıklar ile karşılaşmıştır.

Bu tez çalışmasında girişten sonra 2. bölümde Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) kavramı ele alınmış ve BIM’in uygulama boyutları, gelişim seviyeleri ve olgunluk seviyeleri açıklanmıştır. Yapı bilgi modellemesi teknolojisinin inşaat sektöründe planlama, tasarım, yapım ve yapının kullanılması ve işletilmesi aşamalarında kullanımları vurgulanmıştır. Sonrasında BIM’in mevcut yapılar için kullanılması (EBIM) ve tarihi yapı bilgi modellemesi (HBIM) konularına değinilmiştir. HBIM’in gelişim seviyeleri, scan to BIM aşaması, HBIM süreci ile alakalı aşamalar (veri toplama, modelleme, belgeleme, analiz, genişletilmiş gerçeklik) hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

3. Bölümde HBIM kütüphanesi başlığı altında HBIM objesi anlatılmış, HBIM kütüphanesinin parametrik olarak oluşturulması açıklanmıştır. Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi kütüphanesi oluşturulması aşamasında kullanılan ve önemli bir rol oynayan BIM yazılımları (Revit, Archicad, İdecad, Freecad), CAD yazılımları (Rhinoceros, SketchUp) ve eklentiler (Dynamo, Grasshopper) genel hatlarıyla tanıtılmıştır.

4. Bölümde literatür araştırması sonucunda HBIM uygulamalarında obje kütüphanesi oluşturarak 3D model üretimini ele alan makalelerin yöntem ve metotları detaylı şekilde açıklanmıştır.

5. Bölümde bulgular kısmına yer verilmiştir. İlk olarak literatürdeki HBIM uygulamaları çeşitli yönlerden analiz edilmiştir ve HBIM uygulamalarında kullanılan yazılımların karşılaştırılması yapılmıştır. Ardından parametrik obje kütüphanesi oluşturulması konusunda önerilen iki adet yöntem denenerek avantaj ve dezavantajları anlatılmıştır. Bir adet yöntem önerisine de gelecek çalışmalarda parametrik obje üretimi için kullanılabileceği düşünüldüğü için tezde yer verilmiştir. Son olarak tarihi yapılarda HBIM kullanımının yararları ve bu aşamada karşılaşılan sorunlar anlatılmıştır.

6. Bölüm olan sonuç ve öneriler kısmında yapılar araştırma ve incelemeler neticesinde HBIM parametrik obje kütüphanesinin oluşturulmasının öneminden ve kısıtlılıklarından bahsedilmiş, yapılan çıkarımlar ve bu husustaki önerilere yer verilmiştir.

Anlatılan bölümlere ilişkin tez akış şeması Şekil 1.1’de verilmiştir.





Şekil 1.1 Tez akış şeması

1.4. YÖNTEM

Tez çalışması için Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi alanında yapılan genel literatür incelemesi neticesinde araştırma alanı HBIM parametrik obje kütüphanesinin üretimi ve kullanımı olarak sınırlandırılmıştır. Bu incelemeler sonucunda tezin gelişimi için aşağıda yer alan dört araştırma sorusu belirlenmiştir.

- Tarihi yapıların BIM modellerinin oluşturulmasının tarihi yapılar açısından sunduğu yararlar ve HBIM çalışmaları sırasında karşılaşılan sorunlar nelerdir?
- Tarihi yapıların BIM modellerinin oluşturulmasında parametrik obje kütüphanesi üretiminin ve modelleme sürecinde bu objeleri kullanmanın, HBIM uygulamalarında sağladığı avantajlar ve kısıtlılıklar nelerdir?
- Literatürde Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi uygulamalarında parametrik obje üretimi için hangi yöntemler geliştirilmiş ve kullanılmıştır? Ek olarak hangi yeni yöntemler kullanılabilir?
- HBIM modeli oluşturmaya yeni başlayacak kullanıcılar için, donanım gereksinimi, maliyet, arayüz dili, parametrik model üretebilme yeteneği gibi açılardan yazılımların arasındaki farklar nelerdir?

Kararlaştırılan araştırma sorularına cevap sağlamak amacıyla, tezin oluşumunu desteklemek için dört temel başlığa dayanan bir yöntem geliştirilmiştir.

- Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi hakkında literatürdeki uygulamaların incelenmesi
- Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi alanında parametrik obje kütüphanesi oluşturan vaka örneklerinin incelenmesi
- Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi parametrik obje kütüphanesi oluşturulması hususunda yöntem araştırması ve denemesi yapılması
- HBIM’de kullanılan yazılımların özelliklerinin karşılaştırılması

Belirlenen yöntem için öncelikle literatür araştırması yapılmıştır. Bunun için, çok sayıda makaleye erişilebilirliğin kolay olduğu akademik arama motoru olan “Google Scholar” kullanılmıştır. Google Scholar üzerinden “HBIM” ve “parametrik” anahtar kelimelerinin İngilizce karşılıklarıyla arama yapılmıştır. Bu kelimelerin belirlenmesindeki amaç şöyledir; HBIM kelimesiyle birlikte bu alanda yapılan çalışmalara ulaşılması

hedeflenmiştir, parametrik kelimesiyle birlikte ise HBIM uygulamalarında parametrik model üretimi yapan yayınların bulunması amaçlanmıştır. Teknolojik imkân ve gelişmelerin de son yıllarda daha çok arttığı göz önünde bulundurularak uygulamalarda belirlenen yöntemlerin bu gelişim doğrultusunda zenginleşmesi ve çeşitlenmesi gözlemlendiği için 2018 ve 2022 yılları arasındaki son 5 yılda üretilen 50 adet yayın belirlenmiştir. Belirlenen bu yayınlar ilk etapta incelenerek HBIM modeli üretimi yapılanlar tespit edilmiş ve model üretimi yapılmayan 10 adet yayın değerlendirme dışı bırakılmıştır. Ardından kalan 40 makale arasında HBIM obje kütüphanesi üreterek çalışmalarını sürdüren yayınlar tespit edilmiştir. HBIM parametrik obje kütüphanesi oluşturan yayınlar araştırma sorularına yönelik daha detaylı olarak incelenmiştir. Bu vaka çalışmalarında “scan to BIM” aşamasında kullanılan araç ve yazılımlar, BIM modeli üretme aşamasında kullanılan yazılım ve yöntemler incelenerek bu makaleler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. 40 adet makale yayınlanma yılı, yazarları, anahtar kelimeleri, incelenen yapı türü, 3D model aşamasında kullanılan yazılımları ve parametrik HBIM modelinin üretilip üretilmediği, HBIM obje kütüphanesi oluşturulup oluşturulmadığı gibi çeşitli inceleme kriterleri belirlenmiş ve taramalar bu kriterlere göre yapılmıştır. Elde edilen verilerden ilk aşamada HBIM ile parametrik kütüphane oluşturulmasına yönelik genel analizler oluşturulmuştur. Ulaşılan bu veriler bulgulara 5.1. bölümde paylaşılmıştır. İlaveten bu bölümde HBIM uygulamalarında kullanılan BIM ve CAD yazılımları maliyet, donanım gereksinimi, dil destekleri, parametrik model oluşturabilme yeteneği, görsel ya da yazınsal kodlama ile gelişmiş model üretebilme yeteneği, nokta bulutu kullanılabilmesi bakımlarından karşılaştırılarak tablo haline getirilmiştir.

5.2. bölümde tescilli yapıların kapı ve pencerelerinin parametrik bir kütüphanesinin oluşturulması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda 4. bölümdeki literatürde uygulanan HBIM modelleme yöntemleri dışında farklı yöntem araştırmaları yapılarak bulunan yöntemlerden uygulanabilir olan 2 tanesi üzerinde örnek modellemeler yapılmıştır, 1 tanesinde de öneri sunulmuştur. Bu yöntemin uygulama aşamaları 5.2.1. ve 5.2.2. bölümlerinde detaylıca anlatılmıştır.

5.3. bölümde ise HBIM kullanımının yararları ve HBIM kullanımında karşılaşılan sorunlar anlatılmıştır.

2. BIM-EBIM-HBIM

2.1. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (BIM-BUILDING INFORMATION MODELING)

BIM (Building Information Management) kavramı Türkçeye Yapı Bilgi Modellemesi olarak çevrilmiştir ve BIM ile ilgili çok sayıda tanım mevcuttur. En yalın haliyle yapı yaşam döngüsünün dijital ortamda tasarlanması olarak tanımlanmaktadır [9]. BIM kavramı 1970'li yıllarda ortaya çıkmasına karşın mimarlık mühendislik ve inşaat sektöründe 2000'lerin ortasından itibaren projelerde uygulanmaya başlanmıştır [10].

Yapı Bilgi Modellemesi; mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü içindeki tüm katılımcıların ortak bir projede rollerinin entegrasyonunu sağlayabilen yeni bir paradigmayı temsil eder [11]. BIM projenin üretilmesi ve yönetilmesi sürecindeki tüm katılımcıları bir araya getirerek atıkların azaltılmasını ve yaşam döngüsü boyunca proje verimliliğini en iyi duruma getirmeyi hedefler. BIM inşaat sektörünün en umut vadeden gelişimidir [12].

Yapı Bilgi Modellemesi mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründeki en önemli gelişmelerden birisidir, farklı araç ve süreçleri tasarıma dahil ederek proje verilerini sayısal ortamda yönetmeye imkan sağlar [13]. BIM tasarım, yapım ve işletme süreçleri içerisinde bina bilgilerinde revizyonu kolaylaştıran, yapı tasarımı ve detaylandırması için gerekli tüm sayısal ve sözel bilgilere sahip olan kavramsal bir yaklaşımdır [14].

Yapı Bilgi Modellemesi proje sahibinin proje gereksinimlerini tespit etmesi için, tasarım ekibinin projeyi analiz etmesi, tasarlaması ve gelişimini sağlaması, yüklenici tarafından proje yapım sürecini yönetmesi ve tesis yöneticisi tarafından işletilmesi ve yapının yaşam ömrü tamamlandıktan sonra geri dönüşümü aşamaları için etkin bir şekilde kullanılmaktadır [15].

Yapı Bilgi Modellemesi metodolojisinde proje geliştirilirken uzmanlar arasında bilgi oluşturma yönetme ve aktarma süreçleri gerçekleşir. Bu süreçlerde ise bina bileşenlerini temsili kütüphaneler ile desteklenen parametrik nesneler ile gerçekleştirilir. Böylece yeni binalar modellenirken her biçime ve duruma kolaylıkla adapte olabilirler. Binanın BIM modeli oluşturulduktan sonra ise model veri tabanı yardımıyla inşaat planlaması (4D),

bina proje ve inşaat maliyet öngörüsü(5D), sürdürülebilirlik ve enerji çalışmaları (6D), tesis yönetimi (7D) ve işçi ve kullanıcıların güvenliği (8D) gibi farklı işlevlerde bilgiler oluşturularak kullanılabilir[16].

2.1.1. Uygulama Boyutları

BIM ile tasarım, inşaat ve işletme safhaları boyunca ilave edilen bilgiler sayesinde modele boyut (Dimension-D) kazandırılır. Bu boyutlar; 3D-Görselleştirme, 4D-Planlama, 5D-Maliyet Yönetimi, 6D-Sürdürülebilirlik, 7D -Tesis Yönetimi olarak sıralanabilir. Kısaca aşağıdaki gibi tanımları yapılabilir:

3D-Görselleştirme: Yapının üçüncü boyuttaki temsillerle fiziksel özelliklerinin ifade edilmesidir ve temel seviyeyi tanımlar.

4D-Planlama: Zamanla ilgili boyutu ifade eder. İş programı modele entegre edilerek şantiyedeki yapı elemanlarının yapım süreçleri bilinir. Böylece yapı malzemeleri tam zamanında teslim edilir.

5D -Maliyet Yönetimi: Modelde mimari, statik, mekanik ve elektrik projelerindeki birim elemanlara tayin edilen maliyet bilgileri sayesinde talep edildiği an 3B modelden maliyet bilgisi alınabilir.

6D-Sürdürülebilirlik: Yapıya ait enerji analizleri, yapı malzemelerinin sürdürülebilirliği gibi birtakım veriler bu boyutta elde edilebilir.

7D-Tesis Yönetimi: Yapı tamamlanıp bakım ve işletme aşamasına gelindiğinde modelde tanımlı olan elemanların bu süreçteki gereksinimleri karşılanır. Değişmesi gereken ya da ömrü biten elemanların tespiti ile verimli bir tesis yönetimi sunulur [12].

2.1.2. Gelişim Seviyeleri

Level of Development (LOD, Gelişim Seviyesi) bir modelin gelişim safhalarını ifade etmektedir ve düzeyleri 100'den 500'e kadar tarif edilmiştir. Amerikan Mimarlar Enstitüsü (American Institute of Architects-AIA) bir dizi detay seviyeleri tanımlamış genel olarak bu seviyeler kabul görmüştür. BIM kullanıcıları arasında modeldeki elemanların özelliklerini detaylandırarak iletişim kalitesini arttırmayı amaçlayan bir araçtır [12]. Şekil 2.1.'de üç farklı LOD seviyesi gösterilmiştir.

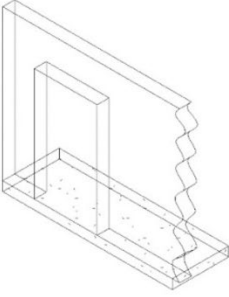
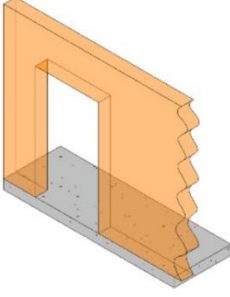
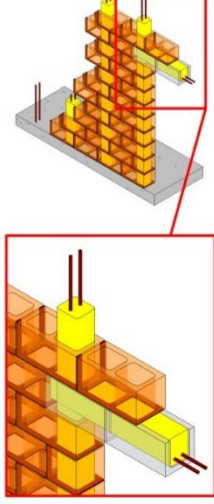
LOD 100: Model ögesi grafiksel olarak temsil edilebilir. Model bilgilerinden 2 boyutlu olarak veri elde edilebilir.

LOD 200: Model elemanı takribi boyut, şekil, konum ve yönelim gibi veriler içerir.

LOD 300: Bu seviyede model bilgileri gerçek geometrisini temsil eder.

LOD 400: Model yapım ve kurulum bilgilerini de içerir.

LOD 500: Model elemanlarında uygulama standartları vardır ve işletme yönetim sürecinde kullanılabilir. [17]

		
LOD 200 Şekil, yönelim, boyut bilgilerine sahip model elemanı	LOD 300 Tasarım tarafından belirlenen geometriye ve konumlara sahip duvar elemanı	LOD 400 Bağlantılar, derz dolgu malzemeleri, harçlar, bağ kirişleri, lentolar, tam kurulum için gerekli tüm parçaların ifade edildiği duvar elemanı

Şekil 2.1. LOD Seviyeleri (LOD Specification sayfa 48,49 2019) dan uyarlanmıştır (Çeviren: Z. Kalpaklı).

2.1.3. Olgunluk Seviyeleri

Yapı Bilgi Modellemesinin seviyelerinin değerlendirilmesi için farklı modeller vardır (Şekil 2.2.).

Aşama 0: Geleneksel inşaat uygulamaları kullanılır, 2B olarak hazırlanan projeden taslak olarak yalnızca üretim aşamasında faydalanılır[18]. İnşaat ve işletme aşamaları ayrı kâğıt veya elektronik tablolarda yer alır.

Aşama 1: Farklı disiplinlerle iş birliği olmayan ve bilgi alışverişi yapılmayan tek bir amaç için üretilmiş 3B model vardır [18].

Aşama 2: Modelin ya da modellerin yaşam döngüsü aşamaları içerisinde birlikte çalışabilir şekilde kullanılmasıdır[18]. Bu modele planlama (4D) ve maliyet (5D) bilgileri

dahil edilebilir.

Aşama 3: Yapı Bilgi Modellemesinin asıl amacının gerçekleştiği aşamadır. Bu aşamada planlama, maliyet ve yaşam döngüsü verileri bütünleşik model üzerinden kullanılabilir [12].



Şekil 2.2. Üç aşamalı lineer olgunluk seviyeleri (Succar,2009)' dan uyarlanmıştır [18] (Çeviren: Z. Kalpaklı).

2.1.4. Yapı Bilgi Modellemesi Teknolojisinin İnşaat Sektöründe Kullanılması

Yapı Bilgi Modellemesi proje yaşam döngüsünün her safhasında kullanılabilir. Proje sahibi tarafından proje gereksinimlerini tespit etmek için, tasarım ekibi tarafından etüd ve analiz etmek, tasarlayıp geliştirmek için, yüklenici firma tarafından projenin yapım sürecini yönetmek için ve tesis yöneticisi için işletme ve hizmetten çıkartma aşamalarında kullanılabilir [15]. Bu bağlamda planlama, tasarım, yapım, yapının kullanılması ve işletilmesi aşamalarında BIM' in potansiyel kullanımları aşağıda verilmiştir.

2.1.4.1. Planlama Aşamasında BIM

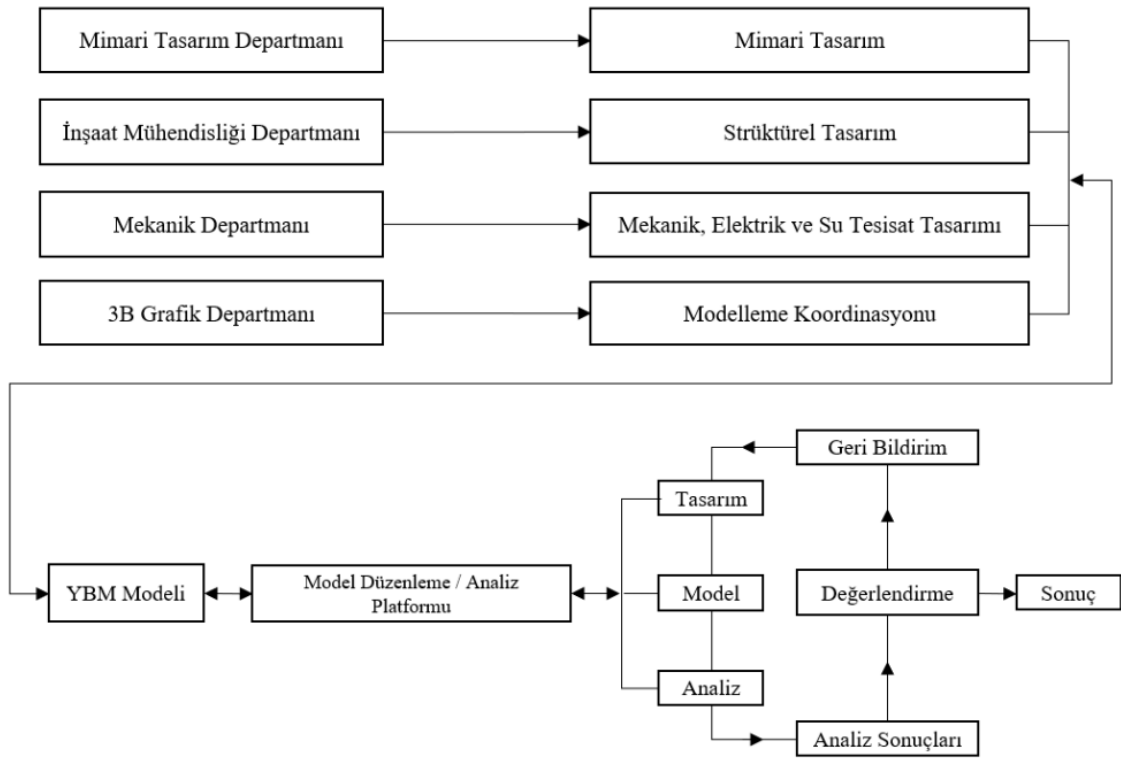
Proje tasarımcılarını desteklemek için BIM projenin tasarım aşamasında kullanılabilir. Mimari planlamalar tanımlanabilir, ileri seviyedeki çalışmalar analiz edilerek planlama ve karar verme süreçlerinde BIM teknolojisiinden faydalanılabilir. Simülasyon ekranlarıyla planlama görevleri simüle edilerek her duruma göre planlama rolleri incelenebilir [19].

2.1.4.2. Tasarım Aşamasında BIM

Projenin kapsamı, programı ve maliyeti birbirleri ile etkileşim içerisinde olan ve tasarım aşamasındaki en önemli hususlardandır. Kapsam değişikliği proje maliyetini ve projenin zamanlamasına doğrudan etki eder [20]. Projenin uygulama ve işleyişinden dolayı meydana gelen hatalar ve yapılması gereken revizyonlar projenin geri kalmasına yol açmaktadır. Bu sebepten tasarım safhasında en doğru kararların verilmesi ilerleyen aşamalarda revizyon gereksinimini azaltarak projenin en verimli şekilde tamamlanmasında fayda sağlamaktadır.

Tasarım sürecinde BIM kullanmanın en önemli faydalarından birisi de ortak model üzerinden disiplinler arası farklı teknik çizimlerin üretiliyor olması ve birbirleriyle tutarlı olmasıdır[21].

Tasarım aşamasında 3 boyutlu görselleştirme, saha modellemesi, tasarım ön izlemesi, mühendislik analizleri, maliyet tahmini, çakışma tespiti gibi çok sayıda alanda yapı bilgi modellemesinden faydalanılmaktadır [22]. Tasarım safhasındaki bir projenin BIM iş akış şeması Şekil 2.3.'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Tasarım safhasında projenin yapı bilgi modeli iş akış şeması [23].

2.1.4.3. Yapım Aşamasında BIM

Bir inşaatta mühendislik, tasarım işletme gibi alanlar toplanır ve aynı zamanda yerinde üretim yapıldığından bir hayli çok bilgiye bu alanda kullanılır. Bilginin çok çeşitli ve yoğun olması sebebiyle paylaşılması ve yönetilmesi çok önemlidir [24]. Proje tesliminde başarıya ulaşmak için doğru bilgiye erişim, taraflar arasındaki iletişimde sürekli iletişimi ve saha içi ve saha dışı görevlerde yönetimi sağlamak önemlidir [25].

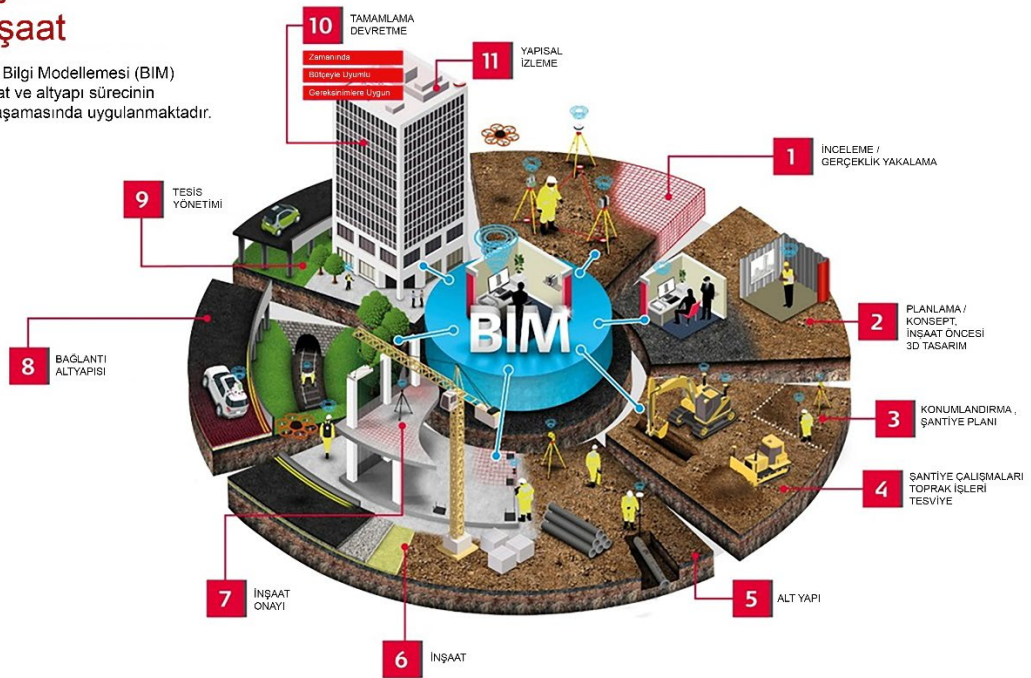
BIM' in yapım aşamasında kullanılması şantiye planlamasının doğru yapılmasına katkıda bulunmakta, yapı bileşenlerinin üretim süresini ve yapı malzemelerinin depolanma gereksinimi azaltmaktadır [26]. Şantiyede başarılı bir ekip katılımı için yapı bilgi modeli kullanımı, çalışanların projenin detaylarına hakim olması ve beraberinde sağlıklı iletişim

kurması açısından teknolojiyi kullanarak bilgi aktarması ve paylaşması projenin verimli ilerlemesi için büyük bir öneme sahiptir [27]. Bu bilgileri inşaat takibi ve yönlendirilmesi için yükleniciler ve alt yükleniciler de kullanabilir [10].

Ölüm, yaralanma ve hastalıkların çok yüksek olduğu inşaat sektöründe, yapı bilgi modeli ile iş güvenliği alanında da kullanmak mümkündür. BIM' in şantiyede kullanımı tasarımcıların ve mühendislerin şantiye şartlarını görsel olarak değerlendirmelerini ve tehlikelerin ön görülebilmesini sağlar [28]. İş güvenliği analizleri sayesinde model içeriğini güvenlik açısından analiz eder ve riske sebebiyet verebilecek koşulların görülmesine katkıda bulunur [29]. Ayrıca müşteri hizmetlerinin daha iyi olması, karar verme sürecinin daha bilinçli yapılması, şantiyedeki işçilerle daha sağlıklı iletişim kurulması, şantiyede iş güvenliğinin planlanması ve yönetimine imkan sağlaması gibi yararları vardır [10]. BIM yapım sürecine dahil edilerek projenin kalite değişkenleri artırılır [30]. Yapı Bilgi Modelinin inşaat safhalarında kullanımı Şekil 2.4.'te verilmiştir.

Dijital İnşaat

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)
İnşaat ve altyapı sürecinin
her aşamasında uygulanmaktadır.



Şekil 2.4. Yapı Bilgi Modellemesinin inşaat aşamalarında kullanımı [31] (Çeviren: Z. Kalpaklı)

2.1.4.4. Yapının Kullanılması ve İşletilmesi Aşamasında BIM

Bir projede yaşam döngüsünün en uzun parçası işletim ve bakım süreçleridir. Planlama, tasarım ve inşaat süreçleriyle ilgili en kapsamlı bilgilere sahip yapı bilgi modeli tesis

işverenin işletim süreci için eksiksiz bir veri kaynağı oluşturmaktadır. Böylece işletme ve bakım aşamalarında eksik bilgi kaynaklı maddi harcamaların önüne geçilir. Tesis yönetiminde yapı bilgi modeli kullanımı ile yapılan harcamaların azaltılmasında büyük fayda sağlamaktadır [10]. BIM ve tesis yönetimi ilişkisi, yapı bilgi modellemesinin en önemli avantajlarından birisi olarak değerlendirilmektedir [32]. Ayrıca işletme sürecinde BIM ile olası yeniden işletmeye alma ve hizmetten çıkarma aşamaları da daha verimli bir şekilde tamamlanabilmektedir.

Yapı bilgi modeli ile işletmeciler işletme maliyetini düşürmek ve çevresel etkileri azaltmak için birçok enerji analizi yapabilir ve bu analizleri karşılaştırarak en doğru tercihi seçebilir. Odalar, alanlar ve mekanlar hakkındaki en doğru bilgilere ulaşarak mekanların nasıl kullanıldığını ve daha verimli nasıl kullanılabileceğini analiz ederek gayrimenkul giderleri önemli ölçüde azaltılabilir. Yapı bilgi modeli ile tesisler, işveren için gerçek zamanlı bir kontrol sistemi sağlar ve uzaktan yönetilmesi için yardımcı olur [33].

Yapı bilgi modeli işletme süreci boyunca güncel tutulması gerekir bu sebeple BIM mühendisleri ve bakım personelleri sürekli iletişim halinde olmalıdır [34].

İşveren, bir tesis yönetiminin en verimli şekilde yapılmasını sağlayacak en önemli kişidir. İşverenin yönetim sürecini lider olarak üstlendiği vaka çalışmalarının başarısı Eastman ve diğerleri (2018) tarafından ifade edilmiştir.

2.2. MEVCUT YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (EBIM, EXISTING BUILDING INFORMATION MODELING)

Mevcut Yapı Bilgi Modellemesi (EBIM, Existing Building Information Modeling), mevcut bir yapının var olan durumunu 3 boyutlu dijital bir model üzerinden temsil edilmesini amaçlayan bir yaklaşımdır. Mevcut Yapı Bilgi Modellemesi, geleneksel olarak yeni yapıların tasarımında kullanılan BIM prensiplerini mevcut yapıların analizi, yönetimi ve iyileştirilmesi için uygulamaktadır.

BIM' in birçok yararının gözlemlenmesiyle birlikte mevcut binalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Mevcut yapıları modelleyerek edinilen bilgileri modele eklemek ve yönetmek verimli bir çözüm haline gelmiştir. Mevcut veya tarihi bir yapı için BIM kullanarak koruma çalışmaları, güçlendirmeler, yenileme çalışmaları, yapı yönetimi, yapı hakkında analizler yapılmakta ve dokümantasyonlar elde edilmektedir [3].

Mevcut yapıların BIM ile 3D modelinin oluşturulmasına As-built BIM denmektedir. As-built BIM ile inşaat aşamasında yapılan değişiklikleri de içeren son haliyle, dijital olarak temsil edilmesidir. Bu süreç veri toplama, rölöve verilerinin işlenmesi ve geometrik bir model oluşturulması aşamalarından oluşmaktadır [3].

Mevcut yapılarda ve miras yapılarında bulunan karmaşık geometri, BIM yazılımları içerisinde bulunan ve standart kapı, pencere, duvar, çatı gibi mimari elemanları modellemek için üretilmiş olan parametrik nesneler ile uyum sağlamamaktadır. Mevcut ve tarihi yapılara yönelik önceden tanımlı bir kütüphanenin olmaması sebebiyle genellikle modelleme aşamasında çok sayıda eleman manuel olarak modellenmektedir ve bu da çok zaman alan bir süreç olmaktadır.

Mevcut yapıların tarama verileri kullanılarak otomatik olarak model oluşturulması, zamandan ve BIM projelerinin maliyetinden tasarruf sağlanması açısından istenen bir durumdur [35]. Bu yaklaşım, geleneksel elle modelleme sürecine göre daha hızlı ve verimli bir şekilde çalışmayı sağlamaktadır. Tarama verileri, nokta bulutları veya meshler gibi 3 boyutlu veri formatları olarak elde edilmekte ve bu veriler BIM yazılımlarında kullanılarak yapı modeline dönüştürülmektedir. Otomatik model oluşturma süreci, insan hatasını azaltırken aynı zamanda daha doğru ve kapsamlı bir modele ulaşmayı sağlamaktadır. Böylece, proje süresi ve maliyeti önemli ölçüde azalırken, daha verimli bir çalışma ortamı oluşturulmuş olmaktadır.

Mevcut yapılar için nokta bulutlarından yüzey oluşturma ve otomatik nesne tanıma konularında umut vadeden gelişmeler yaşanmaktadır. Ancak şu anda bu alan hala basit ve düzlemsel yüzeyler oluşturulmasıyla sınırlıdır[3]. Yani, daha karmaşık ve detaylı yapı elemanlarının otomatik olarak oluşturulması için gelişmiş yöntemler henüz tam anlamıyla geliştirilememiştir. Bununla beraber, araştırmacılar bu alanda çalışmalarını sürdürmektedir ve gelecekte nokta bulutu verilerinden parametrik öğelerin otomatik olarak oluşturulabilmesi mümkün olabilecektir. Bu sürekli ilerleyen araştırmalar, mevcut sınırlamaları aşarak daha kapsamlı ve detaylı modellemeye olanak sağlayacaktır.

2.3. TARİHİ YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (HBIM-HISTORICAL BUILDING INFORMATION MODELING)

Tarihi yapı bilgi modellemesi (Historic Building Information Modeling-HBIM), tarihi yapıları dijital ortamda üç boyutlu olarak detaylı bir şekilde modelleme ve bu modele

ilişkin tarihsel, mimari, yapısal ve malzeme bilgilerini entegre bir biçimde depolama yöntemidir. HBIM, tarihi yapıların korunması, restorasyonu ve bakımı süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılarak, yapıların özgün niteliklerini, detaylarını ve yapısal değişikliklerini belgelemek ve analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu sayede, tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılması için önemli bir araç olarak büyük bir katkı sağlamaktadır.

Literatür taraması yapıldığında kültürel miras için kullanılan BIM terminolojisinin nispeten yeni olduğu ve bundan ilk bahsedilen yayının 2007'ye dayandığı bilinmektedir [1]. Bu tarih, BIM' in kültürel mirasın korunması ve yönetimi için potansiyel bir araç olarak tanınmaya başlandığı döneme işaret etmektedir. O tarihten günümüze kadar, kültürel mirasın BIM ile entegrasyonu artmış ve BIM tabanlı uygulamalar konusunda araştırmalar ve çalışmalar çoğalmıştır.

BIM nesnelerinin nokta bulutu verilerinden faydalanarak tersine mühendislik sürecini gerçekleştirmek, yüzey arkasındaki yapımların yöntemleri ve malzeme detayları hakkındaki bilgileri geliştirmek Murphy ve diğerleri [36] tarafından HBIM süreci olarak tanımlanmıştır. Volk ve diğerlerine [37] ise HBIM' in tarihi yapılar için mekânsal ilişkiler, bina bileşenleri ve özellikleri, coğrafi veriler ve geometrik bilgilerine sahip dinamik bir veritabanı sunduğunu belirtir. Dore ve Murphy [3] HBIM'i, HBIM'in nokta bulutlarından geometrik BIM modeli üreten tarihi yapıların belgelenmesi olarak tanımlamışlardır.

Dore ve Murphy [38] eski kitaplardan faydalanarak mimari parametrik bir kütüphane geliştirmiştir. Yapısal malzemeler ve sistem ayrıntıları ile birlikte tarihi bir yapıyı eksiksiz olarak modellemişlerdir [38].

Fassi [39] tarihi bir yapıda yaşam döngüsünün tamamında bakım yönetimi sağlamak için HBIM' i önermiştir. Sidney'deki Opera Binasının etkin miras yönetimini sağlamak için HBIM ile yönetim projesi geliştirilmiştir [40].

