

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AKILLI ŞEHİR DİJİTAL İKİZ ÖRNEK VERİ
ALTYAPISININ OLUŞTURULMASI:
3B KAMPÜS ÖRNEĞİ

EMİNE BAŞKURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ULAŞIM TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
AKILLI ŞEHİR VE ULAŞIM TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN: PROF. DR. ARIF ÇAĞDAŞ AYDINOĞLU

TEMMUZ 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AKILLI ŞEHİR DİJİTAL İKİZ ÖRNEK VERİ
ALTYAPISININ OLUŞTURULMASI:
3B KAMPÜS ÖRNEĞİ

EMİNE BAŞKURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ULAŞIM TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
AKILLI ŞEHİR VE ULAŞIM TEKNOLOJİLERİ
PROGRAMI

DANIŞMAN: PROF. DR. ARİF ÇAĞDAŞ AYDINOĞLU

TEMMUZ 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

CREATING A SMART CITY DIGITAL TWIN
SAMPLE DATA INFRASTRUCTURE:
3D CAMPUS CASE STUDY

EMİNE BAŞKURT

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
TECHNOLOGIES SMART CITY AND TRANSPORT
TECHNOLOGIES PROGRAM

ADVISOR: PROF. DR. ARİF ÇAĞDAŞ AYDINOĞLU

JULY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 30/06/2025 tarih ve 2025/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21/07/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Emine BAŞKURT'un tez çalışması Ulaşım Teknolojileri Anabilim Dalı, Akıllı Şehir ve Ulaşım Teknolojileri Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU

ÜYE

: Prof. Dr. Zeynep Gamze MERT

ÜYE

: Prof. Dr. Nursu TUNALIOĞLU ÖCALAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR



Aileme

ÖZET

Günümüz kentleri, artan nüfus baskısı, karmaşık altyapı sistemleri ve sürdürülebilirlik ihtiyaçları doğrultusunda çok katmanlı ve dinamik yapılar hâline gelmiştir. Bu karmaşıklık, fiziksel çevrelerin dijital ortamlarda modellenmesini ve analiz edilmesini gerektiren yeni planlama yaklaşımlarını beraberinde getirmiştir. Bu bağlamda, dijital ikiz teknolojileri; fiziksel varlıkların sanal ortamda eş zamanlı temsilini sağlayarak şehirlerin ve yerleşkelerin izlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesine olanak tanıyan veri odaklı bir çözüm sunmaktadır. Bu tez çalışması, Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) kampüsünün mevcut fiziksel yapılarının, altyapısının ve mekânsal bileşenlerinin üç boyutlu (3B) bir dijital ikiz modeline dönüştürülmesini amaçlamaktadır. Söz konusu model; kampüs yönetimi, ulaşım planlaması, erişilebilirlik ve sürdürülebilirlik gibi çeşitli tematik analizler için mekânsal karar destek aracı olarak işlev görmektedir.

Araştırma kapsamında öncelikle ArcGIS Pro yazılımı kullanılarak kampüse ait binalar, taşıt yolları, bisiklet ve yaya yolları, yeşil alanlar, sosyal tesisler gibi öğeler vektörel olarak sayısallaştırılmış ve her mekânsal varlığa ait öznitelik bilgileri tanımlanarak kapsamlı bir Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veri altyapısı oluşturulmuştur. Bu veriler, ardından CityEngine yazılımına aktararak 3B modellemeye dönüştürülmüştür. Modelleme sürecinde, bina fonksiyonlarına ve yükseklik verilerine göre CGA (Computer Generated Architecture) kuralları tanımlanarak otomatik üretim tekniklerinden faydalanılmıştır. Modelin gerçekçiliğini artırmak amacıyla yalnızca kural tabanlı modelleme değil, aynı zamanda manuel müdahaleler de gerçekleştirilmiştir. Manuel kısımda, kampüsün cephe görüntüleri “crop image” tekniğiyle yapı yüzeylerine foto-gerçekçi dokular uygulanmış ve modelin mekânsal doğruluğu kadar görsel temsil gücü de artırılmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma, CityEngine yazılımının dijital ikiz geliştirme süreçlerinde hem otomatik hem manuel modelleme yöntemleriyle nasıl entegre kullanılabileceğini ortaya koymakta ve akıllı kampüs planlaması için etkileşimli, esnek ve görsel açıdan güçlü bir altyapı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ArcGIS Pro, CityEngine, Dijital İkiz, 3B Modelleme

ABSTRACT

Contemporary cities have evolved into multi-layered and dynamic structures due to increasing population pressure, complex infrastructure systems, and the growing need for sustainability. This complexity has necessitated the development of new planning approaches that involve modeling and analyzing physical environments in digital platforms. In this context, digital twin technologies offer a data-driven solution that enables real-time virtual representations of physical assets, thereby facilitating the monitoring, evaluation, and management of cities and campuses. This thesis aims to transform the existing physical structures, infrastructure, and spatial components of the Gebze Technical University (GTU) campus into a three-dimensional (3D) digital twin model. The proposed model functions as a spatial decision-support tool for various thematic analyses such as campus management, transportation planning, accessibility and sustainability.

As part of the research, buildings, vehicle roads, bicycle and pedestrian paths, green areas, and social facilities within the campus were first vectorized using ArcGIS Pro software. Attribute data for each spatial element was defined, thereby constructing a comprehensive Geographic Information System (GIS) database. These data were then imported into CityEngine software and transformed into a three-dimensional model. During the modeling process, CGA (Computer Generated Architecture) rules were developed based on building functions and height data to utilize procedural modeling techniques. In addition to rule-based modeling, manual interventions were applied to enhance the realism of the model. In the manual phase, photo-realistic textures were added to building facades using the “crop image” technique, which significantly improved not only the spatial accuracy of the model but also its visual representational power.

In conclusion, this study demonstrates how CityEngine software can be effectively integrated into digital twin development processes using both procedural and manual modeling methods, offering an interactive, flexible, and visually compelling foundation for smart campus planning.

Keywords: ArcGIS Pro, CityEngine, Digital Twin, 3D Modelling

TEŞEKKÜR

Tez sürecim boyunca değerli katkılarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle yönlendiren, akademik bakış açımı geliştirmemi sağlayan özellikle de yol gösterici desteği ve her zaman sabırlı yaklaşımından dolayı hocam Arif Çağdaş AYDINOğLU'na en içten teőekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında yanımda olan, bana koşulsuz sevgi ve destek veren aileme sonsuz teşekkür ederim. Varlıkları ve inançlarıyla bana güç verdikleri, motivasyonumu korumama yardımcı oldukları, yolumu her zaman aydınlattıkları için minnettirim.

Lisansüstü eğitimime başladığım günden beri yanımda olan, birlikte güzel zamanlar paylaştığımız sevgili arkadaşlarım Sümeyye İrem ELBELİ, Atahan EVCEN'e teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi	2
1.2. Literatür İncelemesi	3
1.3. Metodoloji	4
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Dijital İkiz Kavramı	5
2.1.1. Dijital İkiz Türleri	6
2.2. Akıllı Kampüs Kavramı	6
3. UYGULAMA	9
3.1. Çalışma Alanının Seçimi ve Kullanılan Veriler	9
3.2. Kullanılan Yazılımlar	13
3.2.1. ArcGIS Pro ve CityEngine Entegrasyon Süreci	13
3.3. Dijital İkiz Altyapısının Oluşturulması	14
3.3.1. Taşıt, Yaya, Bisiklet Yolları	16
3.3.2. Binalar	19
3.3.3. Sosyal Tesisler	22
3.3.4. Otoparklar	24
3.3.5. Yeşil Alanlar	25
3.4. Modelin CityEngine Web Scene Ön İzlemesi	26
3.5. Modelin ArcGIS Online'a Aktarımı	28
4. ÜÇ BOYUTLU ANALİZ	30
4.1. Yaya ve Bisiklet Erişimi Analizi	30
4.2. Yoğunluk Analizleri	32
4.3. Manzara Analizi	34
4.4. Gölge Analizi	35
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	41
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN SUNUMLAR	42

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CGA	: Computer Generated Architecture
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
OSM	: Open Street Map
.shp	: Shapefile
.gdb	: Geodatabase
2B	: İki Boyutlu
3B	: Üç Boyutlu



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: İş Akış Şeması	4
Şekil 2.1: Akıllı Kampüs Bileşenleri	7
Şekil 3.1: GTÜ'nün Türkiye'deki Konumu ve Çalışma Alanı	10
Şekil 3.2: Tüm Verilerin Sayısallaştırılmış Görüntüsü	11
Şekil 3.3: Ortofoto Görüntüsü	12
Şekil 3.4: Kampüs Öznitelik Tablosu	13
Şekil 3.5: .shp ile Verileri Aktarma İşlemi	14
Şekil 3.6: Get Map Data ile Oluşturulacak Topografik Görüntü	15
Şekil 3.7: Terrain Edit Brush Aracı Kullanılmadan Önce	15
Şekil 3.8: Terrain Edit Brush Aracı Kullanılmadan Sonra	16
Şekil 3.9: Sayısallaştırılmış Yol Katmanları	17
Şekil 3.10: CityEngine'de Kopukluk ve Fazlalık Oluşan Yol Verisi	18
Şekil 3.11: Manuel Müdahale ile Düzenlenmiş Yol Verisi	18
Şekil 3.12: Yol Katmanları	19
Şekil 3.13: Sayısallaştırılmış Binalar	20
Şekil 3.14: CityEngine'de Binaların Öznitelik Tablosu	20
Şekil 3.15: Kural Dosyası Atanarak Oluşturulan 3B Binalar	21
Şekil 3.16: Extrude Komutu ve Crop İmage Aşaması	22
Şekil 3.17: Sosyal Tesislerin Sayısallaştırılması	23
Şekil 3.18: Kapalı Yüzme Havuzu ve Amfi Modeli	23
Şekil 3.19: Otopark Alanlarının Sayısallaştırılması	24
Şekil 3.20: Yeşil Alanlar	25
Şekil 3.21: CityEngine'de Modelin Görünümü	26
Şekil 3.22: Boş Kural Komutu	27
Şekil 3.23: Şekilleri Modele Dönüştürme Aşaması	27
Şekil 3.24: Modelin Web Scene Görüntüsü	28
Şekil 3.25: Modelin Aktarım Aşaması	28
Şekil 3.26: Modelin ArcGIS Pro'da 3B görüntüsü	29
Şekil 4.1: ArcGIS Pro'da 3B Yaya Erişim Analizi	31
Şekil 4.2: ArcGIS Pro'da 3B Bisiklet Erişimi Analizi	32
Şekil 4.3: ArcGIS Pro'da 3B Öğrenci Yoğunluk Analizi	33
Şekil 4.4: ArcGIS Pro'da 3B Akademik Personel Yoğunluk Analizi	33
Şekil 4.5: ArcGIS Pro'da 3B İdari Personel Yoğunluk Analizi	34
Şekil 4.6: Manzara Analizi	35
Şekil 4.7: Haziran Ayı Gölge Analizi	36
Şekil 4.8: Aralık Ayı Gölge Analizi	36

1. GİRİŞ

Günümüzde kentlerin artan mekânsal karmaşıklığı, düzensiz büyüme eğilimleri, ulaşım sistemlerindeki çeşitlenme ile çevresel ve ekonomik baskılar; kent planlamasının yalnızca fiziksel varlıklarıyla değil, aynı zamanda dijital ortamda temsil edilen veriye dayalı bütünsel bir yaklaşımla ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede, teknolojinin hızlı gelişimi, kentlerin ve özellikle üniversite kampüslerinin daha verimli, sürdürülebilir ve kullanıcı odaklı biçimde yeniden şekillendirilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle kampüslerin dijital olarak modellenmesi ve görselleştirilmesi önemlidir. Akıllı kampüsler, dijitalleşmenin eğitim alanındaki etkilerini en iyi şekilde yansıtan örneklerden biri olarak öne çıkmaktadır. Geleneksel iki boyutlu (2B) CBS, kentlerin yalnızca yatay düzlemdeki mekânsal ilişkilerini temsil edebildiğinden; yapıların yükseklik, hacim ve görsel etki gibi düşey özelliklerini analiz etmede yetersiz kalmaktadır. Oysa 3B modeller, kentlerin hem yatay hem düşey boyutlardaki özelliklerini eşzamanlı olarak değerlendirme imkânı sunduğu için, karmaşık fiziksel olayların daha gerçekçi ve bütüncül biçimde analiz edilmesine olanak tanımaktadır [Radies, 2013]. Bu sebeple CBS ve 3B modelleme teknikleri temel araçlar olarak öne çıkmaktadır.

CBS aracı olarak ArcGIS Pro ve 3B model aracı olarak CityEngine yazılımlarının birlikte kullanımı, kentsel veri modelleme süreçlerinde etkili bir çözüm sunmaktadır. ArcGIS; mekânsal veri analizi, görselleştirme ve veri tabanı yönetimi gibi temel işlevleriyle öne çıkarken, CityEngine ise bu verileri CGA kurallarına dayanarak 3B modellere dönüştürebilmektedir [Jin vd. 2015]. Bu sayede, ArcGIS ortamında üretilen coğrafi katmanlar CityEngine'e aktarılılarak modelleme süreci sonrasında tekrar ArcGIS platformuna entegre edilerek analiz edilebilmektedir. Bu çift yönlü akış, karar destek ve planlama süreçlerinin bütüncül bir yaklaşımla yürütülmesini mümkün kılmaktadır.

CityEngine yazılımı, kural tabanlı modelleme yaklaşımı sayesinde geleneksel 3B modelleme yöntemlerine kıyasla daha kısa sürede daha geniş kentsel alanlarda uygulanabilecek şekilde etkili bir çözüm sunmaktadır. Özellikle OpenStreetMap (OSM) gibi açık veri kaynaklarından elde edilen bilgilerin ArcGIS ile işlenmesi ve

ardından CityEngine ortamında CGA kurallarıyla 3B yapılara dönüştürülmesi, modelin güncelliği ve detay seviyesi açısından yüksek bir dinamizm sağlamaktadır. Bu bağlamda detaylı dijital modeller, karar vericilere alternatif senaryoları hızlıca test etme ve görsel olarak değerlendirme imkânı sunarak planlama süreçlerini daha şeffaf ve katılımcı hâle getirmektedir [Schrotter ve Hürzeler 2020]. Bu tür dijital temsiller, uzmanlar ile vatandaşların da sürece aktif katılımını sağlamakta; kent mekânını daha anlaşılır ve erişilebilir bir düzleme taşımaktadır. Sonuç olarak, 3B şehir modelleme teknolojileri, kentlerin sürdürülebilir ve bütüncül yönetimi için çağdaş bir planlama aracına dönüşmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında ArcGIS Pro ortamında oluşturulan mekânsal verilerin, CityEngine kullanılarak nasıl 3B modellere dönüştürülebileceğini uygulamalı olarak ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda, mevcut 2B CBS verileri üçüncü boyuta aktarılmış ve hem geometrik hem de öznitelik bileşenlerinin senkronize biçimde işlendiği bütüncül bir 3B veri modeli oluşturulacaktır.

