

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ARAÇLARDAN KAYNAKLI EMİSYONLARIN İZLENMESİNE YÖNELİK
COĞRAFİ ANALİZLER İÇİN AÇIK KAYNAK KODLU VE WEB TABANLI
BİR GÖSTERGE PANELİ ÖNERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah Uğur TOPAL

Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı

OCAK 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ARAÇLARDAN KAYNAKLI EMİSYONLARIN İZLENMESİNE YÖNELİK
COĞRAFİ ANALİZLER İÇİN AÇIK KAYNAK KODLU VE WEB TABANLI
BİR GÖSTERGE PANELİ ÖNERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah Uğur TOPAL

(706191001)

Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hande DEMİREL

OCAK 2022



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 706191001 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Abdullah Uğur TOPAL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ARAÇLARDAN KAYNAKLI EMİSYONLARIN İZLENMESİNE YÖNELİK COĞRAFİ ANALİZLER İÇİN AÇIK KAYNAK KODLU VE WEB TABANLI BİR GÖSTERGE PANELİ ÖNERİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hande DEMİREL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Uğur ALGANCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **14 Ocak 2022**

Savunma Tarihi : **28 Ocak 2022**



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde bilgi birikimi ve tecrübesini benimle paylaşan, samimi ilgisini ve hoşgörüsünü eksik etmeyen danışman hocam Prof. Dr. Hande DEMİREL'e,

Tez süreci boyunca yaptığı katkıların yanısıra, akademik hayatıma fikirleri ile yol gösteren ve desteğini hiç esirgemeyen kıymetli hocam Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU'na,

Görüş ve önerileriyle çalışmama farklı açılardan bakmamı sağlayan sayın hocam Doç. Dr. Uğur ALGANCI'ya,

Eğitim hayatım boyunca yol yürüdüğüm ve birikimlerinden istifade ettiğim meslektaşlarım ve dostlarıma,

Hayatımın başlangıcından itibaren en yakın destekçim olan, öğrenme yolculuğum boyunca ihtiyacım olan muhabbet ve itimadı bana telkin eden, her hal ve koşulda şahidim olan, niyetimi ve amacımı hatırlatıp tazeleyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2022

Abdullah Uğur TOPAL



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Problemin Tanımı	2
1.2 Çalışmanın Amacı.....	4
2. ARAÇLARDAN KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ.....	5
3. KENTSEL BİLİŞİM	11
3.1 Dinamik Coğrafi Büyük Veri	13
3.2 Konumsal Veri Altyapısı.....	15
3.3 Coğrafi Analiz ve Hesaplamalar	19
3.4 Gösterge Paneli	20
3.5 Kullanıcı Dostu Tasarım	22
4. VERİ VE YÖNTEM	25
4.1 Çalışma Alanı.....	25
4.2 Veri.....	27
4.3 Yöntem.....	29
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
6. SONUÇ	45
KAYNAKÇA	47
ÖZGEÇMİŞ.....	53



KISALTMALAR

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri

EEA: European Environment Agency

Gt: Gigaton

HEI: Health Effects Institute

IDC: International Data Corporation

IEA: International Environment Agency

INSPIRE: Infrastructure for Spatial Information in the Europe

ISO: International Organization for Standardization

İBB: İstanbul Büyükşehir Belediyesi

KVA: Konumsal Veri Altyapısı

OGC: Open Geospatial Consortium

OSM: OpenStreetMap

OSS: Open-Source Software

QGIS: Quantum GIS

TUCBS: Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi

TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

UML: Unified Modeling Language

WHO: World Health Organization



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Çalışma alanındaki ilçelere ait bilgiler.	26
Çizelge 4.2 : Araç hızına karşılık gelen CO ₂ emisyon değerleri.	31





ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Dünya toplam CO ₂ (Gt) grafiği.	7
Şekil 2.2 : Dünya ulaşım CO ₂ (Gt) grafiği.	7
Şekil 2.3 : Türkiye CO ₂ emisyon grafiği.	9
Şekil 2.4 : Türkiye ulaşım CO ₂ emisyon grafiği.	9
Şekil 3.1 : Dublin gösterge paneli.	11
Şekil 3.2 : Londra gösterge Paneli.	12
Şekil 3.3 : Kentsel bilişim.	12
Şekil 3.4 : Büyük veri aşamaları.	15
Şekil 3.5 : TUCBS'ye yönelik yapılan çalışmalar.	18
Şekil 4.1 : Çalışma alanı.	27
Şekil 4.2 : İstanbul trafik sensör verisi dağılımı haritası.	28
Şekil 4.3 : 1 km x 0.6 km grid ağı.	29
Şekil 4.4 : Tez yöntem.	30
Şekil 4.5 : Araç hızı – CO ₂ Emisyon grafiği.	31
Şekil 4.6 : PostgreSQL kodları.	32
Şekil 4.7 : Apache Superset gösterge paneli örneği.	33
Şekil 5.1 : UML diyagramı.	36
Şekil 5.2 : Apache Superset gösterge paneli genel görünüm.	38
Şekil 5.3 : Gösterge paneli - Harita.	38
Şekil 5.4 : Filtreleme aracı.	39
Şekil 5.5 : Tahmini emisyon değeri - Hafta içi grafiği.	40
Şekil 5.6 : Tahmin emisyon değeri - Hafta sonu grafiği.	41
Şekil 5.7 : Tahmini emisyon değeri - İlçeler çizgi grafiği.	41
Şekil 5.8 : Tahmini emisyon değeri - İlçeler pasta grafiği.	42
Şekil 5.9 : Emisyon - Hız zaman serisi grafiği.	43



ARAÇLARDAN KAYNAKLI EMİSYONLARIN İZLENMESİNE YÖNELİK COĞRAFI ANALİZLER İÇİN AÇIK KAYNAK KODLU VE WEB TABANLI BİR GÖSTERGE PANELİ ÖNERİLMESİ

ÖZET

Hava kirliliğinin en önemli sebeplerinden birisi araçlardan kaynaklı emisyonlardır. Emisyonlar başta solunum yolu hastalıkları olmak üzere büyük sağlık sorunlarına yol açmakta, yaşam kalitesini azaltmakta ve sera gazı salınımını artırarak iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Emisyon kaynaklarının belirlenmesi, izlenmesi, modellenmesi ve analiz edilmesi gerçek zamanlı Coğrafi Bilgi Sistemlerine bağlı olduğu için kentsel bilişim uygulamalarının en önemlilerinden biridir. Kentsel bilişim, şehirlerin karşılaştığı bu tür sorunları çözmek için çeşitli kaynaklardan üretilen (coğrafi konum servisler, insanlar, sensörler, sosyal medya vb.) büyük, dinamik ve heterojen yapıdaki verilerin kullanıldığı bütüncül bir süreci ifade etmektedir. Bu süreci etkili bir şekilde yürütebilmek ve kurumlar arası işbirliğini artırabilmek için öncelikle, bu verilerin belirli bir standartta üretilmesi, modellenmesi ve paylaşılması gerekmektedir. Ayrıca, karar vericilere gerekli, güncel ve tutarlı verinin sunulması önceliklidir.

Tez kapsamında “Araçlardan kaynaklı emisyonların modellenmesi ve takip edilmesinde karşılaşılan ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Teknolojilerini ilgilendiren sorun ve zorluklar nelerdir? Kavramsal olarak veri modelleri ve standartların oluşturulmuş olması tek başına yeterli midir? Büyük veri ve coğrafi analizler bu sorunların çözümünde nasıl etkin bir şekilde kullanılabilir? Bu sorunlara yönelik daha az maliyetli bir çözüm önerisi sunulabilir mi?” araştırma soruları çerçevesinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Araçlardan kaynaklı emisyonların bir sorun olarak ele alınabilmesi için yeterli kalitede veri sağlanması ve bunların etkin bir şekilde depolanması gerekmektedir. Bu verilerin modellenmesi yapılarak standart bir formatta sunulmalıdır. Ayrıca birçok kullanıcı ya da uygulama ile paylaşılabilmesi için şeffaf ve erişilebilir olmalıdır. Tüm bu sebepler, Emisyon veri modelinin oluşturulmasını ve Konumsal Veri Altyapısına entegre edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu tez çalışmasında, Türkiye Konumsal Veri Altyapı projesi olan TUCBS (Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri)’nin Ulaşım Ağları teması/Karayolu Ağı şemasına “Emisyon” detay tipi eklenerek ilk adım atılmıştır.

Emisyon veri modeli temel alınarak, dinamik büyük coğrafi veriler ile grafikler, haritalar, anahtar göstergeler vb. görsel ve coğrafi analiz araçları oluşturulup hızlı ve fonksiyonel bir gösterge paneli tasarlanmıştır. Bu gösterge paneli anlık akan dinamik verilerden, amaca ulaşmak için gerekli olan en önemli bilgilerin gösterilmesini sağlayarak karar vericilere ve kullanıcılara destek mekanizması sunmaktadır. Bu sayede yöneticiler, uzmanlar ya da denetçiler olayların takibini sağlamakta ve daha sağlıklı kararlar verebilmektedir.

Kent sorunlarına yönelik geliştirilen çözümlerde ticari yazılımlara olan bağımlılık büyük bir mali yük getirmektedir. Kentsel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için kent kaynaklarının verimli ve ekonomik kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle tasarım aşamasında açık veri ve açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılarak, az maliyetli bir çözüm önerisi sunulmuştur.

Geliştirilen kavramların test edilebilmesi için problemin yoğun olarak yaşandığı İstanbul ili sınırları içerisindeki beş ilçeden oluşan bir pilot bölge seçilmiştir. Anlık emisyon tahminleri yapılmış, elde edilen sonuçlar harita ve grafikler halinde karar vericilere istenilen detayda sunulmuştur. En az emisyon yayılan zaman dilimi saat gece 03.00; en çok emisyon yayılan zaman dilimi ise sabah saat 06.00-07.00 aralığı olarak belirlenmiştir. Araçlardan kaynaklı en az emisyon salınan ilçe Sancaktepe; en çok emisyon salınan ilçe ise Sultanbeyli olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, araçlardan kaynaklı emisyonların takip edilebilmesi için, görsel ve coğrafi analitik fonksiyonların kullanıldığı, dinamik ve etkileşimli arayüze sahip açık kaynak kodlu web tabanlı bir gösterge paneli tasarlanmıştır.

DEPLOYING AN OPEN SOURCE WEB-BASED DASHBOARD FOR GEO-SPATIAL ANALYSES TO MONITOR THE EMISSIONS FROM VEHICLES

SUMMARY

With the world population increasing significantly in recent years, the world is hosting more human population than ever before. According to the report prepared by the United Nations, it is thought that the current world population of 7.7 billion will reach approximately 8.5 billion in 2030, 9.7 billion in 2050 and 10.9 billion in 2100. Moreover, the waves of immigration to the city also caused an increase in the urban population. It is estimated that by 2050, approximately 70% of the world's population will live in urban areas. Besides population growth, the increase in the attractiveness of cities, developments in industry and technology rapidly increase the use of world resources and energy consumption. As a result, all these factors bring along many problems such as traffic congestion, energy management, pollution, and decrease in air quality.

Air pollution is accepted as one of the main causes of death in the world. According to the World Health Organization (WHO), 7 million deaths occur every year in the world due to air pollution. One of the most important causes of air pollution is pollution from transportation. Emissions cause major health problems, especially respiratory diseases, reduce the quality of life and cause climate change by increasing greenhouse gas emissions. It is one of the most important urban computing applications, as the identification, monitoring, modeling and analysis of emission sources depend on real-time Geographical Information Systems. Urban computing refers to a holistic process in which large, dynamic and heterogeneous data produced from various sources (geographic location services, people, sensors, social media, etc.) are used to solve such problems faced by cities. In order to carry out this process effectively and to increase inter-institutional cooperation, first of all, these data must be produced, modeled and shared in a certain standard. In addition, providing necessary, up-to-date and consistent data to decision makers is a priority.

Within the scope of the thesis, “What are the problems and difficulties encountered in modeling and monitoring emissions from vehicles and concerning Geographic Information Systems and Technologies? Are conceptual data models and standards being created only enough? How can big data and geospatial analytics be effectively used to solve these problems? Can a less costly solution be offered for these problems?” was carried out within the framework of research questions.

In order to handle pollution caused by transportation as a problem, it is necessary to provide quality data and to store them effectively. This data should be modeled and presented in a standard format. It should also be transparent and accessible so that it can be shared with many users or applications. All these reasons necessitate the creation of the Emission data model and its integration into the Spatial Data Infrastructure. In Turkey, the Turkish National Geographic Information System

(TUCBS) project has been developed for Spatial Data Infrastructure. This project is based on ISOTC/211, OGC and INSPIRE standards. TUCBS consists of 32 geographic data themes including Addresses, Land Cover, Building, Energy Resources and Transport Networks. The Transport Networks theme consists of 6 schemes: Road Transport Network, Railway Transport Network, Air Transport Network, Water Transport Network, Urban Rail Systems & Cable Transport Network and Common Transport Elements. In this thesis, the first step was taken by adding the "Emission" feature type to the Transport Networks theme/Road Transport Network scheme of TUCBS.

The conceptual data models and application schemas produced in TUCBS represent an abstract model and these data models need to be tested in the physical environment. At the same time, these developed models should be able to work independently of software and users. For this reason, a web-based dashboard has been established on the basis of a GIS-based system architecture to be able to test and analyze Emission data models.

Dashboards are important in urban computing. Because provides a support mechanism to decision makers and users by displaying the most important information necessary to achieve the goal from the instantaneous dynamic big data. In this way, managers, experts or auditors can keep track of events and make accurate decisions. In the scope of this study, air pollution caused by vehicles is considered as an urban computing problem and this problem should be followed by decision makers. For this purpose, a web-based dashboard has been designed considering the emission data model. Visual and geographical analysis tools were created like graphs, maps, key indicators etc.

Dependence on commercial software in solutions developed for urban problems brings a huge financial burden. In order to ensure urban sustainability, urban resources must be used efficiently and economically. For this reason, a low-cost solution proposal was presented by using open data and open source software during the design phase.

According to the system architecture, open data was first obtained. The sensor data used in this study, including traffic density information, was imported from the IBB (Istanbul Metropolitan Municipality) Open Data Portal. These data, which is April 2021, include time, average speed, maximum speed, minimum speed, average number of vehicles and location information. Also the road network data required for this study was obtained from OpenStreetMap (OSM). To calculate the CO₂ emissions emitted by the vehicles, vehicle speed data, number of vehicles and road length data were used. The road network data obtained from OSM was organized with open source QGIS and the traffic information obtained from the sensors was processed into the road network. Data filtering and editing were done using the Postgresql database and the geometry column was edited. Then, connection with Apache Superset was established and the prepared data table was transferred and visualized. It was presented to decision makers with a user-centered design.

In order to test the developed concepts, a pilot region consisting of five districts (Maltepe, Kartal, Pendik, Sancaktepe and Sultanbeyli) within the borders of Istanbul, where the problem is experienced intensely, was chosen. Emission results were

presented to the decision makers in the form of maps and graphics in the quality detail. While the emission values reach the highest 8.96 k on weekdays, this value is almost half at the weekend. When the emission distribution pattern is examined, the weekday graph displays a more up and down pattern, while the weekend graph shows a smoother transition. According to the weekday graph, emissions are high around 06.00-07.00 in the morning and around 18.00 in the evening. The reason for the values to appear like this is most likely due to the fact that school and commute times are clustered in this time period. In the weekend, the time period with the highest emission is around 07:00 in the morning. According to weekdays and weekends, the hour with the least emission was determined as 03.00 at night. These determinations are a warning for decision makers in order to implement measures to protect public health. According to the graphics, the district with the highest emission estimates is Sultanbeyli; the district with the lowest it seems to be Sancaktepe. While the emission emission is 27.17% on weekdays in Sultanbeyli, this value rises to 30.43% at the weekend. In Sancaktepe, on the other hand, while the emission was 13.94% on weekdays, it was 14.19% with a small increase at the weekend.

As a result, an open source and web-based dashboard panel with a dynamic and interactive interface, in which visual and geographic analytical functions are used, has been designed to monitor emissions from vehicles.



1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun son yıllarda önemli ölçüde artmasıyla yerküre daha önce hiç taşımadığı kadar insan nüfusuna ev sahipliği yapmaktadır. Birleşmiş Milletlerin hazırladığı rapora göre şu an yaklaşık olarak 7,7 milyar olan dünya nüfusunun 2030'da yaklaşık 8,5 milyara, 2050'de 9,7 milyara ve 2100'de 10,9 milyara ulaşabileceği düşünülmektedir (United Nations, 2019). Doğal nüfus artışının yanı sıra kente olan göç dalgaları da nüfusun artmasına sebep olmuştur. 2050 yılına kadar dünya nüfusunun yaklaşık %70'inin kentsel alanlarda yaşayacağı tahmin edilmektedir. Şehirler şu anda dünya kaynaklarının ve enerjinin %75'ini tüketmekte ve sera gazlarının %80'inin üretilmesine yol açmaktadır (van der Voorn & Popov, 2013).