Maxwell [41] tarihi yapı ve çevrelerinin HBIM metodolojisi kapsamında tescil edilmesi gerektiğini ve miras binalarına yapılacak farklı müdahalelerin (restorasyon, yeniden işlevlendirme vs.) farklı tescil teknikleri gerektirdiğini ifade etmiştir.

Volk ve diğerleri mevcut yapılarda BIM uygulamasının; nokta bulutlarının BIM modeline dönüştürülmesi, mevcut yapılardaki öge ve ilişkilerin tam olarak modellenmesi, BIM' deki verilerin güncellenmesi konularında yetersiz olduğunu belirtmiştir [42].

İlter ve Ergen [43] 2015 yılına kadar HBIM uygulamasında yer verilmemiş yapı ve sit

alanlarını da dikkate alarak, kültürel miras bilgisi ve yönetimi için HBIM metodolojisinin potansiyellerini vurgulamıştır.

Littlefield [44] HBIM' i Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi/Yönetimi (Heritage Building Information Modeling/Management) olarak tanımlamış ve mevcut mirasın gelecekteki yönetimini sağlayacağını belirtmiştir.

Casu ve Pisu [45] kayıp mirasın belgelendirilmesi ve sanal olarak yeniden yapılması için HBIM kullanımını incelemiştir.

Bir miras alanını incelemek için teknik olan (mimar, mühendis..) ve olmayan tüm paydaşların dikkate alınması gerektiğini ve çok sayıda da paydaş gerektiğini Mansir ve diğerleri savunmuştur [46]. Bu, geniş bir paydaş grubunun varlığını gerektiren bir süreçtir. HBIM ile birlikte, herkesin aktif bir şekilde katılım sağlayabileceği ortak bir platform oluşturulmuştur. Böylece paydaşların farklı disiplinlerden gelen bilgi ve deneyimlerini bir araya getirerek, miras alanlarının etkili bir şekilde yönetilmesini ve korunmasını sağlamaktadır.

Lopez ve diğerleri [47] HBIM' in daha kapsamlı bir koruma ve yönetim sürecinde kullanılması için metodolojik tartışmalar ve deneylere hala ihtiyaç duyduğunu söylemiştir.

BIM ile birlikte kültürel mirasın yönetimi ve belgelendirilmesi zamanla araştırılmış ve gelişmiştir. Gigliarelli ve diğerleri [48] HBIM platformunda farklı yazılım ortamları arasında çok sayıda birlikte çalışabilirlik engeli mevcut olsa da miras yapısının koruma ve dönüşümünün entegre ve verimli yönetiminin geliştirilmesi açısından büyük bir potansiyele sahip olduğunu ifade etmiştir.

Miras binası bilgi modellemesi tarihi binaların korunması amacıyla planlanmıştır ve arkeoloji, mimari, tarih ve mühendislik alanlarında kullanım bulan bir yöntem olmuştur [49]. Bilgilerin tek bir dijital modelde birleşmesi ve herkes tarafından bu veritabanına kolaylıkla erişilmesi çok disiplinli çalışılan bu alanda büyük kolaylık sağlamaktadır [16].

HBIM tarihsel verilerin şekillendirilmesiyle oluşan, nokta bulutu ya da görüntü tabanlı bir veriye eşlenen mimari öğelerden parametrik nesnelerin üretildiği yeni bir süreçtir. Mimari elemanlar geometrik betimleyici dil (GDL, Geometric Description Language) yardımıyla ifade edilmektedir [50].

Tarihi Bina Bilgi Modellemesi lazer tarama ve fotogrametri yöntemleri ile uzaktan elde

edilen verilerin yeni bir metot ile mühendislik çizimleri ve modelleri oluşturmak için müteakip diğer işleri ayrıntılı olarak özetlemektedir [51].

Miras alanında, koruma süreçlerinin farklı aşamalarında bulunan verilerin heterojen ve erişilemez olması en büyük sorunlardan biridir. Tarihi bir yapının tüm verileriyle model oluşturmak karmaşık bir süreçtir. HBIM, miras alanının ihtiyaçlarını ve özgünlüğünü dikkate alarak yapılan birçok çalışma ile BIM' in gelişiminin hala devam ettiğini göstermektedir [52].

Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi binanın tarihi bağlamsallaştırmasını, geleneksel yapım sisteminin ve malzemelerinin ifade edilmesini ve toplanan ve oluşturulan tüm bilgilerin arşivini ve yönetilmesini sağlamaktadır [16].

2.3.1. Gelişim Seviyeleri (LOD, LOG)

LOD (Level of Development), bir BIM (Building Information Modeling) modelinin detay seviyesini belirtmek için kullanılan bir terimdir. LOD, bir yapının modelinin hangi aşamada olduğunu ve içerdiği bilgilerin ne kadar ayrıntılı olduğunu ifade eder. Daha düşük LOD seviyeleri daha az detaylı modelleri temsil ederken, yüksek LOD seviyeleri daha detaylı ve kapsamlı bilgiler içeren modelleri ifade eder. LOD, proje paydaşları arasında iletişimi geliştirmek ve bilgi paylaşımını kolaylaştırmak amacıyla kullanılır [53].

Miras yapıları gelişim seviyeleri (LOD) yeniden yapılan bir yapının gelişim seviyelerinden farklılık göstermektedir. Çünkü miras yapıları on yıllar ve hatta yüzyıllar boyunca sürekli kullanılmış ve değişim yaşamışlardır. Bu sebeple, bir miras yapısı birçok aşamayı geçirmiş ve farklı gelişim seviyeleriyle günümüze ulaşmış olabilmektedir.

Miras yapıları için LOD genellikle yapıya ait bilgilerin ayrıntı seviyesini ve doğruluk düzeyini ifade etmek için kullanılır. Miras yapıları için gelişim seviyesi (LOG, Level of Geometry) yapının belgelenmesi, restorasyonu ve korunması konularında önem taşımaktadır. Yapının geçmişteki hallerinin doğru bir şekilde anlaşılması ve kayıt altına alınması yapıyla ilişkili gelecek koruma çalışmaları için temel oluşturmaktadır. Bu sebeple LOG, yapıların tarihsel gelişimini anlamak, restorasyon projelerinin planı ve uygulaması, belgeleme süreçleri gibi alanlarda rehberlik niteliği taşımaktadır. Fakat miras yapılarında LOG belirlemek ve uygulamak zorluklar içerebilmektedir. LOG belirleme sürecinde yapıya ilişkin tarihsel veriler (belgeler, çizimler, fotoğraflar vb.) ve diğer kaynaklar dikkate alınmakta ve bu süreç her yapı için farklılık gösterebilmektedir.

Brumana ve diğerkleri [54] HBIM için geometri seviyesi (LOG, Level of Geometry) için aşığıdaki önerilerde bulunmuştur (Şekil 2.5.).

LOG100: Miras yapısıyla ilgili 2D CAD çizimlerini, fotoğraflarını, resimlerini, eskizlerini, yüzyıllar boyunca yapılan müdahale ve dönüşümlere ait tüm verileri toplama aşamasıdır.

LOG200: Dijital dokümantasyon aşamasıdır. Miras yapısına ait yerinde veri toplama yoluyla yapının geometrik verileri elde edilir. Bu aşamada lazer tarama cihazları ve fotogrametri yöntemi kullanılabilir.

LOG300: Elde edilen nokta bulutu verilerinden HBIM modelinin üretildiğı aşamadır.

LOG400: Tasarım geliştirme ve koruma planının irdelendiğı aşamadır. Yapıda kullanılan malzemelerin ve bozulmanın analizi, kullanılan inşaat tekniklerinin analizi, miras tarihinin arkeolojisinin analizi ve tanımlanması gibi koruma planında dahil olan unsurların kullanıldığı bir aşamadır.

LOG500: Koruma aşamasıdır. Geometrik modeli bulunan ve anlamsal açıdan güncellemeleri sürekli yapılan model ile yapının korunmasına ilişkin birçok veri, analizi işlevini temsil eder.

LOG600: Yaşam döngüsü maliyet yönetiminin yapıldığı ve yaşam döngüsünün izlendiğı aşamadır. Miras yapısı için XR (Extended Reality-Genişletilmiş Gerçeklik), VR (Virtual Reality-Sanal Gerçeklik) ve sensör tabanlı izlemeler kullanılır. Bu aşamada artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ile cep telefonu ve tabletlerde kullanılabilir uygulamalar aracılığıyla sanal turlar gerçekleştirilebilir. Ayrıca miras alanında oyunlar geliştirilerek bu alanların dünya çapında tanınmasına yardımcı olur.

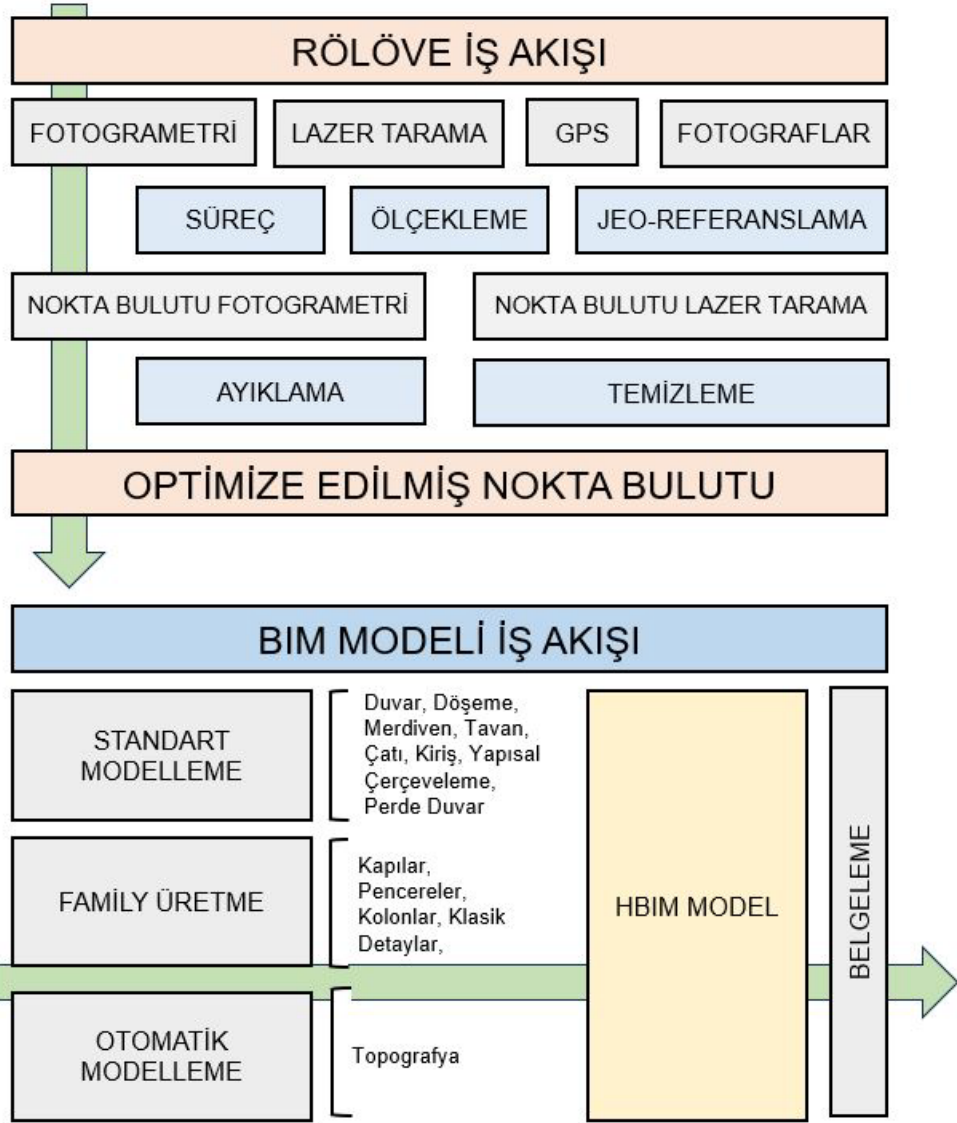
H B I M	GELİŞİM SEVİYELERİ (İŞLEM AŞAMALARI)					
	LOD 100 ÖN TASARIM	LOD 200 DİJİTAL BELGELEME	LOD 300 MEVCUT DURUM HBIM MODELİ	LOD 400 TASARIM GELİŞTİRME KORUMA PLANI	LOD 500 İNŞAAT AŞAMASI	LOD 600 TESİS YÖNETİMİ
	HBIM GELİŞİM SEVİYELERİNİN GEREKLİLİKLERİ					
	LOD 100 KONSEPT MODEL TARİHİ RAPORLAR ARŞİV	LOD 200 UYGUN GEOMETRİ 3D RÖLÖVE VERİ TOPLAMA	LOD 300 HASSAS GEOMETRİ SCAN TO BIM NESNE MODELİ	LOD 400 BIM KULLANARAK KORUMA PLANI OLUŞTURMA	LOD 500 KORUMA SAHASI	LOD 600 AS-BUILT
	Tarihi Yapı Sözleşmeleri, Tarihi Çizimler, Tarihi Belgeler (resim,fotoğraf,belge)	Yerinde Veri Toplama 3D Rölöve Alma 2B/3D Restitüsyon (plan,kesit,3D Mesh)	Nesne Modeli Hassas Çizim Üretme	Malzeme/Bozunma Haritalaması BIM Uygulamaları Enerji Analizi Yerinde İnşaat Yönetimi İş Bölümü Performans Analizi	Yerinde İnşaat Koruma Müdahaleleri	Yapı Yaşam Döngü Maliyet Yönetimi ve Kontrolü VR ve Sensör Tabanlı İletişim Amaçları,

Şekil 2.5. Brumana ve diğerlerinin miras yapısı için LOG seviyelerinin önerisi [54]
(Çeviren: Z. Kalpaklı)

2.3.2. Scan to BIM (Tarama verilerinden BIM Modele)

Miras bilgisi korunması ve yönetilmesi sistemi yeni bir proje tasarımından farklı birkaç yöne sahiptir. En önemlisi HBIM gerçek nesneden başlayarak modellenen tersine bir mühendislik sürecidir [55]. Şekil 2.6.’da da iş akışı gösterilen bu süreç nokta bulutunun 3B modele dönüştürülmesiyle gelişir [56].

‘Scan to BIM’ nokta bulutunun parametrik nesnelere dönüştürülmesine verilen isimdir. Parametrik nesne olması yapının duvar, kapı, pencere gibi elemanların geometrilerinin, malzeme özelliklerinin, teknik birleşimlerinin bir veritabanı üzerinde değiştirilebilmesi ve diğer bilgilerle eşleştirilebilmesi anlamına gelmektedir [57]. Scan to BIM sürecinin otomatikleşmesi için yeni algoritmalar ve yöntemler geliştirilmektedir [58].



Şekil 2.6 Scan to BIM iş akış şeması [59] (Çeviren: Z. Kalpaklı)

Fotogrametri ve lazer tarama, karmaşıklığı yüksek veya çeşitli ölçeklerdeki nesneler için kullanıma uygun tekniklerdir [60]. İkisi de toplu veri toplama tekniklerindendir [61]. Fotogrametri ve 3D lazer tarama yöntemleriyle birlikte geleneksel veri elde etme süreçlerindeki zaman kaybı yaşanmaz ve yapı modelleme, bina analizi gibi diğer adımlara daha fazla vakit ayrılabilir [62]. Ayrıca fotogrametrik yöntem sayesinde geleneksel yöntemlerle ölçümlerinin yapılması çok zor ve bazen imkansız olan yüksek çatı gibi erişimi güç alanlarda oldukça faydalıdır [42]. Özellikle modellenecek çok sayıda nesne olduğunda bu yöntem önem kazanır. HBIM, her bir nesnenin mühendislik açısından, mimari ve arkeolojik açılarından tanımlayabilmesiyle kültürel miras için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir [57].

2.3.3. Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi Süreci ve Aşamaları

2.3.3.1. Veri Toplama

Bir yapı hakkında veri toplamak için öncelikle güncel durumları analiz ve kayıt edilir, böylece belgeleme süreci başlamış olur [63]. Bu veriler semantik (geometrik olmayan; yapım tekniği, malzeme, arşiv verileri, tarihi veriler, fiziksel özellik, tarihsel belgeler) ve geometrik veriler olarak ikiye ayrılır [64]. Toparlanan semantik veriler ile yapılar hakkında alınan kararların güvenilirliği artarken ve yapıların daha doğru yorumlanmasını sağlarken geometrik bilgilerle de entegre edilerek HBIM sürecini desteklemektedir [65].

Mevcut ve tarihi yapılarda geleneksel yöntemlerle veri toplamak için metre, şakül gibi ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Gelişen teknolojiyle beraber lazer tarama araçları ve fotogrametri yöntemi kullanılmaya başlamıştır. Bu yöntemler veri toplama sürecini hızlandırırken önceden yapılan hata ve eksikliklerin azalmasını sağlamıştır. Yapılara ilişkin malzeme bilgisi, yüzey, boyut ve konum hakkında doğru ve ayrıntılı bilgi sağladığı için bu yöntemlerin kullanımı artmıştır [63]. Ayrıca lazer tarama ve fotogrametri aletleri ile elde edilen veriler geliştirilen bazı program ve yazılımlarla birlikte (Cloud Compare, Point Tool) süre, maliyet, ürün niteliği açısından daha verimli ürünlere dönüştürülmektedir [66].

Kültürel miras alanlarında lazer tarama ve fotogrametri yöntemi kullanımı gittikçe yaygınlaşmakta ve miras yapılarının 3D modellerinin oluşturulması kolaylaşmaktadır. Bu teknolojiler yardımıyla geleneksel yöntemlerle rölovesinin mümkün olmadığı karmaşık yapılar için verimli ve doğru veri analizi yapılmaktadır [55].

2.3.3.2. Modelleme

Modelleme sadece tasarıda var olan ya da geçmiş ve günümüzde var olan mekanların gerçeğine yakın bir canlandırması olarak tanımlanabilir [67].

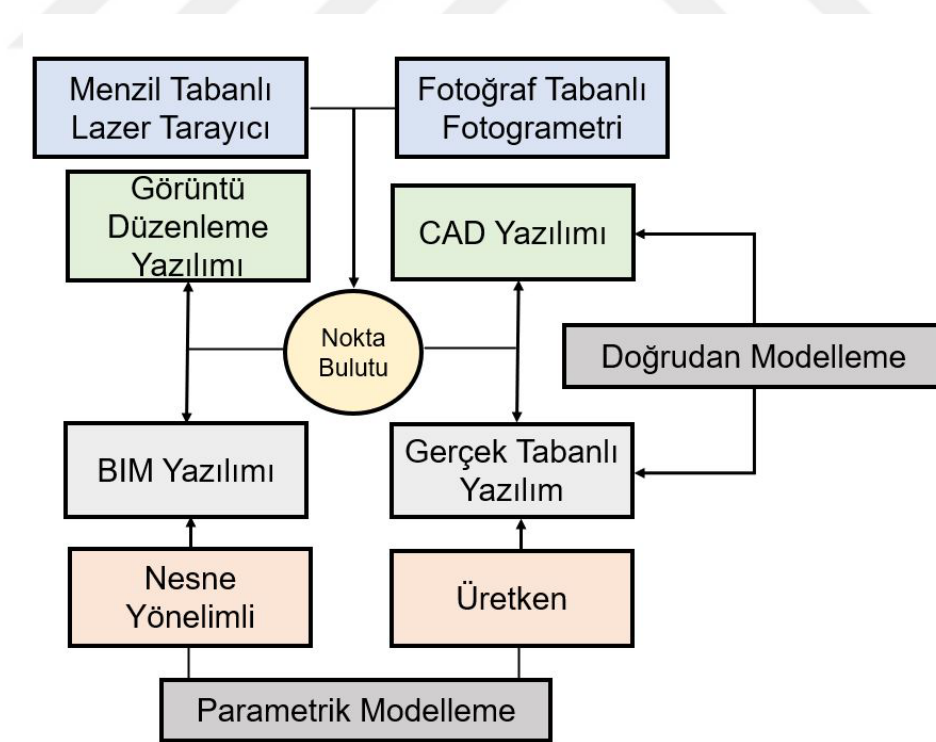
Görsel temsilden ürün üretimine kadar birçok farklı amaç ile çeşitli sektörlerde kullanılan 3B modelleme, mühendislik ve mimarlık alanlarında da on yıllardır kullanılmaktadır. Üretim endüstrisi ve görsel sanat alanları dışında inşaat ve mimarlık alanında kullanımı sadece görselleştirme amacıyla sınırlı kalmamış, yapı tasarımından uygulamaya ve işletmeye kadar yapıya ait yaşam döngüsünü içeren modelleme sistemlerinin geliştirilmesi ile sektörde BIM (Building Information Modeling) olarak yerini almıştır [68]. BIM' in tasarım, yapım, yönetim, gözlem süreçlerine kadar yapının tüm yaşam döngüsünü barındırması sebebiyle var olan miras yapılarında da kullanılabilir

potansiyelini oluşturan önemli bir unsurdur [68]. HBIM kapsamında miras yapıları için kullanılan 3B model sadece geometrik model oluşturmak için değil, yapıyla ilgili tarihsel bilgi, yapı hasarları, yapı elemanları gibi semantik bilgilerin de depolanmasını sağlamaktadır.

Fotogrametri ve lazer tarama yöntemleriyle daha doğru veriler elde edilirken bu verilerden oluşturulan yüzeylerin parametrik modellere otomatik olarak dönüştürülmesi konusunda araştırmaya ihtiyaç vardır [55].

Nokta bulutlarından HBIM modellere otomatik dönüşüm şu anda etkin olarak mevcut olmadığı için tüm öğelerin manuel olarak modellenmesi gerekmektedir. Bu sebeple yapım teknikleri, malzeme bilgisi, yapıya ait tarihsel verilerin bulunduğu parametrik bir nesne kütüphanesinin oluşturulması ihtiyacı oluşmaktadır [38] [69][1].

Kültürel miras alanlarında uygulanan modelleme teknikleri Şekil 2.7’de açıklanmıştır. HBIM’ in potansiyellerinden faydalanmak için parametrik nesne yönelimli modellemeyi kullanmak en verimli yöntem olarak görünmektedir [70]. Bu kütüphane akıllı nesneler olarak adlandırılan temel mimari ve yapısal öğelerin önceden hazırlanmış kitaplıklarının elde edilmesiyle oluşmaktadır [71].



Şekil 2.7 Nokta bulutundan modellemeye iş akış şeması [70] (Çeviren: Z. Kalpaklı)

Bir parametrik model bileşenlerinin mimarisini anlamsal ilişkilere [72] ve matematiksel

formüllere [73] göre değiştirebilen, sayısal değişkenlere bağlayabilen bir temsildir.

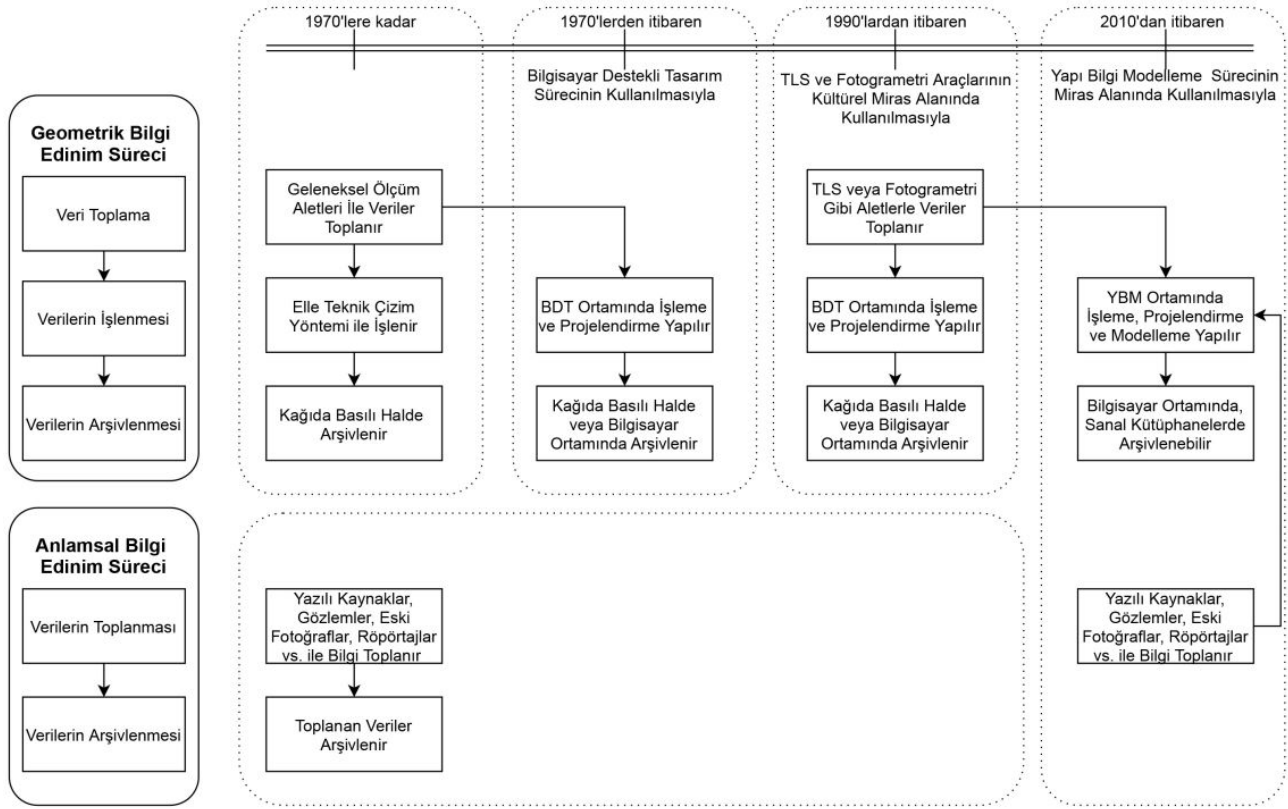
2.3.3.3. *Belgeleme*

Kültürel mirasın geleceğe aktarılması ve korunması için ilk ve önemli adım, belgeleme işlemidir. Bu işlem, koruma çalışmaları ve projelerinden önce gerçekleştirilen bir süreçtir. Belgeleme, yapının fiziksel özellikleri, malzeme değişimleri, taşıyıcı sistemi ve yapısal bozulmalar gibi araştırma sonuçlarının ve tarihsel verilerin birleştirilerek kaydedildiği bir süreçtir. Bu araştırmaların hassaslık ve yüksek doğrulukla yapılması, etkili bir koruma projesi oluşturma açısından büyük öneme sahiptir [74].

Tarihi yapıların ve çevrelerinin soyut ve somut unsurlarının sistematik olarak bir araya getirilmesi ve arşivlenmesine miras belgeleme denmektedir. Belgelemenin asıl amacı tarihi eserin yaşamını sürdürmesi için koruma, izleme ve bakım aşamalarının en verimli şekilde yapılmasına yardımcı olan doğru bilgileri sağlamaktır [75][76].

Miras yönetimi ve restorasyonunda yer alan farklı paydaşlara ait olan bilgilerin ele alınmasının zorluğu göz önüne alındığında çeşitli seviyelerde bilgi paylaşımı için ortak bir platform olarak BIM kullanılabilir [77]. Ayrıca BIM tüm görünüşleri (3B model, planlar, kesitler, görünüşler, detaylar vs.) otomatik olarak temsil etme imkanı sağlamaktadır [78].

Belgeleme sürecindeki gelişmeler zamana bağlı olarak Şekil 2.8.'de gösterilmiştir. Veri toplama araçlarının gelişmesi ve kullanımının yaygınlaşması, belgeleme sürecini hızlandırmış ve verilerin doğruluğunu artırmıştır. Bu değişimler, yeni araçlar ve iyi donanımlı bilgisayarlar gerektirmektedir [65].



Şekil 2.8 Dokümantasyon araçlarının sürece ilişkin değişimi [65].

HBIM süreci, belgeleme aşamasının tüm ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Veriler, araçlarla toplandıktan sonra nokta bulutları 3B modele dönüştürülmektedir. Oluşturulan model ve elemanlar, belgeleme ürünü olarak kullanılabilir. Her mimari elemanın modeline bilgi ve özellik eklenebilmektedir. HBIM ortamında yapılan belgeleme, verilerin zenginleşmesini, sürekli güncellenmesini, önceki durumlarla karşılaştırmalar yapılabilmesini, yorumlanabilmesini ve erişimin artırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, verilerin hızlı toplanması hasar alma süresini kısaltmakta ve belgelenen verilerin kaybolmadan saklanması ve kolayca arşivlenmesine imkan oluşturmaktadır [65].

Model verilerinden nesne kütüphanelerinin oluşturulması, koruma ve belgeleme için temel sağlama, metrik ve hacimsel ölçümler yapabilme, nesneye yeni özellikler ekleyebilme ve tekrar kullanabilme açılarından büyük öneme sahiptir [79] [80] [81]. İlaveten oluşturulan nesne kütüphaneleri ile yapı elemanlarının oluşum kuralları, statik durumları ve malzeme ilişkileri gözlemlenebilmektedir [82].

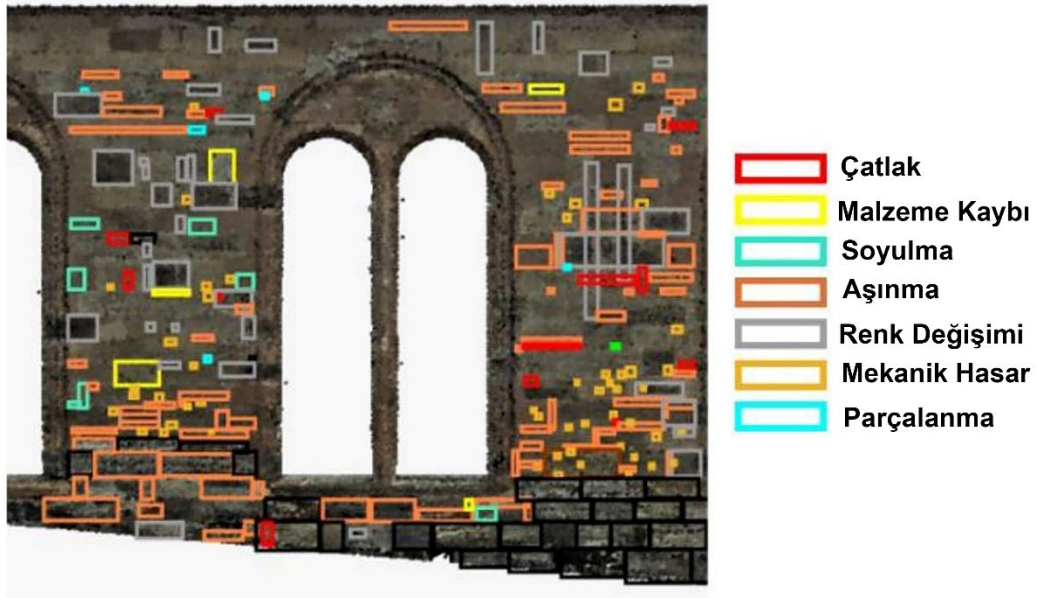
HBIM, geleneksel belgeleme yöntemine göre hata oranını azaltır, belgeleme sürecini hızlandırır ve mimari elemanlara yeni bilgiler ekleyerek doğruluk derecesi yüksek ve uyumlu projelerin hazırlanmasına imkân verir. Ayrıca rekonstrüksiyon ve restorasyon çalışmaları için detaylı analizler yapılmasını sağlamaktadır [65].

2.3.3.4. Analiz

HBIM, yüksek doğruluk ve düşük hata payıyla oluşan modeller üzerinden yapılan simülasyon analizleri tutarlı sonuçlar vermektedir. Bu doğru ve tutarlı sonuçlar, güvenilir ve uygulanabilir kararların alınmasını sağlar. Ayrıca analizler, nesne modeli veya nokta bulutları üzerinden yapılabilmektedir. Rolin ve diğerleri (2019) yüksek yoğunluk ve çözünürlükte ve düşük hata payına sahip nokta bulutu verilerinden model oluşturmada yapısal analiz, malzeme, teşhis, enerji, katman analizleri yapabilmışlardır [83].

Yüksek ayrıntı seviyesi (LOD seviyesi) ile oluşturulan anlamlı modeller, BIM üzerinden hassas hasar tespiti ve malzeme analizi gibi işlemleri mümkün kılmaktadır. Bu sayede doğruluk düzeyi yüksek sonuçlar elde edilebilmektedir [84][85]. BIM projelerinde hasarlı bölgelerin ayrıntılı fotoğrafları modelin içine entegre edilebilmektedir [65].

Valero ve diğerleri (2018), yaptıkları çalışmada otomatik hasar değerlendirmesi yapmayı hedeflemişlerdir. Çalışmalarında hasar lejantı oluşturmuşlar ve cephe üzerinde makine öğrenimi kullanarak otomatik renklendirme yaptırmışlardır (Şekil 2.9.) [86].



Şekil 2.9 Makine öğrenimi ile cepheden elde edilen hasar tespiti [86] (Çeviren: Z. Kalpaklı)

Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi, bir miras yapısıyla ilgili önerilen yenileme ve değişikliklerin tam olarak incelenmesine olanak sağlayarak nihai bir karar almadan önce detaylı bir analiz yapılmasına imkân tanımaktadır. Koruma konusunda uygulanacak prosedürün daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunurken bina hakkında yapılacak bakım ve

onarımın yönetimi hususunda yardımcı olmaktadır [87].

