



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



AKILLI ŞEHİRLER İÇİN 3 BOYUTLU VERİ
MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI VE
YAPI BİLGİ MODELLERİNE
ENTEGRASYONU: KÖYCEĞİZ KAMPÜS
ÖRNEĞİ

İsmail DURSUN

DOKTORA TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İsmail DURSUN tarafından hazırlanan “Akıllı Şehirler için 3 Boyutlu Veri Modellerinin Oluşturulması ve Yapı Bilgi Modellerine Entegrasyonu: Köyceğiz Kampüs Örneği” adlı tez çalışması **14/06/2022** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Murat UYSAL

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK

.....

Üye

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

.....

Üye

Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

.....

Üye

Doç. Dr. Hüseyin Zahid SELVİ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İsmail DURSUN

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

AKILLI ŞEHİRLER İÇİN 3 BOYUTLU VERİ MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI VE YAPI BİLGİ MODELLERİNE ENTEGRASYONU: KÖYCEĞİZ KAMPÜS ÖRNEĞİ

İsmail DURSUN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Abdullah VARLIK

2022, 140 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK
Prof. Dr. Murat UYSAL
Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
Prof. Dr. İbrahim YILMAZ
Doç. Dr. Hüseyin Zahid SELVİ

Akıllı şehirler, kentlerde yaşayan insanların teknolojinin yardımıyla yaşam kalitesini yükselten ve şehir yaşamının olumsuzluklarını en aza indiren uygulamaların hayata geçirildiği yaşam alanlarıdır. Kentlerin giderek büyüyen ve karmaşıklaşan yapısı, yönetim süreçlerine gelişkin bilgi ve iletişim teknolojilerinin dâhil edilmesi gereksinimini artırmıştır. Buna paralel olarak, farklı alanlarda üç boyutlu (3B) kent modellerinin oluşturulması ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. 3B kent modelleri, kent ve telekomünikasyon planlaması, afet yönetimi, eğitim amaçlı gerçek zamanlı simülasyonlar ve tesis yönetimi gibi çeşitli uygulamalarda mekânsal analiz ve görselleştirme amaçlı kullanılabilir. Bu kapsamda, 3B CBS ve sanal coğrafi ortamlar gibi yeni kavram ve teknikler halen geliştirilme aşamasındadır. Bunun yanında yapıların imalatından işletmeye alınıp yönetiminde akıllı şehirler temasına uygun şekilde yapılması için Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) süreçleri de büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada; Necmettin Erbakan Üniversitesi, Köyceğiz Kampüsünde yer alan Sosyal ve Beşerî İlimler Fakültesi (SBİF) çalışma alanı olarak seçilmiş ve akıllı şehirler temasına uygun olarak yersel ve hava fotogrametrisi ile üretilen üç boyutlu (3B) modelleri ile YBM kapsamlı olarak incelenmiş ve iki sistemin entegrasyonu üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ayrıntı Düzeyleri (LoD), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), LIDAR, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), 3 Boyutlu Kent Modelleme.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

CREATION OF 3D DATA MODELS AND INTEGRATION INTO BUILDING INFORMATION MODELS FOR SMART CITIES: THE CASE OF KÖYCEĞİZ CAMPUS

İsmail DURSUN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN GEOMATICS ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Abdullah VARLIK

2022, 140 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Abdullah VARLIK

Prof. Dr. Murat UYSAL

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

AssocProf. Dr. Hüseyin Zahid SELVİ

Smart cities increase the quality of life of people living in cities with the help of technology and are the living spaces where practices that minimize the negative effects of city life are implemented. The ever-growing and complex structure of cities has increased the need to include advanced information and communication technologies in management processes. In addition, the creation and use of three-dimensional (3D) city models in different areas is becoming widespread. 3D city models can be used for spatial analysis and visualization in various applications such as urban and telecommunications planning, disaster management, real-time simulations for educational purposes and facility management. In this context, new concepts and techniques such as 3D GIS and virtual geographic environments are still under development. In addition, Building Information Modeling (BIM) processes are of great importance for the construction of buildings from manufacturing to operation and management in accordance with the theme of smart cities.

In this study; Necmettin Erbakan University, Faculty of Social and Human Sciences (SBİF), located in Köyceğiz Campus, was chosen as the study area and in accordance with the theme of smart cities three-dimensional (3D) city models produced by terrestrial and aerial photogrammetry and BIM were extensively examined and evaluations were made on the comparison and integration of the two systems.

Keywords: Level of Details (LoD), Geographic Information System (GIS), LIDAR, Building Information Modelling (BIM), 3D City Models.

ÖNSÖZ

Akıllı Şehirlerin uygulanabilirlik sürecine önemli derecede katkı sağlayacağına ve yeni bir bakış açısı oluşturacağını düşündüğüm “Akıllı Şehirler için 3 Boyutlu Veri Modellerinin Oluşturulması ve Yapı Bilgi Modellerine Entegrasyonu: Köyceğiz Kampüs Örneği” adlı bu çalışma, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle tez çalışması süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, kendisinden her zaman destek ve anlayış gördüğüm, tezimin her aşamasında yardımını esirgemeyen ve önerileri ile yol gösteren tez danışmanım ve değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Abdullah Varlık’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez İzleme Komitesi jürimde bulunan kıymetli hocalarım ve doktora eğitimim süresince her türlü desteği sağlayan Necmettin Erbakan Üniversitesi Harita Mühendisliği bünyesindeki değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin uygulama kısmında gerekli çalışmalarda yardımcı olan Yapı İşleri ve Teknik Dairesi Başkanlığı personeline, İç Denetim Birimi Başkanı Dr. Ömer Yurdakul’a, Körfez Harita şirketine, Sosyal ve Beşerî İlimler Fakültesi idarecilerine, Prof. Dr. Ümit Işıkdag hocama ve Yüksek Mimar Dursun Furkan Çapkın’a teşekkür ederim. Uygulamanın web ortamında sunulması konusunda desteği nedeniyle UVM Systems GmbH’a ve uygulama aşamasındaki teknik destek için proje yöneticisi Alpaslan Tütüneken’e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca desteklerini hissettiğim kıymetli dostlarım İnşaat Yüksek Mühendisi Mehmed Zahid Erkaya, Harita Yüksek Mühendisi Ekrem Ayyıldız ve Elektrik ve Elektronik Mühendisi Abdüllatif Erkaya’ya teşekkür ederim. Son olarak da hayatımın her safhasında bana destek olan anne ve babama, bu süreçte maddi ve manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen, her türlü sıkıntıma katlanan sevgili eşime ve enerjileri ile güç veren oğlum ve kızıma teşekkürü bir borç bilirim.

İsmail DURSUN
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Akıllı Şehirler	12
3.1.1. Akıllı Şehir Bileşenleri.....	13
3.1.1.1. Akıllı Ekonomi	14
3.1.1.2. Akıllı İnsan.....	15
3.1.1.3. Akıllı Yönetim	15
3.1.1.4. Akıllı Ulaşım.....	16
3.1.1.5. Akıllı Çevre.....	16
3.1.1.6. Akıllı Yaşam	16
3.1.2. Akıllı Şehirlerin Kazanımları	17
3.1.2.1. Akıllı Şebekeler	17
3.1.2.2. Akıllı Ev	17
3.1.2.3. Akıllı Ulaşım Stratejileri.....	18
3.1.2.4. Akıllı Sağlık Hizmetleri	18
3.2. Kent Bilgi Sistemleri (KBS).....	18
3.2.1. KBS'nin Amacı ve Faydaları	20
3.2.2. 3 Boyutlu Kent Modelleri	22
3.2.2.1. CityGML ve Detay Düzeyi Kavramı	23
3.2.2.2. 3 Boyutlu Kent Modelinde Kullanılan Veri Türleri	27
3.2.2.2.1. Hâlihazır Haritalar	27
3.2.2.2.2. Kadastral Veriler.....	28
3.2.2.2.3. 3B Sayısal Arazi Modeli	29
3.2.2.2.4. 3B Bina Modelleri	30
3.2.2.2.5. Mimari Modeller.....	31
3.2.2.3. 3 Boyutlu Modellemede Veri Üretimi	32
3.2.2.3.1. Fotogrametrik Veri	35

3.2.2.3.2. Lazer Tarama	36
3.2.2.3.3. Jeodezik Ölçmeler	40
3.3. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM)	41
3.3.1. Yapı Bilgi Modellemesinin Fayda ve Kullanım Alanları.....	45
3.3.2. Yapı Bilgi Modeli Standartları	47
3.3.3. Yapı Bilgi Modelinde Detay Seviyeleri.....	49
3.3.4. Yapı Bilgi Modellemesi Veri Kaynakları.....	51
3.3.4.1. Tasarımdan YBM Oluşturma	51
3.3.4.2. Taramadan YBM Oluşturma	52
3.4. CBS – YBM Arasındaki İlişki ve Entegrasyonu	53
3.4.1. CBS – YBM Arasındaki İlişki.....	53
3.4.2. Entegrasyon Sorunları	55
3.4.3. CBS – YBM Entegrasyonu.....	56
3.5. Öneri Bütünleşik Model.....	58
4. UYGULAMA.....	62
4.1. Veri Üretimi.....	65
4.1.1. Tasarımdan YBM Oluşturma Yöntemi.....	65
4.1.1.1. Tasarımdan YBM Oluşturma Verileri	67
4.1.2. Taramadan YBM Oluşturma Yöntemi	73
4.1.2.1. Taramadan YBM Oluşturma Verileri	76
4.1.2.1.1. İHA Verileri	76
4.1.2.1.2. LIDAR Verileri.....	77
4.2. Veri Entegrasyonu.....	90
4.3. Web Sunumu	94
4.3.1. Kullanılan Veriler	96
4.3.1.1. Ana Veriler.....	96
4.3.1.2. Yardımcı Veriler.....	97
4.3.1.3. Altlıklar	98
4.3.2. Sorgu ve Analizler.....	99
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	103
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR	115

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

m_0	Karesel ortalama hata
n	Ölçü Sayısı
$ v $	Mutlak değerler toplamı
$ vv $	Mutlak değerlerin karelerinin toplamı

Kısaltmalar

2B	2 Boyutlu
3B	3 Boyutlu
4B	4 Boyutlu
AB	Avrupa Birliği
AEC	Architecture, Engineering & Construction
ALS	Havasal LIDAR
BIM	Building Information Modelling
BM	Birleşmiş Milletler
CAD	Bilgisayar Destekli Çizim/Tasarımı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CIFE	Center for Integrated Facilities Engineering
CİD	Coğrafi Veri İşaretleme Dili
ÇŞİDB	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DEM	Digital Elevation Model
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
DXF	Data eXchange Format
e-sağlık	Elektronik sağlık
ETS	Endüstri Temel Sınıfları
GIS	Geographic Information System
GML	Geographic Markup Language
GNSS	Global Navigation Satellite System
HLT	Havadan Lazer Tarama
HVAC	Heating, ventilation, and air conditioning
IAI	Uluslararası Birlikte Çalışabilirlik İttifakı
IFC	Industry Foundation Classes
IMU	Inertial Measurement Unit
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
KBS	Kent Bilgi Sistemi
KVA	Konumsal Veri Altyapıları
LIDAR	Light Detection and Ranging

LoD	Detay Seviyesi
LOD	Gelişim Seviyesi
MLS	Mobil LIDAR
MMİ	Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat ve Tesis Yönetimi
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OGC	Open Geospatial Consortium
RTK	Real Time Kinematik: Gerçek Zamanlı Kinematik
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SBİF	Sosyal ve Beşerî İlimler Fakültesi
SfM	Structure from Motion: Hareketten Yapı
SLAM	Eşzamanlı Konum ve Haritalama
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TKGM	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
TLS	Yersel Lazer Tarama
TYBM	Tarihi Yapı Bilgi Modeli
VDF	Veri Değişim Formatı
WMS	Web Map Service
XML	eXtensible Markup Language
YBM	Yapı Bilgi Modellemesi
YLT	Yersel Lazer Tarama

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3. 1. Akıllı Şehir Bileşenleri	14
Şekil 3. 2. KBS'nin Paydaşları ((Mumcuoğlu, 2017).....	21
Şekil 3. 3. CityGML tarafından tanımlanan LoD gösterimi (Kolbe vd., 2005)	25
Şekil 3. 4. 1/1000 ölçekli hâlihazır harita örneği	28
Şekil 3. 5. Kadastral Veri Örneği.....	29
Şekil 3. 6. Sayısal Arazi Modeli ve Sayısal Yükseklik Modeli Örneği.....	30
Şekil 3. 7. 3B Bina Modeli Örneği	31
Şekil 3. 8. CityGML Bina Detay Seviyeleri (URL-5)	31
Şekil 3. 9. Mimari Proje Örneği	32
Şekil 3. 10. Üç Boyutlu Model İçin Veri Toplama (Şahin, 2011)	33
Şekil 3. 11. Raster ve Vektör Veri	34
Şekil 3. 12. YLT Çalışma Prensibi (Karasaka ve Beg, 2021)	38
Şekil 3. 13. Hava LIDAR sistemi (Yaşayan vd., 2011).....	39
Şekil 3. 14. Mobil LIDAR Aracı (Koç vd, 2015)	40
Şekil 3. 15. Jeodezik yöntemle nesnelere ait konum belirleme (URL-10)	41
Şekil 3. 16. Yapı Bilgi Modelleme Yaşam Döngüsü (Underwood ve Işıkdag, 2012)	44
Şekil 3. 17. Yapı Bilgi Modelleme Aktör İlişkileri (Akkaya, 2012)	45
Şekil 3. 18. LOD seviyeleri	49
Şekil 3. 19. CityGML (solda) ve IFC (sağda) bir binanın temsili (Amirebrahimi, vd., 2016)	57
Şekil 3. 20. IFC Bina Modeli.....	58
Şekil 3. 21. CityGML Bina Modeli	60
Şekil 3. 22. Bütünleşik Bina Modeli	61
Şekil 4. 1. Çalışma Alanı Görüntüsü	63
Şekil 4. 2. SBİF Bina Bölümleri	64
Şekil 4. 3. Tasarımdan YBM Oluşturma Yöntemi	66
Şekil 4. 4. Tasarımdan YBM Oluşturma Süreçleri (Byun ve Sohn, 2020).....	67
Şekil 4. 5. CAD Temizleme İşlemi.....	68
Şekil 4. 6. Mimari Kesitin Batı Görünümü.....	68
Şekil 4. 7. Zemin Planı	68
Şekil 4. 8. SBİF İç Mekân Görünümü	69
Şekil 4. 9. Tasarımdan YBM Modeli	70
Şekil 4. 10/a. SBİF 2B Tesisat Planı	71
Şekil 4. 10/b. SBİF 2B Mekanik Planı	71
Şekil 4. 10/c. SBİF Mekanik ve Tesisat Modeli	71
Şekil 4. 10/d. SBİF Entegre Model 3B Kesiti	71
Şekil 4. 11/a. Kampüs Altyapı Modeli	72
Şekil 4. 11/b. SBİF YBM altyapı verisi ile entegrasyonu	72
Şekil 4. 12. Taramadan YBM Oluşturma Yöntemi	73
Şekil 4. 13. DJI Phantom 4 RTK İHA Sistemi	75
Şekil 4. 14/a. SBİF İHA Görüntüsü.....	77
Şekil 4. 14/b. Kampüse ait Ortofoto	77

Şekil 4. 15. Oturumların Nokta Bulutları	78
Şekil 4. 16/a. SBİF LIDAR Merdiven Detayı	79
Şekil 4. 16/b. SBİF LIDAR Kat Planı	79
Şekil 4. 17. SBİF'e ait tüm LIDAR Verisi	80
Şekil 4. 18. Rastgele yükseklikteki bir plan kesiti.....	81
Şekil 4. 19. Doğramaların üzerinden alınmış plan kesiti.....	82
Şekil 4. 20. Duvar çizgilerinin, nokta bulutlarının orta noktalarından seçilmesi .	82
Şekil 4. 21/a. SBİF LIDAR Verisi Öğrenci Binası 3. Kat CAD Planı	83
Şekil 4. 21/b. SBİF LIDAR Verisi İdari Binası 4. Kat CAD Planı	83
Şekil 4. 22/a. SBİF Öğrenci Binası 2. Kat 3B Modeli	84
Şekil 4. 22/b. SBİF Orta Bahçe ve Konferans Salonu 3B Modeli	84
Şekil 4. 22/c. SBİF İdari Bina Zemin Katı 3B Modeli	84
Şekil 4. 22/d. SBİF Çatı Katı Planı Modeli	84
Şekil 4. 23. Taramadan YBM Modeli	85
Şekil 4. 24/a. SBİF Tasarımdan YBM Modeli	86
Şekil 4. 24/b. SBİF Taramadan YBM Modeli	86
Şekil 4. 25. Tasarımdan YBM 2B kat planı örneği	87
Şekil 4. 26. Taramadan YBM 2B kat planı örneği	87
Şekil 4. 27. Karesel Ortalama Hata Hesaplama Formülü	89
Şekil 4. 28. CBS/YBM Entegrasyonu İş Akış Diyagramı	91
Şekil 4. 29. Geo-referanslama.....	92
Şekil 4. 30. FME IFC LOD 300'den CityGML LoD 4 Çalışma Alanı (Safe, 2020)	94
Şekil 4. 31. Ana Veriler	97
Şekil 4. 32. Yardımcı Veriler.....	98
Şekil 4. 33. Altlıklar	99
Şekil 4. 34. Ölçme Fonksiyonları	99
Şekil 4. 35. Kesit Fonksiyonu	100
Şekil 4. 36. Şeffaf Arazi Fonksiyonu	101
Şekil 4. 37. Çizim Aracı	101

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2. 1. Entegre YBM ve CBS uygulamalarına örnekler	7
Çizelge 3. 1. CityGML’de ayrıntı düzeyleri ve veri çözünürlükleri (OGC, 2012)	26
Çizelge 3. 2. LoD tanımları	50
Çizelge 3. 3. CBS ve YBM arasındaki ilişki	54
Çizelge 4. 1. SBİF Kat Durumları	65
Çizelge 4. 2. Altyapı Projeleri	72
Çizelge 4. 3. GeoSLAM Zeb-Revo Sistemi Teknik Özellikler (Geo-SLAM, 2019)	74
Çizelge 4. 4. DJI Phantom 4 RTK Teknik Özellikleri (DJI, 2020)	75
Çizelge 4. 5. Oturumlara İlişkin Bilgiler	79
Çizelge 4. 6. Taranma Durumu	86
Çizelge 4. 7. Oda Taranma Durumları	88
Çizelge 4. 8. Uzunlukların Karşılaştırılması	89

1. GİRİŞ

Bilgiyi etkin bir şekilde kullanabilen ve onu doğru ve güncel bir şekilde tutabilen birey ve toplumlar, tüm insanlık dönemlerinde her zaman insanlığa öncü olmuşlardır. Bilgiyi etkin kullanmak, ona sahip olmak kadar önemlidir. Aksi takdirde, çözüm üretme konusunda yetersiz kalacaktır. Verinin etkin kullanımı ise, ancak verilerin sistematik bir değerlendirmesiyle mümkün olabilir (Yomralıoğlu, 1999).

Akıllı şehirler, şehirlerde yaşayan bireylerin teknolojik desteklerle yaşam kalitesini arttıran ve kent yaşamının olumsuzluklarını minimuma indiren uygulamaların hayata geçirildiği uygulamalardır. Bu tanıma bağlı olarak Akıllı şehirleri gelişmiş bir Kent Bilgi Sistemine (KBS) sahip, bireylerin tüm şehircilik hizmetlerinden sabit veya mobil sistemler aracılığıyla yararlanabildiği, her alanda geri dönüş ve bilgilendirmelerin sağlandığı bütünsel bir bilgi sistemine sahip kent yapılarıdır.

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) kent ölçeğinde uygulaması olan KBS ise; kent faaliyetlerinin yürütülmesinde optimum karar verme mekanizmasını oluşturmak için ihtiyaç duyulan temel hizmetler, altyapı, planlama, mühendislik, yönetsel bilgi ve temel hizmetleri hızlı, etkin ve sağlıklı bir şekilde incelemek amacıyla oluşturulan konumsal bilgi sistemlerinden biri olarak ifade edilmektedir (Yomralıoğlu, 2000). Kent modelleri ise “Dünya üzerindeki tüm yüzeyleri ve kent alanlarında yer alan tüm nesnelerin dijital temsili” (Fard, 2009) şeklinde tanımlanmaktadır. Üç boyutlu kent modelleri; mimari, afet, kent yönetimi, arkeolojik/kültürel miras ve tarihi belgeler için önemli bir araçtır. İki boyutlu haritalar üzerinden uygulamaya konulan kent rehberi uygulamaları zaman ve teknolojik etkenlerle yerlerini üç boyutlu kent modellerini içeren interaktif ürünlere bırakmaktadır. CBS; arazi yönetimi, kent planlaması, emlak yönetimi, çevre düzenlemesi, ulaşım planlaması gibi daha birçok alanda uygulanmakta ve mekânsal karar destek sistemi olarak hizmet etmektedir. Hızlıca büyüyen kentlerin artan karmaşıklığı, CBS’nin üçüncü boyut ve zaman yanında iç mekân modellerini de içermesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

Üç boyutlu (3B) şehir modelleri, peyzaj, binalar, altyapı, arazi yüzeyleri ve bitki örtüsü dahil olmak üzere kentsel çevrenin dijital bir temsiliyi sağlar. Son yıllarda, 3B şehir modellerinin uygulamaları farklı amaçlara hizmet etmeye başlamış ve bu yönde geliştirilmektedir. Bu amaçlar; navigasyon, görünürlük analizi, acil durum

yönetimi, enerji talebi tahmini, Konumsal Veri Altyapıları (KVA) ve gayrimenkul yönetimi şeklinde 29 adet olarak listelenmektedir (Biljecki vd., 2015). 3B şehir modellerini modellemek ve güncellemek için, Havadan Lazer Tarama (HLT) ve/veya hava fotogrametrisi, geniş alanlarda 3B coğrafi veri elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Binaların projelendirilerek yapılmasından başlanarak işletilmesine kadar süren yaşam döngüleri boyunca yönetimi, teknolojik etkenlerin katkısıyla çok daha kolay ve etkin biçimde gerçekleştirilebilmektedir. Bu noktada, farklı disiplinlerin birlikte çalışabilirliğinin öngörülmesi ile oluşturulmuş, çıkabilecek problemleri önceden görme yetisi veren ve hızlı bir şekilde çözüm üretmeyi sağlayabilecek bir sistem olan Yapı Bilgi Modellemesi (YBM, İngilizce: Building Information Modelling, BIM) kavramı ortaya atılmıştır (Akkaya vd., 2011).

Dijital teknolojinin gelişmesiyle birlikte son yıllarda Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) geliştirilmiş ve paydaşlara fayda sağlamaya devam etmektedir. YBM teknolojisinin uygulanması, proje maliyetlerinin azaltılmasına, verimlilik ve kalitenin artırılmasına, proje teslim süresinin azaltılmasına (Azhar, 2011), tasarım, inşaat ve işletme aşamalarında sürdürülebilir bina gelişiminin kolaylaştırılmasına ve sürdürülebilir bina değerlendirme ve analizinin desteklenmesine katkıda bulunabilmektedir (Yujie vd., 2017). Bunun yanında, CBS kullanmak kullanıcılara fiziksel dünyanın 2B / 3B görsel ve dijital görüntülerini sağlayarak uygulamakta ve böylelikle bir dizi potansiyel fayda sunmaktadır (Lü vd., 2019). CBS'nin yararı, konumsal verileri daha fazla toplayabilmesi, depolayabilmesi, yönetebilmesi, hesaplayabilmesi, analiz edebilmesi ve açıklayabilmesidir. Ancak bu iki sistem referans sistemlerinde, 3B geometrik gösterimde, veri formatında ve veri depolamada son derece farklıdır. Örneğin, YBM, bina yapıları ve görünümleri de dahil olmak üzere ayrıntılı yapı bileşenlerine ve proje bilgilerine ve sahip, geçmiş ve maliyet gibi özniteliklere dikkat etmektedir. Buna karşılık, CBS genellikle coğrafi açıdan binaların ve yapı bileşenlerinin ve ilgili coğrafi bilgilerin şekline odaklanmaktadır.

YBM ve CBS etki alanları, birbirinden bilgiye ihtiyaç duyan iki etki alanıdır. YBM ortamında çalışan tasarımcılar, site seçimi, mahalle düzeyinde çözümler üretmekte ve binanın çevresiyle ilişkileri belirlemek gibi çeşitli görevler için CBS verilerine ihtiyaç duymaktadır (Akın 2010). Öte yandan, CBS etki alanı, binalar hakkında daha ayrıntılı bilgi gerektiğinde YBM verilerine ihtiyaç duyar. YBM ve CBS entegrasyonu, planlama ve çizimden, inşaat, işletme ve bakıma kadar bir projenin

yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında tasarım verilerinin etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar. YBM ve CBS teknolojileri yakından ilişkili olsa da hala istenen entegrasyon çözümleri tam olarak üretilmemiştir. CBS ve YBM için kullanılan araçların farklı disiplinler ve amaçlar için üretilmesi bu izolasyonun başlıca nedenlerindendir. (Karimi ve Akıncı 2010; Işıkdag ve Zlatanova 2009; El-Mekawy ve Osman, 2010).

Tüm proje katılımcıları arasında etkili bir iş birliği için farklı yazılımlar arasında birlikte çalışabilirlik gereklidir. Bir sistemin verilere erişmesi, yorumlanması ve değiş tokuş edebilmesi ve diğer sistemlerle iş birliği içinde çalışabilmesi birlikte çalışabilirlik olarak tanımlanır. Son zamanlarda CBS ve YBM entegrasyonuna (Akın 2010) artan bir talep bulunmakla birlikte ancak birlikte çalışabilmemesi farklı çalışma alanlarında birçok eksikliğe neden olmaktadır.

3B şehir ve akıllı şehir kavramlarının gelişmesiyle, YBM ve CBS'nin entegrasyonu oldukça önem arz etmektedir. YBM'nin yapı bileşenlerinin özelliklerini ve CBS'nin makro geometrik alanını parametrik olarak tanımlayabilen özelliklerinin entegre edilmesiyle, mikrodan makroya çok ölçekli kentsel yönetim gerçekleştirilebilmektedir. CBS'nin ortaya çıkışı, minimum kazalarla tasarlamak, depremi azaltmak ve yangın tehlikelerini önlemek gibi şehrin akıllı gelişiminin temelini oluşturmaktadır (Rai, 2020). YBM'nin ortaya çıkışı, şehir binalarının genel bilgilerini eklemekte ve akıllı şehirlerin inşasında karar verme sürecini geliştirmektedir (Rai, 2020). YBM-CBS entegrasyonu, bilgi modellerinin heterojenliğini birleştirerek bir proje yaşam döngüsünün tüm aşamalarında bilginin etkili bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır (Bai vd., 2017). Bununla birlikte, farklı uyulama alanları, veri biçimi, geometrik gösterim ve standardizasyon (Amirebrahimi vd., 2015) gibi veri alışverişinin birçok farklı yönü vardır, bu da YBM ve CBS'nin entegrasyonunun önünde birçok engelle neden olmaktadır. İki sistem arasındaki farklar YBM-CBS entegrasyonunu bir dereceye kadar zorlaştırmasına rağmen, entegrasyon; enerji analizi, maliyet tahmini ve iç mekân navigasyonu gibi farklı alanlarda entegre uygulamalar için avantajlar getirecektir (Zhu vd., 2018).

Hem 3B kent modelleri verileri hem de YBM verileri, semantik verilerden oluşmakta ve 3B binaları modellemekte kullanılmaktadır. Aralarında bazı kesişimler olduğundan, YBM ve 3B şehir modellerinin entegrasyonu, kapsamlı 3B bina modellemesi için karşılıklı olarak faydalıdır. Bu nedenle, YBM verileri ile 3B konumsal veriler arasında verilerin dönüştürülmesine ihtiyaç vardır ve bu dönüşüm

kentsel planlama, bina inşaatı/yönetimi ve 3B kadastro gibi farklı uygulamalarda ihtiyaç oldukça hissedilmektedir (Ohori vd., 2017; Noardo vd., 2019; Olsson vd., 2018). Ancak, YBM/CBS entegrasyonunun formülize edilmesi, şehir modelinin kalitesinin kontrol edilebilmesini sağlayacaktır. Aksi takdirde, YBM ve CBS'nin entegrasyonu, dönüşümü ve modellenmesi üzerine araştırmalar, özellikle yaşam döngüsü perspektifinden verilerin kullanımını engelleyecek belirsizliğe yol açacaktır.

Araştırmacılar tarafından son on yılda YBM ve CBS'yi entegre etmek için birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen Liu ve Zhong, 2021'de yapmış olduğu anket çalışmasında Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat ve Tesis Yönetimi (MMİ) endüstrisinde evrensel bir entegrasyona ulaşmak için hala bir mesafe bulunmaktadır. Anket sonuçlarına göre %21 MMİ endüstrisi çalışanı YBM veya CBS ile ilgili teknolojileri hiç kullanmamıştır. Ayrıca, ankete katılanların neredeyse yarısı YBM-CBS entegrasyonunun faydalarını bilmemektedir. En önemli kısım ise, YBM-CBS entegrasyon çalışmaları yapanlar, kapsamlı bir anlayıştan ziyade YBM-CBS entegrasyonuna ilişkin tek taraflı bir anlayışa sahip oldukları, kapsayıcı bir anlayışa sahip olmadıkları görülmektedir (Liu ve Zhong, 2021).

Bu nedenle, iki sistem YBM ve CBS arasında daha iyi veri alışverişi için birbirlerinin ihtiyaç duyduğu daha fazla bilgi sağlamalıdır. Örneğin, YBM'den CBS'ye dönüşüm sürecinde, CBS'nin daha fazla bina bilgisi elde etmesi gerekiyorsa, YBM'nin daha ayrıntılı 3B modeller sağlaması gerekir.

Bu tezde ana ilgi alanı 3B bina modelleridir, çünkü bunlar 3B şehir modellerinin en önemli unsurudur. 3B bina verileri, 3B CBS alanından 3B konumsal verileri ve YBM alanından yapı bilgi modelleri (YBM) verilerini içerir. Jeodezik ölçme yöntemleri, total station (bina yapımında yaygın olarak kullanılan), lazer tarama ve fotogrametri gibi konumsal verilerin elde edilmesinin temelidir. 3B şehirleri modellemek için, CityGML genellikle 3B şehir modellerini farklı ayrıntı düzeyinde (LOD'lar) depolamak ve görselleştirmek için kullanılmaktadır. Öte yandan, 3B binayı zengin ayrıntılarla modellemek için, bir binanın dijital temsili olarak YBM, yaşam döngüsü aşamaları boyunca farklı aktörler arasında disiplinler arası iş birliğini kolaylaştırabilir. Endüstri Temel Sınıflarını (Industry Foundation Classes/IFC'ler), farklı YBM platformlarında çok amaçlı bina bilgilerini kolayca değiştirilebilen açık bir uluslararası YBM standardıdır.

Tezin amacı; CBS-YBM entegrasyonunun gelişimini incelemeyi, iki sistemin farklılıklarını ve entegrasyonu hakkında bilgi vererek CBS-YBM entegrasyonun

faidalarını anlatarak entegrasyon sırasındaki zorlukları tartışmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla Necmettin Erbakan Üniversitesinde bulunan Sosyal ve Beşerî İlimler Fakültesinde uygulama çalışması yapılmış; 2B mimari, tesisat ve mekanik projelerinden binanın dijital gösterimini sağlamak için 3B modelleme yapılarak binanın bilgi verisi içermeyen gösterim amaçlı LOD 300 seviyesinde Yapı Bilgi Modeli üretilmiştir. Aynı şekilde fotogrametrik yöntemlerle LoD 4 seviyesinde 3B bina modeli oluşturulmuş ve iki verinin birbiri ile karşılaştırılması ve entegrasyonu yapılarak iki verinin birlikte çalışabilirliği görülmesi hedeflenmiştir.

Tezin bilime katkısı; kaynak araştırması neticesinde Akıllı Şehirler temasına uygun olarak 3 Boyutlu Kent Modelleri ile Yapı Bilgi Modellemesinin entegrasyonu ve birlikte çalışabilirliği üzerine kapsamlı bir çalışma yapılması ve bu çalışmanın LoD 4 seviyesinde olması sebebiyle kaynak araştırmalarında bu seviyede bir çalışma olmadığı için bilime önemli bir katkı sunacağı düşünülerek tez çalışması gerçekleştirilmiş ve sonucunda 3 Boyutlu Kent Modelleri ile Yapı Bilgi Modellemesini arasında entegrasyon ve birlikte çalışabilirliğinin web sunumu gerçekleştirilmiştir. Bu sayede bilimsel literatüre katkı sunulmuştur. Bununla birlikte başta tüm konumsal verileri kullanarak 3B Şehir modelleri ve CBS çalışmaları yapanlar ile MMİ üreticileri ile kullanıcıları ve akademik çevreler olmak üzere harita sektöründen mimarlık, inşaat, elektrik ve makine gibi mühendislik içeren birçok mesleki disiplin tarafından yararlanılabilecektir.

Tez genel olarak şu bölümlerden oluşmaktadır; ikinci bölümde tez çalışmasıyla ilgili olarak daha önce yapılmış kaynak araştırmalarına ilişkin bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölümde materyal olarak tez ile ilgili teorik konulara, yöntem olarak ise tezle ilgili belirlenen yöntem ve analizlere ayrıntılı bir şekilde yer verilmiştir. Dördüncü bölümde tezle ilgili yapılan uygulama çalışması hakkında bilgi verilmiş ve uygulamadan elde edilen bulgular beşinci bölümde değerlendirilmiştir. Altıncı bölümde ise sonuç ve önerilerde bulunularak tez çalışması tamamlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

CBS ve YBM sistemlerinin entegre edilmesine ilişkin bilimsel araştırmalar, 1960'lara kadar dayanan CBS ve 1980'lerin başında geliştirilen YBM ile karşılaştırıldığında nispeten kısa bir dönem olan son on yılda başlamıştır (Wyszomirski ve Gotlib, 2020). Buna ek olarak, YBM ve CBS başlangıçta farklı amaçlar için geliştirildiği için, entegrasyon sırasında birçok zorluk ortaya çıkmıştır (Liu vd., 2017). Bu nedenle, bu iki farklı etki alanını ve entegrasyonlarını daha iyi anlamak için CBS-YBM entegrasyonunun gelişimini araştırmak için YBM ve CBS geliştirme ilerlemeleri incelenmelidir.

"Coğrafi Bilgi Sistemi" terimi Roger Tomlinson tarafından 1968'de "bölgesel planlama için coğrafi bilgi sistemi" adlı bilimsel makalesini yayınladığında ilk olarak önerildi (Tomlinson, 1968). 1970'lerden 2000'lere kadar coğrafi bilgi sistemi (CBS), bilgisayar haritalama, mekânsal veritabanı yönetimi, görselleştirme tabanlı harita analizi, mekânsal istatistiksel modelleme ve CityGML'in uygulanması gibi bir dizi geliştirme sürecinden geçmiştir (Lü vd., 2019). Bölgesel planlama, afet izleme, tarım ve altyapı bakımı ve arazi etütleri, kadastro yönetimi, çevre yönetimi gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak uygulanmaktadır (Wang vd., 2019).

YBM kavramı ilk olarak 1974 yılında binaları ayrıntılı olarak tanımlayabilen, tasarım ve inşaat süreçlerinin takibini sağlayan bir veritabanı şeklinde tanımlanan bina tanımlama sistemi olarak ortaya çıkmıştır (Eastman, 1974). IFC 1997 yılında ilk olarak International Alliance for Interoperability (IAI) tarafından farklı MMİ prosedürleri arasındaki bilgi paylaşımını gerçekleştirmek üzere yayınlandı (Işıkdag vd., 2007), Autodesk'in 2002'de "yapı bilgi modellemesi" adlı bir teknik inceleme yayınlamasına kadar "yapı bilgi modeli" ve "bina bilgi modeli" (kısaltması YBM) terimleri yavaş yavaş yaygınlaşmaya başlamıştır (Autodesk, 2002). Daha sonra Amerika Birleşik Devletleri'nde 2006'da Yapı bilgi sınıflandırması ve kodlama sistemi olarak çıkan Omniclass'ın ve 2007'de Ulusal YBM Standardı'nın yayınlanmasıyla YBM hızlıca geliştirilmiştir (NBIMS, 2006). Bundan sonra projenin tüm yaşam döngüsünü yönetebilen YBM, MMİ endüstrisinde önemli bir role sahip olmuştur (Autodesk, 2021).

Yukarıda anlatıldığı üzere 2000'li yıllar YBM ve CBS için hızlı bir gelişim dönemidir. CBS'nin gelişmesiyle 3B şehir kavramı ortaya çıkmıştır (Shi vd., 2003). Bununla birlikte, 3B şehrin birincil kaynağı fotogrametri (Baltsavias, 1999) veya lazer tarama (Rottensteiner, 2003) verileridir. 3B şehir kavramının çıkış noktası CBS olması sebebiyle iç mekân verilerine çok önem verilmemiş ve bu da binaların yeterli geometrik ve

semantik bilgilere sahip olmasını engellemiştir. Bununla birlikte, YBM'nin gelişmesiyle araştırmacılar, YBM modelinin 3B şehirlerdeki binaların ana gövdesi olarak kullanılabileceğini önerdiler. 2007 yılında Işıkdag vd. (2007) YBM'nin nesne yönelimli veri yapısında yapı elemanlarının geometrik ve semantik bilgilerini içerebileceğini, burada semantik bilgilerin ve mekânsal ilişkilerin oluşturabileceğini önermiştir. Aynı zamanda, CityGML'in gelişimi ile CBS sisteminin 3B geometriyi ve mekânsal ilişkileri desteklemesini sağlamıştır. Bu iki teknolojik gelişme göz önüne alındığında, 3B şehir kavramı konumsal veriye dayalı binanın kapsamlı kullanımına yönelmeye başlamıştır. Ayrıca, Işıkdag vd. (2007) öncelikle yangın durumlarında müdahale etme yönetimine yönelik entegre sistemi önermişler ve başarıyla uygulamışlardır. Sonraki yıllarda, araştırmacılar sürekli derinlemesine entegrasyon çalışmaları yürütmüş ve bu iki alanın entegrasyonunun karşılıklı faydalar sağlayabileceğini, iki tarafında kazanacağı bir sistemin oluşturulup güçlü bir sinerji oluşturabileceğini görmüşlerdir. Kurwi'ye (2019) göre, YBM ve CBS'nin entegre edilebildiği yaşam döngüsü aşamalarına örnekler Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Entegre YBM ve CBS uygulamalarına örnekler.

Proje Aşaması	Uygulama
Planlama ve Tasarım	Yer seçimi (Işıkdag vd., 2008).
	CBS verileri, YBM modelleri ve iklim verilerini entegre ederek iklim değerlendirmesi (Hjelseth ve Thiis, 2008).
	Enerji verimliliği performansının web ortamında değerlendirmesi (Bai vd., 2017).
	Entegre CBS-YBM platformunda trafik yoğunluk takibi (Deng vd., 2016).
İnşaat	YBM ve CBS İşbirliği Olanakları üzerine Çalışma (Tobias, 2015).
	Görselleştirilmiş bir inşaat tedarik zinciri yönetiminde tedarik zincirinin yönetilmesi sistemi (Irizarry vd., 2013)
İşletme ve Tesis Yönetimi	Acil müdahale ve iç mekân navigasyonu (Işıkdag vd., 2013; Zverovich vd., 2016).
	Tesis varlık yönetimi (Zhang vd., 2009).
	Altyapı ağları için entegre CBS-YBM platformu (Liu vd., 2012).
	Entegre CBS-YBM platformunda miras koruma tabanı (Bianco vd., 2013).
	Sel hasar tespiti (Amirebrahimi vd., 2016).

CBS-YBM entegrasyonu ile ilgili birçok tez, makale ve araştırmada özellikle veri dönüşümü ile ilgili zorluklar olmak üzere çeşitli çözümler önermektedir. Birçok sorun teorik ve uygulama anlamında çözülmüş olsa da hala çözülmeyi bekleyen birçok teknik ve teknik olmayan sorunlar çözülmeyi beklemektedir. Bu kapsamda aşağıda, tez çalışması ile ilgili bazı örnek literatür çalışmaları bulunmaktadır.

Metin (2016) tarafından yapılan “Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi Kavramı İnce Minareli Medrese (Konya) Örneği” isimli yüksek lisans tezinde, kent bilgi sistemlerinde kullanılmak üzere LoD 4 seviyesinde İnce Minareli Medresenin üç boyutlu modelini yersel lazer sistemleri ve ortofoto yardımıyla tasarlamıştır. Tasalanan bu model ile iç mekân ve dış mekân verilerinin sunumu gerçekleştirilmiştir. Tarihi mekanlar için özelleşmiş YBM kavramı olan Tarihi Yapı Bilgi Modeline (TYBM) güzel bir örnek olan çalışmayla 3B kent modellerinin farklı alanlarda kullanılabileceği başarıyla gösterilmiştir.

Kymmell (2008) tarafından yayımlanan “Yapı Bilgi Modellemesi 4D CAD ve Simülasyonlarla İnşaat Projelerinin Planlanması ve Yönetilmesi” isimli çalışmada San Joe’de Sketchup programı kullanılarak modellenip Google Earth’de gösterime sunulan BEA Kampüsü; CBS - YBM entegrasyonu çalışmalarının ilk örneklerindendir. LoD 2 seviyesinde yapılan modelleme ilk örneklerden olması sebebiyle literatürde oldukça ilgi çekmiştir.

El-Mekawy (2010) tarafından “3B Şehir Modellemesi için YBM ve CBS Entegrasyonu” isimli yüksek lisans tezinde, CityGML ve IFC entegrasyonu üzerine çalışmalar yapılmış ve önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için, İsveç’in başkenti Stockholm’ün kuzeyindeki Norrtälje Şehrinde bulunan bir hastane binasında pilot çalışması yapılmıştır. Pilot çalışmasının amacı, farklı ayrıntı seviyelerinde farklı yapı elemanlarının nasıl inşa edilebileceğini göstermek olup tezdeki entegrasyon yaklaşımı, bir ortak yapı formüle ederek ortak bir veritabanı geliştirmek için bir başlangıç noktası olarak görülmektedir. Böyle bir platform ile IFC ve CityGML’den gelen veriler otomatik olarak entegre edilebileceği ve farklı analizlerde kullanılabileceği görülmüştür.

Akkaya vd. (2011) tarafından sunulan “Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü İnşaat Fakültesi Binasının 3Ds Max Yazılımıyla Üç Boyutlu Modellemesi” isimli bildiride, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsünde yer alan İnşaat Fakültesi Binası 3Ds Max Yazılımıyla LoD 4 seviyesinde modellenmiştir. Ancak bu modelleme koordinat sistemine aktarılmadığı için haritalar üzerinde gösterimi yapılamamıştır. Bu yüzden entegrasyondan daha çok “CAD to BIM” ve “Scan to BIM” yöntemlerine güzel bir örnek olmuştur. Ülkemizde yapılan ilk çalışmalardan olması ve farklı disiplinlerin birlikte

çalışması nedeniyle ulusal literatürde önem arz etmektedir.

Boanca (2014) tarafından yapılan “Varlık Yönetimi için YBM-CBS Entegrasyonu” yüksek lisans tezinde, YBM’ye ilişkin IFC standartları ile CBS’ye ilişkin CityGML standartları arasında bir entegrasyon kurulumu ve bunun taşınmaz yönetiminde kullanımı üzerinde çalışma yapılmış ve OBSURV uygulamasıyla pilot çalışmalar yapılmıştır. Ancak YBM-CBS Entegrasyonu konusundaki mevcut araştırmalar, IFC - CityGML dönüşümünün etrafındaki geometrik ve anlamsal konulara iyi bir genel bakış sunsa da, bu yazılım ve uygulama (Obsurv) için yeterli değildir: Obsurv'daki YBM-CBS entegrasyonuna ilişkin kullanıcı gereksinimleri (IFC-CityGML dönüşümü) basit bir şekilde yerine getirilmemiştir.

Bai (2016) tarafından yapılan “Kamu Binaları Enerji Tasarımı için YBM-CBS Entegrasyonu” isimli yüksek lisans tezinde, British Columbia Üniversitesinin eğitim binalarının üç boyutlu şekilde modellenerek YBM-CBS Entegrasyonu sağlanmış, yıllık enerji tüketimleri üzerinden analizler yapılmış en son bu veriler ve entegrasyon web sunumundaki zorluklarla birlikte araştırılmıştır. Kavramsal olarak YBM-CBS entegrasyonu iyi bir şekilde sağlanmış olsa da uygulama yönünde aynı başarı elde edilmediği görülmüştür. Buna sebep olarak ise iç mekan verilerinin ve YBM verilerinin oldukça kapsamlı olduğu ve CBS uygulamalarının bunları karşılamadığı belirtilmiştir.

Bengtsson ve Grönkvist (2017) tarafından “Yapı Bilgi Yönetim Modellerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Analizinin Yapılması” isimli yüksek lisans tezinde, Stockholm şehrinde bulunan farklı bina ve altyapı projelerinde Revit, FME ve ArcGIS gibi lisanslı uygulamalarla işlenerek birbirlerine karşılıklı dönüşümü ve birlikte çalışması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Sonuç olarak LoD 3 seviyesinde birçok binanın gösterimin sağlanabildiği görülmüştür. LoD seviyesinde yaptıkları dönüşümlerde ise çok hata aldıkları için gerekli entegrasyonu sağlayamadığı açık bir şekilde görülmüştür. Ancak ileriki çalışmalar için otomatik entegrasyonun yeterli olmayacağı ve manuel bir entegrasyon ile çözüm alınabileceği önerilmiştir.

Ohuri vd. (2018) tarafından sunulan “Uygulamada YBM ve CBS Modellerinin İşlenmesi - Hollanda'da Bir GeoBIM Projesinden Deneyimler ve Öneriler” isimli bildiride, YBM’ye ilişkin IFC standartları ile CBS’ye ilişkin CityGML standartları arasında bir entegrasyon kurularak GEOBIM adında bir metodoloji geliştirilmiş ve Hague şehrinde örnek bir çalışma yapılmış ancak sonuç olarak; YBM’nin birçok geometrik ve topolojik hata içermesi sebebiyle YBM ve CBS verilerinin tam entegrasyonunun sağlanmasının mevcut çalışmada kolay olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca YBM verileri genellikle CBS verilerinden beklenenden çok daha ayrıntılıdır. Bu nedenle, bir YBM veri setinin tüm

detaylarının CBS verilerine entegre edilmesi pek olası olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır.

Nie (2019) tarafından “Altyapı Ağı Yönetimine Yönelik 3B YBM-CBS” isimli yüksek lisans tezinde, Rotterdam şehrinde merkezi otorite, yerel yönetimler ve Google Earth üzerinden elde edilen; yol, ağaç, ışıklandırma, bina, elektrik, doğalgaz, atıksu, içme suyu ve televizyon, telefon ile fiber kablolar gibi altyapı projelerinin 2B çizimlerinin öncelikle modellenerek 3B hale getirildiği, daha sonra City Engine adlı lisanslı uygulama ile web sunumu gerçekleştirildiği görülmüştür. Ancak iki boyutlu dwg ve shp formatlarının otomatik dönüşümde oldukça sorun yaşandığı çoğu verinin dönüşümünün manuel yapıldığı ve bunun oldukça zaman kaybettirdiği ve proje yönetimi açısından oldukça dezavantajlı olduğu bildirilmiştir.

Sun (2019) tarafından “3B Konumsal Veri ve YBM Verilerinin Entegrasyonu ve 3B Şehir Modelleri ile 3B Kadastroda Kullanımı” isimli yüksek lisans tezinde, Kadastro bilgilerinin YBM ve 3B CBS ile birlikte genel gereksinimlerle birlikte paylaşılması ve entegre edilmesi için genel bir çerçeve oluşturarak 3B Kadastro için altlık olması sebebiyle Arazi İdaresi Temel Modeli (AİTM) standartına uygun olarak CityGML özelinde CBS ve YBM arasında bir entegrasyon önerilmiş ve Stokholm’de bulunan üç farklı yapıda sonuçları irdelenmiştir. 3B Kadastro çalışmaları için kavramsal bir model önerilmiş olsa da çok yeterli olmadığı daha kapsamlı bir çalışmanın yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca geleneksel kadastro anlayışında binalara ilişkin daha çok 2B sınırlar yer alırken modern kadastro anlayışı olan arazi idare sistemlerinde ise binalara ilişkin isterlerin arttığı ve 3B olarak birçok talebin olduğu görülmüş ve bu sebeple iyi bir 3B kadastro sistemi oluşturulacak ve sürdürülebilirliği düşünülüyorsa kesinlikle YBM ve ilgili disiplinlerle kesinlikle entegrasyonun yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Sahar (2019) tarafından “YBM ve CBS Tasarım İşbirliğini Demiryolu Projelerine Entegre Etme” isimli doktor tezinde, öncelikle ayrıntılı bir YBM ve CBS entegrasyonuna yönelik literatür çalışması yapılmış ve daha sonra demiryolu projelerinde entegrasyonun kullanımına yönelik önerilerde bulunulmuş ve demiryolu projeleri için teorik bir entegrasyon modeli önerilmiştir. Demiryolu projelerinin bina projelerine göre bazı bölümlerde daha ayrıntılı iken bazı bölümlerde daha az ayrıntıya sahip olduğu vurgulanırken güncel IFC standartlarının demiryolu projelerine göre yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini vurgulanmıştır. Ayrıca YBM projelerinin özneteliklerinin üretilirken CBS ile entegre edileceğinin düşünülerek üretilmesi gerektiği ve koordinat referans sistemleri ile entegre üretilmesinin YBM ve CBS entegrasyonunu için çok önemli bir unsur olduğu özellikle vurgulanmıştır.