Nüfus artışının yanı sıra kentlere olan ilginin yükselmesi, endüstride ve teknolojiye gelişmeler dünya kaynaklarının kullanımını ve enerji tüketimini hızla artmaktadır. Neticede tüm bu etkenler trafik sıkışıklığı, enerji yönetimi, kirlilik, hava kalitesinin azalması gibi birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Dünyadaki ölümlerin başlıca sebeplerinden birisi olarak kabul edilen hava kirliliği bu sorunların en ciddi olanlarından birisidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre hava kirliliğinden dolayı her yıl dünyada 7 milyon ölüm gerçekleşmektedir. Dünya nüfusunun büyük çoğunluğu hava kirliliği için belirlenen güvenli sınırların üstünde yaşamını idame ettirmektedir (WHO, 2022). Health Effects Institute (HEI)'a göre küresel nüfus sağlığını etkileyen 5 risk faktöründen biri olarak görülen hava kirliliği, dünya genelinde yaşam süresini 20 ay azaltmaktadır (HEI, 2019).

Hava kirliliğinin başlıca sebeplerinden birisi ulaşımdan kaynaklı emisyonlardır. HEI (2019) raporuna göre; Dünya genelindeki nüfus artışı, daha fazla insanın ve malın (emtia) hareket etmesine sebep olmuştur. Hareketlilikteki bu artış ile birlikte ulaşım dünyası da hızla değişmektedir. 2030 yılına kadar yıllık yolcu trafiği, 2015 yılına kıyasla %50'lik bir artış göstererek 80 trilyon yolcu/kilometreyi aşacaktır. Küresel taşıma hacmi ise 2015 yılına kıyasla %70 büyüyecektir. Ayrıca 2050'de 1.2 milyar daha aracın yollarda olması bekleniyor ki bu sayı 2017'deki araç toplamının iki katına

eşittir. Enerjiyle alakalı CO₂ emisyonlarının 2013 ile 2040 arasında %40 artması öngörülmektedir. Bu sektör sera gazı emisyonlarının %23'üne ve tüm insan kaynaklı emisyonların %18'ine katkıda bulunmaktadır. 2010 yılında, çoğu gelişmekte olan ülkelerde olmak üzere araç kaynaklı hava kirliliğinden dolayı yaklaşık 184.000 premature ölüm gerçekleşmiştir (Sustainable Mobility for All, 2017).

Tüm bu koşullar dikkate alındığında, kentlerin karşı karşıya geldiği sorunlara yönelik yenilikçi yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Bu yenilikçi yaklaşımlar Akıllı Şehir kavramıyla ön plana çıkmaktadır. Akıllı şehirler ile yaşam kalitesinin artırılması, kaynakların verimli kullanılması ve şehirlerin daha sürdürülebilir olması hedeflenmektedir (ITU-T, 2016). Akıllı şehirlerin yönetiminde ise kentsel bilişim (Urban computing) ve web gösterge panelleri (Dashboard) önemli bir yer tutmaktadır. Kentsel bilişim, trafik akış verileri, insan hareketliliği ve coğrafi verileri kullanarak şehirlerin trafik sıkışıklığı, enerji yönetimi, kirlilik gibi sorunlarına çözüm üretmeyi hedeflemektedir. Şehirlerin karmaşık ve dinamik yapıları göz önüne alındığında bahsi geçen sorunların çözümü her ne kadar imkansız gibi görünse de çeşitli kaynaklardan (sensörler, araçlar, binalar, insanlar vb.) üretilen zengin ve büyük veri sayesinde sorunların üstesinden gelinebilir (Zheng ve diğ. 2014).

1.1 Problemin Tanımı

Araçlardan kaynaklı emisyonlar hava kirliliğinin en büyük sebeplerinden birisidir. Fosil yakıtlardan salınan gazlar sera gazı salınımını artırmakta ve iklim değişikliğini tetiklemektedir. Ayrıca yaşam kalitesinin azalmasına, sağlık problemlerinin artmasına ve maddi açıdan büyük kayıplara sebep olmaktadır. Bu nedenle araçlardan kaynaklı emisyonların izlenmesi ve modellenmesi ilgilenilmesi gereken önemli bir konu haline gelmiştir.

Emisyonların kontrol altına alınamamasının sebeplerinden birisi farklı veri türlerinin, farklı kurumlar tarafından üretilmesi ve kurumlar arası işbirliğinin zayıf olması, ihtiyaç duyulan verilerin hazır ve şeffaf bir şekilde erişilebilir olmamasıdır. Konumsal Veri Altyapısı (KVA), kamu kurumları ve özel kurumlar tarafından üretilen verilerin depolanması, işlenmesi, paylaşılması ve kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca oluşturulan standartlar ve veri modelleri ile kurumlar arası işbirliği artırılarak sorunlara hızlı ve entegre çözümler bulunabilmektedir. Son yıllarda konumsal veri yönetiminin önemi anlaşılmış ve bu konuda hem dünyada hem ülkemizde çeşitli

alışmalar yapılmıştır. Bunlara rnek olarak Amerika (FGDC, 2022), Almanya (GDI-DE, 2022) , Singapur (Singapour, 2022) ve Avrupa bölgesi (INSPIRE, 2022) gösterilebilir. Türkiye’de ise Konumsal Veri Altyapısına yönelik olarak Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) projesi geliştirilmiştir. Bu proje ISOTC/211, OGC ve INSPIRE standartları temel alınarak oluşturulmuştur. TUCBS Adres, Arazi rts, Bina, Enerji Kaynakları ve Ulaşım Ağlarının da dahil olduğu 32 coğrafi veri temasından oluşmaktadır. Ulaşım Ağları teması ise Karayolu Ulaşım Ağı, Demiryolu Ağı, Hava Ulaşım Ağı, Su Ulaşım Ağı, Kent İçi Raylı Sistemler ve Kablololu Ulaşım Ağı ve Ortak Ulaşım Ağı olmak üzere 6 şemadan oluşmaktadır. Ulaşımdan kaynaklı emisyonlarla alakalı coğrafi verinin üretilmesi ve takip edilebilmesi için Emisyon veri modeli oluşturulması ve bu veri modelinin Ulaşım Ağları şemasına entegrasyonu gerekmektedir.

TUCBS’de coğrafi verilerin üretimi ve paylaşımına yönelik kavramsal olarak veri modelleri ve standartların oluşturulmuş olması tek başına yeterli değildir. Çünkü bunlar soyut bir modeli ifade etmekte ve uygulama aşamasında kullanılacak sistemlere bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Ayrıca üretilen bu kavramsal modeller yazılım bağımsız olmalı ve farklı birimdeki kullanıcılara da hitap etmelidir. Bu nedenle, tez kapsamında tasarlanan veri modelleri ve detay kataloglarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılım ortamında kullanılabilirliğinin incelenmesi ve test edilmesi gerekmektedir.

Son dönemde farklı kaynaklardan (sensörler, uydu görüntüleri, sosyal medya paylaşımları vb.) büyük ve heterojen yapıda veriler üretilmektedir. 2020 yılında 64,2 zettabayt olan veri miktarının önümüzdeki beş yıl içinde 2025’e kadar 180 zettabayt hacme ulaşması beklenmektedir (Statista, 2022a). İstatistiklere göre üretilen, kopyalanan, yakalanan ve tüketilen verilerin %80-90’ı veya daha fazlası yapılandırılmamış yani farklı boyut, şekil ve biçimdeki verilerden oluşmaktadır (CIO, 2019). İşletmelerin yüzde 95’inden fazlası, yapılandırılmamış verileri yönetme ihtiyaıyla karşı karşıya olduklarını söylemektedir (Kulkarni, 2019). Büyük verinin önemli bir kısmını coğrafi veriler oluşturmaktadır ve bu tür verilerin boyutu her yıl %20 artmaktadır (Lee ve Kang, 2015). Bu akan büyük veri yığınlarının görsel teknikler ve coğrafi analizler yardımıyla nasıl etkin bir şekilde yönetilebileceği ise geliştirilmeye muhtaç bir konudur.

Kaynakların verimli kullanılması gerekliliği, kamu kurum ve kuruluşlarının yazılım, model ve çözümlerde ekonomik ve verimli seçenekleri kullanma zorunluluğunu getirmektedir. Burada açık kaynak kodlu yazılımlar son yıllarda öne çıkmaktadır (Çavuş ve Kurt, 2017). Açık kaynak kodlu yazılım, kaynak kodun telif hakkı sahibinin yazılımını dışarıya açmasıdır. Kaynak koda ulaşan kişiler yazılımı kullanma, inceleme, değiştirme ve dağıtma imkânını elde ederler (OSS, 2022). Açık kaynak kodlu yazılımların esnek yapıda olması, kurum ihtiyaçlarına göre uyarlanmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca süre sınırının olmaması uzun yıllar birlikte çalışabilirliğin, veri ve program tutarlılığının önünü açmaktadır.

Bahsi geçen problemler dikkate alındığında bu çalışmada şunlar hedeflenmektedir:

- TUCBS'nin Ulaşım Ağları veri teması/Karayolları Ağı şemasına “Emisyon” veri modelini ekleyerek coğrafi ve dinamik verilerle araçlardan kaynaklı emisyonların anlık hesaplanmasını ve takip edilmesini sağlamaktır.
- Dinamik yapıdaki büyük ve heterojen verileri kullanarak, karar vericilere önemli bilgileri grafikler, haritalar, anahtar göstergeler vb. araçlarla hızlı ve fonksiyonel bir biçimde sunacak bir karar destek sistemi sağlamaktır. Sistemdeki bilgiler gösterge paneli ile karar vericilere sunulacağından kullanıcı dostu bir tasarım olması hedeflenmektedir.
- Açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılarak düşük maliyetli bir çözüm önerisi sunmaktır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu tezin ana amacı, coğrafi ve dinamik veriler kullanılarak, Ulusal KVA (Konumsal Veri Altyapısı) standartı projesi olan TUCBS (Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi)'nin Ulaşım Ağları veri temasına uygun, araçlardan kaynaklı emisyonları izlemeye ve karar vermeye destek olmak üzere web tabanlı açık kaynak kodlu bir gösterge paneli tasarlamaktır.

2. ARAÇLARDAN KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ

Hava kirliliği, atmosferin doğal özelliklerini değiştiren herhangi bir kimyasal, fiziksel veya biyolojik etken tarafından iç veya dış ortamın kirlenerek insanlara ve diğer canlılara zarar verecek seviyeye ulaşmasıdır (WHO, 2022; Kara Rapor, 2020).

Hava kirlenmesine sebep olan kirleticilerin kaynağı genellikle hareketli, sabit ve doğal olmak üzere üç ana kategoriye ayrılabilir (Fan ve diğ. 2018). Orman yangınları, yanardağ faaliyetleri, çöl tozları, deniz spreyi gibi olaylar sonucunda oluşan kirleticiler doğal kirleticiler sınıfında kabul edilir. Fabrikalar, petrol rafinerileri, enerji santralleri vb. ağır endüstri kaynakları sabit hava kirliliği kaynaklarına örnek olarak verilebilir. Otomobil, kamyon, gemi, uçak gibi taşıtlar hava kirliliğine sebep olan hareketli kirlilik kaynaklarıdır.

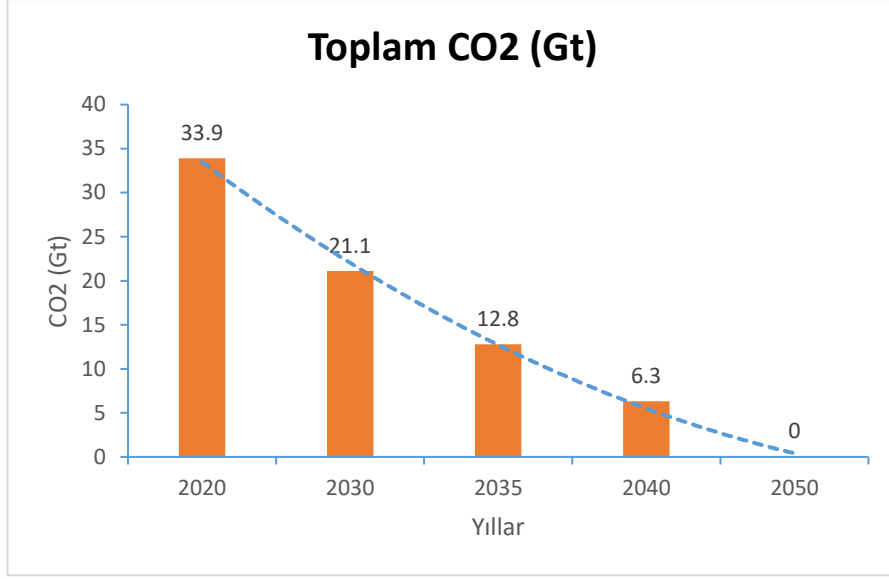
Özellikle motorlu araçların yaydığı karbondioksit, hidrokarbonlar, partiküler maddeler gibi birçok element, başta solunum yolu hastalıkları olmak üzere büyük sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Bowatte ve diğ. (2016)'nin yaptığı çalışma trafikten kaynaklı kirliliğe maruz kalmanın alerjik duyarlılık, astım ve zayıf akciğer fonksiyonları ile ilişkisini gösteren kanıtlar bulmuştur. Sağlık Etkileri Enstitüsünün (HEI) yaptığı çalışma trafikle ilgili hava kirliliğine maruz kalma ile astım, astım dışı solunum semptomları, bozulmuş akciğer fonksiyonu, kardiyovasküler mortalite ve morbidite ile nedensel bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (HEI, 2010).

Literatürde araçlardan kaynaklı CO₂ emisyon miktarı ve araç hızı arasındaki ilişkileri inceleyen çalışmalar mevcuttur. Kunkler ve diğ. (2021)'nin yaptığı çalışmaya göre otoyollara saatte 120 km'lik bir hız sınırının getirilmesi, hız sınırının olmadığı duruma göre %7,43'lük CO₂ salınımını azaltmaktadır. Tang ve diğ. (2019)'nin çalışması bir okulun yakınındaki hız limitlerinin hava kalitesi ile olan ilişkisini göstermektedir. Buna göre, okul çevresinde hız sınırlarının düşürülmesi yol güvenliği açısından haklı bir sebep olsa da hava kalitesi açısından olumsuz etkilere sahiptir.

Karayolundaki motorlu araçlardan birçok sera gazı salınmaktadır. Normal seviyelerde sera gazları faydalıdır çünkü güneş ısısının bir kısmını atmosferde tutmakta ve dünyanın ısınmasını sağlamaktadır. Ancak sera gazında normalin üstünde artış olursa bu iklim değişikliğine sebep olabilmektedir. Bu yüzden dünya sıcaklığının belli bir seviyede tutulması gerekmektedir. Ulaşım sektörü 2012 yılında en çok enerji tüketen sektörlerden birisidir. 2013 ila 2040 yıllarında enerjiyle alakalı karbon dioksit (CO₂) emisyon miktarı %40 artacaktır. Bunun anlamı; ulaşım sektörü sera gazı emisyonlarının %23'üne katkıda bulunmaktadır (Sustainable Mobility for All, 2017).

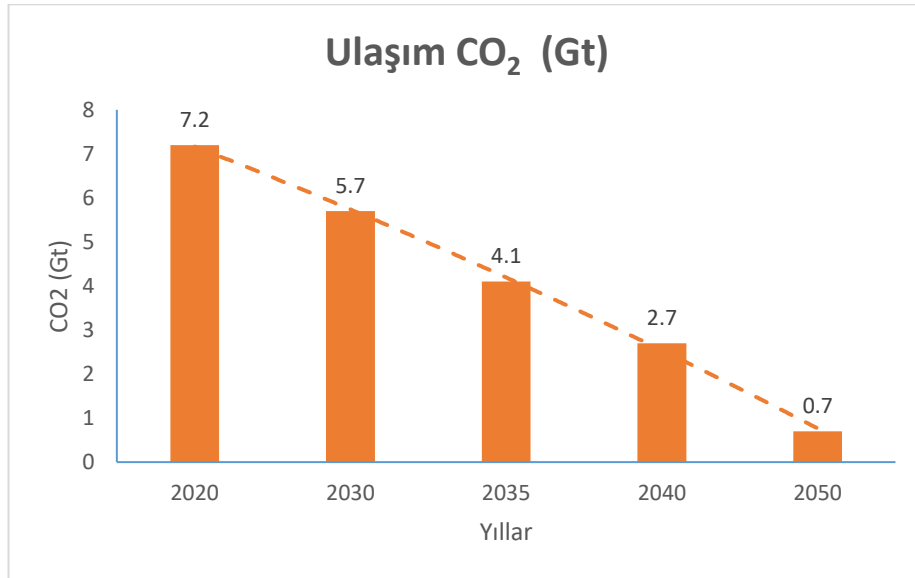
2015 yılında birçok ülke tarafından kabul edilen ve 2021 yılında Türkiye'nin de taraf olduğu Paris Anlaşması, iklim krizinin önüne geçebilmek için küresel ortalama sıcaklık artışını, sanayi öncesi döneme göre 2°C üzerinde sınırlamayı hedeflerken, bu artışın mümkünse 1,5°C'nin altında kalmasını sağlamak istemektedir (United Nations, 2015). Ayrıca Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), enerji sektörünün 2050 yılına kadar Net Sıfır emisyon hedefine ulaşması için kapsamlı bir rapor hazırlamıştır. Bu raporda 2050 yılına kadar Net Sıfır emisyonu nasıl ulaşılabileceğine yönelik bir yol haritası çizilmiştir. Tüm sektörleri ve teknolojileri kapsayan, yenilenebilir enerjiyle desteklenen bir ekonomiyi dönüştürmek için 400'den fazla dönüm noktası ortaya koyulmuştur. Bu rapor kapsam olarak küreseldir ancak her ülkenin kendi özel koşullarını dikkate alarak 2050 yılı Net Sıfır emisyon stratejilerini oluşturması gerekmektedir (IEA, 2021).