1.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın temel amacı, CBS ve 3B şehir modelleme araçlarının entegrasyonu ile bir üniversite kampüsünün dijital ikizinin oluşturulmasıdır. Uygulama alanı olarak GTÜ kampüs alanı seçilerek, mevcut binalar, yollar, sosyal tesis alanları, otoparklar ve yeşil alanlar dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan veri seti, kampüs alanına ait CBS tabanlı verilerden elde edilmiştir. Bu veri yapısı hem geometrik hem de öznitelik bilgilerini içermektedir.

Çalışma, CityEngine yazılımının 3B kent modelleme süreçlerinde ne ölçüde etkin kullanılabileceğini ve potansiyelini değerlendirmektir. Ayrıca, şehir ve bölge planlama disiplini açısından da bu teknolojilerin, geleneksel planlama yöntemlerine nasıl katkı sunabileceği sorgulanmaktadır. Bu kapsamda çalışmanın amaçları aşağıda detaylandırılmaktadır:

- CityEngine ve ArcGIS Pro gibi güncel CBS ve 3B modelleme araçlarının entegrasyonu ile görsel planlama ortamının oluşturulması,
- Öğrenciler, akademik personel, idari personel ve kampüs yönetimi gibi kullanıcı gruplarına, kampüs altyapısı ve alan kullanımını hakkında görsel ve analitik karar destek mekanizmaları sunmak,

•Şehir planlama disiplinine yeni bir boyut kazandırarak, özellikle mikro düzeydeki planlama süreçlerinde 3B modelleme ve dijital ikiz teknolojilerinin kullanım potansiyelini ortaya koymak.

Böylece bu çalışma aracılığıyla hem teknik hem de yönetsel açıdan akıllı kampüs planlamasında dijital ikizlerin nasıl kullanılabileceği, hangi aşamalardan geçtiği ve hangi sonuçları doğurduğu kapsamlı biçimde ortaya konulacaktır.

1.2. Literatür İncelemesi

Son yıllarda kural tabanlı modelleme tabanlı 3B kent modelleri üzerine yapılan akademik çalışmalar önemli bir artış göstermiştir.

Yapılan çalışmalar, CityEngine'in karmaşık mekânsal yapıları detaylı biçimde görselleştirme ve etkileşimli olarak analiz etme kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymaktadır [Song vd. 2021], [Kim ve Wilson, 2015]. ArcGIS ve CityEngine entegrasyonu sayesinde sanal şehir senaryolarının gerçek zamanlı analizlerle oluşturulduğu kanıtlanmıştır [Badwi vd. 2022]. Modelleme sürecinde sunduğu kural tabanlı modelleme yetenekleri ile görselleştirme gücünü artırmaktadır [Turksever, 2015]. CityEngine, yalnızca görsel modelleme değil, aynı zamanda veri temelli şehir planlamasına nasıl katkı sunabileceğini göstermesi açısından da önemlidir [Ribeiro vd. 2014]. Son yıllarda dijital ikiz teknolojisinin akıllı şehir uygulamalarında ön plana çıkmasıyla birlikte, bu teknolojinin sürdürülebilir şehir yönetimi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu da vurgulanmaktadır [Shariatpour vd. 2024], [Badwi vd. 2022], [Yiğit ve Uysal, 2023]. 3B modellerin doğru bir şekilde optimize edilmesi ile kullanıcıların karmaşık verileri daha hızlı anlamalarına ve modellerle daha etkili etkileşim kurmalarını sağlamaktadır [Schaller vd. 2015]. Ayrıca yazılımın sunduğu senaryo geliştirme, ulaşım yapılarının 3B görselleştirilmesi gibi ileri düzey fonksiyonları, dijital ikiz temelli mekânsal analizler için önemli avantajlar sunmaktadır [Schrotter ve Hürzeler 2020].

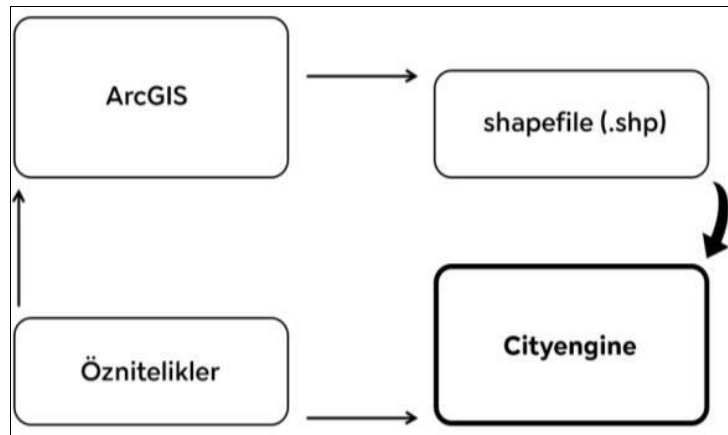
Kural tabanlı modellemenin sağladığı teknik avantajlara yönelik yapılan çalışmalarda, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında bu yöntemin ölçeklenebilirlik, hız ve veri esnekliği bakımından üstün olduğu ortaya konulmuştur [Jin vd. 2015].

Bu yaklaşımlar doğrultusunda, bu çalışmada GTÜ kampüsü için geliştirilen dijital ikiz modeli kapsamında ArcGIS Pro ve CityEngine'in modelleme, görselleştirme ve analiz yeteneklerinden faydalanılmıştır.

1.3. Metodoloji

Bu çalışmada, mekânsal analizlere dayalı bir karma yöntem yaklaşımı benimsenmiştir. İlk aşamada, çalışmanın yürütüleceği alan için gerekli mekânsal veriler ArcGIS Pro üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu veriler; fotogrametrik görüntüler, vektör katmanlar içermektedir.

Çalışma alanı olan GTÜ kampüsünün işlevsel türünü temsil eden bir 2B model oluşturulmuştur. Kampüsün 2B vektörel katmanları (binalar, taşıt yolları, yaya yolları, bisiklet yolları, yeşil alanlar, otoparklar, sosyal tesis alanları) ArcGIS Pro ortamında sayısallaştırılmış ve her mekânsal varlığa uygun öznitelik bilgileri atanmıştır. Bu veriler, sahadan toplanan bilgiler, uydu görüntüleri, açık veri kaynakları ve mevcut kampüs planları doğrultusunda derlenmiş ve düzenlenmiştir. Veri işleme sürecinin ardından, düzenlenen katmanlar shapefile (.shp) formatında CityEngine'e aktarılmış ve 3B modelleme işlemine geçilmiştir (Şekil 1.1). Her yapı elemanı, ArcGIS'teki öznitelik bilgileriyle ilişkilendirilerek modellenmiş; bu sayede yalnızca görsel bir içerik değil, veri ile entegre çalışan işlevsel bir dijital sistem oluşturulmuştur.



Şekil 1.1: İş Akış Şeması

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dijital İkiz Kavramı

Dijital ikiz, temelde fiziksel bir varlığın ya da sürecin dijital ortamda oluşturulmuş temsili bir kopyasıdır. Dijital ikiz kavramı, son yıllarda hem akademik çevrelerde hem de uygulama alanlarında artan ilgiye rağmen, literatürde üzerinde açık ve ortak bir tanıma henüz kavuşamamıştır. Bu belirsizlik, kavramın farklı disiplinlerce çeşitli şekillerde yorumlanması ve uygulamalarda eksikliğin sürmesiyle doğrudan ilişkilidir [Aslan, 2024]. Yalnızca fiziksel bir varlığın sanal temsili değil; aksine, sürekli öğrenen, gelişen ve karar süreçlerine katkı sunabilen akıllı bir sistem olarak ele alınmaktadır ve gelecekte oluşabilecek senaryoları da simüle edebilme yetisine sahiptir [Mohammadi ve Taylor, 2017]. Bu çok yönlü işleyiş, gerçek zamanlı veri güncellemeleri ve büyük veri analitiği ile desteklenmekte; yapay zekâ tabanlı öngörücü algoritmalar sayesinde sistemin kendi kendini iyileştirmesi mümkün olabilmektedir [Barricelli vd. 2019].

Son yıllarda artan kentleşme eğilimleri, dünya nüfusunun büyük kısmını kentsel yaşam alanlarına yönlendirmiştir. Gelişmiş teknolojilerin benimsenmesiyle birlikte “Akıllı Şehir” kavramı öne çıkmaktadır. Ancak bu kavram; dijital şehir, bilgi kenti, sürdürülebilir kent gibi çeşitli terimlerle de ifade edilmekte, genel anlamda bilgi ve iletişim teknolojilerinin, doğal kaynak yönetiminin ve katılımcı yönetişimin sinerjisiyle yaşam kalitesini artırmayı hedefleyen yapılar olarak tanımlanmaktadır. Akıllı şehir dijital ikizleri, kentlerin fiziksel altyapılarına ve insan kaynaklı dinamiklerine ilişkin eşzamanlı verileri bütüncül bir yapıda bir araya getirerek, kentin zamansal ve mekânsal olarak sürekli değişen yapısını anlamayı ve öngörmeyi hedefler [Alam ve El Saddik, 2017].

2.1.1 Dijital İkiz Türleri

CityEngine yazılımı, farklı detay düzeylerinde ve mekânsal gereksinimlere göre çeşitlendirilebilen üç temel modelleme yaklaşımı sunmaktadır: statik modelleme, basit modelleme ve kural tabanlı modelleme. Bu yöntemler, çalışmanın kapsamı, kullanılacak analiz türleri ve görsel doğruluk ihtiyacına göre tercih edilmektedir.

Statik modelleme yöntemi, önceden tanımlanmış sabit geometrilerle oluşturulan, kullanıcı etkileşimi içermeyen 3B temsilleri ifade eder. Bu modelleme türünde yapılar genellikle manuel olarak çizilen temel şekillerle modellenmekte olup, CGA kuralları kullanılmamaktadır. Statik modeller, görsel sunumlarda ya da tasarımın ilk aşamalarında hızlı ve düşük maliyetli çözümler sunması nedeniyle tercih edilmektedir.

Basit modelleme, yapı ayak izlerinin yalnızca yüksekliğe dönüştürülmesi esasına dayanır. Bu yöntemde yapıların cephe detayları, kat sayıları veya çatı türleri gibi özellikler işlenmez. Bu sebeple daha çok ilk görselleştirme ihtiyaçları ya da hızlı prototipleme süreçlerinde kullanılır.

Buna karşılık, kural tabanlı modelleme, CityEngine'in sunduğu en gelişmiş modelleme yaklaşımıdır. CGA dili aracılığıyla yapılar, kendi öznitelik bilgilerine göre otomatik biçimde 3B olarak inşa edilir. Bu modelleme yönteminde, yapıların yüksekliği, kat adedi, çatı formu ve cephe düzeni gibi fiziksel özellikleri doğrudan modele entegre edilebilir. Edvardsson (2013) ve Şenol ve Kaya (2019), geniş alanlarda bu yöntemin sunduğu otomasyon, tutarlılık ve hız avantajlarını vurgulamışlardır. Kural tabanlı modelleme, sadece görselleştirme amacıyla değil, aynı zamanda farklı senaryo üretimi, yoğunluk analizi ve karar destek uygulamaları için de kullanılmaktadır [Schrotter ve Hürzeler 2020].

Bu çalışma da modelleme aşamasında üç farklı modelleme arasından CGA dili aracılığıyla yapılan kural tabanlı modelleme ile işlenecektir.

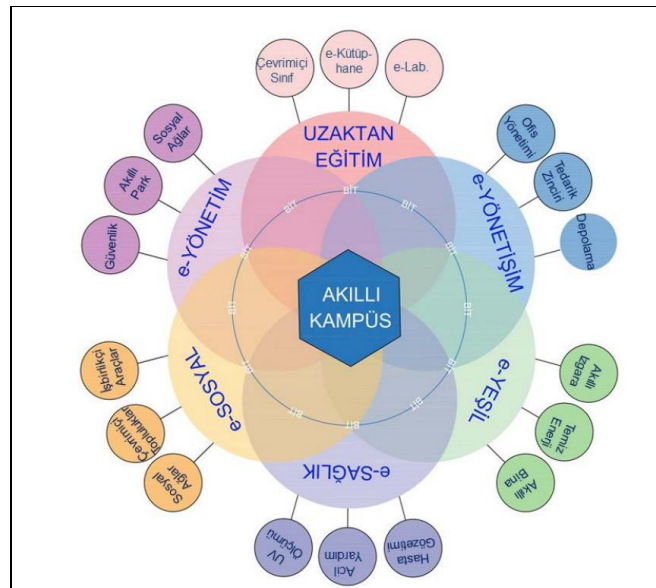
2.2. Akıllı Kampüs Kavramı

Akıllı kampüs kavramı, bilgi ve iletişim teknolojilerinin üniversite yaşamına entegre edilmesiyle ortaya çıkmış, öğrenciler, akademisyenler ve idari personel için daha etkileşimli, sezgisel ve verimli bir öğrenme ve çalışma ortamı sunmayı hedefleyen bir

yaklaşımıdır. Bu yapılar, yalnızca fiziksel mekanlardan oluşan geleneksel kampüslerden farklı olarak; dijital ikizler, enerji yönetimi, erişim sistemleri ve uzaktan izleme gibi teknolojilerle donatılmış bütünleşik sistemlerdir. Akıllı kampüs üzerine olan araştırmalar henüz sınırlı ve parçalıdır (Altun ve Zencirkıran, 2021). Oysa akıllı kampüsler, dijitalleşme süreçlerinin küçük ölçekli ve kontrollü uygulama alanları olarak, eğitim teknolojileriyle mekânsal planlamayı bir araya getirerek stratejik bir dönüşüm sağlamaktadır.