Altıntaş (2020) tarafından “İmar Kurallarının Otomatik Kontrolünün Desteklenmesine Yönelik CBS ve YBM Bütünleşmesi İçin Bir Yöntem” isimli doktora tezinde, CBS’de kentsel veriler ile imar planlarını ve YBM ortamında da bina tasarımının bulunmasının oldukça önemli olduğu vurgulanmış ve halihazırda imar kuralları, çevre ve CBS verilerinin tasarım süreçlerinde gözardı edilerek tasarlandığını ve bunun tasarımın onay süreçlerinde oldukça sorunlar yarattığını vurgulamaktadır. Çalışmada oluşturulan YBM ve CBS entegrasyonu ile karşılıklı birbiri ile uyumluluğu bir prototiple test edilmiştir. İmar verileri, çevre ve CBS verileri ile zenginleştirilmiş YBM verisinin uyumluluk denetimi otomasyonu süreçlerini desteklediği, basılı kopya ihtiyacını ortadan kaldırdığı ve onay süreçlerini basitleştirerek tasarımcıların yerel yönetimlere göndermeden önce tasarımları uygunluk açısından kendilerinin kontrol etmelerini sağladığı görülmüştür.

Liu ve Zhong (2021) tarafından “YBM ve CBS Entegrasyonu Analizi: Anket ve Kaynak Araştırmasının Sonuçları” isimli yüksek lisans tezinde, CBS ve YBM entegrasyonu üzerine öncelikle literatür çalışması yapılmış ve daha sonra entegrasyonun önemi, gerekliliği ve zorluklarını araştırmak adına bir anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışmasının sonucunda verinin daha çok Çin yoğunluklu olsa da oldukça önemli bilgiler verdiği görülmüştür. Daha çok teorik önerilerde bulunan çalışmada, YBM ve CBS'nin sorunsuz entegrasyonu, kentsel ve mühendislik alanlarında planlama, tasarım, işletme ve yönetim için yeni bir yol açacağı ve paydaşların temel çalışmalarında daha rasyonel, verimli ve bilimsel olarak tasarımlarına ve yönetmelerine olanak sağlayacağı sonucuna ulaşıldığı görülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal ve yöntem bölümünde; Akıllı Şehirler konsepti öncelikle ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Daha sonra akıllı şehirlerin en önemli bileşeni olan Kent Bilgi Sistemlerine değinilmiştir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak artık kent bilgi sistemlerinin 3 Boyutlu gösterimi bir gereksinim olduğundan dolayı daha sonra 3 Boyutlu Kent Modelleri kavramı açıklanmış ve CityGML ve detay seviyeleri anlatılmıştır. Buradan akıllı şehirlerin bir diğer önemli bileşeni olan Yapı Bilgi Modellemesi, IFC standartları ve detay seviyeleri anlatıldıktan sonra CBS ve YBM arasındaki ilişki ve entegrasyona değinilerek CityGML ile IFC kavramlarının karşılaştırılması ve entegrasyonu ile bölüm tamamlanmıştır.

3.1. Akıllı Şehirler

Şehirleşmenin tabiat ve insan üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi, nüfus ve şehirleşme baskılarının azaltılması ve daha verimli, yaşanabilir şehirler için yeni planlama yaklaşımları ortaya çıkmıştır. 1990'lı yıllardan itibaren, yeşil şehir, eko şehir, yaşanabilir şehir, dijital şehir, akıllı şehir ve benzeri terimler ile adlandırılan girişimler geliştirilmektedir.

Akıllı Şehir yeni ve gelişmekte olan bir kavram olup 2010'lu yıllardan itibaren yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bilimsel literatürde akıllı şehirler üzerine sabit, standartlaştırılmış ve mutabık kalınan bir tanım bulunmamaktadır. Akademisyenler, bilim insanları, politikacılar, bürokratlar, vatandaşlar ve işletmeler gibi çok farklı disiplinlere göre birçok akıllı şehir tanımı bulunmaktadır (Huovila vd., 2019). Neredeyse tüm tanımlar akıllı ekonomi, akıllı çevre, akıllı toplum, akıllı ulaşım ve yaşam kalitesi gibi amaçlarla tanımlanmasına rağmen akıllı şehir tanımı, şehrin önceliklerine ve zorluklarına bağlı olarak tanımlayıcının yaklaşımıyla tanımlandığı için bu farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

Tanımlara örnek vermek gerekirse, BM ve Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafında 300 civarı uluslararası uzmanın dahil olduğu çok paydaşlı bir yaklaşımla akıllı şehiri; “ekonomik, sosyal, çevresel ve kültürel açıdan bugünün ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamasını sağlarken yaşam kalitesini, kentsel operasyon ve hizmetlerin verimliliğini ve rekabet gücünü artırmak için bilgi teknolojileri ve diğer araçları kullanan yenilikçi bir şehirdir.” olarak tanımlamaktadır (URL-1). Avrupa Birliği (AB) ise akıllı şehiri; “daha iyi kaynak kullanımı ve daha az emisyon için sakinlerinin ve iş dünyasının

yararına dijital ve telekomünikasyon teknolojilerinin kullanımıyla geleneksel ağların ve hizmetlerin daha verimli hale getirildiği bir yerdir.” şeklinde tanımlamış olup aynı zamanda daha etkileşimli ve duyarlı bir şehir yönetimi, daha güvenli kamusal alanlar ve yaşlanan nüfusun ihtiyaçlarının karşılanması anlamına gelmektedir (URL-2). Ülkemizde ise konuya ilişkin tanımları bakıldığında; Mülga Kalkınma Bakanlığı, Bilgi ve İletişim Teknolojileri Destekli Yenilikçi Çözümler Eksenli Mevcut Durum Raporunda akıllı şehir; “günümüzde kentlerin yasadıkları sorunları çözmeyi ve kentlerde yaşayanların hayat kalitesini artırmayı amaçlayan “Akıllı Şehir” çözümleri önem kazanmaktadır ve dünyadaki pek çok şehirde hızla uygulamaya geçirilmektedir.” şeklinde tanımlanmaktadır (Kalkınma Bak, 2013). Son olarak; 1 sayılı Cumhurbaşkanı Kararnamesi ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğüne akıllı şehirler için politika ve strateji çalışmalarını yürütme görevi verilmiş bu kapsamda 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı oluşturulmuştur. Bu eylem planında akıllı şehir kavramını; “Paydaşlar arası iş birliği ile hayata geçirilen, yeni teknolojileri ve yenilikçi yaklaşımları kullanan, veri ve uzmanlığa dayalı olarak gerekçelendirilen ve gelecekteki problem ve ihtiyaçları öngörerek hayata değer katan çözümler üreten daha yaşanabilir ve sürdürülebilir şehirlerdir.” olarak tanımlamaktadır (ÇŞİDB, 2019).

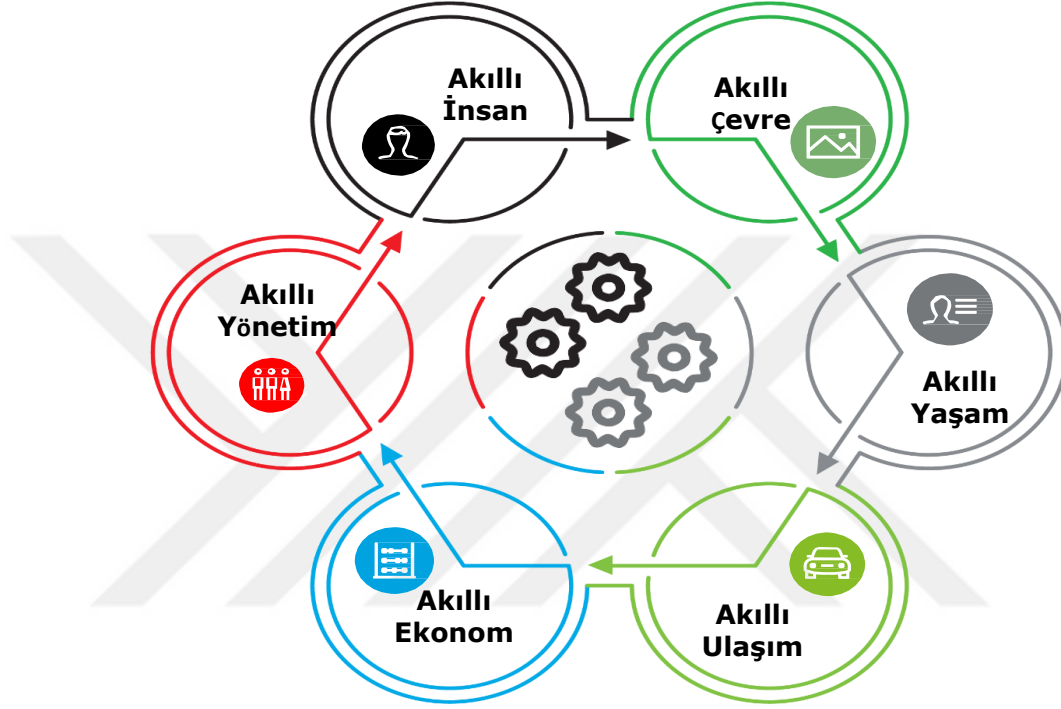
Akıllı Şehir temel olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Kent Bilgi Sistemi (KBS) gibi kentlerin teknolojik altyapı sistemleri ile bütünleşik ve gerçek zamanlı veriye dayalı karar alma mekanizması ile birlikte yer alması önem arz etmektedir. Yukarıdaki tanımlara bağlı ve ortak kavramlardan yola çıkarak akıllı şehirleri gelişmiş bir Kent Bilgi Sistemine sahip, şehirde yaşayan insanların bütün hizmetlerden elektronik olarak yararlanabildiği hatta mobil sistemlerle desteklendiği, şehire ilişkin tüm alanlarda bilgi sağlayan bütünleşik bir bilgi optimizasyonu sağlamış kent yapılanmaları olarak tanımlanabilmektedir.

Yukarıdaki tanımlar ve Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu'na göre 2030 yılında dünya nüfusunun yaklaşık yüzde 66'sını oluşturacağı tahmin edilen 5 milyardan fazla insanın şehirlerde yaşayacağı düşünüldüğünde şehirlerin akıllı olması artık bir gerekliliktir (Lea, 2017).

3.1.1. Akıllı Şehir Bileşenleri

Akıllı sürdürülebilir şehirler, ekonomik büyüme, yaşam kalitesi ile iklim değişikliği ve hava kalitesi gibi çevresel sorunlara çözüm üretmeyi amaçlamaktadır

(Ejaz ve Anpalagan, 2018). Bir kentin, akıllı bir şehir olarak kabul edilebilmesi için aşağıda belirtilen 5 başlığın çoğunda kentlerin problemlerinin çözümü için bilgi teknolojilerinden faydalanarak akıllı çözümlerin geliştirilmesi ve şehirde yaşayanların bu çözümleri bir yaşam biçimi olarak benimsemeleri gerekmektedir. Şekil 3.1’de akıllı bir şehrin bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Akıllı Şehir Bileşenleri

3.1.1.1. Akıllı Ekonomi

Ekonomi genellikle bir şehrin zenginliğini ve kaynaklarını, özellikle mal ve hizmetlerin üretimi ve tüketimini ifade etmektedir. Akıllı şehir girişimlerinin ana tetikleyicilerinden birisi şehir ekonomisidir. Ekonomik rekabet gücüne sahip şehirler, akıllı bir şehrin özelliklerine sahip olma imkanına sahiptir. Bu nedenle, akıllı bir şehirde ekonomik kalkınma, girişimcilik, ticari markalar, üretkenlik ve istihdam gücünün esnekliği ve ulusal ve uluslararası pazarların entegrasyonu gibi ekonomik rekabet gücü etrafındaki tüm faktörleri kapsamaktadır (Chourabi vd, 2012). Şu anda, dünyadaki en büyük 100 kentin, dünya genelindeki gayrisafi yurt içi hasılanın %25'ini

oluşturmaktadır (Iliadis vd, 2013). Şehirlerde artan nüfus, ürünlere daha fazla taleple sonuçlanmakta ve uluslararası pazarda daha fazla ticaret ihtiyacı doğurmaktadır. Nüfustaki büyüme ekonominin daha iyi olması ile çözümlenebilecek bir problemidir. Görünüşe göre, akıllı ekonomi olarak da bilinen ekonomik kalkınma, akıllı şehirler bağlamında kalkınma stratejisinin uygulanmasında kilit bir rol oynamaktadır.

3.1.1.2. Akıllı İnsan

Akıllı şehirler, akıllı insanlar ve akıllı teknolojiler desteklendiği sürece gelişmeye ve büyümeye devam edecektir. Akıllı bir şehirde yaşayan insanlar, akıllı şehir kavramlarının başarılı olması için hayati varlıklar oldukları için sağladığı teknolojik olanaklardan yararlanmak için gerekli teknik becerileri kazanmalıdır (Augustyn, 2013). İnsanların akıllılık durumu, eğitim, yaratıcılık, inovasyon ve katılım gibi göstergelerden faydalanarak belirlenebilmektedir. Bir şehrin en önemli başarı faktörü insanların katılımıdır. Bireyler bilgiyi birlikte oluşturmak ve paylaşmakla ilgilenmiyorsa, akıllı şehir hedefi başarısız olmaya mahkumdur. Akıllı insanlar, şehirdeki insan kaynaklarının ve işgücünün kalitesini sürekli iyileştirmek için şehir sakinleri için gelişmiş eğitim sistemi ve tesisleri geliştirmelidir.

3.1.1.3. Akıllı Yönetim

Akıllı Yönetim, bir şehrin iç yönetim şekli olarak yorumlanabilmekte olup her akıllı şehir kendi iç dinamikleri olması sebebiyle birbirinden farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, akıllı şehirler genellikle kendi yönetim biçimlerine sahiptir. Akıllı yönetişimin en önemli unsurları, açıklık, karar verme mekanizmasına katılım, şeffaf yönetim, hesap verebilirlik, etkinlik ve tutarlı kamu politikaları yürütme yaklaşımıdır. Karar alma süreçlerine halkın katılımı ve yüksek kaliteli kamu hizmetlerinin mevcudiyeti, akıllı ve sürdürülebilir bir şehirde hükümet verimliliği için kilit faktörlerdendir (Eşme, 2018). Son olarak, devlet hizmetlerini dijitalleştirmek için bilgi teknolojilerinin kullanımı, akıllı şehirlerde devlet verimliliğini kolaylaştırmaktadır.

3.1.1.4. Akıllı Ulaşım

Ulaşım muhtemelen bir şehrin en önemli yönlerinden biridir. Akıllı bir şehirde, akıllı ulaşım bütünleşik bilgi ve iletişim teknolojilerinin (iletişim altyapısı, halka açık bağlantı istasyonları, hizmet uygulamaları) ve çevre dostu ulaşım sistemlerinin (elektrikli araçlar, akıllı ulaşım, trafik yönetimi) mevcudiyeti ve erişilebilirliği anlamına gelmektedir (Balakrishna, 2012). Vatandaşların bir noktadan diğerine hızlı ve verimli bir şekilde ulaşması çok önemlidir. Akıllı ulaşımın en önemli unsuru şehir içi ulaşım ağlarıdır. Akıllı ulaşım, şehirleri trafik sıkışıklıkları, trafik güvenliği, optimize edilmiş ve gerçek zamanlı toplu ve özel ulaşım erişim ve park alanları açısından sürdürülebilir olmaya teşvik etmekte ve bilgi teknolojilerinin artan kullanımı sayesinde zararlı gaz emisyonlarını azalmasını sağlamaktadır.

3.1.1.5. Akıllı Çevre

Nüfus artışı yüksek emisyon seviyelerine, doğal kaynak tüketimine ve artan atık çıkışına neden olduğundan, herhangi bir kentsel alanın en büyük zorluklarından birisi çevre ile ilgili hizmetler sunmasıdır (Augustyn, 2013). Akıllı çevre, sürekli sürdürülen çevre koruma politikalarıyla çevrenin kalitesini iyileştirmek ve onu olumsuz etkileyen her şeyi önlemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, akıllı çevre, teknolojik çözümler yoluyla iklim değişikliği, yeşil atık kullanımı, azaltılmış emisyon salınımı ve sürdürülebilir doğal kaynak yönetiminin benimsenmesini de zorunlu kılmaktadır (Vinod Kumar ve Dahiya, 2016). Esasen akıllı çevre şu faktörleri içermesi beklenmektedir: Kentsel altyapı, karbon salınımı, su ve enerji kullanımı, çevre koruma, sürdürülebilir kaynak yönetimi vb. Sürdürülebilir bir çevre elde etmek için genel olarak teknolojisi çözümler üretilmesi ve sürekli yatırım yapılması gerekmektedir.

3.1.1.6. Akıllı Yaşam

Şehir sakinleri bir şehrin kalkınmasının anahtarıdır. Akıllı yaşamdan bireylerin yaşam kalitesinin iyileştirilmesi beklenmektedir. Yaşam kalitesi, insanların dostça ve mükemmel bir şekilde yaşayıp çalıştığı bir kentsel alan yaratmayı amaçlamaktadır. Bunun için şehirlerin, yüksek kaliteli sağlık, eğitim ve barınma sistemleri, kültürel, sosyal ve spor tesisleri, turizm ve güvenliğin yanı sıra insanlar için çevre dostu binaları

içermesi beklenmektedir (Eşme, 2018). Kısaca akıllı yaşam fikri, çevre dostu bir ekosistem oluşturmak için tutarlı bir şekilde kapsayıcı bir kentsel yaşamla ilişkilidir.

3.1.2. Akıllı Şehirlerin Kazanımları

Dünyada çok farklı metot ve amaçla üretilmiş çok sayıda akıllı çözüm bulunmaktadır. Şehirlerin yapısı, ihtiyaçları gibi sebepler bu farklılıklara sebep olmaktadır. Bununla birlikte, akıllı şehirlerde en yaygın çözümler; akıllı şebekeler, akıllı evler, ulaşım ve trafik yönetimi, e-sağlık, atık yönetimi, kamu güvenliği, halka açık kablosuz internet olarak sıralanmaktadır.

3.1.2.1. Akıllı Şebekeler

Geleneksel elektrik şebekeleri, elektriğin merkezi bir elektrik santralinden tüketici hanelerine tek yönde aktığı hiyerarşik bir altyapı kullanmaktadır. Bununla birlikte, mevcut elektrik şebekeleri, günümüzde artan nüfusun artan talebini karşılamakta zorlanmaktadır. Kentlerin, tüm dünyadaki enerji kullanımının %60 ila %80'inden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir. Enerjinin dağıtımının ve tüketimini optimize etmek çok önemlidir. Akıllı şebeke, yardımcı program ve tüketiciler arasındaki bilgileri otomatik bir şekilde yönetmek için bilgi teknolojileri kullanarak modernize edilmiş bir yapıya denilmektedir (Basharat vd, 2015). Ayrıca akıllı şebekeler, akıllı sayaçlar gibi unsurlarla desteklendiğinde, hırsızlığa karşı koruma, uzaktan bağlantı/bağlantı kesme, gerçek zamanlı fiyatlandırma, güç kalitesi ölçümü, yük yönetimi, kesinti bildirimi gibi faydalar sağlamaktadır. Akıllı şebeke teknolojisi ile enerjinin üretilerek kullanıcıya sunulmasını ve böylece verimliliği arttırarak çevresel etkileri ve maliyetleri azaltmaktadır.

3.1.2.2. Akıllı Ev

Ev ve iş ortamlarında aydınlatma, ısıtma, klima, bilgisayar, ev aletleri gibi birçok enerji tüketen alet bulunmakta olup bu cihazlar genellikle enerji verimliliği ve sürdürülebilirliği anlayışı ile uyuşmamaktadır. Akıllı ev kavramı, enerji tüketen her birimi bir düğüm olarak kabul edip akıllı bir ilişki kuran bir sistem olup tüm üniteler birbirleriyle ağ üzerinden haberleşmekte ve kontrol edilebilmektedir. Akıllı evler, boşa

harcanan enerji miktarını azaltmak için her cihazı enerji verimli bir şekilde akıllıca yönetmektedir (Ejaz vd, 2017). Genel olarak, akıllı evler bir enerji yönetim sistemi olup cihazların uzaktan kontrolü, cihazların kullanımı için zamanlanmış program ve diğerleri arasında gerçek zamanlı tasarruf sağlamaktadır.

3.1.2.3. Akıllı Ulaşım Stratejileri

Yüksek nüfuslu şehirlerin çoğu yoğun trafik yüküne sahip olup bu yükte büyük miktarlarda sera gazı emisyonu ve israfa yol açmaktadır (Stiller vd, 2012). Bu gaz emisyonu ve israfı önlemek için şehirlerin kamu ve özel ulaşım stratejileri oluşturması gerekmektedir. Bu kapsamda; elektrikli araçlar, akıllı taşıma sistemleri ve fiziksel altyapının iyileştirmesi gibi akıllı ulaşım stratejileri üreterek uygulaması gerekmektedir. Böylelikle elektrikli araçlarla gaz salınımının azalması sağlanmakta, sensörler ile desteklenen akıllı taşıma sistemleri ise makine öğrenme ve yapay zekâ gibi teknolojik disiplinlerle maddi ve zaman açısından tasarruf konusunda oldukça fayda sağlamaktadır.

3.1.2.4. Akıllı Sağlık Hizmetleri

Nüfus artışları ve şehirlerin kalabalık hale gelmesi sağlık sistemlerinin oldukça zorlanmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte, bilgi teknolojilerinin sağlık sektöründe kullanılması ile elektronik sağlık (e-sağlık) kavramı ortaya çıkmıştır. Akıllı uygulamalar birçok sağlık hizmetinde maliyetleri azaltmaya ve verimliliği artırmaya yol açmıştır. Sonuç olarak, sağlık tesisleri daha kullanışlı hale gelmekte ve hastalara daha iyi hizmet sunulması sağlamaktadır. Hastalar ve doktorlar arasındaki iletişim, hastalar için uzak teşhis, elektronik tıbbi kayıtlar, alo sağlık gibi sağlık hizmetlerini uzaktan sağlamak ve böylelikle şehirlerdeki ulaşım problemlerine de yardımcı olmakla birlikte tıbbi kaynakların maliyetlerini de azaltmaktadır (Pellicer vd, 2013).

3.2. Kent Bilgi Sistemleri (KBS)

Ülkemizde ilk nüfus sayımının yapıldığı 1927 yılında %24 civarı, 1960'lı yıllarda ise nüfusunun %30'u civarı kentlerde yaşarken, 2020 yılında bu oran %76'ya ulaşmıştır (Dünya Bankası, 2020). Ayrıca bu durum sadece ülkemizde değil diğer tüm

ülke örneklerde de benzer olduğu görülmektedir. Ülkelerde kamu hizmetlerinin kalitesi, ülkedeki refah seviyesi ile direk ilişkilidir. Bu kapsamda kentlerde yaşamın bu seviyede artması ile özellikle belediyelere/yerel yönetimlere önemli bir yük binmektedir. Belediyeler hizmetlerini etkin, hızlı ve verimli bir şekilde sağlayabilmesi için mevcut tüm bilgileri doğru, etkin, hızlı ve verimli bir şekilde ve zamanla yarışarak kullanması ve hizmet üretmesi gerekmektedir. Bahsi geçen verilerin çoğu ya konumsal verinin kendisi ya da konumsal veri ile direkt ilişkilidir. Bu yüzden, CBS, belediyelerin bu minvaldeki hizmetlerini yerine getirebilecek yapıda bir sistemdir. Kentlerde bulunan tüm konumsal verilerin sistematik olarak toplanması, güncel bir şekilde depolanması, analiz edilmesi ve sunulması amacıyla CBS'nin kent seviyesinde kullanımına Kent Bilgi Sistemlerini oluşturmaktadır. Kısaca; KBS, CBS'nin belediyeçilik hizmetlerinde vuku bulmuş halidir. En temel tanımla ise KBS, kentsel alanlardaki hizmetlerin yürütülmesinde optimum karar verebilmek için istenen; temel hizmetler, mühendislik, planlama ve yönetsel bilgileri hızlı ve verimli bir şekilde sağlayan bir bilgi sistemidir (Yomralıoğlu, 2006).

KBS verilerini öncelikle iki ana başlıkta toplanabilir. Bunlar konumsal ve söze verilerdir. Burada sözel verileri özelleştirmek istendiğinde belli başlıları; nüfus, adres, tapu ve vergi gibi bilgiler sıralanabilir. Konumsal verileri ayrıntılı şekilde incelendiğinde, en önemli iki konumsal verisi mülkiyeti yansıtan kadaströ verileri ile kent planlaması için imar verileridir. Bunlara ek olarak, halihazır haritalar, kent altyapı projeleri, çevresel ve doğal kaynaklara ilişkin konumsal veriler sıralanabilmektedir.

Belediyeler, sunulan hizmetlerin en hızlı ve verimli şekilde sunulması için özellikle bilgi teknolojileri olmak üzere tüm olanaklardan faydalanması gerekmektedir. Bu sebeple vatandaşlara hizmet verirken KBS uygulamalarını kesinlikle kullanmayı düşünmelidirler. Bilindiği üzere CBS'nin bileşenleri; donanım, yazılım, veri/veri yönetimi, yöntemler ve kullanıcılarıdır (URL-3). CBS'nin kente uyarlaması olan KBS bileşenlerinin CBS bileşenleri ile benzer olması kaçınılmazdır. Bu bağlamda, KBS'nin bileşenlerini aşağıda olduğu gibi belirtmek mümkündür.

- **Yönetim:** Konumsal veri altyapısına yönelik gerekli idari yapılanma ve politikalarıdır.
- **Personel:** CBS ve konumsal veriyi kullanıp yönetmek için gerekli olan teknik personeldir.
- **Veri Sunma:** Konumsal verinin CBS ile sistematik olarak sunulmasını sağlayan mekanizmalardır.

- **Veri:** Kente ilişkin imar, adres, tapu gibi kullanılan her türlü veri ve içeriklerdir.
- **Yazılım:** Donanımları çalıştırarak ve konumsal verilerin yönetimini sağlayan sistemlerdir.
- **Donanım:** Yazılımların kullanıldığı bilgi teknolojileri unsurlarıdır.
- **Taşıma Altyapısı:** Verinin sunumunun sağlandığı telekomünikasyon altyapısı ve buna ilişkin politikalarıdır (Mumcuoğlu, 2017).

3.2.1. KBS'nin Amacı ve Faydaları

Kent Bilgi Sistemlerinin temel amacı, planlama ve yatırım çalışmalarında yerel yönetimlerin hızlı ve doğru karar verme kapasitesini artırmak, kentsel alanlarda yaşayanları bu çalışmalardan haberdar etmek, katılımlarını sağlamak ve nitelikli hizmet sunmaktır. KBS'nin uygulanması ile belediyenin ihtiyaçların çıkarılması, planlama dahilinde yönetilmesi, hızlı, etkin ve ekonomik faaliyetlerin sağlanması, şehir planlaması ve mülkiyet sorunlarına ilişkin kalıcı çözümler üretilmesi, belediye gelirlerinin geliştirilmesi, halihazırdaki sorunların hızlı, etkin ve ekonomik bir şekilde çözümü ve personel eksikliği sebebiyle meydana gelen yetersiz hizmet problemlerinin çözülmesi amaçlanmaktadır (Banger, 2011).

Kentlerin yönetimini üstlenen kurumlar ve bu kurumlara ilişkin kurumsal yapılar farklılık ihtiva etse de dünyanın çoğu ülkesinde kentlerde sunulan kamu hizmetlerinin birbirine çok benzediği, özellikle gelişmiş ülkelerde bu faaliyetlerin CBS altyapısı ile sistematik olarak sağlanarak sunulduğu görülmektedir. Ülkemiz yerel yönetim yapılanması dünya örneklerinin gerisinde kalmadığı hatta bazı konularda çok daha ileride olduğu düşünüldüğünde çok çeşitli KBS uygulamalarının kurgulanıp uygulandığı görülmektedir.

Kentlerin en temel ve güncel verilerine belediyelerden ulaşılabilir. Bazı veriler ile paydaş kurumlarla entegrasyon ile daha kullanabilir hale getirilmektedir. Elbette bu verilerin sunulma sebebi kent sakinlerine hizmet sunmak olduğu düşünüldüğünde kentlere ilişkin karar mekanizmasında kent sakinlerinin görüş ve önerileri çok önem arz etmektedir. Bu sebeple 3'lü paydaş bir yapıdan bahsetmek mümkündür. Belediye, paydaş kurumlar ve vatandaş entegrasyonunun seviyesi hizmet kalitesini doğurmakta ve tüm sistemlerde olduğu gibi KBS'lerin sürdürülebilirliğinde de koordinasyonu çok önem arz etmektedir.

KBS'nin paydaşlarının elbette farklı kullanım alanı ve sunum arayüzleri bulunmaktadır. Kent sakinleri web tabanlı/mobil uygulamalarla sisteme ulaşırken, paydaş kurumlar web servisleri aracılığı ile verilere erişmektedir. Belediye ve çalışanları ise yetkilendirme ağacına bağlı olarak masaüstü uygulamaları veya web tabanlı/mobil uygulamalarla sisteme erişmektedir. Birbiri ile çok iyi bir etkileşimi olması gereken KBS'nin paydaşlarının Şekil 3.2'de olduğu gibi ilişkisi dişli çark sistemine benzemektedir.



Şekil 3.2. KBS'nin Paydaşları ((Mumcuoğlu, 2017).

KBS sayesinde neredeyse tüm faaliyetlerin çevrimiçi olarak sağlandığı belediyecilik anlayışının hem kurum içi çalışmalara hem de kurumlar arası etkileşime de oldukça faydaları bulunmaktadır. Bu kapsamda sayılabilecek faydalardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Yerel yönetim yöneticilerinin, kamu hizmetlerine yönelik; kente ilişkin sorunların, ekonomik ve sosyal olarak daha kolay görülmesi ve değerlendirmesi mümkün olmakta, planların ve konumsal projelerin daha uygulanabilir olmaktadır.
- Vergi ve kaçak yapı gibi sorunların görülerek kolayca çözümlenebildiği için veriler sürekli güncel tutularak belediye gelirlerinde artış sağlanmakta ve gelir ve kaçak yapı takibi yapılarak ve denetimleri kolaylaştırmaktadır.
- Özellikle teknik alt yapı olmak üzere tüm hizmet ve bilgiler teknolojinin de desteği faaliyetler daha hızlı ve ekonomik olarak sağlanabilmektedir.
- Çevreci çözümler ile kentlerin çevresel sorunlarını azaltabilmektedir.
- Kente dair başta belediyeler olmak üzere, bilgiye ulaşma, bilgileri güncelleştirme, servislerle bilgi paylaşımı ve bilgi ve belgelerin arşivlenmesi kolaylaşmaktadır.

- Turistik ve kültürel tesislerin tanıtılması ve değerlendirilmesinde etkin faydalar sağlamaktadır (Yıldırım, 2012).

3.2.2. 3 Boyutlu Kent Modelleri

Bilgi teknolojileri alanında hızlı ilerleyiş çoğu sektörde olduğu gibi harita sektörüne de her gün yenilikler katmakta ve özellikle sayısal haritalar giderek gelişmektedir. Sayısal haritalar; konumsal verilerin grafik gösteriminin yanında verilerin CBS mantığı ile düzenlenip, analiz edilebildiği ve hatta 3B olarak modellenebildiği ürünlerdir. Konumsal bilgilerin 3B olarak sunulması ile konumsal verilerin kavranması ve algılanması oldukça kolaylaşmaktadır (Yücel ve Selçuk, 2009).

3 Boyutlu (3B) CBS çalışmaları için en önemli bileşen olan 3B kent modelleri; binalar, arazi yüzeyi, ağaçlar, yollar ve diğer yeryüzü öğelerinin konumsal olarak elektronik ortamda sunulmasıdır. 3B kent modellerinin ana bileşenleri ise bina modelleri, sayısal arazi modelleri, sokak objeleri ve çevreye ve yeşil alanlara ait modellerdir (Döllner vd., 2006). 3B kent modelleri için “Sanal Şehir”, “Dijital Şehir” ve “Dijital İkiz” gibi farklı isimlerde kullanılmaktadır. 3B kent modellerinde, son dönemlerde, gerçeği ile oldukça benzemesine kent öğelerinin fotogerçekçi görünümünün oluşturulmasına odaklanılmaktadır (Döllner vd., 2006). Navigasyon, tesis yönetimi ve kentsel planlama ve geliştirme, haberleşme, lojistik, afet yönetimi ve güvenlik gibi birçok uygulama, geometri modelinin yanı sıra kent öğeleri hakkında semantik bilgilerini de içermesi gerektirmektedir (Mao, 2011).

3B kent modelleri uygulama çeşitlerine göre, gereksinimleri farklılıklar göstermektedir. Örneğin inşaat, tarihi eserler, turizm gibi uygulama örneklerinde gerçeğe oldukça yakın fotogrametrik görseller ve ayrıntılara gereksinim duymaktadır. Diğer tarafta güvenlik, afet yönetimi, kent faaliyetleri gibi analiz ve sorguların yapıldığı uygulamalar da ise verinin özelliklerine gerek duymakta ve tematik bilgilerle sunulmaktadır. Özetle 3B kent modellerinin kullanılması, planlama çalışmaları iletişim ve bilgi akışı yönünden kolaylaştırmakta böylelikle daha iyi ve şeffaf sonuçların çıkmasına imkân sağlamaktadır.

3B kent modeli üretiminde amaca göre farklı teknik, içerik ve detay seviyesindeki üretimlerin sağlanmasına sebep olmaktadır. Bu farklılıklara rağmen ortak bir üretim tekniği ve yönteminin belirlenebilmesi için zaman içerisinde 3B modelleme konusunda da belirli standartların geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur (Doğru ve Şeker,

2009). Farklı veri tür ve yapıları ile farklı uygulamalarda geliştirilen 3B kent modellerini yönetmek, depolamak ve entegre etmek için geliştirilmiş bazı standartlar mevcuttur (Mao, 2011). Open Geospatial Consortium (OGC) tarafından Ağustos 2008 yılının Ağustos ayında önerilen CityGML, 3B kent modellerini temsil eden ilk uluslararası standarttır (Mao, 2011). 2011 yılında geliştirilen VDI 3805 ve Industrial Foundation Class (IFC) ise diğer standartlara örnek olarak gösterilebilmektedir (Mao, 2011). Gelişen bilgi teknolojileri ve uygulamalar ile 3B veri yapıları kullanılarak kent modelleri farklı şekillerde oluşturulabildiği görülmektedir.

3.2.2.1. CityGML ve Detay Düzeyi Kavramı

Tüm yazılım sektöründe olduğu gibi CBS için her gün yeni bir yazılım ortaya çıkmakta ve bu yazılımların da kendine göre veri depolama formatı bulunmaktadır. Her yazılım için farklı format bulunması veri paylaşımında ve dönüşümünde zorluklar ortaya çıkarmakta ve diğer CBS yazılımlarına adapte etmek için ek işlemler yapılması gerekmektedir (Emem vd., 2008).

Konumsal ve grafik bilgileri içeren depolanmış bir formatın başka bir yazılım tarafından okunabilmesi için, Veri Değişim Formatı (Data eXchange Format, DXF) veya Genişletilebilir İşaretleme Dili (Extensible Markup Language, XML) gibi formatlara dönüştürülmesi gerekmektedir. XML ve DXF'e bakıldığında ise, XML, DXF'e göre veri dönüşümü daha kolay yapılabilmekte ve taşınan verilerde eksiklik olmadan dönüşüm sağlanmaktadır. Coğrafi Veri İşaretleme Dili (Geographic Markup Language, GML) ise coğrafi veriler ile ilişkili XML temelli yaygın formatlardandır (Emem vd., 2008).

CBS yazılımlarında veri dönüşümü ve paylaşımında en çok kullanılan veri formatı GML'dir. Paylaşılacak olan veriler GML formatının yapısına uygun olarak konum verisini içerecek şekilde dönüştürülerek diğer yazılımlar tarafından okunabilmektedir. Yaygın olarak kullanıldığı için çoğu CBS yazılımı da artık varsayılan olarak GML ile okuma ve yazma özelliğini bulundurmaktadır (Emem vd., 2008).

GML, Open Geospatial Consortium (OGC) tarafından geliştirilerek, 2007 yılında Uluslararası Standartlar Organizasyonu (International Organization for Standardization, ISO) tarafından 19136 uluslararası ISO standardı olarak kabul edilmiştir. GML'in kavramsal modeli; temel şema, uygulama şemaları ve veri dokümanlarından

oluşmaktadır. GML veri yapısı; verilere ilişkin geometri, tür ve topoloji bilgileri başta olmak üzere tamamlayıcı bilgileri içermektedir (Emem vd., 2008).

CityGML, Coğrafya Biçimlendirme Dili, GML için bir uygulama şeması olarak uygulanan sanal şehir modellerinin depolanmasını ve değişimi için açık bir veri modelidir. CityGML'in amacı, şehir nesnelerinin nitelikleri, varlıkları ve ilişkileri ile temsilini standartlaştırmaktır. 20 Ağustos 2008'de OGC, CityGML'in ilk sürümünü şehirleri 3 boyutlu olarak temsil etmek için resmi bir OGC standardı olarak yayınlamıştır (Olsson, 2009). OGC, Ağustos 2008'de CityGML'in 1.0.0 sürümünü resmi bir OGC Standardı olarak kabul etmiştir. 2011 yılının sonlarında ise CityGML 2.0.0 sürümü yayınlanmıştır. Son olarak birçok değişiklik ve yenilik ile CityGML 3.0 Eylül 2021'de yayınlanmıştır.

CityGML'de bulunan anlamsal temsili güçlü ve esnektir. GML'den farkı, CityGML'in sadece şehir nesnelerinin geometrilerini değil, aynı zamanda adresler, belediyeler, yoğunluklar ve kümeler gibi anlamsal ve tematik özellikleri de temsil etmesidir (Gröger vd., 2005). Ayrıca CityGML, kent modellerinin sadece şekil ve grafik görünümünü göstermekle kalmamakta aynı zamanda objelere ait semantik bilgilerini de içermektedir (Kolbe, 2009; Mao, 2011).

Biçimlendirme dilinin iki ana bölümü, tematik model ve geometrik modeldir. Geometrik model, 3 boyutlu bir şehir modelinde nesnelerin tüm geometrik ve topolojik bilgilerini temsil ederken, tematik model semantik bilgileri içerir ve nesnelerin temsili için geometri modeli kullanmaktadır. Semantik özellikler, kullanıcının farklı nesnelerin birbirleriyle nasıl ilişkili olduğunu tanımlamasına izin verir. Örneğin, bir eve ait olan bir odaya bir çekmece yerleştirilebilmektedir (Olsson, 2009).

Semantik bir modelde, tüm farklı geometri parçaları (duvar, çatı veya bina gibi) semantik bir anlamla ilişkilendirilir. Semantik bir model ile şehir yönetimi ve şehircilik gibi alanlarda 3B modellere yönelik yeni uygulamalar gerçekleştirmek mümkündür. Ayrıca semantik odaklı bir görselleştirmenin modelin kullanılabilirliğini geliştirdiğini, açık semantik bilginin ise kentsel gelişim için akıllı uygulamaların kullanımını kolaylaştırdığını belirtmektedir (Benner vd., 2005).

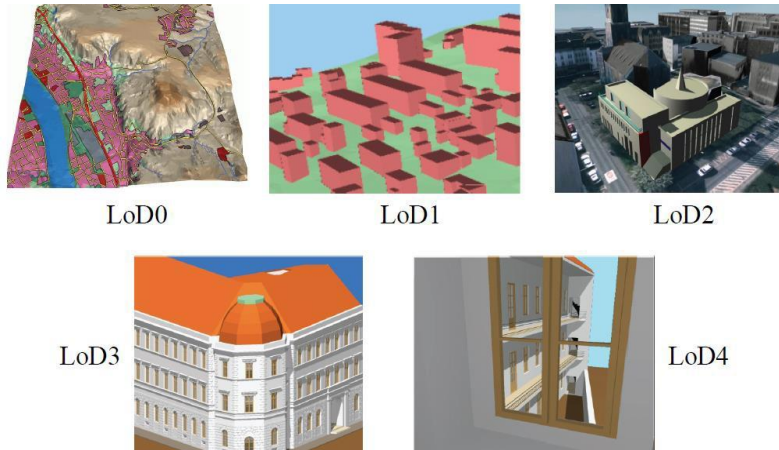
CityGML'in semantik modeli, coğrafi özelliklerin temsili ve modellemesi için ISO 191xx standart ailesine uygun tasarlanmıştır. ISO19109, coğrafi özellikleri gerçek dünya nesnelerinin soyutlamaları olarak incelemekte ve coğrafi özellikler, rastgele sayıda konumsal ya da konumsal olmayan öznitelikle ilişkilendirilebilmektedir (Gröger vd., 2005).

Büyük alanlar için üretilen 3B kent modellerinde verilerin oldukça yoğun olması, verileri düzenlemeyi ve hızlı bir şekilde sunmayı engellemektedir. Bu sorun için modellemenin amaca göre farklı detay seviyelere (Level of Detail, LoD) göre oluşturulması ile giderilmektedir (Yücel ve Selçuk, 2009). Farklı ayrıntı düzeyinde modelleme ile karmaşık ve yoğun verili, 3B kent modellerin yönetilmesi ve sunumu oldukça kolaylaşmaktadır (Özdoğan ve Başaraner, 2013). Ayrıntı düzeyleri ile 3B şehir modellerinde 3B konumsal verinin elde edilmesi ve kullanımında maliyetleri düşürülmesini de sağlamaktadır.

CityGML, 3B kent modelleri için Şekil 3.3’de gösterildiği gibi, LoD-0, LoD-1, LoD-2, LoD-3, LoD- 4’ten oluşan 5 farklı detay seviyesi (LoD) içermektedir (Kolbe vd., 2005).

Sıfırıncı seviyeden başlayan bu detay seviyeleri ve şehir modellerindeki nesnelerin ne kadar detaylı gösterileceği aşağıda açıklanmaktadır.

- LoD 0, 2.5B sayısal arazi modelidir.
- LoD 1, herhangi bir çatı yapısı veya doku içermeyen blok modelidir.
- LoD 2, çatı yapısı ve dokusu ayır edilebilen modeller ile vejetasyon temsil edilmektedir.
- LoD 3, detaylı duvar ve tavan yapıları ve balkonları olan mimari modelleri ile detaylı vejetasyon ve ulaşım objeleri gösterilmektedir.
- LoD 4, oda, iç kapılar, merdiven ve mobilyalar gibi iç yapıları da temsil edebilmektedir (Kolbe vd., 2005).



Şekil 3.3. CityGML tarafından tanımlanan LoD gösterimi (Kolbe vd., 2005).

Bu tanımlamalara bakıldığında, aralarındaki farklılıklar olmasına rağmen hepsi, alt ve üst düzeylerle, düşük ve yüksek çözünürlük yönünden bir hiyerarşik geçiş bulunmaktadır. Bunlardan LoD-0 ayrıntının en az olduğu düzey olup yalnızca 3B Sayısal Arazi Modelini (SAM) içermektedir. Böylelikle ilgili model alanına ait ortofoto, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) veya halihazır haritalarla ile ilişkilendirilebilmektedir. LoD-1 ayrıntı düzeyi, 3B kent modellemede en çok kullanılan ve 3B bina modellerinin en yalın olduğu düzeydir. Bu ayrıntı düzeyinde binalar dikdörtgen bloklar halinde gösterilmekte çatılar ise düz olarak gösterilmektedir. LoD-2 ayrıntı düzeyinde ise LoD-1'den farklı olarak dış cephe ayrıntıları, bina çatı tipleri ve bitkiler belirli oranda gösterilmektedir. LoD-3 ayrıntı düzeyine geçilince binaların duvar ayrıntıları, balkonları ve çatılar gibi özelliklerini içeren mimari modeller oluşmaktadır. Ayrıca yüksek çözünürlüklü fotoğraflar ile binaların dışları görselleştirme ile kaplanmakta ve ayrıntılı bitki modelleri ve taşınabilir nesneler LoD-3 modellerinde gösterilmektedir. LoD-3'e ek olarak bina içi detaylar olan odalar, merdivenler, iç duvarlar, müstemilat ve mobilyalar gibi nesnelerin eklenmesi ile LoD-4 ayrıntı düzeyine ulaşılmaktadır (Yücel ve Selçuk, 2009).

Ayrıntı düzeylerinde objelerin gösterimleri her ayrıntı düzeyi için gösterilen en küçük nesne boyutlarına bağlıdır. Çizelge 3.1'deki sınıflandırmalar ile 3B kent modelinin veri tabanındaki veri kalitesinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. CityGML'de ayrıntı düzeyleri ve veri çözünürlükleri (OGC, 2012).

	LoD-0	LoD-1	LoD-2	LoD-3	LoD-4
Modelin kullanıldığı alan	Bölge, İl	Kent, Şehir	İlçe, Mahalle	Mimari modeller (bina dışı)	Mimari modeller (bina içi)
Model çözünürlük düzeyi	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Mutlak 3B nokta doğruluğu (konum/yüks eklik)	LoD-1'den daha düşük	5m/5m	2m/2m	0.5m/0.5m	0.2m/0.2m
Genelleştirm e (konu m/yükseklik)	Yoğun genelleştirme	Genelleştirilmiş nesne blokları; > 6m*6m/3m	Genelleştirilmiş nesneler; > 4m*4m/ 2m	Gerçek boyutlu nesneler; > 2m*2m/1m	Yapı elemanları
Yapı donatıları	-	-	-	Dış elemanların gösterimi	İç elemanların gösterimi

Çatı tipleri	-	Düz	Basit yapıda	Basit yapıda	Gerçek görünümde
Çatı çıkıntıları	-	-	Henüz yok	Henüz yok	Var
Dış mekân nesneleri	-	Önemli nesneler	Prototipler	Prototipler	Gerçek görünümde
Ağaçlar, büyük bitkiler	-	Önemli nesneler	Prototip (6m den yüksek)	Prototip (2m den yüksek)	Prototip, gerçek görünüm
Bitki örtüsü	-	> 50m*50m	> 5m*5m	< LoD-2	< LoD-2

CityGML 3.0, yeni sürümü ile verilerin GML'de değil, aynı zamanda JSON veya veritabanı şemalarında da kodlanmasına olanak tanımaktadır. En önemlileri ise önceki sürümlere kıyasla YBM ile çok daha iyi entegrasyon, iç mekanları farklı ayrıntı düzeylerinde (LoD) temsil etme yeteneği ve dinamik sensör verileri için destek sağlamaktadır.

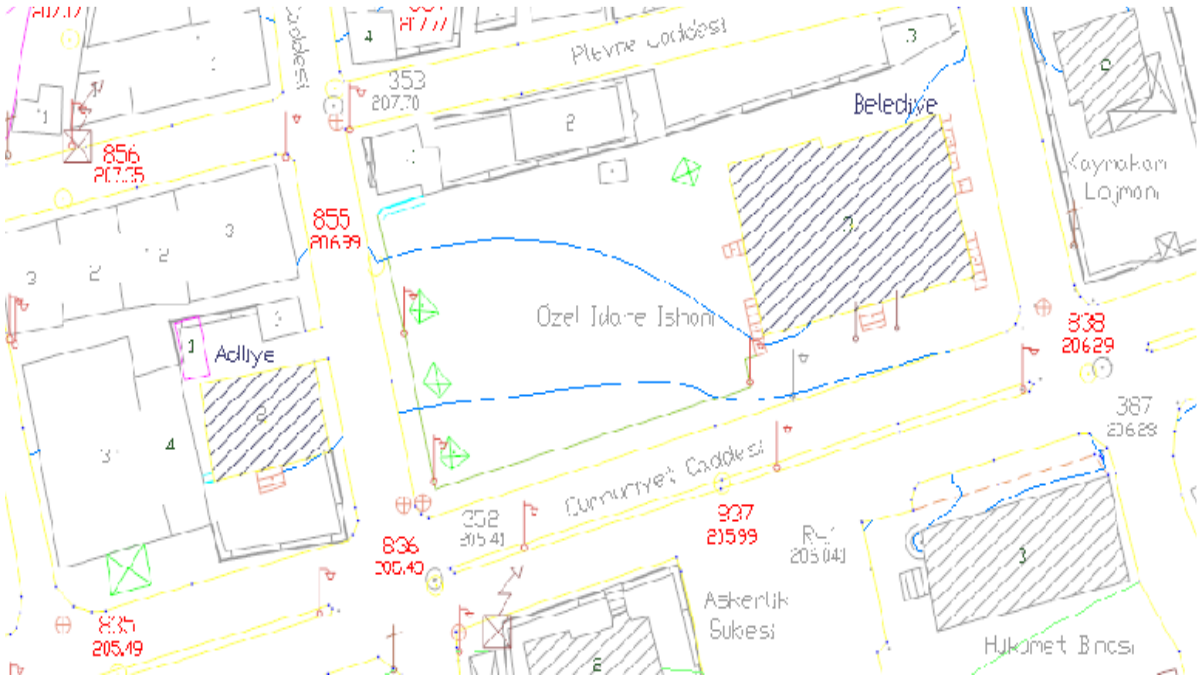
3.2.2.2. 3 Boyutlu Kent Modelinde Kullanılan Veri Türleri

3 Boyutlu kent modellerinin oluşturulması için birbirinden bağımsız veri kaynakları kullanılmaktadır. Birbirinden bağımsız olan bu verilerin güçlü bir ilişki ile bağlanması ve birleştirilmesi sistematik bir veri tabanında sunulmasında kolaylıklar sağlamaktadır. 3B kent modellerinde kullanılan belli başlı veri kaynakları; halihazır haritalar, kadastral veriler, 3B arazi modelleri, 3B bina modelleri ve mimari modelleridir.

3.2.2.2.1. Hâlihazır Haritalar

Halihazır harita, yeryüzünün doğal ve yapay özellikleri ile mevcut durumunu gösteren belli ölçeklerdeki haritalardır. Bu haritalardaki orman, dere, tepe, nehir vb. doğal oluşumlar olarak adlandırılır. Binalar, karayolu, demiryolu, enerji nakil hatları, kanal vb. ise yapay özelliklerdir. Hâlihazır kelime anlamı olarak incelendiğinde “içinde bulunan andaki, şu andaki durum, şimdiki durum, bugünkü durum” anlamlarına geldiği görülmektedir. Bundan yola çıkarak hâlihazır harita için “mevcut durumu gösteren harita” da denilmektedir (Gezmiş, 2017).