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi 2020 yılında ulaşım, bina ve diğer etmenler dahil olmak üzere yayılan toplam CO₂ emisyon değeri 33.9 Gt (gigaton) olarak belirlenmiştir. IEA (2021) raporunun çizdiği yol haritasına göre bu değerin 2030 yılında 21.1 Gt, 2035 yılında 12.8 Gt, 2040 yılında 6.3 Gt ve 2050 yılında 0 Gt olması hedeflenmektedir.



Şekil 2.1 : Dünya toplam CO₂ (Gt) grafiği.

Şekil 2.2'ye göre ulaşım sektöründe yayılan CO₂ emisyon değeri 2020 yılı için 7.2 Gt'dir. Bu değerin 2030 yılında 5.7 Gt, 2035 yılında 4.1 Gt, 2040 yılında 2.7 Gt, 2050 yılında 0.7 Gt olması istenmektedir. Yani ulaşım sektöründe 2020 yılında 2050 yılına kadar CO₂ seviyelerinde yaklaşık %90'lık bir düşüş beklenmektedir. 2050 yılına kadar neredeyse iki katına çıkacak olan yolcu seyahati, mevcut duruma göre iki buçuk kat artan yük taşımacılığı faaliyeti, 1,2 milyar araçtan oluşan küresel araç filosunun 2050 yılında 2 milyara yaklaşacak olmasına rağmen CO₂ emisyon miktarında %90'lık düşüş sağlanabilir.



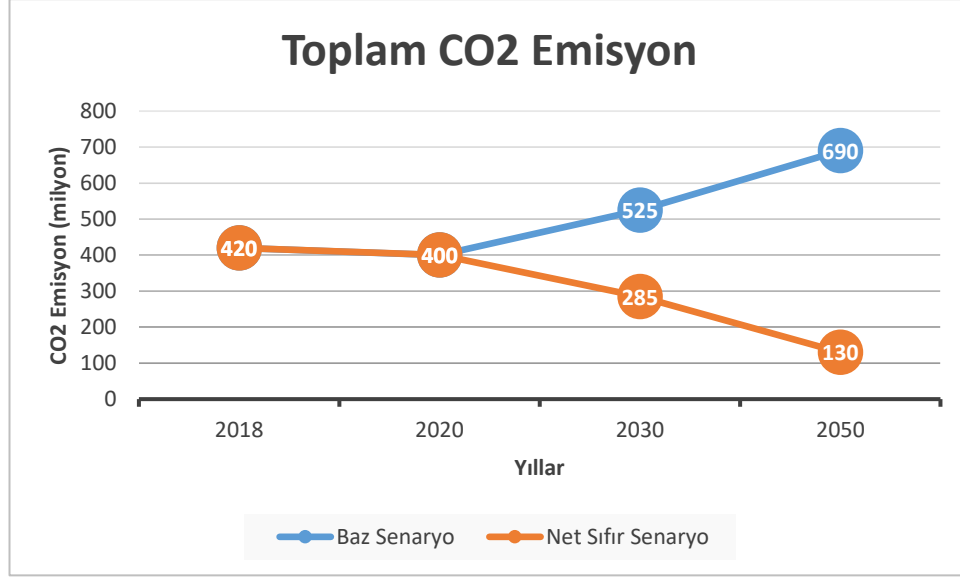
Şekil 2.2 : Dünya ulaşım CO₂ (Gt) grafiği.

Türkiye kendi ülke koşullarını dikkate alarak 2050 yılı Net Sıfır yolunda stratejilerini geliştirmeye başlamış ve “Türkiye’nin Karbonsuzlaşma Yol Haritası 2050’de Net Sıfır” raporu hazırlanmıştır. Bu raporun amacı Paris Anlaşması ve 2050’de Net Sıfır hedefi doğrultusunda ülke ekonomisinin nasıl bir yol izlemesi gerektiğine yönelik bir kılavuz sunmaktır (Şahin ve diğ. 2021).

Bu raporda Türkiye’nin 2018-2050 yılları arasındaki CO₂ emisyon patikası iki senaryo üzerinden değerlendirilerek bir karşılaştırma yapılmıştır. Baz Senaryo; dünyadaki tüm gelişmelerle birlikte iklim değişikliğine ve emisyon azaltımına yönelik herhangi bir politika takip edilmediğinde CO₂ emisyonlarının seyrine yönelik bir senaryodur. Net Sıfır Senaryosu; 2050 Net Sıfır emisyon hedefinin sağlanmasına yönelik gerekli politikalar takip edildiğinde nasıl bir CO₂ emisyon seyri çıkacağına yönelik bir senaryodur (Şahin ve diğ. 2021).

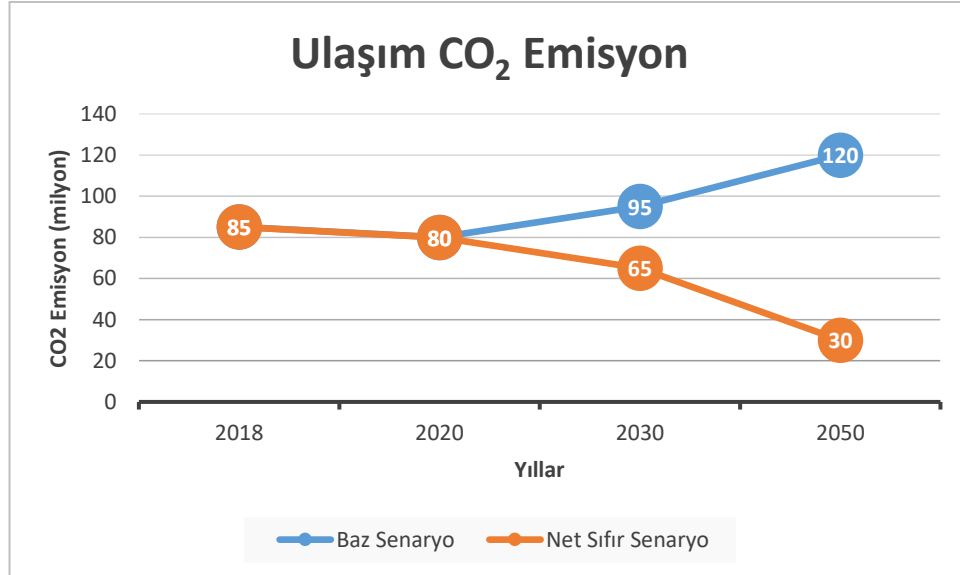
Baz Senaryo dikkate alındığında Türkiye’nin toplam CO₂ emisyonu 2018’de yaklaşık 400 milyon ton iken, 2030’da yaklaşık 500 milyon ton, 2050’de yaklaşık 700 milyon ton, 2070’te ise 920 milyon tona çıkmaktadır. Yani 2018 seviyesi ile karşılaştırıldığında 2030’a göre %24’lük, 2050’ye göre % 66’lık bir artış varken 2070’e göre ise %120’lik bir artış beklenmektedir (Şahin ve diğ. 2021).

Net Sıfır Senaryosu dikkate alındığında Türkiye’nin toplam CO₂ emisyonu 2030’da yaklaşık 300 milyon ton iken, 2050’de 130 milyon ton seviyelerine kadar inmektedir. Yani 2018 seviyesi ile karşılaştırıldığında 2030’a göre % 31’lik, 2050’ye göre ise %68’lik bir azalış beklenmektedir (Şahin ve diğ. 2021). Baz Senaryo ve Net Sıfır Senaryolarının yıllara bağlı emisyon değerleri Şekil 2.3’de görülmektedir.



Şekil 2.3 : Türkiye CO₂ emisyon grafiği.

Baz Senaryo değerlerine göre ulaşım sektöründen kaynaklı toplam CO₂ emisyon değeri 2018’de yaklaşık 85 milyon iken, 2030’da yaklaşık 100 milyon ton, 2050’de ise yaklaşık 120 milyon ton olması bekleniyor. Net Sıfır Senaryosu’nda bu değerler 2030’da yaklaşık 65 milyon ton, 2050’de ise yaklaşık 30 milyon tona kadar inecektir (Şahin ve diğ. 2021). Ulaşım sektöründeki Baz Senaryo ve Net Sıfır Senaryo karşılaştırması Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Türkiye ulaşım CO₂ emisyon grafiği.

Avrupa Yeşil Mutabakatı’na (“European Green Deal”) uyum kapsamında Ticaret Bakanlığı Yeşil Mutabakat Eylem Planı’nı Temmuz 2021’de yayımlamıştır. Sınırd

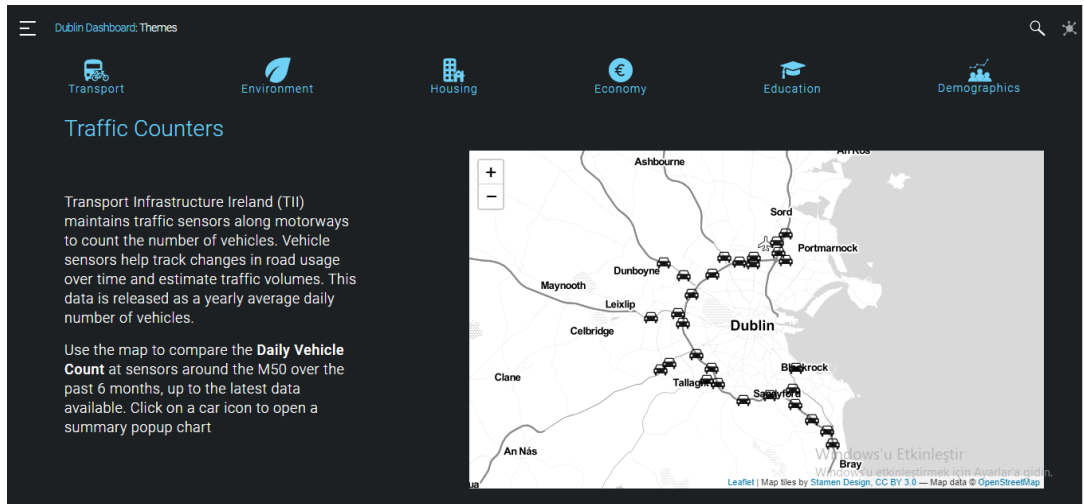
karbon düzenlemeleri, temiz enerji arzı, yeşil ve döngüsel bir ekonomi, sürdürülebilir tarım ve sürdürülebilir ulaşım gibi hedefler belirlenmiştir (Ticaret Bakanlığı, 2021). Son dönemde hem Karbonsuzlaşma Yol Haritası'nın çıkarılması, hem Paris İklim Anlaşması'nın onayı hem de Yeşil Eylem Planı'nın yayımlanması Türkiye'de iklim değişimine ve hava kirliliğine yönelik çalışmaların hızlandırılması beklenmektedir.



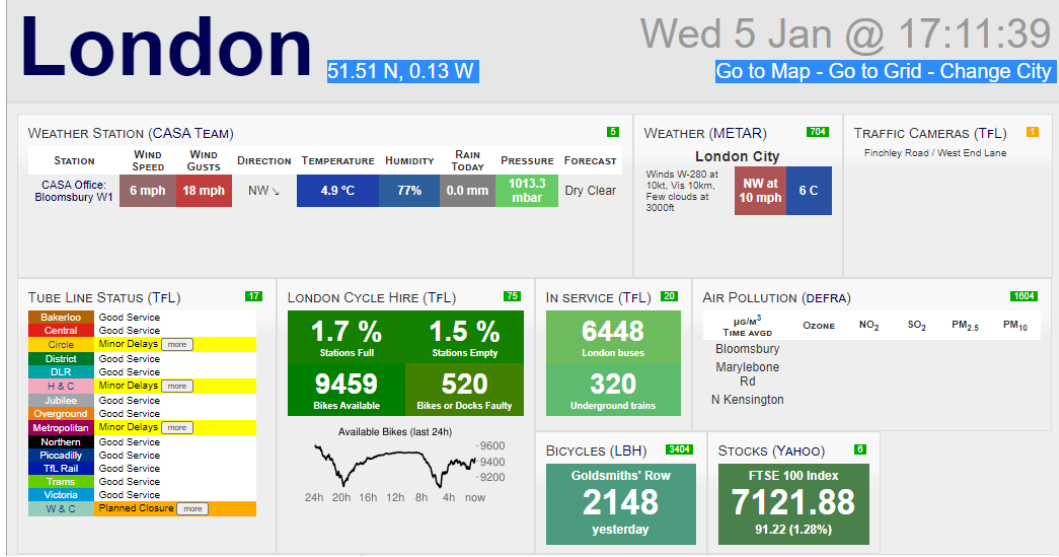
3. KENTSEL BİLİŞİM

“Kentsel bilişim, şehirlerin karşılaştığı hava kirliliği, enerji tüketimi, trafik sıkışıklığı gibi sorunları çözmek için sensörler, cihazlar, araçlar, binalar ve insanlar gibi kentsel alanlarda çeşitli kaynaklar tarafından üretilen büyük ve heterojen yapıdaki verilerin elde edilmesi, bütünleştirilmesi ve analizi sürecidir” (Zheng ve diğ. 2014). Şehir planlama, ulaşım, ekonomi, çevre ve enerji mühendisliği gibi disiplinlerin bilgisayar bilimleri ile buluştuğu disiplinler arası bir çalışma alanına sahiptir. Geniş kapsamlı olması, analitik süreçleri zorlaştırmaktadır. Bu nedenle çeşitli alanlarda derin bilgi birikimi, deneyim ve birlikte çalışabilirlik gerektirmektedir (Zheng ve diğ. 2016).

Kentsel bilişimde verilerin elde edilmesi, işlenmesi, analiz edilmesi ve görsel araçlarla kullanıcı ve karar vericilere sunulması bir süreçtir. Bu süreç sonunda gösterge panelleri ile kentsel sorunların takip edilmesi ve kent performansının ölçülebilmesi mümkün hale gelmiştir. Örneğin sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilen, Dublin (Dublin, 2022) ve Londra (London, 2022) şehirleri için geliştirilmiş olan gösterge panelleri, kentsel bilişim adına önemli bir adımdır.

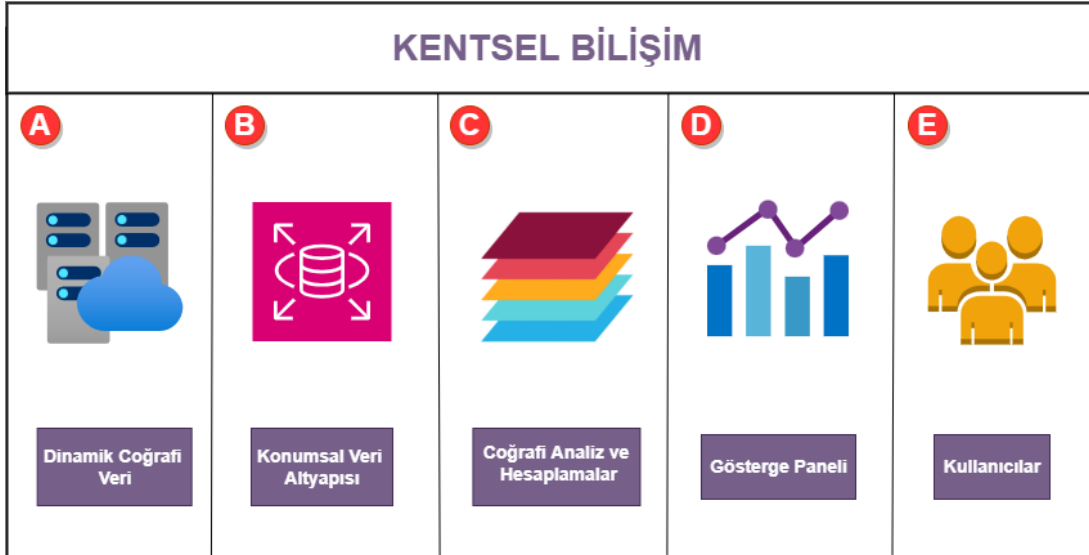


Şekil 3.1 : Dublin gösterge paneli.



Şekil 3.2 : Londra gösterge Paneli.

