

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BÜTÜNLEŞİK KENT BİLGİ SİSTEMLERİNE YÖNELİK ULUSAL
KONUMSAL 3 BOYUTLU VERİ STANDARTLARININ GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Serpil ATEŞ AYDAR

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BÜTÜNLEŞİK KENT BİLGİ SİSTEMLERİNE YÖNELİK ULUSAL
KONUMSAL 3 BOYUTLU VERİ STANDARTLARININ GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Serpil ATEŞ AYDAR
(501102605)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU

AĞUSTOS 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**DEVELOPMENT OF NATIONAL SPATIAL 3 DIMENSIONAL GEO-DATA
STANDARDS FOR INTEGRATED URBAN INFORMATION SYSTEMS**

Ph.D. THESIS

**Serpil ATEŞ AYDAR
(501102605)**

Department of Geomatics Engineering

Geomatics Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU

AUGUST 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501102605 numaralı Doktora Öğrencisi Serpil ATEŞ AYDAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BÜTÜNLEŞİK KENT BİLGİ SİSTEMLERİNE YÖNELİK ULUSAL KONUMSAL 3 BOYUTLU VERİ STANDARTLARININ GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nihat Enver ÜLGER**
Okan Üniversitesi

Doç. Dr. Turan ERDEN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Himmet KARAMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **23 Mayıs 2023**
Savunma Tarihi : **7 Ağustos 2023**

Umut ve Ayaz'a,

ÖNSÖZ

Çalışmam süresince bilgi ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu uzun süreçte sabır göstererek desteğini esirgemeyen tez izleme komitesindeki değerli hocalarım Nihat Enver ÜLGER ve Turan ERDEN'e,

Tez çalışmam sırasında yurt dışına giderek Hollanda'da konusunda uzman değerli akademisyenler ile çalışma fırsatı bulabilmemi 2214-A Yurtdışı Doktora Sırası Araştırma Programı ile destek vererek sağlayan TÜBİTAK'a,

Çalışmanın özellikle uygulama aşamasında tüm sorularıma usanmadan cevap veren Hollanda TuDelft Teknoloji Üniversitesi'nden Prof. Jantien Stoter ve Doç. Dr. Hugo Ledoux'e,

Mesleki bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan ve emeklerini esirgemeyen Arif Çağdaş Aydınoglu ve canım dostum Elif Demir ÖZBEK'e teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki emekleri, katkıları özellikle yazım aşamasında sorularımla bunalıttığım arkadaşlarım Ezgi Candaş'a ve Mehmet Furkan Çelik'e,

Herkesten ve her şeyden ayrı, her zaman yanımda olan, tüm üzüntü ve sevinçlerimi paylaşan değerli aileme,

Umut'a ve Ayaz'a

Sevgi ve Teşekkürlerimle...

Mayıs 2023

Serpil ATEŞ AYDAR
(Harita Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı.....	3
1.2 Çalışmanın Amacı	5
1.3 Metodoloji	6
1.4 Literatür Çalışması	8
2. TEMEL KAVRAMLAR	17
2.1 Üç-Boyutlu (3B) Coğrafi Veri	17
2.2 CityGML ve Coğrafi Veri Modelleme	17
2.2.1 CityGML ve coğrafi veri modelleme kapsamı	17
2.2.2 Çok ölçekli gösterim	20
2.2.3 Semantik.....	21
2.2.4 Kapatma yüzeyleri	21
2.2.5 Geometri ve topoloji	22
2.2.6 Arazi kesişme eğrileri	23
2.2.7 Görünüm	24
2.2.8 Dış referanslar	24
2.2.9 Genişletilebilirlik	25
2.3 3B Veri Standartları	26
2.3.1 3B grafik ve görselleştirme standartları	26
2.3.2 CityGML perspektifinden 3B görselleştirme.....	27
2.3.3 3B veri standartlarının karşılaştırılması	28
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR	31
3.1 Ulusal 3B Coğrafi Veri Modeli Gereksinimi	31
3.2 CityGML-TRKBİS Veri Modellerinin Entegrasyonu.....	33
3.2.1 TRKBİS UML modelleme yaklaşımı	33
3.2.2 CityGML UML diyagramlarının uygulamaya özel genişletilmesi	34
3.2.3 UML ile CityGML ADE modelleme yaklaşımı	35
3.2.4 TRKBİS'in CityGML ADE olarak modellenmesi.....	36
3.2.4.1 Resmi modelleme dilinin seçilmesi	36
3.2.4.2 CityGML jenerik sınıfları ve uygulamaya ait semantik sınıflar arasındaki benzerliklerin belirlenmesi	37
3.2.4.3 Genişletilecek alt sınıfların belirlenmesi.....	37
3.2.4.4 TRKBİS sınıflarının CityGML altsınıfları olarak modellenmesi	38

3.2.4.5 Kod listelerinin ADE içerisinde kullanımı	38
3.2.4.6 TRKBİS ADE geometri ve topolojisi	38
3.3 CityGML-TRKBİS Uygulama Alanı Uzantısı (ADE) Geliştirilmesinde Model Bazlı Yaklaşım.....	39
3.3.1 CityGML-TRKBİS.BI (Bina) veri modeli	39
3.3.1.1 CityGML.Building (Bina) veri modeli.....	39
3.3.1.2 TRKBİS.BI veri modeli	43
3.3.1.3 CityGML-TRKBİS.BI veri modelinin üretilmesi	45
3.3.2 CityGML-TRKBİS.AK (AraziKullanımı) veri modeli.....	48
3.3.2.1 CityGML.LandUse (AraziKullanımı) veri modeli.....	48
3.3.2.2 TRKBİS.AK veri modeli.....	49
3.3.2.3 CityGML-TRKBİS.AK veri modelinin üretilmesi	50
3.3.3 CityGML-TRKBİS.KM (KentMobilyası) veri modeli	51
3.3.3.1 CityGML.CityFurniture (KentMobilyası) veri modeli	51
3.3.3.2 TRKBİS.KM veri modeli	52
3.3.3.3 CityGML-TRKBİS.KM veri modelinin üretilmesi.....	54
3.3.4 CityGML-TRKBİS.BO (Bitki Örtüsü) veri modeli	55
3.3.4.1 CityGML.Vegetation (BitkiÖrtüsü) veri modeli.....	55
3.3.4.2 TRKBİS.BO veri modeli.....	56
3.3.4.3 CityGML-TRKBİS.BO veri modelinin üretilmesi.....	57
3.3.5 CityGML-TRKBİS.UL (Ulaşım) veri modeli.....	58
3.3.5.1 CityGML.Transportation (Ulaşım) veri modeli	58
3.3.5.2 TRKBİS.UL veri modeli	58
3.3.5.3 CityGML-TRKBİS.UL veri modelinin üretilmesi.....	63
3.3.6 CityGML-TRKBİS.SK (SuKütlesi) veri modeli.....	68
3.3.6.1 CityGML.WaterBody (SuKütlesi) veri modeli	68
3.3.6.2 TRKBİS.SK veri modeli	70
3.3.6.3 CityGML-TRKBİS.SK veri modelinin üretilmesi	71
4. BULGULAR	73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR.....	83
EKLER.....	95
EK A: CityGML Veri Modeli – TRKBİS Veri Modeli Eşleme Analizleri.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	101

KISALTMALAR

ADE	: Application Domain Extension (Uygulama Alanı Genişleticisi)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CityGML	: City Geography Markup Language
GDM	: Genel Detay Modeli
GKM	: Genel Kavramsal Model
GML	: Geographic Markup Language (Coğrafi İşaretleme Dili)
GSDI	: Global Spatial Data Infrastructure
GSDIA	: Küresel Konumsal Veri Altyapısı Birliğı
INSPIRE	: Avrupa Konumsal Veri Altyapısı
ISO	: International Organisation for Standardization
KBS	: Kent Bilgi Sistemleri
LoD	: Level of Detail (Ayrıntı Düzeyi)
OGC	: Open Geospatial Consortium (Açık Coğrafi Veri Komitesi)
TIC	: Terrain Intersation Curve (Arazi Kesişim Eğrisi)
TRKBİS	: Türkiye Kent Bilgi Sistemi Standartları
TUCBS	: Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi
UML	: Unified Modelling Language (Birleşik Modelleme Dili)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : 3B kent modelleri uygulamaları.	9
Çizelge 2.1 : 3B veri standartların karşılaştırılması	29
Çizelge 3.1 : CityGML-TRKBİS veri temaları eşleme özet çizelgesi.....	47
Çizelge 3.2 : CityGML.LandUse-TRKBİS.AK veri temaları eşleme özet çizelgesi.	50
Çizelge 3.3 : CityGML.LandUse-TRKBİS.AK veri temaları eşleme özet çizelgesi.	54
Çizelge 3.4 : CityGML.Vegetation-TRKBİS.BO veri temaları eşleme özet çizelgesi..	57
Çizelge A.1 : CityGML.Building – TRKBİS.Bina veri modelleri eşleme tablosu. ..	96
Çizelge A.2 : CityGML.Transportation – TRKBİS.Ulaşım veri modelleri eşleme tablosu.	97
Çizelge A.3 : CityGML.Transportation – TRKBİS.Karayolu veri modelleri eşleme tablosu.	97
Çizelge A.4 : CityGML.Transportation – TRKBİS.Demiryolu veri modelleri eşleme tablosu.	99
Çizelge A.5 : CityGML.Transportation – TRKBİS.Denizyolu veri modelleri eşleme tablosu.	99
Çizelge A.6 : CityGML.WaterBody – TRKBİS.SuKütlesi veri modelleri eşleme tablosu.	100

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Metodoloji	7
Şekil 1.2 : 3B Kent Modelleri Kullanım Alanları.	8
Şekil 1.3 : Yıllık güneş ışıınımı	11
Şekil 1.4 : Enerji Atlas Berlin.....	11
Şekil 1.5 : Gürültü simülasyon verisi.	12
Şekil 1.6 :Hollanda Rotterdam şehrine ait karmaşık kadastro parsel kullanımı ve kadastral harita üzerinde gösterimi.	13
Şekil 2.1 :CityGML UML paketleri ve birbirleri ile ilişkileri.....	19
Şekil 2.2 :CityGML ayrıntı düzeyi kavramı.....	21
Şekil 2.3 :CityGMLkapanma yüzeyleri.....	23
Şekil 2.4 :CityGML arazi kesişme eğrisi.....	24
Şekil 2.5 :CityGML dış referans kapsamı	25
Şekil 3.1 : CityGML bina modeli UML diyagramı.	40
Şekil 3.2 : TRKBİS Bina UML modeli	45
Şekil 3.3 : CityGML-TRKBİS.BI ADE veri modeli UML diyagramı.	48
Şekil 3.4 : CityGML.LandUse veri modeli UML diyagramı	49
Şekil 3.5 : TRKBİS Arazi Kullanımı Veri Teması.....	50
Şekil 3.6 : CityGML-TRKBİS.AK ADE veri modeli UML diyagramı.	51
Şekil 3.7 : CityGML Kent Nesnesi veri modeli UML diyagramı.	52
Şekil 3.8 : TRKBİS.KM veri modeli UML diyagramı.....	53
Şekil 3.9 : CityGML-TRKBİS.KM veri modeli UML diyagramı.....	55
Şekil 3.10 : CityGML Bitki Örtüsü veri modeli UML diyagramı.	56
Şekil 3.11 : TRKBİS.BO veri modeli UML diyagramı.....	56
Şekil 3.12 : CityGML-TRKBİS.BO veri modeli UML diyagramı.....	57
Şekil 3.13 : CityGML Transportation veri modeli UML diyagramı.	58
Şekil 3.14 : TRKBİS.UL temel sınıflar veri teması UML diyagramı.	60
Şekil 3.15 : TRKBİS.UL veri teması karayolu veri modeli UML diyagramı.	61
Şekil 3.16 : TRKBİS.UL Demiryolu veri modeli UML diyagramı.....	62
Şekil 3.17 : TRKBİS.UL Denizyolu veri modeli UML diyagramı.	63
Şekil 3.18 : CityGML-TRKBİS.UL Temel Sınıflar veri modeli UML diagramı....	65
Şekil 3.19 : CityGML-TRKBİS.UL Karayolu veri modeli UML diyagramı.	66
Şekil 3.20 : CityGML-TRKBİS.UL Demiryolu veri modeli UML diyagramı.....	67
Şekil 3.21 : CityGML-TRKBİS.UL Denizyolu veri modeli UML diyagramı.	68
Şekil 3.22 : CityGML.WaterBody veri modeli UML diyagramı.	70
Şekil 3.23 : TRKBİS.SK veri modeli UML diyagramı.	71
Şekil 3.24 : CityGML-TRKBİS.SK veri modeli UML diyagramı.	72

BÜTÜNLEŞİK KENT BİLGİ SİSTEMLERİNE YÖNELİK ULUSAL KONUMSAL 3 BOYUTLU VERİ STANDARTLARININ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Farklı uygulama alanlarında farklı detay seviyesindeki gösterimlere olan gereksinimin artması ile 3 Boyutlu (3B) coğrafi bilgi sistemi kavramı ortaya çıkmıştır. 3B kent modelleri bir çok uygulama alanında kullanılmak üzere yüksek çözünürlüklü bilgi potansiyeli ortaya koymakla birlikte gün geçtikçe bir çok şehirde kullanılan standart modeller olarak benimsenmeye başlanmıştır. Klasik 2B haritalamaya göre gerçek dünya nesnelerinin birebir modellenmesini gerektiren gürültü tahmini, taşkın modelleme, gölge tahmini gibi uygulamalarda 3B modeller bir çok ek bilgi sunarak daha etkin çözümlerin üretilmesinde fayda sağlamaktadır. 2B coğrafi verilerin yetersiz kaldığı karmaşık nesnelerin modellenmesi çalışmalarında kullanılmak üzere ortak kent bilgi modelinin tasarlanması ile 3B coğrafi verinin yaşamı boyunca geliştirilebileceği bir çerçeve sunulmaktadır.

3B coğrafi veri uygulamalarının daha çok önem kazandığı günümüzde devlet birimlerinin de 3B coğrafi veri üretimine katkısı kaçınılmazdır. Bir çok belediye 3B kent rehberi uygulamaları geliştirmekte ve bir çok yazılım firması 3B model oluşturma ve paylaşma konularında hizmet vermektedir. Üniversiteler ve kurumlar 3B veri toplama ve veri servisleri konusunda araştırmalar yapmaktadır. Ancak 3B model oluşturma ve 3B haritalama işlemlerinde kurum ve şirketler verinin üretim aşamasından kullanıcıya ulaştırılmasına kadar geçen sürede bir çok problem ile karşılaşmaktadır. Ülke genelinde 2B coğrafi veri üreten kurumların 3B coğrafi veri üretiminde karşılaştıkları en büyük sorun 3B coğrafi verinin 2B coğrafi veriden türetilmesinde seçilecek yöntemin belirlenmesidir. 3B kent modellerini farklı uygulama alanlarında kullanabilmek için farklı standart ve veri formatları arasında dönüşüm yapılırken bir çok veri kaybı ortaya çıkmaktadır. Uluslararası örnek veri modelleri incelendiğinde 3B coğrafi veri yönetimi kapsamında yapılan çalışmalarda farklı yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir. Bu farklılıklar 3B kent modellerinin birlikte çalışabilirliği konusunda bir çok soruna sebep olmaktadır. Ortak bir uluslararası coğrafi veri modeli kullanılarak tüm bu birlikte çalışabilirlik problemlerine çözüm bulunmuş olacaktır.

3B coğrafi veriye erişimin önceki yıllara oranla oldukça kolaylaşmış olduğu ancak 3B coğrafi veri kullanımının hala düşük seviyede ve genellikle görselleştirme amaçlı olduğu görülmektedir. Uluslararası CityGML veri standardı kapsamında 3B coğrafi verinin standardizasyonunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. 3B kent modelleri için iyi bir coğrafi veri modeli ve XML-tabanlı bir veri değişim formatı olan CityGML kavramı ile modellerin sadece görselleştirme amacı ile değil, tematik sorgular, analiz görevleri ya da mekansal veri toplama için kullanılabiliyor standartta olması amaçlanmıştır.

Tez çalışmasında Türkiye Kent Bilgi Sistemi Standartları (TRKBIS)'in, uluslararası CityGML coğrafi veri modeli semantik ve geometrik kurallarına göre yeniden

modellenmesi ile 3B CityGML-TRKBİS veri modeli üretilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda kullanıcı ihtiyaçları belirlenerek 3B coğrafi veri formülize edilebilecek, farklı kaynaklardan elde edilen 3B coğrafi verilerin birlikte çalışabilirlik esasları tanımlanmış olacak ve 2B ve 3B coğrafi veriler arasında tutarlılık sağlanarak 3B coğrafi veriye yönelik ulusal politikaların geliştirilebilmesi için temel bir coğrafi veri değişim formatı belirlenmiş olacaktır.

Bu amaçla OGC tarafından geliştirilen ve uluslararası 3B coğrafi veri modeli olarak kabul edilen CityGML, TRKBİS gereksinimlerini karşılayacak şekilde UML modelleme dili kullanılarak genişletilmiş ve CityGML-ADE (Uygulama Alanı Uzantısı) olarak yeniden modellenmiştir. UML ile CityGML genişletme çalışmalarında kullanılacak teknik prensipler CityGML teknik dökümanında açıklanmamış olduğundan Hollanda'da gerçekleştirilen 3D Pilot projesi kapsamında geliştirilen yaklaşım temel alınmıştır. Tez çalışması kapsamında Türkiye ulusal coğrafi veri modeline uygun olarak UML ADE içerisinde CityGML sınıflarının genişletilmesi ve bu genişletmenin XML şemasında kodlanması arasında bir eşleme sağlayan kodlama kuralları tasarlanmıştır. Kavramsal olarak CityGML veri modelinin bir uzantısı olarak tasarlanmış olan TRKBİS'in CityGML alt sınıfları olarak modellenmesi uygun bulunmuştur.

Çalışma kapsamında CityGML ve TRKBİS veri modelleri arasında ortak sınıflar ve öznelik değerleri tüm CityGML detay seviyeleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Kavramların semantik düzeyde karşılaştırıldığı bu eşleme tekniğinde her iki veri modelini oluşturan bileşenlerin çok iyi analiz edilmesi ve anlaşılması gerekmektedir. Eşleme çalışmasında ana prensip mümkün olduğunca CityGML veri modelini değiştirmemektir. Birebir eşlenik sınıfların bulunamadığı durumlarda TRKBİS'in yeniden modellenmesi ya da yeni bir sınıf oluşturularak CityGML'in genişletilmesi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Genişletilecek alt sınıflar belirlendikten sonra TRKBİS detay tipleri CityGML detay tiplerinin alt bileşenleri olarak tanımlanmıştır. CityGML kapsamında kullanımı zorunlu olmayan kod listeleri tanımlanmış olduğundan geliştirilen 3B TRKBİS modelinde mevcut kod listelerinin kullanımına devam edilmiştir.

Oluşturulan ADE ile Türkiye'de mevcut büyük ölçekli coğrafi veri standardı (TRKBİS) ve CityGML uluslararası 3B coğrafi veri standardı entegre edilerek her iki standardı kapsayan ulusal 3B coğrafi veri modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni model 2B-2.5B ve 3B coğrafi objelerin tümünü temsil etmektedir. Ulusal ölçekte 3B veri değişimini olanaklı kılacak 3BTRKBİS veri modeli ile CityGML 3B veri setlerinin benimsenmesi daha hızlı olacak ve 3B coğrafi verinin kullanım düzeyi artacaktır. Yazılım geliştiricilerin CityGML'e daha fazla destek vermeleri sağlanarak ülke çapında birbirine uyumlu 3B coğrafi veri sağlanacak ve coğrafi veri dönüşümü için gerekli maliyetler daha aza indirgenecektir. Ayrıca geliştirilen model gelecekte 3B coğrafi veriler için yapılacak teknik ve yasal düzenlemelerde bir altlık olarak kullanılabilecektir.

DEVELOPMENT OF NATIONAL SPATIAL 3 DIMENSIONAL GEO-DATA STANDARDS FOR INTEGRATED URBAN INFORMATION SYSTEMS

SUMMARY

Information Technologies are in a position to affect economic, social and cultural systems in the contemporary world. The success of the decision makers depends on the existence of effective decision-support systems. In order to be able to establish such systems, reliable and correct information is essential on the first hand. The amount of the geospatial data has increased significantly within the past two decades as a result of the increase in the number and variety of geospatial data providers and sensor technology. According to statistics, the data collected every year increases at least twice as much as the previous year, and a large percentage of this information is defined as geospatial data.

In general terms, standardization is the process of establishing and implementing certain rules to spatial data in order to provide common format for interoperability. This process specifically requires the cooperation of all parties and institutions and will beneath economic benefits in relation to a particular activity. On the other hand, interoperability is also expressed as the ability of a system to use the functions of another system or process within the framework of common standards. Thus, with the use of common standards in business processes, information sharing and integration between different organizations is ensured. The concept of Geospatial Data Infrastructure (GDI) has emerged with the need for the use of geographic data that can work integrated with different institutions, coordinated production, standardization and sharing of geographic information at local, regional, national and international levels. Therefore, GDI can be considered as a framework of standards, policies and technologies that enable the effective use and sharing of geographic data. Geographic data standardization is important for making the right decision, reducing human-induced effects on geographic data, eliminating the factors that force the use of geographic data, facilitating data exchange, easy and fast communication between institutions, and creating national and/or international GDI.

In Urban Information Systems (UIS) studies, developing internet technologies have been directly effective in providing open access to geographic data over electronic communication networks. ISO/TC211 and OGC initiatives can be considered as the most important triggering force which aims to provide interoperability of geographic data. Hence, local, regional, national and international GDI studies are mostly based on ISO/TC211 and OGC standards in geographic data management.

Current technologies are utilized in urban design and urban management studies from past to present. While 2D maps have been used in the visualization of the earth for centuries, with the development of Geographic Information Systems (GIS), it has become possible to perform urban analysis. With the increase in the world's population, Computer Aided Design (CAD) is an effective source for spatial analysis, but it is also used in the evaluation of new developments by enriching the existing

information of the city with metadata such as population density, regional statistics. Furthermore, 3D and 4D (temporal) geographic data is required in many services that are under the responsibility of local governments. Therefore, the importance of 3D geographic data has increased in recent years significantly.

Technological developments in the generation, storage and utilization of 3D geographic data have accelerated in recent years. Many municipalities are developing 3D city guide applications and many software companies are providing services in 3D model creation and sharing. Also, universities and institutions all around the world are conducting many researches on 3D data collection and data services. However, in the process of 3D model creation and 3D mapping, institutions and companies face many problems from the production stage of the data to the delivery of it to end-users. For this reason, advanced methods need to be applied in many areas from the derivation of 3D geographic data to the use of developing technologies in this field. When international sample data models are examined, it is clearly seen that many different approaches are used in the studies carried out within the scope of 3D geographic data management. It is clear that access to 3D geographic data has become much easier compared to previous years, but the use of 3D geographic data is still at a low level and generally for visualization purposes.

While the studies on spatial data infrastructure are multifaced, the requirements for 3D modelling representations with different levels of detail required for various purposes have increased. Meeting these requirements by using different types of data and tools from different sources has led to the need to develop standards in 3D modelling. CityGML is one of these modelling approaches which was developed at TU Berlin, Germany and was originally defined as a data exchange format. However, it was later developed as an information model representing 3D geographic data. CityGML is a good geographic data model and XML-based data exchange format for 3D urban models. With the concept of CityGML, the need for 3D geodata standard that can be used for all visualization, thematic queries and analysing purposes have been met.

The CityGML standard, which was developed for the purpose of defining objects in cities, expands the type of objects it represents with its current version CityGML 3.0 and supports many objects in the environment and city models. Although significant progress has been made in the standardization of 3D geographic data within the scope of the international CityGML data standard, it is obvious that the necessary software support is still not at the desired level.

In today's world where 3D geographic data applications are gaining more and more importance, the contribution of government units to 3D geographic data production becomes inevitable. The biggest problem faced by institutions that produce 2D geographic data throughout the country in 3D geographic data production is the determination of the method to be chosen in the conversion of 2D geographic data into 3D geographic data.

Since the detail catalogs and data standards of the Turkish National Geographic Information System (TUCBS) and Turkish Urban Information System (TRKBIS), which have been adopted on a national scale in Turkey, are still in the pilot implementation phase, it is naturally impossible to talk about National 3D Geographic Data Standards. For this reason, the object-oriented approach, relationships, feature types and topology definitions of TRKBIS, which is a large-scale geographic data standard, should be modelled within the scope of the CityGML data model and extended to 3D geographic data.

The study aims to produce a 3D CityGML-TRKBIS data model by remodeling the Turkish Urban Information System Standards (TRKBIS) according to the semantic and geometric rules of the international CityGML geographic data model. In this context, 3D geographic data will be formulated by determining user needs, interoperability principles of 3D geographic data obtained from different sources will be defined, and a basic geographic data exchange format will be determined for the development of national policies for 3D geographic data by ensuring consistency between 2D and 3D geographic data. For this purpose, CityGML, which was developed by OGC and accepted as an international 3D geographic data model, was extended using UML modeling language to meet the requirements of TRKBIS and remodeled as CityGML-ADE (Application Domain Extension). Since the technical principles to be used in CityGML extension studies with UML are not explained in the CityGML technical document, the approach developed within the scope of the 3D Pilot project carried out in the Netherlands was taken as basis. Within the scope of the thesis study, coding rules that provide a mapping between the extension of CityGML classes in UML ADE and the encoding of this extension in XML schema have been designed in accordance with the national geographic data model of Turkey. Conceptually designed as an extension of the CityGML data model, it was found appropriate to model TRKBIS as CityGML subclasses.

In the scope of the study, common classes and attribute values between CityGML and TRKBIS data models were determined by considering all CityGML detail levels. After determining the subclasses to be extended, TRKBIS feature types were defined as subclasses of CityGML feature types. Since code lists that are not mandatory to be used within the scope of CityGML defined, the existing code lists were continued to be used in the developed 3D TRKBIS model. By integrating the existing large-scale geographic data standard in Turkey (TRKBIS) and CityGML international 3D geographic data standard, a national 3D geographic data model covering both standards was developed. The study provides new insights into 3D applications in Turkey. The generated 3D geo-data model will be used as a common exchange format that meets 2D, 2.5D and 3D implementation needs at national level. With the 3DTRKBIS data model that will enable 3D data exchange on a national scale, the adoption of CityGML 3D datasets will be faster and therefore the level of data utilization will increase. Integrated and interoperable 3D geographic data will be provided throughout the country so the costs required for geographic data transformation will be reduced. In addition, the developed model can be used as a basis for future technical and legal regulations for 3D geographic data.

1. GİRİŞ

3B kent modelleri bir çok ülkede karşılaşılan yaygın nüfus artışı ve kentleşme problemlerinin çözümü kapsamında kentsel planlama girişimleri tarafından daha fazla ilgi çekmeye başlamıştır. Daha büyük ve çok nüfuslu şehirlerin oluşması ile güncel şehir altyapılarının sağlanması kapsamında sistem bakımı amacı ile kullanılan kaynakların artması ile kent yönetimi daha karmaşık bir hale gelmiştir. Geçmişten günümüze kentsel tasarım ve yönetim çalışmalarında güncel teknolojilerden faydalanılmaktadır. Yeryüzünün görselleştirilmesi çalışmalarında yüzyıllardır 2B haritalar kullanılmakta iken Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin gelişimi ile kentte analizlerin yapılabilmesi olanaklı hale gelmiştir (Yap ve diğ, 2023). Dünya nüfusunun artması ile Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design-CAD) konumsal analizler için etkili bir kaynak olmakla birlikte kente ait mevcut bilgiler nüfus yoğunluğu, bölgesel istatistikler gibi metaveriler ile zenginleştirilerek gelişmiş birlikte yeni gelişmelerin değerlendirilmesi kapsamında da kullanılmaktadır. Yerel yönetimlerin sorumluluğunda olan atık su yönetimi, imar, enerji kullanımı ve kentsel kaynak yönetimi gibi konularda 3B ve 4B (zamansal) coğrafi veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda 3B coğrafi verinin önemi son yıllarda daha çok artmıştır (Pouliot ve diğ, 2011; Lei ve diğ, 2023)

3B kent modelleri kamu ve özel sektörde yapılan bir çok haritacılık işleminde çeşitli uygulama alanlarında kullanılmak üzere yüksek çözünürlüklü bilgi potansiyeli ortaya koymaktadır. Mimarlık, kent ve ulaşım planlaması, ölçme ve mobil telekomünikasyon alanlarında bilinen uygulamaların yanı sıra şehir ve bölge pazarlaması, turizm, yaya ve araç navigasyonu, sivil savunma (afet yönetimi), gayrimenkul yönetimi (bankalar, sigorta şirketleri), ve tesis yönetimi v.b. uygulamalarda da 3B coğrafi veri kullanımı hızla artmaktadır (Labetski ve diğ, 2023).

Konumsal veri lokal ölçekten global ölçeğe kadar bir çok ölçekte elde edilebilmektedir. 3B kent modellerinde karşılaşılan en genel problemlerden bir tanesi kullanıcıların etkin görselleştirme amacı ile farklı ölçeklerdeki nesneleri birlikte kullanma veya analiz görevleri içerisinde en yüksek detay seviyesindeki gösterimi

kullanma eğilimi olarak tanımlanabilir (Arroyo Ogori, 2020; biljecki ve diğ, 2021; Labetski ve diğ, 2023). Her iki durumda da bir konumsal nesnenin 2 veya daha fazla kere dikkate alınmamış ya da hesaplanmamış olması sağlanmalıdır. Otomatik tutarlılık denetimini etkin hale getirmek için bir nesnenin farklı ölçeklerdeki konumsal gösterimleri arasındaki ilişkilerin açık olması gerekmektedir.

Son yıllarda giderek kullanımı artan 3B coğrafi veri üretimi, depolanması ve kullanılması amacı ile geliştirilen teknolojiler hakkında geniş bir literatür oluşmuştur. 3B coğrafi veri maliyetleri önemli miktarda azaltılmış olmasına rağmen bir çok kurum ve kuruluş günlük işlemlerinde 3B coğrafi veri teknolojilerini kullanamamaktadır. Kurumlarda çalışan personelin 3B coğrafi veri alanındaki bilgi eksikliği ve Konumsal Veri Altyapısı (Spatial Data Infrastructure-SDI) içerisinde 3B coğrafi verinin yönetilmesi hakkında genel bir yaklaşımın olmaması gibi nedenler bu duruma sebep olarak gösterilebilir (Stoter ve diğ, 2011). Bu kapsamda 3B standardizasyon kavramı ortaya çıkmış ve dünyada bir çok girişim tarafından 3B coğrafi veri standartlarının oluşturulması çalışmaları yapılmıştır.

3B standardizasyon kavramı CAD/BIM, CBS ve Web alanlarında çalışan şirketler ve uluslararası standardizasyon kuruluşları arasında farklılıklar göstermektedir. Şirketler tarafından geliştirilen bir çok format (SHP, DXF,.. v.b.) geniş bir uygulama alanı olan endüstri standartları olarak kullanılmakta ya da uluslararası açık standartlar olarak tanımlanmaktadır. CityGML gibi diğer uluslararası standartlar ise büyük bir şirket katılımı olmadan, uzmanlar aracılığı ile geliştirilmiştir. Herbiri farklı amaçlar ile geliştirilen standartlar kullanılarak üretilen coğrafi bilgilerin geometri tipi, kaplama, semantik, ilişkiler tanımlamaları kapsamında önemli farklılıklar oluşmakta ve tüm coğrafi verilerin tek bir 3B ortama entegre edilmesi neredeyse imkansız hale gelmektedir (Lim ve diğ, 2020).

3B coğrafi verinin geometrik, topolojik ve semantik özelliklerinin aynı anda tanımlanmasına olanak veren CityGML standardı kapsamında tekil bir veri modeli ve veri değişim formatı belirlenmiştir. 3B kent modeli üretilmesi kapsamında geometri tanımlaması ve coğrafi verinin özel uygulamalarda kullanılmaya uygun hale getirilmesi çalışmalarında CityGML’de tanımlanan veri modeli ve veri değişim formatının kullanılması öngörülmektedir. CityGML birlikte çalışabilir, çok-fonksiyonlu, çok-ölçekli ve semantik 3B kent modelini uygulayan bir GML3 profilidir. Dağınık 3B konumsal veri kaynaklarının sürdürülebilir kullanılması

kapsamında artık veri depolanması ve analizi nedeni ile yapılan tekrarlı işlemlerin engellenmesi ile birlikte çalışabilirlik arttırılmaktadır. Bu yüksek doğruluk ve işlem bileşenlerinin dengeli yüklenmesini sağlayan; hızlı veri erişimi sağlayarak iç süreçlerin kısaltılması (coğrafi verinin belediyelerde gelişmiş kullanımı), kentsel planlama projelerinin gelişmiş görselleştirilmesi, gelişmiş vatandaş katımlı işlemler veya iş akışlarının basitleştirilmesi ve otomatikleştirilmesi işlemlerini içermektedir (Kolbe ve Donaubaue, 2021).

1.1 Problemin Tanımı

3B model oluşturma ve haritalama işlemlerinde kurum ve şirketler verinin üretim aşamasından kullanıcıya ulaştırılmasına kadar geçen sürede bir çok problem ile karşılaşmaktadır. Bunlar; 2B coğrafi verinin 3B coğrafi veriye genişletilmesi (3B coğrafi verinin türetilmesi), araştırma sonuçlarının uygulamalara entegre edilmesi ve mevcut teknolojilerin en iyi şekilde kullanılması olarak sıralanabilir. Bazı haritalama kurumları bu konuda gelişmiş yöntemler uygulamaktadır.

CityGML Almanya TU Berlin’de geliştirilmiş olup aslında bir veri değişim formatı olarak tanımlanmıştır. Ancak daha sonra 3B coğrafi verileri temsil eden bilgi modeli olarak geliştirilmiştir. Şehirlerdeki objelerin tanımlanması amacıyla geliştirilen CityGML standardı güncel sürümü CityGML 2.0 ile temsil ettiği obje tipini genişleterek çevredeki ve şehir modellerindeki bir çok objeyi de desteklemektedir.

CityGML günümüzde bir çok projede 3B modelleme amacıyla kullanılmaktadır. Örneğin eyalet çapında ilk 3B model uygulaması Almanya Kuzey Ren-Vestfalya’da gürültü dağılım haritası geliştirilmesi projesidir. Bu kapsamda 3B karayolu, demiryolu, Sayısal Arazi Modeli (SAM) ve 3B bina verileri kullanılarak 3B coğrafi veri modeli oluşturulmuştur (Czerwinski ve diğ., 2006; 2007). Bir diğer CityGML uygulaması olarak Almanya Ulusal Kadastro Bilgi Modeli (ALKIS)’in 3B bina modelleri ile genişletilmesi gösterilebilir. Bu projede bir CityGML profili tanımlanarak Almanya’daki bir çok eyalet bu profile uygun olarak 3B bina modellerini üretmiştir.

Son olarak CityGML ile 3B coğrafi veri modeli tasarımında Uygulama Alanı Genişleticileri (ADE) geliştirilmiştir. Kuzey-Ren Vestfalya’da geliştirilen “Gürültü” (CityGML Noise ADE) (Kumar ve diğ, 2017; Kurakula, 2007; Czerwinski ve diğ,

2006, 2007; Lu ve diğ, 2006), “Tünel” (CityGML Tunnel ADE), “Köprü” (CityGML Bridge ADE), “GeoBIM” (CityGML GeoBIM (IFC) ADE) (Laat ve diğ, 2011), “Su” (CityGML Hydro ADE), “Kamusal Hizmetler” (CityGML UtilityNetwork ADE), “Taşınmaz Gayrimenkul Vergisi” (CityGML Immovable Property Taxation ADE) (Çağdaş, 2013), “Enerji” (Agugiaro ve diğ, 2018) ve “Güneş Enerjisi” (Solar ADE) (Liang ve diğ, 2015, 2020; Hofierka ve Zlocha, 2012; Bogn’ar ve diğ, 2021) uzantıları bunlara örnek olarak gösterilebilir.

3B coğrafi veri uygulamalarının giderek daha çok önem kazandığı günümüzde devlet birimlerinin 3B coğrafi veri üretimine katkısı kaçınılmaz hale gelmektedir. Ülke genelinde 2B coğrafi veri üreten kurumların 3B coğrafi veri üretiminde karşılaştıkları en büyük sorun 2B coğrafi verinin 3B coğrafi veriye dönüşümünde seçilecek yöntemin belirlenmesidir. Uluslararası örnek veri modelleri incelendiğinde 3B coğrafi veri yönetimi kapsamında yapılan çalışmalarda bir çok farklı yaklaşım kullanıldığı açıkça görülmektedir.

Ulusal ve uluslararası literatürde 3B kent modellerinin farklı uygulama alanlarında kullanıldığı görülmektedir. Bu uygulamalarda karşılaşılan problemler kapsamında 3B coğrafi veri modellerinin CityGML veri standardı temel alınarak geliştirilmesinde dikkat edilmesi gereken konular;

- 3B coğrafi veri kapsamında gerçek kullanıcı ihtiyaçlarının belirlenerek 3B verinin çözümleyebileceği sorunlar kapsamında formülize edilmesi. (Bu 3B coğrafi verinin görselleştirme dışındaki amaçlarla kullanılmasına teşvik edecektir.)
- Farklı kaynaklardan alınan 3B verilerin birlikte kullanılabilmesi ve 3B coğrafi veri tabanında birleştirilmesi konularında daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.
- 2B ve 3B coğrafi veri arasındaki tutarlılık konusunda daha fazla dikkat gereklidir.
- Sürdürülebilir 3B coğrafi veri setlerinin güncelleme ve bakım konuları daha fazla dikkat gerektirmektedir.
- Mevcut 3B teknolojilerin kullanımına teşvik etmek için 3B coğrafi bilgiye yönelik ulusal politikalar ve Avrupa politikaları geliştirilmelidir

- 3B coğrafi veri değişimini olanaklı hale getirmek için CityGML ve diğer standartlar ile arayüzlerin tasarlanması gerekmektedir.

Ülkemizde ulusal ölçekte kabul edilmiş Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) ve Türkiye Kent Bilgi Sistemi (TRKBIS) detay katalogları ve veri standartları henüz pilot uygulama aşamasında olduğundan, Ulusal 3B Coğrafi Veri Standartları'ndan bahsetmek de doğal olarak olanaksızdır. Büyük ölçekli coğrafi veri standardı olan TRKBIS'in nesneye yönelik yaklaşım, ilişkiler, detay tipleri ve topoloji tanımlamaları CityGML veri modeli kapsamında modellenerek 3B coğrafi verileri de kapsayacak şekilde genişletilmesi gerekmektedir

1.2 Çalışmanın Amacı

Çalışma kapsamında Türkiye Kent Bilgi Sistemi Standartları (TRKBIS)'in, uluslararası CityGML coğrafi veri modeli semantik ve geometrik kurallarına göre yeniden modellenerek 3B CityGML-TRKBIS veri modeli üretilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla OGC tarafından geliştirilen ve uluslararası 3B coğrafi veri modeli olarak kabul edilen CityGML, TRKBIS gereksinimlerini karşılayacak şekilde UML modelleme dili kullanılarak genişletilecek ve CityGML-ADE (Uygulama Alanı Uzantısı) olarak yeniden modellenecektir. Oluşturulan ADE ile Türkiye'de mevcut büyük ölçekli coğrafi veri standardı (TRKBIS) ve CityGML uluslararası 3B coğrafi veri standartları entegre edilerek her iki standardı kapsayan ulusal 3B coğrafi veri modeli geliştirilecektir. Mevcut kent bilgi sistemi standartları ISO/TC211 ve INSPIRE standartlarını kapsamaktadır ve UML ile modellenmiştir. CityGML'in semantik ve geometrik kurallarına göre yeniden modellenecek olan TRKBIS, 2B-2.5B ve 3B coğrafi objelerin tümünü temsil edecektir.