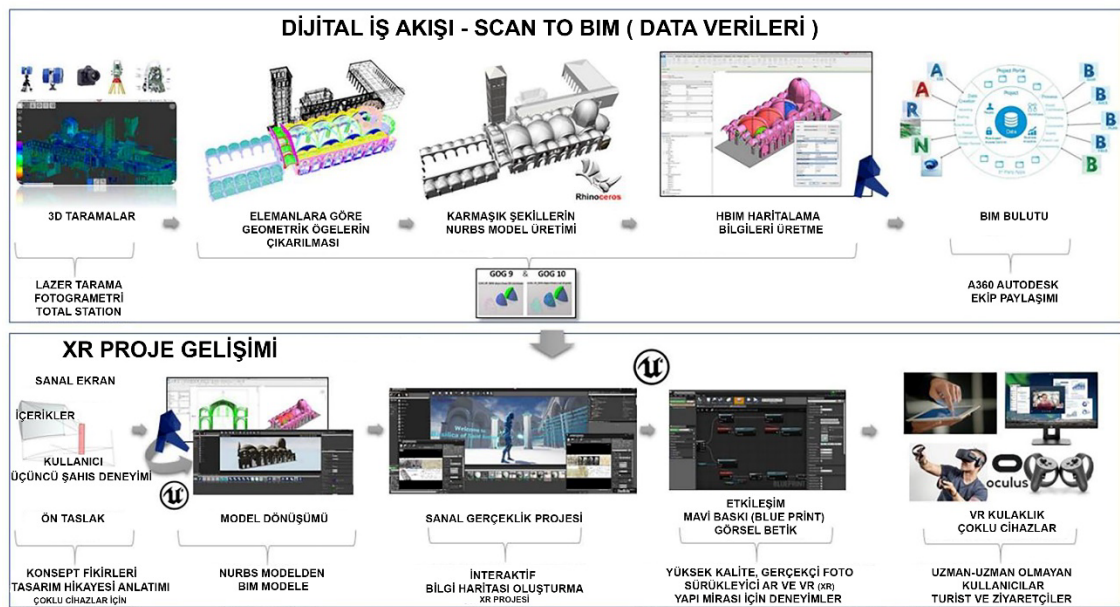
HBIM kullanımı, restorasyon projelerinin teslim sürelerinin kısaltılmasına yardımcı olurken aynı zamanda miras yapısının yaşam döngü maliyetlerini azaltma konusunda da önemli bir rol oynamaktadır. HBIM analizleri sayesinde, restorasyon sürecinde daha gerçekçi ve güvenilir adımlar atılabilmekte, yapıya özgü sorunlar ve ihtiyaçlar daha iyi anlaşılabilenmekte ve etkili çözümler üretilebilmektedir. Bu da hem projenin başarısını artırmakta hem de kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır [87].

2.3.3.5. Genişletilmiş Gerçeklik (XR, Extended Reality)

Günümüzdeki gelişmiş teknolojiler, kültürel mirasların araştırılması, analiz edilmesi, korunması ve geliştirilmesi süreçlerinde yeni ve yenilikçi yaklaşımlara olanak sağlamaktadır. Bu teknolojiler, daha önce mümkün olmayan yöntemler ve araçlar sunarak miras alanında büyük bir etki yaratma potansiyeline sahiptir [88].

Genişletilmiş gerçeklik (XR), gerçek ve sanal ortamlar arasındaki insan ve makine etkileşimini sağlayan yeni bir teknolojidir. Genişletilmiş Gerçeklik (XR), Sanal Gerçeklik (Virtual Reality-VR), Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality-AR) ve Karma Gerçeklik (Mixed Reality-MR) gibi üç farklı gerçeklik ürününü içerir.

Genişletilmiş gerçeklik (XR) teknolojilerinin Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi (HBIM) ile bütünleştirilmesi, tarihi yapılara erişim ve bu yapılarla ilgili bilgi edinme süreçlerini dönüştürmüş ve kolaylaştırmıştır [65]. Şekil 2.10.'da XR teknolojilerinin HBIM ile birlikte kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 2.10 HBIM ve XR projeleri gelişim süreçleri [89] (Çeviren: Z. Kalpaklı)

Sanal gerçeklik (VR), kullanıcının beş duyusunu kullanarak deneyimleyebildiği ve şekillendirebildiği bir sanal mekandır [90]. VR, kültürel miras yapılarında restorasyon, analiz, sanal müzecilik, eğitici oyunlar, yerinde deneyimleme ve rehberlik gibi amaçlar için kullanılmaktadır [91]. VR uygulamalarında videolar, bilgilendirme notları ve yapıya ilişkin analizler eklenerek zenginleştirilebilmektedir [92].

Artırılmış gerçeklik (AR), fiziksel dünya ile etkileşimi zenginleştirerek duysal unsurları gerçek zamanlı olarak birleştirmektedir. Müzeler ve sergilerde ziyaretçi deneyimini geliştirmek için kullanılan AR uygulamaları son zamanlarda rehberli turlara entegre edilmiştir. Tarihi iç mekanlarda sanal rekonstrüksiyonlarda AR kullanılmaktadır [93]. Tesis yönetimi alanında mobil AR araçları, tesisle ilişkili bilgilere erişmek ve yöneticiler arası ilişki sağlamak için tercih edilmektedir. AR ve BIM birlikteliği ile mekanlar hakkında yönetim süreçleri, saha ofis iş birliği konularında destek sağlamaktadır [94].

Karma Gerçeklik (MR), fiziksel dünya ile dijital dünyayı birleştiren bir teknoloji modelidir. MR, dijital ve gerçek nesneleri aynı ortamda bir araya getirerek kullanıcılara interaktif deneyimler sunmaktadır [95].



3. HBIM KÜTÜPHANESİ

Kültürel miras; anıt, bina veya manzara gibi sanat ve bilim yoluyla tarihsel olarak evrensel bir değere sahip olan şeyler olarak kabul edilir. Kültürel miras somut miras ve somut olmayan kültürel miras olarak ikiye ayrılır [96]. Mimari miras, çeşitli kültürlerle tanık olan ve mirasın ömrü boyunca meydana gelen olaylara şahit olan “eser” olarak ifade edilebilmektedir [47].

Miras yönetimi ve restorasyonu sürecinde farklı paydaşlarda düzenlenen verilerin ele alınmasının zor olduğu düşünüldüğünde BIM teorik olarak bilginin kullanıcılara ulaştırılması açısından bütünsel bir ortam sağlayabilir. Mimari restorasyon sürecinde ihtiyaç duyulan 3D geometrik model ve kültür varlıkları kataloğu ile birlikte BIM kültürel mirasın korunmasının yönetim ihtiyaçlarını karşılayacak bir çözüm sunabildiği görülmektedir [77]. Benzer şekilde ICOMOS (Uluslararası Anıtlar ve Sit Alanları Konseyi) kültürel mirası koruma projelerinde BIM teknolojilerinin uygulanmasına açıkça değinmemiş olsa da, geleneksel yöntemler ile koruma projelerinde veriler arasındaki tutarsızlığın azaltılması ve verilen uğraşın azaltılmasını sağlamak için verilerde dijitalleşme ve birbirleriyle bağlantılı olarak işlenmesinin önemini belirtmektedir [1].

Koruma, belgeleme ve yönetme alanlarında BIM uygulanmıştır fakat bununla beraber HBIM sürecinden kaynaklanan zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bunlar arasında en önemlisi miras yapılarının karmaşık mimari öğelerinin oluşturulmasıdır [97][47]. Bu durumun sebebi yeni yapılar için oluşturulmuş olan nesne yönelimli bir alan olan BIM’ den kaynaklanmaktadır [98].

Birçok BIM kütüphanesi modern binalar için oluşturulduğundan miras yapılarına uygun parametrik nesne kütüphanesinin eksikliğinden söz edilebilir. Bu sebeple mevcut ve tarihi yapıların modellenmesi genellikle bir çok elemanın sıfırdan modellenmesi gerektiği için bu süreç çok zaman alır [3]. Bu süreçte çok fazla sayıda veri toplanıp işlendiği için verilerin doğruluğunda azalma olabilmektedir [4] [5].

Çoğu HBIM sürecinde yazılımlardaki kısıtlılık sebebiyle modelleme aşamasında birçok problemle karşılaşmaktadır. Miras yapılarında formların özgün ve çeşitli olması ile piyasadaki yazılımların bu yönde bir çok sınırlamasının bulunması modelleme sürecinin zorluğunun başlıca sebebidir [6]. Çünkü BIM yazılımları çok karmaşık ve detaylı

çözümlerin oluşturulmasını sağlayamamaktadır [7]. Çok karmaşık geometrilerin modellenmesi, modelin poligon sayısını artırarak, dosya boyutunu büyütme ve iyi donanım gerekliliğini arttırmaktadır. Bu kısıtlamaların üstesinden gelmek için modelleme aşamasında çeşitli programlar kullanılabilir. Ancak bu yöntemle dosya formatlarının çeşitliliği dosya formları arasındaki entegrasyonu gerektirmektedir, bu da daha fazla program kullanma ihtiyacı ile yeni sorunlara sebep olabilmektedir [8].

Miras yapılarında çok sayıda veri ve nokta bulutuyla ortaya çıkacak olan geometrinin basitleştirilmesi ile oluşturulan modelde belgeleme ve koruma analizi için yetersiz bir düzeyde (LOG) detaya sahip olurken, karmaşık geometrik elemanların var olması da modelleme aşamasında zorluk oluşturmaktadır. Bu aşamada BIM araçlarıyla hassas temsiller ve doğru sayısal veriler oluşturmak çok önemlidir [99].

3.1. HBIM OBJESİ

HBIM objesi, tarihi bir yapının bileşenlerini dijital olarak temsil eden ve BIM sürecinde kullanılan veri varlıklarıdır. Her bir BIM objesi, nesnenin geometrisini, malzeme ve özelliklerini, fiziksel ve işlevsel niteliklerini, ilişkilerini ve diğer ilgili verileri barındıran kapsamlı bilgileri içermektedir.

BIM objeleri, projenin tasarım, analiz, simülasyon, maliyet hesaplamaları, çizim üretimi ve işletme aşamalarında kullanılabilmektedir.

Her BIM objesi, özelleştirilebilir özelliklere sahiptir ve bu özellikler, nesnenin davranışını ve karakteristiklerini tanımlar. Örneğin, bir duvar BIM objesi, yükseklik, kalınlık, malzeme, yangın dayanımı gibi özellikleri içerebilir. Bu özellikler, projede yapılan değişikliklerle birlikte objenin otomatik olarak güncellenmesini sağlamaktadır.

BIM objeleri, inşaat projelerinin daha etkili yönetimini, çakışmaların önceden tespit edilmesini, verimliliğin artırılmasını ve projenin yaşam döngüsü boyunca sürekli olarak kullanılabilmesini sağlar. Ayrıca, BIM objeleri, veri paylaşımı ve entegrasyonunu kolaylaştırarak proje süresini kısaltabilir ve iletişim hatalarını azaltabilir.

Genellikle BIM’ de nesne modelleme konusunda bölgesel ve parametrik olmak üzere iki yöntem bulunur. Bölgesel modellemede her bir nesne kendi başına bir öge olarak modellenir ve çok özel niteliklere sahip olan ve türünde tek olan ögelerde genellikle bu tip modelleme yöntemi kullanılır. Parametrik modelleme ise standart ölçütlere bağlı olan

ve özellikleri nesneye göre değişebilen parametrelere dayalı modelin oluşturulmasıdır [80].

3.2. HBIM KÜTÜPHANESİNİN PARAMETRİK OLARAK TANIMLANMASI

Kültürel mirasın belgelenmesi ve yönetiminde kullanılan BIM ile önemli ilerlemeler kaydedilmesine karşın BIM yazılımlarının bazı dezavantajları oluşmaktadır. Bir miras yapısının belgelenmesinde çok sayıda resmi prosedür gerçekleşir. Ayrıca miras yapılarının öğeleri için BIM yazılımlarında parametrik kütüphane bulunmaması sebebiyle karmaşık ve düzensiz elemanlara sahip olan tarihi yapıların modelinin manuel olarak yapılması gerekmektedir [2]. Yapı elemanlarının nokta bulutundan parametrik model elde etme süreci zaman alıcı ve hataya açık bir süreçtir çünkü günümüzde nokta bulutunu doğrudan parametrik nesnelere dönüştürebilecek herhangi bir yazılım bulunmamaktadır [100].

Parametreler bir nesnenin herhangi bir özelliği ile ilişkili olabilir fakat bir miras yapısı söz konusu olduğunda nesnenin geometrik özellikleri ile sınırlandırılır. Bu şekilde oluşturulmuş olan bir “family” ilk öngörülen “family” ile ana özellikleri aynı olmasıyla beraber kendisinden daha geniş bir eleman yelpazesi elde edilebilir [5].

Çoğu BIM yazılımlarında yalnızca yeni tasarlanan yapılar için kütüphaneler olması sebebiyle tarihi binalar için önceden tanımlanan parametrik kütüphaneler bulunmamaktadır. Dolayısıyla tarihi yapıların sayısal veriler üzerinden sıfırdan yapılması gerekmektedir [3]. HBIM sürecinde gerçek nesnelerin önceden tanımlanan, değiştirilebilir ve geliştirilebilir olan dijital temsili ile parametrik bir kitaplık oluşturulması oldukça önemli bir adımdır [101].

Kültürel miras alanlarında lazer tarama ve fotogrametrinin kullanımının yaygınlaşması, miras yapılarının 3D geometrilerinin oluşturulmasına fayda sağlamaktadır. Bu iki metot sayesinde, geleneksel rölöve yöntemlerinin yetersiz kaldığı karmaşık yapılarda dahi verimli ve doğru veri elde etmek mümkün hale gelmektedir. Bunun yanı sıra lazer tarama ve fotogrametri ile elde edilen verilerden parametrik modellere otomatik dönüştürülmesi konusunda araştırmaya ihtiyaç vardır [55]. Gerçek tabanlı nokta bulutu verilerinden tarihi binaların geometrik şekillerini yönetmek, yorumlamak ve orta seviyeye basitleştirmek için yarı otomatik yollar kullanılmaktadır. Nokta bulutundan HBIM’ e varan bu dönüşümü otomatik olarak şu an gerçekleştirmediği için mimari öğeleri temsil eden

parametrik bir nesne kütüphanesinin oluşturulması manuel olarak yeniden modellenerek gerçekleşir. Elde edilen parametrik nesneler lazer tarama veya fotogrametrik yöntemlerle birlikte yapıya ait semantik bilgileri (yapının kullanım amacı, tarihsel önemi, mimari tarzı veya kültürel değeri gibi özellikleri) de içeren yapım teknikleri, kullanılan malzemeler ve tarihsel aşamalar gibi diğer verilere de sahiptir. HBIM daha sonra miras yapısı hakkında çeşitli diğer kaynaklardan gelen yeni verilerle ilişki kurabilen bir veri tabanı olarak çalışır [102] [38][69].

HBIM bağlamında, mimari ve yapısal unsurların parametrik hale getirilmesi büyük önem taşır. Bina bileşenlerinin ücretsiz kütüphaneleri ise yaygın bir şekilde bulunmaz. Bu nedenle, bu unsurlar genellikle mevcut arka plana ve amaçlarına uygun şekilde modellemeye ihtiyaç duyar. Parametrik hale getirme ve kütüphane modeli üretme sürecinde, parametreler birkaç temel gruba ayrılabilir. İlk olarak, "temel parametreler" olarak adlandırılan uzunluk, genişlik ve yükseklik gibi boyutlar, parametrik nesnelerin esas boyutlarını oluşturur. İç içe geçmiş unsurlar için ise kapılar ve pencereler gibi bazı parametreler "derinlik" olarak adlandırılır. İkincisi, "konum parametreleri "BIM Model" içinde yerleşimi kolaylaştırır. Örneğin, iç içe geçmiş unsurlar için duvar yüzeyinden (yatay düzlem) ve zeminden (dikey düzlem) olan ofseti tanımlamak faydalıdır. Üçüncüsü, "mimari parametreler" parametrik nesnelerin mimari anlamda şekillenmesini tanımlar. Bu, modellemeye tabi tutulan bir yapı elemanının mimari kurallar ve şekil dilbilgisi kullanılarak betimlenmesini içerir. Son olarak, "ek parametreler" parametrik nesnenin çeşitliliğini artırır. Grafik temsilde, malzeme bileşiminde, yüzey kaplamalarında ve açıklayıcı bilgilerde ek seçenekler sunar [70].

3.2.1. Revit Yazılımı-Family ile Parametrik Nesneler Oluşturma Örneği

Revit yazılımının sistemine göre bir aileye ait farklı öğeler parametrelerin bazıları veya tümü için farklı değerlere sahip olabilir ancak bunların isimleri ve işlevleri aynıdır. Revit yazılımında iki türlü parametre kullanılır:

Tip 1: Verilen tipteki bileşenlerde ortak olan parametreleri tanımlar. Örneğin pencere ailesindeki tüm bileşenler için 'Yükseklik' parametresi değiştirilmektedir.

Tip 2: Bir ailedeki bileşene özgü parametreleri tanımlar. Örneğin bir penceredeki kasa kalınlığı parametresi değiştirilmektedir.

Poloprutsky ve diğerleri mimari ve yapısal elemanların parametrik hale getirilmesinin HBIM' in bir parçası olması gerektiğini söylemiştir. Parametrelerin temel gruplara

ayrılabilirliğini ifade etmiştir [70].

Autodesk Revit’ te kullanılan iki yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem “Traditional Family Editor” kullanmaktır. Bu yöntem ile nesne 2B çalışma planı üzerinde çizilmelidir. İkinci yöntem ise “Massing Family” dir. İki yöntemde de dosya “.RFA” uzantılı kaydedilmektedir fakat Massing Family ile 3 boyutlu ortamda çalışma imkanı sunulmaktadır. Modellere parametrik değerler tanımlanmaktadır. Böylece tasarım, yapım ve yönetim süreçlerinde bu parametrik bileşenlerle çok sayıda tasarım oluşturulabilmektedir [103].

Parametrik, belirli bir set parametreye dayalı olarak tasarlanmış nesneler veya modeller anlamına gelir. Bu parametreler, modelin çeşitli özelliklerini veya boyutlarını kontrol etmek için kullanılabilir. Bu sayede tasarımcılar, tasarımın farklı parametrelerinde değişiklik yaptıklarında tüm tasarımın otomatik olarak güncellenmesini sağlarlar [104]. Parametrik bir model, programlama dilleri kullanılarak yazılabilirken bazı BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımları kullanılarak da oluşturulabilir [105]. BDT yazılımları çoğu zaman programlama dilleriyle parametrik modeller oluşturmayı mümkün kılar. Rhinoceros ve Revit gibi bazı yazılımlar, kullanıcıların parametrik model üretimi yapmasını kolaylaştırmak için görsel programlama dili içeren eklentilere sahiptir. Örneğin, Revit için Dynamo ve Rhinoceros 3D için Grasshopper bu eklentilerden bazılarıdır [106].

Parametrik tasarım, yapıların geometrik ve fonksiyonel özelliklerini kontrol etmek için matematiksel parametreleri kullanan ve yapıların dijital modellerinin tasarlanması ve üretilmesi için tercih edilen bir yöntemdir.

HBIM kütüphaneleri, tarihi yapıların 3 boyutlu modellemesi ve dijital belgeleme işlemlerinde kullanılmak üzere parametrik olarak üretilmiş bir veri tabanıdır. Miras yapılarının akıllı nesneler halinde BIM yazılımlarında modellenebilmesi konusunda yazılımların içeriğindeki kütüphanelerde parametrik objelerin var olmasının bazı avantajları bulunmaktadır. Bunlar; oluşturulacak modelin daha kısa sürede yapılmasına, benzer öğelerdeki parametrelerde değişiklik yaparak kolaylıkla istenen modele ulaşılmasına ve proje uygulama ya da yönetim aşamalarının herhangi birinde mimari elamanda değişiklik olduğunda kolaylıkla revizyon yapılmasına fayda sağlar.

3.3. TARİHİ YAPI BİLGİ MODELLEMESİ PARAMETRİK KÜTÜPHANE

TASARIM ARAÇLARI

3.3.1. BIM Yazılımları

3.3.1.1. Revit

Revit, Autodesk firması tarafından geliştirilen bir bina bilgi modelleme (BIM) yazılımıdır. Revit, tasarımcıların, mimarların ve mühendislerin yapının tüm öğelerini modelleyebilmelerine ve bunları analiz edebilmelerine olanak tanıyan bir araçtır ve bu sayede yapıyı tasarlamak, inşa etmek ve yönetmek daha kolay hale gelmektedir.

BIM sürecinde, tüm yapısal öğeler (duvarlar, pencereler, kapılar, çatılar, merdivenler vb.) üç boyutlu olarak modellenir ve bu modeller, detaylı çizimler, kütüphaneler, raporlar ve diğer verilerle birleştirilerek bir veri modeli oluşturulur. Revit, bu veri modelini oluşturmak ve yönetmek için kullanılan bir yazılımdır ve tasarımcılara projelerini daha verimli bir şekilde yönetmelerine, kolayca paylaşımlarına ve iletişim kurmalarına olanak tanır. Örneğin, bir mimar tasarımı tamamladıktan sonra, yapısal mühendisler ve elektrik, mekanik mühendisleri gibi diğer disiplinlerdeki tasarımcılar da bu tasarıma uygun olarak kendi projelerini oluşturabilirler. Revit projesindeki her öğe, bir dizi veri içerir. Bu veriler, öğenin fiziksel özellikleri, maliyeti, malzeme bilgisi, bakım gereksinimleri vb. gibi bilgileri içerir. Bu veriler, inşaat projesinin farklı aşamalarında kullanılabilir. Ayrıca, Revit, tasarımcılara tasarımlarını üç boyutlu olarak görselleştirmelerine, çeşitli senaryoları analiz etmelerine ve farklı tasarım seçeneklerini karşılaştırmalarına imkân sağlar.

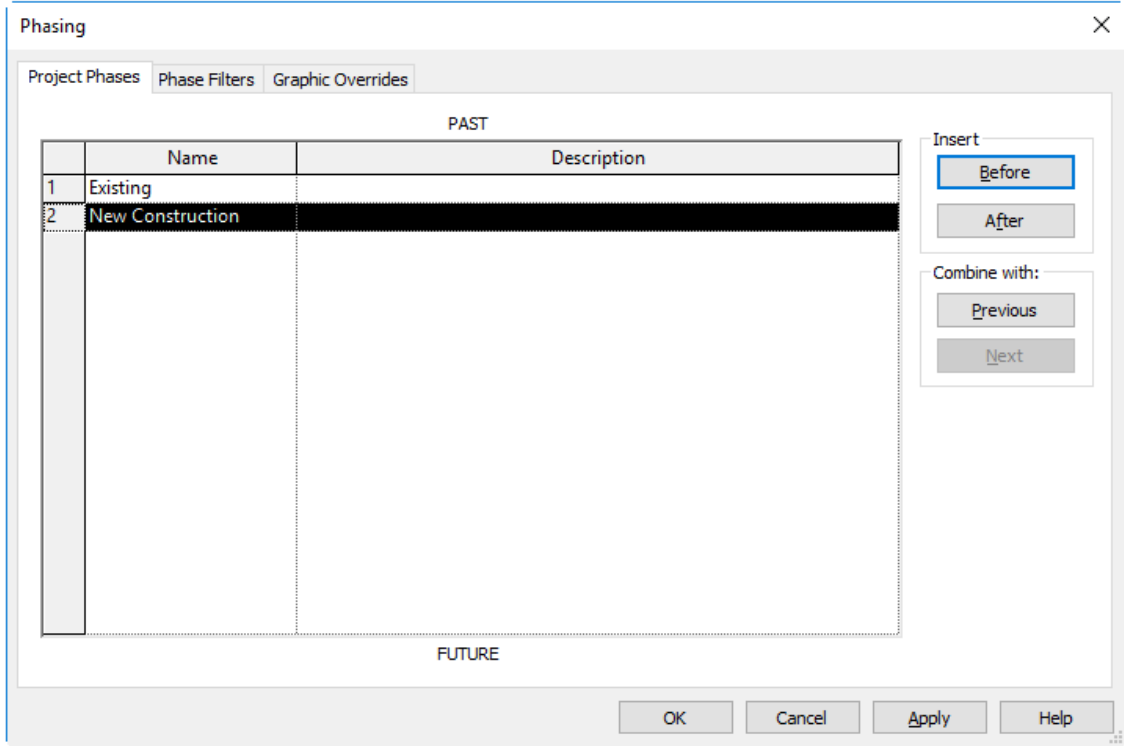
Autodesk Revit yazılımının hızlı inşa etme, 3 boyutlu modelde değişiklik yapma, yüksek kaliteli inşaat belgeleri elde etme ve yüksek düzeyde esneklik sağlama gibi birçok avantajı bulunmaktadır [87].

Revit programının kütüphanesi Family (aile) olarak ifade edilmektedir. Revit programında İngilizce olarak çizim ekranı üzerinde eşitlik ve ölçülerle parametreler tanımlanabilmektedir.

Revit'in Dyanamo isimli eklentisiyle de görsel kodlama yapılabilmeyle beraber Grasshopper'a göre komut sayısı daha az olmaktadır.

Grasshopper bir eklenti olarak Revit içinde çalışabilmektedir. Görsel kodlama aracı olan Grasshopper'da pek çok komut olması sebebiyle modelleme kolaylığından bahsetmek mümkündür [107].

Revit'te bulunan “Phasing” özelliği ile birlikte bir yapıya ait nesnelerin farklı fazlardaki hali modellenabilmektedir [108] [109]. Bu özellik sayesinde tarihi yapılar için uygulanan renovasyon çalışmalarında aynı yazılım içerisinde yapıda yapılacak olan değişiklikler görülebilmekte, yapıdaki farklı aşamalardaki yenilikleri izleyebilme olanağı sunmaktadır. Tarihi yapıların geçmişe yönelik ve gelecekte geçireceği değişiklikleri dijital olarak arşivleme imkânı sağlamaktadır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1 Revit içerisindeki Phasing araç kutusu [110]

Revit, Türkiye üzerinden öğrenci lisansı alınabilmekte ve programın her özelliği kullanılabilir. Demo versiyonu ise 30 gün süreyle sınırsız kullanım sağlamaktadır.

3.3.1.2. Archicad

Archicad, Mac ve Windows işletim sistemleri için Graphisoft firması tarafından geliştirilen ve 1982 yılında piyasaya sürülen, mimarlar, iç mimarlar, peyzaj mimarları ve inşaat mühendisleri tarafından kullanılan bir BIM (Building Information Modeling) yazılımıdır. Archicad, BIM sürecinde kullanılan tüm tasarım aşamalarını bir arada sunar. Bu aşamalar, tasarımın başlangıcından itibaren projenin tamamlanmasına kadar geçen süreci kapsar. Archicad, kullanıcıların kolaylıkla 3D modeller oluşturmasını sağlar ve bu modeller üzerinde tasarım yapabilme, görselleştirme, simülasyon yapabilme, proje dokümantasyonu hazırlayabilme ve analiz yapabilme gibi işlemleri gerçekleştirebilme

imkânı sunar.

Archicad, kullanıcı dostu arayüzü ve yüksek seviyede özelleştirme imkanları sayesinde mimarlar ve mühendisler tarafından tercih edilen bir yazılımdır. Archicad' in özellikleri arasında gerçek zamanlı render, doğru ölçekli çizimler, çizimlerin otomatik olarak güncellenmesi, parametrik nesne oluşturma ve proje verimliliğini artıran pek çok araç bulunur [111].

Archicad, birçok ülkenin bina standartlarına uygun olarak tasarlanmış binlerce parametrik nesne ve malzeme kütüphanesi içerir. Bu özellik, kullanıcıların farklı tasarım ihtiyaçlarına hızlı ve kolay bir şekilde yanıt verebilmesini sağlar. Ayrıca Archicad, diğer BIM yazılımlarıyla da entegrasyon özelliği sayesinde farklı programlarda oluşturulmuş dosyaları içe aktararak kullanılabilir.

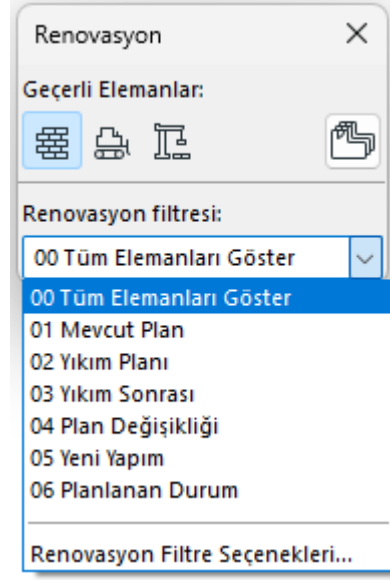
Archicad'in obje kütüphanesi GDL (Geometric Description Language) yazılımı kullanılarak oluşturulan birçok yapı elemanını içerir. Bu objeler, tek bir bütün olarak algılsa da altında pek çok alt eleman bulunmaktadır ve kullanıcılar bu alt elemanları istedikleri gibi değiştirebilmektedir. Bu da aynı objenin farklı alternatiflerle pek çok kombinasyonunu oluşturmaya imkân verdiği için kütüphane içeriği çeşitlenmektedir. GDL yazım diliyle bir objeye başka bir alt eleman eklemek veya yeni bir obje oluşturmak için belli bir seviyede kodlama dili bilmek gerekmektedir [112].

Bunların yanı sıra son yıllarda Archicad içinde obje yapımı için “Paramo” adlı bir araç geliştirmeye başlamıştır. Türkçe ara yüzüyle kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Şu an için komut sayısı ve model tabanı sınırlıdır [113].

Library Part Maker isimli bir araç daha geliştirilmektedir, bu araç ile LOD seviyelerinin farklı olabilmesi de sağlanabilmektedir. Bu araç Archicad Demo veya öğrenci lisansı ile gelmemekte yalnızca lisanslı kullanıcılara temin edilmektedir [114].

Archicad programı öğrenci versiyonunda, farklı formatlarda kayıt edilmesine imkân tanımaktadır, çıktıların sol üst kenarında ise firma bilgisini yerleştirmektedir.

Renovasyon araç kutusu ile mevcut durum, yıkılacak ve yeni durum olmak üzere 3 ana başlık altında toplanırken, farklı filtreler uygulayarak yıkım planı, plan değişikliği gibi yapının farklı dönemlerine ait restitüsyon ve restorasyon proje alternatiflerinin ifade edilmesine, aradaki farkların daha rahat izlenmesine ve maliyet analizleri yapılmasına imkân tanımaktadır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Archicad içerisinde renovasyon araç kutusu

3.3.1.3. İdeCad

İdecad adında CAD olmasına rağmen bir BIM yazılımıdır. Mimari, betonarme ve çelik olarak 3 ayrı modülü bulunmaktadır, bu modüller tamamen birbirine entegre olarak çalışmaktadır. İdecad' in en önemli özelliği statik, betonarme hesaplamaları Türk yönetmeliklerine göre hazırlaması ve güncellemesi denilebilir. Yeni çıkan deprem yönetmelikleri de kısa bir süre içinde işlenerek, program güncellenmektedir. Hatta çoğu belediye bu hesapların kontrolünü de bu program üzerinden yapmaktadır. Statik anlamındaki bu başarısı, entegre çalıştığı mimari açıdan da avantaj sağlamaktadır.

İdecad bir Türk yazılımıdır, 1988 yılında faaliyete geçmiştir. Genel merkezleri Bursa, İstanbul ve Hannover'dır. Ara yüzü, kullanım kılavuzu, yardımı tamamen Türkçe'dir (Şekil 3.3.). Özellikle uygulama projesi çiziminde bu entegrasyonlar ve program mantığı çizim ve modellemeyi çok kolaylaştırmaktadır. Ayrıca Autocad kısayolları da kullanılabilir. SAB 2000 hesaplama programına .dwg uzantılı dosya oluşturabilmektedir.

Şekil 3.3. İDE ODT ara yüzü

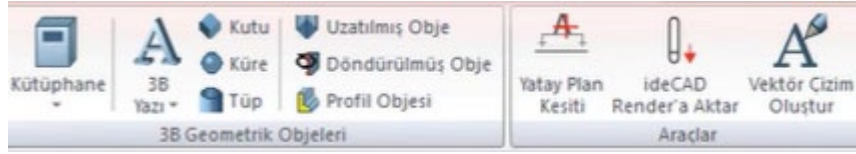
BIM mantığı ile planların çizilmesiyle kesit ve görünüşlerinde oluşması sağlanmaktadır. Modelin oluşturulması sonrası İde Statik’ e kolon, kiriş, aks ve duvar bilgilerini çekebilmektedir. İde statikte hesapların netleştirilmesiyle İde Mimar’ da statikle uyumlu hale getir dendiğinde taşıyıcı sistem bilgileri, döşemeler ve temeller de dahil olmak üzere mimariye aktarılabilmektedir. Bu aşmaktan sonra metraj çalışmalarına geçilebilmektedir. Daha önceki versiyonda (8) AMP ve Oska yazılımlarıyla veri aktarımında bulunarak, Bayındırlık ve diğer bakanlıklara ait poz numaralarını çekebilmekteydi. Bu entegrasyon ihale dosyası hazırlayan idare ve istekliler için çok hızlı ve güzel bir çalışma yapmalarına imkân tanımaktaydı.

Model kütüphaneleri her sürümde yenilenmektedir, ide render bölümündeki modelleme araçlarıyla arzu edilen değişik formlardaki objelerde üretilebilmekte, obje olarak kaydedilebilmektedir. İde render bölümünde hem modelleme hem de render ayarları ve çıktı ayarları yapılabilmektedir. Konu kapı pencere gibi objeler olduğunda İde Odt adlı eklentisi devreye girmektedir. Bu araç sayesinde parametrik farklı doğramalar üretilebilmektedir [115]. Bu araç için yine kodlama bilgisi gerekmele birlikte ara yüzü Türkçe olduğu için müdahale edilmesi daha kolaydır.

Statik bölümünde, endüstriyel betonarme yapılar, çok katlı betonarme yapılar, tünel kalıp sistemler, kaset sistemler, nervürlü ile A2 ve A3 düzensizliği olan yapılar modellenerek hesabı yapılır, rapor ve çizim üretilir [116]. Bunların yanı sıra karma yapılar da tasarlanabilmektedir.

İde render bölümünde (Şekil 3.4) bulunan araçların içinde temel 3 boyutlu formların yanı sıra, loft, sweep gibi komutların eşdeğeri olan uzatılmış obje, döndürülmüş obje, profil

objesi gibi komutların olması sebebiyle bu organik biçimleri yapmak ve render almak mümkündür. Şekil 3.5’te görüldüğü üzere İde Mimar 7 versiyonunda bile detaylı kemer, korkuluk, çatı makası, silmeler yapmak mümkündür.



Şekil 3.4 İde render aracı görüntüsü [107]



Şekil 3.5 İdecad’de alınmış iç mekan renderı [117]

Kapı pencere üretimi dışında diğer objeler için ide render bölümünde organik modelleme için araçlar bulunmaktadır. Farklı programlardan .3ds formatında alınan objeler, buraya 3 boyutlu olarak import edilerek, yerel kütüphane haline getirilebilmektedir. İçindeki obje kütüphanesinde oturma grupları bile takım olarak tanımlanmıştır. Böylece takım parçalarını bulmak daha kolaydır. Ayrıca akıllı nesne yerleştirme özelliği bulunmaktadır. Örneğin bir dolabın üstüne çanak lavabo yerleştirmek isterseniz, yerleştirilme sırasında tanımlama kodun yerden mi, kütüphane üstünden mi tanımlı olabileceğini belirtme imkânı vardır. İde render bölümü ise yine demo ve öğrenci lisansında çalışmamakla birlikte, lisanslı kullanıcılara sağlanan bir imkandır. İde CAD programı demo versiyonda kayıt etmesine rağmen, rapor ve proje çıktısı vermez. Farklı bir formata aktarıp yine çıktı

alınmasını engellenmiş, kısıtlı bir sürüm olmasına rağmen diğer özellikleri tam çalışmaktadır.