Akademik çalışmalarda, bir üniversitenin “akıllı” olarak değerlendirilebilmesi için sahip olması gereken temel bileşenler belirlenmiştir (Şekil 2.1). Muhamad vd. (2017) çalışmasına göre, bir akıllı kampüs şu altı bileşen çerçevesinde değerlendirilmelidir:

- 1. iLearning (Uzaktan Eğitim):** Dijital platformlar aracılığıyla öğrenme süreçlerinin desteklenmesi
- 2. iGovernance (e-Yönetişim):** Üniversite yönetiminin dijitalleştirilmesi ve şeffaflık
- 3. iGreen (e-Yeşil):** Çevresel sürdürülebilirlik teknolojileri
- 4. iHealth (e-Sağlık):** Sağlık hizmetlerinin dijital destekli verilmesi
- 5. iSocial (e-Sosyal):** Sosyal etkileşimi ve kampüs yaşamını destekleyen dijital uygulamalar
- 6. iManagement (e-Yönetim):** Kaynak, altyapı ve süreçlerin dijital yönetimi



Şekil 2.1: Akıllı Kampüs Bileşenleri [Altun ve Zencirkıran, 2021]

Bu çalışma kapsamında geliştirilen üç boyutlu kampüs modellemesi ve dijital ikiz entegrasyonu, akıllı kampüs vizyonunun temel bileşenleriyle doğrudan ilişkilidir. Modelleme sürecinde elde edilen çıktılar yalnızca mekânsal görselleştirme amaçlı değil, aynı zamanda veri odaklı karar destek sistemlerinin oluşturulması ve işlevsel bir altyapı sunmaktadır.

Öncelikle, iLearning bileşeniyle, öğrencilerin mekânsal farkındalıklarını artıran ve öğrenme mekânlarını dijital ortamda deneyimlemelerine olanak tanıyan bir platform sunmaktadır. Web tabanlı erişim olanakları sayesinde, kampüs üzerindeki yapılar ve fonksiyonlarına dair bilgilerin etkileşimli biçimde sunulması, öğrenme süreçlerini destekleyici bir dijital katman oluşturmaktadır.

iGovernance bileşeniyle, kampüs yönetim süreçlerinin dijital ortama taşınarak daha şeffaf, veri temelli ve katılımcı hale getirilmesini olanaklı kılmaktadır. Üç boyutlu mekânsal verilerin karar vericiler tarafından analiz edilmesini sağlamaktadır.

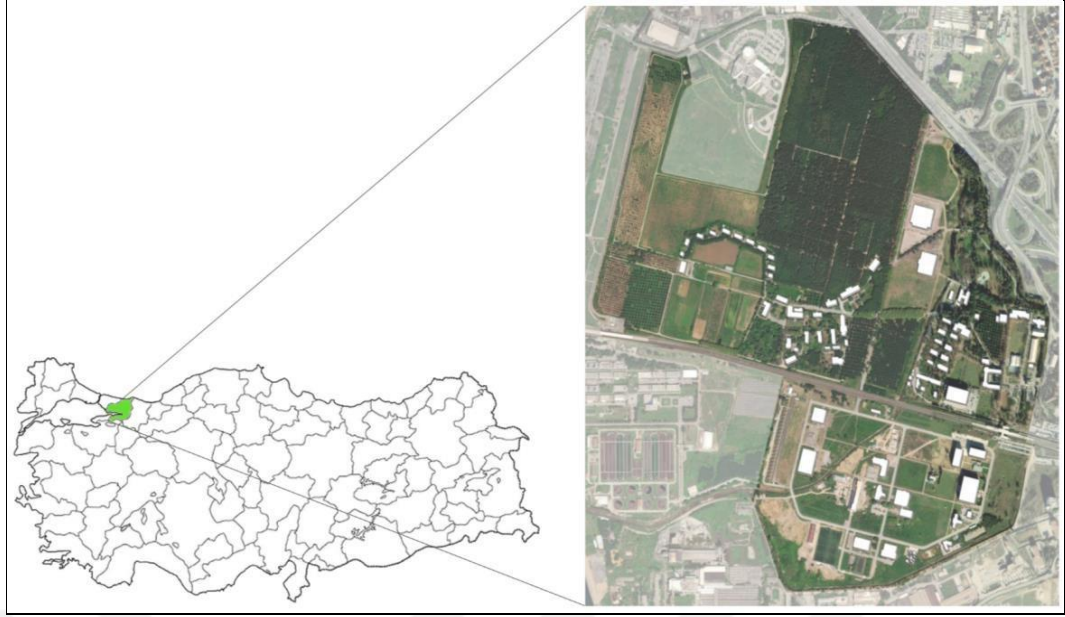
Son olarak, iManagement (e-Yönetim) bileşeni ile altyapıların, kaynakların ve operasyonel süreçlerin bütüncül biçimde yönetilmesine imkân tanıyan bir karar destek aracı işlevi görmektedir. Bu bağlamda, yapı ölçeğinde konumsal analizler, kullanıcı yoğunlukları ve mekânsal performans göstergeleri gibi dinamik verilerin görselleştirilmesini sağlamaktadır.

3. UYGULAMA

3.1 Çalışma Alanı Seçimi ve Kullanılan Veriler

Bu tez çalışması kapsamında uygulama alanı olarak GTÜ kampüsü seçilmiştir. Kocaeli ili Gebze ilçesinde, Marmara Bölgesi'nin önemli geçiş noktalarından birinde konumlanan GTÜ kampüsü (Şekil 3.1), yaklaşık 1,5 km²'lik bir alana yayılmakta olup; doğal bir dere yatağı ve Marmaray hattı ile fiziksel olarak iki ana bölüme ayrılmaktadır. Bu ayrım, kampüsün mekânsal planlamasında ve işlevsel organizasyonunda belirleyici bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Geniş yeşil alanlar ve doğal peyzajın, eğitim ve idari yapılarıyla bütünleşik biçimde konumlanması, kampüsün hem yaşam hem de çalışma açısından elverişli bir çevre sunmasını sağlamaktadır. Kampüsün kuzeyinde D-100 Karayolu, güneyinde ise Marmara Denizi yer almakta olup, İstanbul ve Kocaeli gibi iki büyük şehir arasında ulaşım açısından stratejik bir noktada bulunmaktadır. Marmaray Gebze-Halkalı hattı üzerindeki konumu ve çevresindeki otobüs durakları sayesinde kampüse toplu taşıma ile erişim mümkündür. Bu erişilebilirlik durumu, kampüsün kentsel ulaşım sistemleriyle olan entegrasyonunu güçlendirmektedir.

GTÜ, ilk olarak 1992 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü olarak kurulmuş, 4 Kasım 2014 tarihinde Türkiye Büyük Millet Meclisi kararıyla günümüzdeki yapısına kavuşmuştur. Kuruluşunda yalnızca 80 öğrencilik kapasiteye sahipken, 2024 yılı itibarıyla toplam öğrenci sayısı 10.576'ya ulaşmıştır. Kampüs bünyesinde mühendislik, temel bilimler ve mimarlık fakülteleri ile kütüphane, araştırma laboratuvarları, sosyal tesisler, öğrenci yurtları ve spor alanları gibi çeşitli mekânsal donatılar bulunmaktadır.



Şekil 3.1: GTÜ'nün Türkiye'deki Konumu ve Çalışma Alanı

Bu mekânsal çeşitlilik ve işlevsel zenginlik, GTÜ kampüsünü 3B modelleme açısından uygun bir örnek alan hâline getirmiştir. Modelleme aşamasında kampüsün fiziksel yapısı; Uydu görüntüleri ve ortofoto verileri gibi mekânsal veri setleri kullanılarak dijital ortama aktarılmıştır. CityEngine'de etkili bir sorgulama yapılabilmesi için, binaların öncelikle ArcGIS'te sayısallaştırılması ve gerekli öznitelik verilerinin tanımlanması temel bir adımdır. Modelleme sürecinde çeşitli türde mekânsal veri kaynaklarından faydalanılmıştır. İlk olarak ArcGIS Pro yazılımı kullanılarak kampüs sınırları içerisindeki yapılar, taşıt yolları, yaya yolları, bisiklet yolları, sosyal tesis alanları ve otopark alanları sayısallaştırılmıştır (Şekil 3.2). Ayrıca, SYM (Sayısal Yükselik Modeli) kaynaklı yükseklik sorunları nedeniyle ortofoto görüntüsü tercih edilmiştir. Koordinat sistemi WGS 1984 UTM Zone 35N olarak tanımlanmış ve çalışma alanının üzerine eklenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2: Tüm Verilerin Sayısallaştırılmış Görüntüsü



Şekil 3.3: Ortofoto Görüntüsü

ArcCatalog'ta yeni bir veritabanı oluşturulmuştur. "Binalar" isimli özellik sınıfı (Feature Class) oluşturulup, bina katmanında toplam 113 adet poligon alanı oluşturulmuştur. Bina katmanı içine 'Bina Adı, Yükseklik' olmak üzere 2 adet öznitelik belirlenmiştir (Şekil 3.4). Kampüs binalarına ait kat yükseklik bilgileri bulunmadığından, yükseklik değerleri tahmini olarak hesaplanmıştır. Genel uygulamada standart binalar için toplam yükseklik, kat sayısının üç ile çarpılması yoluyla belirlenmektedir. Ancak, kampüs binalarının mimari özellikleri ve kat yüksekliklerinin standart yapılara kıyasla farklılık göstermesi nedeniyle bu çalışmada katsayı olarak dört kullanılmış ve yükseklik değerleri buna göre elde edilmiştir. Girilen Yükseklik bilgileri kat sayısına göre 4 ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Bu yüksekliklerin girilmesi sonrasında CityEngine'de boyut kazandırması için önem

taşımaktadır. Hazırlanan bu veriler, .shp formatına dönüştürülerek modelleme sürecinin ikinci aşaması olan CityEngine yazılımına aktarılmıştır.

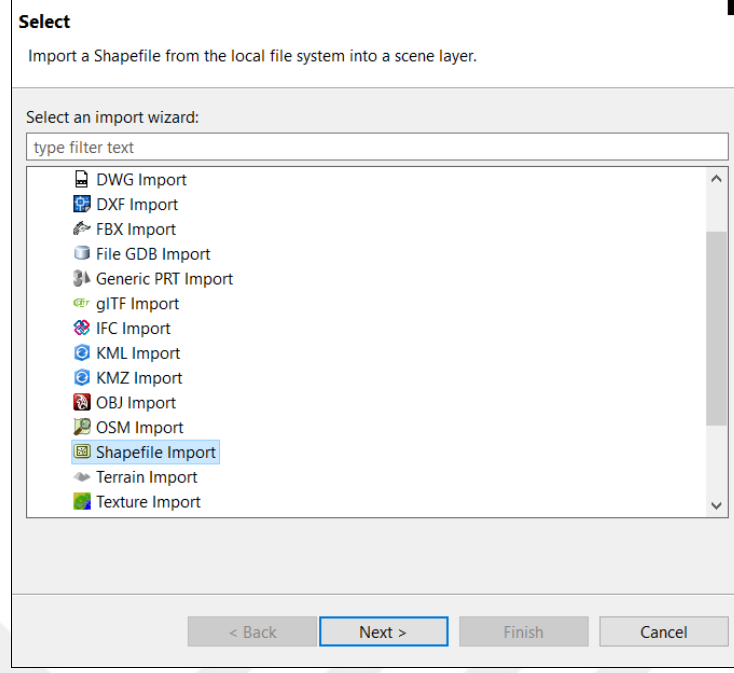
OBJECTID	Shape	bina_id	birim	ogrenci	akademik_p	idari_pers	Shape_Leng	OBJECTID_1	Bina_Adı	Shape_Lc_1	OBJECTID_2	id	Shape_Length	Shape_Area	yükseklik
1	Polygon ZM	0		0	0	0	263,823589	1		263,823589	0	0	263,823589	2852,467611	14,5
2	Polygon ZM	0		0	0	0	114,869381	2		114,869381	0	0	114,869381	673,513564	3,5
3	Polygon ZM	0		0	0	0	150,661559	3		150,661559	0	0	150,661559	979,972866	8
4	Polygon ZM	24	SÜMER	0	0	4	88,802358	4	SÜMER	88,802358	24	24	88,802358	491,084802	6
5	Polygon ZM	25	İMİD Ulaşım Hizmetleri...	0	0	12	44,638497	5	İMİD Ulaşım Hizmetleri...	44,638497	25	25	44,638497	122,900023	3,5
6	Polygon ZM	0		0	0	0	39,455275	6		39,455275	0	0	39,455275	97,175447	3,5
7	Polygon ZM	0		0	0	0	27,340261	7		27,340261	0	0	27,340261	43,258349	< Null >
8	Polygon ZM	0		0	0	0	33,426769	8		33,426769	0	0	33,426769	67,701588	5,5
9	Polygon ZM	0		0	0	0	57,309679	9		57,309679	0	0	57,309679	188,669264	45
10	Polygon ZM	0		0	0	0	245,720101	10	KYK Yurt	245,720101	0	0	245,720101	2392,679708	12,5
11	Polygon ZM	0		0	0	0	293,273794	11		293,273794	0	0	293,273794	2524,73754	12,5
12	Polygon ZM	0		0	0	0	294,464249	12	KYK Yurt	294,464249	0	0	294,464249	2606,974396	12,5
13	Polygon ZM	27	Kariyer Geliştirme Mer...	0	2	2	148,52602	4	Kariyer Geliştirme Mer...	148,52602	27	27	148,52602	801,431132	6,5
14	Polygon ZM	0		0	0	0	57,630648	5		57,630648	0	0	57,630648	190,706272	7,5
15	Polygon ZM	0		0	0	0	100,532036	6		100,532036	0	0	100,532036	631,530012	7,5
16	Polygon ZM	4	Mimarlık	801	54	2	211,508704	8	Mimarlık	211,508704	4	4	211,508704	1483,982933	12,5
17	Polygon ZM	17	Mimarlık Şehir Bölge P...	369	26	8	84,762331	9	Mimarlık Şehir Bölge P...	84,762331	17	17	84,762331	344,348299	5,5
18	Polygon ZM	0		0	0	0	81,722733	10	Mimarlık Ek Bina	81,722733	0	0	81,722733	368,424391	8,5
19	Polygon ZM	0		0	0	0	76,662056	11	Fizik Ek Bina	76,662056	0	0	76,662056	321,09474	8,5
20	Polygon ZM	< Null >	Nanoteknoloji Enstitüsü	0	0	0	75,104401	12	Nanoteknoloji Enstitüsü	75,104401	0	0	75,104401	282,372109	3,5
21	Polygon ZM	0		0	0	0	79,919954	13	Öğrenci Yemekhanesi	79,919954	0	0	79,919954	407,28032	7,5
22	Polygon ZM	0	Fizik	0	0	0	83,45492	14	Fizik	83,45492	0	0	83,45492	386,309147	6,5
23	Polygon ZM	10	Fizik	228	50	3	86,462529	15	Fizik	86,462529	10	10	86,462529	429,137315	8,5
24	Polygon ZM	0	Laboratuvar	0	0	0	64,627834	16	Laboratuvar	64,627834	0	0	64,627834	222,396141	4,5
25	Polygon ZM	0	Mimarlık Ek Bina	0	0	0	110,794196	17	Mimarlık Ek Bina	110,794196	0	0	110,794196	583,947418	3,5
26	Polygon ZM	0	Ek Derslik Binası	0	0	0	210,412881	18	Ek Derslik Binası	210,412881	0	0	210,412881	1172,909139	5,5
27	Polygon ZM	7	İşletme Fakültesi Mate...	2333	64	10	243,151891	19	İşletme Fakültesi Mate...	243,151891	7	7	243,151891	3467,627439	16,5
28	Polygon ZM	18	Fabano Difer Bölümü	0	46	1	233,237826	20	Fabano Difer Bölümü	233,237826	18	18	233,237826	1085,676369	7,5

Şekil 3.4: Kampüs Öznitelik Tablosu

3.2 Kullanılan Yazılımlar

3.2.1. ArcGIS Pro ve CityEngine Entegrasyon Süreci

Bu çalışmada, ArcGIS Pro ve CityEngine yazılımlarının birlikte kullanıldığı bütünlük bir yöntem benimsenmiştir. CityEngine 2024.1 yazılımı kullanılmıştır. CityEngine de proje başlaması için ilk adım olarak yeni bir proje (new project) sonrasında çalışma alanı (new scene) oluşturulmalıdır. Yeni bir proje oluşturulduktan sonra çalışma alanının koordinat sistemine göre tanımlanmıştır. ArcGIS Pro yazılımı aracılığıyla kampüs sınırları içerisinde yer alan vektör veriler detaylı biçimde sayısallaştırılarak her bir bileşen, kendi temasına uygun olarak katmanlara ayrılmıştır. Veriler .shp formatında dışa aktarılıp CityEngine ortamına entegre edilmiştir. (Şekil 3.5). Böylelikle ArcGIS Pro ve CityEngine entegrasyonu sağlanmıştır.