Ulaşım, çevre, ekonomi, eğitim ve nüfus gibi birçok alanı kapsayan bu paneller hem yöneticiler hem de vatandaşlar için şehir yönetimini etkili kılmaktadır. Ulaşım alakaı olarak; Dublin gösterge panelinde toplu taşıma kullanımı, bisiklet kiralama ve trafikteki araç sayısını gösteren grafik ve haritalar mevcutken; Londra gösterge panelinde bisiklet kiralama, metro hatları ve trafik kameralarını gösteren sekmeler mevcuttur.



Şekil 3.3 : Kentsel bilişim.

Kentsel bilişimi besleyen en önemli kaynak büyük ve heterojen yapıdaki verilerdir. Büyük verinin önemli bir kısmını coğrafi veriler oluşturmaktadır ve bu tür verilerin boyutu her yıl %20 artmaktadır (Lee ve Kang, 2015). Bu verilerin etkin şekilde

yönetilebilmesi ve kurumlar arası işbirliğinin artırılabilmesi için Konumsal Veri Altyapısına ihtiyaç vardır. Coğrafi analiz yöntemleri ile ileri düzey analizler yapılarak karar vericilere destek mekanizmaları oluşturulabilir. Ayrıca verileri keşfetmek ve geleceğe yönelik iç görüler elde edebilmek için gösterge panelinde görselleştirilmeleri gerekmektedir. Panel tasarımının ise karar vericilerin ihtiyaçları dikkate alınarak kullanıcı dostu olması gerekmektedir. Bu aşamaları gösteren sistem mimarisi Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Sonraki bölümde bu aşamalar ayrıntılarıyla açıklanacaktır.

3.1 Dinamik Coğrafi Büyük Veri

Akıllı şehirlerin yönetiminde bilgi ve iletişim teknolojilerinin yanı sıra verilerin etkin şekilde kullanılması da büyük önem taşımaktadır. Özellikle büyük veri kavramı son dönemde akıllı şehirlerin yönetiminde ve kentsel bilişim alanında ön plana çıkmaktadır.

IBM’e göre 2020 yılında yaklaşık 40 trilyon gigabayt (veya 40 zettabayt) veri üretildi. Bu da her insanın saniyede 1,7 megabayt veri ürettiği anlamına gelmektedir (Dailey, 2020). Günümüzde dünya nüfusunun %50’den fazlası internete bağlıdır. Bu oranın 2030 yılına kadar %75’e çıkması beklenmektedir. Ayrıca 2012 yılında dünya genelindeki veri merkezi sayısı 500 bin iken şu an 8 milyona çıkmıştır (Rasmussen, 2020).

2010’dan 2020’ye kadar dünyada üretilen, yakalanan, kopyalanan ve tüketilen veri miktarı 1,2 trilyon gigabayttan yaklaşık 60 trilyon gigabayta yükselerek neredeyse %5.000’lik bir büyüme kaydetmiştir (Press, 2020). Küresel büyük veri pazarının ise 2027 yılına kadar 103 milyar dolara ulaşması tahmin edilmektedir (Statista, 2022b). Önümüzdeki üç yılda üretilen veri miktarı, son 30 yılda üretilen veriden daha fazla olacaktır. Ayrıca dünyada önümüzdeki beş yılda, önceki beş yılda üretilen verinin üç katından fazla veri üretilecektir (IDC, 2021).

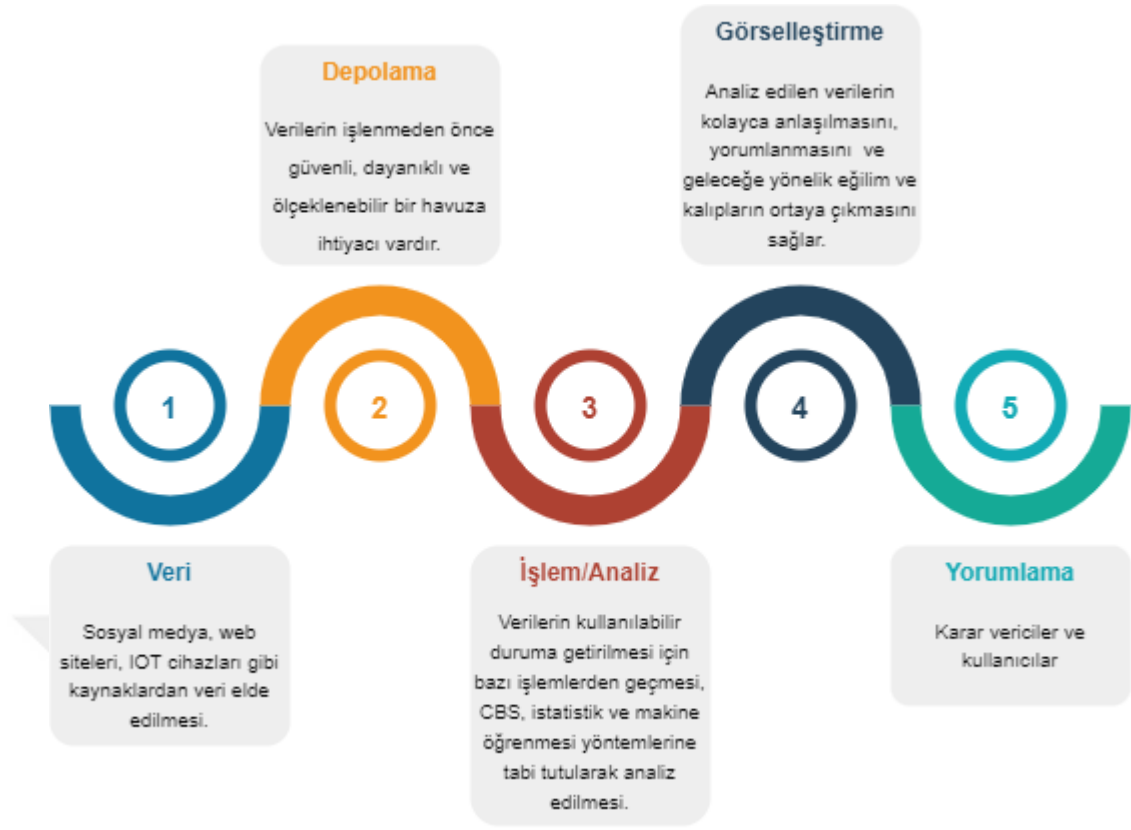
Büyük veri hem akademide hem de endüstride önemle üzerinde durulan bir kavram olmasına rağmen, farklı bağlam ve anlamlara gelebilmektedir. Bu yüzden tanımı üzerinde mutabık kalınamamıştır. Mesela Gartner (Gartner, 2022a) büyük veriyi “gelişmiş iç görü, karar verme ve süreç otomasyonu sağlayan uygun maliyetli, yenilikçi bilgi işleme biçimleri talep eden yüksek hacimli, yüksek hızlı ve/veya yüksek çeşitlilikteki bilgi varlıkları” olarak tanımlamıştır. IBM (2022) ise büyük veriyi

“Boyutu veya türü, geleneksel ilişkisel veritabanlarının düşük gecikme süresiyle verileri yakalama, yönetme ve işleme yeteneğinin ötesinde olan veri kümeleri için uygulanan bir terim” olarak ifade etmiştir. Mauro ve diğ. (2014) yayınladıkları makalede büyük veri üzerine yapılan tanımlamalar incelenmiş ve kapsayıcı bir tanım önerilmiştir: “Büyük veri, değere dönüştürülmesi için belirli teknoloji ve analitik yöntemler gerektiren Yüksek Hacim, Hız ve Çeşitlilik ile karakterize edilen bilgi varlıklarıdır.”

Büyük veri her ne kadar farklı alanlarda uygulanıyor olsa da karakteristik özellikleri ya da bileşenleri temelde 3V olarak tanımlanmıştır: Volume, velocity ve variety (Gartner, 2022b; Seref ve Sinanc, 2013).

Ancak teknoloji ve endüstrideki son gelişmeler ile birlikte, büyük veriyi tanımlamak için farklı V bileşenleri eklenmesi ihtiyacı hissedilmiştir. Adolf (2013) ek olarak veracity bileşenini ekleyerek 4V olarak tanımlamıştır. Agrahari ve Rao (2017) volume, velocity, variety, value, variability, visualization ve veracity olmak üzere 7 bileşen tanımlamıştır. Firican (2017) ise büyük veri bileşenlerini 10V olarak ifade etmiştir: Volume, velocity, variety, variability, veracity, validity, vulnerability, volatility, visualization ve value. Hatta 55V olarak tanımlayan bir çalışma da mevcuttur (Hussein, 2020).

Büyük verinin analizindeki amaç, sadece verilerin elde edilmesi değil aynı zamanda bu verilerden anlamlı bilgi ve yüksek iç görü sağlayabilmektir. Bu süreç, Şekil 3.4’te görüleceği üzere beş temel aşamadan oluşmaktadır.



Şekil 3.4 : Büyük veri aşamaları.

Uydu ve İnsansız Hava Aracı görüntüleri, konum etiketli sosyal medya paylaşımları, mobil uygulamalar, web siteleri, sensörler, gönüllü coğrafi bilgi projeleri vb. birçok veri kaynağı coğrafi veri üretmektedir. Üretilen bu dinamik coğrafi büyük veri sayesinde demografik, ekonomik, yönetsel ve çevresel birçok kent sorunlarına yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Örneğin, bu çalışmada kaza riski taşıyan kavşakların tespit edilmesi için bir filo şirketinden elde edilen büyük ölçekli ve heterojen yapıdaki coğrafi veriler analiz edilmiştir (Toyoda ve diğ., 2017). Ferreira ve diğ. (2013)'nin çalışmasında ise New York'ta 520 milyondan fazla taksi yolculuğundan oluşan coğrafi büyük veri seti kullanılarak önemli iç görüler elde edilmiştir. Bundan sonraki süreçte de bu tarz çalışmalara ve dinamik coğrafi büyük veriye olan talep artacaktır.

3.2 Konumsal Veri Altyapısı

Konumsal Veri Altyapısı, birlikte çalışabilirlik ve erişim kolaylığı sağlamak için gerekli olan format ve protokolleri standartlaştıran, coğrafi bilgilerin paylaşımını ve etkin kullanımını sağlayan politikalar, kurumsal düzenlemeler, teknolojiler, veriler ve

insanlardan oluşan bir çerçevedir (OKR, 2012). KVA ile standart ve prosedürlere bağlı kalınarak veri tekrarının önüne geçmek, üretilen verileri bütünleştirmek, coğrafi verileri daha erişilebilir hale getirmek, bu verilerin paylaşımını kolaylaştırmak, maliyetlerini azaltmak ve kurumlar arası işbirliğini hızlandırmak gibi birçok fayda amaçlanmaktadır.

Nüfus artışıyla büyüyen şehirler, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki son gelişmeler, hızla artan veri üretimi gibi birçok olay yeni bir süreci ifade etmektedir. Bu sürecin etkin bir şekilde yönetilebilmesi, Konumsal Veri Altyapısı ihtiyacını doğurmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için çeşitli kurum, proje ve standart çalışmaları mevcuttur. Hiyerarşik yapıdaki kurum ve standartlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

ISO uluslararası bir kuruluş olup, 165 ülkede üyesi bulunan ve 24000'e yakın standarda sahip olan bir federasyondur. Standartlar, konularında uzmanlığa sahip ve temsil ettikleri kuruluşların ihtiyaçlarını bilen komiteler tarafından oluşturulur. Bu standartlar ürün yapmak, herhangi bir süreci yönetmek, hizmet sunmak veya malzeme tedarik etmek gibi çeşitli faaliyet alanlarını kapsar. Bu standartlar sayesinde zaman, emek, hammadde ve maliyet açısından kayıpların önüne geçilir ve verimlilik artırılmış olur. Kalite yönetimi, bilgi güvenliği yönetimi ve iş sağlığı güvenliği en iyi bilinen ve en yaygın kullanılan standartlardır (ISO, 2022).

ISO'da standartların geliştirilmesiyle ilgilenen yaklaşık 800 tane teknik komite ve alt komiteler vardır. ISO TC/211 “Geographic Information/Geomatics” komitesi bunlardan bir tanesi olup coğrafi bilginin standartlaştırılmasından sorumludur. Bu komite 1994 yılında Avrupa Standart Komitesi CEN'in CEN/TC 287 “Geographic Information” desteği ile kurulmuştur. Ayrıca bu komite de 37 ülkeden aktif üye ve 33 ülkeden gözlemci üye bulunmaktadır. Bu standart, dijital ortamda verilerin farklı kullanıcılar, sistemler ve konumlar arasında elde edilmesi, işlenmesi, analiz edilmesi ve sunulmasını sağlamak için bir çerçeve sunmaktadır (ISOTC211, 2022).

Devlet kurumlarından ticari kurumlara kadar birçok kuruluş ya da oluşum coğrafi veri üretmektedir. Ancak üretilen verilerin işlenmesi, paylaşılması, kullanılması ve kurumlar arasında iş birliğinin sağlanması için belli standartların oluşturulması gerekmektedir. OGC bu standartları oluşturmak amacıyla 1994 yılında kurulmuştur. OGC, 500'den fazla işletme, devlet kurumu, araştırma kuruluşu ve üniversiteden oluşan, coğrafi topluluklar için açık standartlar geliştirmeye ve tanımlamaya

odaklanan kar amacı gütmeyen bir kuruluştur. Vizyonu, toplumun faydası için çeşitli komiteler ve teknoloji imkanları ile birlikte konumun geleceğini inşa etmektir. Misyonu ise konum bilgilerini; Bulunabilir (Findable), Erişilebilir (Accessible), Birlikte Çalışabilir (Interoperable), Yeniden Kullanılabilir (Reusable) yapmaktır (OGC, 2022).

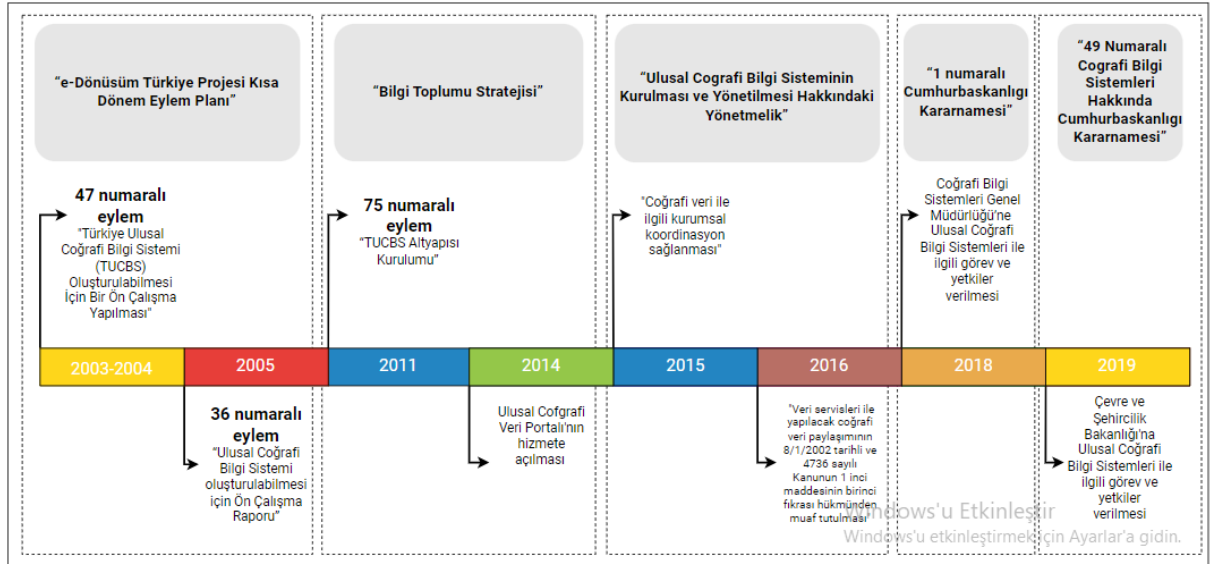
INSPIRE, Avrupa’da konumsal veri altyapısını oluşturmak amacıyla 2001 yılında kurulmuştur. Coğrafi veri standartlarının belirlenmesi, veri erişimi, veri paylaşımı, kurumlar arası koordinasyon sağlanması gibi konulara yönelik politika ve yönerge çalışmalarına öncülük etmiştir. INSPIRE Direktifi, Avrupa Birliği Parlamentosu tarafından 2007 yılında kurulmuştur. Amacı, AB çevre politikaları ve faaliyetlerine uygun olarak Avrupa Birliği Konumsal Veri Altyapısı’nı oluşturmaktır. Özellikle kamu sektörü kuruluşları arasında coğrafi verinin paylaşılmasını sağlayarak coğrafi verinin ulaşımını Avrupa genelinde kolaylaştırmak istemektedir (INSPIRE, 2022).