Hâlihazır haritalar arazide mevcut bina, yol, şev, kuyu, direk, duvar, tel örgü gibi her ne varsa ölçülüp 1/1000, 1/2000 ya da 1/5000 ölçekli olarak düzleme aktarılan büyük ölçekli haritalardır. Bu haritalar imar planlarının düzenlenmesi ve uygulanmasında kullanılırken, coğrafi bilgi sistemlerine de altlık olmaktadır (İnce, 2012). Ayrıca kanalizasyon, elektrik, içme suyu, atık su arıtma, doğalgaz gibi alt yapı projelerinin ve üst yapı projelerinin hazırlanması ve uygulanması amacıyla üretilirler ve kullanılmaktadır. Arazide gözle görülen her bilgiyi içinde bulunduran halihazır haritalar kadastral verileri de içermektedir (Gezmiş, 2017). Halihazır haritalara örnek bir görsel, Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. 1/1000 ölçekli hâlihazır harita örneği.

3.2.2.2.2. Kadastral Veriler

Taşınmazların arazi üzerindeki sınırları ve üzerindeki konumsal veya hukuki hakların tespit edilerek harita üzerinde gösterilmesi olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, taşınmaza ait tüm konumsal olmayan metin bilgilerine de tapu verisi denilmekte olup tapu ve kadastro kavramı birbirini bütünleyen ve entegre bir kavramdır. Ülkemizde, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü tarafından 21.06 .1987 tarih ve 3402 sayılı Kadastro Kanunu ve hükümlerince kadastro çalışmaları yapılmakta olup ayrıca anayasamıza göre doğruluğu devlet güvencesi altındadır. 3B kent modelleri açısından kadastro verileri tüm veriyi bütünleme açısından büyük önem arz etmekte ve konumsal

verilerin doğruluk ve hassasiyetini sağlamaktadır. 3B bina modellerinin, 3B kent modellerinde kullanılmasında kadastral bina sınırları esas alınarak sisteme oturturulmaktadır. Ülkemizde, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ile birçok büyükşehir belediyesi 3B bina verisi içeren 3B Kent Modelleri çalışmalar başlatmıştır. Şekil 3.5’de kadastral pafta örneği bulunmaktadır.



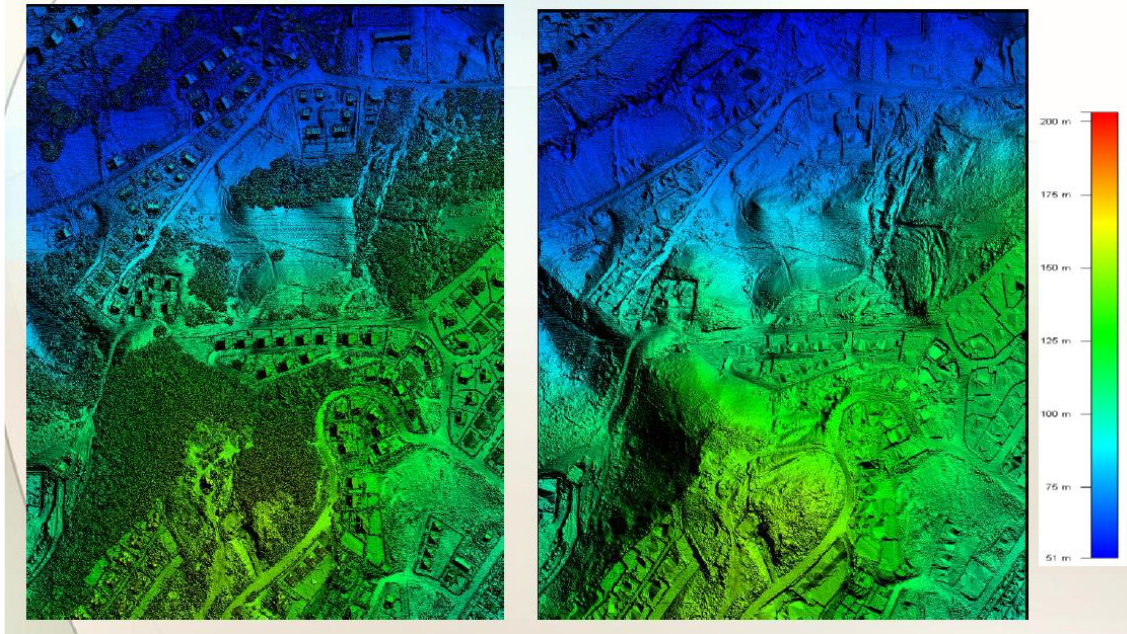
Şekil 3.5. Kadastral Veri Örneği.

3.2.2.2.3. 3B Sayısal Arazi Modeli

Sayısal Arazi Modelinin (SAM) temelini sayısal yükseklik modelleri (SYM) sağlamaktadır. Sayısal Yükseklik Modeli, bir arazi yüzeyini 3B olarak tanımlayan ve araziye ait yükseklik verilerinden elde edilmiş bir sayısal modeldir. Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM veya DEM), Sayısal Arazi Modelleri (SAM veya DTM) ve Sayısal Yüzey Modelleri (SYM veya DSM) olarak ayrılmaktadırlar. Stereo uydu görüntüleri, stereo hava fotoğrafları, radar verileri veya LIDAR yardımıyla sayısal yüzey modellerini oluşturabilmektedir. Şekil 3.6’da Sayısal Arazi Modeli ve Sayısal Yüzey Modeli örneği görülmekte olup şu şekilde tanımlanmaktadırlar. Sayısal Yüzey Modeli: Yeryüzüne ait konum ve yükseklik bilgilerinden elde edilen, yalın arazi yüzeyinin yanında bitki örtüsü, ağaç, bina vb. diğer tüm objelerin de dâhil edildiği bir yüzeydir.

Sayısal Arazi Modeli ise; SAM, sadece araziyi gösteren bir modeldir, arazideki doğal ve insan yapısı objeler bu veride bulunmaz, çıplak arazi modelidir (URL-4).

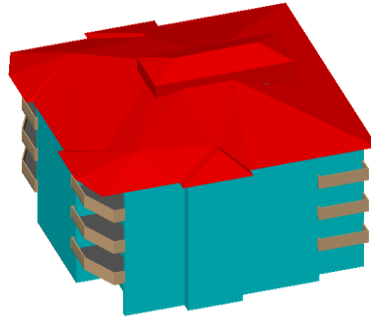
Ortofoto ve uydu görüntüsü gibi raster haritalar, SAM’larda yüzey kaplamaları şeklinde altlık olarak kullanılmaktadır. SAM’lara 3B nesnelerin (binalar, cadde, sokak nesneleri ve bitkiler vb.) dahil edilmesi ile 3B kent modelleri elde edilmektedir. Bu sebeple SAM’lar, 3B şehir modellerindeki 3B geometrik sunum için referans yüzeylerdir (Yücel, 2009).



Şekil 3.6. Sayısal Arazi Modeli ve Sayısal Yükseklik Modeli Örneği.

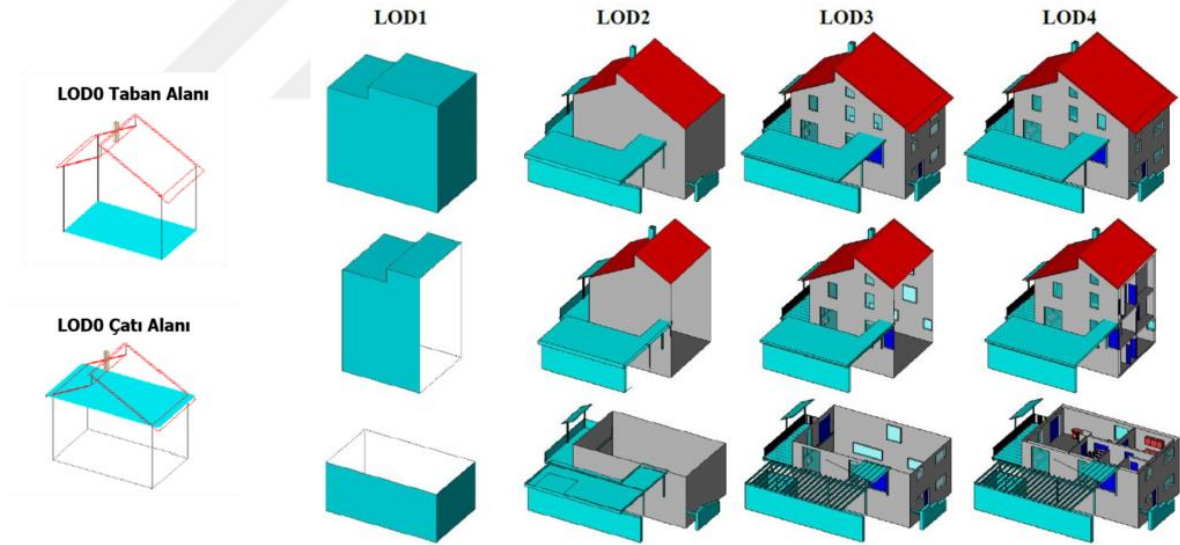
3.2.2.2.4. 3B Bina Modelleri

3B bina modelleri; fotogrametrik yöntemler, havadan veya yersel lazer tarama ve yersel ölçmelere ile elde edilen verilerle Şekil 3.7’de olduğu gibi türetilmektedir. 3B binalar farklı ayrıntı düzeyleri ile gösterilebilmekte olup şu şekilde örneklenebilmektedir.



Şekil 3.7. 3B Bina Modeli Örneği.

Şekil 3.8’de görüldüğü üzere, blok modeller (LoD 1), çatıların dâhil edildiği geometrik modeller (LoD 2), cephe dokusunun dâhil edildiği mimari modeller (LoD 3) ve ayrıntılı iç mekân detaylarını da içeren 3B bina modelleridir (LoD 4). Ancak teknoloji ilerlemelerle binaların detaylı olarak gösterimine ilgi ve ihtiyaç artmakta olup böylelikle bina ayrıntı düzeylerinin önemi oldukça artmıştır (Döllner vd., 2005).

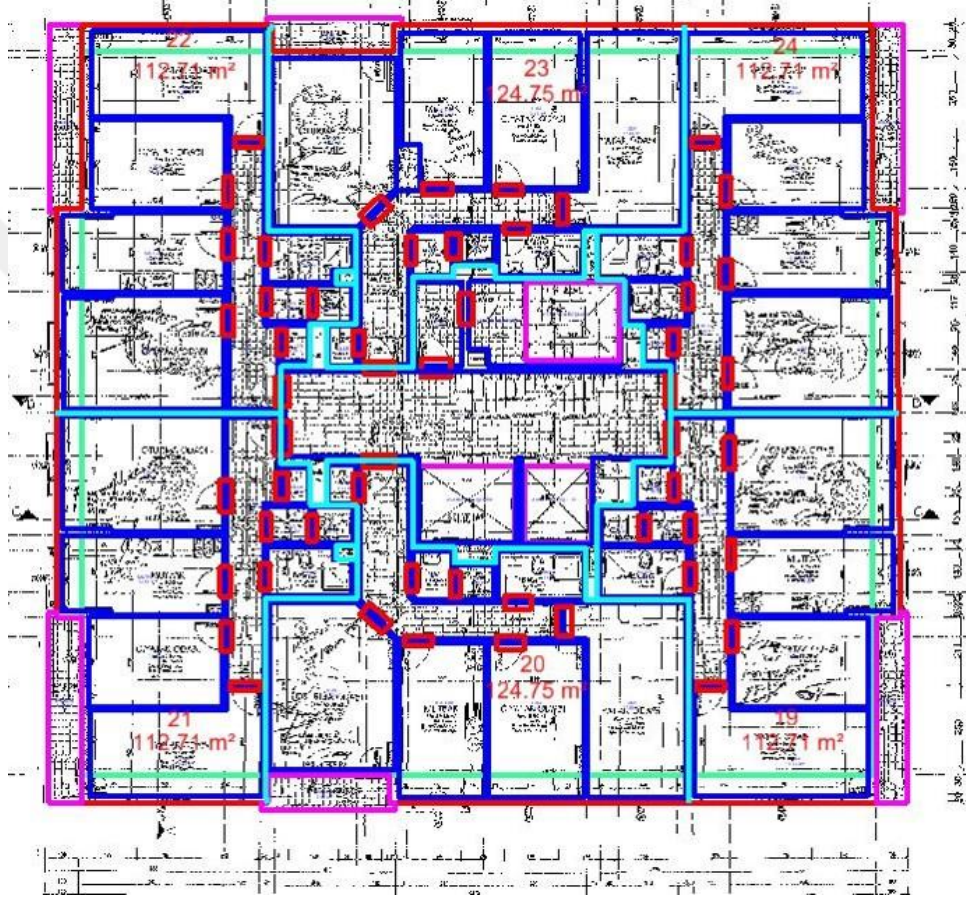


Şekil 3.8. CityGML Bina Detay Seviyeleri (URL-5).

3.2.2.2.5. Mimari Modeller

Kullanılmakta ya da planlanmakta olan binaların yasal prosedürlere göre mimari çizimleri yapılmaktadır. Bu modeller binaların dış görünümünün yanı sıra bina iç ve dış mekâna (sokak ve cadde) ait nesneleri de ayrıntılı olarak göstermektedir. Bu mimari

izimler 3B kent modeli uygulamalarında önemli bir yer tutmaktadır. Mimari izimler, kğıda basılı, 2B sayısal ortamda ve 3B sayısal ortamda olmak üzere 3 farklı şekilde bulunmaktadır. 3B mimari modeller gerekli dönüşümle 3B kent modellerinde direkt kullanılmakta olup 2B sayısal ortamda bulunan çizimler ise 3B hale getirilip kullanılmaktadır. En son kğıda basılı çizimler önce sayısallaştırılıp önce 2B hale getirilip (şekil 3.9) daha sonra 3B hale getirildikten sonra 3B kent modellerinde kullanılmaktadır.

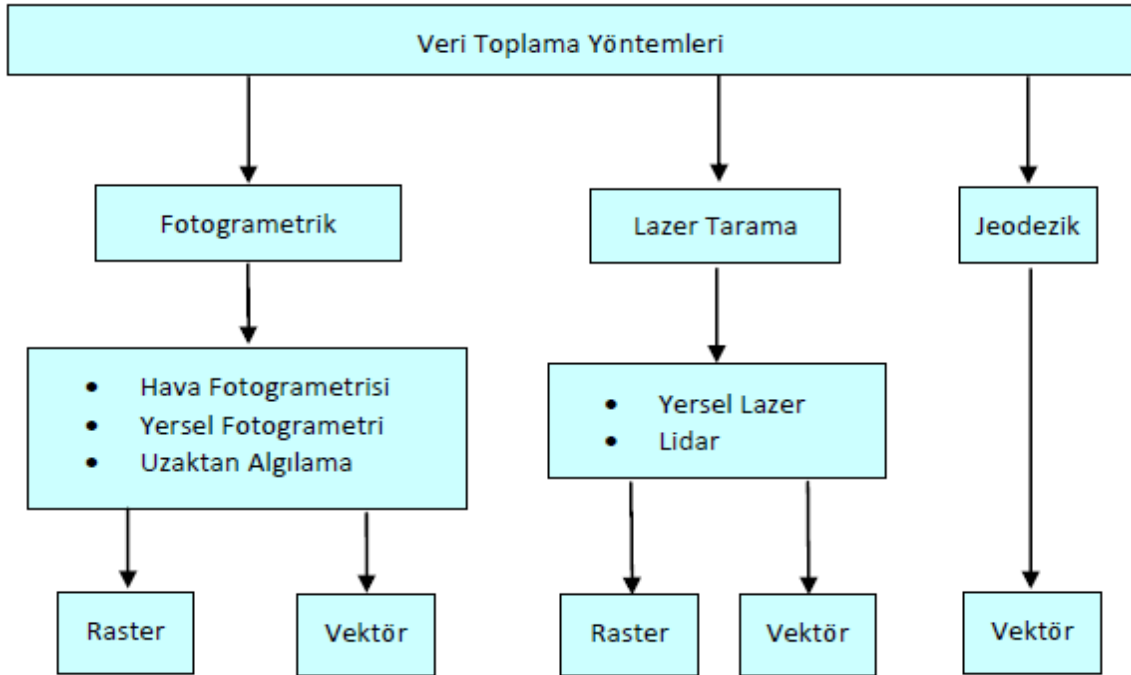


şekil 3.9. Mimari Proje rneği.

3.2.2.3. 3 Boyutlu Modellemede Veri retimi

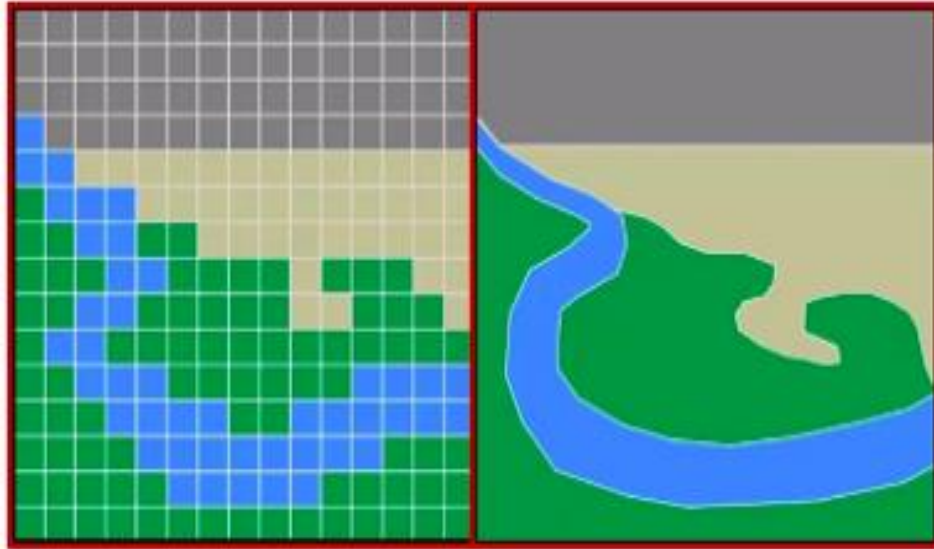
Üç boyutlu modelleme verisinin en önemli özelliği sayısal bir veri olmasıdır. Üç boyutlu kent modeli üretiminde en fazla emek, zaman ve nakit tüketimi sayısal verinin üretilmesi sürecinde harcanmaktadır. Bu zellik de sayısal verinin önemini bir katta arttırmakta olup ayrıca sayısal veriler direk ya da dolaylı olarak araziden elde edilmektedir (şahin, 2011).

Üç boyutlu modellemede veri; fotogrametrik, jeodezik ve lazer tarama yöntemleri ile sağlanmakta olup veri toplama yöntemleri Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Üç Boyutlu Model İçin Veri Toplama (Şahin, 2011).

Konumsal veriler; vektör ve raster veri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 3.11). Raster veriler grid hücre yapısındadırlar. Raster veride görüntü grid hücrelerine ayrılmıştır ve grid hücresi en küçük haritalama birimidir. Bu grid hücreleri ile görüntünün özellikleri tanımlanmaktadır. Vektör veride ise veri; nokta, çizgi ve poligondan oluşmaktadır. Bu iki veri tipi, anlaşılacağı üzere birbirinden oldukça farklı veri tipleridir (Karagöz, 2008).



Şekil 3.11. Raster ve Vektör Veri.

Raster ve vektör verilere ek olarak teknolojik gelişmelerle noktaların birleşmesinden oluşan nokta bulutu adında yeni bir veri daha ortaya çıkmıştır. Aslında vektör verinin bir alt başlığı olan nokta bulutu verisi lazer tarayıcılardan elde edilen ve nokta koordinatlarının esas olarak belirlendiği veri türüdür. Bu veriler havadan ya da yerden üretilen taramalardan üretilebilmektedir. Üç boyutlu kent modellerinde gerçekçi şehir yapıları için raster veri özellikle doku kaplamalarında sıkça kullanılmaktadır (Ergun, 2010).

Yukarıda belirtilen bu veriler, 3B modelleme çalışmalarında tek başına veya aynı anda kullanılabilir. Üç boyutlu kent modellerinde nesnelere ilişkin modellerin oluşturulma ve saklanma süreci vektör veri yapısı ile sürdürülmektedir. Fotoğraf görüntüsü olan raster veri tipi, sayısal kamera ile veri üretimi ya da fotoğraf ile haritaların taranmasıyla elde edilmekte olup bu veri tipi üç boyutlu kent modellerinde özellikle görselleştirme amacıyla kullanılmaktadır (Emem, 2002).

Raster yapıdaki veriler üç boyutlu kent modellerinde özellikle görselleştirme işlerinde kullanılmaktadır. Kaplama ve foto-gerçeklik çalışmalarında bu tür verilerden yararlanılmaktadır. Üç boyutlu kent modellerinde kullanılan verilerin tümü üçüncü boyut bilgisine sahiptir ya da yükseklik bilgileri öznitelik olarak kaydedilmektedir (Emem, 2002).

3.2.2.3.1. Fotogrametrik Veri

Fotogrametri; haritalara altlık olarak SAM ve ortofoto üretiminde kullanılmakta ayrıca CBS'nin tüm katmanlarına veri sağlayan en yaygın yöntemdir. Bu yöntemde resim çekimi anındaki koşullar esas alınmakta ve veri değerlendirme esnasında aletleri yardımıyla bu şartlarda değerlendirilmektedir (İTÜ, 2001). Fotogrametri, fotoğraf çekim konumuna göre yersel ya da hava fotogrametrisi olarak sınıflandırılmaktadır.

Yersel Fotogrametri: Yersel fotogrametri yakın ve uzak mesafeli alanlarda 3B çizimlerin yapılmasını sağlayan bir yöntemdir. Farklı odak uzaklıklarındaki kameralar ve özel uygulamalar kullanılarak, gerekli yöneltmeleri yapmakta ve fotoğraf yüzeyinden üç boyutlu modeller üretmektedir. Ayrıca yersel fotogrametri yöntemiyle modellerin üç boyutlu konum bilgileri elde edilmektedir (Şanlıoğlu vd., 2013).

Yersel fotogrametri, yeryüzünden ya da yeryüzüne yakın yerlerden elde edilen fotoğrafları kullanan fotogrametri tekniğidir. Yersel fotogrametri çok fazla uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Bu alanlar, arazi ölçmeleri, mimarlık, trafik kazaları, kriminoloji, tıp, afet yönetimi, oyun teknolojisi, arkeoloji, endüstri gibi birçok alanda tercih edilmektedir. CAD tabanlı uygulamalar sayesinde yersel fotogrametrinin uygulama alanları için bir sınır bulunmamaktadır (Yaşayan vd., 2011).

Hava Fotogrametrisi: Hava fotogrametrisi gökyüzünde belirli bir yükseklikteki uçak vb. hava araçlarıyla üretilen fotoğrafları kullanan bir fotogrametri yöntemidir. Bu yöntem haritacılıkta standart bir harita yapım yöntemi olup özellikle büyük alanlarda ihtiyaç duyulan her türlü harita üretimlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Yaşayan vd., 2011). Hava fotoğrafları, yalnız harita üretimi için değil başka amaçlar için de kullanılmakta ve teknolojik gelişmelerle özellikle harita, arkeoloji/restorasyon, inşaat gibi çalışmalarında yersel fotogrametriye ek olarak hava fotogrametrisi de gün geçtikçe daha etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Eisenbeiss, 2009).

Fotogrametrinin ilk uygulamaları doğal olarak yersel fotogrametriyle başlamış olsa da gün geçtikçe ve teknolojik gelişmelere paralel olarak harita üretiminde geniş olanaklar sağlaması sebebiyle yerini hava fotogrametrisine bırakmıştır. En önemli sebebi ise geniş alanlardaki harita üretiminde hava fotogrametrisi oldukça ekonomik ve hızlı üretim sağlamasıdır (Yaşayan vd., 2011).

Hava fotogrametrisinde özel kameralar sayesinde fotoğraflar çekilmekte ve bu kameralar oldukça donanımlı olup ayırma gücü yüksek, distorsiyonu az ve odak uzaklığı sabit objektiflere sahiptir. Standart harita üretimi için çoğunlukla siyah/beyaz üretim yapılırsa da son yıllarda renkli ve sayısal sayısal hava fotoğrafları da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle. Yorumlama ve ortofoto ürünü için renkli fotoğraflar, siyah beyaz fotoğrafa göre birkaç yüz kat daha fazla bilgi taşıdıkları için renkli fotoğraflar siyah beyaz fotoğraflara tercih edilmektedir (Yaşayan vd., 2011).

Uzaktan Algılama: Yeryüzünden belli uzaklıkta, uzaydaki platformlarda veya atmosferde bulunan ölçüm aletleriyle yeryüzü ve nesneleri hakkında bilgi üreten bilim dalına Uzaktan Algılama denir (TUBA, 2011). Görüntü analizi, uzaktan algılamada iki yöntemle yapılmaktadır. Bunlar; görsel yorumlama ve sayısal görüntü işleme ile yöntemleridir.

Görsel analizin avantajı yüksek çözünürlükte verilerin yorumlanmasında insan beyninin en iyi yorumlayıcı olması sebebiyle görsel analiz oldukça avantajlıdır, bunun yanında; tüm spektral karakteristikleri yorumlamanın mümkün olmamasıyla zaman, maliyet ve eğitim gerektirmesi dezavantajıdır. Buna benzer şekilde spektral özelliklerin genellikle yorumlanabilir olması sayesinde hızlı analiz ve işlem özelliği sayısal görüntü işlemenin en önemli avantajı iken kod yazımı ve algoritma oluşturma gereğinden yazılım gerekliliği ise sayısal görüntü işlemenin dezavantajıdır (TUBA, 2011a).

3.2.2.3.2. Lazer Tarama

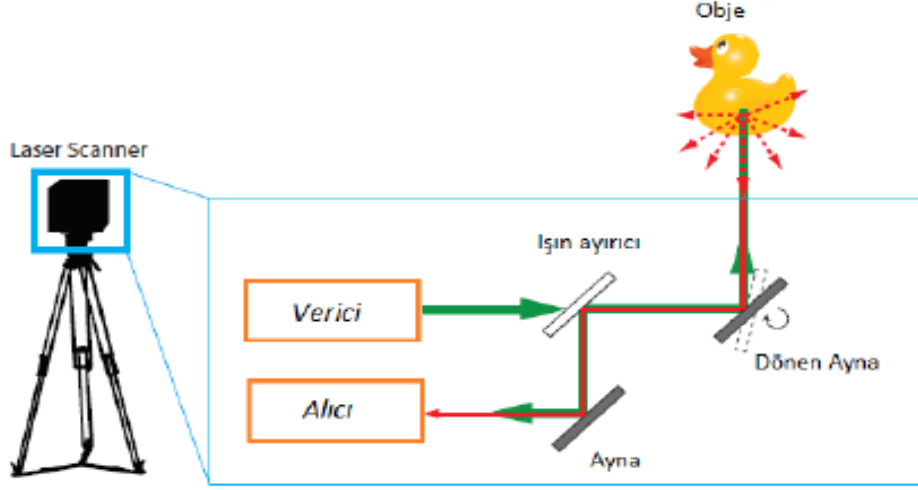
Lazer teknolojisinin ilk kullanımı 1960'lı yıllara dayanmaktadır. 1990'lı yıllarda ise lazer tarama yöntemi total stationlarda kullanılmaya başlamıştır. Bu bakımdan reflektörsüz total stationlar, modern lazer tarama sistemlerinin başlangıç noktası sayılmaktadır. Lazer tarama son yıllarda hem harita üretimi hem de yakında bulunan 3B nesnelerin üretilmesinde devrim yapmıştır. SAM ve SYM'lerin elde edilmesi için yeni ve bağımsız bir teknolojidir (Yaşayan vd., 2011).

1970'li yıllarda geliştirilmeye başlanan havadan ve yerden lazer tarama, LIDAR tekniği temeline dayanmaktadır. Açılımı "Light Detection and Ranging" olan LIDAR, lazer darbeleri kullanarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını anlamaya yarayan bir teknolojidir. Lazer tarama teknolojisi; yersel lazer tarama ve hava lazer tarama olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ancak bu iki tekniğe ek olarak teknolojik gelişmelerle son

dönemde mobil lazer tarama sistemleri de yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanılmıştır. Yersel ve hava lazer tarama tekniklerinde aynı ölçme prensipleri kullanılmaktadır. Daha eskiye dayanan yersel lazer tarama tekniği çok farklı disiplinlerde kullanılmıştır. Hava lazer tarama sistemi ise daha yeni bir zamanda 1980’li yıllarda gelişmeye başlamıştır. İlk olarak 1988 yılında Stuttgart Üniversitesi bu tekniği kullanarak SAM ve SYM üretimini gerçekleştirmiştir (Gümüş, 2008).

Yersel Lazer Tarama (YLT): Yersel lazer tarama yöntemi, nesnelerin otomatik olarak hassas ve doğru olarak 3B bir şekilde koordinatlandırmayı sağlayan bir teknolojidir. Yersel lazer tarama sistemleri çok kısa zamanda fiziksel verilerin doğru ve hassas ve yoğun bir şekilde ölçülmesini sağlamaktadır (Avdan vd., 2013). YLT’ler objenin yüzey verisinden 3B koordinat elde etmek için her saniyede binden fazla nokta verisi elde eden sistematik bir yapıya sahiptirler. 3B tarayıcılar; sabit konumda yerinde durarak işlem yapan, total station tarzı bir tripod ile işlem yapanlar (close-range), uçağa monte (airborne) sistemler olarak sınıflandırılabilir (Aşkın, 2009). YLT, genel olarak binlerce koordinatlı noktaların oluşturduğu nokta bulutundan oluşan konumsal verilerin toplanması amacı ile lazer teknolojisinin kullanılması yöntemidir. 3B lazer tarayıcı cihazı, objeyi bir lazer ışını demetiyle bir grid yoğunluğuna göre tarama işlemidir. Grid yoğunluğu ise objelerin belirli bir açı altında veya belirli bir yoğunlukta taranabileceğini ifade etmektedir. Cihazların bu özelliğiyle kısa sürede binlerce 3B nokta bulutu oluşturulmaktadır. Tarama işleminde yoğunluk tarama talebinin hassasiyetine göre değişiklik göstermektedir. Hassas taramalarda, tarama açısı veya sıklığı küçük değerler seçilerek daha fazla nokta elde edilmesini sağlar böylece detay sayısının artması ile oldukça hassas bir çıktı oluşmaktadır. Taranan obje, 3B koordinat düzleminde nokta bulutu olarak gösterilmekte ve bu nokta bulutu bilgisayar ekranında eş zamanlı olarak gösterilmektedir. Bu yüzden 3B lazer tarayıcı 1:1 (eş ölçekte) sayısallaştırıcı diye de tanımlanmaktadır (Yaşayan vd., 2011).

YLT çalışma prensibi, lazer sensörleri ile nesne arasındaki mesafeyi lazer ışığından gönderilen ve alınan sinyaller yardımıyla hesaplamaktadır. Sistem, cihazdaki döner aynanın merkezine kızılötesi lazer ışını göndermek suretiyle çalışmakta olup (Şekil 3.12) ayrıca bu aletin döner aynası, lazer ışını taranan çevrede saptırılmakta daha sonra etraftaki nesnelerden yayılan ışık daha sonra tarayıcıya geri yansıtılarak tarama süreci tamamlanmaktadır (Karasaka ve Beg, 2021).

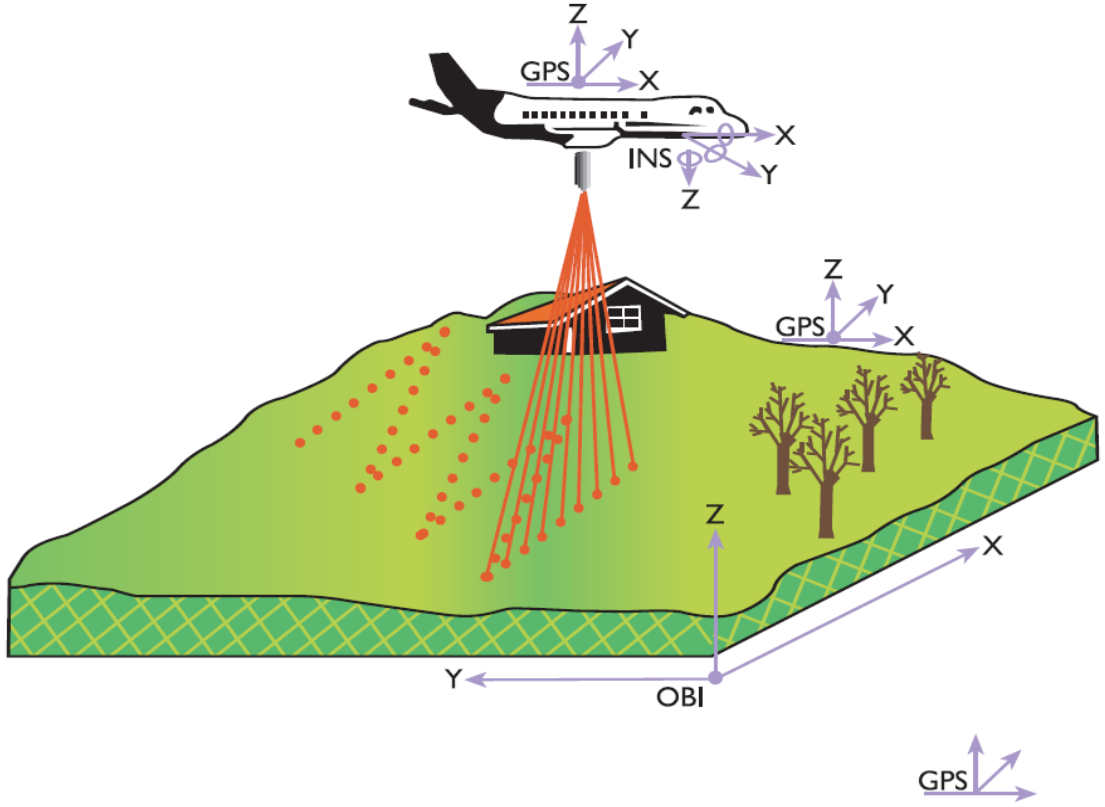


Şekil 3.12. YLT Çalışma Prensibi (Karasaka ve Beg, 2021).

Havadan Lazer Tarama (HLT): HLT sistemleri; sistem üzerinden elektromanyetik dalgalar halinde yüzeye gönderilen lazer ışınlarının yüzeye çarpıp geri dönerek sistem tarafından algılanmasına kadar geçen sürede, sistem ile yüzey arasındaki mesafe hesaplanması prensibine dayanmaktadır. Yeryüzüne kısa sürede çok sayıda ışın göndererek GNSS (Global Navigation Satellite System) teknolojisi yardımıyla fiziksel yeryüzüne ilişkin 3B veri elde edilmektedir. Hava araçlarına (uçak, drone vs.) yerleştirilen lazer tarama aleti, IMU (Inertial Measurement Unit) ve GNSS'ten oluşan bir sistemdir. Bu sistemle havadan taranan yüzey ve objelere ait (X, Y) koordinat ve yükseklik değerleri (Z) içeren nokta bulutu elde edilmektedir (Yaşayan vd., 2011).

Şekil 3.13'de görüldüğü üzere HLT sistemi, 3B koordinatlı ve yüksek yoğunluklu SYM verisini, klasik ölçmelerle neredeyse aynı doğrulukta, hava fotogrametrisinden ise daha hızlı bir şekilde sağlamaktadır. Bu sebeple, hız, maliyet ve veri yoğunluğu kaynaklı avantajları sebebiyle, kadastro, haritalama, afet yönetimi, enerji nakil, demir yolu ve 3B kent modelleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Yılmaz vd, 2015).

HLT sistemlerinde bulunan algılayıcıların aktif sistemler olması sebebiyle gün ışığı ve gölgeden etkilenmemekle birlikte gündüz ve gece ayrımı olmaksızın her zaman kolaylıkla kullanılabilir. Yükseklik ölçümleri LIDAR verisiyle birlikte olduğu için SYM üretiminde oldukça kullanışlıdır. Yüksek çözünürlüklü HLT verileri ile 3B gerçek görseller elde edilerek CBS için daha hassas SYM'ler üretilebilmektedir (Liu, 2008).



Şekil 3.13. Hava LIDAR sistemi (Yaşayan vd., 2011).

Mobil Lazer Tarama: Mobil haritalama olarak da bilinen mobil lazer tarama sayesinde geniş alanların ölçümlerin yapılması oldukça kolaylaşmıştır. Mobil bir çözüm olması sebebiyle zaman, maliyet ve işçilik yönünden oldukça avantajlı olmasının yanında görülemeyecek kadar ayrıntıları veya ölçme esnasında atlanabilecek detayların sayısal ortamda sunulmasını sağlamaktadır. Ayrıca eksik üretim olması halinde üretim aşamasında alete entegre ekranlar ile tespit edilerek hızlı çözümler üretilebilmektedir. Mobil LIDAR, hareket eden araçlar sayesinde en gelişmiş lazer tarama sensörleri ve kameralar kullanılarak sahada hızlı ve doğru bir şekilde nokta verisi toplanmasını sağlamaktadır. En çok arabalarla kullanılsa da HLT sistemleri, gemi, vagon, sırt çantası ve benzeri diğer araçların üzerine monte edilebilmektedir (Koç vd, 2015).

Mobil Haritalama Aracı olarak kullanılan LIDAR sistemi, 4 ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar; GNSS, Panoramik özellikli 360° kamera, Araç sarsıntısının hataları önleyen IMU (Atalet Ölçüm Birimi), Nokta bulutu atan Lazer Tarayıcılardır (Şekil 3.14).



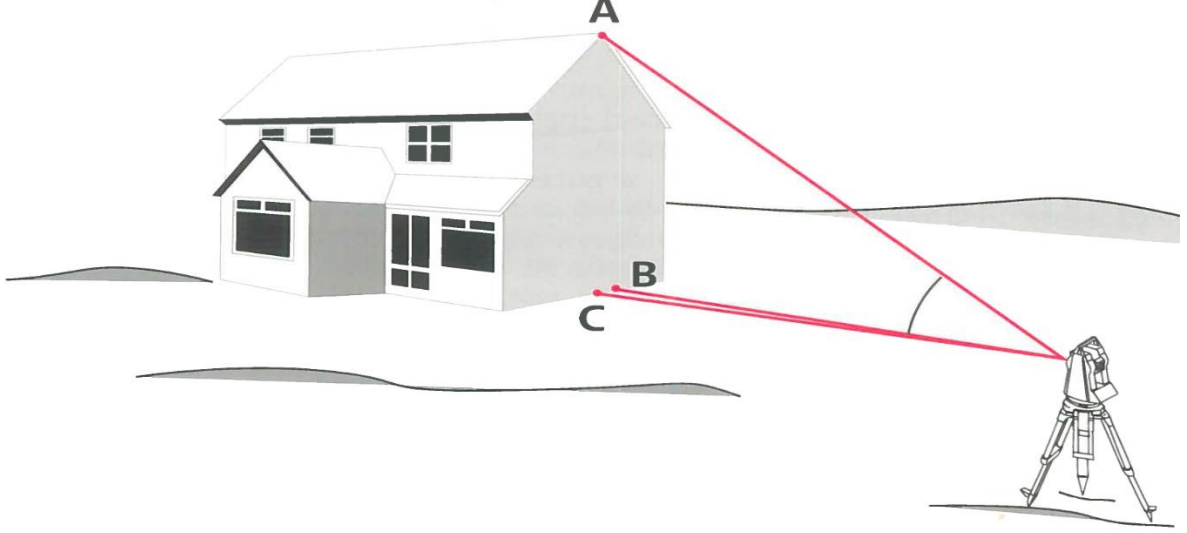
Şekil 3.14. Mobil LIDAR Aracı (Koç vd, 2015).

3.2.2.3.3. Jeodezik Ölçmeler

En eski yöntemlerden olan jeodezik ölçme yöntemi; mekanların belirli noktalarına ulaşmak için ilgili belirli noktaların jeodezik yöntemlerle ölçülmesi tekniğidir. Ölçüler değişen ve birbirinden sapan değerler olması sebebiyle o değerlerle bir büyüklüğün gerçek veya beklenen değeri belirlenemez. Sadece o değerlerle büyüklük için bir kestirim değeri elde edilir. Bilinmeyenlerin hesabı olarak da bilinen parametre kestirimi için gerekli sayıda ölçü ile bu kestirim değeri elde edilebilir eğer gerekli sayıdan fazla ölçü yapılmışsa ölçü hataları nedeniyle çelişkiler ortaya çıkabilmektedir (Demirel, 2003). Bu durumda dengeleme yapılması gerekmekte olup dengeleme hesabının konusu, belli noktaların gözlenmesiyle elde edilen sayısal değerler ya da ölçülerdir. Ölçüler yardımıyla istatistiksel anlamda belirli olmayanlar, dengelenmiş ölçüler ve bunların fonksiyonlarına ait en büyük olasılıklı değerleri belirlemek, dengelemenin ödevidir. Buda sadece ölçü ya da hataların normal dağılımlı olmasına bağlı olarak gerçekleşebilmektedir. Ölçü hataları genelde normal dağılıma göre saptığından dolayı ölçülerin belli algoritmalarla elde edilen dengeleme sonuçları çoğunlukla en uygun değer olarak adlandırılmaktadır (Demirel, 2003).

3B modellenen nesnelerin 2B modellerinin elde edilmesinde kullanılan fotogrametri ve LIDAR yöntemlerinin yanında diğer bir yöntemde jeodezik yöntemdir. Jeodezik yöntemde modellenecek binaların belirli noktaları jeodezik yöntemlerle ölçülür (Şekil 3.15).

Bu yöntem çok zaman ve maliyete sebep veren bir yöntem olduğu için zamanla yerini daha ayrıntılı verileri daha kısa zaman ve az maliyette sağlayan fotogrametriye devretmiştir (Şahin, 211).



Şekil 3.15. Jeodezik yöntemle nesnelere ait konum belirleme (URL-10).

3.3. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM)

Akıllı şehirlerin en önemli bileşenlerinden birisinin KBS olduğu, Kent Bilgi Sistemleri bölümünde bahsedilmiştir. Akıllı şehirlerin diğer önemli vazgeçilmez bir bileşeni ise Yapı Bilgi Modellemesi (YBM)'dir. Akıllı şehirler için YBM; artık bir seçenek değil, zorunluluktur. Herhangi bir inşaat projesinde, birkaç ekip birlikte çalışmaktadır. Bir ekip planlamaya bakarken, diğer bir ekip tasarımla ilgilenir, bir başkası inşaatı yapar ve bir başkası da bakım/onarımla ilgilenmektedir. YBM'nin en önemli avantajı, bir inşaat projesinde yer alan ekipler arasında bilgi ve iletişimin iş birliğini ve yönetimini kolaylaştırmasıdır. Geleneksel bir işleyiş sürecinde, bir ekip projeyi diğerine devrettiğinde varlık bilgisinin bir kısmı kaybolmaktadır. Bu da gelir açısından israfa yol açmaktadır. Bu tür senaryolarda YBM'nin önemi arttırmaktadır (URL-6).

YBM ile bir şehir asla izole olarak görülmez. Bir bina her zaman ulaşım sistemi, kamu hizmetleri gibi diğer altyapılarla entegre olması gerekmekte olup bu başarılması zor bir iştir. Ancak YBM'nin güzelliği de burada ortaya çıkmakta olup YBM'yi uygulayan projeler, iş birliğine ve disiplinler arasında herkese açık standart bilgi akışına sahiptirler. 3B Modelleme ve YBM, akıllı şehirler için bir nimettir. 3B üretim,

inşaatçıların yeraltında inşa edilecek altyapıyı bile modellemelerini sağlar. Bir şehir inşa ederken, işçiler bir fiber optik kabloya, gaz borusuna veya kanalizasyon hattına çarpmamak için ne kadar derin kazmaları gerektiğini bilmeleri gerekmektedir. Drenaj, kaldırım ve köprü tasarımcıları aynı sürükleyici modelle çalışabilmektedir. Bütün bunlar konumsal ve dünyadaki gerçek yerine sahip bir YBM oldukça faydalı bir üründür (URL-6).

YBM, birçok araştırmacı tarafından YBM'den ne anladığı ve niye kullandığına göre tanımlanmıştır. YBM, NBIMS (2007) tarafından aşağıdakiler olarak tanımlanmıştır: *"Bir tesisin fiziksel ve işlevsel özelliklerinin dijital temsili. Bu nedenle, başlangıçtan itibaren yaşam döngüsü boyunca kararlar için güvenilir bir temel oluşturan bir tesis hakkında bilgi için paylaşılan bir bilgi kaynağı olarak hizmet vermektedir."*

NBS (2017) tarafından diğer bir tanımı ise; *"YBM, inşaat sırasında ve sonrasında iş birliği içinde bir araya getirilmiş bir dizi veriyi çizen dijital bir model kullanarak herkesin bir binayı anlayabileceği araçları açıklar. Dijital Bir Bina Bilgi Modeli oluşturmak, binayla etkileşimde bulunanların eylemlerini optimize etmelerini sağlar ve bu da varlık için daha büyük bir tüm yaşam değeri sağlar."*

Yukarıdaki tanımlarda ima edilen şey, her bilgi parçası ile YBM arasında bir tür elektronik bağlantı olması gerektiğidir. Bu, gerektiğinde bilgilerin alınmasını mümkün kılmaktadır. Bu nedenle, YBM yazılımları birkaç görevi gerçekleştirmek için kullanılabilir: standart yaklaşımlar kullanarak işbirlikçi bir şekilde planlama, tasarım, inşaat, işletme ve bina bakımı gibi. YBM'nin insanları, teknolojiyi ve süreci bir araya getirerek değer yaratabileceği öne sürülmüştür (RIBA Enterprises Ltd ve NBS, 2016; NBS, 2017). Bununla birlikte, bilginin YBM'ye nasıl entegre edilebileceğine dair bir anlayış hala sınırlıdır. YBM, katılımcıların proje hedeflerine ulaşmak için bilgileri yönetmek, paylaşmak ve depolamak için aralarında etkileşim kurmasını kolaylaştıran bir araç veya süreçtir.

Yapı Bilgi Modellemesi, herhangi bir proje için farklı aşamalarda ve birçok açıdan çeşitli avantajlara sahiptir. YBM'nin daha sürdürülebilir sonuçlarla sonuçlanan kalite yönetiminin uygulanmasına olanak sağladığı savunulmuştur (Chen ve Luo, 2014). YBM, MMİ endüstrisinin performansını artırma ve farklı proje tarafları arasındaki koordinasyonu ve iş birliğini geliştirme yeteneğine sahiptir (Elhendawi, vd., 2019).

YBM'nin çeşitli faydaları vardır, örneğin görselleştirme, çakışma tespiti için kullanılır, ayrıca verimliliği, kaliteyi artırmak için bir iletişim sistemi olarak paylaşma,

koruma, modeli sorgulama, düzenleme ve sürdürme gibi amaçlar için kullanılmaktadır (Ahmad, vd., 2012; NBS, 2007; AbuHamra, 2015).

Bilgisayar Destekli Çizim/Tasarımın (CAD) ilk uygulaması genellikle "geometrik merkezli" olmuştur (Choi, vd., 1984). 1990'larda, metinsel ve grafiksel bilgileri birleştirmenin öneminin kabul edilmesiyle odakta bir dönüşüm gerçekleşmiştir (Linderöth, 2010). Artık bina modelleri, sektördeki çok çeşitli profesyonellerden çeşitli mühendislik analizlerini birleştirebilmektedir (Richards, 2010). Bu nedenle, YBM'nin verimli bir şekilde uygulanmasını sağlamak için inşaat endüstrisinin, parçalı süreçlerden işbirlikçi prosedürlere geçmek için mevcut çalışma şeklini dikkate alması ve yeniden şekillendirmesi gerekmektedir (Mao, vd., 2007; Zanni, 2016).

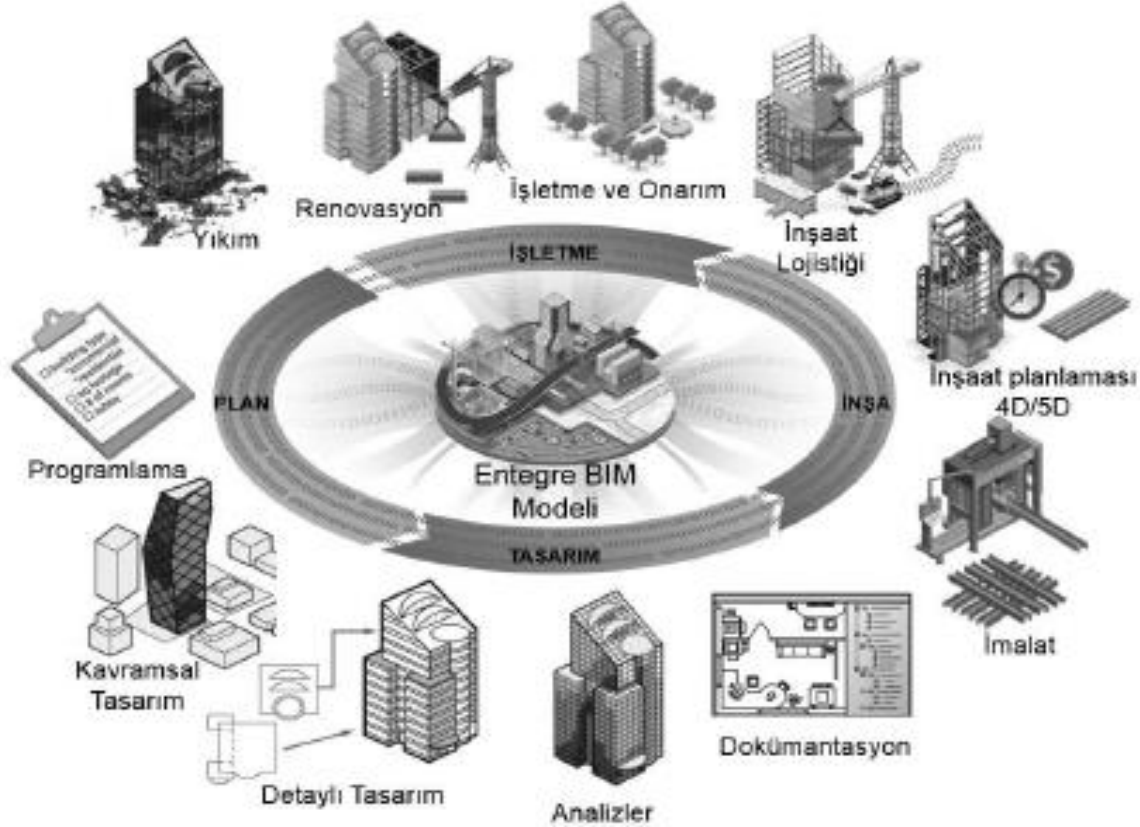
İnsanlar, teknoloji ve araçlar arasındaki iyi organize edilmiş koordinasyonun hem bina kalitesi hem de performansta büyük faydalar sağlama potansiyeline sahip olduğu gerçeğine rağmen, hala ele alınması gereken birtakım zorluklar vardır. Bu zorlukları azaltmak için, disiplinler arasında iş birliği, karmaşık tasarım analizi, ihtiyatlı sistem ve malzeme optimizasyonu olan entegre bir tasarım sürecine ihtiyaç olduğu öne sürülmektedir. Özellikle yüksek performanslı binalar bağlamında, mimari, yapısal, elektrik, mekanik ve kaplama sistemleri arasındaki koordinasyonu ve iş birliğini artırma ihtiyacında bir artış bulunmaktadır. Bu etkileşimin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için, erken katılım, deneyimli ekip, iletişim yöntemleri ve bir proje üzerinde çalışan ekipler arasındaki entegrasyon gibi özelliklere ihtiyaç bulunmaktadır (Nofera ve Korkmaz, 2010).