Geliştirilecek modelde UML modelleme dili kullanılacağından ilk olarak UML ile CityGML ADE geliştirme kapsamında çalışmalar yapılacaktır. CityGML standart dökümanında yalnızca XML şemaları ile ADE geliştirme kural ve ilkeleri tanımlanmış olup UML ile ADE modelleme hakkında teknik bir bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle UML ile CityGML-TRKBIS modelinin oluşturulması sürecinde OGC 12-066 referans numaralı "Modeling an ADE of CityGML in UML" Best Practice makalesindeki yaklaşım incelenecektir. Hollanda 3B coğrafi veri standardı IMGeo versiyon 2.0'ın CityGML ADE olarak geliştirilmesinde kullanılan bu yaklaşım bir çok yaklaşım alternatifi arasından OGC CityGML Çalışma Grubu, Almanya SIG 3D organizasyonu

üyeleri ve diğer uzmanlar ile yapılan yoğun tartışmalar sonucu en başarılı modelleme yaklaşımı olarak belirlenmiştir (OGC, 2014).

1.3 Metodoloji

Bu çalışmada kullanılan temel metodolojik yaklaşım Literatür Çalışması, Kullanıcı Analizi ve Tasarım olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır (Şekil 1.1).

Literatür çalışması kapsamında örnek veri modelleri incelenerek 3B coğrafi veri yönetimi kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan farklı yaklaşımlar incelenmiştir. Yapılan araştırma, incelenen kaynaklar, ilgili standart kuruluşların raporları temin edilerek mevcut durum analizi yapılmıştır. Tüm bu çalışmalardan yola çıkarak 3B coğrafi veri yönetiminin global ölçekte mevcut durumunun incelenmesi aşağıdaki başlıklar altında tamamlanmıştır;

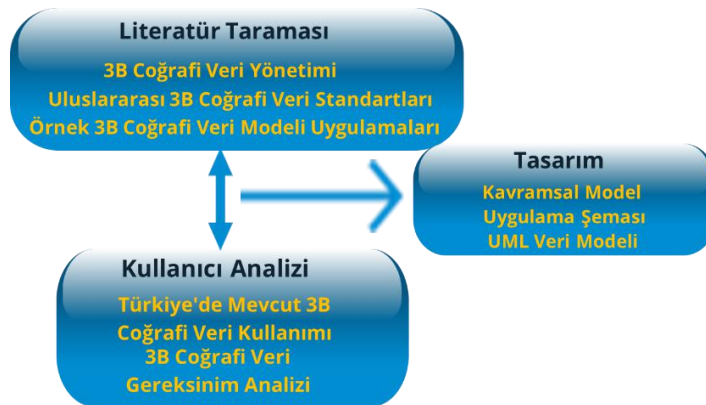
- 3B konumsal veri altyapısı kavramı ve bileşenlerinin irdelenmesi,
- OGC CityGML coğrafi veri modeli ve INSPIRE Yönergesi veri standartlarının incelenmesi
- Farklı kaynaklardan alınan 3B verilerin birlikte kullanılabilmesi ve 3B coğrafi veri tabanında birleştirilmesi konularında çalışma yapan, dünyadan örnek sayılabilecek 3B coğrafi bilgiye yönelik ulusal politikaların analiz edilmesi,
- 2B ve 3B coğrafi veri arasındaki tutarlılık konusunun incelenmesi,
- Sürdürülebilir 3B coğrafi veri setlerinin üretim teknikleri, güncelleme ve bakım konularının incelenmesi,

Kullanıcı analizi aşamasında mevcut TRKBİS standartları oluşturulurken kullanılan analiz matrisleri esas alınarak 3B coğrafi veri kapsamında yapılması gereken değişiklikler tanımlanmış, veri temalarında CityGML uyumluluğunun sağlanması koşulları belirlenmiş ve uluslararası örnekler de gözönünde bulundurularak 3B coğrafi veriye ihtiyaç analizi yapılmıştır.

Tasarım aşamasında, literatür çalışması ile belirlenen yaklaşımlar temel alınarak 3B KBS çalışmalarının tümünde kullanılabilecek, uluslararası CityGML coğrafi veri modelini temel alan bir 3B coğrafi veri değişim modelinin tasarlanması hedeflenmektedir. Tasarım aşamasındaki çalışmalar 2B coğrafi veri modeli ve CityGML entegrasyonu, geometri tipleri ve topoloji kavramı, kod listelerinin

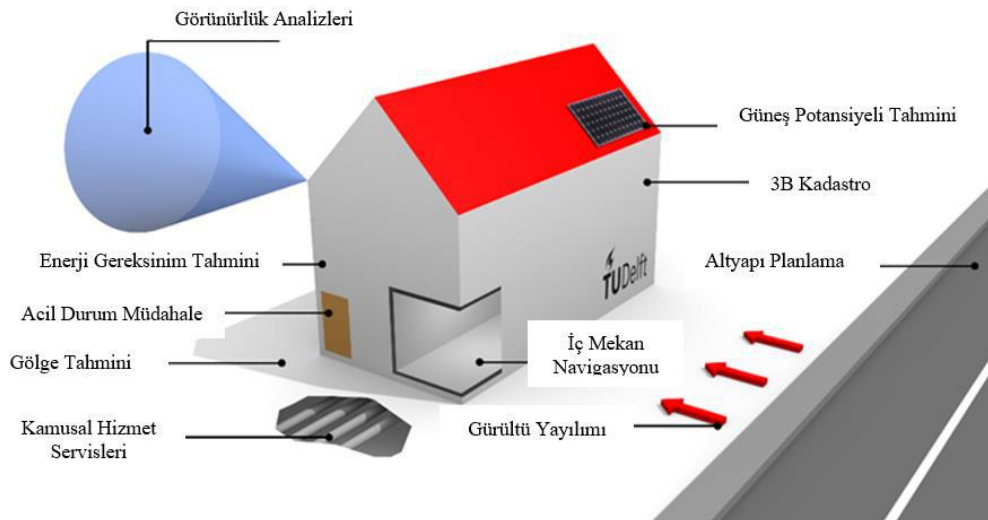
kullanımı, CityGML özelliklerinin kullanımı ve referans sistemi seçimi başlıkları kapsamında uygulanmıştır. Çalışmalar sıralanacak olursa;

- Resmi bir modelleme dilinin seçilmesi: Resmi modelleme dili olarak TRKBIS 1.0 tasarımında da kullanılmış olan UML modelleme dili seçilmiştir.
- UML ile Uygulama Alanı Genişleticisi (ADE) modelleme yönteminin seçimi: Çalışmanın amacı kapsamında UML ile modelleme yöntemleri arasından ulusal coğrafi veri modeline uygun olan yöntem seçilmiştir.
- CityGML jenerik sınıfları ve uygulamaya ait semantik sınıflar arasındaki benzerliklerin belirlenmesi: Bu aşamada CityGML ve uygulama alanı sınıfları arasında kavramsal eşleştirme yapılarak sınıf düzeyinde tüm benzerlikler sıralanarak TRKBIS 1.0 modelindeki tüm sınıflar için CityGML veri modelinde karşılık gelen sınıf isim ve özellikleri bazında eşleştirme yapılmıştır.
- TRKBIS sınıflarının CityGML alt sınıfları olarak modellenmesi: Tüm TRKBIS sınıfları CityGML alt sınıfları olarak seçilen yaklaşım ile modellenmiştir.
- Kod listelerinin ADE içerisinde kullanımının belirlenmesi: CityGML standart dökümanının kullanıcıya önceden tanımlanmış olduğu kod listesi değerleri zorunlu olmayıp, önerilen değerlerdir. TRKBIS 2.0 geliştirilmesi çalışmasında CityGML'in önerdiği kod listelerinin yerine TRKBIS 1.0'da tanımlanmış mevcut ulusal kod listesi değerlerinin kullanımına karar verilmiştir.
- CityGML-TRKBIS.ADE Geometri ve Topolojisinin Tanımlanması: TRKBIS ADE içerisinde geometri tipleri ve LOD konseptinin kullanımı için kurallar belirlenmiştir.



1.4 Literatür Çalışması

Günümüzde coğrafi veri uygulayıcılarının ve paydaşlarının karar verme süreçlerine yardımcı olmak amacı ile bir çok kent ve çevre modelleri tanımlanmaktadır. Kent nesnelerinin 3 boyutlu geometrik gösterimler ile temsil edildiği modeller 3B kent modelleri olarak adlandırılmaktadır (Billen ve diğ, 2014). 3B kent modeli, yaygın kent nesne ve yapılarının üç-boyutlu geometrilerini içeren, kentsel çevrenin bir temsidir. En belirgin ve önemli kent yapısı olarak binalar gösterilebilir. 3B kent modelleri, fotogrametri ve lazer tarama, sentetik açıklıklı radar, mimari modeller ve 2B coğrafi verilere derinlik verilmesi gibi çeşitli yöntemler kullanılarak üretilmektedir (Biljecki ve diğ, 2015). 2B harita ve çizimlerden farklı olarak 3B coğrafi veri ile yeryüzü gerçeğe en yakın şekilde temsil edilmekte ve modellenmektedir. Geometrik ve geometrik olmayan coğrafi verilerin entegrasyonu ile elde edilen ve 3B görselleştirmeye olanak sağlayan 3B kent modelleri ile kent bilgisi daha anlaşılabilir olmuştur. Son yıllara kadar ağırlıklı olarak görselleştirme amaçlı üretilen ve kullanılan 3B kent modelleri günümüzde artık görselleştirmenin ötesinde diğer bir çok farklı uygulama alanında (3B kadastro, tesis yönetimi, gürültü tahmini, acil müdahale,..v.b.) kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 1.2). Kentlerin sürdürülebilir kalkınması kapsamında bir çok farklı kentsel ve çevresel ilişki gözönünde bulundurularak çevresel sorunlar bütüncül bir yaklaşım ile ele alınmalıdır. Bu kapsamda semantik yönden zenginleştirilmiş 3B kent modellerinin kullanılması ile sürdürülebilir kent yönetiminde çevresel ve kentsel bilginin entegrasyonu daha etkili bir şekilde gerçekleştirilecektir (Billen ve diğ, 2014; Dukai ve diğ, 2020; Gil, 2020).



Şekil 1.2 : 3B Kent Modelleri Kullanım Alanları (Biljecki ve diğ, 2016).

3B kent modellerinin farklı kullanım alanları ile entegrasyonu ile literatürde 3B Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kapsamında 3B coğrafi verinin çeşitli kullanım amaçları Ahmed ve Sekar (2014), Gil (2020), Julin ve diğ. (2018), Kolbe ve Donaubauer (2021), Gröger ve Plümer (2009), Lemmens (2011), Biljecki ve diğ. S(2015) ve son olarak da Wysocki ve diğ. (2021) tarafından farklı parametreler gözetilerek gruplandırılmış ve listelenmiştir. Bu çalışmaların bir çoğunda 3B coğrafi verinin endüstri ve araştırma problemlerinin çözümünde uygulanabilirliği kapsamında bilgi bulunmamaktadır. 3B kent modellerinin görselleştirme ve konumsal planlama uygulamalarında kullanımı hakkında Julin ve diğ. (2018) tarafından yapılan kapsamlı araştırmada 3B kent modellerinin kullanımı; acil durum servisleri, kentsel planlama, telekomünikasyon, mimarlık, kamusal hizmet servislerinin yönetimi, çevre, eğitim ve kent portalı olmak üzere 12 ayrı kategoride incelenmiştir. Ross (2010) tarafından yapılan çalışmada 3B coğrafi verinin kullanım alanları taksonomisi sunulmaktadır. Buna göre 3B uygulamalar 1) yalnızca geometriye dayanan uygulamalar; 2) geometri ve semantik bilgi (solar potansiyel tahmini) tabanlı analizler ve 3) uygulama alanına özel genişleticiler (gürültü emisyonu hesabı) olmak üzere 3 farklı grup altında incelenmiştir. Biljecki ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada ise 3B coğrafi verinin görselleştirme dışında bir çok alanda kullanımı araştırılmış, hiyerarşik bir metodoloji gözetilerek 3B coğrafi veri modellerinin kullanım alanları görselleştirme amaçlı ve görselleştirme amacı olmayan uygulamalar olarak iki ana başlık altında incelenmiştir (Çizelge 1.1). Buna göre, 100’den fazla uygulama ile 29 farklı uygulama alanı ayrıntılı olarak raporlanmış olup 3B coğrafi veri modelleri kapsamında kullanılan terimler, kullanım alanları ve uygulamalarını içeren son yıllarda yapılmış en ayrıntılı literatür çalışması olarak gösterilebilir.

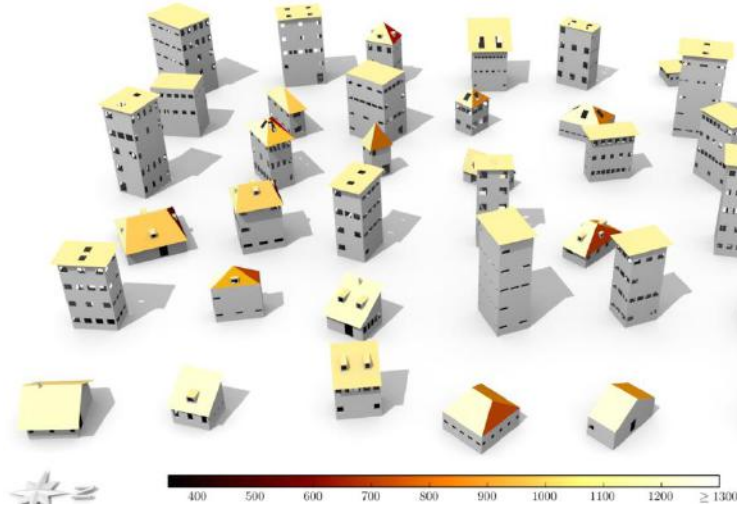
Çizelge 1.1 : 3B kent modelleri uygulamaları ((Biljecki ve diğ. 2015)’den uyarlanmıştır).

No	Uygulama Alanı	Uygulama Örneği
1	Güneş ışıınımı tahmini	Çatı yüzeylerinin fotovoltaiik panellerin kurulumuna uygunluğunun belirlenmesi
2	Enerji talep tahmini	Bina enerji verimliliğini yükseltme
3	Konumlandırma servisleri	Harita eşleştirme (map matching)
4	Kat alanının belirlenmesi	Gayrimenkul değerleme
5	Bina tiplerinin sınıflandırılması	Veri setlerinin semantik zenginleştirilmesi
6	3B Kadastro	Taşınmaz Kaydı
7	Görünürlük Analizleri	Güvenlik kamerası için en uygun yer belirleme

Çizelge 1.1 (devam) : 3B kent modelleri uygulamaları ((Biljecki ve diğ, 2015)’den uyarlanmıştır).

No	Uygulama Alanı	Uygulama Örneği
9	Kentsel çevrede gürültü yayılımı tahmini	Trafik planlama
10	Navigasyon amaçlı görselleştirme	Navigasyon
11	Kentsel planlama	Yeşil alan tasarımı
12	Kent bilgilerinin görselleştirilmesi	Sanal tur
13	Güneş ışığı yönünün yeniden yapılandırılması	Nesne tanımlama
14	SAR görüntülerini anlama	Radar verilerinin yorumlanması
15	Tesis yönetimi	Kamusal hizmet servisleri
16	Acil müdahale	Tahliye planlaması
17	Otomatik iskele montajı	İnşaat mühendisliği
18	Işıklandırma simülasyonu	Yer işaretleri aydınlatma planlaması
19	Radyo dalgası yayılımı	Radyo altyapısı optimizasyonu
20	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği	Hava kalitesi tahmini
21	Nüfus tahmini	Kriz yönetimi
22	Yönlendirme	Erişebilirlik tahmini
23	Sismik hasar tahmini	Sigorta
24	Sel	Kamusal hizmet servisleri zararının önlenmesi
25	Değişim analizi	Kentsel envanter
26	Hacimsel yoğunluk çalışmaları	Kentsel çalışmalar
27	Orman yönetimi	Ağaç büyüme hızları tahmini
28	Arkeoloji	Antik alanların görselleştirilmesi

3B kent modellemesinde öne çıkan uygulamaların başında, çatı üstü güneş panellerinin uygunluğunun belirlenmesi amacı ile binaların güneşe maruz kalma sürelerinin tahmin edilmesi çalışmaları gelmektedir (Biljecki ve diğ, 2015; Bogn’ar ve diğ, 2021; Catita, 2014; Liang ve diğ, 2014,2015,2020; Hofierka ve Zlocha, 2012; Carneiro ve Golay, 2009; Freitas, 2015) (Şekil 1.3). 3B kent modelleri ampirik güneş modelleri için ana girdi olarak kullanılan eğim, yön ve çatı alanı gibi geometrik verileri sağlamaktadır (Biljecki ve diğ, 2015). Binaların güneş potansiyellerinin belirlenmesi çalışmalarında güneş panellerinin fotovoltaiik verimi üzerinde negatif etkisi olan gölge analizlerinin de gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Alam ve diğ, 2013; Bogn’ar ve diğ, 2021; Strzalka ve diğ, 2012).



Şekil 1.3 : Yıllık güneş ışınlımı (Biljecki ve diğ, 2015).

Enerji talep tahmini, semantik 3B kent modellerinin değerini öne çıkaran en önemli uygulamalardan biridir (Şekil 1.4). Son yıllarda özellikle Almanya’da araştırmacılar 3B kent modellerini kullanarak bina hacimleri, kat sayıları, bina tipleri ve binaya ait diğer verileri birleştirerek ısınma veya soğutma amaçlı enerji talep tahminleri gerçekleştirmektedir (Agugiaro ve diğ, 2018; Carrion ve diğ, 2010; Goy ve diğ, 2020; Krüger ve Kolbe, 2012; Strzalka ve diğ, 2011; Nouvel ve diğ, 2013; Kaden ve Kolbe, 2013; Bahu ve diğ, 2015; Agugiaro, 2015).



Şekil 1.4 : Enerji Atlas Berlin (URL-1).

3B coğrafi verinin kullanımlarından bir tanesi de kentte yaşayan insanların gürültü kirliliğinden ne kadar zarar gördüğünün araştırılması kapsamında üretilen modellerdir. Bu modeller ile gürültü bariyerlerinin en uygun lokasyonları belirlenerek

toplumun zarar görmesi engellenebilir (Ranjbar ve diğ, 2012). Avrupa’da 2002 yılında Çevresel Gürültü Direktifi’nin yayınlanması ile gürültü yayılımı tahmini çalışmaları hız kazanmıştır. Bu kapsamda tüm AB ülkeleri gürültü haritaları üreterek toplumu gürültü maruziyeti ve etkileri hakkında bilgilendirmek ile yükümlüdür. Gürültü haritalama çalışmalarında 3B CBS’nin kullanımı, kırılma nedeni ile aynı düzlemsel koordinatların farklı yüksekliklerinde gürültü seviyelerinin değişmesi nedeni ile avantaj sağlamaktadır (Biljecki ve diğ, 2015). Stoter ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışmada 3B kent modelleri kullanılarak 3B gürültü haritası üretilmiş (Şekil 1.5), Law ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada kompleks gürültü haritası görselleştirmesi sanal gerçeklik teknolojileri ile sağlanmış, Kurakula (2007) tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında ise bina duvar malzemesi öznelilik bilgisinin gürültü tahmini simülasyon sonuçlarına etkisini incelemiştir. Son olarak Kumar ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada Hollanda’da trafik ve endüstri kaynaklı kentsel gürültü verileri kullanılarak mevcut CityGML gürültü uzantısı modeli geliştirilmiş ve yeni bir CityGML Gürültü ADE modeli oluşturulmuştur.



Şekil 1.5 : Gürültü simülasyon verisi (Stoter ve diğ, 2020).

Hızlı kentsel gelişme, yapılaşma yoğunluğu ve 2B kadastronun yeterli olmadığı karmaşık kadastral kayıtlarda 2B kadastral verinin yerini artık 3B kent modelleri almıştır. Yer altı nesneleri ve düşey sahiplilik tescili işlemleri 3B kadastro uygulamalarına örnek olarak gösterilebilir (Biljecki ve diğ, 2015). 3B konumsal veri modeli uygulamalarından ilki Billen ve Zlatanova (2003) tarafından gerçekleştirilmiş olup yapılan çalışmada 3B topoloji ve 3B kadastronun genel kapsamı hakkında da bilgi verilmiştir. Stoter ve Oosterom (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise 3B kadastral kayıt işlemlerinde kullanılan 3B parsel hacimlerinin gösteriminin teknolojik

gereklilikleri ve 3B kadastro parseli geometrik özellikleri araştırılarak yeni bir 3B kavramsal kadastro modeli önerilmiştir. Sonraki yıllarda farklı ülkelerin 3B kadastro kapsamında yaptığı veri modeli çalışmaları dikkat çekmektedir. Rusya’da 3B kadastro prototipi ve pilot çalışması gerçekleştirilmiş (Vandysheva ve diğ, 2012), Hollanda’da 3B kadastral veri modeli geliştirme çalışmalarına geliştirilerek üretilen modellerin uluslararası uygulanabilirlikleri araştırılmıştır (Stoter ve diğ, 2013; Oosterom, 2013), Guo ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada Çin’de 3B kadastro çalışmaları için bir kavramsal model önerilmiş ve mevcut kadastral sisteme nasıl entegre edileceği pilot bir uygulama ile açıklanmıştır. Shojaei ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada ise Avustralya’daki 3B kadastro sisteminin görselleştirilmesi kapsamındaki gereklilikler incelenmiştir. Son yıllarda 3B kadastro veri modeli kapsamında çalışmalar yapan ülkelere örnek olarak Yeni Zellanda, Karayipler ve Sırbistan gösterilebilir (Gulliver ve diğ, 2017; Every ve diğ, 2017; Radulovic ve diğ, 2017) Türkiye’de 3B kadastro kapsamında yapılan çalışmalar genellikle literatür taraması olarak çalışılmış olmakla birlikte Çağdaş (2013) tarafından CityGML ADE uygulama örneği olarak gayrimenkul vergilendirme kapsamında bir çalışma tamamlanmıştır. Döner ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada dünyadaki 3B kadastro çalışmaları FIG 3B Kadastro çalışma grubunun faaliyetleri kapsamında incelenmiştir. Aynı yazar tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada konumsal veri modellerinin 3B kadastro kapsamında kullanılabilirliği IFC, IndoorGML, CityGML ve LADM veri standartları dikkate alınarak irdelenmiştir (Döner ve Şirin, 2017). Son olarak 3B kadastro kapsamında arazi kaydı çalışmalarında yüksek çözünürlüklü eğik görüntülerin kullanılmasının gayrimenkul değerlendirme ve kentsel planlama uygulamalarındaki gerekliliği Bakıcı ve diğ. (2017) tarafından incelenmiştir.



Şekil 1.6 : Hollanda Rotterdam şehrine ait karmaşık kadastro parsel kullanımı ve kadastral harita üzerinde gösterimi (Stoter ve diğ, 2013).

3B coğrafi verinin farklı uygulama alanlarında kullanımı ile ilgili ortak coğrafi veri modelleri tanımlama çalışmaları yapılırken (Tegtmeier ve diğ, 2009; Emgard and Zlatanova, 2008; Stoter ve Van Oosterom, 2005), mevcut 2B coğrafi veri standartları ve uluslararası CityGML veri standardı ile uyumlu Ulusal 3B coğrafi veri standartlarının tanımlanması ilk olarak Hollanda “3D Pilot” projesi kapsamında yapılmıştır (Stoter ve diğ, 2012; Goos ve diğ, 2011; Bernsten ve diğ, 2012). “3D Pilot NL” araştırma projesi; Hollanda Çevre ve Altyapı Bakanlığı (Dutch Ministry of Infrastructure and Environment), Ulusal Kadastro ve Haritalama Dairesi (Kadaster), Ulusal Konumsal Veri Altyapısı Yürütme Komitesi (Geonovum) ve Hollanda Jeodezi Komisyonu (Netherlands Geodetic Commission) olmak üzere 4 ulusal kurum tarafından, ilgili uluslararası standartlar kullanılarak mevcut standartların 3B içerik veri paylaşımına uygun hale getirilmesi amacı ile başlatılmıştır (Verbree ve diğ, 2010). Yeni 3B coğrafi veri standardı oluşturulurken, mevcut büyük ölçekli ulusal veri standartının (IMGeo) önemli görülen 2B konsepti korunmuş ve IMGeo veri modeli CityGML kapsamında genişletilmiştir (Trakas ve diğ, 2012). 3B coğrafi verinin ekonomik değeri Wong (2015) tarafından yapılan çalışmada araştırılmıştır.

Almanya’da 6 Mart 2009’da Alman Katagrafya Birliği e.V. (DGfK) ve Alman Fotogrametri, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Veri Birliği e.V. (DGPF) işbirliği ile kurulan ortak bir komisyon ile “3D-Stadtmodelle” (3B Kent Modelleri) çalışma grubu oluşturularak mimarlık, kentsel planlama, tesis yönetimi, gürültü ve egzoz gazı emisyonlarının simülasyonu ve iklim değişikliklerinin izlenmesi gibi birçok farklı uygulama alanında çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Coğrafi veri sektörünün desteklenmesi, coğrafi veri kullanıcıları ve üreticilerinin koordinasyonu ve işbirliğinin sağlanması, ulusal ve yerel ölçekte Almanya coğrafi veri altyapısının geliştirilmesine katkıda bulunmak amacı ile kurulan InGeoForum (Coğrafi Veri İşbirliği Forumu) kapsamında seminerler, bilgilendirme toplantıları gerçekleştirilmekte ve projeler uygulamaya konmaktadır. InGeoForum projelerinden biri olan “Data Harmonisation Panel (DHP)” coğrafi verinin harmonizasyonu ve entegrasyonu amacı ile 2011 yılının sonlarında başlatılmış olup altlık olarak bir Avrupa Birliği girişimi olan HumBOLDT projesinin sonuçlarını kullanmaktadır. DHP ile tek taraflı uluslararası iletişim forumu sağlanmakta olup diğer taraftan HUMBOLDT çerçevesinin daha fazla geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması sağlanmaktadır.

AB düzeyinde ulusal kaynaklarla desteklenmiş araştırma projelerinin koordinasyonunu sağlayan bir çerçeve olan Avrupa Birliği COST (Cooperation in Science and Technology- Avrupa Bilim ve Teknoloji İşbirliği Programı) eylemleri kapsamında, 2008 yılında TU0801 Eylemi : Sürdürülebilir Kentsel gelişim için 3B kent modellerinin semantik açıdan zenginleştirilmesi” hayata geçirilmiştir. Bu eylem kapsamında 3B coğrafi verinin kullanım alanlarını genişletmek ve sürdürülebilirliğini arttırmak amacı ile kentsel bilgi ve veri modelleri kullanılarak mevcut 3B coğrafi verinin semantik mimari ile zenginleştirilmesi yöntemleri araştırılmıştır. Akademi, sanayi ve kamu çalışanlarının kapsamlı araştırma ve geliştirme faaliyetleri altında ortak çalıştığı, 75 daimi üye ve 23 katılımcı ülke ile etkin bir araştırma ağı oluşturulan bu eylem 2012 yılında sona ermiştir (Billen ve diğ, 2014). Eylemin ana hedefleri 3B semantik kent modellerinin üretilmesi ve kullanılmasını teşvik ederek yaygınlaştırmak, sürdürülebilir kalkınma kapsamında avrupada mevcut 3B kent modeli standartlarının geliştirilmesine katkı sağlamak ve semantik olarak zengin 3B kent modellerinin oluşturulması kapsamında bir metodoloji geliştirerek karar vericilere destek vermek olarak sıralanabilir (Billen ve diğ, 2014). Bu amaçlar doğrultusunda ilk olarak mevcut 3B kent modelleri analiz edilmiş ve bu modellerin semantik olarak nasıl geliştirileceği belirlenmiştir. Bu kapsamda 3 farklı çalışma grubu oluşturularak görev tanımları yapılmıştır. WG1: 3B kent verisinin tematik ve semantik değişim platformunun oluşturulması, WG2: 3B kent verisi ve semantik bilginin entegrasyonu ve birlikte çalışabilirliğinin sağlanması, WG3: sürdürülebilir kentsel gelişimin sağlanması için karar vericilere destek sağlanması kapsamında çalışmalar yapmıştır. Eylem kapsamında başlıca edinimler; 3B kent modellerinin kullanımında ortak bir vizyonun geliştirilmesi ve farklı uygulamalarda 3B coğrafi veri kullanımının avantajlarının belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Ayrıca standardizasyon kuruluşlarının yeni veri üretimi ve entegrasyonu stratejileri belirleyerek mevcut coğrafi veri standartlarını 3B coğrafi veri gereksinimlerine uygun olarak genişletmesi gerekliliği de projenin önemli sonuçlarından bir tanesidir.

Herbert ve Chen (2015) tarafından yapılan çalışmada kentsel planlama uygulamalarında 3B coğrafi verinin 2B coğrafi veriye göre avantajları incelenmiş ve 3B coğrafi veriye neden ihtiyaç olduğu sebepleri ile birlikte açıklanmıştır. 3B coğrafi verinin kullanılması ve yaygınlaştırılmasında çok büyük önemi olan bu kapsamdaki çalışmaların sayısı çok fazla değildir. Stoter ve diğ, (2020) tarafından yapılan

Çalışmada kent çevresinde gürültü tahmini 2B coğrafi veri kullanılarak yapılmış, daha sonra aynı alışma 3B coğrafi veri ile tekrar uygulandığında gürültü tahmininde gelişme sağlandığı tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmaların bir çoğu 3B coğrafi verinin kullanılabilirliğini inceleyen teorik araştırmalar olmakla birlikte özellikle 3B görselleştirmede ölçek farklılıkları nedeni ile görüntüde meydana gelen perspektif değişikliklerinin yorumlama ve analizde meydana getirdiği zorluklar da araştırılmıştır. Bu kapsamda Shepherd (2008) ve Virtanen (2021) tarafından yapılan çalışmalarda, görüntü üzerinde ölçek faktörü ve perpektif değişimlerinden kaynaklanan algılama problemleri incelenmiştir.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Üç-Boyutlu (3B) Coğrafi Veri

1990'lı yılların başlarından itibaren coğrafi nesnelere ait konumsal ve tematik bilgilerin elde edilmesi ve analizi işlemlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmaya başlanmıştır. Üretilen 2B coğrafi verilerin gürültü tahmini ve taşkın modelleri v.b. gerçek dünyanın birebir modellenmesini gerektiren bazı uygulamalarda yetersiz kalması 3B coğrafi veriye olan ihtiyacın anlaşılmasını sağlamış ve 3B CBS kavramının ortaya çıkmıştır. 3B coğrafi verinin elde edilmesi ve görselleştirilmesi kapsamındaki gelişmeler 3B coğrafi veriye olan talebin de artmasını sağlamış ve 3B coğrafi veri modelleme çalışmalarına hız verilmiştir. 3B coğrafi veri elde etme yöntemleri (havadan ve yakın resim fotogrametrisi, lazer tarama, ölçme, GPS) kapsamında daha doğru ve hızlı veri toplamanın mümkün olması; büyük veri setlerinin işlenmesinde daha hızlı işlemcilerin ve daha yeterli disk alanına sahip araçların kullanılması; 3B verinin görselleştirilmesinde daha gelişmiş grafik kartlarının kullanılması 3B coğrafi veri kapsamındaki gelişmelere örnek olarak gösterilebilir. CBS yazılım araçlarındaki gelişmeler de 3B CBS çalışmalarının hızlanmasında önemli bir role sahiptir. Yeraltı ve yerüstündeki karmaşık nesnelerin mevcut 2B modeller ile tanımlandığından daha karmaşık yapıda olması ve bu karmaşık yapılar ile yapılacak uygulamalarda daha etkin çözümlerin üretilmesi için 3B CBS'ye ihtiyaç vardır.

2.2 CityGML ve Coğrafi Veri Modelleme

2.2.1 CityGML ve coğrafi veri modelleme kapsamı

CityGML standardında 3B coğrafi veri modeli tematik, geometrik ve topolojik düzeylerde tanımlamıştır. Tematik düzeyde kent nesnelere ait veri sınıfları, bu sınıfların birbirleri ile ilişkileri ve yükseklik, bitki örtüsü, su kütlesi, kent mobilyası ve benzeri kent nesnelerini kapsayan bölgesel modeller tanımlanmıştır. Bu tematik bileşenler modelin geometri ve görünüm analizleri haricinde karmaşık analizleri de kapsayan farklı uygulama alanlarında kullanılmasını sağlamaktadır.

CityGML 3B coğrafi verinin yaşamı boyunca geometrik, topolojik ve semantik açıdan geliştirilebileceği bir çerçeve sunar. Bu nedenle kent nesnelerinin geometrik ve semantik özellikleri basit geometrik veri setlerinden kompleks karmaşık geometri ve topoloji verilerine kadar geniş kapsamlı ve esnek bir yapıda oluşturulmuştur. CityGML, 3B kent modelleme aşamalarının her birinde uygulanabilir bir tekil nesne modeli ve veri değişim formatı tanımlar (Kolbe ve diğ, 2009; Kolbe ve Donaubauer, 2021). Bu kapsamda bir uygulamanın CityGML'e uygun olması için tüm tematik standartları sağlaması gerekmez, ancak uygulama ile ilişkili özel gereksinimleri sağlamak zorundadır. CityGML'de kullanılan mantıksal alt kümeler tüm veri modelinin karmaşıklığını sınırlar ve kısmi uygulamalara olanak verir. CityGML 2.0 versiyonunda veri modelinin muhtemel alt kümeleri tanımlanmıştır. CityGML uyumlu bir sistemde sağlanması gereken tüm normatif hususlar CityGML modülünde bütünleştirilmiştir.

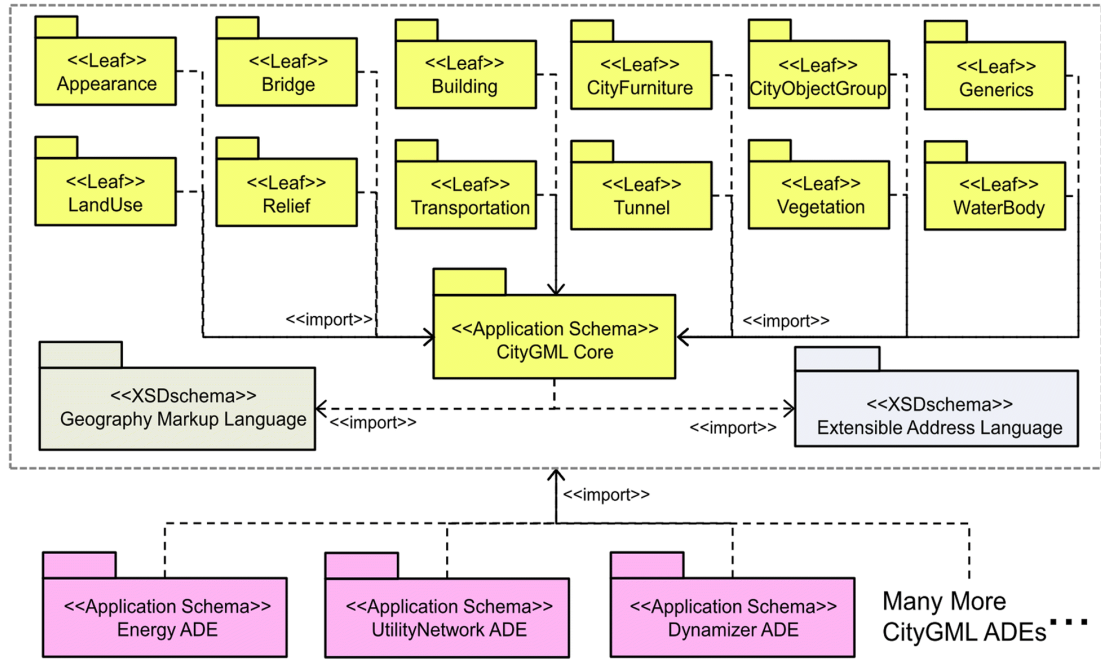
CityGML, ana (core) modül ve tematik genişletme modülü olmak üzere 2 modülden oluşmaktadır. CityGML veri modelinin temel kapsam ve bileşenleri ana modül ile tanımlanmıştır. Ana modül benzersizdir ve tüm ilişkili sistemlere uygulanır. CityGML ana modülüne göre her bir tematik genişletme modülü CityGML veri modelinin farklı tematik bileşenlerini içermelidir. Bu kapsamda tüm tematik genişletme modülleri CityGML ana modülü genel kapsam ve bileşenlerini içermektedir.

CityGML 2.0 versiyonunda Görünüm, Köprü, kent nesnesi grubu, bina, kent mobilyası, jenerik, arazi kullanımı, ulaşım, tünel, bitki örtüsü, su kütlesi ve kaplanmış yüzey olmak üzere 13 tematik veri grubu genişletme modülü olarak tanımlanmıştır. (OGC, 2012). CityGML'in ayrık tematik modül yapısı bir uygulamanın CityGML uyumlu olabilmesi için ilişkili olduğu modül ve ana modüle uygun olması yeterlidir. Uygulamada gerekli olan verilere bağlı olarak kullanılacak CityGML modülleri belirlenir.

Profil, CityGML modüllerinin entegrasyonu ile oluşan yapıdır. Tüm CityGML modüllerini kapsayan profil CityGML Temel Profili adını alır. Tüm CityGML profilleri benzersiz olan temel profilin birer alt kümesi olarak tanımlanmalıdır (OGC, 2012).

Modül yapısı ile CityGML çok yönlü bir veri modeli ve farklı uygulama alanı ve 3B kent modelleme aşamalarında kullanılabilen esnek bir veri değişim formatı olarak

tanımlanabilir. Uygulama kapsamında kullanılan ve uyum sağlanan CityGML tematik genişletme modülleri isimleri ile kodlanarak açıkça belirtilmelidir.



Şekil 2.1 : CityGML UML paketleri ve birbirleri ile ilişkileri (Yao ve diğ, 2018).

CityGML tematik modeli 3B sanal kent modellerinde kullanılan en gerekli ve önemli nesne tipleri için sınıf tanımlamalarından oluşmaktadır. Bu sınıflar bir çok farklı uygulamada gerekli olan sınıflardan seçilmiştir. Bir çok tematik sınıfın tanımlanmasında ISO 19109 ve GML3’de tanımlanan `_Feature` ve `_FeatureCollection` temel soyut sınıfları temel alınmıştır. Tematik model detay sınıfları arasındaki bütünleme, genelleştirme ve kalıtım gibi farklı ilişkileri de kapsamaktadır. Modelde tanımlanan detaylar GML3 detay özellikleri ile uyumlu konumsal ve konumsal olmayan öznitelik değerlerini içerir. Nesnelerin geometrik özellikleri geometri sınıfları ile ilişki kurularak tanımlanır.