Maliyet analizleri açısından İde mimar, İde statik ve İde çelik olarak ayrı ayrı kalıcı olarak satın almak mümkün olduğu gibi 3'ü bir arada alındığında daha ekonomik çözümler kullanıcıya sunulmaktadır. İde mimar'ın sürekli kullanıcı tarafından güncellenmesi elzem değilken, ide statik ve ide çelik için özellikle deprem yönetmelikleri değiştikçe güncellenmesi gerekmektedir. Ayrıca maliyetlerin direkt dövizle bağlı olmaması göreceli olarak da maliyet avantajı sağlamaktadır. İdeCad'in yerli bir yazılım olması sebebiyle, milli kaynaklar daha verimli olarak kullanılmış olacaktır.

3.3.1.4. *Freecad*

Freecad, açık kaynaklı bir 3D parametrik modelleme yazılımıdır geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmek üzere tasarlanmış ve 2002 yılında kullanılmaya başlamıştır. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) alanında kullanılan Freecad, özellikle mekanik mühendislik, ürün tasarımı, mimarlık ve diğer endüstriyel tasarım projelerinde kullanıcılarına birçok özellik sunar.

Freecad, 2D çizimlerin yanı sıra 3D modelleme ve tasarım yapabilme yeteneğine sahiptir. Bir nesnenin parametrik modelini oluştururken, ölçüler, bağlantılar ve diğer parametreler kullanıcı tarafından tanımlanabilir ve daha sonra model üzerinde yapılan değişiklikler bu parametrelere otomatik olarak yansıtılarak tasarımın esnekliğini artırır.

Freecad, birçok farklı geometrik şekil ve eleman oluşturma araçlarına sahiptir. Katı cisimler, yüzeyler, tel modeller ve diğer öğeleri oluşturabilir, düzenleyebilir ve birleştirebilirsiniz. Ayrıca, boşluk analizi, kesit alma, simülasyon ve veri yönetimi gibi işlevler sunar.

Freecad' in önemli bileşenleri arasında OpenCASCADE, Coin3D kütüphanesi, Python , C++ ve Qt bulunmaktadır, böylece kullanıcılar özelleştirilmiş işlevler ve eklentiler oluşturabilir [118].

Genel olarak, Freecad, ücretsiz ve açık kaynaklı bir CAD yazılımı olup, tasarım projeleri için kullanıcı dostu bir arayüz ve parametrik modelleme özellikleri sunar [119] [120] .

3.3.2. CAD Yazılımları

3.3.2.1. *Rhinoceros*

Rhinoceros (veya kısaca Rhino), Robert McNeel & Associates tarafından geliştirilen bir 3B modelleme yazılımıdır. Rhino, tasarımcılara, mühendislere, ürün geliştiricilere, endüstriyel tasarımcılara ve mimarlara yönelik olarak geliştirilmiştir.

Rhinoceros, basit nesnelerden karmaşık endüstriyel tasarımlara kadar her şeyi modelleyebileceğiniz çok çeşitli 3B modelleme uygulamalarında kullanılabilir. Rhino, kullanıcıların organik, serbest biçimli yüzeyleri, poligon ağlarını, katı nesneleri ve nokta bulutlarını işlemelerine olanak tanır. Rhino, tasarımcıların ve mühendislerin modellemelerini çizimlere, teknik çizimlere ve üretim dosyalarına dönüştürmelerine olanak tanıyan çok çeşitli dosya biçimleri de destekler.

Kullanıcıların Rhino'ya özel eklentiler, araçlar ve scriptler ekleyerek, yazılımı kendi özel ihtiyaçlarına göre özelleştirmelerine olanak tanması bir diğer avantajıdır. Ayrıca, Rhino bazı diğer 3B modelleme yazılımlarına kıyasla sınırlı animasyon ve renderleme özellikleri sunar.

NURBS, "Non-Uniform Rational B-Splines" kelimelerinin kısaltmasıdır ve 3D modellemede kullanılan bir matematiksel yöntemdir. Rhino, NURBS yüzeylerinin modelleme ve düzenleme işlemleri üzerine yoğunlaşmıştır. NURBS, daha basit geometrik şekillerin birleştirilmesiyle daha karmaşık yüzeylerin oluşturulmasına izin verir. Rhinoceros' un NURBS tabanlı olması, kullanıcıların yüksek kaliteli ve karmaşık 3D modeller oluşturmasını kolaylaştırır ve daha hassas ve gerçekçi sonuçlar elde etmelerine yardımcı olur.

Rhinonun içerisinde Grasshopper eklentisi bulunmaktadır. Grasshopper algoritma tabanlı tasarım özellikleriyle, parametrik tasarım süreçlerine güçlü bir destek sağlayan entegre bir eklentidir.

3.3.2.2. *SketchUp*

SketchUp, Trimble Inc. tarafından geliştirilen ve özellikle mimarlık, iç mimarlık, endüstriyel tasarım ve peyzaj mimarlığı gibi alanlarda 3D modelleme için kullanılan bir yazılımdır. SketchUp'ın kullanımı oldukça kolaydır ve 3D modellerin hızlı ve kolay bir şekilde oluşturulmasını sağlar. SketchUp, çizim araçları, 3D modelleri değiştirme ve düzenleme araçları, 2D çizimleri oluşturma araçları, 3D modelleme için kaynak

kütüphanesi ve bir dizi eklenti ile birlikte gelir. SketchUp Warehouse kullanılarak, pek çok model çizime indirilebilir. SketchUp bu açık kaynak kodlu objeler sayesinde tercih edilmeye devam etmektedir. SketchUp, yerleşik bir görselleştirme motoruna sahip olmasa da kullanıcılar modellemeleri için V-Ray, SU Podium Keyshot, Artlantis, Render Octane, Thea Render, Twilight Render gibi dışarıdan render motorları kullanabilirler [121].

Bunların dışında “Trimble Scan Essentials for SketchUp” adlı eklentisiyle nokta bulutlarını “LAS” uzantılı olarak alabilmekte ve direkt modelleme yapılabilmektedir. Nokta bulutu yoğunluğu da değiştirilebilmektedir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6 Trimble Scan Essentials for SketchUp aracı görüntüsü

SketchUp BIM sürecine entegre edilebilir fakat BIM için kullanılan diğer yazılımlarla doğrudan entegrasyonu olmamakla birlikte, SketchUp dosyaları diğer BIM yazılımlarıyla uyumlu dosya formatlarına dönüştürülebilir. İlaveten farklı eklentilerle organik modelleme yapmak mümkündür ve ara yüzü oldukça basittir.

3.3.3. Eklentiler

3.3.3.1. Dynamo

Dynamo, Autodesk firması tarafından geliştirilen açık kaynaklı bir grafik programlama aracıdır. Bina Bilgi Modelleme (BIM) süreci için özel hesaplamalı tasarım ve otomasyon sağlar. Dynamo, bir dizi görsel programlama aracılığıyla kullanıcıların parametrik modeller oluşturmaya, analiz etmesine ve optimizasyon yapmasına olanak tanır. Revit, AutoCAD ve Civil 3D gibi diğer Autodesk yazılımlarıyla birlikte kullanılabilir olduğundan, tasarımcılara ve mühendislere güçlü bir parametrik modelleme ortamı sunar.

Özellikle yapı ve inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanılan Dynamo, bir modelleme arayüzünden daha fazlasıdır. Dynamo'yu kullanmak, Revit' teki BIM yeteneklerini geliştirir. Karmaşık geometrileri modellemek ve analiz etmek, tekrar eden işlemleri otomatikleştirmek, insan hatasını en aza indirmek ve verileri Excel dosyalarına ve diğer dosya türlerine dışa aktarmak için birlikte kullanılabilir. Dynamo, sezgisel bir arayüz ve önceden hazırlanmış birçok komut dosyası kitaplığıyla tasarım sürecini daha verimli hale

getirir [122].

3.3.3.2. *Grasshopper*

Grasshopper, Rhinoceros 3D'nin bir eklentisi olarak kullanılan bir grafik algoritma aracıdır. Bu araç sayesinde kullanıcılar görsel bir arayüz üzerinden, Rhino ile modelleme yaparken aynı zamanda parametrik tasarım yaparak kullanıcıların karmaşık geometrileri, süreçleri ve mantıksal yapıları oluşturmalarına olanak tanır.

Grasshopper, birçok disiplindeki mimarların, tasarımcıların ve mühendislerin kullandığı bir araçtır. Kullanıcılar, arayüz üzerinde bir dizi geometrik şekil, işlev ve parametreleri birbirine bağlayarak, karmaşık geometriler oluşturabilirler ve bu sayede tasarımcılar, ürünlerinin farklı özelliklerini hızlı bir şekilde değiştirebilir ve tasarımlarının farklı versiyonlarını oluşturabilirler. Grasshopper ayrıca, kullanıcıların tasarımlarını Rhino üzerinde gerçekleştirdikleri render, animasyon ve analiz işlemlerini de yönetmelerine olanak tanır. Bu sayede, kullanıcılar tasarımlarını doğru bir şekilde analiz edebilir ve ürünlerinin gerçek dünya performanslarını öngörebilirler.

Grasshopper'ın açık kaynak kodlu olması, kullanıcıların kendi özel eklentilerini ve araçlarını yazarak yazılımı özelleştirmelerine olanak tanır. Bu özellik, Grasshopper'ın kullanıcılara esneklik sağlayarak, farklı disiplinlerdeki tasarımcıların ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir bir araç haline gelmesini katkıda bulunur.

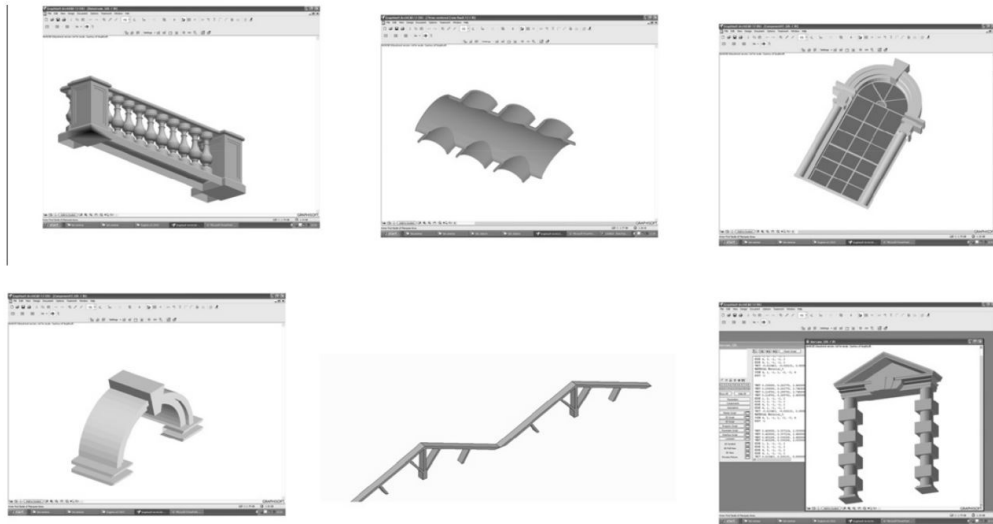
Grasshopper ve Archicad arasındaki bağlantı, Rhino ve Grasshopper'da oluşturulan 3D modellemelerin Archicad' de kullanılmasına olanak tanır. Bu entegrasyon, Archicad' in BIM yetenekleriyle birleştirilerek, tasarımcıların tasarımlarını daha ayrıntılı olarak analiz etmelerine, düzenlemelerine ve yönetmelerine imkân sağlar. İlaveten Grasshopper Revit de kullanılabilir.

4. HBIM UYGULAMALARINDA OBJE KÜTÜPHANESİ KULLANIMI-LİTERATÜRDEKİ ÖRNEKLERİN İNCELENMESİ

Bu bölümde, tez kapsamında yapılan literatür çalışması sonucunda obje kütüphanesi üreterek HBIM modeli oluşturan makaleler incelenmiştir. Vaka çalışmaları, geometrik tarama sürecinde kullanılan cihazlar, teknikler, programlar ve modelleme aşamasında kullanılan yazılımlar hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

4.1. MURPHY VE DİĞERLERİ, 2012

Murphy ve diğerleri İrlanda ve Avrupa’da bulunan 17. ve 18. Yüzyılda klasik mimari üslubuyla inşa edilmiş miras yapılarını seçmiş ve bu dönemin mimari objelerinin parametrik kütüphanesini oluşturmayı hedeflemişlerdir. Bunun için öncelikle yapılar lazer tarama ve fotoğraf tabanlı tarama tekniği ile incelenmiş ve geometrik verileri elde edilmiştir. Ardından parametrik obje üretme konusunda Vitruvius’un 18. Yüzyıl mimari desen kitaplarından yararlanılarak Archicad içerisinde geometrik betimleme dili (GDL) kullanarak pencere, kapı, sütun gibi mimari objelerinin parametrik üretimleri yapılmıştır (Şekil 4.1). Yapının tamamını oluşturmak için lazer tarama verileri referans alınarak doğru geometrik noktalar üzerine parametrik olarak üretilen nesneler kütüphaneden kullanılarak eklenmiş ve HBIM modeli oluşturulmuştur [69].

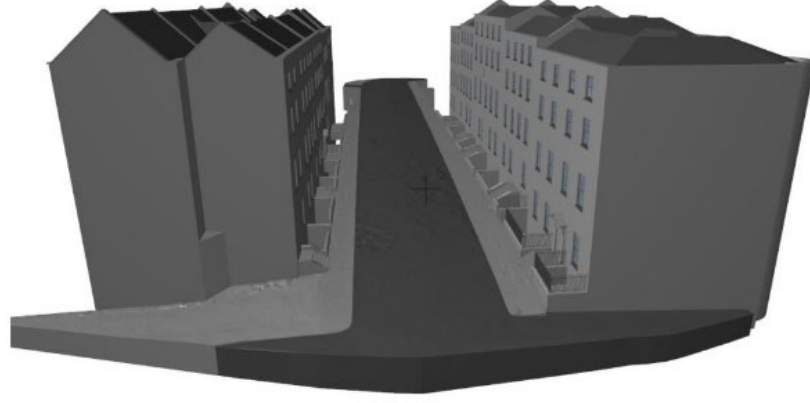


Şekil 4.1 Parametrik nesne kütüphanesindeki objelerden bazıları [69]

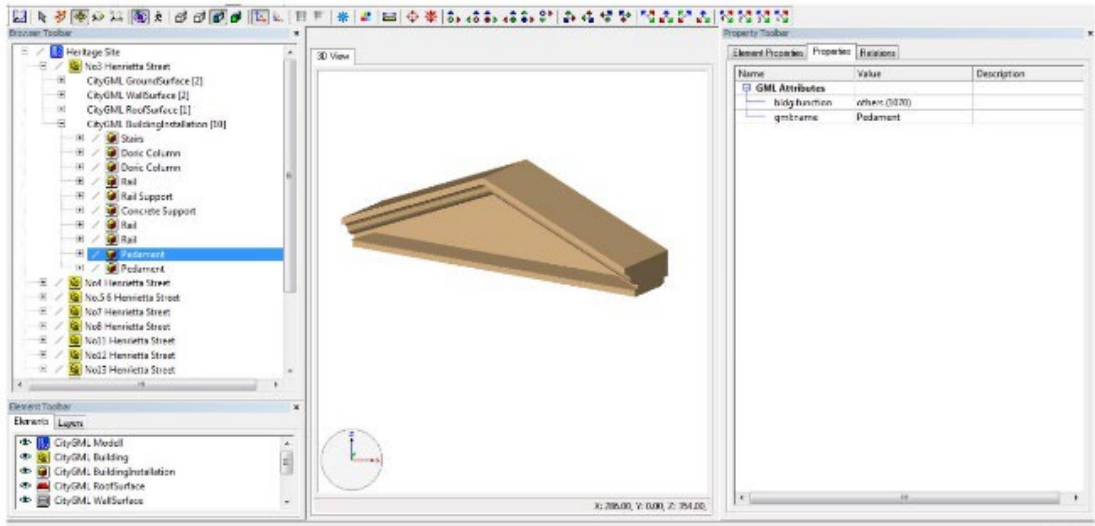
Bu çalışma HBIM' in tarihi yapılar ve çevrelerinin korunması konusundaki kullanım potansiyellerini göstermiştir. HBIM' in geleneksel koruma yöntemlerine kıyasla daha hızlı ve kolay olmasının önemi belirtilmiştir. Lazer tarama verilerinden HBIM ürününe ulaşılması konusunda otomasyon sürecinin iyileştirilmesinin gerekliliğinden bahsedilmiştir. Kütüphane nesnelerinin çeşitliliğinin genişletilmesi ve mevcut nesne parametrelerinin geliştirilmesi gerekliliği hususuna değinilmiştir [69].

4.2. MURPHY VE DİĞERLERİ, 2012

Murphy ve diğerleri 2012 yılında İrlanda Dublin'deki tarihi yapılarla çevrili olan Henrietta Caddesinde çalışma yapmışlardır. Sokaktaki yapılar yersel lazer tarama aracı olan Trimble GS200 ile taranarak yapıların geometrik verileri elde edilmiştir. Elde edilen tarama verileri işlenmesi için Trimble Realworks yazılımı kullanılmıştır. Ardından tarama verileri Archicad yazılımına aktarılmış ve 3D model aşamasına geçilmiştir. Murphy ve arkadaşları daha önceden profiller, sütunlar, duvarlar, pencereler, çatılar gibi mimari elemanları GDL (Geometrik Destructive Language) ile parametrik olarak oluşturmuştur. Henrietta Caddesinin nokta bulutu verileri ile duvar çizimlerini yaptıktan sonra parametrik kütüphanede yer alan pencere, kapı, sütun gibi elemanlar için kütüphanedeki objeleri kullanmışlardır. Bu çalışma için belgelemenin son aşaması olarak Henrietta Caddesi için oluşturulmuş HBIM modelinin CityGMLye dönüştürülmesi ve daha çok CBS analizi için kullanılması amaçlanmıştır (Şekil 4.2). Bu işlem için Archicad ile oluşturulan HBIM modeli Google SketchUp'a aktarılmış ve SketchUp için CityGML eklentisi ile dönüştürülmüştür (Şekil 4.3). Dönüşen geometri dosyasına miras yapılarıyla ilgili işlev, inşa yılı, açıklama, adres gibi çeşitli semantik veriler eklenerek modelin bilgi sistemi olarak kullanılması sağlanmıştır. Ayrıca elde edilen modelin ArcGIS gibi çeşitli CBS uygulamalarına aktararak geometri, topoloji, semantik veriler gibi alanlarda daha fazla analiz yapmak için kullanılabileceği belirtilmiştir [38].



Şekil 4.2. Henrietta Caddesi için oluşturulmuş HBIM modeli [38]



Şekil 4.3 CityGML içerisinde obje gösterimi [38]

Bu çalışmada, tarihi yapılar için 3D modelleme, belgeleme, yönetim ve analiz için yeni araçlar ve yöntemler sunulmuştur. Lazer tarama, HBIM ve CityGML gibi teknolojilerin entegrasyonu, kültürel miras alanlarının sürdürülebilir yönetimi ve analizi için etkili bir iş akışı oluşturulmuştur. CityGML'in CBS platformlarına entegre edilebilme potansiyeli, kültürel miras alanlarının verimli yönetimi ve analizi için önemli bir adımdır [38].

4.3. BAİK VE DİĞERLERİ, 2014

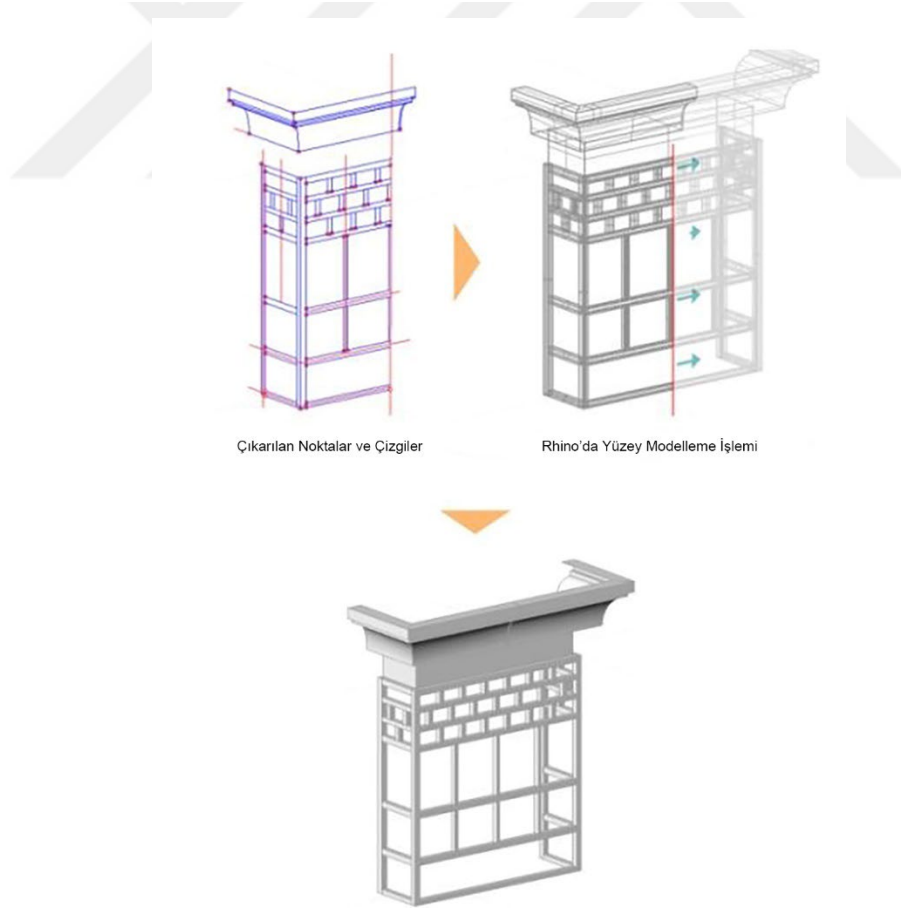
Baik ve diğerleri (2014) Eski Ciddede bir binada HBIM yaklaşımı ile tarihi unsurların rölövesinde, belgelenmesinde ve kütüphanesinin oluşturulmasındaki kullanım potansiyellerini göstermek istemiştir.

İlk olarak fotogrametri yöntemiyle ve karasal lazer tarama aracı ile Cidde'deki bir binanın

geometrik verileri elde edilmiştir. Elde edilen nokta bulutu verileri parçalanarak temizlenmiş ve düzenlenmiştir. Daha sonra parçalanmış veriler bir araya getirilmiştir. Bu aşamalarda Leica Cyclone, Autodesk RECAP 360 ve PhotoModeler Scanner (PMS) programları kullanılmıştır. Son olarak nokta bulutlarından parametrik model oluşturmak için Rhinoceros ve Autodesk Revit programı kullanılmıştır. Ayrıca, Rhinoceros yazılımı verilerin farklı formatlarda dışarı çıkarılması için kullanılmıştır (Şekil 4.4).

Bu konudaki en büyük sorunun mimari öğelerin dijital bir kütüphanesinin bulunmaması olmuştur. Bu sebeple yapının HBIM modelini oluşturmak çok uzun sürmüştür ancak benzer yapılarda oluşturulan kütüphane ile bu sürenin çok kısalması beklenmektedir.

BIM ile birlikte tüm mimari çizimler, 3B modeller, 2B plan ve kesitler, paftalar otomatik olarak üretilmektedir. Elde edilen informatik model ile zaman içerisinde CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi), yeniden işlevlendirme, tasarım, eğitim, belgeleme, yönetim gibi çok sayıda işlev dahil edilebilirken bu konuyla ilgilenen uzman kişiler ve topluluklar tarafından mimari mirasın bilgi paylaşımını da sağlayacağı ifade edilmiştir [97].



Şekil 4.4. Yapıya ait nesnenin model gelişim süreci [97] (Çeviren: Z. Kalpaklı)

4.4. BAİK VE DİĞERLERİ, 2017

Baik ve diğerleri 2013'te yaptıkları çalışmanın ardından Cidde'deki yapılarla ilgili Hicazi Mimari obje kütüphanesi (HAOL-Hijazi Architectural Object Library) oluşturmuşlardır (Şekil 4.5.). Kütüphanenin amacı Autodesk Revit gibi mevcut olarak kullanılan BIM yazılım platformu içerisinde aktif olarak kullanılan bir kütüphane oluşturmak, tarihi bölgenin tanınmasına ve anlaşılmasına katkıda bulunmak, buradaki yapılarla ilgili verileri belgelemek, Cidde'de gelecekte yapılacak olan projeleri desteklemek olmuştur.

Baik ve arkadaşları nokta bulutu verilerine bağlı olarak miras yapılarının eşsiz elemanlarını korumak ve restore etmek için Hijazi Mimari objeler "HAOL" kütüphanesini oluşturmuştur. Öncelikle Autodesk Revit ve Rhinoceros gibi 3B yazılımlarda modelleme yapılmaktadır. Kütüphane oluşturulacak elemanların mimari kurallarının analiz edilmesi ve anlaşılması ile obje kütüphanesinin oluşturulmasına başlanmıştır. İkinci olarak model için en uygun kaliteye ulaşmak için amaç ve detay seviyesinin kararlaştırılmaktadır. Üçüncü olarak mimari elemanlar şekil, detay seviyesi ve detayların üslubu gibi kriterlere göre kategorize edilmektedir [103].

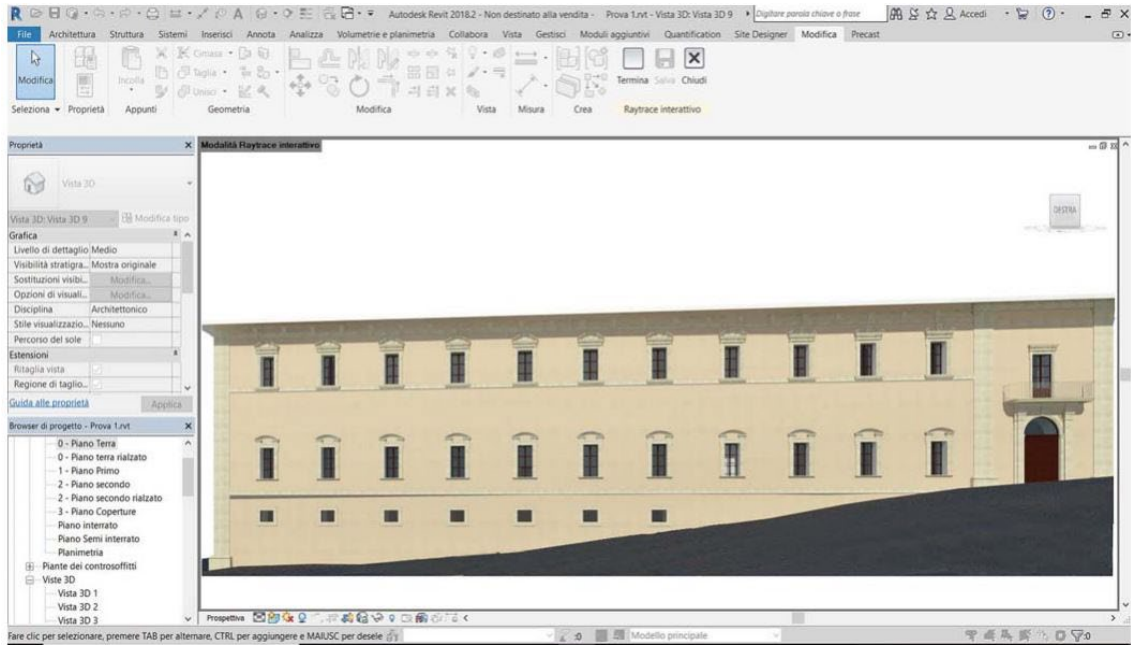
Nesne kitaplığını oluşturmak için Autodesk Revit ve Rhinoceros olmak üzere iki program kullanılmaktadır. Her iki programın da birçok olumlu ve olumsuz yönü ortaya çıkmaktadır, ancak ikisinin de birbirini tamamladığı ifade edilmektedir. Rhino yazılımının kullanılması, farklı 3B model formatlarıyla çalışmaya olanak sağlamaktadır.

Fotogrametri yöntemiyle elde edilen nokta bulutlarından Revit aile methoduyla 3 boyutlu parametrik nesneler elde edilmiştir.

Ana parçalardan çıkarılan 3B veriler .3dm şeklindeki Rhino formatıyla dışarı aktarıldığında diğer modeller ile entegrasyonunun daha kolay olduğu ifade edilmektedir. Karmaşık bileşenlerde ise .obj biçiminde dışa aktarılması tercih edilmektedir [103].

pencereleri elde edilen parametrik kütüphane ile eklenerek tamamlanmıştır (Şekil 4.6).

Özetle görsel programlama ve üretken algoritmaların (yaratıcı ve özgün tasarım süreçlerini hızlandırarak çeşitlendiren ve yeni perspektifler kazandıran yaklaşım) kullanımı, tarihi binalar için BIM yazılımının sınırlamalarını aşarak özelleştirilmiş modellerin oluşturulmasını kolaylaştırmaktadır. Parametrik modellerin oluşturulmasıyla mimari unsurların özgünlüğüne geri dönülebilir ve bu da tarihi mimariler için parametrik nesne kütüphanesi oluşturma imkânı sağlar. Bu yaklaşım, karmaşık geometrilerin etkin bir şekilde yönetilmesini ve HBIM sürecinin optimize edilmesini sağlamaktadır [123].



Şekil 4.6. Revitte yapılmış olan saray cephesinin modeli ve parametrik pencere öğeleri [123]

Görsel programlama dillerinin kullanımı ve buna bağlı olarak daha karmaşık parametrik geometrilerin modellenenebilir olması miras yapıları için BIM yazılımının kullanımından kaynaklanan bazı sınırlamaların aşılmasının kolaylaşabileceğinden ve daha spesifik modellerin oluşturulmasını teşvik edebileceğinden bahsedilmiştir.

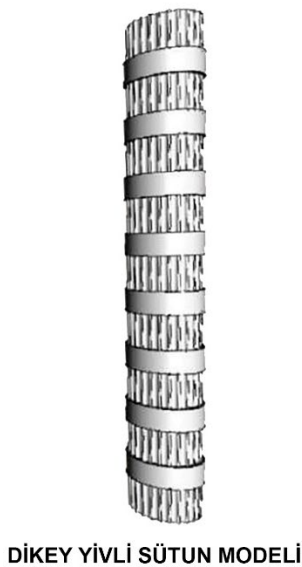
Bilgisayar destekli tasarım, parametrik modellerin oluşturulması aracılığıyla mimari unsurların tipolojik sınıflandırmasına imkân sağlar ve ardından parametrelerin değiştirilmesiyle tarihi binanın özgünlüğüne geri dönülebilir.

Bu nedenle, üretken algoritmalar temelinde bir parametrik nesne kütüphanesi oluşturulabilir. Bu kütüphane, bir yandan karmaşık geometrilerin yönetimini, diğer yandan da HBIM sürecinin optimize edilmesini sağlar. Bu kütüphane tarihi mimariler için

kullanılabilir [123].

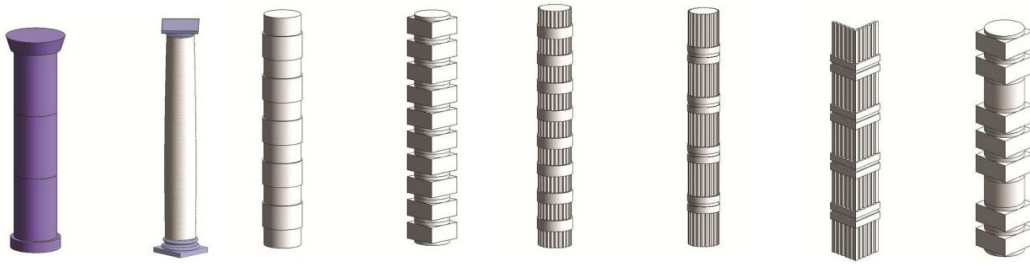
4.6. BAGNOLO VE DİĞERLERİ, 2019

Bagnolo ve diğerleri 2019 yılında İtalya Cagliari’ deki 19. Yüzyılda yapılan hastane binasının sütunlarından yalın görünen bir tanesini seçerek bu sütunu algoritmik olarak modellemişlerdir. Öncelikle fotogrametri tekniğiyle sütuna dair geometrik veriler elde edilmiştir. Elde edilen verilerden yola çıkılarak dorik biçimli sütun gövde yüksekliği, çapı gibi parametreler eklenmiştir ve sütunun profil geometrisi değiştirilerek çeşitli varyasyonlar da elde edilmiştir. Görsel programlama aracı olarak Dynamo kullanılmıştır. Elde edilen parametrik nesne farklı yapılarıdaki 6 farklı sütun için uygulanmıştır. Genel olarak her farklı sütun için kodlamadaki iş akışı korunmuş fakat değişen özellikle alakalı parametre çeşitlendirilmiştir. Örneğin makaledeki 3. örnek yapıdaki sütun yivli gövdeden ve süslemeli bantlardan oluşmaktadır (Şekil 4.7). Süslemeli bantlar konusu daha detaylı bir çalışma gerektirdiği için o yok sayılarak parametrik kütüphane ögesi olarak başlangıçta elde edilen sütun gövdesine yivli gövde eklemesi hedeflenmiştir. Başlangıçta var olan dairesel profil yerine yiv sayısı ve ölçümleri parametresi algoritmaya eklenmiştir. Böylece yivli gövde uygulandıktan sonra dairesel veya çokgen bantlara sahip sütun tipleri modellenebileceği belirtilmiştir.



