

**T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SAKARYA İLİNDE TOPLU TAŞIMA VERİLERİNİN GTFS  
FORMATI VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ İLE ENTEGRASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hakan KIVANÇ**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir ÖZDEN**

**Haziran 2025**

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SAKARYA İLİNDE TOPLU TAŞIMA VERİLERİNİN GTFS  
FORMATI VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ İLE ENTEGRASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan KIVANÇ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 23/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir ÖZDEN	Başarılı
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Sedat Semih ÇAĞLAYAN	Başarılı
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Çağdaş KARA	Başarılı

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Hakan KIVANÇ

23/06/2025

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, sadece bilimsel bir gerekliliği yerine getirmekten ibaret değil; aynı zamanda hayatımın bir dönemine anlam katan, sabırla yoğrulmuş bir yolculuğun meyvesidir.

Bu yolculukta, ilk ve en özel teŖekkürü, bilimsel rehberliğiyle her aŖamada yanımda olan, sadece bir danıŖman değil, aynı zamanda bu süreci benimle birlikte yaŖayan ve yön veren kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir ÖZDEN'e sunmak istiyorum. Onun akademik titizliği, sabrı, anlayıŖı ve yol göstericiliği olmasaydı, bu çalışmanın bu noktaya ulaŖması mümkün olmazdı. Kendisine yalnızca bir teŖekkür değil, içten bir minnet borçluyum.

Jürimde bulunup öneri ve geri bildirimleri ile çalışmama katkı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Sedat Semih ÇAĞLAYAN ve Dr. Öğr. Üyesi ÇađdaŖ KARA'ya, üzerimde emeği olan kıymetli hocalarıma, araŖtırmalarımnda ve çalışmalarımnda desteğini esirgemeyen TransportLAB Ekibi'ne teŖekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi bu süreçte de en büyük gücüm ve dayanağım, varlıklarıyla bana umut ve istikamet kazandıran canım aileme; iyi günde, zor günde, mesafeye rağmen kalbimin hep en yakınında olan sevgili annem Cevriye KIVANÇ'a, hayat yolunda örnek aldığım kıymetli abim Harun KIVANÇ'a ve her daim desteğini hissettiren değerli ablam AyŖegül KIVANÇ'a en derin Ŗükranlarımı sunuyorum. Ve en özel yeri, çocuk yaŖta ayrıldığım ama varlığı yüreğimde hep yaŖayan, dualarımda eksik etmediğim sevgili babam Halit KIVANÇ'a ayırıyorum.

Ayrıca bu zorlu süreçte yanımda olan, motivasyonumu tazeleyen, bazen bir cümlelik destekle bile yorgunluğumu unutturan tüm dostlarıma, çok değerli mesai arkadaşlarıma, meslektaşlarıma gönülden teŖekkür ederim. Onların varlığı, bu çalışmanın arka planındaki görünmeyen ama hissedilen en güçlü etkidir.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
KISALTMALAR .....	iv
SİMGELER .....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT .....	ix

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Amaç .....	2
1.2. Kapsam.....	3

## BÖLÜM 2.

LİTERATÜR TARAMASI .....	4
2.1. Sürdürülebilir Hareketlilik ve Kent İçi Ulaşımında Dijitalleşme.....	4
2.2. Toplu Taşıma Sistemlerinde Konum Bazlı Veri Altyapısı .....	8
2.3. GTFS ve Toplu Taşıma Verilerinin Standartlaştırılması .....	11
2.4. Türkiye ve Dünya'da GTFS CBS Tabanlı Uygulama Örnekleri.....	16

## BÖLÜM 3.

YÖNTEM VE MATERYAL .....	19
3.1. Çalışma Alanı .....	19
3.2. Veri Gereksinimi & Kaynaklar .....	19
3.3. Dönüştürme Akışı .....	21
3.4. CBS Görselleştirme & Analiz .....	22
3.5. Entegrasyon .....	22

## BÖLÜM 4.

BULGULAR VE ANALİZ .....	24
4.1. Sakarya'da Toplu Taşımanın Mevcut Durumu ve Veri Altyapısı .....	24

4.2. GTFS Mimarisi: Genel Yapı ve Uygulama Hedefi.....	27
4.2.1. GTFS nedir? .....	28
4.2.2. GTFS veri mimarisi şeması.....	28
4.2.3. GTFS dosyalarının açıklamaları .....	29
4.2.3.1. Agency.txt .....	30
4.2.3.2. Routes.txt .....	31
4.2.3.3. Fare_rules.txt.....	32
4.2.3.4. Fare_attribustes.txt.....	33
4.2.3.5. Trips.txt .....	35
4.2.3.6. Calendar.txt .....	36
4.2.3.7. Calendar_dates.txt.....	37
4.2.3.8. Frequencies.txt .....	38
4.2.3.9. Shapes.txt .....	39
4.2.3.10. Stop_times.txt .....	40
4.2.3.11. Stops.txt.....	42
4.2.3.12. Transfers.txt .....	43
4.3. Veri Doğrulama:GTFS Validatör ile Uyum Testi.....	45
4.3.1. 12-AR hattı GTFS dosyası oluşturma süreci .....	46
4.3.2. 12-AR hattı GTFS veri setinin doğrulanması ve kontrol süreci .....	59
4.3.3. Tespir edilen hatalar ve iyileştirme süreci .....	59
4.3.3.1. Kritik hatalar (Errors).....	59
4.3.3.2. Uyarılar (Warnings) .....	59
4.3.3.3. Bilgilendirme seviyesindeki bulgular (İnfo).....	60
4.4. Nihayi Doğrulama ve Değerlendirme .....	61
4.5. Genelleştirilebilir GTFS-CBS Modeli ve Diğer Şehirlere Uygulanabilirlik.....	63

## **BÖLÜM 5.**

<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>66</b>
5.1. Sonuçlar.....	66
5.2. Öneriler.....	67
5.3. Genel Değerlendirme ve Son Söz .....	69

<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>70</b>
------------------------	-----------

## **KISALTMALAR**

API	: Application Programming Interface
AUS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
GBFS	: General Bikeshare Feed Specification
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
GTFS	: General Transit Feed Specification
IoT	: Internet of Things
KML	: Keyhole Markup Language
KMZ	: Zipped KML
SAKUS	: Sakarya Ulaşım Sistemi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1	: Agency.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	31
Tablo 4.2	: Routes.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	32
Tablo 4.3	: Fare_rules.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	34
Tablo 4.4	: Fare_attributes.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	35
Tablo 4.5	: Trips.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	36
Tablo 4.6	: Calendar.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	37
Tablo 4.7	: Calendar_dates.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	38
Tablo 4.8	: Frequencies.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	39
Tablo 4.9	: Shapes.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	40
Tablo 4.10	: Stop_times.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	42
Tablo 4.11	: Stops.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	43
Tablo 4.12	: Transfers.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları. ....	45
Tablo 4.13	: Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüs hatları listesi. ....	46
Tablo 4.14	: 12-AR hattına ait agency.txt satırı. ....	49
Tablo 4.15	: 12-AR hattına ait fare_rules.txt satırı. ....	49
Tablo 4.16	: 12-AR hattına ait fare_attributes.txt satırı. ....	50
Tablo 4.17	: 12-AR hattına ait routes.txt satırı. ....	51
Tablo 4.18	: 12-AR hattına ait trips.txt satırları. ....	50
Tablo 4.19	: 12-AR hattına ait calendar.txt satırı. ....	51
Tablo 4.20	: 12-AR hattına ait shapes.txt dosyasının 1. satırı. ....	52
Tablo 4.21	: 12-AR hattına ait shapes.txt dosyasının 482. satırı. ....	52
Tablo 4.22	: 12-AR hattına ait stop_times.txt dosyasının 1. satırı. ....	54
Tablo 4.23	: 12-AR hattına ait stop_times.txt dosyasının 545. satırı. ....	54
Tablo 4.24	: 12-AR hattına ait stops.txt dosyasının 1. satırı. ....	55
Tablo 4.25	: 12-AR hattına ait stops.txt dosyasının 19. satırı. ....	55
Tablo 4.26	: 12-AR hattına ait stops.txt dosyasının 68. satırı. ....	56
Tablo 4.27	: GTFS zorunlu dosyaları ve alanları. ....	65
Tablo 4.28	: Türkiye'deki şehirlerde modelin uygulanabilirlik durumu ....	67

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 : GTFS tabanlı toplu taşıma sistemlerinde katmanlı mimari .....	21
Şekil 3.2 : GTFS verilerinin kullanım alanları ve paydaşları. ....	22
Şekil 3.3 : GTFS veri üretimi, görselleştirme ve teslim sürecine ilişkin iş akışı. ....	24
Şekil 4.1 : Sakarya'nın ulaşım bağlantılarını gösteren bölgesel harita (karayolu ve demiryolu hatları).....	26
Şekil 4.2 : SAKUS mobil uygulamasında toplu taşıma sefer ekranına ait örnek kullanıcı.....	28
Şekil 4.3 : GTFS dosyaları arasındaki yapısal ilişkileri ve veri akışını gösteren mimari şema.....	30
Şekil 4.4 : agency.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren txt ekran görüntüsü. ..	32
Şekil 4.5 : routes.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren txt ekran görüntüsü. ....	33
Şekil 4.6 : fare_rules.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.....	34
Şekil 4.7 : fare_attributes.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren txt dosyası ekran görüntüsü.....	35
Şekil 4.8 : trips.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.....	37
Şekil 4.9 : calendar.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren txt dosyası ekran görüntüsü.....	38
Şekil 4.10 : calendar.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren txt dosyası ekran görüntüsü.....	39
Şekil 4.11: frequencies.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.....	40
Şekil 4.12 : frequencies.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.....	41
Şekil 4.13 : calendar_dates.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren txt dosyası ekran görüntüsü.....	43
Şekil 4.14 : stops.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.....	44
Şekil 4.15 : transfers.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.....	45
Şekil 4.16 : SAKUS mobil uygulamasında 12-AR hattının güzergâhını gösteren örnek ekran görüntüsü.....	48
Şekil 4.17 : 12-AR hattının Google Earth Pro üzerinden belirlenen güzergâh çizimi ekran görüntüsü .....	53
Şekil 4.18 : 12-AR hattına ait GTFS veri setindeki .txt dosyalarının dizin görünümü... ..	57
Şekil 4.19 : Oluşturulan GTFS veri setinin gtfs.zip formatındaki sıkıştırılmış hali .....	57
Şekil 4.20 : MobilityData GTFS Validator arayüzü – giriş ekranı .....	58
Şekil 4.21 : gtfs.zip dosyasının arayüze yüklenmiş hali .....	58
Şekil 4.22 : Doğrulama sonucunda üretilen HTML ve JSON formatındaki rapor yapısı .....	59

Şekil 4.23 : Doğrulama sonrası sistem tarafından üretilen hata/uyarı rapor ekranı .....	59
Şekil 4.24 : GTFS validator aracı üzerinden alınan son doğrulama raporu ekran görüntüsü .....	63
Şekil 4.25 : GTFS formatında kullanılan temel dosyalar ve bağlantı yapısı .....	65



# SAKARYA İLİNDE TOPLU TAŞIMA VERİLERİNİN GTFS FORMATI VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ İLE ENTEGRASYONU

## ÖZET

Günümüzde dijitalleşme, kent içi ulaşım sistemlerinin daha etkin, sürdürülebilir ve kullanıcı odaklı bir yapıya kavuşmasında kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle toplu taşıma hizmetlerinde dijital veri altyapılarının eksikliği, şehir planlamasından yolculuk deneyimine kadar birçok alanda sorunlara yol açmaktadır. Güzergâh, durak ve sefer bilgilerinin dijital ortama aktarılamamış olması; hem yerel yönetimlerin veriye dayalı karar alma süreçlerini sınırlamakta hem de yolcuların güvenilir, gerçek zamanlı bilgiye erişimini engellemektedir. Bu eksiklikler, akıllı ulaşım sistemlerinin geliştirilmesini ve mevcut ulaşım ağlarının optimize edilmesini zorlaştırmaktadır. Uluslararası düzeyde kabul görmüş veri standartları, ulaşım verilerinin platformlar arası uyumlulukla paylaşılmasını ve mekânsal analizler yoluyla kent içi hareketliliğin daha iyi anlaşılmasını mümkün kılmaktadır. Bu kapsamda General Transit Feed Specification (GTFS), dünya genelinde en yaygın kullanılan standartlardan biri haline gelmiştir. Bu tez çalışması, Sakarya ilinde faaliyet gösteren otobüs, minibüs ve dolmuş hatlarına ait toplu taşıma verilerini GTFS formatına dönüştürmeyi ve bu sayede açık veri temelli, dijital bir ulaşım mimarisi oluşturmayı hedeflemektedir. Çalışmada Sakarya Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilen Excel ve PDF çizelgeleri, SAKUS (Sakarya Ulaşım Sistemi) veritabanı kayıtları ve açık CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) katmanları bir araya getirilmiştir. Eksik koordinat verileri mobil ölçümlerle tamamlanmış, ardından tüm veriler GTFS'nin temel dosya yapısına uygun şekilde düzenlenmiştir. Elde edilen veri seti GTFS doğrulayıcı aracıyla teknik olarak test edilmiş, KML (Keyhole Markup Language) formatına dönüştürülerek Google Earth ortamında mekânsal doğrulama gerçekleştirilmiştir. Pilot uygulama olarak seçilen 12-AR hattı üzerinden gerçekleştirilen modelleme, durak ve güzergâh verilerinin konumsal doğruluğunu başarılı bir şekilde ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, bu modelin yalnızca Sakarya için değil, benzer veri altyapısına sahip orta ölçekli şehirler için de tekrarlanabilir, ölçeklenebilir ve düşük maliyetli bir dijital dönüşüm çözümü sunduğunu göstermektedir. Bu çalışma, Türkiye'de sürdürülebilir kentsel ulaşım planlamasına katkı sağlayan örnek bir model ortaya koymaktadır. Aynı zamanda bu model, benzer kentlerin dijital ulaşım altyapılarını geliştirme sürecinde yol gösterici bir çerçeve sunarak, veri temelli karar alma kültürünün yaygınlaşmasına da katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: GTFS, CBS, toplu taşıma, dijitalleşme, açık veri, sürdürülebilir ulaşım, Sakarya

# **INTEGRATION OF PUBLIC TRANSPORTATION DATA WITH GTFS AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN SAKARYA**

## **ABSTRACT**

Today, digitalization plays a critical role in making urban transportation systems more efficient, sustainable, and user-centered. In particular, the lack of digital data infrastructures in public transportation services leads to problems in many areas, ranging from urban planning to the travel experience of passengers. The fact that route, stop, and schedule information has not been transferred to digital platforms limits data-driven decision-making processes of local governments and prevents passengers from accessing reliable, real-time information. These deficiencies make it difficult to develop intelligent transportation systems and to optimize existing transportation networks. Internationally accepted data standards make it possible to share transit data in a platform-compatible way and allow a better understanding of urban mobility through spatial analysis. Within this context, the General Transit Feed Specification (GTFS) has become one of the most widely used standards globally. This thesis aims to convert public transportation data - including buses, minibuses, and shared taxis- operating in the province of Sakarya into the GTFS format. In doing so, it seeks to establish an open-data-based, digital transportation architecture. In the study, Excel and PDF timetables provided by the Sakarya Metropolitan Municipality were combined with database records from SAKUS (Sakarya Transportation System) and open GIS (Geographic Information Systems) layers. Missing coordinate data were completed through mobile field measurements. Subsequently, all data were organized in accordance with the core structure of GTFS files. The resulting dataset was technically validated using a GTFS validation tool and spatially verified by converting the data into KML (Keyhole Markup Language) format and visualizing it on Google Earth. A pilot implementation conducted on route 12-AR successfully demonstrated the spatial accuracy of the stop and route data. The results show that this model offers a repeatable, scalable, and low-cost digital transformation solution not only for Sakarya but also for other medium-sized cities with similar data infrastructures. This study presents an exemplary model that contributes to sustainable urban transportation planning in Turkey. At the same time, it provides a guiding framework for other cities seeking to improve their digital transportation infrastructures, thereby supporting the broader adoption of a data-driven decision-making culture.

Keywords: GTFS, GIS, public transport, digitalisation, open data, sustainable mobility, Sakarya

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Küresel ölçekte hız kazanan dijitalleşme süreci, kent içi ulaşım sistemlerinin de dönüşümünü zorunlu hâle getirmiştir. Özellikle toplu taşıma altyapılarında büyük veri analitiği, bulut tabanlı servisler ve Nesnelerin İnterneti (IoT) sensör ağları gibi teknolojilerin yaygınlaşması, hem kullanıcı deneyimini iyileştirmekte hem de yerel yönetimlerin planlama kapasitesini güçlendirmektedir. Avrupa Birliği'nin Open Data Directive, ABD'nin National Transit Map girişimi ve Birleşmiş Milletler'in Akıllı Sürdürülebilir Şehirler çerçevesi, ulaşım verisinin standardize edilerek kamuya açık biçimde paylaşılmasını küresel bir norm hâline getirmiştir. Bu bağlamda toplu taşıma verilerinin dijitalleştirilerek entegre platformlarda sunulması, ağların daha verimli çalışmasını sağlamakta; yolculara da gerçek zamanlı ve erişilebilir seyahat planları yapma olanağı sunmaktadır. Böylelikle toplu taşıma, özel araç kullanımına karşı rekabet gücünü artırmakta ve karbon salımını azaltmaya yönelik küresel hedeflere katkı sağlamaktadır.

Sakarya ili toplu taşıma sisteminde dijitalleşme yönünde bazı adımlar atılmış olsa da mevcut dijital altyapı ve veri paylaşım yöntemleri, küresel standartlarla uyumlu bir yapı sunmaktan uzaktır. Sakarya Büyükşehir Belediyesi tarafından geliştirilen SAKUS (Sakarya Ulaşım Sistemi) mobil uygulaması, kullanıcılara sefer saatleri ve durak bilgileri sağlamaktadır. Ancak uygulama, üçüncü taraf geliştiriciler ile araştırmacıların yeniden kullanılmasına olanak tanıyan açık API (Application Programming Interface) desteği sunmamaktadır. *Kapalı veri yapısı nedeniyle bilgiler, General Transit Feed Specification (GTFS), dünya genelinde toplu taşıma verilerinin standart biçimde dijital ortamda paylaşılmasını sağlayan, Google Maps gibi küresel platformlarda yaygın kullanılan açık bir veri standardıdır, gibi standartlara uygun biçimde paylaşılmamaktadır.* Bu durum, kente ait hatların Google Maps, Apple Maps ve OpenTripPlanner gibi küresel yönlendirme platformlarında eksik ya da hiç görünmemesine yol açmakta; CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı planlama, yolcu yoğunluğu analizi ve güzergâh optimizasyonu gibi veri-temelli uygulamaların yaygınlaşmasını da sınırlamaktadır.

Ayrıca, son yıllarda sadece otobüs ve minibüs gibi motorlu toplu taşıma türleri değil, paylaşımlı bisiklet sistemleri gibi mikromobilité çözümleri de kent içi hareketliliğin ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. Bu doğrultuda GTFS'nin yanı sıra, General Bikeshare Feed Specification (GBFS) adıyla bilinen açık veri standardı, bisiklet paylaşım sistemlerine ilişkin istasyon konumu, araç sayısı ve uygunluk bilgilerini dijital ortamda sunmaktadır. GBFS, çok modlu ulaşım planlamasında veri bütünlüğü ve kullanıcı odaklı yönlendirme sistemlerinin gelişimi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada her ne kadar GTFS standardı temel alınsa da literatür bölümünde GBFS'ye dair analizlere de yer verilerek dijitalleşme vizyonunun kapsamı genişletilmiştir.

Dolayısıyla Sakarya'da dijitalleşme potansiyelini verimli kullanabilmek için verilerin standartlaştırılması, entegre platformlara uyarlanması ve CBS ile desteklenmesi kritik önem taşımaktadır. Bu gereklilik, "Türkiye Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı"nda vurgulanan "açık, birlikte çalışabilir ulaşım verisi" ilkesine doğrudan paraleldir.

### **1.1. Amaç**

Bu tez, "GTFS tabanlı dijital veri mimarisinin Sakarya'daki toplu taşıma planlama, erişilebilirlik ve bilgi-paylaşım süreçlerine katkısı nedir?" sorusuna yanıt aramaktadır. Temel hedefler şunlardır:

- Sakarya Büyükşehir Belediyesi'ne ait otobüs hatlarının güzergâh, durak ve çizelge verilerini GTFS standardına dönüştürmek.
- Elde edilen GTFS setini CBS ortamında görselleştirerek doğruluk ve bütünlük testlerine tabi tutmak.
- Standart verinin planlama (güzergâh optimizasyonu), erişilebilirlik (durak erişim analizi) ve bilgi paylaşımı (Google Maps, OpenTripPlanner entegrasyonu) alanlarında sağlayacağı faydaları nicel ve nitel göstergelerle ortaya koymak.
- Çalışma sonunda açık GTFS veri paketi kentin gelecekte gerçek zamanlı (GTFS-Realtime) entegrasyona geçişine temel oluşturmak.

## 1.2. Kapsam

Bu çalışma, Sakarya Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı otobüs, minibüs ve dolmuş hatlarının 2024 yılına ait güzergâh, durak ve zaman verilerin ilgili formata dönüştürülmesini ve CBS ortamında görselleştirilmesini kapsar.

- Coğrafî sınır: Sakarya ili merkez ve bağlı ilçe güzergâhları; şehirlerarası hatlar, özel servis taşımacılığı ve raylı sistemler kapsam dışıdır.
- Zamansal sınır: Analiz, 2025 Mart ayı en güncel sefer çizelgeleriyle sınırlıdır.
- Veri işleme: Excel/PDF çizelgeler, standart veri dosyaları, GTFS-Validator kontrolü, Google Earth ile mekânsal doğrulamalar yer almaktadır.
- Saha verisi: Akıllı kart verileri toplanmış; çalışma masaüstü veri işleme ve CBS analizleriyle sınırlandırılmıştır.
- Beklenen çıktılar: Sakarya için GTFS veri entegrasyonu mimarisinin oluşturulması ve tam uyumlu GTFS veri paketini içermektedir.

Bu kapsam dâhilinde tez, Sakarya'da sürdürülebilir ve dijital tabanlı bir toplu taşıma bilgi altyapısının temellerini atmayı; aynı zamanda GTFS-CBS entegrasyonunu uygulamak isteyen benzer ölçekli Türkiye'de bulunan şehirlerde yol gösterici nitelikte bir model sunmayı hedeflemektedir.

## **BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI**

Bu bölümde, çalışmanın kuramsal çerçevesini oluşturmak üzere dört ana başlık altında literatür incelenmiştir. Sırasıyla; sürdürülebilir hareketlilik ve kent içi ulaşımda dijitalleşme, toplu taşıma sistemlerinde konum bazlı veri altyapısı, GTFS standardı ve toplu taşıma verilerinin standartlaştırılması ile Türkiye ve dünyadan GTFS-CBS tabanlı uygulama örneklerine yer verilmiştir.

### **2.1. Sürdürülebilir Hareketlilik ve Kent İçi Ulaşımında Dijitalleşme**

Kentsel ulaşım sistemleri, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda dijitalleşmesinin giderek önem kazandığını ortaya koymaktadır. Ulaşım altyapılarının çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarını dengeleyen modeller; veri tabanlı karar destek sistemleri, doğrusal optimizasyon teknikleri ve akıllı ulaşım sistemleri (AUS) gibi dijital çözümlerle desteklenmektedir. Özellikle kentsel hareketlilik konusunda gelişmiş şehirlerde gerçekleştirilen çalışmalar, insan odaklı ulaşım politikaları ile veriye dayalı planlama süreçlerinin nasıl bütünleştirilebileceğini göstermektedir. Ayrıca gerçek zamanlı veri kullanımı, GTFS ve GBFS gibi standartların uygulanabilirliği ve büyük veri temelli iş zekâsı sistemlerinin entegrasyonu, kent içi hareketliliğin daha erişilebilir, verimli ve çevresel etkisi düşük bir yapıya dönüşmesini mümkün kılmaktadır. Bu bölümde yer alan bulgular, sürdürülebilir ve dijital ulaşım mimarilerinin kurulmasında teorik altyapı ve pratik uygulamaların bütüncül biçimde ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Güngör (2012) tarafından yürütülen çalışmada, insan odaklı ve entegre bir ulaşım sisteminin gerekliliği vurgulanmış; toplu taşıma, bisiklet ve yaya ulaşım altyapılarının birlikte değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Saha gözlemleri ve kullanıcı anketlerine dayalı bulgular, mevcut sistemin kullanıcı ihtiyaçlarını yeterince karşılamadığını ve toplu taşıma kullanım oranının artırılması gerektiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, ulaşım altyapısının dijital veri tabanlı sistemlerle desteklenmesi gerekliliği açıkça ifade edilmiştir. Bu

çalışma, GTFS tabanlı veri entegrasyonu ve CBS destekli uygulamalar açısından Sakarya ili için insan merkezli bir bakış açısı sunarak, bu tez kapsamında önerilen dijitalleşme süreciyle doğrudan örtüşmektedir (Güngör, 2012).

Karslı (2019) tarafından yürütülen bir çalışmada, Sakarya Büyükşehir Belediyesi'ne ait belediye otobüslerinin performans analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, toplu taşıma araçlarının verimliliği, kullanıcı memnuniyeti ve çevresel etkiler göz önünde bulundurularak sürdürülebilir ulaşım stratejileri geliştirilmiştir. Yakıt tüketimi, sefer süresi ve doluluk oranı gibi performans göstergeleri detaylı biçimde incelenmiş ve sistemin verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli öneriler sunulmuştur. Bu kapsamda çalışma, belediye otobüslerinin operasyonel etkinliğini artırmaya yönelik analizlerin yanı sıra, Sakarya'daki toplu taşıma sisteminin dijitalleştirilmesi sürecine katkı sunacak veri tabanlı yaklaşımlar geliştirmesi bakımından da önemli bir kaynak niteliği taşımaktadır (Karslı, 2019).