Farklı uygulamalar arasında yüksek seviyede semantik birlikte çalışabilirlik örtük modelleme ile sağlanmaktadır. Tematik kavramlar ve bu kavramların anlamsal özelliklerinin UML ve GML3 ile eşlenerek belirlenmesi farklı uygulamalarda standart detay tipleri, öznitelikler ve veri tiplerinin kullanılmasını sağlar. CityGML veri modelinin kapsamadığı nesne ve özniteliklerin değişiminde kullanılmak üzere CityGML jenerik kent nesneleri ve ADE (uygulama alanı genişleticileri) mekanizmaları tanıtılmıştır.

CityGML tematik modelinin tüm bölümleri farklı bir CityGML genişletme modülü kapsamındadır. Tematik genişletme modülleri, CityGML tematik modelinin düşey parçalara ayrılması ile türetilmektedir. Tüm genişletme modülleri CityGML veri modelinin temel kavram ve bileşenlerini içeren CityGML ana modülünü temel alır. Uygulama ihtiyaçlarına göre ana modül ile birlikte tematik genişletme modüllerinden biri kullanılmaktadır.

CityGML tematik veri modeli bileşenlerinin her biri farklı bir CityGML modülü ile ilişkilidir. CityGML 2.0 versiyonunda genişletme modülleri tüm tematik veri modelinin düşey olarak dilimlenmesinden türetilir. Tüm genişletme modülleri CityGML ana modülüne dayanır ve ana modüle bağımlıdır. Ana modül CityGML temel kavramları ve bileşenlerini kapsar. Uygulamalarda ana modül ve tematik genişletme modüllerinden uygulama ihtiyacına uygun olanları birlikte kullanılır.

2021 yılında yayınlanan CityGML 3.0 güncel sürümü ile 3B coğrafi verilerin GML ve XML'in yanı sıra JSON ile de kodlanmasına olanak tanınmıştır. Bina Bilgi Modellemesi (BIM) ile daha entegre bir sürüm olan CityGML 3.0 dinamik coğrafi veriler için de destek sağlamakta ve veri sınıflarının genişletilmesinde yeni bir yöntem ortaya koymaktadır (OGC, 2021). Aktif olarak kullanımda olan sürüm CityGML 2.0 olmakla birlikte mevcut verilerin CityGML 3.0'a yükseltilmesi çalışmaları gerçekleştirilebilir.

2.2.2 Çok ölçekli gösterim

CityGML farklı ayrıntı düzeylerinde veri tanımlanmasına olanak vermektedir. Ayrıntı düzeyi (LODs) kavramı farklı uygulama ihtiyaçları ile bağımsız veri toplama süreçlerinin gösterilmesi için gereklidir (Biljecki, 201; Tang ve diğ., 2020). Ayrıca yüksek çözünürlükte görselleştirme ve veri analizi işlemleri için de ayrıntı düzeyleri kullanılmaktadır. CityGML veri setinde bir nesne aynı anda farklı ayrıntı düzeylerinde temsil edilebilir. Bu kapsamda farklı çözünürlüklerde aynı nesnenin görselleştirilmesi ve analiz edilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, bir nesneyi farklı ayrıntı düzeylerinde içeren iki CityGML veri seti birleştirilebilir ve entegre edilebilir. Ancak bu durumda farklı ayrıntı düzeylerindeki nesnenin gerçek dünyadaki aynı nesneyi temsil ettiği uygulayıcılar veya uygulama tarafında kontrol edilmelidir.

En genel ayrıntı düzeyi olan LOD0 aslında 2.5B Sayısal Arazi Modeli olarak düşünülebilir. LOD0 ayrıntı düzeyinde binalar ayak izi veya çatı düzeyi poligonu ile

temsil edilmektedir. LOD1 ayrıntı düzeyinde binalar düz çatı yapısı ile birlikte bir katı cisim olarak temsil edilmektedir. Buna karşın LOD2 ayrıntı düzeyindeki binalar farklı çatı yapılarını da içermektedir. Ayrıca LOD2 ayrıntı düzeyinde farklı sınır yüzeyleri de temsil edilmektedir. LOD3 ayrıntı düzeyi ile mimari modeller temsil edilir. Ayrıntılı duvar, çatı, kapı, pencere detayları LOD3 ayrıntı düzeyinde gösterilmektedir. LOD4 ayrıntı düzeyi ise LOD3 modeline bina içi yapılarının da eklenmesi ile oluşturulmaktadır. Örneğin LOD4 bina nesneleri oda, iç kapılar, merdivenler ve eşyaları içermektedir. Ayrıntı düzeyi sınıflandırması veri setlerinin karşılaştırılabilir olmasını sağlar ve veri entegrasyonunu destekler.



Şekil 2.2 : CityGML ayrıntı düzeyi kavramı (Biljecki, 2017).

2.2.3 Semantik

CityGML standardının en önemli tasarım prensiplerinden biri nesnelerin semantik ve topolojik özelliklerine uygun olarak modellenmesidir. Gerçek dünya nesneleri semantik düzeyde detaylar ile temsil edilir. Nesne tanımlaması ayrıca öznitelikler ve nesneler arasındaki ilişkileri de içermektedir. Bu nedenle nesneler arasındaki kısmi ilişkiler geometrileri dikkate alınmadan yalnızca semantik düzeyde türetilir. Ancak konumsal düzeyde detayların konumlarını temsil eden geometrik nesneler de tanımlanmakta ve model semantik ve geometrik olmak üzere iki hiyerarşiden oluşmaktadır. Bu yaklaşımın avantajı, analiz ve geometrik/semantik sorgulamalar tüm hiyerarşiler arasında rastgele yapılarak cevap verilir. Bir nesne için iki hiyerarşi de mevcut ise birbirine uyumlu olarak tasarlanmalıdır. Örneğin semantik düzeyde bir kapı ve iki pencereden oluşan bir bina duvarını temsil eden geometri tüm pencereler ve kapı için geometri detaylarını içermelidir (Kolbe, 2009; Kolbe ve Donauber, 2021).

2.2.4 Kapatma yüzeyleri

Hacimsel bir geometri ile modellenmemiş olan nesnelerin hacimlerinin hesaplanabilmesi için sanal kapatma yüzeyleri tanımlanmalıdır. Bu yüzeylere KapatmaYüzeyi (ClosureSurface) adı verilir (OGC, 2012). Bu yüzeyler hacim hesaplama gibi gerekli olan durumlarda kullanılır, görselleştirme gibi ihtiyaç olmayan

durumlarda ise dikkate alınmaz. Bu kavram altgeçit ve tünel gibi yeraltı nesnelerinin girişlerinin modellenmesinde de kullanılır. Ayrıca sayısal arazi modelinin boşluksuz ve sürekli olması için de yeraltı nesnelerinin girişlerinin “kapanma yüzeyleri” ile sanal olarak kapatılması gerekmektedir. Ancak yakın gösterimlerde girişlerin açık olması gerekir (Şekil 2.3).

Şekil 2.3 : CityGML kapanma yüzeyleri (IGG Uni-Bonn)(OGC, 2012).

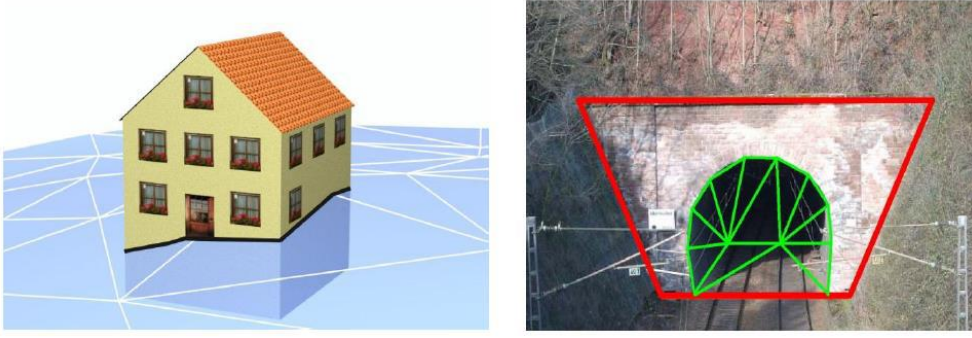
- İki geometri ikisinin de sınırları tarafından paylaşılan geometriyi referans alabilir. Örneğin bina ve binaya komşu garaj temsiliinde 2 katı cisim kullanılır.

Genel olarak “Sınır Gösterimi” yalnızca görünen yüzeyleri dikkate almaktadır. Ancak topolojik komşuluk ilişkisini açık olarak tanımlamak ve gerektiğinde birleşik nesnenin bir parçasını boşluk olmadan söylebilmek için değen nesneler dahil edilmiştir.

CityGML topolojinin uygulanmasında GML tarafından tanımlanmış “Xlink” XML kavramını kullanmaktadır (OGC, 2012). Farklı toplam geometri nesneleri veya tematik detayların ortak kullandığı geometri nesnesi benzersiz nesne tanımlayıcısı ile tanımlanır. Benzersiz nesne tanımlayıcısı, GML geometri özelliği olan “href” özniteliği ile referanslanabilir. CityGML GML3 içerisinde geometri ile beraber tanımlanmış ve ayırık topoloji nesneleri tanımlanmasını sağlayan karmaşık yapıyı kullanmaz. Bu yapı aynı veri modeli içerisinde topoloji içeren ve içermeyen detayların tanımlanmasında esneklik sağlamaz. “Xlink” topolojisi GML3 topoloji modelinden basit ve esnek yapıda tanımlanmıştır. Ancak birbiriyle topolojik olarak ilişkili nesneler arasındaki yönlendirme toplam geometriden bileşenlere olacak şekilde yalnızca tek yönde yapılabilir, GML’de tanımlandığı gibi iki yönlü yapılamaz.

2.2.6 Arazi kesişme eğrileri

3B modellemenin en kritik konularından bir tanesi de 3B nesne ve yer yüzeyinin entegrasyonudur. 3B nesnelerin zemin üzerinde havada asılı kalması ya da zemin içerisine gömülmesi analizlerde problemlere yol açmaktadır. Farklı veri sağlayıcılarının ürettiği ve farklı ayrıntı düzeylerinde olan verilerin entegrasyonu sonucunda bu tip problemlerle sık sık karşılaşmaktadır. Bu kapsamda yaşanan sorunları çözmek amacı ile Arazi Kesişme Eğrisi (Terrain Intersection Curve (TIC)) kavramı tanımlanmıştır (OGC, 2021). Bu eğriler 3B nesnenin arazi ile temas ettiği bölümlerini gerçek konumları ile temsil etmektedir. TIC konsepti bina, bina parçası, köprü, köprü parçası, köprü yapı bileşenleri, tünel, tünel parçası, kent nesneleri ve jenerik kent nesneleri kapsamında kullanılmaktadır (Şekil 2.4). Sayısal arazi modelinin TIC ile uyumlu olması amacı ile bazı bölgelerde model lokal olarak eğilebilir. Bu şekilde dokuların doğru konumlandırılması ve nesne dokularının sayısal arazi modeli ile birleştirilmesi sağlanmaktadır. Bir nesnenin arazi ile kesişimi ayrıntı düzeyine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden 3B nesne için her bir ayrıntı düzeyinde farklı arazi kesişme eğrisi tanımlanabilir.



Şekil 2.4 : CityGML arazi kesişme eğrisi (OGC, 2021).

2.2.7 Görünüm

3B kent modelleri semantik ve geometri hiyerarşilerine ek olarak yüzey dış görünümü hakkında bilgiler de içermektedir. Dış görünüm yalnızca görsel özellikler ile değil yüzey tabanlı tüm temalar ile ilişkilidir. Buna örnek olarak gürültü kirliliği, kızılotesi radyasyon gösterilebilir. Sonuç olarak nesne dış görünümünden elde edilen veri 3B kent modellerinin görselleştirilmesi ve analiz edilmesinde girdi olarak kullanılabilir.

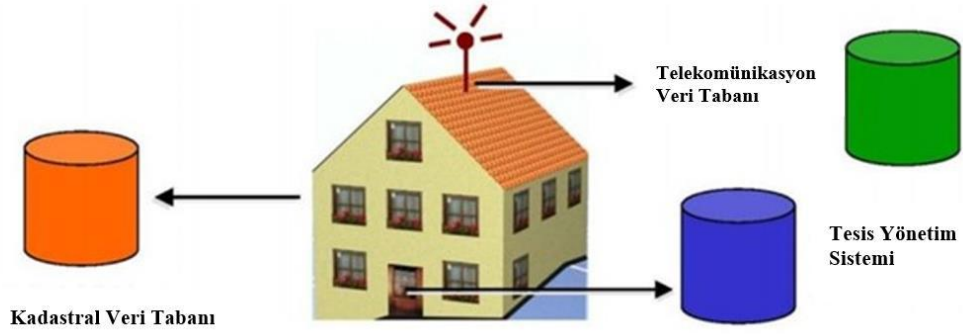
CityGML her bir kent modelinde istenilen sayıda tema için detay dış görünümünü desteklemektedir. Bir detay tüm ayrıntı düzeylerinde ayrı dış görünüme sahip olabilir. Dış görünüm doku ve coğrafi referanslandırılmış doku nesnelerini temsil edebilir. CityGML dış görünüm modülü kendi genişletme modülü olan Görünüm (Appearance) ile paketlenmiştir.

CityGML kapsamında benzer geometriye sahip ve farklı konumlarda birden çok kez mevcut olan nesneler (ağaç, trafik ışıkları, bitki örtüsü nesneleri) prototipler ile temsil edilebilir. Prototipler lokal koordinat sisteminde tanımlanır. Tüm örnekler; referans prototip, dünya koordinat referans sisteminde temel bir nokta ve protipe ait ölçek, dönme ve öteleme parametrelerini içeren bir dönüşüm matrisi ile temsil edilmektedir.

2.2.8 Dış referanslar

3B nesneler genellikle başka veritabanlarında veya veri setlerinde bulunan verilerden üretilir ya da bu verilerle ilişkilendirilir. Örneğin, 3B bina veri modeli nesnelerin taban alanlarını içeren 2B kadastro veri setinden ya da mimari model verisinden türetilir. Nesnenin güncellenmesi ya da nesne ile ilgili ek verilerin gerekli olması durumlarında 3B nesnenin dışarıdaki bir verisetinde ilişkili olduğu nesneye referansı esastır.

Kadastro bilgi sisteminde bulunan bina sahibi adres ve isim bilgileri veya tesis yönetim sisteminde bulunan anten ve kapı bilgileri buna örnek olarak gösterilebilir. Şekil 2.7’de “dış referans” konseptinin kullanımına bir örnek verilmiştir. Tüm _CityObject nesneleri dış veri setlerini referans alarak daha fazla detay içermektedir. Bu kapsamda bir kent nesnesi (_CityObject) harici bilgi sistemlerinde bulunan ilişkili nesneler ile çok sayıda ilişki kurabilir (OGC,2021).



Şekil 2.5 : CityGML dış referans kapsamı (OGC, 2012).

2.2.9 Genişletilebilirlik

Uygulama Alanı Genişleticileri (Application Domain Extensions-ADE) ile CityGML veri modeline yapılacak ek detay tipleri ve öznitelikler tanımlanır. Bu eklentilere örnek olarak mevcut CityGML sınıflarına yeni özniteliklerin eklenmesi ya da bir yeni nesne sınıfının tanımlanması gösterilebilir. CityGML jenerik nesneleri ve öznitelikleri ile ADE arasındaki fark şöyle tanımlanabilir; ADE ayrı bir XML şema tanımlama dosyasında tanımlanmalı ve bu dosya genişletilen CityGML modüllerinin XML şema tanımlarını açıkça belirtmelidir (OGC, 2021).

ADE mekanizmasının en önemli avantajı genişletme kurallarının tanımlanmış olmasıdır. Genişletilmiş CityGML örnek dosyalarının geçerliliği CityGML ve ilgili ADE şeması ile karşılaştırılarak doğrulanabilir. ADE özel bir konuda çalışma yapan bilgi toplulukları tarafından üretilebilir. Aynı veri setinde tek bir ADE kısıtlaması yoktur, birden fazla ADE aktif olarak kullanılabilir.

Bir ya da daha fazla CityGML modülü için ADE mekanizması geliştirilebilir. CityGML veri modelinin modüler yapısı ve esnekliği ADE mekanizması ile daha çok artırılmıştır. CityGML v.2.0 standardı “Gürültü Emisyonu Simulasyonu” ve “Yaygın Ağ Robotu Servisleri” olmak üzere iki farklı ADE uygulamasını içermektedir. Diğer ADE uygulamaları; Tesis Yönetimi konusunda CAFM ADE (Bleifuß ve diğ, 2009);

Kamu Hizmeti Ağı konusunda UtilityNetworkADE (Becker ve diğ, 2011); HydroADE (Schulte ve Coors, 2008); GeoBIM(IFC) ADE (van Berlo ve diğ, 2011)...v.b., olarak sıralanabilir.

CityGML kent ve arazi modelleri için uygulama bağımsız bir 3B coğrafi bilgi modeli ve veri değişim formatı olarak tasarlanmıştır. Bununla birlikte, bazı uygulamalarda CityGML kullanılırken uygulama alanına özel veri ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. Kent verisi ve uygulama verisinin entegre edilmesinde 2 farklı yöntem kullanılabilir;

- CityGML nesneleri daha büyük bir uygulama çerçevesinin içine yerleştirilir ve uygulama ile CityGML verisi arasında bağlantı kurulur. Örneğin CityGML veri parçası XML veri dosyasının içine yerleştirilir ya da uygulama veri modeline göre uygulama nesnesinin öznitelikleri olarak depolanır.
- Uygulama bazlı coğrafi veri CityGML örnek dosyasının içine yerleştirilir. Bu yöntem özellikle uygulama veri yapısının CityGML şemasında tanımlanan veri yapısı ile paralel olduğu durumlarda etkili bir çözüm olarak kullanılabilir. Bu yöntemde CityGML nesnelere yeni öznitelikler eklenerek ve birkaç yeni detay tipi tanımlanarak uygulama verisinin temsil edilebildiği örnek tanımlanmaktadır.

ADE konsepti ile mevcut CityGML detay tipleri, aynı örnek dosyada farklı ADE'lerin aynı anda kullanılabilmesine olanak veren özel bir yöntemle genişletilebilmektedir. ADE mekanizmasının kullanılabileceği alanlara örnek olarak; kültürel miras, yeraltı nesnelerinin temsili (tünel, alt geçit), kent ışıklandırma (sokak lambaları ve ev ışıklandırma), gayrimenkul yönetimi (CityGML detaylarının ekonomik parametreleri), kamusal hizmet ağı verilebilir.

2.3 3B Veri Standartları

2.3.1 3B grafik ve görselleştirme standartları

3B standardizasyon kavramı CAD/BIM, CBS ve Web alanlarında çalışan şirketler ve uluslararası standardizasyon kuruluşları kapsamlarında farklılıklar göstermektedir. Şirketler tarafından geliştirilen bir çok format (SHP, DXF v.b.) geniş bir uygulama alanı olan de facto endüstri standartları olarak kullanılmakta ya da uluslararası açık standartlar (KML gibi) olarak tanımlanmaktadır. Diğer uluslararası standartlar büyük bir şirket katılımı olmadan geliştirilmiştir. Herbiri farklı amaçlar ile geliştirilen

standartlar kullanılarak üretilen coğrafi bilgiler (geometri tipi, kaplama, semantik, ilişkiler) arasında önemli farklılıklar oluşmakta ve tüm coğrafi verilerin tek bir 3B ortama entegre edilmesi neredeyse imkansız hale gelmektedir (Brink ve diğ, 2011)

Bir ISO standardı olan ISO/PAS 16739 ‘Industry Foundation Classes’ (IFC, Adachi et al. 2003) binalar ve arazi için semantik bir model olmakla birlikte çatı, duvarlar, katlar, merdivenler v.b., nesne sınıflarını içermektedir. IFC kapsamında sokak, bitki örtüsü nesneleri ve su kütlesi gibi coğrafi nesnelerin gösterimleri bulunmadığından karmaşık kent modellerinin gösterimi için uygun bir standart değildir (Biljecki ve diğ, 2020; Kolve ve diğ, 200; Noardo ve diğ, 2022). ‘green building XML’ (gbXML), bina enerjisi ve çevre performans analizleri kapsamında kullanılan bir AEC/FM standardı (Cho, 2015; Kamel, 2019; Otero ve diğ, 2020).

LandXML/LandGML veri standardı arazi yönetimi, arazi kullanımı, ulaşım ağları ve altyapı tesisleri gibi bir çok coğrafi nesneye ait modellerin oluşturulması amacı ile kullanılmaktadır (URL-1). LandXML ile 3B koordinatlar tanımlanmakta ancak hacimsel geometrilerin gösterimi yapılamamakta, binalar yalnızca ayak izleri ile temsil edilmektedir. Ayrıca insan yapımı nesnelere ait kavramları kapsamamaktadır (Kolbe ve diğ, 2005; Thompson ve diğ, 2017; Kang, 2017).

VRML97 (1997) ve X3D v.b. bilgisayar grafik standartları 3B nesnelerin yalnızca görünümlerini modellemekte, nesnelere ait tematik özellikler, öznitelikler ve grafik objeler arasındaki ilişkiler tanımlanmamaktadır. Afet yönetiminde tematik bilgi kritik bir öneme sahip olduğundan bilgisayar grafik standartları bu alanda kullanılmak için yeterli değildir. AEC/FM standartları insan yapımı yapılar üzerinde yoğunlaşmış olup doğal nesnelerin gösterimi konusunda eksiklikler içermektedir. Ayrıca yukarıda bahsedilen AEC/FM and GIS standartlarından hiç biri farklı ayrıntı düzeyinde coğrafi verileri kapsayan çok-ölçekli modelleri desteklememektedir (Kolbe ve diğ, 2021).

2.3.2 CityGML perspektifinden 3B görselleştirme

Dünyamız 3 boyutlu olduğundan kamusal alanların yönetimi ve planlanmasında 3B yaklaşımın daha etkili bir potansiyeli vardır. 3B yaklaşım ile sel, hava ve gürültü simülasyonları gibi çevresel tahminler daha verimli gerçekleştirilebilir (Stoter ve diğ, 2020). 3B görselleştirme için mevcut bir çok çözüm vardır. Bir çoğu tescilli olan uygulamaların temel teknolojik kapsamaları görselleştirme, erişim ve dağıtık 3B veri kaynaklarının geri alınması konularında standart geliştirilirken transfer edilebilir.

CityGML bir GML3 profili olarak tanımlanmış olup CityGML tabanlı 3B kent modelleri çok fonksiyonlu, çok ölçekli, birlikte çalışabilir ve semantik veri modelleridir. CityGML ontolojisi ile 3B kent modeline standardize edilmiş bir arayüz sağlanmakta ve farklı kentlere ait kent modelleri üzerinde aynı uygulamaları çalıştırma imkanı sağlamaktadır (Kolbe ve diğ., 2015). Bu 3B görselleştirme CityGML modeline uygulanan betimleme işleminin sonucudur. CityGML bir OGC standardı olan GML3 tabanlı bir standart olduğundan CityGML kapsamında üretilen tüm veri setleri internet üzerinde standart OGC web servisleri (WFS, CS/W) kullanılarak servis edilebilir ve Web Processing Service (WPS) kullanılarak birlikte çalışılabilirlik esaslarına uygun olarak işlenebilir. Shapefiles, DXF, Excel tabloları veya RDF dosyaları gibi diğer veri değişimi formatlarından farklı olarak CityGML kullanıldığında kent verileri birçok dosya ile değil tek bir çerçeve içerisinde gruplandırılmış olarak saklanabilir.

CityGML işlem zincirinde; farklı adımlarda çeşitli doğruluk derecelerinde geometri ve topolojiye sahip 3B kent modellerinin olması, işlem adımları arasında veri kayıpları ile karşılaşılması, nesne kimliklerinin korunmasında zorluklar, takip eden işlemlerde güncelleme ve orjinal veriye eksik bağlantı kurma gibi bir çok problem ile karşılaşmaktadır (Kolbe ve diğ., 2015).

2.3.3 3B veri standartlarının karşılaştırılması

Günümüzde 3B coğrafi verinin görselleştirilmesi, yönetimi, modellenmesi, platform bağımsız veri değişiminin gerçekleştirilmesi gibi bir çok amaçla 3B veri standartları üretilmiştir. Farklı standartlarda üretilmiş 3B coğrafi verinin standartlar arası dönüşüm işlemlerinde veri kaybı, verinin geçerliliğinin kontrol edilememesi, veriler arasındaki ilişkilerin azalması gibi bir çok problem ile karşılaşmaktadır. Brink ve diğ., 2011 tarafından yapılan çalışmada en sık kullanılan uluslararası ve de facto standartlar geometri, topoloji, ayrıntı düzeyi, kabul edilebilirlik, nesneler, öznitelikler, coğrafi referanslama, doku gibi kriterler göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır.

Standartın 3B geometri'yi destekleyip desteklemediğini değerlendiren geometri kriteri basit geometri detaylarını destekliorsa 3B geometriyi destekliyor olarak, parametrik geometrileri destekleyen standartlar ise “++” olarak işaretlenmiştir. Modeldeki geometrilerin birbiri ile ilişkisini değerlendiren topoloji kriterinde temel destek çok basit ilişkilerin saklandığı anlamına gelmektedir. Kaplama kriteri: gerçek resimler ile kaplama işleminin yapılıp yapılamadığını değerlendirmekle beraber doku

haritalamayı destekleyen standartlar “destekler” olarak işaretlenmiştir. Bir objenin birden fazla geometride gösteriminin yapılabilirliğini değerlendiren kriter ayrıştırma düzeyi (LoD) kriteridir. Nesne kriteri geometrileri farklı olan nesnelerin ayrıştırılabilirliğini değerlendirir. Nesnedeki değişimi izlemek için en iyi yöntem ayrı dosyalar oluşturmaktır. Bu nedenle bu iki standart destek vermiyor olarak işaretlenmiştir. Bir nesnenin ya da nesne grubunun tematik anlamlarının atanıp atanmadığını değerlendiren semantik kriteri DXF, SHP ve 3D PDF ile bu katmanlar aracılığı ile sağlanmaktadır. PDF dosyasında yazı formatında daha fazla bilgi tutulmaktadır. IFC ve CityGML’de sınıflar geniş kapsamlı tanımlandığından “extended supported” olarak işaretlenmiştir. Öznitelik kriteri standartın öznitelik bilgisini kapsayıp kapsamadığını değerlendirir. En kapsamlı ve detaylı standart SHP’dir. IFC ve CityGML her nesne için iyi tanımlanmış öznitelikler içerir. 3D PDF’de ise öznitelikler 3D geometrinin yanındaki döküman kısmında listelenebilir. Standartın XML tabanlı olup olmadığı XML kriteri ile gösterilmiştir. Web kriteri ile hangi standartın web kullanımına uygun tasarlandığı sorgulanmaktadır. X3D VRML’nin gelişmiş versiyonudur. KML mevcut CityGML tarayıcılarına göre daha iyi performans gösterir. Büyük hacimli 3B modeller 3D PDF’in hantallaşmasına neden olduğundan bu özellik alt sırada derecelendirilmiştir. Standartın coğrafi koordinatları kullanıp kullanmadığı geo-referanslama kriteri ile gösterilmiştir. Geo-VRML standardı coğrafi koordinatlarla çalışan bir standarttır. Son olarak 3B standartların yazılım sağlayıcıları tarafından ne kadar desteklendiği “Kabul” kriteri ile tanımlanmıştır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : 3B veri standartların karşılaştırılması (Brink ve diğ, 2011).

Standart Kriteri	DXF	SHP	VRML	X3D	KML	Collada	IFC	CityGML	3D PDF
Geometri	++	+	++	++	+	++	++	+	++
Topoloji	-	-	0	0	-	+	+	+	-
Kaplama	-	-	++	++	0	++	-	+	+
LOD	-	-	+	+	-	-	-	+	-
Nesneler	0	+	+	+	-	-	+	++	+
Semantik	+	+	0	0	0	0	++	++	+
Öznitelik	-	+	0	0	0	-	+	+	+
XML tabanlı	-	-	-	+	-	-	+	+	-
Web	-	-	+	++	++	+	-	+	0
Coğ. Ref.	+	+	-	+	+	-	-	+	+
Kabul	++	++	++	0	++	+	0	+	++

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1 Ulusal 3B Coğrafi Veri Modeli Gereksinimi

Hızlı Nüfus artışı ve kentleşme son yıllarda önemli birer küresel sorun haline gelmiştir. Birleşmiş Milletler (BM) tarafından hazırlanan “Dünya Nüfus Durumu” raporu kapsamında dünya nüfusunun yarısından fazlasının şehirlerde yaşadığı belirtilmiştir (BM, 2022). FIG'in "Hızlı Kentleşme ve Mega Şehirler: Mekansal Bilgi Yönetimi İhtiyacı" raporunda ise 2030 yılına kadar dünya nüfusunun %60'ının kentleşeceği tahmin edilmektedir (RapidUrbanization-FIG,2010). Bu hızlı kentleşmeye paralel olarak, şehirlerde artan coğrafi veri boyutunun ve karmaşıklığının yönetilebilmesi için sürdürülebilir ve güvenilir coğrafi veri yönetimi işlevleri gereklidir. Bu kapsamda mekansal bilgi, kentsel sorunları yerel, bölgesel ve küresel düzeylerde anlamak, analiz etmek ve çözmek için hayati önem taşımaktadır.

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki (ICT) gelişmeler, mekânsal verilerin çeşitli düzeylerde etkin paylaşımı ve uygulanması için bir sistem kurulmasına olanak sağlamaktadır. GSDI Cookbook'taki (2009) tanıma göre "Konumsal Veri Altyapısı" (KVA) genellikle mekânsal verilerin kullanılabilirliğini ve bu verilere erişimi kolaylaştıran teknolojilerin, politikaların ve kurumsal düzenlemelerin bütününe ifade etmek için kullanılır. KVA, kar amacı gütmeyen kuruluşlar, akademi, özel sektör, kamu kurumlarının tüm kademeleri ve vatandaşlar için konumsal verinin keşfi, değerlendirmesi ve uygulaması kapsamında bir temel sağlar. Veri entegrasyonu ve dağıtımı için önemli olan husus standardizasyondur. Ortak standartlar, kullanıcılara çeşitli hizmetler ve uygulamalar arasında gelecekteki işbirliğini geliştirmelerini sağlayan KVA'nın önemli bileşenleridir.

Sensör teknolojisi kullanılarak Dünya'nın üç boyutlu (3B) haritalanması giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Doğal afetlerin modellenmesi, çevresel değişimin izlenmesi gibi olayların haritalanması, modellenmesi, ve daha iyi anlaşılmasını amaçlayan çok çeşitli araştırma alanları için detaylı 3B topografik veriler gereklidir (Höfle, 2012).

3D teknolojisindeki gelişmeler, 3B CBS'nin farklı çalışma alanlarındaki uygulama ihtiyaçlarını karşılamak için 2B CBS'den daha etkili özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. 2B CBS ile gerçek temsil sağlanamadığı gibi mevcut CBS'lerin 2 boyutlu mekansal verilerin çoğunu işleyebildiği, ancak 3 boyutlu mekansal verileri işlemekte zorluk çektiği, bu nedenle mevcut sistemlerin üçüncü boyuta (3B) genişletilmesinin gerçek dünyanın modellenmesi için gerekli olduğu düşünülmektedir.

Uluslararası örnek veri modelleri incelendiğinde 3B coğrafi veri yönetimi kapsamında yapılan çalışmalarda bir çok farklı yaklaşım kullanıldığı görülmektedir. Tüm bu çalışmalardan yola çıkarak ulusal 3B coğrafi veri modelinin gerekliliği şöyle özetlenebilir;

- 3B coğrafi veriye erişim önceki yıllara oranla oldukça kolaylaşmış ancak verinin kullanımı hala düşük seviyede ve genellikle görselleştirme amaçlıdır,
- 3B veri değişimini olanaklı kılacak ulusal 3B coğrafi veri modeli ile 3B veri setlerinin benimsenmesi daha hızlı olacak ve dolayısı ile verinin kullanım düzeyi artacaktır,
- Ulusal ölçekte birbirine uyumlu 3B coğrafi veri sağlanacak; veri dönüşümü için gerekli maliyetler daha aza indirgenecektir,

Ulusal ölçekte 3B haritalama uygulamalarında 2 farklı yaklaşım kullanılmıştır. Birinci yaklaşım ICC, IGN ve swisstopo tarafından kullanılmakta ve bu yaklaşımda 3B coğrafi veri birincil veri kaynağı kabul edilerek 2B ürün ve hizmetler 3B verinin türetilmesi ile sağlanmaktadır. Bu yöntem gelecek için daha sürdürülebilir bir yöntem olarak kabul edilebilir. İkinci yaklaşımda ise verilerin temel kaynağı olarak 2B coğrafi veri kabul edilir ve 3B ürün ve hizmetlerin sağlanması için 2B veriler genişletilir. Hollanda ve OSGB tarafından kullanılan bu yaklaşım Türkiye için de uygun bulunmuştur. 2B coğrafi veriden 3B coğrafi veriye geçişin daha kolay olduğu bu yaklaşımda 2B ve 3B coğrafi veriler arasındaki tutarlılık yüksek düzeydedir. 2B coğrafi veriden elde edilen semantik veri yapılandırma işleminde girdi olarak kullanılabilir. Kullanılan yöntemin dezavantajı olarak; 3B verinin 2B veriden türetilmesi nedeni ile 3B haritacılığın geleneksel 2B yaklaşımı ile uygulanması ve 2B coğrafi veriden 3B coğrafi veri türetilmesi işleminin kompleks bir işlem olması sayılabilir.

3B teknolojiler gelişmiş olmasına rağmen uygulamalarda yalnızca görselleştirme amaçlı kullanıldığı görülmektedir. Kurumların 3B coğrafi veri konusunda deneyimsiz olması ve 3B veri yapısının daha karmaşık olduğunun düşünülmesi proje bazlı 3B coğrafi veri kullanımı girişimlerini sınırlamaktadır. 3B coğrafi veri kullanıcılarının belirlenmesi, kullanıcı gereksinimlerinin tanımlanması, 3B coğrafi veri uygulama düzeylerinin belirlenmesi, yatırım maliyetinin hesaplanması gibi sorulara cevap verilerek 3B coğrafi verilerin kullanımının yaygınlaştırılması sağlanacaktır.

Kurumların 3B haritacılık kapsamında sınırlı çalışma yapmasındaki temel nedenlerden biri de yaygın olarak kullanılan 3B coğrafi veri standartlarının özel uygulama alanlarında nasıl kullanılacağına dair uluslararası kabullerin hala geliştirilme aşamasında olmasıdır. Ulusal 2B coğrafi veri standartlarına dair çalışmaların hala devam ettiği ülkemizde uluslararası CityGML standardını temel alan 3B-TRKBİS standartları ile 3B coğrafi veri uygulamalarında standardizasyon sağlanmış olacaktır.

3.2 CityGML-TRKBİS Veri Modellerinin Entegrasyonu

3.2.1 TRKBİS UML modelleme yaklaşımı

UML bir çok standart organizasyonu tarafından coğrafi verinin modellemesinde kullanılan başlıca modelleme dillerinden bir tanesidir. UML sınıf diagramları kullanılarak coğrafi nesneler özellikleri, diğer nesneler ile ilişkileri ve semantik anlamları ile birlikte modellenebilir. Farklı kurumlar tarafından üretilen verilerin birlikte çalışabilirliği kapsamında nesnelerin iyi tanımlanması gerekmektedir. UML, nesnelerin semantik anlamları hakkında OWL, RDF v.b. modelleme dilleri kadar detaylı olmasada, nesne anlamlarının kaydedilmesinde yeterli araçlar sağlamaktadır.

Türkiye temel coğrafi veri modeli TUCBS, uygulama bazlı veri modelleri için ortak altlık veri modeli olarak kullanılmaktadır. Ulusal coğrafi veri modeli kapsamında ISO19101'i temel alan standart bir modelleme tekniği belirlemiş ve birçok uygulamada ortak kullanılan coğrafi veri temalarının (yol, bina, su, etc.) tanımlandığı jenerik semantik UML model tanımlanmıştır. Sektör veri modeli olarak geliştirilen TRKBİS ile birlikte TUCBS ulusal veri modelinde tanımlanan sınıflar daha detaylı özellikler ile genişletilmiştir. Türkiye semantik coğrafi veri standartları, bilgi modeli pirami ile gösterilebilir. Buna göre tüm sektör veri modelleri ulusal coğrafi veri modelini temel aldığından modeller arasında veri değişimi mümkündür. Türkiye'de

coğrafi veri modelleme kavramları ve bu kavramların farklı alanlardaki uygulamalarında Model Bazlı Yaklaşım (Model Driven Approach (MDA)) kullanılmaktadır. Bu modelleme yaklaşımının temel prensibi gereği kavramsal veri modelleri platform bağımsız üretilmektedir. Bu kapsamda coğrafi veri değişimi ve depolanması gibi teknik uygulamalar uygulama alanına ait UML şemalarından otomatik olarak üretilmektedir.

3.2.2 CityGML UML diyagramlarının uygulamaya özel genişletilmesi

Ortak öznitelik, ilişki ve davranışa sahip olan nesneler UML’de tek bir sınıf olarak modellenir. Bir sınıf isim, öznitelik ve diğer sınıflarla ilişki özelliklerine sahiptir. Sınıflar somut ya da soyut olabilir. Soyut sınıflar ortak özelliklere sahip altsınıflar ile üst kategorilerin modellenmesi için kullanılır. Altsınıflar üst sınıfların tüm özelliklerini kalıtım yoluyla alır. Ayırık (münferit) nesneler her zaman somut sınıfın bir elemanıdır. Bir sınıfa ait özellikler ve sınıfın diğer sınıflarla ilişkisi öznitelik ve ilişkiler ile modellenir. Öznitelikler bir isme ve değere sahiptir ve kardinallik değerleri özniteliklerin kaç kere var olduğunu gösterir. Tüm ilişkilerin bir ismi ve kardinalliği vardır. Stereotipler sınıf, öznitelik ve ilişkilerin ana özellikleridir ve UML’i özel bir uygulamada genişletmek için kullanılırlar. UML diagramında parantez içerisinde gösterilirler.

UML genişletmenin başka bir yöntemi de tagli değer kullanmaktır. Genellikle tagli değerler otomatik kod üretimi ile ilişkili (ISO19103) özelliklerin eklenmesinde kullanılır ve diagramda gösterilmez. Kod listesi ve enumeration özel sınıf tipleridir ve belirli sınıf öznitelikleri için izin verilen değerleri gösterir. Enumeration kullanılmışsa liste genişletilemez ancak codelist kullanılmışsa genişletilebilir. Son olarak hook bileşenleri standart UML konseptinde yoktur. Ancak CityGML ve XML modellemede mevcuttur. Temel olarak “hook element” birçok sınıf tarafından tekrar kullanılabilen soyut ve genişletilebilir bir sınıf özelliğidir. Bu mekanizmanın UML modelleme dilinde bir karşılığı yoktur. Bu nedenle CityGML sınıflarını genişletmek için öznitelik değişimi prensibine dayanan farklı bir yöntem kullanılmıştır. Her bir CityGML sınıfı bir, her bir CityGML “complex type” sınıfı tarafından referans alınan soyut “global XML child element” “hook” içerir. Bu sınıf sayısız kez ADE özellik tanımı ile yer değiştirebilir. ADE XML şemada her bir özellik “hook” bileşeni “complex type”nın genişletilmesi ile tanımlanır ve “hook” bileşeni yer değiştirme (substitution group)

grubundaki “özellik” bileşeninin yerini alır. Bu yöntem XML dilinde uygulanabilir olmasına rağmen UML modelleme dilinde bu altsınıflama yönteminin bir karşılığı yoktur. Bu nedenle CityGML-TRKBİS geliştirilmesi çalışmalarında bu yönetime benzer bir yaklaşım ile UML kullanılarak ADE geliştirme yöntemi belirlenmiştir.