Şekil 4.7. Çalışmada 3. olarak ele alınan Paris’teki Saint-Étienne-du-Mont kilisesinin cephesindeki sütunun modeli ve resmi [5]

Makale kapsamındaki örnek uygulamalarda, çeşitli sütun tiplerini temsil edebilen bir sütun gövdesi ailesinin geliştirilmesine yol açmıştır (Şekil 4.8). Ancak, ele alınan vakaların sayısı sınırlı olmuştur. Ayrıca, yeni özellikler gerektirmeyen durumlarda modelleme işlemi oluşturulan sütun kütüphanesi ile oldukça hızlı gerçekleştirilebilir ve kullanıcıların manuel müdahalesine neredeyse ihtiyaç duyulmamaktadır. Araştırmadan elde edilen başlangıç parametreleriyle model oluşturulması neredeyse anında gerçekleştirilebilmektedir, böylece 3D modelleme araçlarına doğrudan müdahale etmek gereksiz hale gelmektedir. Elde edilen parametrik nesnelerin gerçek modellerle iyi bir uyum gösterdiği ifade edilmiştir [5].



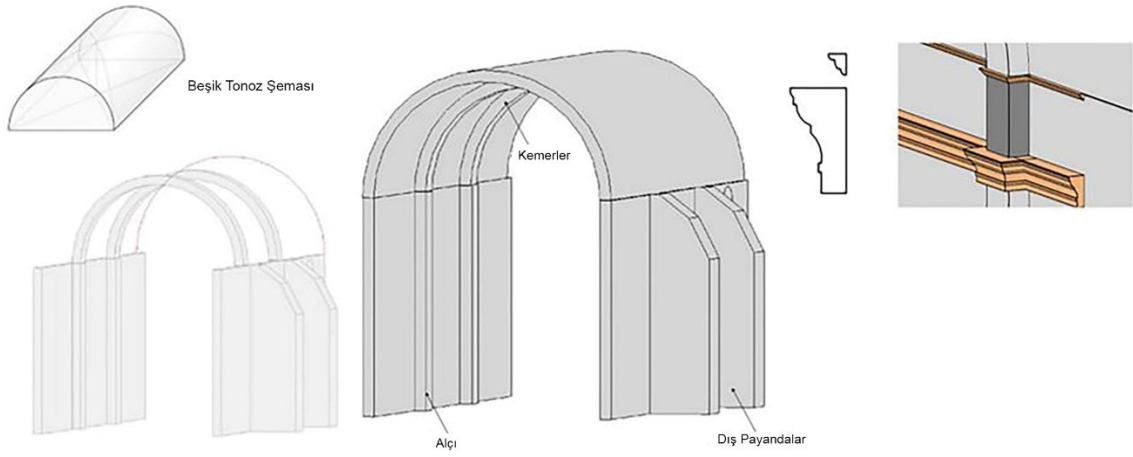
Şekil 4.8 Çalışma kapsamında Revit programında üretilen çeşitli sütun tipleri [5]

4.7. CARVAJAL-RAMİREZ VE DİĞERLERİ, 2019

Ramirez ve diğerleri İspanya’da bulunan harabe haldeki The Cortijo del Fraile isimli bir miras yapısının HBIM sürecini uygulamışlardır (Şekil 4.9). Öncelikle yapıya ait veriler araştırılmıştır ve toplanmıştır. Ardından mevcut durumunun geometrik analizi için insansız hava aracı (İHA) olan UAV DJI Matrice 600 PRO kullanılarak yapının çok sayıda fotoğrafı çekilmiş ve fotogrametrik süreç için Agisoft PhotoScan Professional uygulaması kullanılmıştır. Ardından buradan elde edilen veriler Recap programına aktarılmış ve Revit içerisinde modelleme yapılma aşamasına geçilmiştir. Nokta bulutu verilerinden ve yapıyla ilgili edinilen fiziki belgelerden yararlanılarak Revit içerisinde parametrik HBIM modeli oluşturulmuştur. Bu aşamada yapıyla ilgili belirlenen tonoz, kemer, payanda, pervaz gibi mimari elemanların parametrik obje kütüphanesi oluşturulmuş ve modelleme aşamasında kütüphanedeki bu objelerden yararlanılmıştır (Şekil 4.10) [124].



Şekil 4.9. Cortijo del Fraile yapısının günümüzdeki durumu [124]



Şekil 4.10. Parametrik kütüphane objesi olarak modellenen tonoz, kemer, payanda elemanları [124] (Çeviren: Z. Kalpaklı)

Lumion, Revit ile veri alışverişini sağlayan bir formatı desteklemekte ve renderlama işlemini gerçekleştirebilmektedir. HBIM modelinden fotogerçekçi görüntüler elde etmek için malzeme ve doku eklemek amacıyla Lumion yazılımı kullanılmış ve yapıyla ilgili Şekil 4.11'deki renderlar oluşturulmuştur [124].



Şekil 4.11. Cortijo del Fraile yapısının HBIM modelinden Lumion ile oluşturulmuş renderları

Bu çalışmayla birlikte yok olma tehlikesi içinde olan tarihi yapılar için HBIM yönteminin başarılı bir şekilde uygulanabileceği, gelecekteki koruma çalışmalarına yönelik görselleştirme, arşivleme ve belgeleme sağlayan yeniden oluşturulmuş dijital bir model elde etmenin mümkün olduğu gösterilmiştir. Üretilen HBIM modeli ile birlikte farklı malzeme ve inşaat tekniklerinin yanı sıra kullanılan malzeme ve tekniklere bağlı olarak tabakalaşma ve kronolojik çalışmalar yapmanın mümkün olabileceği belirtilmiştir. İlaveten özellikle bir yapısal elemanın deformasyonunun hesaplanmasının ve nem kontrolünün yapılabilirliğinden bahsedilmiştir. Diğer yandan BIM sisteminde uygulandığı gibi tüm projeyi yönetmenin, farklı projelerin hazırlanmasının ve maliyet hesaplamalarının yapılabilmesi, bir bakım ve yönetim aracı olarak kullanılabilirliğinden bahsedilmiştir [124].

4.8. MACHETE VE DİĞERLERİ, 2021

Machete ve diğerleri Sintra Ulusal Sarayı'nın lazer tarayıcı ile tarama verilerini elde etmektedir. Bu nokta bulutu verilerini Autodesk Revit ile geometrik model haline getirmektedir. Daha az karmaşık olan alanlarda Revit aile dosyasındaki temel özellikleri ve Boolean işlemini kullanarak modelleme yapmaktadır. Kapı ve pencerelerin aile yapımında “Dekoratif Motifler”, “Fiziksel Durum” ve “Yıl” gibi nitelikler modelle

ilişkilendirilmiştir [125].

Machete ve diğerleri kapıları modelleme yöntemi bakımından eşsiz şekiller, karmaşık şekiller ve yalnızca sınır şekiller olarak üç ana gruba ayırarak modellemiştir (Şekil 4.12). Elde edilen ham tarama verilerinden ön işlem uygulanarak yapıyla ilgili olmayan noktaların çıkarılması gerekmektedir. Bunun için özel bir yazılım olan Autodesk Recap kullanılmıştır. Eşsiz şekiller, yersel lazer tarayıcı ile elde edilen nokta buluru verileri çokgen ağ ile yüzey oluşturmuştur ve yapının gerçeğine çok yakın bir temsili elde edilmiştir. Fakat noktaların yüksek yoğunluğu sebebiyle elde edilen model Revit aile formuna alınamamıştır. Yüksek tanımlı olan nokta bulutu ağı BIM azılımına aktarmak imkansızlığı sebebiyle geometrik şekil muhafaza edilerek ağ tanımının basitleştirilmesi gerekmektedir. Daha yalın bir model oluşturmak ve Revit aile’de düzenlemek için Cloud Compare kullanarak nokta bulutları yoğunluğu azaltılmıştır. Dekoratif öğeler doğal motiflerini kaybetmiş olsa da genel bileşenlerin formu hala korunmaktadır ancak azaltıldığı bu haliyle de Revit’te kullanılamamıştır. Son olarak nokta bulutu verileri daha da yalınlaştırılarak tek sınır şekilleri oluşturulmuştur ve Revitte parametrik olarak modellenmesi başarılmıştır. Üç ana geometrik temsil türünde de farklı avantajlar ve dezavantajlar olduğu ifade edilmektedir. Eşsiz şekillerde gerçeklik en doğru hali ile ifade edilebilirken ağların boyut büyüklüğü uygulamayı zorlaştırmıştır. Ekstra yazılım gerektirdiği için de tercih edilmemektedir. İlk yöntemle oluşturulan geometride nesne BIM yazılımı tarafından akıllı olarak kullanılamaz. Tek sınır şekilleri ile ise Revitte nesnelerin tanımlanması ile yenilenerek ve değişerek öğelerde kullanım sağlaması, dosya boyutunun düşük olması ve daha kısa sürede oluşturulması sebebiyle olumlu özelliklere sahiptir. Ancak yapının dokusunu yansıtmaması ve bileşenlerinin ayrıntılarının olmaması yapının kimliğinin korunmasını zorlaştırmıştır.

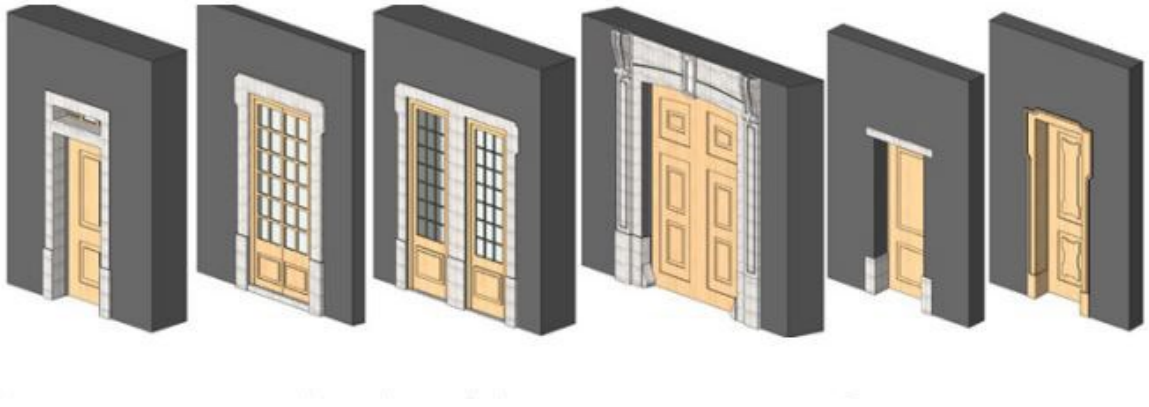
Machete ve diğerleri tek sınır şekilleri ile oluşturulan modelin daha fazla avantajları olduğunu söylemiştir [125].



Şekil 4.12. 4 farklı detay seviyesine sahip geometrik şekillerin render ve modelleri

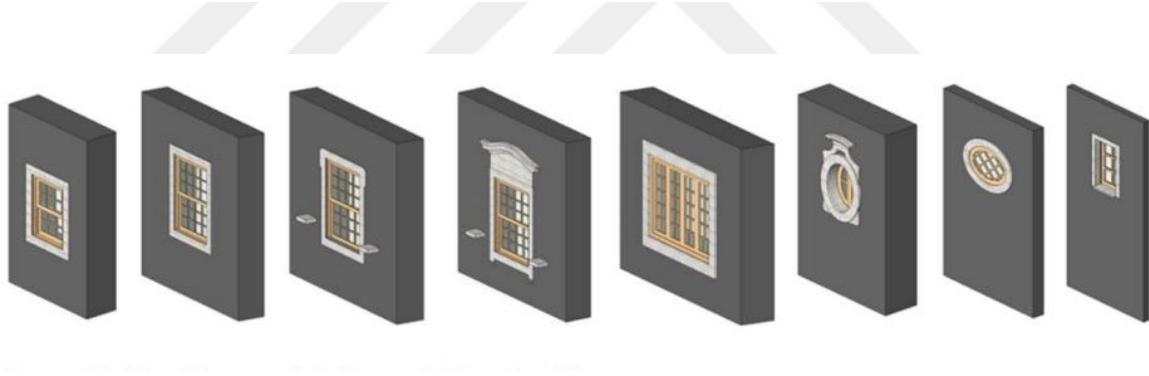
4.9. SAMPAIO VE DİĞERLERİ, 2021

Sampaio ve diğerleri Lizbon şehrindeki “Casal de São José” binasının yeniden kullanımında en iyiyi yakalamak için HBIM kullanmıştır. Öncelikle yapıyla ilgili olarak geleneksel yapım sistemleri, yapım malzemeleri ve yapıyla ilgili diğer tüm bilgiler arşivlenmiştir. Farklı perspektiflerden topografik ölçümlerle elde edilen fotoğraflar yardımıyla yapıyla ilgili üç boyutlu sayısal nokta verileri dijital ortamda oluşturulmuştur. Elde edilen sayısal veriler referans alınarak yapının içindeki ve dışındaki mimari elemanlar dekoratif unsurların kalitesi yüksek olacak şekilde parametrik olarak oluşturulmuştur. Lizbon’daki 20. Yüzyılda yapılan diğer binalarla benzer mimari özellikler taşıdığı için bazı elemanlar ile bir kütüphane oluşturulmuştur. Benzer yapılarda kullanılmak üzere çatılar, duvarlar ve döşemeler, pencere ve kapılar, merdiven ve küpeşte elemanlarının üretilmesi için Revit’te aile kütüphanesi oluşturulmuştur (Şekil 4.13, Şekil 4.14) [16].



Şekil 4.13. Kapıların üretilmiş farklı family tipleri

Geliştirilen HBIM modeli için öncesinde büyük bir veri araştırması ve ayrıntılı ve uzun bir geometrik çalışma gerekmiştir. Tamamlandıktan sonra hedeflenen yenileme çalışmasında temel olarak kullanılmıştır. Miras yapılarında 3D geometrik rekonstrüksiyonlarının otomatik ve yarı otomatik yaklaşımlarla elde edilmesi ile yapıyla ilgili çalışmaların geliştirilmesi basitleşebilir ve BIM ortamlarının kullanımı için gereken zaman ve çaba azaltılabilir [16].

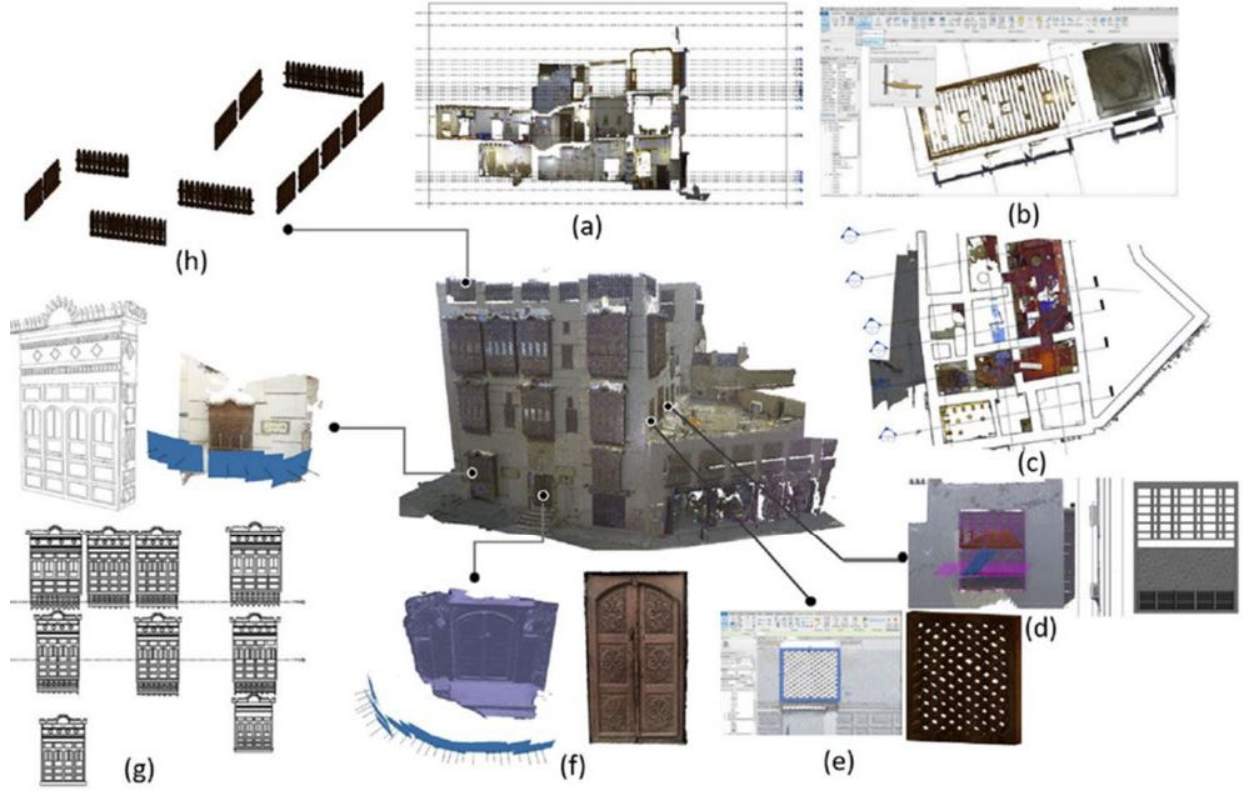


Şekil 4.14. Pencerelelerin üretilmiş farklı family tipleri

4.10. ALSHAWABKEH VE DİĞERLERİ, 2021

Alshawabkeh ve diğerleri Suudi Arabistan’da UNESCO dünya miras listesinde yer alan Tarihi Cidde bölgesindeki iki yapıyı incelemişlerdir. Bu iki yapılardan bir tanesi Matbouli Evi Müzesi, diğeri Asfan Kalesi’dir. Öncelikle yapılar için ayrı ayrı veri toplama aşaması gerçekleştirilmiştir. Matbouli Evi Müzesini taramak için Leica C10 lazer tarama cihazı kullanılmıştır. Ayrıca yapıdaki süslü kapılar gibi detaylı mimari özelliklere sahip alanlar Nikon D5100 kamerası kullanılarak ayrı ayrı fotogrametrik analizleri yapılmıştır. Asfan kalesi için öncelikle Google Eart’teki mevcut orto-görüntü ve topografik yükseklikler ön bir değerlendirme için analiz edilmiştir. Ardından çeşitli noktalardan yersel lazer

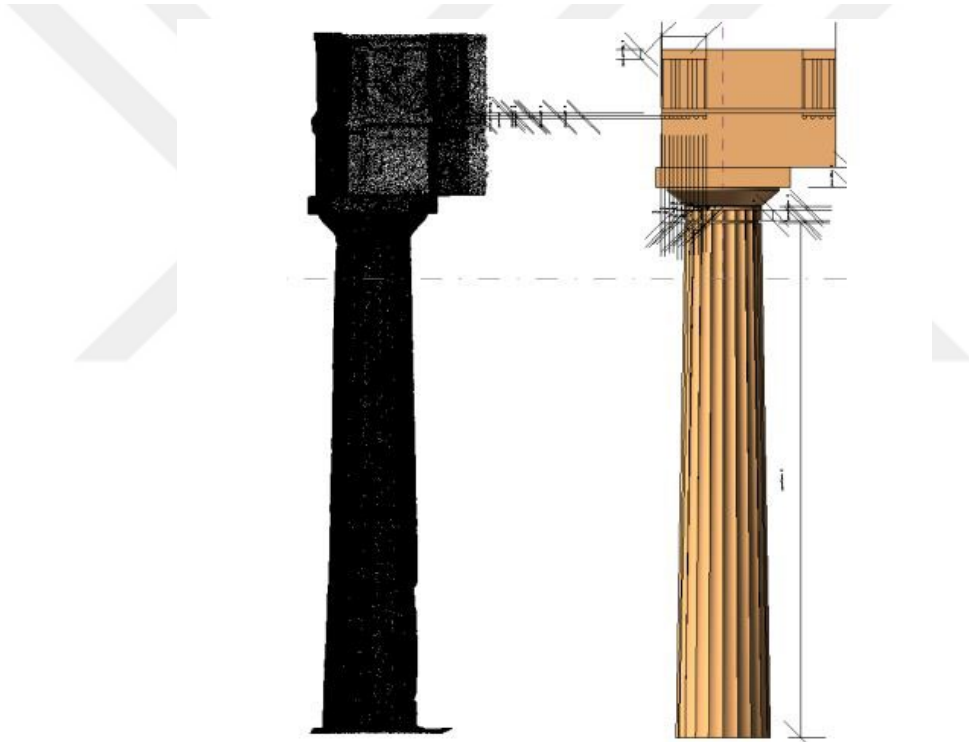
taramalar yapılmıştır. Ayrıca Phantom 4RTK isimli insansız hava aracı fotogrametrik analiz için kullanılmıştır. Elde edilen nokta bulutu verileri temizlenmiş, filtrelenmiş ve optimize edilmiştir. BIM modeline dönüştürmek için Revit yazılımı kullanılmıştır. Nokta bulutlarından referans alınarak modellemeler yapılmıştır (Şekil 4.15, Şekil 4.16). Modelleme aşamasında nesneler parametrik olarak modellenerek obje kütüphaneleri oluşturulmuştur. Modellenen objelerin malzeme, doku ve tarihsel verileri HBIM kütüphanesine işlenmiştir.



Şekil 4.15. Matbouli Evi nokta bulutundan HBIM modele

kullanarak sütun, şeritler, arşitrav, friz ve triglif gibi öğeler modellenmiştir. Parametrik olarak oluşturulan bu elemanlar eleman boyutları, kolon yüksekliği ve arşitravın uzunluğu arasındaki oranla ilişkilidir. Kullanıcının model oluştururken girmesi gereken değişkenler bulunmaktadır. [122].

Fotogrametri yöntemiyle elde edilen nokta bulutu verilerinden belirli bir parçanın nokta bulutu alınarak Revit içerisine aktarılmıştır. Modellenen sütunun boyutları nokta bulutuyla en uyumlu şekilde değiştirilmiştir (Şekil 4.17). Parametrik model ve 6 mm sapma payı olan nokta bulutu verileri karşılaştırıldığında %50 olması gereken şekildeki değerlerde $\pm$ %5'lik bir sapmayla neredeyse eşit olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen HBIM kütüphane verisiyle gerçeğe yakın miras modelleri oluşturmanın mümkün olduğu gösterilmiştir [122].



Şekil 4.17. Parametrik olarak modellenen (sağ) kolonun nokta bulutu verisine (sol) göre ayarlanması [122]

YAYIN REFERANS NO	SCAN TO BIM				HBIM MODEL		
	TEKNİK		ARAÇ	YAZILIM	YAZILIM		
					HBIM MODEL AŞAMASINDA		HBIM MODEL SONRASI
Murhy ve Diğerleri	LAZER TARAMA	FOTOGR AMETRİ			ARCHICAD-GDL		
Murhy ve Diğerleri	LAZER TARAMA		Trimble GS200	Trimble Realworks	ARCHICAD-GDL		SKETCHUP+ CITYGML+ ARCGIS
Baik ve Diğerleri	LAZER TARAMA			Leica Cyclone+Autodesk RECAP 360+PhotoModeler Scanner (PMS)	REVİT	RHINOCEROS	
Baik ve Diğerleri	LAZER TARAMA			Leica Cyclone+Autodesk RECAP 360+PhotoModeler Scanner (PMS)	REVİT	RHINOCEROS	
Brusaporci Ve Diğerleri	FOTOGRAMETRİ		Nikon D610	Agisoft PhotoScan 59+ Professional 1.2.5 Build 2614	REVİT	DYNAMO	
Carvajal- Ramirez Ve Diğerleri	FOTOGRAMETRİ		UAV DJI Matrice 600 PRO	Agisoft PhotoScan+Professional +Recap	REVİT		LUMION
Sampaio Ve Diğerleri	FOTOGRAMETRİ				REVİT		
Machete Ve Diğerleri	LAZER TARAMA			Cloud Compare+Autodesk Recap	REVİT		
Alshawabkeh Ve Diğerleri	LAZER TARAMA	FOTOGR AMETRİ	Leica C10+Nikon D5100+Phantom 4RTK		REVİT		
Kontoudaki Ve Diğerleri	FOTOGRAMETRİ				REVİT		
Bagnolo Ve Diğerleri	FOTOGRAMETRİ				DYNAMO		

Şekil 4.18 HBIM obje kütüphanesi oluşturan yayınlarda kullanılan teknik, araç ve yazılımların incelenmesi [127]

Şekil 4.18’de HBIM obje kütüphanesi oluşturan 11 ayrı makaledeki scan to BIM aşamasında kullanılan teknik, araç ve yazılımlar ile HBIM model aşamasında ve sonrasında kullanılan yazılımlar tablo şeklinde gösterilmiştir. İncelenen örneklerde tarihi yapıların geometrik verilerinin elde edilmesi aşamasında lazer tarama ve fotogrametri tekniklerinin kullanıldığı, bazı uygulamalarda tekil bazı uygulamalarda ise birlikte tercih edildiği görülmüştür. Araç olarak ise çok farklı tercihler yapıldığı görülmüş olup bazı makalelerde araç bilgisine yer verilmemiştir. Benzer şekilde nokta bulutlarının düzenlenmesi, temizlenmesi aşamasında çok sayıda yazılım kullanıldığı görülmüştür. HBIM model aşamasına gelindiğinde ise sıklıkla tercih edilen BIM yazılımı Revit olmuştur ve nispeten az sayıda çalışmada Archicad kullanılmıştır. Bazı uygulamalarda sadece BIM yazılımı kullanılırken bazı uygulamalarda Rhino, Dynamo gibi görsel kodlama tabanlı eklentilerin de kullanıldığı gözlemlenmiştir. HBIM model aşaması

sonrasında uygulamanın nihai amacına yönelik SketchUp, CityGML, ArcGIS, Lumion gibi çeşitli farklı yazılımların da kullanılabildiği görülmüştür.

HBIM' in nokta bulutu verisinden BIM model üretilmesi aşamasında tam otomatik bilinen bir iş akışının olmaması sebebiyle çok sayıda faktöre bağlı olarak kullanılan araç ve yazılımlarda çeşitlilik görülmüştür. Bu çeşitlilik, kullanıcıların erişebildikleri araçlara ve yazılımlara, program bilgisine, kullandıkları bilgisayarların donanım niteliklerine, tarihi yapının özelliklerine ve HBIM uygulamalarında hedeflenen nihai amaca bağlı olarak değişiklik göstermektedir.



5. BULGULAR

HBIM alanında son yıllarda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Genel olarak bu çalışmaların hangi ülkelerde yapıldığı, bu çalışmalar arasında HBIM obje kütüphanesi oluşturulma oranları incelenmiştir. HBIM uygulamaları yapan ve uygulama aşamasında obje kütüphanesi kullanan makaleler, kullanılan yazılımlar, algoritmik yöntem ile modelleme oranları, genişletilmiş gerçeklik kullanımı bakımlarından ayrı ayrı incelenmiştir. İlaveten HBIM uygulamalarında sıklıkla kullanılan ve kullanılabilecek olan yazılımlar belirlenerek bu yazılımlarla ilgili detaylı bir tablo hazırlanmıştır. Bu hususta 5.1. bölümde HBIM alanındaki literatür çalışmalarının incelenmesi neticesinde elde edilen veriler açıklanmış ve HBIM alanında kullanılma potansiyelleri yüksek olan yazılımlar maliyet, donanım gibi çeşitli açılardan karşılaştırılarak bilgi verilmiştir.

5.2.'de Düzce İli Akçakoca İlçesi'nde bulunan Cumhuriyet ve Gönen caddelerindeki tescilli yapıların kapı ve pencerelerinin parametrik bir kütüphanesinin oluşturulması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda 4. bölümde literatürde uygulanan HBIM modelleme yöntemleri dışında farklı yöntem araştırmaları yapılmıştır. Bu yöntemlerden 2 tanesinde uygulama yapılmıştır, 1 tanesinde de öneri sunulmuştur. Bu yöntemler aşağıda detaylıca anlatılmıştır.

5.3.'te ise HBIM uygulamalarının yapılan literatür incelemesi neticesinde tarihi yapılarda kullanımlarının yararları ve sorunları açısından değerlendirilmesi verilmiştir.

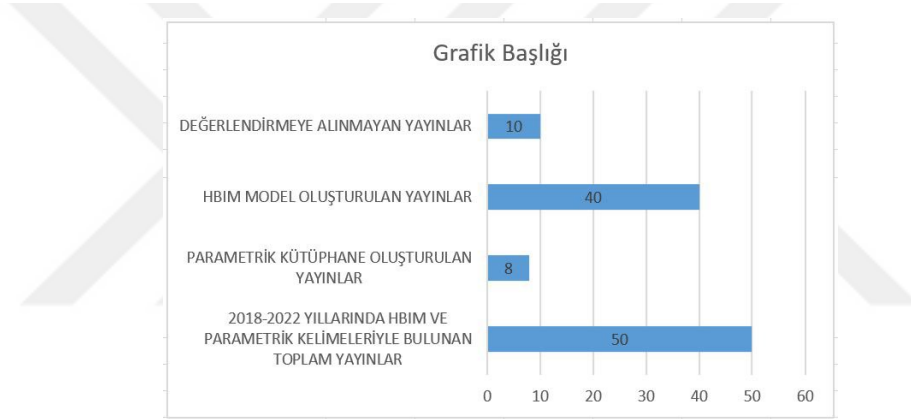
5.1. HBIM ALANINDA LİTERATÜR İNCELEMESİ VE YAZILIM KARŞILAŞTIRMASI

5.1.1. HBIM Alanındaki Literatür Çalışmalarının İncelenmesi

Tez kapsamında “HBIM” ve “parametrik” kelimeleri Google Scholar üzerinde birlikte aratılmıştır. HBIM kelimesi ile geniş kapsamlı çalışma alanı filtrelenmiş, parametrik kelimesi ile parametrik model üretimi yapılan çalışmalar bulunması amaçlanmıştır. Çıkan sonuçlar arasından 2018 ve 2022 yılları arasındaki ilk 50 makale incelenmiştir. Bu yıllar HBIM çalışmalarının yoğunluğunun arttığı ve teknolojik imkanların çeşitlendiği yıllar olduğu için araştırma bu yıllar üzerinden sınırlandırılmıştır.

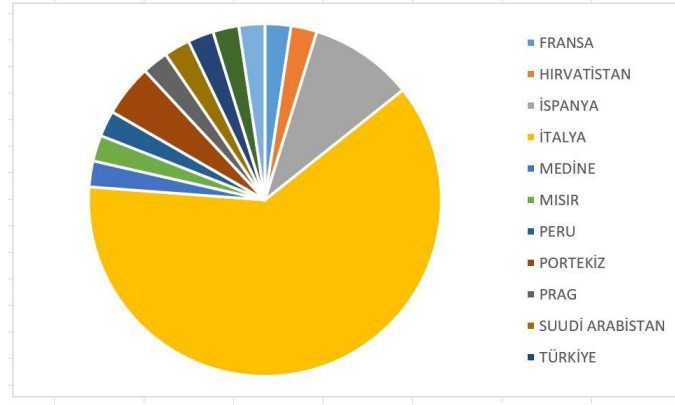
Makaleler, yazarı, yayım tarihi, ülkesi, anahtar kelimeleri, miras yapısı türü, kullanılan yazılım ve eklentileri gibi çok sayıda başlık altında incelenerek analizleri oluşturulmuştur.

HBIM ve parametrik kelimeleriyle bulunan makalelerden 50 makalenin 10 tanesinde örnek bir uygulama çalışması yapılmadığı için değerlendirmeye alınmamıştır. Kalan 40 adet makalede örnek bir uygulama çalışması yapılmış olup “Scan to BIM” aşaması ve 3D model aşaması farklı yöntem ve teknikler ile uygulanarak HBIM modeli elde edilmiştir. 40 adet makalenin ise yalnızca 8 adetinde parametrik kütüphane elde edilerek HBIM modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.1). İncelenen makalelerde HBIM ile model üretimi yapanlardan yalnızca %20’si parametrik kütüphane oluşturmayı tercih etmiştir. Bu oran HBIM uygulamalarında parametrik obje üretiminin yapılmasının düşük olduğunu göstermektedir.



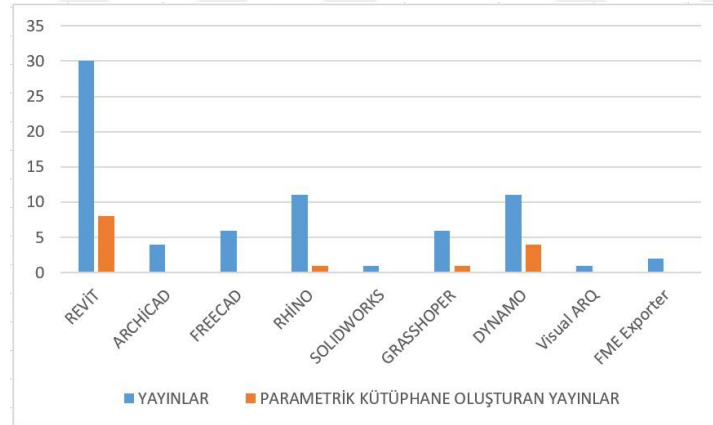
Şekil 5.1. HBIM model oluşturan ve parametrik kütüphane oluşturan yayınların incelenen tüm yayınlara oranla dağılımı

Yapılan araştırmalar, incelenen 50 makaleden 26'sının İtalya'da gerçekleştirildiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, İtalya'nın HBIM (Tarihi Bina Bilgi Modellemesi) konusundaki çalışmalarda öncü bir rol oynadığını göstermektedir. İspanya, 4 makaleyle İtalya'yı takip eden bir diğer önemli ülkedir. Ayrıca, ülkemiz dahil olmak üzere çeşitli ülkelerde de HBIM konusunda araştırmalar yapıldığı gözlemlenmiştir. Ancak İtalya, HBIM alanındaki incelenen çalışmaların %62'sine sahip olmasıyla diğer ülkelerden ayrılmaktadır (Şekil 5.2.).



