

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MEKÂNSAL DİJİTAL İKİZLERE YÖNELİK YAPI MODELİ ÜRETİMİNDE
PROSEDÜREL MODELLEME YÖNTEMİNİN TASARIMI VE
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Güçlü ŞENYURDUSEV

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

EKİM 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MEKÂNSAL DİJİTAL İKİZLERE YÖNELİK YAPI MODELİ ÜRETİMİNDE
PROSEDÜREL MODELLEME YÖNTEMİNİN TASARIMI VE
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Güçlü ŞENYURDUSEV
(501172617)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU

EKİM 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF PROCEDURAL MODELING METHOD IN
GENERATING STRUCTURE MODELS FOR SPATIAL DIGITAL TWINS**

PhD THESIS

**Güçlü ŞENYURDUSEV
(501172617)**

Department of Geomatics Engineering

Geomatics Engineering Programme

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU

OCTOBER 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501172617 numaralı Doktora Öğrencisi Güçlü ŞENYURDUSEV, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MEKÂNSAL DİJİTAL İKİZLERE YÖNELİK YAPI MODELİ ÜRETİMİNDE PROSEDÜREL MODELLEME YÖNTEMİNİN TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Caner GÜNEY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ümit IŞIKDAĞ
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Prof. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Melih BAŞARANER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 24 Mayıs 2024
Savunma Tarihi : 23 Ekim 2024





Eşime ve kedilerimize,



ÖNSÖZ

Öncelikle, bu tez çalışmasını tamamlamış olmaktan dolayı büyük bir mutluluk duyuyorum. Tez çalışmam süresince bana verdiği destek, motivasyon ve yol göstericilik için öncelikle Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU'ya teşekkür ederim. Onun bilgi ve birikimi sayesinde tezimde doğru yönlendirmeler ve değerli öneriler aldım. Her daim sabırla beni destekledi ve üzerimdeki güveni hissetmek beni motive etti. Onun rehberliğinde bu tez çalışmasını tamamlamak benim için büyük bir onur ve mutluluktur. Emekleri için kendisine içtenlikle teşekkürü bir borç bilirim.

Yine tez izleme komitesinde yer alan ve doktora tezi kapsamındaki çalışmalarına her zaman olumlu yanıt vererek çalışmalarına destek olan değerli hocam Doç. Dr. Caner GÜNEY'e de teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme komitesinin bir diğer değerli üyesi olan Prof. Dr. Ümit IŞIKDAĞ'a da çalışmalarım sırasındaki değerli görüş, öneri ve katkıları için çok teşekkür ederim.

Yükseköğretim Kurulu'na doktora tez çalışmam sürecinde verdiği destek ve sağladığı doktora bursu için içtenlikle teşekkür etmek isterim. Bu destek sayesinde bilimsel çalışmalarımı sürdürme imkânı buldum ve doktora eğitimimde daha verimli bir şekilde ilerleyebildim. YÖK'ün bana sağladığı bu destek, akademik kariyerimde önemli bir adım olmuştur. YÖK'ün değerli katkıları sayesinde bilimsel çalışmalarında başarıya ulaşabilmek için büyük bir ilham kaynağı oldunuz. Bu desteklerinizin her zaman farkında olarak, hayatım boyunca minnettarlıkla hatırlayacağım.

Tez çalışmam için gereken verilerin temini ve sağladıkları destek için İSKİ'ye içten bir teşekkürü borç bilirim. Kibar ve profesyonel yaklaşımlarıyla çalışmalarımı kolaylaştırdılar ve bana gereken her türlü desteği verdiler. Verilerin sağlanması, bilgi edinme süreçlerinde yaptıkları yardımlar sayesinde tez çalışmamın başarılı bir şekilde tamamlanmasını sağladılar. Sektördeki önemli yeri ve çalışmalarındaki titizlik, benim için önemli bir deneyimdi.

Ayrıca doktora sırasında bana her türlü destek olan İTÜ Geomatik Mühendisliği Doktora Programı'ndaki diğer çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Bu tez çalışması sırasında karşılaştığım zorluklara rağmen sabırla ve azimle çalışmaya devam ettim. Bu süreçte bana en büyük desteği sunan değerli eşime, aileme ve tüm sevdiklerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın sonuçlarının bilimsel çalışmalara ve literatüre yeni bir boyut kazandıracağını umuyor, araştırmalarımın bu alanındaki diğer çalışmalara da katkı sağlayacağını düşünüyorum.

Mayıs 2024

Güçlü ŞENYURDUSEV
(Jeodezi ve Fotogrametri Yük. Müh.)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı	3
1.2 Çalışmanın Amacı	10
1.3 Metodoloji	11
1.4 Literatür Araştırması	17
1.4.1.1 Mekânsal verilerin 3B olarak görselleştirmesi	17
1.4.1.2 Mekânsal verilerin 3B analiz ve simülasyonları	19
1.4.1.3 Mekânsal verilerin 3B ve algısal olarak deneyimlenmesi	26
2. GENEL BİLGİLER: TEMEL TANIM VE KAVRAMLAR	35
2.1 3B Kent Modeli Kavramı	35
2.2 3B Kent Modeli Üretiminde Kullanılan Veriler	35
2.2.1 Yersel ölçüm verileri	37
2.2.1.1 Geleneksel ölçme yöntemleri	37
2.2.1.2 GNSS ölçümleri	37
2.2.2 Uzaktan algılama verileri	38
2.2.2.1 Fotogrametri	38
2.2.2.2 LiDAR	41
2.2.2.3 SAR	42
2.2.3 Bilgisayar destekli çizim ve tasarım verileri	43
2.2.3.1 CAD çizimlerinin entegrasyonu	43
2.2.3.2 3B mimari modellerin entegrasyonu	44
2.2.3.3 BIM modellerinin entegrasyonu	45
2.2.4 Prosedürel modelleme ile üretilen veriler	46
2.2.4.1 3B kütle modeller	46
2.2.4.2 Detaylı prosedürel modelleme algoritmaları	47
2.3 Dijital İkiz Kavramı	48
2.4 Mekânsal Veri Modelleri ve Standartlar	50
2.4.1 CityGML	51
2.4.1.1 Temel bilgiler	51
2.4.1.2 Detay seviyeleri	52
2.4.1.3 ADE eklentileri	53
2.4.2 Diğer bazı mekânsal veri standartları	54

2.4.2.1 CityJSON	54
2.4.2.2 3DTiles	54
2.4.2.3 I3S	55
2.4.2.4 LADM	56
2.4.2.5 LandInfra	56
2.4.2.6 IndoorGML	57
2.4.2.7 INSPIRE Building bina teması	58
2.4.2.8 BIM ve IFC	58
2.4.2.9 TUCBS	59
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR	61
3.1 CBS Temelli Prosedürel Yöntem Kullanılan Dijital İkiz Uygulamaları	61
3.1.1 Açık verilerden 3B kent modeli üretilmesi	62
3.1.1.1 Materyal ve yöntem	62
3.1.1.2 Çalışma alanı	65
3.1.1.3 3B kent modeli oluşturulması	67
3.1.1.4 Sonuçlar	68
3.1.2 LOD2 detay seviyeli 3B kent modeli üretilmesi	70
3.1.2.1 Materyal ve yöntem	71
3.1.2.2 Çalışma alanı	72
3.1.2.3 3B kent modeli oluşturulması	73
3.1.2.4 Sonuçlar	77
3.1.3 Altyapı verilerinin 3B modellerinin üretilmesi	78
3.1.3.1 Materyal ve yöntem	79
3.1.3.2 Çalışma alanı	80
3.1.3.3 Altyapı hatlarının 3B dijital ikizinin oluşturulması	82
3.1.3.4 Sonuçlar	84
3.1.4 Tarihi çeşmelerin LOD3 detay seviyeli modellerinin üretimi	86
3.1.4.1 Materyal ve yöntem	87
3.1.4.2 Tarihi çeşmeler için detay seviyelerinin tanımlanması	89
3.1.4.3 Tarihi çeşme türlerinin belirlenmesi	89
3.1.4.4 Tarihi çeşmeler veri modelinin oluşturulması	90
3.1.4.5 Tarihi duvar çeşmelerinin 3B modellerinin oluşturulması	101
3.1.4.6 Sonuçlar	104
3.1.4.7 TUCBS entegrasyonu	105
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	109
4.1 Literatür Taraması Sonuçlarının Değerlendirilmesi	109
4.1.1 3B kent modeli kullanım alanları	111
4.1.2 Literatürdeki çalışmaların amacı	115
4.1.3 Literatürdeki 3B kent modeli üretim teknolojileri	119
4.1.4 Literatürdeki çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemleri	120
4.1.5 Literatürdeki çalışmalarda kullanılan çözüm teknolojileri	126
4.2 Vaka Çalışmalarının Değerlendirilmesi	133
4.2.1 Açık veriler ile 3B kent modeli oluşturulması	133
4.2.2 LOD2 detay seviyeli 3B kent modeli oluşturulması	134
4.2.3 Altyapı hatlarının 3B dijital ikizinin oluşturulması	135
4.2.4 LOD3 detay seviyeli tarihi çeşme modellerinin oluşturulması	136
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	139
5.1 Sonuçların Değerlendirilmesi	139
5.2 Öneriler	142
5.3 Gelecek Çalışmaları	144

KAYNAKLAR	147
EKLER	165
ÖZGEÇMİŞ.....	169





KISALTMALAR

2B	: İki Boyutlu
3B	: Üç Boyutlu
4B	: Dört Boyutlu
ADE	: Application Domain Extensions
AEC	: Architecture, Engineering & Construction / Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat
ALS	: Airborne Laser Scanning / Hava Lazer Tarama
BIM	: Building Information Modelling / Yapı Bilgi Modellemesi
CAD	: Computer Aided Design / Bilgisayar Destekli Tasarım
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CGA	: Computer Graphics Architecture
CityGML	: City Geography Markup Language
DEM	: Digital Elevation Model / Sayısal Yükseklik Modeli
DSM	: Digital Surface Model / Sayısal Yüzey Modeli
ESRI	: Environmental Systems Research Institute
GIS	: Geographic Information Systems / Coğrafi Bilgi Sistemleri
GNSS	: Global Navigation Satellite System / Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GML	: Geography Markup Language / Coğrafya İşaretleme Dili
GSD	: Ground Sample Distance / Yersel Örneklem Aralığı
IFC	: Industry Foundation Classes
INSPIRE	: Infrastructure for Spatial Information in Europe / Avrupa Coğrafi Veri Altyapısı
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İGDAŞ	: İstanbul Gaz ve Doğalgaz Dağıtım A.Ş.
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
JSON	: JavaScript Object Notation
LAS	: LiDAR Aerial Survey
LiDAR	: Light Detecting And Ranging
LOD	: Level of Detail / Detay Seviyesi

NGA	: National Geospatial-Intelligence Agency / Ulusal Mekânsal Zekâ Ajansı
OGC	: Open Geospatial Consortium
OSM	: OpenStreetMap
SAR	: Synthetic Aperture Radar / Sentetik Açıklıklı Radar
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
TIN	: Triangulated Irregular Network / Düzensiz Üçgen Ağı
TUCBS	: Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi
UML	: Unified Modelling Language
UNCITRAL	: Birleşmiş Milletler Uluslararası Ticaret Hukuku Komisyonu
VGI	: Volunteered Geographic Information
WFS	: Web Feature Service
WMS	: Web Map Service
XML	: Extensible Markup Language

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : 3B kent modeli üretiminde kullanılan veriler.....	62
Çizelge 3.2 : 3B kent modeli üretiminde kullanılan veriler.....	66
Çizelge 3.3 : Prosedürel modelleme için harcanan süre bilgileri.	67
Çizelge 3.4 : Prosedürel üretiminde kullanılan öznitelik verileri.	74
Çizelge 3.5 : Prosedürel modelleme için harcanan süre bilgileri.	76
Çizelge 3.6 : İSKİ altyapı hatların adet ve metrajları.	81
Çizelge 3.7 : İSKİ tarafından depolanan yapı verilerinin adetleri.	82
Çizelge 3.8 : Prosedürel modelleme için harcanan süre bilgileri.	85
Çizelge 3.9 : Temel bileşenler ve alt formlar.	97
Çizelge 3.10 : Prosedürel modelleme için harcanan süre bilgileri.	102
Çizelge 3.11 : Prosedürel modellemede kullanılan ölçüm değerleri.	103
Çizelge 3.12 : Kullanılan ölçüm değerlerinin ortalama hatası	104
Çizelge 4.1 : Literatürdeki çalışmalarda 3B kent modeli kullanım alanları.	113
Çizelge 4.2 : Literatürdeki çalışmalarda depolama alanları.	126
Çizelge 4.3 : Literatürdeki çalışmalarda veri standartları.....	127
Çizelge 4.4 : Literatürdeki çalışmalarda veri formatları.....	127
Çizelge 4.5 : Literatürdeki çalışmalarda web altyapıları.	128
Çizelge 4.6 : Literatürdeki çalışmalarda oyun motorları.	129
Çizelge 4.7 : Literatürdeki çalışmalarda açık kaynak çözüm ürünleri.	130
Çizelge 4.8 : Literatürdeki çalışmalarda ticari çözüm ürünleri.	131
Çizelge 4.9 : Literatürdeki çalışmalarda akademik çözüm ürünleri.	132



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : CBS temelli prosedürel yöntem üretim altyapısı.....	12
Şekil 1.2 : Yapı sınıfı ve alt obje sınıfları.....	13
Şekil 1.3 : Vejetasyon sınıfı ve alt obje sınıfları.....	14
Şekil 1.4 : Kent mobilyası sınıfı ve alt obje sınıfları.....	15
Şekil 1.5 : Altyapı sınıfı ve alt obje sınıfları.....	16
Şekil 1.6 : Ulaşım sınıfı ve alt obje sınıfları.....	17
Şekil 2.1 : OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard (OGC 12-019) proje dokümanında tanımlanan LOD seviyeleri (source: Karlsruhe Institute of Technology (KIT), courtesy of Franz-Josef Kaiser).....	52
Şekil 3.1 : NASA'nın SRTM veri platformu (sol üst), İstanbul sayısal yükseklik modeli (sağ üst), ESRI World Imagery servisi (sol alt), OSM veri platformu (sağ alt).....	64
Şekil 3.2 : İş Akış Şeması.....	65
Şekil 3.3 : LOD2 bina modelleri; İstanbul (sol üst), Londra (sağ üst), Rastgele cephe kaplamalı LOD2 bina modelleri; İstanbul (sol orta), Londra (sağ orta), 3B kent modeli tasarımı; İstanbul (sol alt), Londra (sağ alt).....	66
Şekil 3.4 : İstanbul - Tarihi Yarımada bölgesinin fotorealistik görselleştirilmesi (sol), Londra'nın fotorealistik görselleştirilmesi (sağ).....	69
Şekil 3.5 : Fotorealistik 3B kent modeli görselleştirme çalışmaları.....	70
Şekil 3.6 : İş Akış Şeması.....	73
Şekil 3.7 : Prosedürel teknikler kullanılarak uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen modellere benzer olarak üretilen temel LOD0, LOD1 ve LOD2 bina modelleri.....	74
Şekil 3.8 : Prosedürel teknikler kullanılarak üretilen İleri Seviye LOD2 bina modeli.....	75
Şekil 3.9 : Temel LOD2 seviyesinde prosedürel modelleme (sol), çatı ve cephe detayları içeren İleri Seviye LOD2 prosedürel modelleme (sağ).....	76
Şekil 3.10 : Temel LOD2 seviyesinde prosedürel modelleme (sol), çatı ve cephe detayları içeren İleri Seviye LOD2 prosedürel modelleme (sağ).....	77
Şekil 3.11 : Dijital İkiz Üretimi İçin İş Akış Şeması.....	80
Şekil 3.12 : Altyapı hatları için belirlenen detay seviyeleri (Üst), Altyapı hatlarının 3B olarak modellenmesi için gerekli parametreler (Alt Sol), İçmesuyu boru hatlarının prosedürel olarak 3B oluşturulması ve görselleştirilmesi (Alt Sağ).....	83
Şekil 3.13 : Dijital İkiz içerisinde CBS ve CAD verilerinden üretilen İSKİ yapı modellerinin görüntülenmesi.....	84
Şekil 3.14 : Dijital İkiz İçerisinde WMS servisleri, Üstyapı Tesislerinin Prosedürel Modelleme ve İHA Kullanılarak Gerçekleştirilen Fotogrametrik Modelleme Çalışmalarının Entegrasyonu.....	86
Şekil 3.15 : İş Akış Şeması.....	88

Şekil 3.16 :	CBS nokta verilerinden taban alanı (LOD0) oluşturulması.	92
Şekil 3.17 :	CBS nokta verisinden hazne modelinin (LOD1) oluşturulması.	93
Şekil 3.18 :	Prosedürel olarak saçak ve seki (LOD2) oluşturulması.	94
Şekil 3.19 :	Prosedürel olarak cephe detaylarının (LOD3) oluşturulması.	95
Şekil 3.20 :	Tarihi Çeşmeler için belirlenen detay seviyeleri (Üst), Bir çeşmeyi oluşturan temel bileşenler (Alt).	96
Şekil 3.21 :	Prosedürel Modelleme Destekli Olarak Tasarlanan 3B Tarihi Çeşmeler Veri Modeli.	98
Şekil 3.22 :	Kullanıcı arayüzü tasarlamak için CGA dilinde gerçekleştirilen prosedürel modelleme kodları.	99
Şekil 3.23 :	Kullanıcı arayüzü tasarlamak için CGA dilinde gerçekleştirilen prosedürel modelleme kodları.	100
Şekil 3.24 :	Kullanıcı arayüzü tasarlamak için CGA dilinde gerçekleştirilen prosedürel modelleme kodları.	101
Şekil 3.25 :	Seçilen 10 adet çeşmenin fotoğrafları ve ölçüm değerleri (sol üst), Prosedürel olarak üretilen LOD0 ve LOD1 seviyeli çeşme modelleri (sağ üst), Prosedürel yöntemle cephe kaplamalı üretilmiş olan LOD2 detay seviyeli çeşme modelleri (sol alt), Temel bileşenlerin ölçü değerleri sisteme girildiğinde tüm detay seviyelerinde oluşturulan örnek çeşme modeli (sağ alt).	102
Şekil 3.26 :	İSKİ Çeşme Bilgi Sistemi Projesi Verileri (Üst Sol), İBB Şehir Haritası Web Uygulaması Ekranı (Üst Orta), Sokak Panoraması uygulaması içerisinden erişim sağlanan mobil LiDAR verileri (Üst Sağ), Tasarlanan veri modeli kullanılarak ve prosedürel olarak üretilen 3B çeşme modeli (Alt).	103
Şekil 3.27 :	CBS temelli prosedürel modelleme yöntemi için tasarlanan 3B tarihi çeşme veri modeli.	106
Şekil 4.1 :	Literatür taraması kaynaklarının niteliksel dağılımı.	109
Şekil 4.2 :	Literatür taramasında kullanılan kaynakların niteliksel dağılımı.	110
Şekil 4.3 :	Literatür taraması ile erişilen kaynaklarının yıllara göre dağılımı.	111
Şekil 4.4 :	3B kent modeli çalışma alanlarının kapsamı.	112
Şekil 4.5 :	3B kent modeli temel kullanım amaçları.	112
Şekil 4.6 :	Literatürde 3B kent modeli alanındaki çalışmaların dağılımı.	115
Şekil 4.7 :	Literatürde 3B kent modeli çalışmalarının temel amacı.	116
Şekil 4.8 :	Literatüre göre 3B kent modeli alanındaki sorunların dağılımı.	116
Şekil 4.9 :	Literatüre göre yaşanan problemlerin dağılımı.	118
Şekil 4.10 :	Literatürdeki çalışmalarda kullanılan veri kaynakları.	120
Şekil 4.11 :	Literatürdeki çalışmalarda kullanılan tematik içerik katmanları.	121
Şekil 4.12 :	Literatürdeki çalışmalarda kullanılan veri işleme yöntemleri.	122
Şekil 4.13 :	Literatürdeki çalışmalarda kullanılan çözüm türleri.	123
Şekil 4.14 :	Literatürdeki çalışmalarda kullanılan detay seviyeleri.	124
Şekil 4.15 :	Literatürdeki çalışmalarda kullanılan detay seviyeleri.	125
Şekil 4.16 :	Literatürdeki çalışmalarda sağlanan faydalar.	125
Şekil 5.1 :	Literatüre göre yöntemlerin karşılaştırılması.	139
Şekil 5.2 :	CityGML veri modeli ile karşılaştırma.	143
Şekil A.1 :	Tarihi çeşme veri modeli UML diyagramı.	166
Şekil A.2 :	TUCBS “Diğer Yapı” veri modeli UML diyagramı.	167
Şekil A.3 :	Tarihi çeşme veri modeli Kod Listesi.	168

MEKÂNSAL DİJİTAL İKİZLERE YÖNELİK YAPI MODELİ ÜRETİMİNDE PROSEDÜREL MODELLEME YÖNTEMİNİN TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

İki boyutlu (2B) ve iki buçuk boyutlu (2,5B) haritalar günümüze kadar yaygın olarak kullanılmaktaydı. Ancak son yıllarda yeni geliştirilen teknolojiler sayesinde bu ürünlerin yerini giderek yaygınlaşan üç boyutlu (3B) uygulamalar almaktadır. Yine son yıllarda “Akıllı Şehircilik” kavramının ortaya çıkışı ile birlikte yerel yönetim alanında faaliyet gösteren bir çok kamu kurumu ve özel sektör şirketi bu alandaki gelişmeleri yakından takip etmektedir. Bu nedenle, kent yönetimi ve kentsel planlama alanındaki çalışmalarda temel mekânsal verilerin kullanımı ihtiyacı giderek artmıştır. Bu çalışmalarda yaygın olarak “Dijital İkiz” kavramı içerisinde üretilen şehirlerin bire bir ölçekli 3B modelleri kullanılmaktadır. 3B kent modelleri kullanılarak; kent silüetinin çıkarılması, kentsel dönüşüm projelerinin görselleştirilmesi, değişim analizleri, gürültü analizleri, güneşlenme ve gölge analizleri, sel ve taşkın analizleri, gürültü dağılım analizleri, rüzgar analizleri gibi birçok çalışma yüksek doğruluk ve etkili görselleştirme ile yapılabilmektedir. Ayrıca meydana gelme olasılığı bulunan bir çok durum çeşitli simülasyonlar tasarlanarak sayısal ortamda analiz edilebilmektedir. Böylece yaşanması istenmeyen durumların henüz daha meydana gelmeden önce önlenmesi imkanı da bulunabilmektedir. Dahası, şehir içerisinde inşa edilmesi planlanan büyük altyapı ve üstyapı projelerinin de bu dijital ikizler içerisine yerleştirilmesi ile çevreye olan olumsuz etkilerinin daha yaşanmadan önce engellenebilmesi ve projelerin bu analiz sonuçları ile revize edilerek inşa edilmesi mümkün hale gelebilecektir. Bu şekilde şehir ölçeğindeki detaylı 3B analizlerin bilgisayar simülasyonları üzerinden gerçekleştirilebilmesi ile kent yönetimi ve karar destek sistemleri için bir çok alternatif çözüm üretilebilmektedir.

Kentsel ölçekte oluşturulan 3B simülasyonların sağladığı en önemli kazanımlardan biri de, perspektif etkisi yüzünden görüntülenemeyen bölgelerin üç boyutlu sayısal model içerisinde her yönden ve detaylı şekilde incelenebilmesidir. Ek olarak sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) görüntüleme sistemlerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Son yıllarda mekânsal verilerin de bu cihazlar ile görüntülenebilmesini sağlayan yeni uygulamalar geliştirilmeye başlanmıştır. Hiç şüphesiz bu durum yakın gelecekte coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) gelişimini derinden etkileyecektir. Bu cihazların CBS alanındaki kullanımlarının yaygınlaşmaya başlaması ile “mekânsal verilerin görselleştirilmesi ve deneyimlenmesi” yakın gelecekte oldukça bir önemli bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkacaktır.

Bu nedenle tez çalışmasının temel amacı; bir kentin dijital ikizinin üretimine altlık teşkil edecek olan 3B kent modelinin hızlı ve yüksek doğruluğa sahip bir şekilde prosedürel yöntem ile üretilebilmesi konusunun araştırılmasıdır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda öncelikli olarak detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Bu

şekilde 3B kent modeli üretim yöntemleri, kullanım alanları, üretim ve kullanım alanlarında karşılaşılan problemler detaylı bir şekilde ortaya çıkarılmıştır.

Son yıllarda uydu görüntüleme teknolojileri, hava ve mobil lazer tarayıcı ölçme sistemleri (LiDAR), uçak, helikopter ya da insansız hava araçlarına (İHA) entegre edilebilen fotogrametrik görüntüleme sistemleri gibi alanlarda yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte yüksek hassasiyetteki mekânsal verilerin üretimi giderek kolaylaşmakta ve maliyetler eski yıllara oranla giderek düşmektedir. Bununla birlikte yeni geliştirilen ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı veri üretim imkânı sunan teknikler son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Buna bağlı olarak da farklı tekniklerin kullanılması ile elde edilen mekânsal verilerin, daha hızlı ve etkili bir şekilde 3B olarak görselleştirilmesine duyulan ihtiyaç da aynı oranda artmaktadır.

Gelişen teknolojiler ile birlikte daha fazla miktarda veri, daha yüksek kalitede ve daha hızlı bir şekilde üretilmektedir. Ancak mekânsal veri üretimi alanında gerçekleştirilen çalışmalar sonrası elde edilen verilerin boyutu son yıllarda oldukça artmıştır. Dahası bu kadar büyük boyutlu verilerin etkin bir şekilde işlenmesi ve depolanması ise yeni bir problem ve çalışma alanı haline almıştır. Bu amaçla kurulan ve sayıları her geçen gün artan büyük veri merkezleri ve süper bilgisayarlar ile bu verilerin değerlendirilmesi ve depolanması için çözüm arayışları devam etmesine karşın bu kadar büyük verilerin işlenebilmesi de belirli bir zaman almaktadır.

Karşılaşılan bir diğer problem ise farklı teknikler kullanılarak üretilen yüksek hassasiyetli mekânsal verilerin çok büyük boyutlu olması nedeniyle sunum ve görüntüleme aşamalarında yaşanmaktadır. Yoğun nokta bulutu verilerinin, yüksek hassasiyetli ortofoto ve sayısal yükseklik modelleri kullanılarak üretilen sayısal arazi modellerinin bilgisayar ortamında görüntülenebilmesi ve web üzerinden sunulabilmesi için verilerin çeşitli tekniklerle daha küçük parçalara bölünerek depolanması ve kullanıcıya görüntülenmek istendiği anda parça parça sunulması çözümü geliştirilmiştir. Bu sayede web platformları üzerinden yapılan görselleştirme çalışmalarında belirgin performans artışları sağlanabilmiş olsa da, veri boyutu hala çözülme bekleyen önemli bir sorun olarak varlığını korumaktadır.

Son yıllarda birçok çalışmada bütün bir şehre ait verilerin, gereken mekânsal ve zamansal çözünürlüklerde üç boyutlu olarak üretilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Fotogrametri gibi etkili yöntemlerle büyük alanların ölçülmesi ve modellenmesi mümkün olsa da, bu verilerin kent ölçeğinde üretilmesi için yapılan çalışmaların sonuçları genellikle bir ila iki yıl içinde tamamlanabilmektedir. Buna rağmen pek çok verinin güncel kalabilmesi için sürekli ve hızla yenilenmesi gerekmektedir.

Bu süreçte 2B mekânsal verileri temel alan ve bu verilerden hızlı bir şekilde 3B model oluşturulabilmesine imkan veren yeni bir modelleme tekniği de ortaya çıkmıştır. Prosedürel modelleme yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem ile bir 3B modeli oluşturmak için ihtiyaç duyulan parametreler 2B CBS verileri içerisinde depolanan öznitelik verilerinden sağlanmaktadır. Böylece mevcut 2B CBS verilerinden kentsel objelerin 3B modelleri üretilmektedir. Tez kapsamında gerçekleştirilen araştırmalar ile son yıllarda adından sıkça söz edilen ve kullanımı giderek artan prosedürel modelleme yönteminin, bir kentin 3B model olarak üretilmesi için hızlı ve etkili bir çözüm olup olamayacağı sorusuna cevap aranmaktadır.

Prosedürel modelleme yönteminin bazı avantajları bulunmaktadır. Bunların en başında ise hiç şüphesiz bir modelin görselleştirilmeye ihtiyaç duyulduğu anda üretilmesi gelir. Ayrıca, aynı CBS verileri temel alınarak ve farklı parametreler kullanılarak birbirinden farklı 3B modeller türetilir. Prosedürel modelleme ile bir 3B modelin

üretilebilmesi için basit bir referans poligonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Üç boyutlu modellerin bu şekilde depolanması hem veri boyutu azaltır, hem de üretilen modeller belirli algoritmalar eşliğinde üretildiği için operatörden kaynaklı çizim hataların önüne geçilir. Bu şekilde en az poligon sayısına sahip, en ideal modeller üretilebilir.

Tezde kapsamlı literatür araştırmasına ek olarak belirli çalışma alanlarında pilot çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilkinde açık veri kaynaklarından biri olan OpenStreetMap (OSM) verileri kullanılarak İstanbul Tarihi Yarımada bölgesinin 3B kent modeli üretimi ve gerçekçi bir 3B görselleştirme çalışması yapılmıştır. Bu çalışma ile ileri düzeyde 3B görselleştirme ve temel düzeyde planlama, kent silüeti çıkarma, güneşlenme, gölge, bakı ve görünürlük gibi analizlerin yapılabileceği bir 3B kent modeli elde edilmiştir.

Bir yapı modeli üretilirken eğer çatı payı ve cephe çıkma bilgileri mevcut ise LOD2 detay seviyesindeki yapı modellerine bu detaylar da dahil edilebilmektedir. Bir diğer çalışma ile yine OSM verileri kullanılarak İstanbul Tarihi Yarımada bölgesinde LOD2 seviyesinde daha detaylı bir 3B kent modeli üretimi yapılmıştır. Çalışma alanındaki tüm yapılara ait çatı payı ve cephe çıkma verileri mevcut olmadığından dolayı ilgili veriler rastgele üretilmiştir. Bu çalışmadaki temel amaç; yapılara ait detaylı verilerin bulunması durumunda İstanbul Tarihi Yarımada bölgesinde prosedürel modelleme yöntemi ile LOD2 seviyeli bir 3B kent modeli üretiminin hız ve performansını gözlemlemektir. Bu çalışma sonucunda prosedürel modelleme yönteminin detaylı yapı modelleri üretiminde de hızlı sonuç verdiği görülmüştür.

Gerçekleştirilen bir diğer çalışmada prosedürel modelleme yönteminin dijital ikiz üretimindeki kullanımı test edilmiştir. Bu çalışma ile İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) bünyesinde bulunan ve kurum personeli tarafından düzenli olarak güncellenen yaklaşık 20.159 km içme suyu, 17.483 km atıksu, 5.104 km yağmur suyu ve 1.449.207 adet abone bina verilerinin dinamik olarak 3B üretimi ve bir dijital ikiz uygulaması içerisinde konumlandırılması sağlanmıştır.

Bir şehir içinde farklı bina türleri ve bu binaların birçok farklı varyasyonu vardır. Literatürde belirli bir yapının prosedürel modelleme ile kolaylıkla modellenebileceği, ancak farklı spesifik yapıların tek bir prosedürel modelleme algoritması ile üretilmesinin çok daha zor süreçler gerektireceği belirtilmektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen bir diğer pilot çalışmada ise; İstanbul'daki yapılar arasından tarihi duvar çeşmeleri katmanı belirlenmiştir. Tarihi duvar çeşmeleri ayrıntılı olarak incelenerek belirli temel bileşenlere ve bu temel bileşenlerin alt bileşenlerine ayrılmıştır. Daha sonra bu bileşenlerin parametre değerlerine dayalı olarak prosedürel bir modelleme algoritması geliştirilmiştir. Bu çalışma ile birçok farklı duvar çeşmesinin kapsamlı olarak tasarlanmış tek bir prosedürel modelleme algoritması kullanılarak hızlı ve yüksek doğrulukla 3B olarak modellenebileceği gösterilmiştir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında, son yıllarda akıllı şehircilik çalışmalarının olmazsa olmazlarından biri haline gelen ve içerisinden mekânsal pek çok analize imkân sağlayabilecek olan 3B kent modellerinin prosedürel tekniklerle üretilmesinin avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Ek olarak, açık verilerin kullanımı ve bu verilerin 3B görselleştirme teknikleriyle nasıl işlendiğine dair bazı örnekler verilmiş, bunun yanında gerçek bir şehrin dijital ikizinin oluşturulması sürecinde yaşanan bazı sorunlar da tartışılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.



DESIGN AND DEVELOPMENT OF PROCEDURAL MODELING METHOD IN GENERATING STRUCTURE MODELS FOR SPATIAL DIGITAL TWINS

SUMMARY

2 and 2.5 dimensional maps, which have been widely used for many years, are now being replaced by three dimensional (3D) applications that are rapidly becoming widespread with developing technologies. Many public institutions and organizations, especially local governments, as well as almost everyone, including the private sector, closely follow the concept of "smart urbanism", which has become a hot topic in the world in recent years, and the latest studies in this field. In this context, the need for effective use of spatial data in many fields, from urban planning studies to city management, has increased compared to previous years. In addition, many studies, from urban transformation studies to change analyses, from studies based on protecting the city skyline to shadow, noise, wind and flood analyses, are today carried out using one-to-one scale 3D models of the city produced under the concept of "digital twin". In this way, many situations that are likely to occur in real life can be simulated in a virtual environment with computer graphics, and it is possible to prevent undesirable events before they occur by taking the necessary precautions. Similarly, by positioning large projects planned to be carried out in the city in a 3D city model before construction begins, the possible effects of the project on the environment and citizens can be determined much earlier. The fact that many necessary spatial analyzes can be applied in virtual simulations allows the possible results of a study still in the project phase to be predicted, thus enabling measures to be taken regarding possible risks before they occur and providing different alternative solutions to decision support systems.

Another important convenience offered by 3D visualization is that there are no areas that cannot be seen by other data due to the effect of a single perspective or viewing direction, allowing all data to be easily viewed and evaluated from every angle in the 3D environment. In addition, the use of virtual reality (VR) and augmented reality (AR) imaging systems, which are becoming increasingly common today, for the purpose of visualizing spatial data, will seriously affect the future and direction of geographic information systems (GIS). Thus, visualizing and experiencing spatial data in 3D will be a frequently encountered and needed field of study in the near future.

Therefore, the main purpose of the thesis is; It is the investigation of how to produce a 3D city model, which will serve as a basis for the production of a city's digital twin, with a fast and high-accurate procedural method. In this context, first of all, a detailed literature review was carried out. In this way, 3D city model production methods, usage areas, and problems encountered in production and usage areas have been revealed in detail.

In recent years, with technological developments in areas such as satellite imaging technologies, aerial and mobile laser scanner measurement systems (LiDAR),

photogrammetric imaging systems that can be integrated into aircraft, helicopters or unmanned aerial vehicles (UAVs), the production of high-precision spatial data has become increasingly easier and costs have become obsolete. is decreasing gradually over the years. However, the use of newly developed techniques that provide faster data production opportunities compared to existing methods is becoming more widespread day by day. Accordingly, the need for fast and effective visualization of spatial data produced with different techniques is increasing simultaneously with these developments.

With developing technologies, more data can be produced at higher quality and faster. However, the size of the data obtained after studies carried out in the field of spatial data production has increased considerably in recent years. Moreover, the effective processing and storage of such large-scale data has become a new problem and field of study. Although the search for solutions for the evaluation and storage of these data continues with the large data centers and supercomputers established for this purpose and the number of which increases day by day, it takes a certain time to process such large data.

Another problem encountered is in the presentation and display stages due to the very large size of high-precision spatial data produced using different techniques. In order for digital terrain models produced using dense point cloud data, high-precision orthophoto and digital elevation models to be displayed on a computer and presented on the web, a solution has been developed to store the data by dividing it into smaller pieces with various techniques and to present it to the user piece by piece whenever it is desired to be displayed. Although significant performance increases have been achieved in visualizations made via web platforms, data size still remains an important problem waiting to be solved.

Considering the need for speed and up-to-dateness of the age, as well as the relatively high costs, it is not always possible to produce the required 3D current data at the required temporal and spatial resolution and on the entire city scale. Even photogrammetric studies, which are one of the most effective methods for measuring and modeling large areas compared to traditional measurement methods and have become increasingly common in recent years, can produce results in approximately one to two years when considered on a city scale. No matter which method is used, the data obtained after many studies quickly become old and out of date.

Recent developments have created the need to quickly produce an entire city in 3D using spatial data produced by different methods or already existing. For this reason, a different modeling technique has been developed that enables 2D spatial data to be quickly converted into 3D models. By using the procedural modeling method, it is possible to realistically visualize 2D GIS data containing the necessary attribute information in three dimensions. With the research carried out within the scope of the thesis, an answer is sought to the question of whether the procedural modeling method, which has been frequently mentioned and used increasingly in recent years, can be a fast and effective solution for the three-dimensional production of a city.

The biggest advantage of the procedural modeling technique is; The model can be re-derived whenever necessary by using the verbal attribute data stored in the vector data. In this way, keeping a simple reference polygon and the information on how to create that three-dimensional model when necessary, instead of storing a comprehensive and detailed model in a digital environment, both reduces the data size and prevents drawing errors caused by operators and model production, since model production is

created with correctly coded computer algorithms. It prevents. In this way, the required models can be created when needed with the minimum number of polygons and the most accurate drawing technique.

Within the scope of the thesis, pilot studies were carried out in certain study areas. In the first of these, a 3D city model of the Istanbul Historic Peninsula region was produced and a realistic 3D visualization study was carried out using OpenStreetMap (OSM) data, one of the open data sources. With this study, a 3D city model was obtained that can perform advanced 3D visualization and basic level planning, city skyline extraction, sunbathing, shadow, aspect and visibility analysis.

When producing a building model, if roof margin and facade projection information is available, it can be included in the LOD2 detail level. In another study, a new 3D city model was produced at LOD2 level in the Istanbul Historic Peninsula region, again using OSM data. Since roof share and façade protrusion data for all buildings in the study area are not available, the relevant data were generated randomly. The main purpose of this study is; The aim is to observe the speed and performance of producing a LOD2 level 3D city model with the procedural modeling method in the Istanbul Historic Peninsula region, in case detailed data of the buildings are available. As a result of this study, it was observed that the procedural modeling method can also provide rapid results in the production of detailed building models.

In another study, the use of the procedural modeling method in digital twin production was tested. With this study, dynamic three-dimensional production and a digital analysis of approximately 20,159 km of drinking water, 17,483 km of wastewater, 5,104 km of rain water and 1,449,207 subscriber building data within the Istanbul Water and Sewerage Administration (İSKİ) and regularly updated by the institution's staff. It is positioned within the twin application. The digital twin application produced by the procedural modeling method continues to operate successfully and be used in the institution.

There are different building models and many different variations of them within a city. For this reason, it is mentioned in the literature that a specific structure can be modeled with procedural modeling, but it is not possible to produce different specific structures with a single procedural modeling algorithm. With the pilot study carried out for this purpose, the historical wall fountains building layer was determined among the buildings in Istanbul. Historical wall fountains were examined in detail and divided into certain basic components and sub-components of these basic components. A procedural modeling algorithm was then developed based on the measurement values of these components. With this study, many different fountains can be modeled in 3D quickly and with high accuracy by using a single procedural modeling algorithm.

In this study, the advantages and disadvantages of producing 3D city models with procedural techniques, which have become one of the indispensable parts of smart urbanism studies in recent years and which can enable many spatial analyzes, have been evaluated. In addition, examples of the use of open data, three-dimensional data visualization techniques and how these data are processed are presented, and some difficulties encountered during the creation of a real city in a three-dimensional virtual environment are discussed and examined.

As a result of the case studies, procedural modeling offers many advantages in 3D city model production. First of all, it provides speed and efficiency. Procedural modeling offers the ability to quickly create complex and detailed structures of the city model.

In this way, the modeling process can be completed faster and efficiency can be increased.

Another benefit is that it allows automatic renewal. A city model produced by procedural modeling can be automatically renewed within certain parameters and rules. In this way, the model can be kept up to date and more efficiency can be achieved by spending less time.

It also offers many alternatives for detail and variety. Procedural modeling provides wide variety and detail in creating buildings, roads, green areas and other details in the city model. In this way, more realistic and rich visuals can be obtained.

It provides parametric control at many stages of modeling. The city model created by procedural modeling can be easily controlled and modified on certain parameters. In this way, different alternatives can be tried and the model can be arranged as desired.

It also offers a very effective power in terms of reuse of procedural algorithms and codes. City models created by procedural modeling can be easily reused using the same parameters. In this way, it is possible to reuse the same model in different projects and save time.

In short, procedural modeling algorithms are generally simpler and more understandable. In this way, it makes the codes easier to read, understand and manage. Procedural modeling algorithms generally run fast. In this way, transactions are carried out faster and performance is improved. It also simplifies debugging efforts. Since the code is structurally simpler, errors can be detected and corrected more easily. Procedural modeling algorithms are generally smoother and more organized. In this way, the code is easier to maintain and develop. It is generally platform independent and can be easily run on different systems. With these advantages, the use of procedural modeling algorithms has become increasingly widespread in recent years.

1. GİRİŞ

“Akıllı Şehircilik” ve “Üç Boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemleri (3B CBS)” kavramları son yıllarda dünyanın gündeminde olan en önemli konuların başında gelmektedir. Günümüzde birçok kamu kurumu bu konulardaki en güncel çalışmaları yakından takip etmektedir. Özel sektör ise her geçen gün bu alandaki çalışmalarda kullanılmak üzere en yeni teknikleri ve teknolojileri geliştirmeye devam etmektedir (Vitalis ve diğ., 2018).

Akıllı şehircilik çalışmaları ile birlikte bahsedilen konuların başında ise şehirlerin birebir ölçekli 3B modelinin bilgisayar ortamında oluşturulması ile üretilen “3B Kent Modeli” ve bu modele entegre edilen dinamik veriler ile düzenli olarak güncellenen "Dijital İkiz" kavramı gelmektedir. Bu süreçte ortaya çıkmaya başlayan 3B web ve mobil uygulamalar, uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmakta olan iki boyutlu (2B) sayısal haritaların yerini hızla alarak hayatın hemen her alanında etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Erving ve diğ., 2009; Guercke ve diğ., 2009; Albrecht ve Moser, 2010; Moser ve diğ., 2010; Sengul, 2012; Rua ve diğ., 2013; Virtanen ve diğ., 2021).

Bir kente ait mekânsal verilerinin bilgisayar ortamında birleştirilmesi ve 3B bir modelinin oluşturulması; kentin planlanması ve yönetimi ile ilgili çalışmaların çok daha kapsamlı ve detaylı bir şekilde yürütülmesine olanak sağlar. Ayrıca değişim analizleri, kentsel dönüşüm ve şehrin silüetini korumaya yönelik çalışmalarda kullanılmasının yanı sıra sel, gürültü, rüzgâr, bakı ve gölge analizleri gibi birçok mekânsal analizin 3B olarak yapılabilmesine de imkân vermektedir (Prandi ve diğ., 2013; Prandi ve diğ., 2014; Aliaga, 2012; Slade, 2018; Sengul, 2012; Yastıklı ve diğ., 2017; Biljecki ve diğ., 2016; Biljecki, 2017; Biljecki ve diğ., 2015).

Dahası, 3B şehir modelleri kullanılarak günlük hayatta meydana gelmesi muhtemel birçok durumu sanal ortamda kurgulamak ve simüle etmek mümkündür. Bu sayede istenmeyen olumsuz olayların henüz meydana gelmeden önce tespit edilebilmesi ve önlenmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca bu simülasyonlar içerisinde kentte

yapılması planlanan büyük projelerin yerlerinin tespit edilip test edilmesi ve proje yapılmadan önce çevreye olası etkilerinin belirlenebilmesi de mümkündür. Bu sayede herhangi bir olay meydana gelmeden önce olası risklere karşı önlem alınabilmekte, yönetim aşamasında kullanılmak üzere daha etkin karar destek mekanizmaları ve alternatif çözümler sunulabilmektedir (Ying ve diğ., 2002; Emem ve Batuk, 2004; Döllner ve diğ., 2006; Kada ve McKinley, 2009; Metral ve diğ., 2009; Fan ve diğ., 2008; Zhixuan ve diğ., 2015; Podevyn, 2012; Julin ve diğ., 2018; Schorcht ve diğ., 2022).

Son yıllarda 3B kent modellerinin şehir yönetimlerinde kullanımı da giderek artmıştır. Özellikle afet, kriz, tesis yönetimi ve çevresel konular ile ilgili çalışmalarda mekânsal veri biliminin ve 3B simülasyonların kullanılması; şehir planlaması ve kent yönetimi bağlamında en önde gelen araştırma alanlarından biri haline gelmiştir (Saran ve diğ., 2018). Bu çalışmalar ile binalar, yollar, trafik ışıkları ve trafik işaretleri gibi yol yapıları ve bitki örtüsü dahil olmak üzere şehir merkezlerini veya diğer kentsel alanları modellemek popüler olmuştur. Berlin (Döllner ve diğ., 2006; Erving ve diğ., 2009), Bogota (Alomía ve diğ., 2021), Sarajevo (Taletović ve Ključanin, 2021), Karlstad (Eriksson ve diğ., 2020), Stockholm, Gothenburg ve Malmö (Uggla ve diğ., 2023), İstanbul (Abdul Rahman ve diğ., 2019) gibi büyük kentsel alanlar bu çalışmalar kapsamında modellenmiştir.

Yapılan bazı çalışmalarda 3B kent modelleri için yüzden fazla farklı uygulama alanı belirlenmiştir. Ek olarak, 3B kent modelleri, akıllı şehir paradigmasında kolaylaştırıcı bir araç, ortak ve merkezi bir işbirliği platformu olarak görülmüştür (Biljecki ve diğ., 2015).

Çünkü 2B verilerle mümkün olmayan onlarca amaç için 3B şehir modelleri kullanılmaktadır (Edvardsson, 2013; Biljecki, 2017). Kıyı alanlarının modellenmesi (Büyüksalih, 2013), şehir içi E-Bisiklet kullanımının dinamik olarak takibi (Santhanavanich, 2018), bölgesel planlama çalışmaları (Buhur ve diğ., 2009, Demir, 2016; Agius ve diğ., 2018; Babcock, 2019), yüksek binaların analizi (Czyńska ve Rubinowicz, 2014), yol ağı ve kent mobilyalarının oluşturulması (Alatalo ve diğ., 2016; Cura ve diğ., 2018; Güner, 2018; Beil ve diğ., 2020; Beil ve diğ., 2022), vejetasyon ve park alanlarının tasarlanması (Vasilijevs, 2018), enerji tüketimi ve planlama uygulamaları (Wen ve diğ., 2010; Li ve diğ., 2017; Mao ve diğ., 2020; Patrick ve diğ., 2020; Widl ve diğ., 2021; Leon-Sanchez ve diğ., 2022; Krapf ve diğ.,

2022), acil durum sağlık hizmetlerinin erişilebilirlik analizleri (Kemec ve diğ., 2007), iç mekan modelleme ve navigasyon çalışmaları (Becker ve diğ., 2013; Kim ve Wilson, 2015), 3B kent yönetimi (Albrecht ve Moser, 2010; Zhixuan ve diğ., 2015; Eriksson ve diğ., 2020; Dimitrov ve Petrova-Antonova, 2021; Eriksson ve diğ., 2021; Uggla ve diğ., 2023), kentsel tarihi yapıların modellenmesi (Cartwright, 2006; Gomes de Castro ve Brédif, 2022; Morlighem ve diğ., 2022), tesis yönetimi çalışmaları (Slia, 2022), sel ve taşkın analizleri (Al Kalbani, 2021), rüzgar akış simülasyonları (Garcia-Sanchez ve diğ., 2021; Paden ve diğ., 2022), binalardaki tarıma uygun kısımların tespiti (Palliwal ve diğ., 2020) bu alanlardan sadece bir kaçına örnek olarak gösterilebilir.

Dahası, son yıllarda yerel ve merkezi yönetimlerin 3B kadastroya yönelik güçlü bir vizyonu da bulunmaktadır (Guler ve Yomralioglu, 2022). Bu durum özellikle köprüler, tüneller, metro hatları ve yer altı ağı (kablolar ve borular) gibi karmaşık yapıların ve binaların kaydı için gereklidir (Vandysheva ve diğ. 2012; Sun, 2019; Tekavec ve diğ., 2020).

Ancak bazı durumlarda bir şehrin 3B modelinin üretimi söz konusu olduğunda, 3B görselleştirmeden ayrı olarak getirdikleri avantajları görmek zordur. Bu avantajları doğru bir şekilde değerlendirebilmek için, kullanıcıların 3B kent modellerinin benzersiz özelliklerine katkıda bulunan tüm 3B CBS analiz yelpazesinin de farkında olması gerekir (Moser ve diğ., 2010).

Günümüzde kentlerin 3B olarak modellenmesi ile ilgili araştırmalar, üniversiteler başta olmak üzere fotogrametri, uzaktan algılama ve kartoğrafya alanında çalışan kurumlar tarafından hâlâ devam ettirilmektedir (Flamanc ve diğ., 2003; Tunc ve diğ., 2004; Brenner ve diğ., 2001; Sengul, 2012; Yastıklı ve diğ., 2017).

1.1 Problemin Tanımı

3B kent modelleri; kentsel planlama, binaların enerji özelliklerinin haritalanması, gürültü haritası üretimi, taşkın modelleme de dahil olmak üzere pek çok çevresel simülasyonlarla ilgili bir dizi uygulamada kullanılmak üzere gerçek dünyanın alanlarını modellemek için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Saran ve diğ., 2018). Bu nedenle 3B kent modelleri dünyadaki aktif araştırma konularından birisidir (Sengul, 2012; Yastıklı ve diğ., 2017; Zhu, 2018).

Konunun ve sorunların ana odak noktası; geniş kentsel alanların ölçekli ve coğrafi referanslı olarak 3B şekilde oluşturulması ve yönetimidir (Kemec ve diğ., 2007; Toschi ve diğ., 2017; Kumar ve diğ., 2019; Vitalis ve diğ., 2022). Çünkü bu tür veriler mekânsal bilgi alanındaki en karmaşık verilerdir (Yanbing ve diğ., 2007; Mao ve diğ., 2014). Oluşturulan modellerin aşırı yoğun ve karmaşıklıktan uzak bir şekilde sunulması, kullanıcıların verilere kolay ve hızlı bir şekilde erişebilmesi gereklidir (Ohuri, 2020; Herman, 2021; Lei ve diğ., 2022). Tüm bu çalışmalar kolay değildir ve zorlu süreçler gerektirir (Huang, 2014; Abdul Halim ve diğ., 2021; Vitalis ve diğ., 2022).

Günümüzde bir çok araştırma topluluğu bir şehrin sayısal ortamda yeniden oluşturulması konusu ile ilgilenmektedir. Ve gerçekleştirilen pek çok büyük pratik uygulama ile oldukça zorlu ve disiplinler arası bir problemler dizisi olduğu kanıtlanmıştır (Cura ve diğ., 2018). Araştırmacılar, çevrenin çok katmanlı yapısı nedeniyle, bir şehrin 3B olarak modellenmesi sorununu çözebilmek için "yapıların yeniden oluşturulması" gibi alt çalışma alanları da belirlemişlerdir (Musialski ve diğ., 2013). Ancak sahip oldukları karmaşık mimari özellikler nedeniyle yapıların semantik olarak modellenmesi hala zorlu bir iştir (Wang ve diğ., 2016).

3B kent modeli üretimi günümüzde oldukça popüler araştırma alanlarından biridir. Fakat bugün hala binaların yoğun olduğu karmaşık kentsel alanların doğru bir şekilde modellenmesi ve görselleştirilmesi konusunda zorluklar yaşanmaktadır (Zhu, 2018).

Çoğu 3B kent modeli uygulaması, LiDAR, yersel lazer tarama verileri, hava ve uydu görüntüleri gibi farklı sensörlerin hibrit kullanımını gerektiren çeşitli veri kaynaklarını kullanır (Sengul, 2012; Singh ve diğ., 2013; Buyukdemircioglu ve diğ., 2018). Bu veri kaynaklarının ve bunlara karşılık gelen modelleme tekniklerinin her birinin avantajları ve dezavantajları vardır (Singh ve diğ., 2013; Singh ve diğ., 2014). Çünkü farklı bina türleri, farklı yöntemlerle oluşturulabilir (Weissenberg ve diğ., 2013; Schorcht ve diğ., 2022).

3B kent modellerinin büyük potansiyelinin açığa çıkarılabilmesi için yüksek kaliteli bina modellerinin uygun bir maliyetle üretilebilmesi gerekmektedir. Bunun için de önce otomasyon sorununa etkili bir çözüm getirilmelidir. Çünkü binalar 3B kent modellerinin en önemli bileşeni ve muhtemelen üretimi en pahalı olanıdır (Flamanc ve diğ., 2003).

Bazı araştırmacılar bu durumun çözülmemiş bazı sorunlardan kaynaklandığını bildirmiştir. Çok çeşitli bina şekillerini oluşturabilme esnekliğinin olmaması ve çok sayıda küçük parçadan oluşan oldukça karmaşık çatı yapılarının varlığı, çok detaylı yapılar için ya genelleştirilmiş modeller meydana gelmesine ya da algoritmaların tamamen başarısız olmasına neden olur (Blaauboer ve diğ., 2013).

Ayrıca, küçük yapı ve yapı ek parçalarının havadan alınan görüntülerden tespit edilmesi zordur (Kocaman ve diğ., 2006). Çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin kullanılması temel çatı detaylarına sahip bina modellerinin üretilmesi için iyi bir veri kaynağı olabilir. Ancak çatıların daha yüksek ayrıntı seviyelerinde modellenmesi için hava fotoğrafları veya yoğun hava LiDAR verileri gereklidir (Kocaman ve diğ., 2006).

Havadan alınan görüntülerle çalışan tam otomatik sistemler eskiden pratik kullanım için düşünülmezdi (Brenner ve diğ., 2001). Ancak büyük ölçekli ve kentsel modeller düşünüldüğünde hava fotogrametrisi en uygun maliyetli çözümler içerisinde değerlendirilebilir. Özellikle son yıllarda hızla gelişen insansız hava aracı (İHA) sistemlerinin kullanımı ile hava fotogrametrisi ve hava LiDAR çalışmaları için gerekli olan uzun proje süreleri kısaltılabilmiş ve yüksek proje maliyetleri göreceli de olsa düşürülebilmektedir (Setyawan ve diğ., 2022). Fakat İHA'lardan elde edilen veriler ve modelleme çözümleri hâlâ oldukça küçük çalışma alanları ile sınırlı kalmaktadır ve tüm şehir ölçeğinde kullanılamamaktadır (Haala ve diğ., 2022).

Uydu ve hava fotogrametrisi çalışmalarından elde edilen görüntülerden 2B olarak binaları tespit etmek ve 3B bina modellerini otomatik olarak oluşturmak için çok çeşitli teknikler ve algoritmalar önerilmektedir. Bununla birlikte baştan sona tam otomatik olarak bina modeli üretimi için geliştirilmiş sistemler henüz mevcut değildir (Tarantino ve Figorito, 2011).

Çalışmaların yoğunlaştığı bir diğer önemli bir konu ise hızlı çözümler sunan ve düşük maliyetli 3B kent modeli üretim olanaklarının araştırılmasıdır (Nex ve Remondino, 2012). Son yıllarda fotogrametrik çalışmalar ve LiDAR gibi ölçme tekniklerinin kullanımı giderek artmıştır. Bu teknikler geleneksel ölçme sistemlerine göre daha hızlı veri toplama imkânı sunmasına karşın tüm kent ölçeğinde toplanan verilerin kapsamlı bir şekilde işlenmesi yine belirli bir zaman almaktadır (Weissenberg, 2014; Biljecki

ve diğ., 2017). Ayrıca oldukça yüksek miktardaki bu verinin işlenmesi çeşitli sorunları da beraberinde getirmektedir (Saeedi ve diğ., 2009).

Hava araçlarına entegre edilen sistemler ile toplanan verilerde dikey cephelere ait yeterli miktarda veri bulunmakta ve bu nedenle bina cephelerinin modellenmesinde sorunlar yaşanmaktadır (Haala ve diğ., 2006; Huang, 2022). Dahası, üretimlerin bazı aşamalarını otomatize eden yeni yazılımlar geliştirilmesine rağmen sonuç ürünlerin düzenlenmesi ve kontrolü için hala insan müdahalesine ihtiyaç duyulabilmektedir (Kada ve McKinley, 2009). Bu düzenleme ve kontrol çalışmaları da yine belirli bir süre alan işlemlerdir (Ennafii ve diğ., 2019).

Detaylı ve kaliteli 3B modeller için havadan üretilen verilerde bulunan eksikliklerin yersel çalışmalar ile tamamlanması gerekir. Ancak genellikle yersel lazer tarayıcılar gibi ölçüm cihazlarından elde edilen bu ek veriler çok yüksek boyutludur (Stamos, 2009). Bu verilerin büyük kentsel alanlara ait verilere entegre edilerek kent ölçeğindeki görselleştirme çalışmalarında kullanılmaları zordur (Haala ve diğ., 2006; Beil ve diğ., 2021).

Dahası, şehirler yoğun miktarda yapı, kent mobilyası ve ağaçlar gibi kentsel objeleri içermektedir. Bu nedenle veri toplama amacı ile kullanılan ölçme yöntemlerinin çoğu, objelerin birbirlerini örtmeleri yüzünden yetersiz kalmaktadır (Cura ve diğ., 2018).

Bazı durumlarda yersel ve sokak seviyesinde alınan ek verilerin havadan alınan veriler ile entegrasyonu da sorunlara neden olur. Yapıların alt katlarında bulunan pencere ve kapı gibi objere ait detay verileri ağaçlar ve çalılar tarafından örtülmüş olabilir. Dahası, bazı bina cepheleri tek bir sokak düzey görüntüsü ile kapsanamayacak kadar uzun olabilir ve bu gibi durumlar veri entegrasyon çalışmalarını zorlaştırır (Harrie ve diğ., 2022).

Otomatik veya yarı otomatik yöntemlerle 3B kent modellerinin oluşturulması hedefinde son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak tam otomatik ve yarı otomatik olarak tanımlanan bazı 3B kent modeli üretim çalışmalarında bina modelleri; uydu ve hava fotogrametrisi ya da hava LiDAR teknikleri kullanılarak elde edilen yükseklik verileri ve mevcut bina taban alanı çizimlerinin entegrasyonu ile elde edilmiştir (Flamanc ve diğ., 2003; Takase ve diğ., 2003; Flamanc ve Maillet, 2005; Malumpong ve Chen, 2008). Ancak bu çalışmalarda mevcut bina taban alanları kullanıldığından yersel verilerin tam ve güncel olmaması durumunda sorunlar

yaşanabilmektedir (Brenner ve Haala, 2001; Vallet ve diğ., 2009). Bu nedenle havadan üretimi desteklemek ve otomatize edebilmek için yersel verilerin kullanılması gerekliliği fikri, tam otomatik bir çözüm tekniği olarak kabul edilmemelidir. Çünkü yersel verilerin güncel olmaması, eksik ya da hatalı olması durumunda üretim işlemleri kısmen ya da tamamen etkilenmektedir (Flamanc ve Maillet, 2005; Vallet ve diğ., 2009).

Havadan alınan görüntülerin manuel olarak 3B işlenmesi oldukça zaman alıcıdır ve yüksek nitelikli kişilerin uzmanlığını gerektirir (Deng ve diğ., 2010). Şehir ölçeğinde düşünüldüğünde manuel modelleme çalışmaları çok fazla iş gücü ve maliyet anlamına gelir (Steinhage ve diğ., 2010).

3B kent modeli üretilirken değerlendirilmesi gereken bir diğer durum ise verilerin güncelliğidir. İçinde bulunduğumuz çağ hızlı üretim ve güncellik ihtiyacını ön planda tutmaktadır (Brenner ve diğ., 2001; Weissenberg ve diğ., 2013). Bu çalışmalarda öncelikli olarak kullanılan uydu, hava kamerası vb. yüksek teknoloji ürünlerin maliyetleri düşünüldüğünde güncel 3B verilerin gerekli zamansal ve mekânsal çözünürlükte üretilmesi her zaman mümkün değildir (Uggla ve diğ., 2023). Ayrıca büyük bir şehir için bu tür çalışmaların gerçekleştirilmesi ve sonuç ürünlerin elde edilmesi doğal olarak belirli bir süre almaktadır. Bu üretim süresi nedeniyle elde edilen veriler her zaman geçmişe ait olmaktadır (Han ve diğ., 2008).

Ayrıca bir kente ait 3B verilerin zamansal olarak depolanması ve çeşitli zamansal analizlerde kullanılabilmesi ihtiyacı da bulunmaktadır (Jaillot ve diğ., 2020; Jaillot ve diğ., 2021; Chaturvedi, 2021). Ancak sürekli toplanmakta olan ve zaman içerisinde hızla biriken bu yüksek boyutlu veriler kullanılarak 3B kent modelinin farklı zamansal versiyonlarının nasıl oluşturulacağı konusunda büyük sorunlar ortaya çıkmaktadır (Vitalis ve diğ., 2019; Nguyen ve Kolbe, 2021). Karmaşık 3B modeller ve farklı detay seviyelerindeki anlamsal değişikliklerin etkin bir şekilde yönetilmesi oldukça zordur (Fan ve diğ., 2008; Fan, 2010; Stadler ve Kolbe, 2012; Eriksson ve diğ., 2021). Bu aşamalarda verilerin boyutu ve detay seviyesi önemli rol oynar (Beil ve diğ., 2022). Dahası, Web Feature Service (WFS) gibi servisler zaman bilgisi serileri sorgulamak için uygun değildir (Chaturvedi, 2021).

Birçok uygulamada üretilen yüksek detaylı veri ve modeller doğrudan kullanılamaz çünkü veri setleri çok büyüktür (Fan ve diğ., 2009; Eggert ve Paelke, 2010). Yeni

teknolojik yöntemler ile ne kadar detaylı veri ve modeller üretilirse üretilsin, bu modellerin etkili şekilde kullanılabilmesi için mutlaka genelleştirilmesi, seyreltilmesi ya da optimize edilmesi gereklidir (Kelly ve McCabe, 2006; Fan ve diğ., 2009; Guercke ve diğ., 2009; Emilien, 2017).

3B kent modeli uygulamalarının en önemli özelliklerinden biri de farklı çalışmalarda üretilen verilerin birbirleri ile entegre edilerek tek bir merkezden sunulmasıdır. Ancak farklı üretim yöntemleriyle ve farklı çalışmalar sırasında üretilen bu verilerin birbirleri ile entegrasyonu zorlu süreçler gerektirmektedir (Santhanavanich ve diğ., 2022). BIM süreçlerinde üretilen 3B modellerinin, 3B kent modellerine entegrasyonu ile ilgili çalışmalar da son yıllarda önemli bir araştırma konusu olarak devam etmektedir (Guler ve Yomralioglu, 2022; Schaubroeck ve diğ., 2022). Ancak modelleme ve veri depolama sistemleri arasında farklılıklar nedeniyle bu verilerin entegrasyonu kolay değildir ve zorlu süreçler gerektirmektedir (Roumpani, 2018; Judge, 2019; Sun, 2019; Noardo ve diğ., 2020).

Şehir yapısının karmaşık geometrisi ve büyük Avrupa şehirlerinde devam eden kentsel dönüşümlerin artan hızı, analiz, tasarım ve yönetim için güçlü araçlar gerektirmektedir (Czyńska ve Rubinowicz 2014). Üretilen tüm verilerin hızla eskimesi problemine karşı son yıllarda gerçekleştirilen bazı çalışmalar ile mevcut 2B mekânsal verilerden hızlı bir şekilde 3B kent modeli üretilmebilmesine imkân veren prosedürel modelleme tekniği de ortaya çıkmıştır.

Gerekli öznitelik bilgilerini barındıran 2B CBS verileri, prosedürel modelleme yöntemi ile 3B olarak görselleştirilebilmektedir (Biljecki ve diğ., 2016; Weissenberg, 2014; Merrell ve Manocha, 2011; Adão ve diğ., 2016; Dobraja, 2015). Bu sayede sayısal ortamda tüm modeli depolamak yerine o objeye ait sadece bir adet poligon ve o poligondan tüm modelin nasıl üretilbileceğine dair bir prosedür depolanır. Böylece veri boyutu düşer ve performans artışı sağlanır. Ayrıca modellerin üretilmesi aşamasında önceden kodlanmış algoritmalar kullanıldığı için operatör ve model üretiminden kaynaklı çizim ve topolojik hataları bulunmamaktadır (Biljecki ve diğ., 2016).

Geleneksel manuel modelleme yöntemleri kullanılarak büyük bir şehrin modellenmesi çok fazla zaman almaktadır (Kelly, 2008). Gerek akıllı şehircilik ve 3B CBS çalışmalarında, gerekse oyun ve sinema gibi eğlence sektöründe büyük kentsel

alanların 3B olarak ve detaylı şekilde üretilmesi sorunu bulunmaktadır. Büyük bir  hrin manuel yöntemlerle modellenmesi çok fazla zaman alıcıdır ve pratikte mümkün değildir (Khorasani, 2017; Borisov ve diğ., 2022). Prosedürel modelleme yöntemi; manuel üretim sırasında oluşan zaman ve maliyet gibi sorunları çözdüğü için araştırmacılar tarafından büyük ölçüde benimsenmiştir (Kelly ve McCabe, 2006; Kelly, 2008; Viitanen, 2016; El Haje, 2018).

Prosedürel modelleme kullanılarak ihtiyaç duyulduğu anda, minimum sayıda poligon kullanılarak en ideal 3B modeller  retilbilir. Bu nedenle prosedürel modelleme oldukça etkili bir modelleme gücü sunmaktadır. Ancak şehirdeki tüm binaların otomatik olarak yeniden yapılandırılmada kullanılması zordur. Aslında, prosedürel modelleme yöntemi temel bir bina modeli oluşturmak için kullanılabilir, ancak özellikle belirli bir yapıyı modellemek için adapte edilmesi zordur (Cura ve diğ., 2018).

Bazı  alı malarda 3B kent model üretimi için OSM gibi topluluk kaynaklı ve gönüllülük (VGI - Volunteered Geographic Information) esasına dayalı olarak g ncelle tirilen açık veriler de kullanılmaktadır (Goetz ve Zipf, 2012; Hadimoglu ve King, 2019; Girindran ve diğ., 2020). Ancak bu veriler her ne kadar güncellik ve maliyet avantajı sağlıyor gibi görünse de bazı potansiyel zorlukları beraberinde getirmektedir. OSM veritabanındaki veri miktarı her geçen gün artmasına karşın, dünyadaki pek çok alan hala tamamlanmamış durumdadır. Bu durum şehirlerin bazı bölgelerinde binalar arasında birçok büyük boşluk oluşturmakta ve g rselle tirmeyi olumsuz yönde etkilemektedir (Jogling, 2017).