3.2.3 UML ile CityGML ADE modelleme yaklaşımı

UML ile CityGML ADE modelleme kapsamında SIG3D, OGC CityGML çalışma grubu ve diğer uzmanlar arasında yapılan görüşmeler sonucunda en uygun yaklaşım belirlenmiştir. Yaklaşım alternatiflerinden bazıları yalnızca UML içerisinde yer alan jenerik genişletmeyi kapsamakta, genişleme ise model dışında tanımlanmaktadır. Diğer yaklaşımlarda ise genişleme UML içerisinde tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımların bir çoğu UML, ISO19109 Genel Detay modeli ve OGC modular spec. Standartları ile farklı derecelerde uyumsuzluklar göstermektedir. Tüm alternatifler göz önünde bulundurularak yapılan karşılaştırma işleminin sonunda ADE paketine altsınıf olarak eklenecek özelliklerin belirlenmesi ancak bu altsınıfların XML şemasında gizlenmesini kapsayan yaklaşım en uygun yaklaşım olarak seçilmiştir (OGC, 2014).

UML şemada genişleme alt sınıfı stereotip ya da tag’li değer kullanılarak ADE “uzantısı” ile işaretlenmiştir. ADE alttipinin XML şema bileşeni ile eşleştirilmediğinin açıkça görülebildiği “stereotip” tercih edilmektedir.

Seçilen yöntemin dezavantajları;

- CityGML sınıfına bir alt sınıf tanımlanması karmaşık bir süreçtir ve ADE hook mekanizması altsınıflamanın engellenmesini olanaklı kılmaktadır. ADE hook mekanizması, UML’de standart bir tanımlama tekniği olmayan özniteliklerin değiştirilmesi konseptini temsil etmektedir. UML’de bir sınıfı altsınıf ile genişletmek mümkündür.
- UML’de bir alt sınıf, bağlı olduğu üst sınıfın tüm özelliklerini kalıtım yoluyla almaktadır. Ancak bu örnekte UML’in bu özelliği kullanılmamıştır. Bu uygulamayı göstermek için altsınıf ve CityGML üst sınıfı arasındaki ilişki <<ADE>> stereotipi almıştır.
- UML’de “uzantı” alt sınıflar ile modellendiğinden nesnenin farklı ADE’lerden aldığı özellikleri birlikte gösteren örnek diyagramı oluşturulamaz. Örnek diagram yalnızca XML seviyesinde görüntülenebilir.

- XML şema uygulamasında altsınıfların dahil edilmemesi farklı ADE'lerdeki özelliklerin birleştirilebilmesini sağlamaktadır. Bu teknik bir uygulama seçimidir.

Seçilen yöntemin avantajları;

- TRKBİS kavramsal olarak CityGML'in bir uzantısıdır ve bu nedenle TRKBİS sınıfları CityGML altsınıfları olarak tanımlanabilir ve bu altsınıflara yeni öznitelikler eklenebilir.
- Altsınıflama temel UML bilgisi olan kullanıcılar için de anlaşılabilir bir yöntemdir.
- Diğer yöntemlerden farklı olarak bu yöntem; ilişkili UML kuralları, ISO 19100 serisi ve OGC ile uyumludur.
- Bu yöntem mevcut TRKBİS modelleme yaklaşımına en yakın olan yöntemdir.

3.2.4 TRKBİS'in CityGML ADE olarak modellenmesi

Mevcut CityGML standartları yalnızca XML formatında geliştirilmiştir. Her bir veri temasına ait UML şemaları mevcut olmasına rağmen UML ile CityGML genişletme çalışmalarında kullanılacak teknik prensipler dökümanda açıklanmamıştır. Bu nedenle 3B CityGML-TRKBİS veri modelinin UML kullanılarak oluşturulmasında CityGML ADE geliştirme kuralları yerine OGC 12-066 referans numaralı "Modeling an ADE of CityGML in UML/UML ile CityGML ADE modellenmesi" Best Practice uygulamasında kullanılan yaklaşım temel alınmıştır. Bu yaklaşıma göre UML ile CityGML ADE geliştirme çalışmaları aşağıdaki kavramları kapsamaktadır;

- 2B coğrafi veri modeli ve CityGML entegrasyonu
- Topoloji kavramı
- Kod listelerinin kullanımı
- CityGML özelliklerinin kullanımı
- Referans sistemi seçimi

3.2.4.1 Resmi modelleme dilinin seçilmesi

TRKBİS veri modeli uluslararası bir standart olan UML ile modellenmiştir. Görsel bir modelleme yaklaşımı olan UML ile paydaşlar arasında iletişim kolaylaştırılmıştır.

TRKBİS UML modelden doğrudan XML şema ve belgeleri üretilebilmektedir. ISO19xxx standartlarının geniş ölçüde kullanıldığı bilgi modelinin kuralları ve yapısı açık bir şekilde UML ile tanımlanmıştır. Bu aşamada tüm nesne tipleri UML sınıf diyagramları içerisinde uygun özellik ve ilişkileri ile birlikte UML sınıfları olarak üretilir. Tüm bu işlemlerin uygulanabilmesi için CityGML UML modeli kullanılmaktadır.

3.2.4.2 CityGML jenerik sınıfları ve uygulamaya ait semantik sınıflar arasındaki benzerliklerin belirlenmesi

TRKBİS 2.0 3B veri modelinin oluşturulmasında kullanılan model bazlı çerçevenin ana prensibi ulusal veri modeli ile uluslararası CityGML standardı entegrasyonu yapılırken mümkün olduğu kadar CityGML standardını değiştirmemektir. Bu kapsamda CityGML ve mevcut 2B veri modeli TRKBİS arasında eşleme yapılarak her iki modelde ortak olan sınıf, öznitelik, kod listesi ve kod listesi değerleri tüm CityGML ayrıntı düzeyleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Eşleme CityGML-TRKBİS veri modelinin temelini oluşturur. Bu eşleme tekniğinde kavramlar semantik düzeyde karşılaştırılmıştır. Bütün TRKBİS detay tipleri için bire-bir eşlenik CityGML detay tipi mevcut değildir. Bu durumda iki çözüm yöntemi kullanılmıştır;

- Daha çok tercih edilen ve mümkün olduğunca uygulanmaya çalışılan ilk yöntem TRKBİS konseptinin yeniden modellenmesidir. Bu şekilde eşdeğer CityGML sınıfı bulunabilecektir.
- İlk yöntemi uygulamak mümkün değilse; herhangi bir CityGML sınıfının bir alt sınıfı olarak yeni bir sınıf oluşturularak CityGML genişletilir.

3.2.4.3 Genişletilecek alt sınıfların belirlenmesi

Mevcut yaklaşımda “specialisation” ilişkisi kullanılarak benzerlikler tanımlanmıştır. İki farklı benzerlik belirlenmiştir; Anlamsal olarak ilgili CityGML sınıfı ile aynı olan ve yalnızca özellik eklenen sınıflar veya anlamsal olarak ilgili CityGML sınıfının alt sınıfı olan sınıflar. Her iki durumda da özelleştirme (specialization) ilişkisi kullanılmıştır. Ancak ilk durumda ilişki <<ADE>> stereotipi uygulama spesifik sınıf <<ADEElement>> stereotipi ile işaretlenmiş ve sınıf ismi ilişkili olduğu CityGML sınıfı ile aynı tanımlanmıştır. Bu durumda UML sınıfı yalnızca kancalar (hook) ile ilişkilendirilmiş ek özellikler için yerbelirleyicidir. İkinci durumda ise özelleştirme

ilişkisi stereotip almaz, yalnızca uygulama spesifik sınıf <<FeatureType>> (ISO 19xx) stereotipi ile işaretlenir ve sınıf ismi ilgili CityGML sınıf isminden farklıdır. Uygulama alanındaki sınıflar tam olarak CityGML sınıfları ile eşleşmezse bu sınıflar CityGML sınıfları ile uyumlu hale getirilir.

3.2.4.4 TRKBİS sınıflarının CityGML altsınıfları olarak modellenmesi

TRKBİS detay tipleri Türkçe isimleri ile ilgili CityGML detay tiplerinin alt bileşenleri olarak tanımlanır. Mevcut CityGML sınıfına yalnızca ek özniteliklerin eklendiği durumlarda altsınıf artık <<featureType>> olarak değil <<ADEElement>> olarak işaretlenir. Bu altsınıfta ilgili CityGML sınıfının İngilizce ismi kullanılarak eşlemenin görülmesi kolaylaştırılır. Dökümantasyon işlemi için alt sınıfın Türkçe ismi takma ad olarak eklenir. Bu stereotip sınıfları CityGML sınıflarına yalnızca öznitelik ekleyen alt sınıflar olarak işaretler ve XML şemasında bu sınıflar ile bağlantılı XML bileşenleri oluşturulmaz. Ayrıca altsınıflar ve CityGML sınıfı arasındaki ilişki <<ADE>> stereotipi ile işaretlenir. TRKBİS ile ilişkili tüm CityGML sınıfları için altsınıflar üretilir ve tüm sınıflara 2B geometri ve LOD0 geometri özellikleri eklenir.

3.2.4.5 Kod listelerinin ADE içerisinde kullanımı

CityGML standart dökümanı kullanıcıya önceden tanımlanmış kod listesi değerleri sunmaktadır. Bu kod listesi değerleri zorunlu olmayıp, önerilen değerlerdir. TRKBİS 2.0 geliştirilmesi çalışmasında CityGML'in önerdiği kod listelerinin yerine TRKBİS 1.0'da tanımlanmış mevcut ulusal kod listesi değerlerinin kullanımına karar verilmiştir. Bunun en önemli sebebi mevcut kod listesi değerlerinin ulusal veri modeline uygun tanımlanmış olması ve her bir kavramın açıklanmış olması, diğer bir nedeni ise CityGML'de tanımlanan kod listelerinin açıklamaları olmadığından hangi nesne için hangi kod listesi değerinin kullanılması gerektiğinin anlaşılmamasıdır. CityGML kod listesi değerleri yazılım tarafından kontrol edilip doğrulanmadığından ve kullanımı zorunlu olmadığından ulusal kod listesi değerleri ile eşleştirilmemiştir.

3.2.4.6 TRKBİS ADE geometri ve topolojisi

Yüksek ayrıntı düzeyleri her zaman TRKBİS verisinden türetilmiş olup tüm ayrıntı düzeyleri 2B TRKBİS ile aynı doğruluğuna sahiptir. Böylelikle tüm ayrıntı düzeyleri arasında 2B geometriden başlayarak bir tutarlılık sağlanmıştır. Hangi ayrıntı düzeyinin kullanılacağına, CityGML standart dökümanlarında belirtildiği gibi konumsal

doğruluğa göre değil 3B coğrafi verinin hangi ayrıntı düzeyine ihtiyaç olduğuna bakılarak karar verilmiştir. Tüm geometri çeşitlerini desteklemesi amacı ile alt sınıflara geometri tiplerini tanımlayan ek öznitelikler eklenmiştir. LOD0 temsili ile nesnenin ayakizi, ve ayakizinin arazi üzerindeki gerçek konumu tanımlanmaktadır. Dolayısı ile bu nesnelerin LOD1 ve daha yüksek ayrıntı düzeylerinde 3B gösterimleri arazi üzerinde kolayca konumlandırılabilir. Bu şekilde model içerisindeki nesneler arazi içerisinde batık ya da havada yüzer şekilde görünmez. Bu yaklaşım ile nesnelerin 2B, 2.5B ve 3B gösterimleri entegre bir şekilde sağlanabilmektedir. Bazı sınıflar için CityGML’de tanımlanan geometri tipinden farklı geometriler kullanılmıştır.

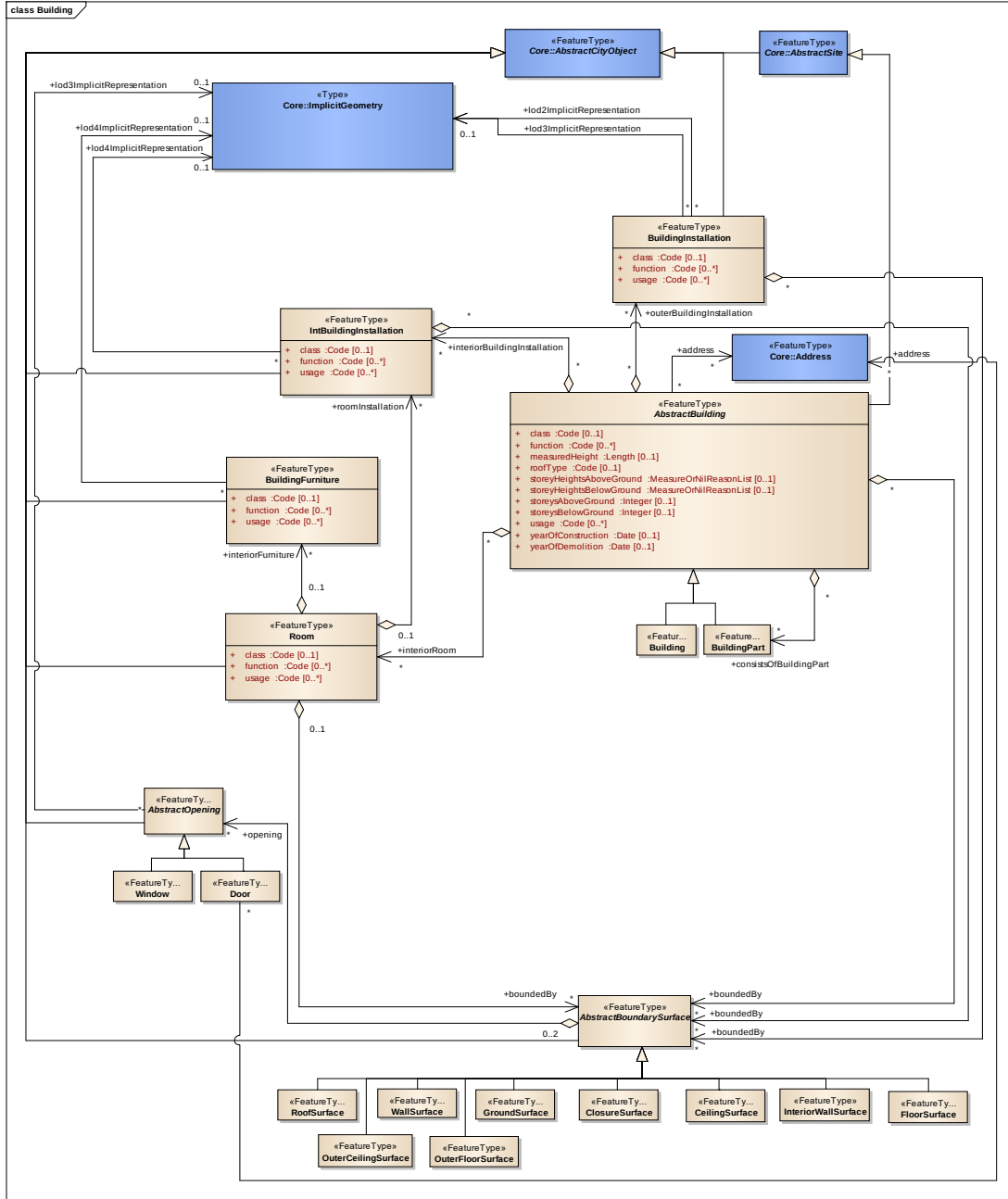
3.3 CityGML-TRKBİS Uygulama Alanı Uzantısı (ADE) Geliştirilmesinde Model Bazlı Yaklaşım

3.3.1 CityGML-TRKBİS.BI (Bina) veri modeli

3.3.1.1 CityGML.Building (Bina) veri modeli

CityGML tematik veri sınıfları arasında en detaylı modellerden biri Bina veri modelidir. Bina modelinde bina ve bina parçalarının tematik ve konumsal özellikleri LoD0’dan LoD4 ayrıntı seviyesine kadar 5 farklı düzeyde tanımlanır. _AbstractBuilding bina veri modelinin ana sınıfı olarak tanımlanmıştır. _AbstractBuilding Bina (Building) ve BinaParçası (BuildingPart) olmak üzere 2 alt bileşen ile ifade edilmiş olup _CityObject soyut sınıfının bir alt sınıfı olarak _CityObject özelliklerini kalıtım yoluyla alır. Ayrıca Adres detayları da Building ve BuildingPart sınıfları ile ilişkilendirilebilir. CityObjectGroups fabrika, hastane gibi ayırık binalardan oluşan bina komplekslerini temsil etmektedir (Şekil 3.1).

Bina nesnesi LoD0’da çatı sınırları ya da taban alanı ile temsil edildiğinden 2B veriler ile kolay entegrasyon sağlanabilmektedir. Bir çok ülkede bu veriler kadastro ya da topografya verileri içerisinde mevcuttur. Kadastro verisi binanın taban alanı ile ilgili bilgi verirken, topografik veri genellikle uzaktan algılama ve hava fotoğraflarından fotogrametrik yöntemlerle elde edilen çatı sınırı geometri verisi ve taban alanı verisinin birleşimidir. Taban alanı binanın bulunduğu zeminin en düşük seviyesinde, çatı sınırı temsili ise çatı yüksekliğinde yer almalıdır.



Şekil 3.1 : CityGML bina modeli UML diyagramı (OGC, 2012).

LoD1 ayrıntı düzeyinde geometrik olarak bina genelleştirilmiş bina modeli ile gösterilir. Ayrıca arazi kesim eğrisi (TIC)'ni temsil eden gml:MultiCurve tanımlanabilir. Arazi kesim eğrisi LoD2 ayrıntı düzeyinde çatı çıkması ve kolon gibi mimari detayları modellemek için gml:Multisurface ve gml:MultiCurve olmak üzere 2 farklı şekilde tanımlanabilir.

LoD2 ve daha yüksek ayrıntı düzeylerinde bina dış cephesi semantik olarak BuildingInstallation ve _BoundarySurface ve sınıfları ile temsil edilmektedir. _BoundarySurface binanın özel bir fonksiyonu olan bölümünü temsil eder

(ClosureSurface, GroundSurface , WallSurface, RoofSurface, GroundSurface, OuterFloorSurface, OuterCeilingSurface). BuildingInstallation sınıfı ise çatı penceresi, balkon gibi bina dış görünümünü etkileyen bina elemanları için kullanılır. BuildingInstallation sınıf, fonksiyon ve kullanım olmak üzere 3 öznitelik içermektedir. Bina kabuğunu semantik olarak yapılandıran tüm nesneler için temel sınıf _BoundarySurface temel sınıfıdır ve bu soyut sınıf gml:MultiSurface geometrisi ile ilişkilendirilmiştir.

LoD3 ayrıntı düzeyinde pencere ve kapı gibi açıklıklar tematik nesneler olarak temsil edilmektedir. LoD4 en yüksek ayrıntı düzeyi olup odalar bu düzeyde Room sınıfı ile temsil edilmektedir. Oda içerisindeki hareketsiz eşyalar ise IntBuildingInstallation sınıfı ile temsil edilir. Room detay tipi içerisinde sınıf özniteliği oturma odası, mutfak gibi oda sınıflandırmalarını kapsar. Kullanım özniteliği ise fonksiyonundan farklı amaçlarla kullanılan nesneler için kullanılır. BuildingFurniture mobilyaları temsil etmektedir.

Tek bir parçadan oluşan binalar “Building” sınıfı ile, farklı bina parçaları varsa farklı çatı tipi ve kat sayısı gibi özellikler içereceğinden “BuildingPart” sınıfı ile ayrı tanımlanır. BuildingPart sınıfı _AbstractBuilding soyut sınıfından türetilmiştir ve binanın yapısal bir parçasını modellemek için kullanılır. Bir BuildingPart nesnesi yalnızca bir bina ya da bina parçası nesnesi ile ilişkilendirilmelidir.

_AbstractBuilding soyut sınıfı içerisindeki sınıf özniteliği bina veya bina parçasının sınıflandırmasını; fonksiyon özniteliği farklı kullanım amaçlarını; kullanım özniteliği ise gerçekte hangi amaçla kullanıldığını tanımlamaktadır. Özniteliklere ait değer tipleri kod listeleri oluşturularak tanımlanabilir. Bina nesnesine ait yapımYılı ve YıkımYılı öznitelikleri ile binanın gelişim kronolojisini tanımlanmaktadır. Balkon, çatı pencereleri ve baca gibi bina detayları BuildingInstallation sınıfı ile temsil edilir. BuildingInstallation sınıf özniteliği bina donatımının genel sınıflandırmasını, fonksiyon ve kullanım öznitelikleri ile ise binanın tanımlanmış veya gerçek fonksiyonlarını temsil eder.

_BoundarySurface soyut sınıfı _CityObject soyut sınıfının bir alt sınıfı olarak tanımlandığı için özniteliklerini kalıtım yoluyla alır. ÇatiYuzeyi, DuvarYuzeyi, YerYuzeyi, DisTavanYuzeyi, DisTabanYuzeyi, KapanmaYuzeyi, ZeminYuzeyi,

IcDuvarYuzeyi ve TavanYuzeyi tematik sınıfları _BoundarySurface soyut sınıfından türetilmiştir.

Bina veya bina parçasına ait taban yüzeyleri *ZeminYuzeyi* sınıfı ile temsil edilir. Bina tabanı katmanını tanımlayan poligon bina taban alanı ile özdeştir. Ancak bina taban plakasının normali yeryüzü yönündedir. DisTavanTuzeyi (OuterCeilingSurface) sınıfı bina kabuğuna ait ve aşağı yönlü yatay yüzeylerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Bina kabuğuna ait tüm bina cepheleri DuvarYuzeyi (WallSurface) olarak modellenebilir. Bina kabuğuna ait yatay ve yönü yukarı dönük olan yüzeyler DisZeminYuzeyi (OuterFloorSurface) olarak modellenebilir. Sundurma zemini örnek olarak gösterilebilir. Bina ve bina parçasına ait ana çatı bölümleri “RoofSurface” sınıfı ile modellenir. Kapı ve pencere ile kapatılmamış olan bina açıklıkları KapatmaYuzeyi (ClosureSurface) olarak sınıflandırılabilir. Açık cepheleri olan ahır ve hangar gibi binaların hacimleri hesaplanırken açık olan cepheler sanal olarak kapatılır. Farklı fonksiyonlara sahip iki odanın bir kapı ile birbirinden ayrılmadığı durumlarda KapatmaYuzeyi kullanılarak odalar birbirinden ayrılır. ZeminYuzeyi, TavanYuzeyi ve IcDuvarYuzeyi detay tipleri yalnızca LoD4 ayrıntı düzeyinde modellenir.

“_Opening” sınıfı LoD3 ve LoD4 ayrıntı düzeylerinde bulunmakla birlikte duvar ve çatı gibi zeylerde bulunan kapı ve pencerelerin semantik olarak tanımlandığı temel soyut sınıftır. Bu nesneye ait geometri gml:MultiSurfaceGeometry geometri tipi ile ilişkilendirilmiştir. Pencere sınıfı bina dış yüzeyindeki ya da komşu odalar arasındaki pencereleri modellemek için kullanılır. Kapı sınıfı binanın içindeki ve dışındaki tüm kapıları modellemek için kullanılır. *Pencere* ve *Kapı* sınıfları arasındaki temel fark pencerenin insan ve araç geçişine göre tasarlanmamış olmasıdır. *Kapı* sınıfı *Adres* veri teması ile ilişkilendirilebilir.

Geometrik olarak bina nesnesi lod4Solid (katı cisim) ya da MultiSurface (lod4MultiSurface) olarak tanımlanmaktadır. Odalara ait sınır geometrisi topolojik olarak doğrulanabilir değilse lod4MultiSurface tercih edilir. Oda yüzeyleri *Gorunum* olarak atanabildi için yüzey normalinin yönü dışa doğru olması önemlidir. Geometrik temsile ek olarak odaya ait görünebilir yüzeyin parçaları _BoundarySurfaces sınıfı bileşenleri ile modellenebilir.

_IntBuildingInstallations merdiven, korkuluk gibi kalıcı olarak binaya eklenmiş olan sabit nesnelerin temsilde kullanılmaktadır. Bu sınıftaki nesneler *Oda* ya da

_AbstractBuilding sınıfları kullanılarak bütün bina ile ilişkilendirilebilir. Ancak yalnızca bir oda, bina veya bina parçası nesnesi ile ilişkilendirilmelidir. _IntBuildingInstallation sınıf özneliği ile bina iç bileşenin genel sınıflandırması temsil edilir. *Fonksiyon* ve *kullanım* öznelikleri ile bina iç donatısının gerçek fonksiyonları tanımlanır. _BuildingInstallation nesnesi benzersiz bir bina veya bina parçası nesnesi ile ilişkilendirilmelidir. Alternatif olarak geometri “ImplicitGeometry” nesnesi ile tanımlanabilir.

CityGML modeli içerisinde bina kat modellemesi dahil edilmemiştir. “_CityObjectGroups” sınıfı ile bir bina katı temsil edilebilir. Bu kapsamda oluşturulacak model içerisinde *Kapı*, *Oda*, *Pencere*, *BinaMobilyası* sınıflarını da içermelidir. Duvar ve iç duvar gibi tematik yüzeylerin belirli bir kat ile ilişkilendirildiği durumlarda her kata bir parça tanımlanabilecek şekilde yüzeylerin düşey parçalara ayrılması gerekir. Sanal 3B şehir modellerinde tematik yüzeyler tüm cepheye yayılmış olarak gösterilmektedir.

3.3.1.2 TRKBİS.BI veri modeli

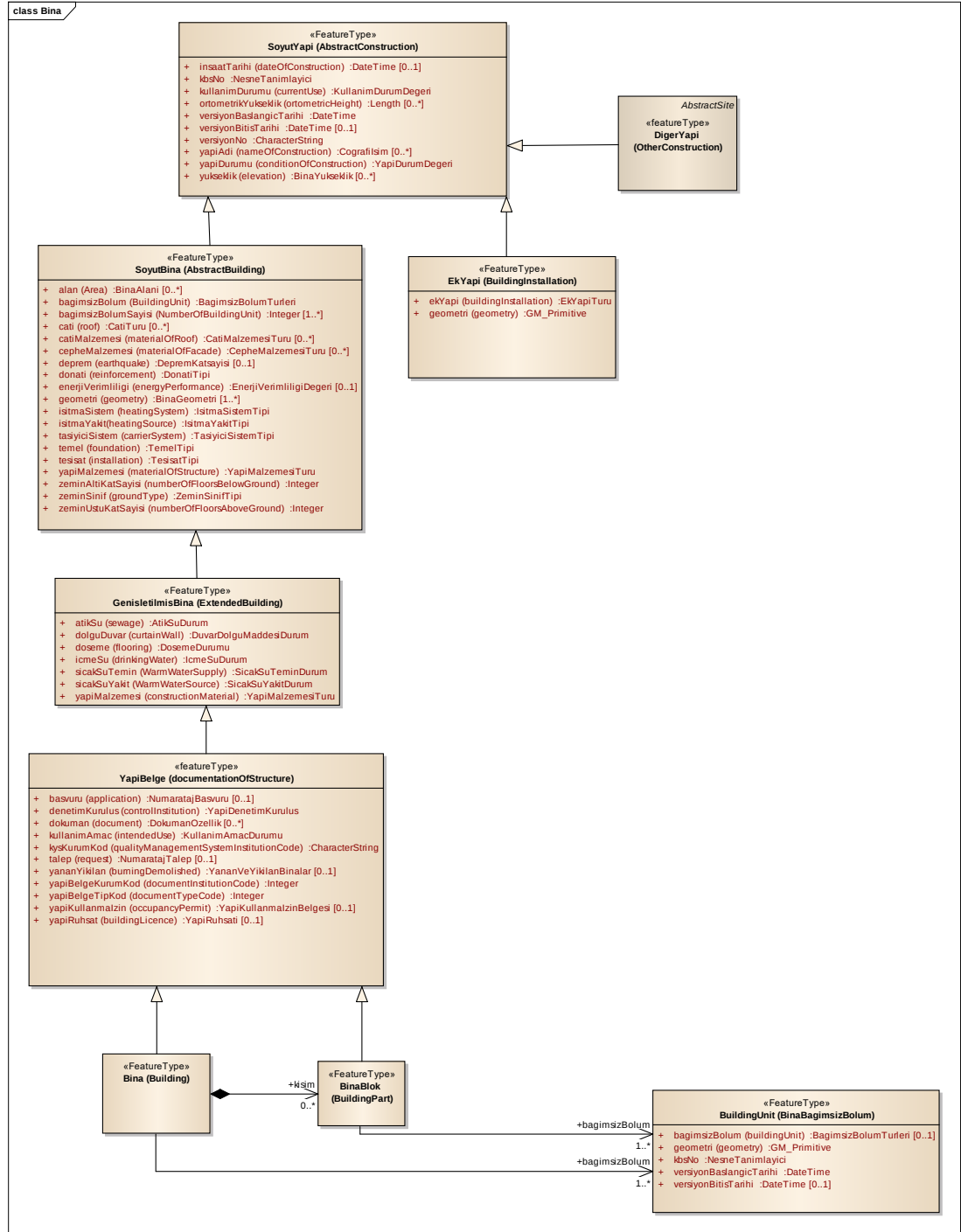
Ülkemizde bina verileri ile kadaströ verileri birbirinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Ancak kat irtifakı ya da kat mülkiyeti kurulmuş olan parsellerde bu ilişki parsel numarasından sağlanabilmektedir. Ayrıca binanın sahip olduğu adres bilgisi de parselden bağımsızdır. TRKBİS kapsamında oluşturulan bina veri teması en temel anlamda gerekli olan bina özelliklerini içeren, kadaströ ve adres veri temaları ile ilişkileri detaylı olarak tanımlanmış bir modeldir. Bir bina için tanımlanması gerekli görülen özneliklerin tanımlandığı bu veri temasında, INSPIRE ve ISO standartları da sağlanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda bina veri teması için belirlenen detay tipleri; ÖzetYapi (AbstractConstruction), ÖzetBina (AbstractBuilding), EkYapi (BuildingInstallation), DiğerYapi (OtherConstruction), GenişletilmişBina (ExtendedBuilding), YapiBelge, Bina (Building), BinaBlok (BuildingPart) ve BinaBağımsızBolum (BuildingUnit) olarak tanımlanmıştır. Bina bilgisi ilgili alt blokları ile birlikte alan geometrisinde ifade edilmektedir.

Bina veri temasına ait tüm detay tipleri, öznelikleri ve değerleri, ISO/TC211 ve INSPIRE uluslararası coğrafi veri standartları, TRKBİS Veri/Kullanıcı Gereksinim Analizinde tanımlanan iş süreci analizindeki veri gereksinimleri ve mevzuat analizinde zorunlu binaların özellikleri kullanılarak tanımlanmıştır.

TRKBIS.BI (Bina) veri temasının merkezi nesnesi *OzetYapi* olarak belirlenmiştir. *OzetYapi* detay tipi, bir yapının tanımlanması gereken en temel özniteliklerini içermektedir. Burada kbsNo, tabloları birbirine bağlamak için tanımlanan bir nesne tanımlayıcısı olarak belirlenmiştir. Diğer temalarda olduğu gibi *versiyonBaslangicTarihi*, *versiyonBitisTarihi* ve *versiyonNo* zamansal olarak verileri saklamak için tanımlanan öznitelikler olarak belirlenmiştir. Yine *insaatTarihi*, *yapiAdi* ve *yapiDurumu* bu detay tipinde tanımlanan öncelikli özniteliklerdir.

OzetBina detay tipinde *OzetYapi*'da tanımlanmayan detaylı bina özellikleri tanımlanmıştır. *EkYapi* detay tipinde ise *OzetBina* detay tipinde tanımlanmayan binalar arası köprüler, müstemilat, v.b. ek yapılar tanımlanmıştır. *DigerYapi* detay tipi ile, bina ile ilişkili ancak bina olmayan nesneler tanımlanmıştır. Bu sınıfın *Bina* sınıfından farkı, nesnelerin kapalı nesneler olması gerekmemesidir. Örnek olarak surlar, gürültü bariyerleri ve kent duvarları gösterilebilir. *BinaBagimsizBolum* detay tipi ise bir binanın fonksiyonel olarak birbirinden bağımsız, ayrı bir girişi olan ve ayrık olarak kiralanıp, satılabilen bölümlerini temsil etmektedir. Örnek olarak, daire, kiler ve garaj gösterilebilir.

TRKBIS.BI UML modelinden de görüldüğü gibi, *OzetBina*, *EkBina*, *DigerYapi*, *Bina* ve *BinaBlok* detay tipleri *OzetYapi* merkezi detay sınıfına kalıtım yoluyla ilişkilendirilmiş olduğundan merkezi sınıfın sahip olduğu tüm öznitelikler ilişkili olduğu tüm diğer detay tiplerine taşınır. *BinaBagimsizBolum* ise diğer detay tiplerinden ayrı bir yapıda tasarlanmıştır. Bu nedenle kbsNo özelliği diğer tablolarla ilişki kurabilmek için bu detay tipinde tekrar kullanılmıştır. *Bina* ve *BinaBlok* detay tipleri ile *BinaBagimsizBolum* arasında bire-çok ilişki kurulmuştur. Bir binanın veya bina bloğunun bir veya birden fazla bağımsız bölümü olması nedeni ile ilişki çokluk ilişkisi olarak tanımlanmıştır. *Bina* ve *BinaBlok* arasında kurulan bütünleme ilişkisi gereği *BinaBlok* detay tipi *Bina* detay tipi olmadan varolamaz (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : TRKBİS Bina UML modeli (ÇŞİDB, 2012a)

3.3.1.3 CityGML-TRKBİS.BI veri modelinin üretilmesi

TRKBİS 2.0 3B veri modelinin oluşturulmasında kullanılan model bazlı çerçevenin ana prensibi ulusal büyük ölçekli coğrafi veri modeli ile uluslararası CityGML standardı entegrasyonu yapılırken mümkün olduğu kadar CityGML standardını değiştirmemektir. Bu kapsamda CityGML ve mevcut 2B veri modeli TRKBİS arasında eşleme yapılarak her iki modelde ortak olan sınıf, öznitelik değerleri tüm

CityGML ayrıntı düzeyleri dikkate alınarak belirlenmiştir. CityGML 2.0 ve TRKBİS bina veri modellerinin semantik eşleştirmesi EK-A Çizelge A.1’de verilmiştir. Eşleme CityGML-TRKBİS.BI veri modelinin temelini oluşturur. Bu eşleme tekniğinde kavramlar semantik düzeyde karşılaştırılmıştır. Bütün TRKBİS.BI detay tipleri için bire-bir eşlenik CityGML detay tipi mevcut değildir. Bu durumda iki çözüm yöntemi kullanılmıştır;

- Daha çok tercih edilen ve mümkün olduğunca uygulanmaya çalışılan ilk yöntem TRKBİS konseptinin yeniden modellenmesidir. Bu şekilde eşdeğer CityGML sınıfı bulunabilecektir. TRKBİS.BI veri modelinde bu yöntem “OzetBina” detay tipinde kullanılmıştır.
- İlk yöntemi uygulamak mümkün değilse; herhangi bir CityGML sınıfının bir alt sınıfı olarak yeni bir sınıf oluşturularak CityGML genişletilir. TRKBİS.BI veri modelinde bu yöntem “EkYapi” detay tipinde kullanılmıştır.

TRKBİS.BI detay tipleri Türkçe isimleri ile ilgili CityGML detay tiplerinin alt bileşenleri olarak tanımlanır. Mevcut CityGML sınıfına yalnızca ek özniteliklerin eklendiği durumlarda alt sınıf artık <<featureType>> olarak değil <<ADEElement>> olarak işaretlenir. Bu alt sınıfta ilgili CityGML sınıfının İngilizce ismi kullanılarak eşlemenin görülmesi kolaylaştırılır. Dökümantasyon işlemi için alt sınıfın Türkçe ismi takma ad (alias) olarak eklenir. Bu stereotip sınıfları CityGML sınıflarına yalnızca öznitelik ekleyen alt sınıflar olarak işaretler ve XML şemasında bu sınıflar ile bağlantılı XML bileşenleri oluşturulmaz. Ayrıca alt sınıflar ve CityGML sınıfı arasındaki ilişki <<ADE>> stereotipi ile işaretlenir.

CityGML-TRKBİS bina veri temaları arasındaki kavramsal eşleme Çizelge 3.1’de özetlenmiştir. Buna göre *OzetYapi*, *GenisletilmisBina*, *YapiBelge* detay sınıflarının tüm öznitelikleri ve *OzetBina* detay sınıfının çoğu özneliği *CityGML.AbstractBuilding* detay sınıfına eklenmiştir. Bu işlem sırasında oluşturulan sınıfa, ilişkili CityGML sınıfı olan *AbstractBuilding* adı verilmiş, sınıfın Türkçe ismi *OzetBina* ise modelde takma ad olarak belirtilmiştir. CityGML *AbstractBuilding* sınıfına ilgili TRKBİS.BI detay tiplerinin özniteliklerini ekleyen bu sınıf ile CityGML sınıfı arasındaki ilişki <<ADE>> stereotipi ile işaretlenmiştir. <<ADEElement>> stereotipi ile işaretlenen sınıf UML şemasından üretilen XML şemasında gösterilmez. Bu sayede CityGML bileşenlerinden ayrı işaretlenmiş olmaktadır

Çizelge 3.1 : CityGML-TRKBİS veri temaları eşleme özet çizelgesi.