Bina tasarım çizimleri geleneksel olarak kalem, düzensiz eğriler, kâğıt, çizim tahtaları ve T cetveli gibi araçlar kullanılarak elle çizilmiştir (Henderson, 1994). 2000'li yıllara kadar mimarlar tarafından el çizimleri ile yapılmıştır. Kâğıt çizimlerinin zayıflıkları, CAD'in çıkmasıyla bir dereceye azalmıştır. Daha az zaman alması ve değiştirilebilmenin kolay yapılabilmesini çizimlerin iyileştirilen unsurları arasındadır. Sackey'e (2014) göre, 2B CAD, 3B CAD'in geliştirildiği yıllar olan 1990'lı yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılmıştır. Daha sonra Van Nederveen ve Tolman (1992) "Yapı Bilgi Modeli" terimini ortaya attılar. Zaman geçtikçe, farklı yazılım şirketleri kendi adlarıyla ortaya çıktılar (Graphisoft, "Sanal Bina"; Bentley Systems, "Entegre Proje Modelleri"; Autodesk ve Vectorworks, "Yapı Bilgi Modellemesi"). Bu teknolojik gelişmeler, teknolojiler tasarımcının amaçlarını daha verimli bir şekilde iletmesine izin verdiğinden, tasarımın uygulanması için büyük bir fayda sağlamıştır.

2B CAD'in kullanımının başlamasından beri YBM'nin altyapı ve inşaat endüstrisindeki muhtemelen en önemli yenilik olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle,

uygulama süreci hala tam olarak anlaşılmamıştır. YBM temelde 2B CAD'den oldukça farklıdır ve geleneksel çizimlere kıyasla parametrik modellemeye doğru yeni bir paradigma oluşturmaktadır. Yeni paradigmanın yaptığı öneri, yoruma tabi soyut bir temsiller (çizgiler) seti kullanmak yerine, sistematik ilişki ve bilgi veri tabanının tasarım ürününü temsil etmesi yönündedir (Denzer ve Hedges, 2008).

Yapı tasarım sürecinde, ilk çizgiden başlayarak nokta detaylarına kadar sürecin tüm süreçlerinde birçok veri üretilir. Geleneksel CAD yazılımlarında, bu veriler, birbirinden bağımsız olarak depolanmakta ve temsil edilmektedir. Bir projenin bileşeni olan plan çizimleri, kesitler, detaylar, görünüş ve metraj listeleri hepsi aynı yapı için düzenlenmiş olsalar da birbirinden bağımsız dokümanlardır. Aynı yapı için, birbirinden bağımsız dokümanlardan faydalanarak yeniden çizmek, yerleştirmek ve yazmak oldukça zahmetli ve süre kaybına sebep olmaktadır. Ayrıca hatalara açık bir ürün üretmektedir. Tasarımda ve işletme esnasında yapılan her bir değişiklik, tüm bu bağımsız dokümanlarda tek tek işlenmesi gerekmektedir. Özellikle proje sonuna yakın doküman sayısı artmakta ve bu da oldukça sıkıntılar doğurabilmektedir. Buna ayrıca yapım esnasında ortaya çıkan revizyonlar dahil olduğunda, geleneksel yöntemlerin yetersiz kalacağı aşikârdır (Fazli, vd., 2014). Şekil 3.16'da Yapı Bilgi Modelinin yaşam döngüsü gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Yapı Bilgi Modelleme Yaşam Döngüsü (Underwood ve Işıkdag, 2012).

Yapı sektöründe kullanılan sistem ve yazılımlar, disiplinler arası bir ortam ve çalışma ile mümkündür. Özellikle YBM çok fazla disiplin ve uzmanlık alanından destek almaktadır. Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere YBM bütün paydaşlarca anlaşılabilir ve ortak bir dil oluşturmayı hedeflediği için bu paydaşların hepsinin bu bilgilere eş zamanlı olarak ulaşması gerekmektedir. Çünkü YBM, mimarlar, mühendisler, müteahhitler, mal sahipleri vs. birlikteliği ile oluşturulmuş veriden oluşmaktadır (Ofloğlu, 2012). Şekil 3.17’de YBM ve ilişkili aktörler gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Yapı Bilgi Modelleme Aktör İlişkileri (Akkaya, 2012).

3.3.1. Yapı Bilgi Modellemesinin Fayda ve Kullanım Alanları

Yapı Bilgi Modellemesi; tasarım, karar verme, yüksek kaliteli inşaat belgesi üretimi, inşaat planlaması, performans tahminleri ve maliyet tahminleri için binanın güvenilir bir dijital ikizini sağlamaktadır. Bilgilerin birbiri ile entegre olduğu dijital bir ortamda güncel ve

erişilebilir olma becerisine sahip olmak, mimarlara, mühendislere ve tüm inşaat sektörü paydaşlarına; projelere ilişkin net bir vizyon ve daha hızlı ve doğru karar alma mekanizması sağlamaktadır. YBM, başlıca iki ana fayda sağlamaktadır. Bunlar:

- Önemli tasarım bilgileri dijital formatta tutulduğu için kolaylıkla güncellenebilir ve ilgili tüm taraflarla paylaşılabilir.
- Gerçek zamanlı tasarım verilerinin dijital biçimde, parametrik bina modelleme teknolojisi kullanılarak bakımı, büyük zaman ve para tasarrufu sağlar. Bu da proje verimliliğinde ve kalitesinde bir artışa yol açmaktadır (Forbes ve Ahmed, 2011).

Ayrıca Stanford Üniversitesi'nin 2007 yılında 'center for integreted facilities engeneering' (CIFE) biriminin 32 büyük çaplı projede üzerinde yapmış olduğu araştırmada YBM'nin faydalarını şöyle sıralamaktadırlar;

- Bütçedeki değişimlerin %40 oranında azalması
- Maliyet tahminlerinin %3 hata payı ile yapılabilmesi
- Maliyet tahminlerinin yapılabilmesinde %80'in üzerinde daha az zaman harcandığı
- Yapısal elemanların çakışmasından kaynaklanan sözleşmelerden doğan para kayıplarının %10 oranında azalması
- Tüm proje zamanının %7 oranında azaldığı görülmektedir (CIFE, 2007).

YBM'nin tasarımdan başlayarak binanın işletimine kadar çok geniş yelpazede binanın tüm varlık döngüsünde kullanılabilmektedir. Bu kullanımı başlıca dört başlıkta toplamak mümkündür. Bunlar:

- Tasarım Sürecinde Kullanım: Fizibilite sonrası sisteme eklenecek belediye evrakları, ihtiyaç listesi, avan proje tasarımı, kesin proje tasarımı, statik-elektrik- mekanik projeleri vb.
- Çevresel Analizlerde Kullanım: Işık analizi, ısı-yalıtım analizi vb.
- Bina Yapım Sürecinde kullanım: Malzeme tedariki, revizyon kontrolü, depolama kontrolü vb.
- Bina İşletiminde Kullanım: Arıza tespiti, revizyon kontrolü, yıkım vb. (Ofloğlu, 2009).

Yukarıda belirtilen tasarım süreçlerine ek olarak farklı amaçlarla da Yapı Bilgi Modellemesi kullanılmaktadır. Bu amaçlar:

- **Görselleştirme:** 3B bina giydirmeleri.

- **Üretim/İşyeri Çizimleri:** Bütün bir işyerinin modellenmesi tamamlandıktan sonra alt bileşenleri yapmak kolaydır. Örneğin, bir iş yeri modeli oluşturduktan sonra boru tesisatının üretimi oldukça kolaylaşabilir.
- **Mevzuata Uygunluk:** Yerel yönetimlerin binaya ilişkin mevzuat hükümlerini kontrol etmek için yetkililerce denetimlerde kullanılabilir. .
- **Otomatik Üretim:** Teknolojik projelerde, YBM dosyalarından elde edilen veriler elektronik olarak kontrol edilen imalatlara girdi olarak kullanılabilir.
- **Tesis Yönetimi:** Tesis yönetimi departmanları YBM'yi tadilat, yeniden mekân düzenleme ve bakım/onarım işlemleri için kullanabilir.
- **Uyuşmazlık, Müdahale ve Çakışma araştırması:** YBM modelleri 3B gerçek konumunda üretilmesi sebebiyle bütün bina sistemleri etkileşim için görsel olarak kontrol edilebilmektedir. Bu işlem, borularla çelik kirişler, kanallar veya duvarların kesişip kesişmediği kontrol edilebilir.
- **Yapı Dizisi:** YBM modeli tüm bina bileşenleri için, malzeme siparişi, imalat ve teslimat programları oluşturmada etkin olarak kullanılabilir.
- **Maliyet Hesabı:** YBM yazılımları maliyet hesabına uygun üretildiğinden dolayı modelde oluşacak bir değişiklikte malzeme miktar ve maliyetleri otomatik olarak düzeltilebilir.
- **Adli Analiz:** Yapı Bilgi Modellemesi potansiyel arızaları, sızıntıları, tahliye planlarını grafiksel olarak göstermeye kolayca adapte edilebilir (Forbes ve Ahmed, 2011).

3.3.2. Yapı Bilgi Modeli Standartları

Veri standardı, ilgili sistemlerin hepsinin konuşabileceği ortak bir dil olan “*lingua franca*” fikrine veya belki de daha doğrusu, hepsinin okuyup yazabileceği bir dil fikrine dayanmaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi, YBM yaklaşımındaki merkezi yapının akıllı, bileşen tabanlı, 3B modele sahip olmasıdır. Şu anda mevcut olan tüm YBM modelleme yazılımları, bileşen ayrıntı düzeyinde çalışmakta ve bunların tümü, kullanıcının modelini oluşturabileceği kapsamlı bileşen kitaplıkları sağlamaktadır. Dolayısıyla veri standardının başlangıç noktası hem gerçek dünyada var olduğu hem de farklı modelleme sistemlerinde temsil edildiği şekliyle bileşendir (Crotty, 2012).

Bilgisayar tabanlı çizim ve modelleme yazılımlarında nesne tabanlı yazılımların yaygın halde kullanılması ulaşılabilir bir veri standart yapısının var olmasına bağlıdır. CAD tabanlı olarak üretilen DXF ve DWG gibi standartların sadece geometrik varlıkları temsil etmesi sebebiyle yetersiz kalması ve buna ek olarak nesne tabanlı uygulamaların oldukça zengin veri içeriğine sahip olması yeni standartların doğuşuna sebep olmuştur. Bahsi geçen veri standartlarıyla farklı uygulamalar ve disiplinlerde kayıpsız veya en az az kayıpla veri dönüşümü mümkün olabilmektedir. Bu yönde gerçekleştirilmiş STEP ve IFC isimli uluslararası iki standart mevcuttur (Ofloğlu, 2009).

1991 yılında oluşturulmuş STEP, herhangi bir sisteme bağlı kalmaksızın bir veriyi tüm varlık döngüsü boyunca tanımlayan uluslararası bir standarttır. Grafik ve sözel verileri birleştirerek farklı disiplinlerce kullanılabilen ve paylaşılabilen bir veri tabanı yaratır. DXF ve DWG gibi sadece değişim üzerine kurulu olmayıp bilgi ve veri tabanı dönüşümü için bir temel oluşturmaktadır. Yakın bir geçmişe kadar bilgisayar tabanlı çizim yazılımlarının önemli bir kısmı bu formatı okuma ve yazma kabiliyetine sahiptiler (Ofloğlu, 2009).

STEP'den elde edilen bir birikim ile 1995 yılında, dünya çapındaki inşaat endüstrisi ve büyük CAD satıcılarının temsil edildiği IAI (Uluslararası Birlikte Çalışabilirlik İttifakı) adlı teknik bir organizasyon kurulmuştur. O zamandan beri, IAI, inşaat sektörü bileşenlerinin tüm ana ailelerinin tarafsız, sistematik bir tanımını sağlayan, Endüstri Temel Sınıfları (Industry Foundation Classes / IFC'ler) adı verilen bir dizi nesne tabanlı değişim dosyası formatını ve kapsamlı bir bileşen spesifikasyonlar seti geliştirmiştir (Crotty, 2012).

Modelleme sistemleri arasında dönüşüm yapabilecek bilgi setlerinin eksiksizliğinde kaçınılmaz sınırlamalar vardır. Bu nedenle, geometri, konum, ürün özellikleri, maliyet, teslim tarihi vb. gibi temel bilgiler genellikle oldukça kolay bir şekilde değiş tokuş edilebilir. Bununla birlikte, onları 'akıllı' yapan bileşenlerin birçok özelliği, kaynak sisteme özgüdür ve tercüme edilmesi zordur (Crotty, 2012).

IAI yakın zamanda isim değişikliğine gitmiş ve yeni ismi BuildingSMART olarak değiştirmiştir. Ayrıca, bir projenin geliştirilmesinin belirli noktalarında belirli firmalar arasında hangi bilgilerin hangi formatta iletilmesi gerektiğini belirlemek için kullanılabilecek bir dizi prosedür ve protokolün geliştirilmesi üzerinde çalışmaktadır.

Tüm inşaat fiziksel ve soyut varlıklarının (örneğin süreç ve alan) nesne görünümünü alarak, uygulamalar arasında paylaşım ve iletişimi kolaylaştırmak için IFC veri modelleri geliştirilmiştir. Her YBM kolayca IFC tabanlı olmasa da şu anda IFC en büyük değişim potansiyelini sunmaktadır (Nisbet ve Dinesen, 2010).

2013 yılında ISO tarafından tanınarak sertifikasyon süreci başlayan IFC; 2018 yılında (ISO 16739-1:2018) açık ve uluslararası standart olarak yayınlanmıştır. Versiyon güncellemeleri devam etmekte olup 2021 yılında en son versiyonu yayınlanmıştır.

3.3.3. Yapı Bilgi Modelinde Detay Seviyeleri

LOD kısaltması Gelişim Seviyesi (Level of Development) için kullanılabildiği gibi Detay Seviyesi (Level of Detail) için de kullanılmaktadır. Detay Seviyesi esas olarak model elementin ne kadar detay içerdiğiyle ilgiliyken, Gelişim Seviyesi elementin geometrisinin ve eklenmiş olan bilginin ne kadar düşünülmüş olduğu yani ne kadar güvenilebileceği ile ilgilidir. Esas itibarıyla Detay Seviyesi element için bir girdi olurken Gelişim Seviyesi ise bir çıktı olmaktadır. CityGML’de LoD kavramı detay seviyesi olarak kullanılırken YBM ve IFC için gelişim seviyesi daha çok kullanılmaktadır. Gelişim Düzeyi (LOD) Spesifikasyonu, MMİ Endüstrisindeki uygulayıcıların, tasarım ve inşaat sürecinin çeşitli aşamalarında YBM’nin içeriğini ve güvenilirliğini yüksek düzeyde netlikle belirlemelerini ve ifade etmelerini sağlayan bir referanstır. LOD spesifikasyonu Amerikan Mimarlar Enstitüsü (AIA) tarafından “G202-2013 Bina Bilgi Modelleme Protokol Formu” ile 2008 yılında IFC ile uyumlu olarak yayınlanmıştır. 2011 yılında BIMForum, bu LOD Spesifikasyonunun geliştirilmesinde görev almaya başlamış ve ana disiplinlerin hem tasarım hem de inşaat taraflarından katkıda bulunanlardan oluşan bir çalışma grubu oluşturmuştur. Bu kapsamda BIMForum tarafından, LOD spesifikasyonları düzenli güncellemekte 2021 yılında en güncel versiyonunu yayınlamıştır (URL-7).



Şekil 3.18. LOD seviyeleri.

Farklı Geliştirme Düzeylerinde farklı bina sistemlerinin model elemanlarının özelliklerini tanımlar ve gösterir. Temel LOD seviyelerinin özellikleri Çizelge 3.2’de, görünüşleri ise Şekil 3.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. LOD tanımları.

LoD	Aşama	Açıklama
100	Kavramsal	Eleman grafiksel olarak modelin içerisinde gösterilebilir. Ancak LOD 200 tanımında olan detayları barındırmaz. model elemanla ilgili bilgiler (maliyet, metraj, tonaj, HVAC vs) diğer model elemanlarından türetilir.
200	Yaklaşık Geometri	Eleman, model içerisinde bir genel sistem, nesne veya yaklaşık metraj, boyut, şekil, lokasyon ve konumlamayla montajlama gibi grafiksel şekilde gösterilir (ifade edilir). Şekli çizimi olmayan bilgiler de modele konulabilir.
300	Hassas Geometri	Eleman detaylı bir sistem, nesne veya metraj, boyut, şekil, lokasyon ve konumlama bilgisiyle montajlanan eleman olarak modelde çizilir. Şekli çizimi olmayan bilgiler de modele konulabilir.
400	Üretim	Eleman detaylı bir sistem, nesne veya metraj, boyut, şekil, lokasyon ve konumlama bilgisine ek olarak detaylı üretim, montajlama ve kurulum bilgileriyle Modelde çizilir. Şekli çizimi olmayan bilgiler de modele konulabilir.
500	As-built	Eleman; boyut, şekil, lokasyon, metraj ve konum olarak doğrulanmış bir durumdadır. Şekli çizimi olmayan bilgiler de modele konulabilir

LOD, öznel tanımlamalardan oluşmakta olup çeşitli uygulamalar ve şartnamelerde atıfta bulunulsa da LOD kavramı YBM’nin tam anlamıyla, belirli standartlara sokabilen tanımlamalardan oluşmamaktadır. Örneğin LOD 100 seviyesi LOD standartlarında tanımlanmış olsa da pratikte kullanımı mümkünatı bulunmamaktadır. YBM’nin asıl amacı, projenin önemine bakılmaksızın inşaatın tüm süreçlerindeki bulunan detayların sunulmasıdır. Günümüzde üretilen çoğu YBM projesinin neredeyse hepsi (mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat aşamaları farklılık göstermekte) LOD’un tanımladığı en yüksek detay seviyesi LOD 400 ya da 500’e göre modellenmektedir. Dolayısıyla LOD’un diğer detay seviyelerinin pek bir anlamı kalmamaktadır. Bu yüzden LOD kavramı ileride belki önemini tamamen yitirecek bir kavram olacaktır (Akkoyunlu, 2015).

3.3.4. Yapı Bilgi Modellemesi Veri Kaynakları

Konut olarak kullanılan binalar, bir şehirde yapı stoğunun çoğunu oluşturmaktadır. Bina yaşının yanında yangın, deprem, kasırga gibi doğal afetler ile insan kaynaklı değişimler nedeniyle deformasyonlar meydana gelmektedir. Yakın zamana kadar binalar iki boyutlu çizimlerle (CAD) dijital olarak gerçekleştiriliyordu. Son zamanlarda, Yapı Bilgi Modelleri (YBM) olarak adlandırılan 3B dijital temsillerin kullanımı artmıştır. YBM, kullanılmakta olan mevcut bir binayı temsil edebilirken inşa edilmesi planlanan proje halindeki bir binayı da temsil edebilmektedir. YBM iki farklı bina tipine göre üretilmektedir. Bunlar planlama aşamasındaki bina ve işletilmekte olan binadır. Planlama aşamasında olan binalar için YBM, YBM yazılımları ile üç boyutlu ve veri tabanı ile birlikte bütünleşik üretilmekte ve gerekmesi durumunda bu modelden 2B çizimler çekilmekte veya veri tabanında grafiksel olmayan bilgiler çekilebilmektedir. Diğer bina tipi olan işletilmekte olan binalar için ise iki farklı yöntemle YBM üretimi yapılabilmektedir. Bu yöntemler; CAD to BIM ve Scan to BIM yöntemleridir. İngilizce bir terim olan bu ifadelerin literatürde Türkçe bir terim olarak üretilmediği görülmüş olup bu tez çalışması kapsamında bu terimlere Türkçe karşılığı olan yeni terimler üretilmiştir. “CAD to BIM” ifadesine “Tasarımdan YBM Oluşturma” olarak çevrilmiş, “Scan to BIM” ifadesi ise “Taramadan YBM Oluşturma” olarak çevrilmiştir. Ayrıca bu tez çalışmasında yapımı tamamlanmış kullanılmakta olan binalar üzerinde durulacaktır.

3.3.4.1. Tasarımdan YBM Oluşturma

Bu yöntem geleneksel denilebilecek CAD tabanlı üretim olup “CAD to BIM” denilmektedir. Türkçeye “Tasarımdan YBM Oluşturma” olarak çevrilmiştir. Var olan üretim 2B projelerinin 3B temsili sağlanmakta ve YBM gereksinimlerine göre dizayn edilmektedir. Bunun için kullanılmakta olan oldukça popüler yazılımlar bulunmakta ve oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Mevcut projeler için YBM'den yararlanmak için, mevcut bina verilerini bir YBM istemine dönüştürmek veya dahil etmek için otomatik veya yarı otomatik yollar bulması gerekmektedir. Ne yazık ki, bina verilerinin taranması ve YBM'ye dönüştürülmesi hala büyük bir zorluktur. Belgelenmiş projeler için, CAD verilerinden yararlanmayı ve ondan YBM'yi çıkarmayı düşünmek doğaldır, ancak belgelenmemiş projeler için eğilim tarama kullanımına doğru gitmektedir (Fadli, vd., 2015).

Şaşırtıcı bir şekilde, mevcut binaların çoğunun CAD yaklaşımlarıyla yönetilmesine rağmen, CAD'den YBM'ye dönüşüm araştırmacılar arasında çok az ilgi görmüştür. Genellikle, YBM sistemi oluşturma sürecinde CAD verileri, YBM yazılımında 3B çizim yapılırken örnek veri olarak kullanılmaktadır. YBM sisteminin amaçlarına bağlı olarak, bu tür manuel dönüştürme, işlevsel doğruluğu veya görsel doğruluğu hedefleyebilmektedir (Grabowski, 2010).

CAD kullanmanın en önemli dezavantajı, binanın yapım ve işletim süreçlerinde projede değişikliklere uğrayabilmesi ve değişikliklerin orijinal kaynak CAD ortamına aktarılmayan as-built proje bulunmamasıdır. Bu nedenle Tasarımdan YBM Oluşturma, inşa edilen binayı aslına uygun olarak temsil etmekte bazı zorluklarla karşılaşmaktadır.

3.3.4.2. Taramadan YBM Oluşturma

Yöntemlerden ikincisi ise 2B ve Yersel Lazer Tarama, LIDAR, İHA gibi teknolojilerden faydalanarak fotogrametrik ve ölçme teknikleri ile üretim yöntemidir. Buna “Scan to BIM” denilmekte olup Türkçeye “Taramadan YBM Oluşturma” olarak çevrilebilmektedir.

Mevcut yapıların çoğunda, mevcut bina için oluşturulmuş herhangi bir YBM modeli bulunmamaktadır (Tang, vd., 2010). Böyle bir dijital model yokluğu sorunun çözümü için, lazer tarama teknolojileri, yerleşik YBM oluşturma endüstrisinde yaygın olarak benimsenmiştir (Pärn, vd., 2017; Badenko, vd., 2018a, Badenko, vd., 2018b). Bu nedenle, yerleşik YBM modellerinin oluşturulması, öncelikle geometrik olmak üzere doğru bina parametrelerinin elde edilmesi için kullanılan lazer tarama verilerine dayanmaktadır (Bosché, vd., 2015).

Taramadan YBM Oluşturma süreci üç ana adımdan oluşmaktadır. Bunlar: tarama, veri işleme ve modellemedir. Süreçlerin ilk kısmında, havasal LIDAR (ALS), mobil LIDAR (MLS), yersel lazer tarama (TLS) veya hareketten yapı (SfM) gibi tekniklerle tarama işlemi yapılarak nokta bulutu oluşturulur. Daha sonra oluşturulan nokta bulutundan, mesh, CAD dönüşümü veya sayısallaştırma yapılarak kayıt işlemi gerçekleştirilir. Son olarak da veri taleplere göre 3B model oluşturulmaktadır.

Yukarıda bahsedilen Tasarımdan YBM Oluşturma ve Taramadan YBM Oluşturma artıları ve eksileri tartışmalarına dayanarak, mevcut literatür, Tasarımdan YBM Oluşturma kullanımının hiçbir otomatik yaklaşımın önerilmediği ve oldukça yüzeysel kaldığını göstermektedir. Öte yandan eğilim, Taramadan YBM Oluşturma görevlerini gerçekleştirmek

için gelişmiş tarama tekniklerinin kullanımına doğru gitmektedir. Tasarımdan YBM Oluşturma yaklaşımının kullanımı yalnızca belgelenmiş projelerle sınırlıdır ve CAD bilgileri güncelliğini yitirmiş, güvenilir olabilmekte ve ayrıca belirli bir uygulama için çok önemli olan ayrıntılardan yoksun olabilmektedir. Buna karşılık, 3B tarama, geri alma işlemlerini ele aldığı için yukarıda bahsedilen Tasarımdan YBM Oluşturma modelleme sınırlamalarının üstesinden gelmektedir (Fadli, vd., 2015).

3.4. CBS – YBM Arasındaki İlişki ve Entegrasyonu

Bugünün geleceği olarak görülen Akıllı Şehirlerin sayısının 2040 yılına kadar on binlere ulaşacağı tahmin edilmektedir. Günümüzde dijitalleşmeyi her alanda mümkün kılan teknolojik gelişmeler nesnelerin interneti, artırılmış gerçeklik, bulut uygulamaları, yapay zekâ, veri bilimi, akıllı giysiler, büyük data gibi birçok uygulamayı da yapı sektörüne kazandırmıştır. Kent ölçeğinde dijitalleşme seviyesine gelen teknoloji ile dünyada ilk Akıllı Şehir uygulamalarına da tanık olunmaktadır.

Kentlerin ve yapıların dijital ikizini çıkarmak ve Akıllı Şehirler kurmak amacıyla yapılara ve konumlarına ait her türlü nitel ve nicel bilgiyi ilişkilendiren ve analiz eden iki teknolojiyi; Yapı Bilgi Modellemesi ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin ilişkileri, farkları ve entegrasyonu bu bölümde değerlendirilecektir.

3.4.1. CBS – YBM Arasındaki İlişki

YBM ve CBS'nin her ikisinin de gerçek dünyayı dijital olarak temsil etme özelliğinin bulunmasının yanında aralarında birçok fark da bulunmaktadır. Örneğin, YBM, yeni iyi tanımlanmış nesneler için modelleri optimize etmek için kullanılırken, CBS, bilginin mevcudiyeti yeterli olmadığında veya eksik olduğunda mevcut nesneleri yeniden oluşturmak için kullanılmaktadır (Zhang, vd., 2009).

Ayrıca, farklı disiplinlere hizmet ettikleri için dünyaları da birbirinden oldukça farklı olması nedeniyle YBM ve CBS arasında çeşitli çatışmalar bulunmaktadır. Örneğin, YBM iç mekanları temsil ederken, diğer bir deyişle gerçek dünyadaki mikro seviyeyi görselleştirirken, CBS dış ortamları yani gerçek dünyanın makro seviyesinde temsil etmektedir (Wang, vd., 2019). Sonuç olarak, CBS coğrafi koordinat sistemlerine ve dünya haritasının projeksiyonlarına çok güçlü bir düğümle bağlıyken, YBM'nin koordinatları dünyadaki belirli bir yeri olmasına gerek olmayan nesnelerin modellenmesine bağlıdır

(Fosu, vd., 2015). Son yıllara kadar CBS araştırmacıları iç mekân uygulamalarına fazla ilgi göstermemiştir. Bunun nedeni, bina içi verilerin konumsal nitelikte olmaması yani coğrafi konuma sahip olmamalarıdır. Konumsal veri altyapılarına ilişkin standart ve uygulama talimatlarında bina içi verilerine yönelik direkt tanımlamalar bulunmamaktadır. Kısaca, son zamanlara kadar CBS uygulamalarının YBM ve diğer CAD tabanlı uygulamalarla entegrasyonu, daha çok veri aktarımı ve dönüşümü boyutunda kalmış olup, CAD tabanlı veya YBM modelleri bina içine yönelirken CBS’de ise bina dışı ve çevre mekanlarına odaklanılmaktadır. YBM'nin 3B olmaması düşünülemez ve binalarla özelliklerine odaklanmakta olup tüm şehir ve kentsel alanları çoğunlukla 2B olarak ele aldığı için CBS'nin kapsamı daha geniştir. Ayrıca, YBM'nin standardı IFC iken CityGML ise CBS'nin standardıdır.

YBM ve CBS arasında bir entegrasyon modelleme süreçlerinde zaman, emek ve maliyet kayıplarının önleyebileceği düşünülmektedir. Yani, YBM'deki daha ayrıntılı veriler CBS'de daha genel verileri besleyebileceği ve CBS verileri genellikle YBM verilerinde eksik olan bütünlemeyi sağlayabileceği görülmektedir (Ohori, vd., 2018).

Entegre bir YBM ve CBS sisteminde kullanılabilecek bu araçlar, artan nüfus, trafik sıkışıklığı, evler ve kamu için alanlar, su ve enerji kullanımı, küresel ısınma, daha sıkı şehir bütçeleri ve eskiyen bir altyapı göz önüne alındığında, yeni akıllı şehirlerin oluşturulmasındaki zorlukları yönetmek için büyük avantaja sahiptir (Deshpande, 2017). İki sistemin benzerlikleri ve farkları özellikleri Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. CBS ve YBM arasındaki ilişki.

	CBS	YBM
Kaynak	Harita – var olan (bir kısmını) gerçekliği sunmayı amaçlar	İnşaat planları/Çizimler – olmayan bir şeyi sunmayı amaçlar
Perspektif	Büyük ölçekli — çevresindeki bir binanın genel görünümü. Normalde dış ortama odaklanır. Daha pasif, kullanıcı ve belgelenen projeler arasında bağlantı yok.	Küçük ölçekli — birkaç binanın ayrıntılı bir taslağı. Normalde iç modellere odaklanır. Daha aktif, proje paydaşları tarafından kullanılır.
Uygulamalar	Şehir planlaması/yönetimi.	Binaların/altyapının planlanması, inşası ve yönetimi.
3B Yetenekler	Hala sınırlı, çoğu 3B veri, 2B veri/analizlerden elde edilir.	Projeksiyon ve modelleme doğrudan 3B olarak gerçekleşir.
Ayrıntı Düzeyi	Çoğunlukla düşük, genelleştirilmiş yüzeyler/hacimler kullanılır.	Yüksek, modeller çok ayrıntılıdır.

Referans	Dünya'nın şeklini elipsoidal kabul ederek küresel koordinat sistemlerini/harita projeksiyonlarını kullanır.	Dünya'nın bütünü ile ilgilenmeyip, düz olduğunu varsayıp yerel koordinat sistemlerini kullanır.
Veri	CityGML, vektör, raster	IFC, dwg, excel
Yazılımlar	ArcGIS, QGIS, MapInfo	Revit, AutoCAD, NavisWorks

3.4.2. Entegrasyon Sorunları

YBM ve CBS arasında entegrasyon fikri, artan şehirleşme, altyapı yenileme ve şehir yönetimi ile eş zamanlı olarak artmaktadır. Ayrıca, CBS'de 3B yeteneğinde olağanüstü gelişmelerle birlikte YBM ile entegre etme gereksinimi de artmıştır. Ancak bunun yanında YBM ve CBS arasında iyi bir entegrasyon için yanıtlanması gereken çok sayıda soru ve ele alınması gereken sorunlar bulunmaktadır. Halihazırda ele alınan bazı konular, ilk olarak, standart araç setlerinin çeşitli işlevleri yerine getirmek için hangi veri formatlarını standartlaştırması gerektiğidir. Bugün zaten var olan veya entegrasyon sürecinin düzgün çalışması için geliştirilmesi gereken standartlaştırılmış veri formatları veya hizmet arayüzlerinin olup olmaması durumudur. Başka bir konu ise veri alışverişinin nasıl gerçekleştirilebileceği ve hangi formatlarının kullanılması gerektiği sorusudur. Diğer bir soru da web hizmetinin entegrasyon için önemli bir rol oynayabileceğidir (Przybyla, 2010). Bunun yanı sıra, entegre 3B YBM ve CBS içeriğinin üst düzey görselleştirilmesi için en uygun çözümün nasıl bulunacağı gibi diğer teknik sorunlar devam etmektedir. Ayrıca, düzenlemeler arasında çift yönlü bir akış, standartlar ve açık spesifikasyonlar arasında karşılıklı çalışma uygulama sorunu da vardır.

YBM ve CBS arasındaki temel benzerliklere rağmen, birlikte çalışabilirlikleri ve entegrasyonunu engelleyebilecek çeşitli sorunlar bulunmaktadır. Bu sorunlardan ilki coğrafi konumlar ve koordinat sistemleri ile ilgilidir. Günümüzde mevcut olan en çok kullanılan CAD ve YBM formatlarından çoğu, içeriğini geo-referanslamadan yoksundur. Coğrafi konumların olduğu YBM modellerinde bile, modelin yalnızca birkaç noktasında ya da yeterli hassasiyette olmayan konumsal veriler bulunması muhtemeldir (Lithén ve Persson, 2016).

Koordinat sistemleri söz konusu olduğunda, YBM verilerinin çoğu yerel, ortogonal, kartezyen veya kendi içerisinde bir koordinat sistemi kullanılarak tanımlanmaktadır. Bunun karşısında ise, bir elipsoid üzerinde coğrafi referans sistemleri veya coğrafi koordinatların

tanımlı olduğu ve olması gereken CBS bulunmaktadır. Bunun yanında YBM verilerinde yükseklikler verilerinin nasıl işlenip kullanılacağına yönelik bir ortak bir standart da yoktur. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, manuel olarak YBM verilerinin geo-referanslaması yapılmadıkça CBS yazılımlarına aktarırken hatalarla sonuçlanması muhtemeldir (Lithén ve Persson, 2016).

Veri yapısıyla ilgili bir başka sorun ise, depolanan bilgilerin nasıl ve hangi ayrıntıda olduğudur. YBM verileri genellikle CBS yazılımlarının sunmasının zor olduğu ve veri miktarlarının yüksek olduğu bilgiler içermektedir. Buna örnek olarak, genellikle matematiksel olarak tanımlanmış yüzey şekilleri karmaşık geometrilere sebep olabilmektedir. Bu geometrileri daha basit, yaklaşık olanlarla değiştirmek mümkün olabilmekte ancak bu her zaman yapılabileceği anlamına gelmemekte ve hiç yapılamadığı durumlar da bulunmaktadır. YBM modelleri genellikle milimetre seviyesine kadar çok ayrıntılı bilgiler içermesi CBS'nin bu verileri sunması konusunda zorluklar doğurmaktadır (Lithén ve Persson, 2016).

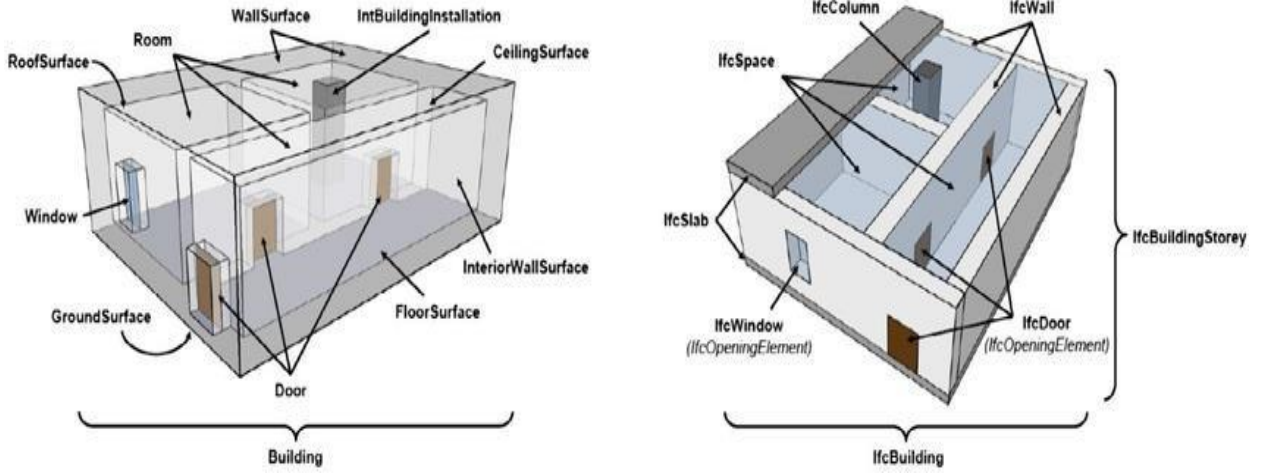
YBM ve 3B kent modelleri de birçok farklı şirket, otorite, üniversite ve hatta kamu otoritesi tarafından üretilmektedir. Bu farklılık da tüm paydaşların modelleri oluştururken kendi olgularına göre üretmeleri sebebiyle biçimler, şemalar ve araçlar vs. konularda büyük farklılıklara neden olmaktadır. Modellerin kapsamı, hedefleri ve şartları ile ilgili farklılıklar, modellerin geometrisinin gereksinimlerine ve içlerindeki semantik bilgi eksikliğine bağlı olarak farklı şekilde temsil edildiği sonucuna bağlı olarak bu modellerin entegre edilmesi oldukça güç hale gelmekte ve ek bütçe ve tecrübe ihtiyacı doğmaktadır (El-Mekawy, 2012).

Üstesinden gelinecek en büyük zorluk, farklı bilgi modelleri ve aralarındaki dönüşümler sorunudur. IFC ve CityGML biçimlerinden birinde kullanılan bazı sınıfların diğerinde karşılığı bulunmamaktadır. Hem YBM hem de CBS hakkında bilgi birikimi ve deneyime sahip çok az sayıda kişinin bulunması bu sorunu daha da derinleştirmektedir. Bu sebeple çoğu kullanıcı veya kuruluş YBM veya CBS'den sadece birine odaklanmaktadır (Larsson, 2015).

3.4.3. CBS – YBM Entegrasyonu

IFC'den CityGML verilerine anlamlı dönüştürmenin otomatik hale gelmesi oldukça zordur. Çünkü IFC verileri oldukça karmaşık geometrik veri yapısına sahiptir (Donkers, vd., 2015). IFC ve CityGML verilerinin her ikisi de hiyerarşik bir veri yapısı ile tanımlanmakla birlikte IFC'nin yapısı, CityGML veri setinde ihtiyacından çok daha fazla ara özelliği

içermesi sebebiyle çok daha karmaşıktır (Safe, 2015). IFC ve CityGML arasındaki en büyük fark, binanın modelinin ve duvarlar, döşemeler ve çatılar gibi yapı elemanlarının nasıl temsil edildiğidir. IFC'deki yapı elemanları, özellikleri, ilişkileri ve genellikle hacimsel geometri temsili olan katı nesnelerdir. CityGML'deki bir yapı modeli nesne bazlı bir model olmamakla birlikte hacimsel geometri gösterimlerini desteklemez, ancak diğer yandan Şekil 3.19'da görüldüğü gibi açık bir katı veya yüzey geometrisine sahiptir. Yapı elemanları, herhangi bir özelliği veya diğer sınır yüzeyleriyle ilişkisi olmayan binalar ve odalar için sınır yüzeyleri olarak modellenmiştir. IFC'nin CityGML'e dönüştürülmesi için, yapı elemanlarının hacimsel temsilleri olan verilerin CityGML binasının veya odasının sınır yüzeylerine dönüştürülmesi gerekmektedir (Geiger, vd, 2015).



Şekil 3.19. CityGML (solda) ve IFC (sağda) bir binanın temsili (Amirebrahmi, vd., 2016).

IFC modelleri ile CityGML modelleri arasında farklı ayrıntı seviyelerinde dönüşüme izin veren ticari yazılımlar bulunmaktadır. Bunlar; FME, Building Information Modelserver ve IfcExplorer'dur. Ancak bu dönüşüm için yazılımların kurallarına uygun üretilmesi gerekmektedir (Geiger, vd, 2015). Son olarak sadece IFC'den CityGML'e bir dönüşüm değil de CityGML'den IFC'ye dönüştürmenin de mümkün olacağı çift yönlü bir yöntem bulmak en uygun olacaktır. Çift yönlü bir yöntem daha fazla uygulamanın geliştirilmesine sebep olup hem operasyonel (az maliyetli entegre model) hem de stratejik düzeyde (kriz yönetimi ve artırılmış analiz yetenekleri) faydalar sağlayacağı düşünülmektedir (El-Mekawy, 2010).

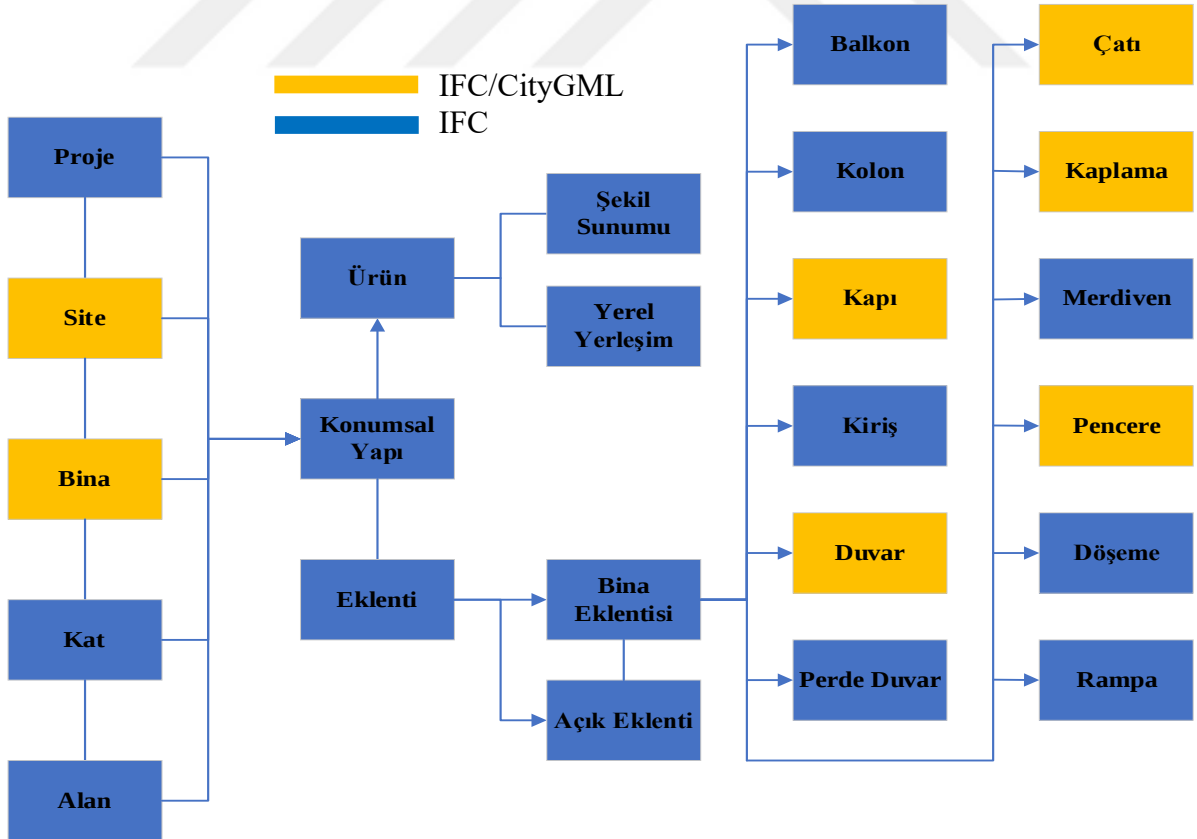
3.5. Öneri Bütünleşik Model

İki biçimin entegrasyonu için; IFC ve CityGML'in karşılıklı veri dönüşümü gereklidir. Tam otomatik yeteri kadar hassasiyete sahip olmasa da yarı otomatik çalışmalarla IFC ve CityGML arasındaki dönüşüm çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu tez kapsamında IFC ve CityGML arasında bir bütünleşik model önerilmiştir. IFC hem de CityGML bina modellerindeki bileşenlerin birbiri ile birebir ve karşılıklı eşleşmesini amaçlamaktadır.

Bütünleşik model oluşturmanın en önemli unsurları; dönüşümde minimum veri kaybı ile bileşenlerin karşılıklı eşleştirmeyi sağlamaktadır. Yaklaşım üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

- IFC Bina Modelinin ortaya çıkarılması,
- CityGML Bina Modelinin ortaya çıkarılması,
- Bütünleşik Modelin geliştirilmesidir.

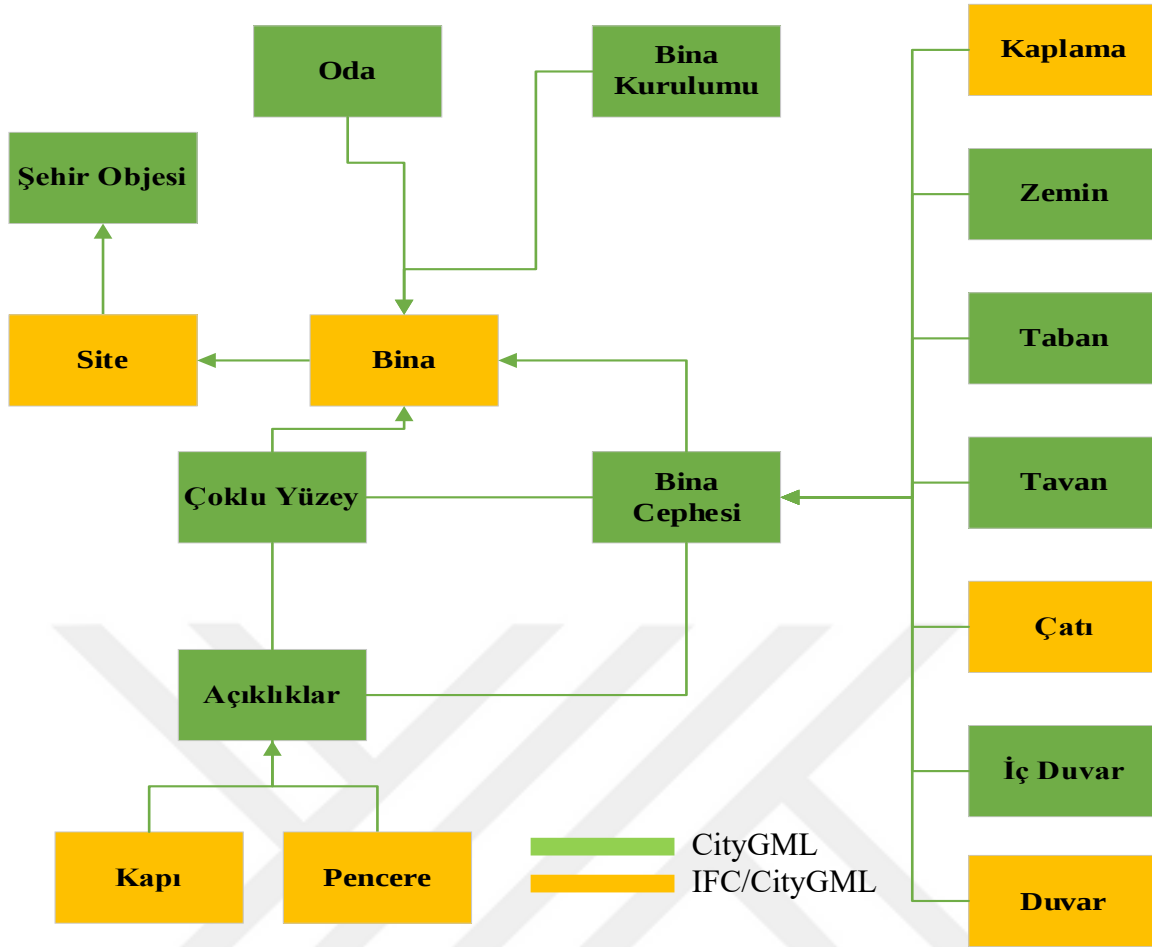
BuildingSmart tarafından 2021 yılında en güncel sürümü yayınlanan ISO 16739-1:2018 kodlu IFC standardının binaya ilişkin modeli Şekil 3.20'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.20. IFC Bina Modeli.