INSPIRE’in belirlediği prensipler:

- Veriler yalnızca bir kez toplanmalı ve en etkin şekilde muhafaza edilebileceği yerde saklanmalıdır.
- Avrupa genelinde farklı kaynaklardan gelen coğrafi bilgileri bütünlemek ve birçok kullanıcı ve uygulama ile paylaşmak mümkün olmalıdır.
- Bir düzeyde/ölçekte toplanan bilgilerin tüm düzey/ölçeklerle paylaşılabilmesi mümkün olmalıdır.
- Her düzeyde iyi yönetim için ihtiyaç duyulan coğrafi bilgi, hazır ve şeffaf bir şekilde erişilebilir olmalıdır.
- Hangi coğrafi bilginin mevcut olduğunu, belirli bir ihtiyacı karşılamak için nasıl kullanılabileceğini ve hangi koşullar altında elde edileceğini bulmak kolay olmalıdır.

Türkiye’de Konumsal Veri Altyapısının kurulması Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına bağlı olarak kurulan Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir (49 nolu Coğrafi Bilgi Sistemleri Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi, 2019). Ulusal Coğrafi Bilgi Sisteminin kurulması çalışmaları 2003 yılına kadar gitmektedir. “e-Dönüşüm Türkiye Projesi Kısa Dönem Eylem Planı” ile süreç başlatılmış oldu. 47 numaralı eylem ile “Türkiye Ulusal Coğrafi

Bilgi Sistemi (TUCBS) Oluşturulabilmesi İçin Bir Ön Çalışma Yapılması” başlıklı rapor yayımlanmıştır. Bu raporu takriben 2005 yılında 36 numaralı eylem ile “TUCBS Oluşturmaya Yönelik Altyapı Hazırlık Çalışmaları Raporu” hazırlanmıştır. 2011 yılında 75 numaralı eylem uyarınca TUCBS altyapısı kurulumu başlamış, 2014 yılında ise “Ulusal Coğrafi Veri Portalı hizmete açılmıştır. 2015 yılında “Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kurulması ve Yönetilmesi Hakkındaki Yönetmelik” yayımlanmış olup coğrafi veri ile ilgili kurumsal koordinasyon sağlanmasına yönelik önemli bir adım atılmıştır. 2018 yılında yayımlanan “1 Numaralı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi” ile Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü’ne Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri ile ilgili görev ve yetkiler verilmiştir. 2019 yılında “49 Numaralı Coğrafi Bilgi Sistemleri Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi” ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığına Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri ile ilgili görev ve yetkiler devredilmiştir (ÇŞİDB, 2022a).



Şekil 3.5 : TUCBS’ye yönelik yapılan çalışmalar (ÇŞİDB, 2022a).

TUCBS en son haliyle 32 veri teması, 81 şema, 649 nesne, 335 coğrafi nesne, 251 değer listesi ve 474 kod listesinden oluşmaktadır. Bu temalardan birisi olan Ulaşım Ağları Temasında ise 6 adet şema, 120 nesne, 62 coğrafi nesne, 9 değer listesi ve 48 kod listesi bulunmaktadır. Bahsi geçen şemalar; (ÇŞİDB, 2022b)

- Karayolu Ulaşım Ağı
- Demiryolu Ağı
- Hava Ulaşım Ağı
- Su Ulaşım Ağı

- Kent İçi Raylı Sistemler ve Kablolu Ulaşım Ağı
- Ortak Ulaşım Ağı olarak belirlenmiştir.

Ulaşım ağları teması karayolu, denizyolu, demiryolu ve havayolu ağlarının yönetimini sağlayan bütüncül bir sistemdir. Ulaşım ağı yönetimi, emlak yönetimi, acil durum yönetimi, kargo yönetimi, navigasyon sistemleri, seyahat planlama vb. birçok çalışmanın ihtiyaç duyduğu temel ulaşım verilerinin elde edilmesi ve yönetilmesini sağlar. Aynı zamanda yerel düzeyden küresel düzeye kadar kullanılabilecek şekilde tasarlanıp uluslararası uygulamaları da destekleyecek düzeyde oluşturulmuştur (ÇŞİDB, 2022c).

TUCBS projesinde 2013 yılında Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü tarafından 10 adet ulusal coğrafi veri teması standartları belirlenmiş olsa da bu temaların ve standartların zamanla güncellenmesi ve genişletilmesi ihtiyacı duyulmuştur. Örneğin, Anbaroğlu ve diğ. (2021)'nin çalışmasında 2013 yılındaki TUCBS ulaşım teması ile 2018'de güncellenmiş ulaşım teması arasındaki benzerlikler ve farklılıklar tespit edilmiştir. 2021 yılında gerçekleştirilen TUCBS Faz 4 çalışması ile ihtiyaçlar doğrultusunda gerekli güncelleme ve genişletilme çalışmaları yapılmıştır. TUCBS projesi kurumların talepleri, dönemsel şartlar ve güncel ihtiyaçlara göre ileriki süreçlerde de muhakkak sürekli güncellenecektir. Bu tez çalışmasında, Ulaşım Ağları teması Karayolu şemasına araçlardan kaynaklı emisyonlara yönelik yeni bir detay tipi eklenerek TUCBS çalışmalarına katkıda bulunulmuştur.

3.3 Coğrafi Analiz ve Hesaplamalar

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), dünya üzerinde karşılaşılan ekonomik, sosyal, çevresel sorunlara yönelik, karar vericilere destek olmak üzere, konum bazlı verilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi ve sunulmasını sağlayan bütüncül bir bilgi sistemidir. CBS sağlık, ulaşım, afet, enerji, sigortacılık, emlak, eğitim, tarım gibi şehrin bileşenlerine yönelik tüm alanları kapsayan bir çalışma sahasına sahiptir. Örneğin, taksilerden toplanan GPS verilerine dayalı olarak kentsel trafik sıklıkla analiz edilebilir (Wang ve diğ. 2013). Coğrafi bilginin nesnelerin interneti, büyük veri, yapay zeka gibi yıkıcı teknolojilerin yanı sıra uydu, sensör, sosyal medya vb. kaynaklardan üretilen büyük hacimli verileri işleyebilecek donanımsal gereçlerin geliştirilmesiyle önemi gittikçe artmaktadır. Türkiye Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi

ve Eylem Planında akıllı şehir bileşenleri arasında akıllı ulaşım, akıllı enerji gibi temel bileşenlerin yanı sıra CBS de bir bileşen olarak kabul edilmiştir (ÇŞB, 2019).

CBS, coğrafi sorulara yönelik çözümler üretmek için çeşitli konumsal analizler yapma imkanı tanımaktadır. Mesafe, yoğunluk, kesişim, birleşim, tampon gibi temel analizlerin yanı sıra eğim, bakı, gölgelendirme işlemlerinin yapıldığı yüzey analizleri, en uygun rotalama işlemlerinin yapıldığı ağ analizleri, IDW ve kriging gibi enterpolasyon yöntemleri ve çeşitli istatistiki işlemleri yapmaya olanak tanımaktadır.

CBS, ulaşım planlaması ve yönetiminde hem kamu kurum ve kuruluşlarında hem de özel sektörde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Navigasyon haritalarının oluşturulması, lojistik ve filo yönetimi, etkin güzergah planlaması ve kaza noktalarının tespit edilmesi gibi birçok çalışma alanını kapsamaktadır. Bu alanlara yönelik yapılan çalışmalar aynı zamanda emisyon salınımını sınırlandırmakta ve daha yaşanabilir bir kent ortamı sağlamaya destek olmaktadır.

CBS geniş problem çözme kapasitesi ile önümüzdeki süreçte ulaşımdan kaynaklı emisyonların yönetiminde ve kentsel bilişim alanında etkin bir rol oynamaya devam edecektir.

3.4 Gösterge Paneli

Gösterge paneli, adını otomobillerde kullanılan gösterge panellerinden (Dashboard) alır. Otomobiller çok karmaşık sistemlerden oluşur ve çalışırken arka planda birçok karmaşık işlem gerçekleştirir. Bu sürecin nasıl çalıştığını ayrıntıları ile bilmek gerekmesi de sürücülere karar aşamasında bazı bilgilerin sunulması gerekir. Gösterge panelleri burada devreye girerek bu karmaşık düzenden çıkarılan anlamlı bilgilerin gösterilmesini sağlar. Yüzlerce bilgiyi özetler ve neyin önemli olduğunu gösterir. Örneğin, otomobilin sahip olduğu bir sistem hakkında bir sorun çıktığında gösterge panelindeki renkler konunun ne kadar acil olduğunu gösterir. Böylelikle aracın güvenli bir şekilde hedefine ulaşmasına destek olur. Gösterge panelleri, bir arabada olduğu gibi, bir kuruluşa veya işletmede karar vermeyi desteklemek için verileri görselleştiren bir sistemi tanımlamada kullanılır. Yöneticilerin, uzmanların veya denetçilerin olayları izlemesini ve buna göre hareket etmelerini sağlar. Örneğin, şehir yönetiminde kullanılan gösterge panelleri şehrin trafiği ya da hava durumu hakkında

bilgi vererek kullanıcıların günlerini planlamasına yardımcı olur. (Janes ve diğ. 2013; Eckerson, 2012).

Gösterge panelinin birden fazla tanımı mevcuttur; bunlardan biri: “Bir duruma ait koşulları/süreci izlemek ya da herhangi bir olayın anlamını kolaylaştırmak için kullanılan verilerin görsel olarak ifade edilmesidir” (Wexler ve diğ. 2017). Başka bir tanım: “Bir gösterge paneli, bir ya da birden çok amaca ulaşmak için gerekli olan en önemli bilgiyi gösterir, ki bu gösterim bilgilerin bir bakışta izlenebilmesi için tek bir ekranda birleştirilir ve düzenlenir” (Few, 2004).

Gösterge panellerinin kullanımı gittikçe artmakta ve çeşitli sektörler ya da işletmelerde farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu yüzden kullanım alanı oldukça geniştir ve amaca yönelik üretilmektedir. Ancak her ne kadar çeşitli alanlarda kullanılıyor ve farklı sorunları çözüyor olsa da temelde stratejik, analitik ve operasyonel olmak üzere üç şekilde sınıflandırılır.

Stratejik: Karar vericilere belirlenen stratejik hedefleri veya temel performans göstergelerini (KPI) izlemek için ihtiyaç duydukları hızlı genel bakışı sağlar. Bu yüzden doğası gereği kullanımı en çok olan paneldir. Bu paneller gerçek zamanlı veri gerektirmez, bunun yerine aylık, haftalık veya günlük süreçleri takip eder. Genellikle ne olup bittiğini gösteren ekranlardır (Few, 2006).

Analitik: Analitik paneller, sürekli değişmeyen verilerle çalışır ve stratejik panel gibi statik anlık görüntüler kullanır. Ancak, sadece neler olup bittiğini görmek için değil, aynı zamanda nedenlerini incelemek için de kullanılır. Kullanıcıların eğilimleri araştırmasına, sonuçları tahmin etmesine ve iç görüleri keşfetmesine olanak tanır. Bu yüzden karmaşık veriler ve bunlar arasındaki ilişkileri incelemek isteyen analistler için daha karmaşık grafik ya da görüntüler yararlı olabilir (Few, 2006).

Operasyonel: Operasyonel bir gösterge paneli, çalışanların ve yöneticilerin iş süreçlerini izleyebileceği, olası sorunları veya fırsatları görebileceği önemli bir karar destek ekranıdır. Sürekli değişen ve her an dikkat ve tepki gerektirebilecek etkinliklerin/olayların takibinde etkilidir. Ağırlıklı olarak gerçek zamanlı grafik ve raporlar kullanılır. Acil bir durumda veya sürekli değişen olaylarda anında müdahale gerektirdiği için stratejik panellerde olduğu gibi çok basit ve optimum şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca, operasyonel panellerde görünen bilgiler genellikle daha spesifiktir ve daha derin bir ayrıntı düzeyi sağlar (Few, 2006).

Tez kapsamında geliştirilen gösterge panelinde, veriler arasındaki örüntüleri keşfetmek, iç görüler elde etmek ve coğrafi analizler yapabilmek için grafikler, anahtar göstergeler ve haritalar mevcuttur. Ayrıca dinamik akan verilerden ön görüler elde etmek ve karar vericilere destek olmak hedeflenmiştir. Bu nedenle, tasarlanan panel hem analitik hem de operasyonel gösterge paneli olarak sınıflandırılabilir.

Gösterge panellerin web-tabanlı olması kullanım kolaylığı ve erişebilirlik açısından tercih edilmektedir. Bu nedenle son dönemde kullanım alanları artmıştır. Razak ve diğ. (2019) araç kazaları verilerinin görselleştirildiği etkileşimli haritaya sahip bir gösterge paneli geliştirilmiştir. Araç kazalarından kaynaklı ölüm ve yaralanmaların görsel analizler sayesinde azaltılması hedeflenmiştir. Web tabanlı etkileşimli veri görselleştirme araçlarını kullanmanın potansiyel faydalarını ve etkilerini gösteren bir çalışmada web tabanlı bir veri görselleştirme çerçevesi (ICE) geliştirilmiştir (Walker ve diğ. 2020). Farklı bir çalışmada ise hava durumu verilerinden yararlanarak hava olaylarındaki değişkenler (sıcaklık, nem, yağış vb.) arasındaki ilişkileri keşfetmek için kepler.gl gibi açık kaynak kodlu yazımlarında kullanıldığı n-boyutlu bir uygulama geliştirilmiştir (Koch ve diğ. 2018).

3.5 Kullanıcı Dostu Tasarım

Gösterge paneli tasarımı verilerin grafikler ya da çeşitli araçlar sayesinde bir araya getirilmesi ve bunların bir ekran üzerinde rastgele gösterilmesi kadar basit bir işlem değildir. Tasarım yapılırken belirli ilkelere sadık kalınmalı, kaynaklarda geçen önemli ipuçları ve tüyolar dikkate alınmalıdır. Bir panel tasarımcısı için en önemli hedef, ilgili bilgileri tek bir ekrana sıkıştırmaktır. Bu konuyu Few (2006) şöyle açıklamaktadır:

Panel tasarımının temel zorluğu, gerekli tüm bilgileri tek bir ekranda, net ve dikkat dağıtıcı olmadan, hızlı bir şekilde özümsenebilecek şekilde görüntülemektir. Bu amacın pratikte karşılanması zorsa, bunun nedeni gösterge panolarının genellikle yoğun bir bilgi gösterimi gerektirmesidir. Çok sınırlı bir alana çok fazla bilgi sığdırmalısınız ve tüm ekran dağınıklık olmadan tek bir ekrana sığmalıdır. (s. 26)

Elbette bu, gösterge panelinin tek bir sayfadan oluşmak zorunda olduğu anlamına gelmemeli, gerektiği yerde ayrıntılı veri ya da bilgi için tek bir tıklamayla ilgili görünümlere gidilebilmelidir.

Gösterge panellerinde seyreklik ve yoğunluğun dengelenmesi de önemlidir. Birçok grafik ve bilgiyi aynı anda gösterme istediği kullanıcılar için yorucu bir izlenim

yaratabilmektedir. Bazı uzmanlar gösterge paneline yerleştirilecek nesnelerin ideal sayısını üç ile yedi arasında olması gerektiğini söylemektedir. Burada önemli olan nokta doygunluk sınırına ulaşıldığının farkında olunması gerektiğidir. Aynı zamanda sezgisel tasarımda önemlidir. Nesneler belli bir mantığa göre yerleştirilmeli ve bir anlam ifade etmelidir. Örneğin, paneldeki en çok dikkat çeken kısım sol üst taraftır, bunu sağ üst ve sol alt kadran takip etmektedir. Sağ alt kadran ise diğerlerine göre en az dikkat çeken taraftır (Eckerson, 2012).

Gösterge panellerinde her şeyi tek bir ekrana sığdırma zorunluluğu tasarımcıları farklı çözümlere yönlendirmiştir. Sekmeler bu konuda önemli bir bileşendir çünkü yeni bir panel ya da rapor oluşturmak yerine hızlı bir geçiş imkânı sağlamaktadır. Bu hızlı geçiş imkânı ile gösterge paneli temel işlevinden uzaklaşmamış olacaktır. Filtreleme araçları da bir gösterge panelinin en önemli bileşenlerinden birisidir ve kullanımı da oldukça yaygındır. Filtrelerin genellikle gösterge panelinin sağ veya sol sütunda bulunan bir gezinme bandında bulunması gerekmektedir (Eckerson, 2012).

Tasarımda kullanılacak yazı tipi ve boyutu da önemlidir. Özellikle Times New Roman, Arial, Tahoma ve Helvetica gibi okunması kolay bir yazı tipi önerilir. Aşırı süslü ve sıra dışı olan yazı tipleri çok tercih edilmemelidir. Ayrıca tek tip bir yazı tipine sadık kalmak tasarım açısından hoş bir görüntü sağlar. Dikkat edilmesi gereken konulardan bir tanesi de renklerin nasıl kullanılacağı ile ilgilidir. Kullanıcıların görmesi gereken şeyleri ön plana çıkarmak dışında renk kullanımı pek önerilmez. Ancak illa ki renk kullanılması gerekiyorsa birinci renkler yerine sessiz toprak tonlarının kullanılmasını tavsiye edilmektedir. Tek bir öğeyi vurgulamak için renk değiştirmek yerine o rengin doygunluğu ya da parlaklığının değiştirilmesi görsel açıdan daha estetik durmaktadır (Eckerson, 2012).