Aydın (2021) tarafından yürütülen başka bir çalışmada, Sakarya ili için toplu taşıma sisteminin işletme planlaması ve optimizasyonu ele alınmıştır. Çalışmada, araç güzergâhları, sefer sıklıkları ve kapasite planlaması gibi temel bileşenler analiz edilmiş; verimliliği artırmaya yönelik matematiksel modellemeler ve optimizasyon teknikleri uygulanmıştır. Tez, toplu taşıma işletmelerinin etkinliğini artırmaya yönelik özgün çözüm önerileri sunmakta ve mevcut sistemdeki aksaklıkları tespit ederek, sürdürülebilir ve daha verimli bir ulaşım altyapısı için stratejik bir çerçeve önermektedir (Aydın, 2021).

Siyah, Akbaş ve Berber (2021) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, toplu taşıma sistemlerinin verimliliğini artırmak amacıyla doğrusal optimizasyon yöntemleri ele alınmıştır. Çalışmada, çeşitli doğrusal programlama yaklaşımlarıyla hat planlaması, sefer sıklığı ve yolcu taleplerine dayalı kapasite düzenlemeleri için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin, toplu taşıma sistemlerinin hem operasyonel etkinliğini hem de yolcu memnuniyetini artırmak adına önemli sonuçlar sunduğu belirtilmiştir. Söz konusu yaklaşım, özellikle veri tabanlı ulaşım planlamasında GTFS mimarisıyla uyumlu analizler için teorik bir zemin oluşturmaktadır (Siyah, Akbaş, & Berber, 2021).

Kent içi toplu taşıma sistemlerini irdeleyen bir çalışmada kent içi otobüs hatlarının performansı hem işletmeci hem de kullanıcı perspektifinden kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir. Sefer süresi, doluluk oranı ve bakım maliyetleri gibi operasyonel

veriler ile kullanıcı anketleri aracılığıyla elde edilen konfor, bilgi erişimi ve güvenlik algısı gibi nitel göstergeler bir arada analiz edilmiştir. Çalışma, bazı hatlarda yüksek işletme maliyetlerinin düşük kullanıcı memnuniyetiyle örtüştüğünü ortaya koymuş; bu nedenle farklı hat tipleri için özelleştirilmiş planlama ve iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesini önermiştir. Elde edilen veriler, GTFS tabanlı dijital veri altyapısının hem işletmeci hem kullanıcı bakış açısıyla zenginleştirilmesine olanak sunarak, Sakarya gibi kentlerde çok boyutlu performans değerlendirmeleri yapılabilmesi açısından önemli katkılar sağlamaktadır (Hurşit, 2021).

Dinç (2019) tarafından yürütülen bir çalışmada, sürdürülebilir ulaşım ilkeleri ile akıllı ulaşım teknolojileri inşaat mühendisliği bakış açısıyla kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir. Çalışmada, akıllı sinyalizasyon sistemleri, gerçek zamanlı yolcu bilgilendirme altyapıları ve IoT tabanlı trafik izleme uygulamaları gibi bileşenler ile düşük karbonlu malzeme kullanımı, enerji verimli yapı elemanları ve çevresel etki analizleri birlikte ele alınmıştır. Literatür taramaları ve vaka analizleri doğrultusunda, akıllı ulaşım sistemlerinin altyapı sensör yerleşimleri, dayanıklı yol ve kavşak tasarımları ile veri iletişim ağlarına dair önemli mühendislik çıktıları sunduğu gösterilmiştir. Ayrıca, çevresel sürdürülebilirliğe yönelik malzeme tercihleri ile uzun ömürlü ulaşım projeleri arasında doğrudan bir ilişki kurularak, bu bulguların Sakarya’da GTFS tabanlı sistemlerin altyapısal ve teknolojik gelişimi için zemin oluşturabileceği vurgulanmıştır (Dinç, 2019).

Şengül, Tarhan ve Tecim (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, akıllı ulaşım sistemlerinden elde edilen yüksek hacimli verilerin büyük veri teknolojileri ve iş zekâsı çözümleriyle entegrasyonu detaylı biçimde incelenmiştir. Veri ambarı altyapıları, ETL süreçleri, gerçek zamanlı veri işleme motorları ve görselleştirme katmanlarının yer aldığı çok katmanlı mimari yapılar örneklenerek, karar destek sistemlerine katkısı tartışılmıştır. Özellikle IoT sensörlerinden, araç takip sistemlerinden ve yolcu sayaçlarından elde edilen verilerin yönetimsel kararlara dönüştürülme süreci analiz edilmiştir. Bu yönüyle çalışma, Sakarya özelinde geliştirilecek GTFS tabanlı dijital ulaşım altyapısına büyük veri analitiği, anlık analiz ve karar destek mekanizmalarının entegrasyonu açısından uygulamaya dönük önemli bir yol haritası sunmaktadır (Şengül, Tarhan, & Tecim, 2022).

Çelik, Haldenbilen ve Ceylan (2025) tarafından yayımlanan çalışmada, şehir içi toplu taşıma operasyonlarında kullanılan AUS performansı karşılaştırmalı yöntemlerle

değerlendirilmiştir. Farklı şehirlerdeki AUS uygulamaları, verimlilik, erişilebilirlik ve hizmet kalitesi açısından ele alınmış; özellikle araç takip, gerçek zamanlı veri iletimi ve trafik yönetim sistemlerinin entegrasyonunun, sistem performansına olan etkileri analiz edilmiştir. Çalışma, AUS verilerinin karar destek süreçlerine nasıl dönüştürülebileceğini ortaya koyarken, Sakarya gibi şehirlerde GTFS tabanlı sistemlere performans analizi ve sürekli izleme fonksiyonlarının entegrasyonu açısından da uygulamaya dönük katkılar sunmaktadır (Çelik, Haldenbilen, & Ceylan, 2025).

Karacameydan İncemehmetoğlu, Yılmaz, Şahin ve Demirtaş (2024) tarafından yürütülen çalışmada, Türkiye'nin yerli ve milli 2. Seviye MaaS (Mobility as a Service) uygulaması olan TRota'nın geliştirilme süreci ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Çalışma kapsamında; şehir içi ve şehirlerarası toplu taşıma, paylaşımlı bisiklet, elektrikli skuter ve araç kiralama gibi farklı ulaşım modlarının tek bir platformda bütünleşik olarak sunulması hedeflenmiş; veri ve ödeme yöntemlerinin standardizasyonu detaylı şekilde incelenmiştir. GTFS ve GBFS gibi açık veri standartlarının entegrasyonu sayesinde, kullanıcı deneyiminin iyileştirildiği ve planlama süreçlerinde karar destek mekanizmalarının güçlendirildiği vurgulanmıştır. Bu yönüyle çalışma, Türkiye'de geliştirilecek GTFS tabanlı dijital ulaşım sistemleri açısından önemli bir referans oluşturmaktadır (Karacameydan İncemehmetoğlu et al, 2024).

Li (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, büyük veri temelli karar destek sistemlerinin, mobil teknolojiler aracılığıyla bilgi entegrasyonu ve kullanıcı deneyimini geliştirme potansiyeli üzerine odaklanılmıştır. Çalışma, Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) ile yapay zekâ uygulamalarının, ulaşım gibi kentsel hizmet alanlarında nasıl bütünleşik çözümler sunduğunu ortaya koymaktadır. Tahmine dayalı analizlerin ulaşım modlarının planlanmasında sağladığı avantajlar hem operasyonel verimlilik hem de sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca, GTFS gibi dijital veri standartlarının entegrasyonu ile sistemlerin daha yönetilebilir ve kullanıcı odaklı hale geldiği vurgulanmıştır. Bu bağlamda çalışma, veri güdümlü stratejilerle desteklenen kent içi ulaşım altyapılarının etkinliğini artırma konusunda önemli katkılar sunmaktadır (Li, 2024).

Wei (2023) tarafından yayımlanan çalışmada, yüksek hızlı demiryolu sistemlerinin dijital dönüşüm süreçlerinin kullanıcı deneyimi odaklı stratejilerle nasıl geliştirilebileceği ele

alınmıştır. Dijital teknolojilerin, özellikle veri analitiği ve mobil uygulamaların entegrasyonu yoluyla hem hizmet kalitesini artırdığı hem de kullanıcı memnuniyetini güçlendirdiği vurgulanmıştır. Çalışma, ulaşım sistemlerinde dijitalleşmenin yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda insan odaklı bir dönüşüm gerektirdiğini ortaya koymakta; GTFS gibi veri standartlarının bu dönüşüm sürecinde nasıl işlevsel bir rol oynayabileceğine dikkat çekmektedir. Bu yönüyle araştırma, hem kullanıcı deneyimini iyileştirmeye yönelik karar destek stratejilerine hem de sürdürülebilir ulaşım uygulamalarının dijitalleşmesine önemli katkılar sunmaktadır (Wei, 2023).

Al-Ali, Gupta, Batool ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmada, IoT bağlamında dijital ikiz (Digital Twin) kavramına yönelik kavramsal bir model önerilmiştir. Dijital ikizlerin, fiziksel sistemlerin sanal yansımaları olarak gerçek zamanlı izleme, analiz ve tahmine dayalı bakım süreçlerinde nasıl kullanılacağı detaylı şekilde ele alınmıştır. Çalışmada, IoT tabanlı veri toplama altyapısının, özellikle ulaşım sistemleri gibi dinamik ortamlarda sistem performansını artırma ve karar alma süreçlerini destekleme potansiyeli vurgulanmıştır. Bu kapsamda sunulan model, GTFS veri yapısı gibi dijital standartlarla entegre edilebilecek yapay zekâ ve sensör tabanlı uygulamalar için sağlam bir teorik temel sunmaktadır (Al-Ali et al, 2020).

## **2.2. Toplu Taşıma Sistemlerinde Konum Bazlı Veri Altyapısı**

Durak yerleşimi, güzergâh optimizasyonu, araç hareketlerinin izlenmesi ve yolcu yoğunluğu gibi mekânsal parametrelerin (CBS, GPS/GNSS teknolojileri ve IoT mimarileri ile entegre biçimde analiz edilmesi, hizmet kalitesinin artırılması açısından temel bir gereklilik hâline gelmiştir. Ayrıca, akıllı kart verilerinin analizi ve çok etmenli karar destek sistemlerinin kullanımı, toplu taşıma planlamasında veri temelli dinamik çözümlerin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda gerek akademik tez çalışmaları gerekse ulusal ve uluslararası düzeyde yayımlanan araştırmalar, Sakarya gibi büyüyen kentlerde GTFS tabanlı sistemlerin kurulmasında konuma dayalı verilerin karar alma süreçlerine entegre edilmesinin kritik önem taşıdığını göstermektedir.

Kocaman (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Sakarya ilindeki toplu taşıma güzergâhlarının belirlenmesinde CBS kullanımına odaklanılmıştır. Tez kapsamında, mevcut güzergâh ve durak konumlarına ilişkin veriler CBS ortamında analiz edilerek,

daha verimli ve ulaşılabilir durak yerleşimlerinin önerildiği iyileştirme senaryoları geliştirilmiştir. Araştırma, taşıma kapasitesini artırmak amacıyla güzergâh optimizasyonu ve durak planlamasının yeniden ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda çalışma, GTFS veri mimarisine geçiş sürecinde CBS tabanlı analizlerin altyapı sağlamadaki rolünü vurgulamakta ve Sakarya'daki dijital ulaşım sistemlerine katkı sağlayacak önemli bir referans oluşturmaktadır (Kocaman, 2018).

Toplu taşıma sistemlerinin performans değerlendirmesinde akıllı kart verilerinin kullanımını inceleyen bir çalışmada yolcu biniş-iniş verilerinden elde edilen büyük veri setleri; seyahat talep desenlerinin çıkarılması, doluluk oranlarının belirlenmesi ve güzergâh verimliliğinin ölçülmesi gibi amaçlarla istatistiksel analiz ve makine öğrenimi teknikleriyle değerlendirilmiştir. Çalışma, toplu taşıma hizmet kalitesini artırmak amacıyla sefer planlaması ve hat performans göstergeleri üzerine çeşitli öneriler sunmakta; ayrıca akıllı kart verilerinin GTFS veri mimarisine entegre edilerek, gerçek zamanlı yolcu yükü tahminleri ve dinamik güzergâh optimizasyonları için kullanılabilirliğini göstermektedir (Kazemi Afshar, 2024).

Önder ve Akdemir (2019) tarafından gerçekteştirilen çalışmada, Türkiye'de nüfusu 100.000'in üzerindeki kentlerde hazırlanan Ulaşım Ana Planları kapsamında önerilen ve mevcut raylı toplu taşıma sistem senaryoları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. 2011–2018 yılları arasında yayımlanan plan dokümanları üzerinden yürütölen bu analizde; hat uzunluğu, istasyon sayısı, maliyet ve çevresel etki gibi kriterler doğrultusunda farklı senaryoların değerlendirme gerekçeleri incelenmiştir. Çalışma, planlama yaklaşımlarının kent ölçeğine göre farklılık gösterdiğini, bazı kentlerde ise önerilerin uygulanabilirlik açısından sınırlı kaldığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, Sakarya ili için geliştirilecek GTFS tabanlı veri mimarisinde Ulaşım Ana Planı'ndaki raylı sistem senaryolarının entegrasyonu ve performans analizlerinin modellenmesi açısından önemli bir kaynak niteliğindedir (Önder & Akdemir, 2019).

Çeçen ve Bolakar Tosun (2020) tarafından yürütölen çalışmada, Diyarbakır'daki otobüs hatlarının kullanım desenleri, sefer sıklıkları ve yolcu memnuniyetine ilişkin veriler temel alınarak kapsamlı bir analiz gerçekteştirilmiştir. Hat performans göstergeleri ve durak kullanım yoğunlukları detaylı olarak değerlendirilmiş, özellikle altyapı eksiklikleri ve duraklar arası dengesizliklerin hizmet kalitesini olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen öneriler arasında güzergâh optimizasyonu, durak yerleşimlerinin yeniden planlanması ve dijital bilgilendirme sistemlerinin (örneğin gerçek zamanlı yolcu panoları) entegrasyonu yer almaktadır. Bu makale, veri odaklı yaklaşımlarla toplu taşıma sisteminin nasıl geliştirilebileceğini göstermesi bakımından, Sakarya ili için hazırlanacak GTFS tabanlı veri setlerinde hat ve durak planlamasına yönelik önemli bir model sunmaktadır (Çeçen & Bolakar Tosun, 2020).

Moreira-Matias ve Cats (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, otomatik araç konumlama (AVL) verileri temel alınarak toplu taşıma talebinin modellenmesine yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Araştırmada, gerçek zamanlı konum verileri kullanılarak araçların hizmet performansı ve yolcu yoğunluğu tahmin edilmiş; bu verilerle doğruluğu yüksek bir talep kestirim modeli önerilmiştir. Çalışma, özellikle zaman-mekân ilişkilerinin analiz edilmesinde AVL sistemlerinin sunduğu büyük veri potansiyelini vurgulamakta ve veri temelli ulaşım planlamasında bu tür teknolojilerin entegrasyonunun önemine işaret etmektedir. Bu yönüyle araştırma, GTFS veri setlerinin dinamik sistemlerle bütünleştirilerek gerçek zamanlı analizlerin desteklenmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır (Moreira-Matias & Cats, 2016).

Handajani, Firmawan ve Harmini (2021) tarafından yapılan çalışmada, Endonezya'nın Salatiga kentindeki yolcu taşımacılığı hizmetlerinin performansı analiz edilmiştir. Araştırmada, toplu taşıma kullanıcılarının memnuniyet düzeyleri, hizmet sıklığı, bekleme süreleri ve kapasite kullanımı gibi performans göstergeleri değerlendirilmiş; bu bulgular ışığında ulaşım hizmetlerine yönelik matematiksel modellemeler geliştirilmiştir. Çalışma, toplu taşıma sistemlerinin kullanıcı merkezli iyileştirme stratejileriyle nasıl optimize edilebileceğini ortaya koyarken, aynı zamanda hizmet kalitesinin artırılmasına yönelik sistematik değerlendirme yöntemleri sunmaktadır. Bu yaklaşım, Sakarya'da uygulanacak GTFS veri temelli analizlere, kullanıcı memnuniyeti odaklı ölçütlerin entegrasyonu açısından örnek teşkil etmektedir (Handajani et al., 2021).

Gurjar, Agarwal ve Jain (2020) tarafından geliştirilen metodolojide, kentsel alanlardaki toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırmalı performans değerlendirmesine yönelik kapsamlı bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışma; verimlilik, erişilebilirlik, sürdürülebilirlik ve kullanıcı memnuniyeti gibi çok boyutlu kriterleri dikkate alarak, farklı şehirlerdeki toplu taşıma sistemlerini karşılaştırmalı olarak analiz etmektedir. Bu çok kriterli karar destek

yaklaşımı hem nicel göstergelere hem de hizmet kalitesine dayalı veri analizlerini bir araya getirerek sistematik bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır. (Gurjar et al, 2020).

Zakutynskiy ve Rabodzei (2023) tarafından geliştirilen çalışmada, toplu taşıma verilerinin izlenmesi ve analiz edilmesine yönelik IoT temelli bir sistem mimarisi sunulmuştur. Araç içi sensörler, GPS cihazları ve çevrim içi bilgi sistemlerinden elde edilen verilerin bulut tabanlı platformlarda işlenmesiyle hem operasyonel verimliliğin hem de hizmet kalitesinin artırıldığı gösterilmiştir. Çalışma, gerçek zamanlı veri akışının karar destek sistemlerine entegre edilerek, yolcu taleplerine göre uyarlanabilir dinamik planlama süreçlerini desteklediğini ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, GTFS veri yapısıyla birlikte kullanılacak ileri teknoloji çözümlerine örnek oluşturarak, Sakarya gibi kentlerde akıllı ulaşım sistemleriyle entegre edilecek modeller için teknik bir çerçeve sunmaktadır (Zakutynskiy & Rabodzei, 2023).

### **2.3. GTFS ve Toplu Taşıma Verilerinin Standartlaştırılması**

Çalışmalarda GTFS veri modelinin Türkiye’deki toplu taşıma sistemlerine entegrasyonu sürecinde karşılaşılan teknik, yönetsel ve kullanıcı odaklı sorunları ortaya koymakta ve bu sorunlara yönelik çözüm önerileri sunmaktadır. Özellikle güzergâh optimizasyonu, hizmet sıklığı planlaması, kullanıcı memnuniyeti ölçümü ve simülasyon tabanlı çizelgeleme gibi temalar, GTFS veri yapısının pratik uygulamalarıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, akademik tezler yoluyla sürdürülen bu araştırmalar, Türkiye’de GTFS kullanımının sadece veri formatı düzeyinde değil, aynı zamanda karar destek sistemleri, dijitalleşme politikaları ve hizmet eşitliği gibi geniş bir perspektiften ele alındığını göstermektedir. Bu yönüyle ilgili çalışmalar, Sakarya özelinde kurulacak GTFS mimarisine doğrudan metodolojik, teknik ve stratejik katkılar sağlamaktadır.

Karaca (2018) tarafından yürütülen çalışmada, Sakarya ilindeki toplu taşıma sisteminin mevcut durumu analiz edilerek, sistemin verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli planlama önerileri geliştirilmiştir. Çalışmada güzergâh optimizasyonu, durak yerleşimi ve taşıma saatleri gibi temel faktörler incelenmiş; ayrıca kullanıcı memnuniyeti anket yoluyla değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, mevcut sistemin kullanıcı taleplerine yeterince yanıt veremediğini ve veri temelli yönetim yaklaşımlarına ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir. (Karaca, 2018).

Çorum kentinde toplu taşıma kullanıcılarının memnuniyet düzeyleri lojit regresyon modeli kullanılarak analiz eden bir çalışmada, farklı durak noktalarında ve güzergâhlarda rastgele seçilen yolculara uygulanan anketlerden elde edilen veriler istatistiksel modele aktarılmış; servis sıklığı, durak erişilebilirliği, araç konforu ve ücret düzeyi gibi değişkenlerin memnuniyet üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Analiz bulguları, en güçlü memnuniyet belirleyicilerinin servis sıklığı ve durak yerleşimi olduğunu ortaya koyarken; araç donanımı ve ücret dengesi gibi unsurların da kayda değer etkiler sunduğu belirlenmiştir. (Adaloğlu, 2018).

Toplu taşıma araçlarının etkin çizelgelenmesine yönelik simülasyon tabanlı bir model üzerine kurgulanan bir çalışmada, Mersin Büyükşehir Belediyesi'ne ait otobüs filosunun durak, güzergâh ve talep yoğunluğu verileri kullanılarak farklı çizelgeleme stratejilerinin filo verimliliği, yolcu bekleme süresi ve maliyet parametreleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Simülasyon modeli sonuçları, mevcut çizelgeleme sistemine kıyasla filo kapasitesi kullanımında %10–15 oranında iyileşme sağladığını ve yolcu bekleme süresinde kayda değer azalma meydana geldiğini göstermiştir. Bu çalışma, toplu taşıma çizelgeleme problemlerine veri odaklı ve uygulanabilir çözümler sunması yönüyle dikkat çekmektedir. (Cingöz, 2021).

Kahveci (2023) tarafından yürütülen çalışmada, Kahramanmaraş ve Kayseri illerindeki toplu taşıma sistemleri karşılaştırmalı olarak analiz edilerek Sakarya ili için entegre bir toplu taşıma modeli geliştirilmiştir. Çalışmada, her iki şehirdeki hat yapıları, durak yerleşimleri, sefer frekansları ve yolcu hareketliliği verileri detaylı şekilde değerlendirilmiş; bu veriler ışığında Sakarya'ya özgü bir ulaşım mimarisi tasarlanmıştır. Model geliştirme sürecinde CBS destekli mekânsal analizler ile akış optimizasyonu teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen sistemin güzergâh verimliliğini ve kullanıcı memnuniyetini artırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur. (Kahveci, 2023).

Karakaya (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, toplu taşıma sistemlerinin performansını artırmaya yönelik farklı optimizasyon teknikleri ele alınmıştır. Çalışma kapsamında, güzergâh planlaması, sefer sıklıkları ve araç kapasite kullanım oranlarının iyileştirilmesi amacıyla matematiksel modelleme ve doğrusal programlama yöntemleri kullanılarak simülasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, önerilen

stratejilerin filo verimliliğini artırdığını ve yolcu bekleme sürelerini azalttığını göstermiştir. (Karakaya, 2023).

Kasimoğlu'nun (2024) yürüttüğü bir çalışmada kentsel toplu taşıma sistemlerinde hizmet eşitliğini değerlendirmek amacıyla yeni bir analitik model geliştirilmiştir. Çalışma, yolcu yoğunluğu, sefer sıklığı, durak erişilebilirliği ve sosyo-demografik değişkenler gibi çeşitli verileri bir araya getirerek, CBS destekli çok kriterli karar verme yöntemleriyle bileşik bir eşitlik indeksi oluşturmuştur. Model, seçilen bir şehir örneğinde uygulanarak, farklı mahalleler ve sosyo-ekonomik gruplar arasında hizmet düzeylerindeki dengesizlikleri somut biçimde ortaya koymuştur. Bu kapsamlı yaklaşım, ulaşım planlamasında yalnızca verimlilik değil, aynı zamanda adalet ilkelerinin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. (Kasimoğlu, 2024).

Turhal ilçesindeki şehir içi toplu taşıma sistemine yönelik mevcut sorunların analiz edilerek kullanıcı odaklı çözüm önerilerinin geliştirildiği çalışmada, yolcu memnuniyet anketleri, güzergâh analizleri ve sefer verileri temel alınarak; hat kısalıkları, durak erişilebilirliği ve hizmet sıklığı gibi başlıca sorun alanları belirlenmiştir. Buna karşılık olarak güzergâh optimizasyonu, sefer sıklıklarının yeniden düzenlenmesi ve dijital bilgilendirme panellerinin kurulması gibi çeşitli stratejik iyileştirme önerileri sunulmuştur. (Yılmaz Soylu, 2025).

Yazıcı (2025) tarafından yürütülen çalışmada, dijitalleşme ve yenilikçi hareketlilik hizmetlerinin İstanbul'daki kentsel ulaşım üzerindeki etkileri kapsamlı bir biçimde incelenmiştir. Paylaşımlı scooter, bisiklet ve araç paylaşımı gibi dijital platformlar ile e-hailing uygulamalarının toplu taşıma kullanımı, trafik yoğunluğu ve yolculuk süreleri üzerindeki etkileri, kullanıcı anketleri ve akıllı ulaşım sistemlerinden elde edilen verilerle nicel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, bu hizmetlerin özellikle ilk/son kilometre sorununu hafiflettiğini, ancak altyapı yetersizliklerinin entegrasyonu sınırladığını ortaya koymuştur. Çalışma, Sakarya'da geliştirilebilecek GTFS ve GBFS tabanlı veri mimarisine dijital mobilite çözümlerinin entegre edilmesi ve paylaşım temelli ulaşım verilerinin sisteme dahil edilerek daha kapsayıcı bir ulaşım planlaması yapılması açısından değerli içgörüler sunmaktadır. (Yazıcı, 2025).

Ulaşım planlamasında kullanılan başlangıç ve son matrislerinin tahmin sürecinde ilk girdi matrisinin model çıktıları üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde inceleyen çalışmada,

farklı kaynaklardan elde edilen başlangıç matrisleri — örneğin anket verileri, nüfus–istihdam yoğunluğu ve sensör verileri — kullanılarak yerçekim modeli, entropi tabanlı yöntemler ve Bayes güncelleme teknikleriyle tahmin analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, başlangıç matrisinin doğruluğunun hem modelin yakınsama hızını hem de nihai tahminin güvenilirliğini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Bu kapsamda çalışma, Sakarya ili için geliştirilecek GTFS tabanlı veri mimarisinde, OD matrislerinin üretiminde temel alınacak veri kaynaklarının seçiminde metodolojik rehberlik sağlamaktadır (Tengirşek, 2023).

Türkiye'deki akıllı ulaşım sistemlerinin gelişim süreci ile birlikte GTFS ve GTFS-Realtime veri standartlarının entegrasyon süreçlerinin incelediği çalışmada, Türkiye'nin ulaşım mevzuatının dijital veri yönetimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiş; farklı şehirlerdeki uygulama örnekleri üzerinden teknik ve yönetsel düzeyde karşılaşılan engeller analiz edilmiştir. Bulgular, GTFS-Realtime altyapısının sürdürülebilir ulaşım politikaları açısından büyük önem taşıdığını ve bu yapının Türkiye'deki mevzuatla daha güçlü biçimde entegre edilmesi gerektiğini göstermektedir. (Yılmaz, 2020).