Ayrıca bu alandaki çalışmalar sırasında geleneksel olarak binaların yeniden inşasına odaklanılmış ve  hrin önemli bir kısmı da genellikle çoğu çalışmada ihmal edilmiştir. Örneğin sokakların yeniden modellenmesi konusu nadir olarak araştırılmıştır. Kentsel yeniden yapılanmanın tüm yönlerinin birbirine bağlıdır. Dolayısıyla sokak ağının yeniden inşası; kentsel bitki örtüsünü etkileyen sokak morfolojisinden etkilenen kentsel özellikler hakkında da bilgi gerektirmektedir (Cura ve diğ., 2018).

Sonuç olarak, gelişen teknoloji ve bu amaçla geliştirilen pek çok yeni uygulama ile belirli bir seviyeye kadar kar ılanabilmesine rağmen, büyük ölçekli kentsel ortamların bilgisayar ortamında 3B olarak modellemesi hala zorlu bir sorun olarak kabul edilmektedir (Simon, 2011; Wang ve diğ., 2016). 3B kent modeli üretimi için otomatik

yöntemlerin araştırılması ile ilgili çalışmalar hala aktif olarak devam etmektedir (Buyukdemircioglu ve diğ., 2018).

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasının temel amacı; bir şehrin birebir ölçekli ve 3B dijital ikizinin üretilmesi için en performanslı altyapının belirlenmesini sağlamaktır. Dünyada son yıllarda büyük bir trend olan ve günümüzde giderek yaygınlaşan akıllı şehircilik çalışmaları kapsamında ihtiyaç duyulan en önemli verilerden biri şehirlerin dijital ikizlerinin oluşturulmasıdır. Özellikle büyük şehirler için düşünüldüğünde, şehrin tamamının hızlı bir şekilde 3B olarak modellenmesi, klasik haritacılık teknikleri ile neredeyse imkânsızdır. Gelişen teknolojiler ile birlikte hâlihazırda aktif olarak kullanılan hava fotogrametrisi, hava ve mobil LiDAR teknolojileri, İHA'lar dâhil tüm bu yöntemlerin birbirleri ile entegrasyonu düşünülürse bile tüm şehrin 3B olarak modellenebilmesi, çalışmaların kapsamına göre, ister istemez 1-2 yıl sürebilmektedir. Buna karşın imar planlarındaki değişiklikler, yaygınlaşan kentsel dönüşüm uygulamaları ve bunun gibi diğer etkenler ile hızla değişen kent dokusunu gerçek zamanlı olarak modelleyebilmek mevcut bakış açısı ve teknikler ile mümkün görünmemektedir.

Prosedürel yöntem kullanılarak çok büyük kentsel alanlar hızlı bir şekilde modellenebilmektedir. Ayrıca gerekli durumlarda yapılması istenen değişiklikler sadece ilgili bazı parametrelerin değiştirilmesi ile anında tüm modele uygulanabilmektedir. Böylelikle yeniden düzenlenmiş 3B modeller çok hızlı bir şekilde güncellenebilmektedir. Ancak bu yöntem genellikle film ve oyun sektöründe arka planlarda görünen, birbirine benzer yapılardan türetilmiş sentetik kent modelleri üretmek amacı ile kullanılmaktadır.

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışma ile bir şehrin gerçeğine en yakın 3B modelinin oluşturulabilmesi için mevcut üretim anlayışının değiştirilmesi önerilmektedir. Mevcut yersel ve havadan ölçme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen 3B kent modeli oluşturma çalışmaları bir anlamda tersine mühendislik çalışmalarına benzemektedir. Çünkü her seferinde elde edilen tüm veri baştan sona değerlendirilmekte ve bu veriden binalar, ağaçlar, kent mobilyaları gibi kentsel objeler tespit edilmeye çalışılmaktadır. Oysa 3B kent modeli çalışmalarında modellenmek istenen bir “şehir” olduğu için aslında bu şehre ait pek çok mekânsal veri hâlihazırda

yerel yönetimlerde bulunmaktadır ve temelde düzenli olarak güncellenmektedir. Eğer bu verilere ilgili kentsel objelerin 3B olarak nasıl üretilebileceğinin bilgisi de entegre edilirse, 3B kent modeli en güncel hali ile oluşturulabilir.

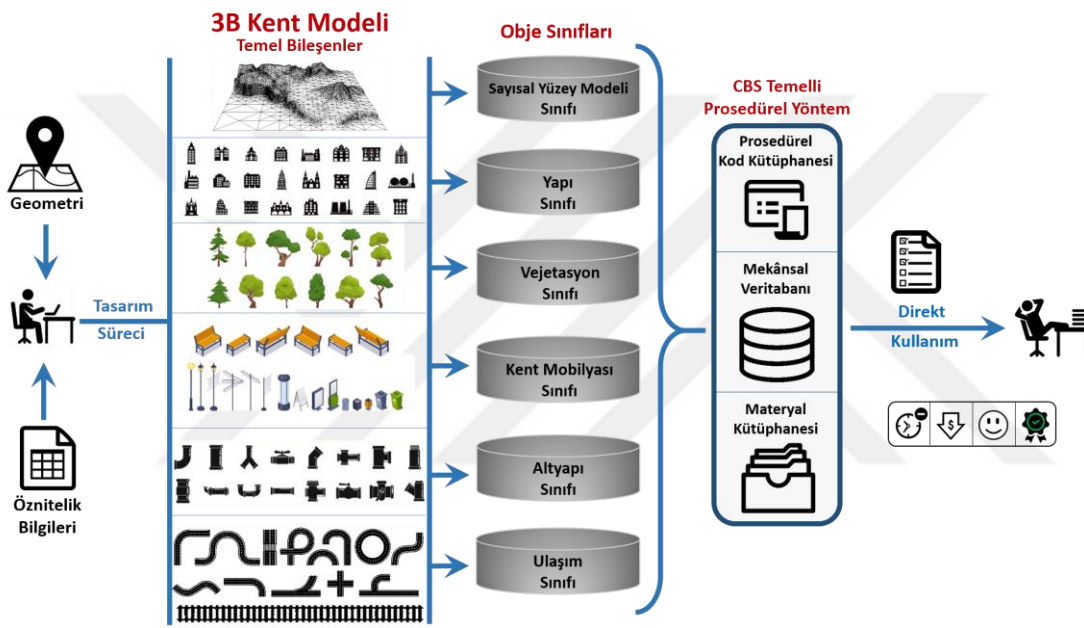
Doktora tez çalışmasındaki temel hedef; bir şehrin en güncel 3B modelini en hızlı şekilde üretebilmesi için gerekli olan altyapıyı belirlemek ve oluşturmaktır.

1.3 Metodoloji

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların ilk bölümünde dünyadaki 3B kent modeli çalışmaları detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Böylece 3B kent modellerinin yaygın kullanım alanları, hangi ihtiyaçlar doğrultusunda üretildikleri ve bu ihtiyaçları karşılama noktasında yapılan pek çok farklı uygulama detaylı bir şekilde incelenmiştir. 3B kent modelleri temelde mekânsal verilerin 3B olarak görselleştirilmesi, mekânsal veriler kullanılarak gerçekleştirilen 3B analiz ve simülasyonlar, son olarak ise mekânsal verilerin 3B olarak algılanması ve deneyimlenmesi şeklinde özetlenebilir.

Bu ana başlıklar belirlendikten sonra araştırmanın devam eden safhalarında, 3B kent modeli üretim yöntemleri, 3B kent modellerinin oluşturulması sırasında karşılaşılan sorunlar da belirlenmiştir. Genel olarak 3B kent modellerinin üretim ve kullanım çalışmaları sırasında en çok karşılaşılan problemler; tamamen otomatik bir üretim yöntemin bulunmaması, veri işleme ve diğer prosesler sırasında yoğun iş gücü ve uzmanlık gerekliliği, işlemlerin çok fazla zaman alması, verilerin hızlı bir şekilde güncellenliğini yitirmesi, bu kapsamda ortaya çıkan yeni veri üretim ve güncelleme maliyetleri, elde edilen çok büyük boyutlu verilerin etkin bir şekilde depolanması, zamansal olarak elde edilen farklı katmanların birbirine entegrasyonu ve depolanması, büyük boyutlu verilerin web ve masaüstü ortamlardan kullanıcılar sunulması sırasında karşılaşılan sorunlar, verilerde operatör ya da otomatik üretim prosesleri nedeniyle oluşan çizim ve genelleştirme hataları, üretim yöntemlerinin seçimi ile alakalı olarak ortaya çıkan metrik hassasiyet problemleri, farklı zamanlarda ve farklı çalışmalar ile elde edilmiş olan pek çok mekânsal verinin birbiri ile entegrasyonu sırasında karşılaşılan sorunlar, oluşturulan 3B kent modeli uygulama ve sistemlerin sürdürülebilirliği, oluşturulan uygulamaların esnek olmaması, kolay ve etkili bir şekilde kullanılamaması olarak sıralanabilir.

3B kent modellerinin üretim ve kullanım çalışmaları sırasında karşılaşılan sorunlar belirlendikten sonra, bu sorunların çözümüne yönelik olarak bir şehre ait tüm mekânsal ve sözel verilerinin CBS temelli olarak depolanabildiği ve gerektiğinde prosedürel modelleme yöntemi ile 3B kent modeli olarak üretilebileceği bir yöntem önerilmektedir. CBS temelli prosedürel yöntem yaklaşımı ile mevcut bir şehre ait gerçek parametre değerleri kullanılırsa gerçek bir kentin 3B modeli, belirli kriterlerde verilen rastgele değerler kullanılırsa da kurgusal ve sentetik 3B kent modelleri üretebilmektedir. CBS temelli prosedürel yöntem yaklaşımındaki mekânsal veri depolama ve 3B kent modeli üretim sisteminin temel yapısı Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : CBS temelli prosedürel yöntem üretim altyapısı

Tez kapsamında bu amaca yönelik olarak; bir şehrin prosedürel olarak üç boyutlu modellenebilmesi için gerekli olan 6 adet temel obje sınıfı belirlenmiştir. Bu obje sınıflarında, gerektiğinde o sınıflardaki objelerin üç boyutlu olarak modellenmesini sağlayacak olan mekânsal ve sözel veriler depolanabilir. Sonrasında bu verileri parametre olarak kullanabilen prosedürel kod kütüphaneleri ve prosedürel modelleme algoritmaları geliştirilebilir. Geliştirilen kod kütüphanesinin erişebileceği bir materyal kütüphanesinin oluşturulması ile prosedürel olarak üretilen 3B modellere materyal ve doku kaplamaları gerçekleştirilebilir.

CityGML, dünyada 3B kent modelleme için kullanılan bir standarttır. Ayrıca yerel ve merkezi yönetimler tarafından da pek çok çalışmada kullanılan bir veri modelidir.

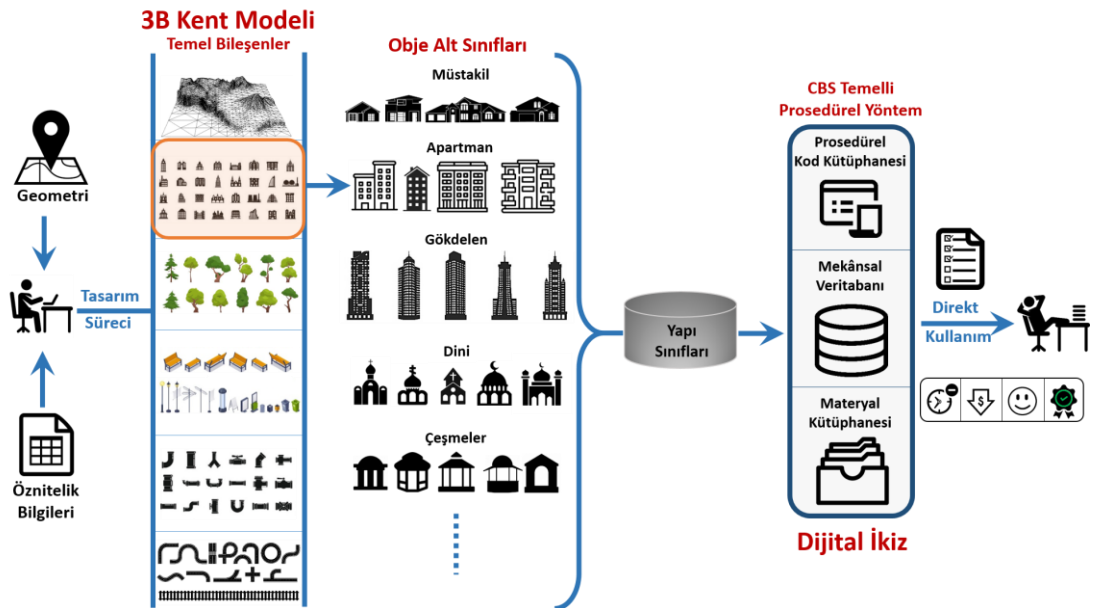
CityGML, şehir bilgilerini ve 3B modellemeyi standartlaştırarak şehirlerin sayısal modellerini oluşturmak için kullanılır.

Sayısal arazi modeli sınıfı, bir anlamda 3B kent modelleri için temel altlık verisidir ve tüm diğer kentsel objeler bu obje üzerinde konumlandırılır. Sayısal yükseklik modeli verilerinden üretilerek, güncel ortofoto ve uydu görüntüleri ile kaplanır. Önerilen CBS temelli prosedürel yöntem ile sayısal arazi modeli sınıfı dışında kalan diğer 5 katman daha detaylı olarak incelenmiştir.

CityGML yapı sınıfı, şehir öğelerini temsil eden 3B objeleri tanımlar. Bu objelerin özellikleri arasında geometri, malzeme bilgisi, kullanım amacı, enerji tüketimi gibi özellikler bulunabilir. Bu bilgiler sayesinde kentsel çalışmalar daha etkili bir şekilde yönetebilir, çevresel etkileri değerlendirebilir ve şehir gelişimi daha doğru planlanabilir.

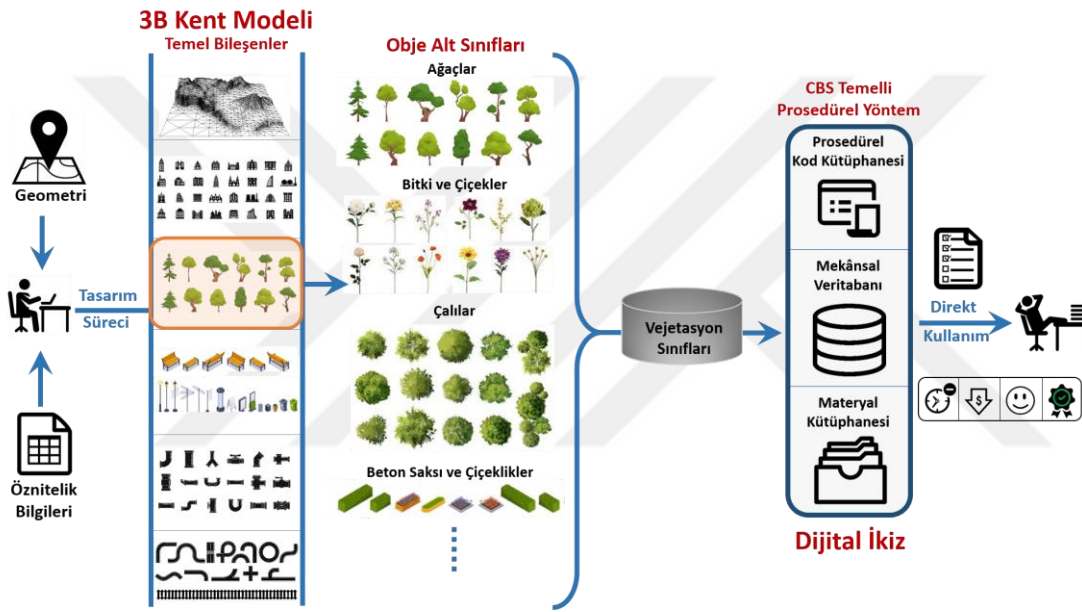
CityGML yapı sınıfı, şehirlerin üç boyutlu olarak modellemesi için geniş bir veri seti sunar ve farklı uygulamalar arasında uyumluluğu sağlar. Bu sayede şehirlerin sayısal olarak modellenmesi ve yönetilmesi daha kolay hale gelir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen araştırma çalışmaları sonucunda, belirlenen her bir kentsel obje sınıfının kendi içerisinde farklı alt obje sınıflarına sahip olduğu görülmüştür. Bu kapsamda bir 3B kent modelinin en temel bileşeni olarak kabul edilen yapı sınıfı kendi içerisinde belirli alt obje sınıflarına ayrılmıştır (Şekil 1.2)



Şekil 1.2 : Yapı sınıfı ve alt obje sınıfları.

CityGML'de kullanılan ve belirlenmiş olan vejetasyon sınıfı, kentin yeşil alanlarını temsil etmektedir. Bu sınıf, ağaçlar, çalılar, parklar, bahçeler ve diğer bitki örtüsü unsurlarını içerebilir. Vejetasyon sınıfı, kentsel alanların çevresel etkilerini değerlendirmek ve planlamak için önemli bir veri kategorisidir. Bu sınıf genellikle kentsel yeşil alanlarının miktarını, dağılımını ve çeşitliliğini belirlemek için kullanılır. Bu kapsamda bir 3B kent modeli içerisinde önemli bir yere sahip olan ve kent içerisindeki park, yeşil alan gibi bölümlerin modellenmesinde kolaylık sağlayacak olan alt sınıflar da belirlenebilir. Tez kapsamında gerçekleştirilen araştırma çalışmaları sonucunda vejetasyon sınıfı için belirlenen alt obje sınıfları Şekil 1.3’de sunulmuştur.

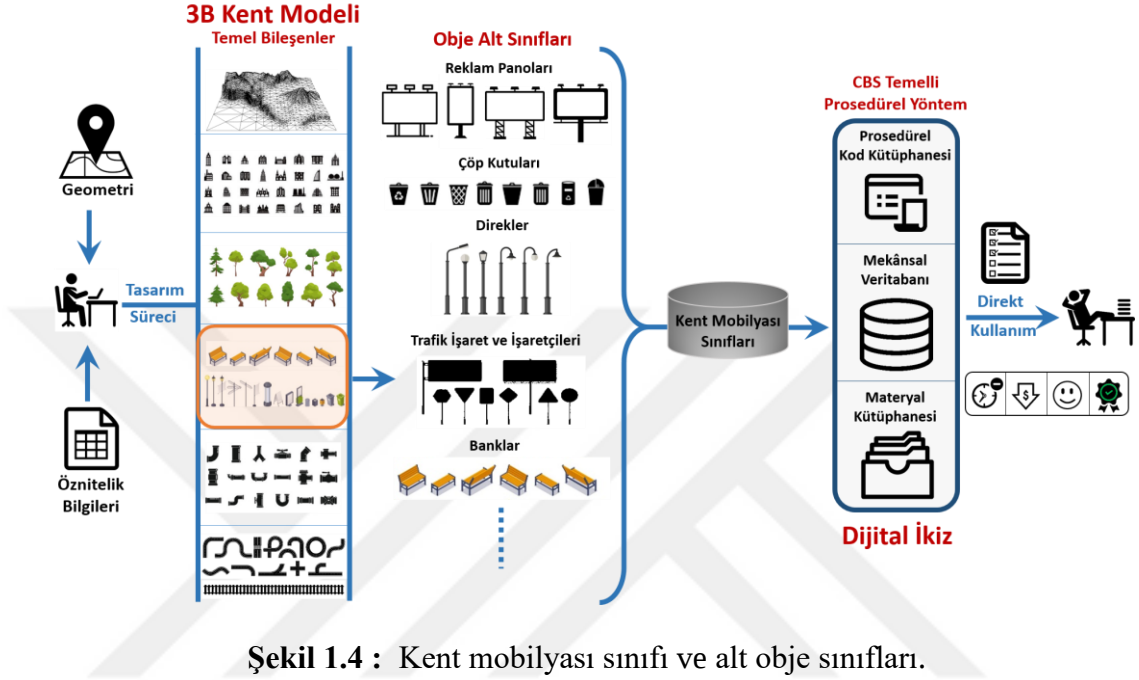


Şekil 1.3 : Vejetasyon sınıfı ve alt obje sınıfları.

Kent mobilyası sınıfı, CityGML içerisinde yer alan bir sınıftır. 3B kent modeli kavramı içerisinde “Kent mobilyası” olarak tanımlanan ve kent içerisinde yaygın olarak bulunan pek çok obje bulunmaktadır. Bu sınıf, kent içerisinde bulunan oturma bankları, çöp kutuları, bisiklet parkları gibi sabit mobilyaları temsil etmek için kullanılır.

CityGML standardı, kent modelleme ve planlama süreçlerinde farklı paydaşların birlikte çalışmasını kolaylaştırmak için geliştirilmiştir. Kent mobilyası sınıfı da bu standardın bir parçası olarak kent içerisinde bulunan mobilyaların sayısal olarak modellenmesine ve yönetilmesine olanak sağlar. Bu sayede kentlerin daha iyi planlanması ve yönetilmesi mümkün olur.

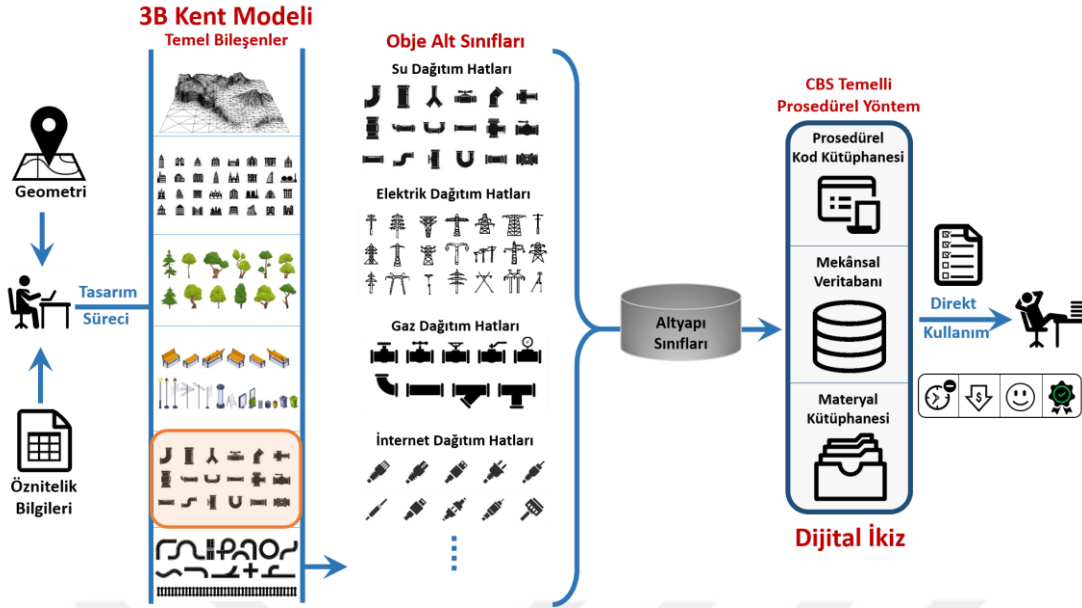
Kent mobilyası sınıfı, bu tür mobilyaların konumunu, boyutunu, tipini ve diğer özelliklerini tanımlamak için kullanılan öznitelikleri içerir. Bu obje sınıfının da benzer şekilde belirli alt sınıflara ayrılması mümkündür. Tez kapsamında gerçekleştirilen araştırma çalışmaları sonucunda kent mobilyası sınıfı için belirlenen alt obje sınıfları Şekil 1.4’de sunulmuştur.



Şekil 1.4 : Kent mobilyası sınıfı ve alt obje sınıfları.

Altyapı objeleri bir şehir içerisindeki önemli veri katmanlarından biridir. Ancak mevcut güncel versiyon olan CityGML 3.0 içerisinde halihazırda bir altyapı sınıfı bulunmamaktadır. Yine de CityGML altyapı sınıflarını da belirli özelliklerle tanımlayan ve organize eden bir yapı sunmaktadır. Dünyada bu alandaki çalışmalar için genellikle “Generic City Object” olarak belirlenen katman kullanılmaktadır. Bu katman altyapı verilerinin sayısal ortamda depolanması için de ideal bir ortam sunar. Böylece altyapı elemanları, diğer 3B kent modeli verileri ile birlikte entegre bir şekilde depolanabilir, görselleştirilebilir ve daha etkili olarak yönetilebilir.

Altyapı sınıfları, su ve kanalizasyon hatları, elektrik hatları, gaz dağıtım hatları, telekomünikasyon hatları gibi fiziksel altyapı öğelerini temsil eder. Bu sınıflar, altyapı elemanlarının konumlarını, boyutlarını, özelliklerini ve diğer detaylarını belirten bilgileri içerir. Tez kapsamında gerçekleştirilen araştırma çalışmaları sonucunda altyapı için belirlenen alt obje sınıfları Şekil 1.5’de sunulmuştur.

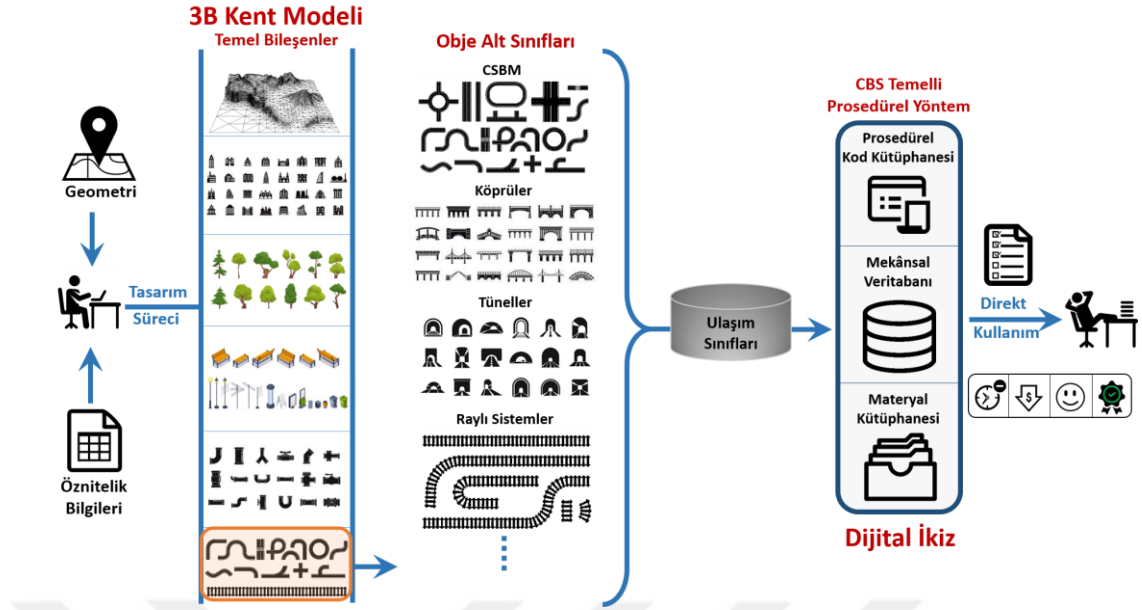


Şekil 1.5 : Altyapı sınıfı ve alt obje sınıfları.

3B kent modeli kavramı içerisindeki bir diğer bileşen ulaşım sınıfıdır. CityGML, ulaşım sınıfı, şehir modeli verilerinin sayısal ortamda paylaşılabilmesi ve etkileşimli olarak kullanılabilmesi için standartlaştırılmış bir veri modelidir. Bu veri modeli, şehirdeki ulaşım altyapısını, yolları, yaya yollarını, bisiklet yollarını, otobüs duraklarını, tren istasyonlarını, tramvay hatlarını gibi unsurları tanımlar.

CityGML ulaşım sınıfı, kent modeli verilerinin ulaşım altyapısına yönelik detaylı bilgiler içermesini sağlar. Bu sayede şehir planlamacıları, mühendisler ve diğer ilgili paydaşlar, şehirdeki ulaşım sistemlerini daha kolay analiz edebilir, planlayabilir ve geliştirebilir. Böylece daha sürdürülebilir ve verimli ulaşım sistemleri geliştirilmesine katkı sağlanır. Ulaşım sınıfı olarak tanımlanan ve kent içerisinde yaygın olarak bulunan pek çok obje bulunmaktadır. Bu obje sınıfının da benzer şekilde belirli alt sınıflara ayrılması mümkündür. Tez kapsamında gerçekleştirilen araştırma çalışmaları sonucunda ulaşım sınıfı için belirlenen alt obje sınıfları Şekil 1.6’da sunulmuştur.

Tez kapsamında önerilen CBS temelli prosedürel yöntem, mevcut diğer 3B kent modeli üretim yöntemleri içerisinde pek çok açıdan en etkili olanı olarak belirlenmiştir. Bu nedenle CBS temelli prosedürel yöntem, gerçekleştirilen 4 adet vaka çalışması ile farklı kullanım alanlarında test edilmiştir.



Şekil 1.6 : Ulaşım sınıfı ve alt obje sınıfları.

Her bir çalışmaya özgü veri modelleri ve prosedürel modelleme algoritmaları tasarlanarak ilgili çalışma alanlarında 3B kent modelleri üretilmiştir. Son vaka çalışmasında ise diğer üretim ve modelleme çalışmalarına ek olarak, CBS temelli prosedürel modelleme yaklaşımı ile tasarlanan veri modelleri ve üretilen 3B model verilerinin Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) ile entegrasyonu konusu değerlendirilmiştir.

1.4 Literatür Araştırması

1.4.1.1 Mekânsal verilerin 3B olarak görselleştirmesi

3B kent modelleri, özellikle son yıllarda, kentlerin daha etkin bir şekilde yönetilmesi ile ilgili çoğu çalışmada yaygın olarak kullanılan bir araç konumuna gelmiştir. Bir şehrin 3B modelinin oluşturulması ile o şehre ait fiziki, sosyal ve çevresel tüm özellikler bu modele entegre edilerek kentin işleyişi daha doğru bir şekilde anlaşılabilir.

Sadece 3B görselleştirme konusu bile bazı açılardan kendi başına bir analiz kapsamında değerlendirilebilmektedir. Çünkü 3B modelleme yöntemleri kullanılarak tüm objeler bütünüyle bağımsız birer varlık olarak modellenebilmektedir. Oysa 2B mekânsal bilginin yönetimini ve analizini gerçekleştirerek 3B bir çevreye ilişkin çıkarımlarda bulunmak aslında sorunu doğru bir şekilde çözemez. Yapılan tüm çalışmalar ister istemez 3B analiz ve fonksiyonları sınırlandırır. Günümüzde 3B

modelleme alanındaki son teknolojik gelişmeler ve 3B CBS alanında geliştirilen en yeni uygulamalar, algısal olarak daha zayıf olan 2B CBS uygulamalarının önüne geçmektedir. İçerisinde yaşadığımız dünyayı 3B olarak algılamak ve değerlendirebilmek, tüm karar verme süreçlerinde çok daha doğru ve etkili bir çözüm sunmaktadır.

3B kent modelleri, en temel düzeyde bir kentin fiziksel özelliklerini temsil eder. Caddeler, sokaklar ve diğer tüm yollar, binalar, köprüler, tüneller ve diğer tüm yapılar, parklar ve yeşil alanlar, altyapı unsurlarının gerçekçi şekilde modellenmesi ve sayısal ortama aktarılması anlamını taşır. Bu model ile kullanıcıya bir şehrin büyüklüğü ve diğer fiziksel özellikleri hakkında detaylı bilgi sağlanır. Bu sayede özellikle yerel yönetimlerde tasarım ve planlama kararlarını desteklemek için önemli bir araç olarak kullanılabilir. Örneğin, bir şehir plancısı, yeni tasarlanan bir yapıyı, çevresini ve oraya erişim sağlayacak olan yolları planlayabilmek için o bölgeye ait mevcut bilgileri görsel bir referans olarak 3B kent modelini üzerinden elde edebilir. Bu şekilde kent için daha doğru ve sağlıklı kararlar alınabilir.

3B kent modelleri ayrıca kentlerin sosyal özelliklerini temsil edebilir. Örneğin nüfus yoğunluğu, ilçe ve mahallelere ait demografik bilgiler, eğitim ve sağlık hizmetleri gibi faktörlerin modellere entegre edilmesi mümkündür. Bu sayede her türlü sosyal hizmetlerin planlanması ve kentin uygun noktalarına yerleştirilmesi, kentsel eşitsizliklerin analizi edilebilmesi ve toplumsal değişim süreçlerinin görselleştirilerek daha anlaşılır hale getirilmesi gibi konularda kentsel yönetimin karar verme sürecine rehberlik eder.

3B kent modellerinin görselleştirme çalışmalarında kullanımlarına bir diğer örnek ise kentin çevresel özelliklerinin modellenmesi ve sisteme entegre edilmesidir. Bu sayede parklar, yeşil alanlar, temiz su kaynakları, baraj havzaları, hava kalitesi, enerji üretimi, tüketimi ve ulaştırılması gibi unsurlar da 3B olarak görselleştirilebilir. Böylece yönetsel olarak fizibilite çalışmalarında ve sürdürülebilirlik kararlarını desteklemek için kullanılabilir. Ayrıca kentsel yaşam alanlarına yönelik çevresel risklerin analiz edilerek değerlendirilmesi, planlamaların bu risklere göre yapılmasına ve uygulanmasına yardımcı olur.

1.4.1.2 Mekânsal verilerin 3B analiz ve simülasyonları

3B kent modeli uygulamalarında 3B analiz ve simülasyonlar kentsel planlama, geliştirme ve karar verme süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır. Görselleştirme ve etkileşim anlamında önemli avantajlar sağlar. 3B kent modelleri, karmaşık kentsel ortamları temsil etmek için görsel olarak ilgi çekici bir yol sağlayarak paydaşların önerilen değişiklikleri ve stratejileri anlamasını kolaylaştırır. Bu durum, karar vericiler, geliştiriciler, bölge sakinleri ve diğer paydaşlar arasındaki iletişimi ve işbirliğini artırır.

3B kent modelleri gelişmiş şehir planlaması imkânları sunar (He, 2012; Duan, 2014; Demir, 2016; Agius ve diğ., 2018; Babcock, 2019; Camacho ve diğ., 2021). Şehir planlamacıları, 3B analiz ve simülasyonları kullanarak binalar, altyapı, trafik akışı ve yaya hareketi gibi faktörleri içeren ayrıntılı kent modelleri oluşturabilir. Bu, daha doğru ve gerçekçi planlama kararlarının alınmasına olanak tanıyarak daha sürdürülebilir ve verimli kentsel tasarımlara yol açar (Mao ve diğ., 2009; Schaubroeck ve diğ., 2022; Zhai ve diğ., 2022). 3B kent modelleri; planlamacılar, mimarlar ve diğer ilgili kişiler için şehir planlamasının görsel bir temsilini sağlar. Böylece, mimari ve kentsel tasarımların nasıl görüneceğini ve şehirlerin nasıl şekilleneceğini daha iyi anlamalarını sağlar (Buhur ve diğ., 2009; Alfakhori ve diğ., 2022). Tasarımların kent silüeti üzerindeki etkileri değerlendirilir (Czyńska ve Rubinowicz, 2014; Ying ve diğ., 2023). Ayrıca arazi kullanımı, imar düzenlemeleri ve altyapı gelişimi hakkında karar alma süreçlerini bilgilendirmek için 3B mekânsal analizler kullanılabilir. Paydaşlar, farklı planlama senaryolarının etkisini 3B bir harita üzerinde görselleştirerek, kararlarının yapılı çevre üzerindeki potansiyel sonuçlarını daha iyi anlayabilir.

Çevresel etki değerlendirmesi çalışmalarında yeni binalar veya altyapı projeleri gibi önerilen gelişmelerin bir şehrin çevresi, ekonomisi ve yaşam kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için 3B analiz ve çevresel simülasyonlar kullanılabilir (Rottensteiner ve Paparoditis, 2009; He, 2012; Cura ve diğ., 2018; Jovanović ve diğ., 2021). Bu, karar vericilerin olumsuz sonuçları en aza indiren ve faydaları en üst düzeye çıkaran bilinçli seçimler yapmasına yardımcı olur (Ross, 2010). Ayrıca arazi kullanımındaki değişikliklerin izlenmesi, ormansızlaşmanın izlenmesi ve iklim değişikliğinin etkilerinin değerlendirilmesi gibi doğal çevre üzerindeki etkileri değerlendirilebilir. Bu bilgiler kullanılarak daha sürdürülebilir kararlar almak ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak mümkün olabilir (Podevyn, 2012).

Güvenlik analizi; bir kentin güvenliğini değerlendirmek ve geliştirmek amacıyla yapılan bir çalışmadır (Mao, 2011; Jain ve diğ., 2013). Ayrıca 3B kent modelleri, terör saldırıları gibi potansiyel güvenlik analizi çalışmalarında ve askeri operasyonların planlanmasında birçok avantaj sunar (Stilla ve diğ., 2000). 3B modeller, farklı veri kaynaklarından gelen güvenlikle ilgili bilgilerin entegrasyonunu sağlar. Örneğin, güvenlik kameraları ve acil durum çıkışları gibi bilgiler model içinde entegre edilebilir (Ying ve diğ., 2002).

Altyapı planlama ve yönetimi; 3B analiz ve simülasyonlar, farklı senaryoları simüle ederek ve en etkili çözümleri belirleyerek şehirlerin altyapı planlamasını ve yönetimini optimize etmesine yardımcı olabilir (Falquet ve Métral, 2005). Bu, maliyet tasarrufuna, verimliliğin artmasına ve hizmetlerin kent sakinlerine daha iyi sunulmasına imkân verir.

İklim analizi; 3B kent modelleri, kentlerin mikro-iklimini anlamak için gerçekleştirilen çalışmalarda da kullanılmaktadır. Rüzgar akışı, hava hareketleri ve sıcak noktalar gibi faktörlerin modellenmesi, şehirlerin rüzgar akışını optimize edebileceği ve ısı adalarının etkisini azaltabileceği tasarım stratejilerini belirlemeye yardımcı olur (Stilla ve diğ., 2000; Moser ve diğ., 2010; Biljecki, 2013; Boeters, 2013; Ujang ve diğ., 2018; Garcia-Sanchez ve diğ., 2021; Paden ve diğ., 2022). Ayrıca kentteki hava sıcaklığı, nem, rüzgar gibi iklim parametrelerini analiz ederek, enerji verimliliği ve iklim değişikliği konularında bilgi sağlar.

Görünürlük analizi; kentteki farklı noktalardan diğer noktalara olan görünürlüğü analiz ederek, yapılaşma ve yeşil alan planlamasına katkıda bulunur.

Yeşil alan analizi; kentteki yeşil alanların dağılımını ve erişimini değerlendirerek, yeşil alanların optimize edilmesine yönelik bilgi sağlar (Vasilijevs, 2018). Binalardaki balkon ve teras gibi tarıma uygun kısımların tespiti ve analizi de sağlanabilir (Paliwala ve diğ., 2020).

Kentsel dönüşüm; bir şehirdeki mevcut yapıların yenilenmesini ve iyileştirilmesini amaçlayan bir süreçtir (Acar, 2018). Kentsel dönüşüm çalışmaları, genellikle şehirlerin daha sürdürülebilir, işlevsel ve estetik açıdan daha cazip hale getirilmesini hedefler. Bu çalışmalar kapsamında, eski binaların yıkılması, altyapı iyileştirmeleri, yeşil alanların oluşturulması gibi bir dizi faaliyet gerçekleştirilir. 3B kent modelleri, kentsel dönüşüm projelerinin görsel olarak analiz edilmesine ve tasarım sürecinin

yönetilmesine yardımcı olabilir. Bu modeller, projenin gerçekleştirilmeden önce nasıl görüneceği konusunda önemli bir fikir sağlar ve karar süreçlerini destekler. Ayrıca, 3B kent modelleri, vatandaşların projeler hakkında bilgilendirilmesi ve geri bildirim vermesi için kullanılabilir.

3B kadastro çalışmaları; arazi ve mülkün yükseklik veya rakım bilgileri de dahil olmak üzere 3B olarak temsil edilmesini içerir. Bu durum, arazi ve mülk sınırlarının daha net ve daha sezgisel bir görünümünü sunarak paydaşların mülkler ve altyapı arasındaki mekânsal ilişkileri daha iyi anlamalarını sağlar (Vandysheva ve diğ. 2012; Sun, 2019; Tekavec ve diğ., 2020; Jovanović ve diğ., 2021; Guler ve Yomralioglu, 2022). Yükseklik verilerinin dahil edildiği 3B kadastral çalışmalar, arazi kullanımı, arazi geliştirme ve arazi yönetiminin daha doğru analiz edilmesine olanak tanır. Bu sayede, sel veya heyelan gibi potansiyel sorunların tahmin edilmesine ve gelecekteki gelişmelerin planlanmasına da yardımcı olabilir. 3B kadastral çalışmalar, CBS ve BIM gibi diğer coğrafi veri ve bilgi sistemleriyle entegre edilebilir (Sun, 2019). Bu entegrasyon, karar verme süreçlerini geliştirebilir ve arazi ve mülk yönetiminde yer alan farklı paydaşlar arasındaki iletişimi kolaylaştırabilir. Genel olarak, 3B kadastral çalışmalar arazi ve mülk bilgilerinin daha iyi görselleştirilmesi, analiz edilmesi ve entegrasyonu açısından önemli faydalar sunarak daha bilinçli karar alınmasına ve arazi kaynaklarının daha iyi yönetilmesine yol açar (Frank ve diğ., 2012; Abdul Halim ve diğ., 2021).

Gölge analizi çalışmalarında güneş hareketlerinin 3B kent modelleri içerisinde simülasyonu yapılır ve bir bölgenin hangi noktalarının güneş ışığından etkilendiğini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu şekilde binaların arasında oluşabilecek gölgelerin etkilerini anlamak için önemlidir ve toplumun kalite standartlarını ve enerji verimliliğini iyileştirecek şekilde tasarımları optimize etmek için kullanılabilir (Shah, 2021).

Belirli bir alanın güneş enerjisi potansiyelini analiz etmek ve değerlendirmek için 3B mekânsal veriler kullanılmaktadır (Biljecki ve diğ., 2014; Krapf ve diğ., 2022). Bu tür analizler ile bir arazinin, binaların ve güneş enerjisi üretimini etkileyebilecek diğer faktörlerin ayrıntılı modelleri oluşturulabilir. Araştırmacılar bu 3B unsurları analize dahil ederek belirli bir konumun potansiyel güneş enerjisi çıkışını daha doğru bir şekilde belirleyebilirler (Biljecki, 2013). Güneş enerjisi potansiyeli değerlendirmesi için 3B mekânsal analiz kullanmanın en önemli faydalarından biri, gölgeleme

etkilerini hesaba katabilme yeteneğidir. Binalar, ağaçlar ve diğ er engeller güneş panellerine ulaşan güneş ışığı miktarını azaltan gölgeler oluşturarak verimliliğı etkileyebilir. Araştırmacılar, 3B verileri analize dahil ederek gölgelenmeye maruz kalan alanları doğru bir şekilde belirleyebilir ve değerlendirmelerini buna göre ayarlayabilir. Ek olarak, 3B mekânsal analizler, eğim, bakı ve güneş yalıtımı gibi faktörlere dayalı olarak güneş paneli kurulumu için en uygun konumların belirlenmesine yardımcı olabilir. Araştırmacılar, bu değişkenler arasındaki mekânsal ilişkileri analiz ederek, enerji üretimini maksimuma çıkarmak için güneş paneli yerleşimi için en uygun yerleri belirleyebilirler.

Eml k sektöründe 3B mekânsal analizler; gayrimenkul, mülkler ve çevreleriyle ilgili bilgilerin analiz edilmesi ve görselleştirilmesi için g   l  bir araç olarak kullanılmaktadır (Ross, 2010; He, 2012; Demir, 2016; Koc, 2017). Gayrimenkul alanında çalışan profesyonellerin, olanaklara yakınlık, ulaşıma erişim ve potansiyel çevresel faktörler gibi mülkler ve özellikleri arasındaki mekânsal ilişkiler hakkında daha derin bir anlayış kazanmasına olanak tanır. Ayrıca bir eml k piyasasının 3B temsiliini sağlayan ayrıntılı haritalar ve modeller oluşturmak için kullanılabilir. Bu  alışmalar, geleneksel 2B haritalarda veya veri setlerinde algılanamayacak durumları, kalıpları ve ilişkileri tanımlamaya yardımcı olabilir.

Afet yönetimi çalışmalarında 3B kent modelleri; sel, deprem, yangın ve benzeri potansiyel felaket senaryolarını simüle etmek ve analiz etmek için kullanılabilir (Jain ve diğ., 2013; Kavisha, 2015; Cura ve diğ., 2018; Saran ve diğ., 2018; Al Kalbani, 2021). Sel, toprak kayması veya deprem gibi doğal tehlikelere karşı hassas olan alanların önceden belirlenmesine ve değerlendirilmesine yardımcı olabilir. Afet yöneticileri, yükseklik verilerini, arazi kullanım modellerini ve diğer ilgili mekânsal bilgileri analiz ederek afetlerin potansiyel etkisini daha iyi anlayabilir ve riskleri azaltmak için farklı stratejiler geliştirebilir (He, 2012). 3B modeller, kentteki yapıları ve diğer öğeleri gerçekçi bir şekilde temsil ederek, analizin doğruluğunu artırır. Potansiyel güvenlik zayıflıkları daha iyi tespit edilebilir. Bu modeller içerisinde doğal afet durumu için olası senaryoları simüle etmek ve sonuçlarını görselleştirmek mümkündür. Acil durum müdahale ekipleri ve şehir yetkilileri, simülasyonları sanal bir ortamda çalıştırarak gerçek hayattaki acil durumlara daha iyi hazırlanıp müdahale edebilir (Kolbe ve diğ., 2005).

Telekomünikasyon çalışmalarındaki 3B mekânsal analizler, telekomünikasyon altyapısı ve ağlarına ilişkin verileri analiz etmek ve görselleştirmek için 3B CBS teknolojisinin kullanılmasını içerir (Yucel ve Selcuk, 2009; Jain ve diğ., 2013). Bu tür analizler; baz istasyonları, fiber optik kablolar ve müşteri konumları gibi telekomünikasyon ağının farklı unsurları arasındaki mekânsal ilişkilerin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına olanak tanır. Operatörler, telekomünikasyon ağının 3B düzenini analiz ederek potansiyel kapsama boşluklarını belirleyebilir, kule ve baz istasyonu yerleşimlerini optimize edebilir ve gelecekteki ağ genişlemesini daha etkili bir şekilde planlayabilir (Stilla ve diğ., 2000; Ulm, 2003; Biljecki, 2013).

Turizm alanındaki 3B mekânsal analizler, turizm endüstrisinin çeşitli yönlerini 3B bir alanda analiz etmek ve görselleştirmek için coğrafi veri ve teknolojinin kullanılmasını içerir (Yucel ve Selcuk, 2009; He, 2012; Czyńska ve Rubinowicz, 2014; Koc, 2017). Bu, ziyaretçi kalıplarının analiz edilmesini, turistik mekanların haritalarının oluşturulmasını, turizmin çevre üzerindeki etkisinin değerlendirilmesini ve turizm altyapısının planlanmasını içerebilir. Turizm yetkilileri; turistlerin bir destinasyon içindeki hareketlerini izleyerek ve görselleştirerek, popüler rotalar, trafik sıkışıklıkları ve ziyaretçi davranışları hakkında fikir sahibi olabilirler. Kent içi E-Bisiklet kullanımları takip edilebilir ve analiz edilebilir (Santhanavanich, 2018). Bu veriler turist deneyimlerinin optimize edilmesine, altyapının iyileştirilmesine ve kalabalık kontrolünün yönetilmesine yardımcı olabilir. Erişilebilirlik, manzaralar ve çevresel etki gibi faktörleri göz önünde bulunduran planlamacılar, genel ziyaretçi deneyimini geliştirecek daha bilinçli kararlar verebilir. Genel olarak, 3B mekânsal analiz turistler, destinasyonlar ve çevre arasındaki karmaşık etkileşimlerin anlaşılmasında önemli bir rol oynar ve sorumlu ve sürdürülebilir turizm uygulamalarının desteklenmesine yardımcı olabilir (Siegert, 2011). Ayrıca kentsel tarihi yapılar modellenerek içerisinde sanal turlar gerçekleştirilebilir (Cartwright, 2006; Gomes de Castro ve Brédif, 2022; Morlighem ve diğ., 2022).

3B modeller, arkeolojik alanları geleneksel 2B harita ve çizimlere göre daha etkileşimli bir şekilde görselleştirmek ve keşfetmek için kullanılmaya başladı. Bu durum, araştırmacıların bir alandaki farklı özellikleri ve eserler arasındaki mekânsal ilişkileri daha iyi algılamasını sağlamaktadır. Ayrıca araştırmacıların arkeolojik alanların ve eserlerin doğru ve ayrıntılı dijital temsillerini oluşturmaya olanak tanır (Yastıklı ve diğ., 2017). Arkeologlar, özel yazılım ve teknikler ile bu 3B modelleri

analiz ederek geçmişe dair yeni bilgiler edinebilirler. Dahası antik yapıların, manzaraların ve eserlerin sanal rekonstrüksiyonları oluşturulabilir. Böylece araştırmacılar, bu unsurları 3B alanda sayısal olarak yeniden yapılandırarak bunların geçmişte nasıl görüldüğünü ve çalıştığını inceleyebilir, farklı senaryoları ve hipotezleri simüle edebilirler.

Çevre kirliliğine uygulandığında 3B mekânsal analizler, çevredeki kirleticilerin dağılımı ve konsantrasyonu hakkında değerli bilgiler sağlayabilir. Araştırmacılar, 3B mekânsal analiz tekniklerini kullanarak, kirleticilerin çevrede nasıl dağıldığını ve hareket ettiğini simüle edecek modeller oluşturabilirler. Böylece kirliliğe maruz kalma riski en fazla olan alanlar daha doğru şekilde belirlenebilir (Stendardo ve diğ., 2022). Ayrıca temizleme çabalarının önceliklendirilmesine ve kaynakların iyileştirmeye en çok ihtiyaç duyan alanlara yönlendirilmesine yardımcı olabilir (Scianna ve Ammoscato, 2010).

Tesis yönetiminde 3B mekânsal analizler, tesis yöneticilerinin tesisin düzenini 3B olarak görselleştirerek alan kullanımını optimize etmesine yardımcı olabilir (Yucel ve Selcuk, 2009; Mao, 2011; Kavisha, 2015; Löwner ve diğ., 2016; Jovanović ve diğ., 2021). Bu, onların az kullanılan alanları belirlemesine, gelecekteki genişletmeler veya yeniden yapılandırmalar için plan yapmasına ve alanın verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamasına olanak tanır (Moser ve diğ., 2010; Slioa, 2022). Tesisin fiziksel düzenine, operasyonlarına ve bakımına ilişkin ayrıntılı bilgiler sağlayarak tesis yönetiminde kritik bir rol oynar. Ayrıca tesis içindeki acil durum planlamasını ve müdahale çabalarını geliştirmek için de kullanılabilir (Zhu ve diğ., 2005). Tesis yöneticileri, çıkışlar, acil durum ekipmanı ve tahliye yolları da dahil olmak üzere tesisin ayrıntılı 3B modellerini oluşturarak potansiyel tehlikeleri belirleyebilir, acil durum planları geliştirebilir ve yangın, sel veya diğer olaylar gibi acil durumlara daha etkili bir şekilde müdahale edebilir.

Gürültü analizi; farklı kaynaklar tarafından üretilen gürültü seviyelerini belirler ve kentsel gürültü haritaları oluşturarak gürültü kirliliğiyle ilgili önlemler geliştirilmesine yardımcı olur (Saran ve diğ., 2018). 3B mekânsal analizler, kentsel bir ortamda gürültünün yayılmasını tahmin etmek için güçlü bir araçtır. Analistler, binaların, sokakların ve diğer yapıların fiziksel özelliklerine ilişkin 3B bilgileri birleştirerek karmaşık bir kentsel ortamda gürültünün nasıl davrandığını daha doğru bir şekilde modelleyebilirler (Biljecki, 2013; Biljecki ve diğ., 2014). Ayrıca mekânsal verileri

gürültü kaynakları ve alıcıların hassas ölçümleriyle birleştirerek kentsel ortamlardaki gürültü seviyelerine ilişkin doğru tahminler geliştirebilirler. Bu bilgiler şehir planlamacıları, geliştiriciler ve politika yapıcılar tarafından arazi kullanımı, altyapı geliştirme ve gürültü azaltma önlemleri hakkında bilinçli kararlar vermek için kullanılabilir (Podevyn, 2012).

E-ticarette 3B mekânsal analizler, çevrimiçi perakendeciliğin çeşitli yönlerini analiz etmek ve optimize etmek için 3B veri ve teknolojinin kullanılmasını ifade eder (Falquet ve Métral, 2005; Zhu ve diğ., 2005; Rottensteiner ve Paparoditis, 2009; Czyńska ve Rubinowicz, 2014; Klimke, 2018). Perakendeciler, müşterilere sürükleyici ve etkileşimli deneyimler yaşatmak için 3B modelleri kullanabilir. Bu da onların bir satın alma işlemi yapmadan önce ürünleri ve mağazaları sanal olarak keşfetmelerine olanak tanır. Ayrıca e-ticarette envanter yönetimini optimize etmek için de kullanılabilir. Perakendeciler mekânsal verileri analiz ederek ürünleri depolarda saklamanın ve organize etmenin en etkili yollarını belirleyebilir, böylece maliyetleri azaltabilir ve lojistiği geliştirebilirler (Yucel ve Selcuk, 2009; Billen ve diğ., 2014).

Navigasyona ve rota planlamasına yardımcı olmak için 3B bir kent modeli içerisindeki mekânsal ilişkiler ve etkileşimler analiz edilebilir ve daha iyi anlaşılabilir (Jovanović ve diğ., 2021; Shirinyan ve Petrova-Antonova, 2022). Bu analiz türü ulaşım yönetimi ve trafik izleme gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (He, 2012; Sengul, 2012; Jain ve diğ., 2013). Arazi, engeller ve trafik koşulları gibi faktörleri dikkate alarak, 3B bir alanda navigasyon için en uygun rotaları ve yolları belirlemek amacıyla algoritmaların ve mekânsal analiz tekniklerinin kullanılır (Ulm, 2003; Biljecki, 2013). Benzer şekilde iç mekanlardaki navigasyon çalışmaları da son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır (Kolbe ve diğ., 2005; Kemec ve diğ., 2012; Becker ve diğ., 2013; Boeters ve diğ., 2015; Kim ve Wilson, 2015; Löwner ve diğ., 2016).

Eğitim simülasyonları, öğrencilere interaktif bir öğrenme deneyimi yaşatmak ve teorik bilgileri pratik uygulamalarla pekiştirmek amacıyla kullanılan etkili bir öğretim aracıdır. Bu simülasyonlar genellikle sanal ortamlarda gerçekleştirilir ve öğrencilerin aktif katılımıyla işlenen konuları daha iyi anlamalarını sağlar. Bu noktada, 3B kent modelleri eğitim simülasyonlarında sıkça kullanılan bir araçtır (Yucel ve Selcuk, 2009; Jain ve diğ., 2013; Yastıklı ve diğ., 2017). 3B kent modeli, öğrencilere gerçek hayattaki kentsel planlama ve tasarım problemlerini çözmelerine olanak tanır. Öğrenciler, bu model üzerinde farklı senaryoları deneyerek karar verme ve problem

özme becerilerini geliştirebilirler. Aynı zamanda, 3B kent modeli sayesinde öğrencilerin mekânsal algıları güçlenir ve kent yaşamını daha iyi anlayabilirler. Bu nedenle, eğitim simülasyonları alanında 3B kent modeli kullanımı oldukça etkili ve yararlı bir yöntem olarak değeriendirilmektedir.

Sonuç olarak, 3B kent modeli, bir kentin mekânsal özelliklerini ve yapılarını dijital ortamda 3B olarak temsil etmek amacıyla kullanılan bir modeldir. Bu model, kenti daha iyi anlamak, planlama ve tasarım kararları üzerindeki etkilerini görselleştirmek için kullanılır. 3B kent modeli uygulamalarında 3B analiz ve simülasyonların kullanılması şehir plancıları, geliştiriciler ve karar vericiler için sürdürülebilir, dayanıklı ve yaşanabilir şehirler oluşturmak ve yönetmek için esastır. Teknoloji değeri bilgiler sağlar, iletişimi geliştirir ve daha iyi karar almayı mümkün kılar, sonuçta daha verimli ve etkili kentsel gelişime yol açar.

1.4.1.3 Mekânsal verilerin 3B ve algısal olarak deneyimlenmesi

Bilgisayar oyunları

Bilgisayar oyunu sektöründe 3B kent modeli çalışmaları oldukça yaygındır (Ulm, 2003). İlk olarak, oyun tasarımcıları ve grafik sanatçıları, kentin genel görünümü, atmosferi ve tarzını belirlemek için çeşitli fikirler geliştirir. Bu aşamada, kentin genel haritası, cadde ve sokakların düzeni ve önemli yapılar gibi belirgin unsurlar kavramsal olarak tasarlanır (Martinovic, 2015; Kim ve diğ., 2018).

Daha sonra oyunun getiğı dünyadaki şehri ve çevreyi oluşturmak için gerekli olan 3B modellemeler gerçekleştirilir. Bu çevresel modellemeler genellikle binaları, sokakları, parkları, trafik levhaları, sokak ışıkları, reklam panoları ve şehir ile ilgili diğeri tüm detayları içerir. Modeller, şehrin kavramsal mimari tasarımlarına uygun olarak oluşturulur. Bu modellemeler sırasında bazen gerçek bir şehirden esinlenilebilir, bazen de tamamen kurgusal kentlerin tasarımını gerçekleştirilir.

Çevresel modelleme çalışmaları tamamlandıktan sonra grafik sanatçıları bu yapıların yüzeylerine uygun doku kaplamalarını ve malzemeleri hazırlar. Örneğiri, ahşap, elik, cam, beton, tuğla gibi pek çok farklı malzemelerin gerçekçi bir şekilde görselleştirilmesi sağlanır. Bu alışmalar, kentin genel atmosferini ve gerçekliğini artırmada oldukça önemlidir (Viitanen, 2016).

3B kent modellerinin gerçekliğini arttırmak için kullanılan bir diğer aşama ışıklandırma konusudur. Bu şekilde grafik sanatçıları günün farklı saatlerindeki ışıklandırmayı doğal veya yapay ışık kaynakları ile dijital ortamda simüle edebilir ve atmosferi yaratıcı bir şekilde kullanıcıya sunabilir.

Oyun içindeki karakterlerin hareketlerini ve davranışlarını gerçekçi bir şekilde yaratmak için çeşitli animasyon teknikleri kullanılır. Karakterlerin oturması, kalkması, yürümesi, koşması, zıplaması, diğer çevresel objeler ile olan etkileşimi hep animasyonlarla sağlanır. Animasyonlar, sanal karakterlerin oyun dünyasında doğal ve akıcı bir şekilde hareket etmelerini sağlar.

Bir 3B kent modeli içerisindeki şehir yaşamının canlı ve etkileyici olması, hareketli objelerin varlığı ile büyük oranda ilişkilidir. Oyun içindeki bir caddede trafiğin akışı, gökyüzünde hareket eden bulutlar, uçan uçaklar ya da dalgalanan bayraklar gibi unsurların gerçekçi bir şekilde görünebilmesi için belirli davranış modelleri ile hareketlendirilmesi gereklidir. Kentsel objelerin hareketlendirilmesi oyun dünyasındaki şehrin daha gerçekçi ve canlı hale getirilmesinde önemli bir etki sağlar. Bu çalışmaların tümü oyun geliştirme sürecinin bir parçası olarak oyunun görsel kalitesinin arttırılmasına yardımcı olmaktadır. En son aşamada ise sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) gibi yüksek teknoloji araç ve cihazlar ile bu dijital dünyalardaki olayların kullanıcılar tarafından deneyimlenmesi sağlanır (Hu ve diğ., 2022).

İnşaat sektörü

Son yıllarda sıklıkla AEC (Architecture, Engineering & Construction) ismi ile de anılan Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat hizmetleri sektörü, genellikle çok büyük projelerin planlanması ve uygulanması çalışmalarında, tasarım ve inşaat alanındaki profesyonellerin istihdam edildiği büyük ticari ve konut projelerinin planlanması ve inşası ile ilgili çalışmalarda bir dizi hizmetler sunmaktadır. 3B kent modelleri son yıllarda AEC alanında da yaygın bir şekilde kullanılmaya ve neredeyse temel bir ihtiyaç haline gelmeye başlamıştır.

3B kent modelleri AEC alanında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü bu modeller gerçek bir kent veya bölgenin tamamını veya belirli bir bölümünü detaylı bir şekilde temsil etmektedir. Gerçekleştirilmesi planlanan büyük projelerin bu modeller içerisine yerleştirilmesi, tasarım ve planlama süreçlerindeki pek çok çalışmada

kullanılmaktadır. Öncelikle mimarlara ve şehir planlamacılarına, tasarımlarını gerçekçi bir şekilde görselleştirmeleri ve düzenlemeleri için yardımcı olur. Bu modeller, yapılara ait mimari çizim detaylarını, altyapı projelerine ilişkin pek çok veri katmanını, parkları, yeşil alanları ve diğer önemli unsurları içermektedir. Böylece, tasarım ve planlama kararlarının daha iyi bir şekilde alınması mümkün olur.

Ayrıca 3B kent modelleri, gerçekleştirilmesi planlanan büyük projelerin yatırımcılara, yerel ve merkezi yönetim yetkililerine veya halka sunulması sırasında en etkili görselleştirme araçlarından biridir. Bu modeller, projenin tüm detaylarını 3B olarak görselleştirerek daha iyi bir sunum olanağı sağlar. Böylece proje tasarımının çevreye olan etkileri daha kolay anlaşılır hale gelir ve katılımcılar arasında daha etkili bir iletişim sağlanır.

3B kent modelleri ile mekânsal verilerin analizi gerçekleştirilebilmektedir. Bu modeller içerisinde nüfus yoğunluğu bilgileri ile trafik akışı ve ortalama enerji tüketimi gibi veriler birleştirebilir ve analiz edebilir. Bu analizler sayesinde şehir plancılarının altyapı projeleri için daha iyi kararlar alabilmelerine imkân sağlar.

3B kent modellerinin AEC alanındaki en temel kullanımlarından biri hiç şüphesiz şantiye alanlarının modellenmesi ve iş süreçlerinin bu modeller içerinden görselleştirilerek takip edilmesidir. Bunun için ilk adım ise öncelikle gerekli olan temel mekânsal verileri ya üretmek ya da varsa bir kısmını veya tamamını yerel yönetimlerden temin ederek çalışmalara başlamaktır. Bu sayede şantiye alanının ve yakın çevresindeki kentsel alanın 3B olarak modellenebilmesi mümkün olur. Daha sonra yapılacak olan inşaat projesinin tüm teknik çizimleri, bölgeye ait altyapı bilgileri ve projeye özgü diğer tüm veriler bu modele entegre edilir. Bu aşamalarda tasarımdaki hataların tespit edilmesi, çeşitli üretim ve planlama senaryolarının 3B model içerisinde simüle edilebilmesi ve proje performansının değerlendirilebilmesi de mümkündür. Oluşturulan 3B model, iş takibini kolaylaştırmak için de kullanılabilir. Ayrıca şantiye alanındaki ilerlemenin gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi, iş planlarının takip edilmesi, kaynakların etkin şekilde yönetilmesi ve yaşanabilecek olası tüm sorunların tespit edilmesi için de 3B modeller kullanılabilir.

Bunun için gerekli olan en temel yol ise model üzerinde gerçekleşen tüm değişikliklerin sisteme düzenli olarak işlenmesi ve modelin sürekli güncel tutulması ile sağlanabilir. Modelin güncel tutulması aynı proje üzerinde çalışan farklı

paydaşların birbirleri ile etkin bir şekilde çalışabilmesi için gereklidir. Bu nedenle ülkemizde de son yıllarda gerçekleştirilen tüm projelerde artık neredeyse bir standart olarak uygulanmakta olan Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) önemli bir rol oynamaktadır.

BIM, binaların tasarımından inşa sürecine kadar olan tüm aşamalarını dijital olarak modellemek ve yönetmek için kullanılan bir yöntemdir (Guler ve Yomralioglu, 2022). 3B kent modeli ise bir şehrin tamamını veya belirli bir bölümünü 3B olarak temsil eden bir dijital modeldir. Bu modelde şehirdeki yapılar, yollar, yeşil alanlar, altyapı sistemleri gibi unsurlar gerçeğe uygun bir şekilde modellenir.

Son yıllarda BIM modellerinin 3B kent modelleri ile entegrasyonu alanında bazı çalışmalar da gerçekleştirilmektedir (Ross, 2010; Boeters, 2013; Kavista, 2015; Salheb, 2019; Sun, 2019; Salheb ve diğ., 2020; Noardo ve diğ., 2020; Dursun ve diğ., 2022). Bu entegrasyon ile şehirdeki yapıların BIM modelleri, 3B kent modeline entegre edilir (Schaubroeck ve diğ., 2022). Böylece yerel yönetimlere, inşaat firmalarına, şehir plancılarına ve diğer tüm paydaşlara şehrin birebir ölçekli sayısal modelini ve planlanan yapının bu şehir ile nasıl etkileşime gireceğine dair sayısal olarak görselleştirilmiş bir temsilini sunar. Bu çalışmalardaki temel amaç, tüm sayısal verilerin birbirine entegre edilmesi, bu iki çalışma alanında üretilen verilerin birlikte değerlendirilmesini sağlamaktır.

BIM - CBS entegrasyonunun birçok faydası bulunmaktadır. BIM ve CBS arasında veri paylaşımı ve entegrasyonu sağlandığında verimlilik artışı meydana gelir. Çalışanların doğru ve güncel veriye daha hızlı ve daha etkili bir şekilde erişmesi mümkün olur. Yapılan düzenleme ve güncellemeler anında tüm çalışanların kullanımına sunulduğundan devam eden iş süreçleri çok daha verimli hale gelir (Wong, 2018).

BIM ve CBS entegrasyonu ile karar verme süreçleri iyileştirilmektedir. Farklı kaynaklardan elde edilen tüm veriler tek bir merkezde birleştirilir. Verilerin tek bir merkezde birleştirilmesi veriler üzerinden daha doğru ve kapsamlı analizler yapılabilmesine olanak sağlar. Bu şekilde devam eden iş süreçleri ile ilgili daha doğru ve nitelikli kararlar alabilmek mümkün hale gelir.