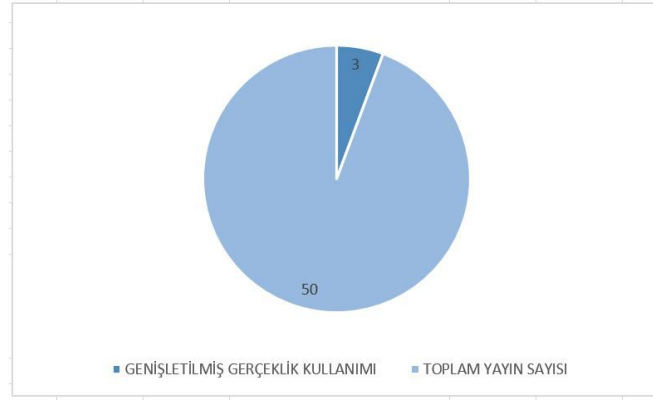
Şekil 5.2. Makalelerin ülkelere göre dağılımı

İncelenen makalelerde HBIM modeli oluşturulması aşamasında kullanılan yazılım ve eklentiler incelenmiştir. Bu alandaki çalışmalarda BIM model üretmek için çoğunlukla Revit yazılımı kullanıldığı tespit edilmiştir. BIM yazılımları arasında tercih edilme yoğunluğu sırasıyla Revit, Rhino, FreeCad, Archicad olmuştur. BIM yazılımları ile yanı sıra algoritmik modelleme yapmayı sağlayan Dynamo ve Grasshopper gibi eklentiler de sıklıkla tercih edilmiştir (Şekil 5.3). Bu yazılımlar ve eklentiler bazı yayınlarda tek başına tercih edilerek modelleme tamamlanmıştır [124] [128][129]. Bazılarında ise birden fazla yazılım veya eklentiler bir arada kullanılmıştır [130][123] [131].



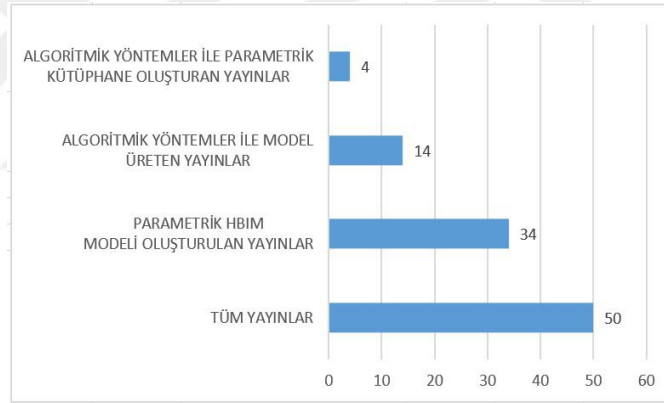
Şekil 5.3. HBIM model oluşturan makalelerde kullanılan yazılım ve eklentiler

Genişletilmiş Gerçeklik (XR) ile Tarihi Bina Bilgi Modellemesi (HBIM) bir araya gelerek, tarihi binaları interaktif bir şekilde keşfetmemizi ve bilgileri gerçek dünya ile birleştirilmesini sağlayan XR, HBIM'i daha etkileşimli ve bilgilendirici bir deneyime dönüştürmektedir. İncelenen makaleler arasında genişletilmiş gerçeklik kullanım oranı oldukça düşüktür. 50 makale arasında genişletilmiş gerçeklik uygulamaları yapan yayın sayısı 3 adettir (Şekil 5.4) [130] [132][133].



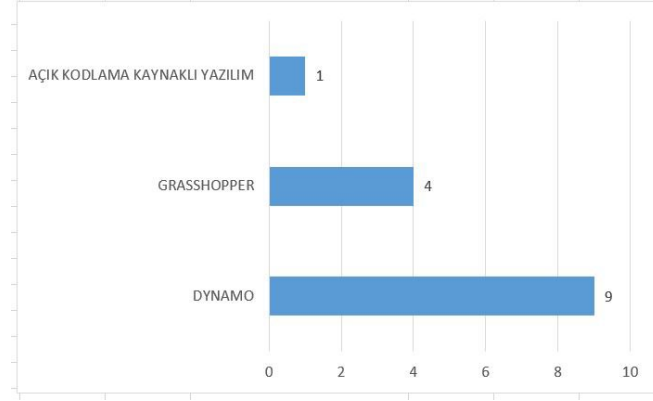
Şekil 5.4. İncelenen HBIM makalelerindeki genişletilmiş gerçeklik uygulamalarının kullanımı

İncelenen yayınlar arasında algoritmik modelleme yöntemiyle HBIM model oluşturan ve parametrik HBIM kütüphanesi oluşturan yayınlara rastlanmıştır. Toplam 50 adet makaleden 14 tanesinde algoritmik yöntem ile HBIM model üretilirken bu modellerden 4 tanesinde ise parametrik nesne kütüphanesi oluşturulmuştur (Şekil 5.5) [123][5][122][79].



Şekil 5.5. Tüm yayınların arasında algoritmik modelleme yapan yayınların dağılımı ve parametrik kütüphane oluşturma oranı

Algoritmik modelleme yaparken 9 makaledeki uygulamada Revit'in eklentisi olarak geliştirilen görsel programlama yazılımı olan Dynamo yazılımı kullanılmıştır. 4 makalede ise Rhinoceros'un eklentisi olarak geliştirilen görsel programlama yazılımı olan Grasshopper tercih edilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Algoritmik modellerde kullanılan araçlar

5.1.2. HBIM Uygulamalarında Kullanılan Yazılımların Karşılaştırılması

HBIM uygulamalarına yeni başlayacak kullanıcılara çeşitli yazılım seçenekleri hakkında fikir vermek amacıyla Şekil 5.7’deki tablo hazırlanmıştır. Yazılımların tamamıyla HBIM model üretilmektedir fakat kendi aralarında donanım gereksinimi, maliyet, lisans süresi, arayüz dili, parametrik model üretebilme yeteneği, nokta bulutu kullanabilme yeteneği, görsel ve yazınsal kodlamaları kullanabilme bakımlarından çeşitlilik görülmektedir. Archicad, Revit, İdecad, FreeCAD BIM yazılımı olup Rhino ve SketchUp CAD yazılımıdır. BIM ve CAD yazılımı olarak iki kategoriye ayrılmış ve birbirleri ile farklılıkları kıyaslanmıştır. Karşılaştırılan bu yazılımlar kullanıcılara farklı açılardan avantajlar sunmaktadır.

Literatür taramalarında en sık kullanılan Revit yazılımı, yazılımlar arasında en yüksek maliyete sahiptir ve lisans süresini yıllık olarak yenilemek gerekmektedir. Görsel kodlama diliyle (Dynamo) entegre çalışabilmekte ve parametrik BIM modeller oluşturulabilmektedir. Revit’in arayüzü İngilizce kullanılabilmektedir. Revit içerisinde eklenti olarak yer alan görsel kodlama tabanlı Dynamo ile obje modelleri yazılım desteği ile parametriklik bakımından zenginleştirilmektedir. Revit yazılımı içerisinde nokta bulutu getirilebilmektedir. Sadece Windows işletim sistemli donanımlarda kullanılabilmektedir.

Diğer bir BIM yazılımı olan Archicad aylık olarak lisansı satın alınabilmekte, 23 farklı dilde kullanılabilmekte ve Türkçe dili de bulunmaktadır. Archicad yazılımı kendi içerisinde yazınsal kodlama dili olan GDL’e sahiptir. Ayrıca Grasshopper ile görsel kodlama dili yardımıyla bağlantı ile parametrik tasarımlar yapılabilmektedir. Archicad yazılımı içerisinde nokta bulutu getirilerek üzerinden model üretimi yapılabilmektedir. Hem Windows hem de MacOS işletim sistemli donanımlarla birlikte kullanılmaktadır.

İdecad yerli bir BIM yazılımıdır. İdecad’in lisansı diğer BIM yazılımlarına kıyasla çok

daha uygun maliyetle alınabilmekte ve süresiz lisansına sahip olunabilmektedir. Türkçe ve İngilizce de dahil olmak üzere 5 farklı dile sahiptir. Parametrik BIM objeleri elde edilmektedir fakat algoritmik modelleme yapılamamaktadır. Yalnızca Windows işletim sistemli donanımlarda kullanılabilmektedir.

FreeCAD ücretsiz ve açık kaynaklı bir BIM yazılımıdır. İçerisinde Türkçe ve İngilizce'nin de bulunduğu 35 farklı dilde arayüzü vardır. BIM modellerin yanı sıra yazınsal kodlama dilleri olan C++ ve Python dilleri ile de parametrik modelleme yapılabilmektedir. Doğrudan nokta bulutu ile modelleme yapılamamaktadır. Hem Windows hem de MacOS işletim sistemli donanımlarla birlikte kullanılmaktadır.

Rhino yıllık olarak lisansı satın alınabilen, BIM yazılımlarına kıyasla daha uygun maliyetli olan, HBIM uygulamalarında kullanılan bir CAD yazılımıdır. Rhino arasında Türkçe'nin bulunmadığı 10 farklı dilde kullanılabilmektedir. Rhino içerisine direkt olarak nokta bulutu alınabilmekte ve nokta bulutundan mesh model, NURBS model elde edilebilmektedir. Rhino içerisinde yer alan Grasshopper eklentisi ile görsel kodlama dili yardımıyla parametrik model üretilmektedir. Hem Windows hem de MacOS işletim sistemli donanımlarla birlikte kullanılmaktadır.

SketchUp yazılımı diğer yazılımlara kıyasla daha düşük maliyetle yıllık lisansı alınabilen bir CAD yazılımıdır. Türkçe ve İngilizce dilleri de içerisinde olan 12 adet dilde yazılım arayüzü kullanılabilmektedir. Parametrik modelleme aracı bulunmamaktadır. Ancak içerisine nokta bulutu getirilerek üzerinden modelleme yapmak mümkündür. Hem Windows hem de MacOS işletim sistemli donanımlarla birlikte kullanılmaktadır.

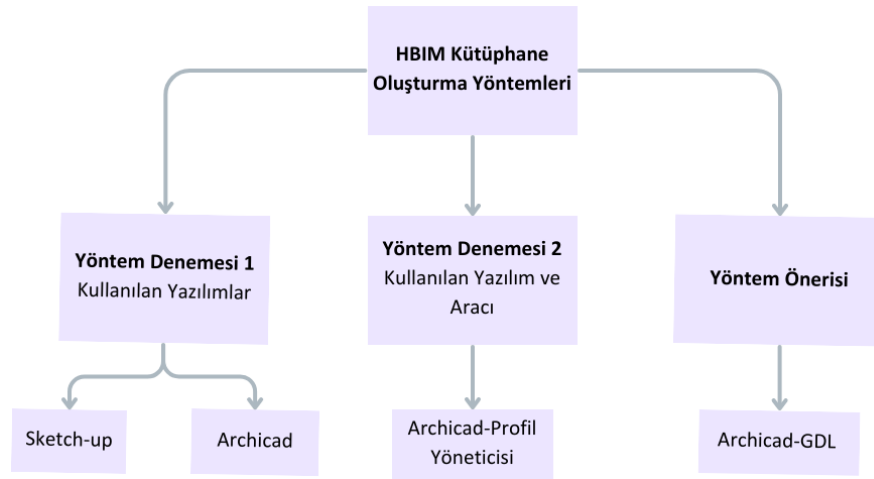
BIM yazılımları	Çıkış Yılı	Satış Temsilcisi	İlk Maliyet	Ara Yüz Dili	Eğitim Videoları	Donanım Gereksinimi	Parametrik Modelleme Araçları	Kodlama Bilgisi Türü	LOD Seviyesi Tanımlama	Nokta Bulutu Formatı	Kullanılan Nokta Bulutu Yazılımı
ArchiCAD	1984	FGA, BIMSoft	4160 E + KDV 145 E+KDV (Aylık Ücret)	Türkçe, Almanca, İngilizce, Portekizce, Çekçe, Fransızca, Yunanca, Macarca, İtalyanca, İspanyolca, Japonca, Korece, Çince, Norveççe, Lehçe, Rusça, İsveççe, Ukraynaca, Tayca, Danca, Flemenkçe, Fince, Tayvanca	BIMsoft(TR), Archicad, SB architect, İki Kalem(TR)	64-bit Windows 11 MacOS 12.5 RTX 20 serisi, GTX 16 serisi	GDL	Yazınsal Kodlama	Mümkün	e57, xyz	ArchiCAD
							Paramo	Görsel Kodlama	Bir veriye ulaşamadı.		
							Libray Part maker	Yok.	Mümkün		
							Grasshopper	Görsel Kodlama	Mümkün		
Revit	2002	Autodesk Türkiye	63.196 TL(Yıllık Ücret)	İngilizce-Amerika Birleşik Devletleri, İngilizce-Birleşik Krallık, Fransızca, Almanca, İtalyan, Japonca, Koreli, Lehçe, İspanyol, Basitleştirilmiş Çince, Geleneksel Çince, Brezilya Portekizcesi, Rusça, Çek	Yakın kampüs (TR), Autodesk Building Solution, SB architect, Kyle Sinko	64-bit Windows 10 or Windows 11 RTX 20 serisi, GTX 16 serisi +4 GB VRAM	Dynamo	Görsel Kodlama	Mümkün	rcp	RECAP
							Grasshopper	Görsel Kodlama	Mümkün		
							BIM objesi	Yok.	Mümkün		
İdeCAD	1988	İdeCAD	İdeCAD Mimari IDS 37.500 TL (Kalıcı Lisans)	Türkçe, İngilizce, Almanca, İtalyanca ve Lehçe	İdecad, Udemy	64-bit Windows 10 GeForce GTX 1060	BIM objesi	Yok.	Mümkün	Bir veriye ulaşamadı.	Bir veriye ulaşamadı.
FreeCAD	2002	Türkiye'de yok	Ücretsiz	Türkçe, İngilizce, Arapça, Katalanca, Çekçe, Almanca, Yunanca, İspanyolca, Baskça, Fince, Filipince, Fransızca, Galisya Dili, Hırvatça, Macarca, Endonezce, İtalyanca, Japonca, Berberice, Korece, Litvanyaca, Flemenkçe, Norveç Dili, Lehçe, Portekizce, Romence, Rusça, Slovakça, Slovence, Sırpça, İsveççe, Ukraynaca, Valensiya Dili, Vietnamca, Çince	Grafik101, Udemy,	Windows 7/8/10, macOS 10.11 ya da daha ilerisi GeForce GTX 1060 GeForce GTX 1050 Ti	BIM objesi	Yok.	Mümkün	Bir veriye ulaşamadı.	Bir veriye ulaşamadı.
							C++	Yazınsal Kodlama	Mümkün		
							Python	Yazınsal Kodlama	Mümkün		
CAD yazılımları	Çıkış Yılı	Satış Temsilcisi	İlk Maliyet	Ara Yüz Dili	Eğitim Videoları	Donanım Gereksinimi	Parametrik Modelleme Araçları	Kodlama Bilgisi Türü	LOD Seviyesi Tanımlama	Nokta Bulutu Formatı	Kullanılan Nokta Bulutu Yazılımı
SketchUp	2001	FGA	9416 TL +KDV(Yıllık Lisans)	Türkçe, İngilizce, İspanyolca, Fransızca, Almanca, İtalyanca, Çince, Korece, Portekizce, Japonca, Rusça, İsveççe	Yakın Kampüs, Udemy, FGA Mimarlık	Windows 10 or Windows 11 MacOS 11/ 12/ 13 GeForce GTX 1080 Ti+512 GB VRAM	Yok.	Yok.	Yok.	RWP, LAS	Scan Essential/SketchUp Eklentisi
Rhino	1998	FGA	29.603TL + KDV (Yıllık Lisans)	İngilizce, Fransızca, İspanyolca, Portekizce, Almanca, İtalyanca, Rusça, Japonca, Çince, Korece	Yakın Kampüs, Udemy	Windows 11, 10 or 8.1. macOS 10.14.6/10.15.7/11.6/12.4 /13 GeForce GT 420+4 GB VRAM	Grasshopper	Görsel Kodlama	Bazı eklentilerle mümkün.	csv, xyz, asc, txt, cgo	Rhino

Şekil 5.7 HBIM uygulamalarında kullanılan yazılımların karşılaştırılması

5.2. TEZ KAPSAMINDA HBIM OBJE KÜTÜPHANESİ OLUŞTURULMASI İÇİN GELİŞTİRİLEN VE ÖNERİLEN YÖNTEMLERİN İNCELENMESİ

Tez kapsamında 5.2.1. ve 5.2.2 bölümlerinde HBIM için parametrik obje kütüphanesi oluşturulması amacıyla Düzce İli, Akçakoca ilçesi Cumhuriyet ve Gönen caddelerinde bulunan tescilli yapıların nokta bulutu verileri (.xyz formatında) Archicad yazılımı içerisinde kullanılmak üzere elde edilmiştir. Elde edilen nokta bulutu verisi çok yüksek bir veri dosyası halindedir. Nokta bulutu dosyası dosya boyutu çok büyük olduğu için mevcut bilgisayarlarla açılmamıştır. Bu HBIM sürecine başlamadan karşılaşılan büyük bir problem olmuştur. Bu problemi aşmak ve HBIM sürecini uygulamak için alanda daha önceden yapılmış olan sokak sağlıklılaştırma çalışmalarındaki 2D rölöve ve restorasyon proje verileri kullanılmıştır. Bu sayısal verilerden yola çıkılarak modelleme aşaması gerçekleştirilmektedir. Ülkemizdeki çok sayıda tarihi yapının 2D geometrik verileri anıtlar kurulunun arşivinde yer almaktadır. HBIM çalışmalarının erişilebilirliğini arttırmak amacıyla donanımsal olarak imkanların, nokta bulutu verileri elde etmek ve nokta bulutu üzerinden çalışmak konusunda yetersiz olduğu durumlarda arşivlerde yer alan 2B projelerden yararlanarak HBIM model üretilabilecektir. Bu şekilde HBIM uygulamalarında yer alan büyük bir zorluğun aşılabileceği düşünülmektedir.

Bu bölümde HBIM kütüphanesi oluşturulması için 2 adet yöntem denemesi ve 1 adet yöntem önerisi bulunmaktadır. İlk yöntemde Sketh-up ve Archicad programları birlikte kullanılmaktadır. Bu yöntemde SketchUp içerisinde hazırlanan modeller Archicad programına alınarak burada obje olarak kaydedilmiş ve kütüphaneye eklenmiştir. Bu örnekte Skech-up programının kullanılmasının amacı arayüzünün oldukça kolay olması, ülkemizde ve dünyada çok sayıda kişi tarafından kullanılıyor olmasıdır. Archicad'ın tercih edilmesinin nedeni de Türkçe olduğu için Revit'e göre kullanımı daha kolay bir BIM yazılımıdır. 5. Bölümde incelenen yöntemlerdeki çok sayıda program ve yazılım yer almaktadır. Bu yöntemlerden bazıları için iyi program bilgisi, bazıları için iyi kodlama bilgisi gerekirken bazı örneklerde ise her ikisine de hâkim olmak gerekmektedir. Yazılım ve kodlama eğitiminin zaman alması, tecrübeli ve bilgili uzman sayısının ülkemizde az olması sebebiyle bu yöntemler zor gelebilmektedir. Şekil 5.8'deki yöntemlerin denenmesinde HBIM kütüphanesinin oluşturulmasının bilinen ve nispeten daha kolay kullanılan yazılımlar ile mümkün olup olmadığının araştırılmıştır.



Şekil 5.8. Tez kapsamında HBIM kütüphanesi oluşturmak için denenen yöntem şeması

5.2.1. Yöntem Denemesi 1

İlk örnekte SketchUp ve Archicad yazılımları birlikte kullanılmıştır. SketchUp programının kullanımının oldukça kolay olması ve çok kişi tarafından tercih ediliyor olması sebebiyle tercih edilmiştir. İlaveten yapılan bir çalışmada SketchUp programının öğrenciler tarafından çok tercih edildiği gösterilmiştir [134]. Fakat SketchUp BIM objesi elde etmek için kendi başına yeterli olmadığı için Archicad BIM yazılımı da kullanılmıştır.

SketchUp son yıllarda kullanımı oldukça artan 3D modelleme yazılımıdır. Öğrenme süreci oldukça hızlı olduğu için genellikle eğitim alanında mimarlıkla yeni tanışan öğrencilerin kullanımı için sıklıkla tercih edilen bir yazılımdır. Üç boyutlu modelleme SketchUp ile birlikte oldukça kolay hazırlanabilir ve oluşturulan modelin her açısı görüntülenebilir [135].

HBIM kütüphanesi için yapı elemanı modellenirken SketchUp programının tercih edilmesinin temel nedenleri program içerisinde modelleme kolaylığı, geniş kitlelerce kullanılması ve verilerin kolaylıkla aktarılabilir olmasıdır. Arayüzünün kullanımının kolay olması sebebiyle hızlı ve etkin bir şekilde 3D model oluşturulabilmektedir. Bu sebeple birçok profesyonel ve amatör kullanıcı arasında veri paylaşımı ve iş birliği rahatlıkla yapılabilmektedir. SketchUp birçok farklı dosya formatını desteklediği için farklı BIM yazılımlarına kolaylıkla veri aktarımı sağlamaktadır. Bu sebeplerle HBIM kütüphanesi oluşturma yöntemleri arasında diğerlerine kıyasla kullanımının daha kolay olduğu SketchUp programı kullanılmıştır.

Akçakoca ilçesi, Cumhuriyet Mahallesi 251 ada 7 parselde bulunan 56 envanter numaralı

ev uygulama çalışması olarak tercih edilmiştir. Bölgenin eski fotoğraflarında sıklıkla görülen ve kayda değer niteliklere sahip bir konut yapısı olarak öne çıkan bu yapı zaman içerisinde özgün niteliklerini kaybetmiştir (Şekil 5.9).



a)

b)

Şekil 5.9. a) 251 ada 7 parseldeki yapının günümüzde çekilmiş hali b) 251 ada 8-7 10 parsellerdeki yapıların 1935-1940'lı yıllarda çekilmiş fotoğrafı

Aynı alanda gerçekleştirilen iki farklı döneme ait sokak sağlıklaştırma çalışmalarında bu yapı özelinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Yapının sokak sağlıklaştırma projesi kapsamında, geçmiş yıllarda çizilen rölöve ve restorasyon çizimleri temel alınarak bir restorasyon projesi önerilmiştir (Şekil 5.10) [136].



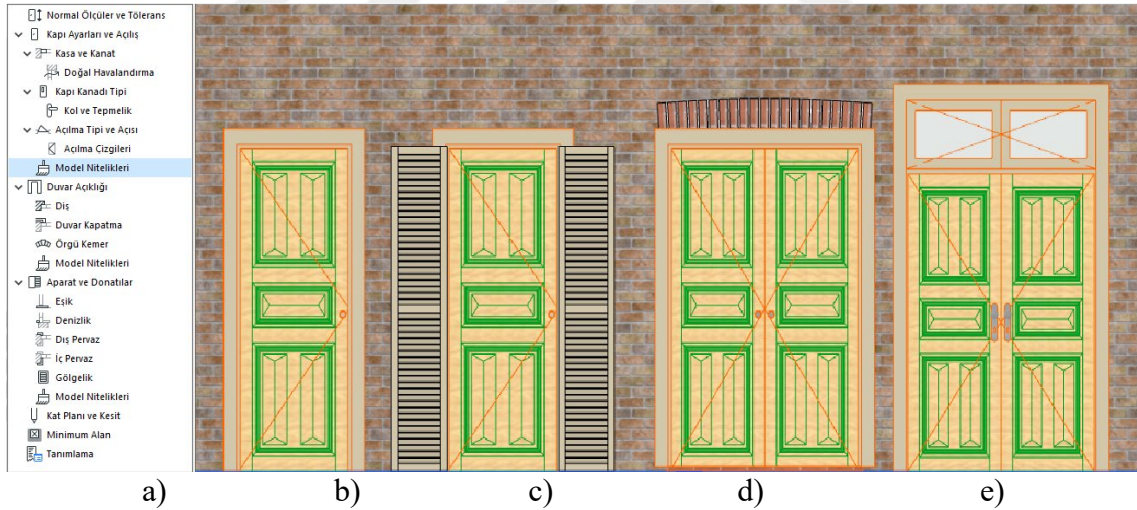
a)

b)

Şekil 5.10. a) Yapının mevcut hali [137], b) Restorasyon Projesi [136]

Yapı hakkında ilk rölöve çizimlerine, ön cephenin ortofotosuna ve DWG formatında 2 boyutlu çizimlere erişim sağlanabilmiştir. Elde edilen veriler SketchUp programına altlık olarak import edilmiştir ve burada kapı ve pencereleri tek tek modellenmiştir. SketchUp modelleri oluşturulduktan sonra, bu modeller Archicad programında BIM objelerinin alt

elemanları olarak tanımlanmıştır. Böylece Archicad içerisinde kapı ve pencere seçeneği altındaki yapı elemanı ayarlarıyla modellere erişmek mümkün olabilmektedir. Kapı kanadıyla ilgili daha detaylı bir açıklama yapılması gerekirse, bir kapı kanadı tek başına BIM programına aktarıldıktan sonra, uygun düzleme yerleştirilerek "kapı kanadı" alt objesi olarak tanımlanır. Bu şekilde kapı ögesinin alt parametrelerine uyum sağlanarak çeşitli varyasyonlara erişmek mümkün olmaktadır. Şekil 5.11’de görüldüğü gibi, en, boy ölçüleri, kol ve tekmelik, açılma çizgileri, malzemeleri (kanat, kasa, kol için ayrı ayrı), kapının duvara yerleşme detayları, örgü kemer, eşik, iç-dış pervaz, panjur (gölgelek), tepelik aydınlatması gibi çeşitli alt elemanlarla farklı kombinasyonlar yaparak yüzlerce farklı kapı tipine kolaylıkla ulaşılabilir [138]. Elde edilen objelere çok çeşitli parametrelerin eklenmesi noktasında kısıtlılıklar ile karşılaşılmasına karşın geleneksel Türk evi kapılarının tipoloji benzerliği göz önünde bulundurulduğunda bu yöntem ile birçok kapı tipine ulaşmak mümkün olmaktadır. Dolayısıyla bazı HBIM uygulamalarında, özellikle tarihi yapıların kapı ve pencere objelerinde, bu yöntemin kullanılabilirliği görülmüştür.



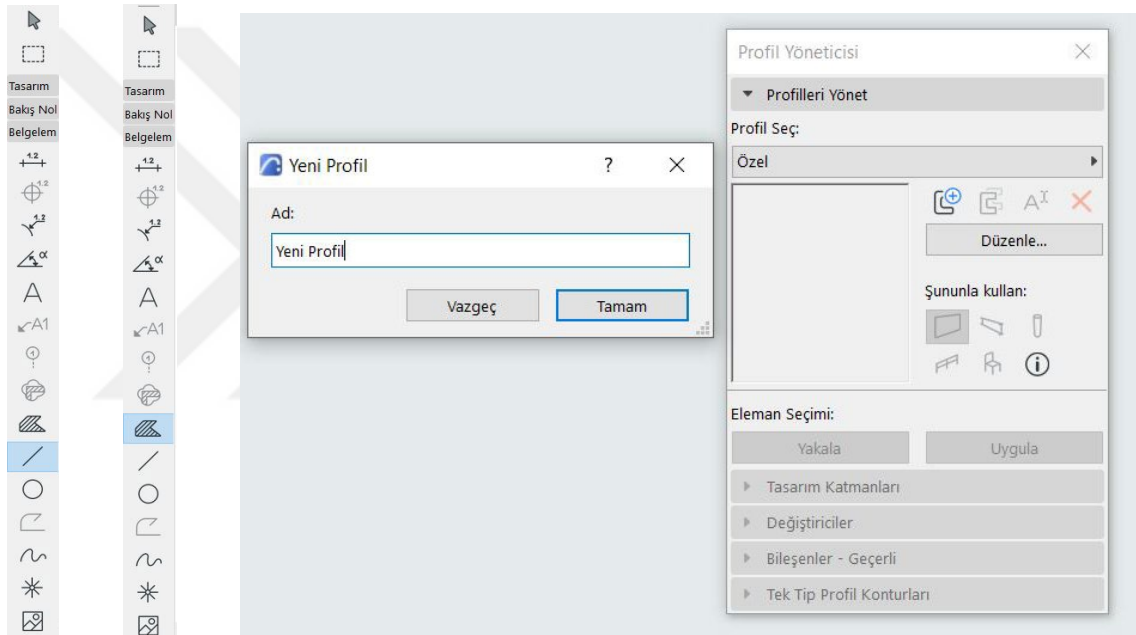
Şekil 5.11 Kapı kanadı alternatiflerinin parametrik obje olarak oluşturulması 7a) Kapı parametreleri, 7b) Tek kanatlı versiyonu 7c) Tek kanatlı, panjurlu versiyon, 7d) Çift kanatlı örgü kemerli versiyonu, 7e) Çift kanatlı, tepelikli versiyonu [138]

5.2.2. Yöntem Denemesi 2

İkinci olarak uygulanan yöntemde Archicad içerisindeki Profil Yöneticisi aracı kullanılmıştır. Bu yöntemin seçilmesinin nedeni genellikle birden fazla yazılım içerisinde gerçekleştirilen HBIM sürecini tek bir BIM yazılımı içerisinde gerçekleştirerek iş akışlarında karşılaştığımız program yoğunluğundan kurtulmaktır. Archicad BIM yazılımının Türkçe versiyonunu yükleme imkanının bulunması ülkemizdeki kullanıcılar

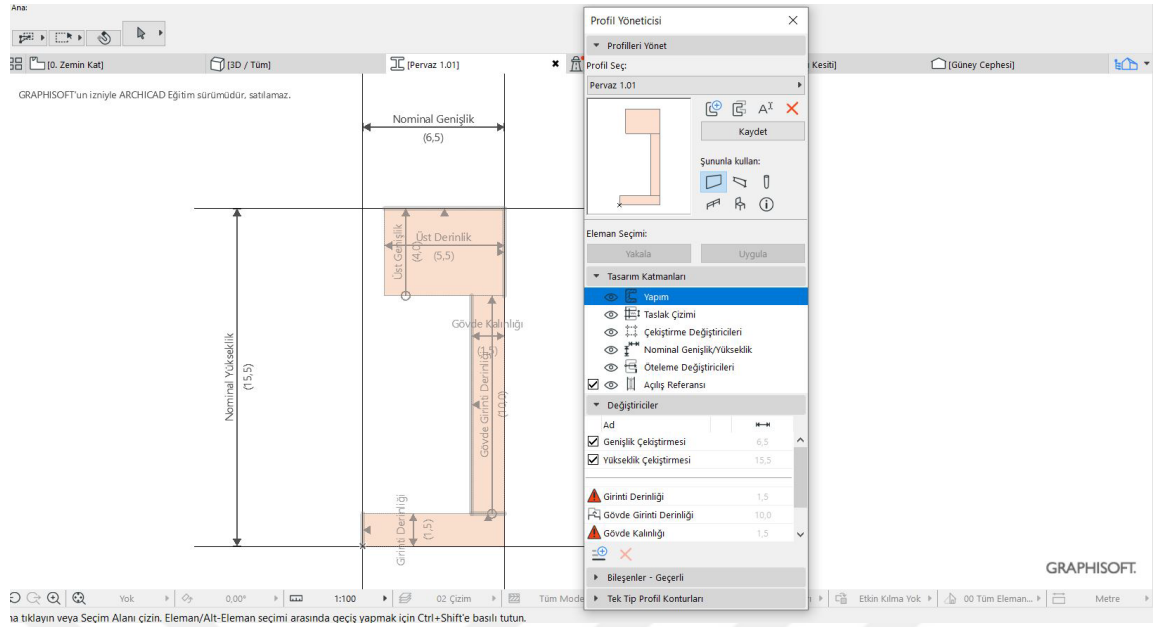
için oldukça avantajdır. İlâveten Profil Yönetici seçeneği ile tarihi yapıların pencere ve kapı gibi elemanların kendilerine özgü kesitleri başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir. Bu yöntemde Akçakoca'daki tescilli yapı pencere tipolojilerinden seçilen iki tip pencerenin denemesi gerçekleştirilmiştir. Pencerelelerin 2D çizimlerinden yararlanarak profil tipleri oluşturulmakta ve ardından seçilen profiller ile pencere kasası belirlenmekte, içine yüzey oluşturarak da cam kısmı tamamlanmaktadır. Burada denenen yöntemin iş akışı aşağıda verilmiştir.

- Archicad içerisinde sırasıyla Seçenekler/Karmaşık Profiller/ Profil Yöneticisine girdikten sonra Yeni Profil seçeneğine tıklayarak profil ismi oluşturulmuştur (Şekil 5.12).



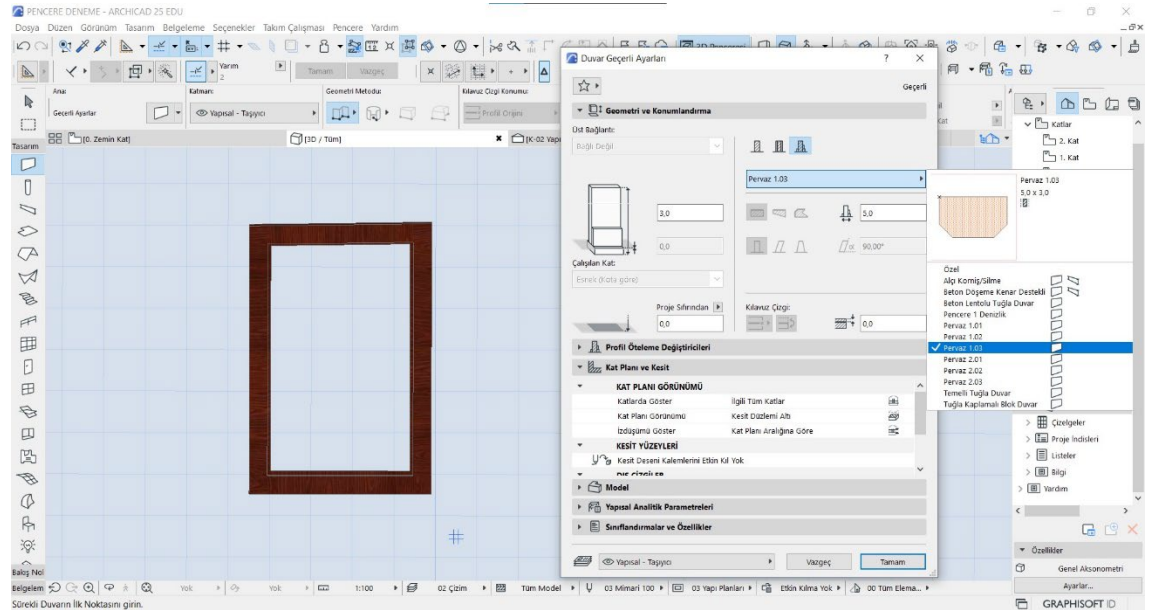
Şekil 5.12. Profil ismi oluşturulması

- Ardından soldaki araç çubuğunda yer alan Belgeleme başlığı altında Çizgi Aracı kullanılarak pencerelerin profil ölçüleri girilerek profil kesit sınırları oluşturulmuştur. Profiller çizildikten sonra soldaki araç çubuğundaki “Desen” aracı seçilerek profilin yüzeyi tanımlanmıştır.
- Oluşturulan profile profil yöneticindeki değiştiriciler kısmından profile özgü ölçülendirmeler oluşturularak profil kaydedilmiştir. Bu işlem penceredeki her bir profil için ayrıca yapılarak her biri isimlendirilmiştir (Şekil 5.13).