Ana element olarak bina üzerine kurgu yapıldığında üst hiyerarşide eğer varsa bir site içinde ise diğer binalarla ilişkisi vurgulanmalıdır. Bir bina en az bir kattan ibaret olması gerekmektedir. Her bina katının kendisiyle ilgili alanı olması gerekmektedir. Bina eklentisi ve açık eklenti, eklentinin alt başlıklarıdır. Her bina eklentisi açık eklentiye sahip olmak zorundadır. IFC standardında bir bina eklentisini temsile edebilen pencere, duvar, giriş vs. gibi on iki farklı bina eklentisi bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında IFC standardı değerlendirilirken binaların sadece inşa edilen ana kısımlar üzerinde durulmaktadır. Elementlerin renklendirmesi ise iki ana başlık olarak oluşturulmuştur. Bunlar; mavi renkli olanlar, sadece IFC standardında yer alırken, sarı renkli olanlar ise hem IFC’de yer alırken hem de CityGML’de yer almaktadır.

Aşağıda ise CityGML’e ait Bina Modeli bulunmaktadır. OGC tarafından yayınlanan ISO OGC 12-019 kodlu CityGML 2.0 standardının binaya ilişkin modeli Şekil 3.21’deki gibi oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında CityGML standardı değerlendirilirken IFC’de olduğu gibi ana bina (Building) üzerinde durulmuş ve BuildingFurniture ve IntBuildingInstallation konseptleri temsil edilmemiştir. Ana element olarak yine bina üzerine kurgu yapılmış ve üst hiyerarşide eğer varsa bir site içinde ise diğer binalarla ilişkisi vurgulanması gerektiği gösterilmiştir. Bina 4 ana elemente ayrılmış ve açıklıklar; kapı ve pencere olarak iki alt başlığa ayrılmıştır. Yine bina cephesi de kendi içerisinde zemin, tavan ve çatı vs. gibi 7 alt başlığa ayrılmıştır.



Şekil 3.21. CityGML Bina Modeli.

Elementlerin renklendirmesi ise iki ana başlık olarak oluşturulmuş ve yeşil renkli olanlar, sadece CityGML standardında yer alırken, sarı renkli olanlar ise hem IFC’de yer alırken hemde CityGML’de yer almaktadır.

Yukarıda bahsedilen iki model incelendikten sonra bütünleşik modele yönelik, binaya ilişkin bir model oluşturulmuştur. Bina hem IFC hem de CityGML için ortak bir nesne olduğundan, model için bir başlangıç noktası olarak bina seçilmiştir. Bu kapsamda, IFC ve CityGML elementleri binayla ilişkisiyle bütünleşik modele entegre edilmiştir. İki model incelendiğinde bazı katmanların ortak olduğu, bazı katmanların ise yeni oluşturulması gerektiği ve bazı katmanların ise göz ardı edilebileceği düşünülmekte olup bütünleşik bir model önerilecekse bazı eklemelerin ve sınıflamaların daha anlamlı olacağı kanaati oluşmaktadır. Ayrıca hem IFC’de hemde CityGML’de olmayıp hem ülkenin hemde her iki sektör için de gereksinim olduğu düşünülen bazı başlıklar da (Bağımsız bölüm, dış duvar vs.) modele eklenmiştir. IFC, bina nesneleri hakkında CityGML’den daha fazla ayrıntı tuttuğu için IFC’den CityGML’e dönüştürme, CityGML’den IFC’ye dönüştürmeye kıyasla daha az karmaşık bir işlemdir. Bu nedenle bundan önceki çalışmaların çoğu IFC’den

4. UYGULAMA

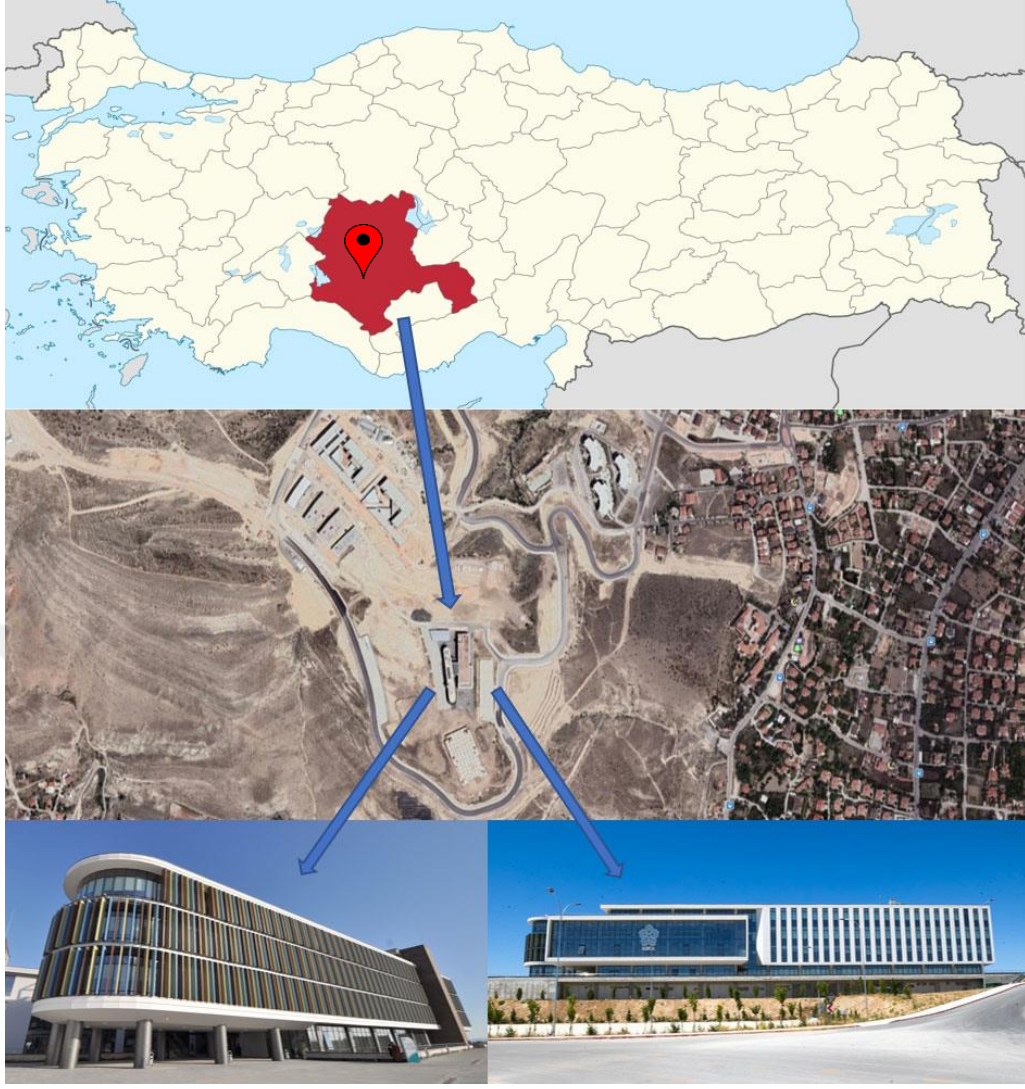
Uygulama bölümü; akıllı şehirler temasına altlık olacak, yersel LIDAR ve hava fotogrametrisi yöntemleriyle elde edilen 3 Boyutlu Kent Modeli ile, yapıların ve tesislerin etkin yönetimi amacıyla kullanılan yapıya ilişkin tüm imalat projelerini içeren Yapı Bilgi Modelinin oluşturularak, karşılaştırılması, entegrasyonu ve sunumundan oluşmaktadır. Ayrıca kampüste bulunan tüm altyapı projeleri bu modellere entegre edilecektir. Bahsedilen konular ayrıntılı bir şekilde ele alınarak açıklanmıştır. Yöntem olarak ise arazi ve ofis çalışmasından oluşmaktadır. Arazi çalışması yapıldıktan sonra çalışma sonuçları ofis çalışmaları ile değerlendirilerek 3 Boyutlu Modelleme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan modelleme çalışmaları sonunda elde edilen bu verilerin karşılaştırılması için doğruluk, üç boyutlu sunum detayları temel karşılaştırma ilkeleri olarak kabul edilecektir.

Çalışma sonunda elde edilen model gerçek ölçeğinde fotogrametrik ve YBM modelidir. Bahsi geçen model LoD 4 seviyesinde bir veri olması planlanmaktadır. Üretilen verileri ve üretim yöntemlerini aşağıda sıralayacak olursak:

- LoD 2 Seviyesi: İnsansız Hava Aracı ile elde edilen hava fotogrametri verileri,
- LoD 3 Seviyesi: İnsansız Hava Aracı ile elde edilen hava fotogrametri verileri ile yersel LIDAR ile elde edilen veriler,
- LoD 4 Seviyesi: Yersel LIDAR ile elde edilen verilerdir.

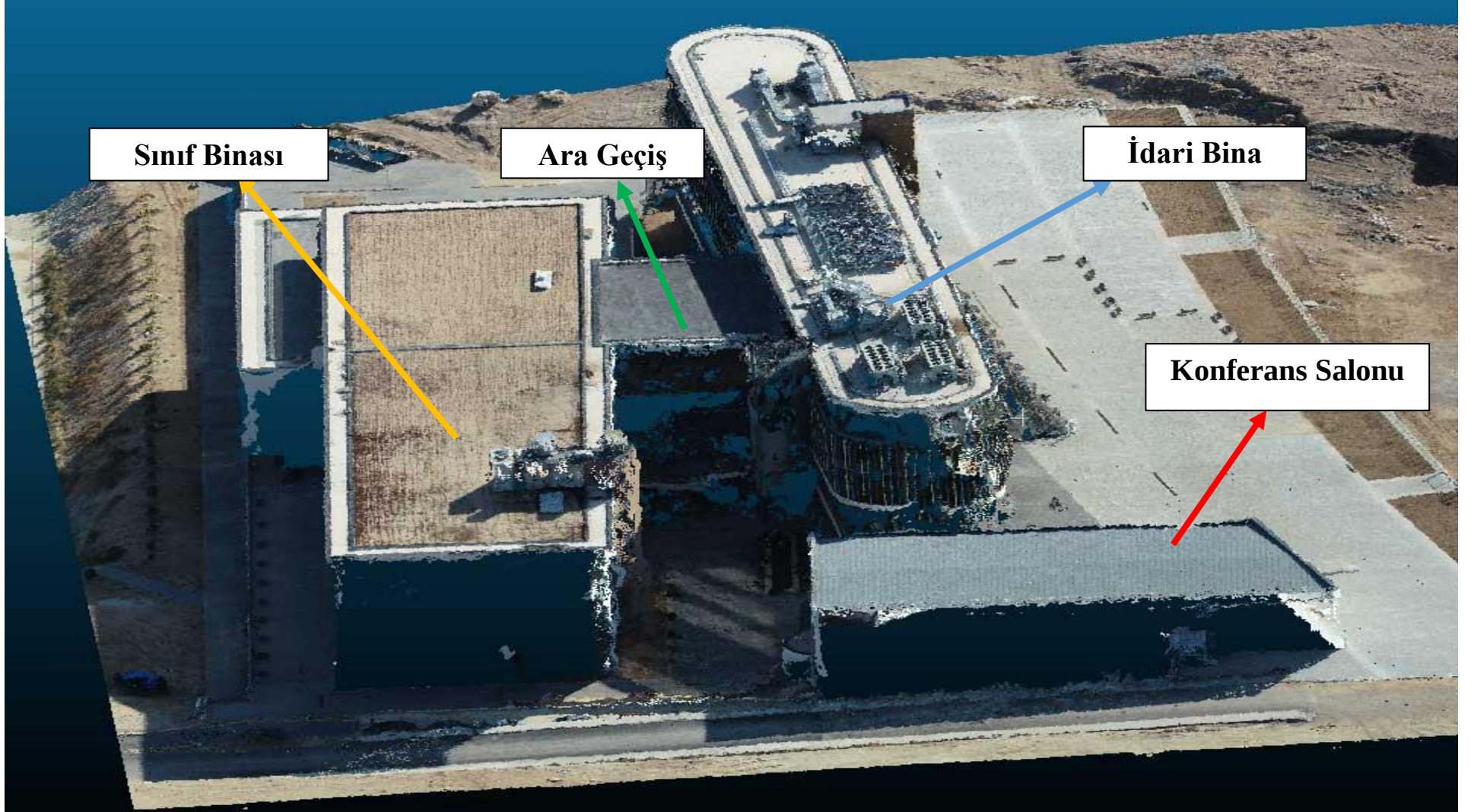
Daha sonra; LoD 4 seviyesinde üretilen üç boyutlu kent modeli ile binanın üretim aşamasında kullanılan ve tüm imalat projelerini içeren verilen birleştirildiği Yapı Bilgi Modelinin entegrasyonu sağlanacak ve iki sistem karşılaştırılacaktır. Ayrıca bu çalışma; kent bilgi sistemleri ve yapı yönetimi açısından farklı analizlerle desteklenecektir. Son olarak entegrasyon web ortamında sunumu gerçekleştirilecek ve farklı kullanım amaçlarına yönelik görüntülemeler sağlanacaktır. Bundan sonra; fotogrametrik yöntemlerle elde edilen 3 Boyutlu Kent Modeline; “Taramadan YBM Oluşturma”, CAD çizimlerinin modellenmesi ile üretilen modele ise “Tasarımdan YBM Oluşturma” denilecektir.

Bu amaçla Necmettin Erbakan Üniversitesi, Köyceğiz Kampüsünde yer alan Sosyal ve Beşerî İlimler Fakültesi (SBİF) seçilmiş olup Şekil 4.1’de konumu gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Çalışma alanı görüntüsü.

Sosyal ve Beşerî İlimler Fakültesi, Konya ili, Meram İlçesi, Köyceğiz Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Ayrıca Necmettin Erbakan Üniversitesinin Köyceğiz Kampüsü tapu kayıtlarında ana taşınmaz olarak görülmekte ve 866.391,59 m² alana sahip olup Köyceğiz Mahallesi, 2594 Ada, 372 Parsel numarasına kayıtlı durumdadır. Taşınmazın cinsi ise; 3 Adet 6'şar Katlı, 1 Adet 3 Katlı Betonarme Okul, Üniversite, Araştırma Binası ve Arsası şeklindedir. 2016 yılında işletmeye giren ve yaklaşık 11.000 m² alan üzerine kurulu bina 30.000 m²'ye yakın kapalı alan ve 46.000 m³ hacime sahiptir. Sosyal ve Beşerî İlimler Fakültesi 4 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; İdari Bina, Öğrenci Binası, Bina Geçişi ve Konferans Salonudur (Şekil 4.2). Ayrıca yaklaşık 400 adet oda bulunmaktadır.



Şekil 4.2. SBİF Bina Bölümleri.

SBİF'in kat yapılanması ise şu şekildedir. İdari Bina; Bodrum, Zemin ve 3 Kat, Öğrenci Binası; 2: Bodrum, Zemin ve 2 Kat, Ara Geçiş; Bodrum, Zemin, 2 Kat ve Konferans Salonu sadece Zemin Kattan oluşmaktadır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. SBİF Kat Durumları.

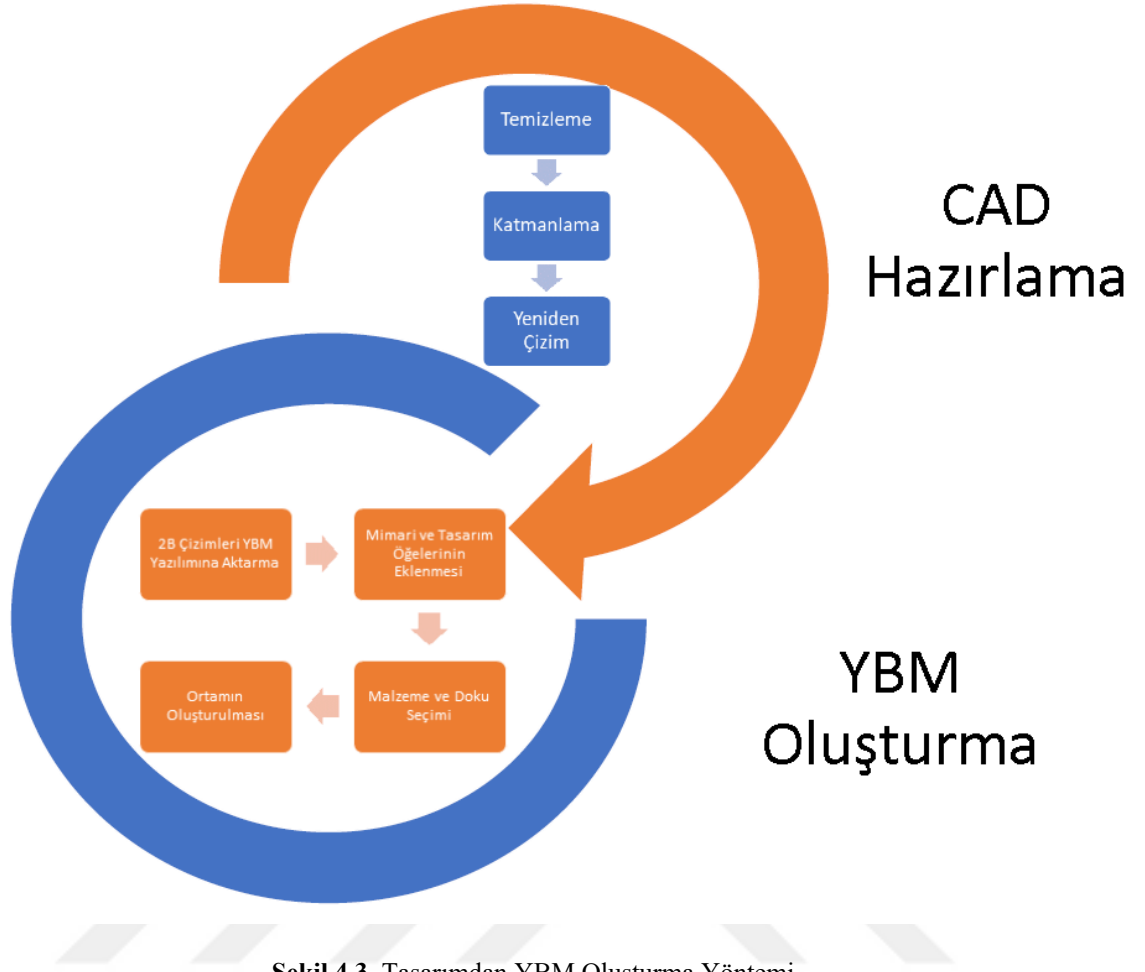
Kat Durumu	İdari Bina	Öğrenci Binası	Ara Geçiş	Konferans Salonu
2. Bodrum	-	+	-	-
Bodrum	+	+	+	-
Zemin	+	+	+	+
1. Kat	+	+	+	-
2. Kat	+	+	+	-
3. Kat	+	-	-	-
Çatı	+	+	+	+

4.1. Veri Üretimi

Uygulama çalışmasında iki farklı yöntemle veri üretimi gerçekleştirilmiştir. Bunlar Tasarımdan YBM Oluşturma yöntemi ile Taramadan YBM Oluşturma yöntemidir. Bu iki yöntemde önceki çalışmalar irdelenerek teze özgü olarak yöntem haline getirilmiş ve bu kapsamda veri üretimi gerçekleştirilmiştir.

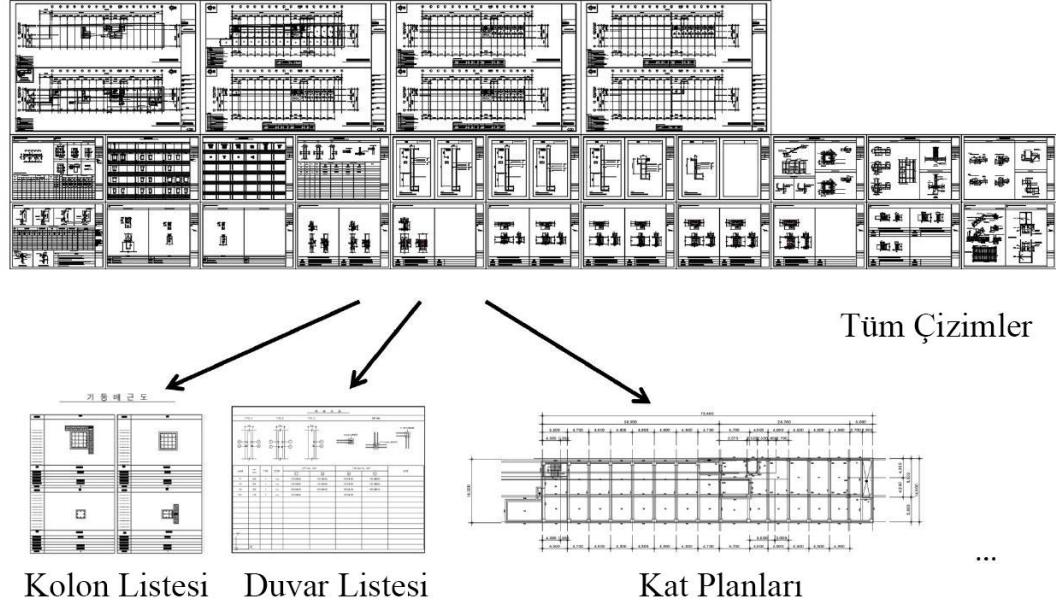
4.1.1. Tasarımdan YBM Oluşturma Yöntemi

Bir yapı; kolonlar, duvarlar, döşeme levhaları, çatılar, pencereler ve kapılar gibi temel unsurlardan oluşmakta olup mevcut binaların 2B CAD çizimleri, geometrik varlıklar, taramalar, boyutlar, metin etiketleri vb. dahil olmak üzere çok sayıda varlık içermektedir. Gözle bile, tek tek yapı elemanlarını tanımlamak ve yorumlamak zor bir işlemdir. 2B çizimden farklı elemanlara farklı bilgi ve özelliklerin atandığı bir YBM modeli oluşturmak için, çizimin hangi bölümlerinin hangi yapı elemanlarına karşılık geldiğini belirlemek gerekmektedir. Neyse ki, bu tür çizimler genellikle çizgileri ve şekilleri katmanlar ve bloklar halinde gruplandırılmaktadır. Bu CAD çizimlerinin incelenmesinin yanında kullanıcının ek temizleme minimum yeniden çizim gibi bazı ek işlemler gerekmektedir.



Şekil 4.3. Tasarımdan YBM Oluşturma Yöntemi.

İş akışı, Şekil 4.3'de gösterildiği gibi iki ana bileşen ve onların alt bileşenlerinden oluşmaktadır. İlk aşama, CAD çizimlerinin hazırlanmasıdır. Bunlar; 3 alt bileşenden oluşup bunlar; temizleme, katmanlama ve yeniden çizimdir. Temizleme adımı, modellemede kullanılması düşünülmeyen bütün katmanlar kaldırılmasıdır. Katmanlama adımı, farklı yapı elemanları için bir standart yöntem dahilinde katmanlara ayrıştırılma sürecidir. Yeniden çizim adımı ise, yapı elemanlarını otomatik olarak algılamamanın zor olduğu durumlar için bazı basit geometrilerin düzeltilmesi veya eklenmesi sürecidir. Sonuç olarak; Şekil 4.4'te gösterildiği üzere tüm projeler analiz edilerek sınıflandırılmaktadır.

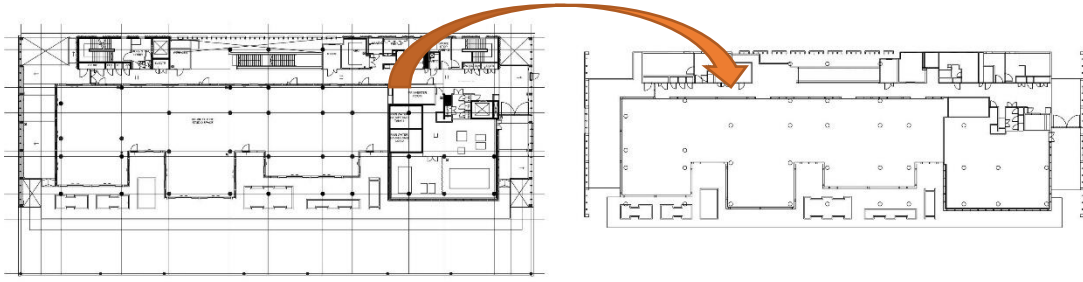


Şekil 4.4. Tasarımdan YBM Oluşturma Süreçleri (Byun ve Sohn, 2020).

İkinci aşama, YBM modelinin oluşturulmasıdır. 4 alt bileşenden oluşmakta ve bunlar; 2B Çizimleri YBM Yazılımına Aktarma, Mimari ve Tasarım Öğelerinin Eklenmesi, Malzeme ve Doku Seçimi ve Ortamın Oluşturulmasıdır. Bu, temizlenmiş CAD çizimlerinin YBM yazılımlarında okunmasını, ilgili katmanlardan farklı öğeleri tanımlayan 2B geometrinin alınmasını ve gerekli parametrelerin çıkarılmasını ve Mimari ve Tasarım Öğelerinin Eklenmesi, Malzeme ve Doku Seçimi gibi YBM öğelerinin oluşturulmasını içermektedir. Tüm süreç, temel bir YBM modeli oluşturmaktadır. Ortaya çıkan temel modelden, mevcut YBM yazılım araçları kullanılarak daha ayrıntılı bir model kolayca geliştirilebilmektedir. Son olarak bu çalışmada; Tasarımdan YBM Oluşturma yöntemine yönelik çalışmalarda, YBM Programı olarak Revit ve Sketchup programları kullanılmıştır.

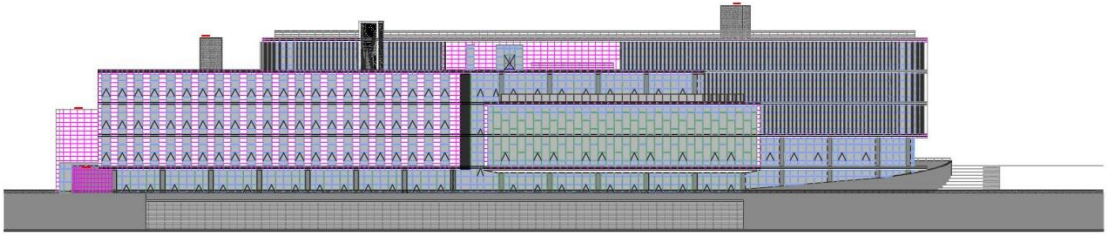
4.1.1.1. Tasarımdan YBM Oluşturma Verileri

Tasarımdan YBM Oluşturma metodolojisine göre öncelikle CAD hazırlama aşamasında Sosyal ve Beşerî İlimler Fakültesine ilişkin binanın mimari, statik, elektrik, tesisat ve mekanik projelerinin hepsi CAD ortamında Necmettin Erbakan Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Dairesi Başkanlığından elde edilmiştir. Bunun yanında kampüse yönelik tüm altyapı projeleri de elde edilmiştir. Öncelikle projelerde gereksiz bilgilerin temizlenmesine yönelik temizleme işlemleri yapılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. CAD Temizleme İşlemi.

Daha sonra 3B model üretimini kolaylaştırmak için veriler yeniden katmanlanmış ve aralıklı çizgilerin düz çizgi, net olmayan çizimlerin ise yeniden çizimi gibi bazı özel durumlar için yeniden çizim adımı gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, şekil 4.6 ve 4.7’de görüldüğü üzere YBM modelini oluşturma aşamasına geçmeye hazır hale gelmiştir.

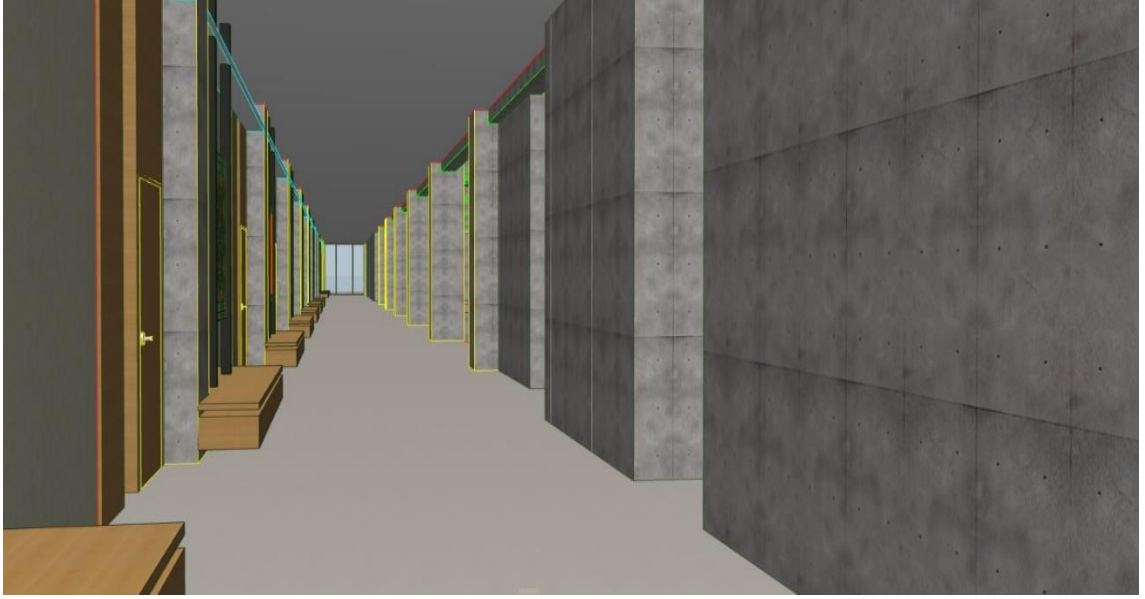


Şekil 4.6. Mimari Kesitin Batı Görünümü.

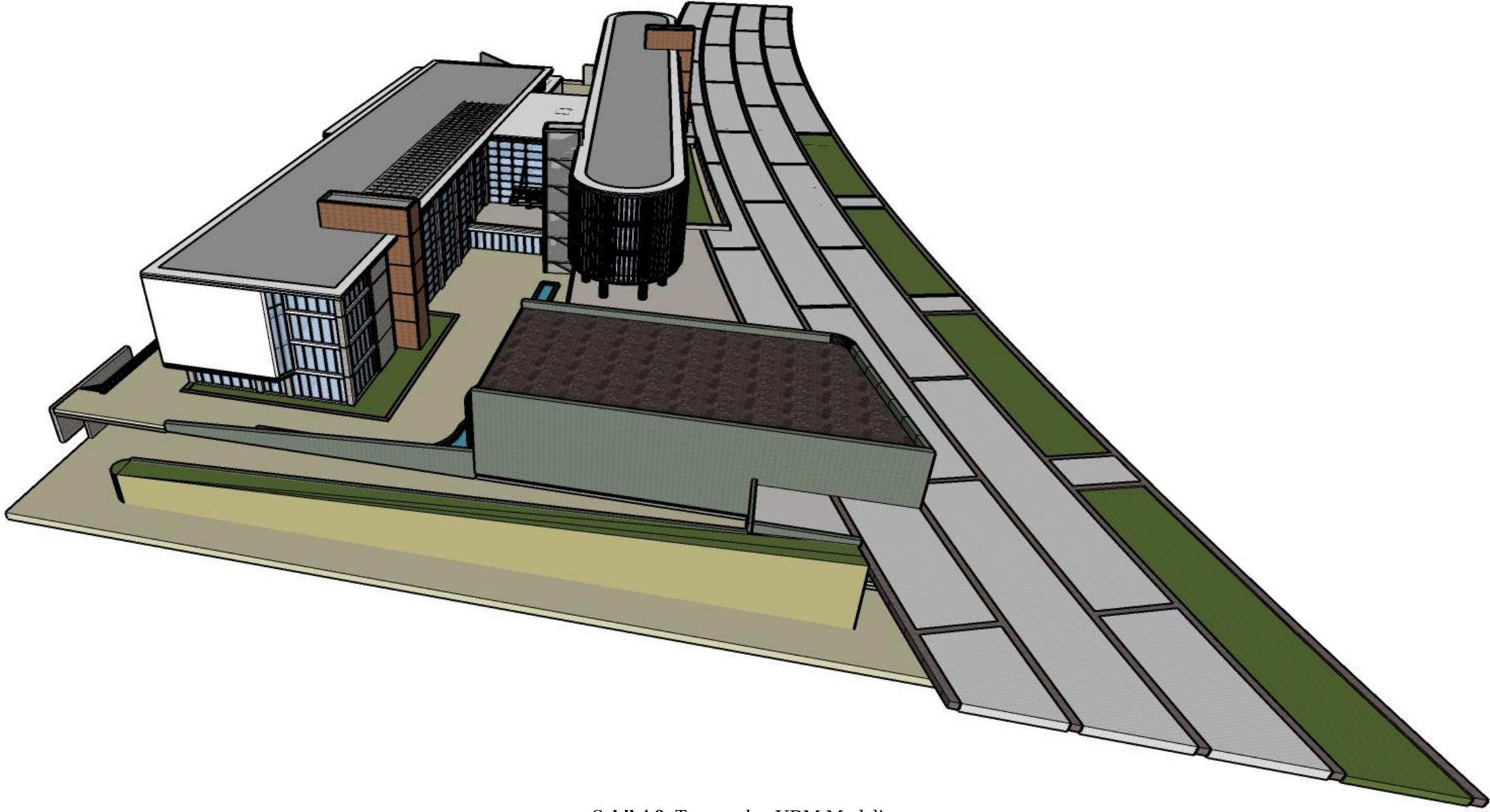


Şekil 4.7. Zemin Planı.

Daha sonra YBM modelini oluşturma aşamasında REVIT programı üzerinden 2B CAD izimleri üzerinden veri 3B model haline getirilmiş ve en son Mimari ve Tasarım gelerinin Eklenmesi, Malzeme ve Doku Seçimi aşamalarına bağlı olarak gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Bu aşamada mahal listeleri, şartnamelere bağlı olarak dokular ve malzemeler aslına uygun olarak seçilmiştir. Sonuç olarak; şekil 4.9’da görüldüğü üzere bilgi verisi içermeyen ve veri tabanı barındırmayan, gösterim amaçlı LOD 300 seviyesinde YBM modeli oluşturulmuştur. şekil 4.8’de ise ayrıntı bakımından binanın i mekân görüntüsü gösterilmektedir.

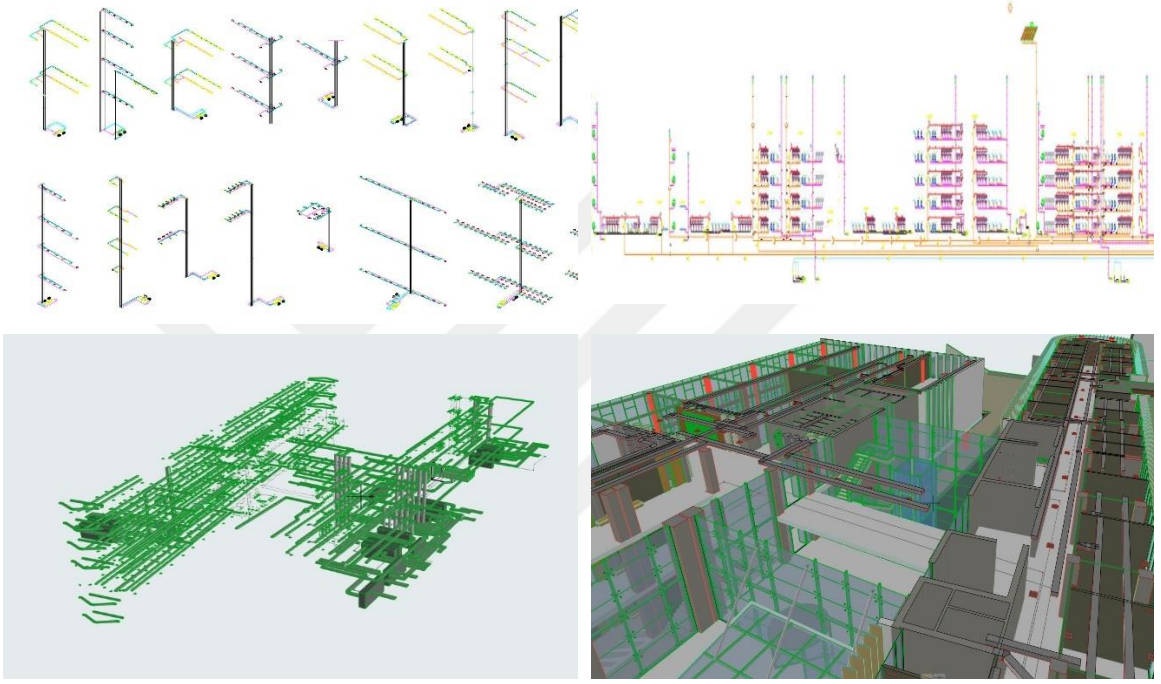


şekil 4.8. SBİF İ Mekân Grntm.



Şekil 4.9. Tasarımdan YBM Modeli.

Daha sonra Sosyal ve Beşerî Bilimler Fakültesine ilişkin mekanik, elektrik ve tesisat projeleri elde edilmiş ve onlar için de aynı şekilde Tasarımdan YBM Oluşturma metodolojisine uygun olarak YBM modeli üretimi çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.10/a, 4.10/b ve 4.10/c) Ancak elektrik proje yapısı 3B gösterime uygun olmadığı için gerekli dönüşümler yapılamamış ve projeye entegre edilememiştir. Daha sonra mekanik ve tesisata yönelik YBM modeli ana modele entegre edilmiştir (Şekil 4.10/d).



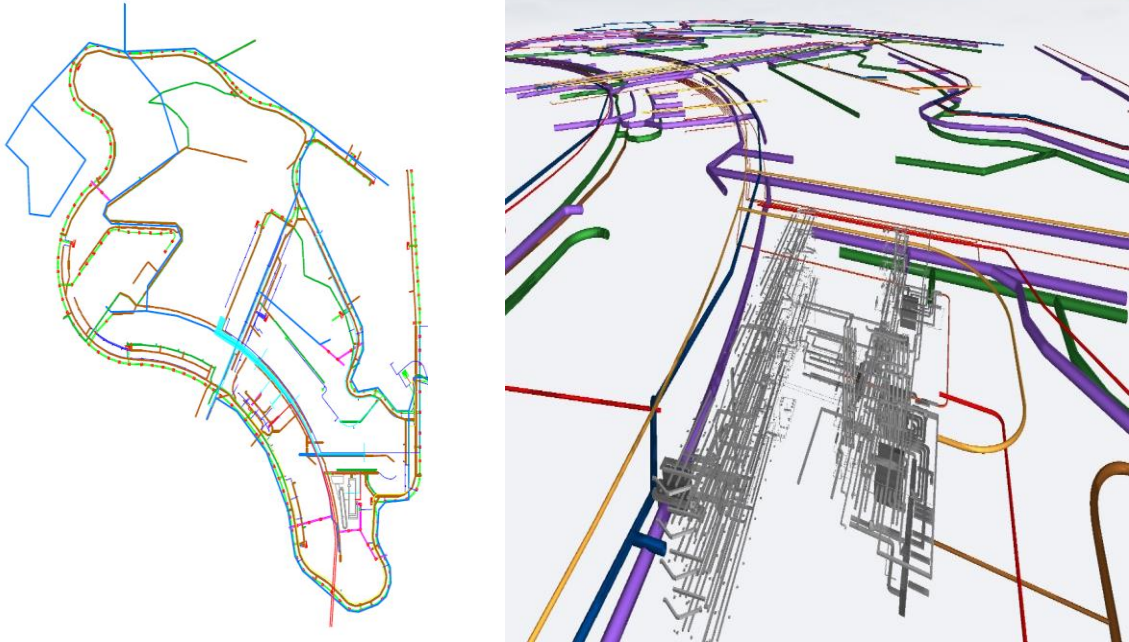
Şekil 4.10 a. SBİF 2B Tesisat Planı, **b.** SBİF 2B Mekanik Planı, **c.** SBİF Mekanik ve Tesisat Modeli, **d.** SBİF Entegre Model 3B Kesiti.

Ardından kampüsün merkezi altyapı projelerinin modellenmesi sırasına geçilmiştir. Kampüs altyapı projeleri incelendiğinde elektrik, doğalgaz, fiber altyapı, içme suyu, yağmur suyu ve atıksu projelerinin olduğu görülmüştür. SBİF binası baz alınarak ilgili projeler konumlandırılmış ve uzaktaki ayrıntılar gözardı edilmiştir. Yine Tasarımdan YBM Oluşturma yönteminde olduğu gibi temizleme ve katmanlama işlemleri yapılmış ve daha sonra boru kalınlıkları ve zemin kotları ise projeler üzerinde yazan gerçek değerler esas alınarak modellenmiştir. Bu kapsamda uzaktan zemine yaklaşacak şekilde olmak üzere, Atıksu, Yağmursuyu, Doğalgaz, İçmesuyu, Yüksek Gerilim, Fiber ve Elektrik hatları konumlandırılmış ve boru kalınlıkları ve renkleri Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Altyapı Projeleri.

Altyapı Projesi	Zemin Sıralaması	Boru Kalınlığı (mm)	Rengi
Elektrik	1.	80	Red
Fiber	2.	50	Yellow
Yüksek Gerilim	3.	100	Yellow
İçmesuyu	4.	180	Blue
Doğalgaz	5.	200	Yellow
Yağmursuyu	6.	300	Green
Atıksu	7.	300	Purple

Sonuç olarak, tüm altyapı projeleri modellenmiş (Şekil 4.11/a) ve YBM'nin mekanik ve tesisat projeleri ile entegrasyonu Şekil 4.11/b'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11 a. Kampüs Altyapı Modeli, b. SBİF YBM altyapı verisi ile entegrasyonu.

4.1.2. Taramadan YBM Oluşturma Yöntemi

Şekil 4.12’de görüldüğü üzere Taramadan YBM Oluşturma yöntemi 5 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; İhtiyaçların Belirlenmesi ile Planlama, Tarama, Veri İşleme, 3B Modelleme ve Kalite Kontrolüdür.



Şekil 4.12. Taramadan YBM Oluşturma Yöntemi.

İlk aşama, Bilgi Gereksinimlerinin Belirlenmesi ve Tarama Planlamasıdır. İstenen model/çizimler için tüm gereksinimleri belirlemek çok önemlidir. Bunlardan en önemlilerden birisi modelinizin ayrıntı düzeyini belirlemektir. Çünkü daha yüksek modelleme doğruluğu, amaçlanan uygulama için YBM'nin güvenilirliğini artırmaktadır. Ancak detay arttıkça maliyet ve zaman kaybı da artmaktadır. İhtiyaçlar belirlendikten sonra tarama işleminin parametrelerinin belirlenmesi ve tarama planlaması yapmak gerekmektedir. Kesinlik, Alan Çözünürlüğü, Kapsam, Konum, Açısal çözünürlük vb. gibi parametreler önem arz etmektedir. Daha sonra tarama aşamasına geçilmektedir. Verileri yüksek hız ve hassasiyetle toplayan bir 3B lazer tarayıcı yardımıyla YBM işlevlerine tarama yapmak gerekmektedir. Bu çalışmada; Taramadan YBM Oluşturma yöntemine yönelik çalışmalarda öncelikle tarama verileri GeoSLAM Zeb-Revo el tipi LIDAR ile üretilmiştir. Elde edilen nokta bulutları, yakın mesafede (<10 m) bağıl bir şekilde ($RMSE < 10$ mm) üretilmektedir (Geo-SLAM, 2019). Deneysel olarak verilen bu doğruluk kriterine göre yalnızca mesafe doğruluğu test edilmiştir. Yatay ve düşey konumsal değerlendirmeler yapılmamıştır. Ancak iyi planlanmış ölçüm ağlarında, uzun döngü ve bloklar sayesinde 30 dk'ya kadar LIDAR sistemi sistematik hata olmadan 1:10000 bağıl hata oranlarında olduğu belirtilmiştir (Dewez, vd., 2017). Bu durumda 1/1000 ölçekli haritaların düzenlenmesinde yeterli doğruluğa erişildiği söylenebilir (<0.08 m).

Çizelge 4.3. GeoSLAM Zeb-Revo Sistemi Teknik Özellikler (Geo-SLAM, 2019).

Maksimum mesafe	30 m	
Veri toplama hızı	43200 nokta/saniye	
Çözünürlük	0.625° yatay	
	1.8° düşey	
Lazer güvenlik sınıfı	1. sınıf	
Lazer dalga boyu	905 nm	
Tarayıcı dönme hızı	0.5 Hz	
Toplam sistem ağırlığı	4.1 kg	
Bağıl doğruluk kriteri	2-3 cm	
Mutlak doğruluk	3-30 cm	

Zeb-Revo el-tipi LIDAR tarayıcısı, uçuş zamanına bağlı havada alınan yolun (time-of-flight), uydu navigasyon sistemlerine ihtiyaç duymadan IMU entegreli bir konumlandırma sistemine sahip bir ölçme cihazıdır. Tarayıcı, etrafında yer alan tüm detayları, eşzamanlı konum ve haritalama (SLAM) algoritmasıyla belirler (Geo-SLAM, 2019). SLAM algoritması, tarayıcının çevresindeki objeleri durağan olarak tanımlar ve bu varsayıma göre noktaların birleştirilmesi sağlanır ve bütün nokta bulutu elde edilir (Sammartano ve Spanò, 2018). GeoSLAM üreticisine göre ölçüm noktalarının doğruluğu, 5 mm + 1 mm/m olarak değerlendirilmektedir. Ampirik olarak, sabit katsayısının burada küçük olduğu fark edildiğinden iyi yapılandırılmış iç mekân çalışmalarında Zeb-Revo ile yarım santimetrelik doğruluktan daha iyi bir sonuç verdiği belirtilmektedir. Ürüne ait özellikler Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Ayrıca İHA vasıtasıyla hava fotogrametri verileri ile çatı katı planı ve çevre düzenlemesi verileri elde edilmiştir. Bu çalışmada DJI Phantom 4 RTK kullanılmıştır (Şekil 4.13). Bu sistem uzaktan kumanda ile çalıştırılmaktadır. DJI Phantom 4 RTK, 1 mm çözünürlükte görüntü alımı kabiliyetine sahip, 3B model üretimi için en uygun çözümlerdendir. Phantom 4 RTK'ya entegre edilmiş dahili RTK modülü sayesinde görüntü verileriyle gerçek zamanlı ve santimetre düzeyinde konumlandırma verileri sağlamaktadır. Koordinatlı fotoğraf alımı ile kaliteli ortofoto, sayısal yükseklik modeli ve nokta bulutu verileri üretimine olanak verir. Veri elde edilmek istenen objenin üstünde uçuş gerçekleştirilerek objeye ait yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları elde edilmekte daha sonra bu hava fotoğraflarından yüzey yükseklik modelleri oluşturulmaktadır. Elde edilen yüzey yükseklik modeli üzerine bilgisayar ortamında lazer nokta bulutları üretilerek objeye ait konumlandırılmış 3 Boyutlu nokta

bulutundan (X, Y, Z) oluşan model elde edilmektedir. Sistemin teknik özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.13. DJI Phantom 4 RTK İHA Sistemi.

Çizelge 4.4. DJI Phantom 4 RTK Teknik Özellikleri (DJI, 2020).

Drone	Kalkış ağırlığı	1391 gram
	Deniz seviyesinin üzerindeki max irtifa	19685 ft (6000 m)
	Max Uçuş süresi	Yaklaşık 30 dakika
	Çalışma sıcaklığı aralığı	32° - 104° F (0° - 40°C)
	Sabit durma doğruluk aralığı	RTK etkin ve düzgün çalışıyorsa: Düşey: ± 0.1 m; Yatay: ± 0.1 m
	Görüntü pozisyonu ofset	RTK Devredışı Düşey: ± 0.1 m (Görüş konumlandırma ile) ; ± 0.5 m (GNSS konumlandırma) Yatay: ± 0.3 m (Görüş konumlandırma ile) ; ± 1.5 m (GNSS konumlandırma) Kamera merkezinin konumu drondaki az merkezine göre. Uçak gövdesinin eksenini altındaki D-RTK anteni : (36, 0 ve 192 mm) zaten varolan verilerdeki görüntü koordinatlarına uygulanmış. Uçak gövdesinin pozitif x, y ve z eksenleri, uçağın sırasıyla ileri, sağ ve aşağı yönünü gösterir.
GNSS	Çok Frekanslı, Çok Sistemli Yüksek Hassasiyetli RTK GNSS Modülü	GPS+BeiDou+Galileo (Asya)
		GPS+GLONASS+Galileo (Diğer Bölgeler)
		Kullanılan Frekans: GPS: L1/L2; GLONASS: L1/L2; BeiDou: B1/B2; Galileo: E1/E5a
		Hız Doğruluğu: 0.03 m/s
Kamera	Sensör	1" CMOS; Etkili pikseller: 20 M
	Lens	FOV(Görüş alanı)84°, 8.8 mm(35 mm format eşdeğeri:24 mm), f/2.8 - f/11, 1 m - ∞ 'de otomatik netleme
	ISO Aralığı	Video:100-3200(Otomatik), 100-6400(Manuel); Fotoğraf:100-3200(Otomatik),100-12800(Manuel)
	Deklanşör hızı	Elektronik Deklanşör Hızı: 8–1/8000 s
		Mekanik Deklanşör Hızı: 8–1/2000 s
	Fotoğraf boyutu	3:2: 5472×3648
		4:3: 4864×3648

Tarama aşamasından sonra veri işleme aşamasına geçilir ve bu aşamada, bina sistemlerinin nokta bulutu taraması, tarama yazılımı ile işlenmektedir. YBM modelinde kullanılmak üzere bina sistemleri hakkında fiziksel ve işlevsel bilgileri çıkarılmaktadır. Bu çalışmada fotogrametrik yöntemlerle elde edilen nokta bulutu verilerinin işlenmesi işlemleri Pix4d ve Autodesk ReCap, değerlendirilmesi işlemleri ise 3DReshaper programı üzerinden yapılmıştır. Veri işlemeden sonra 3B modelleme aşamasına geçilmektedir Taramadan elde edilen veriler 3B modellenir ve bu taramadan elde edilen model binanın son hali ile gösterildiği bir tekniktir. Kısaca binaya yönelik As-built proje dayalı model elde edilmektedir. Bu çalışmada, Autodesk ReCap yardımı ile tarama üzerinden 2B kat planları çıkarılmış ve Autodesk Revit yardımıyla da YBM model çalışmaları yürütülmüştür. Son olarak kalite kontrolü aşamasına geçilir ve üretilen model üzerinde kontroller yapılarak modelin durumu yorumlanır.