BIM ve CBS'nin birlikte kullanılması, planlama ve yönetim süreçlerini kolaylaştırır. CBS'den gelen mekânsal veriler, BIM'den gelen diğer veriler ile entegre edildiğinde yapı ve tesislerin daha etkili bir şekilde yönetilmesi sağlanır.

Ayrıca BIM ve CBS entegrasyonu, verilerin daha güvenli bir şekilde depolanmasını ve paylaşılmasını sağlar. Otomatik güncelleme ve senkronizasyon çalışmaları ile verilerin güncel ve doğru kalması kolaylaşır.

CBS entegrasyonu ile farklı veri kaynaklarından gelen veriler birleştirilerek daha kapsamlı raporlar oluşturulabilir ve bu raporların analizi ile daha doğru kararlar alınır.

Sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojileri, görselleştirmeyi, işbirliğini ve karar verme süreçlerini geliştirerek BIM alanını önemli ölçüde etkilemiştir. VR ve AR teknolojileri, paydaşların BIM modelini sanal olarak deneyimlemelerine olanak tanır ve inşaat başlamadan önce yapıyı çevrenin gerçekçi bir temsilini sağlar. Bu durum, kullanıcıların mekânsal ilişkileri daha iyi anlamalarını, çatışmaları tespit etmelerini ve bilinçli tasarım kararları vermelerine imkân tanır.

BIM projeleri genellikle mimarlar, mühendisler, yükleniciler ve müşteriler dahil olmak üzere birden fazla paydaşı içerir. VR ve AR teknolojileri, kullanıcıların BIM modelini farklı konumlardan görüntülemesine ve etkileşime girmesine olanak tanıyarak gerçek zamanlı işbirliğini kolaylaştırır. Bu şekilde ekip üyeleri arasındaki iletişimi ve koordinasyonu geliştirerek proje sonuçlarının iyileştirilmesine yol açar. Genel olarak, VR ve AR teknolojilerinin BIM projelerine entegrasyonu, inşaat projelerinin tasarlanma, görselleştirilme ve yönetilme biçiminde devrim yaratmış ve sonuç olarak verimliliğin artmasına, maliyetlerin azalmasına ve proje sonuçlarının iyileştirilmesine yol açmıştır.

Sinema sektörü

3B kent modelleri son yıllarda sinema sektöründe de oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. 3B kent modelleri; hem fantastik ve kurgusal şehirler için, hem de gerçek şehirler için detaylı bir kent ortamının dijital olarak oluşturulmasını sağlar. Sinema sektöründe 3B kent modelleri genellikle büyük bütçeli filmlerde kullanılır. Bu modeller, hikayenin geçtiği kentin atmosferini ve dokusunu yaratmada önemli bir rol oynar (Martinovic, 2015).

3B kent modelleri, öncelikle görsel efekt alanında çalışan sanatçı ve uzmanlar tarafından üretilir ve kullanılır. Bu modeller, gerçekçi doku ve detaylar eklenerek ve etkili bir şekilde ışıklandırılarak oluşturulur. Bu sayede, izleyiciye filmin içindeymiş hissini sağlar.

Sinema sektöründe 3B kent modelleri genellikle bilimkurgu ve aksiyon filmlerinde ağırlıklı olarak kullanılır. Şehir ölçeğinde meydana gelen büyük bir deprem, yer sarsıntısı, sel ve fırtına gibi doğa olaylarının yanı sıra, bir uzay gemisinin şehrin üzerinden geçişi, büyük ve etki alanı yüksek bir patlamanın meydana geldiği sahneler genellikle 3B kent modelleri içerisinde canlandırılır.

3B kent modelleri ayrıca filmlerin prodüksiyon aşamalarında set tasarımı çalışmalarına da yardımcı olur. Bu modeller ile film için gerekli olan setlerin ve çekimlerin bir kısmı gerçek bir şehirde yapmaya ihtiyaç kalmadan tamamen dijital ortamlarda gerçekleştirilebilir.

Sonuç olarak 3B kent modelleri son yıllarda sinema sektörü için de önemli bir ihtiyaç halini almıştır ve film prodüksiyon çalışmalarında, hikayenin geçtiği kentin gerçekliğini ve atmosferini yaratmada etkili bir şekilde kullanılmaktadır.

Son yıllarda izleyicinin deneyimini geliştirmek için sinema ve eğlence endüstrisinde VR ve AR teknolojileri giderek daha fazla kullanılmaya başlamıştır. VR, izleyicilerin kendilerini filmin içindeymiş gibi hissetmelerine ve aksiyonu ilk elden deneyimlemelerine olanak tanımaktadır. Bu durum, izleyicileri farklı bir dünyaya taşıyan ve karakterlerle ve çevreyle daha ilgi çekici bir şekilde etkileşime girmelerine olanak tanıyan VR gözlüklerinin kullanılmasıyla başarılabilmektedir. Böylece izleyiciler için daha etkileşimli ve dinamik bir izleme deneyimi yaratılabilmektedir.

Eğlence sektöründe VR ve AR, izleyicileri eğlendirmek için çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Örneğin tema parkları sürükleyici sürüşler ve deneyimler yaratmak için genellikle VR teknolojisini kullanır. AR teknolojisi ile canlı performanslar ve etkinlikler geliştirilmektedir. Sanatçılar, son yıllarda izleyiciler için daha etkileşimli ve ilgi çekici bir deneyim yaratmak amacıyla artırılmış gerçeklik unsurlarını gösterilerine dahil etmektedir.

Metaverse

Metaverse, sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) ve 3B sanal dünya kavramlarıyla ilgili çalışmalar kapsamında 3B kent modeli alanına da girmektedir.

3B kent modeli, gerçek bir şehrin dijital bir versiyonunun oluşturulmasıdır. Bu model, şehirdeki binalar, sokaklar, parklar ve diğer önemli yerleri içerir. Bu model, şehri analiz etmek, planlamak, tasarlamak veya simülasyonlar yapmak için kullanılabilir.

Ayrıca, trafik analizi, acil durum planlaması veya turizm tanıtımı gibi çeşitli amaçlar için de kullanılabilir.

Metaverse ise kullanıcılara gerçek dünyayı daha zengin bir şekilde deneyimleme imkânı sunar. Metaverse ortamında, kullanıcılar 3B görsellerle süslenmiş bir dünyada dolaşabilir, diğer kullanıcılarla etkileşimde bulunabilir ve farklı deneyimler yaşayabilirler. Bu ortama kişisel bilgisayarlar veya artırılmış gerçeklik veya sanal gerçeklik başlıkları gibi çeşitli cihazlar aracılığıyla erişim sağlanabilir.

3B etkileşimli haritalar, metaversede kullanılabilen bir diğer öğedir. Bu haritalar, üç boyutlu modelleri içerir ve gerçek dünya veya hayali ortamlarda kullanıcıların dolaşmasını, etkileşimde bulunmasını ve keşfetmesini sağlar. Örneğin, bir şehir haritası üzerinde gezinerek restoranlara veya turistik mekanlara erişebilir, detaylı bilgiler alabilir ve hatta diğer kullanıcılarla etkileşime geçebilirsiniz.

Turizm sektörü, eğitim, oyunlar ve diğer birçok alanda kullanılan 3B etkileşimli haritalar, kullanıcılara daha zengin ve etkileşimli bir deneyim sunar. Bilgi paylaşımı, keşif ve iletişim gibi faaliyetleri daha eğlenceli hale getirir.

Metaverse, sanal ve gerçek dünyaların bir araya geldiği alternatif bir sanal evrendir. İnsanlar, metaverse içindeki diğer katılımcılarla etkileşimde bulunabilir, sanal aktivitelerde bulunabilir ve dijital varlıklara sahip olabilir. Metaverse, farklı platformlarda bulunabilir ve çeşitli amaçlar için kullanılabilir; örneğin eğlence, ticaret, eğitim veya sosyal etkileşim.

Sanal gerçeklik teknolojilerinin ilerlemesi ile birlikte, metaverse çalışmaları günümüzde hızla artmaktadır. Son yıllarda özellikle, metaverse kavramı yaygınlaşmıştır ve oyuncular, işletmeler ve hatta devletler arasında popüler hale gelmiştir. Metaverse deneyimlerinin çeşitli örnekleri, oyunlar, konserler, gösteriler, sosyal medya platformları, e-ticaret siteleri ve sanal dünyalar aracılığıyla sunulmaktadır. Bu çalışmalara bağlı olarak, gelecekte daha gelişmiş, tamamen etkileşimli ve gerçeklikle daha yakın metaverse örneklerinin ortaya çıkabileceği öngörülmektedir.

Sonuç olarak; Çatalhöyük yerleşim planı ile başlayan en eski mekânsal veri kayıtları, son yıllardaki teknolojik gelişmeler ile günümüzde hızla hayatımıza dâhil olmaya başlayan Metaverse'e doğru kayarak farklı ve yepyeni bir boyuta doğru evrilmeye devam etmektedir. Üstelik günümüzde gelinen noktada sadece gerçek dünyaya ait

mekânsal verilerin, temel haritacılık ölçme yöntemleri kullanılarak sayısal ortama aktarılması ve altlık olarak kullanılması amacı dışında, tamamen hayal ürünü mekânların, dünyaların ve hatta evrenlerin de sayısal ortamlarda mekânsal olarak tasarlanması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle “Geomatik Mühendisleri”; sahip oldukları mekânsal bilgi üretimi ve yönetimi formasyonu ile yakın gelecekte bu sentetik mekânların da sayısal ortamlarda üretilmesi, depolanması ve çeşitli uygulamalarda temel altlık olarak kullanabilmesi için, bu sürecin farklı aşamalarında mutlaka etkin bir rol oynayacaktır.





2. GENEL BİLGİLER: TEMEL TANIM VE KAVRAMLAR

2.1 3B Kent Modeli Kavramı

3B kent modelleri, şehirlerin daha iyi planlanmasına, yönetilmesine ve geliştirilmesine katkıda bulunan ve son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılan önemli bir araçtır.

3B kent modelinde, kentteki yapılar, sokaklar, yeşil alanlar ve diğer unsurlar 3B olarak modellenir. Bu modeller sayesinde, kentlerin planlama, tasarım ve yönetim süreçleri daha iyi anlaşılabilir, gelişimleri öngörülebilir ve daha iyi bir yaşam kalitesi sağlamak için yeni stratejiler geliştirilebilir.

Bu model aynı zamanda, kent sakinlerinin katılımını artırmayı ve kentsel projeler hakkında daha fazla bilgi sahibi olmalarını sağlar. Kent sakinleri, 3B modeller aracılığıyla kentlerindeki değişiklikleri daha iyi anlayabilir ve bu değişiklikler hakkında görüşlerini daha etkili bir şekilde ifade edebilirler. 3B kent modeli, kent planlama ve tasarım süreçlerini daha görsel, etkili ve katılımcı hale getirir. Bu model sayesinde, kentler daha sürdürülebilir, daha yaşanabilir ve daha estetik bir görünüme sahip olabilirler.

3B kent modelleri, kentsel planlama ve tasarım alanları başta olmak üzere günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahip oldukça etkili bir yaklaşımdır. Kentlerin üç boyutlu bir şekilde ele alınması ve planlanması, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi ön plandadır. Bu yaklaşım, kentsel alanları daha etkili ve verimli bir şekilde tasarlamayı ve yönetmeyi amaçlar.

2.2 3B Kent Modeli Üretiminde Kullanılan Veriler

3B kent modellerinin oluşturulması çalışmalarında farklı teknik ve yöntemlerden elde edilen pek çok veri kullanılmaktadır. Hatta bazı çalışmalarda farklı mekânsal verilerin birbirleri ile entegrasyonu sonucunda oluşturulduğundan bahsedilmektedir. Bununla birlikte 3B kent modeli üretimi çalışmalarında temel olarak kullanılan veri tipleri şunlardır.

Yersel veriler; halihazır ve kadastral harita üretimi çalışmaları sırasında yersel olarak ölçülerek üretilen tüm detay noktaları, parsel köşe noktaları, ağaçlar, kaldırım ve duvar köşe noktaları, arazi yüzeyi noktaları ve bunun gibi diğer tüm yersel ölçüm verileri bu gruba girmektedir.

Pasif uzaktan algılama sistemi verileri; İçerisinde uydu sistemlerinden elde edilen uydu görüntüleri, uçak, helikopter ve son yıllarda yaygınlaşan insansız hava araçları (İHA) gibi platformlara entegre edilen hava kameralar ile alınan hava fotoğraflarını kapsamaktadır. Ayrıca yersel ve mobil panorama sistemlerinden alınan görüntüler de fotogrametrik çalışmalar kapsamında elde edilen mekânsal veriler olarak 3B kent modeli üretiminde kullanılmaktadır.

Aktif uzaktan algılama sistemi verileri; içerisinde uydu, hava, mobil ve yersel sistemlere entegre edilmiş olarak çalışan tüm lazer tarama (LiDAR) sistemleri bu gruba girmektedir. Ayrıca uydu ve çeşitli hava platformları üzerine entegre edilen sentetik açıklıklı radar (SAR) verileri de bu gruba dahil edilebilir.

Mühendislik ve planlama verileri; mühendislik çalışmaları sonucunda üretilen kentsel ve bölgesel ölçekli planlama verileri, mimari çizim ve projeler, yapı bilgi modeli (BIM) verileri gibi diğer tüm veriler bu grupta değerlendirilebilir.

Sensör verileri; yeryüzündeki belirli konumlara yerleştirilmiş olan ve düzenli olarak veri toplayan sensörlerden alınan hava kalitesi, trafik akışı, gürültü seviyeleri gibi gerçek zamanlı dinamik veriler bu gruba girmektedir.

Sözel veriler; diğer çalışmalar sonucu elde edilen nüfus vb. demografik veriler, mülkiyet kayıtları, binaların sahipleri, kullanım amaçları, yapı tarihleri gibi bilgilerin yanısıra sosyal medya platformlarından elde edilen veriler ve diğer tüm mekândan bağımsız olarak elde edilen ancak anlamsal olarak mekâna bağımlı olan veriler bu gruba girmektedir.

Tarihi ve arşivsel veriler; eski haritalar ve eski fotoğraflar gibi arşivsel değeri bulunan farklı niteliklerdeki veriler bu kapsamdaki verilere örnek olarak sayılabilir.

Sentetik veriler; bazı çalışmaların test ve analiz edilmesi için gerekli olan mekânsal veriler her zaman elde bulunmayabilir. Bu gibi durumlarda o verileri temsil etmesi için belirli mekânsal objelere dayalı olarak ve çeşitli prosedürel algoritmalar yardımı ile üretilen sentetik veriler bu gruba örnek verilebilir.

2.2.1 Yersel ölçüm verileri

3B kent modeli üretimi için yersel ölçüm verileri oldukça önemlidir. Yersel ölçme çalışmaları, gerçek dünya verilerini toplamak ve 3B modellerin doğru bir şekilde oluşturulmasını sağlamak için kullanılır. Bu çalışmalar sonucu elde edilen yersel ölçümler ise 3B kent modeli oluşturmak için en temel veri kaynağıdır. Bu ölçümler, binaların, sokakların, yeşil alanların, altyapıların ve diğer kent bileşenlerinin doğru bir şekilde koordinatlandırılmasını sağlar. Yersel ölçme çalışmaları genellikle iki farklı şekilde yapılır.

2.2.1.1 Geleneksel ölçme yöntemleri

Geleneksel ölçme yöntemlerinde yersel ölçme cihazları ve aletleri kullanılmaktadır. Kent içerisindeki çalışma alanında ya da yakınlarındaki koordinatı bilinen noktalara kurulan total station gibi ölçme cihazları ile mevcut binaların ve yapıların boyutları, yükseklikleri, konumları vb. detay bilgileri toplanır. Bu yöntem, kent içerisindeki objelere dair hassas ve detaylı verilerin elde edilmesine olanak sağlar.

Haritacılıkta bina taban alanlarının yersel ölçme yöntemleriyle ölçülmesi, yapıların temel bilgilerini belirlemek ve doğru planlamalar yapmak için önemli bir adımdır. Teodolit bu amaçla kullanılan en eski ölçme araçlarından biridir. Teodolit ile yatay ve dikey açıları ölçmek mümkündür. Bina taban alanlarının ölçümünde, teodolit kullanılarak köşe noktalarının açıları ölçülür ve bu açılar kullanılarak bina tabanının boyutları hesaplanır.

Şerit metre, yine bina taban alanının ölçümünde kullanılan en eski ve yaygın yöntemlerden biridir. Ölçüm bandı kullanılarak bina tabanının uzunluk ve genişliği ölçülür. Ancak ölçü krokisi gibi hassasiyetin düşük ya da önemli olmadığı durumlarda kullanılabilir.

Total Station, hem açıları hem de mesafeleri ölçebilen bir cihazdır. Bina tabanının boyutlarını belirlemek için total station kullanılabilir. Bu cihazla köşe noktalarındaki açılar ve mesafeler ölçülerek bina taban alanı hesaplanabilir.

2.2.1.2 GNSS ölçümleri

Uzaktan algılama ve görüntü işleme yöntemlerinde hava veya uydu görüntüleri kullanılarak kent alanları belirli bir mesafe yukarıdan taranır. Daha sonra bu veriler birçok proseslerden geçirilerek 3B kent modeli üretimi çalışmalarında kullanılmaktadır.

Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS, Global Navigation Satellite System), uydu sinyallerini kullanarak kesin konum tespiti yapabilen bir teknolojidir. Uzaktan algılama çalışmalarına başlamadan önce, gereken tüm hesaplamaların yapılabilmesi için öncelikle görüntülerdeki nirengi noktaları ve kontrol noktalarının GNSS kullanılarak hassas bir şekilde ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.

Günümüzde geliştirilen bazı mobil cihazlara GNSS entegrasyonu sağlanarak bina tabanlarının koordinatları da belirlenebilmektedir. Bu şekilde bina taban alanlarının ölçüm ve hesaplamaları gerçekleştirilebilmektedir.

2.2.2 Uzaktan algılama verileri

Uzaktan algılama; belirli bir mesafeden nesneleri, yerleri veya olayları tespit etmek ve analiz etmek için kullanılan yöntemlerin genel adıdır. Uzaktan algılama, elektromanyetik enerjinin farklı dalga boylarında veya diğer sensörler aracılığıyla toplanması ve elde edilen verilerin yorumlanmasıyla gerçekleştirilir. Bu verilerden en yaygın olarak kullanılanları; renkli görüntüler, kızılötesi görüntüler, termal görüntüler, lazer tarama verileri, radyo dalgaları veya diğer bazı algılayıcılardan elde edilen verilerdir. Uzaktan algılama, çevresel değişimleri izlemek, tarım, ormancılık, arazi kullanımı, iklim değişikliği, doğal afetler ve diğer birçok alanda kullanılan önemli bir araştırma ve uygulama alanıdır.

2.2.2.1 Fotogrametri

Fotogrametri, nesnelerin ve yüzeylerin ölçümünü yapmak için fotoğrafları kullanarak yüksek hassasiyetli 3B modeller oluşturan bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle arazi, harita yapımı, inşaat, mimari, arkeoloji ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi alanlarda sıklıkla kullanılır.

Fotogrametri, temel olarak iki aşamadan oluşur; ölçme ve modelleme. İlk olarak, nesne veya yüzey üzerinde çeşitli açılardan fotoğraflar çekilir. Fotoğraflar, özel yazılımlar kullanılarak çeşitli noktaların (örneğin, dış köşeleri) ve yönlerin (örneğin, kamera konumları) tanımlanmasını sağlayan ölçüm aşamasında işlenir.

Daha sonra, modelleme aşamasında, fotoğraflar ve ölçümler, noktaların, kenarların ve yüzeylerin birleştiği nokta bulutları ve üçgen ağları gibi 3B modeller oluşturmak için kullanılır. Bu modeller, nesnelerin detaylı geometrik özelliklerini ve yüzeylerini sunabilir.

Fotogrametri yöntemi, diğer ölçme yöntemlerine kıyasla birkaç avantaja sahiptir. Bunlar arasında maliyet etkin olması, geniş alanlarda hızlı ve hassas ölçümler yapabilmesi ve düşük maliyetli donanımlarla gerçekleştirilebilmesi sayılabilir. Ancak, fotoğrafları işlemek ve modellemek için bazı teknik beceriler gerektiren bir yöntemdir.

Uydu fotogrametrisi yöntemini kullanarak 3B kent modeli oluşturmak için şehrin farklı açılardan ve konumlardan yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri toplanır (Destruel ve Valorge, 2004; Flamanc ve Maillet, 2005; Kocaman ve diğ., 2006; Pepe ve diğ., 2021). Bu görüntüler daha sonra şehirdeki binaları, arazi yüzeyini, yolları ve vejetasyon gibi diğer özellikleri hakkında 3B bilgiler çıkarmak için özel yazılımlar kullanılarak işlenir. Bu yazılımlar, görüntüleri analiz ederek şehirdeki nesnelerin konumunun, boyutunun ve şeklinin belirlenmesini sağlar. Daha sonra bu veriler kullanılarak yarı otomatik ve tam otomatik algoritmalar ile 3B modeller oluşturulur. Bazı çalışmalarda elde edilen modelleri hassaslaştırmak için manuel düzenleme gerekebilir. Uydu fotogrametrisi, yer araştırmalarına veya diğer zaman alıcı yöntemlere ihtiyaç duymadan geniş alanlar üzerinde hızlı veri toplanmasına olanak sağladığından, 3B kent modelleri oluşturmak için görece uygun maliyetli ve verimli bir yöntemdir.

Hava fotogrametrisi yöntemini kullanarak 3B bir şehir modeli oluşturmak, bir uçak veya İHA üzerine monte edilmiş özel bir kamera ile şehrin ya da çalışma alanının havadan yüksek çözünürlüklü görüntülerinin yakalanmasını içerir (Gruen ve diğ., 2003; Buhur ve diğ., 2009). Bu görüntüler daha sonra fotogrametri yazılımları kullanılarak işlenir. Böylece binalar, sokaklar ve diğer objeler de dahil olmak üzere şehrin ayrıntılı bir 3B modeli oluşturulur. Yazılımlar, nesnelerin konumlarını belirlemek için üst üste binen görüntüleri kullanarak 3B bir nokta bulutu oluşturur. Daha sonra elde edilen nokta bulutundan şehre ait objeler çıkarılabilir ya da üçgensel yüzey ağı modeli oluşturularak çalışmanın amacına göre bu şekilde de kullanılabilir. Bu yöntem, doğru ve ayrıntılı şehir modellerinin hızlı ve verimli bir şekilde oluşturulmasına olanak tanır. Bu da onu kentsel planlama, çevre analizi ve diğer uygulamalar için değerli bir araç haline getirir.

Yersel fotogrametri, binaların ve yapıların zemin seviyesinden görüntülerini yakalayarak son derece ayrıntılı 3B şehir modelleri oluşturmak için kullanılan bir yöntemdir (Singh ve diğ., 2014). Bu teknik ile bir binanın çeşitli açılardan ve mesafelerden çok sayıda fotoğrafı çekilir. Daha sonra fotogrametrik yazılımlar

kullanılarak görüntüler işlenir ve yüksek hassasiyetli 3B modeller oluşturulabilir. Yersel fotogrametrinin en önemli avantajlarından biri, havadan yapılan araştırmalarla elde edilemeyen karmaşık cephe detaylarını yakalama yeteneğidir. Araştırmacılar, binaların yakın plan görüntülerini yerden yakalayarak, 3B kent modelinin genel gerçekçiliğine katkıda bulunan pencereler, kapılar ve mimari süslemeler gibi ince ayrıntıları doğru bir şekilde yeniden üretebilirler. Bu ayrıntılı cephe elemanları daha sonra 3B modele kusursuz bir şekilde entegre edilerek şehir manzarasının gerçekçi bir temsilini sağlar.

Mobil panorama ve fotogrametri yöntemini kullanarak 3B bir şehir modeli oluşturmak için panorama oluşturma işleviyle donatılmış mobil cihazlar kullanarak bir şehir ortamının farklı açılardan sokak seviyesinde birden fazla görüntüsü alınır. Bu görüntüler daha sonra şehrin 3B temsilini oluşturmak için fotogrametri yazılımı kullanılarak işlenir. Bu yöntemin avantajlarından biri, yalnızca hava görüntülerinden elde edilemeyecek kadar detaylı cephe bilgilerinin yakalanabilmesidir. Binaların ve vitrinlerin sokak seviyesinden yakın çekimleri yapılarak pencereler, kapılar ve tabelalar gibi mimari unsurların karmaşık ayrıntıları hassas bir şekilde yakalanabilir ve 3B kent modeline entegre edilebilir. Bu yaklaşım, kentsel çevrenin daha gerçekçi ve kapsamlı bir şekilde temsil edilmesine olanak tanıyarak kentsel planlama, mimari ve sanal gerçeklik alanlarındaki çok çeşitli uygulamalar için yararlı olmasını sağlar.

Son yıllarda videogrametri olarak adlandırılan, belirli bir akış şeklinde kaydedilen video görüntüleri üzerinden benzer şekilde fotogrametrik yöntemler kullanılarak 3B kent modeli oluşturma üzerine çalışmalar da bulunmaktadır (Stilla ve diğ., 2000; Hairruddin ve diğ., 2019; Alsadik ve Khalaf, 2021). Bu çalışmalar, uçak ya da İHA gibi hava araçlarına yerleştirilen gelişmiş yüksek çözünürlüklü kameralar kullanılarak şehirdeki bir bölgenin havadan görüntülerinin alınmasını içerir. Daha sonra bu görüntüler, bölgedeki binalarının, sokaklarının ve vejetasyon gibi diğer kentsel objelerin ayrıntılı 3B modellerini oluşturmak için çeşitli fotogrametri yazılımları kullanılarak işlenir. Havadan videogrametri yöntemi, 3B kent modellerinin hızlı ve hassas bir şekilde oluşturulmasına olanak sağladığı için özellikle afet müdahalesi gibi hızlı sonuç gerektiren durumlarda ayrıntılı mekânsal bilgi elde edebilmek için idealdir.

2.2.2.2 LiDAR

LiDAR, İngilizce “Light Detecting And Ranging” kelimelerinin baş harflerinden oluşan ışıkla nesne algılama ve mesafe ölçümü teknolojisinin adıdır. LiDAR, lazer ışını kullanarak nesnelerin konumunu ve mesafesini ölçen bir uzaktan algılama yöntemidir. LiDAR sistemleri, nesneleri taramak için lazer ışınlarını kullanır ve bu ışınların geri dönüş süresini ölçerek nesnelere olan uzaklıkları hesaplar.

Bu teknoloji ayrıca arazi harita üretimi, robotik navigasyon, otonom araçlar, büyük yapıların taraması, orman envanteri, arkeoloji ve meteoroloji gibi birçok uygulama alanında günümüzde yaygın olarak ve aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Muñumer Herrero ve diğ., 2022).

LiDAR sistemleri genellikle döner bir lazer tarama başlığı, bir alıcı ve bir veri işleme birimi içerir. Lazer tarama başlığı, dar bir açıda lazer ışınlarını tarar ve geri dönüş süresini ölçer. Alıcı, geri dönen ışınları algılar ve bu bilgiler, veri işleme birimi tarafından analiz edilir ve sonucunda o bölgeye ait yüksek hassasiyetli 3B nokta bulutu elde edilir.

Hava LiDAR yöntemini kullanarak 3B kent modeli oluşturmak, kentsel çevrenin son derece doğru ve ayrıntılı yükseklik verilerini yakalamak için uçak ya da helikopter gibi bir hava aracına monte edilen bir lazer tarama sisteminin kullanılmasını içerir (Deng ve diğ., 2005; Cura ve diğ., 2018). LiDAR sistemi, yere doğru lazer darbeleri yayar ve bunların sensöre geri yansımaları ölçerek hassas 3B nokta bulutlarının oluşturulmasına olanak tanır. Bu nokta bulutları, aynı anda havadan alınan görüntüler ve diğer veriler ile birleştirilerek şehrin kapsamlı ve gerçekçi bir 3B modeli oluşturulabilir. Hava LiDAR yöntemi, geniş alanlara ait verilerin kısa sürede ve yüksek hassasiyetle ölçülebilmesi nedeniyle tercih edilmektedir (Ulm, 2003; Sanjaya, 2017).

Yersel LiDAR yöntemini kullanarak 3B kent modeli oluşturmak, bir lazer tarayıcı kullanarak binaları ve diğer yapıları zemin seviyesinden tarama çalışmalarını içerir (Cura ve diğ., 2018). Bu yöntem, geleneksel hava LiDAR'ından çok daha yüksek çözünürlük ve doğruluk sağlayarak, havadan elde edilemeyen cephe detaylarının ayrıntılı olarak temsil edilmesine olanak tanır. Yersel LiDAR, binaların etrafında birçok açıdan ve konumdan veri alarak, hava LiDAR ile elde edilmesi mümkün olmayan pencereler, kapılar ve karmaşık cepheler gibi karmaşık mimari özellikleri

yakalayabilir. Bu veriler daha sonra 3B kent modeline entegre edilerek kentsel çevrenin son derece doğru ve gerçekçi bir temsili oluşturulabilir. Yersel LiDAR'lar aracılığıyla elde edilen ayrıntılı cephe bilgileri, 3B kent modelinin genel kalitesini ve gerçekçiliğini büyük ölçüde artırabilir ve kentsel planlama, geliştirme ve görselleştirme amaçları için değerli bilgiler sağlayabilmektedir.

Mobil panorama sistemlerine entegre edilen mobil LiDAR cihazları ile binaların ayrıntılı yüzey verilerinin ve dokularının sokak seviyesinden ölçülerek elde edilmesi sağlanabilir (Cura ve diğ., 2018). Bu yöntemin en büyük avantajlarından biri, karmaşık mimari özellikler, dokular ve malzemeler gibi havadan alınan görüntüden elde edilemeyen cephe detaylarının yakalanabilmesidir. Bu ayrıntılı cephe görüntüleri daha sonra 3B kent modeline entegre edilerek gerçekçiliği ve doğruluğu artırılır. Bu entegre yaklaşım, şehir planlamacılarının, mimarların ve paydaşların altyapı planlaması, afet yönetimi ve turizmin teşviki gibi çeşitli uygulamalar için şehir manzarasını daha etkili bir şekilde görselleştirmesine ve analiz etmesine olanak tanır.

2.2.2.3 SAR

Sentetik Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar veya SAR), hava, deniz veya yer yüzeyinin yüksek çözünürlüklü görüntülerini oluşturabilen bir uzaktan algılama teknolojisidir. SAR, radardan gelen sinyallerin nesnelerden geri yansımalarını ölçerek bir radar görüntüsü oluşturur.

SAR, tıpkı bir kamera gibi çalışır, ancak enerji kaynağı olarak güneş yerine kendi radar enerjisi kullanır. Bir SAR sistemi, radar antenini nesnelerin üzerinde hareket ettirir ve her noktanın yansıma verilerini toplar. Bu veriler, bir algoritma aracılığıyla işlenerek yüksek çözünürlüklü bir görüntü oluşturur.

SAR sistemi, elektromanyetik dalgaların yaydığı radar enerjisi ile çalışır. Sinyal, nesnelerden yansıyarak geri döner ve SAR sistemi tarafından alınır. Bu geri dönen sinyal, nesnelerin yüzey özellikleri ve yapıları hakkında bilgi sağlar. SAR sistemi, yüksek çözünürlüklü görüntüler üretebilmek için bu yansıma verilerini işler.

SAR'ın bir avantajı, atmosfer koşulları veya güneş ışığı gibi dış etkenlerin etkisini minimize etmesidir. Çünkü SAR, yoğun sis, yağmur, bulutlar olduğunda bile çalışabilir. Ayrıca SAR, yüzey üzerindeki nesneleri, diğer sensörlerin sağlayamayacağı yüksek çözünürlükle görüntüleyebilir. Bu, SAR'ın uzaktan algılama ve izleme uygulamaları için çok değerli bir araç haline getirir.

SAR, birçok farklı uygulama alanına sahiptir. Örneğin, arazi haritası üretimi, orman izleme, denizcilik, çevre izleme, felaket yönetimi ve askeri keşif gibi alanlarda kullanılır. SAR görüntüleme, jeoloji ve coğrafi bilgi sistemlerinde de yaygın olarak kullanılan değerli bir veri üretim aracıdır.

Uzaydan ve havadan sentetik açıklıklı radar (SAR) yöntemlerini kullanarak kentsel ortamların ayrıntılı, 3B modellerini oluşturmak için uydulara veya uçaklara entegre edilen radar sistemlerinden elde edilen veriler kullanılmaktadır (Beil ve diğ., 2021). Uzaydaki SAR sensörleri geniş kapsama alanı sunar ve geniş alanlar üzerinde tutarlı veriler sağlarken, hava araçlarındaki SAR sensörleri daha yüksek çözünürlük sunar ve belirli konumlara ilişkin daha ayrıntılı bilgileri yakalayabilir. Araştırmacılar ve şehir planlamacıları, hem uzaydaki hem de havadaki SAR sistemlerinden gelen verileri birleştirerek şehir planlama, afet yönetimi ve çevresel izleme gibi çeşitli uygulamalar için kullanılacak yüksek hassasiyete sahip ve gerçekçi 3B kent modelleri oluşturabilirler. Bu yöntem, karar verme süreçlerine yardımcı olabilecek ve kentsel alanların genel yönetimini ve gelişimini iyileştirmeye yardımcı olabilecek ayrıntılı kent modellerinin verimli ve uygun maliyetli oluşturulmasına olanak tanır.

2.2.3 Bilgisayar destekli çizim ve tasarım verileri

Bilgisayar destekli çizim ve tasarım (CAD) genel bir kavram olarak, pek çok sektörde uzun yıllardır oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bilgisayar yazılımları sayesinde mühendislik çalışmalarında ihtiyaç duyulan teknik çizimler sayısal ortamda oluşturulabilir, düzenlenebilir ve diğer teknik personeller arasında paylaşılabilir.

Günümüzde bilgisayar destekli çizim ve tasarım için kullanılan ticari ve açık kaynaklı pek çok yazılım bulunmaktadır. Bunların çoğu Windows, macOS ve Linux gibi yaygın kullanılan farklı işletim sistemleri ile de uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir. Her bir yazılımın kendine özgü bazı özellikleri ve işlevleri de bulunmaktadır.

2.2.3.1 CAD çizimlerinin entegrasyonu

AutoCAD, MicroStation, SolidWorks bu alanda en yaygın kullanılan ticari yazılımlara örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca internette FreeCAD, LibreCAD, QCAD başta olmak üzere pek çok açık kaynak kodlu CAD uygulaması da bulunmaktadır. Ülkemizde yerel yönetimlerde kullanılan NetCAD ve GeoCAD gibi bazı uygulamalar da bu amaçla kullanılan yerli yazılım ürünlerine örnek olarak gösterilebilir.

CAD uygulamaları temelde iki tür veri yapısını desteklemektedir. Vektörel tabanlı tasarım tekniğinde matematiksel formüller kullanarak noktalar, düz ve eğri çizgiler, kapalı alanlar olmak üzere pek çok şekil “Nokta, Çizgi ve Alan” temel sınıfları içerisinde sayısal ortamda oluşturulabilir. Piksel tabanlı tasarımda ise, piksellerden oluşan bir ızgara üzerinde değerlerin depolanması ile çalışır ve yüksek çözünürlüklü grafikler oluşturmak için kullanılır. Genellikle uydu görüntüsü, sayısal yükseklik modeli (DEM) ve sayısal yüzey modeli (DSM) gibi raster formatlı veriler bu şekilde depolanır ve kullanılır.

CAD, 2B çizimlerin yanı sıra 3B modellerin oluşturulması için de kullanılabilir. CAD çizimleri genellikle yapıların teknik detaylarını, ölçeklerini, malzeme kullanımını ve daha fazlasını da içerebilir. Bu nedenle bu tür çizimler, mimarların, mühendislerin ve diğer ilgili profesyonellerin karşılıklı iletişim kurması ve projelerin uygulanması aşamalarında kullanılan önemli araçlardır.

CAD çizimlerinin 3B kent modellerine entegrasyonu, CAD yazılımlarıyla oluşturulan ayrıntılı mimari ve mühendislik planlarının kentsel ortamların dijital temsillerine dahil edilmesini içerir. Bu çizimlerin entegre edilmesiyle kent modelleri binaların, altyapının ve peyzajın karmaşık ayrıntılarını daha doğru bir şekilde yansıtabilir. Bu entegrasyon, şehrin daha kapsamlı ve gerçekçi bir şekilde görselleştirilmesine olanak tanıyarak kentsel planlama, tasarım ve geliştirme süreçlerine yardımcı olur. Ek olarak, paydaşların önerilen projelerin etkisini analiz etmelerine ve değerlendirmelerine, karar verme sürecini kolaylaştırmalarına ve projeye dahil olan çeşitli ekipler ve paydaşlar arasındaki iletişimi geliştirmelerine olanak tanır. Genel olarak CAD çizimlerinin 3B kent modellerine entegrasyonu, daha verimli, sürdürülebilir ve görsel açıdan ilgi çekici kentsel alanlar yaratmak için değerli bir araç olarak hizmet etmektedir.

2.2.3.2 3B mimari modellerin entegrasyonu

Bilgisayar destekli tasarımın bir alt dalı olan 3B modelleme, 3B nesnelerin bilgisayar ortamında oluşturulması ve düzenlenmesi anlamına gelir. CAD’de gerçekleştirilen 3B çizimlerin aksine genellikle bu tür çalışmalar için sektörde daha özellikli farklı yazılımlar geliştirilmiştir. 3D Studio Max, Blender, Maya, Cinema 4D, Rhino gibi birçok program mimari modelleme ve görselleştirme alanında yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu programlar kullanılarak mimari modeller detaylı bir şekilde modellebilir ve yapıların tasarım süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılır. Bu modeller,

ölçekli olarak yapılan küçük maketlerin bilgisayar ortamında oluşturulmuş örnekleri olarak da düşünülebilir. Mimari modeller, tasarımın daha iyi anlaşılmasını sağlar, yapıyı görsel olarak temsil eder ve değişikliklerin yapılması ve farklı açılardan incelenmesi için kullanılır.

Mimari modeller ve CAD çizimleri, yapıların tasarlanması ve inşası sürecinde büyük bir rol oynar. Tasarımların daha iyi anlaşılması, hataların tespit edilmesi, ölçekli ve görsel bir temsilin sağlanması gibi avantajları vardır. Ayrıca, bu teknolojilerin kullanılması, hızlı ve hassas çizimlerin yapılmasını ve tasarımların diğer profesyoneller arasında karşılıklı olarak paylaşılmasını da kolaylaştırır.

Mimari 3B modellerin 3B kent modellerine entegrasyonu kentsel planlama ve tasarımda çok önemli bir rol oynamaktadır. Planlamacılar ve geliştiriciler, ayrıntılı mimari modelleri şehir çapındaki modellerle birleştirerek, bireysel binaların daha geniş kentsel bağlamda nasıl uyum sağladığını görselleştirebilirler. Bu entegrasyon kentsel yoğunluk, güneş ışığına maruz kalma ve mimari tutarlılık gibi konuların daha iyi anlaşılmasını sağlar. Ek olarak, paydaşların yeni gelişmelerin çevre ve altyapı üzerindeki etkisini değerlendirmesine olanak tanır. Şehir planlamacıları, mimari 3B modelleri 3B kent modellerine dahil ederek gelecekteki şehir manzaralarının daha doğru ve gerçekçi temsillerini oluşturabilir, karar verme süreçlerine bilgi sağlamaya ve sürdürülebilir kentsel gelişimi teşvik etmeye yardımcı olabilir.

2.2.3.3 BIM modellerinin entegrasyonu

BIM modelleri, yapıların tasarımı, yapımı ve işletimi süreçlerinde kullanılan dijital modelleridir. BIM modelleri, yapıların 3B geometrisi, bileşenleri, malzeme özellikleri, yapı sistemleri ve yapı bileşenlerinin ilişkileri hakkında kapsamlı bilgiler içerir.

BIM modellerinin 3B kent modellerine entegrasyonu sayesinde şehircilik çalışmaları ve büyük altyapı projelerinde beraber çalışabilirlik için büyük bir avantaj sağlanır. Kentlerin tüm yapı bileşenlerini tek bir ortamda birleştirerek, yapıları, altyapıyı, ulaşım sistemlerini, yeşil alanları ve diğer kentsel unsurlarına tek bir merkezden erişim sağlanır. Bu entegrasyon, şehir plancılarına, mimarlara, mühendislere ve diğer taraflara, kentsel projelerin tasarımını, inşasını ve işletimini daha iyi anlamalarını ve yönetmelerini sağlar. Böylece kentsel tasarım ve planlama süreçlerinde daha iyi iletişim, işbirliği ve verimlilik sağlamaktadır.

2.2.4 Prosedürel modelleme ile üretilen veriler

Prosedürel modelleme, bir sürecin veya sistemin belirli adımların ardışık bir şekilde gerçekleştirilmesiyle tanımlanan bir modelleme yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, sistemin veya sürecin nasıl çalıştığını anlamak, belirli bir hedefi gerçekleştirmek veya bir sorunu çözmek için kullanılır. Prosedürel modelleme ile bir problemin çözümü için aşamaları belirlenerek, her bir adımın neleri içerdiğini ve nasıl gerçekleştirilmesi gerektiği ayrıntılı olarak tanımlanır. Daha sonra bu adımlar önceden belirlenmiş bir sıraya göre uygulanır.

3B prosedürel modelleme, bilgisayar grafikleri ve bilgisayar destekli tasarım alanında kullanılan bir tekniktir. Bu teknik, matematiksel algoritmalar ve kurallar kullanarak sanal dünyaların veya nesnelerin otomatik olarak oluşturulmasını sağlar. Prosedürel modelleme, geleneksel yöntemlerle (örneğin, elle modelleme veya tarama gibi) oluşturulması zor veya zaman alıcı olan karmaşık ve detaylı 3B nesnelerin yaratılmasında yardımcı olur. Bu teknik, daha gerçekçi ve doğal görünen sonuçlar elde etmek için matematiksel denklemler ve kurallar kullanır.

Bu teknik, aynı modelin farklı versiyonlarını oluşturmak veya daha sonra değiştirmek için kolaylık sağlar. Örneğin, bir oyun tasarımcısı, prosedürel modelleme kullanarak farklı düzeyler veya sahneler oluşturabilir. Bu sayede, farklı yerlerde geçen oyun seviyeleri oluşturmak için aynı temel modele dayanan benzer, ancak farklı detaylara sahip olan farklı nesneleri otomatik olarak oluşturabilir.

Temel olarak, prosedürel modelleme, detaylı ve karmaşık 3B nesnelerin hızlı bir şekilde modellenmesine olanak sağlar.

2.2.4.1 3B kütle modeller

Prosedürel modelleme ile binaların taban alanları ve yükseklik bilgilerini kullanarak 3B kütle modellerini oluşturulabilir. Bu modeller genellikle binaların gerçek dünyada nasıl konumlandırıldığını ve ne kadar yer kapladığını görselleştirmek için kullanılır.

CBS'deki veriler, çeşitli kaynaklardan elde edilebilir. Örneğin, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri veya LiDAR teknolojisi gibi veri toplama yöntemleri kullanılabilir. Bu veriler, binaların taban alanlarını ve yüksekliklerini tanımlamak için analiz edilir.

Binaların taban alanlarının ve yüksekliklerinin bilindiği durumlarda, bu bilgiler kullanarak 3B kütle modelleri oluşturulabilir. Bu modeller, binaların genel

görünümünü, boyutlarını ve konumlarını hassas bir şekilde gösterir. Bu da inşaat projeleri, şehir planlaması ve görsel analizler gibi birçok alanda faydalı olabilir.

3B kütle modelleri, kullanıcıların binaların hacmini, şeklini ve yerleşimini daha iyi anlamalarına yardımcı olur. Aynı zamanda, binaların güneş ışığına, rüzgâra ve diğer doğal faktörlere olan etkilerini değerlendirmek için de kullanılabilir.

CBS'deki 3B kütle modelleri, genellikle özel CBS yazılımları aracılığıyla oluşturulur. Bu yazılımlar, veri analizi ve görselleştirme için çeşitli araçlar sağlar ve kullanıcılara farklı perspektiflerden binaları incelemeye imkân verir.

2.2.4.2 Detaylı prosedürel modelleme algoritmaları

Temel olarak bilinen 3B prosedürel modelleme yöntemleri şunlardır:

Parametrik Modeller, Bu yöntemde, bir nesne veya model, belirli parametreler kullanılarak oluşturulur. Parametreler, şekil, boyut, oran vb. gibi özellikleri kontrol etmek için kullanılır. Örneğin, bir parametrik modelleme yazılımında, bir tünelin genişliği, yüksekliği ve uzunluğu gibi parametreler belirlenebilir ve kullanıcı bu parametreleri değiştirerek modeli özelleştirebilir.

Fraktal modeller, tekrarlanan desenler ve kendine benzerliklerle karakterize edilen matematiksel şekillerin incelenmesidir. Fraktal modelleme, karmaşık 3D yapıları oluşturmak için kullanılır. Özellikle doğal ve organik şekilleri oluşturmak için etkilidir.

Prosedürel doku kaplama, Bu yöntemde, nesnelerin yüzeylerine uygulanacak dokular ve renkler gibi özellikler, matematiksel yöntemler kullanılarak generatif olarak oluşturulur. Prosedürel doku kaplama, daha gerçekçi ve detaylı görüntüler elde etmek için kullanılır.

L-Sistemi, bitkilerin büyümesini ve dallanmasını modellemek için kullanılan bir prosedürel modelleme yöntemidir (Ullrich ve diğ., 2010). Bu yöntemde, basit kurallar kullanılarak karmaşık ve gerçekçi bitki modelleri oluşturulabilir.

Voksel tabanlı modelleme, 3B bir nesneyi küçük hacimli bloklar veya pikseller olarak temsil etme yöntemidir. Bu blokların yerleşimi ve özellikleri, prosedürel olarak kontrol edilebilir ve modelin detayları bu şekilde oluşturulabilir.

Parish ve Müller, 2001 yılında prosedürel modelleme mantığını şehirlere uyarlamak için bazı çalışmalarda bulundu ve başlangıç olarak bir görüntü haritası verildiğinde bir yol verisi oluşturan bir sistem geliştirdiler. Bu çalışma ile yolların kesişiminden oluşan kapalı alanlar binalar için geometri içeren objeleri temsil ediyordu. Böylece L sistemleri ve şekil gramerleri şehirlerin prosedürel modellemesinde başarıyla kullanılabildi (Parish ve Müller, 2001). Daha sonraki çalışmalarda Müller ve arkadaşları “Computer Generated Architecture” (CGA) olarak adlandırılan bölünmüş şekil gramerleri yapısına dayalı ayrıntılı cepheler oluşturmak için bir sistem tanımladılar. Bu sistem daha sonradan bir programlama diline dönüşerek CityEngine adı verilen ticari bir uygulama altyapısı içine yerleştirildi. CityEngine’in sunduğu CGA dili, şekil grameri tanımlamak için kapsamlı bir prosedürel modelleme ortamı sunmaktadır (Ullrich ve diğ., 2010).

2.3 Dijital İkiz Kavramı

Dijital ikiz, gerçek dünyadaki bir şeyin (nesne, yapı, sistem vb.) dijital bir kopyasını oluşturmak için kullanılan bir kavramdır. Bir şehrin modelini oluşturmak için dijital ikiz kavramı, gerçek dünyadaki şehir yapılarının dijital bir kopyasını oluşturarak, şehrin planlaması, yönetimi ve sürdürülebilirlik analizlerini geliştirmeyi amaçlar.

Dijital ikiz kavramı son yıllarda 3B kent modelleri ile birlikte sıklıkla beraber ve eş anlamlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak daha detaylı bir şekilde açıklanması gerekirse “Dijital İkiz” kavramı fiziksel varlık ve süreçlerin sanal ortamlardaki dijital bir temsidir. Yani bir dijital ikiz; temelde gerçek dünyadaki nesnelerin ya da sistemlerin tam bir dijital modeli, hatta dijital bir kopyasıdır. Bu dijital model, sensörler ve diğer veri kaynakları aracılığıyla sürekli olarak güncellenir ve gerçek zamanlı olarak takip edilebilen bir halini yansıtır.

Dijital ikiz, fiziksel bir nesnenin, bu nesne ile ilişkili süreçlerin veya bütünsel olarak bir sistemin gerçek zamanlı veri ve bilgilerini toplayarak, analiz ederek, işleyerek ve takip ederek oluşturulur. Dijital ikiz oluşturma sürecinde, nesnelerin veya sürecin özelliklerini ve davranışlarını gerçek dünyaya sadık bir şekilde temsil etmek temel amaçtır. Bu sayede gerçek nesnenin ayrıntılı dijital bir kopyası üretilmiş olur. Düzenli olarak gelen veriler ile gerçek nesnede meydana gelen herhangi bir değişikliğin ya da o nesnenin güncel durumunun takip edilmesi, yorumlanması, çeşitli analizlerle incelenmesi mümkün olur.

Dijital ikizler, bir nesne ya da sürecin performansının izlenmesine ve değerlendirilmesine de yardımcı olur. Örneğin endüstriyel bir tesisteki herhangi bir makinenin çalışması ve performansı takip edilebilir, enerji verimliliği optimize edilebilir. Hatta çevreyle olan etkileşimi, olası ses, gürültü, ısı gibi etkileri 3B olarak analiz edilebilir ve bulunduğu mekân ile ilişkili olarak görselleştirilebilir.

Dijital ikizler, çeşitli endüstrilerde birçok avantaj sunar. Örneğin, üretim endüstrisinde, bir fabrikanın dijital ikizi, üretim süreçlerini optimize etmek, hataları ve verimsizlikleri azaltmak için kullanılabilir. Benzer şekilde, enerji sektöründe bir tesisin dijital ikizi, enerji tüketimini izlemek ve iyileştirmeler yapmak için kullanılabilir.

Dijital ikiz, tasarım aşamasında projelerde de kullanılan bir yöntemdir. Örneğin, bir bina inşa edilirken, gerçek bir dijital ikiz kullanılarak, yapının önceden nasıl görüneceği ve davranacağı gözlemlenebilir ve analiz edilebilir.

Dijital ikiz kavramı coğrafi bilgi bilimi alanında ise bir şehrin sanal bir modelinin oluşturulmasında kullanılan bir terimdir. Bir şehrin dijital ikizi, gerçek şehrin parametrelerini taklit eden ve gerçek zamanlı verileri kullanarak şehrin analizini yapabilen bir sanal modele denir. Dijital ikiz bu yönüyle 3B kent modellerinden ayrılır. Bir 3B kent modelinin dijital ikiz olabilmesi için, içerisinde sürekli olarak gelen sensör verileri ya da düzenli olarak güncellenen verilerle beslenen bir yapı olarak kurgulanması gereklidir. Aksi takdirde kentin belirli bir zamandaki modellenmiş görünümünden farkı yoktur.

Dijital ikizler, bir şehrin altyapısını ve kaynaklarını taklit eden 3B görselleri kullanır. Bu model, şehirdeki yapılar, yollar, yeşil alanlar ve diğer önemli unsurları içerir. Dijital ikiz, ayrıca gerçek zamanlı verilere dayanarak trafik akışını, enerji tüketimini, su kullanımını ve hava kalitesini gibi şehir özelliklerini taklit eder.

Bir şehrin dijital ikizi, şehir planlamacılarına, belediyelere ve diğer ilgili paydaşlara gerçek şehirde yapılacak değişikliklerin olası sonuçlarını görmelerine ve analiz etmelerine olanak tanır. Örneğin, bir şehir yönetimi yeni bir yol yapmayı veya bir bölgeyi yeniden yapılandırmayı düşünüyorsa, dijital ikiz modeli bu değişikliklerin trafik akışına, çevresel etkilere ve diğer faktörlere nasıl bir etkisi olacağını tahmin etmelerine yardımcı olur.

Dijital ikizler aynı zamanda acil durum yönetimi için de kullanılabilir. Bir şehirde doğal bir afet veya kriz durumu olduğunda, dijital ikiz modeli, güvenlik güçlerine ve kurtarma ekiplerine gerçek zamanlı verilere dayalı olarak hızlı ve doğru kararlar almalarına yardımcı olur.

Sonuç olarak dijital ikiz kavramı, gerçek dünyadaki nesneleri ve süreçleri daha iyi anlamak, izlemek ve optimize etmek için kullanılan dijital bir modeldir. Bu sayede, çeşitli endüstrilerde verimlilik, süreç iyileştirmeleri ve yenilikçi ürün geliştirmeleri sağlanabilir.

Bu dijital ikiz modeli, şehirdeki binaların, altyapı sistemlerinin, yol ağının, yeşil alanların, su ve enerji kaynaklarının, insan ve araç hareketlerinin vb. ayrıntılı bir şekilde temsilini sağlar. Bu sayede, şehrin fiziksel yapısını anlamak, mevcut durumunu analiz etmek ve potansiyel geliştirme alanlarını keşfetmek daha kolay hale gelir.

Şehir modeli, gerçek zamanlı veri akışı ile güncellenebilir ve analiz edilebilir. Örneğin, trafik yoğunluğu, hava kirlilik seviyeleri, enerji tüketimi gibi değişkenlerin gerçek zamanlı olarak takip edilmesi ve analiz edilmesi mümkündür. Bu veriler, şehir planlamacıları ve yöneticileri için önemli bir kaynak oluşturur ve daha iyi kararlar almak için yardımcı olur.

Dijital ikiz kavramı son yıllarda endüstriyel otomasyon, enerji sektörü, sağlık hizmetleri ve kentsel planlama ve yönetim gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Bu alanlardaki yapay zekâ, büyük veri analitiği ve sensör teknolojilerinin ilerlemesiyle birlikte, günümüzde dijital ikizlerin kullanımı da giderek artmaktadır.

2.4 Mekânsal Veri Modelleri ve Standartlar

Mekânsal veri modelleri ve standartlar, coğrafi verilerin organizasyonunu ve yönetimini sağlamak amacıyla kullanılan yapısal ve format standartlarıdır. Bu standartlar, coğrafi konum verilerini tutmak, paylaşmak ve analiz etmek için kullanılan veritabanı sistemleri ve uygulamaları arasında uyumluluk sağlamayı hedefler.

OGC (Open Geospatial Consortium), coğrafi verilerin paylaşımı, işlenmesi ve kullanılması için uluslararası standartlar geliştiren bir kuruluştur. OGC standartları, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) alanında mimari, veri formatları, hizmetler ve uygulamalar için temel altyapıyı sağlamaktadır.

OGC'nin en ünlü standartlarından biri, Web Feature Service (WMS) standardıdır. WMS, web tabanlı harita üretimi uygulamalarında haritaların sunulması için standart bir protokol sağlar. WMS, kullanıcılara çeşitli coğrafi veri katmanlarını görüntüleme, sorgulama ve analiz etme imkânı sunar.

Bir diğer OGC standardı ise Web Feature Service (WFS) standardıdır. WFS, coğrafi veritabanlarına erişim sağlamak ve veri alışverişi yapmak için kullanılır. WFS, kullanıcılara coğrafi veri özelliklerini sorgulama, düzenleme ve analiz etme imkânı sunar.

OGC standartları, farklı coğrafi veri türlerinin ve hizmetlerin uyumlu bir şekilde paylaşılabilmesini sağlar. Bu da farklı CBS uygulamalarının ve sistemlerinin birbirleriyle entegrasyonunu kolaylaştırır. OGC standartları, endüstri liderleri tarafından benimsenmiş ve çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

2.4.1 CityGML

2.4.1.1 Temel bilgiler

CityGML, kent modelleri için bir veri standardıdır. Şehirlerin çeşitli bileşenlerini (binalar, yollar, yeşil alanlar vb.) 3B olarak temsil etmek için kullanılır (Özdoğan ve Başaraner, 2013; Vitalis ve diğ., 2019). Bu standardın amacı, şehirlerin daha etkili bir şekilde planlanması, inşa edilmesi, işletilmesi ve sürdürülmesine yardımcı olmaktır (Yao ve diğ., 2018).

CityGML, OGC tarafından geliştirilmiştir ve XML (Extensible Markup Language) tabanlı bir format kullanır. Kent modelleri için detaylı geometri, topoğrafya, semantik bilgiler ve ilişkileri içeren bir yapı sağlar.

CityGML, kent modellerini farklı detay seviyelerinde temsil etmek için kullanılan bir LOD (Level of Detail) sistemiyle birlikte gelir. Bu, kullanıcının ihtiyaçlarına ve uygulamasına bağlı olarak daha genel bir temsilden daha ayrıntılı bir temsile geçişi mümkün kılar.

CityGML, çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Şehir planlaması, arazi kullanımı analizi, enerji verimliliği, su yönetimi ve simülasyon gibi alanlarda kullanılabilir. Ayrıca, şehirlerin 3B görselleştirmesi, sanal gerçeklik ve oyun geliştirme gibi alanlarda da kullanılır.

CityGML, açık kaynaklı yazılımlar ve profesyonel CBS yazılımları gibi farklı platformlarda kullanılabilir. Ayrıca CityGML veri dosyalarını oluşturmak ve düzenlemek için özel araçlar da mevcuttur.

2.4.1.2 Detay seviyeleri

CityGML, şehir modellemesi için kullanılan bir veri modelidir. CityGML, 3B kent modellerindeki detay seviyelerini tanımlamak için LOD adı verilen bir sınıflandırma sistemi kullanır (Zlatanova ve diğ., 2010; Kutzner ve diğ., 2020).

CityGML'de toplam dört detay seviyesi bulunur.

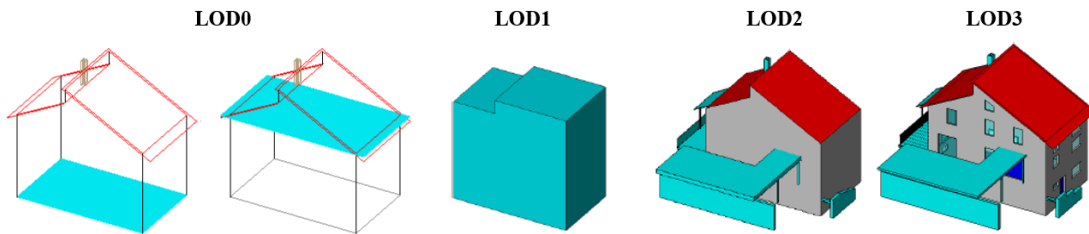
LOD0: Bu seviyede, yapılar sadece temel geometrik bilgilerle temsil edilir. Yani, binanın genel şekli ve konumu gibi bilgilerini içeren bir yüzey olarak gösterilir.

LOD1: Bu seviyede, yapıların genel şekilleri ve boyutları daha doğru olarak modellenebilir. Binanın duvarlarını, dış cephesini ve tavanını içerir.

LOD2: Bu seviyede, yapıların genel hatları daha fazla geometrik detay ve genişlik/uzunluk/derinlik ölçüleri ile temsil edilir. Yapıların kısmen daha gerçekçi ve detaylı bir modeli sunulur.

LOD3: Bu seviyede, yapılar çok daha detaylı ve gerçekçi bir şekilde modellenebilir. Yapıların bütün özellikleri ve detayları bu seviyede temsil edilebilir. Bu seviyede, pencere, kapı, merdiven gibi ayrıntılı öğeler de tanımlanır.

3B kent modeli üretimi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan ve OGC tarafından dünyada standart olarak kabul edilmiş bu detay seviyeleri Şekil 2.2'de görülmektedir. Bu LOD seviyeleri kullanılarak bina modelleri farklı detay seviyelerinde tanımlanabilir ve depolanabilir. Bu şekilde farklı çalışmalarda o çalışmanın amacına daha uygun olan detay seviyesindeki modelin kullanılabilmesi mümkün olur.



Şekil 2.1 : OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard (OGC 12-019) proje dokümanında tanımlanan LOD seviyeleri (source: Karlsruhe Institute of Technology (KIT), courtesy of Franz-Josef Kaiser).

Uydu görüntüleri, hava fotogrametrisi ve hava LiDAR gibi uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen tüm veriler temelde binaların çatı kenar çizgisinin belirlenmesi ilkesine dayanır. Bu şekilde elde edilen 3B çatı modeli verilerinin arazi yüzeyine izdüşürülmesi ile 3B bina modelleri oluşturulur. Üretim yaklaşımı sonucu havadan elde edilen verilerden bina modeli oluşturulurken yaygın olarak çatı kenar çizgileri temel alındığı için çatı-cephe arasında bulunan mesafeler göz ardı edilir. Daha fazla sayıda yüksek bindirmeli eğik görüntüler kullanılması, yersel örneklem aralığı (GSD) değerinin düşürülmesi ve gerekli bölgelerde ek yersel ölçümler yapılması ile bu soruna belirli oranda çözüm üretilebilir. Ancak bu yöntemler hem üretim maliyetlerinin hem de üretim süresinin fazlasıyla artmasına neden olur. Bu nedenle havadan elde edilen verilerden üretilen LOD2 seviyeli bina modellerinde genellikle çatı payı ve cephe detayı bulunmamaktadır.

2.4.1.3 ADE eklentileri

ADE'ler (Uygulama Eklentisi Sınıfları), CityGML standardının genişleyebilirliğini ve esnekliğini artırır (Chaturvedi ve diğ., 2019). CityGML, 3B kent modellerini temsil etmek için kullanılan bir standarttır. Ancak, bu standart tüm kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamayabilir. ADE'ler, CityGML'in temel veri modeline yeni ve özelleştirilmiş veri türleri ekleyerek, kullanıcıların kendi ihtiyaçlarına uygun şehir verilerini temsil etmelerini sağlar. Bu sayede, kullanıcılar kendi uygulama alanlarına, coğrafi veri tiplerine veya diğer özel gereksinimlere uygun şehir modellerini oluşturabilirler.

CityGML ADE'ler, ulaşım ağı, su yönetimi, enerji verimliliği, afet yönetimi gibi farklı uygulama alanlarında kullanılabilir. Bu ADE'ler, şehirlerin karmaşık ve çeşitli özelliklerini daha iyi temsil etmeye ve analiz etmeye yönelik çözümler sunar.

Örneğin, bir şehirdeki elektrik şebekesinin temsili için CityGML ADE'si kullanılabilir. Bu ADE, elektrik hatlarını, trafoları, direkleri vb. tanımlayarak CityGML standardını genişletir. Böylece, elektrik şebekesinin detaylı bir şekilde temsil edilebilmesi ve şebekeye ilişkin analizlerin yapılabilmesi mümkün hale gelir.

ADE'ler ayrıca mevcut CityGML veri modelinin belirli bileşenlerini değiştirmek veya güncellemek için kullanılabilir. Bu, örneğin CityGML'de temsil edilmeyen bazı veri türlerini eklemek veya mevcut nesnelerin özelliklerini değiştirmek anlamına gelebilir.

Bir ADE, CityGML'e ek veri türlerini tanımlamak için XML tabanlı bir şema kullanır. Bu şema, ADE'nin kullanıcı tarafından tanımlanan özel veri türlerini ve bu veri

türlerine ilişkin özelleştirilmiş özellikleri tanımlar. ADE'ler, CityGML veri dosyaları içine entegre edilebilir ve mevcut CityGML uyumlu yazılımlarında kullanılabilir.

2.4.2 Diğer bazı mekânsal veri standartları

2.4.2.1 CityJSON

CityJSON veri modeli, 3B kent modellerini depolamak ve paylaşmak için kullanılan bir dosya formatıdır. Bu format, JSON (JavaScript Object Notation) formatını kullanır ve şehirlerin geometrik, topolojik ve semantik özelliklerini tanımlamak için bir dizi özellik ve nesne içerir.

CityJSON, şehir modellerini daha hafif ve daha kolay işlenebilir hale getirmek için tasarlanmıştır. Bu sayede, büyük kent modelleri daha verimli bir şekilde depolanabilir ve paylaşılabilir. Ayrıca, CityJSON dosyaları, 3B harita üretimi, şehir planlama, simülasyon ve diğer uygulamalarda kullanılan çeşitli yazılımlarla da uyumlu çalışabilir.

CityJSON, farklı özelliklerin ve nesnelerin ayrıntılı bir şekilde tanımlanmasına olanak tanır. Örneğin, binalar, yollar, yeşil alanlar, su kaynakları gibi şehir öğeleri için geometrik ve semantik bilgileri içerebilir. Ayrıca, CityJSON dosyaları, LOD gibi farklı detay seviyelerini destekleyebilir, böylece kullanıcılar ihtiyaçlarına göre ayrıntı düzeyini ayarlayabilir.

CityJSON, kent modellerini paylaşmak ve farklı uygulamalar arasında veri alışverişi yapmak için kullanışlı bir format sağlar. Ayrıca, açık kaynaklı bir proje olan CityJSON, geliştiricilerin formatı genişletmelerine ve özelleştirmelerine olanak tanır.

2.4.2.2 3DTiles

3DTiles, 3B coğrafi verileri depolamak ve paylaşmak için kullanılan bir veri formatıdır. Bu format, 3B modellemeleri, dokuları, geometrileri ve diğer ilgili verileri tek bir dosyada birleştirir.

3DTiles, özellikle büyük ölçekli 3B verileri işlemek için tasarlanmıştır. Bu format, verileri hiyerarşik bir yapıda organize eder ve farklı detay seviyelerini destekler. Bu sayede, kullanıcılar ihtiyaçlarına göre ayrıntı düzeyini ayarlayabilir ve verileri daha verimli bir şekilde işleyebilir.

3DTiles, 3B coğrafi verileri farklı uygulamalar arasında paylaşmak için kullanışlıdır. Örneğin, harita uygulamaları, sanal gerçeklik uygulamaları, simülasyonlar ve diğer 3B görselleştirme araçları 3DTiles formatını destekleyebilir. Bu sayede, farklı platformlar arasında veri alışverişi yapmak ve 3B verileri daha kolay paylaşmak mümkün olur.

3DTiles formatı, verilerin etkili bir şekilde sıkıştırılmasını ve depolanmasına imkân verir. Ayrıca, verilerin hızlı bir şekilde yüklenmesini ve işlenmesini kolaylaştıran bir dizi optimizasyon gerçekleştirir. Bu da, büyük ölçekli 3B verilerin daha hızlı ve daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar.

2.4.2.3 I3S

I3S (Indexed 3D Scene) formatı, 3B sahneleri ve verileri organize etmek için kullanılan, ESRI (Environmental Systems Research Institute) tarafından geliştirilen bir veri formatıdır. ESRI, CBS yazılımları ve çözümleri geliştiren bir şirkettir. I3S formatı da bu çerçevede 3B sahne verilerini etkili bir şekilde yönetmek amacıyla oluşturulmuştur.