TRKBİS.Bina Sınıfları	CityGML.Building Sınıfları
OzetYapi (AbstractConstruction)	AbstractBuilding
	AbstractBuuilding(çoğu)
	RoofSurface(materialOfRoof)
OzetBina (AbstractBuilding)	WallSurface(materialOfFacade)
	GroundSurface(groundClass)
	GroundClassType, localGround, groundGroup)
GenisletilmişBina(ExtendedBuilding)	AbstractBuilding
BagimsizBolum(BuildingUnit)	-
BinaBlok(BuildingPart)	Building
YapiBelge(DocumentationOfStructure)	AbstractBuilding
DigerYapi(OtherConstruction)	-
EkYapi(BuildingInstallation)	BuildingInstallation

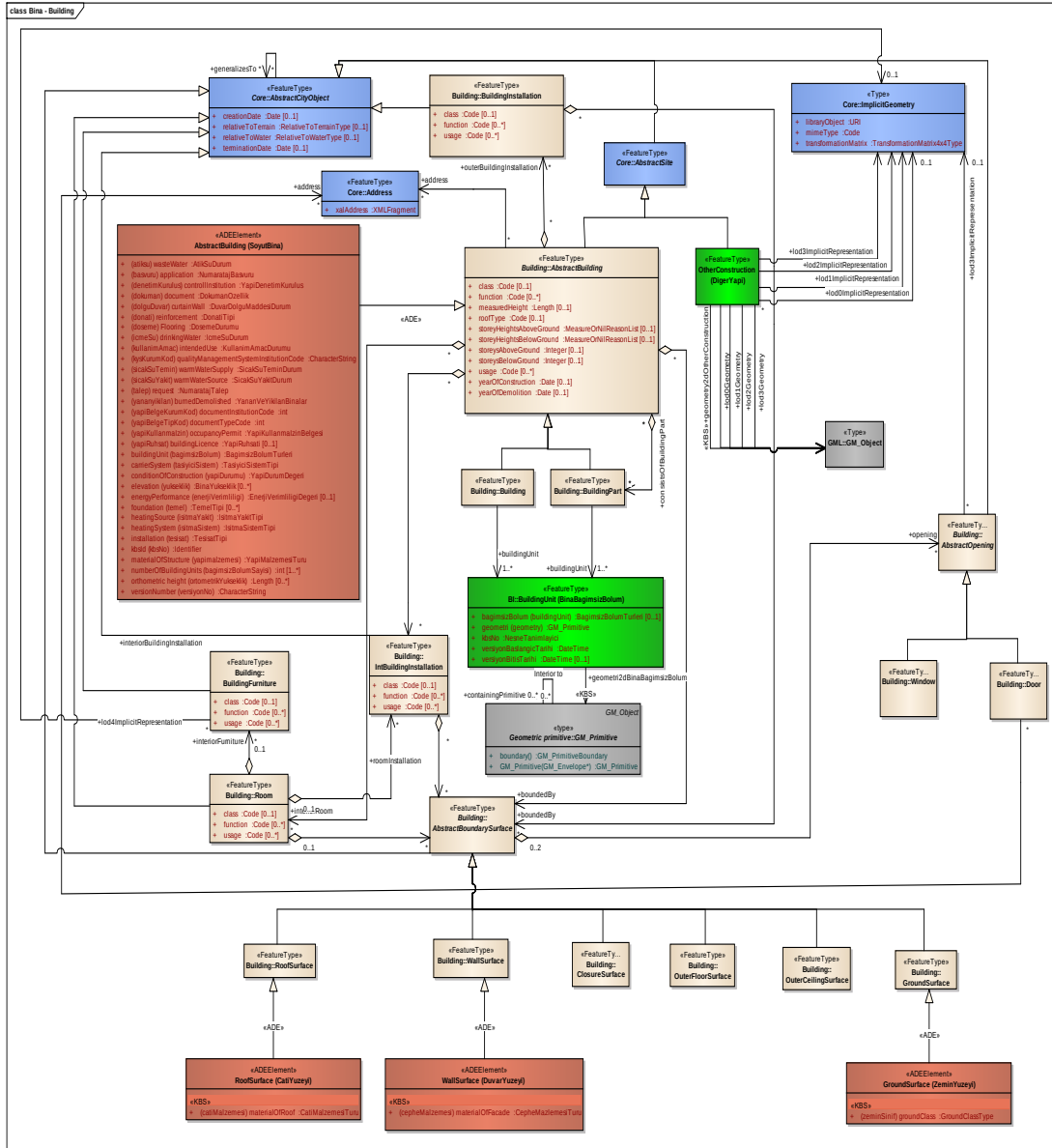
TRKBİS.BI veri teması *OzetBina* detay tipinin ilgili CityGML detay tipleri ile eşleştirilmesi aşamasında çoğu öznitelik *CityGML.AbstractBuilding* detay tipi içerisinde yer almasına rağmen, bazı öznitelikler başka detaylar ile ilişkili olduğundan bu kapsamda modellenmemiştir. Örnek olarak TRKBİS *OzetBina* içerisindeki *catiMalzemesi* özniteliği *CityGML.RoofSurface* detayı ile; *cepheMalzemesi* özniteliği *CityGML.WallSurface* detayı ile; *zeminSinifi*, *ZeminSinifTipi*, *yerelZemin* ve *zeminGrubu* özellikleri ise *CityGML.GroundSurface* detayı ile ilişkilendirilmiştir. CityGML özelliklerinin korunması amacı ile *OzetBina* sınıfı parçalara ayrılarak CityGML veri modeline entegre edilmiştir (Şekil 3.3).

TRKBİS.BI modelindeki *Bina* detayı *CityGML.Building* detayı ile, *EkYapi* detayı *CityGML.BuildingInstallation* detay tipi ile *BinaBlok* detayı ise *CityGML.BuildingPart* detayı ile eşleştirilerek TRKBİS ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde CityGML sınıflarına öznitelikler eklenmiştir.

TRKBİS.BI veri modelinde mevcut olan ancak *CityGML.Building* modelinde mevcut olmayan *BinaBagimsizBolum* ve *DigerYapi* detayları ise *CityGML.Building* ve *CityGML.Site* sınıflarının alt sınıfları olarak modele eklenmiştir. Yeni oluşturulan bu sınıfların geometri ve koordinat referans değerleri tanımlanmıştır.

CityGML.Building veri teması detaylarının TRKBİS temel alınarak genişletilmesi ile oluşturulan yeni UML modelde TRKBİS’de tanımlanan kod listelerinin kullanılması uygun bulunmuştur. CityGML veri modelinde sınıf, fonksiyon ve kullanım öznitelik değer tiplerine ait kod listesi değerleri uygulama ihtiyaçlarına göre CityGML şemasının dışında tanımlanabilir. Kod listesi değerlerini kullanan tüm öznitelikler *gml:CodeType* ile tanımlanarak *KodAlanı* (*codeSpace*) değeri eklenir. KodAlanı,

öznitelik ve bu öznitelige ait kod listesi değerlerini içeren sözlüğün Standart Kaynak Tanımlayıcısı (URI) kullanılarak ilişkilendirilmesini sağlar.



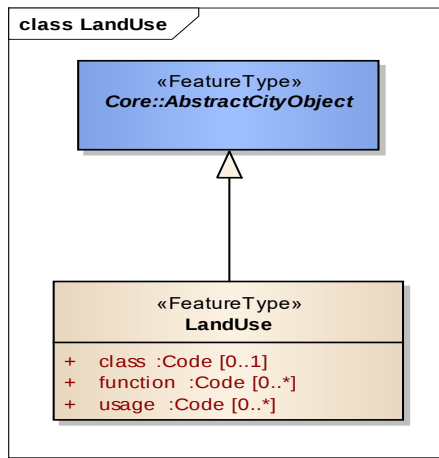
Şekil 3.3 : CityGML-TRKBIS.BI ADE veri modeli UML diyagramı.

3.3.2 CityGML-TRKBİS.AK (AraziKullanımı) veri modeli

3.3.2.1 CityGML.LandUse (AraziKullanımı) veri modeli

Arazi Kullanımı nesneleri yeryüzünde belirli bir kullanıma ayrılmış alanları tanımlamaktadır. Arazi Örtüsü ise yeryüzünde belirli bir fiziksel ve biyolojik örtüye sahip olan alanları tanımlar. İkisi birbirinden farklı kavramlar olmakla birlikte birbirleri ile bağlantılıdır. *CityGML.LandUse* tematik veri sınıfı parseller, rekreasyon alanları, planlama alanları gibi yeryüzündeki bir alanın fiziksel özelliklerini 3B olarak

temsil etmektedir. Her bir *CityGML.LandUse* detay tipi sınıf, işlev ve kullanım özniteliklerine sahip olmakla birlikte sınıf özniteliği ile yerleşim alanı, tarım arazisi, sanayi alanı v.b. kullanım nesneleri tanımlanabilmektedir. Kullanım özniteliği ise arazi nesnesinin fonksiyonu ve gerçekte kullanım alanının birbirinden farklı olduğu durumlarda kullanılabilir. Hiyerarşik olarak tüm detay seviyelerinde (LoD0-LoD4) tanımlanabilen arazi kullanımı detay tipi her detay seviyesinde farklı 3B geometrilere sahip olabilir (OGC, 2012). Arazi kullanımı nesneleri ile yeryüzünün tutarlı bir geometrik modelini oluşturabilmek için komşu nesneler arasında topolojik ilişkilerin kurulmuş olması gereklidir (Şekil 3.4).

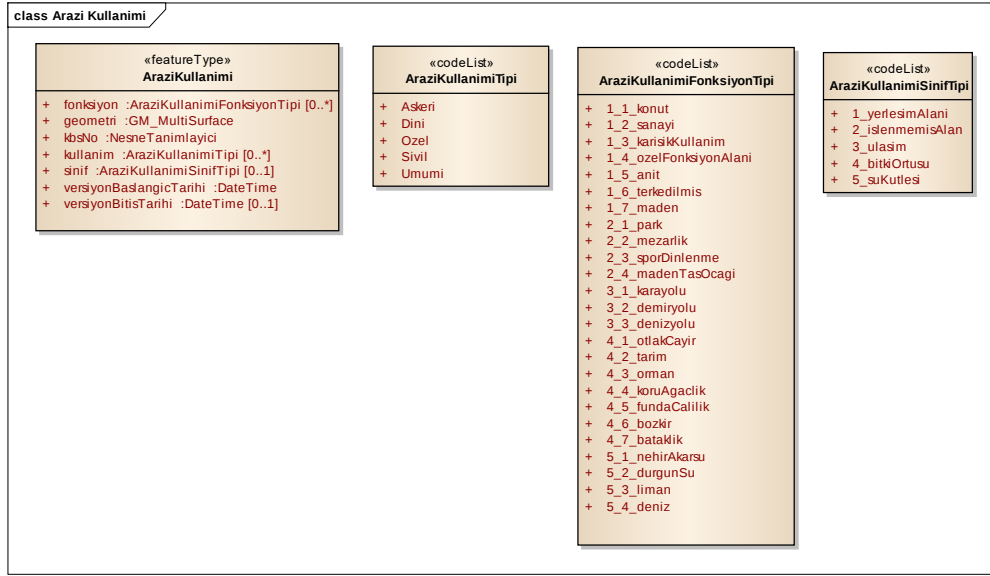


Şekil 3.4 : CityGML.LandUse veri modeli UML diyagramı (OGC, 2012).

3.3.2.2 TRKBİS.AK veri modeli

TRKBİS.AraziKullanımı veri modeli diğer temalarla ilişkileri ile birlikte kullanım fonksiyonlarını da belirttiğinden dolayı önemli bir veri temasıdır. İmar planları, afet riski taşıyan yapıların tespiti, atık yönetimi, ulaşım planları, zabıta hizmetleri gibi işlerde ihtiyaç duyulan arazi kullanımı verisi TRKBİS içerisinde *GM_Multisurface* geometrisinde tanımlanmıştır. Bina, su kütlesi, ulaşım ve bitki örtüsü arazi kullanımı sınıf tiplerinde arazi kullanımını niteleyecek şekilde tanımlanmakla birlikte; TRKBİS modeli içinde ayrı birer model olarak detaylandırılmıştır.

Arazi kullanımı detay sınıfında sınıf tipi, fonksiyon, arazi kullanım tipi, tabloları birbiri ile ilişkilendirmek için kullanılan *kbsNo*, zamansal veri yönetimini sağlamak için *versiyonBaslangicTarihi* ve *versiyonBitisTarihi* öznitelikleri ile sınıf, fonksiyon ve kullanım tipine ait kod listeleri de UML şema içerisinde tanımlanmıştır (Şekil 3.5). Arazi kullanımı veri teması ile *ulaşım*, *bitki örtüsü*, su kütlesi ve arazi örtüsü tematik veri grupları arasında çapraz ilişki kurulmuştur.



Şekil 3.5 : TRKBİS Arazi Kullanımı Veri Teması (ÇŞİDB, 2012)

3.3.2.3 CityGML-TRKBİS.AK veri modelinin üretilmesi

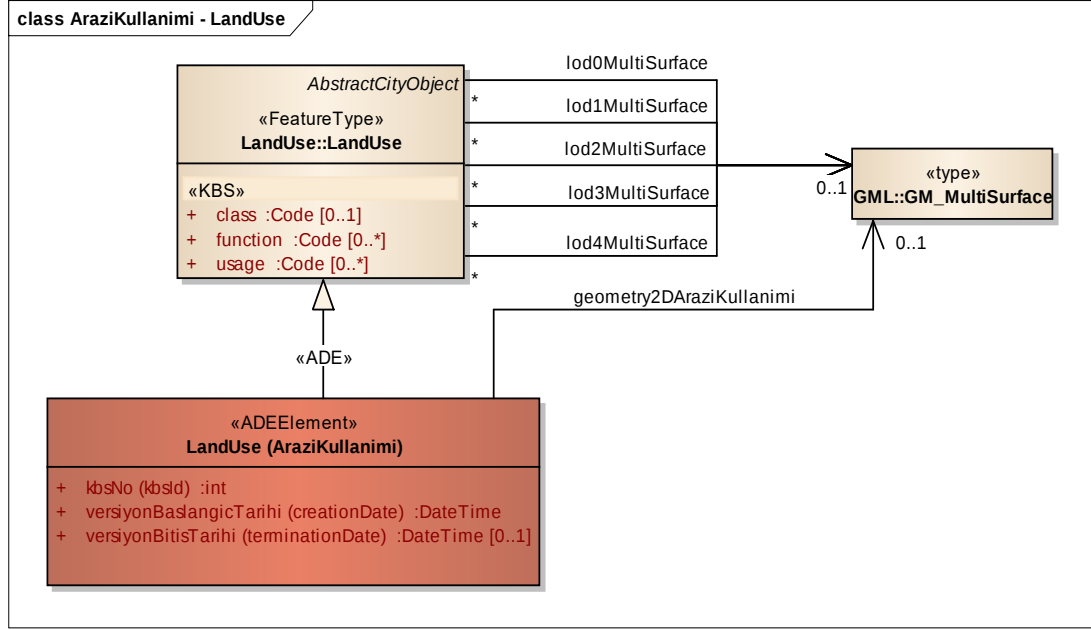
CityGML-TRKBİS.AK 3B veri modelinin oluşturulmasında kullanılan model bazlı çerçevenin ana prensibi ulusal veri modeli ile uluslararası CityGML standardı entegrasyonu yapılırken mümkün olduğu kadar CityGML standardını değiştirmemektir. Bu kapsamda *CityGML.LandUse* ve mevcut 2B veri modeli *TRKBİS.AK* arasında eşleme yapılarak her iki modelde ortak olan sınıf, öznelik, kod listesi ve kod listesi değerleri tüm CityGML ayrıntı düzeyleri dikkate alınarak belirlenmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 : CityGML.LandUse-TRKBİS.AK veri temaları eşleme özet çizelgesi.

Veri Tipi	TRKBİS.AK Sınıf	CityGML.LandUse Sınıf
Detay Tipi	AraziKullanimi	LandUse
Öznitelik	fonksiyon	function
	geometri	-
	kbsNo	-
	kullanim	usage
	sinif	class
	versiyonBaslangicTarihi	-
	versiyonBitisTarihi	-

TRKBİS.AK detay tipleri Türkçe isimleri ile *CityGML.LandUse* detay tipinin bir alt bileşeni olarak tanımlanır. Mevcut *CityGML.LandUse* sınıfına *TRKBİS.AK* veri temasına ait *kbsNo*, *versiyonBaslangicTarihi*, *versiyonBitisTarihi* öznelikleri eklenerek alt sınıf <<ADEElement>> olarak işaretlenmiştir. Bu altsınıfta *CityGML.LandUse* sınıfının İngilizce ismi kullanılarak eşlemenin görülmesi daha kolay hale getirilmiştir. Dökümantasyon için *AraziKullanimi* ismi de parantez

içerisinde takma ad olarak eklenmiştir. Ayrıca alt sınıflar ve CityGML sınıfı arasındaki ilişki <<ADE>> stereotipi ile işaretlenir (Şekil 3.6). Bu stereotip sınıfları CityGML sınıflarına yalnızca öznitelik ekleyen alt sınıflar olarak işaretlediğinden XML şemasında bu sınıflar ile bağlantılı XML bileşenleri oluşturulmaz.



Şekil 3.6 : CityGML-TRKBIS.AK ADE veri modeli UML diyagramı.

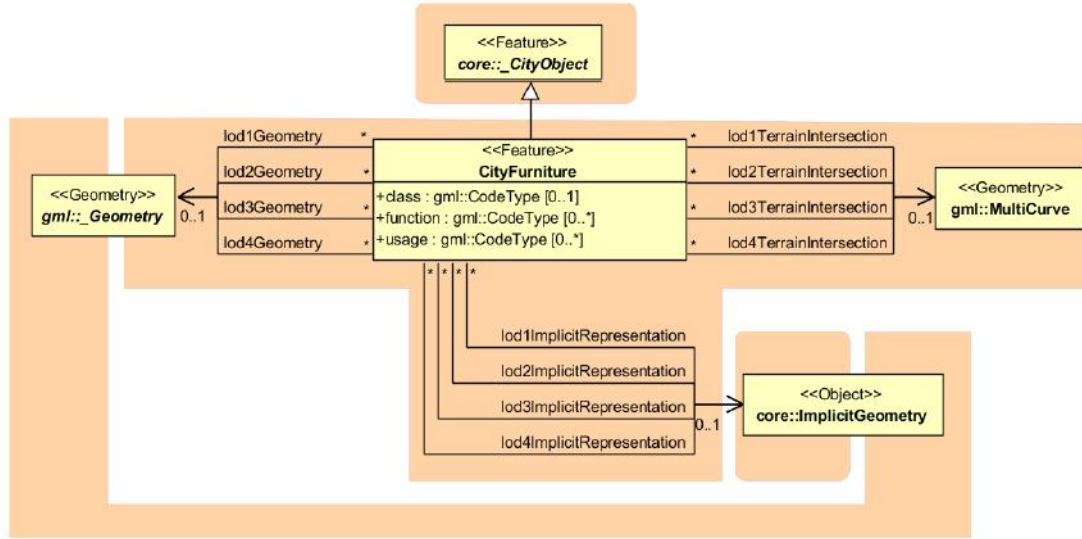
3.3.3 CityGML-TRKBIS.KM (KentMobilyası) veri modeli

3.3.3.1 CityGML.CityFurniture (KentMobilyası) veri modeli

Kent mobilyası veri modeli sokak lambası, trafik ışıkları, trafik sembolleri, reklam panoları, otobüs durakları, v.b. hareketsiz nesneleri kapsamaktadır. Kent mobilyası nesnelerinin modellenmesi görselleştirme ve yerel yapısal durum analizi amaçları ile kullanılmaktadır. Kent mobilyası nesnelerinin kullanımı ile kent modelleri daha canlı ve animasyonlu tasarlanmaktadır. Kent trafiği simülasyonlarında kent mobilyalarının önemli bir etkisi vardır. Örneğin görme engelli insanların yönlendirme aracı olarak trafik ışıklarını kullanması gibi navigasyon sistemleri gerçekleştirilebilir. Ayrıca karayolu yapısı üzerine, trafiği güçleştirecek veya tehlikeye sokacak engellerin tam konumlarının bilinmesi gereken ağır taşıt trafiği planlaması sürecinde de kent mobilyası nesneleri önemlidir.

CityGML veri modelinde *CityFurniture* detayı sınıf, fonksiyon ve kullanım olmak üzere üç farklı öznitelik içermektedir. Sınıf özniteliği, trafik ışığı, trafik işareti, çöp, v.b. kent mobilyası genel sınıflandırmasını içerir. Fonksiyon özniteliği ise kent

mobilyasının ulaşım, trafik kuralları ve mimari gibi tematik alanların hangisinde kullanıldığını göstermektedir. Kullanım özniteliği nesnenin gerçek amacını temsil eder (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : CityGML Kent Nesnesi veri modeli UML diyagramı.

CityFurniture detayı *_CityObject* sınıfının bir alt sınıfı olarak modellendiğinden *gml:name* özniteliğini kalıtım yoluyla almıştır. *CityFurniture* sınıfı *externalReferences* özelliği ile dışarıdaki bir tematik veritabanı ile ilişkilendirebildiği gibi CityGML jenerik modülü kapsamındaki *generic attributes* mekanizması ile genişletilebilir.

3B kent modellerinde aynı tür kent mobilyası nesneleri aynı geometri ile temsil edilmektedir. CityGML kapsamında kent mobilyası nesneleri LoD1'den LoD4'e kadar *explicit geometry* ile ya da *ImplicitGeometry* ile temsil edilmektedir. Kent mobilyası prototipi yerel koordinat sisteminde tanımlanarak diğer kent mobilyası nesneleri tarafından referans olarak kullanılabilir (OGC, 2012).

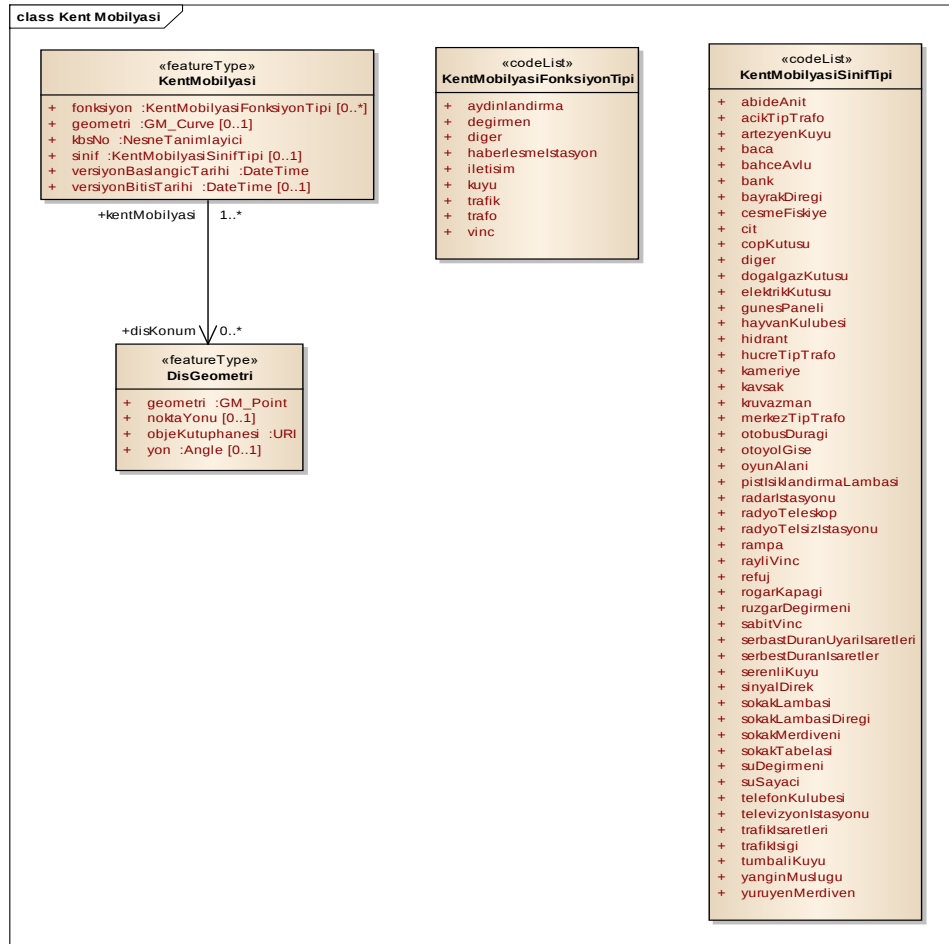
Sayısal arazi modeli (SAM) ile 3B kent mobilyası nesnesi arasında tam olarak kesişim sağlanması için her bir LoD içinde bir kent mobilyası için arazi kesişme eğrisi (TIC) tanımlanabilir. Arazi kesişme eğrisi tanımı ile kent mobilyası ve SAM arasında bağlantı kurularak geçiş yumuşatılır.

3.3.3.2 TRKBİS.KM veri modeli

TRKBİS.KM veri modelinde *KentMobilyası*, *KentMobilyasıSinifTipi*, *KentMobilyasıFonksiyonTipi*, *DisGeometri* olmak üzere 4 adet detay tipi

tanımlanmıştır. Tüm TRKBİS detay tiplerinde olduğu gibi *TRKBİS.KM* detay tipinde de *kbsNo* özneliği tablolar arası ilişki kurmak için kullanılmıştır. *KentMobilyasi* ve *DisGeometri* detay tipleri arasında bire-çok ilişki kurularak bir *DisGeometri* detay tipine ait bir veya daha çok kent mobilyası nesnesi tanımlanabilmesine olanak sağlanmıştır. Kent mobilyası sınıf tipi ve fonksiyon tipi özniteliklerine ait kod listeleri de UML şema içerisinde tanımlanmıştır (Şekil 3.8). *TRKBİS.KM* veri temasının ulaşım ağı, ulaşım planı, atık yönetimi, kent atlası, içmesuyu hizmetleri gibi bir çok hizmette kullanıldığı belirtilmiştir.

Kentin karakterini belirleyen kent mobilyası nesneleri farklı ölçeklerde farklı temsillere sahip olabilir. TRKBİS kapsamında yüksek ayrıntı düzeylerinde (LoD 1-3) kent mobilyası nesnesinin katı model ile temsili olması gerektiği düşünülmüştür. Ancak geometrik tanımları CityGML standardına uygun olarak yapılmamıştır. Bu nedenle kentin önemli bileşenlerinden bir olan kent mobilyası nesnelerinin CityGML temel alınarak modellenmesi 3B kent modeli için önemli bir gereksinim olarak görülmektedir.



Şekil 3.8 : TRKBİS.KM veri modeli UML diyagramı

3.3.3.3 CityGML-TRKBİS.KM veri modelinin üretilmesi

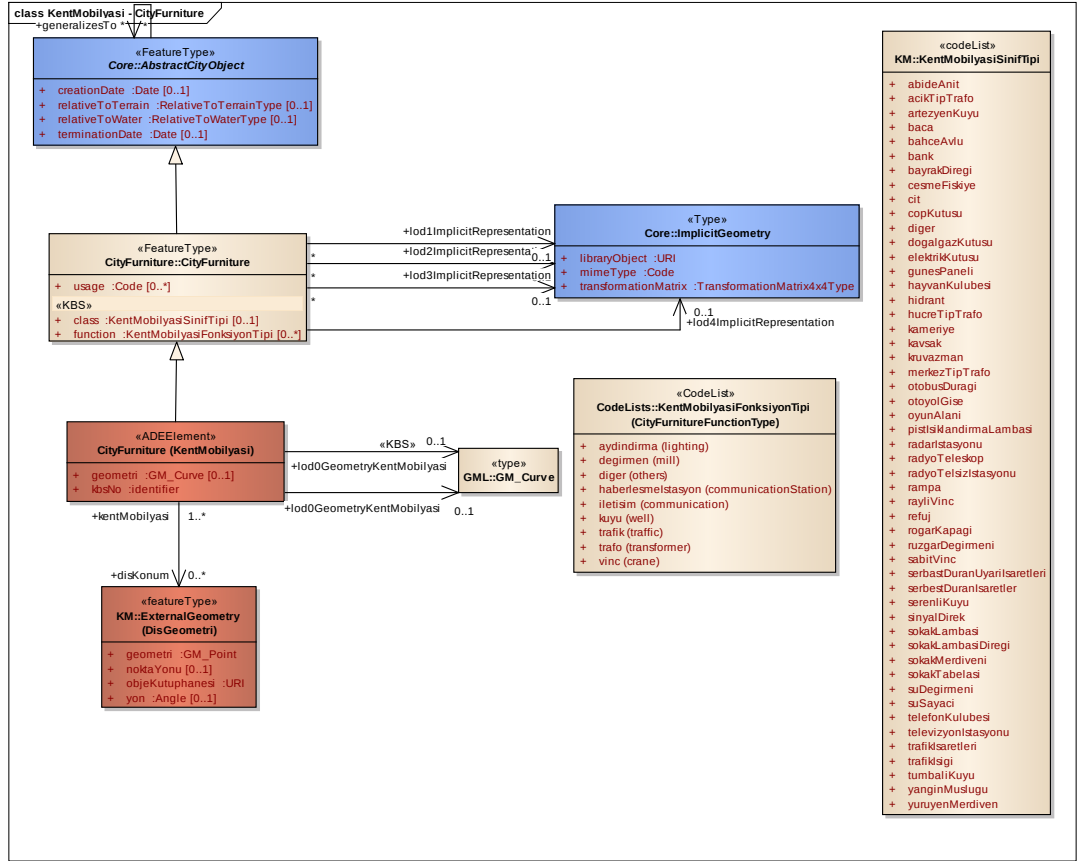
CityGML.CityFurniture veri modeli ile *TRKBİS.KM* veri modeli arasında eşleme yapılarak her iki modelde ortak olan sınıf, öznitelik, kod listesi ve kod listesi değerleri tüm *CityGML* ayrıntı düzeyleri dikkate alınarak belirlenmiştir. *CityGML-TRKBİS.KM* veri modelinin temelini oluşturan eşleme işleminde her iki veri modeline ait kavramlar yalnızca isim olarak değil semantik düzeyde karşılaştırılmıştır. *CityGML-TRKBİS.KM* kent modeli eşlemesi Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : *CityGML.LandUse-TRKBİS.AK* veri temaları eşleme özet çizelgesi.

Veri Tipi	TRKBİS.KM Sınıf	CityGML.CityFurniture Sınıf
Detay Tipi	KentMobilyasi	CityFurniture
Öznitelik	geometri	geometry
	kbsNo	-
	KentMobilyasiFonksiyonTipi	function
	kullanım	usage
	KentMobilyasiSinifTipi	class
	versiyonBaslangicTarihi	-
	versiyonBitisTarihi	-

CityGML.CityFurniture detay tipi *_CityObject* sınıfının bir alt sınıfı olarak modellendiğinden kalıtım yoluyla tüm özniteliklerini almıştır. Her iki veri modeli incelendiğinde *CityGML.CityFurniture* detay tipi içerisindeki sınıf ve fonksiyon öznitelikleri, *TRKBİS* veri modeli içerisindeki aynı isimli öznitelikler ile semantik olarak eşleşmiştir. *TRKBİS.KM* veri modeline ait *geometri*, *kbsNo*, *versiyonBaslangicTarihi*, *versiyonBitisTarihi* öznitelikleri *KentMobilyasi* takma adı ile <<ADEElement>> olarak işaretlenmiştir. *CityGML* veri modeli temel alındığından *CityGML-TRKBİS.KM* veri teması içerisinde nesneler LoD1-3’e kadar farklı ayrıntı düzeylerinde *lodXImplicitRepresentation* ya da *lodXImplicitGeometry* ile temsil edilmektedir.

CityGML-TRKBİS.KM *externalReferences* özelliği ile dışarıdaki bir tematik veritabanı ile ilişkilendirilerek genişletilebilir. Veri temasında kod listesi değerleri *TRKBİS* içerisinde tanımlanan değerler olarak kabul edilmiş olup eşlemede kod listesi değerleri dışarıda tutulmuştur (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : CityGML-TRKBİS.KM veri modeli UML diyagramı.

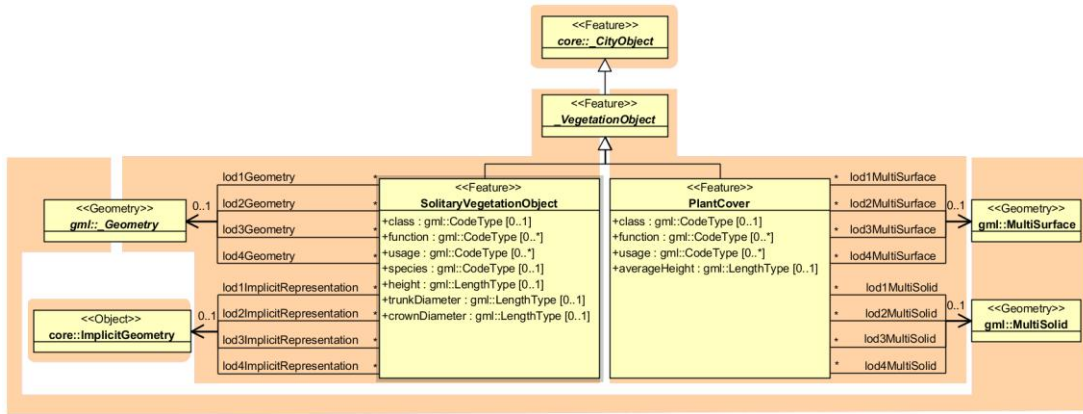
3.3.4 CityGML-TRKBİS.BO (Bitki Örtüsü) veri modeli

3.3.4.1 CityGML.Vegetation (BitkiÖrtüsü) veri modeli

CityGML veri modeli içerisinde bitki örtüsü veri teması tekil bitki örtüsü nesneleri ile bitki topluluklarının oluşturduğu bitki örtüsü alanları arasında sınıflandırma yapmaktadır. Bu nedenle *SolitaryVegetationObject* ve *PlantCover* sınıfları tanımlanmıştır. Ağaç gibi tekil bitkiler *SolitaryVegetationObject* ile modellenirken ormanlar gibi bitki örtüsü alanları *PlantCover* sınıfı ile temsil edilmektedir. Geometrik olarak bitki örtüsü alanı *MultiSurface* ya da *MultiSolid* ile tanımlanabilir (OGC, 2021).

PlantCover detay tipi bitki örtüsünün ortalama yükseklik değerinin belirtildiği *averageHeight*, gerçek dünyada bitki örtüsü nesnesinin kullanımını gösteren fonksiyon ve kullanım, kod listeleri ile bitki örtüsü detay sınıfını tanımlayan sınıf özniteliklerine sahiptir. *SolitaryVegetationObject* detay tipi ise işlev, kullanım, tür yüksekliği, gövde çapı ve taç taçı öznitelikleri ile tanımlanmıştır. Tür adı sınıf özniteliği ile tanımlanmış olup ağaç, çalı, çim gibi kod listesi değerlerine sahiptir. Her

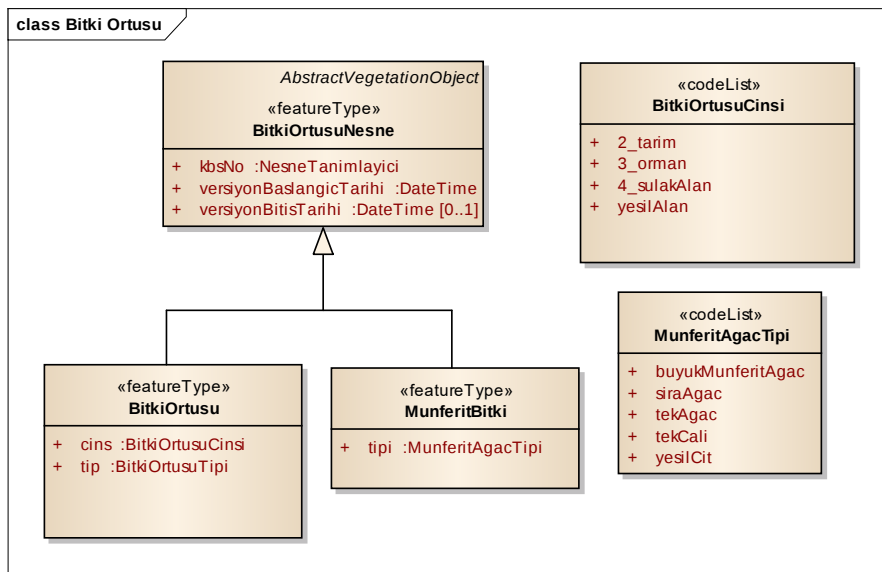
iki detay tipi de *_CityObject* detay tipinden türetildiği için *_CityObject*'e ait tüm öznitelikleri alır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : CityGML Bitki Örtüsü veri modeli UML diyagramı.

3.3.4.2 TRKBİS.BO veri modeli

TRKBİS.BO veri teması ile bitkisel çeşitlilik tanımlanmış olup yerel yönetimlerin kent atlası, enerji verimliliği, ulaşım planı, atık yönetimi gibi bir çok işlevinde kullanılmaktadır. Avrupa Konumsal Veri Altyapısı (INSPIRE) temel alınarak tasarlanan *TRKBİS.BO* veri modeli içerisinde *BitkiOrtusu*, *MunferitAgacTipi*, *BitkiOrtusuNesne*, *MunferitBitki*, *BitkiOrtusuCinsi* ve *BitkiOrtusuTipi* özellikleri tanımlanmıştır. *BitkiOrtusuTipi*, *BitkiOrtusuCinsi* ve *MunferitAgacTipi* özelliklerine ait kod listeleri ise UML şema içerisinde tanımlanmıştır. Bitki örtüsü veri temasında oluşturulan tüm detay tipleri ve detay tipleri arasında tanımlanan ilişkiler UML modelde görülmektedir (Şekil 3.11)



Şekil 3.11 : TRKBİS.BO veri modeli UML diyagramı

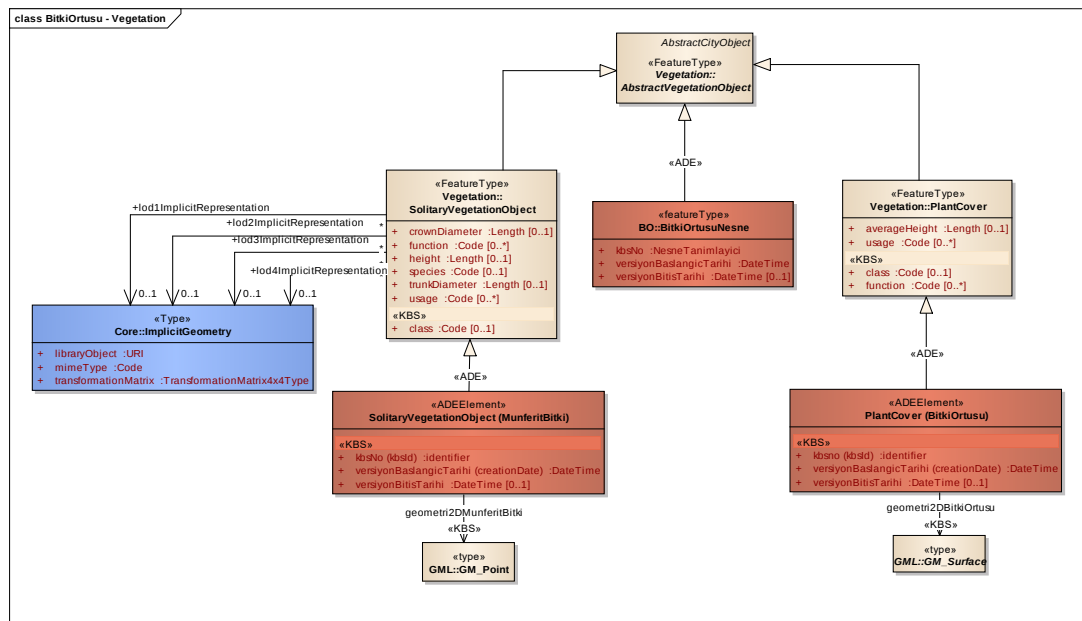
3.3.4.3 CityGML-TRKBİS.BO veri modelinin üretilmesi

CityGML-TRKBİS.AK 3B veri modelinin oluşturulmasında kullanılan model bazı çerçevenin ana prensibi ulusal veri modeli ile uluslararası CityGML standardı entegrasyonu yapılırken mümkün olduğu kadar CityGML standardını değiştirmemektir. *CityGML.Vegetation* ve mevcut 2B *TRKBİS.BO* veri modeli arasında semantik eşleme yapılarak her iki modelde ortak olan sınıf, öznelik, kod listesi ve kod listesi değerleri tüm CityGML ayrıntı düzeyleri dikkate alınarak belirlenmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 : CityGML.Vegetation-TRKBİS.BO veri temaları eşleme özet çizelgesi.