4.1.2.1. Taramadan YBM Oluşturma Verileri

Taramadan YBM Oluşturma metodolojisine uygun olarak öncelikle ihtiyaçlar belirlenmiş ve tarama planlaması yapılmıştır. Yaklaşık 20.000 m² iç mekân, 20.000 m² dış mekân olmak üzere toplamda 40.000 m² tarama yapılması gerektiği için statik bir sistem yerine dinamik bir sistemin tercih edilmesi gerektiği kararı verilmiştir. Bu kapsamda mobil LIDAR (MLS) sistemi tercih edilmiş ve Zeb-Revo El Tipi Lazer Tarayıcı ile tarama işlemleri yapılmıştır. Ayrıca çatı kat planını çıkarmak için ise hava fotogrametrisi tercih edilmiş ve DJI Phantom 4 RTK cihazı tercih edilmiştir. Daha sonra tarama aşamasına geçilmiş ve iki yöntemle tarama işlemi tamamlanmıştır. Bunlar:

4.1.2.1.1. İHA Verileri

LoD 3 Seviyeleri için gerekli olan İnsansız Hava Aracı ile elde edilen hava fotogrametri yöntemi ile elde edilen verileri 2019 yılı Ağustos ayında DJI Phantom 4 RTK cihazı ile yaklaşık 11 milyon nokta ile üretilmiş ve veriler kullanıma hazır hale gelmiştir. Ayrıca Mayıs 2021 tarihinde ise altlık olarak kullanmak üzere tüm kampüse ait ortofoto görüntüsü yine aynı cihaz ile üretilmiştir (Şekil 4.14/a ve 4.14/b). Elde edilen fotoğraflar Pix4D yazılımına yüklenmiş ve yüklenen fotoğraflar prosese tabi

tutulmuştur. Birleşmiş fotoğrafların eşlenik nokta bulutu üzerinden yoğunlaştırılmış nokta bulutu üretimi yapılmıştır. Yer kontrol noktaları, eşlenmesinden sonra “optimize” edilen nokta bulutu koordinatlandırılmış ve çıktıya hazır hale getirilmiştir.

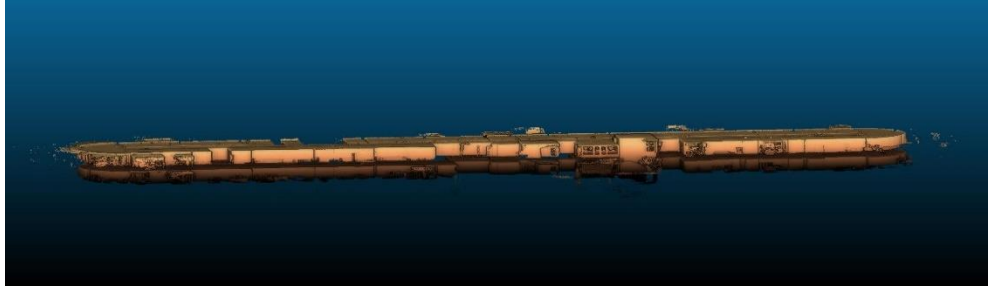


Şekil 4.14 a. SBİF İHA Görüntüsü. b. Kampüse ait Ortofoto.

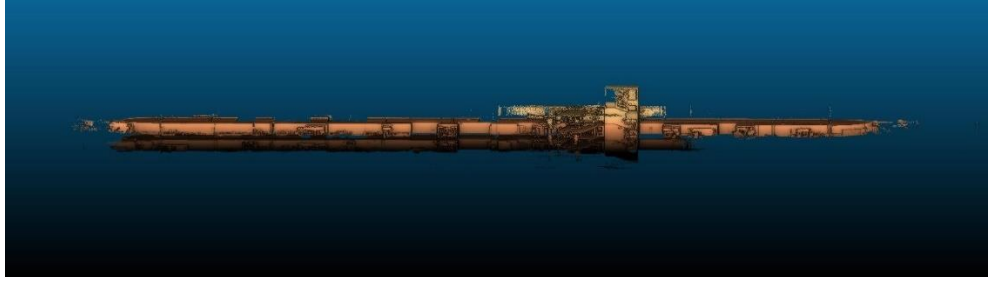
4.1.2.1.2. LIDAR Verileri

LoD 3 ve LoD 4 Seviyeleri için gerekli olan yersel LIDAR verileri Zeb-Revo El Tipi Lazer Tarayıcı cihazı ile 2020 yılı Ağustos ayında 6 oturumda gerçekleştirilmiştir. SLAM teknolojisinin genel özelliği olarak koordinat bazlı değil de verileri kendi içerisinde daireler oluşturarak toplanmasının gereği sebebiyle başlanılan yere tekrar dönülerek oturumlar tamamlanmış ve bir önceki oturumla bir sonraki oturum arasında bir ilişki kurularak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Oturumların birleştirilmesi için genelde binanın ara geçiş bölümünde ortak detaylar üzerinden eşleştirmeler yapılmıştır. Çizelge 4.5’de oturumlara ilişkin bilgiler ve Şekil 4.15’te ise oturumların nokta bulutları gösterilmektedir.

1. Oturum



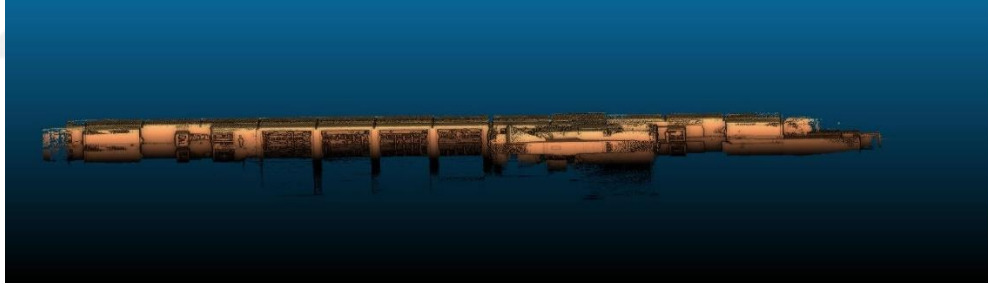
2. Oturum



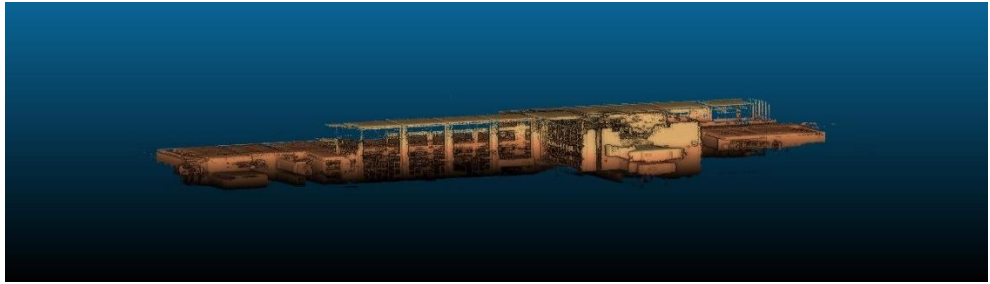
3. Oturum



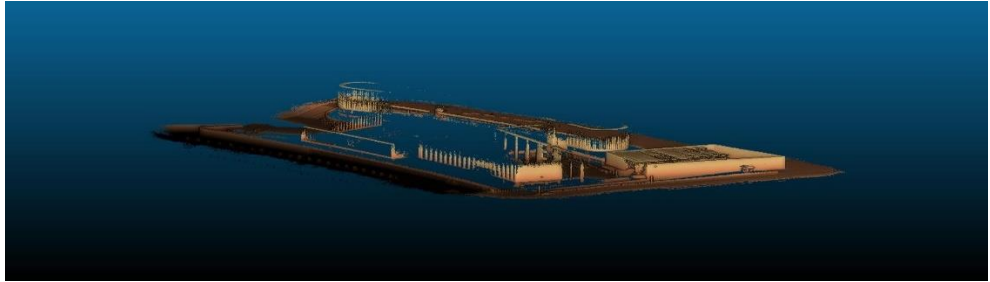
4. Oturum



5. Oturum



6. Oturum

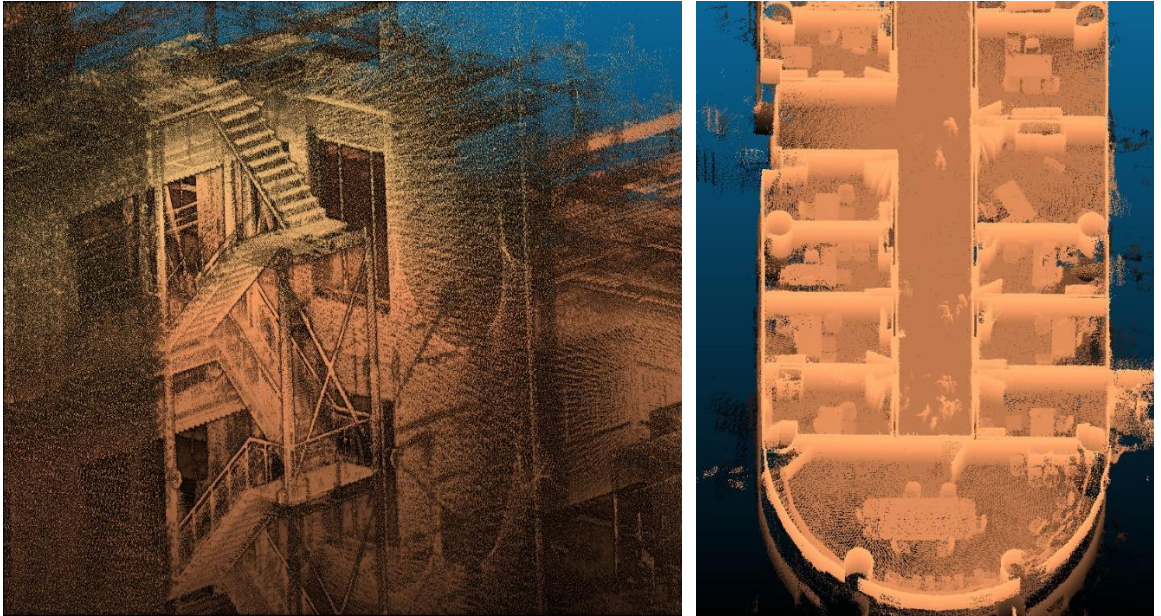


Şekil 4.15. Oturumların Nokta Bulutları.

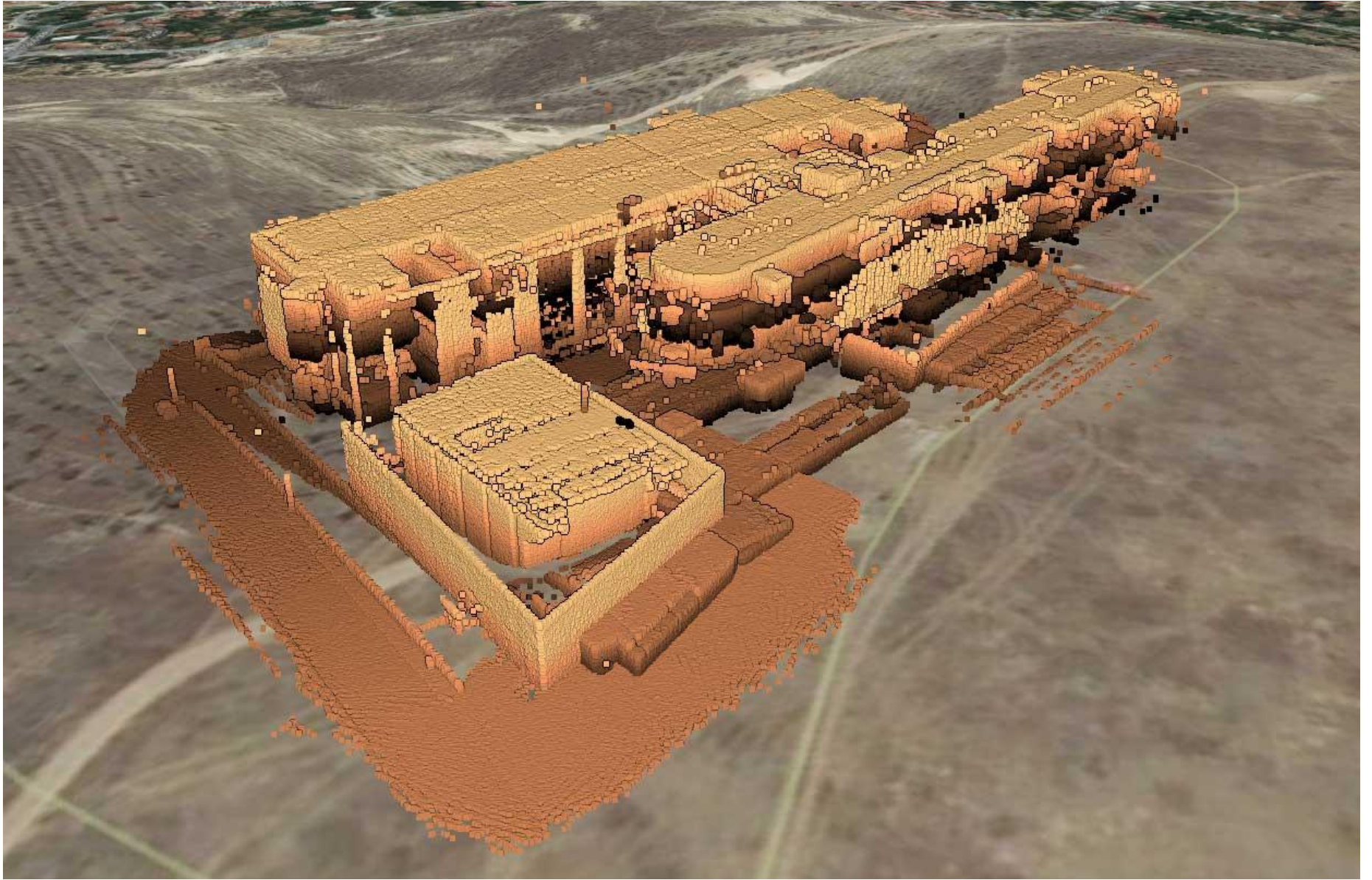
Çizelge 4.5. Oturumlara İlişkin Bilgiler.

Oturum	Nokta Sayısı	Başlangıç	Ölçülen Yerler
1	50 Milyon	İdari 4. Kat	İdari Bina 3 ve 4. Katlar
2	49 Milyon	İdari 3. Kat	İdari Bina 1 ve 2. Katlar
3	27 Milyon	İdari 1. Kat	İdari Bina Z. Katı
4	42 Milyon	İdari 3. Kat	Öğrenci Binası 2. ve 3. Katlar
5	39 Milyon	İdari 2. Kat	Öğrenci Binası Z. ve 1. Katlar
6	15 Milyon	Öğrenci Z. Katı	Bina Çevresi ve Konferans Salonu

Oluşan veriler incelendiğinde detayların oldukça belirgin olduğu ve gerekli hassasiyete ulaştığı görülmüştür. Ayrıca odaların içerisindeki mobilya, sıra ve masa detayları ile merdiven detaylarının yeterli hassasiyette üretildiği görülmüştür (Şekil 4.16/a ve 4.16/b). Bu oturumlarda oluşan veriler ortak detaylar üzerinden birleştirilmiş ve yaklaşık 217 milyon noktadan oluşan bir veri oluşmuştur (Şekil 4.17). Verinin işlenmesi aşamasına yönelik; 6 oturumun birleştirilmesi ve işlenmesi işlemleri Pix4d ve Autodesk ReCap, değerlendirilmesi işlemleri ise 3DReshaper programı üzerinden yapılmıştır.



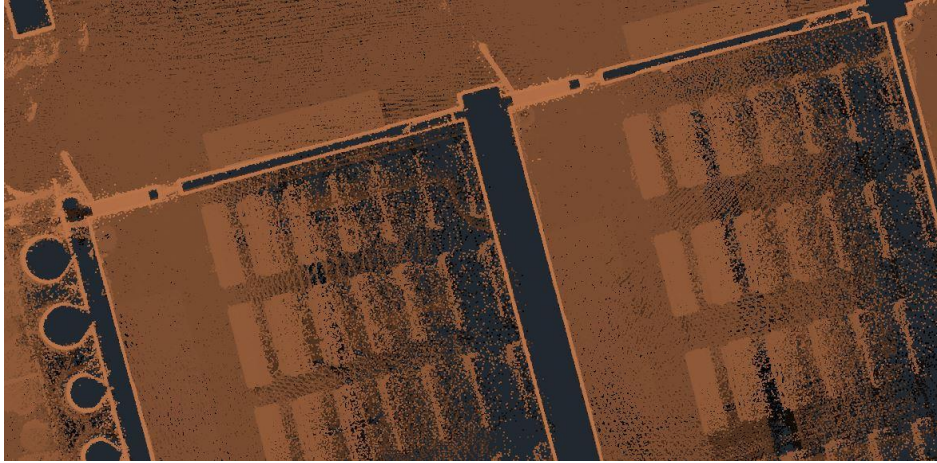
Şekil 4.16/a. SBİF LIDAR Merdiven Detayı b. SBİF LIDAR Kat Planı.



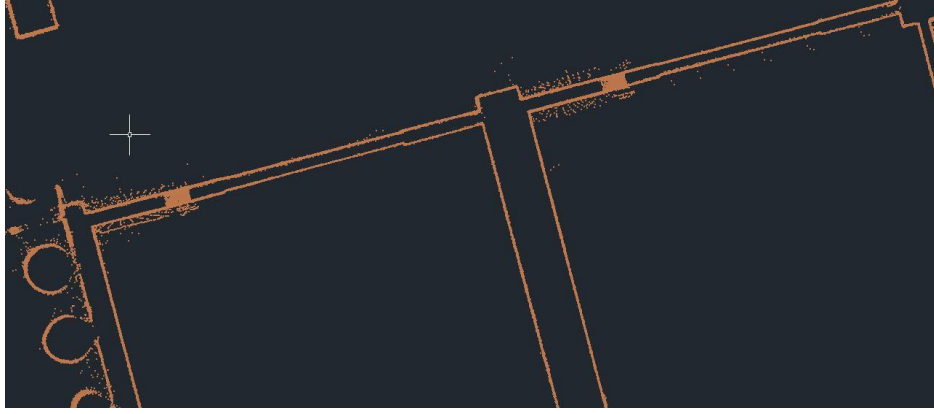
Şekil 4.17. SBİF'e ait tüm LIDAR Verisi.

Verinin daha anlamlı hale getirmek adına mesh yâda nokta bulutundan 3 boyutlu çizim (CAD) haline getirme seçeneklerinden birisiyle devam edilmesi gerektiği görülmüştür. Mesh işlemi yapabilmek için nokta bulutu verisinden üçgenleme işlemi yapılması gerekmektedir. Ancak elimizdeki nokta bulutunda çok fazla açık olması sebebiyle üçgenleme işlemi yeterli kalitede üretilememiştir. Bu kapsamda bu veriden 3 boyutlu çizim (CAD) haline getirme yöntemine başvurulmuştur. AutoCAD program yardımıyla LIDAR verilerinden kat kat kesitler alınarak 2B kat planları CAD ortamında oluşturulmuştur (Şekil 4.21/a ve 4.21/b). Ayrıca çatı katının kat planı ise İHA ile elde edilen hava fotogrametrisi verisi ile CAD ortamında elde edilmiştir. LAZ formatında üretilen veriler, AutoCAD’ın kendi nokta bulutu verisi formatı olan RCP formatına ReCap programı sayesinde dönüştürülmüştür. AutoCAD’de noktaların büyüklüğü programda 1 ile 10 arasında değer verilerek seçilebilmektedir. Bu değer çizen kişinin el ve göz hassasiyeti ele alınarak 2 olarak seçilmiştir. Daha sonra nokta bulutu içerisinde, duvarların algılanması için bir plan kesiti oluşturulmuştur. Bu plan kesiti duruma göre farklı tiplerde ve yüksekliklerde kullanılmıştır.

Duvarların düzgün çizilebilmesi için; kesit hizası kapı doğraması ile tavan arasında seçilmiştir. Aksi durumda duvara bitişik olan mobilyalar duvar algısını saptırmakta ve çizimi yanlış yöne itmektedir (Şekil 4.18).

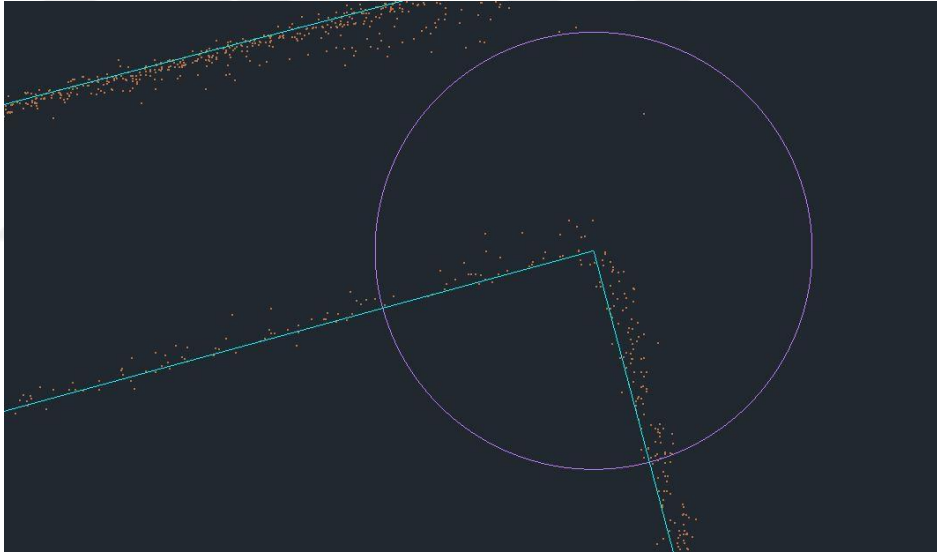


Şekil 4.18. Rastgele yükseklikteki bir plan kesiti.



Şekil 4.19. Doğramaların üzerinden alınmış plan kesiti.

Ayrıca kısmi kesit tipinde kesit alınarak sadece duvarlar görünür kılınmıştır (Şekil 4.19). Duvar çizimi yapılırken, duvarların kesişim noktaları, ölçüm yapan cihazın hata payı düşünülerek seçilmiş ve çizilmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Duvar çizgilerinin, nokta bulutlarının orta noktalarından seçilmesi.

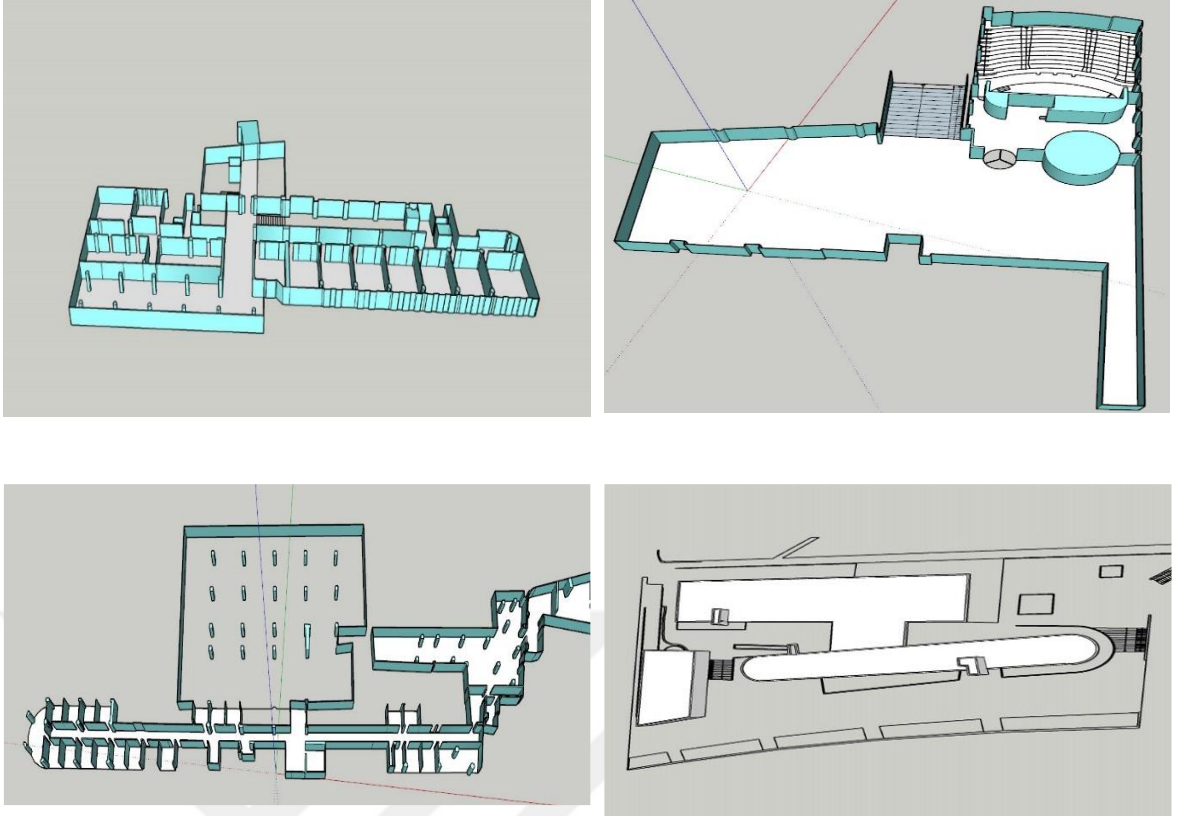
Şekil 4.18’de görüldüğü gibi kapı genişlikleri ve açılış yönleri anlaşılmaktadır. Bu şekilde bir plan kesiti alınarak kapı doğramaları çizilmiştir. Duvar ve doğrama çizimi yapıldıktan sonra merdiven çizimleri yapılmıştır. Bu çizimler tek çizgiler ile yapılmıştır. Merdiven çıkış yönleri, nokta bulutu verisinin nokta yoğunluğuna göre tespit edilmiştir.



Şekil 4.21. a. SBİF LIDAR Verisi Öğrenci Binası 3. Kat CAD Planı

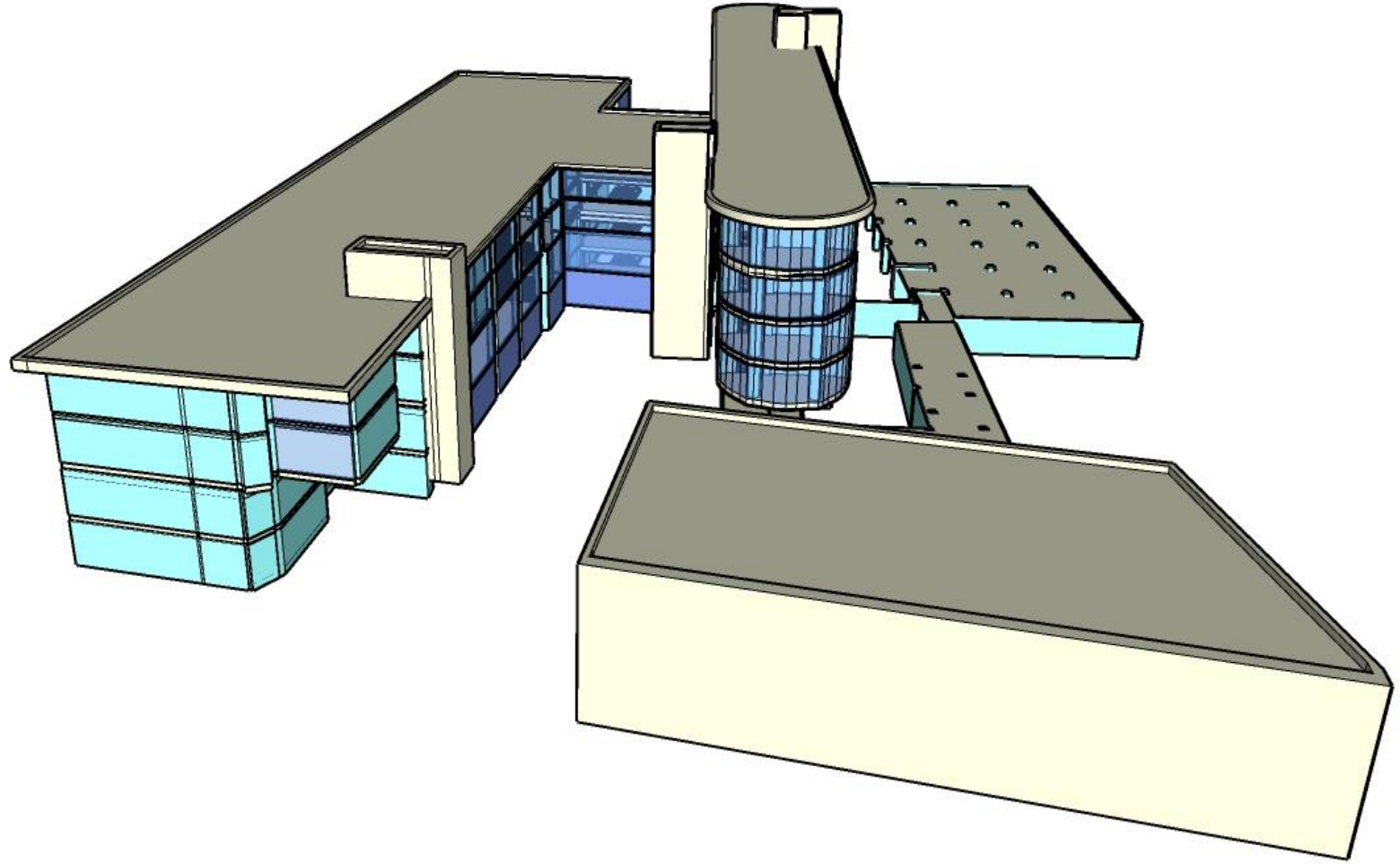
b. SBİF LIDAR Verisi İdari Binası 4. Kat CAD Planı.

Daha sonra bu kat planları 3B hale getirilmiş ve tüm kat planları ile çatı katı planı birleştirilerek 3B model oluşturulmuştur. 3 boyutlu modelleme Sketchup programı üzerinden yapılmıştır. Bu modellemelerde planlarda algılanamayan noktalar boş bırakılmıştır. Örneğin cam kaplama yüzünden bazı dış duvarlar algılanamamıştır. Kat yükseklikleri nokta bulutu üzerinden algılanabildiği için duvarlara yükseklik verilmiştir ancak kapı yükseklikleri algılanamadığı için kapı doğramaları tekil boşluklar halinde bırakılmıştır. Nokta bulutu verilerinde algılanması zor veya imkânsız olan bölgeler bulunmaktadır. Bu sebeple bu noktalar duvar veya boşluk olarak bırakılmıştır. Pencere, asansör boşlukları, girilememiş alanlar gibi bölgelerin çizimleri çizime uyacak şekilde yapılmıştır. Bazı stratejik yerler ile kişilere özel noktaların nokta bulutu yapılamadığı için o alanlar için üretim yapılamamış ve boş olarak bırakılmıştır. Şekil 4.22/a'da Öğrenci Binası 2 Kata ilişkin 3B model bulunmaktadır. Şekil 4.22/b'de ise Orta Bahçe ve Konferans Salonu, Şekil 4.22/c'de İdari Bina Z. Katı ve Şekil 4.22/d'de ise çatı katlarına ilişkin 3B model bulunmaktadır.

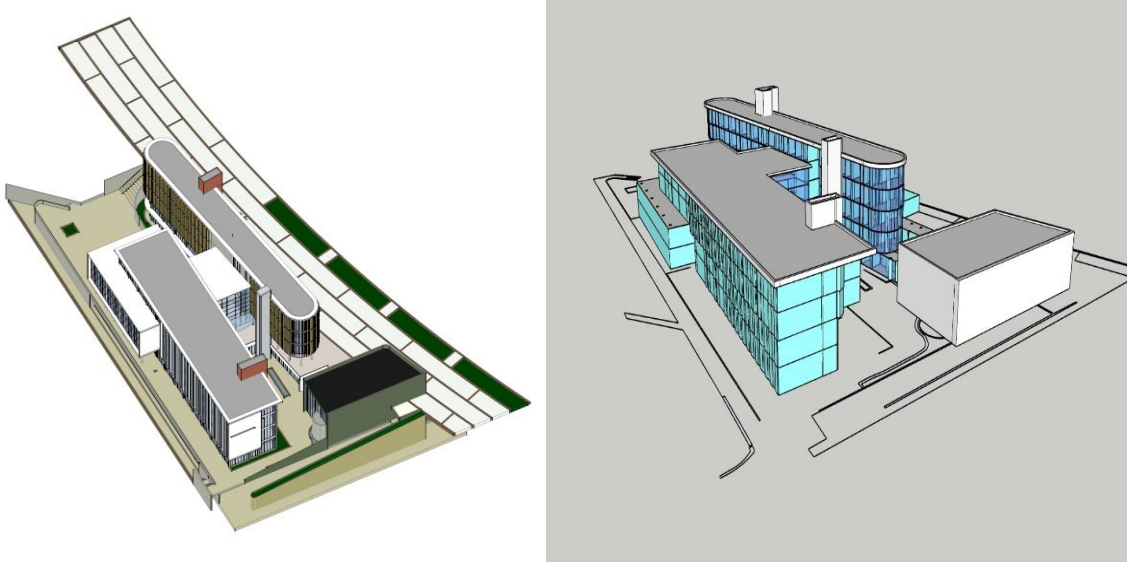


Şekil 4.22. a. SBİF Öğrenci Binası 2. Kat 3B Modeli, **b.** SBİF Orta Bahçe ve Konferans Salonu 3B Modeli, **c.** SBİF İdari Bina Zemin Katı 3B Modeli, **d.** SBİF Çatı Katı Planı.

Sonuç olarak; 6 oturumdan her kata ilişkin kat planları oluşturulmuş ve modellenmiştir. Bu veriler birleştirilerek tüm binanın Taramadan YBM modeli Şekil 4.23’de görüldüğü üzere oluşturulmuştur.



Şekil 4.23. Taramadan YBM Modeli.



Şekil 4.24 a. SBİF Tasarımdan YBM Modeli b. SBİF Taramadan YBM Modeli.

Yukarıda belirtildiği üzere Şekil 4.24/a ve 4.24/b’de görüldüğü üzere iki ayrı model üretilmiş ve iki yöntem ile üretilen YBM modelinin doğruluğu ve prezisyonu hakkında yorum yapabilmek için, uzunluk karşılaştırmaları ve analizler yapılmıştır. Öncelikle Taramadan YBM Oluşturma ile binanın yaklaşık %91’i taranmış ve 3B model haline getirilmiştir (Çizelge 4.6).

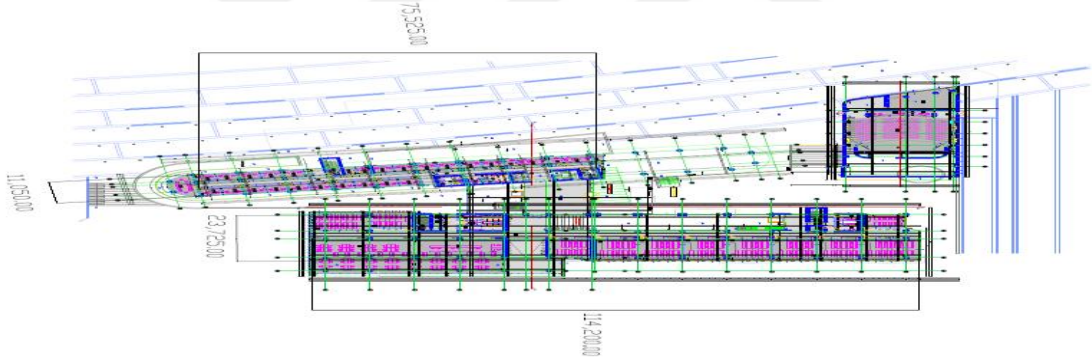
Çizelge 4.6. Taranma Durumu.

No	Bölüm	Kat	Toplam Alan	Taranan Alan	Taranmayan Alan	Tarama Oranı
1	İdari Bina	4	1135,388	1015,196	120,192	89,41%
2	İdari Bina	3	1255,804	1140,731	115,073	90,84%
3	Sınıf Binası	3	1921,826	1828,39	93,436	95,14%
4	İdari Bina	2	1238,417	1093,641	144,776	88,31%
5	Sınıf Binası	2	2218,249	2068,89	149,359	93,27%
6	İdari Bina	1	801,648	709,464	92,184	88,50%
7	Sınıf Binası	1	2733,047	2555,329	177,718	93,50%
8	İdari Bina	Zemin	4394,28	4038,475	355,805	91,90%
9	Sınıf Binası	Zemin	2655,334	2172,494	482,84	81,82%
10	Konferans Salonu	Zemin	607,218	572,739	34,479	94,32%
Toplam			18961,211	17195,349	1765,862	90,69%

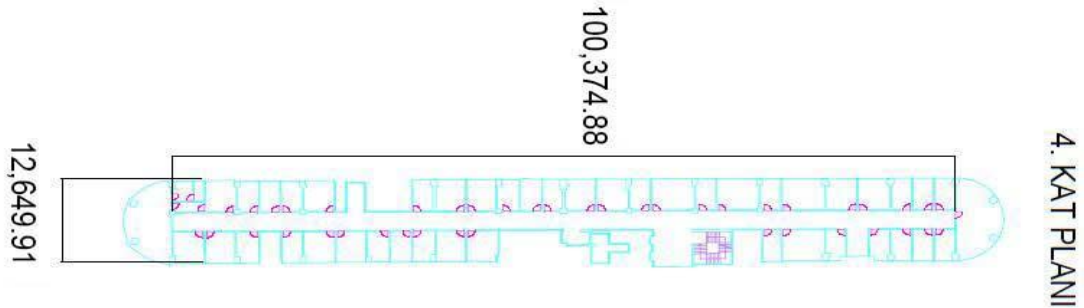
Bilgisayar Laboratuvarı, Fuaye, İki bina arası koridor, Kapalı Otopark, Konferans, Koridor, Kütüphane, Öğrenci İşleri, Sahne, Sahne Arkası, Sığınak, Sığınak Holü, Teknik Oda ve Vestiyer cinsindeki odaların binada bulunan tüm öğeleri

taranmıştır. Bunun yanında Sınıf ve Odaların da neredeyse tamamı taranırken Elektrik Pano Odası, Tuvaletler, Güvenlik Odası, Kafeterya, Mekanik Odası ve Server Odası gibi kısımlarda hiç tarama işlemi yapılamamıştır (Çizelge 4.7). Tarama yapılmadan önce tarama yapılmasına yönelik Sosyal ve Beşeri İlimler Fakültesi Dekanlığından gerekli idari izinler alınmış ve görevli bir personel denetimi ve yönlendirilmesi ile tarama işlemleri yapılmış olsa da işletilmekte olan bir bina olması sebebiyle ve yaz aylarında üniversitenin kapalı olması sebebiyle stratejik ve iş sağlığı ve güvenliği gibi bazı özel/gizli odalar, kişisel verilere yönelik odalar ve özel yaşam sebebiyle tuvaletler taranmamış olup bunun dışında binanın neredeyse tamamı modellenmiştir.

Tarama oranlarının yanında üretilen verilerin hassasiyeti de karşılaştırılmıştır. Bunun için iki modele ait 2B kat planları aynı katlar için verinin karşılaştırılması amacıyla uzunluk karşılaştırmaları yapılmıştır. Örneğin Tasarımdan YBM Oluşturma modeline ilişkin Şekil 4.25’de 2B kat planı örneği yer alırken Şekil 4.26’de ise Taramadan YBM modeline ilişkin 2B kat planı örneği bulunmaktadır.



Şekil 4.25. Tasarımdan YBM 2B kat planı örneği.



Şekil 4.26. Taramadan YBM 2B kat planı örneği.

Çizelge 4.7. Oda Taranma Durumları.

No	Bölüm	Adedi	Toplam Alan	Taranan Alan	Taranmayan Alan	Taranmayan Adedi	Tarama Oranı	Taranma Adet Oranı
1	Bilgisayar Labaratuarı	2	305.918	305.918	0	0	100.00%	100.00%
2	Elektrik Pano Odası	19	111.82	0	111.82	19	0.00%	0.00%
3	Engelli Tuvaleti	10	50.154	0	50.154	10	0.00%	0.00%
4	Erkek Tuvaleti	15	308.432	0	308.432	15	0.00%	0.00%
5	Fuaye	1	166.561	166.oturum1	0	0	100.00%	100.00%
6	Güvenlik Holü	13	58.097	0	58.097	13	0.00%	0.00%
7	Hol	8	53.592	10.595	42.997	7	19.77%	12.50%
8	İki bina arası koridor	4	654.936	654.936	0	0	100.00%	100.00%
9	Kafeterya	3	304.009	0	304.009	3	0.00%	0.00%
10	Kapalı Otopark	1	2298.535	2298.535	0	0	100.00%	100.00%
11	Kız Tuvaleti	15	300.425	0	300.425	15	0.00%	0.00%
12	Konferans	1	280.28	280.28	0	0	100.00%	100.00%
13	Koridor	26	4851.175	4851.175	0	0	100.00%	100.00%
14	Kütüphane	1	394.465	394.465	0	0	100.00%	100.00%
15	Mekanik Odası	2	46.441	0	46.441	2	0.00%	0.00%
16	Oda	192	3456.512	3056.391	400.121	25	88.42%	86.98%
17	Öğrenci İşleri	1	114.792	114.792	0	0	100.00%	100.00%
18	Sahne	1	90.504	90.504	0	0	100.00%	100.00%
19	Sahne Arkası	1	20.15	20.15	0	0	100.00%	100.00%
20	Server Odası	1	7.287	0	7.287	1	0.00%	0.00%
21	Sığınak	4	887.04	887.04	0	0	100.00%	100.00%
22	Sığınak Holü	1	23.819	23.819	0	0	100.00%	100.00%
23	Sınıf	47	4070.014	4017.35	52.664	1	98.71%	97.87%
24	Teknik Oda	1	7.594	7.594	0	0	100.00%	100.00%
25	Temizlik Odası	4	18.6	0	18.6	4	0.00%	0.00%
26	Vestiyer	1	15.244	15.244	0	0	100.00%	100.00%
27	Yangın Merdiveni	13	64.815	0	64.815	13	0.00%	0.00%
Genel Toplam		388	18961.211	17195.349	1765.862	128	90.69%	67.01%

Öğrenci binasından 3, idari binadan ise 4 noktadan örneklemeler alınarak tüm katlara ilişkin 7 karşılaştırma yapılmıştır. Bunun için iki farklı modelden uzunluklar alınmış ve Çizelge 4.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.8. Uzunlukların Karşılaştırılması.

Ölçüm No	Tasarımdan YBM Oluşturma (cm)	Taramadan YBM Oluşturma (cm)	Mutlak değer "v" (cm)
1	10.037.500,00	10.037.488,00	12,00
2	1.265.000,00	1.264.991,00	9,00
3	10.037.500,00	10.037.506,00	6,00
4	1.265.000,00	1.265.009,00	9,00
5	2.372.500,00	2.372.495,00	5,00
6	10.280.000,00	10.279.994,00	6,00
7	1.265.000,00	1.264.989,00	11,00
8	10.037.500,00	10.037.508,00	8,00
9	2.352.500,00	2.352.507,00	7,00
10	11.420.000,00	11.420.010,00	10,00
11	1.105.000,00	1.105.007,00	7,00
12	7.552.500,00	7.552.494,00	6,00
13	2.372.500,00	2.372.509,00	9,00
14	11.420.000,00	11.419.990,00	10,00

$$m_0 = \sqrt{\frac{[vv]}{n}}$$

m_0 = karesel ortalama hata

n = ölçü sayısı

$|v|$ = mutlak değerler toplamı

Şekil 4.27. Karesel Ortalama Hata Hesaplama Formülü.

Karesel Ortalama Hata Hesap Formülünde (Şekil 4.27), veriler yerine konulduğunda mutlak değerler toplamı $[v]= 115$, mutlak değerlerin karelerinin toplamı $[vv]= 1003$ ve karesel ortalama hata $m_0= \pm 8.4642$ cm değeri bulunur. Sonuçları incelendiğinde oluşturulan modelden alınan ölçüler ile gerçek ölçüler arasında ki karesel ortalama hata $m_0= \pm 8.4642$ cm olarak bulunmuştur. GeoSLAM Zeb-Revo El Tipi LİDAR cihazının teknik özellikler incelendiğinde, 3-30 cm aralığında hata payı bulunmaktadır. Bu doğrultuda alete göre iyiye yakın bir tarama işlemi yapıldığı görülmüştür. Ancak Lazer Tarayıcı oturumlarının birleştirilmesi ve lazer verileri üretilirken bir referans noktasını baz almadan lokal çalışmasından dolayı da ayrıca hata farkı oluşmasına sebep olmaktadır.

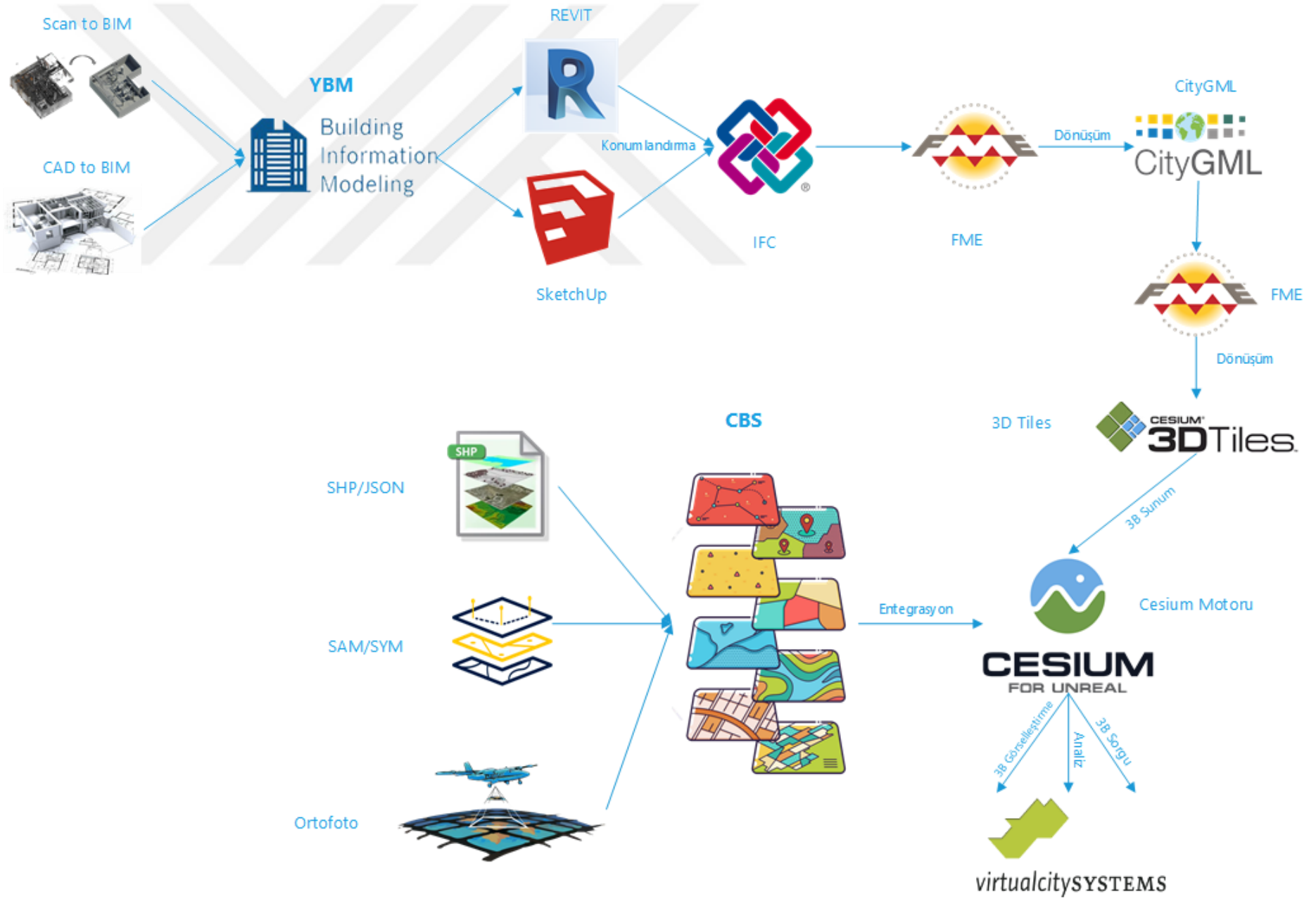
4.2. Veri Entegrasyonu

CBS-YBM entegrasyonuna yönelik 3. bölümde teorik olarak oldukça bilgi verilmiştir. Ancak uygulamaya geçilince YBM modellerinin CBS yazılımlarına aktarılması, konumsal verilerle birleştirilerek normalde CBS içinde kullanılan konumsal analizlerin yapılması ile çeşitli yazılım ve uygulamalar bulunmaktadır. Bunun için bir karar verilmesi gerekmektedir.

Kullanılacak yazılımın seçimi, birçok olasılık ve yöntem olması sebebiyle zor bir süreçtir. İlk zorlayıcı süreç YBM modelinin açma kaydetme ve değişik formatlarda kaydetme özelliğine sahip olması gibi durumlardır. En önemlisi ise programdan IFC dönüşümü ve dosyaları hem 2B hem de 3B olarak görüntüleme olanağına sahip olmasıdır. Bu gereksinimlere sağlayan ve yaygın olarak kullanılan bir yazılımın tercih edilmesi daha doğru olacağı düşünüldüğünde Revit ve Sketchup en iyi çözüm olarak görülerek seçilmiştir. İki uygulamada da IFC dönüşümü ve verileri geo-referanslama konusunda çözüm üretmektedir.