I3S formatı, büyük ve karmaşık 3B sahne verilerini hızlı ve etkili bir şekilde depolamak, iletmek ve görüntülemek için tasarlanmıştır. Bu format, özellikle web tabanlı uygulamalarda ve coğrafi bilgi sistemleri projelerinde kullanılmak üzere optimize edilmiştir.

I3S formatının temel özellikleri şunlardır:

- **3B Sahne Verileri:** I3S formatı, 3B sahnelerdeki geometrik ve semantik verileri içerir. Bu, nokta bulutları, üçgensel ağlar, dokular, sembolizasyon bilgileri ve diğer 3B sahne öğelerini içerir.
- **İndeksleme:** Veri, 3B sahnenin farklı parçalarına ayrılır ve bu parçalar özel bir indeksleme sistemi kullanılarak organize edilir. Bu sayede büyük sahnelerde hızlı erişim ve görüntüleme sağlanır.
- **Web Entegrasyonu:** I3S formatı, web tabanlı coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu, çevrimiçi harita servisleri ve 3B görselleştirme uygulamaları için optimize edilmiş veri iletimini sağlar.
- **Performans:** I3S, büyük 3B sahnelerde yüksek performanslı veri işleme ve görüntüleme sağlamak için tasarlanmıştır. Bu, hızlı yükleme, gezinme ve etkileşim sağlar.

I3S formatı, özellikle coğrafi bilgi sistemleri, şehir planlama, çevresel analiz ve benzeri alanlarda 3B veri görselleştirmesi için kullanılmaktadır. ESRI'nin ArcGIS platformu gibi yazılımlar, I3S formatını destekleyerek 3B coğrafi verilerle çalışmayı kolaylaştırmaktadır.

2.4.2.4 LADM

LADM (Land Administration Domain Model), arazi yönetimi ve mülkiyet verilerinin standartlaştırılmasını sağlayan bir veri standardıdır. Bu standart, arazi yönetimi ile ilgili çeşitli veri ve iş süreçlerini tanımlar ve aynı zamanda farklı arazi veri sistemlerinin etkili bir şekilde entegrasyonunu sağlar.

LADM, Birleşmiş Milletler'e bağlı Birleşmiş Milletler Uluslararası Ticaret Hukuku Komisyonu (UNCITRAL) tarafından geliştirilmiştir. Bu standart, arazi yönetimi süreçlerini ve verilerini tanımlayan bir dilsel model ve veri modeli olarak tasarlanmıştır.

LADM'nin ana hedeflerinden biri, dünya genelinde arazi yönetimi verilerinin uyumluluğunu ve paylaşılabiliğini artırmaktır. Bu sayede farklı kurumlar ve ülkeler arasında arazi verilerinin etkili bir şekilde paylaşılması ve kullanılması mümkün hale gelir.

LADM, arazi mülkiyeti, arazi kullanımı, arazi değerlendirme, arazi kaynakları yönetimi gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Ayrıca, LADM ile arazi yönetimi süreçlerinin otomatikleştirilmesi ve dijitalleştirilmesi de mümkündür.

LADM, veri standartlarına ve en iyi uygulamalara uygun olarak tasarlanmış bir modeldir. Bu nedenle, arazi yönetimi verilerinin tutarlılığını ve doğruluğunu sağlar. Ayrıca, birçok ülke ve organizasyon tarafından benimsenmiş ve kullanılmaktadır.

2.4.2.5 LandInfra

LandInfra, bir arazi bilgi modelleme standardıdır. Bu standart, çeşitli kuruluşlar arasında arazi verilerinin paylaşımını ve entegrasyonunu kolaylaştırmayı hedefler. LandInfra, arazi altyapı projelerinde kullanılan arazi verilerini standartlaştırır ve diğer yazılım araçları arasında etkili bir şekilde iletişim sağlar.

LandInfra'nın başlıca unsurları şunlardır:

- Arazinin temsil edilmesi: LandInfra, arazi verilerinin tam bir modelini sağlar. Bu model, arazi ögelerini (örneğin yol, kanalizasyon, elektrik hatları vb.) ve bunların konumunu, geometrisini ve ilişkilerini içerir.
- Ağ modeli: LandInfra, arazi altyapı ağlarını (örneğin su şebekesi, kanalizasyon, elektrik, telekomünikasyon vb.) temsil etmek için bir ağ modeli kullanır. Bu, ağ bileşenlerini ve bunların konumunu, ilişkilerini ve özelliklerini içerir.
- Zemin modeli: LandInfra, arazi zemininin topografyasını ve yüksekliklerini temsil etmek için bir zemin modeli kullanır. Bu model, arazi üzerindeki ölçekli bir yükseklik modeli olarak düşünülebilir.

LandInfra standartları, açık ve bağımsız bir şekilde geliştirilmiştir ve çeşitli yazılım ve sistemler arasında uyumluluğu sağlar. Bu standartı kullanarak, arazi altyapı projeleri için veri paylaşımı ve entegrasyonu daha kolay hale gelir. Ayrıca, arazi verilerini daha etkin bir şekilde analiz etmek ve yönetmek için kullanılabilir.

2.4.2.6 IndoorGML

IndoorGML (Indoor Geography Markup Language), iç mekânlar için bir veri standardıdır. Bu standart, iç mekânların geometrik, topolojik ve semantik özelliklerini tanımlamak ve paylaşmak için kullanılır.

IndoorGML, iç mekânları temsil etmek için 2B ve 3B geometriye olanak tanır. Bu geometriler, duvarlar, kat planları, mobilyalar ve diğer iç mekân elemanlarının konum ve özelliklerini tanımlamak için kullanılabilir. Ayrıca, kapılar, merdivenler, koridorlar gibi topolojik ilişkileri de ifade etmek için kullanılabilir.

IndoorGML'nin semantik özellikleri, iç mekân elemanlarının semantik ilişkilerini ve özelliklerini tanımlamayı sağlar. Örneğin, bir odanın işlevini veya bir mobilyanın türünü tanımlamak için kullanılabilir.

Bu standart, iç mekân verilerini depolamak, paylaşmak ve analiz etmek için kullanılan çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin, alışveriş merkezleri, havalimanları, hastaneler, ofis binaları gibi karmaşık iç mekânların haritalanması için kullanılabilir.

IndoorGML'nin birçok uygulama alanı vardır. Bunlar arasında navigasyon, acil durum yönetimi, enerji verimliliği analizi ve iç mekân görselleştirme. Ayrıca, diğer coğrafi veri standartları ile entegrasyon da mümkündür.

Özetlemek gerekirse, IndoorGML iç mekân verilerini standartlaştırmak için kullanılan bir veri standardıdır. Bu standart, iç mekânların geometrik, topolojik ve semantik özelliklerini tanımlamak ve paylaşmak için kullanılır.

2.4.2.7 INSPIRE Building bina teması

INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), Avrupa Birliği'nin coğrafi veri altyapısının standartlaştırılması ve kullanılabilirliğinin artırılması amacıyla geliştirilen bir programdır. INSPIRE, coğrafi bilgiye erişimi kolaylaştırmak, farklı ülkelerin coğrafi verilerini birbirleriyle entegre etmek ve çevre politikalarının etkin bir şekilde yönetilmesini sağlamak için tasarlanmıştır.

“INSPIRE Building”, INSPIRE direktifine uygun olarak inşaat verilerinin standardizasyonunu sağlamayı hedefleyen bir bileşendir. “INSPIRE Building”, inşaat sektöründe kullanılan verilerin uyumlu bir şekilde paylaşılmasını ve analiz edilmesini sağlayarak, sürdürülebilir ve efektif bir yapılaşma süreci için temel bir araçtır.

“INSPIRE Building” veri standardı, inşaat sektöründe kullanılan coğrafi verilerin formatını, içeriğini ve yapılarını tanımlayan bir dizi kural ve kurallar bütünüdür. Bu standartlar, temel inşaat veri türlerini ve bunların nasıl temsil edileceğini belirler. Ayrıca standart, veri paylaşımı, veri entegrasyonu ve veri kullanılabilirliği gibi konularda da rehberlik sağlar.

“INSPIRE Building” veri standardı, farklı ülkelerin ve kuruluşların coğrafi verilerinin birleştirilmesini ve entegre edilmesini kolaylaştırır. Aynı zamanda, yapısal ve enerji verilerinin sürdürülebilirlik analizleri için kullanılabilirliğini artırır. Bu standarda uyumlu olmak, inşaat sektöründe veri paylaşımını ve işbirliğini de büyük oranda artırır.

2.4.2.8 BIM ve IFC

BIM, İngilizce "Building Information Modeling" ifadesinin kısaltmasıdır ve Türkçe'de “Yapı Bilgi Modellemesi” olarak da adlandırılır. BIM, bir yapı projesinin tasarım, yapım ve işletme süreçlerinde bilgiyi entegre etmek ve yönetmek için kullanılan bir metoddur. BIM, 3B modelleme ile birlikte veri tabanı ve analiz özelliklerini bir araya getirerek, proje paydaşlarının daha iyi işbirliği yapmasını sağlar. Bu sayede, yapı projelerinin daha verimli, doğru ve sürdürülebilir bir şekilde tasarlanması ve yönetilmesi mümkün olur.

BIM kullanımında en temel dosya formatı IFC olarak bilinir. IFC, açık bir veri standardı olan "Industry Foundation Classes"ın kısaltmasıdır. IFC, bina ve altyapı projelerinin tasarımı, yapımı, işletimi ve bakımı süreçlerinde kullanılan bilgi modellemesini standartlaştırmak için geliştirilmiştir. IFC, birçok CAD ve BIM yazılımı tarafından desteklenen bir açık ve uluslararası standarttır.

IFC dosya formatı, yapısal ve mimari modellemelerin yanı sıra tasarım verilerini, malzeme bilgilerini, metat verilerini ve diğer ilişkili bilgileri içeren tüm verileri depolayabilir. Bu, farklı yazılım ve disiplinler arasında bilgi alışverişini kolaylaştırır ve bir projenin tüm yaşam döngüsü boyunca veri tutarlılığını sağlar. IFC formatı, BIM projelerinde işbirliği ve veri paylaşımı için çok kullanışlıdır.

IFC, 3B yapı bilgi modellemesi için kullanılan bir dosya biçimidir ve BIM sürecinde temel bir rol oynar. Projelerin farklı disiplinler arasında veri alışverişi yapmasını sağlar ve işbirliği için ortak bir dil sağlar.

IFC standardı, nesnelerin, yapıların ve özelliklerin tanımlanması için bir veri modeli sunar. Bu sayede, farklı yazılımlar arasında bilgi alışverişi yapılabilir ve farklı disiplinlerde çalışan ekipler arasında veri tutarlılığı sağlanabilir.

IFC, Avrupa Bilgi Teknolojileri Enstitüsü (Eurostep) tarafından geliştirilmiştir ve Open BIM yaklaşımının bir parçasıdır. Open BIM, farklı yazılımların bir arada çalışabildiği ve veri entegrasyonunun mümkün olduğu bir yaklaşımdır.

Temel olarak IFC, inşaat endüstrisinde verimliliği artırmak, hataları azaltmak ve projelerin kalitesini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan bir standarttır.

2.4.2.9 TUCBS

Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) veri standardı, Türkiye Cumhuriyeti'nin coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan verilerin standartlaştırılması amacıyla oluşturulmuştur. Bu standardın oluşturulma temel amacı, farklı kaynaklardan gelen verilerin uyumlu bir şekilde entegre edilebilmesini ve farklı kurumlar arasında veri paylaşımının kolaylaştırılmasını sağlamaktır.

Bu standartlar, verilerin nasıl temsil edileceğini, hangi özelliklerin kullanılacağını, verilerin hangi sınıflandırmalara tabi olacağını, nasıl etiketleneceğini ve nasıl paylaşılacağını belirlemektedir. Ayrıca, standartlar veri formatları, geometri tipleri, veritabanı yapıları ve sembolojiler gibi konuları da kapsamaktadır.

TUCBS ile Türkiye'deki coğrafi veri üreten ve kullanan kurumlar arasında birlikte çalışma ve veri paylaşımının kolaylaştırması hedeflenmektedir. Bu sayede, farklı kurumlar arasında tutarlı ve uyumlu bir coğrafi veri seti oluşturulması ve bu verilerin daha etkin bir şekilde kullanılması mümkün olmaktadır.

TUCBS veri standardı aynı zamanda Türkiye'nin coğrafi verilerinin toplanması, depolanması, yönetilmesi, analiz edilmesi ve paylaşılmasını sağlayan bir sistemdir. TUCBS, Türkiye'nin coğrafi harita verileri, arazi kullanımı, demografi, iklim, ulaşım ve diğer coğrafi bilgilerini çeşitli kurum ve kuruluşlar arasında paylaşmak için kullanılan ulusal bir platformdur.

TUCBS, çeşitli coğrafi bilgi sistemleri ve veritabanlarından bilgi toplamak için çevrimiçi haritalar, veri tabanları ve diğer araçlar içerir. Bu sistem, Türkiye'nin coğrafi verilerini güncel tutmak, doğru ve güvenilir bilgiler sunmak ve coğrafi analizler yapmak için önemli bir araçtır.

TUCBS, hükümetin karar alma süreçlerine, planlama ve stratejik gelişim çalışmalarına destek sağlar. Aynı zamanda vatandaşlar, özel sektör ve akademik kuruluşlar da sistemden faydalanarak çeşitli coğrafi analizler yapabilir ve coğrafi verileri kullanabilirler. Bu sayede ülke genelinde planlama ve gelişim projelerine katkıda bulunması hedeflenmektedir.

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1 CBS Temelli Prosedürel Yöntem Kullanılan Dijital İkiz Uygulamaları

İki boyutlu (2B) ve iki buçuk boyutlu (2,5B) haritalar günümüze kadar yaygın olarak kullanılmaktaydı. Ancak son yıllarda yeni geliştirilen teknolojiler sayesinde bu ürünlerin yerini giderek yaygınlaşan üç boyutlu (3B) uygulamalar almaktadır. Son yıllarda birçok çalışmada bütün bir şehre ait verilerin, gereken mekânsal ve zamansal çözünürlüklerde üç boyutlu olarak üretilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Fotogrametri gibi etkili yöntemlerle büyük alanların ölçülmesi ve modellenmesi mümkün olsa da, bu verilerin kent ölçeğinde üretilmesi için yapılan çalışmaların sonuçları genellikle bir ila iki yıl içinde tamamlanabilmektedir. Buna rağmen pek çok verinin güncel kalabilmesi için sürekli ve hızla yenilenmesi gerekmektedir.

Bu süreçte 2B mekânsal verileri temel alan ve bu verilerden hızlı bir şekilde 3B model oluşturulabilmesine imkan veren yeni bir modelleme tekniği de ortaya çıkmıştır. Prosedürel modelleme yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem ile bir 3B modeli oluşturmak için ihtiyaç duyulan parametreler 2B CBS verileri içerisinde depolanan öznitelik verilerinden sağlanabilmektedir. Böylece mevcut 2B CBS verilerinden kentsel objelerin 3B modelleri üretilabilmektedir.

Prosedürel modelleme bir dizi parametrelenebilir prosedürden oluşur ve nesne yapım sürecini temsil eder. Prosedürel modelleme tekniğinin en büyük avantajı; vektörel verilerin içerisine depolanan öznitelik verileri kullanılarak modelin gerekli olduğu anda üretilmesidir. Buna ek olarak, veri boyutu azaltılmış modellere sahiptir ve model, doğru kodlanmış bilgisayar algoritmaları çalıştırılarak üretildiğinden, operatörlerin çizim hatalarını ortadan kaldırır. Bu sayede ihtiyaç duyulan modeller en az poligon sayısı ve en doğru çizim tekniği ile ihtiyaç duyulduğu anda oluşturulabilmektedir.

Doktora tezi kapsamında; prosedürel modelleme yönteminin 3B kent modeli ve dijital ikiz üretim çalışmalarına getirmesi öngörülen katkı ve avantajların test edilebilmesi

için dört adet vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar ve sonuçları sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

3.1.1 Açık verilerden 3B kent modeli üretilmesi

Bu çalışmada, İstanbul ve Londra'da bulunan iki farklı çalışma alanında prosedürel 3B kent modeli üretimi için açık verinin kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla, 2B OpenStreetMap (OSM) verileri, “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) sayısal yükseklik modeli verileri ve “Google 3D Warehouse” tarafından sağlanan kentsel önemli nokta (Landmark) modelleri kullanılarak 3B kent modeli üretilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda açık verilerle 3B prosedürel kent modeli üretiminin avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir (Senyurdusev ve Dogru, 2021)

3.1.1.1 Materyal ve yöntem

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen örnek uygulama ile dünya üzerinde istenilen bir bölgenin, kabul edilebilir bir görsel kalitede 3B kent modelinin prosedürel modelleme yöntemi kullanılarak oluşturulması hedeflenmiştir. Kullanılan veriler Tablo.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 : 3B kent modeli üretiminde kullanılan veriler.

Veri Tipi	Kaynak
Sayısal Yükseklik Modeli	Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından yürütülen “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) verileri
Uydu Görüntüsü	ESRI “World Imagery” derleme uydu görüntüleri
Coğrafi Bilgi Sistemi verileri	OpenStreetMap Foundation (OSMF) tarafından sunulan OSM bina verileri
Sembolik Yapı Modelleri	Google 3D Warehouse tarafından sağlanan kentsel sembolik yapı modelleri

Belirlenen çalışma alanlarında, şehrin gerçek görünümüne mümkün olan en yakın görselliğin sağlanabilmesi için kentsel simge olan bazı yapı modelleri de kullanılmıştır. Ayrıca, akıllı şehir çalışmalarında; kentsel kararların alındığı karar destek sistemlerinde mekânsal altlık olarak kullanılabilecek bir 3B kent modeli üretilebilmesi için bazı fotorealistik görseleştirme tekniklerinden de yararlanılmıştır.

SRTM Projesi; Ulusal Mekânsal Zekâ Ajansı (NGA) ve NASA’nın ortak çalışması ile 2000 yılı Şubat ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında Amerika Birleşik Devletleri bölgesi özelinde 1 sn’lik (~30 metre), dünyanın geri kalanı için ise 3 sn’lik (~90 metre) çözünürlükte sayısal yükseklik verisi toplanmıştır. Son yıllarda

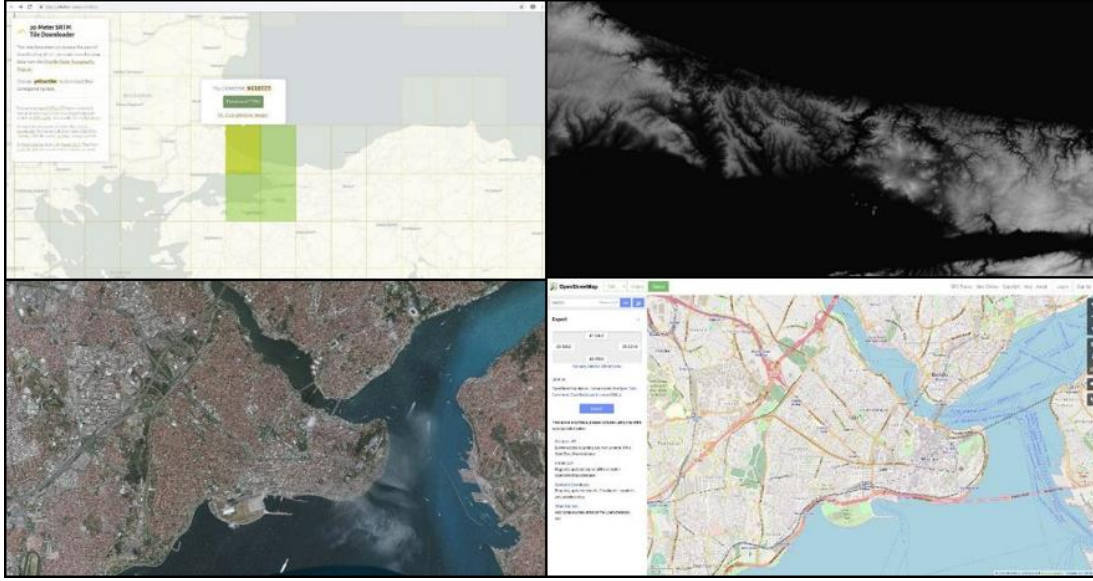
Günümüzde GoogleEarth gibi yaygın olarak bilinen ve kullanılan birçok uygulama bu yükseklik modelini kullanmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan İstanbul ve Londra bölgelerine ait sayısal yüzey modelleri Şekil 3.1’de sunulan veri platformu üzerinden temin edilmiştir.

İstanbul çalışma alanındaki sayısal arazi modelinin oluşturulabilmesi için NASA’nın ilgili veri platformu üzerinden dört pafta belirlenerek çalışmada kullanılan bilgisayara indirilmiştir. Daha sonra indirilen raster formatlı bu veriler tek bir mozaik olarak birleştirilmiştir ve sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Birleştirilen veri Marmara bölgesinin bazı bölümlerini de içermektedir. Bu nedenle pilot bölge olan Fatih ilçesi Tarihi Yarımada bölümü ilgili veriden kesilerek ayrı bir dosya olarak kaydedilmiştir. Sonrasında ise raster veride bulunan yükseklik bilgileri kullanılarak üçgenleme yapılmış ve bölgenin 3B arazi modeli elde edilmiştir. Londra bölgesinin verileri de benzer şekilde temin edilmiştir ve üretim yapılmıştır.

“Environmental Systems Research Institute” (ESRI) şirketi; DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, ve GIS User Community verilerini birleştirerek “World_Imagery” adında ücretsiz bir uydu görüntüsü veri servisi sağlamaktadır. Bu servis, yaygın olarak kullanılan CBS yazılımları ile kullanılabilir. Gerçekleştirilen çalışmada 3B olarak üretilmesi hedeflenen bölgelerin uydu görüntüleri bu şekilde elde edilmiştir (Şekil 3.1).

OSM projesi; 2004 yılında İngiltere’de başlatılmıştır ve temel olarak bu proje kapsamında insanların mekânsal verilere özgür bir şekilde erişim sağlayabilmesi hedeflenmiştir. Günümüzde ise pek çok uygulama geliştirici ve kullanıcı tarafından yoğun bir şekilde kullanılmakta olan popüler bir mekânsal veri platformu haline gelmiştir.

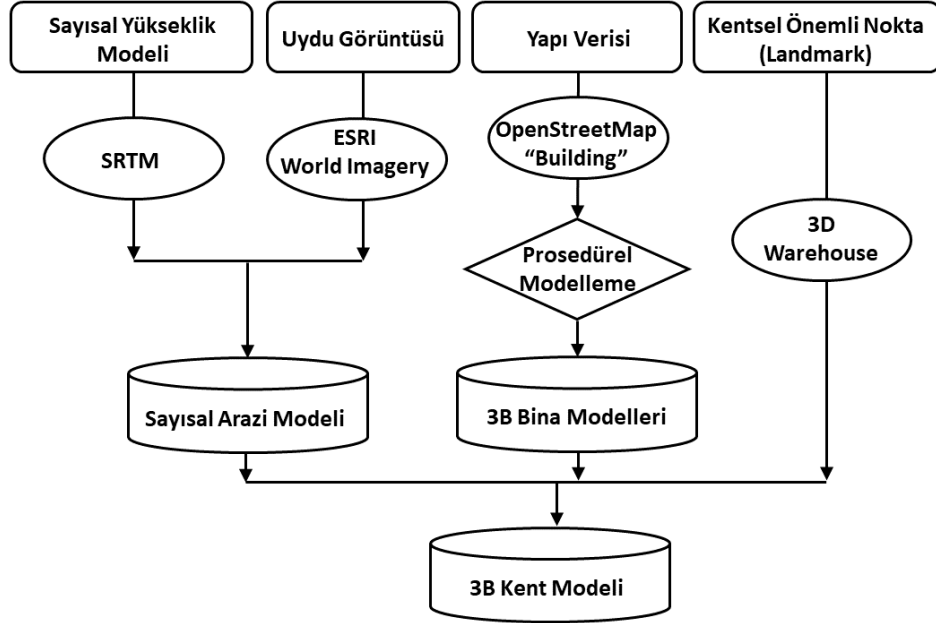
OSM açık veri platformundan elde edilen yapı verileri kullanılarak prosedürel modelleme yöntemi ile şehrin ilgili bölgesine ait 3B yapı modelleri üretilmiştir. OSM açık veri platformundan İstanbul için sağlanan veriler Şekil 3.1’de sunulmuştur. Londra bölgesine ait açık veriler de benzer şekilde temin edilmiştir.



Şekil 3.1 : NASA'nın SRTM veri platformu (sol üst), İstanbul sayısal yükseklik modeli (sağ üst), ESRI World Imagery servisi (sol alt), OSM veri platformu (sağ alt).

Prosedürel modelleme tekniği kullanılırken öncelikle prosedürlerin belirlenmesi ve kısmen uzun süren bir kodlama süreci bulunur. Klasik üç boyutlu modelleme çalışmaları düşünüldüğünde bu süre başlangıçta gereksiz ve fazla gibi görünebilir. Ancak prosedürler belirlendikten ve kodlama çalışmaları tamamlandıktan sonra kapsamlı bir modelin üretilmesi saniyeler almaktadır. Sonrasında istenilen sayıda binanın modellenenebilir, tasarım üzerinde gerçekleştirilmesi istenen değişiklikler anında modellere yansıtılabilir ve güncelleştirme sağlanabilir. Bu durum prosedürel modellemeyi büyük alanlarda yapılan modelleme çalışmalarında daha hızlı ve kullanışlı bir çözüm haline getirmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada önce ilgili bölgeye ait sayısal arazi modeli oluşturulmuştur. Daha sonra bu model yüksek çözünürlüklü bir uydu görüntüsü ile kaplanarak gerçekçi bir arazi görünümü elde edilmiştir. Çalışmanın devamında üretilen yapı modelleri bu arazi modeli üzerine yerleştirilmiştir. En son aşamada ise, daha gerçekçi bir görsellik için şehirde bulunan simge yapılara ait 3B modeller çalışma alanına dahıl edilmiştir. Kullanılan 3 boyutlu kent modeli oluşum süreci ve izlenen aşamalar Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : İş Akış Şeması.

3.1.1.2 Çalışma alanı

Bu bölümde, açık veri platformları üzerinden paylaşımına sunulan pek çok mekânsal verinin birbirlerine entegre edilmesi ve prosedürel yöntem ile 3B kent modeli oluşturulması için gerçekleştirilen çalışmalar aktarılacaktır. Ayrıca sonuç ürünün fotorealistik görselleştirilmesi için yapılan bazı çalışmalardan da bahsedilecektir.

SRTM yükseklik modeli içerisindeki her bir pikselde bulunan veri ile o noktalardan geçen arazi yüzeyi enterpole edilebilir. Günümüzde pek çok CBS yazılımı içerisinde bu tarz araç ve hesaplama fonksiyonu bulunmaktadır.

Bu çalışma ile prosedürel modelleme yöntemi kullanılarak 2B verilerden 3B modellerin üretimi gerçekleştirilmiştir. 2B CBS verileri için OSM “Bina” tabakası içerisinde tutulan verilerden faydalanılmıştır. OSM “Building” verileri; ilgili yapılara ait taban alanı bilgisini depolamaktadır. Bu taban alanı verileri ve prosedürel modelleme yöntemi kullanılarak 3B yapı modelleri üretilmektedir.

3B yapı modellerinin prosedürel yöntem kullanılarak üretilmesinin hem modellerin üretilmesinde hem de oluşturulan modellere otomatik cephe kaplama gerçekleştirilebilmesi aşamasında kolaylık sağlamaktadır. Bu cephe kaplamaları, ilgili binaların gerçek fotoğrafı olabilir. Ayrıca hazırlanan bir materyal kütüphanesi içerisinde sembolik olarak da çağırılabilir.

Çizelge 3.2’de ki öznitelik bilgilerini kullanılarak, OSM “Building” katmanındaki bu bilgilerden İstanbul için 45469 adet, Londra için 14000 adet LOD2 seviyesinde 3B bina modeli prosedürel olarak oluşturulmuştur.

Çizelge 3.2 : 3B kent modeli üretiminde kullanılan veriler.

Veri Tipi	Kaynak
Kat Adedi	_getLevels
Çatı Yüksekliği 1	_getEaveHeight
Çatı Yüksekliği 2	_getRidgeHeight
Bina Tipi	_getBuildingForm
Çatı Tipi	_getRoofForm
Kat Yüksekliği	_getFloorHeight
Bina Rengi	_getBuildingColor
Çatı Rengi	_getRoofColor

Çalışmada oluşturulan tüm poligonlara kat adetleri uygun olacak şekilde benzer bina resimlerinden hazırlanmış rastgele cephe kaplaması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : LOD2 bina modelleri; İstanbul (sol üst), Londra (sağ üst), Rastgele cephe kaplamalı LOD2 bina modelleri; İstanbul (sol orta), Londra (sağ orta), 3B kent modeli tasarımı; İstanbul (sol alt), Londra (sağ alt).

Bina üretiminde, ESRI tarafından geliştirilen kural bazlı bir modelleme dili olan “Computer Generated Architecture” (CGA) dilinden yararlanılmış ve kodlamalar bu dil ile gerçekleştirilmiştir.

Farklı kaynaklardan ve farklı çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin birbirleri ile entegrasyonu sırasında bazı uyumsuzluklar olabilmektedir. Farklı amaçlar kapsamında ve farklı hassasiyetlerde üretilen bu verilerin birleştirilmesi sırasında belirli kabullerin gerçekleştirilmesi gerekebilir. Yapı modelleri topluluk kaynaklı olduğundan içerisinde bulunan yükseklik verileri daha düşük hassasiyettedir. Üretilen bina modellerinin yüzeyin altında ya da üzerinde kalmaması için modeller SRTM yüzey modeline indirgenerek daha uyumlu ve gerçekçi bir görselleştirme sağlanmıştır.

3.1.1.3 3B kent modeli oluşturulması

3B görselleştirme çalışmaları sırasında gerçeğe daha da uygun bir model elde edebilmek için kentsel simge yapı modellerinin de çalışma alanına dahil edilmesi gereklidir. Bu çalışmada “Google 3D Warehouse” kütüphanesinde bulunan 3B modellerden faydalanılmıştır. Topluluk kaynaklı olarak üretilen ve üreticisinin iznine göre ücretsiz olarak temin edilebilen bu modeller 3B görselleştirme çalışmalarında önemli bir etki sağlamaktadır. İstanbul ve Londra’da bulunan çalışma alanları yakınlarındaki simge yapı modelleri “Google 3D Warehouse” içerisinden temin edilmiştir.

Simge yapı modelleri, onları üreten kullanıcıların profesyonellik derecelerine göre genellikle gerçek konumlarında ve koordinatlı olarak depolanmaktadır. Eğer istenilen herhangi bir model koordinatsız olarak üretilmiş ise ek olarak koordinatlandırılması gerekebilir. Çalışma kapsamında web platformundan indirilen modeller koordinatlı olarak üretilmiş olduğundan dolayı herhangi bir ek işleme gerek duyulmadan sayısal arazi modeli üzerinde konumlandırılmıştır. Üretim zamanları Çizelge 3.3’de sunulmuştur.

Çizelge 3.3 : Prosedürel model üretimi için harcanan süre bilgileri.

Tip	İstanbul		Londra	
	Adet	Süre (sn)	Adet	Süre (sn)
Katı Model	45469	46”	14000	8”
Kaplamalı Model	45469	53”	14000	22”

Prosedürel modelleme işlemleri; Windows 10 (64 Bit) işletim sistemi üzerinde 3.70Ghz Intel Core i7-8700K CPU işlemci, 64GB RAM ve Nvidia GeForce GTX 1080 (2x 8GB) ekran kartı bulunan bir makine kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

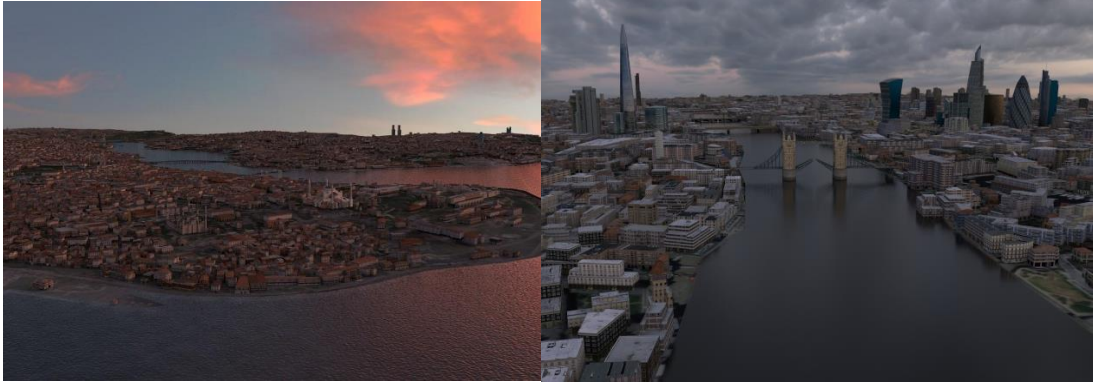
3.1.1.4 Sonuçlar

Günümüzde çeşitli disiplinler artık 3B verilerle yaygın olarak çalışmakta ve bu alana yoğun ilgi göstermektedir. 3B uygulamalar ile karmaşık mekânsal analizlerin gerçekleştirilebilmesi ve dinamik simülasyonların oluşturulabilmesi için verilerin en iyi şekilde anlaşılması ve modellemesi için hayati öneme sahiptir. Veri analizi, 3B veri görselleştirme ve entegrasyon çalışmaları bu bakımdan son yılların önemli bir çalışma alanı haline almaya başlamıştır.

Işık, gölge ve ortam emilim değerleri, 3B görselleştirmede objelerin gerçekçi bir şekilde görünmesini sağlayan önemli unsurlardır. Işık, objelerin aydınlatılmasını ve gölgelerin oluşmasını sağlar. Objelerin yüzeylerindeki yansımaları ve renk değişimlerini belirler. Işık kaynağına göre objelerin üzerinde oluşan aydınlık ve karanlık bölgeleri belirler. Gölge, ışığın objelerin arkasında bıraktığı karanlık bölgelerdir. Gölgeler, objelerin üç boyutlu yapısını vurgular ve derinlik hissi yaratır. Objeler arasındaki uzaklık ve konum farklarını gösterir. Ortam emilim değeri ise çevredeki objelerin ışığı ne kadar emdiğini ve yansıttığını gösterir. Bu değer, ışığın objeler arasında nasıl dağıldığını ve etkileşimini belirler. Özellikle açık hava sahnelerinde ve doğal ortamlarda objeler arasındaki ilişkiyi daha gerçekçi hale getirir. Bu değerlerin doğru bir şekilde kullanılması, 3B görselleştirmenin gerçekçi ve etkileyici olmasını sağlar. Işık, gölge ve ortam emilim değerlerinin dengeli bir şekilde kullanılmasıyla objeler daha canlı ve gerçekçi bir görünüm kazanır.

3B modelleme ve mimari görselleştirme alanlarında günümüzde aktif olarak kullanılmakta olan Blender, Maya, StudioMax, Houdini, Rhino, Cinema4D gibi tüm tasarım yazılımları ya da Unreal, Omniverse, O3DE ve Unity gibi oyun motorları kullanılarak 3B ortamların görselleştirilmesi çalışmalarında bu ayarlar kullanılarak etkili sonuç ürünler elde edilebilir.

Şekil 3.4'te İstanbul ve Londra'daki çalışma alanlarının fotorealistik olarak 3B görselleştirme sonuçları sunulmuştur.

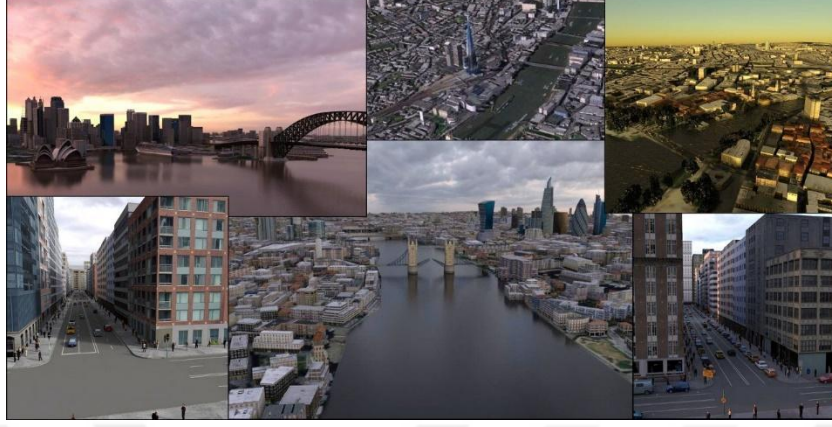


Şekil 3.4 : İstanbul - Tarihi Yarımada bölgesinin fotorealistik görselleştirilmesi (sol), Londra'nın fotorealistik görselleştirilmesi (sağ).

Gerçekleştirilen bu çalışma ile son yıllarda akıllı şehircilik alanında yapılmak istenen birçok uygulamada temel altlık olarak kullanılabilecek bir 3B kent modeli elde edilmiştir. Oluşturulan 3B kent modeli; tümüyle ücretsiz ve açık veri kaynakları kullanılarak üretilmiştir. Prosedürel modelleme yönteminin kullanılması ile büyük kentsel alanların hızlı bir şekilde 3B olarak oluşturulabilmesinin mümkün olabileceği gösterilmiştir. Dahası, ışık, gölge ve ortam emilim değerlerinin kullanılması ile özellikle açık hava sahnelerinde ve doğal ortamlarda objeler arasındaki ilişkinin daha gerçekçi şekilde görselleştirilebilmesi sağlanır. Bu şekilde kentsel objeler daha canlı ve gerçekçi bir görünüm kazanır.

Bu çalışma ile kentsel planlama ve kent yönetimi alanlarında gerçekleştirilebilecek olan pek çok çalışmada altlık olarak kullanılabilecek olan 3B kent modelinin yüksek maliyetli büyük projeler ve son teknoloji ölçüm alet ve yöntemleri kullanılmadan da eldeki mevcut verileri ile belirli bir seviyeye kadar üretilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca prosedürel model üretimine temel teşkil eden topluluk kaynaklı açık verilerin yanı sıra yerel yönetimlerin elinde bulunan daha yüksek doğruluğa sahip resmi verilerin kullanılması ile daha hassas 3B kent modelleri üretilebilmesi mümkündür. Daha hassas ve yüksek doğruluğa sahip veriler kullanılsa da prosedürel modelleme yöntemi kullanılarak elde edilen sonuç ürünlerin üretim sürelerinde büyük değişim olmayacaktır. Ayrıca, bu çalışma ile yüksek bütçelere ve gelire sahip olmayan yerel yönetimlerin de akıllı şehir kavramına dahil olabileceği, bu bilinç ile yetki alanlarında daha akıllı kentsel planlama ve yönetim süreçlerini işletebileceği gösterilmek istenmiştir. Böylelikle Şekil 3.5'da benzerleri de gösterilen bu çalışma kapsamında fotoğraf gerçekliğindeki 3B kent modellerinin oluşturulabilmesi için oldukça hızlı bir üretim yöntemi sunulmuştur. Önerilen CBS temelli prosedürel modelleme yöntemi

kullanılarak belirli proje alanları içerisindeki pek çok planlama, kentsel tasarım, kentsel dönüşüm vb. analiz ve diğer tüm simülasyon çalışmalarına hazır gerçekçi bir kent modeli elde edilmiştir.



Şekil 3.5 : Fotorealistik 3B kent modeli görselleştirme çalışmaları.

3B görselleştirmenin sunduğu önemli kolaylıklardan bir diğeri de tek bir perspektif ya da bakış yönü etkisi nedeniyle diğer veriler tarafından görülemeyen alanların bulunmaması, tüm verilerin üç boyutlu ortam içerisinde her açıdan rahatlıkla görüntülenebilmesine ve değerlendirilebilmesine imkân vermesidir. Ayrıca günümüzde giderek kullanımı yaygınlaşmaya başlayan sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) görüntüleme sistemlerin mekânsal verilerin görselleştirilmesi amacı ile de kullanılmaya başlamış olması coğrafi bilgi sistemlerinin geleceğini ve yönünü ciddi bir şekilde etkileyecektir. Böylece mekânsal verilerin üç boyutlu olarak görselleştirilmesi ve deneyimlenmesi yakın gelecekte oldukça sık karşılaşılan ve ihtiyaç duyulan bir çalışma alanı olacaktır.

3.1.2 LOD2 detay seviyeli 3B kent modeli üretilmesi

Bu çalışmada 3B kent modellerinin en temel bileşeni olan 3B bina modellerinin bu amaca yönelik olarak geliştirilen bir veritabanı tasarımı ile prosedürel yöntem kullanılarak üretilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, bina modellerin nasıl farklı detay seviyelerinde üretilebileceğine dair örnekler sunulmuş, havadan ölçme yöntemlerine alternatif olarak prosedürel modelleme tekniklerinin kullanılmasının avantajları ve dezavantajları tartışılarak incelenmiştir.

3.1.2.1 Materyal ve yöntem

2 ve 2.5 boyutlu sayısal haritalar son yıllarda haritacılık alanında etkin olarak kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak, günümüzde gelişen teknolojiler ile birlikte artık haritacılık çalışmaları sonuç ürünlerini 2B yüzeylere izdüşürmeden 3B olarak da kullanıcılarına sunabilir hale gelmiştir. Yerel ve merkezi yönetimler başta olmak üzere pek çok sektör akıllı şehircilik alanında gerçekleştirilen birçok yeni uygulamada sayısal haritacılık ürünlerini altlık olarak kullanmaya ihtiyaç duymaktadır. Bunun sonucu olarak kentsel planlama ve kent yönetimi gibi pek çok çalışmada mekânsal verilerin etkin bir şekilde kullanımına duyulan gereksimin de her geçen gün artmaktadır.

Bu kapsamda şehrin dijital ikizi olarak sayısal ortamda üretilen 3B kent modelleri içerisinde kentsel dönüşüm çalışmaları, değişim analizleri, kent silüetini koruma, güneş enerjisi, gölge, gürültü, rüzgâr ve taşkın analizlerine kadar pek çok çalışma gerçekleştirilebilmektedir. Böylece kent içerisinde gerçekleşmesi planlanan birçok çalışma, öncesinde bilgisayar simülasyonları ile test edilerek yaşanması muhtemel sonuçlar öngörülebilmektedir. Yapılması planlanan büyük yapıların çevreye verebileceği etkiler hesaplanabilmekte ve oluşabilecek istenmeyen durumları önlemek için farklı tedbirler, henüz yaşanmadan önce, alınabilmektedir. Akıllı kent yönetimi anlayışında bu ve benzeri karar destek sistemleri 3B kent modelleri kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir.

3B kent modeli üretimi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan ve OGC tarafından dünyada standart olarak kabul edilmiş belirli detay seviyeleri bulunmaktadır. Bu LOD seviyeleri kullanılarak bina modelleri farklı detay seviyelerinde tanımlanabilir ve depolanabilir. Bu şekilde farklı çalışmalarda o çalışmanın amacına daha uygun olan detay seviyesindeki modelin kullanılabilmesi mümkün olur.

Uydu görüntüleri, hava fotogrametrisi ve hava LiDAR gibi uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen tüm veriler temelde binanın çatı kenar çizgisinin belirlenmesi ilkesine dayanır. Bu şekilde elde edilen 3B çatı modeli verilerinin arazi yüzeyine izdüşürülmesi ile 3B bina modelleri oluşturulur. Üretim mantığından dolayı havadan elde edilen verilerden bina modeli oluşturulurken sıklıkla çatı kenar çizgileri temel alındığı için çatı-cephe arasında bulunan mesafeler göz ardı edilir. Daha fazla sayıda yüksek bindirmeli eğik görüntüler kullanılması, yersel örneklem aralığının

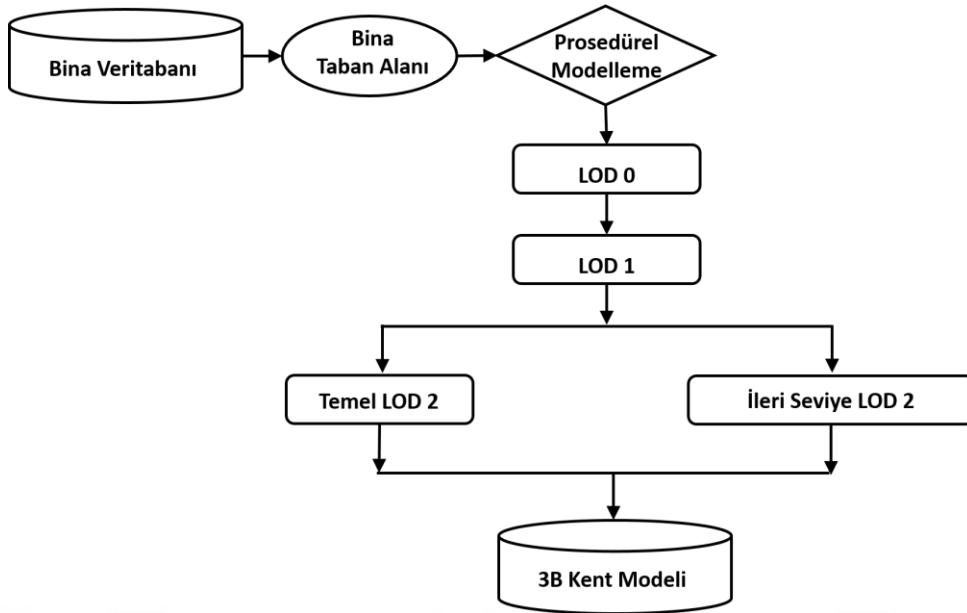
(GSD) düşürülmesi ve gerekli bölgelerde ek yersel ölçümler yapılması ile bu sorun belirli oranda çözülebilir. Ancak bu yöntemler hem üretim maliyetlerinin hem de üretim süresinin fazlasıyla artmasına neden olur. Bu nedenle havadan elde edilen verilerden üretilen LOD2 seviyeli bina modellerinde genellikle çatı payı bulunmaz.

Ancak OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard (OGC 12-019) proje dokümanında LOD2 bina modeli seviyesi için iki önemli parametre bulunur. Birincisi “*Genelleştirme*” maddesinde belirtilen “ $> 4*4m/2m$ ” değeridir. Bu değerden küçük detayların genelleştirilebileceğini ve modelde gösterilmeyebileceğini bildirir. Sonuç olarak bu değerden büyük veriler eğer elde edilebiliyorlarsa LOD2 detay seviyesinde depolanabilir. İkincisi ise “Çatı sarkma parçaları” maddesinde belirtilen “Evet, (Eğer biliniyorsa)” açıklamasıdır. Burada da benzer şekilde Çatı ve Cephe arasındaki mesafe eğer kullanılan ölçme yöntemi ile belirlenebilmiş ise LOD2 detay seviyesi içerisinde depolanabilir. Bunlar OGC standartlarına uygun bir 3B bina modeli oluşturulması için bilinmesi gereken oldukça önemli detaylardır.

3.1.2.2 Çalışma alanı

Prosedürel modelleme tekniği kullanılırken öncelikle prosedürlerin belirlenmesi ve kısmen uzun süren bir kodlama süreci bulunur. Klasik 3B modelleme çalışmaları düşünüldüğünde bu süre başlangıçta gereksiz ve fazla gibi görünebilir. Ancak prosedürler belirlendikten ve kodlama çalışmaları tamamlandıktan sonra kapsamlı bir modelin üretilmesi saniyeler almaktadır. Sonrasında istenilen sayıda binanın modellenenebilir, tasarım üzerinde gerçekleştirilmesi istenen değişiklikler anında modellere yansıtılabilir ve güncelleştirme sağlanabilir. Bu durum prosedürel modellemeyi büyük alanlarda yapılan modelleme çalışmalarında daha hızlı ve kullanışlı bir çözüm haline getirmektedir.

Çalışmada ilk olarak prosedürel üretimin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan öznitelik verileri belirlenir. Bu aşamada belirlenen öznitelikler kullanılarak grafik objelerin depolanacağı Bina veritabanı oluşturulur. Daha sonra geliştirilen kodlar ile bu verilerden LOD0, LOD1 ve LOD2 detay seviyeli 3B bina modellerinin üretimi sağlanır. Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan 3B kent modeli oluşum süreci ve izlenen aşamalar Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : İş Akış Şeması.

3.1.2.3 3B kent modeli oluşturulması

Bu bölümde çalışma kapsamında geliştirilen Bina veritabanı ile ilgili detaylar anlatılmıştır. Sonrasında bu veritabanı ve yine çalışma kapsamında geliştirilen kodlama kullanılarak prosedürel modelleme yöntemi ile İstanbul Tarihi Yarımada bölgesinin 3B kent modeli üretilmiştir. Prosedürel modelleme algoritması; ESRI tarafından geliştirilen Computer Generated Architecture (CGA) programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.

Öncelikle prosedürel olarak 3B mimari model üretiminin gerçekleştirilebilmesi için gerekli öznitelik verileri belirlenir. Bu aşamada aynı zamanda verilerin depolanacağı “Bina veritabanı”nın tasarımı da yapılır. Bu çalışma kapsamında belirlenen öznitelikler; “*Temel*” ve “*İleri Seviye*” olarak adlandırılarak iki farklı detay seviyesinde 3B model üretimini destekleyecek şekilde tasarlanmıştır.

Veritabanı içerisinde depolanan “*Bina Taban Alanı*” verisi ve “*Temel*” olarak belirtilen öznitelikler kullanılarak hava fotogrametrisi ve hava LiDAR gibi tekniklerden elde edilen 3B modellere eşdeğer düzeyle LOD2 modeller üretilebilmesi mümkündür. “*Temel*” olarak belirlenen öznitelikler kullanılarak sadece binanın basit bir kütle model olarak oluşturulması hedeflenir.

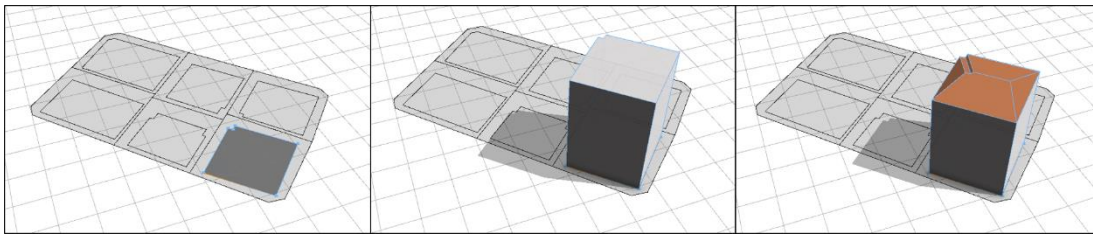
“*İleri Seviye*” olarak adlandırılan ek öznitelik verileri kullanılarak ise çatı ve cephelere ait parçalar daha detaylı ve gerçekte olduğu hallerine daha yakın şekilde 3B olarak üretilebilir. Üstelik bu şekilde üretilen modeller hem daha detaylı olarak üretilmekte

hem de mevcut LOD2 standartlarına uygun şekilde oluşturulmaktadır. “*Temel*” ve “*İleri Seviye*” öznitelik bilgileri Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Prosedürel üretiminde kullanılan öznitelik verileri.

Temel Öznitelikler	İleri Seviye Ek Öznitelikler
Bina Yüksekliği	Bina Giriş Kat Yüksekliği
Bina Rengi	Çatı Payı
Çatı Yüksekliği	Ön Cephe Çıkma Payı
Çatı Rengi	Arka Cephe Çıkma Payı
Çatı Tipi	Sağ Cephe Çıkma Payı
Çatı Ön Eğim Açısı	Sol Cephe Çıkma Payı
Çatı Arka Eğim Açısı	
Çatı Sağ Eğim Açısı	
Çatı Sol Eğim Açısı	

Prosedürel modelleme için gerekli öznitelikler belirlenerek Bina veritabanı oluşturulduktan sonra bu veritabanı kullanılarak LOD0, LOD1 ve LOD2 detay seviyeli 3B bina modellerinin üretilebilmesi sağlanır. LOD0 bina verisi standart olarak ya bina taban alanı ya da çatı kenar çizgisi olarak depolanabilir. Gerçekleştirilen çalışmada LOD0 daha yaygın olarak bilindiği şekliyle “*Bina Taban Alanı*” olarak kullanılmıştır. “*Bina Taban Alanı*” verisinden bina yükseklik değeri kullanılarak LOD1 verisi prosedürel olarak üretilebilmektedir. “*Çatı Tipi, Çatı Ön Eğim Açısı, Çatı Arka Eğim Açısı, Çatı Sağ Eğim Açısı, Çatı Sol Eğim Açısı*” değerleri kullanılarak Türkiye’de yaygın olarak kullanılan temel çatı modelinin üretilmesi mümkündür. Böylece hava ölçüm tekniklerinden elde edilen LOD2 verisine yaklaşık olarak eşdeğer düzeyde bir veri prosedürel olarak üretilmiş olur.

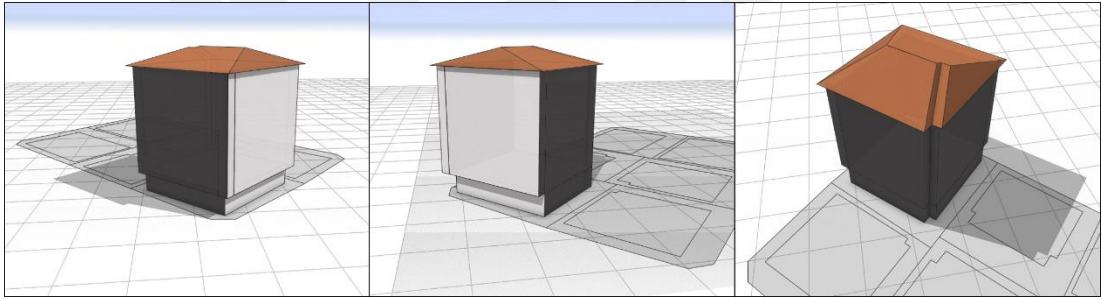


Şekil 3.7 : Prosedürel teknikler kullanılarak uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen modellere benzer olarak üretilen temel LOD0, LOD1 ve LOD2 bina modelleri.

Bina veritabanı içerisinde depolanan ve “*İleri Seviye*” olarak belirlenen özniteliklerin kullanılması ile genel olarak bilinen LOD2 standartlarına uygun ancak daha detaylı 3B modellerin üretilebilmesi mümkündür. Türkiye’de binalar yapılırken ilk kattan sonra mimari plana göre belirli yönlerde çıkımlar oluşturulabilir. İmar Kanunu ve diğer

yönetmeliklere uygun şekilde gerçekleştirilen bu durum ilk kattan sonraki katlarda daha fazla kullanım alanı elde edilmesi amacıyla yapılır ve çoğu binada oldukça yaygın bir şekilde uygulanır. Uzaktan algılama ve fotogrametrik yöntemlerle havadan elde edilen verilerde bu bölümleri ölçmek ve modellemek mümkün olmadığından dolayı LOD2 bina modeli üretilirken çatı payı detayları gibi bina cephesinde bulunan bu tür detaylar da göz ardı edilir.

Ancak binalarda bulunan bu bölümlere dair detaylar grafik veriler içerisinde öznitelik olarak depolanırsa prosedürel modelleme yöntemi ile üretilmesi mümkün olur. Böylelikle çalışma kapsamında geliştirilen Bina veritabanı içerisinde ek olarak depolanan “*Bina Giriş Kat Yüksekliği, Çatı Payı, Ön Cephe Çıkma Payı, Arka Cephe Çıkma Payı, Sağ Cephe Çıkma Payı, Sol Cephe Çıkma Payı*” değerleri kullanılarak Türkiye’de yaygın olarak kullanılan temel bina ve çatı şeklinin üretilmesi mümkün olur. Bu sayede hava ölçüm tekniklerinden elde edilen LOD2 verisinden çok daha detaylı bir bina modeli tamamen prosedürel olarak üretilebilir.



Şekil 3.8 : Prosedürel teknikler kullanılarak üretilen İleri Seviye LOD2 bina modeli.

Bu aşamada, çalışma kapsamında geliştirilen Bina veritabanı kullanılarak prosedürel modelleme yöntemi ile 3B kent modeli üretimi test edilmiştir. Bu amaçla OSM verileri içerisinde “*Building*” katmanı olarak sunulan bina taban alanları kullanılmıştır. Bina taban alanı verisi bu şekilde OSM’den elde edildikten sonra içerisinde bulunan mevcut tüm öznitelik bilgileri silinmiştir. Bundan sonra, elde edilen yalın bina taban alanı verileri çalışma kapsamında geliştirilen Bina veritabanı’na aktarılmıştır. Ancak doğal olarak vektörel veriler herhangi bir öznitelik bilgisi taşımamaktadır. Test çalışmasında kullanılmak üzere boş öznitelik değerleri yaklaşık olası değerler ile rastgele doldurularak temsili bir kent verisi elde edilmiştir.

Test çalışması iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada “*Temel*” olarak tanımlanan öznitelik verileri kullanılarak yaygın şekilde kullanılan LOD2 kent modeli

üretimi sağlanmıştır. İkinci aşamada ise çalışma kapsamında belirlenen ve “İleri Seviye” olarak tanımlanan öznetelik verileri kullanılmıştır. Bu veriler ve prosedürel modelleme yöntemi ile LOD2 standartlarına uygun olarak daha detaylı bir 3B kent modeli üretilmiştir. İki farklı üretimin sonucu Şekil 3.9’da sunulmuştur.



Şekil 3.9 : Temel LOD2 seviyesinde prosedürel modelleme (sol), çatı ve cephe detayları içeren İleri Seviye LOD2 prosedürel modelleme (sağ).

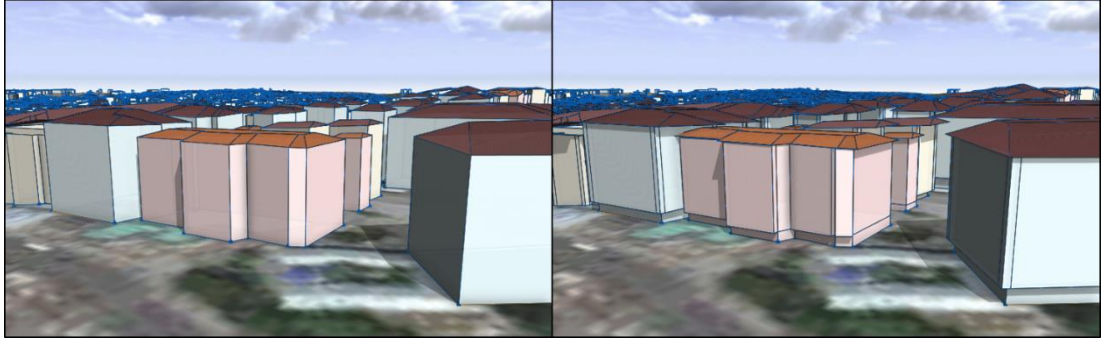
Prosedürel modelleme işlemleri; Windows 10 (64 Bit) işletim sistemi üzerinde 3.70Ghz Intel Core i7-8700K CPU işlemci, 64GB RAM ve Nvidia GeForce GTX 1080 (2x 8GB) ekran kartı bulunan bir makine kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretim zamanları Çizelge 3.5’te sunulmuştur.

Çizelge 3.5 : Prosedürel modelleme için harcanan süre bilgileri.

Tip	Adet	LOD0 (sn)	LOD0 (sn)	LOD2 (sn)
Temel Katı Model	45457	0”	8”	16”
İleri Seviye Katı Model	45457	-	-	26”

3B yapı modellerinin prosedürel yöntem kullanılarak üretilmesinin hem modellerin üretilmesinde hem de oluşturulan modellere otomatik cephe kaplama gerçekleştirilebilmesi aşamasında kolaylık sağlamaktadır. Bu cephe kaplamaları, ilgili binaların gerçek fotoğrafı olabilir. Ayrıca hazırlanan bir materyal kütüphanesi içerisinde sembolik olarak da çağırılabilir.

Bina ve çatı renk değerlerinin çalışma kapsamında geliştirilen veritabanında depolanabiliyor olması sayesinde üretilen bina modelleri gerçeğine çok daha yakın olarak görselleştirilebilmektedir. Bu çalışmada oluşturulan tüm binalara test çalışması kapsamında rastgele renk değerleri atanmıştır. Şekil 3.10’da çatı ve cephe renklendirmesi uygulanan bina modelleri gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Temel LOD2 seviyesinde prosedürel modelleme (sol), çatı ve cephe detayları içeren İleri Seviye LOD2 prosedürel modelleme (sağ).

3.1.2.4 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında İstanbul Tarihi Yarımada bölgesine ait 3B kent modeli, o bölgeye ait 2B mekânsal veriler ve prosedürel modelleme tekniği kullanılarak iki farklı şekilde üretilmiştir. Böylelikle bir kente ait bina taban alanı verileri ve binalara ait bazı öznitelik bilgilerinin bir düzende depolanması halinde o kentin 3B kent modelinin istenilen detay seviyesinde hızlı ve kolay bir şekilde üretilebilmenin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Birinci aşamada bu alanda yaygın olarak kullanılan, oldukça maliyetli ve zaman alan uzaktan algılama yöntemleri referans alınmıştır. Bu yöntemler ile elde edilen temel LOD2 seviyesindeki modellere eş değer düzeyde üretim prosedürel modelleme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilmesi çok daha zor olan daha detaylı bir LOD2 seviye modelleme gerçekleştirilmiştir. Her iki modelin üretiminde tamamen prosedürel teknikler kullanılmıştır.

Bu çalışma ile uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak, yüksek maliyetler ve uzun üretim aşamaları sonrasında elde edilebilen bir 3B kent modeli için alternatif olarak kullanılabilecek oldukça hızlı ve düşük maliyetli bir üretim yöntemi sunulmuştur. Ayrıca prosedürel modelleme yöntemi ile hem uzaktan algılama teknolojileri ile üretilen seviyede, hem de daha detaylı seviyede LOD2 kent modeli üretilebilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Günümüzde verilerin 3B görselleştirilmesi ve analiz edilmesi yeni bir çalışma alanı olarak ortaya çıkmıştır. İleri seviye mekânsal analizler ve dinamik simülasyonlar kullanılarak pek çok karmaşık durum modellenabilmektedir. Son yıllarda birçok disiplin bu alanda çalışmakta ve 3B veriler ile yakından ilgilenmektedir. Sanal

gerçeklik (VR) ve arttırılmış gerçeklik (AR) teknolojilerinin yaygınlaşması ile coğrafi bilgi sistemlerinde mekânsal verilerin 3B olarak görselleştirilmesi ve deneyimlenmesi yakın gelecekte oldukça sık karşılaşılan ve ihtiyaç duyulan bir çalışma alanı olacaktır.

Hazırlanan dijital ikiz kullanılarak kentsel düzeyde pek çok planlama, tasarım, analiz ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirebilir. Bu çalışmada ücretsiz ve açık verilerin geliştirilen veritabanı tasarımına uyarlanması ile hazırlanan test verisinin kullanılmıştır. Kullanılan test verisi ile benzeri çalışma süreçlerinin belirli bir yere kadar yapılabileceği görülmektedir. Sunulan yöntem ile yerel yönetim ve kamu kurumlarının elinde bulunan mevcut ve daha yüksek hassasiyete sahip mekânsal veriler ile uygulandığında daha yüksek hassasiyette sonuçlar elde edilecektir.

Öncelikli olan yerel ve merkezi yönetimlerde akıllı şehir bilincinin oluşturulmasıdır. Kamu kurumlarının elinde mevcut bulunan mekânsal verilerin yeniden değerlendirilmesi, veri depolama sistemlerinin geliştirilmesi ile çok daha düşük maliyetlerle çok daha yüksek verim elde edilebilmesi mümkün olabilecektir.

3.1.3 Altyapı verilerinin 3B modellerinin üretilmesi

Günümüzde adından sıklıkla söz edilen “Akıllı Şehir” ve “Dijital İkiz” kavramları ile birlikte bu amaca yönelik olarak üretilen 3B kent modelleri, son yıllarda akıllı şehircilik alanında gerçekleştirilen pek çok çalışmada altlık olarak kullanılmaya başlanmıştır.

1981 yılında kurulan İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ), İstanbul Büyükşehir Belediyesi’ne (İBB) bağlı ancak bağımsız bütçeli yapısı ile yaklaşık 5 bin 461 kilometrekare alana hizmet vermektedir. 6.8 milyon abone sayısı ile yaklaşık 15.8 milyonluk bir nüfusa içme suyunun ulaştırılması ve geriye alınan atık suyun arıtma tesislerine yönlendirildiği dünyadaki en büyük su altyapı hizmet sağlayıcısı kurumlarından biridir. Dünyada akıllı şehircilik alanında yaşanan güncel gelişmeleri de aktif olarak takip eden Coğrafi Bilgi Sistemi Şube Müdürlüğü, 2021 yılında “3B Dijital İkiz Projesi” kapsamında yeni bir çalışma başlatmıştır. Proje kapsamında öncelikli olarak İSKİ bünyesinde bulunan içme suyu, atıksu ve yağmursuyu hatları, hizmet alanındaki yapılar ve kurumda bulunan diğer tüm mekânsal veriler 3B olarak modellenmiş ve yine 3B olarak oluşturulan İstanbul 3B kent modeli içerisinde konumlandırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında; günümüzde akıllı şehircilik çalışmalarının olmazsa olmazlarından biri haline gelen ve içerisinden mekânsal pek çok analize imkân sağlayabilecek olan dijital ikizlerin, prosedürel tekniklerle üretilmesinin avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışmalar sırasında kurum bünyesindeki mevcut verilerden nasıl yararlanıldığı ve bu verilerin nasıl işlendiğine dair örnekler sunulmuş, gerçek bir kentin 3B sanal ortamda oluşturulması sırasında karşılaşılan bazı zorluklar da tartışılarak incelenmiştir.