Veri Tipi	TRKBİS.AK Sınıf	CityGML.LandUse Sınıf
Detay Tipi	BitkiOrtusu	PlantCover
Öznelik	cins	class
	tip	function
DetayTipi	BitkiOrtusuNesne	-
Öznelik	kbsNo	usage
	versiyonBaslangicTarihi	-
	versiyonBitisTarihi	-
DetayTipi	munferitBitki	SolitaryVegetationType
	tipi	function

TRKBİS.BO detay tipleri CityGML.Vegetation içerisinde tanımlanmış olan SolitaryVegetationObject ve PlantCover detay tiplerinin alt bileşenleri olarak tanımlanmıştır. Alt sınıfların tanımlanmasında geliştirilen kodlama kurallarına uyulmuştur. (Şekil 3.12).

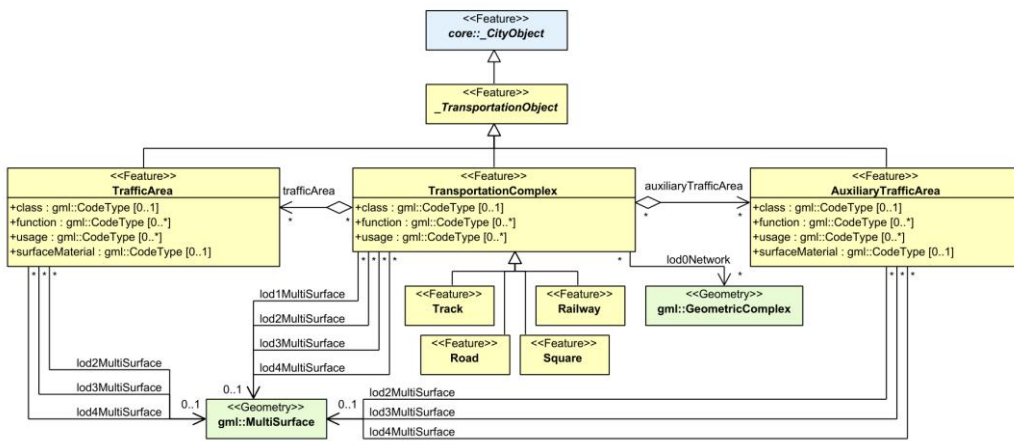


Şekil 3.12 : CityGML-TRKBİS.BO veri modeli UML diyagramı.

3.3.5 CityGML-TRKBİS.UL (Ulaşım) veri modeli

3.3.5.1 CityGML.Transportation (Ulaşım) veri modeli

CityGML ulaşım veri modeli ulaşım özelliklerinin LoD0-4 ayrıntı düzeylerinde tematik ve geometrik temsilini içeren çok ölçekli bir modeldir. LoD1 ayrıntı düzeyinden itibaren tüm ulaşım öznitelikleri çizgisel ve alansal olarak modellenmiştir. LoD0 ayrıntı düzeyinde ulaşım ağı doğrusal bir geometride gösterilmektedir. Alansal ulaşım ağı modelinin oluşturulması navigasyon planlama algoritmalarının işlevselliğini arttırmaktadır. Ana sınıf *TransportationComplex* olarak tanımlanmış olup demiryolu, karayolu, denizyolu temsiliinde kullanılmaktadır. Ana sınıf *TrafikAlanı* ve *YardımcıTrafikAlanı* bileşenlerinden oluşmaktadır. Örneğin yol hatları, park alanları gibi trafik nesneleri *TrafikAlanı* detay tipi ile tanımlanırken yol orta refüjündeki peyzaj alanları ve orta şeritler *YardımcıTrafikAlanı* ile modellenmiştir. Karayolu, denizyolu ve demiryolu gibi tematik ulaşım sınıfları *TransportationComplex* nesnesi olarak tanımlanabilir. *TrafficArea* içerisindeki sınıf özniteliği ile yol şeritleri, yaya alanları tanımlanırken kullanım özniteliği ile ulaşım nesnesinin hangi ulaşım araçları ile kullanılabileceği tanımlanmıştır. *SurfaceMaterial* özniteliği ile ulaşım nesnelerinin kaplama türleri belirtilmektedir. Tüm detay tipleri için olası değerler kod listeleri ile CityGML ulaşım veri teması içerisinde tanımlanmıştır (şekil 3.13).



Şekil 3.13 : CityGML Transportation veri modeli UML diyagramı.

3.3.5.2 TRKBİS.UL veri modeli

Ulaşım veri temasında kara, deniz ve demir yolları birlikte çalışabilecek nitelikte bütünleşik olarak modellenerek ortak bir referans sağlanmıştır. Veri modelinin

oluşturulmasında Uluslararası EuroRoads, INSPIRE ve TransXML uygulamaları temel alınmıştır. *TRKBİS.UL* veri teması kamu envanter yönetimi, navigasyon, afet ve acil durum yönetimi, ulaşım planlama gibi bir çok uygulamada kullanılarak ulaşım olanaklarının geliştirilmesi ile ekonomik gelişime büyük katkı sağlamaktadır.

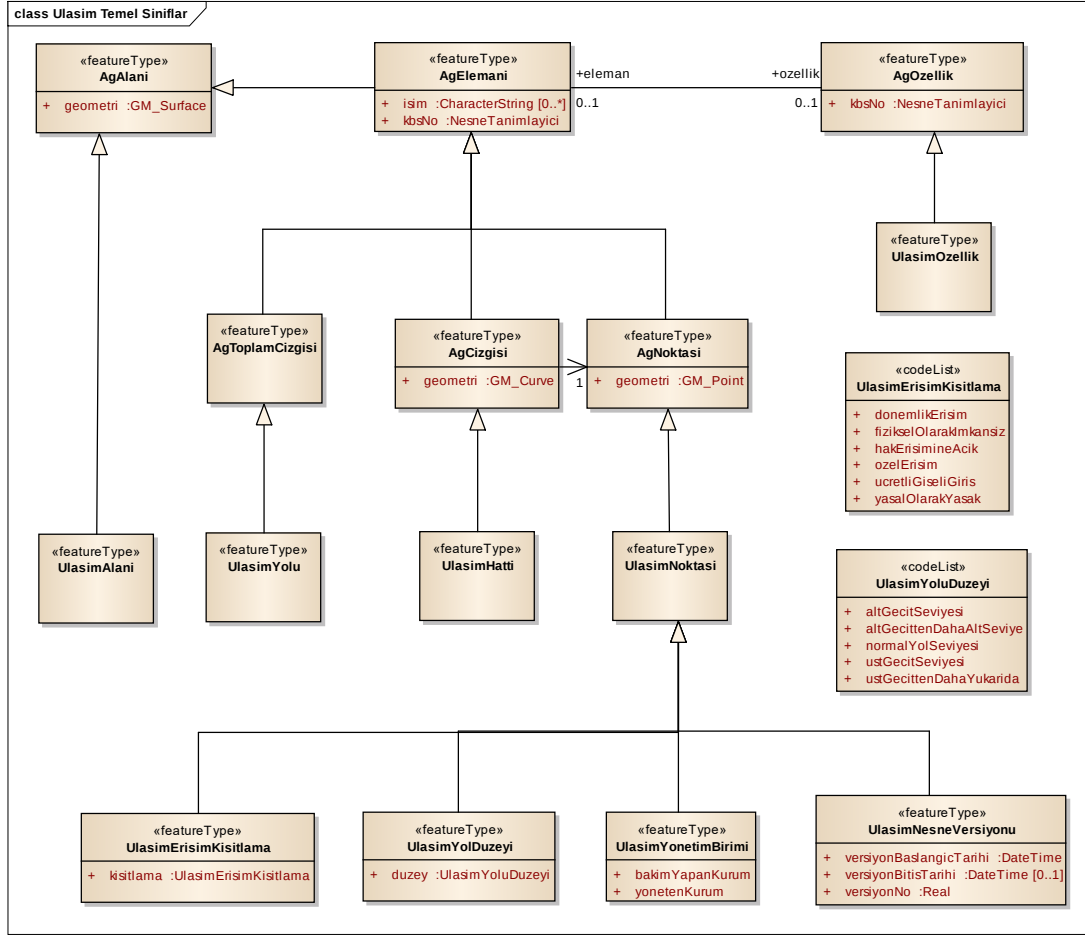
Ulaşım veri teması ulaşım temel sınıfları, karayolu, demiryolu ve denizyolu olmak üzere 5 alt detay tipi ile modellenmiştir. Veri teması içerisinde kara yolu, deniz yolu ve demir yollarını temsil eden coğrafi verinin bütünleşik yönetiminde kavramsal düzeyde soyut bir *Ağ Elemanı* detay sınıfı tanımlanarak *Ağ Çizgisi*, *Ağ Alanı*, *Ağ Özellik*, *Ağ Noktası* ve *Ağ Hattı* soyut detay tipleri oluşturulmuştur. Ulaşım ağında tanımlanan soyut detay sınıfları, tüm ulaşım ağları için ortak ve temel sınıflardır (ÇSİDB, 2012b).

Ulaşım veri teması geometrik olarak incelendiğinde *UlaşımHattı* detay tipi *AgCizgisi* detay tipinin bir alt sınıfı olarak tanımlanmış olup doğrusal çizgi ile temsil edilmektedir. *AgNoktasi* detay tipinin bir alt sınıfı olarak *UlasimNoktasi* detay tipi tanımlanmış olup *UlasimErisimKisiltlama*, *UlasimYolDüzeyi*, *UlasimYonetimBirimi*, *UlasimNesneVersiyonu* olmak üzere 4 ayrı alt detay tipine ayrılmıştır. Geometrik olarak hepsi nokta ile temsil edilmektedir. *UlaşımYolu*, bütünleşmiş ulaşım hatlarını temsil eder ve *AgCizgisi* alt sınıfıdır. Alan geometri ile temsil edilen *UlasimAlani* *AgAlani* soyut detay tipinin bir alt sınıfıdır. *UlasimOzellik* ağ elemanı *AgOzellik* detay tipinin bir alt sınıfı olarak tanımlanmıştır.

TRKBİS.UL veri modeli içerisinde tanımlanan tüm nesneler detay tipi ve detay tiplerine bağlı öznitelikler ile tanımlanmıştır. Öznitelik değerleri ise kod listeleri ile tanımlanmıştır. Nesneler arasında genelleştirme yöntemi kullanılarak yapılan türetme işlemlerinde üst nesneye ait tüm özellikler alt nesneye aktarılmıştır. Nesne geometrileri ISO 19107 standart ailesinden GM_Point, GM_Surface ve GM_Curve kullanılarak tanımlanmıştır. TRKBİS Adres veri temasında tanımlanmış olan yol bilgisi CSBM (Cadde, Sokak, Bulvar, Meydan) ile ilişkilendirilerek aralarında bağlantı kurulabilir.

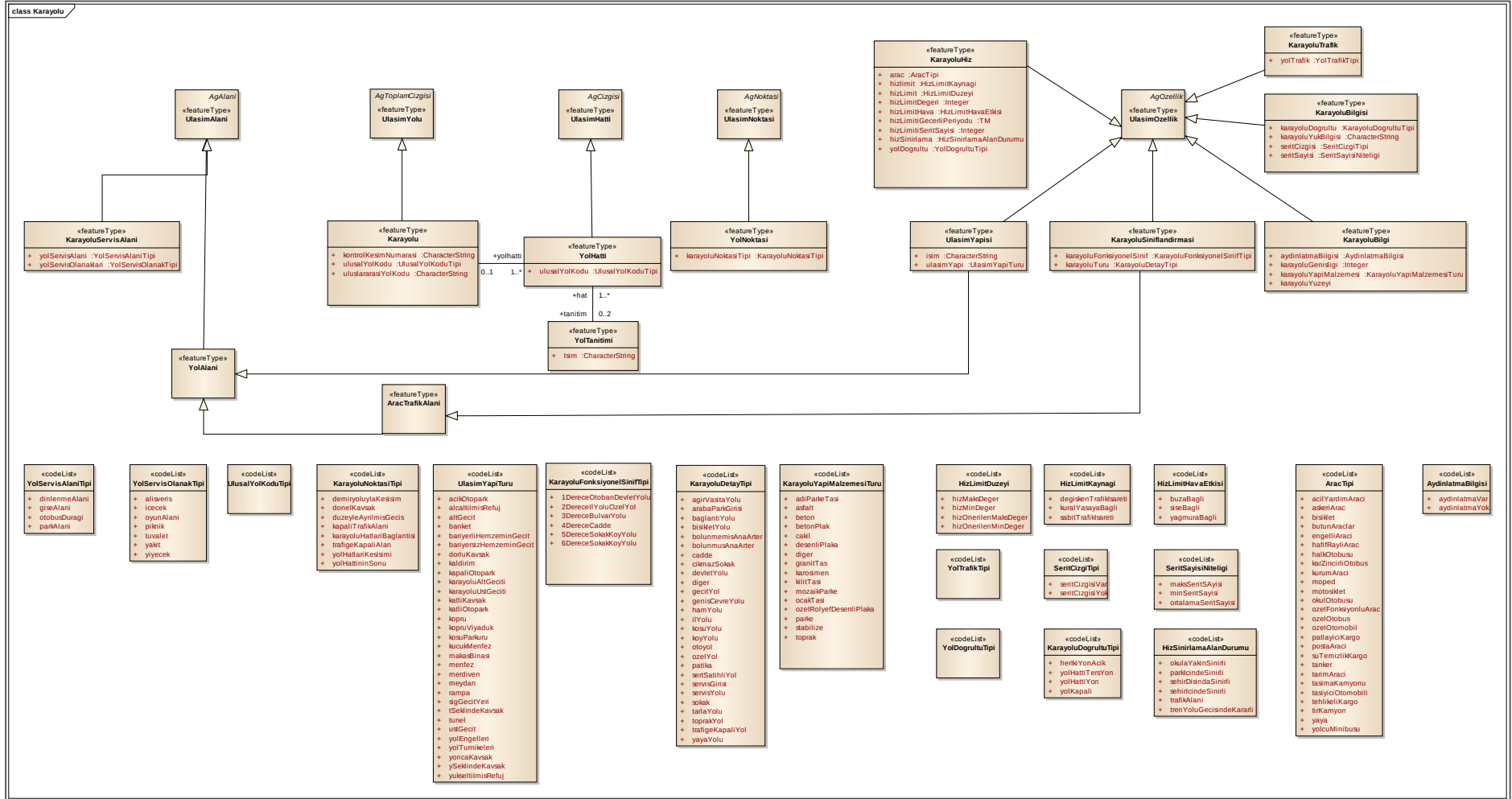
Ulaşım veri teması alt sınıfı olarak tanımlanan karayolu sınıfı, yol hattı detayları ile ilişkili tanımlamaları içerir ve yol türlerine göre sınıflandırılmıştır. Veri modeli içerisinde Karayolu, *YolHattı*, *YolNoktasi*, *UlasimNoktasi*, *YolTanitimi*, *TrafikAlani*,

KarayoluHiz, UlasimYapisi, KarayoluSiniflandirmasi, KarayoluBilgisi, KarayoluTrafik, KarayoluServisAlanı detay sınıfları tanımlanmıştır (Şekil 3.14).



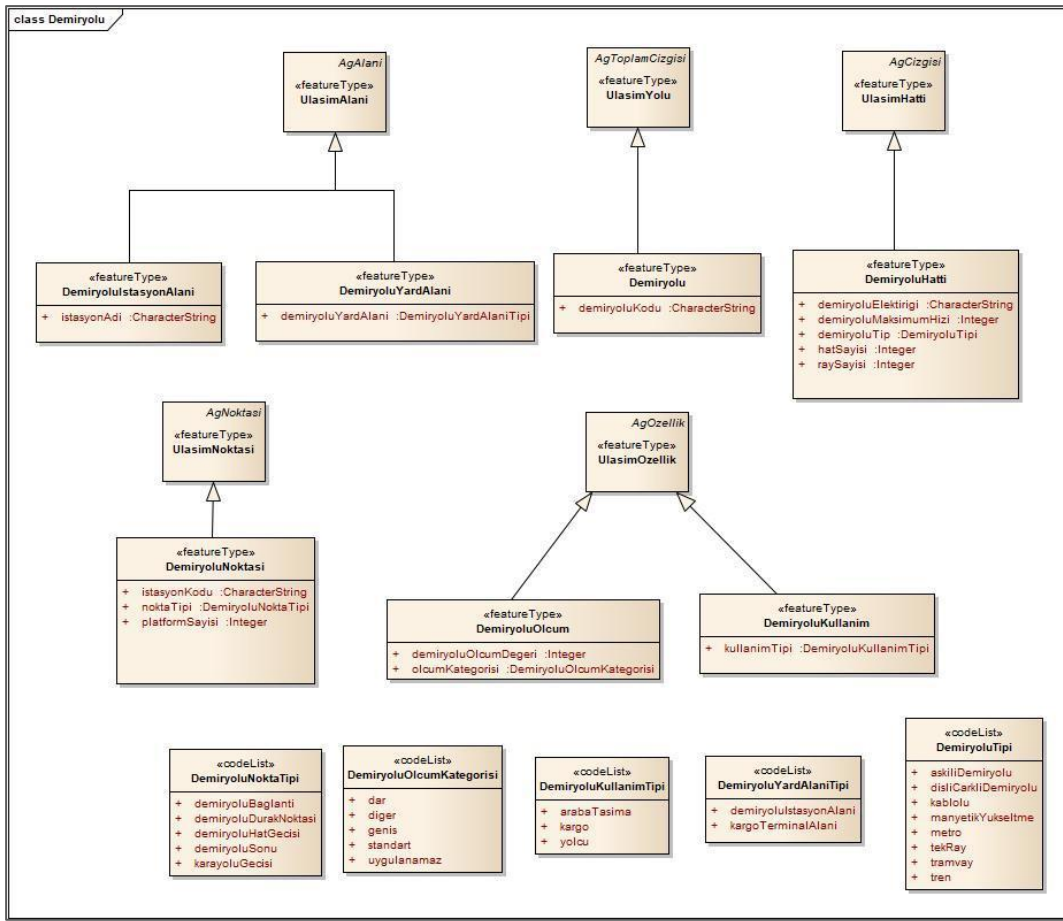
Şekil 3.14 : TRKBİS.UL temel sınıflar veri teması UML diyagramı.

Karayolu verisi, modelde tanımlanan yol hattı özelliklerini içerir ve yol türlerine göre sınıflandırılmıştır bir çok veri tipine ait özniteliklerine ait kod listeleri de model içerisinde verilmiştir (Şekil 3.15). Karayolu detay tipine ait geometri *GM_Point*, *GM_Curve* *GM_Surface* olarak tanımlanmıştır. TRKBİS.UL Karayolu::YolTanitimi detay tipi CSBM (Cadde, Sokak, Bulvar, Meydan) detay tipi ile ilişkilendirilerek TRKBİS.AD veri teması ile çapraz ilişki kurulmuştur.



Şekil 3.15 : TRKBİS.UL veri teması karayolu veri modeli UML diyagramı.

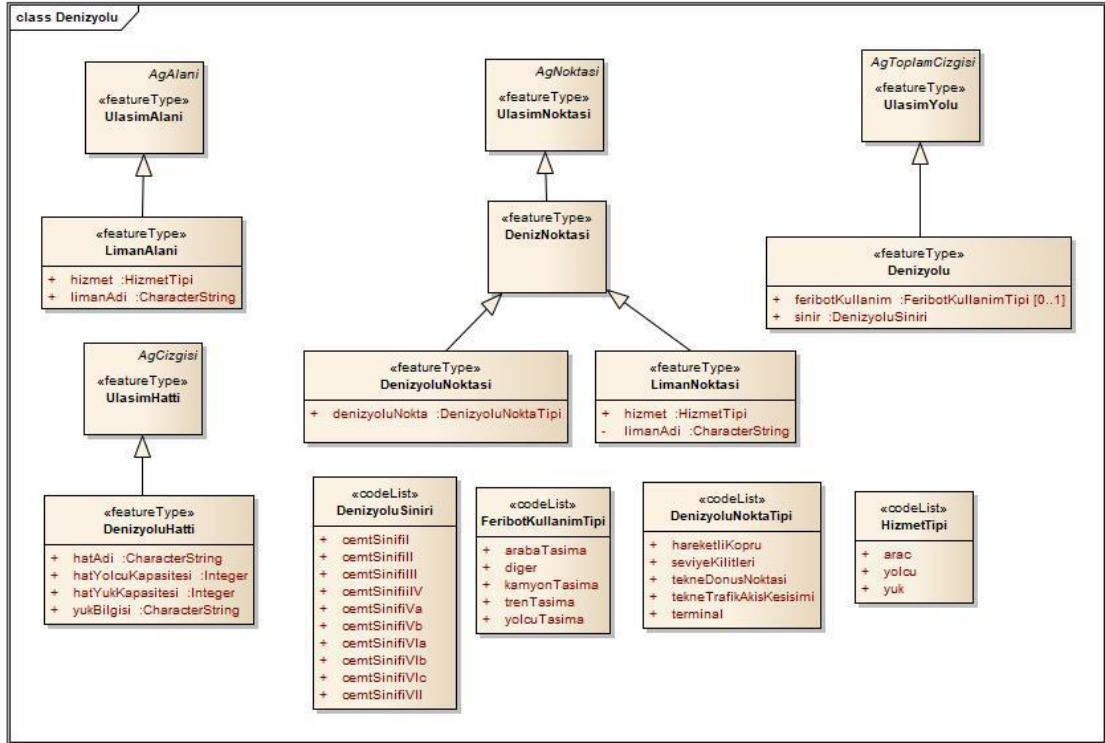
TRKBİS.UL Demiryolu veri teması ile tren yollarına ilişkin yol hatları, demiryolu noktaları ve istasyon alanlarını bütünleşik olarak modellenmiştir. *DemiryoluIstasyonAlani* ve *DemiryoluYardAlani* detay tipleri *TRKBİS.UL* temel veri modeli içerisindeki *UlasimAlani* soyut detay tipinin birer alt sınıfı olarak modellenmiştir. UlaşımYolu soyut detay tipi altında ise *Demiryolu* detayı, UlaşımHatti soyut detay tipi altında ise *DemiryoluHatti* detay tipi modellenmiştir. UlaşımOzellik detay sınıfı altında *DemiryoluOlcum* ve *DemiryoluKullanım* detay tipleri tanımlanmıştır. Bir çok özneliğe ait kod listeleri TRKBİS.UL Demiryolu veri modeli UML diyagramı içerisinde verilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 : TRKBİS.UL Demiryolu veri modeli UML diyagramı.

TRKBİS.UL Denizyolu veri teması ile deniz, kanal, körfez ve koylardaki tekne ve gemilerin hareket rotaları modellenmiştir. Denizyolu veri temasına ait detay tipleri (LimanAlani, Denizyolu, DenizYoluHatti, DenizNoktasi) TRKBİS.UL temel sınıflar veri modeli içerisindeki soyut detay sınıflarının birer alt sınıfı olarak modellenmiştir. DenizyoluSiniri, FeribotKullanımTipi, DenizyoluNoktaTipi ve HizmetTipi özneliliklerine ait kod listeleri TRKBİS.UL Denizyolu veri modeli UML diyagramı

içerisinde verilmiştir (Şekil 3.17). Bütünleşik denizyolu, karayolu ve demiryolu veri modeli ile muhtemel lojistik ulaşım rotaları tespit edilerek, ulaşım planlama ve yönetimi gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 3.17 : TRKBİS.UL Denizyolu veri modeli UML diyagramı.

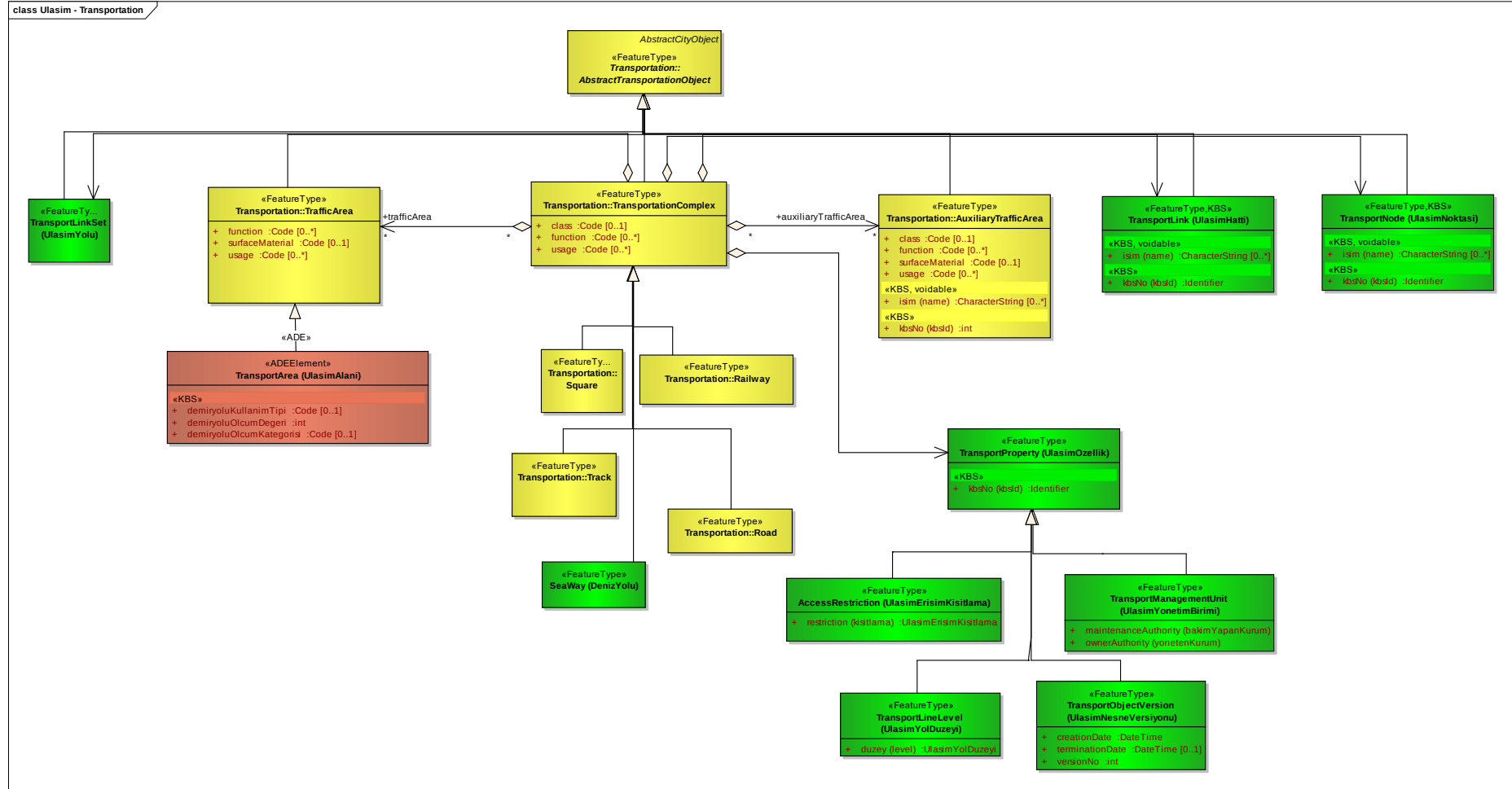
3.3.5.3 CityGML-TRKBİS.UL veri modelinin üretilmesi

CityGML.Transportation ve mevcut 2B *TRKBİS.UL* Ulaşım veri modeli arasında eşleme yapılarak her iki modelde ortak olan sınıf, öznelik, kod listesi ve kod listesi değerleri tüm CityGML ayrıntı düzeyleri dikkate alınarak belirlenmiştir. CityGML 2.0 ve TRKBİS.UL veri modellerinin semantik eşleştirmesi EK-A Çizelge A.2’de verilmiştir. Eşleme CityGML-TRKBİS.UL veri modelinin temelini oluşturur. Bu eşleme tekniğinde kavramlar semantik düzeyde karşılaştırılmıştır.

Gerçekleştirilen semantik eşleme işlemine uygun olarak TRKBİS veri modeli içerisinde karayolu, denizyolu ve demiryolu olmak üzere 3 ana bileşen ile tanımlanan ulaşım veri temasına ait *DenizYolu* detay tipi CityGML içinde bir *TransportationComplex* alt sınıfı olarak veri modeline eklenmiştir. *UlasimYolu*, *UlasimHatti* ve *UlasimNoktasi* veri tipleri ise *_AbstractTransportationObject* sınıfının birer alt sınıfı olarak tanımlanmıştır. CityGML. TRKBİS veri modelinde var olup *CityGML.Transportation* veri modeli içerisinde bulunmayan *UlasimOzellik*, *UlasimErisimKisiltlama*, *UlasimYonetisimBirimi*, *UlasimYolDuzeyi*,

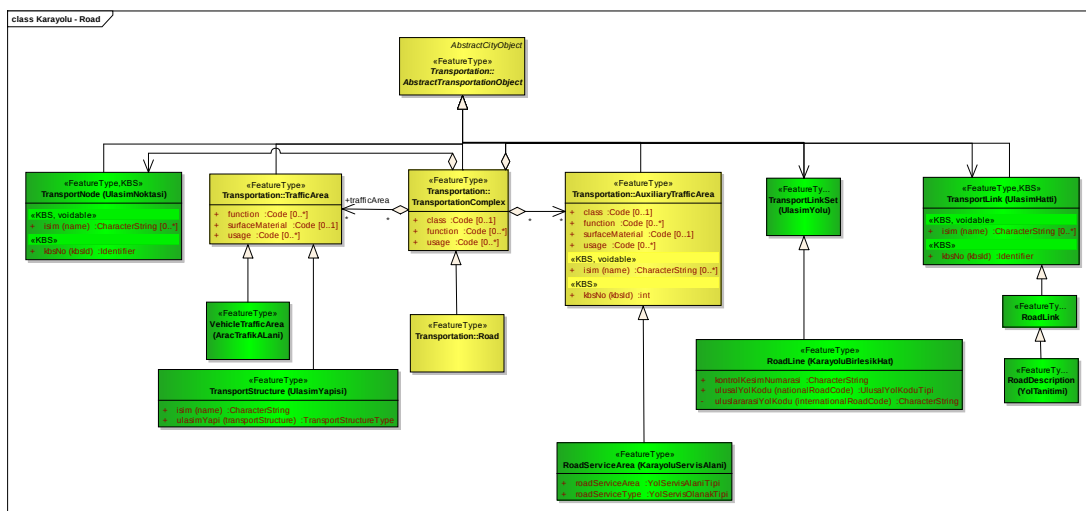
UlasimNesneVersiyonu detay tipleri de CityGML veri modelinde tanımlanmış olan TransportationComplex veri tipinin birer alt sınıfı olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.18).

TRKBİS.UL Ulaşım veri teması karayolu, denizyolu ve demiryolu olmak üzere 3 bileşen ile ifade edilmiştir. Bu kapsamda TRKBİS 2.0 veri modeli içerisinde CityGML-TRKBİS.UL Karayolu, CityGML-TRKBİS.UL Demiryolu ve CityGML-TRKBİS.UL Denizyolu olmak üzere ulaşım veri teması bütünleşik olarak modellenmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 : CityGML-TRKBİS.UL Temel Sınıflar veri modeli UML diyagramı.

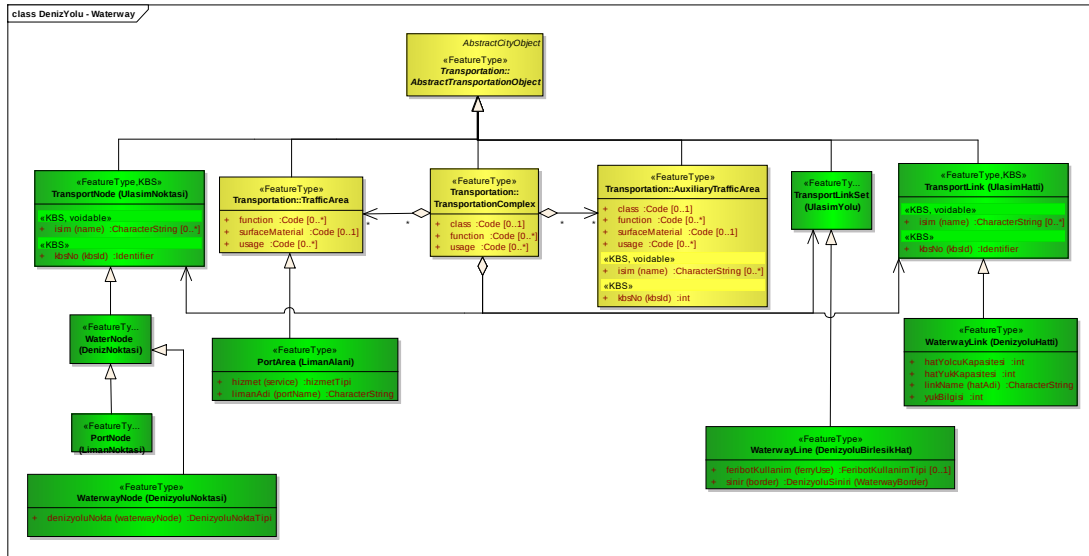
CityGML.Transportation ve mevcut 2B *TRKBİS.UL* karayolu veri modeli arasında eşleme yapılarak her iki modelde ortak olan sınıf, öznelik, kod listesi ve kod listesi değerleri tüm CityGML ayrıntı düzeyleri dikkate alınarak belirlenmiştir. CityGML 2.0 ve TRKBİS.UL veri modellerinin semantik eşleştirmesi EK-A Çizelge A.3’de verilmiştir.



TRKBİS demiryolu veri modeli ulaşım veri modelinin raylı sistemler bileşenini oluşturmaktadır. *CityGML.Transportation* ve mevcut 2B *TRKBIS.UL* demiryolu veri

CityGML.Transportation ve mevcut 2B TRKBİS.UL denizyolu veri modeli arasında swemantik eşleme yapılarak her iki modelde ortak olan sınıf, öznelik, kod listesi ve kod listesi değerleri tüm CityGML ayrıntı düzeyleri dikkate alınarak belirlenmiştir. CityGML 2.0 ve TRKBİS.UL denizyolu veri modellerinin semantik eşleştirmesi EK-A Çizelge A.5’de verilmiştir.

CityGML ulaşım veri modeli içerisinde tanımlanmamış olan denizyolu veri teması CityGML TransportationComplex detay tipinin bir alt sınıfı olarak modellenmiştir. TRKBİS LimanAlani detay tipi CityGML TrafficArea detay sınıfının bir alt sınıfı olarak tanımlanmıştır Yeni sınıflar türkçe isimleri ile ilgili CityGML. detay tiplerinin alt bileşenleri olarak tanımlandığından bu altsınıfta ilgili CityGML sınıfının ingilizce ismi kullanılarak eşlemenin görülmesini kolaylaştırmaktadır. *DenizYoluNoktasi*, *LimanNoktasi*, *DenizYoluBirllesikHat*, *DenizYoluHatti* detay tipleri ise TRKBİS veri modeli içerisindeki tanımlamaya uygun olarak CityGML içerisine entegre edilen UlasimYolu ve UlasimHatti sınıflarının alt sınıfları olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.21)



Şekil 3.21 : CityGML-TRKBİS.UL Denizyolu veri modeli UML diyagramı.

3.3.6 CityGML-TRKBİS.SK (SuKütlesi) veri modeli

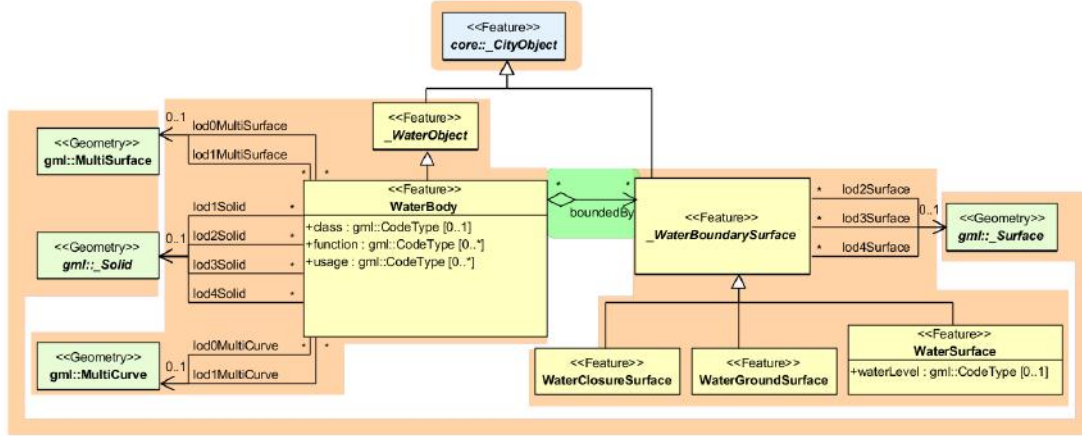
3.3.6.1 CityGML.WaterBody (SuKütlesi) veri modeli

Su kütlesi bir besin kaynağı olması ve ekonomiyi destekleyen bir ulaşım aracı olarak kullanılması nedeni ile şehirleşme sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Şehir peyzajında su kütlesinin hakim olması nedeni ile 3B şehir modellerinde su kütlesi ile doğrudan ilişki kurulmuştur. Doğal afetler kapsamında değerlendirildiğinde de sel tehlikesi kapsamında da su kütlesi kentsel yaşamda önemli bir yer tutar. Bina, ulaşım

ve arazi gibi tematik veri grupları ile karşılaştırıldığında su kütlesi farklı bir karaktere sahip olmakla birlikte gerçek dünyanın coğrafi veri modeli ile temsilinde bu farklılığa dikkat edilmesi gerekmektedir. Dinamik birer yüzey olarak tanımlanan su kütlelerinin gel-git ve sel gibi doğal olaylar sonucunda yüzey yüksekliğine kapladığı alan değerleri değişir. Bu kapsamda su kütlesi semantiği ve geometrisinin farklı modelleme yaklaşımları ile modellenmesi gerekmektedir. 3B modelleme kapsamında CityGML su kütlesi veri modeli *WaterBody* modülü ile tanımlanmıştır. Nehirler, kanallar, göller ve havzalar CityGML.Waterbody içerisinde LoD2-4 arasında farklı tematik düzeylerde temsil edilmektedir. Zorunlu *WaterSurface* detay tipi ile su ve hava arasındaki sınır tanımlanmış olup su ve yeraltı sınırı ise isteğe bağlı tanımlanması gereken bir detay tipi olarak *WaterGroundSurface* ya da *WaterClosureSurface* olarak belirlenmiştir. Gelgit ile meydana gelen dinamik değişimler *WaterSurface* detay tipi ile sınıf, işlev ve kullanım öznitelikleri ile tanımlanabilir. Sınıf özniteliği su kütlesi nesnesinin göl, nehir gibi tanımlamasının yapıldığı alandır. Su kütlelerinin işlevi tanımlanan sınıfın amacını temsil eder. Örneğin ulusal su yolu veya halka açık yüzme alanı gibi amaçlar belirtilebilir. Su kütlesi fonksiyon özniteliği ile tanımlanan gerçek kullanımlara gezilebilir olup olmadığı örneği verilebilir. *_WaterObject* sınıfının bir alt sınıfı olarak modellenen *WaterBody* farklı ayrıntı düzeylerinde farklı geometriler ile temsil edilmektedir (Şekil 3.22).