Demir (2021) tarafından yürütülen çalışmada, Türkiye'deki farklı şehirlerde uygulanmakta olan GTFS veri modeli örnekleri incelenmiş ve bu uygulamaların ulusal düzeydeki strateji belgeleriyle entegrasyon potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışmada, veri toplama süreçleri, güncelleme yöntemleri ve gerçek zamanlı veri akışı yönetimi gibi teknik konuların yanı sıra, belediyelerin dijitalleşme politikaları da analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, GTFS veri modelinin yalnızca teknik bir standart değil, aynı zamanda stratejik planlama süreçlerinin ayrılmaz bir parçası olması gerektiğini vurgulamaktadır. (Demir, 2021).

Ankara ili özelinde araç verileri kullanılarak trafik hız tahmini yapıldığı ve kullanıcı mahremiyetinin korunmasına yönelik üç farklı model önerilen çalışmada, LSTM ve GRU temelli derin öğrenme yaklaşımları ile trafik hız tahmin modelleri geliştirilmiş, ayrıca diferansiyel gizlilik yöntemi uygulanarak kullanıcı verilerinin anonimleştirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen bulgular, geliştirilen modellerin hem tahmin doğruluğu hem de mahremiyet koruması açısından başarılı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, GTFS-Realtime veri yapılarının Türkiye'de uygulanabilirliği açısından yalnızca teknik yeterlilik değil, aynı zamanda veri güvenliği ve etik kullanım boyutlarını da içeren

kapsamlı bir bakış sunarak, Sakarya'daki dijital ulaşım veri mimarisi için referans niteliği taşımaktadır (Akın, 2021).

Pereira, Andrade ve Vieira (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, GTFS verilerinin analizine yönelik açık kaynaklı gtf2gps paketi kullanılarak, toplu taşıma ağlarının zaman coğrafyası perspektifinden incelenmesi ele alınmıştır. Araştırmada, yolculuk süresi, bekleme zamanı ve erişilebilirlik gibi zaman-temelli göstergeler haritalandırılarak toplu taşıma hizmetlerinin mekânsal ve zamansal eşitsizlikleri analiz edilmiştir. Söz konusu yöntem, GTFS verilerinin yalnızca hizmet çizelgesi düzenlemeleri için değil, aynı zamanda kentsel hareketlilik planlamasında toplumsal eşitlik boyutunu değerlendirmek için de kullanılabilmesini göstermektedir. (Pereira et al, 2022).

Dardas, Hall, Salter ve Hosseini (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kamu ulaşım sistemlerinin performans değerlendirmesi için coğrafi tabanlı ve neredeyse gerçek zamanlı veri ile çalışan bir analiz iş akışı önerilmiştir. Araştırma, özellikle GPS tabanlı konum verileri ve toplu taşıma zaman çizelgelerinin eşleştirilmesi yoluyla, hizmet güvenilirliği, sefer süreleri ve sistem tutarlılığı gibi performans göstergelerinin analiz edilebileceğini ortaya koymuştur. Bu yaklaşım, GTFS verilerinin yalnızca planlama amacıyla değil, aynı zamanda gerçek zamanlı sistem performansının izlenmesi ve yönetilmesinde de etkin şekilde kullanılabilmesini göstermektedir. (Dardas et al., 2022).

Stewart, Diab, Bertini ve El-Geneidy (2016) tarafından yapılan çalışmada, toplu taşıma verilerinin görselleştirilmesinin sağladığı potansiyel faydalar kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Araştırma, karar vericiler, planlamacılar ve kullanıcılar için verilerin grafiksel temsillerinin, sistemin daha iyi anlaşılmasını, sorunların tespitini ve kullanıcı deneyiminin artırılmasını kolaylaştırdığını ortaya koymuştur. Özellikle GTFS tabanlı zaman-mekân görselleştirmeleri sayesinde hizmet yoğunluğu, yolculuk süresi ve sefer düzeni gibi parametrelerin daha şeffaf ve erişilebilir biçimde sunulabildiği belirtilmiştir. (Stewart et al, 2016).

Prommaharaj, Phithakkitnukoon, Demissie, Kattan ve Ratti (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, GTFS verilerinin kamu ulaşım sistemlerinin görselleştirilmesindeki rolü, Calgary örneği üzerinden incelenmiştir. Zaman çizelgeleri ve durak bazlı verilerin etkileşimli haritalar üzerinde sunulması yoluyla hem kullanıcılar hem de planlamacılar için sistemin işleyişi daha erişilebilir ve anlaşılır hâle getirilmiştir.

Araştırma, GTFS verilerinin yalnızca veri analizi değil, aynı zamanda etkili bir görsel iletişim aracı olarak kullanılabilmesini ortaya koymaktadır. Bu durum, GTFS tabanlı dijital ulaşım platformlarının katılımcı yönetim ve şeffaflık ilkeleriyle entegre edilmesinde önemli bir potansiyel taşımaktadır (Prommaharaj et al, 2020).

Naro, Biraghi ve Lenzi (2024) tarafından geliştirilen City Transport Analyzer adlı QGIS eklentisi, toplu taşıma sistemlerinde erişilebilirlik ve intermodalite analizlerini CBS ortamında gerçekleştirmeye yönelik güçlü bir araç olarak tanıtılmıştır. Çalışmada, GTFS verilerinin CBS altyapısı ile entegrasyonu sağlanarak, yolculuk süreleri, ulaşılabilir alanlar ve aktarma noktaları gibi parametrelerin mekânsal olarak analiz edilebildiği gösterilmiştir. Bu uygulama, şehir içi ulaşımında dijitalleşmeyi destekleyen, karar vericilere hem görsel hem sayısal veri temelli analiz sunan yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. (Naro et al, 2024).

#### **2.4. Türkiye ve Dünya’da GTFS CBS Tabanlı Uygulama Örnekleri**

GTFS verilerinin CBS ile entegrasyonu, kentsel ulaşım planlamasında önemli avantajlar sunmaktadır. Türkiye’deki belediyeler ve dünya genelindeki şehirler, bu bütünleşme sayesinde toplu taşıma hizmetlerini daha erişilebilir hâle getirmekte, güzergâh optimizasyonu sağlamak ve karar destek süreçlerinde görsel analizlerden yararlanmaktadır. CBS tabanlı sistemlerin GTFS ile birlikte kullanılması, ulaşım planlamasında hem doğruluk hem de görselleştirme kapasitesi açısından önemli bir gelişme sunmaktadır. Bu bütünleşme aynı zamanda yöneticilere mekânsal analiz yoluyla daha isabetli stratejik kararlar alma fırsatı vermektedir.

Demir (2019) tarafından yürütülen çalışmada, İstanbul ili toplu taşıma verilerinin CBS ortamında analiz edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada, GTFS veri setleri kullanılarak otobüs, metro ve tramvay hatlarının mekânsal dağılımı incelenmiş; yolculuk süresi ve erişilebilirlik temelli CBS analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz bulguları, İstanbul’daki toplu taşıma ağının özellikle bazı çevre bölgelerde yetersiz kaldığını ve bu durumun ulaşım planlamasında mekânsal dengesizliklere yol açtığını ortaya koymuştur. Çalışma, CBS destekli planlama yaklaşımlarının ulaşım sistemlerinin verimliliğini artırma potansiyelini vurgulamakta ve İstanbul’da GTFS verilerinin CBS ile entegrasyonuna yönelik önemli bir referans niteliği taşımaktadır (Demir, 2019).

Kaya (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Ankara iline yönelik toplu taşıma planlamasında CBS temelli yaklaşımlar kullanılarak kapsamlı analizler yapılmıştır. Otobüs ve metro hatlarının mekânsal dağılımı incelenmiş; yolcu yoğunlukları, durak erişilebilirliği ve hizmet düzeyi kriterleri üzerinden bölgesel analizler gerçekleştirilmiştir. Bulgular, Ankara'daki toplu taşıma sisteminin bazı bölgelerinde hizmet kalitesinin düşük olduğunu ve CBS tabanlı mekânsal analizlerin bu tür planlama eksikliklerini gidermek için etkili araçlar sunduğunu göstermiştir. (Kaya, 2021).

Stępniaik, Pritchard, Geurs ve Goliszek (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, toplu taşıma sistemlerinde erişilebilirlik ölçümlerine zaman çözünürlüğünün etkisi incelenmiştir. Polonya'da gerçekleştirilen vaka çalışması kapsamında, farklı zaman dilimlerinde ölçülen sefer sıklıkları ve hizmet düzeylerinin, erişilebilirlik analizlerinin sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği gösterilmiştir. Çalışma, özellikle GTFS veri yapısında tanımlanan zaman çizelgelerinin, mekânsal erişim analizlerinde doğruluğu artırmak adına dikkatle yapılandırılması gerektiğine vurgu yapmaktadır. (Stępniaik et al, 2019).

Goliszek (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Polonya'nın Szczecin kentinde toplu ve özel ulaşım sistemlerine ilişkin potansiyel erişilebilirlik modellerinin oluşturulmasında kullanılan CBS araçları ve programlama dillerinin rolü incelenmiştir. Çalışma kapsamında Python ve R gibi açık kaynaklı yazılım dilleriyle CBS tabanlı erişim analizleri gerçekleştirilmiş; bu analizlerde hem kamu hem de bireysel ulaşım modları birlikte değerlendirilmiştir. Özellikle toplu taşıma verilerinin konumsal analizlerde dinamik zaman çizelgesi entegrasyonu ile nasıl kullanılabilceği gösterilerek, şehir planlaması ve dijital ulaşım modellemeleri açısından önemli yöntemsel katkılar sunulmuştur. (Goliszek, 2021).

Martínez-Rebollar, Gutiérrez, Esquivel ve Pérez (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, GTFS standardı kullanılarak geliştirilen bir toplu taşıma seyahat planlayıcısı tanıtılmıştır. Çalışma kapsamında, kullanıcıların başlangıç ve varış noktalarına göre en uygun rotaları belirleyen bir sistem tasarlanmış ve bu sistemin doğruluğu, GTFS verileri ile yapılan zaman-mekân analizleri üzerinden test edilmiştir. Araştırma, GTFS formatının yalnızca veri depolama değil, aynı zamanda kullanıcıya dönük hizmetlerin geliştirilmesi

noktasında da etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. (Martínez-Rebollar et al, 2022).

Bok ve Kwon (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, GTFS standardı kullanılarak toplu taşıma sistemlerine erişilebilirliğin ölçülmesine yönelik karşılaştırılabilir göstergeler geliştirilmiştir. Farklı şehirlerdeki toplu taşıma sistemleri üzerinde yapılan analizlerde, yolculuk süresi, durak erişimi ve hizmet sıklığı gibi kriterler dikkate alınarak erişilebilirlik haritaları oluşturulmuştur. Çalışma, GTFS verilerinin yalnızca zaman çizelgesi odaklı değil, aynı zamanda mekânsal adalet ve ulaşım erişimi analizleri için güçlü bir kaynak sunduğunu göstermektedir. (Bok & Kwon, 2016)



## **BÖLÜM 3. YÖNTEM VE MATERYAL**

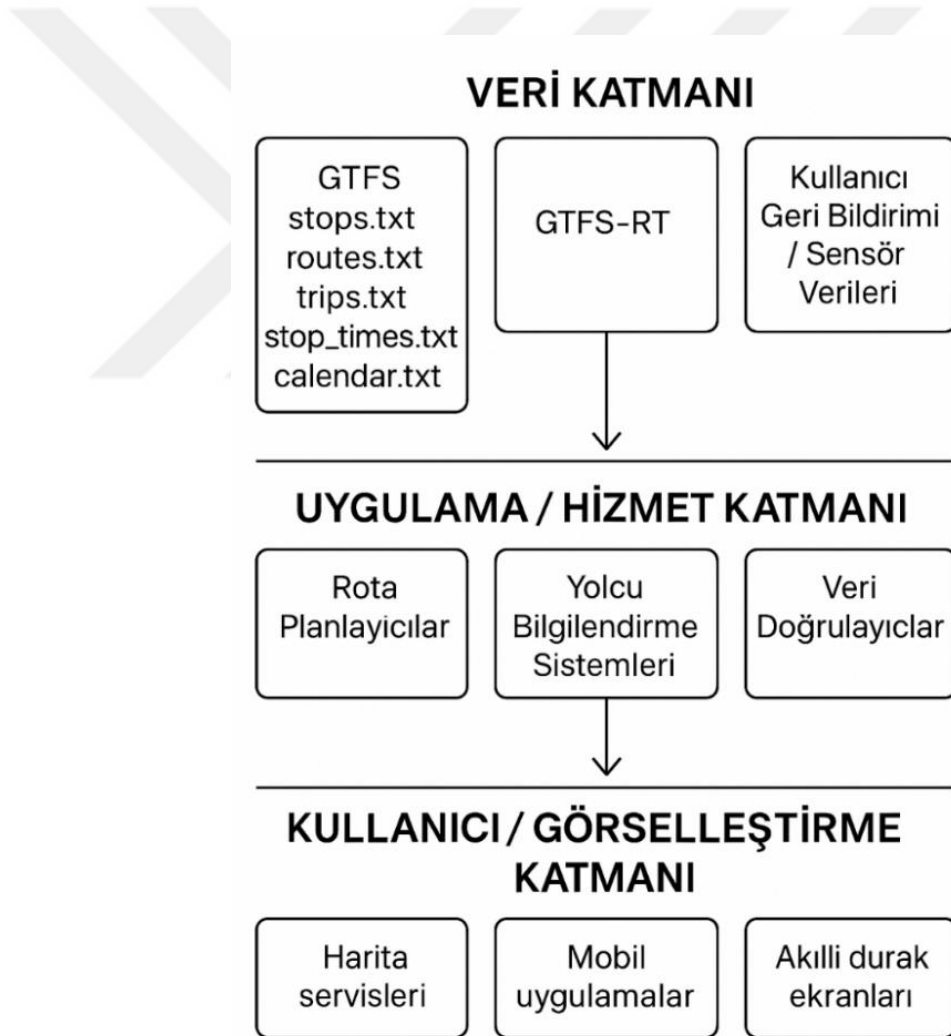
### **3.1. Çalışma Alanı**

Sakarya ili, Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde, İstanbul ve Ankara gibi iki megakenti birbirine bağlayan TEM (O-4) ve D-100 koridorları üzerinde stratejik bir konuma sahiptir. 16 ilçeye yayılan kent, 2024 Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre yaklaşık 1,1 milyonluk nüfusu ve %1,7'yi aşan yıllık artış hızıyla Türkiye'nin en hızlı büyüyen orta-ölçekli metropollerinden biridir. Geniş tarım arazilerinin yanı sıra, otomotiv yan sanayi ve lojistik depolama merkezleri gibi yoğun istihdam odakları kent içi yolculuk talebini çeşitlendirirken, Sakarya Uygulamalı Bilimler ve Sakarya Üniversitelerindeki 75 000'i aşkın öğrenci de gün boyu hareketliliği artırmaktadır. Ancak bu dinamik yapıya rağmen, toplu taşıma verileri hâlen kapalı SAKUS mobil uygulaması dışında erişilebilir değildir; kentte GTFS formatında herhangi bir açık veri seti bulunmadığından güzergâhlar Google Maps, Apple Maps veya Moovit gibi küresel platformlarda görünmemekte, bu durum yolcu bilgilendirme ve planlama olanaklarını kısıtlamaktadır. Kent yönetimi, "Akıllı Şehir Sakarya" vizyon belgesi ile veri temelli ulaşım kararlarını önceliklendirse de, standardizasyon ve entegrasyon adımları henüz atılmamıştır. Ancak Sakarya, GTFS-CBS entegrasyonunun orta-ölçekli şehirlerde uygulamasını sağlayabilecek bir il görülmekte, gelişime açık dijital altyapısı ve yerel paydaşlarla sağlanan doğrudan iletişim avantajları sayesinde bu araştırma için ideal çalışma alanı olarak değerlendirilmektedir.

### **3.2. Veri Gereksinimi ve Kaynaklar**

Bu araştırmada GTFS tabanlı bir toplu taşıma altyapısı kurmak için üç tür veriye ihtiyaç vardır. İlk olarak, GTFS çekirdek dosyaları oluşturulmuştur.: stops (durak konumları), routes (hat kimlikleri), trips ve stop\_times (sefer akışı ile zaman çizelgeleri), calendar (hizmet günleri), shapes (hat geometrisi) ve varsa fare (ücret yapısı). İkinci olarak, CBS

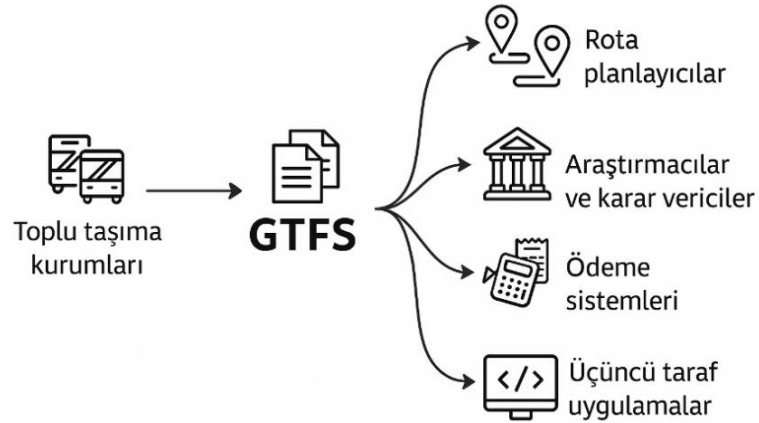
ortamında doğruluk ve erişilebilirlik analizleri yapılmıştır. Üçüncü olarak ise bu verilerin statik çizelgeleri ve durak listeleri Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi'nden PDF/Excel formatında temin edilmiş, hat kodları ve ücret tabloları ise SAKUS arka-uç veritabanından sağlanmıştır. Devamında yol ağı ve sınır katmanları OpenStreetMap ile Geoportal.gov.tr'den, eksik veya güncel olmayan durak koordinatları, mobil GIS uygulamaları ile sahada GPS ölçümleri yapılarak tamamlanmıştır. Böylece GTFS dosyaları ile CBS katmanlarının bütünlüğü sağlanmış ve analizlere hazır, standartlaştırılmış bir veri seti oluşturulmuştur. Toplanan bu verilerin nasıl işlendiğini, uygulama bileşenlerine nasıl aktarıldığını ve son kullanıcıya hangi araçlarla sunulduğunu gösteren katmanlı yapı Şekil 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.1 : GTFS Tabanlı toplu taşıma sistemlerinde katmanlı mimari.

### 3.3. Dönüştürme Akışı

Dönüşüm süreci, ham çizelge verilerinin GTFS şemasına uyumlu metin dosyalarına dönüştürülmesi üzerine kurgulanmıştır. İlk aşamada, Sakarya Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilen PDF ve Excel biçimindeki sefer çizelgeleri tek bir Excel çalışma kitabına aktarılmış, her sayfa GTFS'nin ilgili tablosuna (ör. stops, routes, trips, stop\_times) karşılık gelecek şekilde yapılandırılmıştır. Ardından çalışma kitabı "CSV (UTF-8)" biçiminde dışa aktarılmış; bu esnada sütun başlıkları GTFS söz dizimiyle (stop\_id, arrival\_time vb.) manuel olarak eşleştirilmiş ve tarih-saat biçimleri, ondalık ayırıcılar ile ön-ek sıfırları korunarak biçimsel tutarlılık sağlanmıştır. Elde edilen CSV dosyaları kontrol edilmiş ve uzantıları .txt olarak yeniden adlandırılarak tek klasörde toplanmıştır. Son aşamada, oluşturulan paket MobilityData GTFS Validator aracına yüklenmiş; doğrulama raporunda saptanan eksik alan, zaman akışı veya geometri uyumsuzlukları ilgili Excel sayfalarında düzeltilerek iteratif biçimde test edilmiştir. Böylelikle, ham çizelgelerden başlayıp uluslararası GTFS standardı ile tam uyumlu, doğrulanmış bir veri seti elde edilmiştir. GTFS formatında oluşturulan bu veri seti, yalnızca teknik doğruluk açısından değil; aynı zamanda seyahat planlayıcılar, ödeme sistemleri, üçüncü taraf uygulama geliştiricileri ve ulaşım politikası yapımcıları gibi çeşitli paydaşlar tarafından kullanılabilir çok yönlü bir dijital kaynak niteliğindedir. Bu çok katmanlı kullanım potansiyeli ve veri akış süreci, Şekil 3.2'de şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 3.2 : GTFS verilerinin kullanım alanları ve paydaşları.

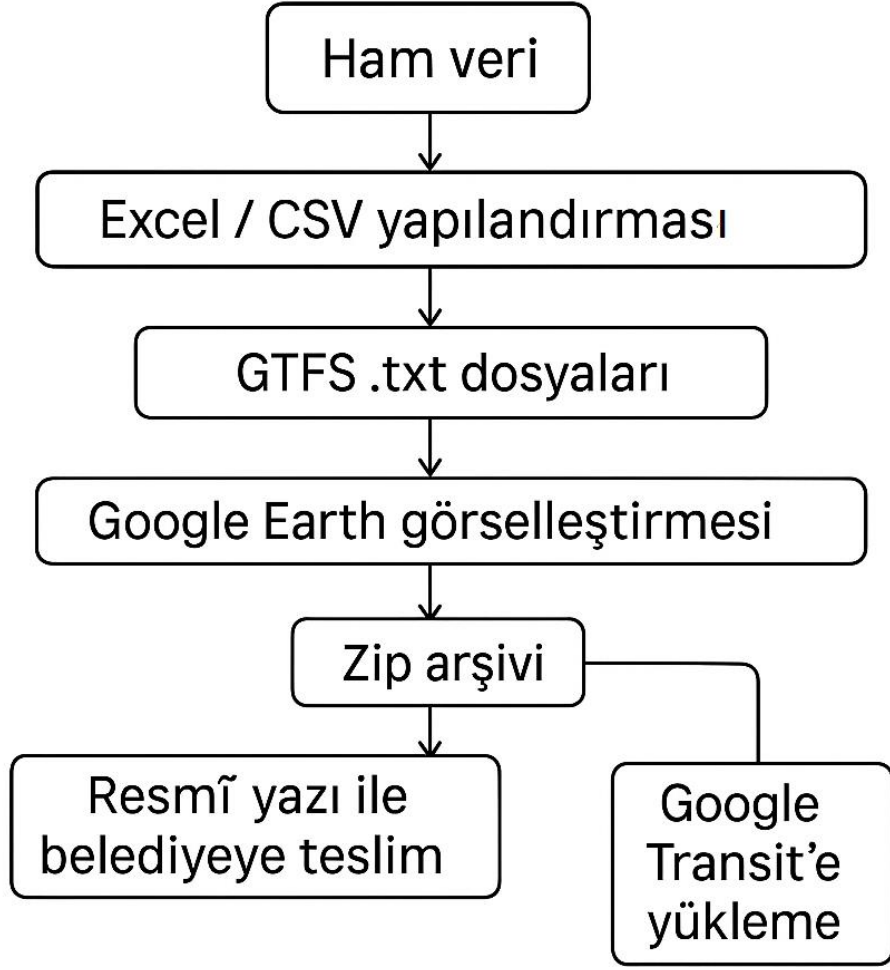
### **3.4. CBS Görselleştirme ve Analiz**

GTFS paketinin doğrulanmasının ardından statik .txt dosyaları -özellikle stops, routes, trips ve shapes tabloları- KML(Keyhole Markup Language) formatına dönüştürülerek Google Earth Pro uygulamasına aktarılmıştır. Bu sayede güzergâh-durak ilişkisi coğrafi olarak görselleştirilmiş; hat geometrileri ile durak noktaları aynı platformda bir araya getirilerek, Sakarya kentinin toplu taşıma ağı bütüncül şekilde harita üzerinde sunulmuştur.

### **3.5. Entegrasyon**

Doğrulama süreci tamamlandıktan sonra, hatasız GTFS veri paketi (zip arşivi içinde stops.txt, routes.txt vb. tüm çekirdek dosyalar) Google Transit Partner Feed Specifications yönergeleri doğrultusunda test sunucusuna yüklenmiş; sefer arama ekranlarında hat-durak eşleşmesi, varış-kalkış saatlerinin doğruluğu ve hat geometrilerinin harita üzerinde kusursuz görüntülenmesi aracılığıyla entegrasyon başarıyla doğrulanmıştır. Görselleştirme sürecinde, oluşturulan GTFS dosyaları KML formatına dönüştürülerek yalnızca Google Earth Pro uygulaması aracılığıyla sunulmuş, böylece toplu taşıma hatları ve durak konumları harita tabanlı olarak kullanıcı dostu bir biçimde görselleştirilmiştir. GTFS veri üretimi, görselleştirme ve teslim sürecini adım adım gösteren iş akışı Şekil 3.3'de sunulmuştur.

Öte yandan, dünya genelinde bisiklet paylaşım sistemleri için yaygın olarak kullanılan GBFS formatı da, GTFS ile birlikte çok modlu ulaşım planlaması için önemli bir veri standardı olarak değerlendirilmektedir. Her ne kadar bu çalışma GBFS verisi üretmemiş olsa da, ilerleyen süreçte Sakarya'da bisikletli ulaşım sistemlerinin yaygınlaşması hâlinde, GBFS uyumlu veri mimarisinin GTFS tabanlı altyapıya entegre edilmesi mümkün ve gereklidir. Böyle bir yapı, kullanıcıların farklı ulaşım modları arasında gerçek zamanlı geçiş yapabilmesini kolaylaştıracak, kentte sürdürülebilir mikromobilité politikalarının uygulanabilirliğini artıracaktır.



Şekil 3.3 : GTFS veri üretimi, görselleştirme ve teslim sürecine ilişkin iş akışı.