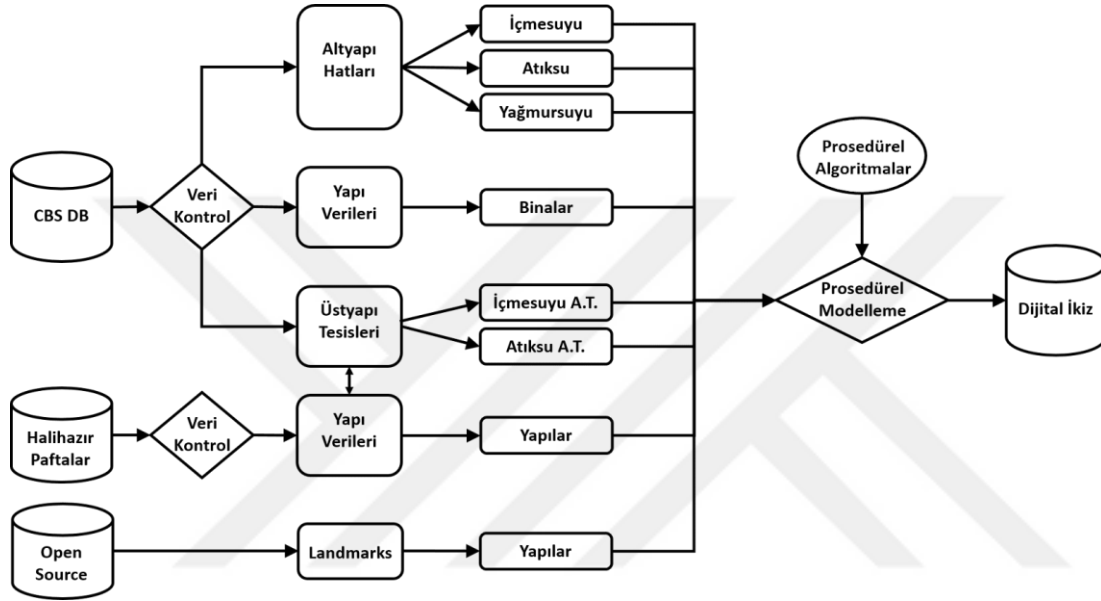
3.1.3.1 Materyal ve yöntem

1981 yılında kurulan İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı ancak bağımsız bütçeli yapısı ile yaklaşık 5 bin 461 kilometrekare alana hizmet vermektedir. 6.8 milyon abone sayısı ile yaklaşık 15.8 milyonluk bir nüfusa içme suyunun ulaştırılması ve geriye alınan atık suyun arıtma tesislerine yönlendirildiği dünyadaki en büyük su altyapı hizmet sağlayıcısı kurumlarından biridir. Kullanılan suyun neredeyse tümü İstanbul ve beş adet komşu ilin (İstanbul, Kırklareli, Tekirdağ, Kocaeli, Sakarya, Düzce) sınırları içerisinde bulunan yüzeysel su kaynakları ile temin edilmektedir.

İstanbul'un engebeli yer yüzeyi ve temin edilen suların oldukça uzak mesafelerden şehre taşınması zorunluluğu büyük miktarda enerji ihtiyacı oluşturmaktadır. İçme suyu kaynaklarından alınan ham sular binlerce kilometre uzunluğundaki isale hatları ile içme suyu arıtma tesislerine ulaştırılmaktadır. Bu tesisler içerisinde ozonlama ve arıtma işlemleri ile ham su, içilebilir standartlara getirilmektedir.

Ayrıca İstanbul'un çeşitli bölgelerinde inşa edilen farklı büyüklüklerde, su tüketim dengesinin sağlanması, enerji tasarrufu, arızalar ve enerji kesintileri sebebiyle oluşan su kesintilerinin minimuma indirilmesi için su depoları inşa edilmiştir. Bununla birlikte hizmet verilen yapılarda kullanılarak atık suya dönüşen sular ek olarak inşa edilen atık su şebekesiyle geri toplanır. Kollektör ve tünellerle toplanan atık sular, atıksu arıtma tesislerine ulaştırılır. İleri biyolojik atık su arıtma tesislerinden çıkış suların bir kısmı ise son dezenfeksiyon işleminin ardından rekreasyon alanlarının sulanması yanı sıra sanayi suyu olarak da kullanılmaktadır. Tüm bu karmaşık altyapı sistemine ait mekânsal veriler; Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı altında faaliyet gösteren Coğrafi Bilgi Sistemi Şube Müdürlüğü tarafından yönetilmektedir.

CBS veri tabanı içerisinde; kurum bünyesinde kayıtlı bulunan içmesuyu, atıksu ve yağmursuyu gibi tüm altyapı hatlarının yanı sıra abonelik gerçekleştirilen, temiz su verilen ve atık su alınan tüm binalara ait veriler ve kurumun işlettiği tüm üstyapı tesisleri bulunmaktadır. Dijital ikiz üretiminin en temel amacı kuruma ait tüm bu mekânsal verilerin tek bir merkezden ve 3B olarak görüntülenebilmesidir. Dijital ikiz üretimi için belirlenen iş akış şeması Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 : Dijital İkiz Üretimi İçin İş Akış Şeması.

CBS veritabanında bulunan verilerin yanı sıra kurumun elinde bulunan ve mekânsal bilgi içeren hâlihazır harita paftaları, ortofoto ve uydu görüntüleri, sayısal yükseklik modelleri, LiDAR verileri, göl, barajlar ve derin deniz deşarjlarına ait batimetri verileri gibi pek çok veri bulunmaktadır. Tüm bu verilerin birbirine entegre edilerek tek bir 3B ortam içerisinde birleştirilmesi ile oluşturulan Dijital İkiz; kurumun geleneksel karar destek sistemlerine yeni ve etkili bir çözüm yöntemi olarak eklenebilecektir. Bunların yanı sıra koordinatlı olarak üretilmiş, açık kaynaklı ve çevrimiçi olarak paylaşımına sunulan tüm 3B modeller de bu sisteme dâhil edilebilmesi hedeflenmiştir.

3.1.3.2 Çalışma alanı

İSKİ Coğrafi Bilgi Sistemi Şube Müdürlüğü tarafından geliştirilen İSKİ Altyapı Bilgi Sistemi (İSKABİS) uygulaması; mevcut boru hatlarının ve sahada üretimi tamamlanan yeni hatların çiziminin sayısal ortamda gerçekleştirildiği bir bilgi sistemidir. Çizimler sırasında hatlara ait diğer öznitelik verileri de sisteme girilerek kaydedilir. Bu şekilde

verilerin şebeke bütünlüğü içerisinde, daha hızlı ve eksiksiz olarak sisteme aktarılması sağlanır. Böylece, sayısal ortama aktarılan veriler içerisinde coğrafi bilgi sistemi alanındaki tüm 2B ve 3B mekânsal analizler, 3B modelleme ve tematik harita üretimi gibi çalışmalar kapsamlı şekilde gerçekleştirilebilir. İSKABİS; içmesuyu, atıksu ve yağmursuyu gibi altyapı hatlarının ve bu hatlar ile ilişkili olan tüm üstyapı tesislerinin mekânsal olarak analiz ve sorgulamalarının yapılabildiği etkin bir ortam sunar. Ayrıca hatlara ait mekânsal veriler kullanılarak ağ modellemeleri ve ağ analizleri de yapılabilir.

Çizelge 3.6: İSKİ tarafından aktif olarak bakım ve onarımları yapılmakta olan altyapı hatların adet ve metrajları.

Çizelge 3.6 : İSKİ altyapı hatların adet ve metrajları.

Altyapı Hatları	Adet	Uzunluk (km)
İçmesuyu Hatları	1.266.313	33.505,653
Atıksu Hatları	1.351.085	25.510,409
Yağmursuyu Hatları	217.970	5.946,353

3B kent modellerinin en önemli ve temel bileşenlerini şehir içerisinde bulunan yapılar oluşturmaktadır. Bununla birlikte yapılan kapsamlı taksonomi çalışmaları ve CityGML 3.0 standartlarına göre bir dijital ikiz içerisinde şehirdeki bina objelerinin yanı sıra sayısal yüzey modeli, köprü, tünel gibi diğer yapısal objeler, bitki örtüsü, su kütleleri, ulaşım yapıları, arazi kullanımı, şehir mobilyaları, diğer genel şehir objeleri ve kullanıcı tanımlı obje grupları yer almaktadır.

Son yıllarda ağırlıklı olarak gerçekleştirilen çalışmalar genellikle araştırmacıların fotogrametri, LiDAR ve uzaktan algılama yöntemlerine odaklandığını göstermektedir. Çünkü bu obje gruplarının büyük çoğunluğuna ait veriler uzaktan algılama yöntemleri ile havadan gerçekleştirilen çalışmalar ile etkin bir şekilde elde edilebilmektedir. Bunun dışında gerçekleştirilen bir kısım çalışmalar ise yine aynı şehir objelerinin prosedürel yöntem ile nasıl hızlı bir şekilde üretilebileceğine odaklanmıştır. Ancak şehir objelerinin kategorize edilmesi sırasında gerçekleştirilen taksonomi çalışmaları içerisinde, diğer genel şehir objeleri ve kullanıcı tanımlı obje grupları alanlarında değerlendirilebilecek olan “*altyapı hatları*” yerin altında yer aldıkları, havadan yapılan uzaktan algılama ve benzeri ölçme yöntemleri ile görüntülenemedikleri için bu verilerin de prosedürel olarak üretilmesi konusu değerlendirilmelidir. Tez kapsamında yapılan bu çalışma ile altyapı hatlarının CBS temelli prosedürel yöntem kullanılarak

3B modellenmesine ve dijital ikiz içerisine entegre edilmesine yönelik bir çözüm sunulmuştur.

3.1.3.3 Altyapı hatlarının 3B dijital ikizinin oluşturulması

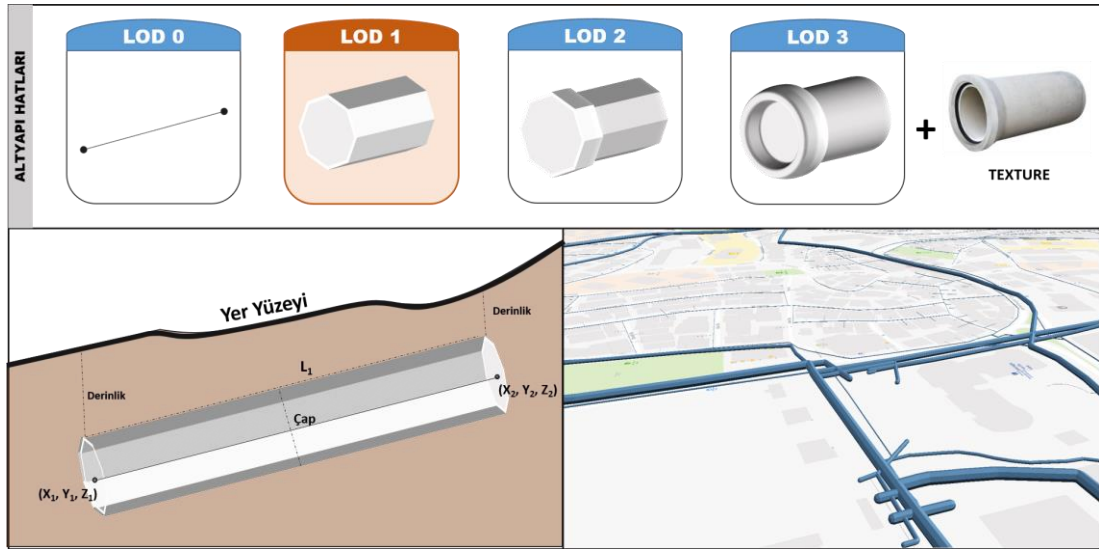
İSKİ coğrafi bilgi sistemi veritabanı içerisinde yapılan abonelikler ile ilişkili bina verileri depolanmaktadır. Bu veriler İstanbul Gaz ve Doğalgaz Dağıtım A.Ş. (İGDAŞ) ile de senkronize bir şekilde aktif olarak güncellenmektedir. Ayrıca kurum bünyesinde bulunan tüm İçmesuyu ve Atıksu Arıtma Tesislerine ait veriler de bulunmaktadır. Bunların yanı sıra İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından üretilen en son hâlihazır harita paftaları da şehrin geneline ait yüksek doğruluklu ve detaylı yapı verisine sahiptir. Son olarak da açık veri olarak çeşitli platformlardan sunulan İstanbul geneline ait tüm 3B yapı modelleri de çalışma kapsamında incelenmiştir. Doğruluk ve görsellik olarak seçilenlerin dijital ikiz içerisine aktarılmasına karar verilmiştir. Bu veriler ile ilgili detaylar Çizelge 3.7’de sunulmuştur.

Çizelge 3.7 : İSKİ tarafından depolanan yapı verilerinin adetleri.

Altyapı Hatları	Adet
Binalar	1.449.463
Halihazır Yapılar	3.914.485
İçmesuyu Atırma Tesisleri	23
Atıksu Atırma Tesisleri	90
Landmark Yapılar	41

Veritabanında bulunan yapı objelerine ait öznitelik verileri, 3B prosedürel modelleme çalışmaları sırasında gerekli olan “*kat adedi* ve *yükseklik*” gibi parametrelerin belirlenebilmesine imkân sağlamaktadır. Elde olmayan yerlerde bu veriler için DEM ve DSM üzerinden yükseklik değeri atamaları da otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada tıpkı 3B kent modellerinde olduğu gibi CityGML 3.0 bina detay seviyeleri örnek alınarak altyapı hattı boruları için bu amaca özgü detay seviyeleri belirlenmiştir. Altyapı hattı boru detay seviyelerinin belirlenmesi; borulara ait öznitelik verilerinin veritabanında tutulabilmesi için gerekli olan parametrelerin daha kolay olarak belirlenebilmesine imkân sağlamaktadır. Bu detay seviyeleri Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : Altyapı hatları için belirlenen detay seviyeleri (Üst), Altyapı hatlarının 3B olarak modellenmesi için gerekli parametreler (Alt Sol), İçmesuyu boru hatlarının prosedürel olarak 3B oluşturulması ve görselleştirmesi (Alt Sağ).

İSKİ'ye ait İçmesuyu, Atıksu ve Yağmursuyu boruları CBS veritabanı içerisinde geometrik olarak çizgisel obje şeklinde depolanmaktadır. Çalışma kapsamında altyapı hatlarının 3B olarak modellenmesi için prosedürel yöntem temel alınarak çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Boruların çizgisel objelerden 3B objelere dönüştürülebilmesi için iki tür veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Birincisi çizginin başlangıç ve bitiş noktalarının koordinatlarını içeren geometrik veriler. İkincisi ise boru verisi içerisinde sözel olarak depolanan “Uzunluk”, “Çap” ve başlangıç ve bitiş noktaları için “Boru Üst Kotu” öznitelik verileridir. Bu veriler kullanılarak tüm çizgisel boru objelerinden LOD1 seviyesinde 3B boru modelleri üretilebilir. Bu çalışmada; üretim sonrasında toplamda oluşacak verinin boyutu ve bu verinin performanslı bir şekilde görselleştirilebilmesi gibi kriterler değerlendirilerek boruların sekizgen olarak oluşturulmasına karar verilmiştir. Boru modelleme aşamaları ve örnek görselleştirme çalışmaları Şekil 3.12’de verilmiştir.

3B yapı modellerinin prosedürel yöntem kullanılarak üretilmesinin hem modellerin üretilmesinde hem de oluşturulan modellere otomatik cephe kaplama gerçekleştirilebilmesi aşamasında kolaylık sağlamaktadır. Bu cephe kaplamaları, ilgili binaların gerçek fotoğrafı olabilir. Ayrıca hazırlanan bir materyal kütüphanesi içerisinde sembolik olarak da çağırılabilir. Bu çalışmada üstyapı tesislerine ait detaylı cephe fotoğrafları mevcut olmadığı için güncel ortofotolar kullanılarak tesis yapılarının cephe kaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Proje kapsamında gerçekleştirilen bir diğer çalışma ile İBB tarafından 2017 yılında üretilen 1/1000’lik “*Halihazır Harita*” paftaları kullanılarak İstanbul içerisinde bulunan yaklaşık 3.9 milyon adet yapı objesi 3B olarak modellenmiş ve ülke koordinat sisteminde olacak şekilde yine dijital ikiz içerisinde konumlandırılmıştır. Bu verilerden elde edilen 3B modeller, veri içerisinde bulunan Z değerleri kullanılarak ve prosedürel modelleme ile CityGML 3.0 standartlarındaki LOD2 seviyesinde oluşturulmuştur. CBS veritabanında bulunan ve kurumdaki abonelik işlemleri ile ilişkili olan binaların modellenmesinde ise veri içerisinde bulunan “*Kat Adedi*” bilgisinden yararlanılmıştır. Bu binalar ise LOD1 düzeyinde modellenmiştir. Bu şekilde ilgili tüm yapılara iletilen içme suyu hatları ve yapılardan çıkan atıksu hatları 3B olarak dijital ikiz içerisinde birleştirilmiştir. Şekil 3.13’te 3B olarak üretilen yapı modelleri gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : Dijital İkiz içerisinde CBS ve CAD verilerinden üretilen İSKİ yapı modellerinin görüntülenmesi.

Projenin devam eden diğer fazlarında, İSKİ tarafından işletilen “Atık Su Arıtma Tesisleri” ve “İçme Suyu Arıtma Tesisleri”, son yıllarda hızla gelişen teknolojilerden biri olan insansız hava araçları (İHA) ve fotogrametrik yöntemler kullanılarak 3B olarak modellenmesi ve oluşturulan bu modellerin 3B dijital ikiz içerisinde konumlandırılmasına başlanmıştır.

3.1.3.4 Sonuçlar

Sonuç olarak bu çalışmada; günümüzde akıllı şehircilik çalışmalarının olmazsa olmazlarından biri haline gelen ve içerisinde mekânsal pek çok analize imkân

sağlayabilecek olan dijital ikizlerin, prosedürel tekniklerle üretilmesinin avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışmalar sırasında kurum bünyesindeki mevcut verilerden nasıl yararlanıldığı ve mevcut verilerin işlenesine ait bazı örnek çalışmalar verilmiştir. Gerçek bir şehrin sayısal ortamda 3B olarak oluşturulması sırasında yaşanan bazı zorluklar da değerlendirilmiştir.

Prosedürel modelleme işlemleri; Windows 10 (64 Bit) işletim sistemi üzerinde 3.70Ghz Intel Core i7-8700K CPU işlemci, 64GB RAM ve Nvidia GeForce GTX 1080 (2x 8GB) ekran kartı bulunan bir makine kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretim zamanları Çizelge 3.8’de sunulmuştur.

Çizelge 3.8 : Prosedürel modelleme için harcanan süre bilgileri.

Veri	Adet	Süre (dk)
CBS Altyapı Hatları Modelleri	2.835.368	~ 144’
CBS Bina Modelleri	1.449.463	~ 26’

Yaklaşık 5461 km²’lik yüzölçümü ile bir metropol olan İstanbul’un çevre illere de taşan çalışma ve etki alanı ile şehrin normal yerleşim alanından çok daha büyük olduğu bilinmektedir. Toplamda 64.962,415 kilometrelik bir uzunluğa sahip olan 2.835.368 adet boru verisinin ve 1.449.463 adet abone bina verisinin günlük olarak 3B üretilmesi ve dijital ikiz uygulamasının bu veriler ile güncel tutulması çok büyük bir önem taşımaktadır.

İçerdiği statik ve dinamik veriler ile bu kadar büyük boyutlu verilerin güncel tutularak bir web uygulaması üzerinden kurum personel ve yöneticilerinin erişimine sunulabilmesi, sistemin devamlılığının sağlanabilmesi, oldukça etkin bir veri üretim ve yönetimi stratejilerinin uygulanmasını gerektirmektedir. 3B model üretimi aşamalarının prosedürel modelleme tekniği ile gerçekleştirilmesi bu stratejik yaklaşımın en önemli bileşenlerinden biridir.

Kurum bünyesinde bulunan ve farklı yıllarda üretilmiş olan; Halihazır Haritalar, Ortofotolar ve Uydu Görüntüleri de geliştirilmekte olan sisteme entegre edilmektedir. OGC standartlarına uygun olarak üretilmiş olan tüm Web Harita Servislerinin (WMS) sisteme entegre edilebilmesi ile tüm verilere tek bir merkezden erişim sağlanabilmesi ve 3B olarak görselleştirilebilmesi mümkün olabilmektedir. Şekil 3.14’de 3B dijital ikiz içerisine eklenen farklı WMS servisleri gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Dijital İkiz İçerisinde WMS servisleri, Üstyapı Tesislerinin Prosedürel Modelleme ve İHA Kullanılarak Gerçekleştirilen Fotogrametrik Modelleme Çalışmalarının Entegrasyonu.

Verilerin güncel tutulması ve 3B model üretimi için performans geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Çalışmanın ilk zamanlarında yaklaşık 1-2 ay süren işlemler, çalışmanın ilerleyen safhalarında geliştirilen performans iyileştirme algoritmaları sayesinde 1-2 gün mertebesine kadar indirilmiştir. Mevcut üretim sürelerinin şu anki kurum içi çalışmalarda yeterli olmasına karşın ilerleyen zamanlarda yetersiz kalabileceği öngörüsü ile bu sürelerin daha da kısaltılmasına yönelik geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

3B Dijital İkiz Projesi; İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemi Şube Müdürlüğü tarafından, açık kaynaklı uygulama geliştirme kütüphaneleri ve kurumun kendi öz kaynakları kullanılarak geliştirilmeye devam etmektedir.

3.1.4 Tarihi çeşmelerin LOD3 detay seviyeli modellerinin üretimi

Günümüzde adından sıklıkla söz edilen “Akıllı Şehir” ve “Dijital İkiz” kavramları ile birlikte bu amaca yönelik olarak üretilen 3B kent modelleri, son yıllarda akıllı şehircilik alanında gerçekleştirilen pek çok çalışmada altlık olarak kullanılmaya başlanmıştır.

3B kent modellerinin en önemli ve temel bileşenlerini şehir içerisinde bulunan yapılar oluşturmaktadır. Bununla birlikte şehirdeki yapı kategorisi içerisinde olan ancak çoğu zaman bir bina kadar büyük olmayan tarihi öneme sahip bazı ufak yapılar da bulunmaktadır. Bu yapılar, diğer yapılardan daha küçük boyutlarda olduğu için, genellikle 3B kent modeli üretiminde kullanılan ölçme yöntemi ve o yöntemin hassasiyetinin imkân verdiği ölçüde modellenebilir. Bazı durumlarda ise ölçme yöntemi hassasiyetinde algılanamayan bu tür yapılar modelleme süreçleri dışında kalmaktadır.

İstanbul yaklaşık dört yüz yıl Osmanlı İmparatorluğu'nun başkenti olmuştur. Bu süre içerisinde şehrin birçok yerinde yaklaşık 1200 adet çeşme inşa edilmiştir. Bu çeşmelerin büyük bir çoğunluğu günümüze kadar varlığını sürdürmüştür. Zaman zaman gerçekleştirilen çalışmalarda bir kısmı tarihi önemi ve anıtsal özellikleri nedeniyle tescil de edilmiştir. Bu çeşmelerin bir bölümü ise kısmen veya tamamen hasar görmüştür ve maalesef bugün yerlerinde bulunmamaktadır.

Tarihi çeşmeler, şehir içerisinde yaygın olarak bulunan diğer yapılardan daha küçük oldukları için mevcut 3B kent modeli üretim yöntemleri ile modellenebilmeleri biraz daha zordur. Yersel ölçmeler ve detaylı modelleme çalışmaları gerekmektedir. Ancak dikkate alınması gereken bir diğer durum ise; şehrin dinamik dokusu sürekli değişirken bu objelerin değişmeden sabit kalmasıdır. Bu nedenle tarihi çeşmeler bir kez modellendiklerinde her 3B kent modeli üretimi çalışmasında yeni baştan üretilmelerine gerek yoktur.

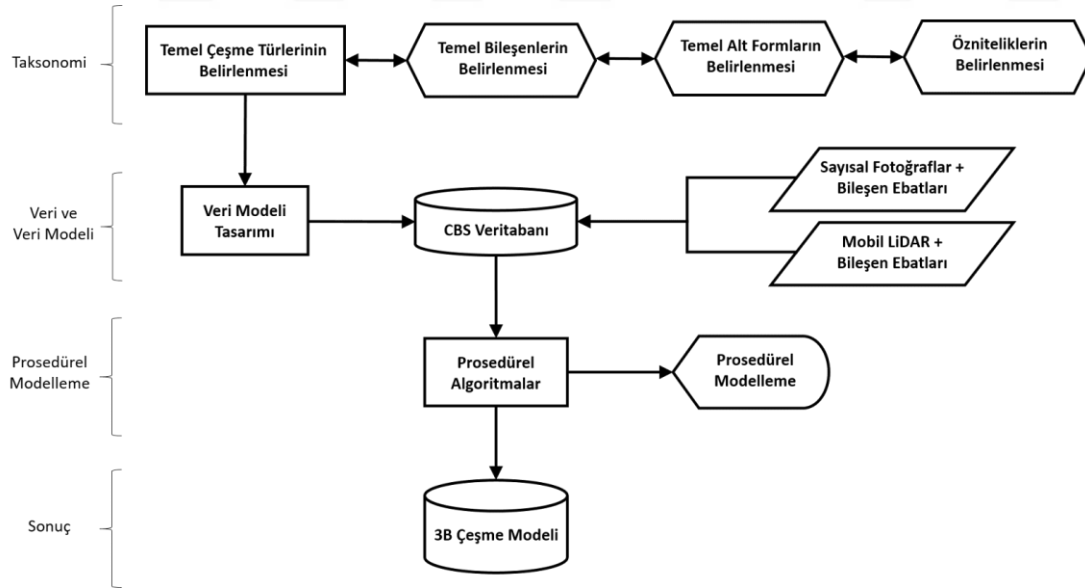
Sonuç olarak bu çalışma ile İstanbul ili içerisinde bulunan tarihi duvar çeşmelerinin mekânsal bir veritabanı içerisinde depolanabileceği, gerektiğinde prosedürel modelleme yöntemi ile dinamik ve 3B olarak modellenmesine imkân sunabilecek olan bir veritabanı şeması tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla tarihi duvar çeşmelerinin bileşenleri birer birer belirlenerek ilişkisel bir veritabanı içerisinde depolanmasının avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Ayrıca bu altyapının 3B çeşme modeli üretimine sağlayacağı kolaylık ve bu çalışmalar sırasında karşılaşılan bazı zorluklar da tartışılarak incelenmiştir.

3.1.4.1 Materyal ve yöntem

Su, Osmanlı kültüründe büyük bir öneme sahiptir. Suyun hayatın temeli olduğuna inanılmaktadır ve bu nedenle yaşadıkları köy ve kentlerin pek çok yerine çeşmeler,

sebiller ve kuyular yaptırmışlardır. İnşa edilen çeşme ve sebillerde su akmaya devam ettikçe yapılan hayır işinin de daimi olarak devam edeceğine olan inançları bu tutumu uzun yıllar desteklemiştir. Sadece halk arasında varlıklı kişilerin değil, yönetimdeki devlet adamları ve padişahların yaptırdıkları çeşmeler de mevcut su yollarını geliştirmeye verdikleri önemi ortaya koymaktadır. 400 yıldan fazla bir zaman diliminde Osmanlı İmparatorluğu'na başkentlik yapması sebebiyle “İstanbul Çeşmeleri”nin bu alanda ayrı bir önemi bulunmaktadır. Osmanlı mimarisinin tarihsel gelişim ve değişim süreci boyunca farklı mimari moda ve beğenilere göre şekillenen her bir çeşme bu anlamda ayrı öneme sahiptir. Bu nedenle İstanbul Çeşmeleri; Osmanlı mimarisinin yüzyıllar boyu değişen gelişim sürecini de yansıtan önemli birer tarihi belge niteliğinde kabul edilirler (Tarihi Çeşmeler Külliyesi, 2006).

Bu çalışma ile İstanbul ili içerisinde bulunan tarihi duvar çeşmelerinin mekânsal bir veritabanı içerisinde depolanabileceği, gerektiğinde prosedürel modelleme yöntemi ile dinamik ve 3B olarak modellenmesine imkân sunabilecek olan bir veritabanı şeması tasarımı gerçekleştirilmiştir. 3B çeşme modeli oluşturulmasında izlenen yöntem ve işlem adımları Şekil.15'teki akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : İş Akış Şeması.

En temel ifade ile taksonomi; varlık ya da objelerin basitten karmaşığa doğru olacak şekilde, bazen de birbirlerinin ön koşulu olarak tanımlanabileceği şekilde, kademeli olarak kategorilere ayrılması ve sınıflandırılmasını anlatır. Çalışma kapsamında ilk

olarak İstanbul'da bulunan tarihi çeşmeler ile ilgili mevcut kaynaklar araştırılarak bu yapılar hakkında detaylı bilgi toplanmıştır. Daha sonra prosedürel modelleme ile yapı modeli üretim sürecine altlık teşkil edecek olan kapsamlı bir sınıflandırma çalışması gerçekleştirilmiştir.

İşlemlerin adım adım uygulanması ile önce tarihi çeşmeler hakkında detaylı bir taksonomi çalışması yapılarak temel çeşme türleri ve çeşmeleri oluşturan temel bileşenler ve alt formlar belirlenmiştir. Daha sonra bu alt formlar kullanılarak 3B model üretimini gerçekleştirecek olan prosedürel modelleme algoritmaları geliştirilmiştir. Bu yöntem ile mevcut fotoğraflar üzerinden çeşme bileşenlerinin ölçü değerleri alınarak 3B çeşme modelleri oluşturulmuştur.

Çalışmanın ikinci aşamasında İstanbul sokaklarına ait mobil LiDAR verileri ve bu çalışma sırasında üretilen panorama görüntüleri üzerinden tarihi çeşmelere ait hassas ölçüm değerleri alınmıştır. Bu veriler kullanılarak üretilen 3B çeşme modelleri prosedürel olarak üretilen çeşme modelleri ile karşılaştırılmış ve sonuçları analiz edilmiştir.

3.1.4.2 Tarihi çeşmeler için detay seviyelerinin tanımlanması

Anıtsal nitelikli ve tescilli tarihi duvar çeşmelerinin bir veritabanında depolanabilmesi, görüntülenebilmesi ve kullanım ihtiyacı olması durumunda 3B sayısal model olarak üretilbilmesi için belirli detay seviyelerine ayrılmaları gerekmektedir. Gerçekleştirilen çalışma ile dünyada 3B kent modellerinin üretim ve depolanması çalışmalarında bir standart olarak ve yaygın şekilde kullanılan CityGML 3.0 bina detay seviyeleri referans alınmıştır. Çeşme detay seviyelerinin belirlenmesi; çeşmelere ait öznitelik verilerinin veritabanında tutulabilmesi için gerekli olan parametrelerin daha kolay olarak belirlenebilmesine ve depolanabilmesine imkân sağlamıştır. Çalışma kapsamında mevcut CityGML veri modeli yapısına uygun şekilde Duvar, Meydan ve Sütun Çeşmeleri için farklı detay seviyeleri belirlenmiştir.

3.1.4.3 Tarihi çeşme türlerinin belirlenmesi

Günümüze kadar gerçekleştirilen çalışmalarda Osmanlı Dönemi çeşmelerinin farklı kişiler tarafından farklı açılardan ve farklı şekillerde sınıflandırıldığı görülmektedir. Bir yaklaşıma göre Osmanlı Çeşmeleri; mimari ile ilişkili olanlar ve mimariden bağımsız olanlar şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Daha sonra bu çeşmeler iç mekân, dış

mekân ve çeşme olarak inşa edilen yapılar şeklinde üç alt kategoriye ayrılmıştır. Oda, sofa, mutfak, hamam ve cami çeşmeleri iç mekân çeşmelerine örnek olarak gösterilebilir. Avlu, dış duvar ve portal çeşmemeri ise dış mekân çeşmelerine örnektir. Çeşme olarak inşa edilen yapılar ise bir yapıdan bağımsız olarak kendi başına inşa edilen bahçe, çayır, sokak, meydan ve namazgâh çeşmeleridir (Tarihi Çeşmeler Külliyyatı, 2006). Başka bir yaklaşıma göre çeşmeler yerlerine ve yapılış amaçlarına göre sınıflandırılmıştır. Bunlar ise duvar, köşe, meydan, namazgâh, oda, sütun ve sebillerdir (Tarihi Çeşmeler Külliyyatı, 2006). Celâl Esat Arseven'in Osmanlı Çeşmeleri sınıflandırmasına göre ise Osmanlı çeşmeleri; komşu, cami, şadırvan, oda, musluk ve anıtsal çeşmeler olarak sınıflandırılmıştır ancak bu yaklaşım Prof. Dr. Semavi Eyice tarafından çok doğru kabul edilmemektedir. Ona göre Şadırvan, Oda Çeşmesi ve Musluklar Türk mimarisinde çeşme tanımının dışında kalan su tesisleridir (Tarihi Çeşmeler Külliyyatı, 2006). Diğer bazı yaklaşımlara göre; çukur çeşmeler yer seviyesinin altında oldukları için aslında duvar çeşmelerinin bir türüdür. Ayrıca bazı yaklaşımlara göre ise iki ve üç kenarlı çeşmelere çatal çeşmeler denilse de aslında duvar ve meydan çeşmelerinin bir türü olarak da kabul edilebilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda tarihi çeşmelerin herkes tarafından kabul edilmiş genel bir sınıflandırması üzerinde fikir birliğine varılamadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle en genel ayırım olan ve İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ)'nin üç ciltlik İstanbul “Tarihi Çeşmeler Külliyyatı” adlı eserinde de geçen dört temel türü üzerinden sınıflandırma çalışmasına devam edilmiştir. Çünkü İstanbul'daki tarihi çeşmelerle ilgili gerçekleştirilen tüm çalışmalar resmi olarak İSKİ tarafından yürütülmektedir. Bu dört temel çeşme türü; Şadırvan Çeşmeleri, Duvar Çeşmeleri, Meydan Çeşmeleri ve Sütun Çeşmeler olarak belirlenmiştir. İstanbul'da şadırvan çeşme örneği bulunmaması nedeni ile sınıflandırmaya diğer üç çeşme tipi üzerinden devam edilmiştir.

3.1.4.4 Tarihi çeşmeler veri modelinin oluşturulması

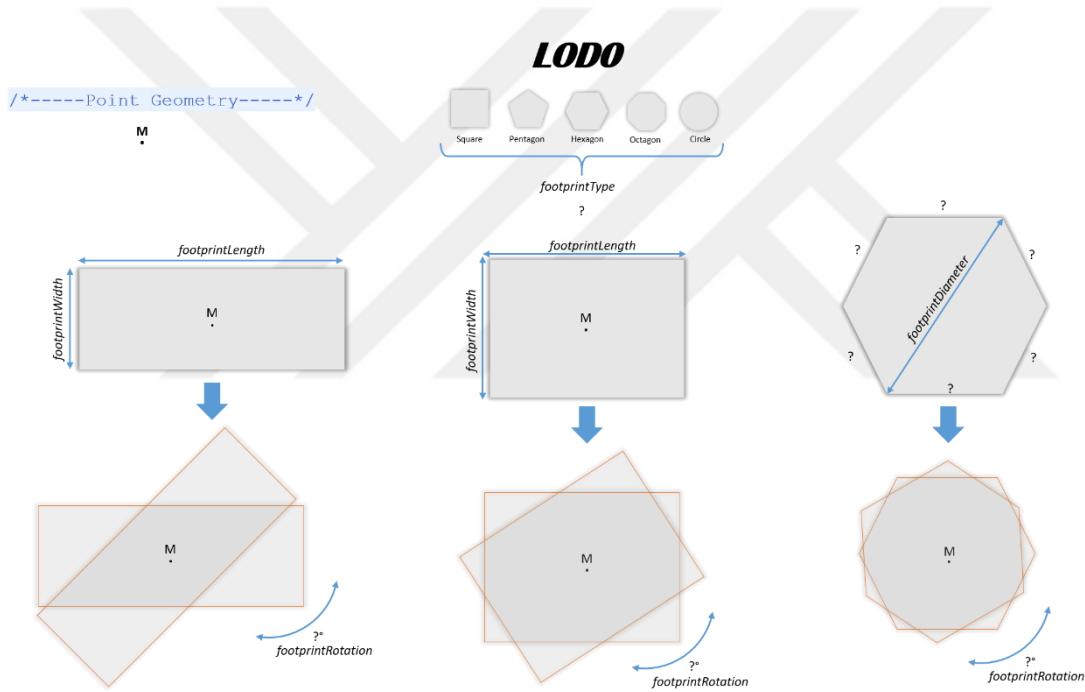
3B kent modelleri; LiDAR, fotogrametri, uzaktan algılama ve yersel ölçme gibi birçok yöntemin bağımsız ya da beraber kullanılması ile üretilebilmektedir. Prosedürel modelleme yöntemi olarak adlandırılan yöntem ile bir 3B modeli oluşturmak için ihtiyaç duyulan parametreler 2B CBS verileri içerisinde depolanan öznitelik verilerinden de sağlanabilmektedir. Böylece mevcut 2B CBS verilerinden kentsel objelerin 3B modelleri üretilebilmektedir. Ancak bunun için detaylı ve kapsamlı bir veritabanı tasarımı gerekmektedir.

Prosedürel modelleme tekniği kullanılırken öncelikle prosedürlerin belirlenmesi ve kısmen uzun süren bir kodlama süreci bulunur. Klasik 3B modelleme çalışmaları düşünüldüğünde bu süre başlangıçta gereksiz ve fazla gibi görünebilir. Ancak prosedürler belirlendikten ve kodlama çalışmaları tamamlandıktan sonra kapsamlı bir modelin üretilmesi saniyeler almaktadır. Sonrasında istenilen sayıda binanın modellenabilir, tasarım üzerinde gerçekleştirilmesi istenen değişiklikler anında modellere yansıtılabilir ve güncelleştirme sağlanabilir. Bu durum prosedürel modellemeyi büyük alanlarda yapılan modelleme çalışmalarında daha hızlı ve kullanışlı bir çözüm haline getirmektedir.

Bir kentin 3B olarak modellenmesi ile ilgili olarak uzun yıllardır devam eden çalışmalar sonucunda ortak olarak kabul edilen ve geniş kesimler tarafından kullanılan en temel yapıların başında CityGML standartları gelmektedir. Bir şehrin modellenmesi sırasında en temel unsurların başında binalar gelmektedir. CityGML standartları binaların farklı detay seviyelerinde depolanması ve gerektiği zaman, gerekli olan detay seviyesindeki modeline erişimine imkân sağlamaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma sırasında dünyada yaygın şekilde kullanılan CityGML 3.0 bina detay seviyeleri referans alınarak tarihi çeşmeler için benzer şekilde detay seviyeleri belirlenmiştir. Çünkü tıpkı binalarda olduğu gibi tarihi çeşmelerin 3B sayısal modellerin üretilmesi için de belirli detay seviyelerine ayrılmaları gerekmektedir. Bu şekilde hem görüntüleme hem de çeşitli analizler sırasında amacına uygun modellerin kullanılması sağlanabilecektir.

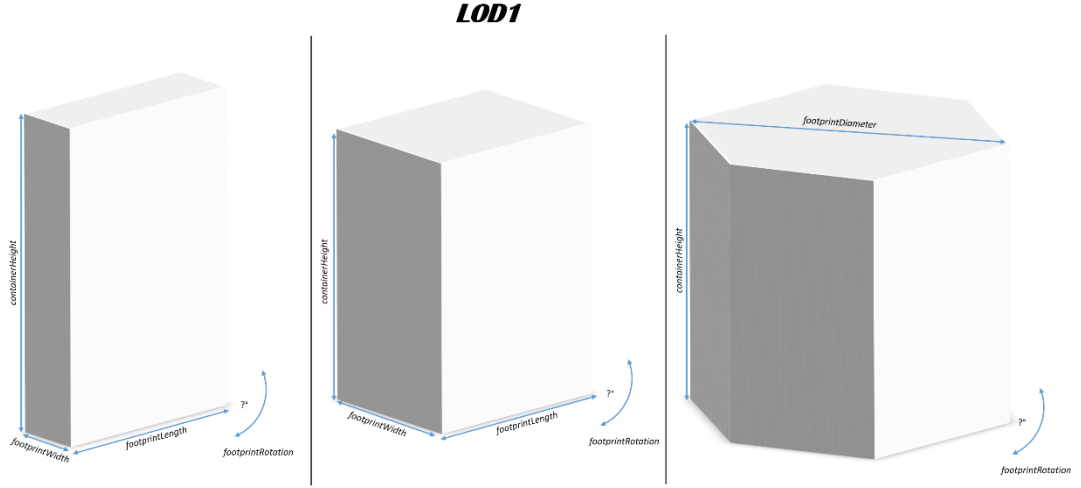
Tüm temel çeşme türlerinde “*Hazne, Örtü Sistemi, Saçak, Niş, Ayna Taşı, Kitabe, Taban, Tekne, Seki ve Testilik*” gibi temel bileşenler ortak olarak bulunmaktadır. Bu kapsamda temel bileşenlere ilişkin geometrik alt formlar belirlenerek temel bir obje kütüphanesi oluşturulmuştur. Böylece tarihi duvar çeşmelerine ait olası tüm bileşen kombinasyonlarının bu temel geometriler kullanılarak yeniden oluşturulabileceği bir veri modeli oluşturulmuştur. Bu tasarıma göre belirlenen öznitelik verileri ve birbirleri ile olan ilişkisel yapılar da tanımlanmıştır. Bu şekilde tarihi bir çeşmenin sayısal ortamda 3B olarak modellenmeden depolanabileceği ilişkisel bir veritabanı şeması geliştirilmiştir. Bu veritabanı şeması, gerekli öznitelik verileri ve prosedürel modelleme yöntemi kullanılarak ilgili çeşmelerin 3B olarak modellenme altyapısını oluşturmaktadır.

Tarihi eşmeler, İSKİ bünyesindeki CBS veritabanında “Nokta” veri tipinde depolanmaktadır. Bu nedenle prosedürel 3B model üretimi için öncelikle nokta verisinden taban alanı oluşturulmalıdır. Bu aşamada duvar eşmeleri için LOD0 detay seviyesi olan taban alanı oluşturulurken, noktanın konum verisine ek olarak gerekli olan diğerköznitelik verileri “*en, boy, çap ve dönüklük*” olarak değerkendirilebilir. Meydan eşmeleri’nde ek olarak “*taban alanı tipi*” de gereklidir. Duvar, Meydan ve Sütun eşmeleri’nin taban alanlarını prosedürel olarak oluşturabilmek için gerekli olan temel parametreler Şekil 3.16’da sunulmuştur. Prosedürel algoritmanın kodlanması aşamasında Türkçe karakterler ile ilgili problemlerin yaşanmaması için bu değerkler yerine İngilizce karşılıkları olan “*footprintType, footprintLength, footprintWidth, footprintDiameter, footprintRotation*” değerklenleri kullanılmıştır.



Şekil 3.16 : CBS nokta verilerinden taban alanı (LOD0) oluşturulması.

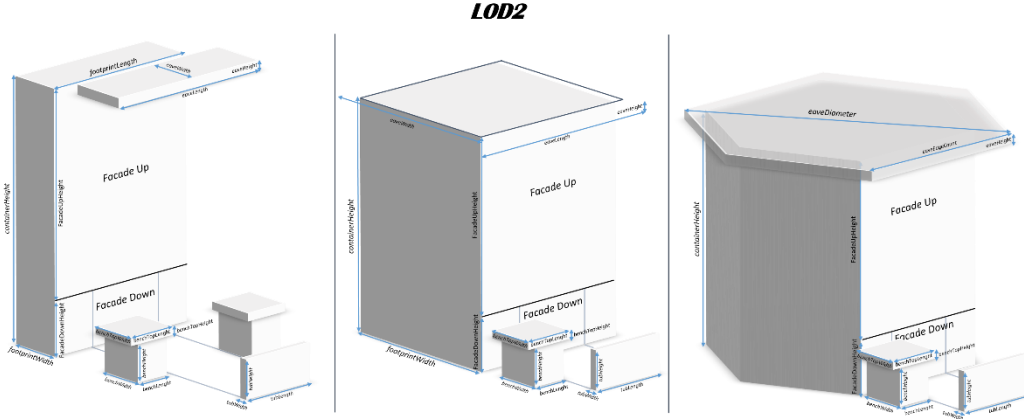
Prosedürel olarak taban alanı oluşturulduktan sonra sadece tek bir parametre ile yapının temel gövdesi olan Hazne’nin LOD1 detay seviyeli 3B modelinin oluşturulması mümkündür. Kodlanması aşamasında Türkçe karakterler ile ilgili problemlerin yaşanmaması için bu değerkler yerine İngilizce karşılığı olan “*containerHeight*” değerklenleri kullanılmıştır. Duvar, Meydan ve Sütun eşmeleri’nin LOD1 detay seviyeli 3B modelinin prosedürel olarak oluşturabilmesi için gerekli olan temel parametreler Şekil 3.17’da sunulmuştur.



Şekil 3.17 : CBS nokta verisinden hazne modelinin (LOD1) oluşturulması.

Prosedürel olarak taban alanı ve hazne modeli oluşturulduktan çeşme ön cephesi de prosedürel olarak oluşturulabilir. Bunun için geliştirilen prosedürel modelleme algoritmasında ön cephe; “*alt*” ve “*üst*” olarak iki parçaya ayrılır. Bu bilgiler kodlama aşamasında “*FacadeUpHeight*, *FacadeDownHeight*” değişkenleri ile tutulur. Daha sonra hazne üzerinde yer alan “*saçak*” bölümünün oluşturulabilmesi için “*en*, *boy* ve *yükseklik*” bilgisi gereklidir. Bu bilgiler kodlama aşamasında “*eaveLength*, *eaveWidth* ve *eaveHeight*” değişkenleri ile tutulur.

Çeşme ön yüzeyinde yer alan “*Seki* ve *Tekne*” bölümlerinin prosedürel olarak modellenebilmesi için “*en*, *boy* ve *yükseklik*” parametrelerine ihtiyaç vardır. Bu bilgiler de kodlama aşamasında “*benchHeight*, *benchWidth*, *benchHeight*” değişkenleri ile tutulur. Seki’ler üzerindeki bölüm de benzer şekilde “*en*, *boy* ve *yükseklik*” parametrelerine ihtiyaç duyar ve kodlama aşamasında “*benchTopHeight*, *benchTopWidth*, *benchTopHeight*” değişkenleri ile tutulmuştur. Duvar, Meydan ve Sütun çeşmelerinin LOD2 detay seviyeli 3B modelinin prosedürel olarak oluşturabilmesi için gerekli olan temel parametreler Şekil 3.18’de sunulmuştur.

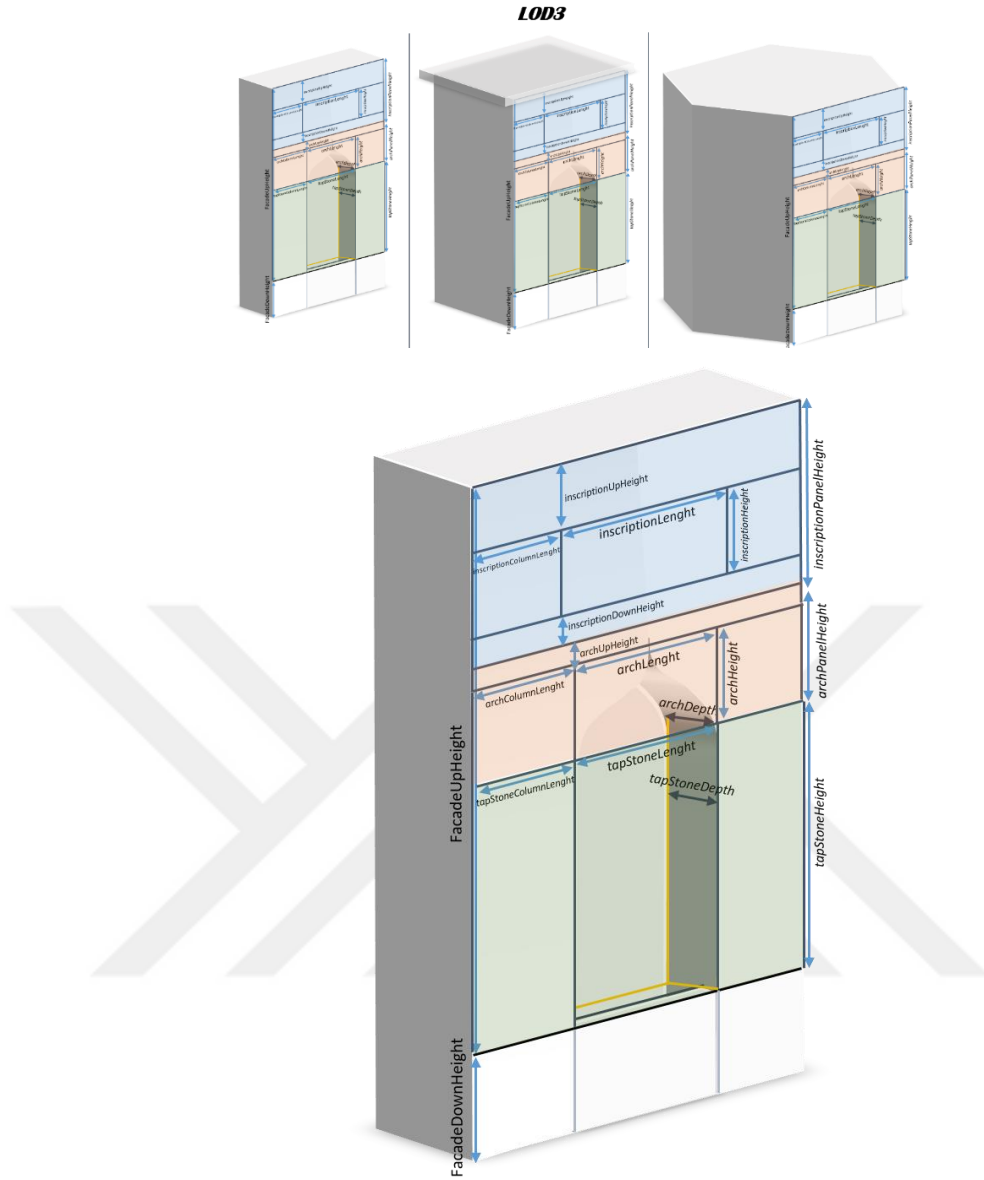


Şekil 3.18 : Prosedürel olarak saçak ve seki (LOD2) oluşturulması.

Çeşme ön yüzeyinde yer alan “Kitabe” bölümünün prosedürel olarak modellenenebilmesi için “genişlik ve yükseklik” değerleri ile kitabenin üst, alt ve yan mesafelerinin parametrelerine ihtiyaç vardır. Bu bilgiler de kodlama aşamasında “*inscriptionLenght*, *inscriptionHeight*, *inscriptionUpHeight*, *inscriptionDownHeight* ve *inscriptionColumnLenght*” değişkenleri ile tutulur.

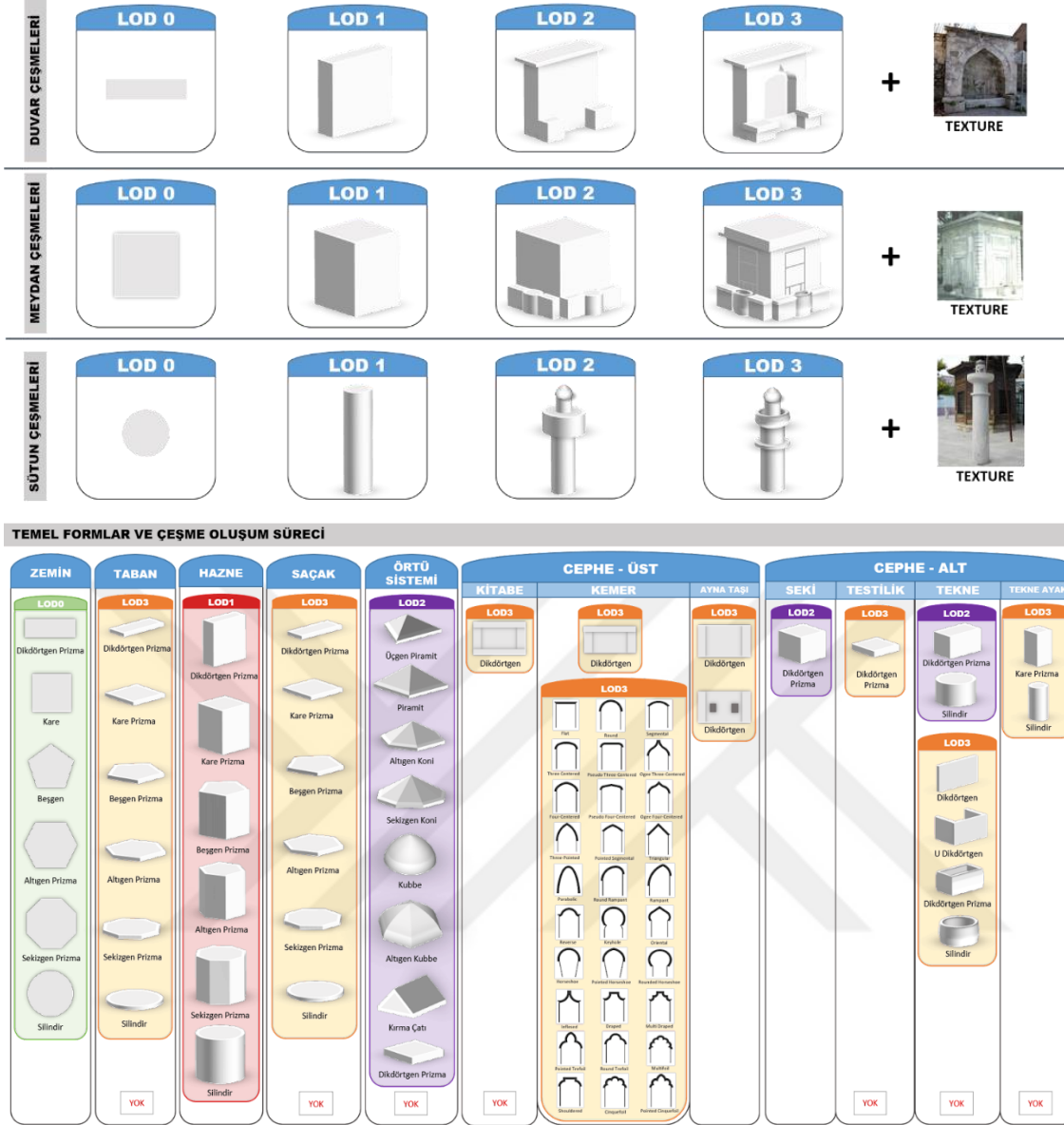
Çeşme ön yüzeyinde yer alan bir diğer detay olan “Kemer” bölümünün prosedürel olarak modellenenebilmesi için “genişlik ve yükseklik” değerleri ile kemer bölümünün derinlik parametrelerine ihtiyaç vardır. Bu bilgiler de kodlama aşamasında “*archLenght*, *archHeight*, *archUpHeight*, *archColumnLenght*” değişkenleri ile tutulur.

Çeşme ön yüzeyinde yer alan bir diğer detay olan “Ayna Taşı” bölümünün prosedürel olarak modellenenebilmesi için “genişlik ve yükseklik” değerleri ile ayna taşı bölümünün derinlik parametrelerine ihtiyaç vardır. Bu bilgiler de kodlama aşamasında “*tapStoneLenght*, *tapStoneHeight* ve *tapStoneDepth*” değişkenleri ile tutulur. Duvar, Meydan ve Sütun çeşmelerinin LOD3 detay seviyeli 3B modelinin prosedürel olarak oluşturabilmesi için gerekli olan temel parametreler Şekil 3.19’da sunulmuştur.



Şekil 3.19 : Prosedürel olarak cephe detaylarının (LOD3) oluşturulması.

Bu şekilde kurgulanan prosedürel yöntem ile Duvar, Meydan ve Sütun Çeşmeleri'ni prosedürel olarak oluşturabilmek için gerekli olan temel bileşenler ve alt bileşenlerin hangi detay seviyelerinde bulunacağı Şekil 3.20'da sunulmuştur.



Şekil 3.20 : Tarihi Çeşmeler için belirlenen detay seviyeleri (Üst), Bir çeşmeyi oluşturan temel bileşenler (Alt).

Çoğu modelleme uygulamasında bu parametreleri bilinen geometrik objeler kolay bir şekilde oluşturulabilmektedir. Veri modeli tasarlanırken bir alt bileşen hangi geometrik formda ise o geometriyi yeniden oluşturmak için “En, Boy, Yükseklik, Genişlik, Derinlik, Çap, Kenar Adedi” gibi parametrelerin belirlenmesi ve bu değerlerin öznitelik verisi olarak ilgili geometri ile ilişkilerinin tanımlanması sağlanmıştır.

Tarihi çeşmelerin bileşenlerinin belirlenmesi aşamasından sonra ortaya 12 adet temel bileşen ve bu bileşenlere ait 73 adet alt form oluşturulmuştur. Bu alt bileşen ve formları Çizelge 3.9’da verilmiştir.

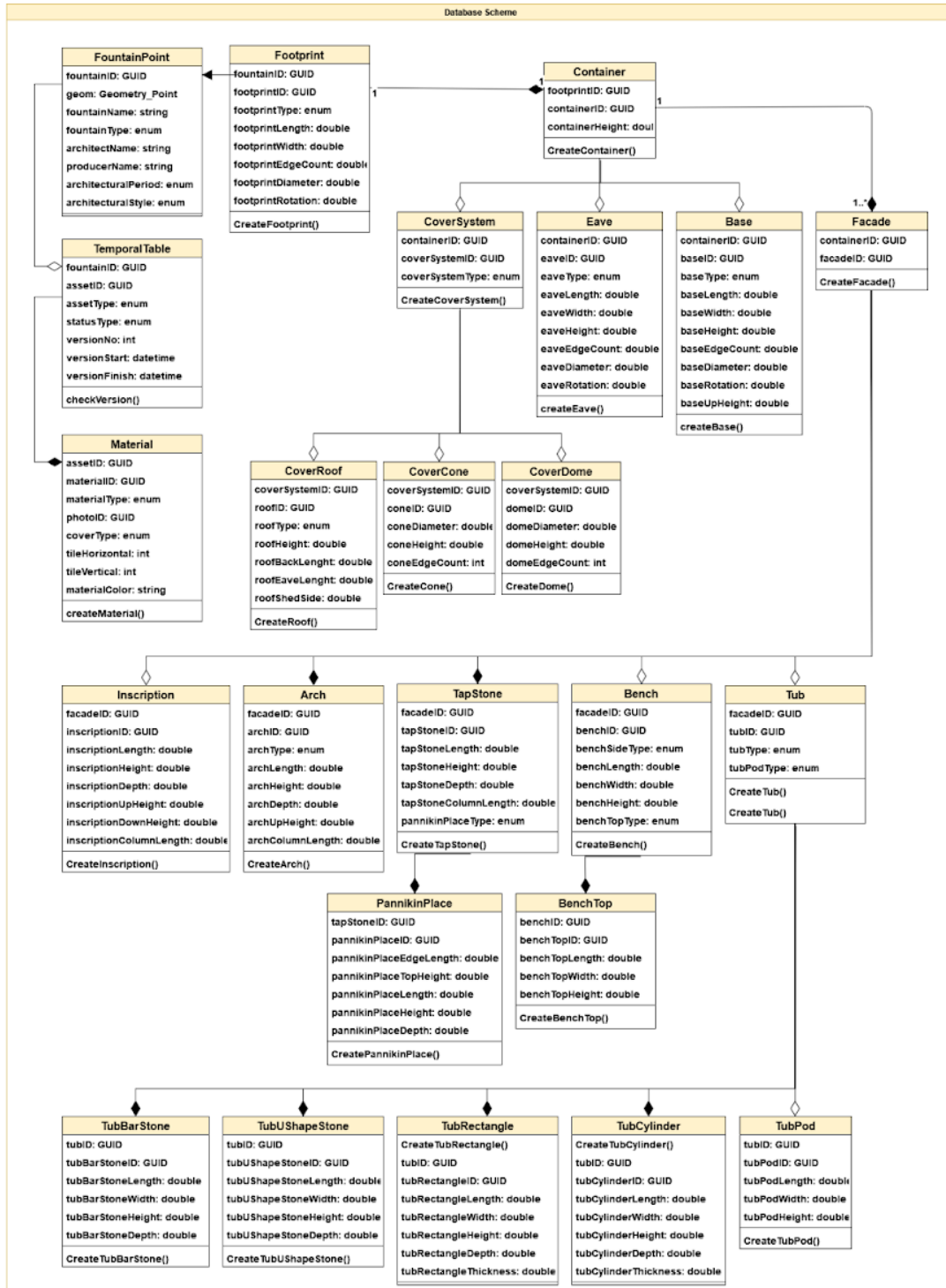
Çizelge 3.9 : Temel bileşenler ve alt formlar.

Temel Bileşenler	Alt Formlar
Zemin	6
Taban	6
Hazne	6
Saçak	6
Örtü Sistemi	8
Kitabe	1
Kemer	30
Ayna Taşı	2
Seki	1
Testilik	1
Tekne	4
Tekne Ayak	2

Çizelge 3.9’da sunulan temel bileşenlerin ve alt formlarının geometrik olarak 3B sayısal ortamda yeniden oluşturulabilmesi için gerekli olan tüm parametreler teknik olarak bellidir. Bu şekilde veri modelinde; “*Point*” olarak depolanan temel bir “*Feature Class*” objesi ve bu objenin alt formları ile ilgili tüm parametrelerin depolandığı 23 adet öznitelik tablosu çıkarılmıştır.

Tüm temel çeşme türlerinde “*Hazne, Örtü Sistemi, Saçak, Niş, Ayna Taşı, Kitabe, Taban, Tekne, Seki ve Testilik*” gibi temel bileşenler ortak olarak bulunmaktadır. Bu kapsamda temel bileşenlere ilişkin geometrik alt formlar belirlenerek temel bir obje kütüphanesi oluşturulmuştur. Böylece tarihi duvar çeşmelerine ait olası tüm bileşen kombinasyonlarının bu temel geometriler kullanılarak yeniden oluşturulabileceği bir veri modeli oluşturulmuştur. Bu tasarıma göre belirlenen öznitelik verileri ve birbirleri ile olan ilişkisel yapılar da tanımlanmıştır. Bu şekilde tarihi bir çeşmenin sayısal ortamda 3B olarak modellenmeden depolanabileceği ilişkisel bir veritabanı şeması geliştirilmiştir. Bu veritabanı şeması, gerekli öznitelik verileri ve prosedürel modelleme yöntemi kullanılarak ilgili çeşmelerin 3B olarak modellenme altyapısını oluşturmaktadır.

Sonuç olarak bir çeşmeyi meydana getiren tüm bileşenlerin veri modelinde karşılığı olan bir geometri objesi ve o geometri başta olmak üzere birbirleri ile de ilişkili tanımlanmış öznitelik tabloları veritabanına aktarılmış olacaktır. Şekil 3.21’de bu veritabanı şemasına ait UML diyagramı ve tablolar arası ilişkiler gösterilmiştir.



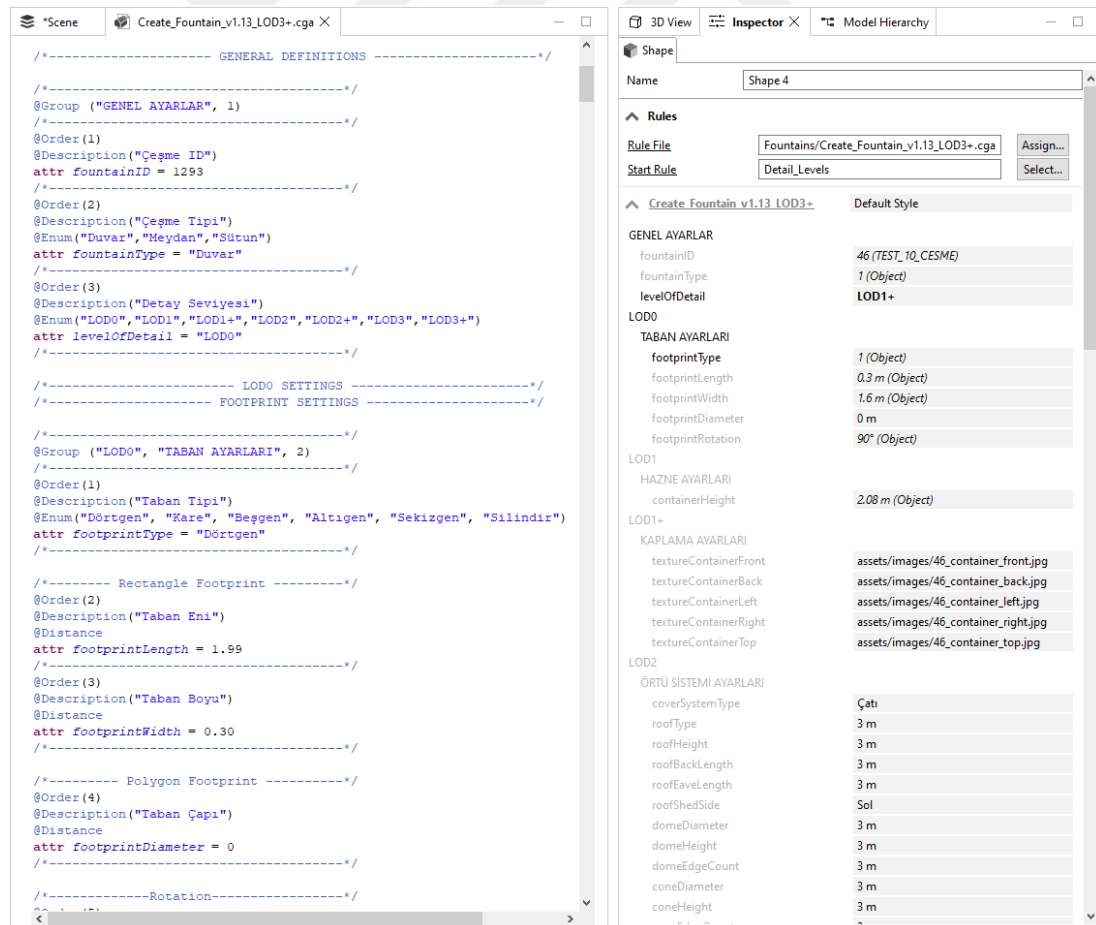
Şekil 3.21 : Prosedürel Modelleme Destekli Olarak Tasarlanan 3B Tarihi Çeşmeler Veri Modeli.

3B yapı modellerinin prosedürel yöntem kullanılarak üretilmesinin hem modellerin üretilmesinde hem de oluşturulan modellere otomatik cephe kaplama gerçekleştirilebilmesi aşamasında kolaylık sağlamaktadır. Bu cephe kaplamaları, ilgili binaların gerçek fotoğrafı olabilir. Ayrıca hazırlanan bir materyal kütüphanesi

içerisinden sembolik olarak da çağırılabilir. Bu çalışmada çeşmelerin gerçek fotoğraflarından elde edilen görüntüler kaplama dosyası olarak kullanılmıştır.

Çalışmada 3B prosedürel modelleme ve programlama dili olarak bu alanda yaygın şekilde kullanılan “Computer Generated Architecture” (CGA) kodlama dili kullanılmıştır. Oluşturulan tüm çeşme modellerinde çeşmelere ait gerçek fotoğraflar kullanılmış ve cephe kaplamaları prosedürel olarak ve otomatik şekilde gerçekleştirilmiştir.