4. VERİ VE YÖNTEM

4.1 Çalışma Alanı

İstanbul, trafik sıkışıklığının en yoğun olduğu şehirlerin başında gelmektedir. Bu nedenle araçlardan kaynaklı emisyonların takibi son derece önemlidir. Ayrıca mega kent olan İstanbul'a son dönemde yapılan yatırımlar, İstanbul'un küresel ulaşım ağının önemli merkezlerinden birisi olacağını göstermektedir. Bu gelişmeler hareketliliğin ve dolayısıyla emisyonların gittikçe artacağına birer işarettir. Bu nedenlerden dolayı, çalışma alanının İstanbul sınırları içerisinde olacak şekilde seçilmesi uygun görülmüştür.

İstanbul, Türkiye'nin Marmara Bölgesinde yer almaktadır. Doğuda Kocaeli, batıda Tekirdağ ve Kırklareli ile komşudur. Kuzeyde Karadeniz, güneyde Marmara Denizi ve Haliç ile çevrilidir. Avrupa ve Asya (Anadolu) olarak iki kısma ayrılan İstanbul, iki kıta arasında köprü görevi görmektedir. Bu nedenle hem sosyal hem kültürel hem de ekonomik açıdan stratejik bir konuma sahiptir.

İstanbul nüfus bakımından Türkiye'nin en kalabalık kentidir. TÜİK istatistiklerine göre 2020 yılı nüfusu 15.462.452'dir. Ayrıca yüzölçümü 5.313 km² olan İstanbul ilinde kilometrekareye 2910 insan düşmektedir (TÜİK, 2021). Nüfus bakımından Türkiye'nin en büyük kenti olmasının yanı sıra, aynı zamanda nitelikli insan gücünün, istihdam olanaklarının ve büyük yatırımların ve projelerin toplandığı bir merkezdir. Örneğin, iki kıtayı birleştiren banliyö tren sistemi projesi Marmaray'ın tamamlanması, metrobüslerin toplu ulaşım hizmetlerine dahil edilmesi, üçüncü havalimanı ve üçüncü köprünün hizmete açılması, tüp geçiş projesi olan Avrasya tünelinin bitirilmesi yapılan büyük yatırımlar arasındadır.

Yapılan son araştırmalara göre İstanbul'un, 2017 yılından beri hava kirliliğine bağlı ölüm sayısı en fazla olan il olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 2017 – 2019 yılları arasında, hava kirliliği nedeniyle gerçekleşen ölüm sayısı trafik kazalarına göre

neredeyse 6-7 kat daha fazladır (Kara Rapor, 2020). Bu veriler İstanbul'da hava kirliliğinin büyük bir sorun olduğunu açık bir şekilde göstermektedir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB)'nin hazırladığı ulaşım raporuna göre; İstanbul'da 31 milyona ulaşan günlük yolculuk sayısının yaklaşık %45'ini yani neredeyse yarısını yaya yolculukları oluşturmaktadır. Toplu taşıma oranı %28, özel otomobil kullanımı %20 ve servis kullanımı %7 olarak tespit edilmiştir. Günlük motorlu yolculukların %50'sine yakın bir kısmının toplu taşıma ile gerçekleştiği görülüyor. Yani özel otomobil motorlu yolculukların yarısından çok daha azında (%20) kullanılmıştır (İBB, 2018).

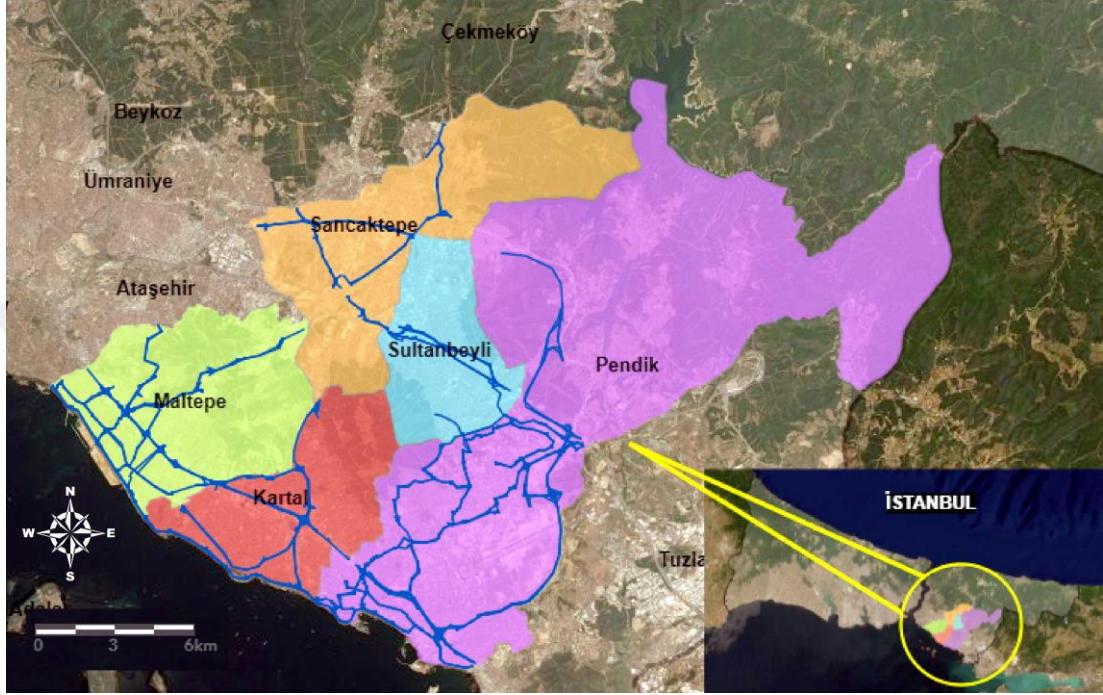
Artan nüfus ve hareketlilikle beraber İstanbul'daki yol ağı uzunlukları paralel ilerlemektedir. İstanbul'da 4230 km'si ana arter olmak üzere toplam yol ağı 36 bin km'dir. Ortalama yolculuk süresi 44 dakika, ortalama trafikte bekleme süresi ise 19 dakikadır. İstanbul, trafik sıkışıklığının en fazla olduğu kentlerden birisidir. Özellikle akşam zirve saatlerinde %91'lik, sabah zirve saatlerinde %43'lük bir yoğunluğa sahiptir. Bu yoğunluğa ek olarak günlük ortalama trafiğe giren yeni araç sayısı 306'dır. Güncel verilere göre özel araç sayısı 2,8 milyon, özel araç sahipliği oranı ise bin kişi için 191 araçtır. Bin kişiye düşen otomobil sayısı İstanbul'da 2000 yılında 89 araç iken 2018'de 191 araçtır 2023'te de bu rakamın bin kişi başına 229 araç olacağı tahmin edilmektedir. Türkiye'deki araç sayısı (23 Milyon) Almanya'daki araç sayısının (57 Milyon) yarısından az iken ülkemizde kazalarda yaşanan can kaybının 7 bin, Almanya'da ise 3 bin kişi olduğu tespit edilmiştir (İPA, 2019).

Bu tez kapsamında, pilot çalışmanın tüm İstanbul genelinde yapılması veri yoğunluğu açısından mevcut donanım ile mümkün olmamıştır. Bu nedenle, çalışma bölgesi olarak, Şekil 4.1'de görüleceği üzere, İstanbul iline ait tüm ilçelerin kullanılması yerine trafik akışının yoğun olduğu Anadolu yakası ilçeleri (Kartal, Maltepe, Pendik, Sancaktepe ve Sultanbeyli) seçilmiştir. Bu ilçelerin toplam nüfusu 2.516.195'dir ve bu sayı İstanbul nüfusunun yaklaşık %16'sına tekabül etmektedir.

Çizelge 4.1 : Çalışma alanındaki ilçelere ait bilgiler.

İlçeler	Alan(km ²)	Nüfus
Kartal	38	474.514
Maltepe	50	515.021
Pendik	190	726.481
Sancaktepe	62	456.861
Sultanbeyli	42	343.318

Bahsi geçen ilçelerin seçilmesinin önemli nedenlerinden birisi ise mevcut projelerde bu alana yönelik farklı ve detaylı verilerin olmasıdır. Ayrıca Sabiha Gökçen Havalimanına, Organize Sanayi Bölgelerine, Marmaray ve hızlı tren hatlarına yakın olmaları da önemli bir etkidir. Önerilen sistemin optimize edilmesi sonrası tüm İstanbul ve benzer şehirler için kullanılması hedeflenmektedir.



Şekil 4.1 : Çalışma alanı.

4.2 Veri

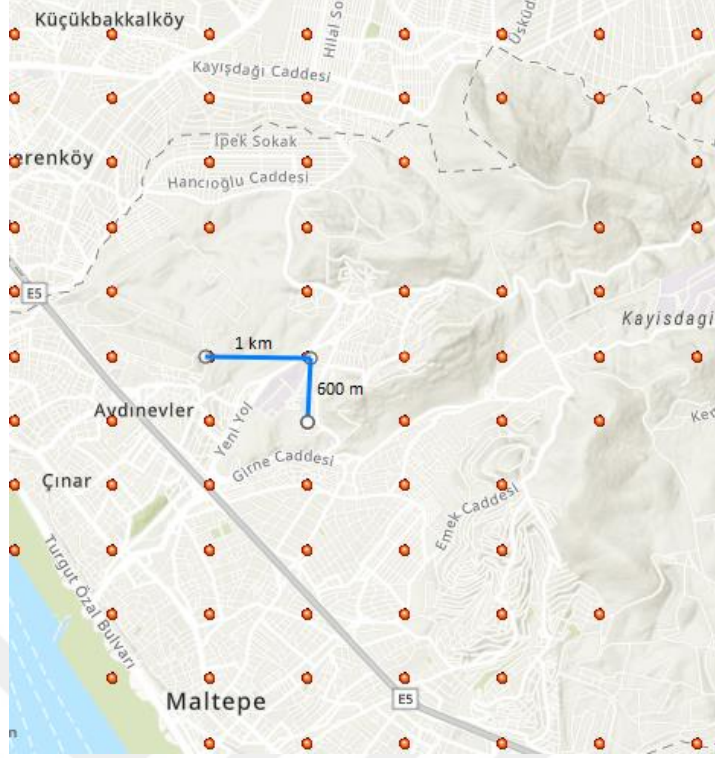
Bu tez çalışmasında araçların yaydıkları emisyonların hesaplanabilmesi için araç hız verisi - bu hızlara karşılık gelen km başına salınan CO₂ miktarı, araç sayısı ve yol uzunluğu verileri kullanılmıştır. Buradaki önemli parametre hız verisidir ve bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Araçların ortalama hızı ile yayılan emisyon miktarı arasında önemli bir ilişki vardır. Sezgisel olarak araç hızı arttıkça yaydıkları emisyon miktarının artacağı düşünülür. Ancak sürüş hızı ve emisyon arasındaki ilişki tamamen doğrusal değildir. Örneğin, 20 km/h hızla giden araç ile 120 km/h hızla giden araç neredeyse eşit miktarda emisyon yaymaktadır. En az emisyon miktarı ise genellikle 50 ve 80 km/h arasındaki hıza sahip araçlardan yayılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan, trafik yoğunluk bilgilerini içeren sensör verileri İBB Açık Veri Portalından elde edilmiştir. 2021 nisan ayındaki günlük saat dilimlerine göre elde

edilmiş olan bu veriler zaman, ortalama hız, maksimum hız, minimum hız, ortalama araç sayısı ve konum bilgilerini içermektedir. Şekil 4.2’de İBB Açık Veri Portalından indirilen sensör verilerinin harita üzerindeki konumları gösterilmiştir. İBB bu verileri, Şekil 4.3’te gösterildiği üzere, İstanbul’un coğrafi olarak eşit parçalara bölünmesi ile elde edilen gridlere göre dağıtılmış hali ile paylaşmaktadır. Bu gridlerin aralarındaki mesafe yatayda 1 km, düşeyde ise 0.6 km olarak belirlenmiştir. Ancak veri kaynağında bu grid sisteminin neden kullanıldığına dair bir açıklama mevcut değildir.



Şekil 4.2 : İstanbul trafik sensör verisi dağılımı haritası.



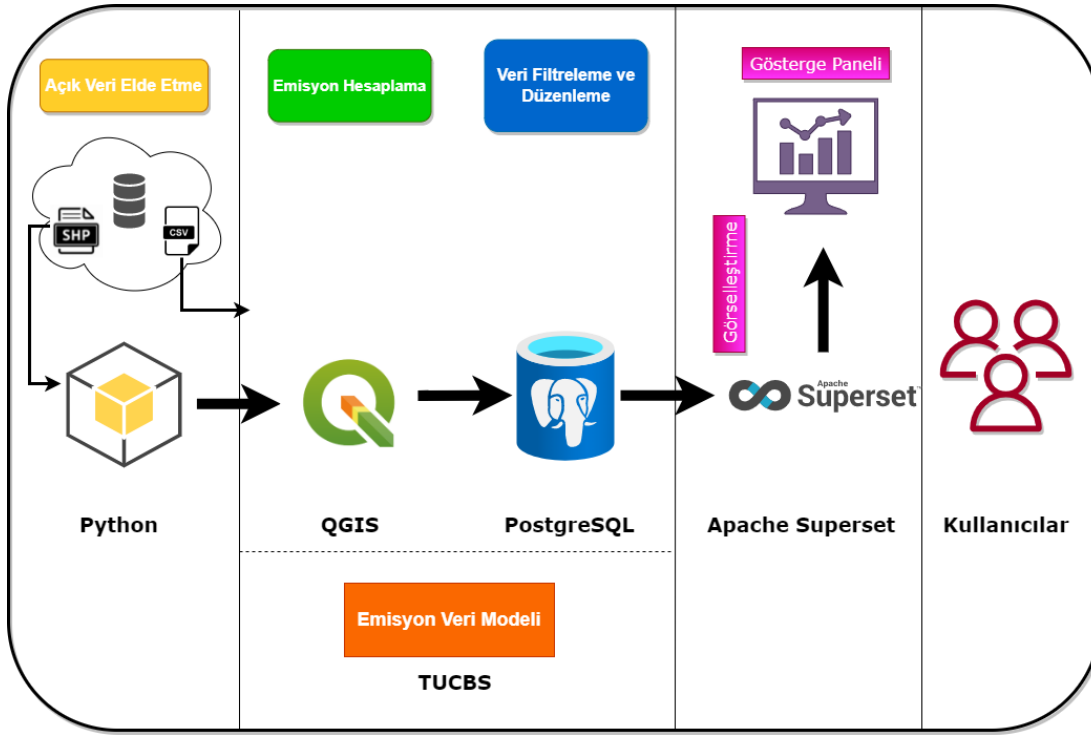
Şekil 4.3 : 1 km x 0.6 km grid ağı.

Bu çalışma için gerekli olan yol ağı verisi OpenStreetMap (OSM)’den elde edilmiştir. Jupyter Notebook ortamında gerçekleşen işlemde OSMnx ve NetworkX python paketleri kullanılmıştır. OSMnx, OSM üzerinden konumsal verileri indirmeye ve bunlar üzerinden modelleme, analiz ve görselleştirme yapmayı sağlamaktadır. NetworkX ise karmaşık yapıdaki çizge ve ağların üzerinde işlem gerçekleştirilmesine olanak sağlayan bir pakettir.

OSM, yol ağı verisini sokak düzeyine kadar ayrıntılı olarak verebilmektedir. Ancak bu çalışma için ana yol olarak adlandırılabilen olan “motorway, motorway-link, primary, primary-link, trunk ve trunk-link özniteliğine sahip yolların kullanılması uygun görülmüştür. Çalışma alanı kapsamında Kartal, Maltepe, Pendik, Sancaktepe ve Sultanbeyli ilçelerine ait yol ağları verileri indirilmiş ve shapefile dosyası olarak kaydedilmiştir.

4.3 Yöntem

Bu çalışmada açık veriler ve açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılarak, Konumsal Veri Altyapısı ile uyumlu bir gösterge paneli tasarlanmıştır. Bu panelin tasarlanma aşamalarını gösteren CBS tabanlı sistem mimarisi Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Tez yöntem.