## **BÖLÜM 4. BULGULAR VE ANALİZ**

Bu bölümde, Sakarya ilindeki mevcut toplu taşıma sisteminin yapısı ve dijitalleşme potansiyeli değerlendirilerek, GTFS formatında veri dönüşümü süreci ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. İlk olarak, belediye otobüs sistemi, durak ve hat ağı, veri erişilebilirliği ile hizmet çeşitliliği bakımından analiz edilmiş; veri altyapısındaki eksiklikler ve kapalı sistem yapısı nedeniyle karşılaşılan planlama sorunları tanımlanmıştır. Ardından, GTFS mimarisine uygun olarak hazırlanan stops.txt, routes.txt, trips.txt, stop\_times.txt, calendar.txt ve shapes.txt gibi temel veri dosyalarının oluşturulma süreci açıklanmış; veri kaynaklarının temini, ön işleme adımları ve GTFS şemasına uygun format dönüşümleri detaylandırılmıştır. Dönüştürülen veri setleri, MobilityData GTFS Validator aracı kullanılarak doğruluk ve bütünlük açısından test edilmiş; tespit edilen hata türleri, düzeltme döngüleri ve nihai uyumluluk sonuçları sunulmuştur.

Hazırlanan GTFS veri paketi daha sonra Google Earth Pro ortamına aktarılmış ve bu platform üzerinden görselleştirilmiştir. KML formatına dönüştürülen hat geometrileri ve durak konumları, uydu haritaları üzerinde temsil edilerek, Sakarya'nın toplu taşıma ağının mekânsal yapısı sezgisel ve kullanıcı dostu biçimde sunulmuştur. Güzergâh doğruluğu ve durak-hat ilişkileri bu sayede harita üzerinden kolayca gözlemlenebilmiştir.

Son olarak, çalışmanın yalnızca Sakarya özelinde değil, Türkiye'deki benzer orta ölçekli kentler için de dijitalleşme ve veri standardizasyonuna geçiş sürecinde uygulanabilir, tekrarlanabilir ve sürdürülebilir bir model sunduğu vurgulanmıştır. GTFS dönüşümünün görsel sunumlarla desteklenmesi sayesinde, şehir içi toplu taşıma planlaması, kullanıcı bilgilendirme sistemleri ve açık veri politikaları için güçlü bir altyapı oluşturulmuştur.

### **4.1. Sakarya'da Toplu Taşımanın Mevcut Durumu Ve Veri Altyapısı**

Sakarya ili, Türkiye'nin kuzeybatısında, İstanbul ve Ankara gibi iki büyük metropol arasında yer alan stratejik konumuyla hem ulusal hem de uluslararası taşımacılık



ring düzeninde çalışmakta; ancak dijital bilet sistemlerinin eksikliği ve sefer planlarının sadece görsel arayüz üzerinden sunulması, hizmet verimliliğini ve kullanıcı bilgilendirme olanaklarını sınırlamaktadır.

Toplu taşıma hizmetlerinde çok aktörlü bir yapı söz konusudur: özel halk otobüsleri, minibüsler, taksi dolmuşlar ve belediye otobüsleri sıklıkla aynı güzergâhları paylaşmaktadır. Bu durum hem araç yoğunluğunu hem de trafik yükünü artırmakta; bazı bölgelerde hizmet tekrarına, diğerlerinde ise erişim yetersizliğine neden olmaktadır. Serdivan, Korucuk, Kampüs ve Yeni Terminal gibi yoğun bölgeler ile sanayi alanları ve kırsal yerleşimlerin arasında ciddi erişim dengesizlikleri gözlenmektedir. Bu durum, yalnızca fiziksel altyapının değil, aynı zamanda veri tabanlı yönetim ve planlamanın da yetersizliğini ortaya koymaktadır.

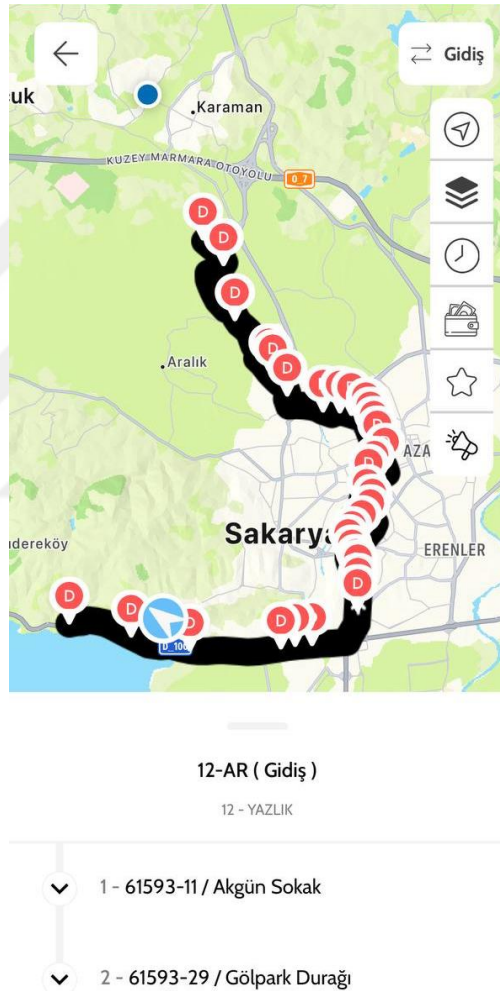
Bu noktada, Sakarya Büyükşehir Belediyesi tarafından sunulan SAKUS mobil ve web uygulaması devreye girse de sistemin sunduğu veri mimarisi kapalıdır. Uygulama yalnızca görsel arayüz üzerinden sefer bilgilerini paylaşmakta; makine tarafından okunabilir veri yapıları (ör. GTFS, JSON, XML) veya açık API erişimi sağlamamaktadır. Gerçek zamanlı araç bilgileri sadece kullanıcıya görsel olarak sunulmakta, ancak bu verilerin analiz edilmesi ya da üçüncü taraf uygulamalara (Google Transit, Moovit, OTP gibi) aktarılması mümkün olmamaktadır. Sistemin bu yönü, SAKUS mobil uygulamasında yer alan örnek sefer arayüzü aşağıdaki ekran görüntüsünde de görülebilmektedir (Şekil 4.2).

Bu bağlamda, Sakarya'daki toplu taşıma sisteminin açık veri altyapısındaki bütünleşme eksikliği, yalnızca teknik bir sınırlılık değil; aynı zamanda inovatif uygulamaların geliştirilmesini, performans izleme süreçlerini ve veri temelli karar verme mekanizmalarını zorlaştıran yapısal bir sorundur. Kent dışından gelen yolcular ve öğrenciler için yön bulma zorluğu, toplu taşımayı daha az cazip kılmakta ve özel araç kullanımını teşvik ederek sürdürülebilir ulaşım ilkeleriyle çelişmektedir.

Avrupa Birliği'nin "Open Data Directive", ABD'nin "National Transit Map" ve Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından hazırlanan "Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2020–2023)" gibi belgeler, şehirlerde açık, birlikte çalışabilir veri mimarileri oluşturulmasını temel ilke olarak önermektedir. Sakarya özelinde önerilen

GTFS tabanlı mimari, mevcut kapalı yapıyı açık, standart, doğrulanabilir ve CBS ile entegre edilebilir bir sistem hâline dönüştürmeyi hedeflemektedir.

Bu model yalnızca Sakarya'ya özgü bir çözüm değil; benzer ölçekli kentlerde veri tabanlı ulaşım planlaması ve entegrasyon süreçleri için örnek alınabilir bir dönüşüm senaryosu niteliği taşımaktadır. GTFS standardının benimsenmesiyle birlikte hem planlama verimliliği hem de kullanıcı deneyimi açısından sürdürülebilir ve dijital temelli bir ulaşım sistemi tesis edilmesi mümkün hâle gelecektir.



Şekil 4.2 : SAKUS mobil uygulamasında toplu taşıma sefer ekranına ait örnek kullanıcı arayüzü.

#### 4.2. GTFS Mimarisi: Genel Yapı Ve Uygulama Hedefi

Bu bölümde, Sakarya'daki toplu taşıma verilerinin GTFS standardına uygun biçimde nasıl dönüştürüldüğü, sistemin bileşenleri ve uygulama hedefleri ile açıklanmaktadır.

#### 4.2.1. GTFS nedir?

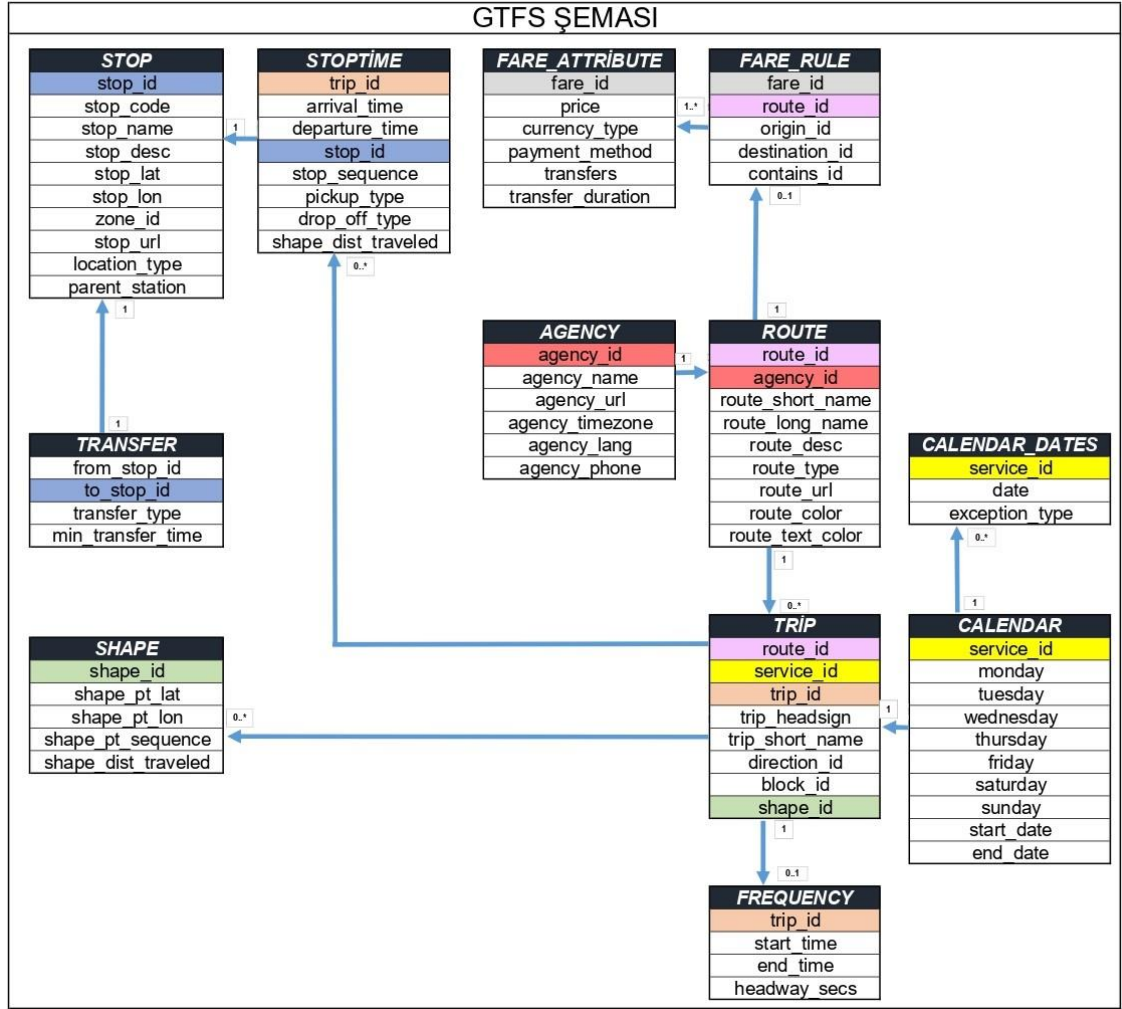
GTFS, toplu taşıma sistemlerine ait verilerin standart bir yapıda dijital ortama aktarılmasını ve farklı uygulamalarla uyumlu biçimde paylaşılmasını sağlayan açık veri formatıdır. İlk olarak 2005 yılında Google ve Portland TriMet iş birliğiyle geliştirilmiş olan bu standart, başlangıçta toplu taşıma güzergâhlarının Google Maps üzerinde görünür hâle getirilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Zamanla küresel çapta binlerce ulaşım otoritesi ve yazılım geliştiricisi tarafından benimsenerek, toplu taşıma planlaması, kullanıcı bilgilendirme sistemleri, rota optimizasyonu ve erişilebilirlik analizleri gibi birçok alanda temel altyapı hâline gelmiştir.

GTFS; duraklar (stops.txt), hatlar (routes.txt), seferler (trips.txt), zaman çizelgeleri (stop\_times.txt), hizmet günleri (calendar.txt) ve güzergâh geometrileri (shapes.txt) gibi temel metin dosyalarından oluşur. Bu dosyalar, CSV biçiminde yapılandırılmış olup veri bütünlüğünü sağlamak adına belirli sütun adları ve ilişkilerle organize edilir. Bu yapı sayesinde hem yönlendirme motorları (Google Maps, Moovit, OpenTripPlanner vb.) hem de akademik veya yerel planlama yazılımları bu verileri kolaylıkla işleyebilir.

GTFS'nin temel amacı; farklı kurumlar arasında birlikte çalışabilir veri altyapısı sunmak, veri paylaşımını kolaylaştırmak ve ulaşım hizmetlerinin daha şeffaf, erişilebilir ve kullanıcı dostu olmasını sağlamaktır. GTFS, yalnızca yolcuların seyahat deneyimini geliştirmekle kalmaz, aynı zamanda belediyelere planlama, performans ölçümü ve karar destek süreçlerinde dijital yetkinlik kazandırır.

#### 4.2.2. GTFS veri mimarisi şeması

GTFS sistemindeki dosyalar arasında kurulan yapısal ilişki, Şekil 4.3'te şematik olarak gösterilmektedir. Bu diyagram, veri akışını ve dosya eşleşmelerini görsel olarak sunmakta; her bir dosyanın sistemdeki işlevine göre nasıl bağlantı kurduğunu ve hangi dosyalarla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı renkte olan dosya içerikleri yapının birbirine bağını göstermektedir. Özellikle trips.txt, routes.txt, stop\_times.txt ve shapes.txt gibi dosyalar arasında kurulan anahtar ilişkiler, bu şema aracılığıyla bütüncül şekilde anlaşılabilir.



Şekil 4.3 : GTFS dosyaları arasındaki yapısal ilişkileri ve veri akışını gösteren mimari şema.

#### 4.2.3. GTFS dosyalarının açıklamaları

Bu bölümde, GTFS veri yapısında yer alan tüm .txt dosyaları detaylı biçimde tanıtılmaktadır. Her bir dosya, GTFS sisteminde üstlendiği işlev, içerdiği alanlar ve diğer dosyalarla olan ilişkileri bakımından açıklanmıştır. Yapılan açıklamalar, GTFS sisteminin temel veri bileşenleri arasındaki yapısal ilişkileri gösteren şematik diyagrama dayanmaktadır. Özellikle agency.txt, routes.txt, trips.txt, stop\_times.txt, stops.txt, calendar.txt ve shapes.txt dosyalarının birbirleriyle nasıl bağlantılı olduğu ve veri akışındaki yerleri, bir önceki 4.2.2. kısmında Şekil 4.3 üzerinden takip edilebilmektedir.

#### 4.2.3.1. Agencytxt

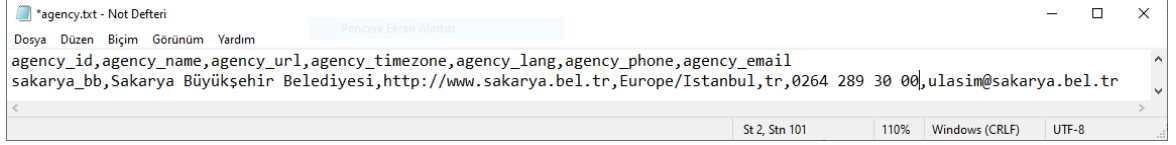
Bu alan, GTFS veri paketini sağlayan toplu taşıma otoritesinin veya şirketinin temel bilgilerini tanımlamak amacıyla kullanılır. Eğer birden fazla ajans (örneğin farklı ulaşım operatörleri) aynı veri seti içerisinde yer alıyorsa, her biri için ayrı satırlar oluşturulmalıdır. Dosyada yer alan her sütun, ajansa ilişkin kurumsal ve teknik bilgileri içermekte ve routes.txt gibi diğer dosyalarla bağlantı kurmaktadır. agency.txt dosyasında kullanılan alanlar, Zorunlu olup olmadıklarına ve tanımlarına göre Tablo 4.1’de özetlenmiştir. Dosyanın yapısı, hem GTFS şemasının kurallarına hem de Google Transit uyumluluğuna uygun olacak şekilde düzenlenmelidir.

Tablo 4.1 : agency.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
agency_id	Hayır	Birden fazla ajans varsa zorunludur. Ajansı benzersiz olarak tanımlar. routes.txt dosyasındaki agency_id ile eşleşir.
agency_name	Evet	Ajansın görünen adı. Örn: Sakarya Büyükşehir Belediyesi
agency_url	Evet	Ajansa ait web sitesi. Başında http:// veya https:// olmalıdır.
agency_timezone	Evet	Ajansın saat dilimi. Örn: Europe/Istanbul
agency_lang	Hayır	Ajansın kullandığı dilin IETF dil kodu. Örn: tr
agency_phone	Hayır	Ajansa ait telefon numarası.
agency_fare_url	Hayır	Bilet fiyatları ile ilgili bilgi veren web sayfasının URL’si.
agency_email	Hayır	Yolcuların destek alabileceği e-posta adresi. (Google tarafından önerilir, bazı platformlar ister.)

Agency.txt dosyasının oluşturulmasında bazı alanlar özel dikkat gerektirmektedir. Özellikle agency\_timezone alanı, sefer saatlerinin sistemde doğru biçimde hesaplanabilmesi için kritik öneme sahiptir; aksi hâlde zamanlama hataları oluşabilir. Türkiye için genellikle Europe/Istanbul saat dilimi kullanılmaktadır. agency\_id alanı, veri setinde yalnızca bir ajans bulunması durumunda zorunlu olmamakla birlikte, ileride çoklu ajans yapısına geçişi kolaylaştırmak açısından her durumda tanımlanması önerilen bir uygulamadır. Ayrıca agency\_lang ve agency\_email gibi zorunlu olmayan alanlar da, kullanıcı deneyimini iyileştirme ve platformlar arası uyumluluğu artırma açısından önemlidir. Bu nedenle, yalnızca zorunlu alanlarla sınırlı kalmadan, yardımcı alanların da doğru ve eksiksiz biçimde tanımlanması, GTFS veri setinin bütünlüğü, sürdürülebilirliği

ve dijital ulaşım sistemlerine entegrasyonu açısından önemli katkılar sağlamaktadır. GTFS şemasına uygun şekilde hazırlanmış bir routes.txt dosyasının örnek satırı, Şekil 4.4'de ekran görüntüsü olarak sunulmuştur.



```
*agency.txt - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım Pencere Ekran Alıntısı
agency_id,agency_name,agency_url,agency_timezone,agency_lang,agency_phone,agency_email
sakarya_bb,Sakarya Büyükşehir Belediyesi,http://www.sakarya.bel.tr,Europe/Istanbul,tr,0264 289 30 00,ulasim@sakarya.bel.tr
St 2, Stn 101 110% Windows (CRLF) UTF-8
```

Şekil 4.4 : agency.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren txt ekran görüntüsü.

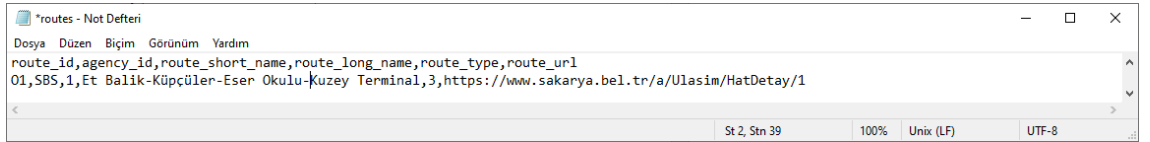
#### 4.2.3.2. Routes.txt

Bu dosya, GTFS veri setinde yer alan her bir toplu taşıma hattını tanımlamak amacıyla kullanılır ve seferlerin (trips.txt) ilgili hatla ilişkilendirilmesini sağlar. Dosyada her hat için benzersiz bir route\_id değeri kullanılmalı; bu kimlik sistemi içindeki tüm eşleşmelerin temelini oluşturmalıdır. Hatlara ait kısa isimler, güzergâh tanımları ve taşıma türleri gibi bilgiler, bu dosyada yapılandırılmış biçimde yer alır. routes.txt dosyasının alanları, zorunluluk derecelerine göre Tablo 4.2’de özetlenmiştir. Bu alanların doğru ve tutarlı biçimde girilmesi, hem sistem içi bütünlük hem de kullanıcı arayüzlerinde netlik sağlamak açısından önem taşımaktadır.

Bu dosya oluşturulurken özellikle route\_id alanına özen gösterilmelidir. Söz konusu alan, veri işleme, eşleştirme ve analiz süreçlerinde kritik bir tanımlayıcı niteliği taşımaktadır. Kullanıcı arayüzlerinde genellikle route\_short\_name bilgisi görünmekle birlikte, tüm sistem içi bağlantılar route\_id üzerinden kurulmaktadır. Bu nedenle route\_id değerlerinin sistematik ve tutarlı biçimde (örneğin otobus\_R5, minibus\_01 gibi) belirlenmesi önerilmektedir. Ayrıca route\_type alanının GTFS’de tanımlı olan sayısal kodlarla (örneğin otobüs için 3, tramvay için 0) doğru eşleştirilmesi gerekmektedir. GTFS şemasına uygun şekilde hazırlanmış bir routes.txt dosyasının örnek satırı, Şekil 4.5’te ekran görüntüsü olarak sunulmuştur.

Tablo 4.1 : routes.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları.

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
route_id	Evet	Her bir toplu taşıma hattını benzersiz olarak tanımlar. trips.txt dosyasındaki route_id ile ilişkilendirilir. Örn: R12, minibus_03.
agency_id	Hayır	Eğer agency.txt dosyasında birden fazla ajans varsa zorunludur. Bu hattın hangi ajansa ait olduğunu belirtir. agency.txt içindeki agency_id ile eşleşmelidir.
route_short_name	Evet	Yolcuların gördüğü kısa hat numarası ya da adı. Örn: 12, M3, EXP. Haritalarda ve tabelalarda genellikle bu bilgi yer alır.
route_long_name	Evet	Hattın başlangıç ve bitiş noktalarını ya da güzergahın tam tanımını verir. Örn: Donatım Terminali - Kampüs.
route_desc	Hayır	Hattın detaylı açıklamasını içerir. Örn: Hafta içi ekspres sefer, Yaz dönemi hattı. Yolcu bilgilendirme sistemlerinde kullanılabilir.
route_type	Evet	Taşıma türünü belirtir. Sayısal kodlarla ifade edilir. Örn: 3 → Otobüs. (Kod listesi aşağıda verildi.)
route_url	Hayır	Hatta özel bir sayfa varsa bu bağlantı girilir. Örn: http://sakarya.bel.tr/hatlar/12
route_color	Hayır	Hat için harita veya arayüzlerde kullanılacak renk kodu. RGB hex kodu girilir, başında # olmaz. Örn: FF0000 (kırmızı).
route_text_color	Hayır	route_color üzerinde görünmesi gereken yazının renk kodu. Genellikle 000000 (siyah) ya da FFFFFFFF (beyaz) seçilir.



Şekil 4.5 : routes.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren txt ekran görüntüsü.

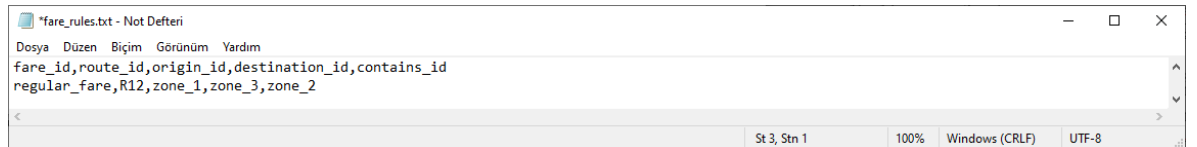
#### 4.2.3.3. Fare\_rules.txt

Bu dosya, GTFS veri setinde tanımlanan bilet ücretlerinin hangi koşullarda ve nerelerde geçerli olduğunu belirtmek için kullanılır. Asıl ücret bilgileri fare\_attributes.txt dosyasında yer alırken, fare\_rules.txt bu ücretlerin uygulanma kurallarını tanımlar. Özellikle bölgeye, kalkış-varış noktalarına veya belirli hatlara göre farklılaşan ücret tarifelerinin sistematik biçimde modellenmesi bu dosya aracılığıyla mümkün olmaktadır. Dosyada yer alan alanlar, zorunluluk durumlarına göre Tablo 4.3'te özetlenmiştir.

Tablo 4.3 : fare\_rules.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları.

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
fare_id	Evet	Ücret tarifesini tanımlar. fare_attributes.txt içindeki fare_id ile birebir eşleşir.
route_id	Hayır	Bu ücretin hangi hatta geçerli olduğunu belirtir. Belirtilirse, sadece o hat için geçerlidir.
origin_id	Hayır	Ücretin geçerli olduğu kalkış bölgesi ID'si. stops.txt içindeki zone_id ile eşleşir.
destination_id	Hayır	Ücretin geçerli olduğu varış bölgesi ID'si. stops.txt içindeki zone_id ile eşleşir.
contains_id	Hayır	Bu ücretin geçerli olduğu güzergah boyunca kapsanan bölge ID'si. Transit geçişler için kullanılır.