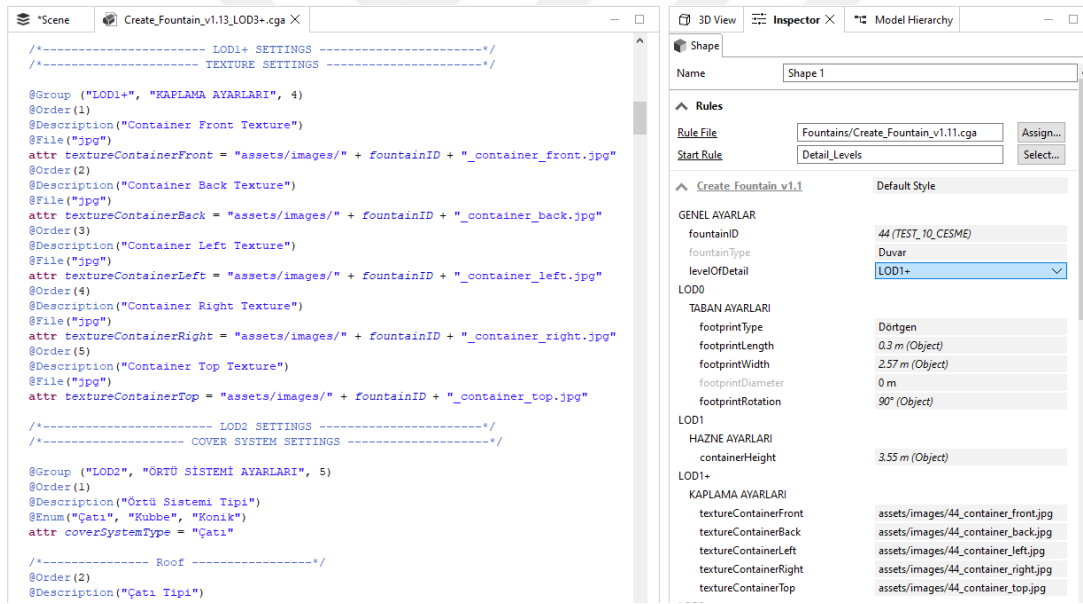
Tez çalışması kapsamında, CityEngine yazılımı içerisinde CGA kodlama dili kullanılarak tasarlanan prosedürel modelleme algoritması için yapılan genel tanımlamalar sonucunda uygulamanın “Inspector” penceresinde bir tür kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Bu arayüz içerisinden çeşmelere ait parametrelere erişilebilir. Ayrıca belirli parametrelere kullanıcı anlık olarak erişilebilir ve dinamik olarak değiştirilebilir. Şekil 3.22’de CGA dilinde yapılan bu kodlamalar ve tasarım aşamaları sonucu oluşan kullanıcı arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 3.22 : Kullanıcı arayüzü tasarlamak için CGA dilinde gerçekleştirilen prosedürel modelleme kodları.

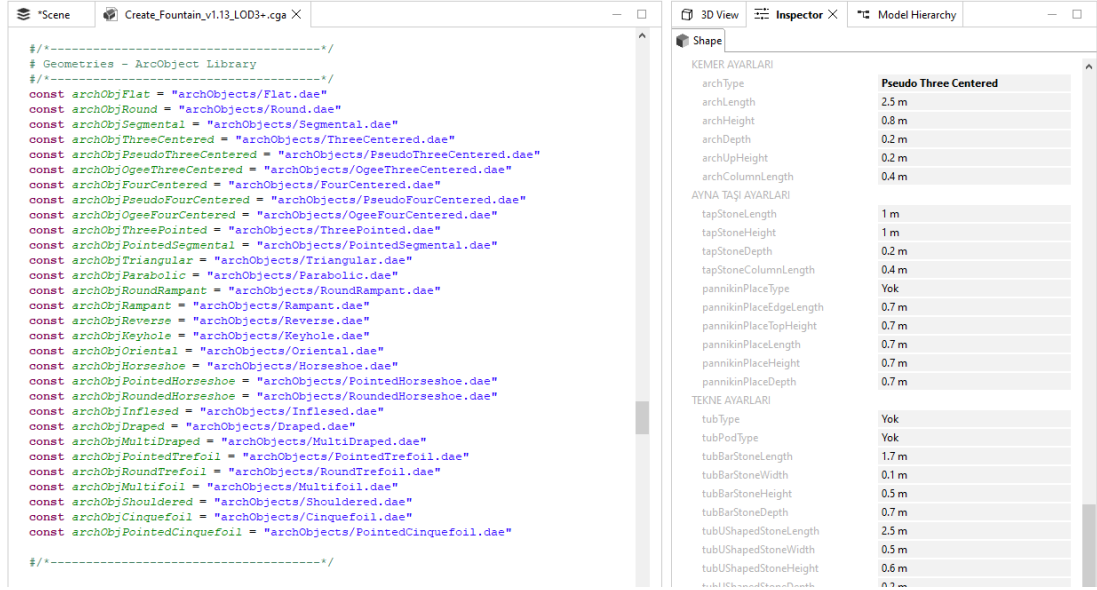
Prosedürel modelleme algoritmasının kodlama çalışması sırasında çeşmelere ait materyal ve cephe kaplama bilgileri de tanımlanmıştır. Bu tanımlama çalışması gerçekleştirilirken materyal ayarları ya da eğer bulunuyor ile çeşmeye ait cephe kaplama dosyalarının da veritabanında bulunan parametreler üzerinden otomatik olarak eşleştirilmesi sağlanmıştır. Klasör ve dosyaların isimlendirilmesi ilgili çeşmenin “id” değerleri olan “*fountainID*” üzerinden yapıldığında, gerekli dosyalar otomatik olarak eşleştirilerek model oluşturma ve görüntüleme aşamasında cepheler gerçek fotoğrafları ile kaplanmaktadır.

Bu şekilde kullanıcının sadece “*Inspector*” arayüzündeki liste menü içerisinde çeşme detay seviyesi olan “*LOD1+*” seçeneğini seçmesi ile cephe kaplamalı olan 3B modelin prosedürel ve dinamik olarak anında oluşturulması sağlanmaktadır. Şekil 3.23’de CGA dilinde yapılan bu kodlamalar ve tasarım aşamaları sonucu oluşan kullanıcı arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 3.23 : Kullanıcı arayüzü tasarlamak için CGA dilinde gerçekleştirilen prosedürel modelleme kodları.

Benzer şekilde kullanıcının sadece “*Inspector*” arayüzündeki liste menü içerisinde farklı bir kemer tipini seçmesi ya da veritabanından gelen bir kemer tipi ile otomatik olarak eşleşmesi sonucunda ilgili çeşmenin “*LOD3*” detay seviyesindeki modelindeki kemer kısmının 3B modelinin prosedürel ve dinamik olarak anında oluşturulması sağlanmaktadır. Şekil 3.23’de CGA dilinde yapılan bu kodlamalar ve tasarım aşamaları sonucu oluşan kullanıcı arayüzü gösterilmiştir.



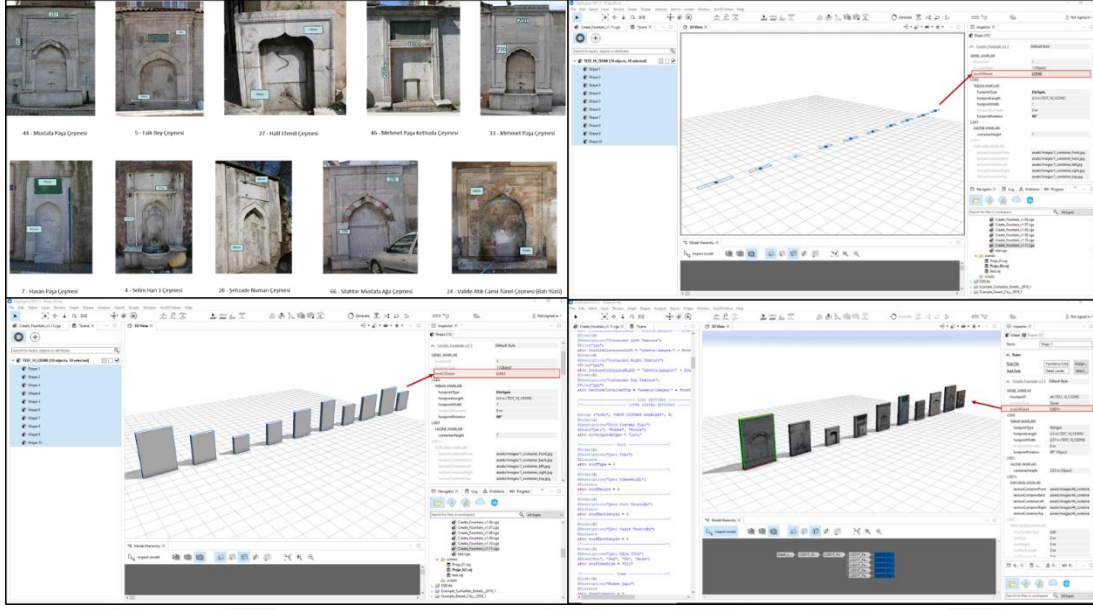
Şekil 3.24 : Kullanıcı arayüzü tasarlamak için CGA dilinde gerçekleştirilen prosedürel modelleme kodları.

3.1.4.5 Tarihi duvar çeşmelerinin 3B modellerinin oluşturulması

Gerçekleştirilen çalışma ile İstanbul şehrinde bulunan ve 3B kent modelleri için en önemli bileşen olan yapıların bir alt sınıfı olarak tarihi duvar çeşmeleri ele alınmış ve bu kapsamda detaylı şekilde incelenmiştir. Böylece tarihi duvar çeşmelerini meydana getiren diğer alt bileşenler de belirlenmiştir. Belirlenen bu alt bileşenlere ait bilgilerin, yine bu amaçla tasarlanan ilişkisel bir veritabanı içerisinde nasıl depolanabileceğine yönelik bir yaklaşım sunulmuştur.

Sistemin tasarlanması ve prosedürel kodların geliştirilmesi sonrasında elde bulunan veriler kullanılarak istenilen çeşmeye ait 3B model hızlı ve kolay bir şekilde üretilebilmektedir. Çalışma sonucunda elde edilen modellerin doğruluğu kullanılan verinin doğruluğu ve hassasiyeti ile alakalıdır. İki farklı kaynaktan alınan veriler kullanılarak iki farklı çalışma gerçekleştirilmiş ve ilgili tarihi çeşmelerin modelleri istenilen detay seviyesinde ve anında üretilebilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında İSKİ tarafından Vakıfsular Şube Müdürlüğü çalışmaları ile 2000’li yıllarda fotoğraflanarak kayıt altına alınmış ve ebatları o yine yıllarda oluşturulan Çeşme Bilgi Sistemi’ne kaydedilmiş buluna 10 adet duvar çeşmesi seçilmiştir. Çalışma sırasında görsel karşılaştırmanın daha kolay gerçekleştirilebilmesi için seçilen bu çeşmelerin nokta verileri geçici olarak yan yana taşınmıştır. Şekil 3.18’de tasarlanan veri modeli ve geliştirilen prosedürel modelleme algoritmaları ile elde edilen 3B çeşme modelleri sunulmuştur.



Şekil 3.25 : Seçilen 10 adet çeşmenin fotoğrafları ve ölçüm değerleri (sol üst), Prosedürel olarak üretilen LOD0 ve LOD1 seviyeli çeşme modelleri (sağ üst), Prosedürel yöntemle cephe kaplamalı üretilmiş olan LOD2 detay seviyeli çeşme modelleri (sol alt), Temel bileşenlerin ölçü değerleri sisteme girildiğinde tüm detay seviyelerinde oluşturulan örnek çeşme modeli (sağ alt).

Daha sonra tasarlanan yeni veri altyapısı kullanılarak bu on çeşmeye ait “*En, Boy ve Yükseklik*” verileri sisteme girilmiştir. CGA dilinde geliştirilen prosedürel modelleme algoritmaları ilgili çeşmelere ait nokta verilerine uygulandığında sahne içerisindeki çeşmelerin 3B modelleri anında oluşturulmuştur. Şekil 3.18’de de görüldüğü üzere uygulama arayüzünden ilgili detay seviyeleri de seçilerek LOD0, LOD1 ve LOD1+ modelleri arasında hızlı bir geçiş ve görselleştirme sağlanabilmektedir.

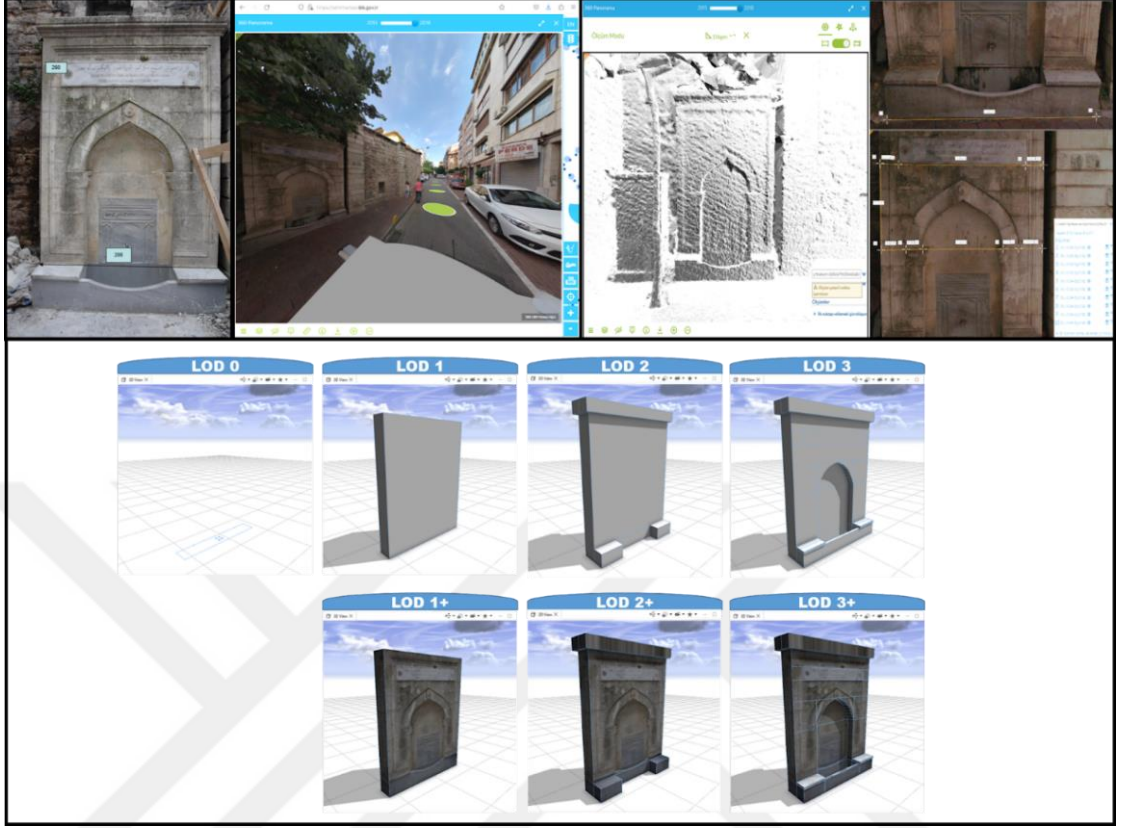
Prosedürel modelleme işlemleri; Windows 10 (64 Bit) işletim sistemi üzerinde 3.70Ghz Intel Core i7-8700K CPU işlemci, 64GB RAM ve Nvidia GeForce GTX 1080 (2x 8GB) ekran kartı bulunan bir makine kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretim zamanları Çizelge 3.10’da sunulmuştur.

Çizelge 3.10 : Prosedürel modelleme için harcanan süre bilgileri.

Tip	Çalışma 1		Çalışma 2	
	Adet	Süre (sn)	Adet	Süre (sn)
Katı Model	10	<1”	1	<1”
Kaplamalı Model	10	<1”	1	<1”

Çalışmanın ikinci aşamasında ise Fatih ilçesi 44.Sokak’ta bulunan Ahmet Paşa Çeşmesi seçilmiştir. Çalışma sırasında elimizde Ahmet Paşa Çeşmesi’ne ait iki farklı kaynaklı veri bulunmaktadır. İlk veri; birinci aşamada da kullanılan, İSKİ tarafından

Vakıfsular Şube Müdürlüğü'nün Çeşme Bilgi Sistemi çalışmaları kapsamında kayıt altına alınan, üzerlerinde ölçü değerleri bulunan fotoğraflar ve öz nitelik verileri.



Şekil 3.26 : İSKİ Çeşme Bilgi Sistemi Projesi Verileri (Üst Sol), İBB Şehir Haritası Web Uygulaması Ekranı (Üst Orta), Sokak Panoraması uygulaması içerisinde erişim sağlanan mobil LiDAR verileri (Üst Sağ), Tasarlanan veri modeli kullanılarak ve prosedürel olarak üretilen 3B çeşme modeli (Alt).

İkinci veri ise; İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından 2018 yılında gerçekleştirilen Sokak Panorama çalışmaları sırasında toplanan mobil LiDAR verileridir. Bu verilere İBB Şehir Haritası web uygulaması içerisinde halka açık bir şekilde ve ücretsiz olarak erişilebilmektedir.

Çalışma kapsamında seçilen Ahmet Paşa Çeşmesi'ne ait İSKİ Çeşme Bilgi Sistemi ve İBB Mobil LiDAR ölçüm değerlerinin karşılaştırması Çizelge 3.11'de sunulmuştur.

Çizelge 3.11 : Prosedürel modellemede kullanılan ölçüm değerleri.

Veri Kaynağı	En (cm)	Boy(cm)
İSKİ Çeşme Bilgi Sistemi Verisi	200	260
İBB Mobil LiDAR	199	259

Farklı yıllarda ve farklı ölçme teknikleri ile gerçekleştirilen bu iki veride ölçüm değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Çeşmenin en ve boy değerlerini karşılaştırarak

doğruluk analizi yapılırsa mevcut değerler arasındaki farklar oldukça küçüktür. Bu durumda, objenin eni ve boyu açısından İSKİ ve İBB verilerinin birbirine oldukça yakın olduğu söylenebilir. Ancak değerlerin tam olarak aynı olmadıkları da görülmektedir. Bu durumun bir nedeni de ölçüm hatalarının veya farklı ölçme yöntemlerinin kullanılmasının sonucu olabilir. Tez kapsamında yapılan araştırmalarda gerek İBB’de gerekse İSKİ bünyesinde tarihi çeşmelere ait daha detaylı veri bulunmadığı için mevcut değerler üzerinden kullanılmış ve ortalama hata formülüne göre hesaplamalar gerçekleştirilmiştir (3.1).

$$x_{ortalama\ hata} = \frac{|x_1 - x_2|}{2} \quad (3.1)$$

Buna göre, İSKİ Çeşme Bilgi Sistemi ve İBB Mobil LiDAR “En” ölçüm değerlerinin Ortalama Hatası:

$$En_{ortalama\ hata} = \frac{|x_1 - x_2|}{2} = \frac{|200 - 199|}{2} = \frac{|1|}{2} = 0.5\ cm$$

İSKİ Çeşme Bilgi Sistemi ve İBB Mobil LiDAR “Boy” ölçüm değerlerinin Ortalama Hatası:

$$Boy_{ortalama\ hata} = \frac{|x_1 - x_2|}{2} = \frac{|260 - 259|}{2} = \frac{|1|}{2} = 0.5\ cm$$

Mevcut ölçüm değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama hatalar Çizelge 3.12’de sunulmuştur.

Çizelge 3.12 : Kullanılan ölçüm değerlerinin ortalama hatası

	En (cm)	Boy (cm)
Ortalama Hata	0.5	0.5

Sonuç olarak gerçekleştirilen tez çalışmasında, Ahmet Paşa Çeşmesi’ne ait mevcut ölçüm değerleri ve CBS temelli prosedürel modelleme yöntemi kullanılarak 0.5 cm ortalama hata değeri ile LOD3 detay seviyeli 3B çeşme modeli oluşturulmuştur.

3.1.4.6 Sonuçlar

Çalışmanın devamında; yine benzer şekilde İstanbul şehri genelinde bulunan “Meydan” ve “Sütun” çeşmelerinin prosedürel modelleme algoritmalarının da CGA dilinde geliştirilerek bu tasarıma dâhil edilebilir. Böylece 3B kent modeli uygulamaları için “Nitelikli Yapı/Landmark” olarak kabul olabilecek bu önemli yapıların bir

veritabanı içerisinde hem sayısal ortamda daha az yer kaplayacak şekilde depolanması hem de görüntüleme anında prosedürel yöntemle dinamik olarak üretimi mümkün hale gelebilecektir.

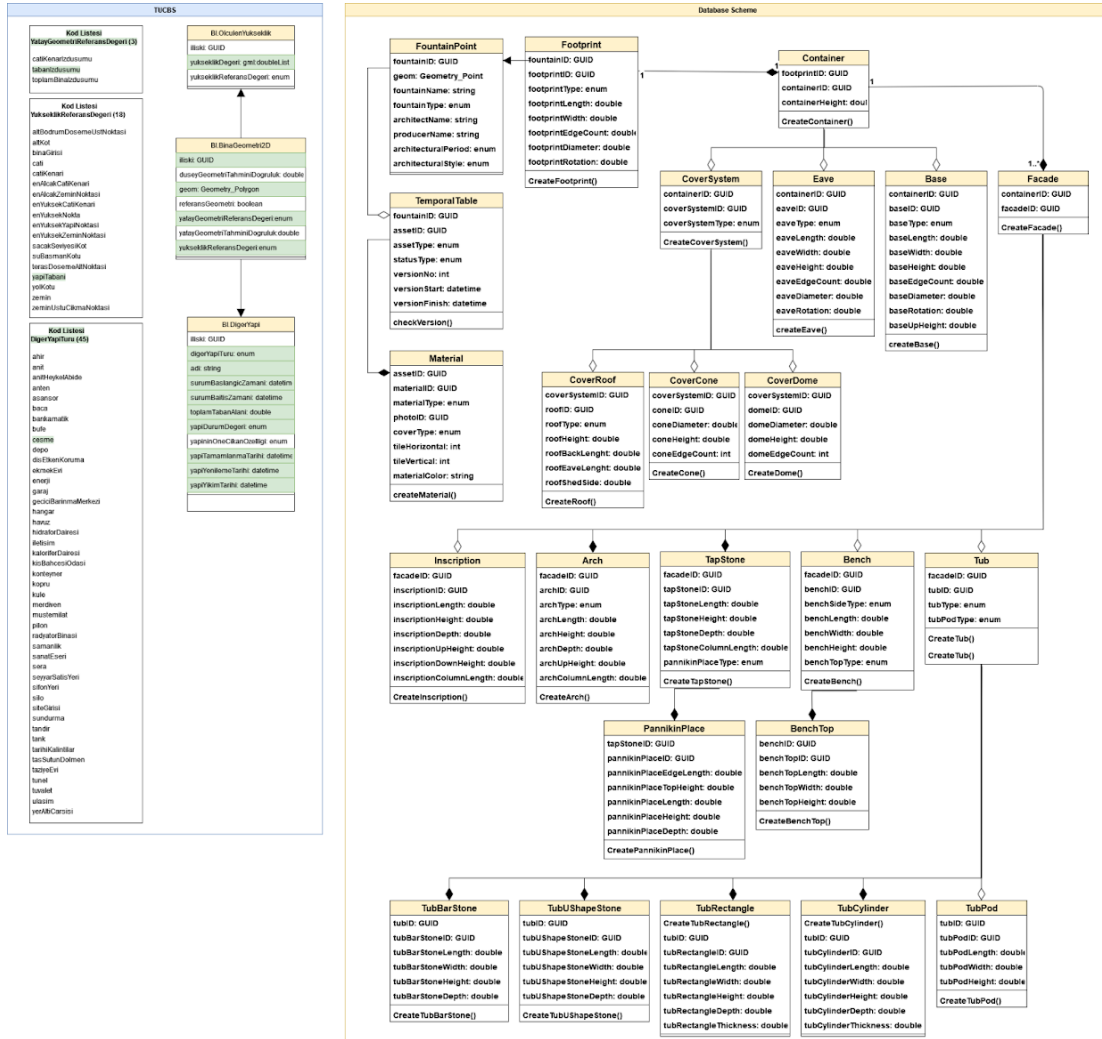
Bu çalışma ile çeşmelerin prosedürel olarak modellenenebilmesi için 3B olarak genelleştirilmesi gerekliliği ortaya konmuştur. Tasarlanan veri modeli İstanbul'da bulunan çoğu tarihi çeşme için uygulanabilir olmasına karşın, mimari tasarımı çok daha üst düzey sanatsal kabartma motifleri ve süslemeler içeren bazı çeşmeler, basit geometrik formlara indirgenemediği için, bu genelleştirme çalışmaları dışında bırakılmıştır. Çalışmanın devamı durumunda genelleştirilemeyen bu çeşmeler de yeniden ele alınarak ayrıca değerlendirilmelidir.

3.1.4.7 TUCBS entegrasyonu

Çalışmanın en önemli çıkarımlarından biri; akıllı şehircilik çalışmaları kapsamında prosedürel olarak üretilebilmesi mümkün olan bazı mekânsal verilerin Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) ile entegrasyonunun sağlanabilmesidir. TUCBS projesi; Avrupa Parlamentosu'nun ortak mekânsal veri altyapısını oluşturmak amacıyla ortaya koyduğu Avrupa Coğrafi Veri Altyapısı (INSPIRE) Direktifine uygun bir şekilde hazırlanan Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi altyapısının kurulmasını amaçlamaktadır. Proje kapsamında ilgili tüm kurum ve kuruluşların, üretiminden sorumlu oldukları mekânsal bilgileri ortak bir platform üzerinden yine ilgili tüm kullanıcılara sunabilmeleri için bir web portalı oluşturulması planlanmıştır. Böylece tüm kullanıcıların veri ihtiyacına yanıt verebilecek biçimde içerik standartlarının oluşturulması ve veri değişim standartlarının belirlenmesi de hedeflenmiştir.

Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi veri altyapısının ilgili veri sınıfları ve bu sınıflar içerisinde depolanan verilerin farklı kaynaklardan ve farklı yöntemler ile üretilen veriler kullanılarak eşleştirilmesi ile entegrasyon yüksek oranda sağlanabilmektedir. TUCBS veri modelinde bulunan ancak Tarihi İstanbul Çeşmeleri Veri Modeli'nde direkt olarak mevcut bulunmayan bazı veriler ise ilgili geometrilerin içerisinde üretilerek karşılanabilmektedir. Bu sayede sadece 2B verilerin değil 3B olarak üretilen verilerin de TUCBS ile entegrasyon açısından bir engeli bulunmamaktadır. Dahası, prosedürel olarak üretilen 3B verilerin de TUCBS ile entegre edilebilmesi ve prosedürel model üretimi aşamalarında oluşan 2B geometrilerin ve ilgili diğer

öznitelik verilerinin, ulusal olarak ortak kullanılan belirli standartlardaki bir veri tabanını besleyebilmesinin mümkün olduğu görülmüştür (Şekil 3.27).



Şekil 3.27 : CBS temelli prosedürel modelleme yöntemi için tasarlanan 3B tarihi çeşme veri modeli.

Bu çalışma kapsamında ise; önceki çalışma ile tasarlanan tarihi İstanbul duvar çeşmelerine ait mekânsal ve ilişkisel veri tabanı altyapısının TUCBS ile entegrasyonun sağlanması üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen TUCBS entegrasyon çalışmaları ile farklı kurumların üretmiş oldukları mekânsal verilerin paylaşılabılır hale getirilmesine ve diğer kurumların paylaştığı mekânsal verilere erişim sağlayabilmelerine de imkân sağlayan ortak bir yapının oluşturulması için çalışmalara devam edilmektedir.

Bu nedenle üretilen tüm mekânsal verilerin en son aşamada TUCBS'ye entegre edilebiliyor olması, tüm mekânsal verilerin ortak kullanımı ve paylaşımı açısından oldukça büyük öneme sahiptir.



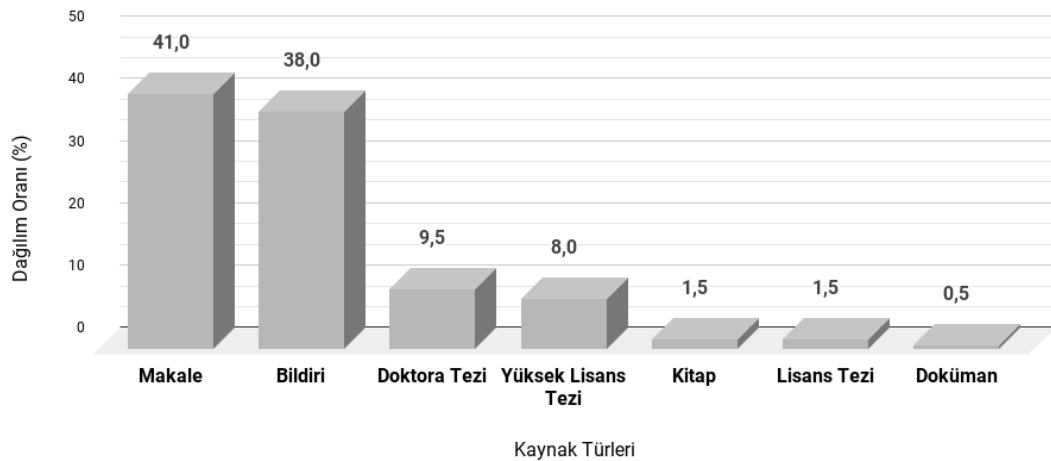


4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Literatür Taraması Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmesi gereken en önemli çalışma konunun bütün yönleriyle ortaya konması ve sorunların net olarak anlaşılmasıdır. Bu nedenle ilk olarak detaylı bir literatür taraması yapılması önemlidir. Bu amaçla, “3D City Model” anahtar kelimesi ile internet üzerinden bir araştırma gerçekleştirilmiş ve çevrimiçi erişime açık 200 adet kaynağa rastgele olarak erişilmiştir.

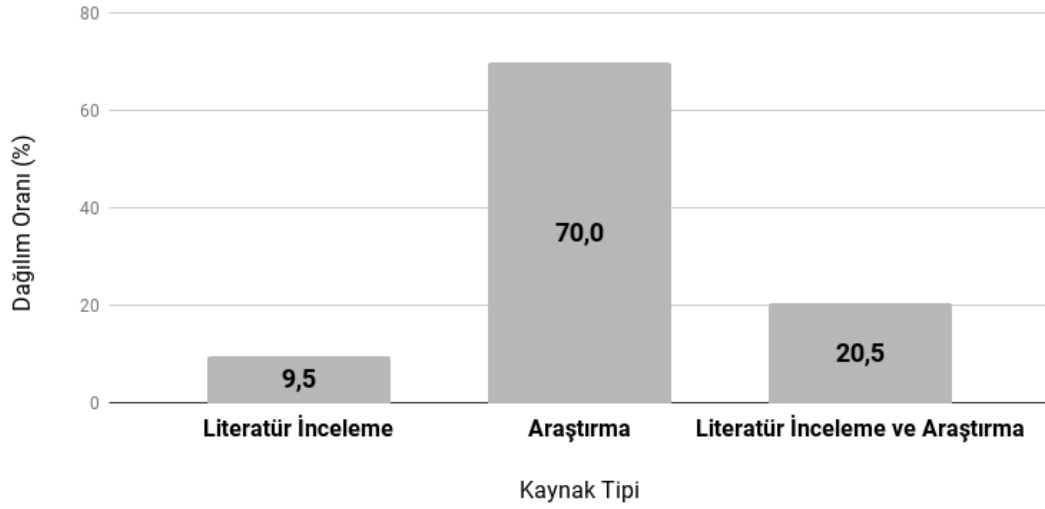
Bu kaynaklar niteliksel olarak değerlendirildiğinde; %41’lik bölümünü oluşturan 82 adet kaynak akademik alanda yayın yapan dergilerde yayınlanmış makale, %38’lik bölümünü oluşturan 76 adet kaynak dünyada gerçekleştirilen çeşitli konferanslarda sunulan bildiriler, %9.5’lik bölümünü oluşturan 19 adet kaynak doktora tezi, %8’lik bölümünü oluşturan 16 adet kaynak yüksek lisans tezi, %1.5’lik bölümünü oluşturan 3 adet kaynak kitap bölümü, yine %1.5’lik bölümünü oluşturan 3 adet kaynak lisans tezi, %0.5’lik bölümünü oluşturan 1 adet kaynak ise doküman olarak sınıflandırılmıştır. Bu literatür araştırması sonucunda elde edilen kaynakların niteliksel olarak dağılımı Şekil 4.1’te sunulmuştur.



Şekil 4.1 : Literatür taraması kaynaklarının niteliksel dağılımı.

Rastgele olarak erişilen ve kaydedilen bu kaynaklar detaylı bir şekilde incelenerek dünyadaki 3B kent modeli üretim ve kullanım çalışmaları hakkında literatürdeki genel kanı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu kapsamda literatür araştırması sonucunda elde edilen kaynakların gerçekleştirilen çalışmanın niteliğine göre dağılımı Şekil 4.2’de sunulmuştur.



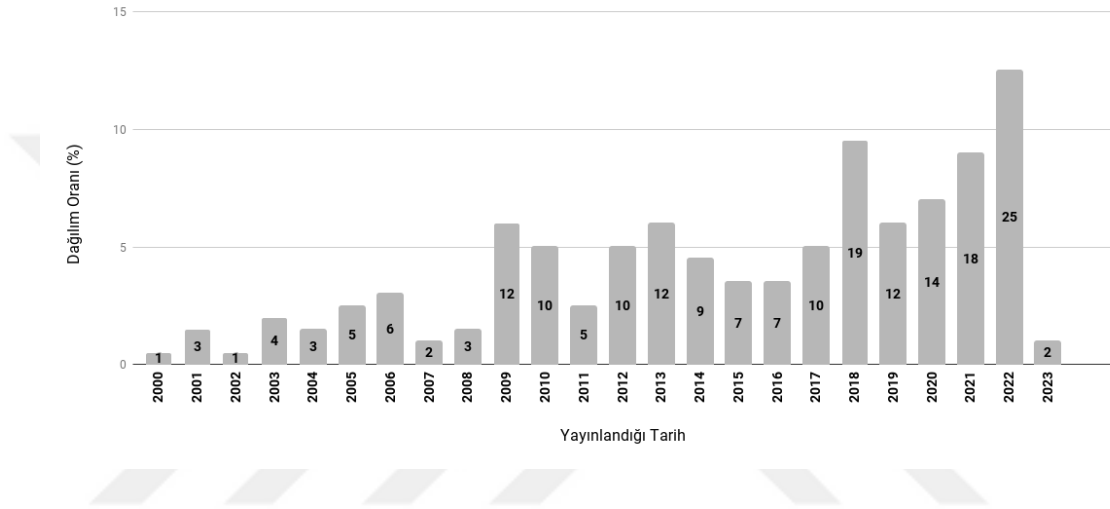
Şekil 4.2 : Literatür taramasında kullanılan kaynakların niteliksel dağılımı.

Literatür taraması kapsamında incelenen kaynaklar üç temel yaklaşıma sahiptir. Kaynakların %9.5’lik bölümünü oluşturan 19 kaynak, literatür inceleme ve değerlendirme çalışmaları sonucunda elde edilen bilgilerin sunulduğu kaynaklardır. Kaynakların %70’lik bölümünü oluşturan 140 kaynak bir araştırma çalışmasının gerçekleştirildiği ve sonucunun sunulduğu kaynaklardır.

Kaynakların %20.5’lik bölümünü oluşturan 41 kaynak ise hem literatür inceleme ve değerlendirme çalışmaları sonucunda elde edilen bilgilerin sunulduğu, hem de bir araştırma çalışması ile elde edilen bulguların sunulduğu doktora ve yüksek lisans tez çalışmaları gibi kaynaklardır.

Toplanan kaynakların yıllara göre genel dağılımı incelendiğinde son yıllara doğru erişilen kaynak sayısında bir artış olduğu görülmüştür. Bu durum, erişilen kaynaklarda da sıklıkla bahsedilen, “3B Kent Modeli” konusunun son yıllarda giderek popülerliği artan bir araştırma konusu olduğunun da göstergesi olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca yapılan araştırma çalışmasında güncel kaynakların daha yoğun bir şekilde incelendiği görülmektedir. Böylece kısmen eskide kalmış tekniklerin, görüş ve fikirlerin yerine

konu ile ilgili güncel araştırma sonuçlarının daha detaylı ve ağırlıklı bir şekilde incelenmesi sağlanmıştır. Bu şekilde konu hakkında güncel problemlerin ve çözüm önerilerinin değerlendirilebilmesine imkân sağlaması hedeflenmiştir. Ayrıca yapılan araştırma çalışmaları sırasında araştırma konusunun, güncelliğini yitirmiş eski kaynaklar ve bu kaynaklarda bahsedilen güncel olmayan bilgiler ile sınırlanmaması önemlidir. Bu nedenle toplanan kaynakların yıllara göre dağılımını görmek araştırma için önemli bir çıkarım sağlamaktadır. Bu literatür araştırması sonucunda elde edilen kaynakların yıllara göre dağılımı Şekil 4.3'te verilmiştir.



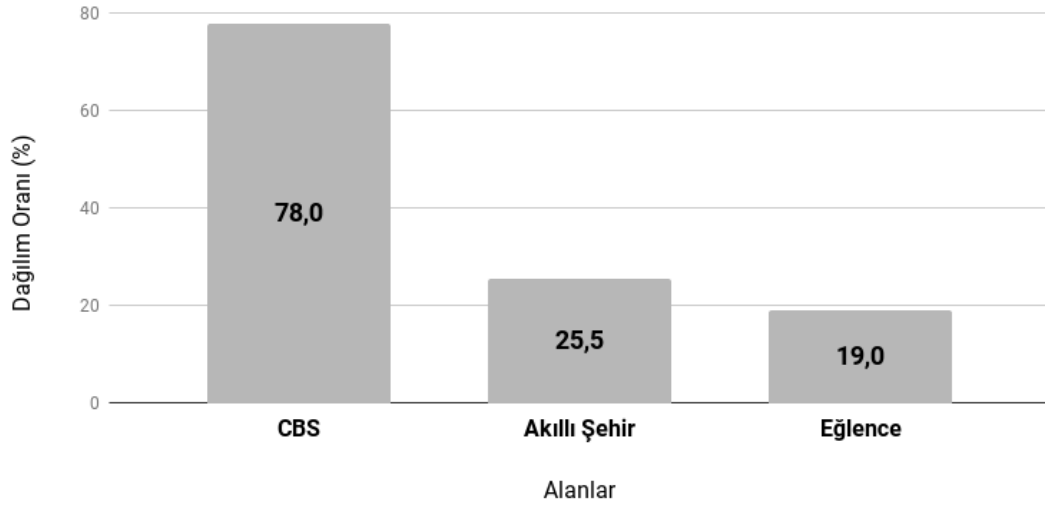
Şekil 4.3 : Literatür taraması ile erişilen kaynaklarının yıllara göre dağılımı.

4.1.1 3B kent modeli kullanım alanları

3B kent modeli alanında gerçekleştirilen bu tez çalışması kapsamında “3D City Model” sözcüğü anahtar kelime olarak belirlenmiş ve internet üzerinden kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Çevrimiçi erişime açık olan 200 adet kaynağa rastgele olarak erişilerek bu kaynaklar üzerinden 3B kent modeli alanındaki konular pek çok yönü ile incelenmiştir.

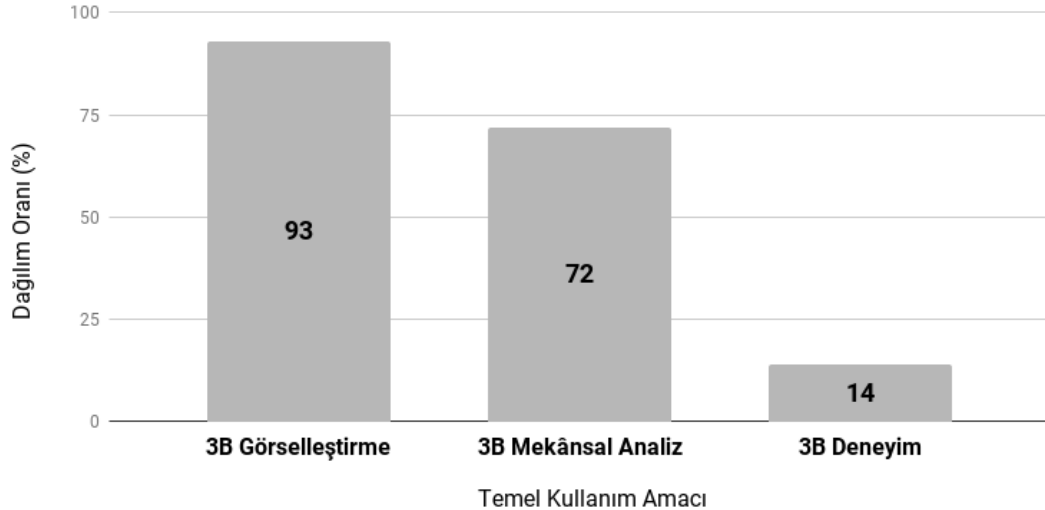
Literatür taraması kapsamında incelenen kaynaklara göre çalışmaların %78’lik bölümünü oluşturan 156 kaynakta ağırlıklı olarak 3B modeli üretim ve kullanım alanının “CBS” uygulamaları alanında kullanıldığını göstermektedir. Bu kaynakların %25.5’lik bir kısmını oluşturan 51 kaynakta ise 3B kent modeli çalışmalarını “Akıllı Şehir” çalışmaları kapsamında değerlendirmiştir. Kaynakların %19’luk kısmı olan 38 kaynak ise 3B modeli üretimi konularının bilgisayar oyunları, sinema ve eğlence sektörü alanındaki kullanımları ile ilgili bazı çalışmalara yer vermiştir. Bu literatür

araştırması sonucunda elde edilen kaynakların çalışma alanlarına göre dağılımı Şekil 4.4’de sunulmuştur.



Şekil 4.4 : 3B kent modeli çalışma alanlarının kapsamı.

Ayrıca “3B Kent Modeli” konusunda gerçekleştirilen çalışmalar; toplanan kaynaklar üzerinden elde edilen incelemeler sonucunda en genel anlamda değerlendirildiğinde üç temel başlık altında toplanmaktadır. Bu üç temel çalışma alanı Şekil 4.5’de oransal olarak sunulmuştur.



Şekil 4.5 : 3B kent modeli temel kullanım amaçları.

Literatür taraması kapsamında incelenen kaynaklara göre çalışmaların %93’lük bölümünü oluşturan 186 kaynakta ağırlıklı olarak 3B görselleştirme konusuna odaklanmıştır. Yine bu kaynakların %72’lik bir kısmını oluşturan 144 kaynakta ise 3B

mekânsal analizler ile ilgili konulara da yer vermekte ve konuyu bu yönüyle de ele almaktadır. Kaynakların %14'lük kısmı olan 28 kaynak ise sanal gerçeklik gözlükleri ve diğer gelişmiş algısal etkileşim cihazları ile 3B mekânsal verilerin deneyimlenmesi alanında bazı örneklerle yer vermiştir.

Tez çalışması kapsamında 3B kent modeli alanında gerçekleştirilen literatür taraması ve toplanan kaynaklar üzerinden yapılan incelemeler sonucunda “3B Kent Modeli” üretim ve kullanım ihtiyacı oluşturan çalışmalar temelde 15 ana başlık altında toplanmaktadır. Bu alanlar Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 : Literatürdeki çalışmalarda 3B kent modeli kullanım alanları.

Ana Başlıklar	Çalışma Alt Başlıkları ve Detayları	Kaynak Sayısı	Yüzde Oranı
Kentsel Planlama	Kentsel Planlama / Kentsel Dönüşüm / Mimari Uygulamalar	144	72%
Afet Yönetimi	Sel, Deprem, Yangın Simülasyonları / Acil Durum Müdahale Planlaması	99	49.5%
Çevresel Kirlilik	Çevresel Kirlilik / Gürültü / Hava / Su Kaynakları / Atık Yönetimi	87	43.5%
Telekomünikasyon	Telekomünikasyon / Yayıncılık / Anten Konumları ve Kapsama Alanları	87	43.5%
E-Ticaret	E-Ticaret / Pazarlama / Lojistik Planlama / Fabrika Konum Belirleme	85	42.5%
İklim	İklim / Mikro İklim / Isı/ Nem / Atmosferik Olayların Takibi	59	29.5%
Kamu Güvenliği	Ulusal Güvenlik / Kamu Güvenliği / Tesis, Bina, Yaşam Alanlarının Güvenliği	57	28.5%
Tesis Yönetimi	Tesis Yönetimi / Altyapı Yönetimi / Dağıtım Hatları (Su, Gaz, Elektrik vb.)	56	28%
Enerji Dağılımı	Binaların Enerji Tüketimi / Güneş / Gölge / Rüzgar Analizleri	42	21%
3B Kadastro	3B Kadastro / Mülkiyet İlişkileri	39	19.5%
Emlak	Emlak / Gayrimenkul Satış / Pazarlama / Proje Tanıtımı / Manzara Analizleri	37	18.5%
Navigasyon	Navigasyon Çalışmaları / Rota Oluşturma / Trafik Simülasyonları / Ulaşım	37	18.5%
Sanal Turizm	Sanal Turizm / Arkeoloji / Kültürel Miras / Kentsel Tanıtım ve Pazarlama	34	17%
Eğitim	Eğitim Simülasyonları / Sürüş ve Uçuş Simülasyonları	28	14%
Eğlence	Eğlence / Oyun / Sinema / Tema Park ve AVM Sanal Deneyim Simülatörleri	22	11%

İncelenen kaynakların %72’sini oluşturan 144 adet kaynak “3B Kent Modeli” gereksinimi oluşturan çalışmaların içerisinde şehir planlama, bölgesel planlama, kentsel dönüşüm çalışmaları, kent silüeti gibi kentsel tasarım ve planlama konulardan

bahsederken, kaynakların %43.5'i olan 87 adet kaynakta ise sel, taşkın, deprem ve fırtına gibi doğal afet ve felaket senaryoları kapsamına giren konulara değinilmiştir.

İncelenen kaynakların %42.5'ini oluşturan 85 adet kaynakta gürültü kirliliği, hava kirliliği, su kirliliği, atık yönetim gibi çevresel etkilerin mekânsal olarak analiz edilmesi konuları aktarılırken, kaynakların %20'si olan 40 adet kaynakta ise iletişim, yayıncılık, anten konumları, baz istasyonu konum belirleme, kapsama alanı analizleri gibi telekomünikasyon kapsamına giren konular değerlendirilmiştir.

İncelenen kaynakların %11'ini oluşturan 22 adet kaynakta E-Ticaret, pazarlama, lojistik planlama, müşteri konum ilişkileri, fabrika konum belirleme gibi ticari faaliyetlerin mekânsal olarak analiz edilmesi ve planlanması konuları aktarılırken, kaynakların %17'si olan 34 adet kaynakta ise iklim, mikro iklim, ısı adaları, bölgesel nem gibi atmosferik olayların takibi iklim alanına giren konular değerlendirilmiştir.

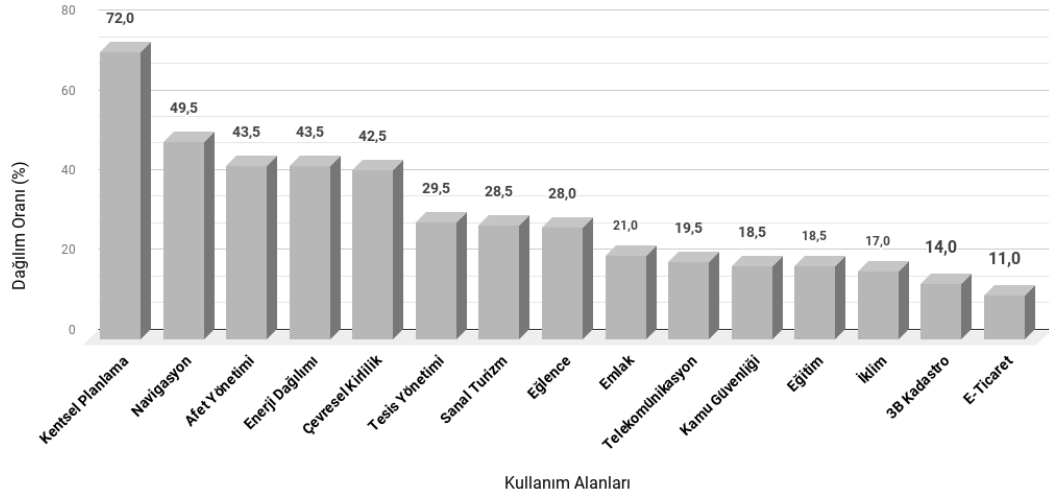
İncelenen kaynakların %18.5'ini oluşturan 37 adet kaynakta ulusal güvenlik, kamu güvenliği, askeri operasyon planlama, güvenlik koridoru tasarım ve simülasyonları, tesis, bina, yaşam alanlarının izlenmesi gibi kamu güvenliği konularının mekânsal olarak analiz edilmesi ile ilgili çalışmalara değinilirken, kaynakların %29.5'i olan 59 adet kaynakta ise tesis yönetimi, kaynak yönetimi, acil durum tahliye simülasyonları, altyapı tesisleri yönetimi, su, gaz, elektrik, internet vb. dağıtım hatlarının bakım ve onarım çalışmaları gibi tesis yönetimi kapsamına giren konular değerlendirilmiştir.

İncelenen kaynakların %43.5'ini oluşturan 87 adet kaynakta binaların enerji tüketimi, güneşlenme, gölge, rüzgar gibi enerji tüketiminin ve çevresel etkilerin yapılar üzerindeki mekânsal etkileri ile ilgili analizlerden bahsedilirken, kaynakların %14'ü olan 28 adet kaynakta ise 3B kadastro ve mülkiyet ilişkileri gibi konular değerlendirilmiştir.

İncelenen kaynakların %21'ini oluşturan 42 adet kaynakta gayrimenkul satış ve pazarlama çalışmaları, proje tanıtımları, konum ve manzara analizleri gibi emlak sektörü alanındaki konular aktarılırken, kaynakların %49.5'i olan 99 adet kaynakta ise navigasyon uygulamaları, rota oluşturma ve trafik simülasyonları gibi ulaşım kapsamına giren konular değerlendirilmiştir.

İncelenen kaynakların %28.5'ini oluşturan 57 adet kaynakta sanal turizm, arkeolojik alanların modellenmesi, kültürel miras çalışmaları, kentsel tanıtım ve pazarlama çalışmalarındaki konular aktarılırken, kaynakların %18.5'i olan 37 adet kaynakta ise

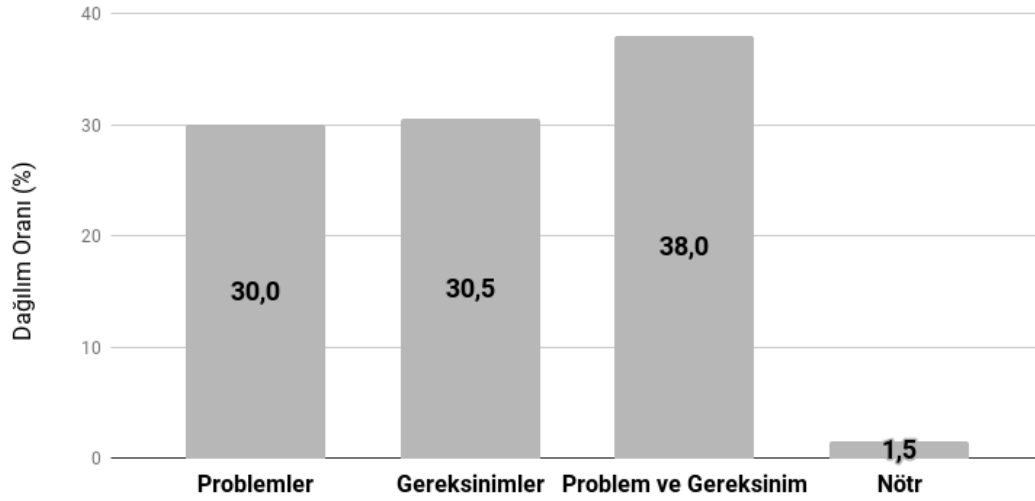
eğitim simülasyonları, sürüş ve uçuş simülasyonları gibi eğitim kapsamına giren konular değerlendirilmiştir. Ayrıca incelenen kaynakların %28'ini oluşturan 56 adet kaynakta ise oyun, sinema, konser, tema park ve AVM sanal deneyim simülatörleri gibi eğlence sektörü alanına giren konularda 3B kent modeli kullanım ve ihtiyaçlarından bahsedilmektedir. Kullanılan çalışma alanları ve kaynaklarda bahsedilme duruma göre yüzdelik oranları Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 : Literatürde 3B kent modeli alanındaki çalışmaların dağılımı.

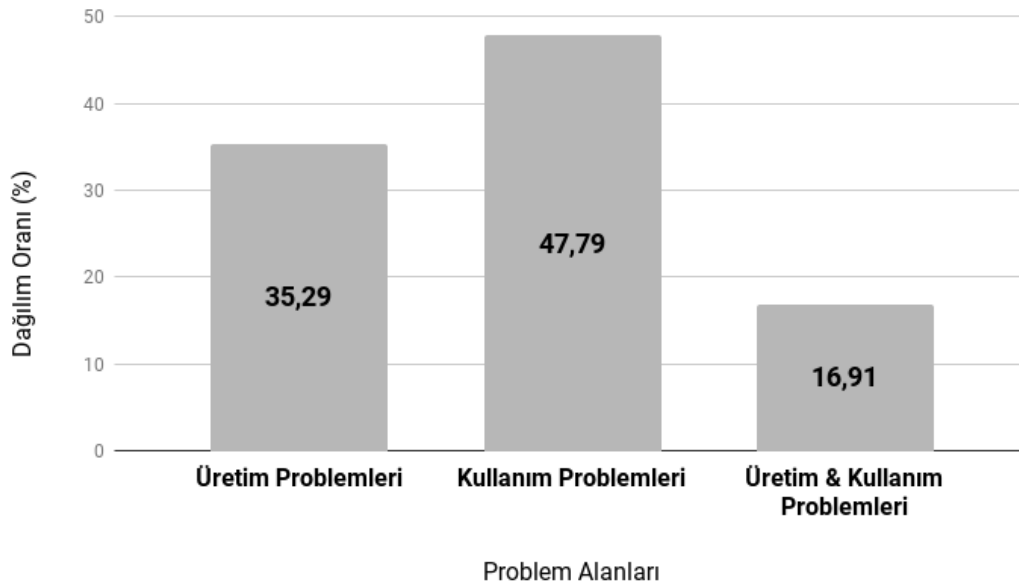
4.1.2 Literatürdeki çalışmaların amacı

Tez çalışması kapsamında 3B kent modeli alanında gerçekleştirilen literatür taraması ve toplanan kaynaklar üzerinden yapılan incelemeler sonucunda bu alandaki çalışmalar temelde iki ana başlık altında toplanmaktadır. İncelenen kaynakların %30'luk bölümü olan 60 adet kaynakta "3B Kent Modeli" üretim ve kullanım çalışmaları sırasında yaşanan sorunlardan bahsederken, kaynakların %30,5'lik bölümü olan 61 adet kaynakta ise "3B Kent Modeli" üretim ve kullanım çalışmalarının günümüzde artık pek çok alanda önemli bir ihtiyaç olması yönüne değinilmektedir. Kaynakların %38'lik bölümü olan 76 adet kaynakta ise konu hem üretim ve kullanım çalışmaları sırasında yaşanan problemler üzerinden değerlendirilmekte hem de 3B kent modeli kullanımının günümüzdeki gereklilikleri üzerinde durulmaktadır. Bu yönü ile toplam olarak değerlendirildiğinde incelenen kaynakların %68'lik kısmında üretim problemleri, %68,5'lik kısmında ise kullanım gereksimleri işlenmektedir. Kaynakların %1,5'lik kısmında ise bu konuda herhangi bir açıklama yapılmadan sadece ilgili konuya odaklanılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Literatürde 3B kent modeli çalışmalarının temel amacı.

Tez çalışması kapsamında 3B kent modeli alanında gerçekleştirilen literatür taraması ve toplanan kaynaklar üzerinden yapılan incelemeler sonucunda problemlerin %47.79’lık bölümünü oluşturan 65 adet kaynakta “3B Kent Modeli” kullanım aşamalarında yaşanan sorunlardan bahsedilirken, problemlerin %35.29’luk bölümünü oluşturan 48 adet kaynakta ise “3B Kent Modeli” üretim aşamalarında yaşanan sorunlardan bahsedilmiştir. Problemlerin %16.91’lik bölümünü oluşturan 23 adet kaynakta ise “3B Kent Modeli” çalışmalarının hem üretiminde hem de kullanım aşamalarında yaşanan sorunlara değinilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 : Literatüre göre 3B kent modeli alanındaki sorunların dağılımı.

Bu yönü ile genel olarak yorumlamak gerekir ise, problemlerin %52.2'lik kısmında üretim sorunlarına değinilmektedir. Yine benzer şekilde genel olarak yorumlamak gerekir ise, problemlerin %64.7'lik kısmında kullanım aşamalarında karşılaşılan sorunlardan bahsedilmektedir.

Tez çalışması kapsamında 3B kent modeli alanında gerçekleştirilen literatür taraması ve toplanan 200 kaynak üzerinden yapılan araştırma çalışması ve incelemeler sonucunda “3B Kent Modeli” üretim ve kullanım aşamalarında yaşanan sorunların temelde 13 ana başlık altında toplandığı ortaya çıkarılmıştır. İncelenen kaynakların %68.5'ini oluşturan 137 adet kaynakta, “3B Kent Modeli” üretim ve kullanım aşamalarında yoğun iş gücü gereksinimi problemi olduğundan bahsedilmiştir. Bu nedenle yoğun iş gücü gereksinimi sahip olduğu en yüksek oranla bu alandaki en temel problem olarak değerlendirilebilir.

İkinci olarak yaşanan en büyük sorun ise veri entegrasyon konusudur. İncelenen kaynakların %50'sini oluşturan 100 adet kaynakta “3B Kent Modeli” üretim ve kullanım aşamaları sırasında ihtiyaç duyulan ve farklı kaynaklardan elde edilen verilerin, birbirleri ile entegrasyonu süreçlerinde yaşanan problemlerden bahsedilmektedir.

Sorunların üçüncü sırasında esnek olmama gelmektedir. İncelenen kaynakların %36'si olan 72 adet kaynak özel ve spesifik bir neden belirtilmeden “3B Kent Modeli” uygulamalarını genel olarak yetersiz olmaları, esnek olmamaları ya da bir şekilde kullanılsız olmaları bakımından eleştirmiştir.

Hemen arkasından gelen diğer iki önemli konu ise veri boyutu ve metrik hassasiyettir. Kaynakların %34'ü olan 68 adet kaynakta “3B Kent Modeli” üretim ve kullanım aşamaları sırasında çok büyük boyutlu verilerin yönetilmesi ve depolanması gerektiği için bu konuya yönelik problemlere değinilmektedir.

Daha sonrasında ise zaman alma ve yüksek maliyet bulunmaktadır. Kaynakların %31.5'i olan 63 adet kaynakta ise “3B Kent Modeli” üretim ve kullanım aşamaları sırasında çok büyük boyutlu verilerin yönetilmesi ve depolanması gerektiği için bu konuya yönelik problemlere üretiminin çok fazla zaman alan bir süreçler bütünü olduğundan bahsedilmiştir.

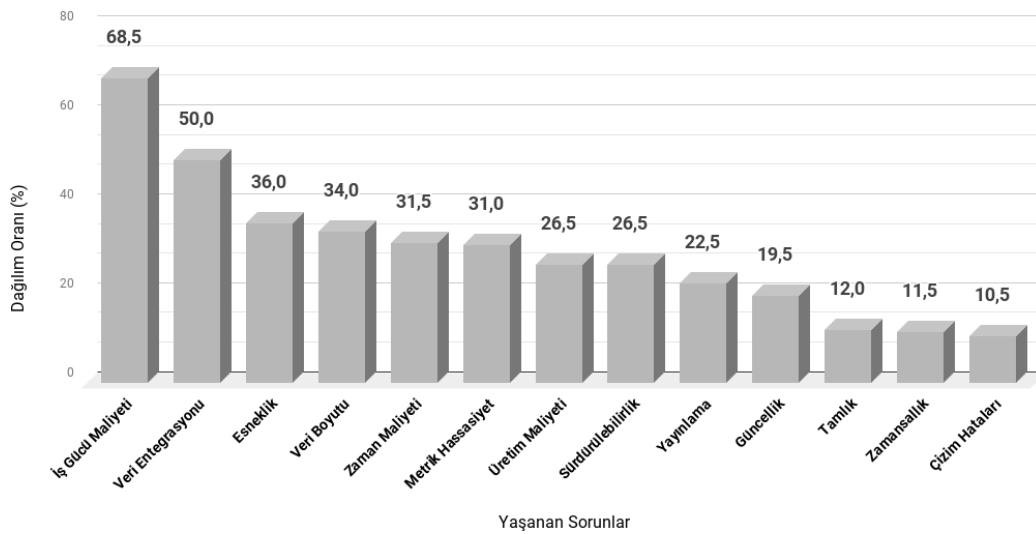
İncelenen kaynakların %31'i olan 62 adet kaynakta “3B Kent Modeli” üretimi ve kullanımı ile ilgili süreçlerde yaşanan metrik hassasiyet sorunlarına değinilirken,

kaynakların %26.5'ini oluşturan 53 adet kaynakta “3B Kent Modeli” üretim ve kullanım aşamalarını çok maliyetli çalışmalar olduğu için eleştirilmektedir.

Ayrıca kaynakların %26.5'i olan 53 adet kaynak “3B Kent Modeli” üretimi ve kullanımı ile ilgili çalışmalarda birlikte çalışılabilirliğin ve sürdürülebilirliğin önemine vurgu yaparak bu nedenle yaşanan sorunlardan bahsederken, kaynakların %22.5'i olan 45 adet kaynakta ise bu büyük boyutlu “3B Kent Modeli” verilerinin kullanıcılara sunulması ve paylaşımı sırasında yaşanan sorunlara değinilmiştir.

İncelenen kaynakların %19.5'ini meydana getiren 39 adet kaynakta “3B Kent Modeli” üretimi çalışmaları sonucunda elde edilen modellerin hızla eskidiği ve güncelliğini kaybettiğinden bahsedilirken, %12'si olan 24 adet kaynakta “3B Kent Modeli” üretimi ve kullanımı ile ilgili çalışmalar sonucunda ortaya çıkan ürünlerde tam olmaması ya da çeşitli eksikliklerinin bulunması gibi bir takım sorunlardan bahsedilmiştir.

Ayrıca incelenen kaynakların %11.5'ini oluşturan 23 adet kaynakta “3B Kent Modeli” üretim ve kullanım aşamaları sırasında toplanan zamansal verilerin bir bütünlük içerisinde zamansal olarak depolanması ve kullanılmasının önemine vurgu yaparken, incelenen kaynakların %10.5'ini oluşturan 21 adet kaynak ise “3B Kent Modeli” üretim aşamaları sırasında, otomatik prosesler ya da alanında uzman olmayan kişiler tarafından manuel olarak yapılan çizimlerde bulunan modelleme, çizim ve birleştirme hataları ile ilgili problemlerden bahsetmektedir. Yaşanan problemler ve yüzdelik oranları Şekil 4.9'te toplu halde ve grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 4.9 : Literatüre göre yaşanan problemlerin dağılımı.

4.1.3 Literatürdeki 3B kent modeli üretim teknolojileri

3B kent modeli alanında gerçekleştirilen literatür incelemesi çalışmaları kapsamında “3D City Model” anahtar kelimesi belirlenerek internet üzerinden kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma sürecinde çevrimiçi erişime açık olan 200 adet kaynağa rastgele olarak erişilerek bu kaynaklar üzerinden 3B kent modeli alanındaki konular pek çok yönü farklı yönü ile incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Buna göre 3B kent modeli çalışmalarında kullanılan veriler 17 adet ana başlıkta toplanmıştır.

Literatür taraması kapsamında incelenen kaynakların %19'luk bölümünü oluşturan 38 adet kaynaktaki verilerin uydu fotogrametrisi çalışmalarından elde edilmesinden bahsedilirken, %41'lik bölümünü oluşturan 82 adet kaynaktaki verilerin hava fotogrametrisi, %13'lük bölümünü oluşturan 26 adet kaynaktaki ise verilerin yersel fotogrametri ile elde edilebildiği aktarılmıştır. Ayrıca incelenen kaynakların %1.5'lik bölümünü oluşturan 3 adet kaynaktaki verilerin videogrametri çalışmalarından da elde edilebildiğinden bahsedilmiştir.

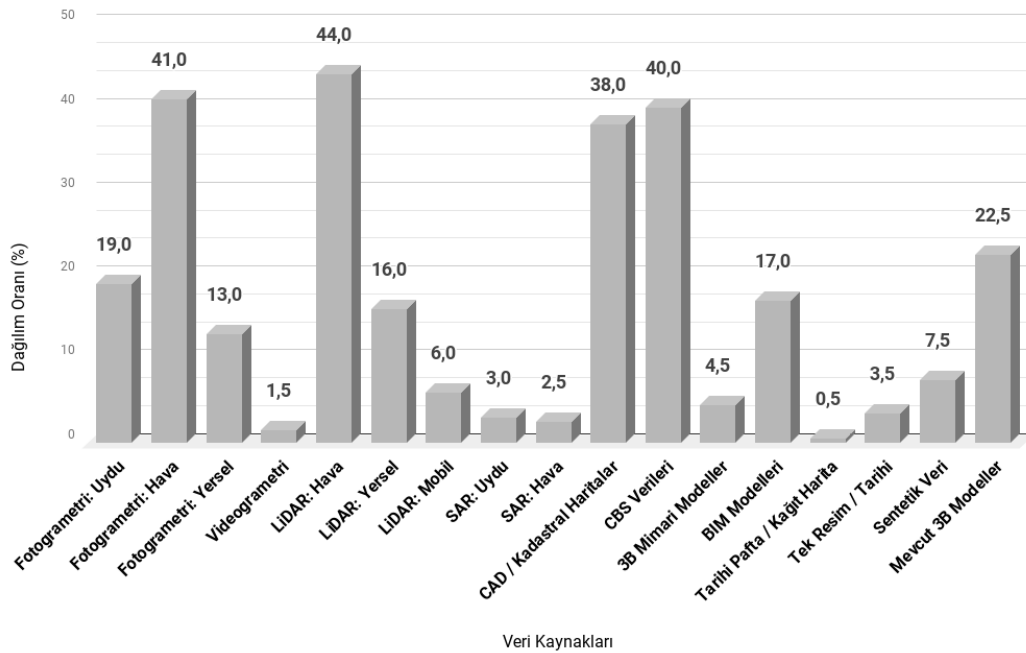
İncelenen kaynakların %44'lük bölümünü oluşturan 88 adet kaynaktaki verilerin hava LiDAR teknikleri kullanılarak uzaktan algılama çalışmalarından elde edilmesinden bahsedilirken, %16'lık bölümünü oluşturan 32 adet kaynaktaki verilerin yersel LiDAR, %6'lık bölümünü oluşturan 12 adet kaynaktaki ise verilerin mobil LiDAR teknolojileri ile elde edilebildiği aktarılmıştır.