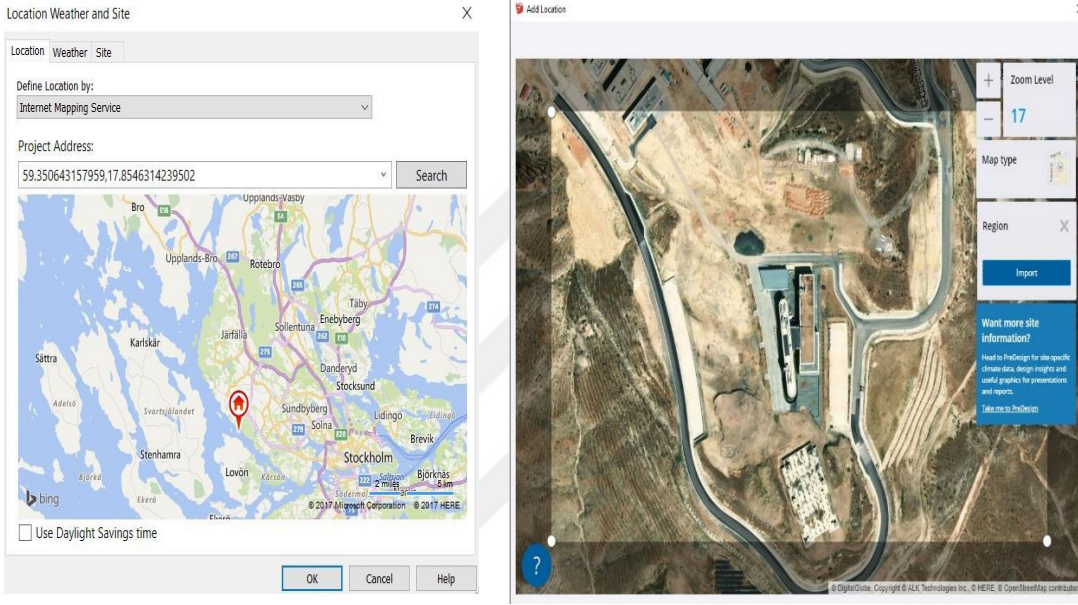
Daha sonra, YBM modellerinin IFC'den CityGML'e dönüştürmek için başka bir yazılıma ihtiyaç duyulmaktadır. IFC'den CityGML'e dönüştürülürken en önemli nokta; IFC verisinin geo-referansa sahip olması durumudur. Ancak bunun yanında bu dönüşümde veri kümeleri arasında koordinat sistemleri ve konumsal referanslamalarda değişiklik yapabilme kabiliyetidir. Bu kapsamda FME uygulaması tüm bu gereksinimleri karşılayabilen tek uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. FME özellikle; CBS, CAD ve raster grafik yazılımları ile kullanılmak üzere geliştirilmiş mekânsal veri çıkarım (extract), dönüşüm (transformation) ve veri yükleme (load) yazılımıdır.

Son olarak, 3B CBS veri sunumu kısmına geçilmektedir. Burada da bir uygulama seçimi gerekmektedir. Bu kapsamda açık kaynak kodlu “Cesium” veya “WorldWind” motorları 3B veri sunumu için başlıca kaynaklardır. Ancak dünya örnekleri incelendiğinde ise Cesium motorunun daha fazla ili gördüğü ve kabiliyetlerinin daha iyi olduğu anlaşıldığından sunum açısından Cesium motoru kullanılmaya karar verilmiştir. Ancak cesium motoru da 3B verileri sunarken kendi formatı olan “3D TILES” formatı ile çalışmaktadır. Bu kapsamda bu veri dönüşümünü de yapmanın en kolay yöntemi FME olması sebebiyle CBS-YBM entegrasyonu açısından iş akış diyagramı ortaya çıkarılmıştır. İş akış diyagramı Şekil 4.28’de özetlenmektedir.



Şekil 4.28. CBS/YBM Entegrasyonu İş Akış Diyagramı.

CBS-YBM Entegrasyonuna yönelik iş akış diyagramına göre öncelikle YBM verileri Tasarımdan YBM Oluşturma veya Taramadan YBM Oluşturma veri üretim şekline göre üretilmesi gerekmektedir. Daha sonra YBM verisi Revit veya Sketchup uygulaması ile açılarak geo-referanslama işlemi yapılması gerekmektedir (Şekil 4.29). Modellerin çoğu, gerçek dünyada bulunmayan lokal bir koordinat sisteminde modellenmiştir. Modellerin dünyadaki gerçek konumunu gösteren datuma dayalı küresel koordinat sistemlerine dayalı koordinatlarının tanımlanması gerekmektedir.

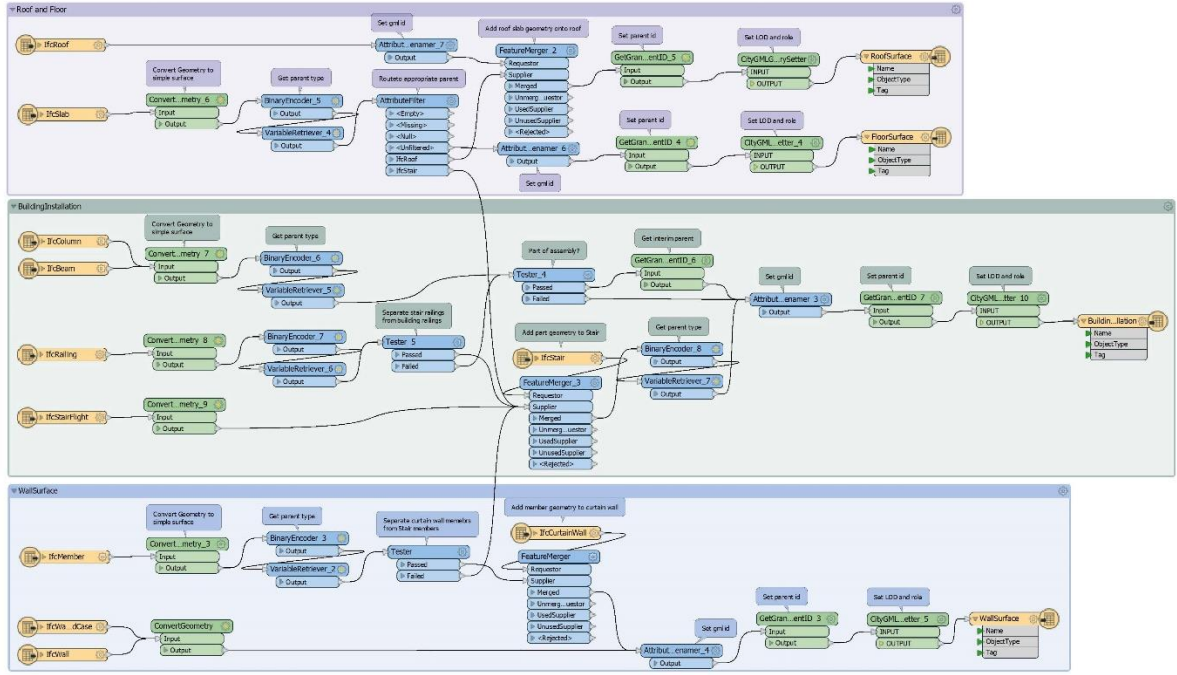


Şekil 4.29. Geo-referanslama.

Bundan sonra konumsal verilerle eşleştirilen YBM modelinin IFC dönüşümü gerçekleştirilir. IFC dönüşümü gerçekleştirilen YBM verileri, FME uygulaması ile açılarak gerekli koordinat sistemleri ile düzenlemeleri yapılarak CityGML LoD seviyesine göre dönüşüm yapılabilmektedir. Bu kapsamda; gereksiz geometrilerin filtrelenmesi, 2B ve 3B modellerden istenilen özellik türlerin kullanılırken istenmeyen özelliklerin ise göz ardı edildiği bir dönüşüm sürecidir. FME kendi web sitesinde;

- IFC LOD 100 to LoD 2 CityGML,
- IFC LOD 200 to LoD 3 CityGML
- IFC LOD 300 to LoD 4 CityGML

şeklinde üç farklı ayrıntı düzeyinde CityGML dosyalarına dönüşüm parametreleri sağlamaktadır (Safe, 2020). CityGML dönüşümünde her iki farklı formatın tanımlanma şekli ve birbirleriyle nasıl uyumlu olduklarından dolayı gerekli olmayan birçok IFC sınıfı



Şekil 4.30. FME IFC LOD 300'den CityGML LoD 4 Çalışma Alanı (Safe, 2020).

Son olarak; Cesium motorunda bu verileri sunabilmek için CityGML formatını 3D TILES formatına dönüştürmek gerekmektedir. Cesium, mümkün olan en iyi performans, hassasiyet, görsel kalite ve kullanım kolaylığı ile birinci sınıf 3B haritalar oluşturmak için açık kaynaklı bir JavaScript kitaplığıdır. Akıllı şehirlerden ve insansız hava araçlarına kadar harita sektöründe bulunan geliştiriciler, dinamik coğrafi verileri paylaşmak için etkileşimli web uygulamaları oluşturmak için Cesium kullanmaktadır. Açık kaynak kodlu Cesium büyük verilerde güçlü birlikte çalışabilirlik ve ölçeklendirme için tasarlanmıştır. (URL-8). 3D TILES dönüşümü yine FME yardımı ile yapıldıktan sonra artık verilerin 3B bir CBS altyapısında sunmak ve analizler yapmak için hiçbir engel kalmamıştır.

4.3. Web Sunumu

3B şehir modelleri büyük şehirlerde artık en önemli hizmetler arasında yer almaktadır. Bu gelişmenin bir parçası olarak, 3B şehir modelleri, şehir planlaması, navigasyon, şehirlerdeki hizmetlerin ve işletmelere çözüm üzerine sayısız örneklerle geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Herkese açık veri gün geçtikçe kamu kuruluşları, yerel yönetimler ve özel şirketlerce üretilen 3B şehir modellerinin önemli bir unsuru haline gelmektedir. Ayrıca açık

kaynak kodlu yazılımlar, ücretsiz eğitimler ve diğer materyaller sayesinde konumsal verilerin nasıl kullanılabileceği daha kolay anlaşılmaktadır. 3B şehir modellerini kullanan uygulamalar, basit araçlardan karmaşık sistemlere kadar çok sayıda çözüm örnekleri bulunmaktadır.

3B şehir modeli uygulamaları oluştururken, uygulamaya göre platformun 3B konumsal bilgi desteği (coğrafi koordinat sistemleri), uygulama programlama arayüzleri (İngilizce: Application Programming Interface, kısaca API), görselleştirme yetenekleri, kullanım esnekliği (ör. web tabanlı sunum, açık veri, etkileşim düzeyi) gibi teknik özellikler ve yetenekler göz önünde bulundurulmaktadır. Bu kapsamda, 3B uygulamalar arasında son yıllarda web tabanlı platformlar popüler hale gelmiştir. Web tabanlı çözümler, geniş kullanıcı kitlelerine kolayca ulaşılabilen ve ek lisanslı yazılım yüklemeleri olmadan çalıştırılabilen uygulamalar olması sebebiyle oldukça ilgi çekmektedir. Web tabanlı 3B sunumların geliştirilmesi, 3B masaüstü uygulamalarından tarayıcılara hızlı bir geçişi sağlamıştır. Bu yaygınlaşma 3B CBS uygulamalarının standartlaşması ve veri formatlarına ortak çözümler getirmesine sebep olmuştur. CesiumJS, GeoServer veya 3DCityDB en çok bilinen ve kullanılan açık kaynak kodlu çözümlerdir.

3B veri sunumu uygulamalarında bir diğer önemli unsur ise yaygın 3B veri formatlarını destekleyip desteklememesidir. Formatlara örnek olarak; yoğun, renkli nokta bulutları (LAS ve E57 gibi), büyük dokulu mesh modelleri (OBJ, FBX ve glTF gibi), şehir bilgi modelleri (CityGML ve CityJSON gibi) veya yapı bilgi modelleri (IFC) verilebilir.

Ticari veya kâr amacı gütmeyen uluslararası oluşumlar ait CityGML'i destekleyen uygulamaların çok sayıda bulunduğu yukarıda bahsedilmişti. Bu kapsamda hem teorik hem de pratikte uygulama imkânımız olan bazı yazılımlar incelenmiş ve tez amacına en uygun yazılım olan VirtualCityMap uygulamasının kullanılmasına karar verilmiştir.

VirtualCityMap, CityGML tabanlı 3B kent modellerinin oluşturulması ve yönetimi için etkin ve uygun maliyetli bir çözüm olarak tüm şehirler ya da belli bir bölgesinde kullanılabilen, uzun süreli kullanıcı deneyimi ile geliştirilen web tabanlı bir uygulamadır. VirtualCityMap yazılımı, Berlin/Almanya merkezli çok partnerli virtualcitySYSTEMS GmbH tarafından geliştirilmektedir. VirtualcitySYSTEMS GmbH, VirtualCityMap ürünü ile 3B kent modellerine çözümler getiren, modelleme, yönetim ve 3B kent modellerinin kullanımı için yazılımlar geliştiren, gerçek zamanlı 3B görselleştirmeler üzerine uzmanlaşmış yenilikçi bir coğrafi bilgi şirkettir (URL-9).

VirtualCityMap uygulaması, konfigürasyona bağlı olarak, eğik görüntüler, 2B haritalar ve 3B haritalar için Cesium motorunu kullanan entegre bir görüntüleyici

içermektedir. VirtualcityMap, JavaScript ve WebGL'in gereksinimlerini sağlayan herhangi bir tarayıcıyla kullanılabilir. Mozilla tarafından açık kaynak kodlu geliştirilen WebGL, herhangi bir eklenti kullanmadan bir tarayıcı içinde 3B bilgisayar grafikleri oluşturmaya yönelik bir API'dir.

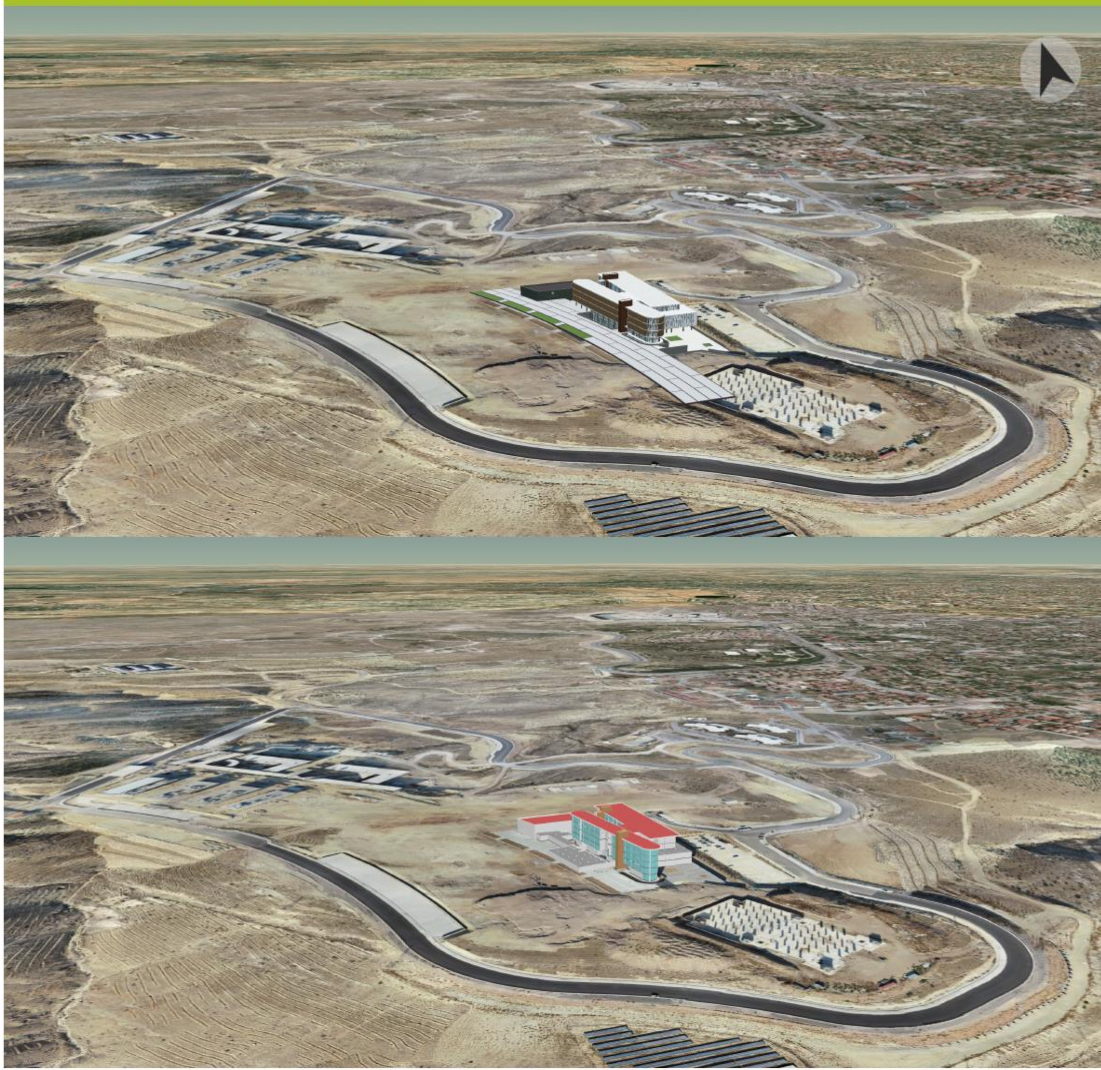
4.3.1. Kullanılan Veriler

VirtualCityMap uygulaması, “Akıllı Şehirler İçin 3B Kent Modelleri ile Yapı Bilgi Modellerinin Kullanımı ve Entegrasyonu: Köyceğiz Kampüs Örneği” başlığı ile <http://212.174.59.122/> yayınlanmaktadır. Uygulamada 3 başlıkta veriler bulunmaktadır. Bunlar; ana veriler, yardımcı veriler ve altlıklardır.

4.3.1.1. Ana Veriler

Ana Veriler; Tasarımdan YBM Oluşturma ile Taramadan YBM Oluşturma verilerinden oluşmaktadır. Tasarımdan oluşturulan model sistemde; “Yapı Bilgi Modeli” olarak adlandırılırken, taramadan oluşturulan model ise sistemde; “Fotogrametrik Model” olarak adlandırılmaktadır. CBS-YBM entegrasyonu bölümünde anlatıldığı üzere, YBM yazılımları ile üretilen modeller FME yardımıyla önce CityGML formatına daha sonra Cesium 3DTILES formatına dönüştürülüp sisteme yüklenerek entegre edilmiştir (Şekil 4.31).

AKILLI ŞEHİRLER İÇİN 3B KENT MODELLERİ İLE YAPI BİLGİ MODELLERİNİN KULLANIMI VE ENTEGRASYONU: KÖYCEĞİZ KAMPÜS ÖRNEĞİ



Şekil 4.31. Ana Veriler.

4.3.1.2. Yardımcı Veriler

Yardımcı Veriler; kampüs altyapı projelerinden oluşmaktadır. Elektrik, fiber, yüksek gerilim, doğalgaz, atıksu, içmesuyu ve yağmursuyuna ait altyapı projeleri 3DTILES formatına dönüştürülüp sisteme yüklenerek entegre edilmiştir. Ancak zemin altında kaldıkları için direkt uygulamada gözükmemektedir. Uygulamanın “Şeffaf Arazi Modu” sayesinde zemin altındaki veriler görülmekte olup Şekil 4.32’de gösterilmektedir.

AKILLI ŞEHİRLER İÇİN 3B KENT MODELLERİ İLE YAPI BİLGİ MODELLERİNİN KULLANIMI VE ENTEGRASYONU:
KÖYCEĞİZ KAMPÜS ÖRNEĞİ

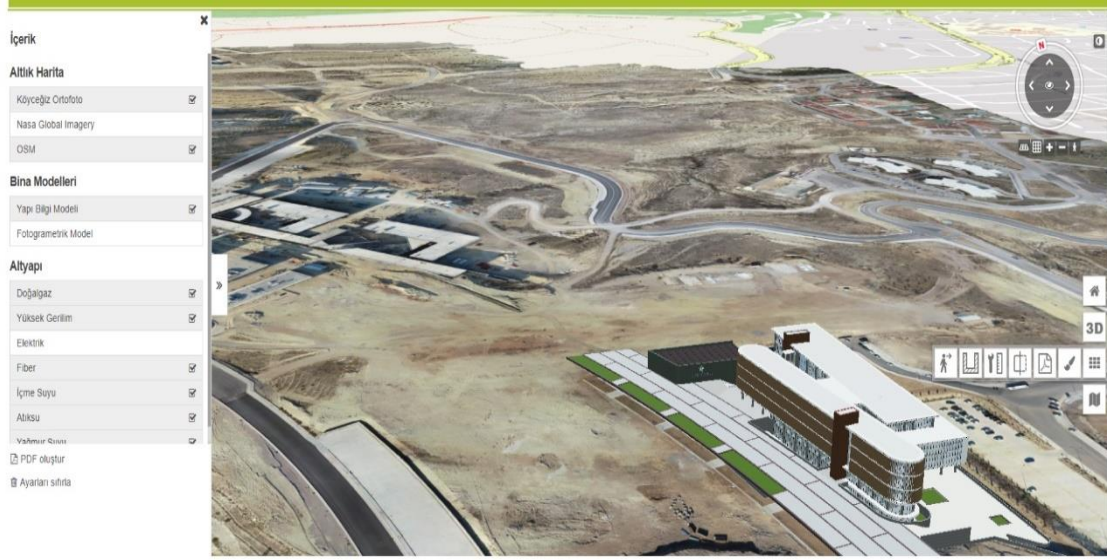


Şekil 4.32. Yardımcı Veriler.

4.3.1.3. Altlıklar

Altlık verileri sistemin kendi içerisinde barındırdıkları, WMS servisi ile sağlananlar ve dışarıdan sisteme aktarılanlar olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Kendi içerisinde hazır bulunan altlıklar; uydu görüntüleri, OpenStreetMap'e haritalar ve 3B bina katı modelleri vs. bulunmaktadır. Bunun yanında halka açık ya da özel olarak üretilebilen WMS servisleri ile de altlık verisi entegre edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında, kendi ürettiğimiz ortofoto ve kadastro verisini altlık olarak sistem entegre edilmiştir. Sayısal Arazi Modeli de sisteme entegre etmek istenilse de İHA ile üretilen sayısal arazi modelini sistem yeterli seviyede görmemesi sebebiyle yüklenememiş olup sisteme entegre edilememiştir. Ayrıca, Cesium motorunda çalıştığı bilinen yersel LIDAR yöntemi ile elde edilen nokta bulutunun tamamı sisteme yüklenilmeye çalışılmış ancak VirtualCityMap uygulamasının kullandığı cesium motoru eski bir sürüm olması sebebiyle bu verilerin de yüklenmesi sağlanamamıştır. Son olarak; NASA'nın halka açık uydu görüntüsü ile OpenStreetMap'in sokak haritaları sistemden direkt gelen altlıklar olarak kullanılabilir durumda olup Şekil 4.33'de gösterilmektedir.

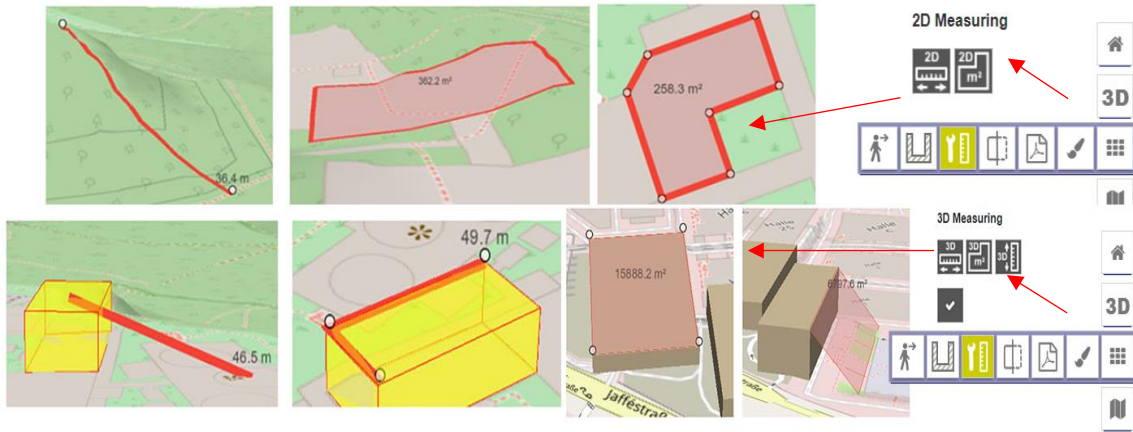
AKILLI ŞEHİRLER İÇİN 3B KENT MODELLERİ İLE YAPI BİLGİ MODELLERİNİN KULLANIMI VE ENTEGRASYONU:
KÖYCEĞİZ KAMPÜS ÖRNEĞİ



Şekil 4.33. Altılıklar.

4.3.2. Sorgu ve Analizler

VirtualCityMap uygulaması ile verilerde birçok sorgu yöntemi ve analiz yapılabilir. Öncelikle 2B ve 3B görüntüleyici ile değişik perspektiflerden çalışma alanı görüntülenebilmektedir. Bunun yanında sorgulama anlamında; uzunluk ve alan sorgulamaları, ölçme fonksiyonu aracılığıyla doğrudan uygulama üzerinden yapılabilir. Uygulamanın görüntüleyicisinde kullanılan küresel koordinat sisteminden bağımsız olarak, haritanın yerel koordinat sistemiyle ilgili ölçülen değer metre cinsinde sorgulanabilmektedir. Ayrıca oblik ve 2B uzunluk ve alan sorgularının yanında 3B yatay ve dikey uzunluk ile alan sorguları yapılabilir (Şekil 4.34).



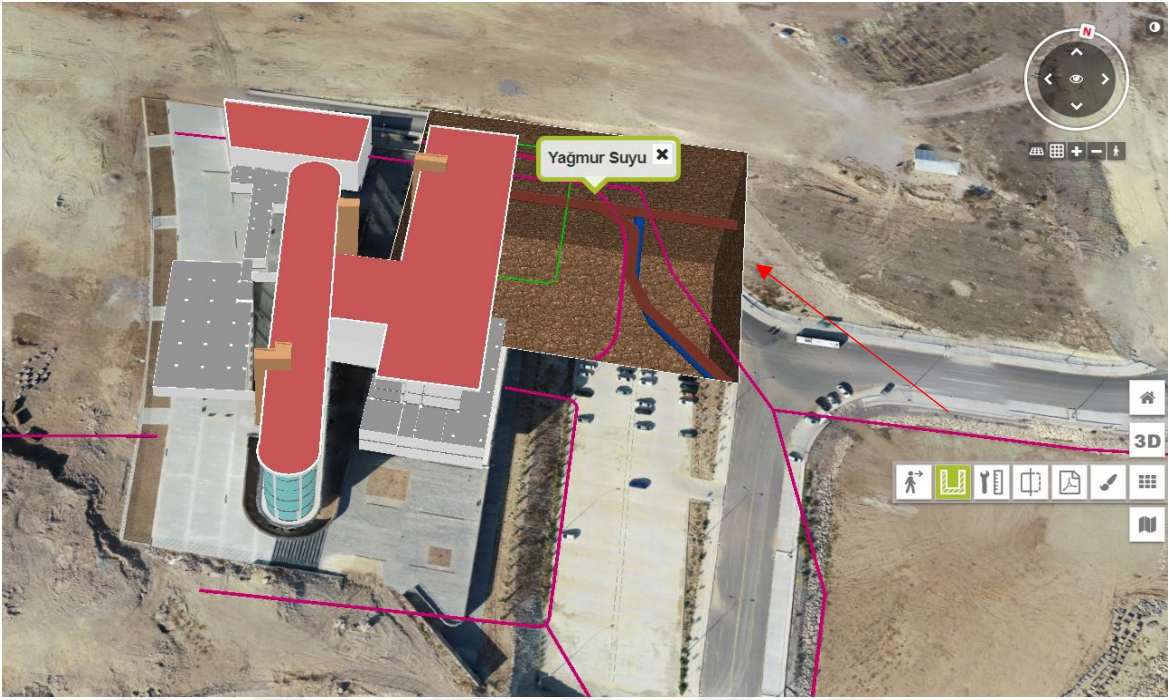
Şekil 4.34. Ölçme Fonksiyonları.

Buna ek olarak; kesit özelliği nesnelerin 3B olarak yatay ya da düşey olarak kırılmasına olanak tanıyıp kırılan bölgede hangi geometrilerin gösterilip hangi geometrilerin gösterilmeyeceği belirlenebilmekte olup bu şekilde modellerin yatay ve düşey kesitleri alınabilmektedir (Şekil 4.35).



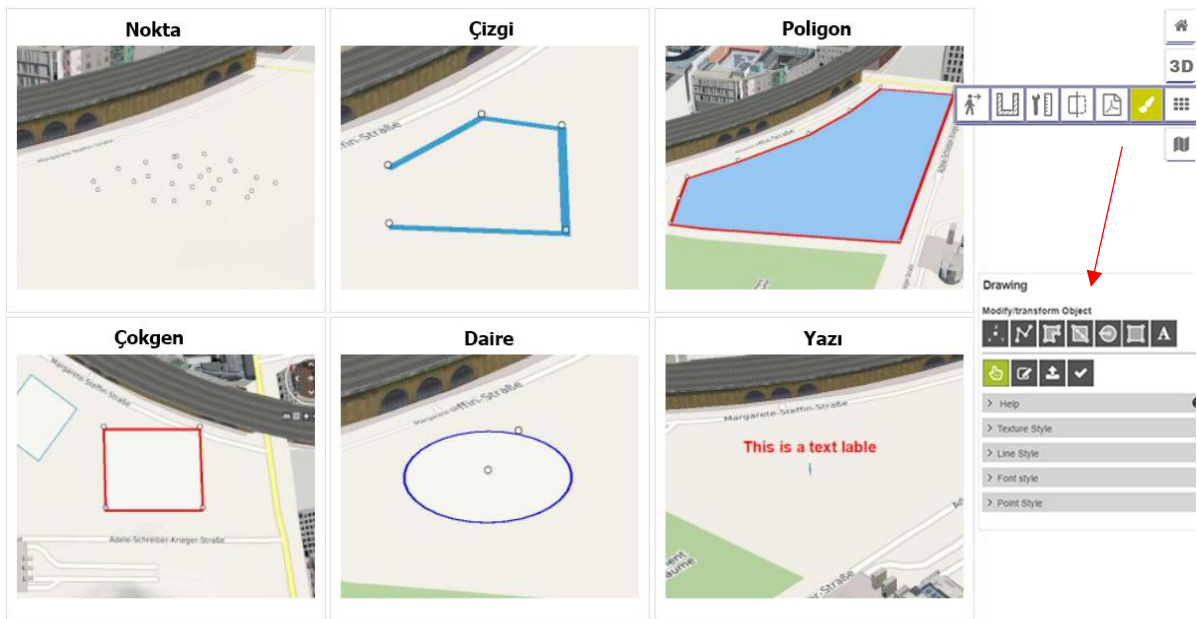
Şekil 4.35. Kesit Fonksiyonu.

Kesit özelliğine benzer şekilde “Şeffaf Arazi Modu” ise zemin altına yönelik bir kırpma işlemi uygulamaktadır. Bu sayede yüzeyin altında kalan altyapı projeleri gibi öğelerin görünür olmasını sağlanmakta ve kullanıcının arazinin altına 3B görünümde bakmasını sağlamaktadır (Şekil 4.36).



Şekil 4.36. Şeffaf Arazi Fonksiyonu.

Son olarak çizim özelliği ile ekran üzerinde farklı şekillerde çizilebilmektedir (Şekil 4.37). Nokta, çizgi, poligon ve çokgen gibi "klasik" geometri türlerinin yanı sıra sınırlayıcı kutular, çemberler ve dikdörtgenlerin çizimi de sistem tarafından desteklenmektedir. Ayrıca çalışma üzerine yeni eklentiler eklenebilmekte ve veri içeri/dışarı aktarımı sağlanabilmektedir.



Şekil 4.37. Çizim Aracı.

Son olarak; VirtualCityMap uygulaması ile bazı CBS analizleri de yapılabilmektedir. Bunlardan ilki görünürlük ve gölge analizidir. Uygulama sayesinde, farklı zamanlarda günlerin farklı zaman dilimlerindeki modellere gelen ışık ve gölgeler kontrol edilip enerji verimliliği gibi konularda çözümler üretilebilmektedir. Diğer bir analiz ise, OpenStreetMap'e haritaları sayesinde binanın ilgi çekici noktalara (İngilizce: Point of interest, kısaca POI) yakınlık/uzaklık analizi yapılabilmektedir. Son analiz olarak; GML verilerinin içerine konumsal olmayan bilgilerin yüklenmesi halinde binaya tıklandığında o bilgilerle yapılabilecek analiz sonuçlarının gözüktüğü balon açılmaktadır. Bunlara ek olarak; VirtualCityMap uygulaması ile tez çalışması ile ilgili olmayan; şehir planlama, rüzgâr türbinleri için yer planlaması, 3B güneş potansiyeli analizi, enerji talep kadastrolarının oluşturulması, şiddetli yağmur simülasyonu, gürültü ve hava kirliliği dağılımının simülasyonu, yeraltı bilgilerinin görselleştirilmesi, trafik simülasyonu ve turizm gibi analizlerde yapılabilmektedir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3B Kent Modelleri ile Yapı Bilgi Modellerinin ayrı ayrı olarak üretimler tamamlanmış ve bu verilerin birbirine entegrasyonu ve web ortamında sunumuna yönelik değerlendirmeler önceki bölümde anlatılmıştır. Tez çalışmasının bu bölümünde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgulara yer verilerek çalışma sonuçları irdelenmektedir.

Bilindiği üzere YBM ilk üretilirken model olarak üretilmekte ve gerekli hallerde 2B CAD ortamında modelden veriler çekilebilmektedir. Ancak kullanılmakta olan binalar için yeni bir YBM üretilmeyeceği için iki farklı teknikle YBM üretimi gerçekleştirilebilmekte ve bu iki farklı teknikle üretime dayalı olarak çalışma alanında üretimin gerçekleştirildiği bir önceki bölümde anlatılmış ve bunların Tasarımdan YBM Oluşturma ve Taramadan YBM Oluşturma yöntemleri olduğuna değinilmişti.

Bu bölümde öncelikle Tasarımdan YBM Oluşturma yöntemi irdelenmektedir. Bir önceki bölümde belirtildiği üzere CAD verilerinin YBM'ye dönüştürülmesi için öncelikle verilerin temizlenmesi, katmanlanması ve yeniden çizilmesi gibi işlemler gerekmektedir. Burada CAD ve CBS mantığına yönelik bir üretim gerçekleştirilmesi durumunda çok zorlanmadan üretime geçilebileceği düşünülmektedir. Ancak bizim uygulamamızda ülkemizdeki genel olarak tüm projelerde olduğu gibi kullanılan projelerde görsel ve sunuma ilişkin oldukça fazla bilgi bulunması sebebiyle bu bölümde oldukça zorlanılmıştır. Konuya ilişkin aşağıda birkaç örnek bulunmaktadır. Bunlar:

- Çizim üzerindeki bazı uzunluklar, rakamla yazılarak gösterildiği veya çizgi olarak gösterilmediği ya da çizgi olarak gösterilse de gerçek uzunluğundan farklı bir değerle çizildiği görülmüştür. Bu durumda; gösterilen değerlere göre yeniden çizmek ya da var olan çizgiyi gerçek değerlerine dönüştürmek gerekmektedir. Binlerce çizgiden oluşan bir proje düşünüldüğünde oldukça zaman kaybına olan bir durum olacağı görülmektedir.
- Çizimlerde iki çizginin birleşimlerinin köşe noktasında birleşmeyerek ya farklı bir noktada birleştiği ya da hiç alan oluşturmayacak şekilde kapanmadığı görülmüştür. Bu durumda, çizgilerin doğru noktalarda birleşmesi sağlanarak alanın kapatılması sağlanmıştır.
- Projelerde bazı gösterimlerin kesikli çizgi olarak gösterildiği ancak kesikli çizgilerin oluşturulurken poligon yapısına uygun olarak üretilmediği için tüm kesikli çizgileri poligon yapısına dönüşümü sağlanmıştır.
- Projelerde verilerin üretim tekniği ve yazılıma göre değişmekle birlikte genelde "0" ya

da “Layer0” katmanında üretildiği farklılıkları ise renk değişimleri ile sağlandığı görülmüştür. Buna ek olarak; katmanların bazıları da doğru bir katman yapısı ile üretilirken yakınında bulunan başka bir katmanın ise katman değiştirmeden bir önceki katmanla devam ederek üretildiği görülmüştür. Bu durumda; katmanlar doğru katman yapısına dönüşümü sağlanmıştır.

CBS ve 3B model anlayışından uzak şekilde üretilen projelerden YBM oluşturma süreci oldukça zaman kaybına sebep olmaktadır. Üretilen CAD verilerinin; gösterim amaçlı olmayıp daha çok gerçek verilerle sunulmasının gerekliliği görülmüştür. Ayrıca çizgi, poligon ve alan veri tiplerine uygun üretilmesinin gerekliliği net bir şekilde görülmüştür. Bunun yanında, katman yapısı burada çok önem arz etmektedir. Çünkü; hem verinin 3B modellenmesi ve buna dayalı olarak IFC modelinin oluşturulması ve IFC’den CityGML’e dönüşümünde yanlış katman yapısı ile dönüşüm ve üretimi oldukça zorlaştırmaktadır.

İkinci olarak Taramadan YBM Oluşturma yöntemi irdelenmektedir. Tarama işlemleri bilindiği üzere; Zeb-Revo El Tipi Lazer Tarayıcı ile üretilen nokta bulutlarından üretilen verilerin birleştirilmesi ile üretilmiştir. Zeb-Revo El Tipi Lazer Tarayıcısı LIDAR teknolojisini kullanıp SLAM algoritması ile üretim yapan bir cihazdır. SLAM, bir robotun veya bir cihazın çevresinin bir haritasını oluşturmak üzere oluşturulan ve hareket ederken sürekli olarak ölçümler yaparak ve bu ölçümleri hep bir döngü olarak düşünüp başladığı nokta ile tekrar bitirmesi gereken ve bu ölçümler esnasında cihazın hareketinden veya ölçme hatalarından kaynaklanan gürültüye hesaba katan bir teknolojidir. SLAM algoritmasının ana kurgusu yukarıda da değinildiği üzere devamlı döngüler oluşturmak ve bu döngüleri zincir şeklinde daha sonra büro çalışmaları ile birleştirmek üzerine kurgulanmıştır. Oluşturulan bu döngülerin geniş tutulması hem verinin kendi içerisinde hem de diğer verilerle birleştirilirken sorunlara sebep olmaktadır. Bu yüzden hem veri yönünden hem de zaman yönünden olabildiğince döngüleri geniş tutmamaya çalışılmıştır. Zeb-Revo El Tipi Lazer Tarayıcısının teknik özelliklerinde de belirtildiği üzere bir oturumun 30-40 dakikayı geçmemesi sağlanmıştır. Bu şekilde 5 oturumda binanın iç mekanları yaklaşık 3 saatte taranmıştır. Ayrıca konferans salonu ve bina dışı da yaklaşık 50 dakika gibi bir sürede taraması tamamlanmıştır. Her oturumda ise ölçme durumuna göre iç döngüler oluşturulmuştur. Bu döngü yapısıyla ölçme süreçleri oldukça zaman kaybına sebep olmaktadır. Ayrıca yaklaşık 2 kg ağırlığı olan cihazın aynı seviyede tutularak 30-40 dakika ölçme işlemi yapılması da oldukça operatörü yormaktadır. SLAM teknolojisinin döngü yapısının geliştirilmesi veya kullanan cihazların ek donanımlarla tarama işlemlerinin

kolaylaştırılması gerekmektedir. Aksi takdirde oldukça yorucu ve zaman alıcı olduğu bu çalışmada da test edilmiştir.

LIDAR endüstrisinde günümüzde üç tip üretim tekniği bulunmaktadır. Bunlar; sadece LIDAR sensörü ile renksiz nokta bulutu üreten cihazlar, LIDAR sensörüne basit kamera desteği ile renklendirilmiş nokta bulutu üreten cihazlar ve LIDAR sensörüne ek olarak profesyonel panoramik kameralar veya birden fazla balık gözü kameralarla desteklenen sistemlerdir. Bu sistemle hem LIDAR sensörünün kamera veya kameralarla desteklenmesi sayesinde renklendirilmiş nokta bulutu ve profesyonel kameralar ile de panoramik görüntüler elde edilmektedir. Bu kameralar ve ek donanımlar verinin ayırt edilmesi, kalitesi, gerçekliğini oldukça arttırmakta olup ek yazılımlarla büro çalışmalarını oldukça kısaltmaktadır. Ancak bu faydasının yanında maliyeti de donanımın özelliğine göre ciddi şekilde artmaktadır. Bu kapsamda; yapılacak çalışmanın mahiyetine göre fayda maliyet analizi yapılarak cihaz seçiminin yapılması doğru olacaktır. Zeb-Revo El Tipi Lazer Tarayıcı, cihazı yukarıda belirtilen birinci tip üretim tekniğine sahip sadece LIDAR sensörü bulunan ve renksiz nokta bulutu verisi üreten bir cihazdır. Renksiz Nokta bulutundan sayısallaştırma işlemlerinde operatöre oldukça fazla iş düşmektedir. Kapsamlı binalarda, operatörün profesyonel olması veya cihazın ürettiği veriye yatkın olması gerekmektedir. Çünkü verinin renksiz olması ve 3B perspektifine sahip olmadan üretim yapmanın zorlayıcı ve yorucu bir işlem olduğu test edilmiştir.

LIDAR endüstrisinde bir diğer konu ise; geo-referanslama sürecidir. Burada ise GNSS entegrasyonu olan ve olmayan cihazlar olarak ikiye ayrılmaktadır. GNSS entegrasyonu olan cihazlar, bina dışından aldığı dünya üzerindeki gerçek bir konumu bina içine taşıyarak geriden kestirme yöntemi ile tüm üretim bandını konum verisi ile ilişkilendirmiş olmasını sağlamaktadır. Böylelikle bir oturumun diğer oturumla ilişkilendirmesi de oldukça kolaylaşmaktadır. Zeb-Revo El Tipi Lazer Tarayıcı, GNSS entegrasyonu olmayan verinin manuel olarak konumlandırılması gereken bir cihazdır. Zeb-Revo El Tipi Lazer Tarayıcısı ile önce oturumlar manuel olarak birleştirilmekte ve daha sonra aynı yapıya ilişkin gerçek konumu olan başka bir veriden konum bilgisi olarak geo-referanslaması yapılmaktadır. Böyle bir durumda da yüksek doğruluk gerektiren bir çalışmada özellikle mm hassasiyetinde çalışmalarda çok kullanışlı olmamaktadır. Bu çalışmada, veriler kendi içerisinde nokta bulutu üzerinden ortak noktalar üzerinden birleştirilmesi yapılmış ve halihazır harita ve ortofoto üzerinden geo-referanslaması tamamlanmıştır. Ancak yukarıda da bahsedildiği gibi bu çalışmayı yaparken oldukça zaman kaybı yaşanmış ve yorucu bir üretim gerçekleştirilmiştir.

Üretim yöntemiyle ilgili son olarak: İHA verisine irdelenmektedir. DJI Phantom 4 RTK cihazı ile ortofoto ve nokta bulutu verisi üretilmiştir. Fotogrametri sektörü için DJI Phantom 4 RTK oldukça iyi bir cihaz olup çokça tercih edilmektedir. RTK entegrasyonu sayesinde 3 cm doğruluğunda üretim gerçekleştirilmiş ve hiçbir sorunla karşılaşmamıştır.

Üretim bandı tamamlandıktan sonra YBM ve CBS verilerinin entegrasyonu irdelenmektedir. YBM verileri YBM yazılımları ile üretilmiş ve IFC formatında kaydedildikten sonra FME yazılım sayesinde CityGML dönüşümü gerçekleştirilmiştir. FME dönüşüm raporlarında %100 oranında dönüşüm gerçekleştiği belirtilmektedir. Ancak veri boyutları incelendiğinde veride boyut olarak bir küçülme olduğu görülmektedir. Ayrıca YBM verilerinin oldukça ayrıntılı olduğu CBS için ise bu tüm ayrıntıya gerek olmadığı bilinen bir durumdur. Veri kaybının olduğu bilinmekte ama CBS amaçlarına göre bir dönüşüm vadeden FME yazılımının kuralları dahilinde bir dönüşüm olup olmadığı konusunda kesin bir bilgi hem literatürde hem de çalışmada kullanılan veride bulunamamıştır. Düzgün bir dönüşüm için IFC ve CityGML arasında kurallara göre proje müellifi tarafından veri üretiminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, ya verinin üzerinde oldukça fazla iyileştirme yapmak gerekmekte ya da yeterli düzeyde dönüşüm sağlanamamaktadır.

YBM ve CBS'yi entegre etme alanında çalışmalar olmasına rağmen hala istenen düzeyde değildir. Tam ölçekli bir entegrasyon için dört başlıkta halinde sorunlar olduğu düşünülmektedir. Bunlar;

- **YBM, üretim ve süreçleri:** Konumsal veriler ve CBS; bilgisayar teknolojisinin ilk yıllarından başlayarak kullanılmakta ve kullanıcı, yazılım ve kuralların olgunluk seviyesi oldukça iyi durumdadır. YBM ise daha yeni bir kavram olup kullanıcı, yazılım ve kuralların yeterli seviyede olmadığı bir gerçektir. Bu sebeple ikisi arasında tam entegrasyon için YBM'nin biraz daha olgunlaşmasının gerektiği düşünülmektedir. Konumsal verilerde olduğu gibi, proje üreticilerinin bir proje sırasında oluşturulan modellerin kaydedilmesi süreçlerinde sisteme dahil olması önemlidir. Yani CityGML-IFC dönüşümü konusunda bilgi sahibi olarak üretim gerçekleşmesi halinde, modellerin bir kez oluşturulduktan sonra CBS yazılımı ile kullanılması gereken konumsal verilere dönüştürülebileceği veya bunlarla birlikte kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Böylelikle, modelleri yeniden oluşturmak zorunda kalmadan hem bugün hem de gelecekte entegrasyon fırsatı sunmaktadır. Bu tezin uygulama çalışmasında kullanılmakta olan bir bina tercih edilmesi sebebiyle YBM verisi bulunmamakta idi ve bu oldukça normal bir durumdur. Ancak önümüzdeki on yıl içinde ve gelecekte, yeni

binalar inşa edilirken YBM modeli ile birlikte üretilecek ve IFC formatında saklanacağı öngörülmektedir. Bu nedenle, otomatik ve tam entegrasyon henüz ulaşılabilir seviyede olmasa da oluşturulacak modellerin ileride otomatik ve tam entegrasyon sağlandığında yazılımlara bağlı kalmaksızın ufak IFC format iyileştirmeleri ile entegrasyonun sağlanacağı düşünülmektedir.

Önceki çalışmalar ve bu tezdeki sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, üretim hatası olmasa bile IFC'den CityGML'e dönüşüm yeterince karmaşık bir işlemdir. Örneğin hatalı katmanlama veya binanın yanlış konumlandırılması gibi kullanıcı hataları da eklenince süreç daha da karmaşık bir hale gelmektedir. Bu tez çalışmasında modeller, Revit'ten IFC'ye doğru bir şekilde dönüştürüldüğü için büyük bir problemle karşılaşılmamıştır.

- **Ayrıntı ve Gelişim Düzeyi Farklılıkları:** YBM ve CBS arasındaki temel farklardan biride “LOD veya LoD” şeklinde aynı kısaltma ifadesini kullansalar da detay seviyeleri arasındaki farklılıklardır. Bu kavramı, birisi detay seviyesi olarak tanımlamakta iken diğeri gelişim seviyesi olarak tanımlamakta ve her iki dünya için ortak bir tanım bulunmamaktadır. Hem YBM hem de 3B Kent Modelleri terimleri benzer şekilde kullanıyor gibi gözükse de oldukça farklılardır. Örneğin, LOD 400 seviyesindeki bir YBM modelinin hangi CityGML LoD seviyesine dönüştürülmesi gerektiği ve hangi nesnelerin/bilgilerin dönüştürülüp dönüştürülmemesi gerektiği tam olarak belirlenmemiştir. YBM’de LOD seviyeleri yalnızca görsel nesnelerin miktarına bağlı değil, ayrıca her bir nesneye ne kadar öznitelik bilgisini içermesine bağlıdır. Bu sebeplerle, aynı terminolojiye sahip olmamak, kullanıcı odaklı kararlar alınmasına ve bu da daha az otomatik iş akışı ve dönüşüm süreci ile sonuçlanmaktadır. Detay seviyelerinin entegrasyonuna yönelik en pratik çözüm, modellerin yakınlaştırma/uzaklaştırma durumuna göre yazılım içinde, farklı LOD seviyeleri arasında geçiş yapma olasılıklarını arttırılması olabilir.

Daha fazla ayrıntı, aynı zamanda daha karmaşık bir model ve daha büyük veri anlamına gelmektedir. Bu karmaşıklık da hem verinin büyüklüğünden dolayı zaman olarak hemde karmaşıklığından dolayı veriyi anlama olarak CBS analizlerinin yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada verinin büyüklüğü sebebiyle kaydırma, yakınlaştırma ve sorgulama gibi işlemlerde hem titreme hem de belirli seviyelerde bazı geometrilerin gösterilemediği gibi zorluklar test edilmiştir.