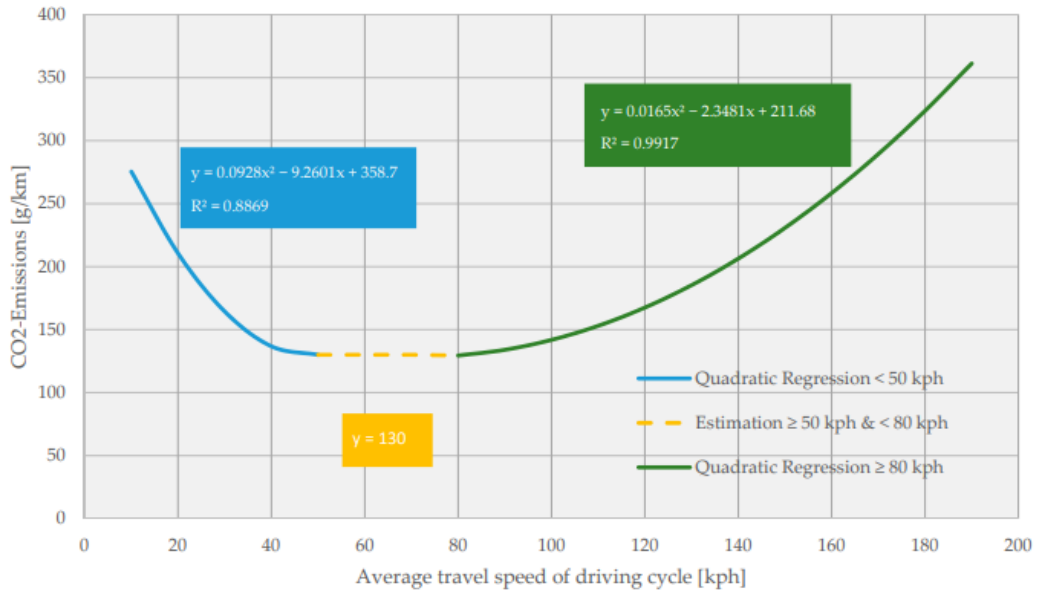
Coğrafi konum hizmetleri, Nesneleri İnterneti (IoT), sensörler, web sayfaları, sosyal medya paylaşımları, makine ve insanlar gibi çeşitli kaynaklardan üretilen büyük veriler kentsel bilişimin temelini oluşturmaktadır. Bu verilerden önemli iç görü ve tahminlerin üretilebildiği keşfedildikten sonra coğrafi analizler, veri madenciliği, makine öğrenimi ve istatistik gibi teknikler ile kentsel sorunlara yönelik çözümler üretilmektedir. Bu çalışmada ise sensörler tarafından üretilen trafik verileri ve OSM'den elde edilen yol ağı verileri kullanılmıştır.

Konumsal Veri Altyapısı, yukarıda bahsedilen büyük verilerin belli standartlar ile üretilmesi ve modellenmesini sağlamasının yanı sıra bu verileri şeffaf ve erişilebilir kılarak birlikte çalışabilirliğin önünü açmaktadır. Bu çalışmada araçlardan kaynaklı emisyonların takip edilebilmesi için Emisyon veri modeli oluşturulmuş ve TUCBS Ulaşım Ağları teması Karayolları Ağı şemasına entegre edilmiştir.

QGIS, coğrafi verileri oluşturmaya, düzenlemeye, görselleştirmeye, analiz etmeye ve yayınlamaya olanak sağlayan açık kaynak kodlu bir coğrafi bilgi sistemi yazılımıdır. (QGIS, 2022). Elde edilen veriler QGIS ortamına aktarılmıştır. Her bir ilçenin yol ağı verileri ayrı ayrı indirildiği için “Merge Vector Layer” aracı ile yol ağları tek bir shapefile dosyası olacak şekilde birleştirilmiştir.

Trafik verileri gridlere bölünerek konumlandırıldığı için sensörler yol ağı ile doğrudan kesişmemektedir. Sensör verilerinin en yakın yol ağına aktarılması gerekmektedir. Bunun için “Join Attributes by Nearest” aracı kullanılmıştır ve belirlenen parametrelere göre yol ağı verisine ortalama hız, ortalama araç sayısı gibi veriler tanımlanmıştır.

Araç hızı - CO₂ emisyon değerlerini gösteren grafik Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Bu grafikteki formüller dikkate alınarak, x ortalama hızına sahip bir aracın 1 km’de kaç gr CO₂ yaydığı hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Bu değerler ile yol ağı verisine, emisyon değerlerini gösteren yeni bir sütun eklenmiştir.



Şekil 4.5 : Araç hızı – CO₂ Emisyon grafiği (Kunkler ve diğ. 2021).

Çizelge 4.2 : Araç hızına karşılık gelen CO₂ emisyon değerleri.

Araç Hızı (km/h)	CO ₂ (gr/km)
0-20	285
20-40	175
40-60	135
60-80	130
80-100	135
100-120	155
120-140	185

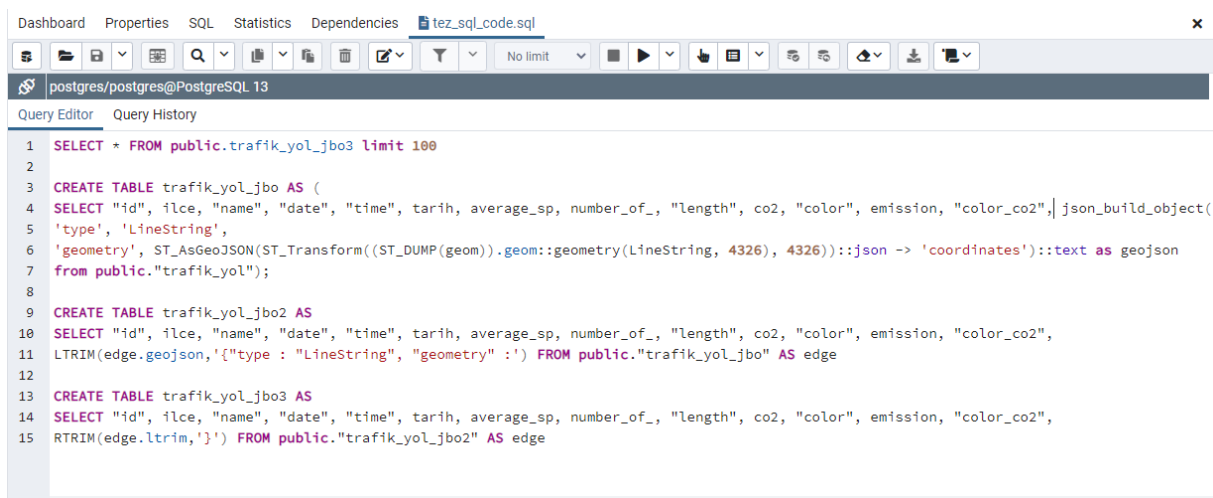
Yeni oluşturulan CO₂ g/km sütunundaki değerler bir araç için geçerlidir ve 1 km yol uzunluğuna göre hesaplanmıştır. Örneğin, bir yoldan 200 araç geçmiş ise bu yoldaki toplam emisyon değerini bulmak için bu değeri 200 ile çarpmak gerekmektedir. Aynı

şekilde yol uzunluğu 0.5 km olan bir yerde yayılan emisyon değeri ise yarı yarıya olacaktır. Bir yolda, belli bir saatte oluşturulan toplam emisyon değerini gösteren yeni bir sütun eklemek için denklem 4.1'deki formül kullanılmıştır.

$$Emisyon = \left[\left(CO_2 \frac{g}{km} \right) * \frac{Yol\ Uzunluğu(m)}{1000} \right] * (Araç\ Sayısı) \quad (4.1)$$

PostgreSQL, açık kaynak kodlu ilişkisel bir veritabanı sistemidir. Güçlü bir altyapısı vardır ve 30 yılı aşkın süredir geliştirilmektedir. PostGIS eklentisi sayesinde konumsal sorguların yapılmasını ve coğrafi işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (PostgreSQL, 2022).

QGIS ortamında hazırlanmış olan bu yol ağı verisi PostgreSQL'e aktararak işlemlere devam edilmiştir. PostgreSQL ortamında veriyi hazırlamak için birçok işlem yapılmıştır. Multilinestring yapıda olan geometry sütunu ST_DUMP komutu ile Linestring yapıya dönüştürülmüştür. Ardından ST_Transform komutu ile koordinat sistemi EPSG: 4326 olarak değiştirilmiştir. Bu işlemlerden sonra geometry sütunu ST_AsGeoJSON komutu ile geojson formatına çevrilip text olarak kaydedilmiştir. Veriyi Superset'te kullanılan deck.gl Path harita aracına uygun hale getirebilmek için LTRIM ve RTRIM işlemleri yapılarak geometry sütununda gereksiz olan semboller ve işaretler çıkarılmıştır. Daha sonra bu veri setinden gereksiz olan sütunlar çıkartılıp yeni tablo oluşturulmuştur.



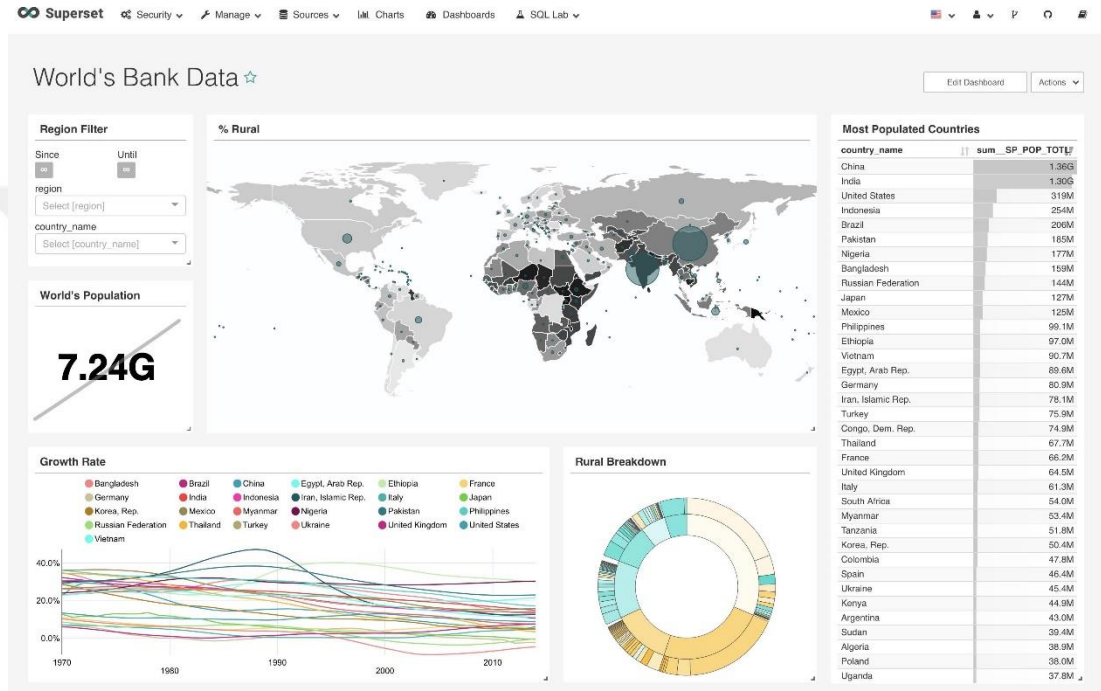
```

1 SELECT * FROM public.trafik_yol_jbo3 limit 100
2
3 CREATE TABLE trafik_yol_jbo AS (
4 SELECT "id", ilce, "name", "date", "time", tarih, average_sp, number_of_, "length", co2, "color", emission, "color_co2", | json_build_object(
5 'type', 'LineString',
6 'geometry', ST_AsGeoJSON(ST_Transform((ST_DUMP(geom)).geom::geometry(LineString, 4326), 4326))::json -> 'coordinates')::text as geojson
7 from public."trafik_yol")
8
9 CREATE TABLE trafik_yol_jbo2 AS
10 SELECT "id", ilce, "name", "date", "time", tarih, average_sp, number_of_, "length", co2, "color", emission, "color_co2",
11 LTRIM(edge.geojson, '{"type" : "LineString", "geometry" :}') FROM public."trafik_yol_jbo" AS edge
12
13 CREATE TABLE trafik_yol_jbo3 AS
14 SELECT "id", ilce, "name", "date", "time", tarih, average_sp, number_of_, "length", co2, "color", emission, "color_co2",
15 RTRIM(edge.ltrim, '}') FROM public."trafik_yol_jbo2" AS edge

```

Şekil 4.6 : PostgreSQL kodları.

Apache Superset, açık kaynak kodlu modern bir veri araştırma ve görselleştirme platformudur. Farklı bir ifade ile büyük hacimli verilerden anlamlı sonuçlar elde etmeye yarayan bir iş zekası aracıdır. Kodsuz arayüzü ile hızlı grafikler oluşturulabilir ve SQL sorgularının yapılabileceği bir düzenleyiciye sahiptir. Ayrıca neredeyse her türlü veritabanı ve veri motoru ile çalışmayı desteklemektedir. Şekil 4.7’de görüleceği üzere basit grafik ve tabloların yanı sıra konumsal görselleştirmelerin yapılabileceği araçlara da sahiptir (Superset, 2022).



Şekil 4.7 : Apache Superset gösterge paneli örneği.

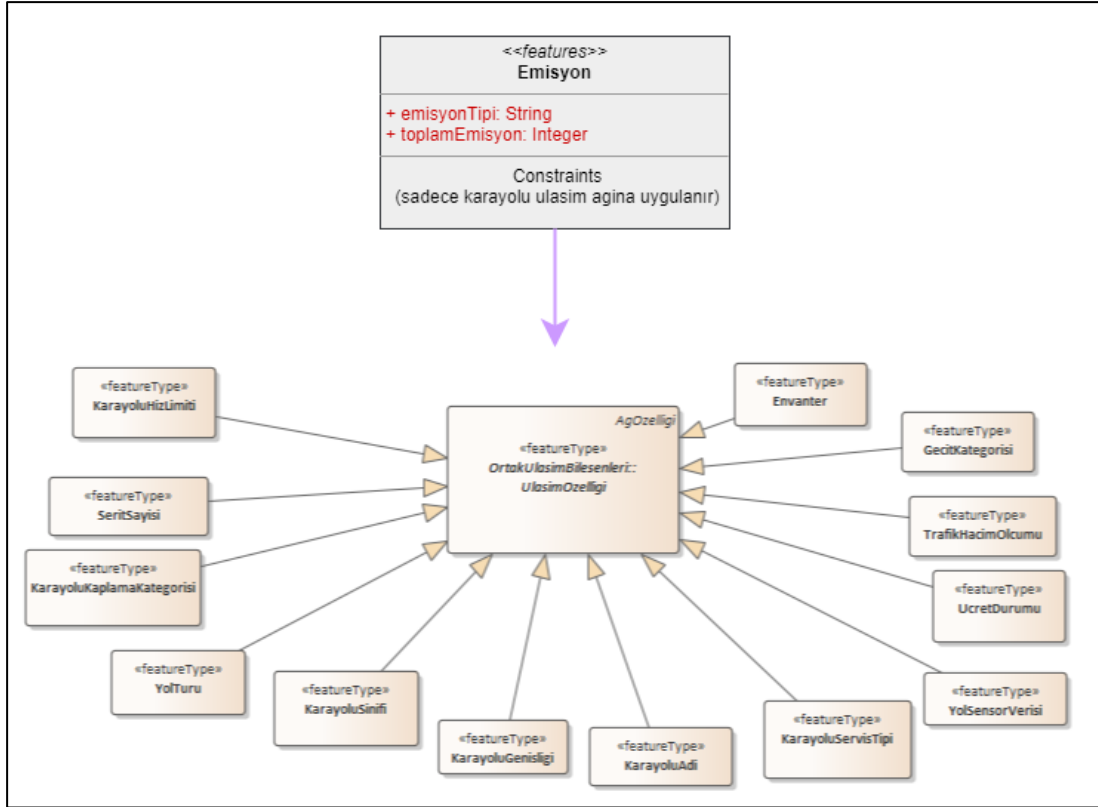
Tez kapsamında Apache Superset ile PostgreSQL veri tabanı arasında bağlantı sağlanmıştır. Daha sonra ilgili veri seti Superset ortamına aktarılmıştır. Bu veri seti ile harita, filtreleme kutusu ve çeşitli grafikler oluşturularak gösterge paneli tasarlanmıştır.



5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araçlardan kaynaklı emisyonlar sera gazı salınımı ve küresel iklim değişikliği ile yakından ilgilidir ve aynı zamanda yaşam kalitesini, insan sağlığını ve doğal çevreyi de olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz sonuçların önüne geçilebilmesi için araçlardan kaynaklı emisyonların takip edilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Emisyonların takip edilebilmesi için tez kapsamında, TUCBS ve ulaşım veri standartlarına uyumlu, açık kaynak kodlu yazılımlar ile bir web gösterge paneli geliştirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan yöntem, açık veriler ve açık kaynak kodlu yazılımlar ile kentsel bilişim alanında karar vericiler için bir web gösterge panelinin nasıl tasarlanacağına dair bütünlüklü bir yaklaşım ve model sunmaktadır. TUCBS ve Ulaşım Ağları veri teması ile uyumlu olması kavramsal olarak belirlenen standartların pratik bir uygulamasının da nasıl yapılacağını göstermektedir. Böylece, bu çalışmada önerilen model aynı zamanda sonraki çalışmalar için bir kılavuz görevi görmektedir.