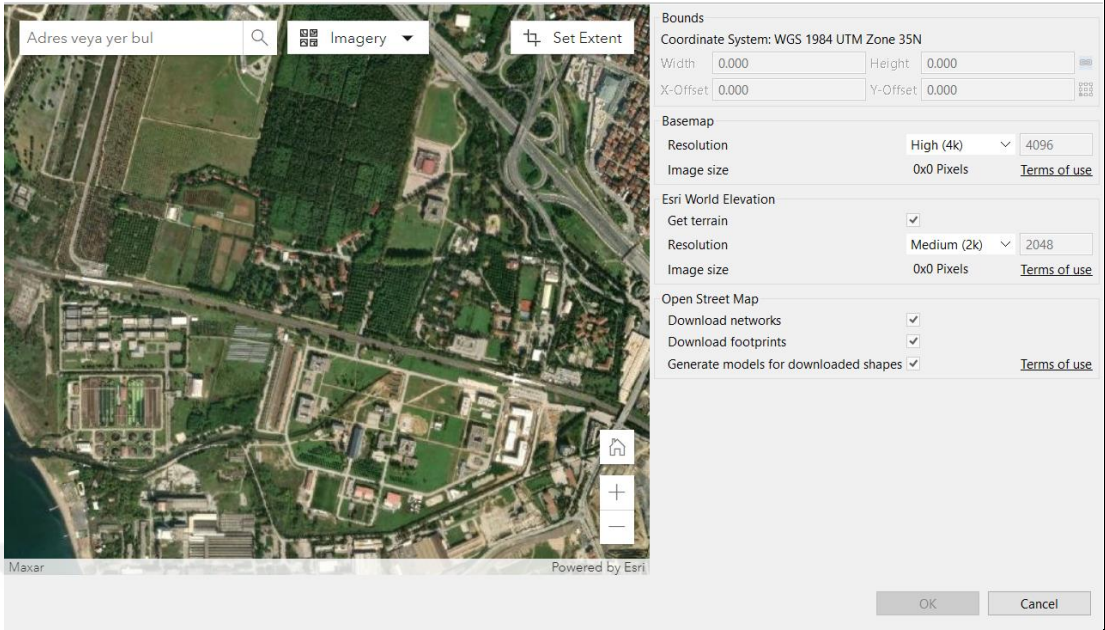


Şekil 3.5: .shp ile Verileri Aktarma İşlemi

3.3 Dijital İkiz Altyapısının Oluşturulması

Bu çalışmada yeryüzü görüntüsü aşaması için, CityEngine içinde bulunan Terrain görüntüsü düşük pikseli olduğu için ortofoto görüntüsü ile karşılaştırılmıştır. Terrain katmanı özelliklerinde içe aktarılması için önce 'Get Map Data' aracı ile ekrana uydu görüntüsü getirilir (Şekil 3.6). Ekrana gelen Terrain görüntüsünde özellikle bazı bölgelerde gerçek dışı çöküntüler ve yükseltmeler oluşmuştur. Bu bozulmalar, modelin doğruluğunu olumsuz etkileyebileceği için 'Edit Terrain Brush' aracını kullanarak bu alanlarda manuel müdahalelerde bulunarak düzenlemeler yapılmıştır (Şekil 3.7). Özellikle taşıt yollarında gömülü görüldüğü kısımlar bu araçla düzenlenmiştir (Şekil 3.8). Böylelikle daha düzenli ve gerçek bir görünüm sağlanmıştır.

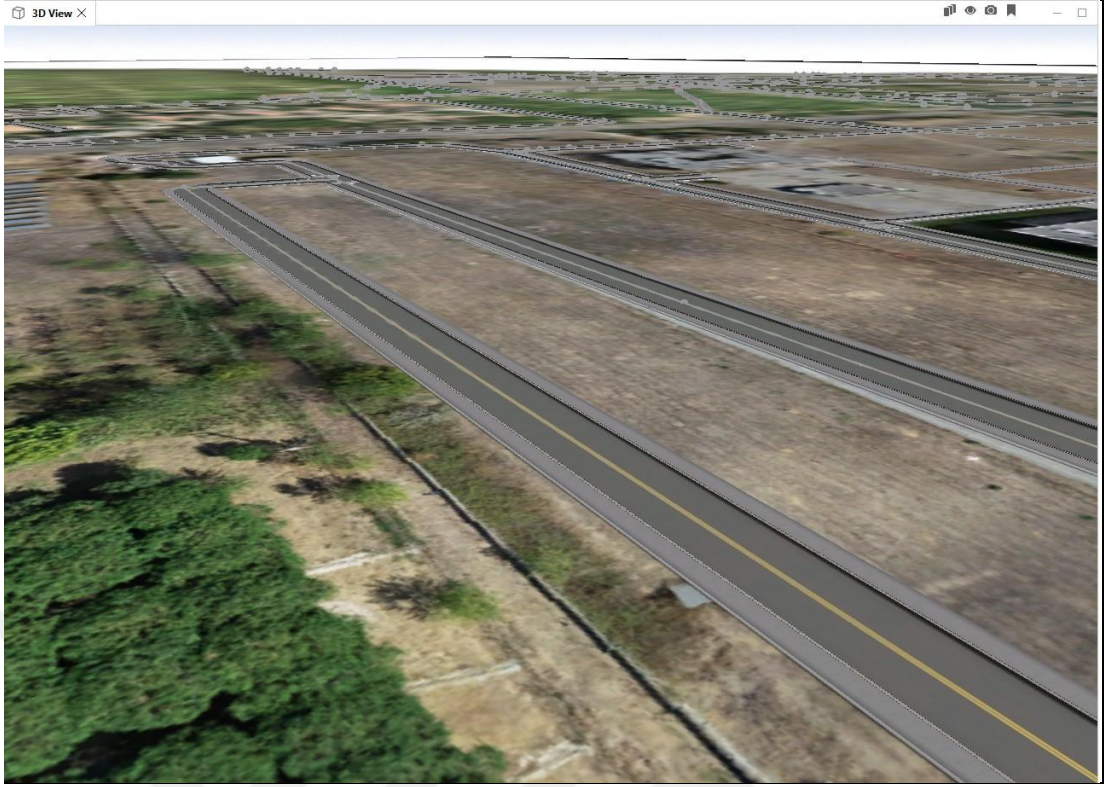
Navigate to the area of interest and set extent.



Şekil 3.6: Get Map Data ile Oluşturulacak Topografik Görüntü



Şekil 3.7: Terrain Edit Brush Aracı Kullanılmadan Önce

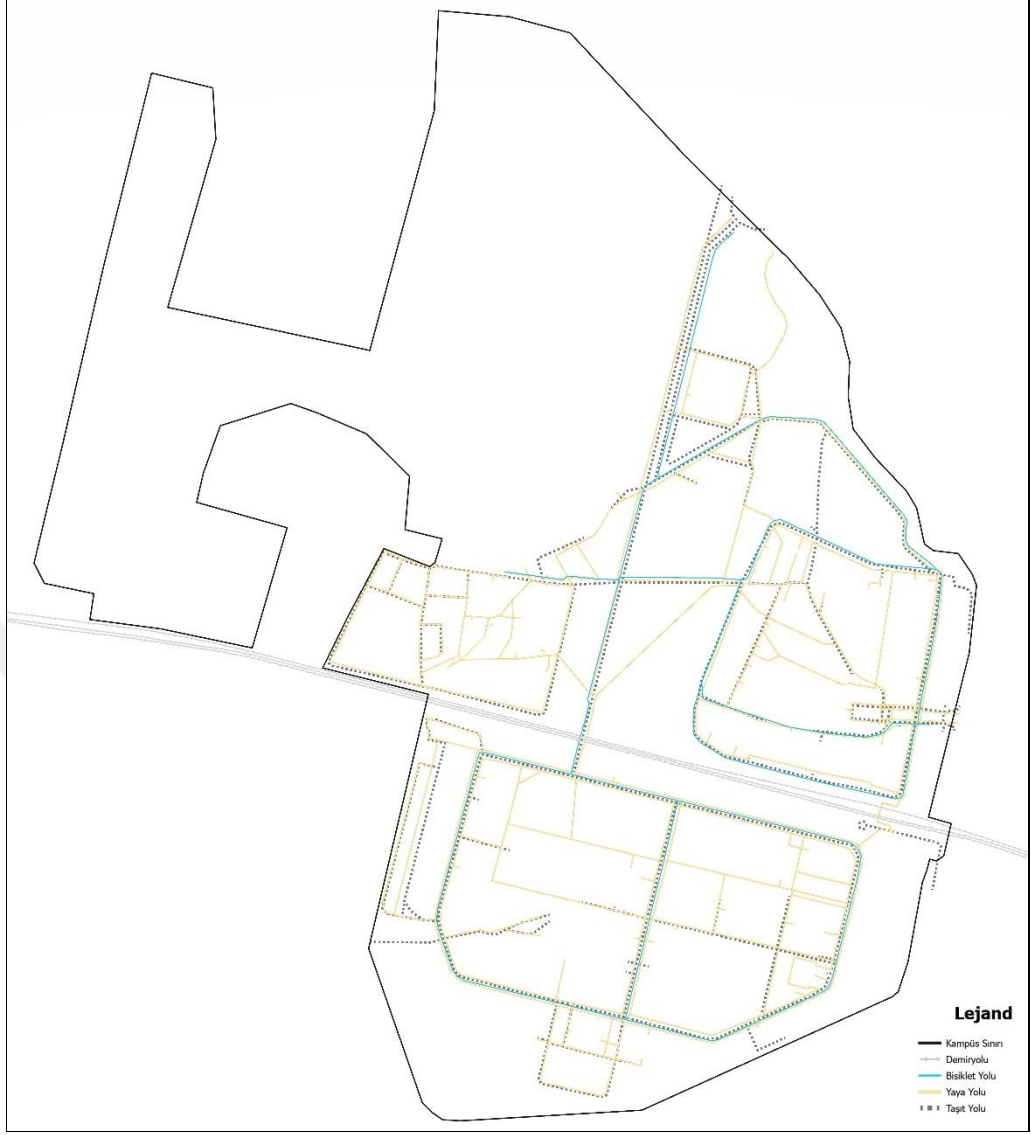


Şekil 3.8: Terrain Edit Brush Aracı Kullanıldıktan Sonra

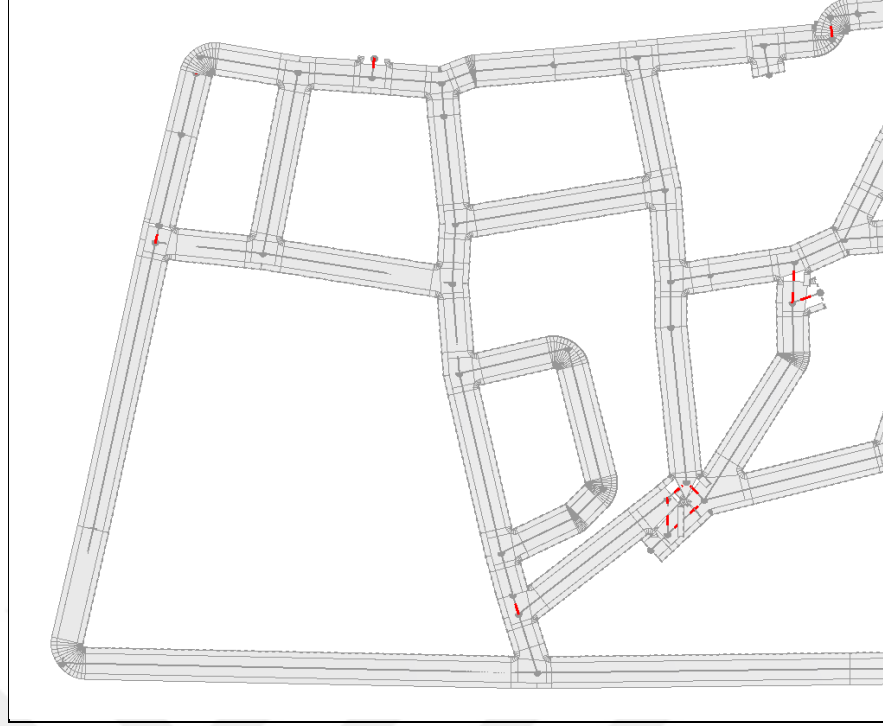
3.3.1. Taşıt, Yaya ve Bisiklet Yolları

Kampüs içi ulaşım sistemleri üç ana başlık altında ele alınmıştır: taşıt yolları, yaya yolları ve bisiklet yolları.