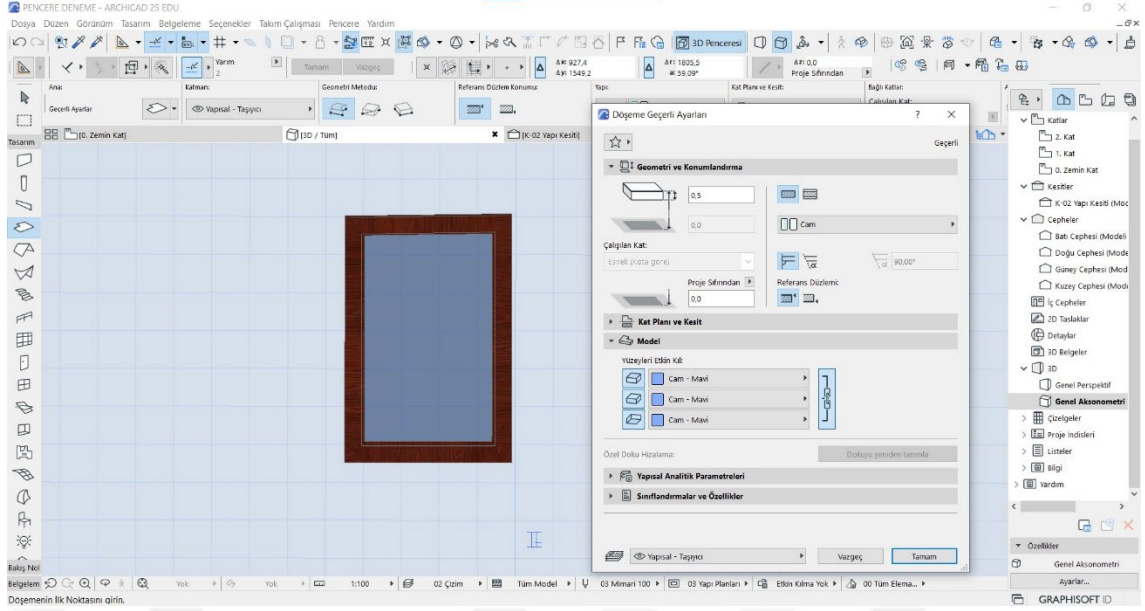
Şekil 5.13. Profil ölçülendirmesinin yapılması

- Duvar aracı seçilerek “geçerli ayarlardan” “geometri ve konumlandırma” başlığı altındaki karmaşık profil seçeneği etkin hale getirilmiştir ve burada daha önceden kaydedilen profil seçilerek tescilli yapıdaki pencere ölçülerine uygun olarak pencere kasası oluşturulmuştur. Bu şekilde tüm kayıtların ayrı ayrı oluşturulmuş olan profilleri seçilerek pencere nesnesinin çerçevesi miras yapısına uygun olarak oluşturulmuştur (Şekil 5.14).



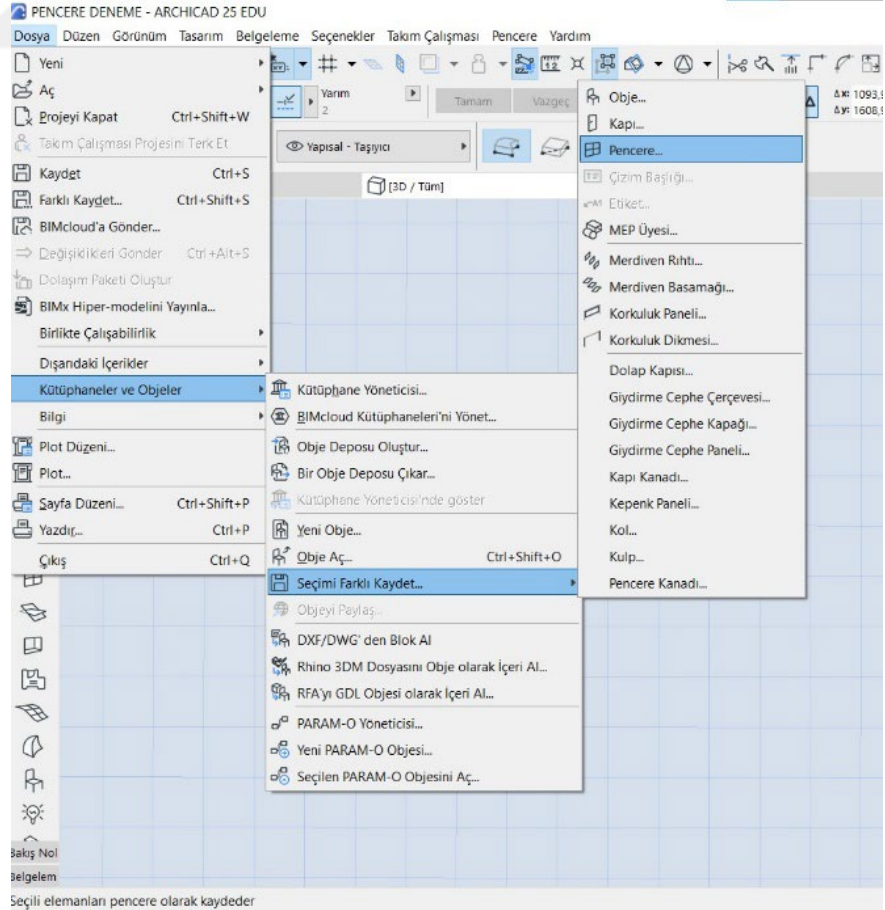
Şekil 5.14. Pencere kasasının oluşturulması

- Çerçevesi oluşturulan pencerenin döşeme sekmesinden alanı, kesit kalınlığı belirlenerek ve malzemeleri atanarak camı eklenmiştir (Şekil 5.15).



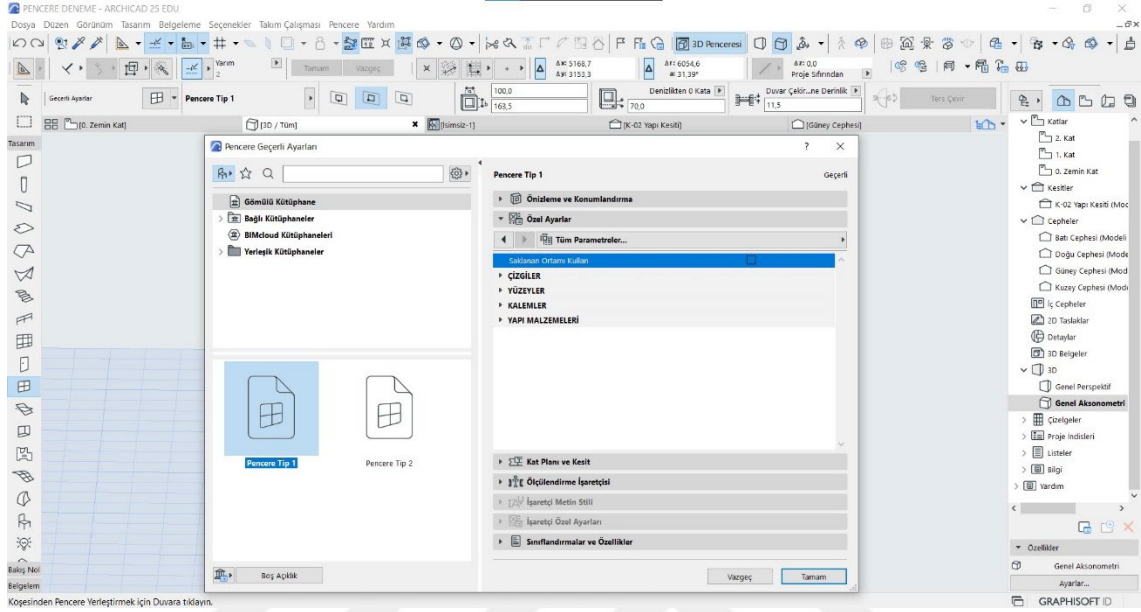
Şekil 5.15. Pencere içine cam yerleştirilmesi

- Tescilli yapıya uygun olarak modeli tamamlanan parametrik pencere nesnesini kütüphaneye kaydetmek için pencereyi seçip dosya-kütüphaneler ve objeler-seçimi farklı kaydet-pencere sekmelerine sırasıyla basarak açılan klasöre uygun isim verip nesnenin kütüphaneye kaydı yapılmıştır (Şekil 5.16).

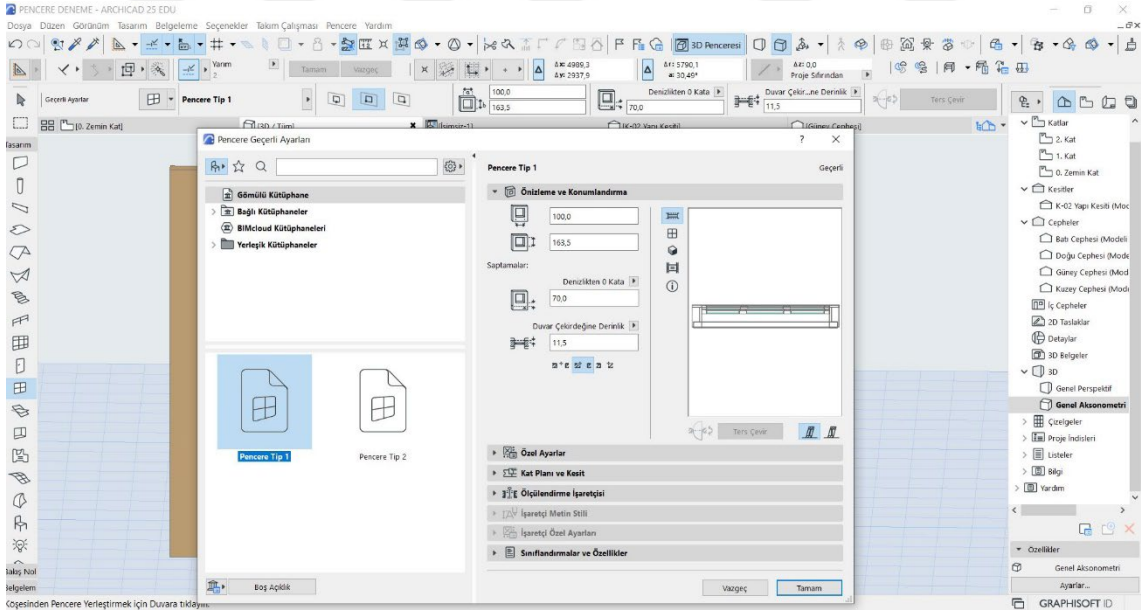


Şekil 5.16. Pencerenin kütüphane içerisine kaydının yapılması

- Kütüphaneye eklenen pencere çizilen duvarın üzerine eklenmesi için pencereyi seçip geçerli ayarlardan gömülü kütüphaneden isimlendirilen nesne seçilerek duvar üzerine eklenmiştir (Şekil 5.17, Şekil 5.18).



Şekil 5.17. Kütüphane içerisinden pencere objesinin seçilmesi

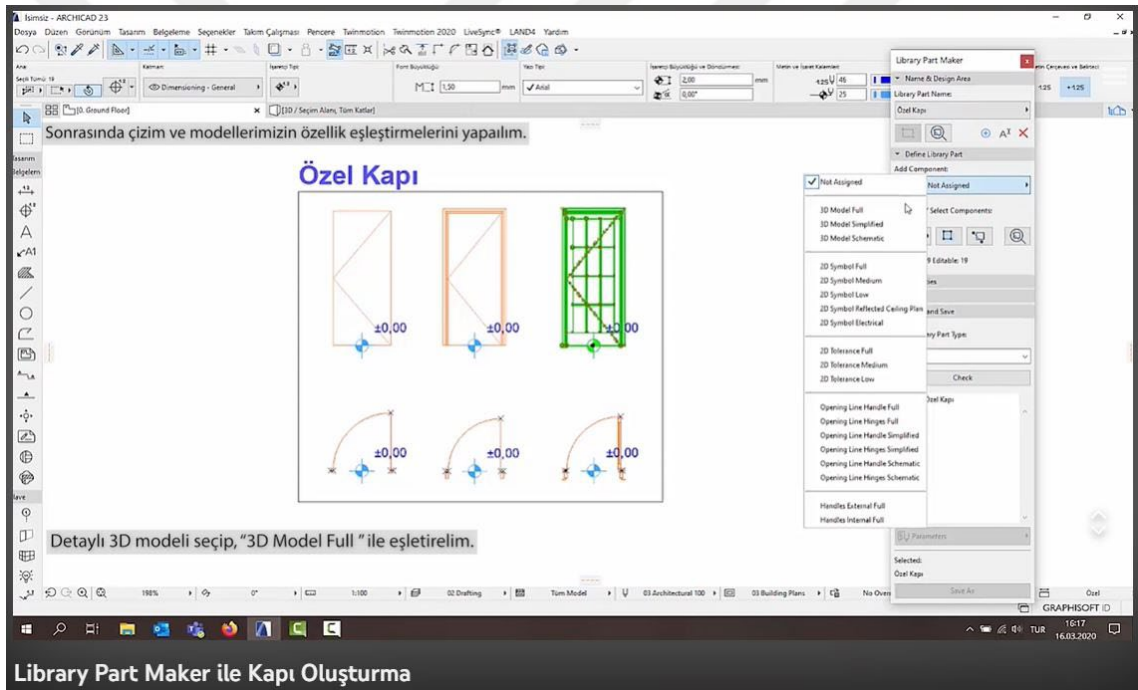


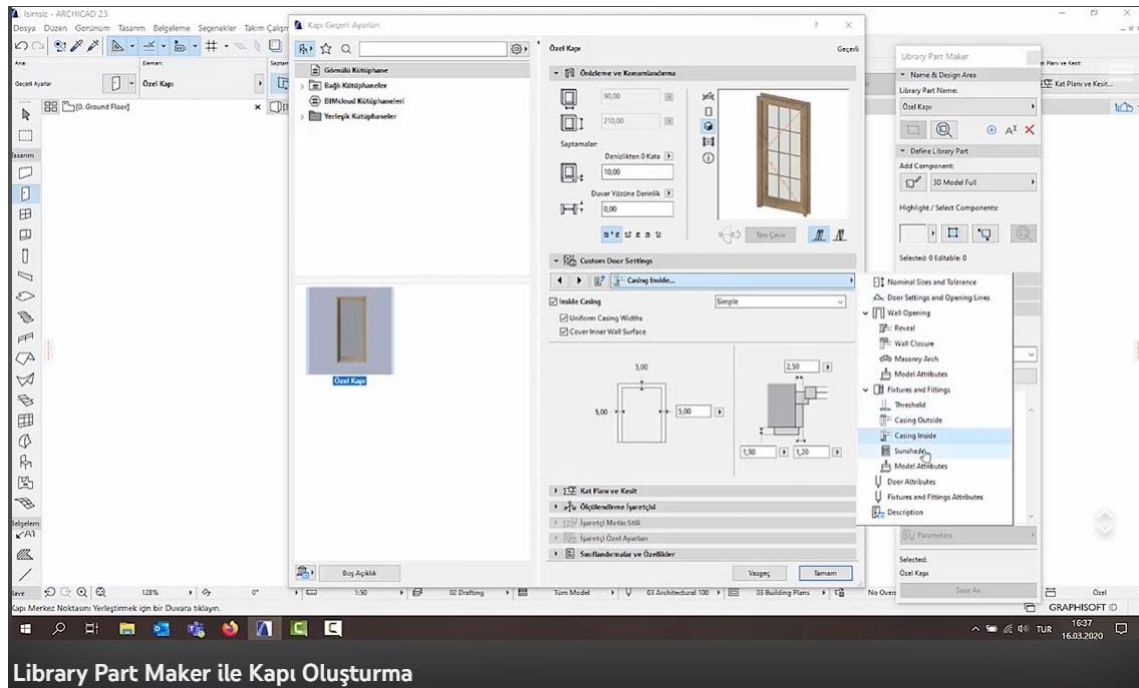
Şekil 5.18. Pencere objesinin çeşitli ayarları

- Şekil 5.19’da Archicad içerisinde profil yöneticisi yöntemiyle elde edilen pencere nesnelere gösterilmektedir. Şekil 5.20’de ise pencerelerin sokak sağıklaştırma çalışması için hazırlanan restorasyon çizimleri bulunmaktadır.

tanımlayabilmesi adına olumludur. Archicad 25'in Türkiye versiyonu için Library Part Maker eklentisinin Graphisoft' un sitesinde sadece lisanslı kullanıcılar için tanımlanmış olması sebebiyle bu yöntem fiilen denenememiştir. Ayrıca, eklentiyle ilgili yapılan uygulama videolarından, nesne üzerine daha fazla parametrenin tanımlanabildiği görülmektedir.

Şekil 5.21' de özel bir kapı nesnesinin kütüphaneye eklenmesi gösterilmektedir. Kapıya ait modelin farklı ölçeklere göre detay seviyesi değişkenlik gösteren 3 farklı aşamada modellenmesi yapılmıştır. Bu modeller Library Part Maker eklentisi kullanılarak üretilmiştir. Sonrasında program içinde diğer pencerelerle uyumlu bir şekilde kullanılabilir ve pencere seçimindeki parametreler değiştirilebilir hale getirilmiştir (Şekil 5.22).





Şekil 5.22. Library Part Maker ile üretilen kapı objesi [139]

5.3. HBİM UYGULAMALARININ TARİHİ YAPILARDA KULLANIMLARININ YARARLARI VE SORUNLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.3.1. HBIM Kullanımının Yararları

BIM metodu, bir yapının üç boyutlu geometrik modelinin görselleştirilmesini sağlar ve aynı zamanda projeye ilişkin tüm bilgilerin üretilmesine, güncellenmesine ve yeniden kullanılmasına önemli katkılar sunar [140]. Bu yöntem, binanın yapısal öğelerini, mekanlarını ve ilişkilerini ayrıntılı olarak temsil ederken, aynı zamanda malzemelerin, ekipmanların, sistemlerin ve bileşenlerin bilgilerini içerir. BIM metodu, proje paydaşları arasında etkileşimi artırır, iletişimi güçlendirir ve projenin kalitesini artırarak daha verimli, doğru ve sürdürülebilir bir yapı oluşturulmasına katkı sağlar.

Miras yönetimi ve restorasyonunda farklı paydaşların dahil olduğu bilgi yönetim sürecinde HBIM teorik olarak birçok veriyi aynı anda barındıran ve paydaşlar tarafından erişilebilen bir platform sunar [77]. Bu platform, mimarlar, mühendisler, restorasyon uzmanları ve diğer paydaşlar arasında veri entegrasyonunu ve iş birliğini artırmaktadır. Yapıyla ilgili bilgiler, tarihi belgeler, malzeme özellikleri, restorasyon süreçleri ve diğer önemli detaylar tek bir merkezi yerde toplanmakta ve herkes tarafından erişilebilir hale gelmektedir. Paydaşlar arasında yüksek seviyede entegrasyon ve işbirliği sağlanır [59]. Bu sayede, tutarsızlık ve iletişim sorunları azalırken, proje yönetimi daha etkin bir şekilde

gerçekleştirmektedir.

Lazer tarama ve fotogrametri yöntemleri ile geleneksel yöntemlerin yetersiz kaldığı karmaşık yapıların verilerine doğru bir şekilde erişilmesini sağlamaktadır [55]. Bu modern teknikler sayesinde, yapı bileşenlerinin ve dekoratif öğelerin yüksek düzeyde geometrik detayları hassas bir şekilde elde edilmektedir. Bu detaylı veriler, yapıların ince ayrıntılarını, şekillerini ve ölçülerini yakalamada büyük bir avantaj sağlamaktadır. Böylece, yapıların tam bir rölövesi oluşturulurken, restorasyon, konservasyon veya diğer miras yönetimi çalışmalarında doğru kararlar almak için önemli bir temel sağlanmaktadır. Lazer tarama ve fotogrametri yöntemleri, kompleks öğelere sahip miras yapıların analizi ve dokümantasyonu için günümüzde vazgeçilmez araçlar olarak kullanılmaktadır.

HBIM modeli ile birlikte miras yapısının sahip olduğu farklı tarihlerdeki inşaat aşamaları farklı veri katmanları şeklinde arşivlenebilmektedir. Bu şekilde hiyerarşik ve kronolojik olarak bilgi dizilerini içeren parametreler model ile birleştirilebilmektedir [141]. Bu yöntemle, yapının farklı tarihlerdeki yapısal değişikliklerini, restorasyon süreçlerini ve diğer önemli aşamalarını detaylı bir şekilde belgelemek mümkün hale gelmektedir. HBIM, miras yapısının geçmişine ilişkin zengin bir veri tabanı oluşturarak, yapının tarihsel evrimini anlamak, doğru kararlar almak ve gelecekteki müdahaleler için kıymetli bir kaynak sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

HBIM, miras yapılarının korunması ve restorasyonu sürecinde bilgi yönetimi ve analizini sağlayan bir yöntemdir. HBIM modelleri, yapı hakkında kapsamlı ve anlamlı bilgiler içerir ve bu bilgilerin entegrasyonu ve çakışma tespiti işlemleri, projenin doğruluğunu artırırken, yeniden çalışma süresini ve dolayısıyla miras için planlanan müdahalelerin maliyetlerini azaltma potansiyeline sahiptir [142].

5.3.2. HBIM Kullanımında Karşılaşılan Sorunlar

Miras yapıları karmaşık ve özel mimari unsurların bir araya geldiği yapılar olarak bilinir [97][47]. Ancak BIM gibi yeni tasarlanan yapılar için nesne odaklı bir yaklaşımın miras yapılarına uygulanması bazı zorluklar doğurmaktadır [98]. Çoğunlukla geleneksel ve el işçiliği ile oluşturulmuş detaylara sahip olan, zaman içerisinde geçirdiği değişikliklerle evrim geçiren ve bazen bir kısmını savaş, deprem gibi sebeplerle yitiren miras yapılarının BIM sürecine entegrasyonunda titizlikle ilerlenmesi, yapıya ait biricik özelliklerin en doğru şekilde temsil edilmesi gerekmektedir.

Mevcut BIM yazılımları, özgün ve karmaşık miras yapılarının geometrilerini tam olarak

ifade etmekte yetersiz kalabilmekte ve genellikle sadece basit geometrilerin ifadesine izin vermektedir. Bu durum yapıya ait geometrik verilerin ayrıntı düzeyi ve doğruluk seviyesi hususunda problemlere yol açmaktadır [143]. Geleneksel yöntemler ile oluşturulan karmaşık ve detaylı miras yapıları daha fazla ayrıntı ve doğruluk gerektirir ancak mevcut BIM yazılımları bu kompleks yapıların tam potansiyelini yansıtmada konusunda sınırlamalara sahiptir. Geometrik sapmalar, veri eksiklikleri, yetersiz ayrıntılar gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir.

Elde edilen tarama verilerinden (nokta bulutu) doğrudan parametrik nesneler elde etmek henüz mümkün değildir. Hala yarı otomatik yollarla ve manuel olarak 3D modelleme işlemi yapılmaktadır [38][69][102]. Tarama verileri, 3D modelleme araçları ve bazı özel yazılımlar kullanılarak analiz edilmekte, el ile düzenlenmekte ve ayıklanmaktadır. Ardından nokta bulutunun geometrisi dikkate alınarak manuel olarak modellenmektedir. Gelişen teknoloji ve bu alandaki çalışmaların artmasıyla birlikte gelecekte nokta bulutundan doğrudan parametrik nesne elde etme sürecinin daha otomatik hale gelmesi beklenmektedir.

Yüksek tanımlı nokta bulutu verilerini büyük dosya boyutu oluşturmada sebebiyle Revit Archicad gibi programların içerisinde çalışmaya uygun olmamaktadır. Bu sebeple verinin daha kullanışlı hale getirilmesi için yalınlaştırılması gerekmektedir [125]. Yalınlaştırma süreci, nokta bulutu verilerinde gereksiz noktaların çıkarılması ve ayrıntı seviyesinin azaltılması ile yapılmaktadır. Daha optimize edilmiş nokta bulutu tarama verileri BIM programlarında daha verimli çalışmaktadır.

Tarihi binalar hakkındaki bilgi eksikliği HBIM çalışmalarında önemli bir kısıt oluşturur [141]. Tarihi binalar genellikle zaman içinde değişikliklere uğramakta ve belgeleri eksik olabilmektedir, bu da HBIM modellemesini zorlaştıran önemli unsurlardan bir tanesidir. Eksik belgeler, bina özelliklerinin ve geçmişinin tam olarak anlaşılmasını engellemektedir.

Miras yapılarının geometrisinin en doğru şekilde temsil edilmesi ve inşaat tekniklerinin çözülmesi için en yaygın kullanılan BIM yazılımlarındaki (Revit, Archicad, İdecad) parametrik nesne kütüphaneleri oldukça sınırlıdır. BIM ve HBIM arasındaki en büyük fark belirli parametrik nesnelerin oluşturulma ihtiyacıdır [144]. Miras yapılarının özgün ve karmaşık özelliklerini tam olarak yansıtabilmek için özel parametrik nesneler oluşturulması gerekmektedir ancak mevcut BIM yazılımlarındaki kısıtlamalarla bu süreç

zor olmaktadır.

Tarihi yapılarla ilgili çalışmalarda karşılaşılan önemli zorluklardan biri koruma uygulamalarının karmaşık olmasıdır [141]. Miras yapılarının korunmasında genellikle detaylı ve özelleşmiş yaklaşımlar gerekmektedir. Bu durumla birlikte mevcut BIM uygulamalarının sınırlılıkları ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra miras yapıları hakkında tarihi belgelerinde ve kaynaklarda eksik, belirsiz veya doğrulanmamış bilgilerin bulunması sebebiyle doğru modelleme ve analiz yapmak zorlaşmaktadır [141].



6. SONUÇLAR

Mevcut BIM yazılımları içerisindeki obje kütüphaneleri genellikle modern tasarımlar için kullanılan objeler olarak tasarlandığından dolayı tarihi yapıların dönemine, inşaat tekniğine, malzemesine ve yapıldığı bölgeye göre çeşitlilik gösteren mimari elemanları ile uyumlu değildir. Bu sebeple HBIM' in BIM model üretme aşamasında mevcut kütüphane nesnelerinin kullanılması pek mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla tarihi yapılar için dönemine uygun olarak parametrik özelliklere sahip elemanlar ile yeni bir obje kütüphanesi oluşturma gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu bölümde HBIM uygulamaları ve parametrik obje kütüphaneleri kullanımının getireceği avantajlar, kullanılan sistemlerin kısıtları ve bu çerçevede ortaya konan öneriler ilgili başlıklar altında belirtilmiştir.

6.1. AVANTAJLAR

Parametrik obje kütüphaneleri mimari üslup olarak benzerlik gösteren elemanlara sahip yapıların modellenmesi konusunda kolaylık sağlamaktadır. Elde edilen tek bir parametrik obje ile çok sayıda yapının mimari ögesine ulaşmak mümkün olabilmektedir.

Parametrik obje kütüphaneleri, model üretme sürecini hızlandırarak daha verimli bir şekilde tamamlanmasını sağlar. Kullanıcılar, bu kütüphaneler aracılığıyla hazır ve özelleştirilebilir nesneleri kolaylıkla kullanabilir, böylece yapı elemanlarının modelleme süresi kısaltılabilir ve zaman tasarrufu sağlanabilir.

Parametrik obje kütüphanelerini üretmek ve açık kaynak olarak paylaşmak, modelleme sürecini kullanıcılar için daha kolay hale getirmektedir. Bu şekilde, kullanıcılar geniş bir nesne koleksiyonuna erişmekte ve bu kütüphane içindeki objeleri kullanarak daha verimli ve etkin modeller oluşturabilmektedirler.

Bir elemanı yüksek LOG seviyesine sahip olarak modellemek zaman alır ve detaylı bir çalışma gerektirir. Ancak, yüksek LOG seviyesine sahip parametrik obje kütüphaneleri oluşturulması sayesinde bu süreci her yapı için tekrarlamak zorunda kalmadan, kütüphaneden en uygun objeyi seçerek ve parametreleri değiştirerek gerçeğe yakın bir görsel obje elde etmek mümkündür. Yazılımlara ve parametrelere hâkim olan kullanıcıların ise tam olarak istenen objeye ulaşması mümkündür. Bu durumda

kullanıcının yetkinliği, tarihi yapı bilgisi, özen ve sabrı da çıkacak olan sonuç ürüne etki edecek önemli faktörler arasındadır.

Yüksek detay seviyesine sahip kütüphane objeleriyle oluşturulan HBIM modelleri, birçok analiz için kullanılabilir. Bu modeller sayesinde daha doğru ve gerçekçi analiz sonuçları elde edilebilir ve tarihi yapının yönetimi açısından daha doğru kararlar verilmesine katkı sağlanır. Bu şekilde hem analizlerin doğruluğu artar hem de miras yapıların etkili yönetimi sağlanmış olur.

Parametrik obje kütüphanelerinin üretilmesi ve açık kaynaklı olarak paylaşılması ile birlikte modelleme süreci, BIM yazılımı içerisinde kütüphanedeki ihtiyaç duyulan en yakın objenin uygun ölçeğe ve biçime getirilerek kullanılması sayesinde pratikleşmektedir.

Tarihi alanların oyunlaştırılması, kültürel mirasın korunması, tanıtılması ve gelecek nesillere aktarılması için etkili bir yol olarak kabul edilmektedir. Oyunlar, tarihi ve kültürel mirasın önemini vurgulayarak, daha geniş bir kitleye ulaşmasını sağlar ve kültürel mirasa olan ilgiyi artırır [145]. Bu bağlamda parametrik nesne kütüphanelerinin geliştirilmesi ile tarihi alanların oyunlaştırılması süreci de kolaylaşacaktır.

HBIM, kültürel miras yapılarımızı tehditlere karşı koruma konusunda önemli kolaylıklar sunar. HBIM sayesinde, bu yapıları dijital ortamda arşivlemek ve tamamen kaybolmalarını önlemek mümkündür. Bu nedenle, HBIM uygulamalarının yaygınlaşması için süreci kolaylaştıran yeniliklere ihtiyaç vardır. Modelleme aşaması, bu çalışmalarda en çok zaman ve emek gerektiren adımdır. Parametrik HBIM kütüphaneleri bu süreci kolaylaştırmakta ve kullanıcıları teşvik etmektedir. Parametrik kütüphanenin geliştirilmesi, ülkemizde de HBIM uygulamalarının yaygınlaşmasına ve böylece kültürel miraslarımızın korunarak gelecek nesillere aktarılmasına büyük bir katkı sağlayacaktır.

Bulgular kısmında Şekil 5.7.'de hazırlanan tabloda ilk defa HBIM uygulaması yapacak olan firma veya uzmanların seçecekleri yazılımı belirlerken dikkat edecekleri maliyet, donanım gerekliliği, ara yüz dilleri, nokta bulutu ile çalışabilme, parametrik modelleme araçları, algoritmik modelleme yeteneği gibi başlıklar ile özelliklerine yer verilmiştir. Tabloda elde edilen sonuca göre her yazılımın birbirine göre farklı avantajları yer almaktadır. Kullanıcıların ellerindeki donanım imkanlarına, maliyet durumlarına, yazılım uzmanlıklarına göre tercih yapması gerekliliği görülmüştür. Hazırlanan tablo ile ilk defa uygulama yapacak kişiler hangi yazılımı tercih edeceklerine daha kolay karar

verebileceklerdir. Kullanıcıların farklı isteklerine hitap edebilen yazılımların bulunması HBIM uygulamalarının daha çok kişi tarafından uygulanmasını kolaylaştıran bir unsur olmaktadır.

6.2. KISITLILIKLAR

HBIM, hala yeni ve güncel bir konu olması nedeniyle tamamen otomatik ve ortak bir iş akışı henüz belirlenememiştir. Bu alanda süren çalışmalar ve araştırmalar, her bir yapı için farklı iş akışlarının uygulanmasına yönelik olmuştur. Bu durum, kullanıcıların yazılım bilgisi, donanım yetkinlikleri, çalışılan miras yapısının mimari özellikleri ve HBIM uygulamasının amacına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bunun yanı sıra, BIM yazılımlarının ötesinde diğer yazılım ve programlara da hâkim olunması gerekmektedir. Gözlemlenen bu çeşitlilik HBIM uygulamalarını zorlaştırmakta ve tarihi yapılar üzerinde çalışanların HBIM konusundaki adaptasyonlarını geciktirmektedir.

Tez kapsamında HBIM kütüphanesi oluşturmak amacıyla geliştirilen ve uygulanan yöntemler için Akçakoca'nın Cumhuriyet Mahallesindeki tescilli yapıların pencere ve kapılarından biri seçilmiştir. Geleneksel Türk Evlerinde pencere ve kapı tipolojilerinde benzerliklere sıklıkla rastlanmaktadır. Dolayısıyla bu bölgedeki yapıların kapı ve pencerelerinin parametrik HBIM kütüphanesi oluşturulması ile Anadolu'nun farklı bir bölgesindeki Türk Evleri için dönemine, üslubuna, envanterine uygun olarak HBIM kütüphaneleri elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla uygulanan yöntemlerden ilkinde geleneksel Türk evlerinin kapı tipolojileri düşünüldüğünde yeterli parametrik çeşitlilik sağlanırken, ikinci denenen yöntemde sınırlı parametrik yetenek eklenebilmiş olup kodlama eklentileri ile daha parametrik objeler üretilmesi mümkün görülmektedir. Sonuç olarak parametrik obje elde etmek ve HBIM modeli üretmek için kod yazma bilgisine sahip olunması gerekliliği açık bir şekilde görülmektedir.

En sık tercih edilen BIM yazılımı sırasıyla Revit, Freecad, Archicad olmuştur. Süresiz lisans maliyeti diğer yazılımların yıllık lisans maliyetlerinden çok daha düşük olan İdecad yazılımına hiç rastlanmamıştır. Yapılan incelemelerde BIM yazılımı olan İdecad'ın kabiliyetlerinin Kültürel miras çalışan akademik ve sektörel paydaşlar tarafından yeterince bilinmemesine bağlı olduğu kanaatine erişilmiştir.