Bu dosya oluşturulurken bazı hususlara özellikle dikkat edilmelidir. Öncelikle, her fare\_id değeri mutlaka fare\_attributes.txt dosyasında tanımlanmış bir ücret satırıyla birebir eşleşmelidir; aksi takdirde sistemde geçersiz tanımlamalar oluşur. route\_id, origin\_id ve destination\_id gibi alanlar zorunlu olmamakla birlikte, yalnızca spesifik hatlara ya da bölgelere özel ücret tanımlamaları yapılacaksa kullanılmalıdır. Özellikle bölgeye göre farklı ücretlendirme, belirli hatlara özel tarifeler veya aktarma kuralları gibi durumlarda fare\_rules.txt dosyasının kullanımı zorunlu hâle gelir. Bu dosya, stops.txt içinde tanımlanan zone\_id alanlarıyla birlikte çalıştığı için, bölgesel ücret modelleri oluşturulurken her durağın doğru bölge kimliği ile etiketlenmiş olması da büyük önem taşımaktadır. GTFS şemasına uygun biçimde hazırlanmış örnek bir fare\_rules.txt satırı, dosya yapısının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla Şekil 4.6'da ekran görüntüsü olarak sunulmuştur.



Şekil 4.6 : fare\_rules.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.

#### 4.2.3.4. Fare\_attributes.txt

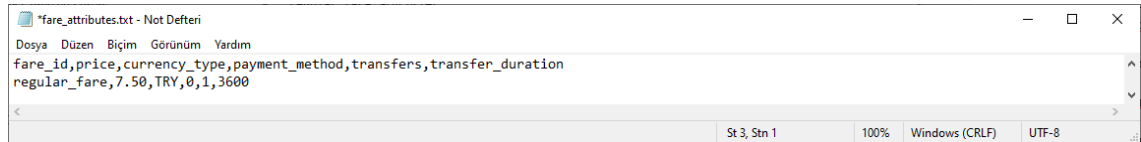
Bu dosya, toplu taşıma sisteminde kullanılan bilet türlerinin temel özelliklerini tanımlamak amacıyla kullanılır. Yolculuk ücretinin tutarı, para birimi, ödeme yöntemi,

aktarma sayısı ve süresi gibi bilgilerin standart formatta belirtilmesini sağlar. fare\_attributes.txt dosyası, fare\_rules.txt ile değerlendirilerek, hangi koşullarda hangi ücret tarifesinin uygulanacağını belirlemek için kullanılır. Dosyada yer alan alanlar ve açıklamaları Tablo 4.4’te verilmiştir:

Tablo 4.4 :fare\_attributes.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları.

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
fare_id	Evet	Ücreti benzersiz şekilde tanımlar. fare_rules.txt dosyasındaki fare_id ile eşleşmelidir.
price	Evet	Yolculuk ücretinin sayısal değeri. Ondalık ayraç olarak nokta (.) kullanılır. Örn: 7.50
currency_type	Evet	Para birimi. ISO 4217 kodları kullanılır. Türkiye için genelde TRY.
payment_method	Evet	Ücretin ne zaman ödendiğini belirtir: 0 → önceden (ör. kart), 1 → araç içinde.
transfers	Evet	Aktarma sayısı. Örn: 0 → aktarma yok, 1 → 1 aktarma, 2 → 2 aktarma, -1 → sınırsız.
transfer_duration	Hayır	Aktarma süresi (saniye cinsinden). Örn: 3600 → 1 saat boyunca aktarma geçerli.

Bu dosyanın oluşturulmasında bazı hususlara dikkat edilmelidir. Öncelikle, her fare\_id mutlaka fare\_rules.txt dosyasındaki karşılıkla birebir eşleşmelidir. payment\_method alanı yalnızca 0 (önceden ödeme) veya 1 (araç içi ödeme) değerlerini almalıdır. currency\_type alanında uluslararası geçerliliği olan ISO 4217 para birimi kodları (örn. TRY, USD, EUR) kullanılmalıdır. Ayrıca transfer\_duration alanı eğer girilecekse, transfers alanı da mutlaka tanımlanmalıdır; aksi takdirde aktarma süresi işlenemez hâle gelir. GTFS formatına uygun hazırlanmış örnek bir fare\_attributes.txt veri satırı, Şekil 4.7’de ekran görüntüsü olarak sunulmuştur.



Şekil 4.7 : fare\_attributes.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren txt dosyası ekran görüntüsü.

#### 4.2.3.5. Trips.txt

Bu dosya, belirli bir toplu taşıma hattına (route\_id) ait her bir seferin (trip) tanımlandığı temel yapıdır. Her trip, bir aracın gerçekleştirdiği tekil bir seferi temsil eder ve bu seferin ait olduğu hat, çalıştığı günler ve izlediği güzergâh gibi bilgiler bu dosyada yer alır. Ayrıca, seferin duraklara varış-kalkış saatlerini belirleyen stop\_times.txt dosyasıyla doğrudan ilişkilidir. trips.txt dosyasındaki alanlar, zorunluluk durumlarına göre Tablo 4.5'te özetlenmiştir.

Tablo 4.5 : trips.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları.

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
route_id	Evet	Seferin ait olduğu hattın kimliği. routes.txt dosyasındaki route_id ile eşleşmelidir.
service_id	Evet	Seferin çalıştığı günleri tanımlar. calendar.txt veya calendar_dates.txt dosyasındaki service_id ile eşleşir.
trip_id	Evet	Her bir seferi benzersiz tanımlar. stop_times.txt içinde bu ID ile eşleşme yapılır.
trip_headsign	Hayır	Yolculara gösterilecek, seferin varış yönünü (son durağı) belirten açıklama. Örn: Kampüs Yönü.
trip_short_name	Hayır	Sefer için kısa bir ad. Genelde gerek duyulmaz, ama özel numaralandırmalarda kullanılabilir.
direction_id	Hayır	Seferin yönünü belirtir: 0 ve 1 değerleri kullanılır. Gidiş-dönüş ayrımı yapmak için kullanılır.
block_id	Hayır	Aynı aracın birden fazla sefer yaptığı durumlarda kullanılır.
shape_id	Hayır	Seferin güzergâh çizgisini tanımlar. shapes.txt dosyasındaki shape_id ile eşleşir. Harita üzerinde rota çizimi için gereklidir.
wheelchair_accessible	Hayır	Seferin engelli erişimine uygunluğunu belirtir: 0 → bilinmiyor, 1 → erişilebilir, 2 → erişilemez.

Bu dosya hazırlanırken dikkat edilmesi gereken bazı temel noktalar bulunmaktadır. Her trip\_id değeri sistemde benzersiz olmalı ve stop\_times.txt dosyasında yer alan saat bilgileriyle doğrudan eşleşmelidir. route\_id ve service\_id alanlarının doğru ve tutarlı biçimde tanımlanması sistem içi veri eşleşmesini sağlar. Özellikle harita tabanlı uygulamalar için shape\_id alanının eksiksiz biçimde tanımlanması gereklidir. Seferlerin yön ayrımına ihtiyaç duyulduğu durumlarda ise direction\_id alanı mutlaka belirtilmelidir. GTFS formatına uygun hazırlanmış örnek bir trips.txt veri satırı Şekil 4.8'de ekran görüntüsü olarak sunulmuştur.



Şekil 4.8 : trips.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.

#### 4.2.3.6. Calendar.txt

Bu dosya, toplu taşıma hatlarının haftanın hangi günlerinde çalıştığını ve hangi tarihler arasında geçerli olduğunu tanımlar. Belirli bir service\_id ile tanımlanan hizmet takvimi, trips.txt dosyasındaki her bir seferle ilişkilendirilir. Böylece her seferin hangi günlerde çalıştığı sistem tarafından doğru şekilde yorumlanabilir. Özellikle düzenli çalışan hatlar için haftalık periyodik planlamayı belirtmek amacıyla bu dosya kullanılır. Calendar.txt dosyasındaki alanlar, zorunluluk durumlarına göre Tablo 4.6’da sunulmuştur:

Tablo 4.6 :calendar.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları.

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
service_id	Evet	Her hizmet programını tanımlayan benzersiz kimlik. trips.txt dosyasındaki service_id ile eşleşir.
monday	Evet	Pazartesi günü sefer varsa 1, yoksa 0 girilir.
tuesday	Evet	Salı günü için aynı mantık geçerlidir.
wednesday	Evet	Çarşamba günü için geçerlilik durumu.
thursday	Evet	Perşembe günü için geçerlilik durumu.
friday	Evet	Cuma günü için geçerlilik durumu.
saturday	Evet	Cumartesi günü için geçerlilik durumu.
sunday	Evet	Pazar günü için geçerlilik durumu.
start_date	Evet	Hizmetin başladığı tarih. Format: YYYYMMDD (örn: 20250101)
end_date	Evet	Hizmetin sona erdiği tarih. Format: YYYYMMDD (örn: 20250630)

Bu dosya yapılandırılırken bazı önemli hususlara dikkat edilmelidir. Öncelikle tüm tarihlerin YYYYMMDD formatında girilmesi zorunludur. Haftalık geçerlilik alanlarından (monday–sunday) en az birinin mutlaka 1 değeri alması gerekir; aksi hâlde o hizmet hiç çalışmıyor olarak değerlendirilir. calendar.txt genel hizmet programını tanımlarken, resmî tatiller, özel günler veya istisnai hizmet günleri gibi durumlar için

calendar\_dates.txt dosyası kullanılmalıdır. Ayrıca, her service\_id, trips.txt dosyasındaki bir veya daha fazla seferle ilişkilendirilerek sistemin zamanlamasını belirler. GTFS standardına uygun hazırlanmış bir calendar.txt örnek satırı, dosya yapısının daha iyi anlaşılması amacıyla Şekil 4.9'da ekran görüntüsü olarak sunulmuştur.

Şekil 4.9: calendar.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren txt dosyası ekran görüntüsü.

#### 4.2.3.7. Calendar\_dates.txt

Bu dosya, calendar.txt dosyasındaki genel hizmet takvimine ek olarak, istisnai durumları tanımlamak için kullanılır. Örneğin resmî tatillerde ek seferlerin konulması, belirli günlerde bazı seferlerin iptal edilmesi gibi durumlar bu dosya aracılığıyla belirtilir. Ayrıca, haftalık periyodik yapı gerektirmeyen, düzensiz çalışan sistemlerde calendar.txt kullanılmadan yalnızca calendar\_dates.txt ile hizmet günleri tanımlanabilir. calendar\_dates.txt dosyasındaki alanlar ve açıklamaları Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7 :calendar\_dates.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları.

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
service_id	Evet	Etkilenen hizmet kimliği. calendar.txt veya trips.txt dosyasındaki service_id ile eşleşmelidir.
date	Evet	İstisna uygulanacak tarih. Format: YYYYMMDD. Örn: 20250423
exception_type	Evet	İstisnanın türü: 1 → hizmet eklenir, 2 → hizmet kaldırılır.

Bu dosyanın hazırlanmasında bazı önemli noktalara dikkat edilmelidir. Öncelikle, date değeri her zaman YYYYMMDD formatında girilmelidir. exception\_type alanı yalnızca 1 (hizmet eklenir) ya da 2 (hizmet kaldırılır) değerlerini almalıdır. calendar.txt dosyası ile birlikte kullanıldığında, bu dosya tanımlı hizmet günlerine istisnai tarihler ekler veya mevcut günleri iptal eder. Ancak, sadece calendar\_dates.txt kullanıldığında, hizmet günlerinin tamamı bu dosya üzerinden kontrol edilir. Özellikle tatil günlerinde çalışan

özel hatlar, hafta sonu ek seferleri veya yaz dönemine özgü uygulamalar gibi durumların tanımlanmasında bu dosya kritik rol oynamaktadır. GTFS standardına uygun hazırlanmış bir calendar\_dates.txt örnek veri satırı Şekil 4.10’da ekran görüntüsü olarak sunulmuştur.



```
*calendar_dates.txt - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
service_id,date,exception_type
WKDY,20250423,2
WKDY,20250501,2
HOLIDAY,20250423,1
St 5, Strn 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Şekil 4.10 : calendar\_dates.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.

#### 4.2.3.8. Frequencies.txt

Bu dosya, bir seferin belirli bir zaman aralığında sabit aralıklarla tekrarlandığı durumlarda kullanılır. Özellikle sabit saatli değil, belirli frekanslarla çalışan toplu taşıma sistemlerinde -örneğin metro, tramvay veya ring tipi otobüs hatlarında- frequencies.txt sayesinde her bir seferin stop\_times.txt dosyasına elle girilmesine gerek kalmadan otomatik zaman çizelgeleri oluşturulabilir.

Veri girişi kolaylaşır, zaman tablosu üretimi sistematikleşir ve özellikle yoğun frekanslı hatlar için verimlilik sağlanır. Bu dosyada kullanılan alanlar ve açıklamaları Tablo 4.8’de sunulmuştur.

Bu dosya kullanılırken bazı teknik hususlara dikkat edilmelidir. frequencies.txt etkinleştirildiğinde, stop\_times.txt yalnızca bir temel seferi temsil eder; belirtilen zaman aralığında bu temel sefer, headway\_secs süresine göre tekrar edilir. start\_time ve end\_time değerleri arasında sistem otomatik olarak yeni sefer zamanları üretir. headway\_secs değeri ne kadar küçükse, sistem bu hattın o kadar sık çalıştığını varsayar.

Ayrıca exact\_times değeri 1 olarak ayarlandığında, seferler belirli zamanlara sabitlenir ve bu özellik gelişmiş yönlendirme veya planlama araçları tarafından desteklenir. GTFS standardına uygun olarak oluşturulmuş bir frequencies.txt örnek satırı, dosyanın yapısal görünümünü göstermek amacıyla Şekil 4.11’de ekran görüntüsü olarak sunulmuştur.

Tablo 4.8 :frequencies.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları.

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
trip_id	Evet	Tekrar eden seferin ait olduğu trip kimliği. trips.txt içindeki trip_id ile eşleşir.
start_time	Evet	Seferlerin başlamaya başladığı saat. Format: HH:MM:SS. Örn: 06:00:00
end_time	Evet	Seferlerin sonlandırıldığı saat. Bu saate kadar tekrar eder.
headway_secs	Evet	Seferler arasındaki süre (saniye cinsinden). Örn: 600 → 10 dakikada bir.
exact_times	Hayır	1 → tam zamanlara göre çalışır (gelişmiş uygulamalarda), 0 → tahmini. Varsayılan 0'dır.



Şekil 4.11 :frequencies.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.

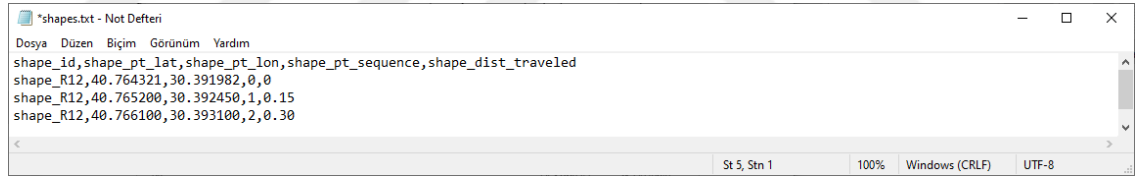
#### 4.2.3.9. Shapes.txt

Bu dosya, her bir toplu taşıma hattının veya seferin harita üzerindeki gerçek güzergâhını (polyline) tanımlamak amacıyla kullanılır. shapes.txt, duraklar arasında geçen yolun coğrafi koordinatlarını içererek, araçların izleyeceği rotanın harita üzerinde doğru bir şekilde görselleştirilmesini sağlar. GTFS veri setinde harita destekli planlama ve kullanıcı arayüzleri için kritik rol oynayan bu dosya, trips.txt dosyasındaki shape\_id alanı üzerinden her seferle eşleştirilir. shapes.txt dosyasındaki alanlar ve açıklamaları aşağıda Tablo 4.9'da özetlenmiştir. Bu dosya yapılandırılırken bazı teknik detaylara dikkat edilmelidir. Her shape\_id, trips.txt dosyasındaki bir seferle birebir eşleşmeli ve aynı güzergâhı tanımlamalıdır. Harita üzerinde düzgün bir çizgi elde edilebilmesi için shape\_pt\_sequence değerleri sıralı ve tutarlı olmalıdır. Opsiyonel olan shape\_dist\_traveled alanı, özellikle stop\_times.txt dosyasında mesafe bazlı varış süresi hesaplaması yapılacaksa kullanılmalıdır.

Tablo 4.9 : shapes.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları.

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
shape_id	Evet	Güzergâh çizgisine ait benzersiz kimlik. trips.txt içindeki shape_id ile eşleşir.
shape_pt_lat	Evet	Güzergâhın geçtiği noktanın enlem (latitude) değeri. Ondalık formatta yazılır.
shape_pt_lon	Evet	Güzergâhın geçtiği noktanın boylam (longitude) değeri.
shape_pt_sequence	Evet	Güzergâh çizgisi üzerindeki noktaların sırası. Küçükten büyüğe sıralanmalıdır (örneğin: 0, 1, 2, 3...).
shape_dist_traveled	Hayır	Başlangıç noktasından itibaren ölçülen kümülatif mesafe (metre cinsinden, km için ondalıklı). Opsiyonel ama stop_times.txt ile mesafe bazlı zaman hesaplamasında kullanılabilir.

Son olarak, tanımlanan koordinatların gerçek yol yapısıyla uyumlu olup olmadığını kontrol etmek için Google Maps veya benzeri CBS yazılımları kullanılarak doğrulama yapılması önerilir. GTFS şemasına uygun biçimde yapılandırılmış örnek bir shapes.txt satırı, dosyanın nasıl çalıştığını göstermek amacıyla ekran görüntüsü olarak Şekil 4.12’de sunulmuştur.



```

*shapes.txt - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
shape_id,shape_pt_lat,shape_pt_lon,shape_pt_sequence,shape_dist_traveled
shape_R12,40.764321,30.391982,0,0
shape_R12,40.765200,30.392450,1,0.15
shape_R12,40.766100,30.393100,2,0.30
    
```

Şekil 4.12 :shapes.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.

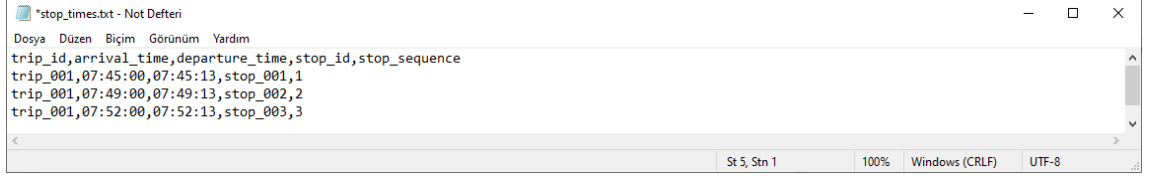
#### 4.2.3.10. Stop\_times.txt

Bu dosya, her bir seferin (trip\_id) geçtiği durakları, bu duraklara varış ve kalkış saatlerini, durak sırasını ve isteğe bağlı olarak yolcu alış/iniş kurallarını içerir. Toplu taşıma sisteminin zaman çizelgesi altyapısını oluşturur. stop\_times.txt, hem yolculuk zamanlamasının hem de kullanıcı bilgilendirme sistemlerinin temelini oluşturmakta; rota planlama, haritalama ve güzergâh değerlendirme işlemlerinde kritik rol üstlenmektedir. stop\_times.txt dosyasındaki alanlar ve açıklamaları aşağıda Tablo 4.10’de sunulmuştur.

Tablo 4.10 : stop\_times.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları.

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
trip_id	Evet	Seferin kimliği. trips.txt dosyasındaki trip_id ile eşleşir.
arrival_time	Evet	Durağa varış zamanı. Format: HH:MM:SS. Örn: 07:45:00.
departure_time	Evet	Durağın terk edildiği saat. Genellikle arrival_time ile aynıdır; durakta bekleme süresi varsa farklı olabilir.
stop_id	Evet	Geçilen durağın kimliği. stops.txt içindeki stop_id ile eşleşmelidir.
stop_sequence	Evet	Durağın seferdeki sırası. 1'den başlar ve artarak gider.
stop_headsign	Hayır	O durağa özel yön bilgisi. Genelde gerek duyulmaz.
pickup_type	Hayır	Durağa yolcu alınır mı? 0: alınır, 1: alınmaz.
drop_off_type	Hayır	Durağa yolcu indirilir mi? 0: indirilir, 1: indirilmez.
shape_dist_traveled	Hayır	Seferin bu durağa kadar aldığı toplam mesafe (km cinsinden ondalıklı sayı). shapes.txt ile uyumlu olmalıdır.

Bu dosya hazırlanırken bazı teknik kurallara uyulması gerekir. arrival\_time ve departure\_time alanlarının 24 saatlik zaman formatında ve mutlaka HH:MM:SS biçiminde yazılması zorunludur. Her bir trip\_id için en az iki durak (stop\_sequence) bulunmalı, aksi hâlde sefer geçerli sayılmaz. stop\_id değerlerinin, stops.txt dosyasında tanımlı duraklarla birebir uyumlu olması gerekir. Toplam seyahat süresi, doğruluk ve mantıksal tutarlılık açısından GTFS validator araçlarıyla test edilmelidir. Eğer zaman hesaplamaları sabit hız ve mesafe üzerinden yapılıyorsa, shape\_dist\_traveled alanı kullanılmalı ve bu değerler shapes.txt dosyasındaki koordinat verileriyle tutarlı olmalıdır. GTFS standardına uygun hazırlanmış bir calendar\_dates.txt örnek veri satırı Şekil 4.13'de ekran görüntüsü olarak sunulmuştur.



```
*stop_times.txt - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
trip_id,arrival_time,departure_time,stop_id,stop_sequence
trip_001,07:45:00,07:45:13,stop_001,1
trip_001,07:49:00,07:49:13,stop_002,2
trip_001,07:52:00,07:52:13,stop_003,3
St 5, Strn 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Şekil 4.13 : calendar\_dates.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren txt dosyası ekran görüntüsü.

#### 4.2.3.11. Stops.txt

Bu dosya, toplu taşıma sistemine ait tüm durakları tanımlamak için kullanılır. Tanımlanan duraklar otobüs durakları, metro istasyonları, aktarma merkezleri, feribot iskeleleri veya istasyon giriş/çıkış noktaları olabilir. Her durak için benzersiz bir stop\_id, açık bir isim (stop\_name) ve coğrafi koordinatlar (stop\_lat, stop\_lon) gibi temel bilgiler girilir. Bu bilgiler sayesinde hem yolcu bilgilendirme sistemleri doğru şekilde çalışır hem de seferlerin hangi duraklara uğrayacağı netleştirilmiş olur. stop\_times.txt dosyasındaki her durak satırının, bu dosyada tanımlanmış bir stop\_id'ye referans vermesi zorunludur. stops.txt dosyasında kullanılan alanlar ve açıklamaları aşağıda Tablo 4.11'de sunulmuştur.

Bu dosya yapılandırılırken bazı teknik kurallara dikkat edilmelidir. Her stop\_id değeri benzersiz olmalı ve stop\_times.txt dosyasındaki referanslarla birebir uyumlu olmalıdır. stop\_lat ve stop\_lon değerleri hatalı girildiğinde rota haritaları bozulur veya durak konumu yanlış görüntülenir. stop\_name bilgisi, kullanıcı arayüzlerinde doğrudan gösterileceği için sade, tutarlı ve anlaşılır bir şekilde yazılmalıdır. location\_type ve parent\_station alanları genellikle çok duraklı istasyon komplekslerinde kullanılırken, tekil duraklar için gerekli değildir. Ücret bölgeleri söz konusuysa, zone\_id alanı dikkatle tanımlanmalı ve fare\_rules.txt dosyasıyla uyumlu olmalıdır.

Dosya yapısının uygulamadaki görünümünü göstermek amacıyla oluşturulmuş bir stops.txt örnek veri satırı, Şekil 4.13'de ekran görüntüsü olarak sunulmuştur.

Tablo 4.11 :stops.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
stop_id	Evet	Her durağı benzersiz tanımlayan kimlik. stop_times.txt içinde referans verilir.
stop_name	Evet	Durağın adı. Yolculara gösterilir. Örn: Donatım Terminali, İtfaiye.
stop_lat	Evet	Durağın enlem (latitude) bilgisi. Ondalık formatta yazılır. Örn: 40.765321.
stop_lon	Evet	Durağın boylam (longitude) bilgisi. Örn: 30.391982.
location_type	Hayır	0: durak (varsayılan), 1: istasyon, 2: giriş/çıkış noktası vb.
parent_station	Hayır	Eğer bu durak bir istasyonun alt parçasıysa, üst istasyonun stop_id değeri girilir.
zone_id	Hayır	Ücret bölgesi kimliği. fare_rules.txt ile birlikte çalışır.
stop_code	Hayır	Durağın dış sistemlerdeki kısa kodu.
wheelchair_boarding	Hayır	0: bilinmiyor, 1: erişilebilir, 2: erişilemez. Engelli erişimi için kullanılır.

```

*stops.txt - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
stop_id,stop_name,stop_lat,stop_lon
stop_001,Donatım Terminali,40.771304,30.391330
stop_002,Kent Park,40.770478,30.390477
stop_003,İtfaiye,40.765914,30.387928

```

Şekil 4.14 :stops.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.

#### 4.2.3.12. Transfers.txt

Bu dosya, yolcuların bir duraktan başka bir durağa aktarma yapabilme kurallarını tanımlamak için kullanılır. Özellikle toplu taşıma sistemlerinde duraklar arası geçişlerin süresi, tipi ve geçerliliği gibi bilgileri düzenleyerek rota planlama algoritmalarının daha gerçekçi ve kullanıcı dostu çalışmasına katkı sağlar. Örneğin aynı istasyon içinde farklı peronlara geçiş süresi, otobüsten metroya aktarma veya iki otobüs hattı arasında geçiş kısıtlamaları bu dosya ile modellenebilir, transfers.txt dosyasındaki alanlar ve açıklamaları aşağıda Tablo 4.12’de sunulmuştur:

Tablo 4.12 :transfers.txt dosyasına ait alanlar ve açıklamaları.