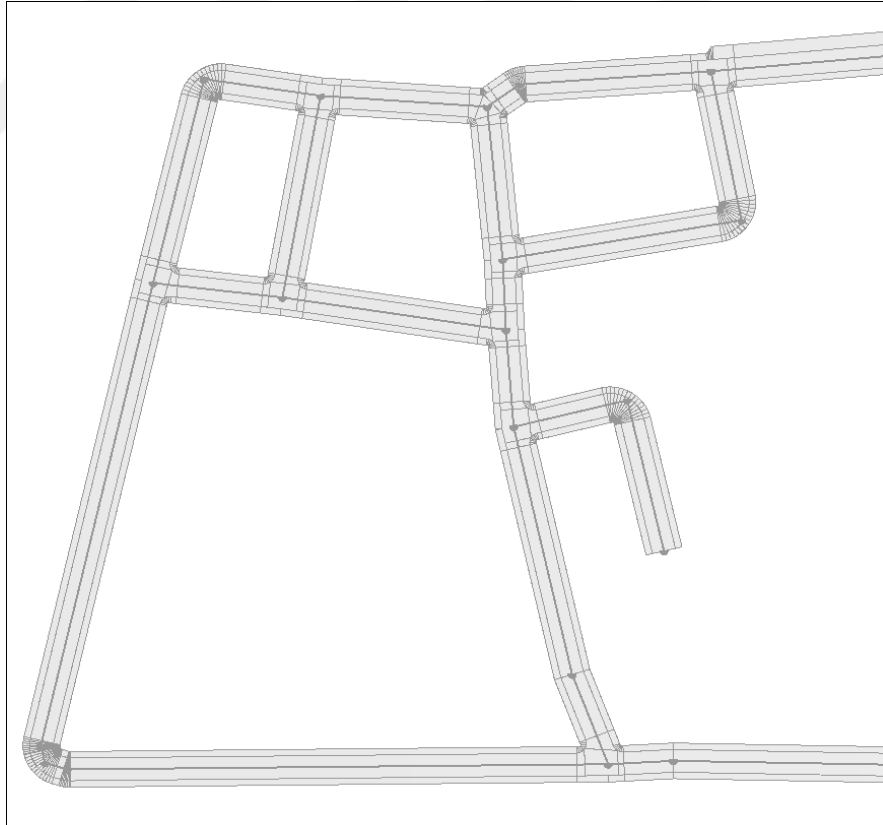
Bu yol türleri, ArcGIS Pro ortamında çizgisel vektör veri biçiminde manuel olarak detaylandırılmıştır (Şekil 3.9). Sayısallaştırılan bu katmanlar, .shp formatında dışa aktarılmış ve modelleme sürecine CityEngine üzerinden dâhil edilmiştir (Şekil 3.10). Aktarılan yol katmanlarında bazı kopukluk ve fazlalıklar oluşmuştur. Bu kısımlarda manuel müdahalelerle kopukluk ve fazlalıklar düzeltilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.9: Sayısallaştırılmış Yol Katmanları

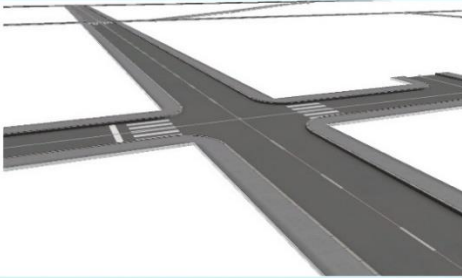
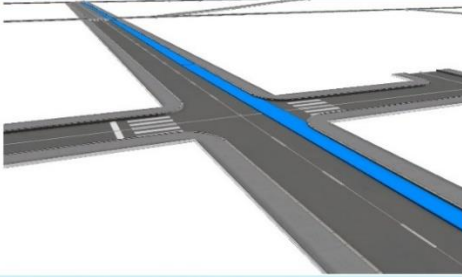


Şekil 3.10: CityEngine’de Kopukluk ve Fazlalık Oluşan Yol Verisi



Şekil 3.11: Manuel Müdahale ile Düzenlenmiş Yol Verisi

CityEngine içerisinde yer alan StreetModernStandardWithFurniture.cga adlı CGA kural dosyası ile yolların kaplamaları, bordür çizgileri ve yol ayrımları gibi detaylar içermektedir. Ayrıca yol kavşakları, aydınlatma elemanları ve kenar düzenlemeleri de bu kurallarla senkronize olarak oluşturulmaktadır. Bisiklet yolları, taşıt yolları ile çakışmayan alanlarda manuel olarak çizilmiş ve kural dosyalarıyla ile doku elemanları oluşmuştur (Şekil 3.12). Bu sayede hem fonksiyonel hem de görsel açıdan zengin bir ulaşım şeması elde edilmiştir.

GÖRSEL	VERİ	MODELLEME TEKNİĞİ/ CGA KURALI	AÇIKLAMA
	TAŞIT YOLU	Street_Modern_Standard_WithFurniture.cga	Taşıt genişliği ve yaya yolu genişliğine göre yol ataması yapıldı. Sadece yaya yolu olan alanlara kaldırım ile zemin dokusu eklenmiştir.
	BİSİKLET YOLU	Street_Modern_Standard_WithFurniture.cga	Bisiklet şeritleri kaldırım ile taşıt yolu arasında gösterildi. Terrain ile arazi dokusu bozuk alanlarda manuel çizildi.

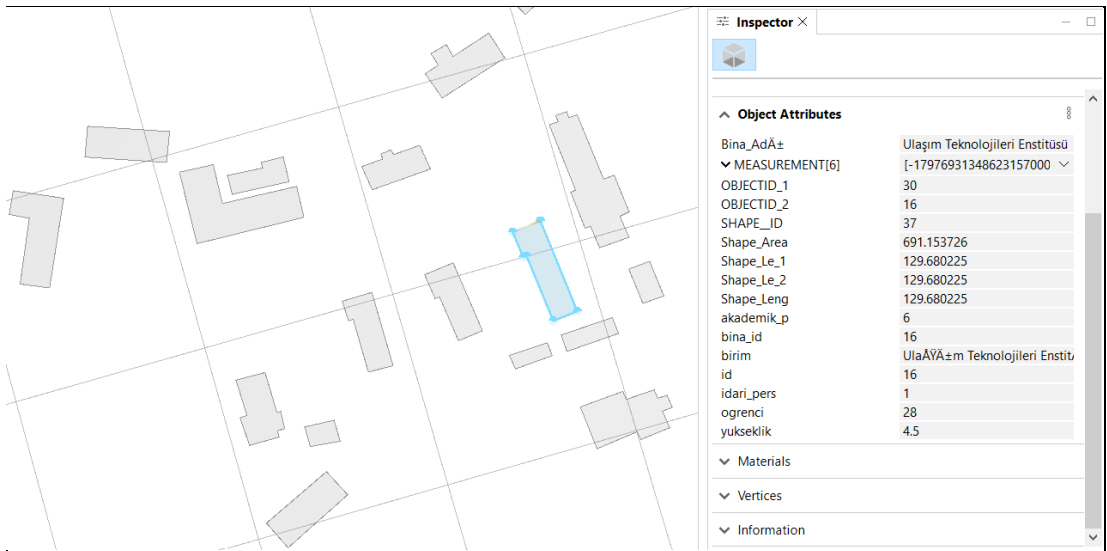
Şekil 3.12: Yol Katmanları

3.3.2. Binalar

GTÜ kampüsünde yer alan binalar, ArcGIS Pro ile poligon biçiminde sayısallaştırılmıştır (Şekil 3.13). Her bir bina için; bina ismi, kat sayısı, öğrenci sayısı, akademik ve idari personel sayısı gibi detaylı öznitelikler atanmıştır. Elde edilen bu veriler .shp formatına dönüştürülerek CityEngine yazılımında İmport → File .shp seçilerek iki boyut olarak aktarılmıştır. CityEngine’de açılan binaların öznitelik tablosunda öznitelik bilgilerini koruduğu görülmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.13: Sayısallaştırılmış Binalar

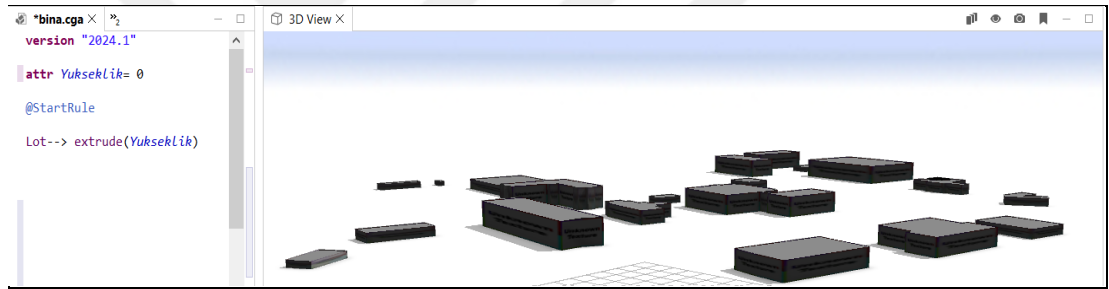


Şekil 3.14: CityEngine’de Binaların Öznitelik Tablosu

Burada CGA komutları ile boyut kazandırılacaktır. Boyut kazanması için rule-based (kural tabanlı) girileceği bina.cga kural dosyası oluşturulmuştur. İçine yazılan kod ile hacimsel boyutları yükseklik bilgilerine göre oluşmuştur.

```
attr Yükseklik= 0  
  
@StartRule  
  
Lot--> extrude(Yükseklik)
```

Bu kural tabanlı kodun girilmesi ile binalara tek tek yükseklik girme ihtiyacını ortadan kaldırarak zaman avantajı sağlanmıştır. Rule dosyası içinde öznitelik kısmındaki 'Yükseklik' katmanını görebilmesi için koda yazılmıştır. Böylelikle her bina artık sadece düz bir poligon değil, yüksekliğiyle birlikte mekâna dair hacimsel bir bilgi taşımaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Kural Dosyası Atanarak Oluşturulan 3B Binalar

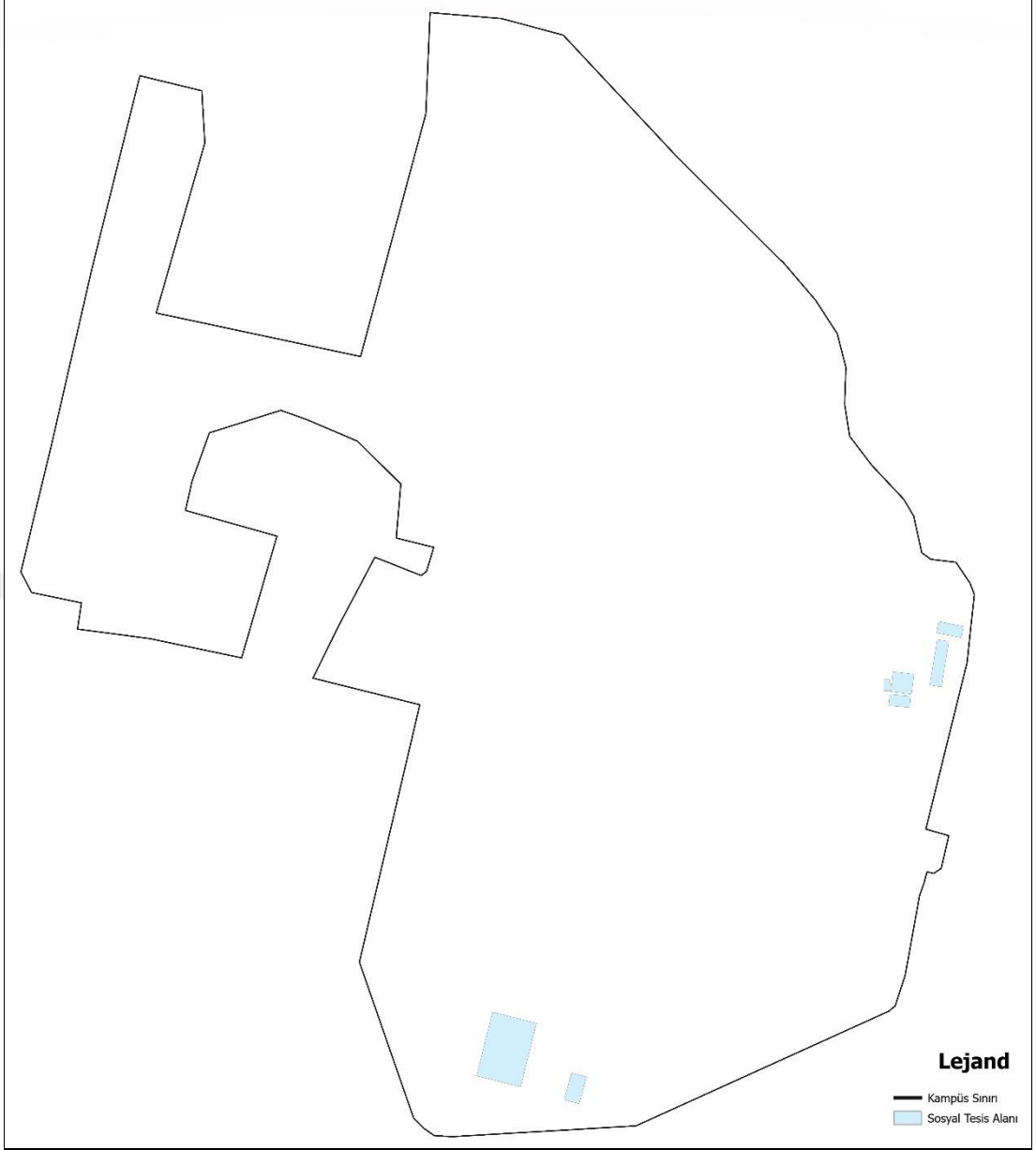
Ayrıca cephesi bilinen yapılar için "Crop Image" yöntemi ile gerçek fotoğraflar düzenlenmiş ve modellere kaplama yapılarak uygulanmıştır. Kaplamaların olması için CGA kodlu gelen binalar kübik şekilde seçildiği için binanın tek yüzünü algılamamaktadır. Bu yüzden binalar 'Extrude Komutu' ile manuel olarak tekrardan hazırlanmıştır. Crop Image yapılabilmesi için bir diğer kısımda saha görüntüleri gerekmektedir. Bunlar Google Earth ya da telefonda çekilerek temin edilebilmektedir. Google Earth'te kampüs görüntüleri eski ve eksik olduğu için telefon aracılığıyla görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntüler Data klasöründe içe aktarılmıştır. Aktarıldıktan sonra tek tek çekilen görüntüler kırılarak yeniden kaydedilmiştir. En son halini alan görüntü binaya giydirilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, kampüsün yapısal özellikleri hem görsel hem de fiziksel açıdan gerçek görüntüsüyle eşleşen dijital bir temsil elde edilmiştir. Şekil 3.16'da işlem adımları detayları gösterilmektedir.