- **Koordinat ve referans sistemleri:** YBM ve CBS'nin coğrafi konumlara farklı yaklaşımlarla baktığı bilinen bir gerçek olup bakış açıları sebebiyle çözülmesi de kolay

olmayan bir sorundur. YBM modelleri tüm inşaat süreçlerini yönetimine yönelik çalışmalar barındırdığı için oldukça hassas olması gerekmektedir. Ancak YBM üreticilerin koordinat sistemleri ve referans elipsoid kavramlarına disiplin olarak oldukça uzak olduğu bilinmekte olup genelde yazılımların varsayılan özelliği olan lokal koordinat sistemleri ile çalışmaktadırlar. Bu sebeple, yeterli bilgiye sahip olmayan üreticilerle veriler gerçek konumda konumlandırma yapılması durumunda hatalı sonuçlar çıkacaktır. Buna ek olarak, CBS'de lokal koordinat sistemlerini kullanmak, büyük alanlarda çalışırken gerçeğe kıyasla bozulmalara yol açacaktır. Bu nedenlerden dolayı, her iki ayrı disiplinin ayrı ayrı üretimi tamamlanıp daha sonra lokal sistemlerden küresel sistemlere bir tür dönüşüm bir zorunluluktur. Detay seviyelerinin entegrasyonuna yönelik pratik çözüme benzer şekilde burada da yakınlaştırma seviyesine göre bir koordinasyon sağlanabilir. Uzaklaştırıldığında, daha büyük bir coğrafi alan gösterildiğinde, yazılım belirli bir küresel referans sistemi kullanırken, belirli bir yakınlaştırma düzeyinde ise yalnızca bir veya birkaç binanın görülebildiği, bu binalar için yerinde lokal koordinat sistem kullanılabilir. Böyle bir çözümün yapıp yapılamayacağına bakılmaksızın hala lokal sistemlerin küresel sistemlere entegrasyon ihtiyacı bulunmaktadır. YBM yazılımları olan Revit ve Sketchup yazılımları sınırlı, oldukça basit hassasiyeti tek nokta üzerinden sağlayan bir dönüşüm vadetmektedir. Bu sorunu fark eden YBM geliştiricileri, IFC'nin son sürümü olan IFC 4 versiyonuna, lokal koordinatın ile küresel sistemler arasında nasıl bir ilişki kurulacağı ve dönüşüm parametrelerinin neler olduğunu içermesi beklenen bir öznitelik “IFC MapConversion” eklemişlerdir. YBM yazılımlarının bu özelliği içerecek şekilde iyileştirmeler yapılması durumunda bu soruna çözüm bulunabileceği düşünülmektedir.

- **Formatlar ve yazılımlar:** En teknik başlık ise YBM ve CBS'nin farklı formatlar ve yazılımlar kullanması nedeniyle oluşan farklılıklardır. Artık çoğu CBS yazılımının IFC okumaya başlamasına ve aynı şekilde YBM yazılımlarının ise CityGML okuyabilmesine rağmen hala tam entegrasyon için yeterli değildir. İlk olarak, IFC'den CityGML'e dönüşümde bu tez çalışmasında olduğu gibi genelde hazır kalıplar/kurallar üzerinden kullanıcıya inisiyatif vermeden dönüşüm gerçekleşmektedir. Bahsi geçen dönüşüm esnasında oluşacak hataların bu sebeple anlaşılması zordur. Kullanıcıya, dönüşümde hangi sınıfların/katmanların dahil edileceği konusunda daha fazla kontrol ve ayrıca girdi verilerini değiştirme veya düzenleme yeteneği sağlanırsa daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Kalıcı bir çözüm olarak ise; birlikte çalışabilirlik adına IFC ve/veya CityGML

formatlarından taviz vermektir. Entegrasyon için aynı amaçla yeni bir veri standardı ve bu standarda dayalı yeni bir format tasarlamak olacaktır. Böylelikle farklı yazılımlarla farklı formatlar üretip birbirine dönüştürme yerine aynı yazılımla aynı formatta veri üretilebilecektir. Bunun için YBM ve CBS geliştiricilerinin birlikte çalışarak tam entegrasyon kurulabileceği bir standarda uygun format belirlenir ve tüm yazılım firmaları yazılımlarında gerekli iyileştirmeleri yaparak bu kafa karışıklıkları ve bağımlılık ortadan kalkacaktır.

- **Kullanıcı ve üreticiler:** YBM ve CBS çokça bahsedildiği üzere birbirinden oldukça farklı disiplinlerdir. Böyle olunca da kullanıcıları da birbirinden farklılık göstermekte ve üretim aşamasında farklı perspektiflerle veriyi üretmekte ve kullanmaktadırlar. Örneğin YBM kullanıcı ve üreticileri, Mimar ve İnşaat Mühendislerinin öncülüğünde diğer inşaat sektöründeki disiplinlerle veri üretilip kullanılmaktadır. Aynı şekilde CBS kullanıcı ve üreticileri de Harita Mühendisi öncülüğünde, arazi ile ilgilenen birçok disiplin tarafından kullanılmaktadır. Böyle bir durumda tam entegrasyondan bahsedebilmek için iki farklı disiplinin kullanıcılarının birbirilerinin verileri hakkında en azından orta seviyede bilgi ve tecrübeye sahip olması gerekmektedir. Günümüzde iki üretici de diğerinin ihtiyaç, gereksinim ve üretim tekniklerini bilmeden ürünle ilgilenmektedir. Bunun yerine iki disiplin yukarıda belirtildiği üzere; karşı tarafın ihtiyaç, gereksinim ve üretim tekniklerini bilerek üretim gerçekleştirirse tam entegrasyon için büyük bir adım atılmış olacaktır.

Bu tez çalışmasında bir sonraki adım üretimi gerçekleştirilen CBS ve YBM verilerinin web ortamında sunulmasıdır. Bunun için HTML5 ve WebGL altyapısını kullanan açık kaynak kodlu web üzerinden sanal küre olan Cesium motorunu kullanan VirtualCityMap uygulaması kullanılmıştır. VirtualCityMap uygulamasında web üzerinden 3B şehir modelleri ile YBM verilerinin entegrasyonu, görselleştirme ve analiz etme işlevselliği başarıyla test edilmiştir. Cesium motorunda 3B bir verinin hızlı bir şekilde sunulabilmesi için kendi formatı olan 3D TILES formatında olması gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında; FME yazılımı sayesinde veriler 3D TILES çevrilmiş ve sunumu sağlanarak test edilmiştir. Cesium motorunun en stabil olarak Chrome ile çalıştığı ama çoğu web tarayıcısı ile sorunsuz çalıştığı belirtilmiş olsa da VirtualCityMap uygulaması ile sunduğumuz verilerin test etmek amacıyla; Chrome, Mozilla ve Edge tarayıcıları denenmiştir. Chrome ile sorunsuz çalıştığı gözlemlenirken; büyük boyutlu verilerde (Tasarımdan YBM Oluşturma verileri) Mozilla ve Edge tarayıcılarında Cesium motorunun

hata verdiği gözlemlenmiştir. Kısaca büyük verilerde hala 3B web sunumlarının yeterli düzeyde olmadığı, geliştirilmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, VirtualCityMap uygulaması ile birçok CBS sorgu ve analizin yapılabildiği görülmüştür. 2B/3B uzunluk/alan ölçmeleri, binalardan yatay/düşey kesit alma, şeffaf arazi yüzeyi gibi özellikler başarı ile test edilmiştir.

Cesium, geniş bir kullanıcı tabanı tarafından desteklenen açık kaynaklı bir projedir ve devamlı olarak hem oyun endüstrisi için hemde 3B şehir modelleri için sürekli iyileştirme ve geliştirmeler yapılmaktadır. Ek işlevlerin dahil edilmesi, daha fazla veri formatının desteklenmesi veya arayüzün mevcut yeteneklerinin iyileştirilmesi, Cesium çekirdek ekibinin girişimlerine bağlıdır. Özellikle 3D TILES formatı hala geliştirmenin çok erken bir aşamasındadır ve yakın gelecekte zamansal veri boyutunun da sisteme dahil ederek görselleştirme yapması beklenmektedir (Cesium, 2017).

Web Sunumunda, CBS analizleri YBM için oldukça basit kalmakta ve buna bir çözüm bulunması gerekmektedir. Üç farklı yöntemle bu sorunun çözülebileceği düşünülmektedir. İlki CBS yazılımları ile devam etmek ancak YBM verilerini analiz etme yönünden geliştirmek ve iyileştirmektir. İkincisi, analizleri doğrudan YBM yazılımları ile gerçekleştirilmesidir. Bu amaç için bir uzantı veya araç geliştirilerek iki uygulama arasında entegrasyonlar devreye girmesi benimsenebilir. Böylelikle modeli IFC'ye aktarma ihtiyacını ortadan kalkabilir ve en azından modeli CityGML'e veya CBS yazılımı için daha uygun başka bir formata dönüştürme talebi ortadan kalkacaktır. Üçüncüsü ise, ana işlevi YBM analizi olan ayrıntılı YBM modelleri üzerinde analizler yapan tamamen yeni bir yazılım geliştirmek olabilir. Ancak maliyet, fayda ve teknolojik açıdan çok uygulanabilir görülmemektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak bir binada üretilen YBM modellerinin CBS entegrasyonu ve web tabanlı sunumu üzerine bir çalışma yapılmıştır. Verilerin birbirleri ile entegre edilebildiği görülmüştür. Bu çalışma ile fotogrametrik modellerin 3B Kentsel Modeller/3B Kadastro çalışmalarında verimli bir şekilde kullanılmasının yanı sıra YBM için vazgeçilmez bir veri üretim tekniği olduğu görülmüştür. Ayrıca YBM modelleri artık 3B şehir modelleri için en önemli veri kaynağı olma yolunda ilerlemektedir.

Kentlerin artan karmaşıklığı, inşaatların ve tesislerin etkin yönetimi, coğrafi bilgi sistemlerinin bina geometrileri yanında iç mekân modellerini de içermesi gereksinimi ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla, CBS entegrasyonu hedefine yönelik bir 3B modelleme ve CBS entegrasyonu çalışması sunulmuştur. LoD 4 seviyesinde CityGML modellerinin IFC modelleri ile entegrasyonuna yönelik geniş kapsamda çok az sayıda otomatik dönüşüm çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada olduğu gibi genelde yarı otomatik çalışmalar bulunmaktadır. Bir sonraki hedef, IFC ve CityGML arasında tam otomatik entegrasyon sağlamak olmalıdır.

Bu tez çalışmasında, kullanılmakta olan bir binada, CAD verilerinden faydalanarak görsel amaçlı veri tabanı bulundurmeyen LOD 300 seviyesinde bir YBM modeli üretilmiştir. Edinilen tecrübe neticesinde, sonraki çalışmalarda veritabanı da barındıran YBM modeli olan bir binada çalışma yapılmasının daha faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca gelecekteki çalışmaların tek bir binada değil de birçok binayı barındıran ve YBM modelleri olan bir bölgenin seçilmesi ve daha kapsamlı çalışmalar yapılarak görsel olarak sunulması 3B analizlerin kapsamını görmek ve akıllı şehirler temasını test etmeye daha fazla katkı sağlayacaktır. Benzer şekilde yeraltında bulunan altyapı projeleri de CAD verilerinden faydalanarak üretilmiştir. Ancak projelerde çok fazla detay olmadığı için çok ayrıntılı sunum gerçekleştirilememiştir. YBM'nin özellikleri ve gereksinimleri göz önüne alındığında, daha yüksek LOD seviyesine sahip 3B model, yeraltı altyapısı hakkında daha fazla ayrıntı içermesini sağlayacaktır. Bu sayede, farklı kanalizasyon sistemi türleri görselleştirmeleriyle ayırt edilebilecek olup kanalizasyon/kablo/boru iç ve dış kısımları ayrı ayrı gerçek doku ile modellenebilir hale gelecektir. Ayrıca, özellikle binalar ve elektrikli ekipman gibi yer üstü nesnelerle daha fazla bağlantı göstermek önemlidir. Bununla birlikte, ulaşılabilir veri bütünlüğü ve yeterli veri doğruluğu, daha ileri çalışma sonuçlarına ulaşılacaktır.

Bu tez çalışmasında, kullanılmakta olan bir binada CAD çizimlerinden bağımsız olarak ayrıca LIDAR sistemleri ile tarama ile LoD 4 seviyesinde fotogrametrik bir model

üretilmiştir. Tarama işlemi bir önceki bölümde belirtildiği üzere LIDAR sensörü ile renksiz nokta bulutu üreten Zeb-Revo El Tipi Lazer Tarayıcı cihazı ile yapılmıştır. Kapsamlı binalarda veri bütünlüğünü sağlayabilmek için daha bütünleşik cihazların kullanılması fayda maliyet açısından kolaylıklar sağlamaktadır. Bu kapsamda SBİF gibi kapsamlı binalarda GNSS entegrasyonu olan panoramik veya balık gözü kameralarla desteklenmiş sırt çantası veya giyilebilir olan daha optimal cihazlarla yapılması çok daha fazla yararlı olacağı düşünülmektedir. Böylelikle zaman yönünden tarama işleminin kısalması, tarama esnasındaki operatörün yorulmasının azalması sağlanacak ve büro çalışmalarını da oldukça kolaylaştıracaktır.

LIDAR yöntemi ile yapılan bu çalışma ile istenen doğrulukta 3B model üretimi başarılı bir şekilde yapılabileceği test edilmiştir. Bilindiği üzere ülkemizde kat mülkiyeti oranı oldukça düşüktür. Buna bağlı olarak da mimari projelerine idarelerin ulaşma oranı da oldukça kısıtlı olup şehir merkezlerinde bu oranın %20 civarında olduğu bilinmektedir (Aslan vd., 2022). Özellikle deprem ülkesi olan ülkemizde afetlerde bu mimari projeler hayati öneme sahiplerdir. Kişisel veriler ve özel hukuk sebebiyle tüm binalarda uygulanamasa da en azından kamu binalarında bu yöntemle binaların modellenmesi ile çok önemli bir sorun çözülmüş olacaktır. Bu kapsamda, Ankara ilinde yaklaşık 19.000 kamu binası olduğu ve bu kamu binaların sadece 4.000 adedinde mimari proje olduğu bilinmektedir (Aslan vd., 2022). Bu kapsamda 15.000 binanın mimari projesinin olmadığı ya da arşivlerde bulunmadığı sonucuna ulaşılabilir ve bu doğrultuda tüm Türkiye için bir çıkarım yapılırsa en az 100.000 kamu binanın bu şekilde olduğu düşünülebilir. Bu yöntemle, bahsi geçen 100.000 binanın taranarak ölçülmesine yönelik merkezi idare tarafından bir düzenleme ve çalışma yapılması halinde çok büyük bir sorun çözülmüş olacaktır.

CityGML 3.0 ile kendi içinde YBM entegrasyonu için düzenlemeler yapmış olsa da yeterli düzeyde olmadığı bunun yerine YBM/CBS için ortak bir standardın olması akıllı şehirler için daha faydalı olacaktır. Buna ek olarak; standarda bağlı tek format ve iki disipline de hâkim uzmanlarla daha iyi çözümler üretilebilecektir. Aksi takdirde günümüzde olduğu gibi birbirine entegre olmayan iki farklı disiplinin yazılımlarının entegrasyonu ve iki farklı disiplinin uzmanlarının birbirini anlaması gerektiği sorunu devam edecektir. Daha fazla kişi her iki sisteme aşina veya eğitilmiş olmalıdır. Ülkemizde yetkililer; YBM-CBS entegrasyonunun avantajlarını yaygınlaştırmak ve daha fazla sektör personelini YBM ve CBS'yi incelemeye teşvik etmelidir.

Kesinlikle YBM ve CBS alanında çok daha fazla araştırma yapılması

gerekmektedir. Entegrasyona yönelik araştırmalarda öncelikle olarak tam otomatik bir iş akışı oluşturulması ve IFC ve CityGML arasındaki dönüşüm üzerinde durulması gerekmektedir. Entegrasyonun daha fazla ele alınması gereken bir diğerkısım ise iki disiplin arasındaki ortak standardizasyonlar ve adlandırmalardır. IFC'de en iyi geo-referanslamanın nasıl yapılacağı ve hem YBM hem de CBS'deki hassas taleplerin en iyi nasıl karşılanacağı gibi sorularda cevaplanması gereken diğerkonulardır. Ayrıca son olarak, entegrasyon için dönüşüm yapılırken kullanıcının da için içine dahil edilmesi gereken diğerkonudur.

4 Boyutlu (4B) model, zamanı da bir boyut olarak dahil olduğı bir 3B model olarak tanımlanmakta ve hem YBM sektöründe hemde CBS sektöründe zamansal veri yönetimi hayati öneme sahiptir. Özellikle inşaat projelerinde, projenin çeşitli aşamalarının planlanması ve işletilmesi açısından önemlidir. 4B proje yönetimi ile, 3B modellerin hem zaman hem de mekân açısından programla tutarlı olmasını sağlayacaktır. Buna ek olarak, tümevarım yaklaşımı ile binanın şehirle ilişkisi de zaman ve 3B veri ile direkt olarak ilişkilidir. Bu kapsamda, CBS-YBM entegrasyonu ve sunumunun 4B olarak yapılması akıllı şehirler için önemli bir gelişme olacaktır.

Bu tez çalışmasında, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Köyceğiz Kampüsü için bir 3B YBM-CBS modeli geliştirilmiş ve paylaşma, görüntüleme, yönetme, analiz etme ve karar verme süreçlerini desteklemek için Cesium motorunu kullanan 3B web tabanlı bir şekilde sunumu gerçekleştirilmiştir. 3B web sunumu hala gelişmekte olan ve sürecinin ilk başlarında olan bir teknolojidir. Bu yüzden özellikle kullanıcı tarafından web üzerinden düzenleme anlamında oldukça yetersiz durumdadır. Ancak yakın gelecekte bu gelişime ulaşacağı düşünülmektedir. Buna ek olarak çeşitli sensörlerle binanın donatılması durumunda; yapının sağlığı, hava kalitesi, gürültü, rüzgâr, güvenlik, navigasyon ve yoğunluk gibi birçok analiz web ortamında çok kolay bir şekilde gerçek zamanlı olarak analiz edilebilecektir.

Tüm bu gelişmelerin yanında akıllı şehirlerin, web ortamında gerçek zamanlı olarak sunulmasının çözülmesi gereken bazı sorunları da mevcuttur. Kişisel veriler, özel hukuk, telif hakları ve güvenlik gibi hukuki sebeplerle tüm verilerin sunulmasına engel olarak durmaktadır. Bu yüzden tüm teknik çalışmaları tamamladıktan sonra ayrıca idari ve hukuki olarak bazı çalışmaların da ayrıca yapılması gerekmektedir.

Bu çalışma, yaşam kalitesinin iyileştirilmesi ve günlük yaşamı kolaylaştırma hedefine ulaşmak için akıllı şehir kavramına uygun olarak YBM ve CBS teknolojilerinin kullanılması ve mevcut yapılanmanın bu teknolojileri kullanmalarını sağlayacak şekilde

iyileştirmeler yapılmasını önermektedir. Metropol şehirler; sınırlı alan, sürekli nüfus artışı ve zaten kıt olan doğal kaynakların tükenmesi gibi birçok sorunla karşı karşıya bulunmaktadır. Bütün bu problemler, uygun planlamayı ve mevcut kaynakların rasyonel kullanımını gerektirmektedir. Böylece, YBM ve CBS teknolojilerinin sunduğu entegre özellikler ve yetenekler, varlıkları ve kaynakları uygun verimlilik ve yüksek kalite ile yönetmede bu sistemleri önemli ve etkili bir rol haline getirmektedir. Kentsel hizmetler bu entegrasyon ve sunum sayesinde daha verimli olacaktır. Akıllı şehirler, zorlu ekonomik, çevresel ve sosyal koşullarının engellemelerine rağmen sürdürülebilir kalkınma ve rekabeti daha kolay ulaşabilecektir.

CBS/YBM entegrasyonu ile bir şehrin en küçük bileşeni olan bina üzerinde uzmanlaşmış ve bina üzerine oldukça ayrıntıya sahip YBM ile şehrin geneline uzmanlaşmış ve genelinde oldukça ayrıntı verip özniteliklerin kendi içerisindeki ayrıntılarla ilgilenmeyen CBS'nin entegre edilmesi ile akıllı şehir kavramı için çok önemli bir adım atılmış olacaktır. Çünkü hem binaların en ayrıntılı seviyelerine ulaşıp dijital ikizleri oluştururken hem de dünyadaki gerçek konumunda tüm şehirle entegre bir şekilde akıllı şehirler kurgulanmış olacaktır. Ayrıca teknolojik gelişmelerin önemli unsurları olan yapay zekâ ve makine öğrenme gibi disiplinlerle akıllı şehirlere yönelik oldukça analiz ve yönetime yönelik çalışmalar kolaylıkla yapılabilecektir.

KAYNAKLAR

- Abuhamra, L.A., 2015, An investigation into Building Information Modeling (BIM) application in Architecture , Engineering and Construction (AEC) industry in Gaza strip. [online], The Islamic Univeristy of Gaza, Available from: <http://library.iugaza.edu.ps/thesis/116796.pdf>.
- Ahmad, M.A., Demian, P., ve Price, A.D., 2012, Building information modelling implementation plans a comparative analysis. In: Smith, S.D (Ed) Procs 28th Annual ARCOM Conference, 3-5 September 2012. Edinburgh, UK,: Association of Researchers in Construction Management. pp. 33–42.
- Akin, O., 2010, “CAD/GIS Integration: Rationale and Challenges.” In CAD and GIS Integration, edited by Hassan A Karimi and Burcu Akıncı, 51–72. New York, NY: CRC Press.
- Akkaya, D., 2012, İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi Hakkında İnceleme, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkaya, D., Ceylan, E., Karahan, P.G., ve Başaraner, M., 2011, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Entegrasyonuna Yönelik 3B Modelleme ve Görselleştirme Uygulaması, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2011, Antalya.
- Akkoyunlu, T., 2015, Kentsel Dönüşüm Projeleri için BIM Uygulama Planı Önerisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Lisans Tezi, İstanbul.
- Al-Saggaf, A., ve Jrade, A., 2015, Benefits of integrating BIM and GIS in construction management and control. In 5th International Construction Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering (ICSC) (pp. 8-10).
- Altıntaş Demir, Y., 2020, A Method for GIS and BIM Integration to Support Automated Zoning Code Compliance Checking, Doctoral Thesis, İzmir Institute of Technology, İzmir.
- Altıntaş, C., ve Yıldız, F., 2008, Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi, Jeodezi jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2008/1, sayı 98.
- Amirebrahimi, S., Mendis, P., Rajabifard, A. ve Dug Ngo, T., 2016, A BIM-GIS integration method in support of the assessment and 3D visualisation of flood damage to a building, *Spatial Science*. https://www.researchgate.net/publication/303846566_A_BIMGIS_integration_method_in_support_of_the_assessment_and_3D_visualisation_of_flood_damage_to_a_building.
- Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P., ve Ngo, T., 2015, A data model for integrating GIS and BIM for assessment and 3D visualisation of flood damage to building. *Locate*, 15(2015), 10-12.

- Aslan, M., Cankurt, İ., Özdemir, C., Ayyıldız, E. ve Dursun, İ., 2022, Türk Arazi Yönetimine Yeni Bir Yaklaşım: Amasya Örneği. Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi, 4 (1), 34-45. DOI: 10.51765/tayod.1078011.
- Aşkın, F.H., 2009, Lazer Tarama Verileriyle 3B Obje Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Augustyn, A., 2013, Smart Cities – brand cities of the future, ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/320555578_Smart_Cities_-_brand_cities_of_the_future.
- Autodesk, Inc. 2002, Building Information Modeling, Autodesk Whitepaper. Autodesk, Inc.: San Rafael, CA, USA.
- Autodesk, Inc. 2021, What are The Benefits of BIM? Autodesk, Inc.: San Rafael, CA, USA.
- Avdan, U., Pekkan, E., ve Cömert, R., 2013, Mağara Ölçümlerinde Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanılması (Tozman Mağarası Örneği), Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı:5(2), 2013, s.16-28.
- Azhar, S., 2011, Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. Leadership and management in engineering, 11(3), 241-252.
- Badenko, V., Fedotov, A., ve Vinogradov, K. 2018a, Algorithms of laser scanner data processing for ground surface reconstruction Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 10961 LNCS, 397-411. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95165-2_28.
- Badenko, V., Zotov, D., ve Fedotov, A., 2018b, Hybrid processing of laser scanning data. E3S Web of Conferences, 33, 01047. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183301047>.
- Bai, Y., 2016, Kamu Binaları Enerji Tasarımı için YBM-CBS Entegrasyonu, British Columbia Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Vancouver.
- Bai, Y., Zadeh, P. A., Staub-French, S., ve Pottinger, R., 2017, Integrating GIS and BIM for Community-Scale Energy Modeling. In International Conference on Sustainable Infrastructure 2017 (pp. 185-196).
- Balakrishna, C., 2012, Enabling Technologies for Smart City Services and Applications, Sixth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, pp. 223–227.
- Baltsavias, E.P., 1999, Airborne laser scanning: basic relations and formulas. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54, 199–214. doi:10.1016/S0924-2716(99)00015-5.
- Banger, G., 2011, Kent Bilgi Sisteminin Esasları. Ankara: Nobel Yayınevi.

- Basharat, M., Ejaz, W., ve Ahmed, S.H., 2015, Securing cognitive radio enabled smart grid systems against cyber attacks, First International Conference on Anti-Cybercrime (ICACC) (IEEE, Piscataway, 2015), pp. 1–6.
- Bengtsson, J., ve Grönkvist, M., 2017, Performing Geographic Information System Analyses on Building Information Management Models, Master Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- Benner, J., Geiger, A., ve Leinemann, K., 2005, Flexible Generation of Semantic 3D Building Models. Proceedings of the 1st International Workshop on Next Generation 3D City Models. Journal.
- Bianco, I., Del Giudice, M., ve Zerbinatti, M., 2013, A database for the architectural heritage recovery between Italy and Switzerland. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. ISPRS Arch*, 40, 103-108.
- Biljecki, F., K. Kumar, and C. Nagel. 2018. 'CityGML Application Domain Extension (ADE): overview of developments', *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3: 13.
- Boanca, T., 2014, BIM – GIS integration for Asset Management Investigating the possibilities of integrating 3D BIM asset models in a 2D GIS Web Viewer environment, Master Thesis, Wageningen University, Wageningen.
- Bosché, F., Ahmed, M., Turkan, Y., Haas, C. T., ve Haas, R. 2015, The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components. *Automation in Construction*, 49, 201-213, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.014>.
- Byun, Y., ve Sohn B., 2020, ABGS: A System for the Automatic Generation of Building Information Models from Two-Dimensional CAD Drawings. *Journal of Sustainability*, Sustainability 2020, 12, 6713, <https://doi.org/10.3390/su12176713>.
- Cesium, 2017, The Next Generation of 3D Tiles, <https://cesium.com/blog/2017/07/12/the-nextgeneration-of-3d-tiles/>, [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Chen, L. ve Luo, H., 2014, A BIM-based construction quality management model and its applications. *Automation in Construction* [online]. 46, pp. 64–73, Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.009>.
- Choi, B.K., Barash, M.M., ve Anderson, D.C., 1984, Automatic recognition of machined surfaces from a 3D solid model. *Computer-Aided Design*, 16 (2), pp. 81–86.
- Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J.R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T.A., ve Scholl, H.J., 2012, Understanding smart cities: An integrative framework. In *Proceedings of the 2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences*, Maui, HI, USA.
- CIFE, 2007, CIFE Technical Reports, <http://cife.stanford.edu/Publications/index.html>.

- Crotty, R., 2012, The Impact of Building Information Modelling: Transforming construction, Spon Press, ISBN: 978-0-415-60167-2, London.
- Demirel, H., 2003, Dengeleme Hesabı, YTÜ.İN.DK-03.0703, İN.JFM-2003.003, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayım Merkezi, İstanbul.
- Deng, Y., Cheng, J. C., ve Anumba, C., 2016, A framework for 3D traffic noise mapping using data from BIM and GIS integration. Structure and Infrastructure Engineering, 12(10), 1267-1280.
- Denzer, A.S. ve Hedges, K.E., 2008, From CAD to BIM: Educational strategies for the coming paradigm shift.
- Deshpande, J. 2017, Geographical Information System & Building Information Modelling, Powerpoint Sunumu, http://geo-bim.org/middle-east/pdf/Jitendra_Deshpande.pdf [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Dewez, T. J. B., Yart, S., Thuon, Y., Pannet, P., ve Plat, E., 2017, Towards cavity-collapse hazard maps with Zeb-Revo handheld laser scanner point clouds, The Photogrammetric Record, 32(160), 354-376 <https://doi.org/10.1111/phor.12223>.
- DJI, 2020, Dji Phantom 4 RTK technical specifications retrieved from <https://www.dji.com/phantom-4-rtk/info>, [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Doğru, A. Ö., ve Seker, D. Z., 2009. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde 3B Kent Modelleme Olanaklarının İrdelenmesi, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Kasım, İzmir, 1-8.
- Donkers, S., Ledoux, H., Zhao, J. ve Stoter, J., 2015, Automatic conversion of IFC datasets to geometrically and semantically correct CityGML LOD3 buildings. Transactions in GIS, 20(4):547-569, https://3d.bk.tudelft.nl/hledoux/pdfs/16_tgis_ifcitygml.pdf [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Döllner, J., ve Buchholz, H., 2005, Continuous Level of Detail Modeling Of Buildings in 3D City Models, Proceedings Of ACM GIS 2005, 4 - 5 November 2005, s.173-181. Bremen, Germany.
- Döllner, J., Kolbe, T. H., Liecke, F., Sgouros, T. ve Teichmann, K., 2006, The Virtual 3D City Model of Berlin- Managing, Integrating, and Communicating Complex Urban Information, Proceedings of the 25th Urban Data Management Symposium, May, Aalborg, 15-27.
- Dünya Bankası, 2020, Dünya Kentleşme Beklentileri Raporu, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?contextual=default>.
- Eastman, C., 1974, An Outline of the Building Description System. Research Report No. 50.
- Eisenbeiss, H., 2009, UAV Photogrammetry. ETH Zurich for the degree of Doctor of Science, ISSN 0252-9335, ISBN: 978-3-906467-86-3.

- Ejaz, W., Naeem, M., Shahid, A., Anpalagan, A., ve Jo, M., 2017, Efficient energy management for the Internet of Things in smart cities. *IEEE Commun. Mag.* 55(1), 84–91.
- Ejaz, W., ve Anpalagan, A., 2018, Internet of Things for Smart Cities, SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-95037-2>.
- Elhendawi, A., Smith, A., ve Elbeltagi, E., 2019, Methodology for BIM implementation in the Kingdom of Saudi Arabia *International Journal of BIM and Engineering Science*, 2 (1), pp. 0–21.
- El-Makawy, M., Östaman, A. ve Hijazi, I., 2012, An Evaluation of IFC-CityGML Unidirectional Conversion, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 3, No 5, http://thesai.org/Downloads/Volume3No5/Paper_25-An_Evaluation_of_IFC_CityGML_Unidirectional_Conversion.pdf [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- El-Mekawy, M, ve Östman, A., 2010, “Semantic Mapping: An Ontology Engineering Method for Integrating Building Models in IFC and CITYGML.” In *Proceedings of the 3rd ISDE Digital Earth Summit*. Nessebar, Bulgaria.
- El-Mekawy, M., 2010, Integrating BIM and GIS for 3D City Modelling - The Case of IFC and CityGML, Licentiate Thesis, Geoinformatics Division, Department of Urban Planning and Environment, Royal Institute of Technology (KTH). <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:390653/FULLTEXT02.pdf> [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Emem, O., 2002, 3 Boyutlu Kent Modelleme, Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Emem, O., Batuk, F. ve Ayazlı, İ. E., 2008. UKVA Kapsamında UVDF-GML Tasarımı, *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2, 99.
- Ergun, B., 2010, Üç Boyutlu Şehir Modellerinin Veri Yapısı ve Kullanım Özellikleri, 3. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu, Kocaeli.
- Eşme, T., 2018, Delivering Smart City Experience,” *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/322420690_Delivering_Smart_City_Experience.
- Fadli, F., Barki, H., Boguslawski, P. ve Mahdjoubi, L., 2015, 3D scene capture: a comprehensive review of techniques and tools for efficient Life Cycle Analysis (LCA) and Emergency Preparedness (EP) applications. *proceedings of the International Conference on Building InformationModelling (BIM) in Design, Constructions and Operations*, <https://doi.org/10.2495/BIM150081>.
- Fard, J., Z., 2009, "3D City Modeling", *Digital Image Processing CSI 8810 The Univerity of Georgia*.

- Fazli, A., Fathi, S., Enferadi, M., Fazli, M., Fathi, B., 2014, Appraising effectiveness of Building Information Management (BIM) in project management, *Science Direct, Procedia Technology* 16 (2014) 1116 – 1125.
- Forbes, L. H., ve Ahmed, S. M., 2011, *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*, CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC, 203-225.
- Fosu, R., Suprabhas, K., Rathore, Z., ve Cory, C., 2015, Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS) – a literature review and future needs, *Proc. of the 32nd CIB W78 Conference 2015*, 27th-29th October 2015, Eindhoven, The Netherlands. pp. 196–204.
- Geiger, A., Benner, J., ve Heinz Haefele, K., 2015, Generalization of 3D IFC Building Models. Springer International Publishing Switzerland 2015 M. Breunig et al. (eds.), *3D Geoinformation Science, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, DOI 10.1007/978-3-319-12181-9_2 [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Geo-SLAM, 2019, Zeb-Revo, <http://geoslam.com/hardware-products/zeb-revo/>, [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Gezmiş, Ö., 2017, Yersel Ölçüm ve Fotogrametrik Alım Yöntemi ile Yapılan Halihazır Haritaların Kıyaslanması, İller Bankası Anonim Şirketi, Uzmanlık Tezi, Ankara.
- Grabowski, R., 2010, CAD & BIM: Is There A Free Pass? A Report on GRAPHISOFT ArchiCADs DWG Workflow, Technical report, ArchiCAD.
- Gröger, G., Kolbe, T., ve Plümer, L., 2005, CityGML- Interoperable Access to 3D City Models. *Proceedings of the International Symposium on Geo-information for Disaster Management*.
- Gümüş, K., 2008, Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Henderson, K., 1994, The visual culture of engineers. *The Sociological Review*, 42 (1), pp. 196–218.
- Hjelseth, E., ve Thiis, T. K., 2008, Use of BIM and GIS to enable climatic adaptations of buildings. *Ework and Ebusiness in Architecture, Engineering and Construction*; Christodoulou, S., Scherer, R., Eds, 409-417.
- Huovila, A., Bosch, P., ve Airaksinen, M., 2019, Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when?, *Cities*, vol. 89, pp. 141–153.
- Irizarry, J., Karan, E. P., ve Jalaei, F., 2013, Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Automation in construction*, 31, 241-254.
- Isikdag, U. ve Zlatanova, S., 2009, “Towards defining a framework for automatic generation of buildings in CityGML using Building Information Models”. In: Lee, J. and

Zlatanova, S. (eds.) 3D Geo-Information Sciences, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer: Berlin, 79-96.

Işıkdag, Ü., Underwood, J., Aouad, G., ve Trodd, N., 2007, Investigating the role of building information models as a part of an integrated data layer: A fire response management case. *Architectural Engineering and Design Management*, 3(2), 124-142.

Işıkdag, Ü., Underwood, J., ve Aouad, G., 2008, An investigation into the applicability of building information models in geospatial environment in support of site selection and fire response management processes. *Advanced engineering informatics*, 22(4), 504-519.

Işıkdag, Ü., Zlatanova, S., ve Underwood, J., 2013, A BIM-Oriented Model for supporting indoor navigation requirements. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, pp.112-123.

İTÜ, İnşaat Fakültesi Fotogrametri ABD, 2001, Fotogrametri Arazi Çalışması Kitapçığı, İstanbul.

Kalkınma Bakanlığı, 2013, Bilgi Toplumu Stratejisinin Yenilenmesi Projesi, Ankara, Şubat.

Karagöz, Ö., 2008, Modern Kartografik Yönelimlerde Raster Vektör Dönüşüm Algoritmaları ve Örnek Uygulaması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya.

Karasaka, L., ve Beg, A.A.R., 2021, Yersel lazer tarama yöntemi ile farklı geometrik yapıdaki özelliklerin modellenmesi, *Geomatik Dergisi*, 2021; 6(1); 54-60.

Karimi, H. A., ve Akinci, B., 2010, CAD and GIS Integration, Taylor & Francis Group (CRC Press).

Koç, S., Taşdemir, İ., ve Dinç, O., 2015, Mobil Haritalama Yöntemi ile Panorama İstanbul Projesi, TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, Konya.

Kolbe, T. H., Gröger, G. ve Plümer, L., 2005. CityGML – Interoperable Access to 3D City Models, *Proceedings of the Int. Symposium on Geo-information for Disaster Management*, Delft, March, 21-23.

Kolbe, T.H., 2009, Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML, 3rd International Workshop on 3D Geo-Information, Seoul, Korea.

Kurwi, S., 2019, Integrating BIM and GIS for design collaboration in railway projects, Doctoral Thesis, Loughborough University.

Kymmell, W. (2008) “Building Information Modeling”, *Building Information Modeling Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*, The McGraw-Hill Companies, USA, 4-122.

L. Iliadis, L., Papadopoulos, H., ve Jayne, C., 2013, *Engineering Applications of Neural Networks Part 2*, Springer, Cham.

- Larsson, A., 2015, Samredovisning av BIM- och GIS-data. H2 – Master's Degree, Lunds Universitet, <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8080672> [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Lea R., 2017, Smart Cities: An Overview of the Technology Trends Driving Smart Cities, IEEE trend paper. <https://www.ieee.org/content/dam/ieee-org/ieee/web/org/about/corporate/ieee-industry-advisory-board/ieee-smart-cities-trend-paper-2017.pdf>.
- Linderöth, H.C.J., 2010, Understanding adoption and use of BIM as the creation of actor networks. *Automation in Construction*, 19 (1), pp. 66–72.
- Lithén, T., Persson, C.G., 2016, I gränslandet BIM-GIS- Geodesi, Technical Report, Lantmäteriet, Östersund, https://www.lantmateriet.se/globalassets/om-lantmateriet/var-samverkan-med-andra/hmk/tekniska-rapporter/hmk-tr_2016_4.pdf [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Liu X., 2008, Airborne LIDAR for DTM generation: Some critical issues, *Progress in Physical Geography*, 32 (1), 31-49.
- Liu, R., ve Issa, R., R., 2012, 3D visualization of sub-surface pipelines in connection with the building utilities: integrating GIS and BIM for facility management. *Congress on Computing in Civil Engineering, Proceedings 2012*, Pages 341-348.
- Liu, R., ve Zhong, Y., 2021, Sustainable Building Information Management, Master Thesis, Jönköping University, Jönköping, Sweden.
- Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J. C., Li, X. ve Liu, R., 2017, A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(2), 53.
- Lu, Y., 2017, Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, 83: 134-148.
- Lü, G., Batty, M., Strobl, J., Lin, H., Zhu, A. X., ve Chen, M., 2019, Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective. *International journal of geographical information science*, 33(2), 346-367.
- Mao, B., 2011. Visualisation and Generalisation of 3D City Models, Doctoral Thesis, K.T.H., Stockholm.
- Mao, W., Zhu, Y., ve Ahmad, I., 2007, Applying metadata models to unstructured content of construction documents: A view-based approach. *Automation in Construction*, 16 (2), pp. 242–252.
- Metin, A., 2016, Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi Kavramı İnce Minareli Medrese (Konya) Örneği, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Mumcuoğlu, G., 2017, Ulusal Kent Bilgi Sistemi Model Önerisi: Ankara Gölbaşı Belediyesi Örneği, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

- NBIMS, 2006, National BIM Standard Purpose, US National Institute of Building Sciences/Facilities Information Council, BIM Committee,
- NBIMS, 2007, National Building Information Modelling Standard. Washington: National Institute of Building Science.
- NBS, 2017, What is Building Information Modelling (BIM)? RIBA Enterprises Ltd [online]. Available from: <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-buildinginformation-modelling-bim>.
- Nie, S., 2019, 3D BIM-GIS for underground network management, Master Thesis, University of Twente, Enschede, Netherlands.
- Nisbet, N., ve Dinesen, B., 2010, Constructing the business case: Building information modelling, London: British Standards Institution.
- Noardo, F., Ohori, A., Biljecki, F., Krijnen, T., Ellul, C., Harrie, L., ve Stoter, J., 2019, 'GEOBIM Benchmark 2019: Design and Initial Results', Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W13: 1339-46.
- Nofera, W. ve Korkmaz, S., 2010, Design Process Integration for Sustainable, High Performance Buildings. Engineering Project Organizations Conference (EPOC) South Lake Tahoe, CA.
- Ofluoğlu, S., 2009, Yapı Bilgi Modelleme: Yeni Nesil Mimari Yazılımlar, Mimar Sinan Üniversitesi, Enformatik Bölümü.
- Ofluoğlu, S., 2012, Yapı Bilgi Modelleme: Yeni Nesil Mimari Yazılımlar, <http://www.sayisalmimar.com/yayin/ybm.pdf> [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- OGC 12-019, (2012). City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, OGC.
- Ohori, A., Abdoulaye, D., Krijnen, T., Ledoux, H., Stoter, J., 2018, Uygulamada YBM ve CBS Modellerinin İşlenmesi - Hollanda'da Bir GeoBIM Projesinden Deneyimler ve Öneriler, Delft University of Technology, ISPRS International Journal of Geo-Information Dergisi.
- Ohori, A., Biljecki, F., Diakit , A., Krijnen, T., Ledoux, H., ve Stoter, J., 2017, 'Towards an Integration of GIS and BIM Data: What are The Geometric And Topological Issues?', ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., IV-4/W5: 1-8.
- Ohori, K.A., Diakt , A., Krijnen, T., Ledoux, H., ve Stoter, J., 2018, Processing BIM and GIS Models in Practice : Experiences and Recommendations from a GeoBIM Project in The Netherlands, International Journal of Geo-Information.
- Olsson, E., 2009, Exporting 3D Geoinformation from Baggis Database to CityGML, Royal Institute of Technology (KTH), Division of Geoinformatics, Master's of Science Thesis in Geoinformatics, Stockholm.

- Olsson, P., Axelsson, J., Hooper, M., ve Harrie, L., 2018, 'Automation of Building Permission by Integration of BIM and Geospatial Data', *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 7.
- P. Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., ve Lytle, A., 2010, Automatic reconstruction of asbuilt building information models from laser-scanned point clouds: a review of related techniques, *Autom. Constr.* 19 (2010) 829–843, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007>.
- Pärn, E.A., Edwards, D J., ve Sing, M.C.P., 2017, The building information modelling trajectory in facilities management: A review. *Automation in Construction*, 75, 45-55, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.12.003>.
- Pellicer, S., Santa, G., Bleda, A.L., Maestre, R., Jara, A.J., ve Skarmeta, A.G., 2013, A global perspective of smart cities: a survey, *Seventh International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS)* (IEEE, Piscataway, 2013), pp. 439–444.
- Przybyla, J., 2010, Introduction to BIM-GIS Integration, BuildingSMARTalliance. [Powerpoint presentation] http://projects.buildingsmartalliance.org/files/?artifact_id=3592 [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Rai, H., 2020, Use of BIM in Development of Smart Cities: A Review. *IOP Conference Series.*, 955(1).
- RIBA Enterprises LTD ve NBS, 2016, Uniclass 2015 - a universalclassification system for the construction industry.
- Richards, M., 2010, Building information management: a standard framework and guide to BS 1192. London: British Standards Institution.
- Rottensteiner, F., 2003, Automatic generation of high-quality building models from LIDAR data. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 23 (6), 42–51.
- Sackey, E., 2014, Institutional Repository A Sociotechnical Systems Analysis of Building Information Modelling (STSaBIM) Implementation in Construction Organisations, Loughborough University.
- Safe, 2015, BIM to GIS (Advanced) | IFC LOD 200 to LOD 3 CityGML, Knowledge Centre, <https://knowledge.safe.com/articles/1024/bim-to-gis-advanced-ifc-lod-200-to-lod-3-citygml.html> [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Safe, 2020, BIM to GIS (Intermediate) | IFC LOD 300 to LOD 4 CityGML, Knowledge Centre, <https://community.safe.com/s/article/bim-to-gis-intermediate-ifc-lod-300-to-lod-4-cityg>, [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Sammartano, G., ve Spanò, A., 2018, Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: accuracy and geometric content validation in multisensor survey and stand-alone acquisition, *Applied Geomatics*, <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0221-7>.

- Shi, W., Yang, B., ve Li, Q., 2003, An object-oriented data model for complex objects in three-dimensional geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(5), 411-430.
- Stiller, B., Bocek, T., Hecht, F., Machado, G., Racz, P., ve Waldburger, M., 2012, A new economic analysis of infrastructure investment, Department of Treasury with the Council of Economic Advisers. Technical Report.
- Sun, J., 2019, The Integration of 3D Geodata and BIM Data in 3D City Models and 3D Cadastre, Master Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- Şahin, C., 2011, Taksim Cumhuriyet Meydanı Örneğinde Fotogrametri ve Lazer Tarama Verileriyle Bütünleşik 3B Kent Modeli Üretimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Şanlıoğlu İ., Zeybek M., ve Karauğuz G. 2013, Photogrammetric Survey and 3D Modeling of Ivriz Rock Relief in Late Hittite Era, *International Journal of Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 13, No 2.
- T. M. Vinod Kumar T., ve Dahiya B., 2016, Smart Economy in Smart Cities, ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/306924920_Smart_Economy_in_Smart_Cities.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2019, Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı, Erişim Adresi: <https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf>.
- Tobias, P., 2015, An Investigation into the Possibilities of BIM and GIS Cooperation and Utilization of GIS in the BIM Process. *Geoinformatics FCE CTU*. 14 (1), p. 65.
- Tomlinson, R., 1968, A geographic information system for regional planning. *J. Geogr.* 1969, 78, 45–48.
- Türkiye Bilimler Akademisi Ulusal Açık Ders Malzemeleri, 2011, Uzaktan Algılamaya Giriş Ders Notu, <https://acikders.tuba.gov.tr/mod/resource/view.php?id=369>.
- Türkiye Bilimler Akademisi Ulusal Açık Ders Malzemeleri, 2011a, Görüntü Analizi Ders Notu, <https://acikders.tuba.gov.tr/mod/resource/view.php?id=375>.
- Underwood, J., ve Isıkdağ, U., 2010, Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies, IGI Global, USA.
- URL-1: <https://unece.org/housing/sustainable-smart-cities#:~:text=A%20smart%20sustainable%20city%20is,as%20well%20as%20cultural%20aspect>. [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- URL-2: https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].7
- URL-3: <https://www.ktu.edu.tr/gislab-cbsbilesenleri> [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].

- URL-4: <https://www.linkedin.com/pulse/say%C4%B1sal-y%C3%BCkseklik-modelleri-symdsm-sam-dtm-bu%C4%9F%C3%A7e-g%C3%B6k%C3%A7e/?originalSubdomain=tr> [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- URL-5: <https://cbsakademi.ibb.istanbul/3b-kent-modeli-lod-seviyeleri/> [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- URL-6: <https://www.geospatalworld.net/blogs/bm-smart-ctes/> [Ziyaret Tarihi: 13 Haziran 2018].
- URL-7: <https://bimforum.org/lod/> [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- URL-8: <https://cesium.com/platform/cesiumjs/>. [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- URL-9: <https://vc.systems/en/solutions/3d-city-models/>. [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- URL-10: <https://cpe.leica-geosystems.com/tr/blog/post/what-is-a-total-station-how-it-works.html>. [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2022].
- Van Nederveen, G.A. ve Tolman, F.P., 1992, Automation in Construction: Modelling multiple views on buildings, Automation in Construction. 1, pp. 215–224.
- Volk, R., Stengel, J., ve Schultmann, F., 2014, Building Information Modeling (BIM) for existing buildings- Literature review and future needs, Automation in Construction 38 (2014) 109–127.
- Wang, H., Pan, Y., ve LUO, X., 2019, Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis. Automation in Construction. 103 (February), pp. 41–52.
- Wang, H., Pana, Y., ve Luo, X., 2019, Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis. Automation in Construction, Volume 103, July 2019, Pages 41-52.
- Wyszomirski, M., ve Gotlib, D., 2020, A Unified Database Solution to Process BIM and GIS Data. Applied Sciences, 10(23), 8518.
- Yaşayan, A., Uysal, M., Varlık, A. ve Avdan, U., 2011, Fotogrametri Ders Kitabı, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi, 2011, Eskişehir.
- Yıldırım, V., 2012, Kent Bilgi Sistemleri Kitabı, İstanbul Üniversitesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri Önlisans Programı, İstanbul.
- Yılmaz, M., Uysal, ve M., Yılmaz, İ., 2015, Hava LIDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması, 5. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, MMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara.
- Yomralıoğlu, T., 1999, Kent Bilgisi ve Organizasyonu, Yerel Yönetimlerde Kent Bilgi Sistemi Uygulamaları Sempozyum Bildirileri, Trabzon, 1-12.

- Yomralıoğlu, T., 2000, Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, İstanbul, 55-58.
- Yomralıoğlu, T., 2006, Türkiye’de Belediyelerin KBS/CBS Uygulamalarına Genel Bakış. Yapı ve Kentte Bilişim Kongresi, 8-9 Haziran, 173-180, Ankara.
- Yujie, L., Wu, Z., Chang R., ve Li, Y., 2017, Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, 83: 134-148, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092658051730095X>.
- Yücel, M.A., 2009, Farklı Ayrıntı Düzeylerinde Üç Boyutlu Kent Modelleme ve Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Yücel, M.A., Selçuk, M., 2009, Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi (LoD) Kavramı, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi 2009/2 Sayı 101.
- Zanni, M.A., 2016, Communication of sustainability information and assessment within BIM-enabled collaborative environment. [online], p. 560. Available from: <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/24680>.
- Zhang, X., Arayıcı, Y., Wu, S., Abbott, C., ve Aouad, G., 2009, Integrating BIM and GIS for large scale (building) asset management : a critical review. In: R.C.B. B.H.V. TOPPING, L.F. COSTA NEVES, ed. *Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*. Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK. pp. 1–15.
- Zhang, X., Arayici, Y., Wu, S., Abbott, C., ve Aouad, G., 2009, Integrating building information modelling and geographic information systems for large-scale facilities asset management: A critical review, In: B.H.V. Topping, L.F. Costa Neves, R.C. Barros (Eds.), *Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK.
- Zhu, J., Wright, G., Wang, J., ve Wang, X., 2018, A critical review of the integration of geographic information system and building information modelling at the data level. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(2), 66.
- Zverovich, V., Mahdjoubi, L., Boguslawski, P., Fadli, F., ve Barki, H., 2016, Emergency response in complex buildings: automated selection of safest and balanced routes. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 31(8), 617-632.