Farklı ayrıntı düzeylerinde su kütlelerinin geometrik gösterimi değişkenlik göstermektedir. LoD0 ve LoD1 düzeylerinde yüksek genelleme yapıldığından nehir nesnesi *MultiCurve* geometrisi ile modellenmiş olup dereler bu düzeyde ihmal edilmiştir. Okyanuslar, denizler, büyük göller *MultiSurface* geometrisi ile temsil edilmektedir. Sayısal arazi modelinin bir Su Kütlelerinin 3B geometrisiyle tam kesişimini belirtmek veya bir Su Kütlelerini veya Su Yüzeyini çevreleyen SAM'a göre tanımlanması örtük olarak *TIC* kavramını içermektedir (OGC, 2012). Doğrusal su nesneleri çizgi geometri ile temsil edilerek çizgi yönü akış yönü olarak tanımlanır. Göl ve deniz gibi alansal su kütleleri 3B hacim olarak tanımlanmaktadır. Bir su kütlesi nesnesi LOD2 veya daha yüksek bir ayrıntı düzeyinde *gml:Solid* geometrisi ile temsil ediliyorsa, ilgili tematik nesnelerin (*WaterClosureSurface*, *WaterGroundSurface*, *WaterSurface*) yüzey geometrileri katı cisim dış kabuğu ile çakıştırılır. *WaterClosureSurface*, *WaterGroundSurface* ve *WaterSurface*'in lodXSurface öğelerinin karşılık gelen poligonlarına referans verilerek her bir ayrıntı düzeyi için

ilgili lodXSolid geometrisinin tanımlanması gerekliliği ortadan kaldırılabilir. Su kütlesi LOD2-4 ayrıntı düzeyleri içerisinde tematik yüzeylerle veya bir katı ile ana hatlarıyla modellenebilir. SuKütlesi bileşenlerini oluşturan her bir sınıf içerisindeki nesneler en az bir *lodXSurface*, özelliğini içermelidir.



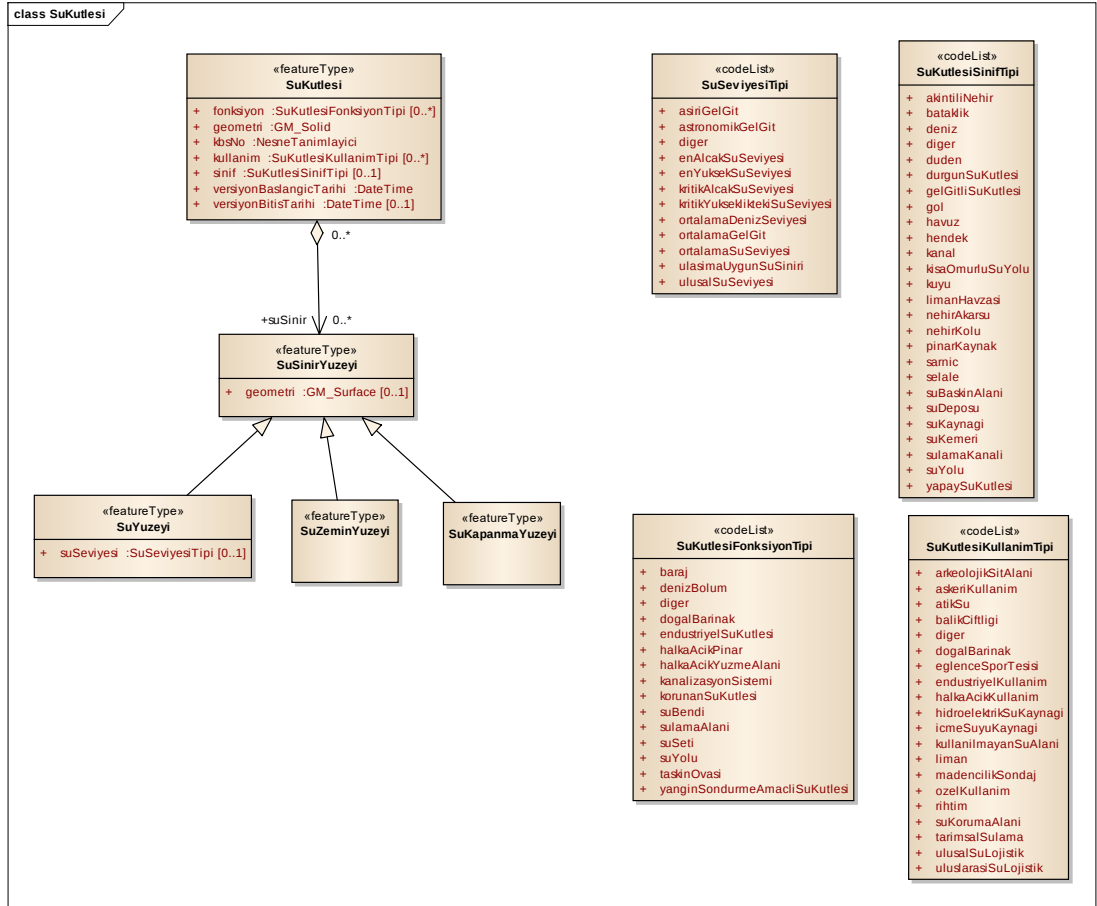
Şekil 3.22 : CityGML.WaterBody veri modeli UML diyagramı.

3.3.6.2 TRKBİS.SK veri modeli

Yüzey suları ve durağan hidrografik varlıkların modellendiği su kütlesi veri modelinde ulaşım kapsamında su kütlesi ve yer altı suları modele dahil edilmemiştir. Atık yönetimi, çevre kirliliği yönetimi, kentlerin 3B modellenmesi, afet modelleme çalışmaları kapsamında su kütlesi veri temasının kullanılabileceği belirtilmiştir.

Su kütlesi veri teması kapsamında SuZeminYüzeyi, SuSınırYüzeyi, SuKütlesi, SuKapanmaYüzeyi ve SuYüzeyi detay tipleri tanımlanmış olup dinamik bir modelleme çalışması yapılmıştır. Su kütlesi detay tipi fonksiyon, sınıf ve kullanım özniteliklerine sahiptir. Sınıf özniteliği ile deniz, şelale, sarnıç, nehir, kanal, havuz gibi sınıf tipleri; fonksiyon özniteliği ile sulama alanı, su deposu, kanalizasyon sistemi gibi su kütlesinin gerçekte nasıl kullanıldığını gösteren tanımlar; kullanım özniteliği ile ise su kütlesinin gerçek dünyadaki kullanım amacı (doğal barınak, atık su, su koruma alanı, liman, içme suyu kaynağı, v.b.) tanımlanarak UML şema içerisinde kod listeleri ile gösterilmiştir (Şekil 3.23).

Ulaşım fonksiyonu ile de yakından ilişkili olan su kütlesi veri temasının içinde ulaşım kapsam dışında bırakılmış olup TRKBİS.UL Ulaşım veri teması ile TRKBİS.SK su kütlesi veri teması ilişkilendirilerek ulaşım bağlantısı tanımlanmıştır. Sulak alanlar TRKBİS.AO veri temasında tanımlanmış olduğundan TRKBİS.AO Ulaşım veri teması ile TRKBİS.SK su kütlesi veri teması arasında da ilişki kurulmuştur.



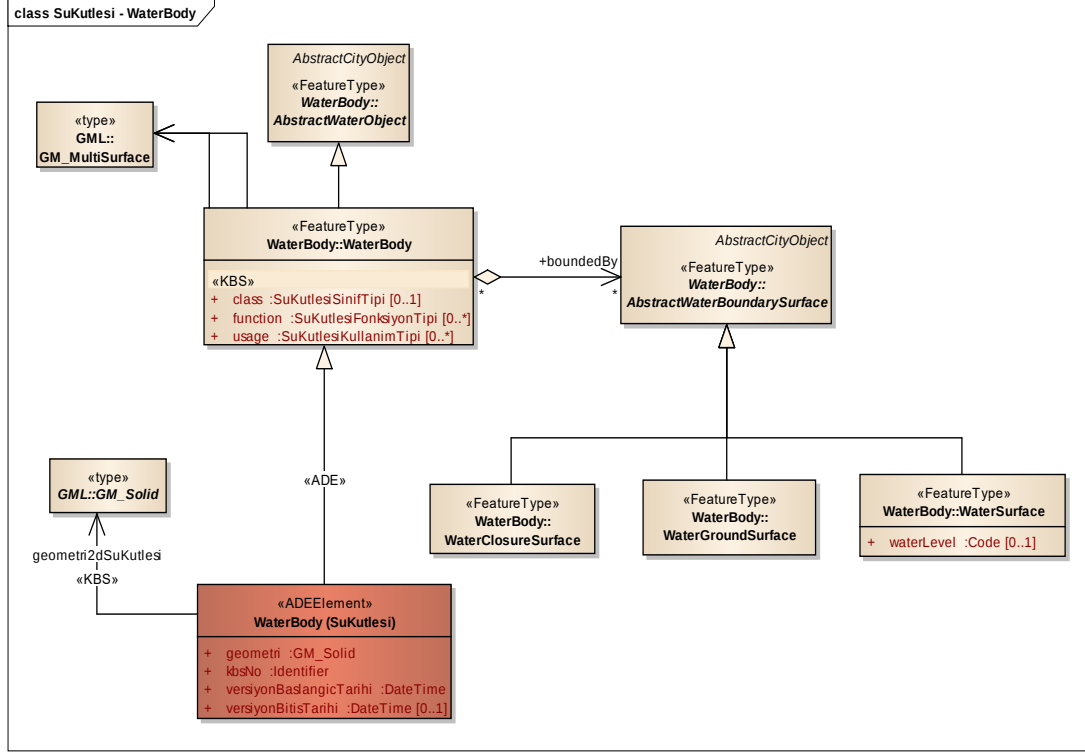
Şekil 3.23 : TRKBİS.SK veri modeli UML diyagramı.

3.3.6.3 CityGML-TRKBİS.SK veri modelinin üretilmesi

CityGML.WaterBody veri teması ve 2B veri modeli TRKBİS.SK su kütlesi veri teması arasında eşleme yapılarak her iki modelde ortak olan sınıf, öznelik, kod listesi ve kod listesi değerleri tüm *CityGML* ayrıntı düzeyleri dikkate alınarak belirlenmiştir. *CityGML.WaterBody* ve TRKBİS su kütlesi veri modellerinin semantik eşleştirmesi EK-A Çizelge A.6'da verilmiştir. Eşleme *CityGML-TRKBİS.SK* veri modelinin temelini oluşturmaktadır.

TRKBİS.SK detay tipleri Türkçe isimleri ile *CityGML.WaterBody* detay tiplerinin alt bileşenleri olarak tanımlanmıştır. Eşleme tablosuna göre su kütlesi veri temasının çoğu detay tipi her iki veri modelinde mevcuttur. *CityGML.WaterBody* veri modeli içerisinde tanımlanmamış olan su kütlesi öznelikleri *CityGML.WaterBody* sınıfına <<ADEElement>> olarak işaretlenmiş bir alt sınıf eklenerek TRKBİS veri modelindeki tanımlamaların her biri tamamlanmıştır. Bu altsınıfta ilgili *CityGML* sınıfının İngilizce ismi kullanılarak eşlemenin görülmesi kolaylaştırılmıştır. Dökümantasyon işleminde kullanılmak üzere için alt sınıfın Türkçe ismi SuKutlesi

takma ad olarak eklenmiştir. Ayrıca TRKBİS WaterBody (SuKutlesi) ve CityGML WaterBody detay tipi arasındaki ilişki <<ADE>> stereotipi ile işaretlenmiştir. Yeni geliştirilen CityGML-TRKBİS.SK veri modelindeki özniteliklere ait kod listelerinin tanımlanmasında mevcut TRKBİS kod listeleri temel alınmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 : CityGML-TRKBİS.SK veri modeli UML diyagramı.

4. BULGULAR

Türkiye’de kent bilgi sistemleri uygulamalarında farklı uygulama alanlarında farklı detay seviyesindeki gösterimlere olan gereksinim gün geçtikçe daha da artmaktadır. 3 boyutlu (3B) kent modelleri bir çok uygulama alanında kullanılmak üzere yüksek çözünürlüklü bilgi potansiyeli ortaya koymaktadır. Geleneksel 2 boyutlu (2B) haritalara göre 3B kent modelleri ile bir çok ek bilgi sunulabilmektedir. Üretilen 2B coğrafi verilerin gerçek dünyanın birebir modellenmesini gerektiren bazı uygulamalarda yetersiz kalması, karmaşık nesnelerin 2B modeller ile tanımlanamaması ve bu uygulamalarda daha etkin çözümlerin üretilmesi kapsamında 3B coğrafi veriye olan ihtiyaç anlaşılmıştır. Farklı uygulama alanlarında kullanılan 3B coğrafi verilerin standardizasyonu ile 3B verinin geometrik, topolojik ve semantik özelliklerinin aynı anda tanımlanmasına olanak veren tekil bir veri değişim formatı tanımlanmış olacaktır.

3B coğrafi veri uygulamalarının daha çok önem kazandığı günümüzde devlet birimlerinin 3B coğrafi veri üretimine katkısı kaçınılmazdır. Ülke genelinde 2B coğrafi veri üreten kurumların 3B coğrafi veri üretiminde karşılaştıkları en büyük sorun 2B verinin 3B veriye dönüşümünde seçilecek yöntemin belirlenmesidir. 3B kent modellerini farklı uygulamalarda kullanabilmek için farklı standart ve veri formatları arasında dönüşüm yapmak gerekebilir. Bu dönüşüm işleminde genellikle veri kaybı ile karşılaşmaktadır. Uluslararası örnek veri modelleri incelendiğinde 3B kent modellerinin oluşturulmasında farklı yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir. Bu da 3B kent modellerinin birlikte çalışabilirliği konusunda bir çok soruna sebep olmaktadır. Ortak bir uluslararası standart kullanılarak üretilen 3B kent modelleri ile tüm bu birlikte çalışabilirlik problemlerine çözüm bulunmuş olacaktır.

Bu tez çalışmasında, kent bilgi sistemleri çalışmalarında 3 boyutlu (3B) coğrafi veri kullanımını standardize etmek amacıyla Kent Bilgi Sistemlerine Yönelik Ulusal Konumsal 3B Veri Modeli geliştirilmiştir. 3B coğrafi veri modeli içerisinde tanımlanan detay sınıfları, öznitelikler ve kod listeleri ile veriye ait geometrik tanımlar da yapılmış olup ulusal ölçekte yapılacak olan çalışmalarda 2B coğrafi verinin 3B

coğrafi veriye dönüşümünde kullanılacak olan veri standartlarının tanımlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla mevcut Türkiye Kent Bilgi Standartları (TRKBİS) tematik veri gruplarının örnek 3B UML şemaları oluşturulmuş ve GML uygulama şemaları üretilmiştir.

Tez çalışması kapsamında büyük ölçekli 3B coğrafi veri modellerinin oluşturulması için mevcut 2B coğrafi veri modelinin genişletilmesinde CityGML uluslararası coğrafi veri standardı temel alınmış olup örnek veri temalarının geliştirilmesinde CityGML ve TRKBİS veri temaları arasında kavramsal eşleme çalışması yapılmıştır. Hale Editor kullanılarak yapılan bu eşleme çalışması temel alınarak CityGML uyumlu 3B TRKBİS (CityGML-TRKBİS) veri modeli tasarlanmıştır. Geliştirilen ortak kent bilgi modeli 3B coğrafi verinin yaşamı boyunca geometrik, topolojik ve semantik açıdan geliştirilebileceği bir çerçeve sunmaktadır.

CityGML 3B kent modelinin kavramsal olarak genişletilebilir olması ve mevcut 2B TRKBİS veri modeli ile uyumu temel veri standardı seçiminde kolaylık sağlamıştır. CityGML bir GML3 profili olarak tanımlanmış olup CityGML tabanlı 3B kent modelleri; çok fonksiyonlu, çok ölçekli, birlikte çalışabilir ve semantik veri modelleridir. CityGML ontolojisi ile 3B kent modellerine standart bir arayüz sağlanarak farklı kentlere ait kent modelleri üzerinde aynı uygulamaları çalıştırma imkanı sağlanmaktadır. Bu kapsamda üretilen tüm veri setleri internet üzerinden standart OGC servisleri kullanılarak birlikte çalışabilirlik esaslarına uygun bir şekilde işlenmektedir.

Mevcut TRKBİS veri modelinde kavramsal şemanın oluşturulmasında UML modelleme dili kullanılmış olup veri değişimi kapsamında UML modelden doğrudan XML şema üretilmektedir. UML modelleme dilinde stereotipler ve tagli değerler kullanılarak kavramlar genişletilebilmektedir. Hook (kanca) mekanizması ise standart UML konseptinde bulunmamaktadır. Ancak CityGML Uygulama Alanı Uzantısı (Application Domain Extension (ADE)) konsepti ADE Hook mekanizmasını kullanarak detay sınıflarını ve öznelikleri genişletmektedir.

UML ile CityGML genişletme çalışmalarında kullanılacak teknik prensipler CityGML teknik dökümanında açıklanmadığından tez çalışması kapsamında bir kodlama kuralı tasarlanmış olup bu kodlama kuralı ile UML ADE içerisinde CityGML sınıflarının genişletilmesi ve bunun XML şemasında kodlanması arasında bir eşleme sağlanmıştır.

Kavramsal olarak CityGML standardının bir uzantısı olan TRKBİS sınıfları bu kurallar kullanılarak CityGML alt sınıfları olarak modellenmiştir.

CityGML-TRKBİS.ADE modelinin geliştirilmesinde resmi modelleme dilinin seçilmesi, CityGML jenerik sınıfları ve TRKBİS sınıfları arasındaki benzerliklerin belirlenmesi, genişletilecek alt sınıfların belirlenmesi ve modellenmesi, GML uygulama şemalarının üretilmesi ve son olarak kod listelerinin kullanımı başlıkları kapsamında bir yaklaşım geliştirilmiştir. TRKBİS UML modelleme dili ile geliştirilmiş olduğundan CityGML-TRKBİS.ADE oluşturulurken de UML kullanılmıştır. Görsel bir modelleme yaklaşımı olan UML ile paydaşlar arasındaki iletişim de kolaylaştırılmaktadır. CityGML UML modeli kullanılarak genişletme işlemi yapılmıştır.

Sonraki adımda CityGML ve TRKBİS 2B coğrafi veri modeli arasında ortak olan sınıf ve öznitelik değerleri tüm CityGML ayrıntı düzeyleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu eşleme tekniğinde kavramlar semantik düzeyde karşılaştırılmıştır. Semantik düzeyde karşılaştırma yapabilmek için her iki veri modelini de iyi analiz etmiş olmak gerekmektedir. Ana prensip eşleme yapılırken mümkün olduğu kadar CityGML standardını değiştirmemektir. Bütün TRKBİS detay tipleri için bire-bir eşlenik detay tipleri CityGML veri modelinde mevcut olmadığından iki farklı yaklaşım kullanılarak modelleme yapılmıştır. Daha çok kullanılan ilk yöntem TRKBİS veri modelinin tekrar modellenmesidir. İkinci yöntem ise yenir bir detay sınıfı oluşturularak CityGML detay sınıfının genişletilmesi olarak belirlenmiştir. Yeni oluşturulan detay sınıfı mevcut CityGML sınıfları gibi modellenerek farklı detay seviyelerinde 2B ve 3B geometriye sahiptir.

Genişletilecek alt sınıfların belirlenmesinde bir önceki adımda gerçekleştirilmiş olan CityGML-TRKBİS kavramsal eşleme çalışması temel alınmıştır. Semantik olarak CityGML ile aynı olan ve yalnızca öznitelik eklenen sınıflar ile semantik olarak ilişkili CityGML sınıfının alt sınıfı olan sınıflar olmak üzere iki farklı benzerlik tanımlanmıştır. Her iki durumda da özelleştirme ilişkisi kullanılarak modelleme yapılmıştır.

Genişletilecek alt sınıflar belirlendikten sonra TRKBİS detay tipleri CityGML detay tiplerinin alt bileşenleri olarak tanımlanmıştır. TRKBİS ile ilişkili tüm CityGML detay

sınıfları için alt sınıflar üretilerek hepsine 2B geometri ve LoD0 detay seviyesinde geometri özellikleri eklenmiştir.

Çalışma kapsamında örnek olarak üretilen 3B TRKBİS veri temalarına ait UML veri modelleri ShapeChange java uygulaması kullanılarak otomatik olarak GML uygulama şemalarına dönüştürülmüştür. Uygulamaya özel kullanılan <<ADEElement>> stereotipine sahip sınıflar için geliştirilen kodlama kuralına göre yalnızca öznitelik eklenen detaylar GML uygulama şemalarında gösterilmemekte, yeni eklenen alt sınıflar ise gösterilmektedir. Kullanılan GML 3.2 tabanlı kodlama kuralı ile genişletilmiş bir UML desteği sağlanmaktadır.

Geliştirilen yaklaşımın son adımı kod listelerinin kullanımıdır. CityGML kapsamında zorunlu olmayan kod listeleri tanımlanmıştır. Uygulama kapsamında kod listesi değerleri olarak mevcut TRKBİS kod listesi değerleri kullanılmaya devam edilmiştir. CityGML kod listelerinin eksik tanımlanmış olması ve kullanımının zorunlu olmaması nedeni ile kavramsal eşleme çalışmasında kod listesi değerleri dikkate alınmamıştır. Önerilen yaklaşım ulusal ölçekte 2B coğrafi verinin 3B coğrafi veriye dönüştürülmesinde yeni bir yöntem olarak tanıtılmıştır. Geliştirilen bu yöntem ve önerilen 3B kent bilgi modelinin farklı 3B coğrafi veri üreticileri tarafından kullanılıp test edilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmeler ışığında geliştirilen modelde eklenti ve güncellemeler yapılabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kentler çeşitli ekonomik, sosyal, kültürel faaliyetler, altyapı ve yüksek nüfus yoğunluğu kavramları ile karakterize edilen büyük birer barınma alanlarıdır. İnsan yaşamının önemli bir parçası olan kentler karmaşık ve dinamik bir yaşam döngüsüne sahiptir. Ekonomik ve ticari faaliyetler, kentsel gelişim ve altyapı, göç, çevresel faktörler, politika ve yönetim kentsel verilerin değişimine sebep olan faktörler olarak değerlendirilebilir. Kentin sürekli değişen yapısı nedeni ile kente ait verilerin güncel olarak toplanması, analizi ve yorumlaması gerekmektedir.

Kent yönetimi; kentin gelişmesi, büyümesi, sürdürülebilirliği ve yaşanabilirliğini teşvik eden politika ve programların planlanması, geliştirilmesi ve uygulanması çalışmalarından oluşmaktadır. Büyük ve çok nüfuslu kentlerin oluşması ile birlikte kent yönetimi de daha karmaşık bir hale gelmiştir. Kent idaresi ve yönetim; ekonomik, sosyal ve toplumsal kalkınma; elektrik, sağlık, eğitim ve ulaşım gibi kamu hizmetleri; yollar, köprüler, kamusal hizmet binaları gibi altyapı geliştirme faaliyetleri; doğal afetler veya halk sağlığı krizlerinde acil durum yönetimi faaliyetleri kapsamında etkili karar verme aşamasında konumsal veri ve analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Globalden lokale bir çok farklı ölçekte elde edilen konumsal verinin doğru, güncel ve ulaşılabilir olması etkin bir kent yönetiminde önemli faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Farklı kullanıcılar tarafından üretilen konumsal verilerin birlikte çalışabilirliğini sağlayan politika, standart ve teknolojiler bütünü olarak tanımlanan konumsal veri altyapısı kente ait büyük ölçekli verilerin çeşitli hizmetler ve uygulamalar arasında değişimini olanaklı hale getirmektedir. Karmaşık kent problemlerinin çözümünde veri entegrasyonu ve paylaşımı için önemli olan kavram standardizasyondur.

Kentsel faaliyetlerin yönetilmesinde 3B coğrafi veriye olan ihtiyaç ilk olarak doğal afet modellerinin oluşturulması ve çevresel faaliyetlerin izlenmesi çalışmalarında fark edilmiş olsa da 3B teknolojisindeki gelişmeler ile dünyanın 3B haritalanmasını giderek daha önemli bir hale geldiği anlaşılmıştır. Gerçekte üç boyutlu olan dünyamızın 2B

coğrafi veriler ile gerçeğe uygun temsil edilemediği, bir çok araştırma alanında 3B coğrafi verilerin gerekli olduğu analiz edilmiştir.

3B coğrafi verinin görselleştirilmesinde bir çok çözüm üretilmiş olmakla birlikte farklı amaçlar için gerekli olan bir çok detay seviyesinde coğrafi verinin gösterimi bir gereklilik haline gelmiştir. Bu nedenle 3B modelleme kapsamında standardizasyon kavramı ortaya çıkmıştır. Genellikle belirli organizasyonlar tarafından projelerde kullanılmak üzere amaca özel üretilen 3B coğrafi veriler farklı uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmadıklarından tekrarlı bir üretim söz konusudur. Bunun en temel nedeni ise 3B coğrafi veri standartlarının tanımlanmamış olmasıdır. Ancak sadece görselleştirme amaçlı çözümler 3B coğrafi veri yönetimi için yeterli desteği sağlamamaktadır. CityGML uluslararası 3B coğrafi veri modeli olarak geliştirilmiş olup çok ölçekli ve semantik bir modeldir. Diğer 3B coğrafi veri standartlarından farkı tematik sorgulama, analiz ve veri toplama amaçları kapsamında da kullanılabilir olmasıdır.

Bu tez çalışmasında ulusal 2B büyük ölçekli coğrafi veri modelinin uluslararası CityGML coğrafi veri standardı temel alınarak genişletilmesi kapsamında bir yaklaşım önerisinde bulunulmuştur. Belirlenen yaklaşım temel alınarak 3B KBS çalışmalarının tümünde kullanılabilecek 3B coğrafi veri değişim modeli tasarlanmıştır. Örnek olarak seçilen coğrafi veri temalarının CityGML standardına uygun veri modelleri UML modelleme dili ile oluşturulmuştur.

Tez çalışması kapsamında yapılan literatür taramasında son yıllarda giderek kullanımı artan 3B coğrafi veri teknolojileri hakkında geniş bir literatür olduğu görülmüştür. Daha anlaşılır kent bilgisi sağlayan 3B kent modelleri, araştırmacılar ve devlet kurumları tarafından kent problemlerinin çözümü kapsamında ilgi çeken bir konudur. Ülke genelinde 2B coğrafi veri üreten kurumların 3B coğrafi veri üretiminde karşılaştıkları en büyük sorun 2B coğrafi verinin 3B coğrafi veriye dönüşümünde seçilecek yöntemin belirlenmesidir. Bu kapsamda Türkiye için üretilmiş bir yaklaşım yoktur.

Tezin ilk bölümünde 3B modelleme yaklaşımını genel olarak özetleyen bir giriş bölümüne yer verilmiş, çalışmanın hangi sorulara cevap vereceğini açıklayan problem tanımı yapıldıktan sonra çalışmanın amacı ve metodolojisi anlatılmıştır. Literatür taraması ile tez konusu kapsamında ulusal ve uluslararası gerçekleştirilmiş çalışmalar

derlenerek incelenmiş olup 3B kent modellerinin farklı uygulama alanlarında kullanıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmalardan yola çıkılarak 3B coğrafi veri yönetimi kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan farklı yaklaşımlar incelenmiştir. 3B konumsal veri altyapısı kavramı ve bileşenleri irdelenerek 3B coğrafi veri yönetiminde kullanılan OGC CityGML coğrafi veri modeli ve Avrupa’da öngörülen INSPIRE veri standartları incelenmiştir. Bununla birlikte farklı kaynaklardan alınan 3B verilerin birlikte kullanılabilmesi ve 3B coğrafi veri tabanında birleştirilmesi konularında çalışma yapan, dünyadan örnek sayılabilecek 3B coğrafi bilgiye yönelik ulusal politikalar analiz edilmiştir.

Tez kapsamında Türkiye Kent Bilgi Sistemi Standartları (TRKBİS)’in, uluslararası CityGML coğrafi veri modeli semantik ve geometrik kurallarına göre yeniden modellenerek 3B CityGML-TRKBİS veri modeli üretilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla OGC tarafından geliştirilen ve uluslararası 3B coğrafi veri modeli olarak kabul edilen CityGML, TRKBİS gereksinimlerini karşılayacak şekilde UML modelleme dili kullanılarak genişletilmiş ve seçilen veri temaları (Bina, Bitki Örtüsü, Ulaşım, Arazi Kullanımı, Kent Mobilyası, Su Kütlesi) CityGML-ADE olarak yeniden modellenmiştir. CityGML’in semantik ve geometrik kurallarına göre yeniden modellenen TRKBİS, 2B-2.5B ve 3B coğrafi objelerin tümünü temsil etmektedir.

Çalışmada kapsamında modelleme dili olarak UML seçilmiş olup ilk olarak UML ile CityGML ADE geliştirme uygulamaları incelenmiştir. CityGML standart dökümanında yalnızca XML şemaları ile ADE geliştirme kural ve ilkeleri tanımlanmış olup UML ile CityGML-TRKBİS modelinin oluşturulması sürecinde Hollanda 3B coğrafi veri standardı IMGeo versiyon 2.0’ın geliştirilmesinde kullanılan yaklaşımdan yararlanılmıştır. Bu uygulama CityGML veri modelinin ulusal veri modeline uygun olarak genişletilmesi kapsamında yapılan ilk çalışmadır.

Tez çalışmasının tasarım aşaması 2B coğrafi veri modeli ve CityGML entegrasyonu, geometri tipleri ve topoloji kavramı, kod listelerinin kullanımı, CityGML özelliklerinin kullanımı ve referans sistemi seçimi başlıkları altında uygulanmıştır. CityGML-TRKBİS veri modeli oluşturulurken aşağıdaki metodoloji kullanılmıştır.

- Resmi bir modelleme dilinin seçilmesi: Resmi modelleme dili olarak TRKBİS 1.0 tasarımında da kullanılmış olan UML seçilmiştir.

- UML ile Uygulama Alanı Geliştiricisi (ADE) modelleme yönteminin seçimi: CityGML standart dökümanı içerisinde yalnızca XML ile ADE modelleme açıklandığından çalışmanın amacı kapsamında UML ile modelleme yöntemleri arasından ulusal coğrafi veri modeline uygun olan yöntem seçilmiştir.
- CityGML jenerik sınıfları ve uygulamaya ait semantik sınıflar arasındaki benzerliklerin belirlenmesi: Bu aşamada CityGML ve uygulama alanı sınıfları arasında anlamsal eşleştirme yapılarak sınıf düzeyinde tüm benzerlikler sıralanır. TRKBİS 1.0 uygulama modelindeki tüm sınıflar için CityGML veri modelinde karşılık gelen sınıf isim, açıklama, geometri temsili ve özellikleri bazında aranarak eşleştirme yapılmıştır.
- TRKBİS sınıflarının CityGML alt sınıfları olarak modellenmesi: İlk olarak CityGML UML şeması üretilmiş (CityGML 1.0 temel alınmış). İkinci aşamada tüm TRKBİS sınıfları CityGML alt sınıfları olarak seçilen yaklaşım ile modellenmiştir.
- Kod listelerinin ADE içerisinde kullanımının belirlenmesi: CityGML standart dökümanının kullanıcıya önceden tanımlanmış olduğu kod listesi değerleri zorunlu olmayıp, önerilen değerlerdir. TRKBİS 2.0 geliştirilmesi çalışmasında CityGML'in önerdiği kod listelerinin yerine TRKBİS 1.0'da tanımlanmış mevcut ulusal kod listesi değerleri kullanılmıştır.
- CityGML-TRKBİS.ADE Geometri ve Topolojisinin Tanımlanması: TRKBİS ADE içerisinde geometri tipleri ve LOD konseptinin kullanımı için kurallar belirlenmiştir.

Tez çalışmasında önerilen model ile kavramsal olarak CityGML'in uzantısı olan bir model elde edilmiştir. Bu nedenle TRKBİS sınıfları CityGML alt sınıfları olarak tanımlanıp öznitelik sayıları değiştirilmiştir. TRKBİS modellenirken de UML kullanılmış olması nedeni ile temel UML bilgisi olan kullanıcılar geliştirilen modeli kolayca anlayabilir. Seçilen yöntem mevcut TRKBİS modelleme yaklaşımına en yakın yöntemdir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen CityGML.ADE modelleri CityGML tabanlı yeni veri temalarının geliştirilmesinde örnek olarak kullanılabilir. Bu çalışmadan elde edilen sonuç ve deneyim ile TRKBİS veri modeline eklenecek olan tüm veri temaları için CityGML uyumlu 3B veri modelleri üretilmesi mümkün olacaktır.

Bu çalışmada CityGML 2.0 temel alınmıştır. OGC tarafından yayınlanan CityGML 3.0 standardı ile verilerin GML ve XML şema dillerinin yanısıra JSON veri değişim formatına uygun kodlanması olanağı sağlanmıştır. Bununla birlikte yeni ayrıntı düzeyleri tanımlamaları yapılarak, sensörler ve simulasyonlar tarafından sağlanan dinamik veriler de desteklenebilir hale gelmiştir. Ancak TRKBİS ayrıntı düzeyi kavramlarının CityGML 2.0 ile uyumlu olması nedeni ile yeni sürüm olan CityGML 3.0 kullanılmamıştır. CityGML 2.0 kullanan bir çok veri grubunun var olması nedeni ile standardın bu versiyonu da kullanımdadır.

Çalışma kapsamında oluşturulan veri modellerinin gerçek veri ile testi gerçekleştirilmemiştir. Bu araştırmanın devamı niteliğinde olacak çalışmalarda,

- Farklı detay seviyeleri ve sınıflar için örnek 3B TRKBİS verilerinin üretilmesi ile veri modeli doğrulanabilir.
- 3B doğrulayıcı tasarlanarak uygulamalarda kullanılabilir.
- 3B TRKBİS verilerinin bakımı, güncellenmesi ve paylaşılması konularında bir yaklaşım tanımlanmalıdır.
- Özniteliklere ait kod listesi değerlerinin uygun yapıda (SKOS, OWL gibi) tanımlanması kapsamında çalışmalar yapılabilir.

Çalışma sonucunda elde edilen 3B veri modelinin kent bazında uygulanabilmesi için üretilen büyük ölçekli coğrafi verilerin modele uygun olması gerekmektedir. Standartlara uygun olarak 3B coğrafi verilerin üretilmesi ve kullanılması ancak ve ancak yasal mevzuat ile desteklenmesi ile sağlanabilir. Hazırlanan model gelecekte 3B kent modelleri için yapılacak teknik ve yasal düzenlemelerde bir altlık olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdul Rahman, A. & Pilouk, M.** (2008). *Spatial Data Modelling for 3D GIS*. Springer Berlin, Heidelberg.
- Agugiaro, G.** (2015). Energy planning tools and CityGML-based 3D virtual city models: Experiences from Trento (Italy), *Applied Geomatics*, 8, 41–56. doi: 10.1007/s12518-015-0163-2.
- Agugiaro, G., J., Cipriano, P., & Nouvel, R.** (2018). The Energy Application Domain Extension for CityGML: enhancing interoperability for urban energy simulations, *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3 (1), 139. doi: 10.1186/s40965-018-0042-y.
- Ahmed, F.C. & Sekar, S.P.** (2014). Using three-dimensional volumetric analysis in everyday urban planning processes, *Applied Spatial Analysis and Policy*, 8, 393–408. doi: 10.1007/s12061-014-9122-2.
- Alam, N., Coors, V. & Zlatanova, S.** (2013). Urban and Regional Data Management: UDMS Annual. In Ellul. C, Zlatanova. S., Rumor. M, Laurini. R (Eds.), *Detecting shadow for direct radiation using CityGML models for photovoltaic potentiality analysis*. (Vol.1, pp.191-210). Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080426990500048>.
- Arroyo Ogori, K.** (2020). azul: A fast and efficient 3D city model viewer for macOS, *Transactions in GIS*, 24 (5), 1165–1184. doi:10.1111/tgis.12673
- Ates Aydar, S., Stoter, J., Ledoux, H., Yomralioglu, T.** (2016). Establishin A National 3D Geo-Data Model for Building Data Compliant to CityGML: Case of Turkey, *ISPRS Annals of The Photog., Rem. Sen. And Spatial Inf. Sys.*, 79–86. doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B2-79-2016.
- Ates Aydar, S., Yomralioglu, T. & Demir Ozbek, E.** (2016). Modeling Turkey national 2D Geo-Data model as a CityGML application domain extension in UML, *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEgeo)*, 3(3), 1–10.
- Aydinoglu, A.C., Bovkir, R. & Colkesen, I.** (2021). Implementing a mass valuation application on interoperable land valuation data model as an extension of the national GDI, *Survey Review*, 53 (379).
- Aydinoğlu, A.Ç.** (2009). *Türkiye İçin Coğrafi Veri Değişim Modelinin Geliştirilmesi*. (Doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bahu, J.M., Koch, A., Kremers, E. & Murshed, S.M.** (2013) Towards a 3D spatial urban energy modelling approach, *ISPRS Annals of The Photog., Rem. Sen. And Spatial Inf. Sys.*, 8, 1–16. doi: 10.5194/isprsannals-II-2-W1-33-2013.