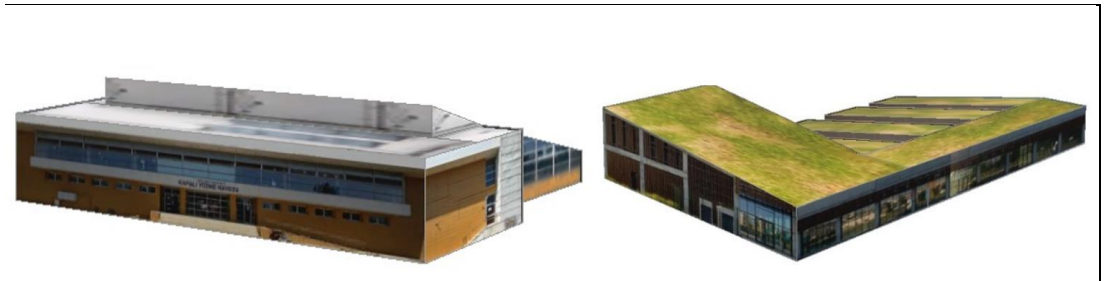
Şekil 3.16: Extrude Komutu ve Crop İmage Aşaması

3.3.3. Sosyal Tesisler

Spor alanları, kafeteryalar ve diğer sosyal tesisler, ArcGIS Pro'da ayrı bir katman olarak tanımlanmış ve kullanım türlerine göre sınıflandırılmıştır (Şekil 3.17). Bu alanlar da .shp formatında dışa aktarılmış ve CityEngine içerisine eklenmiştir. CGA kuralları ile tesislere farklı yükseklik, doku ve renk atamaları yapılmış, bu sayede sosyal altyapı unsurlarının hem görsel hem de işlevsel olarak ayırt edilmesi sağlanmıştır. Kapalı yüzme havuzu ve amfi yapılarının çatı bölümleri, eğim ve doku özellikleri açısından ayrıntılı biçimde modellenmiştir (Şekil 3.18).



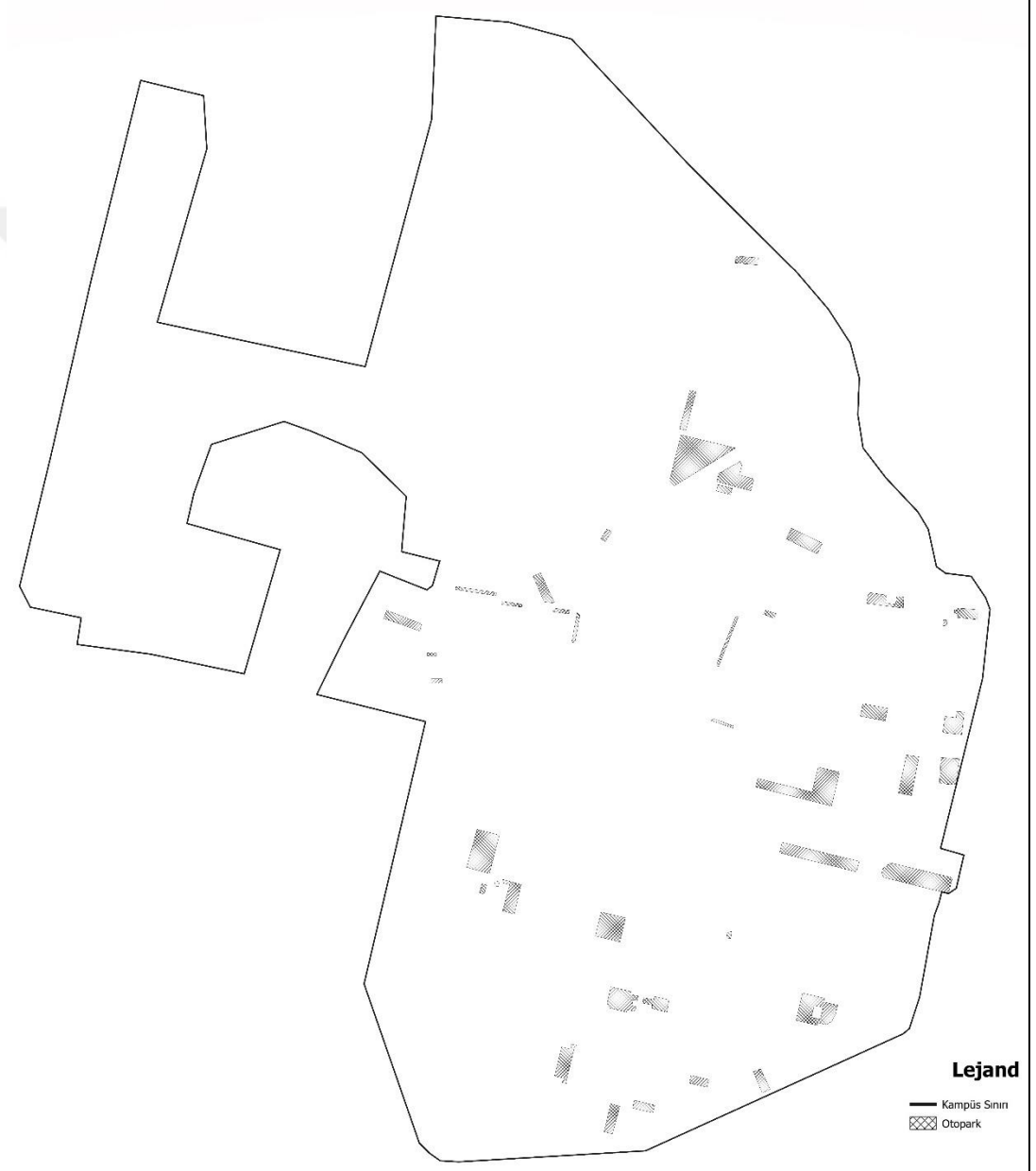
Şekil 3.17: Sosyal Tesislerin Sayısallaştırılması



Şekil 3.18: Kapalı Yüzme Havuzu ve Amfi Modeli

3.3.4. Otoparklar


Kampüs genelindeki otopark alanları, açık ve kapalı olacak şekilde ayrıştırılmış ve poligon veri olarak ArcGIS Pro ortamında sayısallaştırılmıştır (Şekil 3.19). Her bir otopark için otopark türü, kapasitesi gibi öznitelikler girilmiştir. Otoparklar kent planlama çalışmalarında genellikle iki boyutlu olarak ele alındığı için bu alanların CityEngine’de üç boyutlu modellemesi yapılmamıştır.



Şekil 3.19: Otopark Alanlarının Sayısallaştırılması

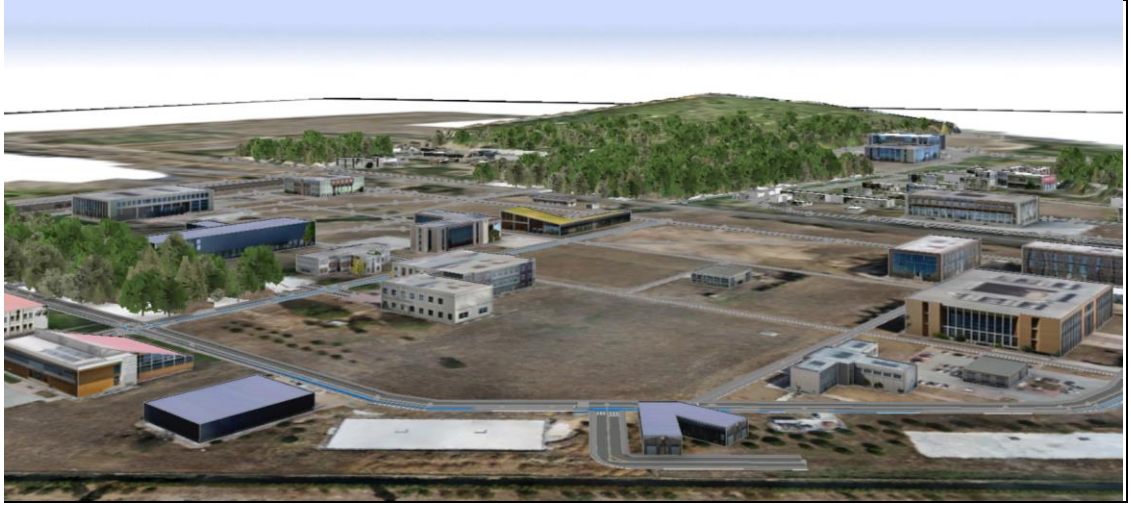
3.3.5. Yeşil Alanlar

Çim sahalar, ağaç grupları ve diğer yeşil bölgeler, ArcGIS Pro ortamında poligon katmanlarıyla temsil edilmiş ve "yeşil alan" sınıfı altında gruplanmıştır. Bu veriler, .shp dosya formatında CityEngine'e aktarılmış ve burada doğal peyzajın modellenmesi için uygun CGA dosyası olan Plant_Distributor.cga ile işlenmiştir (Şekil 3.20). Bu modelleme süreci sayesinde kampüsün doğal peyzaj öğeleri, arazi eğimi ve bitki dokusu gibi bileşenler ile dijital ortama aktarılmıştır.

GÖRSEL	VERİ	MODELLEME TEKNİĞİ/ CGA KURALI	AÇIKLAMA
	YEŞİL ALAN	Plant_Distributor.cga	Orman ve ağaç olan alanlar sınır çizgisi ile belirtilip kod ile yerleştirilmiştir.

Şekil 3.20: Yeşil Alanlar

CityEngine ortamında CGA kuralları kullanılarak, her bina ve yapının yükseklik verileri esas alınmasıyla üç boyutlu temsilleri oluşturulmuştur. Modelleme sürecinde kampüs içerisindeki yol ağı, alan kullanım türleri ve çevresel unsurlar ayrıntılı biçimde işlenmiş; yeşil alanlarla birlikte görsel bütünlük sağlayacak şekilde entegre edilmiştir. Tüm bu bileşenlerin bir araya getirilmesiyle hem mekânsal doğruluğu hem de görsel gerçekliği yüksek bir dijital ikiz altyapısı oluşturulmuştur (Şekil 3.21).



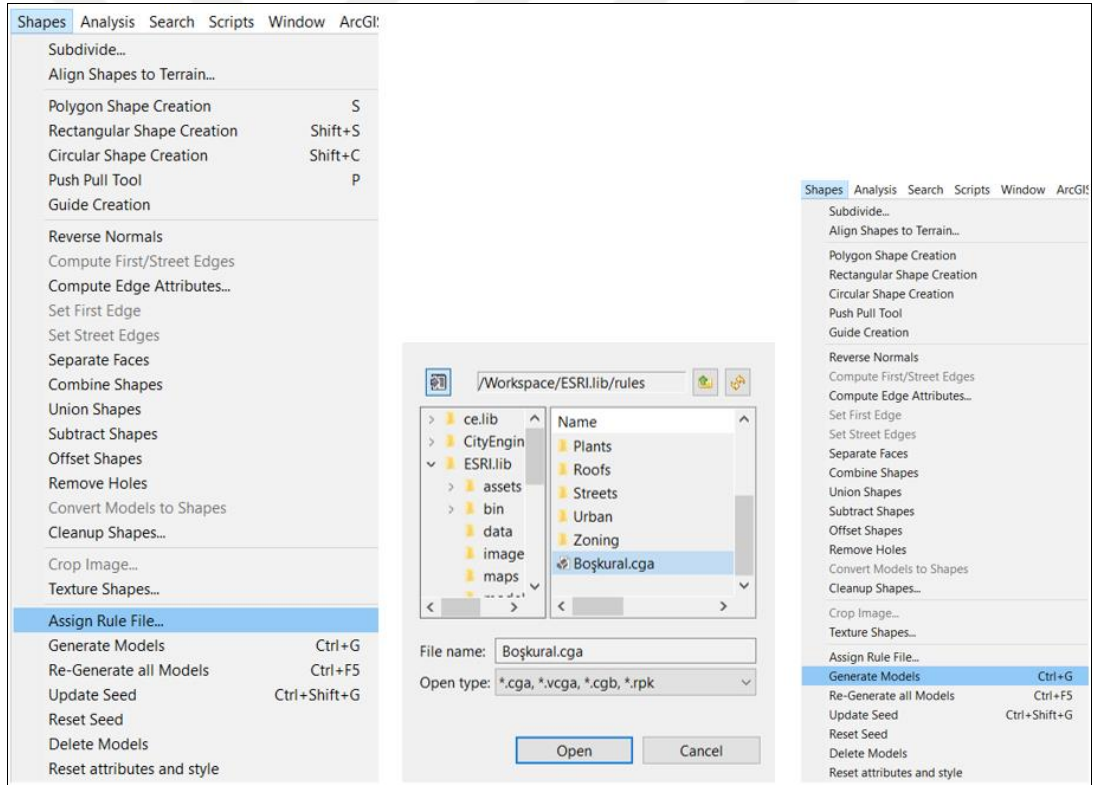
Şekil 3.21: CityEngine’de Modelin Görünümü

3.4 Modelin CityEngine Web Scene Ön İzlemesi

Bu çalışmada, 3B bina modellerinin üretim sürecinde, hazır CGA kurallarıyla otomatik olarak oluşturulan parametrik yapılar yerine, ArcGIS Pro ortamında oluşturulan ve yükseklik bilgisi içeren öznitelik verilerine dayalı modelleme yaklaşımı tercih edilmiştir. CGA kural dosyasında yalnızca mevcut geometrilerin olduğu gibi tanınmasını sağlayan boş kural komutu olan `i("keep")` komutu kullanılarak modelin tekrar extrude edilmesinin önüne geçilmiştir (Şekil 3.22). Böylece, daha önce tanımlanan yükseklik bilgilerinin bozulmadan korunması sağlanmıştır. CityEngine model olarak web ortamına aktarabildiği için; Assign Rule → Boşkural.cga → Generate işlemi tamamlandıktan sonra, yapıların bağımsız geometrik varlıklar olarak tanımlanabilmesi amacıyla “Convert Models to Shapes” işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.23). Bu işlemin asıl sebebi CityEngine .shp formatındaki verileri şekil olarak algıladığı için söz konusu işlem sayesinde bu verilerin model olarak tanınması sağlanmaktadır. 3B modeller seçilerek ArcGIS Online ortamına “Share as Web Scene” komutu ile başarılı bir şekilde aktarılmıştır. Web Scene üzerinde yapılan incelemelerde, yapıların konumsal yerleşimi, hacimsel doğruluğu ve görsel bütünlüğünün bozulmadan korunduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.24). Bu süreç, çalışmanın dijital ikiz temelli sunum altyapısını güçlü ve paylaşılabilir bir biçimde tamamlamasını sağlamıştır.