Alan Adı	Zorunlu	Açıklama
from_stop_id	Evet	Aktarmanın başladığı durak. stops.txt içindeki stop_id ile eşleşir.
to_stop_id	Evet	Aktarmanın hedef durak noktası. Yani yolcunun geçeceği ikinci durak.
transfer_type	Evet	Aktarma tipi: 0: serbest geçiş 1: minimum süre gerekli 2: aktarma yok 3: sadece belirli seferler arası geçiş transfer_type = 1 ise zorunlu.
min_transfer_time	Hayır	Saniye cinsinden minimum geçiş süresi. Örn: 300 saniye → 5 dakika

Bu dosya yapılandırılırken aşağıdaki teknik kurallara dikkat edilmelidir. from\_stop\_id ve to\_stop\_id alanlarının her biri, stops.txt dosyasında tanımlanmış durak kimlikleriyle birebir eşleşmelidir. transfer\_type = 1 olarak tanımlandığında, min\_transfer\_time alanı zorunlu hâle gelir; aksi hâlde GTFS doğrulayıcı araçlarında hata oluşur. Bu dosya, özellikle otobüs–tramvay bağlantıları, havalimanı istasyonlarındaki peron geçişleri veya kompleks aktarma merkezlerinde kullanıcı deneyimini doğru modellemek adına önemlidir. Yanlış veya eksik transfer tanımları, rota planlama motorlarında hatalı süre tahminlerine ve yönlendirme sorunlarına yol açabilir. GTFS standardına uygun biçimde hazırlanmış bir transfers.txt örnek satırı, yapının daha iyi anlaşılması amacıyla Şekil 4.15’de ekran görüntüsü olarak sunulmuştur.

```

transfers - Not Deferri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
from_stop_id,to_stop_id,transfer_type,min_transfer_time
stop_001,stop_002,1,300
stop_003,stop_004,0,
stop_005,stop_006,2,
St 1, Stn 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

```

Şekil 4.15 :transfers.txt dosyasına ait örnek veri satırını gösteren .txt dosyası ekran görüntüsü.

GTFS sisteminin temel bileşenleri detaylı bir şekilde açıklanarak, veri mimarisinin yapısal bütünlüğü ve işleyiş mantığı ortaya konmuştur. Her bir .txt dosyasının işlevi,

sistem içindeki diğer dosyalarla kurduğu ilişki ve veri akışındaki rolü tanımlanarak, standartlaştırılmış toplu taşıma verisinin nasıl modellenebileceği somut biçimde gösterilmiştir. Bu yapı, yalnızca veri paylaşımında şeffaflığı sağlamakla kalmamakta; aynı zamanda karar destek sistemlerinden yolcu bilgilendirme platformlarına kadar uzanan geniş bir uygulama yelpazesine hizmet etmektedir. GTFS'nin bu bütüncül mimarisi, dijital dönüşüm yolundaki şehirler için teknik bir temel değil, aynı zamanda erişilebilirlik, verimlilik ve sürdürülebilirlik ilkelerini önceleyen stratejik bir altyapı sunmaktadır.

### **4.3. Veri Doğrulama: GTFS Validator ile Uyum Testi**

Bu bölümde, GTFS veri akışı ve modelleme süreci, öncelikle Sakarya Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen toplam 36 aktif şehir içi otobüs hattı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın temel amacı doğrultusunda, GTFS mimarisinin yerel ölçekte uygulanabilirliğini göstermek ve veri dönüşüm sürecine dair tüm aşamaları örneklere uygun bir çerçevede detaylandırmak adına, 12-AR numaralı güzergâh pilot uygulama olarak seçilmiştir. 2025 yılı Mart ayı itibarıyla aktif olarak hizmet veren bu hattın verileri esas alınarak, saha çalışmaları, veri toplama yöntemleri, ön işleme adımları ve GTFS formatına dönüştürme süreci adım adım açıklanmıştır.

Bu uygulamanın ardından, Sakarya'daki tüm otobüs hatlarına ait veri setleri benzer biçimde GTFS standartları çerçevesinde yapılandırılmış ve MobilityData GTFS doğrulayıcı aracı kullanılarak doğrulama sürecine tabi tutulmuştur. Biçimsel hatalar, eksik sütunlar, zamanlama tutarsızlıkları ve geometri uyumsuzlukları gibi unsurlar validator raporlarında tespit edilmiş; her bir sorun, ilgili GTFS dosyalarında gerekli düzenlemeler yapılarak düzeltilmiştir. Bu titiz doğrulama süreci sonucunda, GTFS şemasına tam uyumlu, hatasız ve sürdürülebilir kullanıma uygun bir veri seti oluşturulmuştur. Sakarya'da aktif olarak hizmet veren tüm şehir içi otobüs hatlarının listesi ise Tablo 4.13'te ayrıntılı şekilde sunulmuştur.

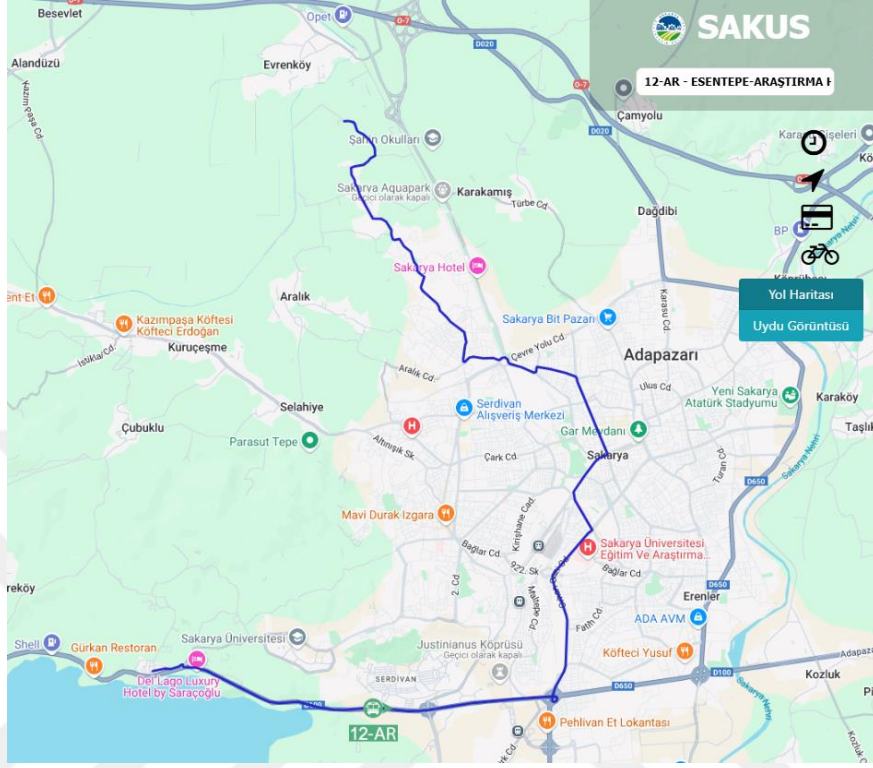
Tablo 4.13 :Sakarya Büyükşehir Belediyesi Otobüs Hatları Listesi

Hat No	Hat Adı
1	Sakarya Park - K�p��ler - Kuzey Terminal
2	Gar Meydanı - Hızır İlyas
3	Demokrasi Meydanı - Yeşiltepe - Yeni Terminal
4	Kampüs – Sakaryapark
5	Gar Meydanı - Dörtyol - Beşköprü - Kampüs
6	Gar Meydanı - 32 Evler - Beşköprü - Kampüs
7	Demokrasi Meydanı - Yıldıztepe - Yeni Terminal
9A	Maltepe - Ozanlar - Yazlık
9B	Maltepe - Őeker - Yazlık
11	Sgm - Hızırtepe - Etbalık
12	Yazlık - Kampüs - Esentepe
12-AR	Esentepe - Araştırma Hastanesi - Yazlık
14	Gar Meydanı - Lojmanlar - Yazlık
15	Kampüs - Yeni Sakarya Atatürk Stadyumu
16	Güneşler - Adatıp Hast. - Őimřek Evler
17	Zirai Alet. San. - Adatıp Hast. - Yıldız
18	Sakarya Park - Hacıoğlu - Kampüs
19K	Ofis Garaj - �ark - Serdivan Sivritepe Turnike
20	Ofis Garaj - Altınova - 32 Evler - Kampüs
20A	Ofis Garaj - Serdivan - Beşköprü
21C	Unkapamı - S. Zaim Bulvarı - Karaman
21D	Unkapamı (671 Sk) - İkiızce Girişi - Karaman
21K	Karaman - Kampüs Ekspres
22C	Ofis Garaj - Unkapamı - Ozanlar - Camili 1
22D	Ofis Garaj - S. Kırtepe Cad. - Camili 1
22K	Camili 1/2 - Kampüs Ekspres
23	Ofis Garaj - Camili 2
24	Ofis Garaj - Toki - Korucuk
24İ	Yenikent İç Hat
24K	Korucuk - Kampüs
25	Baytur İdealkent - Ofis Garaj
26	Kent Meydanı - Toyota H. - Kampüs
27	Ofis Garaj - Atso Evleri - Kampüs
28	Kuzey Terminal - Yeni Terminal
29	Yeni Terminal - Kampüs
30	İhsaniye Garaj - Göktepe - Söğütlü - Ferizli

#### 4.3.1. 12-AR hattı GTFS dosyası oluşturma süreci

Bu bölümde, Sakarya Büyükşehir Belediyesi'ne ait 12-AR numaralı Esentepe – Araştırma Hastanesi – Yazlık hattı için 2025 yılı mart ayına ait veriler temel alınarak, GTFS veri dosyalarının oluşturulma süreci örnek olarak sunulmuştur. Bu  rnek çalışma, diğer 35 hat için de uygulanan dönüşüm adımlarının sistematik bir özetini temsil etmesi açısından tercih edilmiştir. Hatlara ilişkin güzergâh, durak ve sefer bilgileri SAKUS mobil/web uygulaması üzerinden temin edilmiş, elde edilen bilgiler doğrultusunda GTFS

şemasına uygun dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.16’da, SAKUS uygulamasında 12-AR hattının izlediği rotayı gösteren ekran görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 4.16 :SAKUS mobil uygulamasında 12-AR hattının güzergâhını gösteren örnek ekran görüntüsü.

İlk adımda GTFS şemasına uygun olarak hazırlanan agency.txt dosyasında, Sakarya’daki toplu taşıma sisteminin sağlayıcısı olan kurum bilgileri yapılandırılmıştır. Bu kapsamda, ajansa ait agency\_id olarak "SBB" tanımı yapılmış ve bu kimlik, veri setindeki diğer dosyalarla ilişkilendirme amacıyla kullanılmıştır. agency\_name alanında, hizmet sağlayıcı olarak "Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı" ifadesi yer almakta; kullanıcıların ve uygulamaların ajansı açık biçimde tanıyabilmesini sağlamaktadır. agency\_url alanında kurumun resmî web adresi olan <https://sakarya.bel.tr> belirtilmiş, böylece dijital erişilebilirlik desteklenmiştir. agency\_timezone alanı "Europe/Istanbul" olarak tanımlanmış ve zamanlama işlemlerinde sistemin doğru çalışması güvence altına alınmıştır. Ayrıca, agency\_lang alanında "tr" (Türkçe) kodu girilmiş, bu sayede kullanıcı arayüzlerinin dil tercihi belirlenmiştir. agency\_phone ve agency\_email alanlarına sırasıyla +90 264 211 11 00 ve [ulasim@sakarya.bel.tr](mailto:ulasim@sakarya.bel.tr) bilgileri eklenerek, yolcuların destek alabileceği resmî iletişim kanalları açık biçimde

tanımlanmıştır. Bu açıklamalara karşılık gelen agency.txt veri satırı, aşağıdaki Tablo 4.14’de sunulmuştur.

Tablo 4.14 :12-AR hattına ait agency.txt satırı.

Satır Adı	Açıklamalar
agency_id	SBB
agency_name	Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı
agency_url	https://sakarya.bel.tr
agency_timezone	Europe/Istanbul
agency_lang	tr
agency_phone	+90 264 211 11 00
agency_email	ulasim@sakarya.bel.tr

İkinci adımda Sakarya’daki toplu taşıma sisteminde sabit ücret uygulaması geçerli olduğundan, hatlar arasında herhangi bir ücret farklılığı bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, GTFS fare\_rules.txt dosyasında tüm rotalar için geçerli olacak şekilde yalnızca tek bir ücret tanımı yapılmıştır. Daha önce oluşturulan fare\_attributes.txt dosyasında tanımlanan sabit ücret bilgisiyle uyumlu biçimde, şehirdeki tüm toplu taşıma hatlarına ait route\_id değerleri ortak bir fare\_id olan "F1" ile eşleştirilmiştir. Sakarya ilinde bölgesel ücretlendirme sistemi (zone-based fare) uygulanmadığı için origin\_id, destination\_id ve contains\_id gibi alanlar boş bırakılarak dosya sade, yalın ve işlevsel bir yapıda oluşturulmuştur. Bu yapı, GTFS şemasına uygun olarak dijital veri setine entegre edilmiş, doğrulama araçları kullanılarak test edilmiş ve yapısal bütünlüğü başarıyla sağlanmıştır. Bu düzenlemeye karşılık gelen fare\_rules.txt satırı aşağıdaki Tablo 4.15’te sunulmuştur.

Tablo 4.15 : 12-AR hattına ait fare\_rules.txt satırı.

Satır Adı	Açıklamalar
fare_id	F1
route_id	12AR

Devamında yapılan görüşmeler sonucunda, Sakarya genelinde sabit ücret uygulamasının geçerli olduğu ve tüm yolculuklar için tek bir tarifenin uygulandığı tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, fare\_attributes.txt dosyasında kullanılmak üzere fare\_id değeri "F1" olarak tanımlanmıştır. Belirlenen bu ücret yapısı kapsamında ilgili satıra karşılık gelen ücret miktarı (price), para birimi (currency\_type), ödeme yöntemi (payment\_method) ve

aktarma hakkı (transfers) gibi alanlar, GTFS şemasının gerekliliklerine uygun biçimde yapılandırılmıştır. Ödeme yönteminin araç içi yapıldığı belirtilerek payment\_method = 1 girilmiş; aktarma hakkı tanımlanmadığı için transfers alanına "0" değeri verilmiştir. Ayrıca, currency\_type alanında Türkiye Cumhuriyeti para birimi olan "try" (ISO 4217 kodu) kullanılmıştır. Tüm zorunlu alanlar eksiksiz ve tutarlı biçimde doldurularak, fare\_attributes.txt dosyası GTFS formatına uygun şekilde oluşturulmuş ve dijital veri setine entegre edilmiştir. Bu yapıya karşılık gelen fare\_attributes.txt veri satırı aşağıdaki tablo 4.16’da sunulmuştur.

Tablo 4.16 :12-AR hattına ait fare\_attributes.txt satırı

Satır Adı	Açıklamalar
fare_id	F1
price	13,60
currency_type	try
payment_method	1
transfers	0

Devamında routes.txt dosyası kapsamında, 12-AR numaralı otobüs hattına ait hat bilgileri yapılandırılmıştır. Her hat için benzersiz bir route\_id tanımlanmış olup, bu örnekte “12AR” değeri kullanılmıştır. Hat, Sakarya Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı olduğundan agency\_id olarak “SBB” atanmıştır. route\_short\_name alanında hattın kısa adı olan “12-AR” yer almakta, route\_long\_name alanında ise hattın tam güzergâh tanımı olan “Esentepe - Araştırma Hastanesi - Yazlık” bilgisi bulunmaktadır. route\_type değeri olarak, kara yolu ile çalışan şehir içi otobüsleri tanımlayan “3” kodu kullanılmıştır. Bu yapı, GTFS standardına uygun biçimde hem kısa hem uzun hat tanımlarını sağlayarak yön bulma ve kullanıcı bilgilendirme sistemlerinde uyumlu bir veri sunmaktadır. GTFS şemasına uygun bir yapı elde edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda oluşturulan trips.txt veri satırları aşağıdaki Tablo 4.17’de sunulmuştur.

Tablo 4.17: 12-AR hattına ait routes.txt satırları.

Satır Adı	Açıklamalar
route_id	12AR
agency_id	SBB
route_short_name	12-AR
route_long_name	Esentepe - Araştırma Hastanesi
Route_type	3

Ardından trips.txt dosyası kapsamında, 12-AR numaralı otobüs hattına ait sefer bilgileri yapılandırılmıştır. Hattın haftanın yedi günü çalıştığı dikkate alınarak, tüm seferler için ortak bir service\_id olan "everyday" değeri kullanılmıştır. Gün içerisinde gerçekleştirilen her bir sefer, benzersiz bir trip\_id ile tanımlanmış ve bu tanımlar sefer saatlerine göre sistematik olarak oluşturulmuştur (örn. 12AR\_0650, 12AR\_0740, ..., 12AR\_2120). Her trip\_id daha sonra stop\_times.txt dosyasındaki varış-kalkış saatleriyle eşleştirileceği için bu tanımlar veri bütünlüğü açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca her sefer, rota geometrisini tanımlayan "S12AR" adlı bir shape\_id ile ilişkilendirilmiştir. Böylece, hem zamansal hem de mekânsal boyutları tanımlı, GTFS şemasına uygun bir yapı elde edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda oluşturulan trips.txt veri satırları aşağıdaki Tablo 4.18'de sunulmuştur.

Tablo 4.18:12-AR hattına ait trips.txt satırları

Satır Adı	Açıklamalar
route_id	12AR
service_id	everyday
trip_id	12AR_0650
	12AR_0740
	...
shape_id	12AR_2120
	S12AR

12-AR hattına ait seferlerin haftanın yedi günü çalıştığı bilgisine dayanarak, calendar.txt dosyası kapsamında service\_id değeri "everyday" olarak tanımlanmıştır. Bu tanım sayesinde, ilgili trip\_id değerlerinin tamamı haftalık periyotta geçerli hâle getirilmiş ve sistemin zamanlama yapısı netleştirilmiştir. Haftalık gün tanımları içinde pazartesiden pazara kadar tüm günlerde "1" değeri verilmiş; böylece seferlerin her gün aktif olduğu belirtilmiştir.

Ayrıca, hizmetin geçerli olduğu tarih aralığı 1 Mart 2025 (start\_date: 20250301) ile 31 Mart 2025 (end\_date: 20250331) olarak belirlenmiş, bu tarihsel kapsam doğrultusunda veri doğruluğu sağlanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda oluşturulan trips.txt veri satırları aşağıdaki Tablo 4.19'de sunulmuştur.

Tablo 4.19 :12-AR hattına ait calendar.txt satırı.

Satır Adı	Açıklamalar
service_id	everyday
monday	1
tuesday	1
wednesday	1
thursday	1
friday	1
saturday	1
sunday	1
start_date	20250301
end_date	20250331

GTFS veri setinin oluşturulması sürecinde, frequencies.txt dosyasının kullanımı değerlendirilmiş ve 12-AR numaralı hattın işletme yapısı dikkate alınmıştır. GTFS şemasında bu dosya genellikle belirli bir zaman aralığında sabit sıklıkla çalışan hatlar için (örneğin metro, tramvay, ring otobüsleri) kullanılmaktadır. Ancak yapılan analiz sonucunda, 12-AR hattının frekansa dayalı değil; önceden belirlenmiş kalkış saatlerine dayalı (timetable-based) olarak çalıştığı belirlenmiştir. Bu nedenle hattın sefer bilgileri, her kalkış saatine karşılık gelen varış ve kalkış zamanlarıyla birlikte stop\_times.txt dosyasında tanımlanmış; frequencies.txt dosyasına ihtiyaç duyulmamıştır. Bu tercih, GTFS veri setinin sade, gereksiz dosya yükünden arındırılmış ve amacına uygun bir yapıda oluşturulmasını sağlamış; aynı zamanda şema bütünlüğü ve veri tutarlılığı korunmuştur.

GTFS veri seti kapsamında shapes.txt dosyasının hazırlanabilmesi için, öncelikle 12-AR numaralı hattın rotasına ait güzergâh verilerine erişim sağlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla SAKUS platformu incelenmiş; ancak platformun kapalı veri mimarisi nedeniyle doğrudan koordinat verilerine ulaşmak mümkün olmamıştır. Bu durum karşısında, alternatif bir yöntem izlenerek hattın Esentepe – Araştırma Hastanesi – Yazlık güzergâhı Google Earth yazılımı aracılığıyla manuel olarak işaretlenmiş ve harita üzerinde dijital güzergâh çizgisi oluşturulmuştur. Dışa aktarılan çizim yaklaşık 482 adet koordinat noktasından oluşmuş; bu noktalar, GTFS şemasında tanımlı sıralama mantığına (shape\_pt\_sequence) uygun biçimde sıralanarak shapes.txt dosyasına aktarılmıştır. Her bir nokta, "S12AR" adlı bir shape\_id altında tanımlanmış ve ilgili koordinatlar shape\_pt\_lat ile shape\_pt\_lon alanlarına girilmiştir. Shapes.txt dosyasına ait ilk ve son

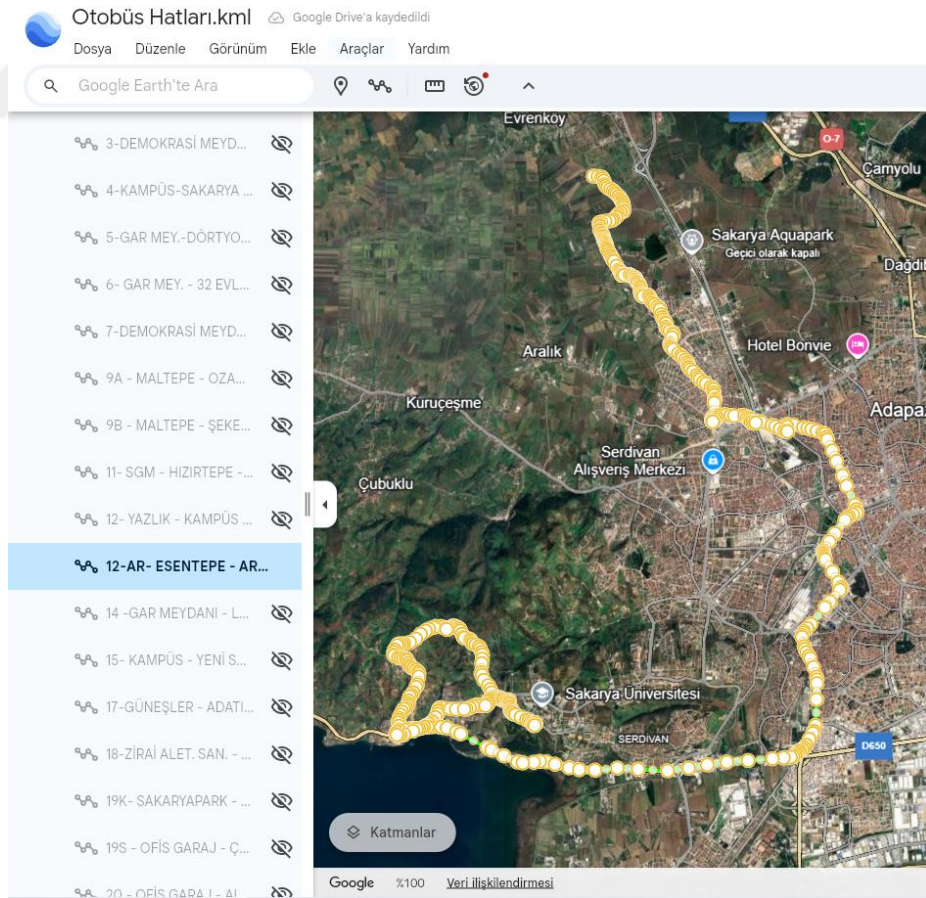
veri satırları aşağıdaki Tablo 4.20 ve Tablo 4.21’de verilmiştir. Ayrıca, Google Earth Pro yazılımını kullanarak oluşturulan bu güzergâh çizimi aşağıdaki Şekil 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.20 :12-AR hattına ait shapes.txt dosyasının 1. Satırını.

Satır Adı	Açıklamalar
shape_id	S12AR
shape_pt_lat	40,82531061
shape_pt_lon	30,34052997
stop_sequence	1

Tablo 4.21 :12-AR hattına ait shapes.txt dosyasının 482. satırını.

Satır Adı	Açıklamalar
shape_id	S12AR
shape_pt_lat	40,73945083
shape_pt_lon	30,30094081
stop_sequence	482



Şekil 4.17 :12-AR hattının Google Earth Pro üzerinden belirlenen güzergâh çizimi ekran görüntüsü.

GTFS veri setinin en kritik bileşenlerinden biri olan stop\_times.txt dosyasının hazırlanması sürecinde, SakaryaKart elektronik biletleme (AFC - Automatic Fare Collection) sisteminden elde edilen Eylül 2023 tarihli validasyon verileri temel alınmıştır. Bu kapsamda, 12-AR numaralı hat özelinde haftanın tüm günlerinde gerçekleştirilen yolcu binişleri durak bazında gruplanarak analiz edilmiştir. Her sefer için ilk kart okuma, hattın başlangıç zamanını; son kart okuma ise seferin o duraktaki son biniş anını temsil edecek şekilde değerlendirilmiştir. Bu veri temelli yaklaşım sayesinde, ilk durağa ulaşım süresi ve duraklarda bekleme süresi (dwell time) yolcu davranışlarına dayalı olarak türetilmiştir. İki durak arasında gerçekleşen en erken ve en geç kart okuma çiftleri karşılaştırılarak, duraklar arası gerçek seyahat süreleri hesaplanmıştır. Elde edilen zaman serileri, önceden oluşturulan shapes.txt dosyasındaki kümülatif mesafe (distance\_m) verileriyle birleştirilmiş; her bir kalkış için kesin varış (arrival\_time) ve kalkış (departure\_time) saatleriyle birlikte mesafe bilgisi de hesaplanarak stop\_times.txt dosyasına işlenmiştir. Bu metodoloji yalnızca 12-AR hattıyla sınırlı kalmayıp, proje kapsamında değerlendirilen tüm toplu taşıma hatlarına genellenmiş; her biri için gerçek yolculuk paternlerini yansıtan süre ve mesafe temelli bütüncül ve tutarlı stop\_times.txt dosyaları oluşturulmuştur. Elde edilen bu yapı, hem yolcu davranışlarını temel alan zamansal doğruluğu hem de durak koordinatlarına bağlı mekânsal hassasiyeti sayesinde CBS tabanlı analizlerde yüksek doğrulukla kullanılabilir niteliktedir. Bu kapsamda, stop\_times.txt dosyasına ait olarak 1. ve 545. satırlar aşağıdaki Tablo 4.22 ve Tablo 4.23'de sunulmuştur.

Tablo 4.22 :12-AR hattına ait stop\_times.txt dosyasının 1. satırı.