6.3. ÖNERİLER

HBIM uygulamalarında parametrik nesne kütüphanesi oluşturulması oranının çok düşük olduğu görülmektedir. Bu oran HBIM uygulamaları açısından kütüphane üretiminin ve kullanımının avantajları göz önünde bulundurulduğunda yetersiz görülmüştür. Yeni yapılan çalışmalarda parametrik objelerin üretilerek açık kaynaklı kütüphane verisi olarak paylaşılması HBIM' in modelleme sürecini oldukça kolaylaştıracaktır ve buna bağlı olarak HBIM çalışmalarını arttıracaktır.

Kültürel Miras alanları için artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) tarihi alanların ve yapıların daha iyi anlaşılmasına ve gelecek nesillere daha iyi aktarılmasına katkıda bulunan ilgi çekici ve önemli bir konudur [146][147]. Böylece toplumun tarihsel bilgi ve bilincinin artmasına katkıda bulunur. Şekil 5.4'te yapılan analizde tarihi yapılarda genişletilmiş gerçeklik uygulamalarının çok düşük olduğu görülmüştür. Yüksek geometrik ve semantik detay seviyesine sahip parametrik obje kütüphanesi ile AR ve VR uygulamaları için gereken yüksek detaylı modelleme aşaması daha kolay yapılabilecektir.

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da görüldüğü üzere HBIM uygulamalarında görsel programlama dilleri (VPL) olarak bilinen Dynamo, Grasshopper yazılımları kullanıldığı görülmüştür. Mimarlık eğitim sistemi, Bilgisayar Destekli Tasarım programlarının entegrasyonu konusunda ancak yakın zamanda adımlar atmaya başlamıştır. Bu sebeple mimarlık öğrencileri genellikle BIM yazılımları ve algoritma konusunda yeteri kadar bilgi ve deneyim kazanamamaktadır. Bu yazılımlar ve algoritma dersleri, mimarlık eğitiminin bir parçası olmadığı için mimarlar çalışma hayatlarında kodlama ve görselleştirme becerilerinde zayıf kalmaktadır. Bu nedenle, mimarlık müfredatına görsel programlama dilleri ve temel algoritma derslerinin eklenmesi, gelecekteki bilgisayar destekli tasarım çalışmalar için daha verimli bir ortam sağlayacaktır. Aynı şekilde bu eğitimlerin öğrenci müfredatlarına katılmasıyla birlikte HBIM uygulamalarında da önemli bir altyapı oluşturacaktır.

Rölöve ve Anıtlar Kurulu'ndaki arşivleme yöntemlerinin dijitalleştirilmesi, bilginin sürekliliğini sağlama ve daha kolay izlenebilir hale getirme konusunda kritik bir adımdır. Bu dijital dönüşüm, arşivleme sürecine önemli katkılarda bulunarak bilginin korunmasını ve kontrol edilebilirliğini artırır. Rölöve ve Anıtlar Kurulu'nun dijital dokümantasyon sürecinde yerli tarihi yapı bilgi modeli parametrik nesne kütüphane verilerini oluşturması çok önemlidir. Kurum ve teknik uzmanlar arasındaki ilişkiyi yöneterek restoratörler,

mimarlar ve akademisyenler gibi ilgili uzmanlara kaynak paylaşımı yapması ülkemizde bu konudaki çalışmaların önünü açacaktır.

Gelecek çalışmalarda Türk evinin farklı bölgelerdeki klasik detayları sınıflanarak, parametrik olarak modellenmesi sonucu pek çok sivil mimarlık örneği hızlı bir şekilde modellenmesi mümkün gözükmemektedir. Sivil Mimarlık örneklerinin HBIM kütüphanesinde tanımlanmasından farklı olarak dini, anıtsal mimari miras öğeleri için de oluşturulması, hızlı ve doğru BIM teknolojisine aktarımı için önemli bir adımdır.



7. KAYNAKLAR

- [1] J. E. Nieto-Julián, D. Antón, and J. J. Moyano, “Implementation and management of structural deformations into historic building information models,” *Int. J. Archit. Herit.*, vol. 14, no. 9, pp. 1384–1397, 2020.
- [2] N. T. Coşgun, H. F. Çügen, and S. A. Selçuk, “A bibliometric analysis on heritage building information modeling (HBIM) tools,” *ATA Plan. ve Tasarım Derg.*, vol. 5, no. 2, pp. 61–80, 2021.
- [3] C. Dore and M. Murphy, “Current state of the art historic building information modelling,” in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, Aug. 2017, vol. 42, no. 2W5, pp. 185–192, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-185-2017.
- [4] H. Rua and A. Gil, “Automation in heritage—Parametric and associative design strategies to model inaccessible monuments: The case-study of eighteenth-century Lisbon Águas Livres Aqueduct,” *Digit. Appl. Archaeol. Cult. Herit.*, vol. 1, no. 3–4, pp. 82–91, 2014.
- [5] V. Bagnolo, R. Argiolas, and A. Cuccu, “Digital survey and algorithmic modeling in HBIM. Towards a library of complex construction elements,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 42, pp. 25–31, 2019.
- [6] A. Scianna, G. F. Gaglio, and M. La Guardia, “HBIM data management in historical and archaeological buildings,” *Archeol. e Calc.*, vol. 31, no. 1, pp. 231–252, 2020.
- [7] B. Scala, A. Adami, and A. Spezzoni, “Modelling and accuracy in a BIM environment for planned conservation: The apartment of Troia of Giulio Romano,” in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3, 2017 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece, 2017*, pp. 17–23.
- [8] E. Abbate, S. Invernizzi, and A. Spanò, “HBIM parametric modelling from

- clouds to perform structural analyses based on finite elements: A case study on a parabolic concrete vault,” *Appl. Geomatics*, vol. 14, no. Suppl 1, pp. 79–96, 2022.
- [9] K. E. Bakır, “YBM (BIM) Platformlarının Mimari Tasarım Süreci İle İlişkilerinin Tespiti: Antalya Örneği,” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2020.
- [10] S. Azhar, M. Khalfan, and T. Maqsood, “Building information modeling (BIM): Now and beyond,” *Australas. J. Constr. Econ. Build.*, vol. 12, no. 4, pp. 15–28, 2012, doi: 10.5130/ajceb.v12i4.3032.
- [11] S. Azhar, “Building Information Modelling (BIM): Trends, Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry, Leadership and Management in Engineering,” *Leadersh. Manag. Eng.*, vol. 11, no. Bazjanac 2006, 2011.
- [12] C. S. Balaban, “Yapı Bilgi Modellemesi Teknolojisinin Metro Projelerindeki Mimari Tasarım Bileşenlerine Etkisinin Değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Beykent Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2020.
- [13] B. Ilhan and H. Yaman, “BIM ve Sürdürülebilir Yapım Bütünleşme: IFC–Tabanlı Bir Model Öneri,” *MEGARON / Yıldız Tech. Univ. Fac. Archit. E-Journal*, vol. 10, no. 3, pp. 440–448, 2015, doi: 10.5505/megaron.2015.09719.
- [14] Y. Wang, X. Wang, J. Wang, P. Yung, and G. Jun, “Engagement of facilities management in design stage through BIM: Framework and a case study,” *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2013, no. 30836, 2013, doi: 10.1155/2013/189105.
- [15] A. Grilo and R. Jardim-Goncalves, “Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments,” *Autom. Constr.*, vol. 19, no. 5, pp. 522–530, 2010, doi: 10.1016/j.autcon.2009.11.003.
- [16] A. Z. Sampaio, A. M. Pinto, A. M. Gomes, and A. Sanchez-Lite, “Generation of an HBIM Library regarding a Palace of the 19th Century in Lisbon,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 15, p. 7020, 2021.
- [17] BIMForum, *Level of Development (LOD) Specification - Part I Commentary*, no. April. 2019.
- [18] B. Succar, “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders,” *Autom. Constr.*, vol. 18, no. 3, pp. 357–

- 375, 2009, doi: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.
- [19] N. H. Ham, K. M. Min, J. H. Kim, Y. S. Lee, and J. J. Kim, “A study on application of BIM(Building Information Modeling) to Pre-design in construction project,” *Proc. - 3rd Int. Conf. Conver. Hybrid Inf. Technol. ICCIT 2008*, vol. 1, pp. 42–49, 2008, doi: 10.1109/ICCIT.2008.190.
 - [20] L. Forbes and S. Ahmed, *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*. 2010.
 - [21] M. König, C. Koch, and J. Beetz, *Building Information Modeling : Why ? What ? How ?* 2018.
 - [22] R. B. Akbay, “Türk inşaat sektöründe yapı bilgi modellemesinin şantiyede kullanimina yönelik bir inceleme,” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2021.
 - [23] Y. He, M. A. Schnabel, R. Chen, and N. Wang, “A Comprehensive Application of BIM Modelling for Semi-underground Public Architecture: A Study for Tiantian Square Complex , Wuhan , China,” *Futur. Trajectories Comput. Des. 17th Int. Conf. CAADfutures*, pp. 297–308, 2017.
 - [24] M. Nourbakhsh, R. Mohamad Zin, J. Irizarry, S. Zolfagharian, and M. Gheisari, “Mobile application prototype for on site information management in construction industry,” *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 19, no. 5, pp. 474–494, 2012, doi: 10.1108/09699981211259577.
 - [25] O. Koseoglu and E. T. Nurtan-Gunes, “Mobile BIM implementation and lean interaction on construction site: A case study of a complex airport project,” *Eng. Constr. Archit. Manag.*, 2018.
 - [26] R. Deutsch, *BIM and integrated design: strategies for architectural practice*. John Wiley & Sons, 2011.
 - [27] B. Hardin and D. McCool, *BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows*. John Wiley & Sons, 2015.
 - [28] S. Azhar and A. Behringer, “A BIM-based approach for communicating and implementing a construction site safety plan,” 2013.
 - [29] M. Kiviniemi, K. Sulankivi, K. Kähkönen, T. Mäkelä, and M.-L. Merivirta,

- “BIM-based safety management and communication for building construction,” 2011.
- [30] D. W. M. Chan, T. O. Olawumi, and A. M. L. Ho, “Perceived benefits of and barriers to Building Information Modelling (BIM) implementation in construction: The case of Hong Kong,” *J. Build. Eng.*, vol. 25, p. 100764, 2019.
 - [31] International Cranes and Specialized Transport, (2023, 14 Ağustos) Erişim:<https://www.internationalcranes.media/news/why-bim-is-important-for-the-crane-industry/8018411.article>.
 - [32] T. Tütüncüler, “Kamu yapılarında yapı bilgi modellemesi ile tesis yönetimi,” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye, 2020.
 - [33] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, and P. Teicholz, *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. John Wiley & Sons, 2018.
 - [34] Y.-C. Lin and Y.-C. Su, “Developing mobile-and BIM-based integrated visual facility maintenance management system,” *Sci. world J.*, vol. 2013, 2013.
 - [35] C. Thomson and J. Boehm, “Automatic geometry generation from point clouds for BIM,” *Remote Sens.*, vol. 7, no. 9, pp. 11753–11775, 2015.
 - [36] M. Murphy, E. McGovern, and S. Pavia, “Parametric vector modelling of laser and image surveys of 17th century classical architecture in Dublin,” in *VAST*, 2007, pp. 27–29.
 - [37] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, “Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs,” *Autom. Constr.*, vol. 38, pp. 109–127, 2014.
 - [38] C. Dore and M. Murphy, “Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites,” in *2012 18th International conference on virtual systems and multimedia*, 2012, pp. 369–376.
 - [39] F. Fassi, C. Achille, A. Mandelli, F. Rechichi, and S. Parri, “a New Idea of Bim System for Visualization, Web Sharing and Using Huge Complex 3d Models for Facility Management.,” in *6th International Workshop on 3D Virtual*

Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 3D-ARCH 2015, 2015, pp. 359–366.

- [40] C. Linning, A. X. Sanchez, and K. D. Hampson, “Implementation tips with hindsight,” in *Delivering Value with BIM*, Routledge, 2016, pp. 101–120.
- [41] I. Maxwell, “Integrating digital technologies in support of historic building information modelling: BIM4Conservation (HBIM),” *COTAC*, <http://www.cotac.org.uk/docs/COTAC-HBIM-Report-Final-A-21-April-2014-2-small.pdf> (accessed 14 June 2015), 2014.
- [42] M. de C. J. Barbosa, “As-built building information modeling (BIM) workflows : from point cloud data to BIM,” Master’s Thesis, Faculdade De Arquitetura, Universidade De Lisboa, Lisboa, Portugal, 2018.
- [43] D. Ilter and E. Ergen, “BIM for building refurbishment and maintenance: current status and research directions,” *Struct. Surv.*, 2015.
- [44] D. Littlefield, “4 Heritage and time,” *Herit. Build. Inf. Model.*, p. 32, 2017.
- [45] P. Casu and C. Pisu, “BIM application in documenting and recreating lost architectural heritage,” in *Architecture and Design: Breakthroughs in Research and Practice*, IGI Global, 2019, pp. 112–141.
- [46] D. Mansir, J. A. Muhammad, and N. Kasim, “Reviewing the need for Historic Building Information Modelling (HBIM) in the conservation of heritage buildings in Melaka World Heritage City,” *Soc. Sci.*, vol. 11, no. 11, pp. 2777–2782, 2016.
- [47] F. J. López, P. M. Leronés, J. Llamas, J. Gómez-García-Bermejo, and E. Zalama, “A framework for using point cloud data of heritage buildings toward geometry modeling in a BIM context: A case study on Santa Maria La Real De Mave Church,” *Int. J. Archit. Herit.*, vol. 11, no. 7, pp. 965–986, 2017.
- [48] E. Gigliarelli, F. Calcerano, and L. Cessari, “Heritage Bim, numerical simulation and decision support systems: An integrated approach for historical buildings retrofit,” *Energy Procedia*, vol. 133, pp. 135–144, 2017.
- [49] F. I. Apollonio, M. Gaiani, and Z. Sun, “3D modeling and data enrichment in digital reconstruction of architectural heritage,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 5, p. W2, 2013.

- [50] D.-I. Psaltakis, K. Kalentzi, A.-P. Mariettaki, and A. Antonopoulos, “3D Survey of a Neoclassical Building Using a Handheld Laser Scanner as Basis for the Development of a BIM-Ready Model,” in *International Conference on Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage*, 2018, pp. 119–127.
- [51] M. Murphy, E. McGovern, and S. Pavia, “Historic building information modelling (HBIM),” *Struct. Surv.*, vol. 27, no. 4, pp. 311–327, 2009, doi: 10.1108/02630800910985108.
- [52] N. Hichri, C. Stefani, L. De Luca, and P. Veron, “Review of the ‘as-built BIM’ approaches,” 2013.
- [53] Novatr, (2023, 14 Ağustos) Erişim:<https://www.novatr.com/blog/what-is-lod>.
- [54] R. Brumana, C. Stanga, and F. Banfi, “Models and scales for quality control: Toward the definition of specifications (GOA-LOG) for the generation and re-use of HBIM object libraries in a Common Data Environment,” *Appl. geomatics*, pp. 1–29, 2021.
- [55] S. Bruno, M. De Fino, and F. Fatiguso, “Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management,” *Autom. Constr.*, vol. 86, pp. 256–276, 2018.
- [56] X. Yang, M. Koehl, and P. Grussenmeyer, “Mesh-to-BIM: from segmented mesh elements to BIM model with limited parameters,” in *ISPRS TC II Mid-term Symposium “Towards Photogrammetry 2020*, 2018, vol. 42, pp. 1213–1218.
- [57] D. Costantino, M. Pepe, and A. G. Restuccia, “Scan-to-HBIM for conservation and preservation of Cultural Heritage building: The case study of San Nicola in Montedoro church (Italy),” *Appl. Geomatics*, pp. 1–15, 2021.
- [58] H. Son, C. Kim, and Y. Turkan, “Scan-to-BIM-an overview of the current state of the art and a look ahead,” in *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 2015, vol. 32, p. 1.
- [59] G. Rocha, L. Mateus, J. Fernández, and V. Ferreira, “A scan-to-bim methodology applied to heritage buildings,” *Heritage*, vol. 3, no. 1, pp. 47–65, 2020, doi: 10.3390/heritage3010004.
- [60] R. Brumana, P. Condoleo, A. Grimoldi, F. Banfi, A. G. Landi, and M. Previtali,

- “HR LOD based HBIM to detect influences on geometry and shape by stereotomic construction techniques of brick vaults,” *Appl. Geomatics*, vol. 10, no. 4, pp. 529–543, 2018.
- [61] C. Boardman and P. Bryan, *3D laser scanning for heritage: Advice and guidance on the use of laser scanning in archaeology and architecture*. Historic England, 2018.
- [62] L. Mateus, V. Ferreira, J. Aguiar, and A. Dias, “Terrestrial Laser Scanning and Digital Photogrammetry as Tools for the Archaeological Recording–The Case of Convento de Cristo,” in *Arqueología: Actas del Primer Congreso Internacional de Buenas Prácticas en Patrimonio Mundial*, 2013, pp. 400–412.
- [63] S. Antonopoulou and P. Bryan, *BIM for Heritage*, no. <https://historicengland.org.uk/advice/technical-advice/recording-heritage/>. 2017.
- [64] F. Maietti, M. Medici, and E. Piaia, “An Inclusive Approach to Digital Heritage: Preliminary Achievements Within the Inception Project,” in *GCH*, 2017, pp. 145–150.
- [65] S. S. Bastem, “Tarihi yapılarda yapı bilgi modeli uygulamalarının sistematik literatür tarama yöntemiyle değerlendirilmesi,” Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2021.
- [66] P. Delis, M. Zacharek, D. Wierzbicki, and A. Grochala, “Point cloud derived from video frames: accuracy assessment in relation to terrestrial laser scanning and digital camera data,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 42, no. 2/W3, 2017.
- [67] U. Pakben, “Tarihi yapıların rölöve ve analizlerinde kullanılan ileri belgeleme teknikleri,” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2013.
- [68] T. Sarıcaoğlu, “Arkeolojik Miras Bilgi Yönetimi: Hbim Erythrai (İldir) Örneği,” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2021.
- [69] M. Murphy, E. McGovern, and S. Pavia, “Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture,” *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 76, pp. 89–102,

2013, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006.

- [70] Z. Poloprutský, “Parametric modelling for HBIM: Design of window library for rural building,” *Civ. Eng. J.*, no. 4, 2019.
- [71] S. Garagnani, “Building Information Modeling and real world knowledge: A methodological approach to accurate semantic documentation for the built environment,” in *2013 digital heritage international congress (DigitalHeritage)*, 2013, vol. 1, pp. 489–496.
- [72] A. J. Gerber, A. Barnard, and A. J. Van der Merwe, “Towards a semantic web layered architecture,” 2007.
- [73] A. Paul, “Renaissance Revit: Creating Classical Architecture with Modern Software, 1B edition. ed.” CreateSpace Independent Publishing Platform, USA, 2013.
- [74] D. Kuban, *Tarihi çevre korumanın mimarlık boyutu: kuram ve uygulama*. Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları, 2000.
- [75] R. Eppich and A. Chabbi, “Recording, documentation, and information management for the conservation of heritage places,” *Getty Conserv. Inst.*, 2007.
- [76] P. Bryan, B. Blake, J. Bedford, D. Barber, and J. Mills, *Metric survey specifications for cultural heritage*. English Heritage, 2013.
- [77] Y. N. Yen, K. H. Weng, and H. Y. Huang, “Study On Information Management For The Conservation Of Traditional Chinese Architectural Heritage–3d Modelling And Metadata Representation,” *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 2, pp. 331–336, 2013.
- [78] G. Saygi and F. Remondino, “Management of Architectural Heritage Information in BIM and GIS: State-of-the-art and Future Perspectives,” *Int. J. Herit. Digit. Era*, vol. 2, no. 4, pp. 695–713, 2013.
- [79] M. Capone and E. Lanzara, “Scan-to-BIM vs 3D ideal model HBIM: parametric tools to study domes geometry,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 42, pp. 219–226, 2019.
- [80] D. Oreni, R. Brumana, A. Georgopoulos, and B. Cuca, “HBIM for conservation and management of built heritage: Towards a library of vaults and wooden bean

- floors,” *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 5, p. W1, 2013.
- [81] G. Bacci *et al.*, “Hbim Methodologies For The Architectural Restoration. The Case Of The Ex-Church Of San Quirico All’olivo In Lucca, Tuscany.,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 2019.
 - [82] C. Dore and M. Murphy, “Semi-Automatic Modelling of Building Façades With Shape Grammars Using Historic Building Information Modelling,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XL-5/W1, no. February, pp. 57–64, 2013, doi: 10.5194/isprsarchives-xl-5-w1-57-2013.
 - [83] R. Rolin, E. Antaluca, J.-L. Batoz, F. Lamarque, and M. Lejeune, “From point cloud data to structural analysis through a geometrical hBIM-oriented model,” *J. Comput. Cult. Herit.*, vol. 12, no. 2, pp. 1–26, 2019.
 - [84] R. Brumana *et al.*, “Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): Surveying, preservation, site intervention—The Basilica di Collemaggio (L’Aquila),” *Appl. geomatics*, vol. 10, pp. 545–567, 2018.
 - [85] E. Colucci, V. De Ruvo, A. Lingua, F. Matrone, and G. Rizzo, “HBIM-GIS integration: From IFC to cityGML standard for damaged cultural heritage in a multiscale 3D GIS,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 4, p. 1356, 2020.
 - [86] E. Valero, A. M. Forster, F. N. Bosché, C. Renier, E. Hyslop, and L. Wilson, “High level-of-detail BIM and machine learning for automated masonry wall defect surveying,” 2018.
 - [87] A. Baik, J. Boehm, and S. Robson, “Jeddah Historical Building Information Modeling" JHBIM" Old Jeddah–Saudi Arabia,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 40, pp. 73–78, 2013.
 - [88] S. Beltramo, F. Diara, and F. Rinaudo, “Evaluation of an integrative approach between HBIM and architecture history,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 42, pp. 225–229, 2019.
 - [89] F. Banfi, R. Brumana, and C. Stanga, “A content-based immersive experience of basilica of sant’ambrogio in milan: From 3d survey to virtual reality,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 42, no. 2, pp. 159–166, 2019.
 - [90] O. Sürücü and M. E. Başar, “Kültürel mirası korumada bir farkındalık aracı

- olarak sanal gerçeklik,” *Artium*, vol. 4, no. 1, 2016.
- [91] Y.-C. Lin, “Application of integration of HBIM and VR technology to 3D immersive digital management—take Han Type traditional architecture as an example,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 42, pp. 443–446, 2017.
 - [92] F. Banfi, C. Stanga, and R. Brumana, “A digital workflow for built heritage: From scan-to-BIM process to the vr-tour of the basilica of Sant’ambrogio in Milan,” in *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection: 7th International Conference, EuroMed 2018, Nicosia, Cyprus, October 29–November 3, 2018, Proceedings, Part I* 7, 2018, pp. 334–343.
 - [93] S. Blanco-Pons, B. Carrión-Ruiz, M. Duong, J. Chartrand, S. Fai, and J. L. Lerma, “Augmented Reality markerless multi-image outdoor tracking system for the historical buildings on Parliament Hill,” *Sustainability*, vol. 11, no. 16, p. 4268, 2019.
 - [94] F. Chionna, F. Argese, V. Palmieri, I. Spada, and L. Colizzi, “Integrating building information modeling and augmented reality to improve investigation of historical buildings,” *Conserv. Sci. Cult. Herit.*, vol. 15, pp. 133–163, 2015.
 - [95] A. Fonnet, N. Alves, N. Sousa, M. Guevara, and L. Magalhães, “Heritage BIM integration with mixed reality for building preventive maintenance,” in *2017 24^o Encontro Português de Computação Gráfica e Interação (EPCGI)*, 2017, pp. 1–7.
 - [96] J. Jokilehto, “Definition of cultural heritage: References to documents in history,” *ICCROM Work. Gr. ‘Heritage Soc.*, vol. 4, no. 8, 2005.
 - [97] A. Baik, A. Alitany, J. Boehm, and S. Robson, “Jeddah historical building information modeling ‘JHBIM’-object library,” *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 2, no. 5, pp. 41–47, 2014, doi: 10.5194/isprsannals-II-5-41-2014.
 - [98] S. Gargaro, M. Del Giudice, and P. A. Ruffino, “Towards a multi-functional HBIM model,” *SCIRES-IT-SCientific Res. Inf. Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 49–58, 2019.

- [99] A. Woodward and D. Heesom, "Implementing HBIM on conservation heritage projects: Lessons from renovation case studies," *Int. J. Build. Pathol. Adapt.*, vol. 39, no. 1, pp. 96–114, 2021.
- [100] F. J. López, P. M. Leronés, J. Llamas, J. Gómez-García-Bermejo, and E. Zalama, "A review of heritage building information modeling (H-BIM)," *Multimodal Technol. Interact.*, vol. 2, no. 2, p. 21, 2018.
- [101] D. P. Pocobelli, J. Boehm, P. Bryan, J. Still, and J. Grau-Bové, "BIM for heritage science: a review," *Herit. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–15, 2018.
- [102] F. Chiabrando, G. Sammartano, and A. Spanò, "Historical buildings models and their handling via 3D survey: from points clouds to user-oriented HBIM.," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 41, 2016.
- [103] A. Baik and J. Boehm, "Hijazi architectural object library (HAOL)," in *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2017, vol. 42, pp. 55–62.
- [104] F. Ö. Akipek and N. İnçeoğlu, "Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin mimarlıktaki kullanımları," *MEGARON / Yıldız Tech. Univ. Fac. Archit. E-Journal*, vol. 2, no. 4, 2007.
- [105] R. Hudson, "Strategies for parametric design in architecture," *Civ. Eng.*, vol. 274, pp. 77–81, 2010.
- [106] E. Kamer, "Venedik Mimarlık Bienali Üzerinden Deneysel Mimaride Bilgisayar Destekli Tasarım Etkilerinin Okuması," *Tasarım Enformatiği*, vol. 2, no. 2, pp. 65–74.
- [107] Youtube, (2023, 14 Ağustos)
Erişim:<https://www.youtube.com/watch?v=q5DMRFYRQs0>.
- [108] Autodesk, (2023, 14 Ağustos)
Erişim:<https://help.autodesk.com/view/RVT/2022/ENU/?guid=GUID-BFB8B3D4-6BFB-429B-AF94-7731D9FBCC1F>.
- [109] Youtube, (2023, 14 Ağustos)
Erişim:<https://www.youtube.com/watch?v=Ql4PK1lqecg>.
- [110] Autodesk, (2023, 14 Ağustos)

- Erişim:<https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/ENU/?guid=GUID-046BA65B-9C09-49A5-A15F-E07F1913C676>.
- [111] Bimsoft, (2023, 14 Ağutstos) Erişim:<https://bimsoft.com.tr/archicad/ozellikler/>.
- [112] Graphisoft, (2023, 14 Ağutstos) Erişim:<https://gdl.graphisoft.com/reference-guide/gdl-guide>.
- [113] Graphisoft, (2023, 14 Ağutstos) Erişim:<https://graphisoft.com/downloads/param-o>.
- [114] Graphisoft, (2023, 14 Ağutstos)
Eriřim:<https://graphisoft.com/downloads/addons/lpm/int>.
- [115] İdecad, (2023, 14 Ağustos) Erişim:<https://help.idecad.com.tr/ideCAD/odt-adim-adim-kapi-olusturma>.
- [116] İdecad, (2023, 14 Ağustos) Erişim:<https://www.idecad.com.tr/portfolio-type/idecad-betonarme-ozet/daha-fazlasi/#diger-programlarla-veri-alisverisi>.
- [117] İdeCAD Mimari Render Kullanım Kılavuzu, (2023, 14 Ağustos)
Erişim:[https://download.idecad.com.tr/dokumanlar/ideCAD Mimari 7_R121sdsax.pdf](https://download.idecad.com.tr/dokumanlar/ideCAD%20Mimari%207_R121sdsax.pdf).
- [118] A. Z. Onur and F. Nouban, “BIM Software in Architectural Modeling,” *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng*, vol. 8, pp. 2089–2093, 2019.
- [119] Freecad, (2023, 14 Ağustos) Erişim:<https://www.freecad.org/index.php?lang=tr>.
- [120] Freecad, (2023, 14 Ağustos) Erişim:https://wiki.freecad.org/About_FreeCAD.
- [121] Fixthephoto, (2023, 14 Ağutstos) Erişim:<https://fixthephoto.com/best-free-rendering-software-for-sketchup.html>.
- [122] A. Kontoudaki and A. Georgopoulos, “HBIM library development for a doric temple column,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 43, pp. 1153–1158, 2022.
- [123] S. Brusaporci, P. Maiezza, and A. Tata, “Computational design for as-built modeling of architectural heritage in HBIM processes,” in *2018 Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo)*, 2018, pp. 199–203.
- [124] P. Martínez-Carricondo, F. Carvajal-Ramírez, L. Yero-Paneque, and F. Agüera-Vega, “Combination of nadiral and oblique UAV photogrammetry and HBIM for

- the virtual reconstruction of cultural heritage. Case study of Cortijo del Fraile in Níjar, Almería (Spain),” *Build. Res. Inf.*, vol. 48, no. 2, pp. 140–159, 2020.
- [125] R. Machete, A. P. Falcão, A. B. Gonçalves, M. Godinho, and R. Bento, “Development of a Manueline style object library for heritage BIM,” *Int. J. Archit. Herit.*, vol. 15, no. 12, pp. 1930–1941, 2021.
- [126] Y. Alshawabkeh, A. Baik, and Y. Miky, “Integration of laser scanner and photogrammetry for heritage BIM enhancement,” *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 10, no. 5, p. 316, 2021.
- [127] Z. Kalpaklı, “Anonim,” 2023. .
- [128] A. R. M. de la Plata, P. A. C. Franco, J. C. Franco, and V. Gibello Bravo, “Protocol development for point clouds, triangulated meshes and parametric model acquisition and integration in an HBIM workflow for change control and management in a UNESCO’s World Heritage site,” *Sensors*, vol. 21, no. 4, p. 1083, 2021.
- [129] J. E. Nieto-Julián, L. Lara, and J. Moyano, “Implementation of a TeamWork-HBIM for the Management and Sustainability of Architectural Heritage,” *Sustainability*, vol. 13, no. 4, p. 2161, 2021.
- [130] U. Ferretti, R. Quattrini, and M. D’Alessio, “A Comprehensive HBIM to XR Framework for Museum Management and User Experience in Ducal Palace at Urbino,” *Heritage*, vol. 5, no. 3, pp. 1551–1571, 2022.
- [131] M. A. Zouaoui, B. Djebri, and A. Capsoni, “From point cloud to hbim to fea, the case of a vernacular architecture: Aggregate of the kasbah of algiers,” *J. Comput. Cult. Herit.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–21, 2020.
- [132] R. Quattrini, C. Battini, and R. Mammoli, “HBIM to VR. Semantic awareness and data enrichment interoperability for parametric libraries of historical architecture,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 42, no. 2, pp. 937–943, 2018.
- [133] F. Banfi, “HBIM, 3D drawing and virtual reality for archaeological sites and ancient ruins,” *Virtual Archaeol. Rev.*, vol. 11, no. 23, 2020, doi: 10.4995/var.2020.12416.
- [134] N. B. Yıldız and E. Sahtiyancı, “Bilgisayar destekli tasarım (bdt) programlarının

- yapı ressamlığı programı öğrencilerinin tercihleri açısından değerlendirilmesi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 7, no. 1, pp. 531–540, 2019.
- [135] Y. Ma and S. H. Zhu, “Architectural design using AutoCad and Sketchup,” in *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 556, pp. 6379–6382.
- [136] “BHA Mimarlık.” DEÜ Eğitim Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [137] “Yıldız Mimarlık,” 2020.
- [138] N. B. Yıldız, Z. Kalpaklı, and N. Özkaraca, “Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi (HBIM) Kütüphanesi : Akçakoca ’ da Bir Tescilli Konut Örneği Historical Building Information Modeling (HBIM) Library : A Registered Housing Example in Akçakoca,” 2022, pp. 1–13.
- [139] Youtube, (2023, 14 Ağustos)
Erişim:<https://www.youtube.com/watch?v=ajZPALVz3VY&t=45s>.
- [140] R. Sacks, L. Koskela, B. A. Dave, and R. Owen, “Interaction of lean and building information modeling in construction,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 136, no. 9, pp. 968–980, 2010.
- [141] A. Osello, G. Lucibello, and F. Morgagni, “HBIM and virtual tools: A new chance to preserve architectural heritage,” *Buildings*, vol. 8, no. 1, p. 12, 2018.
- [142] E. Kömürcü and N. B. Yıldız, “Historic Building Information Modelling (HBIM),” 2021, pp. 589–597, doi: 10.38027/iccaua2021tr0072n25.
- [143] F. I. Apollonio, M. Gaiani, and Z. Sun, “A reality integrated BIM for architectural heritage conservation,” in *Handbook of research on emerging technologies for architectural and archaeological heritage*, IGI Global, 2017, pp. 31–65.
- [144] C. Chevrier, N. Charbonneau, P. Grussenmeyer, and J.-P. Perrin, “Parametric documenting of built heritage: 3D virtual reconstruction of architectural details,” *Int. J. Archit. Comput.*, vol. 8, no. 2, pp. 135–150, 2010.
- [145] Y.-P. Ma, “Extending 3D-GIS district models and BIM-based building models into computer gaming environment for better workflow of cultural heritage conservation,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 5, p. 2101, 2021.
- [146] V. Vlahakis *et al.*, “Archeoguide: an augmented reality guide for archaeological

sites,” *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 22, no. 5, pp. 52–60, 2002.

- [147] F. Banfi, R. Brumana, and C. Stanga, “Extended reality and informative models for the architectural heritage: from scan-to-BIM process to virtual and augmented reality,” *Virtual Archaeol. Rev.*, vol. 10, no. 21, pp. 14–30, 2019.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Zehra KALPAKLI

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Mimarlık	Düzce Üniversitesi	2023
Lisans	Mimarlık	Yıldız Teknik Üniversitesi	2019
Lise		Düzce Fen Lisesi	2014

YAYINLAR

Konferans Bildirisi

N. B. Yıldız, Z. Kalpaklı, and N. Özkaraca, “Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi (HBIM) Kütüphanesi: Akçakoca’ da Bir Tescilli Konut Örneği Historical Building Information Modeling (HBIM) Library: A Registered Housing Example in Akçakoca,” 2022, pp. 1–13.