İncelenen kaynakların %3'lük bölümünü oluşturan 6 adet kaynaktaki verilerin uydu kaynaklı sensörler ve SAR teknolojisi kullanılarak uzaktan algılama çalışmalarından elde edilmesinden bahsedilirken, %2.5'lik bölümünü oluşturan 5 adet kaynaktaki verilerin hava araçlarına monte edilen sensörler ve SAR teknolojileri kullanılarak elde edilebildiği aktarılmıştır.

İncelenen kaynakların %38'lik bölümünü oluşturan 76 adet kaynaktaki 3B kent modeli oluşturma çalışmaları kapsamında bina taban alanı başta olmak üzere gerekli diğer bazı mekânsal verilerin halihazırda bulunan kadastral haritalar kullanılarak elde edilmesinden bahsedilirken, %40'lık bölümünü oluşturan 80 adet kaynaktaki ise önceden çeşitli yöntemler ile üretilerek CBS sistemlerine aktarılmış bulunan bina taban alanı, yol, vejetasyon benzeri verilerin kullanımına değinilmiştir.

İncelenen kaynakların %4.5'lik bölümünü oluşturan 9 adet kaynakta 3B kent modeli oluşturma çalışmaları kapsamında mimari 3B modellerin entegrasyonu ve kullanımından bahsedilirken, %17'lik bölümünü oluşturan 34 adet kaynakta ise önceden hazırlanmış BIM modellerinin kullanımına değinilmiştir.

Literatür taraması kapsamında incelenen kaynakların %0.5'lik bölümünü oluşturan 1 adet kaynakta verilerin tarihi kağıt haritaların kullanımından elde edilmesi aktarılırken, %3.5'lik bölümünü oluşturan 7 adet kaynakta 3B kent modeli çalışmalarında tek resim ya da tarihi fotoğraf gibi monoküler imajların kullanımından bahsedilmiştir. Ayrıca kaynakların %7.5'lik bölümünü oluşturan 15 adet kaynakta veriler sentetik olarak üretilirerek kullanılırken, incelenen kaynakların %22.5'lik bölümünü oluşturan 45 adet kaynakta ise daha önceden çeşitli teknikler ile üretilmiş ve mevcut bulunan 3B verilerin kullanıldığı görülmüştür. Bu literatür araştırması sonucunda elde edilen kaynakların veri üretim yöntemlerine ve tekniklerine göre dağılımı Şekil 4.10'de sunulmuştur.



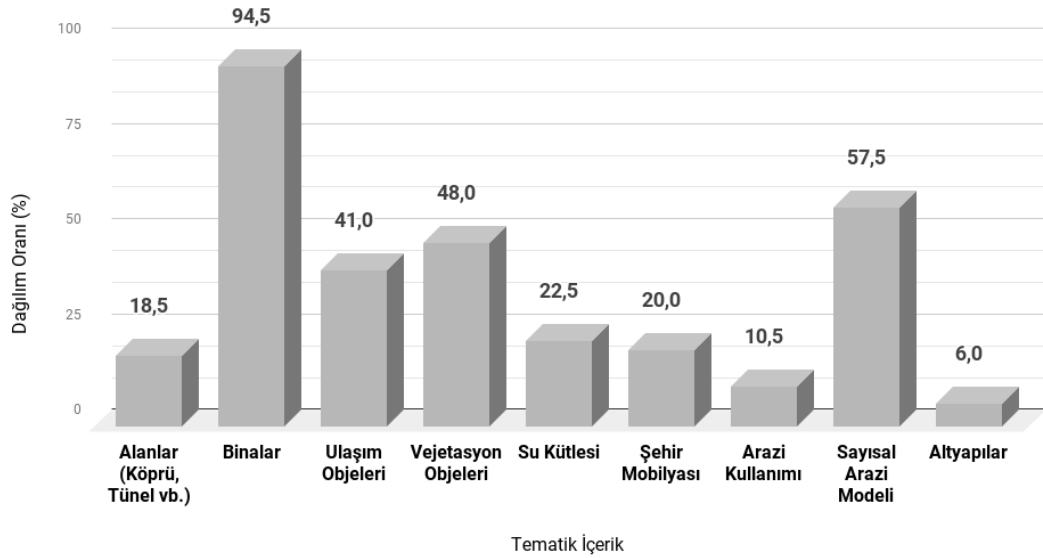
Şekil 4.10 : Literatürdeki çalışmalarda kullanılan veri kaynakları.

4.1.4 Literatürdeki çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemleri

Dünyadaki 3B kent modeli çalışmalarında CityGML veri modeli önemli bir standart olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle CityGML veri modelinde bulunan tematik sınıflar ve literatür araştırması kapsamında incelenen kaynaklarda geçen verilerin

karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre incelenen kaynakların %94.5'lik bölümünü oluşturan 189 adet kaynakta 3B kent modeli bileşenlerinin en temeli olan bina modellerinin üretim ve kullanımından bahsedilirken, %57.5'lik bölümünü oluşturan 115 adet kaynakta ise binaların oturduğu yer yüzünü temsil eden sayısal arazi modellerinin çeşitli yöntemler ile üretilerek kullanımına değinilmiştir.

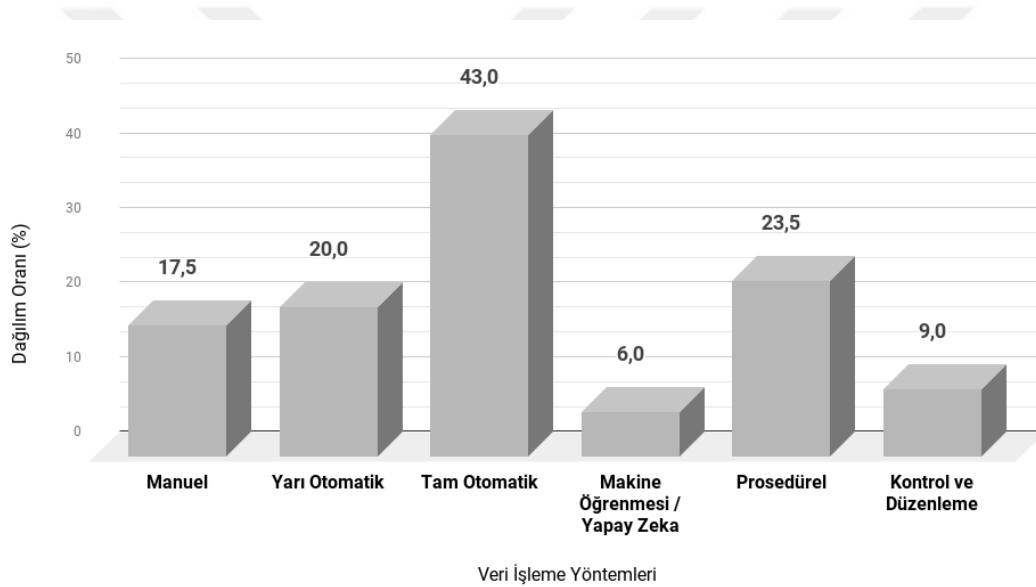
İncelenen kaynakların %41'lik bölümünü oluşturan 82 adet kaynakta 3B kent modeli bileşenlerinden ulaşım objelerine, %48'lik bölümünü oluşturan 96 adet kaynakta vejetasyon verilerine, %22.5'lik bölümünü oluşturan 45 adet kaynakta su kütlesi verilerine, %20'lik bölümünü oluşturan 40 adet kaynakta şehir mobilyası verilerine, %18.5'lik bölümünü oluşturan 37 adet kaynakta köprü, tünel gibi yapı objesi verilerine, %10.5'lik bölümünü oluşturan 21 adet kaynakta arazi kullanımı verilerine, %6'lık bölümünü oluşturan 12 adet kaynakta ise altyapı verilerinin kullanımına değinilmiştir. Bu literatür araştırması sonucunda incelenen kaynaklarda geçen ve 3B kent modeli çalışmalarında kullanılan tematik içerik katmanlarının kaynaklara göre dağılımı Şekil 4.11'de sunulmuştur.



Şekil 4.11 : Literatürdeki çalışmalarda kullanılan tematik içerik katmanları.

3B kent modeli üretim ve kullanılm çalışmalarda pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler çalışmaların içerik ve niteliğine göre zaman zaman tek başına, zaman zaman ise birbirine destek olarak beraber de kullanılabilir. Literatür araştırması kapsamında incelenen 200 adet kaynakta geçen veri işleme yöntemlerinin temelde 6 başlıkta değerlendirildiği görülmüştür.

Buna göre incelenen kaynakların %17.5'lik bölümünü oluşturan 35 adet kaynakta manuel veri işleme çalışmalarından bahsedilirken, %20'lik bölümünü oluşturan 40 adet kaynakta yarı otomatik veri işleme teknikleri, %43'lük bölümünü oluşturan 86 adet kaynakta tam otomatik veri işleme teknikleri, %6'lık bölümünü oluşturan 12 adet kaynakta makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi yapay zeka teknikleri, %23.5'lik bölümünü oluşturan 47 adet kaynakta ise prosedürel modelleme teknikleri kullanımına değinilmiştir. Ayrıca incelenen kaynakların %9'lik bölümünü oluşturan 18 adet kaynakta ise belirli teknikler sonucu elde edilen verilerin kontrol ve düzenleme çalışmaları ile iyileştirilmesinden bahsedilmektedir. Bu literatür araştırması sonucunda incelenen kaynaklarda geçen ve 3B kent modeli çalışmalarında kullanılan veri işleme tekniklerinin kaynaklara göre dağılımı Şekil 4.12'te sunulmuştur.

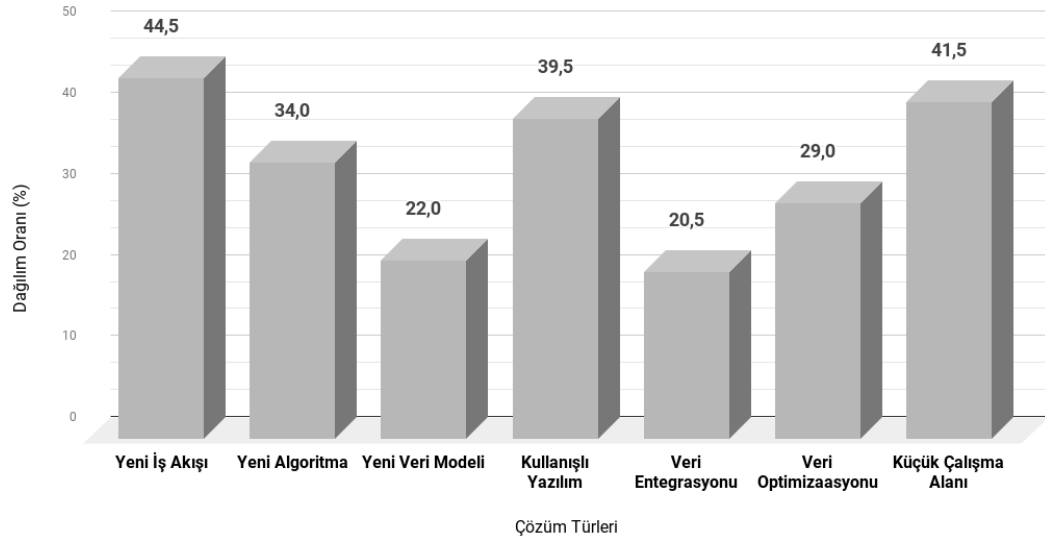


Şekil 4.12 : Literatürdeki çalışmalarda kullanılan veri işleme yöntemleri.

Literatür araştırması çalışmalarına göre 3B kent modeli üretim ve kullanım çalışmalarında pek çok farklı çözüm yöntemi de geliştirilmiştir. Bu yöntemler çalışmaların içerik ve niteliğine göre zaman zaman tek başına, zaman zaman ise birbirine destek olarak beraber de kullanılabilir. Literatür araştırması kapsamında incelenen 200 adet kaynakta geçen çözüm yöntemlerinin temelde 7 başlıkta değerlendirildiği görülmüştür.

Buna göre incelenen kaynakların %44.5'lik bölümünü oluşturan 89 adet kaynakta yeni bir iş akış modelinden bahsedilirken, %34'lük bölümünü oluşturan 68 adet kaynakta yeni geliştirilen bir algoritma, %22'lik bölümünü oluşturan 44 adet kaynakta yeni

tasarlanan bir veri modelinin kullanılmasından bahsedilmektedir. Ayrıca incelenen kaynakların %39.5'lik bölümünü oluşturan 79 adet kaynakta kullanışlı bir yazılımın bu alanda etkin bir şekilde kullanılması, %20.5'lik bölümünü oluşturan 41 adet kaynakta farklı verilerin birbirleri ile entegrasyonu, %29'luk bölümünü oluşturan 58 adet kaynakta ise mevcut verilerin optimizasyonu sonucu elde edilen verilerin iyileştirilmesinden bahsedilmektedir. Ek olarak incelenen kaynakların %41.5'lik bölümünü oluşturan 83 adet kaynakta ise küçük bir çalışma alanı seçilerek hızlı ve etkili bir sonuç elde edilmiştir. Bu literatür araştırması sonucunda incelenen kaynaklarda geçen ve 3B kent modeli çalışmalarında kullanılan çözüm tekniklerinin kaynaklara göre dağılımı Şekil 4.13'de sunulmuştur.

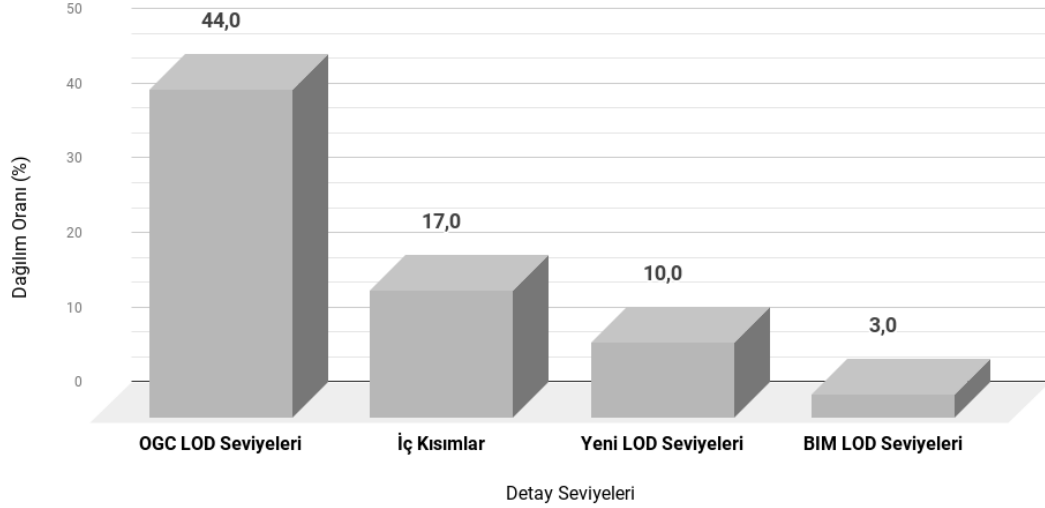


Şekil 4.13 : Literatürdeki çalışmalarda kullanılan çözüm türleri.

Literatür araştırması çalışmalarına göre 3B kent modeli üretim ve kullanım çalışmalarında farklı yapı detay seviyeleri kullanılmıştır. Farklı detay seviyelerindeki yapı modelleri çalışmaların içerik ve niteliğine göre zaman zaman tek başına, zaman zaman ise birbirine destek olarak beraber de kullanılabilir. Literatür araştırması kapsamında incelenen 200 adet kaynakta geçen çözüm yöntemlerinin temelde 4 başlıkta değerlendirildiği görülmüştür.

Buna göre incelenen kaynakların %44'lük bölümünü oluşturan 88 adet kaynakta OGC CityGML LOD seviyelerinden bahsedilirken, %10'luk bölümünü oluşturan 20 adet kaynakta yeni geliştirilen LOD detay seviyeleri önerilmiştir. Ayrıca incelenen kaynakların %17'lik bölümünü oluşturan 34 adet kaynakta yapı iç kısımlarının da

modellere dahil edilmesi ve kullanılmasından bahsedilmektedir. Ek olarak incelenen kaynakların %3'lük bölümünü oluşturan 6 adet kaynakta ise BIM detay seviyelerinden bahsedilmektedir. Bu literatür araştırması sonucunda incelenen kaynaklarda geçen ve 3B kent modeli çalışmalarında kullanılan LOD detay seviyelerinin kaynaklara göre dağılımı Şekil 4.14'te sunulmuştur.



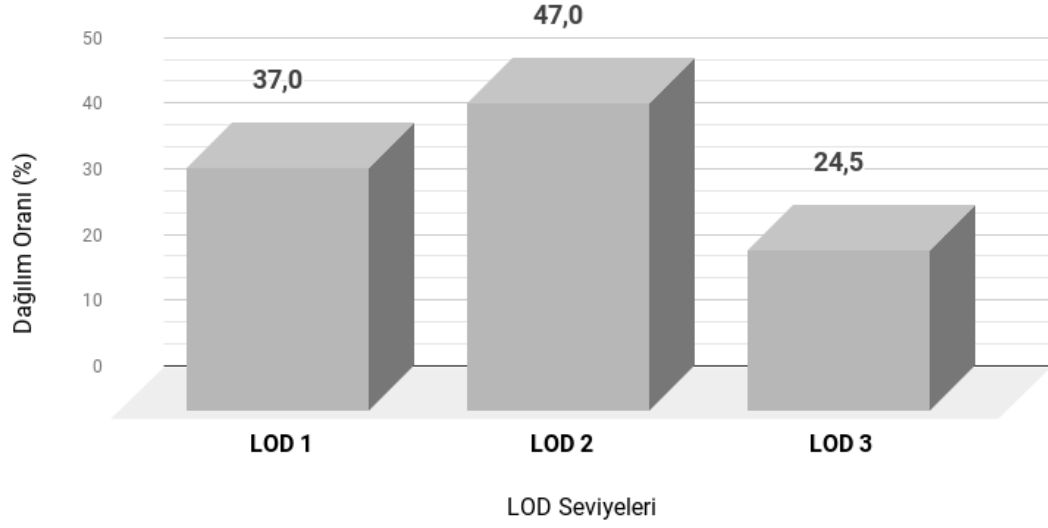
Şekil 4.14 : Literatürdeki çalışmalarda kullanılan detay seviyeleri.

Literatür araştırması çalışmalarına göre 3B kent modeli üretim ve kullanım çalışmalarında farklı yapı detay seviyeleri kullanılmıştır. Farklı detay seviyelerindeki yapı modelleri çalışmaların içerik ve niteliğine göre zaman zaman tek başına, zaman zaman ise birbirine destek olarak beraber de kullanılabilir. Literatür araştırması kapsamında incelenen 200 adet kaynakta geçen çözüm yöntemlerinin temelde 3 başlıkta değerlendirildiği görülmüştür.

Buna göre incelenen kaynakların %37'lik bölümünü oluşturan 74 adet kaynakta LOD1 seviyeli yapı modelleri, %47'lik bölümünü oluşturan 94 adet kaynakta LOD2 seviyeli yapı modelleri, %24.5'lik bölümünü oluşturan 49 adet kaynakta ise LOD3 seviyeli yapı modellerinin kullanılmasından bahsedilmektedir.

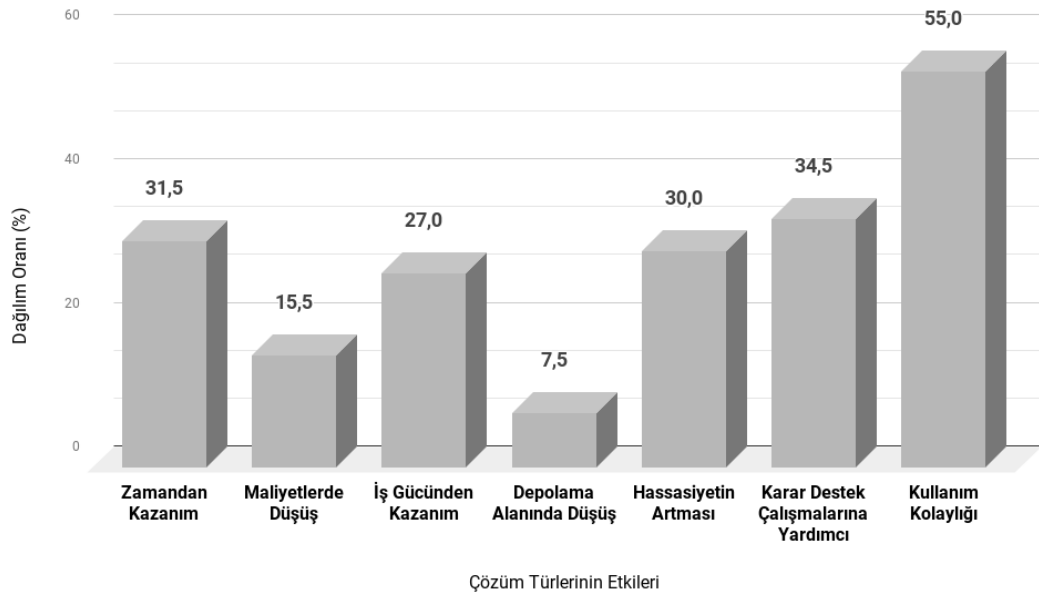
Bu anlamda çözümlerde en çok kullanılan detay seviyesinin LOD2 olduğu ortaya çıkmıştır. Sonrasında ise düşük poligon sayısı nedeni ile analizlerde en çok tercih edilen LOD1, en son ise detaylı görsellik sunan LOD3 gelmektedir.

Bu literatür araştırması sonucunda incelenen kaynaklarda geçen ve 3B kent modeli çalışmalarında kullanılan LOD detay seviyelerinin kaynaklara göre dağılımı Şekil 4.15’de sunulmuştur.



Şekil 4.15 : Literatürdeki çalışmalarda kullanılan detay seviyeleri.

Literatür araştırması çalışmalarına göre 3B kent modeli üretim ve kullanım çalışmaları ile pek çok kazanım sağlanmaktadır. Literatür araştırması kapsamında incelenen 200 adet kaynakta geçen kazanımların temelde 7 başlıkta değerlendirildiği görülmüştür. Bu literatür araştırması sonucunda kaynaklarda geçen ve 3B kent modeli çalışmaları ile elde edilen kazanımların kaynaklara göre dağılımı Şekil 4.16’de sunulmuştur.



Şekil 4.16 : Literatürdeki çalışmalarda sağlanan faydalar.

Buna göre incelenen kaynakların %31.5'lik bölümünü oluşturan 63 adet kaynakta zamandan kazanım sağlandığı aktarılırken, %15.5'lik bölümünü oluşturan 31 adet kaynakta maliyetlerde düşüş, %27'lik bölümünü oluşturan 54 adet kaynakta iş gücünden kazanım, %7.5'lik bölümünü oluşturan 15 adet kaynakta depolama alanında düşüş, %30'luk bölümünü oluşturan 60 adet kaynakta hassasiyetin arttırılması, %34.5'lik bölümünü oluşturan 69 adet kaynakta karar destek sistemlerine yardımcı olma, %55'lik bölümünü oluşturan 110 adet kaynakta ise kullanım kolaylığı elde edilmesinden bahsedilmektedir.

4.1.5 Literatürdeki çalışmalarda kullanılan çözüm teknolojileri

Mekânsal veriler, coğrafi konum bilgilerini içeren verilerdir ve genellikle harita üretimi ve analiz amaçlarıyla kullanılır. Bu veriler, Oracle, PostgreSQL gibi ilişkisel veri tabanlarında veya ESRI'nin ArcGIS platformundaki geodatabase gibi dosyalarda depolanabilir. Bu veri depolama yöntemleri, mekânsal verilerin etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanır ve verilerin güvenliği ve bütünlüğünü sağlar. Veri tabanı yöneticileri ve coğrafi bilgi sistemleri uzmanları, mekânsal verileri tutarlı bir şekilde depolamak ve erişmek için bu tür veritabanları ve dosya biçimlerini kullanırlar. Bu sayede, mekânsal verilerin verimli bir şekilde saklanması, güncellenmesi ve paylaşılması kolaylaşır. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan depolama alanları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Literatürdeki çalışmalarda depolama alanları.

Depolama Alanları	Kaynak Sayısı	Yüzde Oranı (%)
3DCITYDB	32	16
POSTGRESQL	26	13
ORACLE	17	8.5
GDB	17	8.5
MS SQL SERVER	2	1
DB4Geo	1	0.5
GEOPACKAGE	0	0

Mekânsal verilerin depolanması ve kullanılması söz konusu olduğunda, CityGML ve BIM gibi standartlar önemli bir rol oynamaktadır. CityGML, karmaşık şehir modellerinin dijital olarak temsil edilmesi ve paylaşılmasını sağlamak için geliştirilen bir veri modelleme standardıdır. Bu standart, şehirlerin 3B geometrik, topolojik ve semantik bilgilerini tutmaya olanak tanır. BIM ise, yapıların inşaat ve işletme süreçlerini dijital olarak yönetmek amacıyla geliştirilen bir veri standardıdır. Bu

standart, yapıların geometrik, fiziksel ve fonksiyonel bilgilerini entegre ederek daha verimli süreçler ve karar alma imkânı sağlar. Bu veri standartları, mekânsal verilerin tutarlı bir şekilde depolanmasını ve kullanılmasını sağlayarak şehirlerin ve yapıların daha etkili bir biçimde planlanmasını ve yönetilmesini mümkün kılar. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan veri standartları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Literatürdeki çalışmalarda veri standartları.

Veri Standatları	Kaynak Sayısı	Yüzde Oranı (%)
CityGML	116	58
BIM	45	22.5
CityGML ADEs	33	16.5
X3D	15	7.5
INDOOR GML	10	5
INSPIRE Building	9	4.5
LADM - Land Admin. Model	9	4.5
INFRA GML /LandInfra	4	2
LAND XML	1	0.5
XBML Building Description Language	1	0.5
3D GeoVolumes	1	0.5

Mekânsal veriler, CityGML ve IFC gibi standart veri formatları başta olmak üzere yaygın kullanılan KML/KMZ, VRML, DAE, SHP, X3D gibi çeşitli formatlara dönüştürülerek de saklanabilir ve uygulamalar arasında paylaşılabilir. Bu farklı formatlardaki veriler, uygulamalar arasında kolayca aktarılabilir farklı amaçlar için kullanılabilir. Bu sayede, şehir planlaması, coğrafi bilgi sistemleri, mimarlık ve inşaat gibi alanlarda mekânsal verilerin etkin bir şekilde paylaşılması ve kullanılması sağlanabilir. Bu verilerin farklı formatlarda oluşturulması ve kullanılması, farklı uygulamaların ihtiyaçlarına göre esneklik sağlar ve veri paylaşımını kolaylaştırır. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan veri formatları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Literatürdeki çalışmalarda veri formatları.

Veri Formatları	Kaynak Sayısı	Yüzde Oranı (%)
CityGML	103	51.5
IFC	38	19
KML / KMZ	36	18
VRML	32	16
DAE	30	15
SHP	29	14.5
X3D	26	13
CityJSON	18	9
DXF	16	8
3D TILES	15	7.5

Çizelge 4.4 (devamı) : Literatürdeki çalışmalarda veri formatları

OBJ	13	6.5
GLTF	12	6
DWG	11	5.5
3DS	11	5.5
3D PDF	9	4.5
FBX	8	4
LAS / PLY/ XYZ	8	4
GEOJSON	6	3
U3D	5	2.5
CZML	4	2
I3S	3	1.5
SKP	3	1.5
gbXML	3	1.5
DGN	1	0.5
W3DS	1	0.5
STL	1	0.5

Mekânsal verilerin OSM, CesiumJS gibi web altyapıları üzerinden paylaşım ve kullanımı, kullanıcıların coğrafi verileri interaktif haritalar üzerinde görüntülemesine, analiz etmesine ve paylaşmasına imkân tanır. Bu web altyapıları, açık kaynak kodlu ve kullanıcı dostu arayüzleri sayesinde geliştiricilerin ve harita kullanıcılarının kolayca erişebilmesine olanak sağlar. Bu sayede mekânsal verilerin paylaşımı ve kullanımı daha hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleşir, kullanıcıların farklı ihtiyaçlarına uygun çözümler sunulabilir. Bu da coğrafi verilerin daha geniş bir kitleye erişimini sağlayarak, daha iyi kararlar alınmasına ve daha etkili uygulamalar geliştirilmesine katkı sağlar. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan web altyapıları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Literatürdeki çalışmalarda web altyapıları.

Web Altyapıları	Kaynak Sayısı	Yüzde Oranı
OSM	28	14%
CESIUM JS	24	12%
THREE.JS	7	3.5%
X3DOM	5	2.5%
MAPBOX	2	1%
XJ3D	2	1%
ArcGIS for JS	1	0.5%
F4 MAPS	1	0.5%
VIZICITIES	1	0.5%
JAVA3D API	1	0.5%

Mekânsal verilerin oyun motorları üzerinden kullanımı günümüzde bilimsel araştırmalardan eğlence sektörüne kadar çeşitli alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Unity, Blender ve Unreal gibi önde gelen oyun motorları, mekânsal verileri işlemek ve görselleştirmek için kullanıcı dostu araçlar sunmaktadır. Bilimsel araştırmalarda, mühendislik projelerinde ve eğlence amaçlı uygulamalarda mekânsal verilerin bu platformlar üzerinde kullanımı, daha etkili sonuçlar elde etmek ve kullanıcı deneyimini artırmak için önemli bir role sahiptir. Bu motorlar sayesinde kullanıcılar, 3B haritalar, simülasyonlar ve interaktif görseller oluşturarak mekânsal verilere yeni bir boyut kazandırabilmektedirler. Bu sayede mekânsal verilerin analizi, planlama ve görselleştirilmesi süreçleri daha kolay, hızlı ve etkili hale gelmektedir. Sektörde tanınmasına rağmen O3DE ve NVIDIA OMNIVERSE oyun motorlarının literatür taramasındaki herhangi bir çalışmada kullanılmadığı görülmüştür. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan oyun motorları Çizelge 4.6’de verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Literatürdeki çalışmalarda oyun motorları.

Oyun Motorları	Kaynak Sayısı	Yüzde Oranı
UNITY 3D	14	7%
BLENDER	13	6.5%
UNREAL ENGINE	8	4%
OGRE	1	0.5%
O3DE	0	0%
NVIDIA OMNIVERSE	0	0%

Google Earth ve QGIS gibi açık kaynaklı veya ücretsiz teknolojiler, kullanıcıların coğrafi verileri analiz etmeleri, görselleştirmeleri ve paylaşımları için güçlü araçlar sunar.

Bilimsel araştırmalarda, bu teknolojiler sayesinde değişen iklim verilerini izlemek, doğal afet risklerini değerlendirmek veya biyolojik çeşitlilik alanlarını haritalandırmak gibi çalışmalar yapılabilmektedir. Mühendislik projelerinde ise, arazi kullanım planlaması, altyapı projeleri için yer seçimi ve haritalandırma gibi süreçlerde kullanılabilmektedir.

Ayrıca eğlence amaçlı olarak da insanlar, sevdikleri yerleri detaylı olarak keşfedebilir, seyahat rotaları oluşturabilir veya sanal turlar yapabilirler. Bu teknolojiler, kullanıcılarına dünya üzerindeki mekânsal verileri çok çeşitli amaçlar doğrultusunda keşfetme ve kullanma imkânı sunmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan açık kaynak çözüm ürünleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Literatürdeki çalışmalarda açık kaynak çözüm ürünleri.

Açık Kaynak Ürünler	Kaynak Sayısı	Yüzde Oranı
GOOGLE EARTH	43	21.5%
SKETCHUP	32	16%
QGIS / GRASS / GDAL	22	11%
LANDXPLOER STUDIO	14	7%
FZK VIEWER	9	4.5%
VIRTUAL EARTH (BING MAPS)	4	2%
GIT / GITHUB	4	2%
OPEN FOAM	3	1.5%
Tridican CityDiscoverer Light	2	1%
CGAL	2	1%
NINJA VIEWER	2	1%
UD-VIZ (Urban Data Viz.)	2	1%
CITYGML4J - CITYGML TOOLS	2	1%
I TOWNS	2	1%
MAC OS 3D VIEWER	1	0.5%
X3D VIEWER	1	0.5%
VI-SUITE	1	0.5%
3DUSE	1	0.5%
CITY COMMANDER	1	0.5%
RANDOM 3D TERRAIN	1	0.5%
3DUSE	1	0.5%
3D REALITY MAPS	1	0.5%

Mekânsal veriler, ArcGIS, CityEngine, FME, AutoCAD gibi ticari veya lisanslı teknolojiler kullanılarak bilimsel araştırmalar, mühendislik projeleri ve eğlence amaçlı uygulamalar için çeşitli şekillerde kullanılmaktadır.

Bu teknolojiler, mekânsal verilerin analiz edilmesi, haritalanması, modellemesi ve görselleştirilmesi gibi işlemleri gerçekleştirmek için geliştirilmiş araçlar sunmaktadır. Örneğin, ArcGIS aracılığıyla coğrafi bilgi sistemleri üzerinden mekânsal veriler haritalanabilirken, CityEngine sayesinde 3D modelleme yapılabilir. FME ise farklı veri formatlarını dönüştürmek ve entegre etmek için kullanılırken, AutoCAD ile detaylı teknik çizimler oluşturulabilmektedir.

Bu teknolojiler sayesinde mekânsal verilerin analizi ve kullanımı daha etkili ve verimli hale gelirken, farklı disiplinlerdeki profesyonellerin ihtiyaçlarına uygun çözümler sunulmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan ticari çözüm ürünleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Literatürdeki çalışmalarda ticari çözüm ürünleri.

Ticari Çözüm Ürünleri	Kaynak Sayısı	Yüzde Oranı
ARCGIS	40	19.5%
CITYENGINE / CGA	39	17%
FME	34	8%
AUTOCAD	16	8%
3D STUDIO MAX	16	2.5%
REVIT	10	3%
MICROSTATION	6	3%
INFRAWORKS	6	3%
VIRTUALCITY SUITE	6	3%
ARCHICAD	5	1.5%
MAYA	5	1%
SOLIDWORKS	3	1.5%
NOVAPOINT QUADRI	3	1.5%
HOUDINI	3	1%
CITYGRID	3	1.5%
novaFACTORY	3	1.5%
ERDAS	2	1%
AGISOFT PHOTOSCAN	2	0.5%
PHOTO MODELLER	2	1%
nFRAMES	2	1%
HEXAGON GEOMEDIA 3D	2	1%
TERRA SOLID	2	1%
SUPERMAP	1	0.5%
TRIMBLE LOCUS	1	0.5%
MAPGETS	1	0.5%
CITYPLANNER	1	0.5%
SOFTIMAGE XSI	1	0.5%
DEEP EXPLORATION	1	0.5%
RHINO / GRASSHOPPER	1	0.5%
DYNAMO	1	0.5%
LIGHTWAVE	1	0.5%
CONTEXT CAPTURE	1	0.5%
PIX4D	1	0.5%
MICMAC	1	0.5%
PICTOMETRY	1	0.5%
EYESCLOUD3D	1	0.5%
CITYDOCTOR	1	0.5%
CITYPLANNER	1	0.5%
CSTBeveBIM	1	0.5%
CATALYST	1	0.5%
Z-MAP	1	0.5%
iWITNESS	1	0.5%
ZEISS-SSK	1	0.5%
Geometica OrthoEngine	1	0.5%

Mekânsal verilerin Random3DCity, CityGen, CitySim gibi akademik olarak geliştirilmiş teknolojiler üzerinden yapılan çalışmalar bilimsel ve mühendislik alanlarında büyük önem taşımaktadır. Bu teknolojiler, şehir planlaması ve tasarımında kullanılabilecek veri tabanlı karar destek sistemleri geliştirmek, trafik yönetimi ve enerji verimliliği gibi konularda analizler yapmak, simülasyonlar gerçekleştirmek için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu teknolojiler, eğitim amaçlı simülasyonlar ve oyun geliştirme gibi eğlence amaçlarıyla da kullanılabilmektedir. Akademik gelişim sürecinin tamamlayıcı bir parçası olarak, bu teknolojiler zamanla ticari ürünlere dönüşerek de kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin kullanım alanlarındaki geniş kapsamlı faydalar göz önünde bulundurularak, akademik ve ticari alanda daha fazla entegrasyonu teşvik etmek önemlidir. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan akademik çözüm ürünleri Çizelge 4.9’de verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Literatürdeki çalışmalarda akademik çözüm ürünleri.

Akademik Çözüm Ürünleri	Kaynak Sayısı	Yüzde Oranı
CYBERCITY MODELLER	5	2.5%
RANDOM3DCITY	4	2%
CityGen	2	1%
CitySim	2	1%
CityTree	2	1%
3dfier	2	1%
DIGITAL TWIN CITY VIEWER	1	0.5%
City4CFD	1	0.5%
MAPCUBE	1	0.5%
SAT-PP	1	0.5%
IfcGeoRefChecker	1	0.5%
IFC2CityGML	1	0.5%
Python Scripts - MIT	1	0.5%
PolyFit	1	0.5%
TERRAIN VIEW	1	0.5%
TERRAGEN	1	0.5%
INSTANT ARCITECTURE	1	0.5%
CITYBUILDER	1	0.5%
UNDISCOVERED CITY	1	0.5%
ARISTOTELES3D	1	0.5%
SimStadt	1	0.5%
3DmoveR	1	0.5%

4.2 Vaka Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde tez kapsamında hedeflenen CityGCL 3B kent modeli üretimi altyapısını temel alarak tasarlanan ve uygulanan 4 adet vaka çalışması değerlendirilmiştir.

4.2.1 Açık veriler ile 3B kent modeli oluşturulması

Bu vaka çalışmasında, İstanbul ve Londra'da belirlenen iki farklı bölgede prosedürel yöntem ile 3B kent modeli üretmek için açık verinin kullanımı incelenmiştir. Çalışmada sadece çevrimiçi, açık ve ücretsiz olarak erişilebilen iki boyutlu (2B) OpenStreetMap (OSM) verileri ve belirlenen parametreler kullanılarak birinci çalışma alanındaki 45469 yapının 3B modelleri , LOD2 detay seviyesinde olarak 46 saniye, cephe kaplamalı LOD2 olarak ise 53 saniyede üretilebilmiştir. İkinci çalışma alanındaki 14000 yapının 3B modelleri ise LOD2 detay seviyesinde olarak 8 saniye, cephe kaplamalı LOD2 olarak ise 22 saniyede üretilebilmiştir. Sayısal arazi modeli için NASA tarafından “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) programı kapsamında üretilen sayısal yükseklik modeli verileri kullanılmıştır. SRTM ile oluşturulan sayısal arazi modeli, ESRI tarafından farklı kaynaklardan derlenerek oluşturulan ve ücretsiz olarak sunulan dünya uydu görüntüsü servisi kullanılarak kaplanmıştır. Son olarak “Google 3D Warehouse” tarafından sağlanan ve çalışma alanında bulunan kentsel önemli nokta (Landmark) 3B modelleri de 3B kent modeline eklenerek daha gerçekçi bir görselleştirme sağlanmıştır.

Bu vaka çalışması ile hiçbir ek bütçe ve maliyet olmaksızın, sadece çevrimiçi, açık ve ücretsiz veriler kullanılarak İstanbul ve Londra'da belirlenen iki farklı bölgede prosedürel yöntem ile aslına oldukça yakın görsellikte 3B kent modelleri oluşturulabilmiştir. 3B kent modelinin hassasiyeti ve doğruluğu farklı kaynaklardan alınan verilerin doğrulukları ile ilişkilidir. SRTM verilerinde bu değerler daha belirgin olarak sunulmaktadır. ESRI tarafından sunulan uydu görüntülerinin doğrulukları da ilgili kaynaklarda bulunmaktadır. Topluluk kaynaklı olarak erişilen OSM ve “Google 3D Warehouse” verilerinin doğruluğu ise verinin üretimine katkıda bulunan bireysel katılımcıların çalışmalarına bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Sonuç olarak, 3B kent modeli üretimindeki en önemli problemlerden biri olarak öngörülen yüksek üretim maliyetleri konusuna alternatif bir çözüm sunulmuştur. Ayrıca prosedürel yöntem ile işgücü ve zaman maliyetleri de büyük oranda aşılmıştır.

Bu kent modelleri içerisinde temel düzeyde 3B görselleştirme, bakı analizi, görünürlük analizi gibi pek çok çalışma gerçekleştirilebilir.

4.2.2 LOD2 detay seviyeli 3B kent modeli oluşturulması

Bu vaka çalışmasında ise LOD2 detay seviyeli yapı modellerinin prosedürel modelleme yöntemi ile daha detaylı bir şekilde üretilmesi konusu incelenmiştir. Uydu görüntüleri, hava fotogrametrisi ve hava LiDAR gibi uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen tüm veriler temelde binanın çatı kenar çizgisinin belirlenmesi ilkesine dayanır. Bu şekilde elde edilen 3B çatı modeli verilerinin arazi yüzeyine izdüşürülmesi ile 3B bina modelleri oluşturulur. Üretim mantığından dolayı havadan elde edilen verilerden bina modeli oluşturulurken sıklıkla çatı kenar çizgileri temel alındığı için çatı-cephe arasında bulunan mesafeler göz ardı edilir.

Ancak OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard (OGC 12-019) proje dokümanında LOD2 bina modeli seviyesi için iki önemli parametre bulunur. Birincisi “*Genelleştirme*” maddesinde belirtilen “ $> 4*4m/2m$ ” değeridir. Bu değerden küçük detayların genelleştirilebileceğini ve modelde gösterilmeyebileceğini bildirir. Sonuç olarak bu değerden büyük veriler eğer elde edilebiliyorlarsa LOD2 detay seviyesinde depolanabilir. İkincisi ise “Çatı sarkma parçaları” maddesinde belirtilen “Evet, (Eğer biliniyorsa)” açıklamasıdır. Burada da benzer şekilde Çatı ve Cephe arasındaki mesafe eğer kullanılan ölçüm yöntemi ile belirlenebilmiş ise LOD2 detay seviyesi içerisinde depolanabilir.

Bu vaka çalışmasında öncelikle prosedürel olarak 3B mimari model üretiminin gerçekleştirilebilmesi için gerekli öznitelik verileri belirlenmiştir. Bu aşamada aynı zamanda verilerin depolanacağı Bina veritabanı modelinin tasarımı da yapılmıştır. Çalışma kapsamında belirlenen öznitelikler; “*Temel*” ve “*İleri Seviye*” olarak adlandırılarak iki farklı detay seviyesinde 3B model üretimini destekleyecek şekilde bir tasarım yapılmıştır.

Vaka çalışmasında İstanbul'da belirlenen tarihi yarımada bölgesinde prosedürel yöntem ile 3B kent modeli üretmek için çevrimiçi, açık ve ücretsiz olarak erişilebilen 2B OSM verileri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında “*Temel*” ve “*İleri Seviye*” olarak belirlenen yapı modelleri için gerekli olan parametreler belirlenmiştir. Çalışma bölgesindeki yapılar için mevcut yapılara ait çatı payı ve cephe çıkma mesafesi bilgileri bulunmadığı için bu parametreler rastgele üretilerek veritabanına

aktarılmıştır. Bu çalışmadaki temel amaç “*Temel*” ve “*İleri Seviye*” LOD2 detay seviyeli yapı modellerinin prosedürel yöntem ile üretilmesini test etmektir. Çalışma sonucunda 45457 yapının 3B modelleri “*Temel*” düzey olarak 16 saniye, “*İleri Seviye*” olarak 26 saniyede üretilenmiştir.

Topluluk kaynaklı 2B CBS verileri ve rastgele üretilen parametreler ile gerçekleştirilen bu çalışmanın benzerleri, yerel yönetimlerin elinde bulunan hassasiyeti ve konum doğruluğu çok daha yüksek sayısal haritalar, yapılara ait gerçek cephe ve çatı payı değerleri girildiğinde elde edilen sonucun doğruluğu çok daha yüksek olacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma ile 3B kent modeli üretimindeki en önemli problemler içerisinde bulunan üretim maliyeti, tamlık, esneklik ve veri entegrasyonu konularına alternatif bir çözüm sunulmuştur. Prosedürel üretim yöntemi ile tüm bunların yanı sıra işgücü ve zaman maliyetleri de büyük oranda aşılmış, modelleme ve çizim hatalarının da önüne geçilmiştir. Bu kent modelleri içerisinde temel düzeyde 3B görselleştirme, bakı analizi, görünürlük analizi gibi pek çok çalışma gerçekleştirilebilir. Ayrıca prosedürel yöntem ile hızlı ve detaylı olarak üretilen 3B kent modelleri; literatürde geçen afet yönetimi, kentsel planlama, telekomünikasyon, kamu güvenliği, enerji dağılımı ve çevresel kirlilik çalışmaları yanı sıra navigasyon, emlak, eğlence, eğitim, e-ticaret ve 3B kadastro çalışmalarında etkili bir araç olarak kullanılabilir.

4.2.3 Altyapı hatlarının 3B dijital ikizinin oluşturulması

Bu vaka çalışmasında, İSKİ bünyesinde bulunan içme suyu, atıksu ve yağmursuyu hatları, hizmet alanındaki yapılar ve kurumda bulunan diğer tüm mekânsal veriler 3B olarak modellenmiş ve yine 3B olarak oluşturulan İstanbul 3B kent modeli içerisinde konumlandırılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada tıpkı 3B kent modellerinde olduğu gibi CityGML 3.0 bina detay seviyeleri örnek alınarak altyapı hattı boruları için bu amaca özgü benzer detay seviyeleri belirlenmiştir. Altyapı hattı boru detay seviyelerinin belirlenmesi; borulara ait öznitelik verilerinin veritabanında tutulabilmesi için gerekli olan parametrelerin daha kolay belirlenebilmesine imkân sağlamıştır.

CBS veritabanı içerisinde depolanan İçmesuyu, Atıksu ve Yağmursuyu boruları, prosedürel modelleme yöntemi ile 2B çizgisel objelerden çalışma kapsamında belirlenen LOD1 seviyesindeki 3B boru modellerine dönüştürülebilmektedir.

Yaklaşık 5461 km²'lik yüzölçümü ile bir metropol olan İstanbul'un çevre illere de taşan çalışma ve etki alanı ile şehrin normal yerleşim alanından çok daha büyük olduğu bilinmektedir. Toplamda 64.962,415 kilometrelik bir uzunluğa sahip olan 2.835.368 adet boru verisinin ve 1.449.463 adet abone bina verisinin prosedürel modelleme yöntemi ile günlük olarak 3B üretilmesi ve dijital ikiz uygulamasının bu veriler ile güncel tutulması çok büyük bir önem taşımaktadır.

İSKİ'de CBS veritabanında bulunan verilerin yanı sıra hâlihazır harita paftaları, ortofoto ve uydu görüntüleri, sayısal yükseklik modelleri, LiDAR verileri, göl, barajlar ve derin deniz deşarjlarına ait batimetri verileri gibi pek çok mekânsal bilgi içeren veri de bulunmaktadır. Tüm bu verilerin birbirine entegre edilerek tek bir 3B sayısal ortam içerisinde birleştirilmesi ile oluşturulan dijital ikiz; kurumun geleneksel karar destek sistemlerine yeni ve etkili bir çözüm yöntemi olarak eklenebilecektir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile 3B kent modeli üretimindeki en önemli problemler içerisinde bulunan üretim maliyeti, tamlık, esneklik ve veri entegrasyonu konularına alternatif bir çözüm sunulmuştur. Prosedürel üretim yöntemi ile tüm bunların yanı sıra işgücü ve zaman maliyetleri de büyük oranda aşılmış, modelleme ve çizim hatalarının da önüne geçilmiştir. Bu dijital ikiz içerisinden temel düzeyde 3B görselleştirme, bakı analizi, görünürlük analizi gibi pek çok çalışma gerçekleştirilebilir. Ayrıca literatürde geçen ve kurumda da aktif çalışma alanları olan afet yönetimi, planlama, telekomünikasyon, güvenlik, tesis yönetimi, enerji dağılımı ve çevresel kirlilik çalışmaları dahil olmak üzere navigasyon, emlak, eğitim, ve 3B kadastro çalışmalarında da etkili bir araç olarak kullanılacaktır.

4.2.4 LOD3 detay seviyeli tarihi çeşme modellerinin oluşturulması

Son vaka çalışmasında, İstanbul yapı tabakasının bir alt katmanı olarak sayılabilecek olan tarihi çeşmeler üzerine derinlemesine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatürde şehir ölçeğinde LOD1 ve LOD2 üzerine bazı çalışmalar gerçekleştirilmiş olmasına karşın LOD3 detay seviyeli çalışmalar şu an için sadece spesifik yapılara özgü ve bireysel modelleme çalışmaları olarak görülmektedir. Tüm bir şehrin LOD3 olarak prosedürel yöntemle modellenmesi ise çok farklı yapı alt katmanları bulunması nedeniyle oldukça zor olarak değerlendirilmiştir.

Doktora tezi kapsamında gerçekleştirilen çalışmada İstanbul yapı tabakasının bir alt katmanı olarak sayılabilecek olan tarihi çeşmeler üzerine odaklanılarak farklı çeşme

tipleri, bu çeşmeleri oluşturan temel bileşenler ve onları oluşturan alt bileşenler detaylı şekilde belirlenmiştir. Elde edilen veriler ile tarihi çeşmelerin prosedürel olarak modellenebilmeleri için detaylı bir veri modeli tasarlanmıştır.

Bu veri modeli kullanılarak CityEngine için geçirilen CGA dilinde bir prosedürel modelleme algoritması oluşturulmuş ve kodlanmıştır. Sonrasında tasarlanan bu veri modeli ve geliştirilen prosedürel modelleme algoritması ile İstanbul'da belirlenen 10 adet tarihi duvar çeşmesi 3B olarak modellenebilmiştir.

Geliştirilen altyapı ile temel ve alt bileşenlerinin ebatları girildiğinde istenilen tür duvar çeşmesi modellenenmektedir. İstanbul'daki tarihi çeşmelerle ilgili gerçekleştirilen tüm çalışmalar resmi olarak İSKİ tarafından yürütülmektedir ancak İSKİ'nin elinde henüz tez kapsamında tasarlanan veri modeline uygun şekilde tüm çeşmelere ait temel ve alt bileşenlerin detaylı ölçüm değerleri bulunmamaktadır. Bu nedenle tez kapsamında yapılan çalışmalar spesifik olarak belirlenen bazı çeşmeler özelinde gerçekleştirilebilmiştir. Bu çalışmada, İBB tarafından üretilen mobil LiDAR verileri ve geçmişte İSKİ'de yapılan bazı fotoğraflama çalışmaları sırasında çeşme fotoğrafları üzerine not alınan ölçüm değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Elde edilen 3B modeller ve sonuçlar ise bu iki farklı kaynaktan alınan verilerin hassasiyeti oranında doğrudur. Yapılan kontrollerde yaklaşık 0,5cm'lik bir hata payı ile belirlenen çeşmeler 3B olarak prosedürel modelleme yöntemi ile modellenebilmiştir. Tüm çeşmelere ait verilerin zaman içinde kurum yönetiminde yapılacak bir saha çalışması ile ölçülmesi ve tez kapsamında tasarlanan veri tabanına aktarılması durumunda ilgili tarihi çeşmelerin 3B olarak modellenebilmesi mümkün olacaktır.

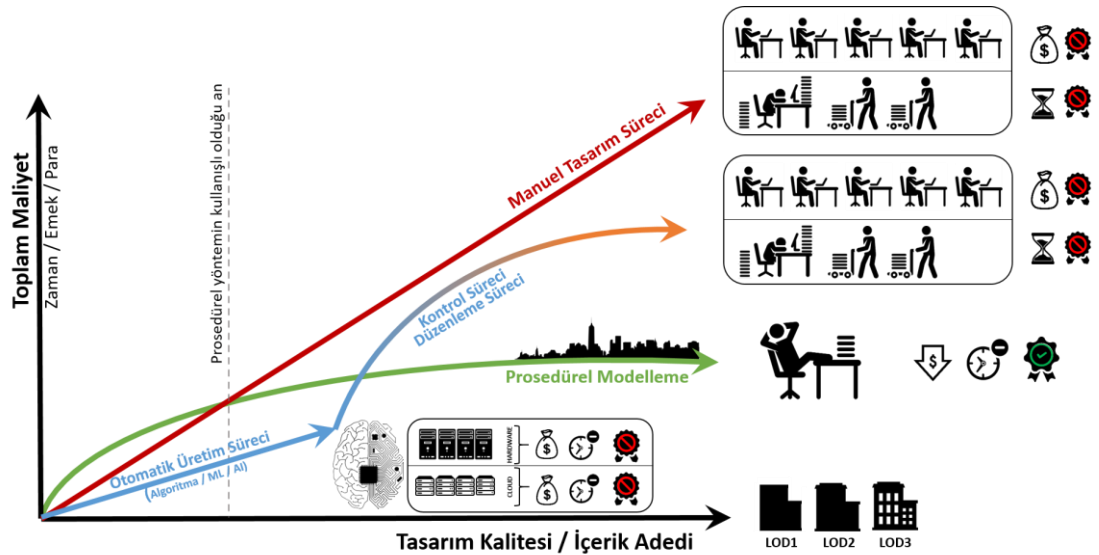
Sonuç olarak bu vaka çalışması ile görülmüştür ki prosedürel modelleme yöntemi sadece spesifik bir yapının LOD3 seviyesinde 3B modellemesi ile sınırlı olmayıp bir şehir ölçeğindeki pek çok yapının kapsamlı bir veri modeli ve prosedürel modelleme algoritması ile hızlı bir şekilde 3B modellenebilmesi mümkündür. Prosedürel modelleme yöntemi, 3B kent modeli ve dijital ikiz üretim çalışmalarındaki en hızlı ve etkili üretim yöntemlerden biri olarak kabul edilmeli ve bu alanda daha fazla çalışma gerçekleştirilmelidir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçların Değerlendirilmesi

Gerçekleştirilen kapsamlı kaynak tarama ve inceleme çalışmaları ile bir kentin üç boyutlu modelleme çalışmalarında, çok büyük miktarda yapı verisinin modellenmesi gerektiği için, manuel modelleme yönteminin kullanılabilmesinin mümkün olamayacağı görülmüştür. Uydu ve hava fotogrametrisi, LiDAR gibi uzaktan algılama sistemlerinden elde edilen verilerden üç boyutlu model oluşturulabilmesi mümkündür. İçinde bulunduğumuz süreçte, gelişen teknolojiler ile birlikte bu verileri otomatik olarak işleyen ve belirli bir detay seviyesinde üç boyutlu model oluşturabilen kullanışlı yazılımlar bulunmaktadır. Bunların bazıları üretim süreçlerinden makine öğrenmesi ve çeşitlik yapay zekâ yöntemlerini de kullanmaktadır. Ancak incelenen kaynaklar göstermektedir ki; üç boyutlu model üretimine hız katan pek çok otomatik yöntem sonucu elde edilen verilerin, çalışma sonrasında yeniden tecrübeli ve uzman personeller tarafından kontrol edilmesi gerekmektedir. Bazı durumlarda ise modellerin yeniden düzenlenmesi ihtiyacı da oluşabilmektedir. Bu süreçler hem zaman hem de maliyet olarak geri dönmektedir. Şekil 5.1’de bu süreçler gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Literatüre göre yöntemlerin karşılaştırılması.

Prosedürel modelleme yöntemi ise başlangıçta yoğun bir araştırma ve kodlama süreci ile başlamaktadır ve tüm diğer yöntemlerden daha yavaş ilerliyor gibi görünmektedir. Ancak prosedürel modellemenin kullanışlı olduğu kritik eşik aşıldığı anda ise çok büyük miktardaki ve yüksek detay seviyeli üç boyutlu modeller, çok daha hızlı bir şekilde üretilmektedir. Ayrıca mevcut modellerin düzenlenebilmesi ve farklı varyasyonlarının oluşturulabilmesi çok kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir. Bir anlamda doktora tez çalışması ile önerilen yöntem; mekânsal dijital ikiz üretimi çalışmalarında bir şehrin üç boyutlu modelini üretebilmek için “*prosedürel modelleme yönteminin kullanışlı olduğu an*”a gelebilmektir. Eğer tez kapsamında önerilen sistem tamamen oluşturulabilirse, güncel olarak tutulan ve yaşayan bir coğrafi bilgi sisteminin, aslında üç boyutlu kent modelini de içerisinde barındırabilecek potansiyele sahip olduğu gösterilmeye çalışılmıştır.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan prosedürel modelleme algoritmaları, bir süreci belirli adımlara bölen ve adım adım işleyen algoritmaları ifade etmektedir. Bu algoritmalar genellikle bilgisayar ortamında 3B modelleme işlemlerinin gerçekleştirilmesi sırasında kullanılır ve belirli işlemleri sırasıyla uygulamak için tasarlanmıştır.

Geliştirilen prosedürel modelleme algoritmalarının tasarımı genellikle belirli işlem adımlarını içermektedir. İlk olarak sorunun tanımı yapılmalıdır. Modelleme için gerekli olan tasarımın ne olduğunun ve modelleme sürecinin nasıl çözüleceği belirlenmelidir.

Daha sonra veri toplama süreci devreye girer. Algoritmaların çalışması için gereken verilerin toplanması ve düzenlenmesi bu adımda gerçekleştirilir. Çalışmada verilerin kapsamlı olarak tasarlanmış bir mekânsal veri tabanı içerisinde depolanması öngörülmüştür. Bu şekilde LOD1 ve LOD2 binaların üretimi, Altyapı hatlarının 3B olarak üretimi, tarihi İstanbul çeşmelerinin 3B olarak üretilmeleri için gerekli olan tüm parameter değerleri mekânsal bir veritabanında depolanmıştır.

Algoritmaların tasarımı ile 3B modelleme sorunun çözümü için gerekli adımların ve işlemlerin belirlenmesi sağlanır. Bu adımda verilerin nasıl işleneceği, hangi adımların sırası ile izleneceği gibi konular belirlenir.

Belirlenen tasarım doğrultusunda algoritmaların kodlanması yapılır. Tasarlanan algoritmanın bir programlama dilinde kodlanması adımdır. Tez kapsamında

gerçekleştirilen çalışmalarda CGA dili kullanılmıştır. Bu kodlama işlemleri sayesinde tasarlanan algoritma bilgisayar tarafından anlaşılabilir hale getirilir ve modelle işlemlerinin sırası ile gerçekleştirilmesi sağlanır.

En son olarak algoritmanın test edilmesi ve optimizasyonu gereklidir. Tasarlanan algoritmanın doğru çalışıp çalışmadığının test edilmesi ve gerekirse optimize edilmesi prosedürel modelleme çalışmalarında önemli bir adımdır. Bu adım ile geliştirilen algoritmaların performansı artırılarak daha etkili hale getirilebilir.

Prosedürel modelleme algoritmaları son yıllarda özellikle 3B kent modellemesi alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu algoritmalar, belirli bir süreci adım adım işleyerek çözen ve genellikle kesin sonuçlar üreten algoritmalar olarak bilinir. Bu nedenle, prosedürel modelleme algoritmaları genellikle zaman sınırları olan ve güvenilir sonuçlar gerektiren uygulamalarda tercih edilir.

Prosedürel modelleme, 3B kent modeli üretiminde birçok avantaj sunmaktadır. Öncelikle hız ve verimlilik sağlar. Prosedürel modelleme, kent modelinin karmaşık ve detaylı yapılarını hızlı bir şekilde oluşturabilme yeteneği sunar. Bu sayede modelleme süreci daha hızlı tamamlanabilir ve verimlilik artırılabilir.

Bir diğer faydası ise otomatik yenileme yapılabilmesine imkân verir. Prosedürel modelleme sayesinde kent modeli, belirli parametreler ve kurallar dahilinde otomatik olarak yenilenebilir. Bu sayede modelin güncel kalması sağlanabilir ve daha az zaman harcanarak daha fazla verim elde edilebilir.

Ayrıca detay ve çeşitlilik için pek çok alternatif sunar. Prosedürel modelleme, kent modelindeki binalar, yollar, yeşil alanlar ve diğer detayların oluşturulmasında geniş çeşitlilik ve detay sağlar. Bu sayede daha gerçekçi ve zengin görseller elde edilebilir.

Modellemenin pek çok aşamasında parametrik kontrol sağlar. Prosedürel modelleme ile oluşturulan kent modeli, belirli parametreler üzerinde kolayca kontrol edilebilir ve değiştirilebilir. Bu sayede farklı alternatifler denenebilir ve modelin istenilen şekilde düzenlenmesi sağlanabilir.

Prosedürel algoritma ve kodların tekrar kullanım açısından da oldukça etkin bir güç sunar. Prosedürel modelleme ile oluşturulan kent modelleri, aynı parametreler kullanılarak kolayca tekrar kullanılabilir. Bu sayede farklı projelerde aynı modelin tekrar kullanılması mümkün olabilir ve zaman tasarrufu sağlanabilir.

Kısacası prosedürel modelleme algoritmaları genellikle daha basit ve anlaşılabilir yapıdadır. Bu sayede kodların daha kolay okunabilir, anlaşılabilir ve yönetilebilir olmasını sağlar. Prosedürel modelleme algoritmaları genellikle hızlı çalışır. Bu sayede işlemler daha hızlı gerçekleştirilir ve performans iyileştirilir. Ayrıca hata ayıklama çalışmalarını kolaylaştırır. Kodun yapısal olarak daha basit olması sayesinde hatalar daha kolay tespit edilebilir ve düzeltilebilir. Prosedürel modelleme algoritmaları genellikle daha düzgün ve daha düzenli yapıdadır. Bu sayede kodun bakımı ve geliştirilmesi daha kolay olur. Genellikle platform bağımsızdır ve farklı sistemlerde rahatlıkla çalıştırılabilir. Bu avantajlar sayesinde prosedürel modelleme algoritmalarının kullanımı son yıllarda giderek yaygınlaşmaya başlamıştır.

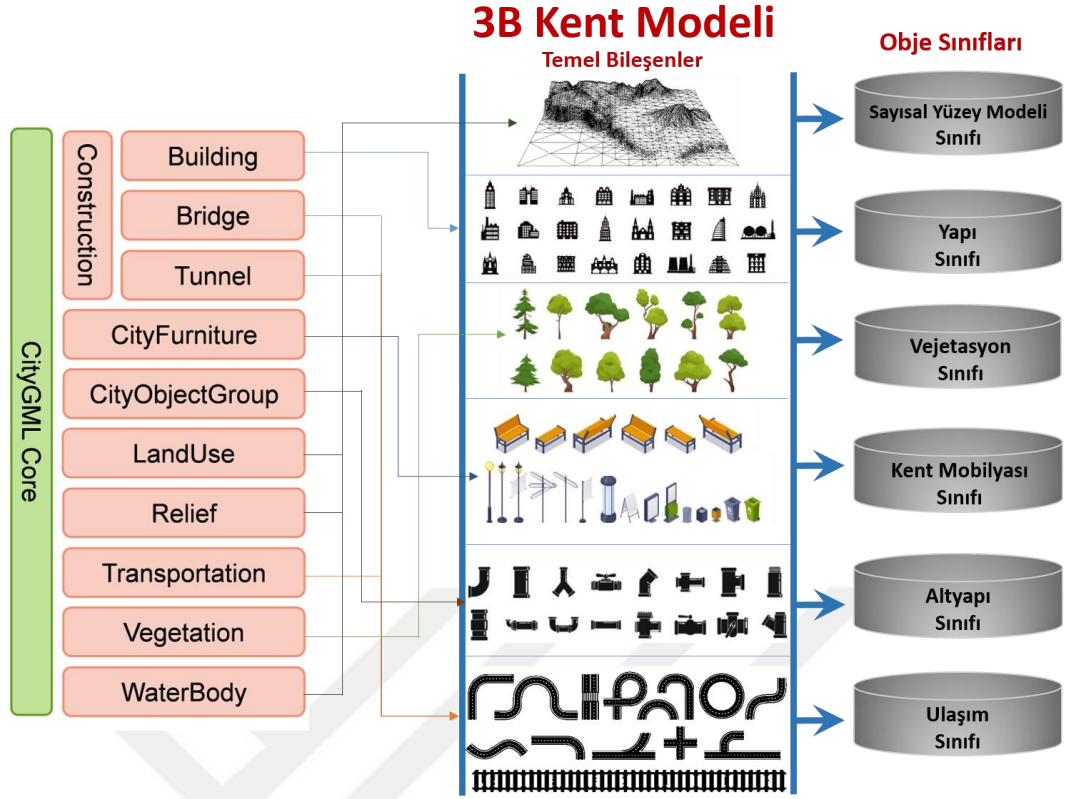
5.2 Öneriler

3B kent modeli çalışmalarında dünyada en yaygın olarak kullanılan altyapı CityGML veri modelidir. Bu modelde *Building*, *Bridge*, *Tunnel*, *CityFurniture*, *CityOnjectGroup*, *LandUse*, *Refilef*, *Transportation*, *Vegetation* ve *WaterBody* olarak belirlenmiş 10 adet temel sınıf bulunmaktadır ve çalışmalarda bu temel sınıfların veri yapıları kullanılmaktadır. Doktora tezi kapsamında önerilen CBS temelli prosedürel modelleme sisteminde de CityGML veri modeli referans alınmıştır. Ancak bazı sınıfların birbirleri ile olan ilişkisi ve benzerliği değerlendirilerek CityGML'deki 10 sınıf, bir 3B kent modelini oluşturan 6 temel sınıfa indirgenmiştir.

Burada gerçekleştirilen gruplama çalışması, benzer objelerin aynı sınıf içinde bulunmasının veri modeli oluşturulması çalışmaları sırasında kolaylık yaratmasıdır.

Örneğin; “*Transportation*, *Bridge* ve *Tunnel*” sınıfları aslında temelde “*Ulaşım*” objelerini içermektedir. “*Ulaşım*” objelerinin yüzey modelinin altında kalması ile “*Tünel*”, yüzey modelinin üzerinde kalması ile de “*Köprü*”objeleri oluşmaktadır. Ancak sonuç olarak oluşturulan ve depolanmak istenen veri temelde “*Ulaşım*” yani yol verisinin üç boyutlu modelidir (Şekil 5.2).