Satır Adı	Açıklamalar
trip_id	12AR_0650
stop_sequence	2
stop_id	61598-6
stop_name	Bahriyeli Cad-1
arrival_time	06:52:11
departure_time	06:52:24
distance_m	824.2

Tablo 4.23 :12-AR hattına ait stop\_times.txt dosyasının 545. satırı.

Satır Adı	Açıklamalar
trip_id	12AR_2120
stop_sequence	68
stop_id	61593-11
stop_name	Akgün Sokak
arrival_time	22:38:26
departure_time	22:39:38
distance_m	27135.3

Ardından stops.txt dosyası kapsamında tanımlanan duraklar, 12-AR numaralı hattın Esentepe'den başlayarak Araştırma Hastanesi ve Yazlık bölgelerine kadar uzanan güzergâhında yer almaktadır. Bu dosyada toplam 68 durak tanımlanmış olup, her bir durak benzersiz bir stop\_id, açık bir stop\_name, ve coğrafi koordinat bilgileri olan stop\_lat (enlem) ve stop\_lon (boylam) değerleri ile temsil edilmiştir. Dosyanın 1. satırında yer alan "Bahriyeli Cad-2" durağı (stop\_id: 61598-16), hattın başlangıç noktalarından biri olup 40.82573491 enlemi ve 30.34060011 boylamı ile kuzeydoğuda konumlanmaktadır. 19. satırda yer alan "Donanma Sokak" durağı (stop\_id: 61522-20) ise hattın orta kesiminde yer almakta ve 40.78637407 enlem, 30.38033872 boylam koordinatlarına sahiptir. 68. satırdaki "Akgün Sokak" durağı (stop\_id: 61593-11) ise hattın güneybatı yönündeki son duraklarından biridir ve 40.73930007 enlemi ile 30.30087501 boylamı koordinat düzleminde hattın nihai kısmını temsil etmektedir. Bu üç örnek durak, hattın kuzeydoğudan güneybatıya uzanan mekânsal yapısını ortaya koymakta ve aynı zamanda durak tanımlarının CBS ile entegre harita analizlerinde kullanılabilirliğini göstermektedir. Her bir durağın konum bilgisi Google Earth ve saha kontrolleriyle doğrulanmış, koordinat sistemine göre yapılandırılmıştır. Bu kapsamda, dosyanın 1., 19. ve 68. satırlarına ait durak bilgileri aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. (Tablo 4.24. Tablo 4.25, Tablo 4.26)

Tablo 4.24 :12-AR hattına ait stops.txt dosyasının 1.satırı.

Satır Adı	Açıklamalar
stop_id	61598-16
stop_name	Bahriyeli Cad-2
stop_lat	40.82573491
stop_lon	30.34060011

Tablo 4.25 :12-AR hattına ait stops.txt dosyasının 19.satırı.

Satır Adı	Açıklamalar
stop_id	61522-20
stop_name	Donanma Sokak
stop_lat	40.78637407
stop_lon	30.38033872

Tablo 4.26 :12-AR hattına ait stops.txt dosyasının 68.satırı.

Satır Adı	Açıklamalar
stop_id	61593-11
stop_name	Akgün Sokak
stop_lat	40.73930007
stop_lon	30.30087501

#### 4.3.2. GTFS veri setinin doğrulanması ve kontrol süreci

Bu aşamada geliştirilen GTFS veri mimarisi doğrultusunda, 12-AR numaralı hattın dijitalleştirilmiş toplu taşıma verilerinin teknik uygunluğunu test etmek ve olası tutarsızlıkları tespit ederek gidermek amacıyla kapsamlı bir doğrulama süreci yürütülmüştür. Bu sürecin temel hedefi, oluşturulan veri dosyalarının GTFS standardına uygunluğunu ortaya koymak ve bu dosyaların uluslararası ulaşım platformlarına entegre edilebilirliğini güvence altına almaktır. Doğrulama işlemleri, açık kaynak kodlu ve sektörde yaygın olarak kullanılan MobilityData GTFS Validator aracıyla gerçekleştirilmiştir.

İlk aşamada, 12-AR hattı için oluşturulan GTFS veri dosyaları tek tek kontrol edilerek eksiksiz bir yapı sağlanmıştır. Bu kapsamda, GTFS standardına uygun dokuz temel .txt dosyası (örneğin: agency.txt, routes.txt, trips.txt, stop\_times.txt, calendar.txt, shapes.txt, stops.txt, fare\_attributes.txt, fare\_rules.txt) tamamlanmıştır. Her bir dosya, durak isimleri ve koordinatları, hat numarası, güzergâh geometrisi, günlük hizmet takvimi ve her durağa ait varış/kalkış saatleri gibi tüm gerekli bileşenleri içerecek şekilde yapılandırılmıştır. Tüm dosyalar .txt formatında kaydedilmiş ve tek bir klasörde toplanmıştır.

Son aşamada, hazırlanan bu dosyalar .zip biçiminde sıkıştırılarak gtfs.zip isimli GTFS veri paketi oluşturulmuş ve doğrulama sürecine hazır hâle getirilmiştir.

Oluşturulan GTFS .txt dosyalarının yapısı Şekil 4.18’de ile finalde oluşturulan GTFS ZIP arşivine ait ekran görüntüleri Şekil 4.19’da sunulmuştur

agency	14.05.2025 18:58	Metin Belgesi	1 KB
calendar	14.05.2025 19:02	Metin Belgesi	1 KB
fare_attributes	14.05.2025 18:59	Metin Belgesi	1 KB
fare_rules	14.05.2025 19:04	Metin Belgesi	1 KB
routes	14.05.2025 18:58	Metin Belgesi	1 KB
shapes	14.05.2025 18:57	Metin Belgesi	22 KB
stop_times	14.05.2025 18:35	Metin Belgesi	36 KB
stops	14.05.2025 19:03	Metin Belgesi	4 KB
trips	14.05.2025 19:01	Metin Belgesi	1 KB

Şekil 4.18 :12-AR hattına ait GTFS veri setindeki .txt dosyalarının dizin görünümü.

Ad	Boyut	Sıkı. boyut	Tür	Değişme	CRC32
..			Dosya klasörü		
agency.txt	238	170	Metin Belgesi	14.05.2025 18:58	EECB017A
calendar.txt	129	86	Metin Belgesi	14.05.2025 19:02	1363D0D0
fare_attributes.txt	69	69	Metin Belgesi	14.05.2025 18:59	CC35A376
fare_rules.txt	25	24	Metin Belgesi	14.05.2025 19:04	6100BD98
routes.txt	123	102	Metin Belgesi	14.05.2025 18:58	3822046F
shapes.txt	22.016	8.726	Metin Belgesi	14.05.2025 18:57	162F4004
stop_times.txt	36.303	7.080	Metin Belgesi	14.05.2025 18:35	DCOE6873
stops.txt	3.576	1.481	Metin Belgesi	14.05.2025 19:03	828C14CA
trips.txt	277	85	Metin Belgesi	14.05.2025 19:01	14D0C48A

Şekil 4.19 :Oluşturulan GTFS veri setinin gtfs.zip formatındaki sıkıştırılmış hali.

Doğrulama sürecinin ilk adımında, MobilityData GTFS Validator arayüzü açılmış (Şekil 4.20); ardından oluşturulan gtfs.zip dosyası bu araca yüklenmiştir (Şekil 4.21). Yükleme işleminin ardından sistem, veri setini hem biçimsel hem de mantıksal açıdan analiz etmiş; bu işlem sonucunda doğrulama raporu HTML ve JSON formatlarında kapsamlı biçimde üretilmiştir (Şekil 4.22). Sürecin son aşamasında, sistem tarafından her GTFS bileşeni için özel hata kodları ve açıklamalar içeren, hata (Error), uyarı (Warning) ve bilgilendirme (Info) düzeyinde sınıflandırılmış ayrıntılı geri bildirimler sunulmuştur (Şekil 4.23). Bu görseller, GTFS doğrulama sürecinin tüm aşamalarını belgelemekte ve oluşturulan veri paketinin teknik bütünlüğünü açık şekilde ortaya koymaktadır.

## Canonical GTFS Schedule Validator

Evaluate your dataset against the official [GTFS Reference](#) and [Best Practices](#).

Upload a ZIP file

No file chosen

Choose a file...

You can also drag a file here

Or load from a URL

https://example.com/feed.zip

Region (optional)

Choose a region

See Documentation

Validate

Şekil 4.20 :MobilityData GTFS Validator arayüzü – giriş ekranı.

## Canonical GTFS Schedule Validator

Evaluate your dataset against the official [GTFS Reference](#) and [Best Practices](#).

Upload a ZIP file

gtfs.zip.zip

Choose a file...

You can also drag a file here

Or load from a URL

https://example.com/feed.zip

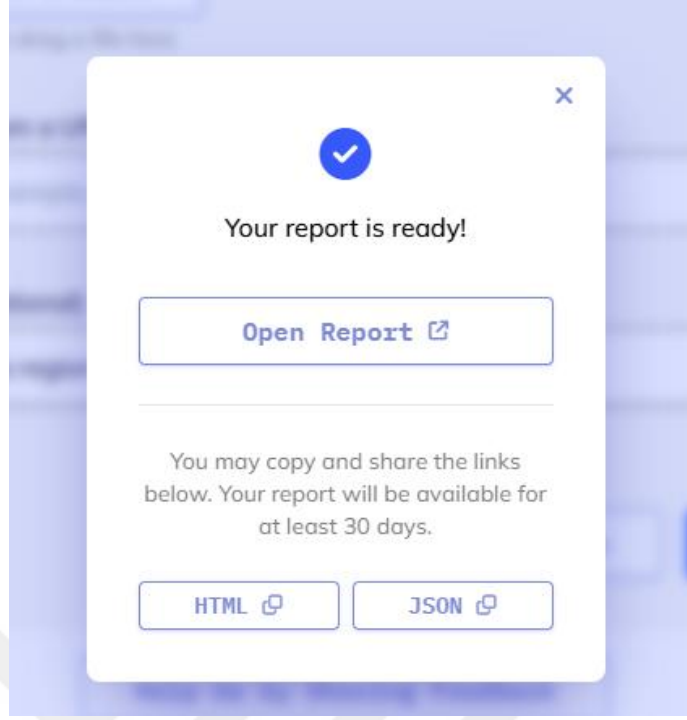
Region (optional)

Choose a region

See Documentation

Validate

Şekil 4.21 :gtfs.zip dosyasının arayüze yüklenmiş hali



Şekil 4.22 :Doğrulama sonucunda üretilen HTML ve JSON formatındaki rapor yapısı.

## GTFS Schedule Validation Report

This report was generated by the [Canonical GTFS Schedule validator](#), version 7.0.0 at 2025-05-14T16:19:08Z for the dataset file: /tmp/gtfs-validator-temp/8456162777613822891/7e653747-f182-43f7-90a2-6e2e79edefed11532427281043572268.zip. No country code was provided.

Use this report alongside our [documentation](#).

### Summary

Agencies included	Feed Info	Files included	Counts	GTFS Features included (?)
<ul style="list-style-type: none"><li>Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı<ul style="list-style-type: none"><li>website: <a href="https://sakarya.bel.tr">https://sakarya.bel.tr</a></li><li>phone number: +90 264 211 11 00</li><li>email: <a href="mailto:ulasim@sakarya.bel.tr">ulasim@sakarya.bel.tr</a></li></ul></li></ul>	<b>Publisher Name:</b> N/A <b>Publisher URL:</b> N/A <b>Feed Email:</b> N/A <b>Feed Language:</b> N/A <b>Service Window:</b> N/A (?)	1. agency.txt 2. calendar.txt 3. fare_attributes.txt 4. fare_rules.txt 5. routes.txt 6. shapes.txt 7. stop_times.txt 8. stops.txt 9. trips.txt	<ul style="list-style-type: none"><li>Agencies: 1</li><li>Blocks: 0</li><li>Routes: 1</li><li>Shapes: 1</li><li>Stops: 67</li><li>Trips: 8</li></ul>	<a href="#">Shapes</a> <a href="#">Fares V1</a>

### Specification Compliance report

16 notices reported (9 errors, 5 warnings, 2 infos)

Notice Code	Severity	Total
+ duplicate_key	● ERROR	1
+ foreign_key_violation	● ERROR	8
+ expired_calendar	● WARNING	1
+ missing_recommended_field	● WARNING	1
+ missing_recommended_file	● WARNING	1
+ mixed_case_recommended_field	● WARNING	1
+ stops_match_shape_out_of_order	● WARNING	1
+ unknown_column	○ INFO	2

Made with ♥ by [MobilityData](#)

Şekil 4.23 :Doğrulama sonrası sistem tarafından üretilen hata/uyarı rapor ekranı.

### 4.3.3. Tespit edilen hatalar ve iyileştirme süreci

Şekil 26’da gösterilen doğrulama raporu çıktısına göre, GTFS Validator aracı kullanılarak yürütülen teknik kontrol süreci sonucunda, 12-AR hattına ait GTFS veri setinde çeşitli biçimsel ve mantıksal tutarsızlıklar tespit edilmiştir. Bu hatalar, GTFS şemasında tanımlanan standartların ihlal edildiğini ortaya koymakta ve veri setinin dış sistemlere (örneğin Google Transit, OpenTripPlanner, Moovit vb.) entegre edilmeden önce düzeltilmesini zorunlu kılmaktadır. Validator aracı, her bir hatayı ayrıntılı biçimde hata kodu, açıklama, etkilenen dosya adı ve satır numarasıyla birlikte sınıflandırarak sunmuş; bu sayede düzeltme süreci sistematik şekilde yürütülebilmiştir. Bu bağlamda, doğrulama sonucunda karşılaşılan temel hata ve uyarılar aşağıda başlıklar halinde detaylı olarak açıklanmıştır.

#### 4.3.3.1. Kritik hatalar (Errors)

- a) Yinelenen Durak Kimliği (duplicate\_key): GTFS standardı gereği stops.txt dosyasındaki her stop\_id değeri benzersiz olmalıdır. Ancak doğrulama raporunda, aynı stop\_id ("61598-14") değerine sahip birden fazla kayıt bulunduğu belirtilmiştir. Bu hata, sistemin durakları benzersiz olarak tanımlayamamasına neden olmaktadır. Çözüm; ilgili dosyada söz konusu stop\_id değerine sahip kayıtlar kontrol edilerek, ya tekrarlanan satır silinmiş ya da duraklardan birine yeni bir stop\_id atanarak benzersizliği sağlanmıştır.
- b) Geçersiz service\_id Referansı (foreign\_key\_violation): trips.txt dosyasındaki her bir service\_id değeri, ya calendar.txt ya da calendar\_dates.txt dosyalarında tanımlı olmalıdır. Ancak bu çalışmada kullanılan "EVERYDAY" adlı service\_id, doğrulama aracına göre bu dosyalarda tanımlı değildir. Çözüm: calendar.txt dosyasına "EVERYDAY" service\_id’si eklenerek, haftanın her günü çalışacak şekilde başlangıç ve bitiş tarihleriyle birlikte tanımlanmıştır.

#### 4.3.3.2. Uyarılar (Warnings)

- a) Geçmiş Tarihli Takvim (expired\_calendar): calendar.txt dosyasında belirtilen hizmet takvimi, doğrulama sırasında geçerliliğini yitirmiştir. Yani veri seti, Validator tarafından kontrol edildiği tarihten önce sona ermiş bir zaman aralığını

kapsamaktadır. Çözüm: start\_date ve end\_date alanları güncellenerek, takvimin güncel ve ileriki tarihlere ait bir zaman dilimini kapsamaya sağlanmıştır.

- b) Eksik agency\_id Alanı (fare\_attributes.txt): GTFS spesifikasyonuna göre agency\_id alanı zorunlu değildir; ancak birden fazla ajansın söz konusu olabileceği veri setlerinde, bu alanın tanımlanması önerilmektedir. fare\_attributes.txt dosyasında bu alanın eksik olduğu raporlanmıştır.Çözüm: Dosyada ajansa ait tanımlayıcı olarak agency\_id bilgisi eklenmiş ve ücret politikası ile ilişkilendirilmiştir.
- c) feed\_info.txt Dosyasının Eksikliği (missing\_recommended\_file): feed\_info.txt dosyası GTFS standardında zorunlu olmamakla birlikte, veri setinin kimliğini, geçerlilik süresini ve sürüm numarasını tanımlamak açısından önerilmektedir. Bu dosyanın eksikliği, veri kümesinin meta düzeyde eksik bilgi sunduğunu göstermektedir. Çözüm: feed\_publisher\_name, feed\_publisher\_url, feed\_lang, feed\_start\_date, feed\_end\_date ve feed\_version alanlarını içeren bir feed\_info.txt dosyası oluşturularak eksiklik giderilmiştir.
- d) Uygun Olmayan Harf Biçimi (mixed\_case\_recommended\_field): stops.txt dosyasındaki bazı metin alanlarının (örneğin stop\_name) tamamının büyük harflerle yazıldığı belirlenmiştir. GTFS spesifikasyonları, kullanıcı deneyimini artırmak amacıyla uygun büyük/küçük harf kullanımını önermektedir. Çözüm: İlgili metin alanları, örneğin "ESENTEPE MAHALLESİ" yerine "Esentepe Mahallesi" olacak şekilde düzenlenmiştir.

#### **4.3.3.3. Bilgilendirme seviyesindeki bulgular (İfo)**

Doğrulama raporunda yer alan bazı bulgular yalnızca öneri niteliğindedir ve teknik uyumluluğu zorunlu kılmaz. Ancak veri kalitesinin artırılması açısından dikkate alınması önerilir. Bu bağlamda, bazı dosya alanlarında eksik ancak tavsiye edilen verilerin bulunduğu raporlanmıştır. Bu noktada, veri setinin kullanıcı dostu olmasına katkı sağlayacak biçimsel iyileştirmeler yapılmıştır.

#### 4.4. Nihayi Doğrulama Ve Değerlendirme

GTFS veri mimarisinin oluşturulması ve ardından gerçekleştirilen çok aşamalı doğrulama süreci sonucunda, 12-AR hattına ait dijitalleştirilmiş veri setinin teknik bütünlüğü başarıyla sağlanmıştır. Başlangıçta GTFS Validator aracı tarafından raporlanan hatalar; veri dosyalarında yer alan biçimsel eksiklikler, referans uyumsuzlukları ve zaman çizelgelerine dair tutarsızlıklar şeklinde sınıflandırılmıştır. Ancak bu hatalar, dikkatli bir veri inceleme süreci ve iteratif düzeltme yaklaşımlarıyla sistematik olarak giderilmiş; GTFS şemasına tam uyumlu bir yapı oluşturulmuştur. Aynı doğrulama prosedürü, 12-AR hattıyla benzer yapıda olan diğer toplu taşıma hatlarına ait GTFS veri setleri için de tekrarlanmış; her biri benzer şekilde hata kontrolünden geçirilerek standartlara uygun hâle getirilmiştir. Bu uygulama sayesinde, yalnızca tek bir hat için değil, genellenebilir bir veri doğrulama ve temizleme yöntemi ortaya konmuştur. Son doğrulama çıktıları incelendiğinde, oluşturulan veri setinde hiçbir kritik hata (Error) bulunmadığı, yalnızca bazı uyarı (Warning) ve bilgilendirme (Info) düzeyindeki kayıtların kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, GTFS standardına teknik olarak tam uyumlu bir veri yapısına ulaşıldığını göstermektedir. Bu aşamaya ait doğrulama rapor ekranı aşağıda Şekil 4.24’te sunulmuştur.

#### GTFS Schedule Validation Report

This report was generated by the [Canonical GTFS Schedule validator](#), version 7.0.0 at 2025-05-14T17:18:09Z, for the dataset file: /tmp/gtfs-validator-temp2442421767762213730/1f8b41ce-cbc4-4d74-9bc6-2ef8b1ed75446578388813877843105.zip. No country code was provided. Use this report alongside our [documentation](#).

#### Summary

Agencies included	Feed Info	Files included	Counts	GTFS Features included (?)
<ul style="list-style-type: none"><li>Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı<ul style="list-style-type: none"><li>website: <a href="https://sakarya.bel.tr">https://sakarya.bel.tr</a></li><li>phone number: +90 264 211 11 00</li><li>email: <a href="mailto:ulasim@sakarya.bel.tr">ulasim@sakarya.bel.tr</a></li></ul></li></ul>	<p><b>Publisher Name:</b> Sakarya Büyükşehir Belediyesi <b>Publisher URL:</b> <a href="https://www.sakarya.bel.tr">https://www.sakarya.bel.tr</a> <b>Feed Email:</b> <a href="mailto:sbb@hs01.kep.tr">sbb@hs01.kep.tr</a> <b>Feed Language:</b> Turkish <b>Feed Start Date:</b> 2025-05-01 <b>Feed End Date:</b> 2025-12-31 <b>Service Window:</b> 2025-09-01 to 2025-09-30 (?)</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>agency.txt</li><li>calendar.txt</li><li>fare_attributes.txt</li><li>fare_rules.txt</li><li>feed_info.txt</li><li>routes.txt</li><li>shapes.txt</li><li>stop_times.txt</li><li>stops.txt</li><li>trips.txt</li></ol>	<ul style="list-style-type: none"><li>Agencies: 1</li><li>Blocks: 0</li><li>Routes: 1</li><li>Shapes: 1</li><li>Stops: 68</li><li>Trips: 8</li></ul>	<a href="#">Shapes</a> <a href="#">Feed Information</a> <a href="#">Fares V1</a>

#### Specification Compliance report

4 notices reported (0 errors, 2 warnings, 2 infos)

Notice Code	Severity	Total
+ stops_match_shape_out_of_order	WARNING	1
+ trip_coverage_not_active_for_next7_days	WARNING	1
+ unknown_column	INFO	2

Made with ♥ by [MobilityData](#)

Şekil 4.24 :GTFS Validator aracı üzerinden alınan son doğrulama raporu ekran görüntüsü.

Veri setinde kalan uyarılar şu nedenlerle kabul edilebilir bulunmuştur:

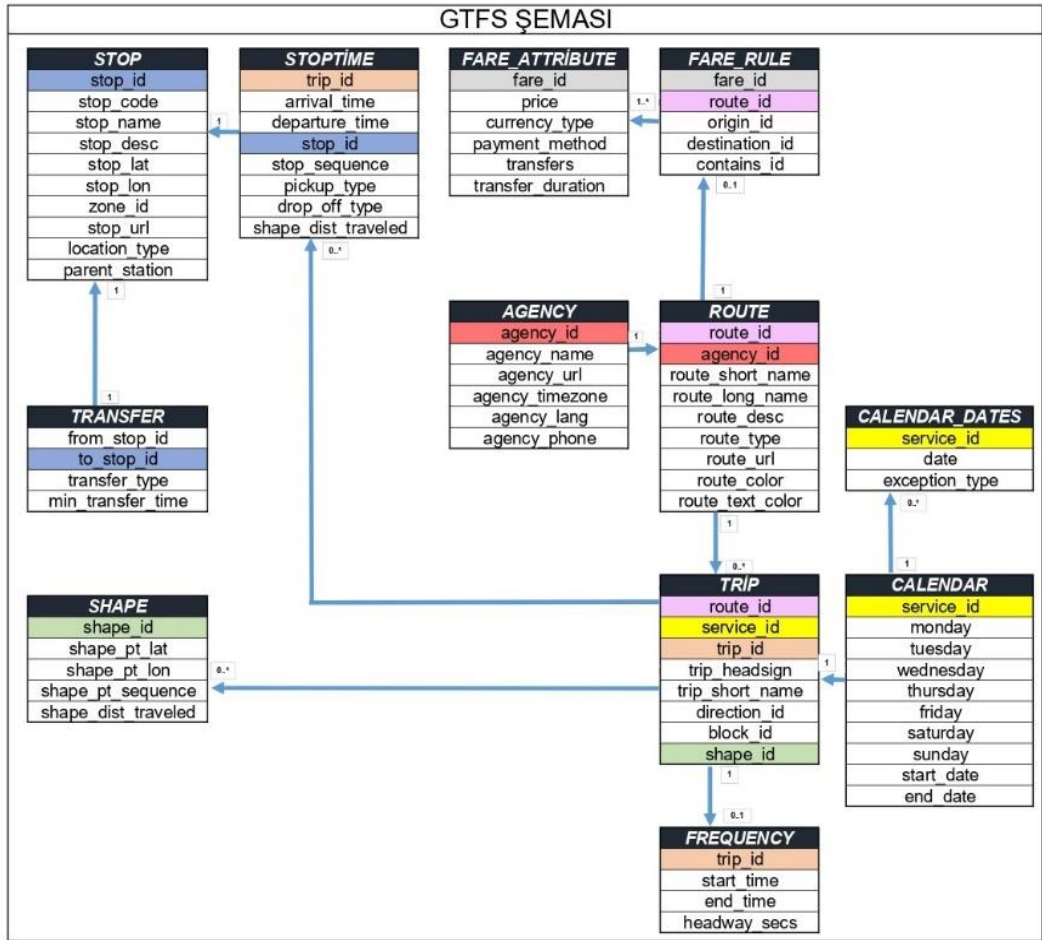
- feed\_info.txt dosyasının eksikliği gibi öneri niteliğinde olan eksiklikler, sistemin çalışmasını doğrudan etkilememektedir. Bu dosya ilerleyen sürümlerde eklenecek meta veriyle tamamlanabilir.
- Bazı stop\_name alanlarında büyük harf kullanımı gibi biçimsel unsurlar, kullanıcı deneyimini etkileyebilecek detaylar olmakla birlikte veri setinin işlevselliğini bozmaz. Bu gibi unsurlar, daha sonra yapılacak görsel arayüz düzenlemeleriyle iyileştirilebilir.
- fare\_attributes.txt dosyasında agency\_id alanının tanımlı olmaması, veri setinde sadece tek bir ajans bulunması nedeniyle anlamlı bir sorun teşkil etmemektedir. Ancak yine de uzun vadede çok ajanslı sistemlere geçiş için bu alanın doldurulması önerilmektedir.

GTFS Validator tarafından oluşturulan doğrulama raporları incelendiğinde, veri setinin gerek yapısal bütünlüğü gerekse mantıksal tutarlılığı açısından uluslararası platformlarda kullanılabilir nitelikte olduğu net bir biçimde görülmektedir. Bu kapsamda, 12-AR hattına ait GTFS veri seti; Google Maps, OpenTripPlanner ve benzeri küresel harita tabanlı ulaşım sistemlerine entegre edilebilir düzeye ulaşmıştır.