- Bahu, J.M. & Nouvel, R.** (2015) Development of the CityGML ADE Energy, *INSPIRE Geospatial World Forum*.
- Bakici, S., Erkek, B., Ayyıldız, E. & Özmüş, L.,** (2017). The Use of 3D City Models Form Oblique Images on Land Administration. In J.Blenc, (Ed.), *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, (pp.117-121). Safranbolu, Turkey, October 14-15.
- Bilgin, G.** (2022). *İnsansız Hava Aracı Kullanımına Yönelik Avrupa Konumsal Veri Altyapısı Ulaşım Ağları Temasının Genişletilmesi*. (Yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Biljecki, F., Ledoux, H. ve Stoter, J.** (2016). An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment, and Urban Systems*, 59, pp. 25-37. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S. & Coltekin, A.** (2015). Application of 3D City Models: State of Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842-2889. doi: 10.3390/ijgi4042842.
- Biljecki, F., Lim, J., Crawford, J., Moraru, D., Tauscher, H., Konde, A., Stouffs, R.** (2021). Extending CityGML for IFCsourced 3D city models. *Automation in Construction*, 121, 103440. doi: 10.1016/j.autcon.2020.103440.
- Biljecki, F. ve Tauscher, H.** (2019). Quality of BIM–GIS conversion. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-4/W8, 35–42. doi:10.5194/isprs-annals-iv-4-w8-35-2019.
- Birgören, M.** (2022). *Coğrafi Varlıkların UML Kullanılarak Ulusal Mevzuat Çerçevesinde Veri Sözlüğünün ve Veri Modelinin Oluşturulması Üzerine Bir Çalışma*. (Doktora tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Bognár, A., Loonen, R. C., & Hensen, J. L.** (2021). Calculating solar irradiance without shading geometry: A point cloud-based method. *Journal of Building Performance Simulation*, 14 (5), 480–502. doi: 10.1080/19401493.2021.1971765.
- Büyüksalih, İ., Alkan, M. and Gazioğlu, C.** (2019). Design for 3D city model management using remote sensing and GIS: A case study for the Golden Horn in Istanbul, Turkey, *Journal of Coastal Conservation*, 37(4), 1451-1466.
- Chester, R.** (2002). Materials Selection and Engineering. In A.A. Baker, L.R.F. Rose, R. Jones (Eds.), *Advances in the Bonded Composite Repair of Metallic Aircraft Structure*, Vol. 1, pp.19-40. Retrieved from <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b14914-23>.
- Chi, Y. L. ve Mak, H. W. L.** (2021). From Comparative and Statistical Assessments of Liveability and Health Conditions of Districts in Hong Kong towards Future City Development. *Sustainability*, 13 (16), 8781. doi:10.3390/su13168781.
- Coors, V., Betz, M., & Duminil, E.** (2020). A Concept of Quality Management of 3D City Models Supporting Application-Specific Requirements. *PFG –*

- Batty, M., Chapman, D., Evans, S., Haklay, M., Kueppers, S., Shiode, N., Torrens, P.M.** (2000). Visualizing the City: Communicating Urban Design to Planners and Decision-Makers (Technical Report No: 26). London: Center for Advanced Spatial Analysis, UCL.
- Becker, T., Nagel, C. & Kolbe, T.H.** (2011). Integrated 3D Modeling of Multi-utility Networks and Their Interdependencies for Critical Infrastructure Analysis. *ISPRS Archives*, XXXVIII, 1–20.
- Becker, T., Nagel, C. & Kolbe, T.H.** (2013). Semantic 3D modeling of multi-utility networks in cities for analysis and 3D visualization, *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 9(3), 41–62.
- Berntssen, M., Danes, M., Goos, J., Klooster, R., Kooijman, J., Noordegraaf, L., Vosselman, C.** (2012). 3D Pilot: Eindrapport Werkgroep 3D Use Cases (Technical Report No). Delft, Netherlands Geodetic Comission.
- Biljecki, F., Heuvelink, G.B.M., Ledoux, H. & Stoter, J.,** (2015a). Propagation of positional error in 3D GIS: estimation of the solar irradiation of building roofs, *International Journal of Geographic Information Sciences*, 29, 2269–2294.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S. & Coltekin, A.** (2015b). Applications of 3D city models: state of the art review, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842–2889.
- Billen, R. & Zlatanova, S.** (2003). 3D spatial relationships model: a useful concept for 3D cadastre?, *Comput. Environ. Urban Syst*, 27, 411–425.
- Billen, R., Cutting-Decelle, A.F., Marina, O., de Almeida, J.P., Matteo, C., Chester, R.** (2014). Materials Selection and Engineering. In A.A. Baker, L.R.F. Rose, R. Jones (Eds.), *3D City Models and Urban Information: Current Issues and Perspectives—European COST Action TU0801* (Vol. 1, pp.1-118).
- Carrión, D. , Lorenz, A. & Kolbe, T.H.** (2010). Estimation of the energetic rehabilitation state of buildings for the city of Berlin using a 3D city model represented in CityGML, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XXXVIII-4/W15, 31–35.
- Carneiro, C. & Golay, F.** (2009). 3D Geo-Information Sciences. In Lee, J., Zlatanova, S. (Eds.), *Solar radiation over the urban texture: LiDAR data and image processing techniques for environmental analysis at city scale* (Vol. 1, pp.319-340). Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-87395-2_20.
- Catita, C., Redweik, P., Pereira, J. & Brito, M.C.** (2014). Extending solar potential analysis in buildings to vertical facades, *Computer Geosciences*, 66, 1–12. doi: 10.1016/j.cageo.2014.01.002
- Cho, Y.K., Ham, Y. ve Golpavar-Fard, M.** (2015). 3D as-is Building Energy Modeling and Diagnostics: A Review of The State of Art. *Advanced Engineering Informatics*, 2(29), 184-195. doi: 10.1016/j.aei.2015.03.004.

- Czerwinski, A., Sandmann, S., Stöcker-Meier, E. & Plümer, L.** (2007). Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments, *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 2 (1), 1–18.
- Çağdaş, V.** (2013). An application domain extension to CityGML for immovable property taxation: A Turkish case study, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21 (1), 545–555.
- ÇŞİDB** (2012a). Türkiye Kent Bilgi Sistemi Standartlarının Belirlenmesi Projesi: KBS Kavramsal Model Bileşenleri. Ankara : Teknik Rapor.
- ÇŞİDB** (2012b). Türkiye Kent Bilgi Sistemi Standartlarının Belirlenmesi Projesi: Veri Temaları Tanımlayıcı Dökümanı. Ankara : Teknik Rapor.
- ÇŞİDB** (2012c). Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemi Standartlarının Belirlenmesi Projesi: Kavramsal Model Bileşenleri. Ankara : Teknik Rapor.
- ÇŞİDB** (2012d). Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemi Standartlarının Belirlenmesi Projesi: TUCBS Metaveri İlk ve Esaslarının Belirlenmesi. Ankara : Teknik Rapor.
- ÇŞİDB** (2018). Avrupa Coğrafi Veri Altyapısı-INSPIRE. Ankara : Teknik Rapor.
- de Kluijver, H. & Stoter, J.** (2003). Noise mapping and GIS: Optimising quality and efficiency of noise effect studies. *Comput. Environ. Urban Syst*, 27, 85–102.
- Döner , F., Bıyık, C. & Demir, O.,** (2011). Dünyada üç boyutlu kadaströ uygulamaları, 13. *Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye: Nisan 18-22.
- Döner, F. & Şirin, S.** (2017). Konumsal veri modellerinin 3B bir kadaströ için kullanılabilirliklerinin incelenmesi, *UCTEA International Geographical Information Systems Congress*, Adana, Türkiye : Kasım 15-18.
- Dukai, B., Peters, R., Vitalis, S., van Liempt, J., & Stoter, J.** (2021). Quality assessment of a nationwide data set containing automatically reconstructed 3D building models. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and 22 Spatial Information Sciences*, XLVI-4/W4-2021, 17–24. doi:10.5194/isprs-archives-xlvi-4-w4-2021-17-2021.
- Dukai, B., Peters, R., Wu, T., Commandeur, T., Ledoux, H., Baving, T., Stoter, J.** (2020). Generating, storing, updating and disseminating a countrywide 3D model. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 44, 27– 32. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W1-2020-27-2020.
- Emgård, K.L. & Zlatanova, S.** (2008). UDMS Annual. In S. Zlatanova, R. Fendel (Eds.), *Design of an integrated 3D information model* (Vol. 1, pp.143-156).
- Ennafii, O., Bris, A. L., Lafarge, F., & Mallet, C.** (2019). A Learning Approach to Evaluate the Quality of 3D City Models. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 85 (12), 865–878. doi: 10.14358/pers.85.12.865.

- Every, F., Charles, C.G., Holder, R., van Osesterom, P.** (2017). Initial Inventory of 3D Cadastre Use Cases in the Caribbean, *FIG Working Week*, Helsinki, Finland: May 29-June 2.
- Freitas, S., Catita, C., Redweik, P. & Brito, M.C.** (2015). Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 41, 915–931.
- Gazioğlu, C. Burak, S.Z., Alpar, B., Barut I.F.** (2010). Foreseeable impacts of sea level rise on the southern coast of the Marmara Sea (Turkey), *Water Policy*, 12 (6), 932-943.
- Gil, J.** (2020). City Information Modelling: A Conceptual Framework for Research and Practice in Digital Urban Planning. *Built Environment*, 46 (4), 501–527. doi: 10.2148/benv.46.4.501.
- Goos, J., Klooster, R., Stoter, J., Verbree, E., Vosselman, G.** (2011). 3D Pilot: Eindrapport Werkgroep Aanbod van 3D Geo-Informatie. Delft: Netherlands Geodetic Commission Report.
- Goy, S., Mar´echal, F., & Finn, D.** (2020). Data for Urban Scale Building Energy Modelling: Assessing Impacts and Overcoming Availability Challenges. *Energies*, 13 (16), 4244. doi:10.3390/en13164244.
- Gröger, G. & Plümer, L.** (2009). How to achieve consistency for 3D city models., *GeoInformatica*, 15, 137–165.
- Guereke, R., Brenner, C. & Sester, M.** (2009). Generalization of Semantically Enhanced 3D City Models. In T. Kolbe, S., Zlatanova, H, Zhang (Ed.), *Proceedings of the ISPRS workshop*, vol. XXXVIII-3-4/C3 Commission III/4, IV/8 and IV/5: Academic track of GeoWeb, (pp.28-34). Vancouver, Canada: July 27-31.
- Gulliver, T., Haanen, A. & Goodin., M.** (2017). A 3D Digital Cadastre for New Zealand and the International Opportunity, *International Journal of Geoinformation*, 6(12), 375–398.
- Guo, R., Li, L., Ying, S., Jiang, R.** (2013). Developing a 3D cadastre for the administration of urban land use: A case study of Shenzhen, China, *Comput. Environ. Urban Syst*, 40, 46–55.
- Herbert, G. & Chen, X.** (2015). A comparison of usefulness of 2D and 3D representations of urban planning, *Cartogr. Geogr. Inf. Sci.*, 42, 22–32.
- Hofierka, J. & Zlocha, M.** (2012). A new 3-D solar radiation model for 3-D city models, *Transactions in GIS*, 16, 681–69.
- INSPIRE** (2013). *Data specification on buildings-technical guidelines*, *INSPIRE Thematic Working Group Buildings* (D2.8.III.2). Retrieved from <https://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/bu>.
- INSPIRE** (2014). *Generic Conceptual Model of the INSPIRE data specifications* (D2.5_v3.4). Retrieved from <https://inspire.ec.europa.eu/documents/inspire-generic-conceptual-model>

- İban, M.C.** (2019). *Türkiye İçin Arazi Kullanımına Yönelik Konumsal Veri Altyapısının Modellenmesi* (Doktora tezi). İstanbul Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İlgar Kara, A.** (2021). *Kentsel Teknik Altyapı Tesislerine İlişkin Ulusal Coğrafi Veri Modeli Önerisi* (Doktora tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jaillot, V., Servigne, S., & Gesquière, G.** (2020). Delivering time-evolving 3D city models for web visualization. *International Journal of Geographical Information Science*, 34 (10), 2030–2052. doi:10.1080/13658816.2020.1749637.
- Julin, A., Jaalama, K., Virtanen, J.-P., Pouke, M., Hyyppä, H.** (2018). Characterizing 3D city modeling projects: towards a harmonized interoperable system. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7 (2), 55. doi: 10.3390/ijgi7020055.
- Kaden, R. & Kolbe, T.H.** (2013). City-wide total energy demand estimation of buildings using semantic 3D city models and statistical data, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 14, 163–171.
- Kamel, E. ve Memari, A.M.** (2019). Review of BIM's Application in Energy Simulation: Tools, Issues, and Solutions. *Automation in Construction*, 97, 164-180.
- Kang, T.W.** (2017). Object Composite Query Method Using IFC and LandXML Based on BIM Linkage Model. *Automation in Construction*, 76, 14-23. doi: 10.1016/j.autcon.2017.01.008.
- Kara, A., van Oosterom, P., Lemmen, C.** (2022). Ladm valuation information model compliant prototype for visualization and dissemination of 3d units and groups. In J.Blenc, (Ed.), *10th Land Administration Domain Model Workshop*, (pp.97-112). Dubrovnik, Croatia :March 31- April 2.
- Kaya, H. & Gazioglu, C.** (2015). Real Estate Development at Landslides, *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 2(1), 62-71.
- Kolbe, T.H.** (2009). 3D Geoinformation Sciences. In S. Zlatanova, L. Jones (Eds.), *Representing and exchanging 3D city models with CityGML* (Vol. 1, pp.15-31). Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-87395-2_2.
- Kolbe, T. H ve Donaubauer, A.** (2021). Semantic 3D City Modeling and BIM. In: Shi, W., Goodchild, M.F., Batty, M., Kwan, MP., Zhang, A. (Eds.), *Urban Informatics*. (pp.609-636). Singapore: Springer.
- Kolbe, T.H., Shang, H. & Zlatanova, S.** (2009). Economic value of 3D geographic information. UK : EuroSDR Report.
- Krüger, A. & Kolbe, T.H.** (2012). Building analysis for urban energy planning using key indicators on virtual 3D city models—The energy atlas of Berlin, . *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XXXIX-B2, 145–150.
- Kurakula, V.** (2007). *A GIS-Based Approach for 3D Noise Modelling Using 3D City Models* (Master's Thesis). International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.

- Kumar, K., Ledoux, H., Commandeur, T.J.F. & Stoter, J.E.** (2017). Modelling Urban Noise in CityGML ADE: Case of Netherlands. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.: 12th 3D Geoinfo Conference*. Melbourne, Australia.
- Kutzner, T.C.** (2016). *Geospatial data modelling and model-driven transformation of geospatial data based on UML profiles*. (PhD Thesis). Technische Universität München, Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt, München.
- Labetski, A., Vitalis, S., Biljecki, F., Ogori, K. A., & Stoter, J.** (2022). 3D building metrics for urban morphology. *International Journal of Geographical Information Science*, 0 (0), 1–32. doi:10.1080/13658816.2022.2103818.
- Law, C.W., Lee, C.K. & Tai, M.K.** (2006). Effect of tetramethylthiuramdisulfide on the cationic polymerization of cyclohexeneoxide, *Symposium of the campaign "Science in the Public Service"*, Hong-Kong, 27 April.
- Ledoux, H., Arroyo Ogori, K., Kumar, K., Dukai, B., Labetski, A., & Vitalis, S.** (2019). CityJSON: A compact and easy-to-use encoding of the CityGML data model. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 4 (1), 1–12. doi: 10.1186/s40965-019-0064-0.
- Ledoux, H., Biljecki, F., Dukai, B., Kumar, K., Commandeur, T.** (2021). 3dfier: automatic reconstruction of 3D city models. *Journal of Open Source Software*, 6 (57), 2866. doi:10.21105/joss.02866.
- Ledoux, H., Ogori, K. A., Kumar, K., Dukai, B., Labetski, A., & Vitalis, S.** (2019). CityJSON: A compact and easy-to-use encoding of the CityGML data model. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 4 (1). doi:10.1186/ s40965-019-0064-0
- Lemmens, M.** (2011). Applying geo-information technology, *Geo-information. Technologies, Applications and the Environment*, 229–258.
- Liang, J., Gong, J., Xie, X., & Sun, J.** (2020). Solar3D: An Open-Source Tool for Estimating Solar Radiation in Urban Environments. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9 (9), 524. doi:10.3390/ijgi9090524
- Liang, J., Gong, J., Li, W. & Ibrahim, A.N.** (2015). A visualization-oriented 3D method for efficient computation of urban solar radiation based on 3D—2D surface mapping, *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 28, 780–798.
- Liang, J., Gong, J., Li, W., Zhou, J., Li, M.** (2015). An open-source 3D solar radiation model integrated with a 3D Geographic Information System, *Modeling Earth Systems and Environment*, 64, 94–101.
- Lim, J., Janssen, P., & Biljecki, F.** (2020). Visualising detailed CityGML and ADE at the building scale. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIV4/W1-2020, 83–90. doi:10.5194/isprs-archives-xliv-4-w1-2020-83- 2020.
- Mak, H. W. L., & Lam, Y. F.** (2021). Comparative assessments and insights of data openness of 50 smart cities in air quality aspects. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102868. doi:10.1016/j.scs.2021.102868

- Metzger, C., Falquet, G. & Decelle, C.** (2009). Towards Semantically Enriched 3D City Models: An Ontology-Based Approach. In T. Kolbe, S., Zlatanova, H, Zhang (Ed.), *Proceedings of the ISPRS workshop*, vol. XXXVIII-3-4/C3 Commission III/4, IV/8 and IV/5: Academic track of GeoWeb, (pp.40-45). Vancouver, Canada: July 27-31.
- Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Gool, L.** (2006). Procedural modeling of buildings, *ACM Transactions on Graphics*, 25(3), 614–623.
- Nagel, C., Stadler, A. & Kolbe, T.** (2009). Conceptual Requirements for the Automatic Reconstruction of Building Information Models from Uninterpreted 3D Models. In T. Kolbe, S., Zlatanova, H, Zhang (Ed.), *Proceedings of the ISPRS workshop*, vol. XXXVIII-3-4/C3 Commission III/4, IV/8 and IV/5: Academic track of GeoWeb, (pp.46-53). Vancouver, Canada: July 27-31.
- Naghavi, M., Alesheikh, A.A., Hakimpour, Vafaeinejad, A.** (2022). VGI-based spatial data infrastructure for land administration, *LanUse Policy*, 114 (2).
- Noardo, F., Wu, T., Otori, K. A., Krijnen, T., & Stoter, J.** (2022). IFC models for semi-automating common planning checks for building permits. *Automation in Construction*, 134, 104097. doi:10.1016/j.autcon.2021.104097.
- Nouvel, R., Schulte, C., Eicker, U., Coors, V.** (2013). CityGML-based 3D city model for energy diagnostics and urban energy policy support. In E. Wurtz (Ed.), *Proceedings of the BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association* (pp.218-225). Le Bourget Du Lac, Turkey, August 25-30.
- Nouvel, R., Bahu, J.M., Kaden, R., & Kampf, J.H.** (2015). Development of the citygml application domain extension energy for urban energy simulation. In *Proceedings of 14th International Conference of the International Building Performance Simulation Association (IBPSA)* (pp.550-564). Hyderabad, India, December 7-9.
- Object Management Group (OMG).** (2014). *Model Driven Architecture* (OMG Document ormsc/2014-06-01). Retrieved from <https://www.omg.org/cgi-bin/doc?ormsc/14-06-01>
- Object Management Group (OMG).** (2017). *Unified Modelling* Retrieved from <https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1/PDF>.
- Open Geospatial Consortium (OGC).** (2012). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) 2.0 Encoding Standard* (OGC 12-019). Retrieved from <https://www.ogc.org/standard/citygml/>.
- Open Geospatial Consortium (OGC).** (2014). *Modeling An Application Domain Extension of CityGML in UML, OGC Best Practice*, (OGC 12-066). Retrieved from <https://www.ogc.org/standards/bp/>.
- Open Geospatial Consortium (OGC).** (2021). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) 3.0 Encoding Standard* (OGC 20-010). Retrieved from <https://www.ogc.org/standard/citygml/>.

- Otero, R., Frias, E., Lagüela, S. & Arias, P.** (2020). Automatic gbXML Modeling from Lidar Data for Energy Studies. *Remote Sensing*, 12, 2679. doi: 10.3390/rs12172679.
- Palliwal, A., Song, S., Tan, H. T. W., & Biljecki, F.** (2021). 3D city models for urban farming site identification in buildings. *Computers, Environment and Urban Systems*, 86, 101584. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2020.101584.
- Park, Y., & Guldmann, J.-M.** (2019). Creating 3D city models with building footprints and LIDAR point cloud classification: A machine learning approach. *Computers, environment and urban systems*, 75, 76–89. doi:10. 1016/j.compenvurbsys.2019.01.004.
- Park, Y., Guldmann, J.-M., & Liu, D.** (2021). Impacts of tree and building shades on the urban heat island: Combining remote sensing, 3D digital city and spatial regression approaches. *Computers, Environment and Urban Systems*, 88, 101655. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2021.101655.
- Peters, R., Dukai, B., Vitalis, S., van Liempt, J., & Stoter, J.** (2022). Automated 3D Reconstruction of LoD2 and LoD1 Models for All 10 Million Buildings of the Netherlands. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 88 (3), 165–170. doi:10.14358/pers.21-00032r2
- Prandi, F., Amicis, R., Piffer, S., Soave, M. Hont, E.D.** (2013). Using citygml to deploy smart-city services for urban ecosystems, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 29–31.
- Pouliot, J., Roy, T., Fouquet-Asselin, G. & Desgroseilliers, J.** (2011). . 3D Cadastre in the Province of Quebec: A First Experiment for the Construction of a Volumetric Representation, *Advances in 3D Geoinformation Sciences*, XL-4/W1, 149-162.
- Radulovic, A., Sladic, D., Govedarica, M.** (2017). Towards 3D Cadastre in Serbia: Development of Serbian Cadastral Domain Model, *International Journal of Geo-Information*, 6, 312-333.
- Rajabifard, A. & Williamson, I.P.** (2001). Spatial Data Infrastructures: Concept, SDI Hierarchy and Future Directions. In *Proceedings of Geomatics '80 Conference*, (pp.145-154).
- Ranjbar, H.R., Gharagozlou, A.R., Nejad, A.R.V.** (2012). . 3D analysis and investigation of traffic noise impact from Hemmat Highway located in Tehran on buildings and surrounding areas, *Journal of Geographical Information System*, 4, 322–334.
- Ross, L.** (2010). *Virtual 3D City Models in Urban Land Management—Technologies and Applications*. (Ph.D. Thesis). Technische Universität Berlin, Berlin, Germany.
- Sani, B.** (2013). *Coğrafi Veri Modelleri Arasında Uygulamaya Yönelik Dönüşüm Algoritmalarının Geliştirilmesi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, İstanbul.
- Schröter, K., Lüdtkke, S., Redweik, R., Meier, J., Bochow, M., Kreibich, H.** (2018). Flood loss estimation using 3D city models and remote sensing

data. *Environmental Modelling & Software*, 105, 118–131. doi: 10.1016/j.envsoft.2018.03.032.

- Shahat, E., Hyun, C. T., & Yeom, C.** (2021). City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda. *Sustainability*, 13 (6). doi:10.3390/su13063386.
- Shen, J., Zhou, J, Herman, L. & Reznik, T.** (2020). Constructing the CityGML ADE for the multi-source data integration of urban flooding, *ISPRS International Journal of Geo-Information*,9(6), 359–386.
- Shepherd, I.D.H** (2008). Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications. In Dodge, M., McDerby, M., Turner, M. (Eds.), *Travails in the Third Dimension: A Critical Evaluation of Three-dimensional Geographical Visualization* (Vol. 1, pp.199-222). Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470987643.ch10>.
- Shojaei, D., Kalantari, M., Bishop I.D., Aien, A.** (2013). Visualization Requirements for 3D Cadastral Systems, Computers, *Environment and Urban Systems*,41, 39–54.
- Soon, K.H.** (2012). A conceptual framework of representing semantics for 3D Cadastre in Singapore, *Proceedings of the 3rd International Workshop on 3D Cadastres*, (pp.361-379). Shenzhen, China, October 25-26.
- Stoter, J.E.** (2004). *3D Cadastre* (PhD thesis). Technische Universiteit Delft (TuDelft), Delft.
- Stoter, J.E. & P.J.M. van Oosterom** (2005). Technological aspects of a full 3D cadastral registration, *International Journal of Geographical Information Science*,19 (6), 669–696.
- Stoter, J., Peters, R., Commandeur, T., Dukai, B., ... Ledoux, H.** (2020). Automated reconstruction of 3D input data for noise simulation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 80, 101424. doi: 10 . 1016 / j. compenvurbsys.2019.101424.
- Stoter, J., de Kluijver, H. & Kurakula, V.** (2008). 3D noise mapping in urban areas, *International Journal of Geographical Information Science*,22, 907–924.
- Stoter, J., van den Brink, L., Vosselamn, G., Thorn, S.** (2011). A generic approach for 3D SDI in the Netherlands, *Joint ISPRS Workshop on 3D City Modelling and Applications and 6th 3D GeoInfo*, Wuhan, China, June 26-28.
- Stoter, J., Vosselman, G., Goos, J., Reuvers, M.** (2011). 3D noise mapping in urban areas, *Photogramm.—Fernerkund.—Geoinf.*, 405–420.
- Stoter, J., Beetz, J., Ledoux, H., H. van der Brink, L.** (2012). Implementation of a national 3D standard: Case of The Netherlands, *Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences*, 277–298.
- Stoter, J., Ledoux, H., Reuvers, M., Klooster, R., Vosselman G.** (2013). Establishing and implementing a national 3D Standard in The Netherlands. *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, 2013(4), 381–392.

- Stoter, J., Ploeger, H. & van Oosterom, P.** (2013). 3D cadastre in the Netherlands: developments and international applicability, *Computers, Environment and Urban Systems*, 40, 56–67.
- Strzalka, A., Bogdahn, J., Coors, V. & Eicker, U.** (2011). 3D City modeling for urban scale heating energy demand forecasting, *HVAC&R Res*, 17, 526–539.
- Strzalka, A., Alam, N., Duminil, E., Eicker, U.** (2012). Large scale integration of photovoltaics in cities, *Applied Energy*, 93, 413–421.
- Tang, L., Ying, S., Li, L., Biljecki, F., Zhu, H., Zhu, Y., Yang, F., & Su, F.** (2020). An application-driven LOD modeling paradigm for 3D building models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 161, 194–207. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.01.019.
- Thompson, R.J., van Oosterom, P. & Soon, K.H.** (2017). LandXML Encoding of Mixed 2D and 3D Survey Plans with Multi-Level Topology. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 6(6), 171. doi: 10.3390/ijgi6060171.
- Trakas, A., Janssen, P. & Stoter, J.** (2012). Advancing Open 3D Modelling Standards in National Spatial Information Policy, *European Journal of ePractice*, 40, 68–79.
- Unger, E. M., Bennett, R., Lemmen, C. & Zevenbergen, J.,** (2021). LADM for Sustainable Development: An Exploratory Study on the Application of Domain-Specific Data Models to Support SDGs, *Land Use Policy*, 108 (6), 1–8.
- United Nations (UN).** (2022). UN World Cities Report. UN-Habitat, Technical Report.
- Wate, P. & Saran, S.,** (2015). Implementation of CityGML energy application domain extension (ADE) for integration of urban solar potential indicators using object-oriented modelling approach, *Geocarto International*, 6049(May), 1–19.
- Willenborg, B., Sindram, M., & Kolbe, T. H.** (2018). Applications of 3D city models for a better understanding of the built environment. *Trends in Spatial Analysis and Modelling*, 167–191. doi:10.1007/978-3-319-52522-8 9.
- Wilson, D.** (2011). Noise Domain Model: Measurements, Modelling and Mapping.
- Wilson, J. P., Butler, K., Gao, S., Hu, Y., Li, W., & Wright, D. J.** (2021). A Five-Star Guide for Achieving Replicability and Reproducibility When Working with GIS Software and Algorithms. *Annals of the American Association of Geographers*, 111 (5), 1–7. doi:10.1080/24694452.2020.1806026.
- Wilson, D., Parslow, P. & Kraut, V.** (2013). *CityGML – Time Dependent Variables* [PowerPoint slides]. Retrieved from <https://iscopeproject.net/>.
- Wysocki, O., Schwab, B., Hoegner, L., Kolbe, T. H., & Stilla, U.** (2021). Plastic Surgery for 3D City Models: a Pipeline for Automatic Geometry Refinement and Semantic Enrichment. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V-4-2021, 17–24. doi:10.5194/isprs-annals-v4-2021-17-2021.

- van Oosterom, P.** (2013). Research and development in 3D cadastres, *Computers, Environment and Urban Systems*, 40, 1–6.
- van den Brink, L., Stoter, J. & Zlatanova S.** (2012). Modeling an application domain extension of CityGML in UML. *International Archives Photogram. Remote Sens. Spatial Inf Science*, XXXVIII-4/C26, 11–4
- van den Brink, L., Stoter, J. & Zlatanova S.** (2013a). Establishing a national standard for 3D topographic data compliant to CityGML, *Int Journal of Geographical Information Science*, 27(1), 92–113.
- van den Brink, L., Stoter, J. & Zlatanova, S.** (2013b). UML-Based approach to developing a citygml application domain extension, *Transactions in GIS*, 17(6), 920–942.
- Vandyshcheva, N., Sapelnikov, S., van Oosterom, P., de Vries, M., Penkov, V.,** (2012). The 3D Cadastre Prototype and Pilot in the Russian Federation, *FIG Working Week*, Rome, Italy : May 6-10.
- Verbree, E., Stoter, J., Zlatanova, S., Haan, G., Reuvers, M., Vosselman, G., ... Klooster, R.** (2010). A 3D Model for Geo-Information in the Netherlands, *special joint symposium of ISPRS Technical Commission IV & AutoCarto in conjunction with ASPRS/CaGIS*, Orlando, Florida, USA : April 19-23.
- Virtanen, J.-P., Jaalama, K., Puustinen, T., Julin, A., Hyyppä, J., & Hyyppä, H.** (2021). Near Real-Time Semantic View Analysis of 3D City Models in Web Browser. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10 (3), 138. doi.: 10.3390/ijgi10030138.
- Vitalis, S., Arroyo Ogori, K., & Stoter, J.** (2020). CityJSON in QGIS: Development of an open-source plugin. *Transactions in GIS*, 24 (5), 1147–1164. doi: 10.1111/tgis.12657.
- Yao, Z., Nagel, C., Kunde, F., Hundra, G., Willkomm, P., Donaubaauer, A..... 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, softw. stand.* 3, 5. doi:10.1186/s40965-018-0046-7
- Yomralıoğlu. T.** (2000). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. Seçil Ofset, İstanbul.
- Yılmaz, H.** (2017). *Taşınmaz Kültür Varlığı Yönetiminde Nesne Tabanlı Coğrafi Veri Modeli Tasarımı* (Yüksek lisans tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Wilson, D., Parslow, P. & Kraut, V.** (2013). *CityGML – Time Dependent Variables* [PowerPoint slides]. Retrieved from <https://www.slideshare.net/DebbieWilson2/i-scope-timedependentvariables>
- Url-1** < <https://energieatlas.berlin.de/> >, erişim tarihi 21.01.2023.
- Url-2** < <http://www.landxml.org/> >, erişim tarihi 01.04.2023.

EKLER

EK A: CityGML Veri Modeli – TRKBİS Veri Modeli Eşleme Analizleri

EK A

Çizelge A.1 : CityGML.Building – TRKBİS.Bina veri modelleri eşleme tablosu.

Veri Tipi	TRKBİS Sınıf	CityGML Sınıf
Detay Tipi	OzetYapi	AbstractBuilding
Öznitelik	infaatTarihi (yearOfConstruction)	yearOfConstruction
	kbsNo	-
	ortometrikYukseklik (orthometric height)	-
	versiyonBaslangicTarihi (creationDate)	creationDate
	versiyonBitisTarihi (terminationDate)	terminationDate
	kullanımDurumu (conditionOfUse)	function
	versiyonNo (versionNumber)	-
	yapiAdi (BuildingName)	name
	yapiDurumu (conditionOfConstruction)	-
	yukseklik (elevation)	measuredHeight (relative)
Detay Tipi	EkYapi (Installation)	BuildingInstallation
Öznitelik	ekYapiTuru (buildingInstallationType)	class
	Geometri (geometry)	geometry
Detay Tipi	DigerYapi (OtherConstruction)	_Site (ADE)
Öznitelik	KiyiYapilari (CoastalConstructions)	-
	SporYapilari (SportConstruction)	-
	sinirYapilari (BoundaryConstructions)	-
Detay Tipi	OzetBina	AbstractBuilding
Öznitelik	Alan (area)	area
	catiTuru (roofType)	roofType
	Geometry (geometry)	geometry
	zeminUstuKatsayisi (numberOfFloorsAboveGround)	storeysAboveGround
	zeminAltiKatsayisi (numberOfFloorsBelowGround)	storeysBelowGround
	bagimsizBolum (buildingUnit)	-
	BagimsizBolumSayisi (numberOfBuildingUnits)	-
	catiMalzemesi (materialOfRoof)	-
	cepheMalzemesi (materialOfFacade)	-
	deprem (earthquake)	-
	donati (reinforcement)	-
	enerjiVerimliliği (energyPerformance)	-
	isitmaSistem (heatingSystem)	-
	isitmaYakit (HeatingSource)	-
	tasiyiciSistem (carrierSystem)	-
	temel (foundation)	-
	tesisat (installation)	-
	yapimalzemesi (materialOfStructure)	-
	ZeminSinifi (groundType)	-

Çizelge A.1 (devam) : CityGML.Building – TRKBİS.Bina veri modelleri eşleme tablosu.

Veri Tipi	TRKBİS Sınıf	CityGML Sınıf
Detay Tipi	GenisletilmisBina (ExtendedBuilding)	_AbstractBuilding(ADE)
	atikSu: atikSuDurum (conditionOfSewage)	-
	icmeSuyu (drinkingWater)	-
	dolguDuvar (curtainWall)	-
	Doseme (flooring)	-
	sicakSuTemin (WarmWaterSupply)	-
	sicakSuYakit (WarmWaterSource)	-
	yapiMalzemesi (constructionMaterial)	-
Detay Tipi	YapiBelge (documentOfStructure)	_AbstractBuilding (ADE)
Öznitelik	basvuru (application)	-
	denetimKurulus(controlInstitution)	-
	Dokuman (document)	-
	kullanımAmac (intendedUse)	-
	kysKurumKod (qualityManagementSystemInstCode)	-
	Talep (request)	-
	yananYikilan (burningDemolished)	-
	yapiBelgeKurumKod (documentInstutionCode)	-
	yapiBelgeTipKod (documentTypeCode)	-
	yapiKullanmaIzin (occupancyPermit)	-
	yapiRuhsat (buildingLicence)	-
Detay Tipi	Bina (Building)	Building
Detay Tipi	BinaBlok (BuildingPart)	BuildingPart
Detay Tipi	BinaBagimsizBolum (BuildingUnit)	_AbstractBuilding (ADE)
Öznitelik	bagimsizBolum (buildingUnit)	-
	Geometri (geometry)	-
	kbsNo (kbsID)	-
	versiyonBaslangicTarihi (creationDate)	-
	versiyonBitisTarihi (terminationDate)	-

Çizelge A.2 : CityGML.Transportation – TRKBİS.Ulaşım veri modelleri eşleme tablosu.

Veri Tipi	TRKBİS Sınıf	CityGML Sınıf
Detay Tipi	AgAlani	-
Detay Tipi	AgElemani	-
	kbsNo	-

Çizelge A.2 (devam): CityGML.Transportation – TRKBİS.Ulasım veri modelleri eşleme tablosu (devam).

Veri Tipi	TRKBİS Sınıf	CityGML Sınıf
	AgCizgisi	-
	AgToplamCizgisi	-
	AgOzellik	-
	UlasimAlani	-
	UlasimYolu	-
	UlasimHatti	-
	UlasimNoktasi	-
	UlasimOzellik	-
	UlasimErisimKisitlama	-
	UlasimYolDuzeyi	-
	UlasimYonetimBirimi	-
	UlasimNesneVersiyonu	-

Çizelge A.3 : CityGML.Transportation – TRKBİS.Karayolu veri modelleri eşleme tablosu.

Veri Tipi	TRKBİS Sınıf	CityGML Sınıf
Detay Tipi	UlasimAlani	TrafficArea
	KarayoluServisAlani	TrafficArea
	YolAlani	AbstractTransportaionObject(ADE)
	AracTrafikAlani	TrafficArea
	UlasimYolu	AbstractTransportaionObject(ADE)
	UlasimHatti	AbstractTransportaionObject(ADE)
	YolHatti	AbstractTransportaionObject(ADE)
	KarayoluBirlesikHat	AbstractTransportaionObject(ADE)
	YolTanitimHatti	AbstractTransportaionObject(ADE)
	UlasimNoktasi	AbstractTransportaionObject(ADE)
	YolNoktasi	AbstractTransportaionObject(ADE)
	UlasimOzellik	AbstractTransportaionObject(ADE)
	KarayoluTrafik	AbstractTransportaionObject(ADE)
	KarayoluBilgisi	AbstractTransportaionObject(ADE)
	KarayoluSiniflandirmasi	AbstractTransportaionObject(ADE)
	KarayoluHiz	AbstractTransportaionObject(ADE)
	UlasimYapisi	TrafficArea
	KarayoluServisAlani	AuxiliaryTrafficArea

Çizelge A.4 : CityGML.Transportation – TRKBİS.Demiryolu veri modelleri eşleme tablosu.

Veri Tipi	TRKBİS Sınıf	CityGML Sınıf
Detay Tipi	demiryoluNoktasi	AbstractTransportationObject(ADE)
Detay Tipi	Ulasim Alani	TrafficArea
Detay Tipi	DemiryoluIstasyonAlani	TrafficArea
Öznitelik	istasyonAdi	-
Detay Tipi	DemiryoluYardAlani	AuxilliarryTrafficArea
Öznitelik	demiyoluYardimciAlani	AuxilliarryTrafficArea
Detay Tipi	Demiryolu	TransportationComplex
Öznitelik	demiryoluKodu	-
Detay Tipi	DemiryoluHatti	AbstractTransportationObject
Öznitelik	demiryoluElektrigi	-
	demiryoluMaksimumHizi	-
	demiryoluTip	-
	hatSayisi	-
	raySayisi	-
Detay Tipi	UlasimOzellik	TransportationComplex(ADE)
Detay Tipi	DemiryoluBirlesikHat	AbstractTransportationObject

Çizelge A.5 : CityGML.Transportation – TRKBİS.Denizyolu veri modelleri eşleme tablosu.

Veri Tipi	TRKBİS Sınıf	CityGML Sınıf
Detay Tipi	LimanAlani	TrafficArea
Öznitelik	Hizmet	-
Öznitelik	limanAdi	-
Detay Tipi	DenizYolu	TrafficArea
Detay Tipi	DenizYoluBirlesikHat	AbstractTransportationObject
Öznitelik	feribotKullanım	-
Öznitelik	denizYoluSiniri	-
Detay Tipi	DenizYoluHatti	TransportationComplex
Öznitelik	hatAdi	TransportationComplex
Öznitelik	hatYukKapasitesi	-
Öznitelik	hatYolcuKapasitesi	-
Öznitelik	yukBilgisi	-
Detay Tipi	DenizNoktasi	AbstractTransportationObject
Detay Tipi	DenizyoluNoktasi	AbstractTransportationObject
Öznitelik	denizYoluNoktaTipi	-
Detay Tipi	LimanNoktasi	AbstractTransportationObject

Çizelge A.6 : CityGML.WaterBody – TRKBİS.SuKütlesi veri modelleri eşleme tablosu.

Veri Tipi	TRKBİS Sınıf	CityGML Sınıf
Detay Tipi	SuKutlesi	WaterBody
Öznitelik	fonksiyon	function
	geometri	-
	kbsNo	-
	kullanim	usage
	sinif	class
	versiyonBaslangicTarihi	-
	versiyonBitisTarihi	-
Detay Tipi	SuSinirYuzeyi	WaterSurface
Detay Tipi	SuYuzeyi	WaterSurface
Öznitelik	suSeviyesi	
Detay Tipi	SuZeminYuzeyi	WaterGroundSurface
Detay Tipi	SuKapanmaYuzeyi	WaterClosureSurface

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Serpil ATEŞ AYDAR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Geomatik Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **2010 -2016** **İstanbul Teknik Üniversitesi**
İnşaat Fakültesi / Geomatik Mühendisliği Bölümü
Araştırma Görevlisi
- **2015 - 2016** **Delft Teknoloji Üniversitesi, Hollanda**
Mimarlık ve Yapılı Çevre Fakültesi / Şehircilik Bölümü
3 Boyutlu Coğrafi Bilgi Araştırma Grubu
Misafir Araştırmacı
- **2019 -** **Çanakkale 18 Mart Üniversitesi**
Mimarlık ve Şehir Bölge Planlama Bölümü
Öğretim Görevlisi

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Ateş Aydar, S.**, Yomralıoğlu, T., Demir Özbek, E., (2016), “Modeling Turkey National 2D Geo-Data Models as a CityGML Application Domain extensions in UML”, International Journal of Environment and Geoinformatics, Vol. 3(3), ss.1-10, ISSN 2148-9173.
- **Ateş Aydar, S.**, Stoter, J., Ledoux, H., Demir Özbek, E., T. Yomralıoğlu, T. (2016), “Establishing a national 3D geo-data model for building data compliant to CityGML: case of Turkey”, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B2, 79-86.

DİĞER YAYINLAR:

- Demir Özbek, E., Zlatanova, S., **Ateş Aydar, S.**, Yomralıoğlu, T., (2016), “3D geo-information requirements for disaster and emergency management”, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B2, 101-108.