Şekil 3.22: Boş Kural Komutu



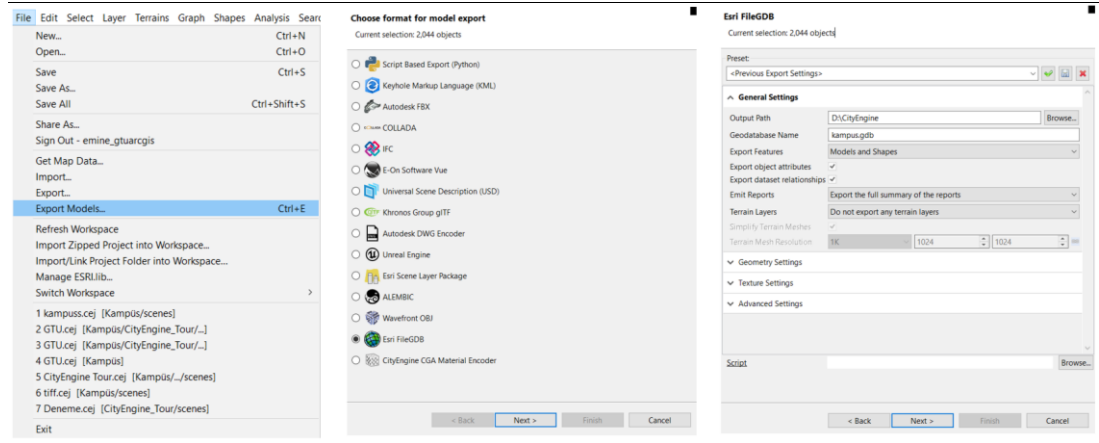
Şekil 3.23: Şekilleri Modele Dönüştürme Aşaması



Şekil 3.24: Modelin Web Scene Görüntüsü

3.5. Modelin ArcGIS Online'a Aktarımı

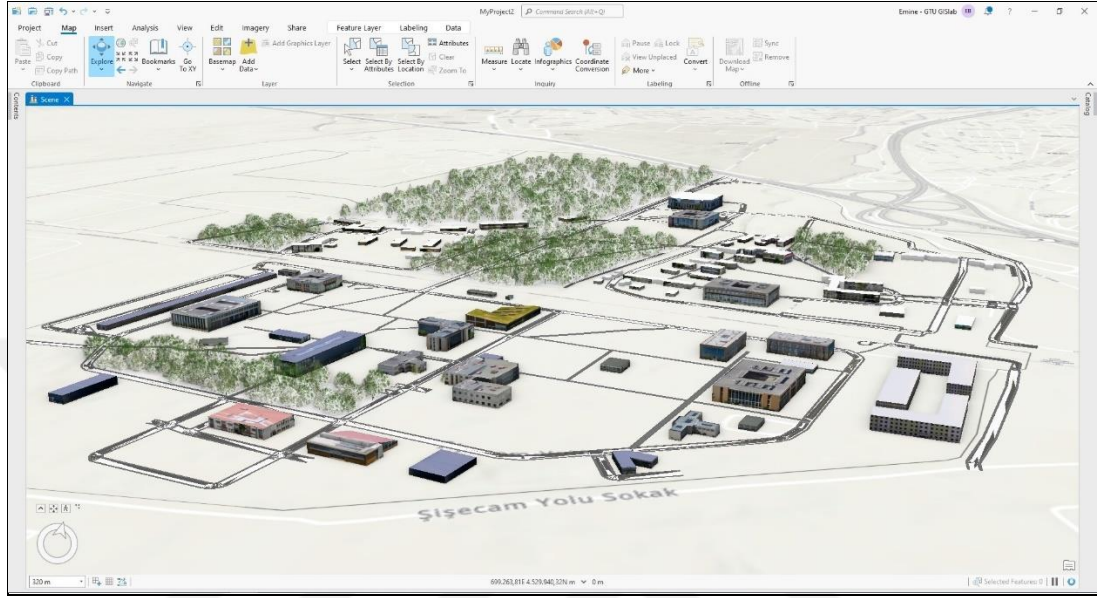
CityEngine ortamında oluşturulan 3B kampüs modeli, ArcGIS tabanlı analizlere entegre edilebilmesi amacıyla .gdb (Geodatabase) formatında dışa aktarılmıştır. Bu işlem sırasında "Export Features" ayarından Models and Shapes seçilerek hem geometrik şekillerin hem de ilgili model nesnelерinin aktarımı sağlanmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25: Modelin Aktarım Aşaması

Çıktı dosyası, ArcGIS Pro yazılımında Add Data komutu ile aracılığıyla modelin 3B biçimiyle birlikte sahne ortamında görüntülenmesi mümkün olmuştur (Şekil 3.26). Böylece CityEngine'de oluşturulan 3B mekânsal veriler, analiz ve görselleştirme

işlemlerinin ArcGIS Pro’da da sürdürülebilmesine olanak tanıyacak biçimde başarıyla entegre edilmiştir. Bu aktarım, dijital ikiz temelli uygulamaların hem modelleme hem de analiz boyutunda birlikte yürütülebilmesini sağlayan çift yönlü akış halinde bir köprü işlevi görmektedir.



Şekil 3.26: Modelin ArcGIS Pro’da 3B görüntüsü

4. ÜÇ BOYUTLU ANALİZ

CityEngine ortamında oluşturulan üç boyutlu kampüs modeli üzerinde yaya ve bisiklet erişimi, öğrenci, akademik ve idari personel yoğunluğu, manzara ve gölge analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler, kampüsün mekânsal yapısının ve kullanım özelliklerinin 3B ortamda bütüncül olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

4.1. Yaya ve Bisiklet Erişimi Analizi

ArcGIS Pro ortamına aktarılan 3B kampüs modeli üzerinden yaya erişilebilirliği analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz kapsamında, kampüs sınırları içerisinde üniversite giriş kapısı olarak belirlenen erişim, başlangıç noktalarından hareketle 0–5 dakika, 5–10 dakika ve 10 dakika üzeri olacak şekilde yaya erişim süreleri hesaplanmıştır (Şekil 4.1). Haritada krem rengi olan alanlar 0–5 dakikalık erişim alanlarını, kırmızı alanlar ise 10 dakika ve daha uzak mesafeleri göstermektedir. Kampüs içerisindeki yaya yollarının dikkate alındığı bu analiz, kampüs mekânlarının ne derece erişilebilir olduğunu görselleştirmeye olanak tanımıştır. Kullanıcının kampüste hangi yapıya ne kadar sürede ulaşabileceğini sadece harita düzleminde değil, görsel hafızayı destekleyen bir biçimde sunmaktadır. Ayrıca, erişilebilir olmayan alanların nedenlerini –örneğin ağaç grupları, yapı yoğunluğu– daha rahat fark etmemizi sağlamaktadır. Böylece tasarım kararları sadece süreye değil, mekânsal algı ve fiziksel çevreye göre de yönlendirilebilmektedir. Yaya erişimi analizleri, kampüs planlamasında hareketli kullanıcı profiline göre düzenlemeler yapılmasına ve yaya öncelikli bir tasarım anlayışının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.1: ArcGIS Pro’da 3B Yaya Erişimi Analizi

Bisiklet erişilebilirliği analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, kampüs içerisindeki bisiklet yolları kullanılarak, üniversite kapısı girişi erişilebilirliği ile başlangıç noktalarından hareketle 0–5 dakika, 5–10 dakika ve 10 dakika üzeri olacak şekilde üç farklı zaman aralığı tanımlanmıştır (Şekil 4.2). Haritada açık mavi ile gösterilen alanlar, bisikletle 0–5 dakika erişimde olan bölgeleri temsil ederken, koyu mavi tonları 10 dakika ve daha uzak erişim sürelerini işaret etmektedir. Bu görselleştirme sayesinde kampüs içindeki yapıların ve yolların fiziksel konumlarıyla birlikte bisiklet erişim bölgelerini çok daha net bir biçimde gözlemlenmektedir. Özellikle eğim, yapı yoğunluğu, yol bağlantıları gibi fiziksel unsurların erişilebilirlik üzerindeki etkisi 3 boyutlu ortamda çok daha anlaşılır hale gelmektedir. Bu sayede kampüs planlamasında erişilemeyen veya zayıf kalan bölgeler daha rahat tespit edilip, iyileştirme önerileri daha yerinde ve görsel temelli geliştirilmektedir. Böylece kampüs içi ulaşım planlamasında bisiklet kullanımının teşvik edilmesi ve erişim sürelerinin optimize edilmesine yönelik karar destek altyapısı sağlanmıştır.



Şekil 4.2: ArcGIS Pro'da 3B Bisiklet Erişimi Analizi

4.2. Yoğunluk Analizleri

Yapılan Kernel yoğunluk analizine göre, GTÜ yerleşkesinde öğrencilerin en yoğun olarak bulunduğu alanlar tespit edilmiştir. Analiz sonuçları, özellikle Mimarlık Fakültesi ile Çevre Mühendisliği, Biyomühendislik, Harita Mühendisliği ve İşletme Bölümleri çevresinde yoğun bir öğrenci hareketliliği olduğunu göstermektedir (Şekil 4.3). Bu durum, söz konusu birimlerin eğitim, sosyal etkileşim ve kampüs içi ulaşılabilirlik açısından merkezi bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Analiz haritasında kırmızı tonlarda gösterilen bölgeler, öğrenci sirkülasyonunun ve bulunma sıklığının en yüksek olduğu alanları temsil etmektedir. Bu sayede kampüsün hangi alanlarının daha fazla kullanılan sosyal ve akademik merkezler haline geldiğini çok daha net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.3: ArcGIS Pro’da 3B Öğrenci Yoğunluk Analizi

Gerçekleştirilen Kernel yoğunluk analizine göre, GTÜ kampüsünde akademik personelin en yoğun bulunduğu alanlar, Öğrenci Yoğunluğu analizinde olduğu gibi Çevre Mühendisliği, Mimarlık Fakültesi, Biyomühendislik ve İşletme bölümleri çevresinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 4.4). Özellikle koyu mavi tonlarla ifade edilen bölgeler, personel hareketliliğinin ve mekânsal kullanım sıklığının yüksek olduğu alanlara işaret etmektedir. Bu durum, söz konusu bölümlerin sadece öğrenci akışı açısından değil, aynı zamanda akademik faaliyetlerin merkezi olarak da işlev gördüğünü ortaya koymaktadır.



Şekil 4.4: ArcGIS Pro’da 3B Akademik Personel Yoğunluk Analizi

Yapılan Kernel yoğunluk analizine göre, GTÜ kampüsünde idari personelin mekânsal dağılımı, ağırlıklı olarak Rektörlük Binası, Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı ve yakın çevresinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 4.5). Rektörlük binası ve çevresinin kampüs içerisindeki fiziksel konumu, çevresindeki yollar, yeşil alanlar diğer idari binalarla olan mesafesi ve yapılar arası görsel ilişki 3 boyutlu gösterim ile daha anlaşılır hale gelmektedir. Özellikle koyu yeşil tonlarda belirtilen alanlar, idari personelin günlük iş akışında en çok bulunduğu birimleri göstermektedir. Bu durum, üniversitenin yönetsel karar alma ve öğrenci hizmet süreçlerinin merkezileştiği çekirdek alanların kampüs içerisinde belirgin bir şekilde konumlandığını ortaya koymaktadır.

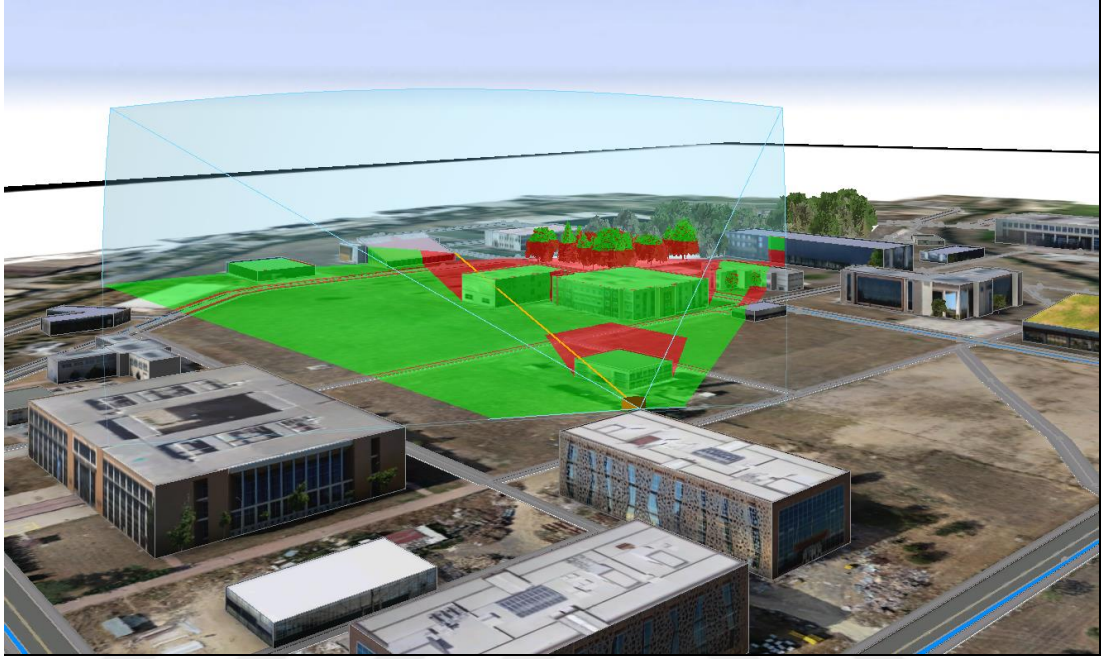


Şekil 4.5: ArcGIS Pro’da 3B İdari Personel Yoğunluk Analizi

4.3. Manzara Analizi

CityEngine ortamında gerçekleştirilen Manzara Analizinde, referans noktası olarak Harita Mühendisliği Binası seçilmiş ve bu yapıdan Kapalı Yüzme Havuzu alanına kadar olan bölgeye yönelik görsel erişim değerlendirilmiştir (Şekil 4.6). Analiz kapsamında oluşturulan görüş konisi aracılığıyla, ilgili yapının çevresiyle olan mekânsal ilişkileri ortaya konmuştur. Analiz sonuçlarına göre, Harita Mühendisliği binasından bakıldığında SUMER Binası, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü ve market alanı açıkça görülebilen yapılar arasında yer almaktadır. Bu yapılar, görüş alanı içerisinde kaldıkları için görsel bütünlüğün bir parçası olarak algılanmaktadır. Buna

karşılık, Spor Salonu ve Kimya Mühendisliği Binası'nın belirli kısımları, görüş hattını keserek spor alanına yönelik manzarayı kısmen engellemektedir. Özellikle yapıların yükseklikleri ve konumları, görüş konisinin sınırlarını belirleyici unsur olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 4.6: Manzara Analizi