Sonuç olarak, bu doğrulama ve değerlendirme oluşturulan GTFS mimarisinin yalnızca Sakarya ili özelinde değil, benzer ölçekteki şehirler için de geliştirilebilir ve sürdürülebilir bir dijital dönüşüm modeli sunduğunu göstermektedir. Bu sayede hem kurumsal veri yönetimi standartlaşmakta hem de şehir içi ulaşımın dijital ekosistemlere entegrasyonu sağlanmaktadır. GTFS veri setinin oluşturulmasından sonra uygulanan doğrulama süreci sayesinde hem yapısal hem de işlevsel tutarlılık sağlanmış, uluslararası standartlara uygun bir toplu taşıma veri modeli elde edilmiştir. Yapılan düzeltmeler ve kontrollerle birlikte hata oranı sıfırlanmış; kalan uyarılar ise sistemin bütünlüğünü etkilemeyen, öneri niteliğinde unsurlar olarak değerlendirilmiştir. Bu süreç, dijitalleşme odaklı veri üretim modelleri açısından sürdürülebilir ve genellenebilir bir uygulama örneği ortaya koymuştur.

#### 4.5. Genelleştirilebilir GTFS-CBS Modeli ve Diğer Şehirlere Uygulanabilirlik

GTFS veri yapısının CBS tabanlı bir yaklaşımla Sakarya ili özelinde bütünleştirilmesi, bu çalışmanın yalnızca yerel bir uygulama olmanın ötesine geçerek genellenebilir ve tekrarlanabilir bir model sunduğunu ortaya koymuştur. Açık veri standartları temelinde hazırlanan GTFS dosyaları, açık kaynaklı araçlar ve mekânsal analiz teknikleriyle işlenerek, düşük maliyetle uygulanabilir ve yüksek ölçeklenebilirlik sunan bir dijital ulaşım altyapısı oluşturulmuştur. Bu yapının temelini, GTFS sistemine ait zorunlu veri dosyalarının eksiksiz ve doğru biçimde hazırlanması oluşturur. Her bir dosya, toplu taşıma sistemine dair belirli bir bileşeni temsil eder: durak konumları, hat tanımları, sefer saatleri ve güzergâh çizimleri gibi bilgiler bu dosyalar aracılığıyla dijital ortama aktarılır. Şekil 4.27’de GTFS sisteminin veri mimarisini ve dosyalar arasındaki ilişki yapısını şematik olarak sunmaktadır.



Şekil 4.27 : GTFS formatında kullanılan temel dosyalar ve bağlantı yapısı.

Bu şema, önceki bölümlerde genel yapı olarak tanıtılmış olmakla birlikte, bu kısımda modelin uygulanabilirliği bağlamında yeniden değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Aşağıda sunulan Tablo 4.27’de ise bu şemada yer alan zorunlu dosyaların her birine ait içerik detaylarını ve uygulamadaki işlevlerini sade biçimde açıklamaktadır. Böylece şema ile tablo birlikte değerlendirildiğinde, belediyeler için bir GTFS veri modelinin hangi adımlarla oluşturulabileceği açık biçimde ortaya konmaktadır.

Tablo 4.27: GTFS zorunlu dosyaları ve alanları.

Dosya Adı	Zorunlu Alanlar	Açıklama
agency.txt	agency_name, agency_url, agency_timezone	Bu dosyada, toplu taşıma sistemini yöneten belediye ya da kurumun adı, internet sitesi ve bulunduğu saat dilimi yer alır.
routes.txt	route_id, agency_id, route_short_name, route_long_name, route_type	Hat numaraları, kısa ve uzun açıklamaları ve taşıma türü (örneğin otobüs) bu dosyada bulunur.
trips.txt	route_id, service_id, trip_id	Her bir seferin ait olduğu hat, çalıştığı gün ve benzersiz bir ID'si tanımlanır.
stops.txt	stop_id, stop_name, stop_lat, stop_lon  (isteğe bağlı: zone_id, stop_desc, stop_url, location_type)	Her durağın adı ve harita üzerindeki konumu (enlem-boylam) burada yer alır.  (Varsa) durak açıklamaları veya ücret bölgeleri de eklenebilir.
stop_times.txt	trip_id, arrival_time, departure_time, stop_id, stop_sequence	Otobüslerin duraklara geliş ve kalkış saatleri, durak sırasına göre bu dosyada listelenir.
calendar.txt	service_id, monday, tuesday, wednesday, thursday, friday, saturday, sunday, start_date, end_date	Haftanın hangi günlerinde sefer yapıldığı ve geçerli olduğu tarih aralığı burada belirtilir.
shapes.txt	shape_id, shape_pt_lat, shape_pt_lon, shape_pt_sequence	Otobüsün harita üzerindeki çizgisel güzergâhını tanımlar; sıralı noktalar hâlinde verilmelidir.
agency.txt	agency_name, agency_url, agency_timezone	Bu dosyada, toplu taşıma sistemini yöneten belediye ya da kurumun adı, internet sitesi ve bulunduğu saat dilimi yer alır.

Bu tablo, GTFS sistemini kurmak isteyen belediyeler için uygulama öncesi temel bir yol haritası niteliğindedir. Özellikle shapes.txt dosyasının hazırlanabilmesi için güzergâh çizimlerinin dijital ortamda mevcut olması; stop\_times.txt dosyasında ise sefer saatlerinin sıralı ve tutarlı biçimde kaydedilmesi zorunludur. Tüm dosyalar tamamlandıktan sonra uluslararası uyumluluk açısından GTFS Validator gibi araçlarla test edilmesi önerilir. Hazırlanan bu model yalnızca bir teknik altyapı sunmamakta; aynı zamanda şehirlerin dijital dönüşüm sürecine katkı sağlayarak veri temelli karar alma, açık veri üretimi ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının desteklenmesi gibi birçok stratejik avantaj sunmaktadır. Belediyeler bu model sayesinde, durak yerleşimi, güzergâh verimliliği, toplu taşımaya erişim eşitliği ve mekânsal hizmet analizleri gibi konularda daha güçlü analizler yapabilir hâle gelmektedir. Modelin Türkiye'deki farklı kentlerde uygulanabilirliğini test etmek amacıyla yapılan değerlendirme sonuçları aşağıdaki Tablo 28'de özetlenmiştir.

Tablo 4.28 :Türkiye'deki şehirlerde modelin uygulanabilirlik durumu

Şehir	GTFS Uygun Veri Mevcudu	CBS Altyapısı	Modelin Uygulanabilirliği	Açıklama
Sakarya	Evet (çalışmada üretildi)	Var	Uygulandı	Pilot bölge olarak kullanıldı. GTFS veri dönüşümü yapılmalı.
Düzce	Sınırlı	Var	Kısmen	Mevcut CBS altyapısı yüksek.
Kocaeli	Büyükşehir	Gelişmiş	Uygulanabilir	Veri toplama ihtiyacı var.
Bolu	Yok	Kısıtlı	Zayıf	Açık veri potansiyeli mevcut.
Eskişehir	Büyükşehir	Var	Uygulanabilir	

Bu değerlendirme göstermektedir ki, GTFS-CBS modeli altyapısı hazır olan şehirlerde doğrudan uygulanabilirken; veri eksikliği veya CBS kapasitesi düşük olan bölgelerde öncelikle veri temini ve altyapı geliştirme süreçleri gerekmektedir. Ancak modelin açık standartlara dayalı, esnek ve ölçeklenebilir yapısı, farklı büyüklükteki şehirlerde başarıyla uygulanabilecek potansiyeli taşımaktadır. Bu yönüyle model, yalnızca teknik bir çözüm değil, aynı zamanda dijitalleşme sürecinde kurumsal kapasiteyi artıran ve veri tabanlı hizmet anlayışını destekleyen bir dönüşüm aracıdır.

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, Sakarya iline ait toplu taşıma verilerinin dijitalleştirilmesi, GTFS formatına dönüştürülmesi ve mekânsal analiz ortamında temsili, sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir. Durak konumları, güzergâh çizimleri, hat tanımları ve sefer saatlerinden oluşan veriler farklı kurumlardan temin edilmiş; bu veriler, GTFS şemasına uygun şekilde standardize edilerek stops.txt, routes.txt, trips.txt, stop\_times.txt ve shapes.txt gibi temel veri dosyaları aracılığıyla yeniden yapılandırılmıştır. Elde edilen veri seti, uluslararası geçerliliğe sahip GTFS Validator aracı ile teknik doğrulamaya tabi tutulmuş; yapısal, biçimsel ve mantıksal hatalar sistematik biçimde giderilerek küresel ölçekte kullanılabilir bir dijital veri yapısı elde edilmiştir. Bu yapı, mekânsal analiz ortamına aktarılarak hem görsel hem analitik düzeyde kullanıma sunulmuş; durakların noktasal, güzergâhların ise çizgisel katmanlar hâlinde temsiliyle erişim analizleri, hizmet dışı kalan bölgelerin tespiti ve durak yoğunluğu dağılımı gibi planlama destekli çıktılar üretilmiştir. Ayrıca oluşturulan veri seti KML/KMZ (Zipped KML) formatına dönüştürülerek Google Earth ortamında üç boyutlu harita temsiline açılmış; böylece saha kullanıcıları ve yerel yöneticiler için etkileşimli ve anlaşılır bir karar destek aracı ortaya konmuştur.

Geliştirilen GTFS-CBS entegrasyon modeli, yalnızca Sakarya iliyle sınırlı kalmamakta; veri erişimi ve temel CBS altyapısına sahip olan tüm orta ölçekli kentlerde de uygulanabilir, sürdürülebilir ve düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır. Bununla birlikte, GTFS veri yapısının işlevsel biçimde kurulabilmesi için temel veri dosyalarının — özellikle stops.txt, routes.txt, stop\_times.txt, shapes.txt — eksiksiz, tutarlı ve birbirleriyle ilişkili biçimde yapılandırılması gerekmektedir. Bu bağlamda, tez kapsamında sunulan Tablo 4.28, her bir GTFS dosyasının zorunlu alanlarını ve tanımlarını sade ve sistematik şekilde sunarak, modelin diğer şehirlerde de nasıl uygulanabileceğine ilişkin teknik bir

temel oluşturmaktadır. Sakarya’da bu gereksinimlerin büyük çoğunluğu karşılanmış olup, model başarıyla hayata geçirilmiştir. Ancak bu dönüşümün diğer şehirlerde de etkili biçimde yaygınlaştırılabilmesi için, özellikle belediyelerin veri toplama, dijital envanter oluşturma ve CBS uyumlu veri yönetimi alanında kurumsal kapasite geliştirme yönünde adımlar atması gerekmektedir. Zira zorunlu GTFS alanlarının sağlanabildiği her şehirde, bu modelin tekrarlanabilirliği yüksek; yerel yönetimlerin dijital dönüşüm sürecine katkısı ise güçlüdür.

## 5.2. Öneriler

Bu tez kapsamında geliştirilen GTFS-CBS temelli dijitalleşme modeli, yalnızca teknik bir veri üretim süreci olarak değil; aynı zamanda kent içi ulaşım planlaması, erişilebilirlik analizi, açık veri politikalarının uygulanması ve yerel yönetimlerin kurumsal kapasitesinin geliştirilmesi açısından çok boyutlu katkılar sunmuştur. Modelin hem Sakarya ili özelinde sürdürülebilirliğini sağlamak hem de benzer kentlerde yaygınlaştırılmasını mümkün kılmak adına aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- **Veri Sürekliliği ve Güncellik:** Toplu taşıma verilerinin güncel kalması büyük önem taşımaktadır. Durak yer değişiklikleri, güzergâh revizyonları ve sefer zamanlarında yapılan güncellemeler GTFS veri setine düzenli olarak yansıtılmalıdır. Bu amaçla belediyeler bünyesinde sürdürülebilir veri takibi yapabilecek birimlerin kurulması önerilmektedir.
- **Açık Veri Erişimi:** Hazırlanan GTFS veri setinin belediye web siteleri veya ulusal açık veri platformları üzerinden erişime açılması; şeffaflık, hesap verebilirlik ve kullanıcı katılımı açısından önemlidir. Açık veri politikaları sayesinde yazılımcılar, araştırmacılar ve özel sektör temsilcileri bu verileri uygulamalara entegre edebilir.
- **Tüm Ulaşım Türlerini Kapsama:** GTFS dönüşüm süreci yalnızca belediye otobüsleriyle sınırlı tutulmamalı; özel halk otobüsleri, minibüsler, raylı sistemler ve taksi dolmuşlar gibi farklı ulaşım modlarını da kapsayacak şekilde

genişletilmelidir. Bu sayede kent bütününde entegre bir toplu taşıma veri altyapısı sağlanabilir.

- **GTFS-Realtime Uyumlu Yapı:** Geliştirilen sistem, dinamik veri akışlarını da içerecek şekilde GTFS-Realtime altyapısıyla geliştirilmeli; araç konum bilgisi, tahmini varış süresi ve gecikme durumları gibi gerçek zamanlı veriler de dijital sistemlere entegre edilmelidir. Böylece akıllı durak sistemleri ve mobil uygulamalar gibi yolcu bilgilendirme çözümleri etkin hâle getirilebilir.
- **Disiplinlerarası Entegrasyon:** CBS tabanlı verilerin yalnızca ulaşım alanında değil; imar planlaması, afet yönetimi, yaya güvenliği ve engelli erişilebilirliği gibi diğer belediye hizmetleriyle entegre şekilde değerlendirilmesi sağlanmalıdır. Bu çok disiplinli veri kullanımı, karar destek süreçlerinde kapsamlı çözümler sunacaktır.
- **Modelin Yaygınlaştırılması:** Düzce, Bolu, Aydın ve Elazığ gibi orta ölçekli kentlerde benzer GTFS-CBS entegrasyonlarının uygulanabilmesi için Türkiye Belediyeler Birliği (TBB) ve Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı gibi üst kurumlar aracılığıyla veri standardizasyonuna yönelik ortak protokoller geliştirilmelidir. Bu süreçte üniversiteler teknik danışman ve uygulayıcı partner olarak sürece aktif katılmalıdır.
- **Belediye-Üniversite İş Birlikleri:** Yerel yönetimlerle üniversiteler arasında veri yönetimi, yazılım geliştirme ve CBS uygulamaları gibi alanlarda iş birlikleri artırılmalıdır. Böylece belediyelerin dijital dönüşüm süreçleri akademik bilgiyle desteklenmiş olur ve teknik altyapı güçlenir.
- **Rehber Belgeler ve Model Yayıımı:** Bu tezde geliştirilen model, örnek bir uygulama olarak değerlendirilerek ulaşım alanında dijitalleşmeye yönelik politika yapıcılara, araştırmacılara ve uygulayıcılara rehberlik edecek

dökümanlara dönüştürülmelidir. Modelin yaygınlaştırılabilirliği, benzer projelerin temelini oluşturacak bilimsel bir zemin sunmaktadır.

### **5.3. Genel Değerlendirme ve Son Söz**

Bu tez çalışması, dijitalleşmenin kent içi ulaşım sistemleri üzerindeki dönüştürücü etkisini, somut bir uygulama modeli üzerinden ortaya koymayı amaçlamış; Sakarya iline ait toplu taşıma verilerinin GTFS formatında yeniden yapılandırılması ve bu verilerin mekânsal analiz ortamına entegre edilmesiyle birlikte çok katmanlı bir dijital dönüşüm süreci gerçekleştirilmiştir. Çalışmada geliştirilen GTFS veri mimarisi, yalnızca biçimsel bir formatlama aracı olarak değil; aynı zamanda doğrulama, coğrafi eşleştirme, görsel temsil ve analitik çıktı üretme açısından işlevsel bir veri platformuna dönüşmüştür. Özellikle durak yoğunluğu, erişim analizi ve güzergâh planlaması gibi uygulamalar üzerinden elde edilen sonuçlar, yerel yönetimlerin ulaşım planlama süreçlerinde veri temelli kararlar almasına imkân tanımıştır.

Modelin benzer veri yapısına ve coğrafi ölçeğe sahip diğer şehirlerde de başarıyla uygulanabileceği hem genellenebilirlik hem de sürdürülebilirlik açısından güçlü bir örnek sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, belediyelerde veri temelli yönetim kültürünün gelişmesi, açık veri politikalarının yaygınlaşması ve akıllı şehir vizyonuna uygun teknik altyapıların inşası açısından da stratejik bir katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak bu tez, dijitalleşme, standartlaşma ve mekânsal analiz kavramlarını toplu taşıma özelinde birleştirerek hem akademik literatüre hem de kentsel yönetim pratiklerine değerli bir katkı sunmuştur. Bu yapının gelecekte daha gelişmiş, çok aktörlü ve gerçek zamanlı veri içeren projelerle desteklenerek hem ulaşım mühendisliğine hem de şehircilik politikalarına yön vermesi beklenmektedir.

## KAYNAKLAR

- Adalıoğlu, İ. (2018). *Çorum'da kent içi toplu taşıma sistemi memnuniyetinin lojit model ile incelenmesi*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği Programı, İstanbul.
- Akın, M. (2021). *Araç verileri ile trafik hız tahmin ve mahremiyet modeli* (Doktora tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Al-Ali, A. R., Gupta, R., Batool, T. Z., Landolsi, T., Aloul, F., & Nabulsi, A. A. (2020). Digital Twin Conceptual Model within the Context of Internet of Things. *Future Internet*, 12(10), 163. <https://doi.org/10.3390/fi12100163>
- Aydın, Y. B. (2021). *Toplu taşımada işletme planlaması ve optimizasyonu: Sakarya uygulaması* (Yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- Bok, J., & Kwon, Y. (2016). *Comparable measures of accessibility to public transport using the General Transit Feed specification*. *Sustainability*, 8(3), 224. <https://doi.org/10.3390/su8030224>
- Çeçen, H., & Bolakar Tosun, G. (2020). Diyarbakır toplu taşıma sisteminde otobüs kullanımının incelenmesi ve iyileştirme önerileri. *Ulaşım ve Trafik Güvenliği Dergisi*, 6(1), 45–58.
- Çelik, T., Haldenbilen, S., & Ceylan, H. (2025). Benchmarking Intelligent Transportation Systems Performance of urban public transportation operations. *Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Uygulamaları Dergisi*, 8(1), 117–129. <https://doi.org/10.51513/jitsa.1572364>
- Cingöz, K. (2021). *Toplu taşıma araçlarını çizelgeleme problemine simülasyon modeli yaklaşımı: Mersin Büyükşehir Belediyesi örneği* (Doktora tezi), Mersin Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Mersin.
- Dardas, A., Hall, B., Salter, J., & Hosseini, H. (2022). A geospatial workflow for the assessment of public transit system performance using near real-time data, *Transactions in GIS*, 26(4), 1642–1664. <https://doi.org/10.1111/tgis.12942>
- Demir, A. (2019). *Toplu taşıma Verilerinin CBS tabanlı Analizi: İstanbul Örneği* (Yüksek lisans tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demir, M. (2021). *Türkiye'de toplu taşıma bilgi sistemlerinin gelişimi ve GTFS uygulamaları* (Yüksek lisans tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Ankara.
- Dinç, E. (2019). *Sürdürülebilir ve akıllı ulaşım sistemlerinin inşaat mühendisliği açısından değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Goliszek, S. (2021). GIS tools and programming languages for creating models of public and private transport potential accessibility in Szczecin, Poland. *Journal of*

- Geographical Systems*, 23(1), 115–137. <https://doi.org/10.1007/s10109-020-00337-z>
- Güngör, B. (2012). *Sürdürülebilir ulaşım politikaları kapsamında insan odaklı entegre ulaşım yöntemi: Sakarya kenti örneği* (Yüksek lisans tezi), Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gurjar, J., Agarwal, P., & Jain, P. (2020). A Comprehensive Methodology for Comparative Performance Evaluation of public transport systems in Urban areas, *Transportation Research Procedia*, 48, 3508–3531. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.100>
- Handajani, M., Firmawan, F., & Harmini, H. (2021). Performance Analysis and Modeling of Passenger Public Transport Services in Salatiga City. *Astonjadro*, 11(1), 61. <https://doi.org/10.32832/astonjadro.v11i1.5674>
- Hurşit, T. (2021). *Kent içi otobüs hatlarının performanslarının hem işletmeci hem kullanıcı açısından değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kahveci, M. Y. (2023). *Kahramanmaraş ve Kayseri illeri uygulama örnekleri analizleri ile Sakarya ili entegre toplum taşıma sistemi için bir model önerisi* (Yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Karaca, S. (2018). *Toplu taşıma sisteminin verimliliğinin artırılmasına yönelik planlama çalışmaları: Sakarya uygulamaları* (Yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Bilim Dalı, Sakarya.
- Karacameydan İncemehmetoğlu, N., Yılmaz, E., Şahin, M., & Demirtaş, A. (2024). Türkiye'nin MAAS platformu için veri ve ödeme yöntemi standardizasyonu. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 8(2), 45–60. (n.d.). Karacameydan İncemehmetoğlu, N., Yılmaz, E., Şahin, M., & Demirtaş, A.
- Karakaya, H. (2023). *Toplu taşıma sistemlerinin optimizasyonu* (Yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Karlı, B. (2019). *Sürdürülebilir bir toplu taşıma sistemi için Sakarya Büyükşehir Belediyesi'ne ait belediye otobüslerinin performans analizi* (Yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Kasimoğlu, K. (2024). *A new model and approach for assessing equity in public transport* (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği Programı, İstanbul.
- Kaya, M. (2021). *CBS destekli toplu taşıma planlaması: Ankara örneği* (Yüksek lisans tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kazemi Afshar, A. A. (2024). *Evaluation of the public bus transit performance based on smart card data* (Doktora tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Kocaman, H. (2018). *Toplu taşıma güzergâh tespitinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ile iyileştirilmiş durak konumu belirleme uygulamaları: Sakarya örneği* (Yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Li, J. (2024). Big Data-driven Decision Support: Enhancing Information Integration and User Experience with Mobile Integrated Technology. *Journal of Information*

- Systems Engineering & Management*, 9(2), 24148.  
<https://doi.org/10.55267/iadt.07.14747>
- Martínez-Rebollar, A., Gutiérrez, C. a. R., Esquivel, H. E., & Pérez, Y. H. (2022). Planificador de viajes de transporte público utilizando el estándar GTFS. *Boletín Científico INVESTIGIUM De La Escuela Superior De Tizayuca*, 8(Especial), 102–110. <https://doi.org/10.29057/est.v8iespecial.9994>
- Moreira-Matias, L., & Cats, O. (2016). Toward a demand estimation model based on automated vehicle location. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2544(1), 141–149. <https://doi.org/10.3141/2544-16>
- Naro, G., Biraghi, C. A., & Lenzi, E. (2024). City Transport Analyzer: A powerful QGIS plugin for public transport accessibility and intermodality analysis, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W12-2024, 113–119. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-4-w12-2024-113-2024>
- Önder, E., & Akdemir, B. (2019). Türkiye’de ulaşım ana planlarında raylı sistem senaryolarının karşılaştırmalı analizi. *Şehir ve Bölge Planlama Dergisi*, 31(2), 102–118.
- Pereira, R. H. M., Andrade, P. R., & Vieira, J. P. B. (2022). Exploring the time geography of public transport networks with the gtfs2gps package. *Journal of Geographical Systems*, 25(3), 453–466. <https://doi.org/10.1007/s10109-022-00400-x>
- Prommaharaj, P., Phithakkitnukoon, S., Demissie, M. G., Kattan, L., & Ratti, C. (2020). Visualizing public transit system operation with GTFS data: A case study of Calgary, Canada. *Heliyon*, 6(4), e03729. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03729>
- Şengül, H., Tarhan, C., & Tecim, V. (2022). Toplu taşıma işletmelerinde akıllı ulaşım sistemi verilerinin büyük veri teknolojileri ile desteklenmiş iş zekâsı mimarisi’nde uygulanması: Bir literatür incelemesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24(4), 1021–1046.
- Siyah, B., Akbaş, S., & Berber, T. (2021). Toplu taşıma sistemleri için doğrusal optimizasyon yaklaşımları. *XXI. Uluslararası Ekonometri Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu*, Çanakkale, Türkiye, 76–79.
- Stępnia, M., Pritchard, J. P., Geurs, K. T., & Goliszek, S. (2019). The impact of temporal resolution on public transport accessibility measurement: Review and case study in Poland. *Journal of Transport Geography*, 75, 8–24. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.01.007>
- Stewart, C., Diab, E., Bertini, R., & El-Geneidy, A. (2016). Perspectives on Transit: Potential benefits of Visualizing transit data. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2544(1), 90–101. <https://doi.org/10.3141/2544-11>
- Tengirşek, İ. (2023). *Ulaşım planlamasında başlangıç–son matrisi tahmininde ilk girdi matrisinin etkisi* (Yüksek lisans tezi), Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ulaştırma ve Lojistik Mühendisliği Bilim Dalı, Yalova.
- Wei, F., Shahid, M. J., Alnusairi, G. S. H., Afzal, M., Khan, A., El-Esawi, M. A., Abbas, Z., Wei, K., Zaheer, I. E., Rizwan, M., & Ali, S. (2020). Implementation of Floating Treatment Wetlands for Textile Wastewater Management: A review. *Sustainability*, 12(14), 5801. <https://doi.org/10.3390/su12145801>

- Yazıcı, M. (2025). *Dijitalleşme ve yenilikçi hareketlilik hizmetlerinin kentsel hareketliliğe etkisinin incelenmesi: İstanbul örneği* (Yüksek lisans tezi), Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ulaştırma ve Lojistik Mühendisliği Bilim Dalı, Yalova.
- Yılmaz, A. (2020). *Akıllı ulaşım sistemleri ve Türkiye'deki uygulamaları* (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yılmaz Soylu, B. (2025). *Şehir içi toplu taşıma sorunları ve çözüm önerileri (Turhal örneği)* (Yüksek lisans tezi), Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat.
- Zakutynskyi, I., & Rabodzei, I. (2023). IoT system architecture for monitoring and analyzing public transport data. *Multidisciplinary Science Journal*, 5, 2023ss0103.<https://doi.org/10.31893/multiscience.2023s>