Benzer şekilde; “*Relief*, *LandUse* ve *WaterBody*” sınıfları aslında temelde “*Sayısal Yüzey Modeli*” objelerini içermektedir. “*Sayısal Yüzey Modeli*” objesinin yani yüzeyin su ile kaplı bölümleri için “*WaterBody*”, yüzeyin arazi kullanımı ile ilgili bilgilerinin depolandığı kısım için ise “*LandUse*”objeleri oluşmaktadır. Ancak sonuç olarak oluşturulan ve depolanmak istenen veri temelde “*Sayısal Yüzey Modeli*”dir.



Şekil 5.2 : CityGML veri modeli ile karşılaştırma.

Literatür araştırması sırasında az sayıda rastlanan bazı altyapı çalışmalarında ise bu veriler “CityObjectGroup” sınıfı altında değerlendirilerek modellere entegre edilmiştir. Tez kapsamında Altyapı isimli bir sınıf tanımlanarak bu sınıfın belirli bazı alt bileşenleri de öngörülmüştür.

İleriye yönelik çalışmalarda bu şekilde bir sınıflandırma üzerinden devam edilmesinin veri depolama, materyal kütüphaneleri ve prosedürel kod kütüphanelerinin oluşturulmasında daha fazla kolaylık sağlayacağı öngörülmektedir. Bu nedenle tez kapsamında; bir 3B Kent Modeli’nin oluşturulabilmesi için 6 temel bileşen üzerinden objelerin gruplandırılması ve çalışmaların yürütülmesi önerilmektedir. Zaman içerisinde oluşan farklı ihtiyaçlar, farklı yeni objekt sınıflarının eklenmesi ihtiyacını doğurabilir. O zaman geldiğinde temel bileşenlerin yeniden değerlendirilmesi düşünülebilir.

Daha önce de bahsedildiği gibi önerilen bu yöntem; mekânsal dijital ikiz üretimi çalışmalarında bir şehrin üç boyutlu modelini üretebilmek için “*prosedürel modelleme yönteminin kullanışlı olduğu an*”a gelebilmeyi hedeflemektedir. Doktora tez çalışması kapsamında önerilen CBS temelli prosedürel modelleme yaklaşımının oluşturulması,

yerel ve merkezi yönetimler tarafından desteklemesi ve ulusal coğrafi bilgi sistemi altyapılarını bu sistem ile entegre etmeleri çok önemlidir. Çünkü kapsamlı bir şekilde tasarlanmış bir CBS altyapısı aynı zamanda güncel üç boyutlu kent modelini de içerisinde barındırabilecek potansiyele sahiptir. Bu sayede kent yönetimi ve planlama çalışmaları başta olmak üzere şehir genelinde gerçekleştirilmesi planlanan birçok çalışmaya altlık sağlayabilecek hızlı ve güncel bir 3B kent modeli üretimi sağlanabilecektir.

Tez kapsamında önerilen prosedürel modelleme yöntemi, analitik düşünme becerilerini geliştirmeye yardımcı olur. Problemin yapısı ve içeriği hakkında detaylı bilgi sağlar ve süreci takip etmek ve yönetmek için bir çerçeve oluşturur. Birçok alanda kullanılan prosedürel modelleme, yazılım geliştirme, iş süreçleri yönetimi, veri analizi ve mühendislik gibi birçok disiplinde kullanılmaktadır.

3B kent modeli üretimi çalışmalarında da yararlanılan prosedürel modelleme, gerçekçi ve detaylı modellemeler oluşturmak için kullanılan bir tekniktir. Ancak bazı eksiklikleri de bulunmaktadır.

Prosedürel modellemenin ilk tasarım süreci genellikle oldukça karmaşıktır ve sürekli olarak güncelleme ve düzeltme gerektirir. Bu nedenle zaman alıcı ve zorlu bir süreç olabilir.

Prosedürel modelleme genellikle temel 3B görünüşü elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu nedenle detaylı modellemeler oluşturmakta çeşitli zorluklar yaşanabilir. Detaylı modellerin oluşturulabilmesi için algoritmaların çok daha karmaşık ve kapsamlı şekilde tasarlanması gerekir. Bu da çalışmayı zorlaştırır.

Prosedürel modelleme algoritmalarının tasarımının ilk aşamalarında yoğun zaman ve emek gereklidir. Prosedürel modelleme süreci ile detaylı ve gerçekçi sonuçlar elde etmek için kapsamlı tasarımlar yapılması gerekir. Bu nedenle modelleme alanı ve çalışmanın türü ve kapsamına göre prosedürel modelleme hızlı ve pratik bir modelleme yöntemi olarak tercih edilmeyebilir. Prosedürel modelleme; çalışma alanı büyüdükçe ve modellenecek obje sayısı arttıkça avantajlı hale gelmektedir.

5.3 Gelecek Çalışmaları

Gelecekte prosedürel modelleme algoritmaları, 3B kent modellerinin oluşturulmasında daha yaygın bir şekilde kullanılabilir. Bu algoritmalar, kent

planlamacılarına ve tasarımcılara hızlı ve etkili bir şekilde kent modellerini oluşturma ve analiz etme imkânı sağlayabilir.

Prosedürel modelleme algoritmaları sayesinde, kent modelleri daha gerçekçi ve detaylı hale getirilebilir. Bu da kent planlaması sürecinde daha iyi kararlar alınmasına ve kentlerin daha sürdürülebilir hale gelmesine yardımcı olabilir.

Ayrıca, prosedürel modelleme algoritmalarının kullanımıyla kentlerin daha verimli bir şekilde yönetilmesi sağlanabilir. Algoritmalar, kentlerin trafik akışını, yeşil alan dağılımını, bina yoğunluğunu ve diğer önemli faktörleri analiz ederek planlamacılara değerli bilgiler sunabilir.

Yakın gelecekte 3B kent modeli, dijital ikiz ve metaverse gibi çalışma alanlarındaki gereksinimlerin daha da artmasıyla birlikte prosedürel modelleme yönteminin hız ve esneklik özelliklerine duyulan ihtiyaç da o oranda artacaktır. Prosedürel modelleme yöntemi; büyük kentsel alanların planlanması, modellenmesi ve yönetilmesi çalışmalarını daha akıllı ve verimli hale gelebilecek olan en ideal araçtır. Prosedürel modellemenin getireceği güç hem var olan dünyanın daha iyi anlaşılmasını sağlayacak, hem de metaverse gibi sanal evrenlerin tasarlanması sırasında insan hayal gücünün sınırlarını zorlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Abdul Halim, N. Z., Lim, C. K., Hairi Karim, H.** (2021), Developing a 3D City Model Database Beyond Cadastral Purposes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Online, pp.767, Doi:10.1088/1755-1315/767/1/012027
- Abdul Rahman, A., Rashidan, H., Musliman, I. A., Buyuksalih, G., Bayburt, S., Baskaraca, P.** (2019), 3D Geospatial Database Schema For Istanbul 3d City Model. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-4/W16, 2019, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.11–16, Doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W16-11-2019
- Acar, S. E.** (2018), Using CityGML for Large Scale Maps. *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Uzmanlık Tezleri*, Ankara, Turkey
- Adão, T., Magalhães, L., Peres, E.** (2016), Ontologies and Procedural Modelling. *Ontology-based Procedural Modelling of Traversable Buildings Composed by Arbitrary Shapes*, pp.11-35, Doi:10.1007/978-3-319-42372-2_2
- Agius, T., Sabri, S., Kalantari, M.** (2018), Three-Dimensional Rule-Based City Modelling to Support Urban Redevelopment Process. *ISPRS International Journal of Geo-Information* Vol:7 I:10, MDPI, pp.413, Doi:10.3390/ijgi7100413
- Al Kalbani, K., Abdul Rahman, A.** (2021), 3D city model for monitoring flash flood risks in Salalah, Oman. *International Journal of Engineering and Geosciences*, Vol:7 I:1, Johor Bahru, Malaysia, pp.17-23, Doi:10.26833/ijeg.857971
- Alatalo, T., Koskela, T., Pouke, M., Alavesa, P., Ojala, T.** (2016), VirtualOulu: Collaborative, Immersive and Extensible 3D City Model On The Web. *Proceedings of the 21st International Conference on Web3D Technology*, California, USA, pp.95-103, Doi:10.1145/2945292.2945305
- Albrecht, F., Moser, J.** (2010), Potential of 3D City Models for Municipalities. *GI_Forum*, Online
- Alfakhori, M., Dastageeri, H., Schneider, S., Coors, V.** (2022), Occlusion Screening Using 3D City Models As A Reference Database For Mobile AR-Applications. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, X-4/W3-2022, Sydney, Australia, pp.11–18, Doi:10.5194/isprs-annals-X-4-W3-2022-11-2022

- Aliaga, D. G.** (2012), 3D Design and Modeling of Smart Cities from a Computer Graphics Perspective. *International Scholarly Research Network, ISRN Computer Graphics*, Volume 2012, Online, pp.Article ID 728913, Doi:10.5402/2012/728913
- Alomía, G., Loaiza, D., Zúñiga, C., Luo, X., Asorey-Cacheda, R.** (2021), Procedural modeling applied to the 3D city model of bogota: a case study. *Virtual Reality & Intelligent Hardware* Vol:3 I:5, Online, pp.423-433, Doi:10.1016/j.vrih.2021.06.002
- Alsadik, B., Khalaf, Y.H.** (2021), Potential Use of Drone Ultra-High-Definition Videos for Detailed 3D City Modeling. *ISPRS International Journal of Geo-Information* Vol:11 I:1, Online, pp.34, Doi:10.3390/ijgi11010034
- Babcock, M.C.** (2019), Visualizations of Downtown San Bernardino and a Proposed Development Using CityEngine. *University of Redlands*, Redlands, USA, Doi:10.26716/redlands/master/2019.3
- Becker, S., Peter, M., Fritsch, D., Philipp, D., Baier, P., Dibak, C.** (2013), Combined Grammar for the Modeling of Building Interiors. *ISPRS, Commission IV, WG IV/7*, Cape Town, South Africa
- Beil, C., Kendir, M., Ruhdorfer, R., Kolbe, T. H.** (2022), Dynamic And Web-Based 4D Visualization Of Streetspace Activities Derived From Traffic Simulations And Semantic 3D City Models. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume X-4/W2-2022, 17th 3D GeoInfo Conference, Sydney, Australia, Doi:10.5194/isprs-annals-X-4-W2-2022-29-2022
- Beil, C., Kutzner, T., Schwab, B., Willenborg, B., Gawronski, A., Kolbe, T. H.** (2021), Integration Of 3D Point Clouds With Semantic 3D City Models – Providing Semantic Information Beyond Classification. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume VIII-4/W2-2021, New York, USA, pp.105–112, Doi:10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-105-2021
- Beil, C., Ruhdorfer, R., Coduro, T., Kolbe, T. H.** (2020), Detailed Streetspace Modelling for Multiple Applications: Discussions on the Proposed CityGML 3.0 *Transportation Model*. *International Journal of Geo-Information*, 9, 502, Doi:10.3390/ijgi9100603
- Biljecki, F.** (2013), The concept of level of detail in 3D city models. *Delft University of Technology*, Delft, Netherland
- Biljecki, F.** (2017), Level of Detail in 3D City Models. *Delft University of Technology*, Delft, Netherlands, Doi:10.4233/uuid:f12931b7-5113-47ef-bfd4-688aae3be248
- Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J., Zhao J.** (2014), Formalisation of the Level of Detail in 3D City Modelling. *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 48, pp.1-15
- Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J., Zhao J.** (2017), Generating 3D city models without elevation data. *Computers Environment and Urban Systems* Vol: 64, Online, pp.1-18, Doi:10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.001

- Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J.E.** (2016), Generation of Multi-Lod 3D City Models In CityGML With The Procedural Modelling Engine Random3DCity. *1st International Conference on Smart Data and Smart Cities*, Split, Croatia, Doi:10.5194/isprs-annals-IV-4-W1-51-2016
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., Çöltekin, A.** (2015), Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Online, pp.2842-2889, Doi:10.3390/ijgi4042842
- Billen, R., Cutting-Decelle, A. F., Marina, O., de Almeida, J.P., Cagliioni, M., Falquet, G., Leduc, T., Métral, C., Moreau, G., Perret, J., Rabin, G., San Jose, R., Yatskiv, I., Zlatanova, S.** (2014), 3D City Models and urban information: Current issues and perspectives. *Usage, Usability, and Utility of 3D City Models*, Online, pp.I - 118, Doi:10.1051/TU0801/201400001
- Blaauboer, J., Goos, J., Ledoux, H., Penninga, F., Reuvers, M., Stoter, J., Vosselman, G., Commandeur, T.** (2013), Technical Specifications for the Construction of 3D IMGeo-CityGML.
- Boeters, R., Ohori, K.A., Biljecki, F., Zlatanova, S.** (2015), Automatically Enhancing CityGML LOD2 Models With A Corresponding Indoor Geometry. *International Journal of Geographical Information Science* 29(12), pp.2248-2268, Doi:10.1080/13658816.2015.1072201
- Boeters, R.** (2013), Automatic Enhancement of CityGML LOD2 Models With Interiors And Its Usability For Net Internal Area Determination. *Delft University of Technology*, Rotterdam, Netherlands
- Borisov, M., Radulović, V., Ilić, Z., Petrović, V., Rakićević, N.** (2022), An Automated Process of Creating 3D City Model for Monitoring. *Asian Journal of Geographical Research*, Vol:5 I:1, Online, pp.1-10, Doi:10.30564/jgr.v5i2.4093
- Brenner, C., Haala, N.** (2001), Fast Production of Virtual Reality City Models. *ISPRS, Commission IV, Working Group IV/III.2*, Vol. XXXII-IV, Stuttgart, Germany
- Brenner, C., Haala, N., Fritsch, D.** (2001), Towards Fully Automated 3D City Model Generation. *Stuttgart University*, Stuttgart, Germany
- Buhur, S., Ross, L., Buyuksalih, G., Baz, I.** (2009), 3D City Modelling for Planning Activities, Case Study Haydarpasa Train Station, Haydarpasa Port and Surrounding Backside Zones, Istanbul. *ISPRS Hannover Workshop*, Volume XXXVIII-1-4-7/W5, Hannover, Germany
- Buyukdemircioglu, M., Kocaman, S., Isikdag, U.** (2018), Semi-Automatic 3D City Model Generation from Large-Format Aerial Images. *ISPRS International Journal of Geo-Information* Vol:7 I:9, Online, pp.339, Doi:10.3390/ijgi7090339
- Büyüksalih, İ.** (2013), 3 Boyutlu Kent Modellerinin Sürdürülebilir Kıyı Alanları Yönetimindeki Kullanımı. *İstanbul Üniversitesi*, İstanbul, Turkey

- Camacho, P. H. T., Santiago, V. M. R., Sarmiento, C. J. S.** (2021), Semi-Automatic Generation Of An LOD1 And LOD2 3D City Model Of Tanauan City, Batangas Using Openstreetmap And Taal Open LiDAR Data In QGIS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVI-4/W6-2021, Online, Doi:10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W6-2021-77-2021
- Cartwright, W.** (2006), Using 3D Models For Visualizing The City As It Might Be. *ISPRS Technical Commission II Symposium, Technical Commission II, WG II/5*, Vienna, Austria
- Chaturvedi, K.** (2021), Integration and Management of Time-dependent Properties with Semantic 3D City Models. *Technischen Universität München*, Munich, Germany
- Chaturvedi, K., Yao, Z., Kolbe, T. H.** (2019), Integrated Management And Visualization Of Static And Dynamic Properties Of Semantic 3D City Models. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-4/W17, 2019, Kuala Lumpur, Malaysia, Doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W17-7-2019
- Cura, R., Perret, J., Paparoditis, N.** (2018), A State of The Art of Urban Reconstruction Street, Street Network, Vegetation, Urban Feature. *Université Paris-Es*, Saint Mandé, France
- Czyńska, K., Rubinowicz, P.** (2014), Application of 3D Virtual City Models In Urban Analyses Of Tall Buildings - Today Practice and Future Challenges. *ARCHITECTURAE et ARTIBUS - 1*, Szczecin, Poland, pp.9-13
- Demir, C.** (2016), 3D-GIS Based Procedural Modeling in Contemporary Urban Planning and Practice. *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, Turkey
- Deng, F., Zhang, Z., Zhang, J.** (2005), Construct 3D City Model By Multi-Sensor Data. *ISPRS Workshop*, XXXVI (4/W6), Hangzhou, China
- Destruel, C., Valorge, C.** (2004), Automatic 3D Rendering of High Resolution Space Images. *ISPRS, Commission V, WG V/6, Vol. XXXVI-5/W1*, Pitsanulok, Thailand
- Dimitrov, H. Petrova-Antonova, D.** (2021), 3D City Model As A First Step Towards Digital Twin Of Sofia City. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B4-2021, pp.23–30, Doi:10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2021-23-2021
- Dobraja, L.** (2015), Procedural 3D modeling and visualization of geotypical Bavarian rural buildings in Esri CityEngine software. *Technische Universität München*, Munich, Germany
- Döllner, J., Kolbe, T.H., Liecke, F., Sgouros, F., Teichmann, K.** (2006), The Virtual 3d City Model Of Berlin - Managing, Integrating And Communicating Complex Urban Information. *Proceedings of the 25th International Symposium on Urban Data Management*, Aalborg, Denmark

- Duan, L.** (2014), Exploring The Use Of Three-Dimensional Urban Simulation To Model Form-Based Codes Regulations. *University Of Florida*, Florida, USA
- Dursun, I., Varlik, A., Ayyildiz, E.** (2022), Integration And Web-Based Presentation Of 3D City Models And BIM Data: The Case Of The Köyceğiz Campus. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B4-2022, Nice, France, Doi:10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2022-513-2022
- Edvardsson, K.N.** (2013), 3D GIS Modeling Using ESRI's CityEngine. *University Jaume I i Castellón de la Plana a Spáni*, Spain
- Eggert, D., Paelke, V.** (2010), Relevance-Driven Acquisition And Rapid On-Site Analysis of 3D Geospatial Data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38, Part II, pp.118-123, Doi:10.15488/1129
- El Haje, N.** (2018), A Heterogeneous Data-Based Proposal for Procedural 3D Cities Visualization and Generalization. *Universite de Toulouse*, Toulouse, France
- Emem, O., Batuk, F.** (2004), Generating Precise And Accurate 3D City Models Using Photogrammetric Data. *ISPRS, Comission IV, WG IV/6*, Vol. XXXV Part B4, Istanbul, Turkey, pp.431-436
- Emilien, A.** (2017), Combining Procedural Modeling With Intuitive User Control. *Université de Montréal*, Montréal, Canada
- Ennafii, O., Le Bris, A., Lafarge, F., Mallet, C.** (2019), Scalable Evaluation of 3D City Models. *IGARSS - International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Yokohama, Japan
- Eriksson, H., Harrie, L.** (2021), Versioning of 3D City Models for Municipality Applications: Needs, Obstacles and Recommendations. *International Journal of Geo-Information* Vol:10 I:2, Online, pp.55, Doi:10.3390/ijgi10020055
- Eriksson, H., Johansson, T., Olsson, P. O., Andersson, M., Engvall, J., Hast, I., Harrie, L.** (2020), Requirements, Development, and Evaluation of A National Building Standard—A Swedish Case Study. *International Journal of Geo-Information* 9(2), 78, Basel, Switzerland, Doi:10.3390/ijgi9020078
- Erving, A., Rönnholm, P., Nuikka, M.** (2009), Data Integration From Different Sources To Create 3d Virtual Model. *ISPRS Commission V - WG 4*, Trento, Italy
- Falquet, G., Métral, C.** (2005), Integrating Urban Knowledge into 3D City Models. Workshop on Next Generation 3D City Models, *EuroSDR Publication #49*, Bonn, Germany
- Fan, H.** (2010), Integration of time-dependent features within 3D city model. *Technischen Universität München*, Munich, Germany
- Fan, H., Meng, L., Jahnke, M.** (2009), Generalization of 3D Buildings Modelled by CityGML. *Advances in GIScience*, Hannover, Germany, pp.387–405, Doi:10.1007/978-3-642-00318-9_20

- Fan, H., Meng, L., Stilla, U.** (2008), A Concept for Integrating Time-Dependent Features in 3D Building Models. *ISPRS, Commission*, Vol. XXXVII. Part B, Beijing, China
- Flamanc, D., Maillet, G.** (2005), Evaluation of 3D City Model Production From Pleiades-HR Satellite Images and 2D Ground Maps. *Proc. of URBAN'2005*, Arizona, USA
- Flamanc, D., Maillet, G., Jibrini, H.** (2003), 3D City Models An Operational Approach Using Aerial Images And Cadastral Maps. *ISPRS, Commission III*, WG III/3, Vol. XXXIV, Part 3/W8, Munich, Germany
- Frank, A.U., Fuhrmann, T., Navratil, G.** (2012), Extending 3D City Models with Legal Information. *Usage, Usability, and Utility of 3D City models*, Vienna, Austria , Doi:10.1051/3u3d/201202003
- Garcia-Sanchez, C., Vitalis, S., Paden, I., Stoter J.** (2021), The impact of level of detail in 3D city models for CFD-based wind flow simulations. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVI-4/W4-2021, New York, USA, pp.67–72, Doi:10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W4-2021-67-2021
- Girindran, R., Boyd, D. S., Rosser, J., Vijayan, D., Long, G., Robinson, D.** (2020), On the Reliable Generation of 3D City Models from Open Data. *Urban Science*, Online, Doi:10.3390/urbansci4040047
- Goetz, M., Zipf, A.** (2012), Towards Defining A Framework For The Automatic Derivation of 3D CityGML Models From Volunteered Geographic Information. *International Journal of 3-D Information Modeling (IJ3DIM)*, 2012, vol. 1, issue 2, pp.1-16, Doi:10.4018/ij3dim.2012040101
- Gomes de Castro, M. S., Brédif, M.** (2022), Projective Multitexturing Of Current 3D City Models And Point Clouds With Many Historical Images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B4-2022, Nice, France, Doi:10.5194/isprs-annals-V-4-2022-213-2022
- Gruen, A., Li, Z., Wang, X.** (2003), 3D City Modeling with TLS (Three-Line Scanner) Data. *ISPRS, Commission*, Vol. XXXIV-5/W10, Scuol-Tarasp, Switzerland
- Guercke, R., Brenner, C., Sester, M.** (2009), Generalization of 3D City Models As A Service. *ISPRS, Workshop on Quality, Scale and Analysis Aspects of City Models*, XXXVIII-2/W11, Lund, Sweden
- Guler, D., Yomralioglu, T.** (2022), The Role of Open Standards in Digital Building Permitting, 3D Registration of Condominium, and Update of 3D City Models. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-4/W1-2022, Florence, Italy, Doi:10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W1-2022-167-2022
- Güner, N. G.** (2018), A Procedural 2D Road Network Generation Approach. *Middle East Technical University*, Ankara, Turkey

- Haala, N., Kada, M., Becker, S., Böhm, J., Alshawabkeh, Y.** (2006), Graphics Tools For The Generation of Large Scale Urban Scenes. *ISPRS, XXXVI/part4/WG-IV-4-8*
- Haala, N., Kölle, M., Cramer, M., Laupheimer, D., Zimmermann, F.** (2022), Hybrid Georeferencing of Images and LiDAR Data for UAV-based Point Cloud Collection at Millimetre Accuracy. *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol:4, Online, Doi:10.1016/j.ophoto.2022.100014
- Hadimlioglu, I. A., King, S. A.** (2019), City Maker: Reconstruction of Cities from OpenStreetMap Data for Environmental Visualization and Simulations. *ISPRS International Journal of Geo-Information - 2019*, 8, 298, Online, pp.1-17, Doi:10.3390/ijgi8070298
- Hairuddin, A., Azri, S., Ujang, U., Cuétara M.G., Retortillo, G. M., Mohd Salleh, S.** (2019), Development Of 3D City Model Using Videogrammetry Technique. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-4/W16, Kuala Lumpur, Malaysia, Doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W16-221-2019
- Harrie, L., Kanters, J., Mattisson, K., Nezval, P., Olsson, P. O., Pantazatou, K., Kong, G., Fan, H.** (2022), 3D City Models For Supporting Simulations In City Densifications. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVI-4/W4-2021, New York, USA, Doi:10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W4-2021-73-2021
- He, S.** (2012), Production and Visualization of Levels of Detail for 3D City Models. *Centrale Nantes*, Nantes, France
- Herman, L.** (2021), User Evaluation Of Interactive Thematic 3D City Models – Application Of Asynchronous Remote Testing Method. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume VIII-4/W2-2021, New York City, USA, pp.13–20, Doi:10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-13-2021
- Hu, X., Zhou, Y., Shi, Q.** (2022), Method for 2D-3D Registration under Inverse Depth and Structural Semantic Constraints for Digital Twin City. *Applied Sciences*, Vol:12 I:17, Online, pp.8543, Doi:10.3390/app12178543
- Huang, F.** (2014), CityGML-Based 3D GIS Visualization In The Cloud Environment. *Computer Modelling and New Technologies*, 18(12B), Fujian, China, pp.91-98
- Huang, J., Stoter, J., Peters, R., Nan, L.** (2022), City3D: Large-Scale Building Reconstruction from Airborne LiDAR Point Clouds. *Remote Sensing*, Vol:14 I:9, Online, pp.2254, Doi:10.3390/rs14092254
- Jaillot, V., Rigolle, V., Servigne, S., Samuel, J., Gesquière, G.** (2021), Integrating multimedia documents and time-evolving 3D city models for web visualization and navigation. *Transactions in GIS*, Vol:25, I:3, Online, pp.1419-1438, Doi:10.1111/tgis.12734

- Jaillot, V., Servigne, S., Gesquière, G.** (2020), Delivering time-evolving 3D city models for web visualization. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol:34 I:10, Online, pp.2030-2052, Doi:10.1080/13658816.2020.1749637
- Jain, K., Gurjar, S.P.S., Mandla, V.R.** (2013), Virtual 3D City Modeling Techniques and Application. *ISPRS, 8th 3DGeoInfo Conference & WG II/2 Workshop*, Vol. XL-2/W2, Istanbul, Turkey, Doi:10.5194/isprsarchives-XL-2-W2-73-2013
- Jogling, A.** (2017), Open Data Sources for 3D Data Visualisation: Generating 3D Worlds based on OpenStreetMaps Data. *International Conference on Information Visualization Theory and Applications*, Porto, Portugal
- Jovanović, D., Milovanov, S., Ruskovski, I., Govedarica, M., Sladić, D., Radulović, A., Pajić, V.** (2020), Building Virtual 3D City Model for Smart Cities Applications: A Case Study on Campus Area of the University of Novi Sad. *ISPRS International Journal of Geo-Information* Vol:9 I:8, Online, pp.476, Doi:10.3390/ijgi9080476
- Judge, S.** (2019), Visualizing the third dimension: Map guidelines for a 3D detailed development plan. *Lund University*, Lund, Sweden
- Julin, A., Jaalama, K., Virtanen, J.P., Pouke, M., Ylipulli, J., Vaaja, M., Hyypä, J., Hyypä, H.** (2018), Characterizing 3D City Modeling Projects: Towards a Harmonized Interoperable System. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2018,7, 55, pp.2-18, Doi:10.3390/ijgi7020055
- Kada, M., McKinley, L.** (2009), 3D Building Reconstruction from Lidar Based on a Cell Decomposition Approach. *IAPRS, Commission III*, Vol. XXXVIII, Part 3/W4, Paris, France, pp.47-52
- Kavisha, M.** (2015), CityGML Based Interoperability For The Transformation of 3D Data Models. *Geoinformatics at Indian Institute of Remote Sensing*, Dehradun, India
- Kelly, G.** (2008), An Interactive System for Procedural City Generation. *Institute of Technology Blanchardstown*, Dublin, Ireland
- Kelly, G., McCabe, H.** (2006), A Survey of Procedural Techniques for City Generation. *The ITB Journal*: Vol. 7: Iss. 2, Article 5, Dublin, Ireland, Doi:10.21427/D76M9P
- Kemec, S., Ertugay, K., Duzgun, H.S.** (2007), Emergency State Health Service Accessibility Visualization in A 3D City Environment. *ISPRS, DGfK and ICA Joint Workshop "Visualization and Exploration of Geospatial Data"*, Stuttgart, Germany
- Kemec, S., Zlatanova, S., Duzgun, S.** (2012), A New LOD Definition Hierarchy For 3D City Models Used For Natural Disaster Risk Communication Tool. *4th International Conference on Cartography & GIS*, Albena, Bulgaria
- Khorasani, M. K.** (2017), Generating an Ideal Feature List and Recommending Software for Video Game Procedural Urban Modeling. *Turku University of Applied Science*, Turku, Finland
- Kim, J.S., Kavak, H., Crooks, A.** (2018), Procedural City Generation Beyond Game Development. *SIGSPATIAL Special*, Doi:10.1145/3292390.3292397

- Kim, K., Wilson, J.P.** (2015), Planning and Visualising 3D Routes for Indoor and Outdoor Spaces Using CityEngine. *Journal of Spatial Science*, Vol. 60, No. 1, USA, pp.179-193, Doi:10.1080/14498596.2014.911126
- Klimke, J.** (2018), Web-based provisioning and application of large-scale virtual 3D city models. *University of Potsdam*, Potsdam, Germany, Doi:10.25932/publishup-42805
- Koc, Z.** (2017), A Multi-LOD Approach For Privacy Enabled 3D Building Model. *İstanbul Teknik Üniversitesi*, Istanbul, Turkey
- Kocaman, S., Zhang, L., Gruen, A., Poli, D.** (2006), 3D City Modeling From High-Resolution Satellite Images. *ISPRS, Commission I, WG I/5, WG I/6*, Zurich, Switzerland, Doi:10.3929/ethz-b-000158058
- Kolbe, T.H., Gröger, G., Plümer, L.** (2005), CityGML - Interoperable Access to 3D City Models. *Geo-information for Disaster Management*, Heidelberg, Germany, pp.883–899, Doi:10.1007/3-540-27468-5_63
- Krapf, S., Willenborg, B., Knoll, K., Bruhse, M., Kolbe, T. H.** (2022), Deep Learning For Semantic 3d City Model Extension: Modeling Roof Superstructures Using Aerial Images For Solar Potential Analysis. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume X-4/W2-2022, Sydney, Australia, Doi:10.5194/isprs-annals-X-4-W2-2022-161-2022
- Kumar, K., Labetski, A., Ledoux, H., Stoter, J.** (2019), An Improved LOD Framework For The Terrains In 3D City Models. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume IV-4/W8, 2019, Singapore, Doi:10.5194/isprs-annals-IV-4-W8-75-2019
- Kutzner, T., Chaturvedi, K., Kolbe, T. H.** (2020), CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, volume 88, pp.43–61, Doi:10.1007/s41064-020-00095-z
- Lei, B., Stouffs, R., Biljecki, F.** (2022), Assessing and benchmarking 3D city models. *International Journal of Geographical Information Science*, Singapore, Doi:10.1080/13658816.2022.2140808
- Leon-Sanchez, C., Agugiaro, G., Stoter, J.** (2022), Creation Of A CityGML-Based 3D City Model Testbed For Energy-Related Applications. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-4/W5-2022, Sydney, Australia, Doi:10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W5-2022-97-2022
- Li, Y., Liu, F., Li, M., Zhang, C., Han, S., Wang, C., Tang, W.** (2017), PCA based 3D City Model Generalization for Electricity Simulation. *Procedia Computer Science* Vol:122, Jinan, China, pp.603-608, Doi:10.1016/j.procs.2017.11.412
- Löwner, M.O., Gröger, G., Benner, J., Biljecki, F., Nagel, C.** (2016), Proposal for a New LOD and Multi-Representation Concept for CityGML. *ISPRS, 11th 3D GeoInfo Conference*, Volume IV-2/W1, Athens, Greece

- Malumpong, C., Chen, X.** (2008), Interoperable 3D GIS City Modeling with Geo-Informatics Techniques and 3D Modeling Software. *IAPRS*, Vol. XXXVII. Part B2, Beijing, China
- Mao, B.** (2011), Visualisation and Generalisation of 3D City Models. *Royal Institute of Technology*, Stockholm, Sweden
- Mao, B., Ban, Y., Harrie, L.** (2009), A Framework For Generalization of 3D City Models Based On CityGML and X3D. *ISPRS, Commission VI, WG II/2*, Lund, Sweden
- Mao, B., Ban, Y., Laumert, B.** (2020), Dynamic Online 3D Visualization Framework for Real-Time Energy Simulation Based on 3D Tiles. *ISPRS International Journal of Geo-Information* Vol:9 I:3, Online, pp.166, Doi:10.3390/ijgi9030166
- Mao, B., Harrie, L., Cao, J., Wu, Z., Shen, J.** (2014), NoSQL Based 3D City Model Management System. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-4, 2014, Suzhou, China, pp.169–173, Doi:10.5194/isprsarchives-XL-4-169-2014
- Martinovic, A.** (2015), Inverse Procedural Modeling of Buildings. *KU Leuven*, Heverlee, Belgium
- Merrell, P., Manocha, D.** (2011), Model Synthesis A General Procedural Modeling Algorithm. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Volume: 17, Issue: 6, USA, pp.715 - 728, Doi:10.1109/TVCG.2010.112
- Métral, C., Falquet, G., Cutting-Decelle, A.F.** (2009), Towards Semantically Enriched 3D City Models An Ontology-Based Approach. Berlin : *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), ISPRS Archives; XXXVIII-3-4/C3*, Vancouver, Canada, pp.40-45
- Morlighem, C., Labetski, A., Ledoux, H.** (2022), Reconstructing historical 3D city models. *Urban Informatics*, Online, pp.1:11, Doi:10.1007/s44212-022-00011-3
- Moser, J., Albrecht, F., Kosar, B.** (2010), Beyond Visualisation - 3D GIS Analyses For Virtual City Models. *ISPRS, Commission IV, WG IV/8*, Vol. XXXVIII-4/W15, Berlin, Germany
- Muñumer Herrero, E., Ellul, C., Cavazzi, S.** (2022), Exploring Existing 3d Reconstruction Tools for the Generation of 3d City Models at Various Lod From a Single Data Source. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-4/W4-2022, Sydney, Australia, Doi:10.5194/isprs-annals-X-4-W2-2022-209-2022
- Musialski, P., Wonka, P., Aliaga, D., Wimmer, M., Van Gool, L., Purgathofer, W.** (2013), A Survey of Urban Reconstruction. *Computer Graphics Forum* 32(6), pp.146-177, Doi:10.1111/cgf.12077

- Nex, F., Remondino, F.** (2012), Automatic Roof Outlines Reconstruction From Photogrammetric DSM. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume I-3, Melbourne, Australia, Doi:10.5194/isprsannals-I-3-257-2012
- Nguyen, S. H., Kolbe, T. H.** (2021), Modelling Changes, Stakeholders And Their Relations In Semantic 3D City Models. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVI-4/W4-2021, New York, USA, Doi:10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-137-2021
- Noardo, F., Harrie, L., Otori, K. A., Biljecki, F., Ellul, C., Krijnen, T., Eriksson, E., Guler, D., Hintz, D., Jadidi, M. A., Pla, M., Sanchez, S., Soini, V. P., Stouffs R., Tekavec, J., Stoter, J.** (2020), Tools for BIM-GIS Integration (IFC Georeferencing and Conversions): Results from the GeoBIM Benchmark 2019. *International Journal of Geo-Information*, 9, 502, Basel, Switzerland, Doi:10.3390/ijgi9090502
- Noardo, F., Otori, K. A., Biljecki, F., Ellul, C., Harrie, L., Krijnen, T., Eriksson, H., Liempt, J.V., Pla, M., Ruiz, A., Hintz, D., Krueger, N., Leoni, C., Leoz, L., Moraru, D., Vitalis, S., Willkomm, P., Stoter, J.** (2020), Reference study of CityGML software support: The GeoBIM benchmark 2019. *Transactions in GIS*, wileyonlinelibrary.com/journal/tgis, pp.1–27, Doi:10.1111/tgis.12710
- Otori, K. A.** (2020), azul: A fast and efficient 3D city model viewer for macOS. *Transactions in GIS* Vol:24 I:5, Wiley Online Library, pp.1165-1184, Doi:10.1111/tgis.12673
- Özdoğan, Ş., Başaraner, M.** (2013), Modeling Level of Detail in CityGML Standard. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Ankara, Turkey
- Paden, I., García-Sánchez, C., Ledoux, H.** (2022), Towards automatic reconstruction of 3D city models tailored for urban flow simulations. *Frontiers in Built Environment* Vol: 8, Delft, Netherlands, Doi:10.3389/fbuil.2022.899332
- Palliwalla, A., Songb, S., Tanb H. T. W., Biljeckic, F.** (2020), 3D city models for urban farming site identification in buildings. *Computers, Environment and Urban Systems*, vol:86, Singapore
- Parish, Y.I.H., Müller, P.** (2001), Procedural Modeling of Cities. SIGGRAPH '01: *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp.301-308, Doi:10.1145/383259.383292
- Patrick Würstle, P., Santhanavanich, T., Padsala, R., Coors, V.** (2020), The Conception of an Urban Energy Dashboard using 3D City Models. *e-Energy '20: Proceedings of the Eleventh ACM International Conference on Future Energy Systems*, pp.523–527, Doi:10.1145/3396851.3402650
- Pepe, M., Costantino, D., Alfio, V. S., Voza, G., Cartellino, E.** (2021), A Novel Method Based on Deep Learning, GIS and Geomatics Software for Building a 3D City Model from VHR Satellite Stereo Imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information* Vol:10 I:10, Online, pp.697, Doi:10.3390/ijgi10100697

- Podevyn, M.** (2012), Developing an Organisational Framework for Sustaining Virtual City Models. *Northumbria University*, United Kingdom
- Prandi, F., De Amicis, R., Piffer, S., Soave, M., Cadzow, S., Gonzalez Boix, E., D'Hondt, E.** (2013), Using Citygml to Deploy Smart-City Services For Urban Ecosystems. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. Commission VI, WG VI/4*, London, United Kingdom, Doi:10.5194/isprsarchives-XL-4-W1-87-2013
- Prandi, F., Soave, M., Devigili, F., Andreolli, M., De Amicis, R.** (2014), Services Oriented Smart City Platform Based On 3d City Model Visualization. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. Commission IV/5*, Suzhou, China, Doi:10.5194/isprsannals-II-4-59-2014
- Ross, L.** (2010), Virtual 3D City Models in Urban Land Management. *Technischen Universität Berlin*, Berlin, Germany, Doi:10.14279/depositonce-2744
- Rottensteiner F., Paparoditis N.** (2009), Competing 3D Priors For Object Extraction in Remote Sensing Data. *IAPRS, Commission III*, Vol. XXXVIII, Part 3/W4, Paris, France, pp.127-132
- Roumpani, F.** (2018), The Role of Procedural Cities in the Future of Planning: An Integrated Method. *University College London*, London, England
- Rua, H., Falcão, A.P., Roxo, A.F.** (2013), Digital Models – Proposal for the Interactive Representation of Urban Centres. *City Modelling-Volume 1 - Computation and Performance - eCAADe 31*, Delft, Netherlands, pp.265-273
- Saeedi, S., Samadzadegan, F., El-Sheimy, N.** (2009), Object Extraction from Lidar Data using an Artificial Swarm Bee Colony Clustering Algorithm. *IAPRS, Commission III*, Vol. XXXVIII, Part 3/W4, Paris, France, pp.133-138
- Salheb, N.** (2019), Automatic Conversion Of CityGML To IFC. *Delft University of Technology*, Delft, Netherland
- Salheb, N., Ogori, K. A., Stoter, J.** (2020), Automatic Conversion Of CityGML To IFC. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIV-4/W1-2020, London, UK
- Sanjaya, K., Henning, F., Purba, K.R.** (2017), 3D LIDAR City Model Application and Marketing Plan Development. *2017 International Conference on Soft Computing, Intelligent System and Information Technology*, Denpasar, Indonesia, pp.238-242, Doi:10.1109/ICSIT.2017.50
- Santhanavanich, T.** (2018), Visualization and Analysis of E-bike Usage in 3D City Model by Integration of Heterogeneous Sensor Data. *Hochschule für Technik Stuttgart*, Stuttgart, Germany, Doi:10.3929/ethz-b-000158058
- Santhanavanich, T., Würstle, P., Padsala, R., Coors, V.** (2022), Digital 3D City Models Towards Urban Data Platform using OGC 3D GeoVolumes API. *Three-country conference of the DGPF, the OVG and the SGPF*, Dresden, Germany

- Saran, S., Oberai, K., Wate, P., Konde, A., Dutta, A., Kumar, K., Kumar, A. S.** (2018), Utilities of Virtual 3D City Models Based on CityGML: Various Use Cases. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 46(6), pp.957–972, Doi:10.1007/s12524-018-0755-5
- Schaubroeck, S., Dewil, R., Allacker, K.** (2022), Circularity of building stocks: modelling building joints and their disassembly in a 3D city model. *29th CIRP Life Cycle Engineering Conference, Procedia CIRP*, Vol:105 I:11, Leuven, Belgium, pp.712-720, Doi:10.1016/j.procir.2022.02.119
- Schorcht, M., Hecht, R., Meinel, G.** (2022), Comparative Study on Matching Methods for the Distinction of Building Modifications and Replacements Based on Multi-Temporal Building Footprint Data. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* Vol:11 I:2, Online, pp.91, Doi:10.3390/ijgi11020091
- Scianna, A., Ammoscato, A.** (2010), 3D GIS Data Model Using Open Source Software. *ISPRS, Commission IV, ICWG IV/8*, Haifa, Israel
- Sengul, A.** (2012), Extracting Semantic Building Models From Aerial Stereo Images And Conversion To Citygml. *ISPRS, Commission III, WG IV*, Vol. XXXIX-B3, Melbourne, Australia, pp.321–324, Doi:10.5194/isprsarchives-XXXIX-B3-321-2012
- Senyurdusev, G. & Dogru, A. O.** (2021), Akıllı Şehir Uygulamaları İçin Prosedürel 3B Kent Modeli Oluşturulması ve Fotorealistik 3B Görselleştirme, *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 2(2), 67-75. Doi:10.48123/rsgis.950887
- Setyawan, A. A., Taftazani, M. I., Bahri, S., Noviana, E. D., Faridatunnisa, M.** (2022), Drone LiDAR Application For 3D City Model. *Journal of Applied Geospatial Information*, Vol:6 No:1, Online, pp.572-576, Doi:10.30871/jagi.v6i1.3462
- Shah, S., Ruparel, F.** (2021), Modelling Building Shadows on Rooftop Generating 3D City Model. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, Vol:9 I:11, Gujarat, India, pp.1905-1912, Doi:10.22214/ijraset.2021.39626
- Shirinyan, E., Petrova-Antonova, D.** (2022), Modeling Buildings in CityGML LOD1: Building Parts, Terrain Intersection Curve, and Address Features. *ISPRS International Journal of Geo-Information* Vol:11 I:3, Online, pp.166, Doi:10.3390/ijgi11030166
- Siegert, F.** (2011), Very Advanced 3D Landscape Models. Wichmann/VDE Verlag, *Belin & Offenbach, Photogrammetric Week'11*, Munich, Germany, pp.295-303
- Simon, L.** (2011), Procedural Reconstruction of Buildings: Towards Large Scale Automatic 3D Modeling of Urban Environments. *Ecole Centrale de Paris*, Paris, France
- Singh, S.P., Jain, K., Mandla, V.R.** (2014), Image Based 3d City Modeling: Comparative Study. *ISPRS, Technical Commission V*, Vol. XL-5, Riva del Garda, Italy, pp.537-546, Doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-537-2014

- Slade, J.** (2018), Automatic Semantic and Geometric Enrichment of CityGML 3D Building Models of varying Architectural Styles with HOG-based Template Matching. *Cardiff University*, Cardiff, Wales
- Sliaa, A. E.** (2022), Evaluation of Digital Twin implementations in Facility Management – A systematic review. *Jönköping University*, Jönköping, Sweden
- Stadler, A., Kolbe, T.** (2012), Spatio-Semantic Coherence In The Integration of 3D City Models. *ISPRS, Commission II, WG II/7*
- Stamos, I.** (2009), Automated 3D Modeling of Urban Environments. *BulletIn des Sciences Geographiques* No:23, pp.40-45
- Steinhage, V., Behley, J., Meisel, S., Cremers, A. B.** (2010), Automated updating and maintenance of 3d city models. *ISPRS Archive Vol. XXXVIII*, Part 4-8-2-W9, "Core Spatial Databases - Updating, Maintenance and Services", Haifa, Israel
- Stelios Vitalis, S., Otori, K. A., Stoter, J.** (2019), Incorporating Topological Representation in 3D City Models. *ISPRSInternational Journal of Geo-Information* Vol:8 I:8, Online, pp.347, Doi:10.3390/ijgi8080347
- Stendardo, L., Spera, R., Campi, M., Cera, V., di Luggo, A.** (2022), Urban Design Strategies For The Upcycling Of Urban Infrastructure Residual Pockets: 3D City Modelling From Open Data and Low-Cost Rapid Mapping Tools. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-3/W2-2022, Beijing, China, pp.59–65, Doi:10.5194/isprs-archives-XLVIII-3-W2-2022-59-2022
- Stilla, Uwe., Soergel, Uwe., Jäger, K.** (2000), Generation of 3D City Models And Their Utilisation In Image Sequences. *IAPRS, WG III/3, Vol. XXXV* Part B4, Amsterdam, Netherlands
- Sun, J.** (2019), The Integration of 3D Geodata and BIM Data in 3D City Models and 3D Cadastre. *KTH Royal Institute of Technology*, Stockholm, Sweden
- Takase, Y., Sho, N., Sone, A., Shimiya, K.**, (2003), Automatic Generation of 3D City Models and Related Applications. *ISPRS, Commission V, WG V/6, Vol. XXXIV-5/W10*
- Taletović, J., Ključanin, S.** (2021), A Modern Base Map and 3D City Model Production - A Case Study "City of Sarajevo". *Advanced Technologies, Systems, and Applications VI*, Online, pp.684–693, Doi:10.1007/978-3-030-90055-7_55
- Tarantino, E., Figorito, B.** (2011), Extracting Buildings from True Color Stereo Aerial Images Using a Decision Making Strategy. *Remote Sens. 2011*, 3(8), Bari, Italy, pp.1553-1567, Doi:10.3390/rs3081553
- Tekavec, J., Lisec, A., Rodrigues, E.** (2020), Simulating Large-Scale 3D Cadastral Dataset Using Procedural Modelling. *ISPRS International Journal of Geo-Information* Vol:9, I:10, MDPI, pp.598, Doi:10.3390/ijgi9100598

- Toschi, I., Nocerino, E., Remondino, F., Revolti, A., Soria, G., Piffer, S.** (2017), Geospatial Data Processing for 3d City Model Generation, Management and Visualization. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-1/W1, Hannover, Germany
- Tunc, E., Karsli, F., Ayhan, E.** (2004), 3D City Reconstruction By Different Technologies To Manage And Reorganize The Current Situation. *ISPRS, Commission IV, WG IV/6*, Istanbul, Turkey
- Uggla, M., Olsson, P., Abdi, B., Axelsson, B., Calvert, M., Christensen, U., Gardevärn, D., Hirsch, G., Jeansson, E., Kadric, Z., Lord, J., Loreman, A., Persson, A., Setterby, O., Sjöberger, M., Stewart, P., Rudenå, A., Ahlström, A., Bauner, M., Hartman, K., Pantazatou, K. D., Wenjing, L., Fan, H., Kong, G., Li, H., Harrie, L.** (2023), Future Swedish 3D City Models—Specifications, Test Data, and Evaluation. *International Journal of Geo-Information* Vol:12 I:2, Online, pp.47, Doi:10.3390/ijgi12020047
- Ujang, U., Azri, S., Zahir, M., Abdul Rahman, A., Choon, T. L.** (2018), Urban Heat Island Micro-Mapping Via 3D City Model. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-4/W10, 2018, Delft, Netherlands, pp.201-207, Doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W10-201-2018
- Ullrich, T., Schinko, C., Fellner, D. W.** (2010), Procedural Modeling in Theory and Practice. *18th WSCG International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision*, Plzen, Czech Republic
- Ulm, K.** (2003), Improved 3D City Modeling with CyberCity Modeler Using Aerial, Satellite Imagery and Laser Scanner Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIV-5/W10, Engadin, Switzerland
- Vallet, B., Pierrot-Deseilligny, M., Boldo, D.** (2009), Building Footprint Database Improvement for 3D Reconstruction: a Direction Aware Split and Merge Approach. *IAPRS, Commission III*, Vol. XXXVIII, Part 3/W4, Paris, France, pp.139-144
- Vandysheva, N., Sapelnikov, S., Van Oosterom, P., De Vries, M., Spiering, B., Wouters, R., Hoogeveen, A., Penkov, V.** (2012), The 3D Cadastre Prototype and Pilot in the Russian Federation. *FIG Working Week 2012*, Rome, Italy
- Vasiljevs, M.** (2018), Procedural Modelling of Park Layouts. *Vienna University of Technology*, Vienna, Austria
- Viitanen, H.** (2016), Procedural City Generation Tool With Unity Game Engine. *Karelia University of Applied Sciences*, Joensuu, Finlandiya
- Virtanen, J.-P., Jaalama, K., Puustinen, T., Julin, A., Hyypä, J., Hyypä, H.** (2021), Near Real-Time Semantic View Analysis of 3D City Models in Web Browser. *ISPRS International Journal of Geo-Information* Vol:10 I:3, Online, pp.138, Doi:10.3390/ijgi10030138

- Vitalis, S., Arroyo Ohoiri, K., Stoter, J.** (2018), A Framework For The Representation Of Two Versions Of A 3d City Model In 4D Space. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-4/W6, Delft, Netherlands, pp.81–88, Doi:10.5194/isprs-annals-IV-4-W6-81-2018
- Vitalis, S., Arroyo Ohoiri, K., Stoter, J.** (2022), Applying Versioning To Multi-Lod 3D City Models. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-4/W4-2022, Sydney, Australia, Doi:10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W4-2022-177-2022
- Vitalis, S., Labetski, A., Arroyo Ohoiri K., Ledoux, H., Stoter J.** (2019), A Data Structure To Incorporate Versioning In 3D City Models. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume IV-4/W8, 2019, Singapore, Doi:10.5194/isprs-annals-IV-4-W8-123-2019
- Wang, Q., Yan, L., Zhang, L., Ai, H.B., Lin, X.** (2016), A Semantic Modelling Framework-Based Method for Building Reconstruction from Point Clouds. *Remote Sensing*, Vol. 8 Issue 9, pp.737, Doi:10.3390/rs8090737
- Weissenberg, J.** (2014), Inverse Procedural Modelling and Applications. *ETH Zurich*, Zurich, Switzerland, Doi:10.3929/ethz-a-010349813
- Weissenberg, J., Riemenschneider, H., Prasad, M., Gool, L.V.** (2013), Is there a Procedural Logic to Architecture?. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Portland, USA, Doi:10.1109/CVPR.2013.31
- Wen, W., Kjems, E., Bodum, L., Kolar, J.** (2010), Dynamic Features In A 3D City Model As An Energy System. *ISPRS, Commission IV, WG IV/8*, Vol. XXXVIII-4/W15, Berlin, Germany
- Widl, E., Agugiaro, G., Peters-Anders, J.** (2021), Linking Semantic 3D City Models with Domain-Specific Simulation Tools for the Planning and Validation of Energy Applications at District Level. *Sustainability*, Vol:13 I:16, Online, pp.8782, Doi:10.3390/su13168782
- Wong, K.** (2018), Towards a National 3D Mapping Product for Great Britain. *University College London*, London, England
- Yanbing, W., Lixin, W., Wenzhong, S., Xiaomeng, L.** (2007), On 3D GIS Spatial Modeling. *ISPRS Workshop on Updating Geo-spatial Databases with Imagery & The 5th ISPRS Workshop on DMGISs*, pp.237-239
- Yao, Z., Nagel, C., Kunde, F., Hudra, G., Willkomm, P., Donaubauer, A., Adolphi T., H. Kolbe, T. H.** (2018), 3DCityDB - a 3D geodatabase solution for the management, analysis, and visualization of semantic 3D city models based on CityGML. *Open Geospatial Data, Software and Standards* Vol:3 I:5, Online, Doi:10.1186/s40965-018-0046-7
- Yastıklı, N., Cetin, Z., Uçok, U., Kocdemir, K.H.** (2017), Fotogrametrik Harita ve LiDAR Verileri ile 3B Kent Modeli Üretimi. *TMMOB-HKMO*, 16. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Turkey

- Ying, M., Jingjue, J., Fulin, B.** (2002), 3D City Model Supporting For CCTV Monitoring System. *ISPRS, Commission IV, WG IV/6*, Ottawa, China
- Ying, Y., Koeva, M., Kuffer, M., Zevenbergen, J.** (2023), Toward 3D Property Valuation—A Review of Urban 3D Modelling Methods for Digital Twin Creation. *ISPRS International Journal of Geo-Information* Vol:12 I:1, Online, pp.2, Doi:10.3390/ijgi12010002
- Yücel, M. A., Selçuk, M.** (2009), Level of Detail (LoD) Concept in Three Dimensional City Modeling. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2009/2 Sayı 101, Ankara, Turkey
- Zhai, Z. K., Zhao, W. H., Liu, J. J., Liu, J. W., Gao, Y., Che, J.** (2022), Database Construction and Integrated Display Of 3D City Modeling Data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-3/W2-2022, Beijing, China, pp.85–90, Doi:10.5194/isprs-archives-XLVIII-3-W2-2022-85-2022
- Zhixuan, Y., Tuladhar, A., Rajabifard, A.** (2015), 3D City Governance: Towards an Integrated Sustainability. *Proceedings of International workshop on the role of land professionals and SDI in disaster risk reduction : in the context of Post 2015 Nepal Earthquake, Kathmandu, Nepal*, pp.32-46
- Zhu, Q., Li, F., Zhang, Y.** (2005), Unified Representation Of Three Dimensional City Models. *ISPRS Workshop on Service and Application of Spatial Data Infrastructure*, XXXVI(4/W6), Hangzhou, China
- Zhu, W.** (2018), 3D Modeling of City Building and Lifecycle Simulation. University of Technology of Compiègne, Compiègne, France
- Zlatanova, S., Itard, L., Kibria, M. S., Van Dorst, M.** (2010), A User Requirements Study of Digital 3D Models for Urban Renewal. *Open House International* Vol 35, No.3, Warrington, United Kingdom, Doi:10.1108/OHI-03-2010-B0005

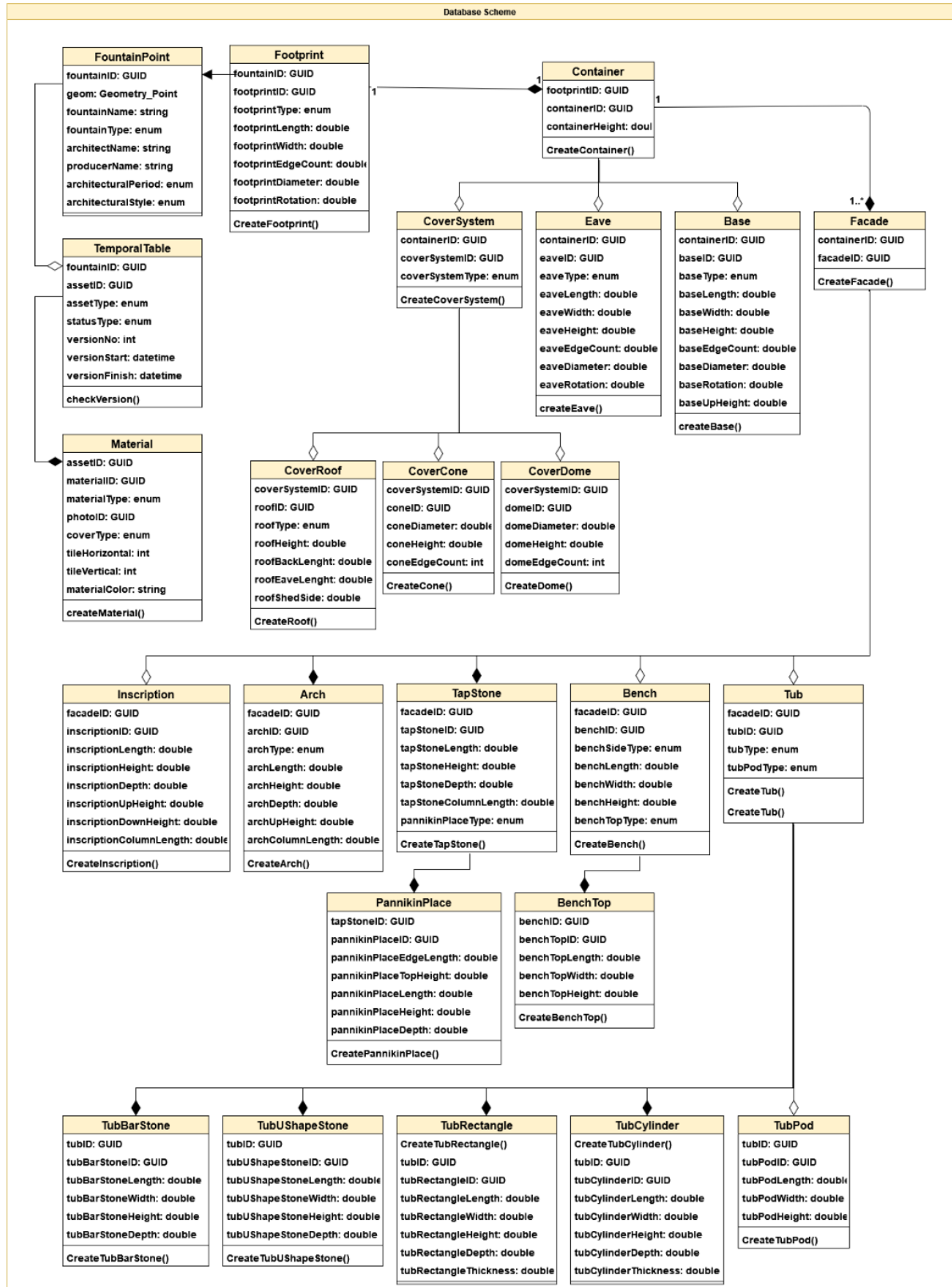


EKLER

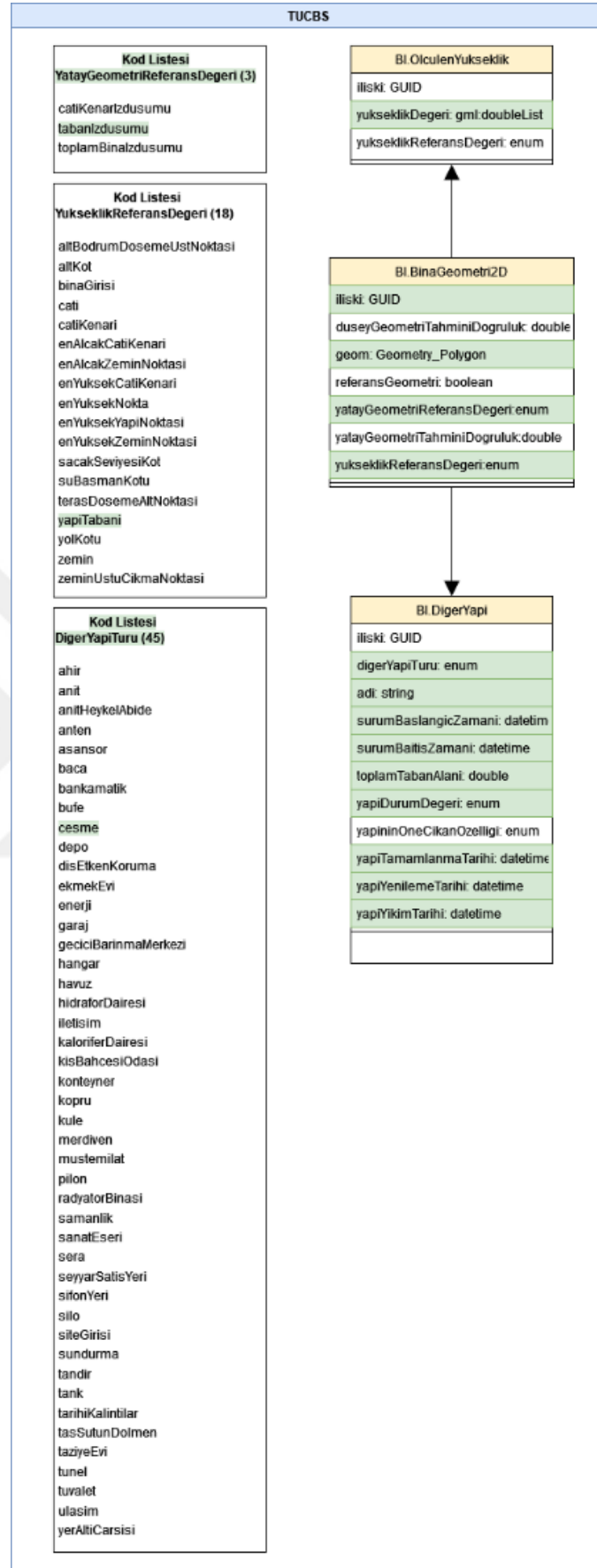
EK A: Tarihi eşme Veri Modeli UML Diyagramı



EK A: Tarihi Çeşme Veri Modeli UML Diyagramı



Şekil A.1 : Tarihi çeşme veri modeli UML diyagramı



Şekil A.2 : TUCBS “Diğer Yapı” veri modeli UML diyagramı

Code List					
<< enumeration >> ArchitecturalPeriod 15thCentury 16thCentury 17thCentury 18thCentury 19thCentury 20thCentury	<< enumeration >> FootprintType rectanglePrism squarePrism pentagonPrism hexagonPrism octagonPrism cylinder	<< enumeration >> BaseType rectanglePrism squarePrism pentagonPrism hexagonPrism octagonPrism cylinder	<< enumeration >> AssetType container coverSystem eave base inscription arch tapStone bench tub	<< enumeration >> TubType none barStone uShapeStone rectangleTub cylinderTub	<< enumeration >> materialType realImage cutStone marble oldStone brick wooden
<< enumeration >> ArchitecturalStyle classic baroc imperial neo-classic	<< enumeration >> RoofType flat gable hip shed rectanglePrism	<< enumeration >> EaveType rectanglePrism squarePrism pentagonPrism hexagonPrism octagonPrism cylinder	<< enumeration >> ArchType rectanglePrism squarePrism pentagonPrism hexagonPrism octagonPrism cylinder	<< enumeration >> TubPodType none rectanglePod cylinderPod	<< enumeration >> coverType strelch tile
<< enumeration >> FountainType wall square column	<< enumeration >> Cover SystemType roof dome cone	<< enumeration >> statusType outOfUse inUse ruin		<< enumeration >> pannikinPlace none pannikin	<< enumeration >> bench SideType right left
				<< enumeration >> benchTopType none rectangle cylinder	

Şekil A.3 : Tarihi çeşme veri modeli Kod Listesi

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Güçlü ŞENYURDUSEV

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2004, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans :** 2008, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2020 – devam, Proje Yöneticisi, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi.
- 2014 – 2020, 3B Kent Modeli Şefi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi
- 2012 – 2014, Proje Yöneticisi, ESRI Turkey / İşlem GIS
- 2009 – 2012, Proje Müdürü, Himtek Mühendislik
- 2005 – 2006, Geomatik Mühendisi, Başarsoft Bilgi Teknolojileri
- 2003 – 2009, 3D Environment Artist, oDesk

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Senyurdusev, G. Dogru, A. O.:** Infrastructure for 3D Modeling of Historical Fountains in Istanbul with GIS-Based Procedural Approach, Geomatics and Environmental Engineering. vol. 18(2), 2024, pp. 51–72. <https://doi.org/10.7494/geom.2024.18.2.51>
- **Senyurdusev, G. Dogru, A. O.** 2023. Tarihi Çeşmelerin Prosedürel Yöntem İle 3 Boyutlu Olarak Modellenmesi ve TUCBS İle Entegrasyonu, ICREDM2023 III. Uluslararası Gayrimenkul Geliştirme Ve Yönetimi Konferansı. Ankara, Türkiye.
- **Senyurdusev, G. Dogru, A. O.** 2023. Dijital İkiz Üretiminde Prosedürel Modelleme Yaklaşımı, ICREDM2023 III. Uluslararası Gayrimenkul Geliştirme Ve Yönetimi Konferansı. Ankara, Türkiye.
- **Senyurdusev, G. Dogru, A. O.** 2022. 3 Boyutlu Prosedürel Modelleme Destekli Tarihi İstanbul Çeşmeleri Veritabanı Altyapısının TUCBS ile Entegrasyonu, TMMOB 7. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi. Ankara, Türkiye.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Senyurdusev, G. Dogru, A. O.** 2022. İSKİ Dijital İkiz: Web Tabanlı 3 Boyutlu Altyapı Bilgi Sistemi, TMMOB 7. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi. Ankara, Türkiye.

- **Senyurdusev, G. Dogru, A. O.** 2021. A Database Infrastructure Design for 3D Modeling of Historical Istanbul Fountains with Procedural Approach, ISAG21 International Symposium On Applied Geoinformatics. Riga, Latvia. <https://doi.org/10.15659/isag2021.12532>
- **Şenyurdusev, G. & Doğru, A. Ö.** 2021. Akıllı Şehir Uygulamaları İçin Prosedürel 3B Kent Modeli Oluşturulması ve Fotorealistik 3B Görselleştirme, Turkish Journal of Remote Sensing and GIS, 2(2), 67-75. <https://doi.org/10.48123/rsgis.950887>
- **Senyurdusev, G. Dogru, A. O. & Ulugtekin, N. N.** 2020. Exploring The Opportunities Of Open Source Data Use In Creation 3D Procedural City Models, 8th International Conference on Cartography and GIS, (pp.619-627). Nessebar, Bulgaria, ISSN: 1314-0604
- **Senyurdusev, G. & Dogru, A. O.** 2020. An Alternative Approach For Creating 3d City Model Using Procedural Modeling, 8th International Conference on Cartography and GIS, (pp.648-655). Nessebar, Bulgaria, ISSN: 1314-0604
- **Senyurdusev, G. & Dogru, A. O.** 2019. Akıllı Şehir Yönetimi İçin Prosedürel 3B Kent Modeli Oluşturulması ve Fotorealistik 3B Görselleştirme, 6. CBS Kongresi, Ankara, Türkiye.
- **Senyurdusev, G. & Akatay, V.** 2019. İstanbul Solar Energy Potential Map, ENSCON'19 – Autumn | International Congress of Energy, Economy and Security, İstanbul, Türkiye.
- **Senyurdusev, G. & Akatay, V.** 2019. İstanbul Solar Energy Potential Map, Enscon'19 Autumn, Full Script Paper Book, (pp.236-244). İstanbul, Türkiye, ISBN: 978-605-80577-6-0