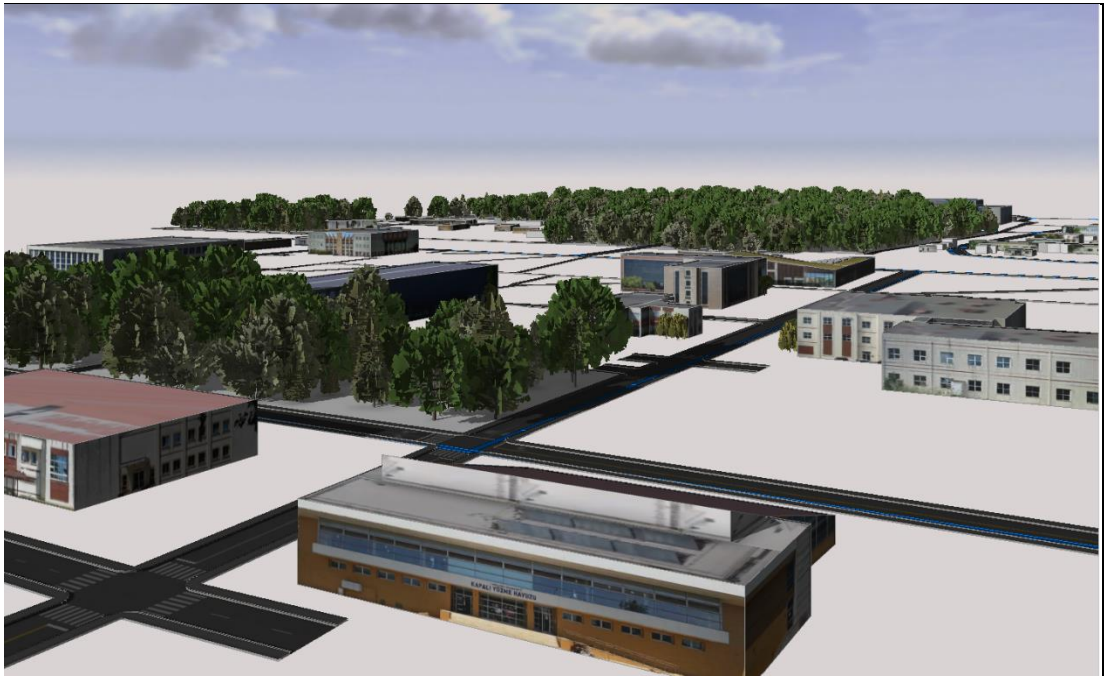
4.4. Gölge Analizi

CityEngine ortamında gerçekleştirilen Gölge Analizinde iki farklı mevsimde, aynı saat diliminde gölgelenme durumları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Haziran ayında güneşin daha dik açıyla konumlanması sonucunda gölgeler oldukça kısa olmakta ve yüzeylerin büyük bir bölümü doğrudan güneş ışığı almaktadır (Şekil 4.7). Buna karşılık, Aralık ayında güneşin daha alçakta bulunması nedeniyle gölgeler belirgin şekilde uzamakta; özellikle binaların kuzey cephelerinde ve ağaçların gerisinde yoğun gölgelenme alanları oluşmaktadır (Şekil 4.8). Bu analiz, kampüs içerisindeki açık alanların planlanmasında hangi bölgelerin gün ışığı açısından avantajlı, hangilerinin ise gölgede kaldığını net biçimde ortaya koymaktadır. Söz konusu farklılıklar yalnızca görsel bir değişim değil, aynı zamanda açık alan kullanımı, bina konforu ve enerji verimliliği açısından da önemli sonuçlar doğurmaktadır. Nitekim, kış aylarında güneş ışığının sınırlı olduğu bölgeler soğuk kalmaya devam ederken, uygun şekilde

konumlandırılmış cepheler veya oturma alanları doğal ışığın daha verimli kullanımına olanak tanıyabilmektedir.



Şekil 4.7: Haziran Ayı Gölge Analizi



Şekil 4.8: Aralık Ayı Gölge Analizi

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması, GTÜ kampüsünün dijital ikizinin oluşturulması sürecinde, ArcGIS Pro ve CityEngine yazılımlarının entegrasyonu ile 2B coğrafi verilerin 3B modellere dönüştürülmesini içermektedir. Kampüs alanında yer alan binalar, yollar, sosyal alanlar ve otoparklar detaylı şekilde sayısallaştırılmış; ardından 3B hacimlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan model, görselleştirmenin ötesinde, kullanıcı odaklı mekânsal analizlerin gerçekleştirilmesine de imkân tanımaktadır. Böylece, dijital ikiz altyapısının kentsel ölçekte olduğu kadar mikro ölçekte, yani kampüs düzeyinde de karar destek süreçlerine katkı sağlayabileceği ortaya konmuştur.

Modelleme sürecinde karşılaşılan bazı teknik sınırlılıklar, gelecekteki çalışmalara yol gösterecek şekilde değerlendirilmiştir. Örneğin, bina yükseklikleri sahaya dayalı ölçümler yerine öznitelik verilerine dayalı olarak veya gerektiğinde manuel yöntemlerle belirlenmiştir. Literatürde belirtildiği üzere, bu yaklaşım modelin görselleştirme amaçlı kullanımında yeterli doğruluk sağlamakta; ancak daha yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalar için iyileştirme potansiyeli sunmakta ve düşük maliyetle sanal ortam üretimi imkânı tanımaktadır. [Singh vd. 2014]. Aynı şekilde, SYM verisi yerine ortofoto kullanılması, yüzey modelleme sürecini sadeleştirerek uygulamayı daha erişilebilir hâle getirmiştir. Binaların araziye oturmasında herhangi bir uyumsuzluk gözlenmemiş, ortofoto kullanımıyla yeterli düzeyde görsel gerçeklik sağlanmıştır. Benzer bir problem Turksever (2015) tarafından da rapor edilmiş olup, çözüm olarak SYM yerine ortofoto görüntüsü kullanılmıştır. Bununla birlikte, bazı yapıların manuel hacimlendirme yöntemiyle modellenmiş olması, CGA kural tabanlı otomatik üretim sürecinin dışına çıkılmasına neden olmuş; ancak bu tercih, görsel gerçekliğin artırılması açısından bilinçli bir strateji olarak değerlendirilmiştir. Crop Image aşaması, bu çalışmada Google Earth görüntülerinin güncel olmaması nedeniyle saha ortamında çekilen görseller kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Başka literatürde görseller sahaya gidilmeden, çevrim içi kaynaklar aracılığıyla temin edilmiştir [Şenol ve Kaya, 2019]. İç mekân modellemeleri bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Mevcut bina planlarının temin edilmesi durumunda, bu bileşenlerin entegrasyonu kampüs dijital ikiz altyapısının işlevselliğini artıracaktır. CityEngine ile oluşturulan kampüs modeli coğrafi kapsam açısından küçük olmasına rağmen dosya boyutu bakımından oldukça büyük olmuştur. Literatürde belirtildiği üzere, modelin 3B web

görüntüleyicide tek parça olarak açılmasında sorun yaşanmış ve benzer şekilde ArcGIS Pro ortamında file geodatabase olarak aktarıldığında performansın düşmesine neden olmuştur [Edvardsson, 2013]. Benzer şekilde başka bir literatürde, 3B veri üretim sürecinin yüksek zaman ve emek gerektirdiğini ve ayrıntı düzeyi arttıkça iş gücü ihtiyacının da belirgin şekilde yükseldiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, veri hacmindeki artışın orta düzey donanımlı bilgisayarlarda işlem performansını olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir [Pelendecioğlu, 2015]. Gerçekleştirilen yaya ve bisiklet erişilebilirlik analizleri, CityEngine modeli üzerinde üç boyutlu olarak görselleştirilmiştir. Literatürlerde, CBS tabanlı analizlerin 3B modellerle bütünleştirilmesi, mekânsal erişilebilirliğin daha gerçekçi ve anlaşılır biçimde ortaya konmasına olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, erişim rotalarının topografya, yapı konumları ve mekânsal engeller gibi faktörlerle birlikte incelenmesini sağlayarak, planlama kararlarının daha doğru verilmesine katkı sağlamaktadır [Kim ve Wilson, 2015], [Shariatpour vd. 2024]. Gerçekleştirilen gölge analizi ve manzara analizi, CityEngine yazılımının 3B şehir modelleme sürecinde sunduğu analitik imkânların kampüs ölçeğinde nasıl uygulanabileceğini ortaya koymuştur. Literatürde vurgulandığı üzere, CityEngine yalnızca kentsel alanların üç boyutlu olarak modellenmesini sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda gölge, görsel etki ve güneşlenme analizleri gibi temel kentsel analizlerin etkin biçimde yürütülmesine olanak tanımaktadır [Sugianto vd. 2023]. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, kampüs içerisindeki açık alan kullanımının, bina konumlandırmalarının ve görsel bütünlüğün değerlendirilmesinde girdiler sağlamış; özellikle mevsimsel güneşlenme farklılıklarının görülebilirlik durumlarının mekânsal planlama kararlarına entegre edilmesine katkıda bulunmuştur.

Sonuç olarak, mevcut verilerle gerçekleştirilebilecek dijital ikiz üretiminin bir örneğini sunmakta; aynı zamanda ileride daha kapsamlı veri ve yöntemlerle geliştirilebilecek uygulamalar için sağlam bir zemin oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

Alam K. M., El Saddik A., (2017), "C2PS: A digital twin architecture reference model for the cloud-based cyber-physical systems", IEEE access, 5, 2050-2062.

Altun G., Zencirkıran M., (2021), "Akıllı Kampüs Teknolojileri ve Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma. Mimarlık ve Yaşam", 6(2), 319-336.

Aslan M. M., (2024), "Bir akıllı kent uygulaması olarak dijital ikiz teknolojisinin kent planlaması ve yönetimi sürecindeki rolü", Gaziantep University Journal of Social Sciences, 23(4), 1613-1624.

Badwi I. M., Ellaithy H. M., Youssef H. E., (2022), "3D-GIS parametric modelling for virtual urban simulation using CityEngine. Annals of GIS", 28(3), 325-341.

Barricelli B. R., Casiraghi E., Fogli D., (2019), "A survey on digital twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications". IEEE access, 7, 167653-167671.

Edvardsson K. N., (2013), "3D GIS modelling using ESRI's CityEngine: a case study from the University Jaume I in Castellon de la Plana Spain (Master's thesis, Universidade NOVA de Lisboa (Portugal))".

Jin X., Wang F., Hao L., Duan Y., Chen L., (2015), "Analysis of the Modeling Method and Application of 3D City Model based on the CityEngine. In International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Industrial Informatics", Atlantis Press, 24, 34-39.

Kim K., Wilson J. P., (2015), "Planning and visualising 3D routes for indoor and outdoor spaces using CityEngine", Journal of Spatial Science, 60(1), 179-193.

Mohammadi N., Taylor J. E., (2017), "Smart city digital twins", In 2017 IEEE symposium series on computational intelligence (SSCI) (pp. 1-5). IEEE.

Muhamad W., Kurniawan N. B., Suhardi S., Yazid S., (2018), "Smart campus features, technologies and applications: A systematic literature review", In Proceedings of the 2017 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI 2017), Bandung, Indonesia (pp. 384-391).

Pelendecioğlu B., (2015), "Üç boyutlu CBS ile tarihi eserlerin modellenmesi", (Master's thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Radies C., (2013), "Procedural random generation of building models based Geobasis data and of the urban development with the software CityEngine", Bernburg, Germany, 175, 184.

Ribeiro A., Almeida J. P. D., Ellul C., (2014), "Exploring CityEngine as a visualisation tool for 3D cadastre", In 3D Cadastres 2014-4th International FIG 3D Cadastre Workshop (pp. 197-218).

Schaller J., Ertac O., Freller S., Mattos C., Rajcevic Z., (2015), "Geodesign apps and 3D modelling with CityEngine for the city of tomorrow". *Digital Landscape Architecture*, 59-70.

Schrotter G., Hürzeler, C., (2020), "The digital twin of the city of Zurich for urban planning", *PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(1), 99-112.

Shariatpour F., Behzadfar M., Zareei F., (2024), "Urban 3D Modeling as a Precursor of City Information Modeling and Digital Twin for Smart City Era: A Case Study of the Narmak Neighborhood of Tehran City", *Iran. Journal of Urban Planning and Development*, 150(2), 04024005.

Singh S. P., Jain K., Mandla V. R., (2014), "Image based Virtual 3D Campus modeling by using CityEngine". *American Journal of Engineering Science and Technology Research*, 2(1), 01-10.

Song P., Sun G., Liu, X., (2021), "Research on 3D campus integrated management based on ArcGIS Pro and CityEngine", In *Proceedings of the 2021 5th international conference on electronic information technology and computer engineering* (pp. 355-360).

Sugianto E., Hosea J. F., Jabar B. A., Irwansyah E., Fitriannah, D., (2023), "3D Modelling Building of District Johar Baru Using ArcGIS Pro and CityEngine", *Procedia Computer Science*, 227, 623-631.

Şenol H. İ., Kaya Y., (2019), "İnternet tabanlı veri kullanımıyla yerleşim alanlarının modellenmesi: Çiftlikköy Kampüsü Örneği", *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 11-16.

Türksever S., (2015), "3D Modeling with City Engine. Turki", *Istanbul Technical University*. DOI, 10.

Yiğit A. Y., Uysal, M., (2023), "Dijital ikizlerin geliştirilmesinde fotogrametrinin kullanımı ve artırılmış gerçeklik ile görselleştirilmesi", *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1372-1384.

ÖZGEÇMİŞ

Emine BAŞKURT, 2018 yılında başladığı GTÜ Şehir ve Bölge Planlama Bölümü lisans eğitimden 2023 yılında mezun oldu. 2023 yılında GTÜ Lisansüstü Eğitimler Enstitüsü Akıllı Şehir ve Ulaşım Teknolojileri Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Arif Çağdaş Aydınöglu danışmanlığında yüksek lisans eğitimine başladı.



TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN SUNUMLAR

Baskurt, E., Aydınoglu, A. Ç. (2025). “Akıllı Kampüs için Dijital İkiz Oluşturma Çalışması: GTÜ Kampüs Örneği”, (Poster Sunumu), 9. Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu 2025, 27 Mayıs 2025