Şekil 5.1 : UML diyagramı

Tez kapsamında geliştirilen Emisyon veri modeli TUCBS'nin Ulaşım Ağları Karayolları şemasına Şekil 5.1'de görüleceği üzere entegre edilmiştir. Karayolu ulaşımında araçlar esas olarak CO₂, NO_x, CO ve NMVOC yaymasının yanı sıra aynı zamanda küçük miktarda N₂O, CH₄ ve NH₃'de yaymaktadır. Bu gazların küçük miktarda yayılıyor olması sera gazı emisyonuna katkılarının göz ardı edilebileceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle CO₂, araçlardan yayılan tek büyük doğrudan sera gazı emisyonu olarak kabul edilmiştir.

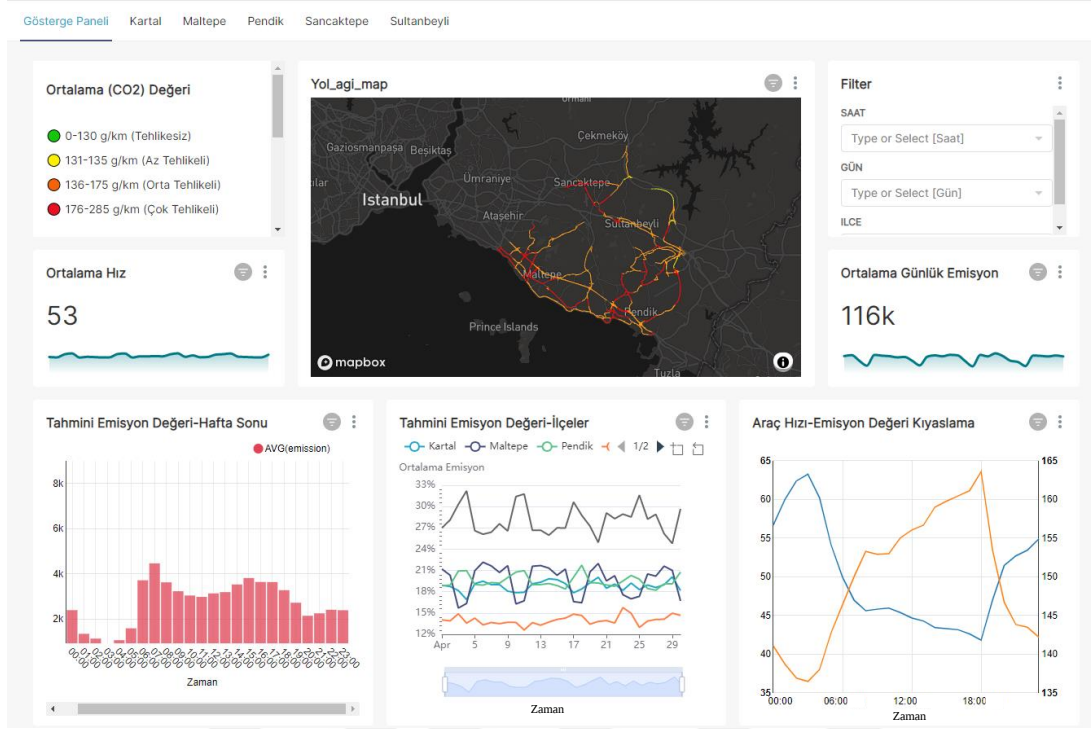
Çalışma kapsamında yapılan emisyon hesabında araç hızı, araç sayısı ve yol uzunluğu parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelerden biri olan araç hızı, *TrafikHacimOlcumu* detay tipinde mevcuttur ancak güncel temaya göre araç sayısı ve yol uzunluğu parametreleri mevcut değildir. Bu nedenle *aracSayisi* parametresi *trafikHacimOlcumu* detay tipine eklenmiştir. Yol uzunluğu için ise mevcut temada bulunan *KarayoluGenisligi* detay tipine *yolUzunlugu* parametresi olarak entegre edilmiştir.

CO₂ emisyon hesabı için bu çalışmada araç sayısı, araç hızı ve yol uzunluğu parametreleri kullanılsa da farklı çalışmalarda araç tipi, araç yaşı, yakıt tipi, yol tipi ve

hava koşulları durumları da dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, bahsedilen parametrelerin de Ulaşım Ağları veri teması içerisinde olması gerekmektedir. Mevcut veri teması incelendiğinde hava koşulları ve yol durumunu ifade eden *havaKosullariDegeri* parametresi *KarayoluHizLimiti* detay tipinde bulunduğundan dolayı eklemeye gerek yoktur. Ayrıca emisyon hesaplamasında yolun otoban, kentsel ya da kırsal bir yol olmasına bağlı olarak sonuçlar değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, yol tipini ifade etmek için mevcut şemada bulunan *YolTuru* detay tipi hesaplamalarda referans gösterilebilir.

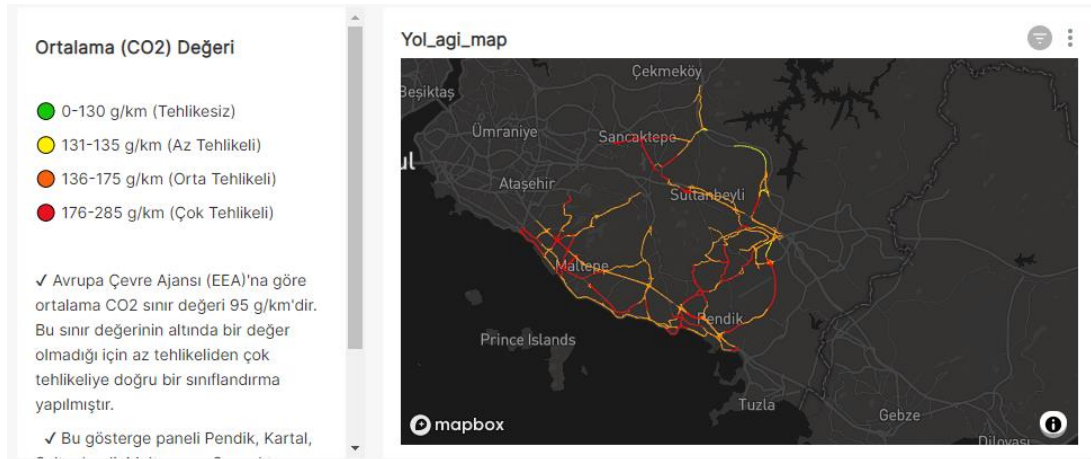
Araçların otomobil, minibüs, kamyon veya otobüs vb. tipinde olması emisyon hesabını doğrudan etkilemektedir. Araç türünün dahil olduğu hesaplamalarda *aracTipi* parametresi *KarayoluHizLimiti* detay tipinden elde edilebilir. Emisyon hesabını etkileyen bu faktörlerin yanısıra *aracYasi* ve *yakitTipi* parametreleri mevcut tema içerisinde bulunmadığından dolayı bu parametreler *TrafikHacimOlcum* detay tipine eklenmiştir.

Geliştirilen gösterge panelinde, çeşitli veri kaynaklarından akan büyük verilerin etkin bir şekilde yönetimi ve coğrafi analizlerin yapılabilmesi için harita, filtreleme aracı, çeşitli grafik ve sekmeler oluşturulmuştur. Örneğin, Şekil 5.2’de görüleceği üzere, genel durumu göstermenin yanı sıra ilçeler hakkında ayrıntılı bilgileri görmek için Kartal, Pendik gibi ilgili sekmelere geçiş sağlanabilmektedir.



Şekil 5.2 : Apache Superset gösterge paneli genel görünüm.

Şekil 5.3’de harita üzerindeki yol ağı verisi deck.gl Path aracı vasıtasıyla ortalama CO₂ emisyon değerine göre analiz edilmiş ve sunulmuştur. Haritadaki renklendirme ve pop up gösterimi için javascript kodları yazılmıştır. Ayrıca haritayı yayınlamadan önce, eğimini (pitch) ve yönünü (bearing) ayarlamaya yarayan seçenekler de mevcuttur.



Şekil 5.3 : Gösterge paneli - Harita.

Avrupa Çevre Ajansı (EEA), araçlardan kaynaklı ortalama emisyon sınır değerini, 2015 yılı için 130 CO₂ g/km ve 2020 yılı için 95 CO₂ g/km olarak belirlemiştir. Ancak bu değer neredeyse 120 CO₂ g/km’nin hiç altına düşmemiştir (EEA, 2020). Bu demektir ki araçlardan kaynaklı emisyon değerleri istenilen sınırın üstündedir ve

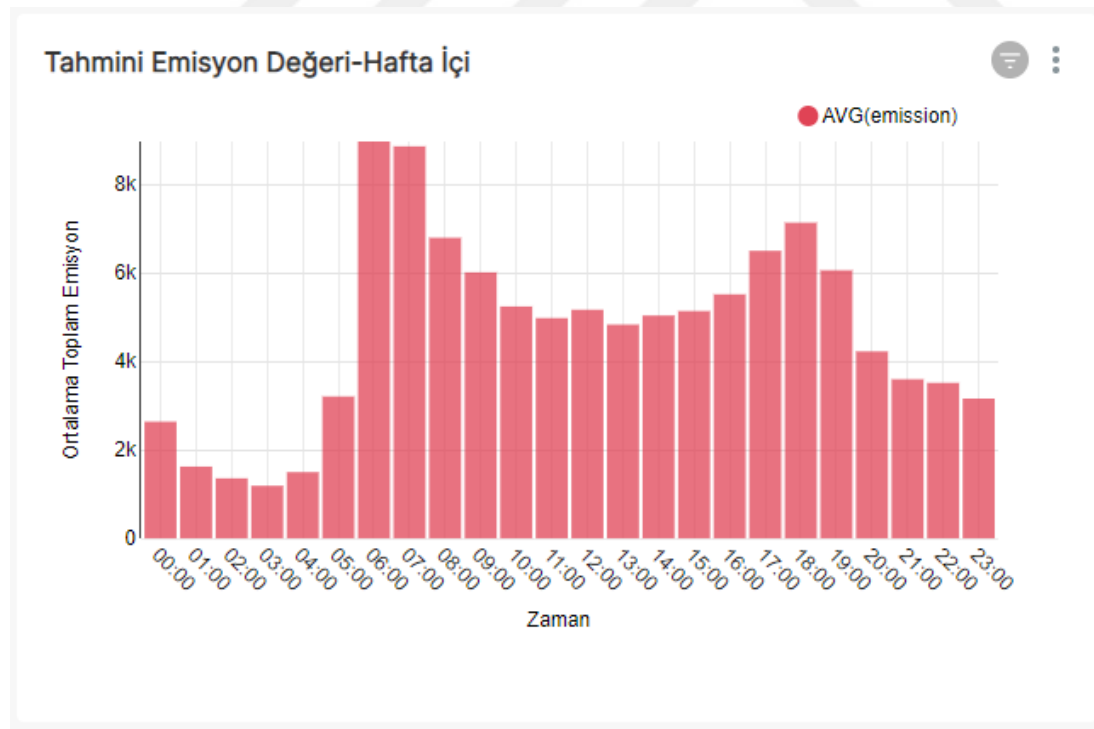
tehlike arz etmeye devam etmektedir. Türkiye, Avrupa Birliği'ne üye ülke konumunda olduğu için çalışma kapsamında bu sınır değeri referans olarak kullanılmıştır. Ayrıca bu tez çalışmasında kullanılan verilerdeki değerler de 130 CO₂ g/km'nin altında değildir. Bu da değerlerin tehlike sınırları içinde olduğunu göstermektedir. Ancak her ne kadar değerler 95 CO₂ g/km sınırının üstünde olsa da bu değere yakın olanlar daha az tehlikeli, bu değerden uzak olanlar ise daha çok tehlikeli olarak sınıflandırılabilir. Buna göre, 130 ile 285 CO₂ g/km değerleri arasında az tehlikeliden çok tehlikeliye doğru bir sınıflandırma ile harita üzerinde görselleştirme yapılmıştır. Bu sınıflandırma Şekil 5.3'deki sol taraf lejantta görülmektedir.

Şekil 5.4'deki Filtreleme aracı saat, gün ve ilçe seçimine göre filtreleme imkânı sağlamaktadır. Bu araç hem harita üzerinde hem de diğer grafikler üzerinde etkileşimli olarak çalışabilmektedir. Örneğin, saat filtresi kullanılarak istenilen saat dilimindeki ortalama emisyon değeri harita üzerinde görselleştirilebilmekte ve grafiklerde de bu saat dilimindeki değerler gözlemlenebilmektedir.

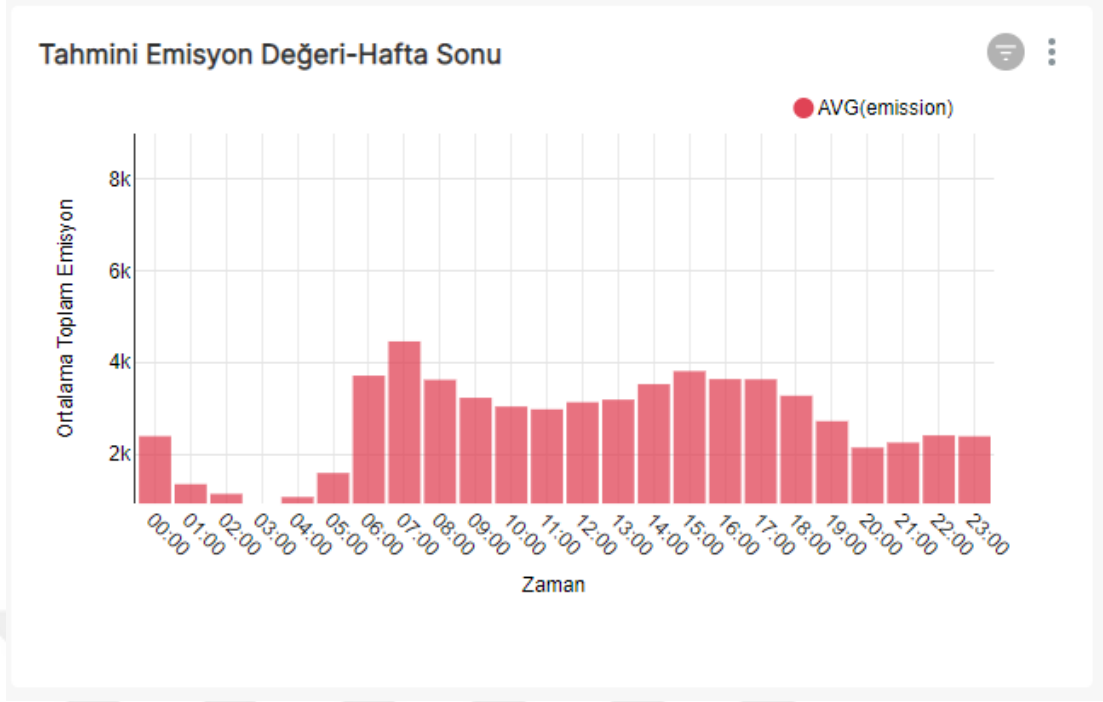
Şekil 5.4 : Filtreleme aracı.

Harita ve filtreleme araçlarının yanı sıra birçok grafik ile görselleştirme yapılmıştır. Emisyon değerlerinin ay içerisindeki dağılımı, gün içerisindeki dağılımı, hafta içi ve hafta sonu dağılımları ve ilçelere göre dağılımları gösterilmiştir. Grafikler üzerinde çeşitli etkileşim ayarları da mevcuttur. Grafiklerde zaman aralıkları seçilebilmekte ve zoom-in/zoom-out işlemleri yapılabilmektedir.

Şekil 5.5 hafta içi ortalama toplam emisyon değerlerinin; Şekil 5.6 ise hafta sonu ortalama toplam emisyon değerlerinin saat bazında dağılımını göstermektedir. Grafiklere göre emisyon değerleri hafta içi en yüksek 8.96 k'ya ulaşırken hafta sonu bu değer neredeyse yarısı kadardır. Emisyon dağılım deseni incelendiğinde hafta içi grafiği daha inişli çıkışlı bir görünüm sergilerken hafta sonu grafiğinde geçişler daha yumuşaktır. Hafta içi grafiğine göre emisyon salınımı sabah saat 06.00-07.00 ve akşam üzeri saat 18.00 civarında yüksek çıkmaktadır. Değerlerin böyle çıkmasının sebebi yüksek ihtimalle okul ve işe gidiş-dönüş saatlerinin bu zaman diliminde kümelenmiş olmalarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca çalışma bölgesi, şehrin merkezine uzak olduğundan, araç trafiğinin yüksek olduğu saatler göreceli olarak erken saatlerdir. Hafta sonu grafiğinde ise emisyonun en çok olduğu zaman dilimi sabah saat 07.00 civarında çıkmaktadır. Ayrıca gün içerisindeki emisyon dağılımı hafta içi grafiğine göre daha yakın değerlerden oluşmaktadır. Her iki grafiğe göre de emisyon salınımının en az olduğu saat gece 03.00 olarak tespit edilmiştir. Bu tespitler, halk sağlığını koruyucu tedbirlerin uygulanabilmesi adına, karar vericiler için bir uyarı niteliği taşımaktadır.

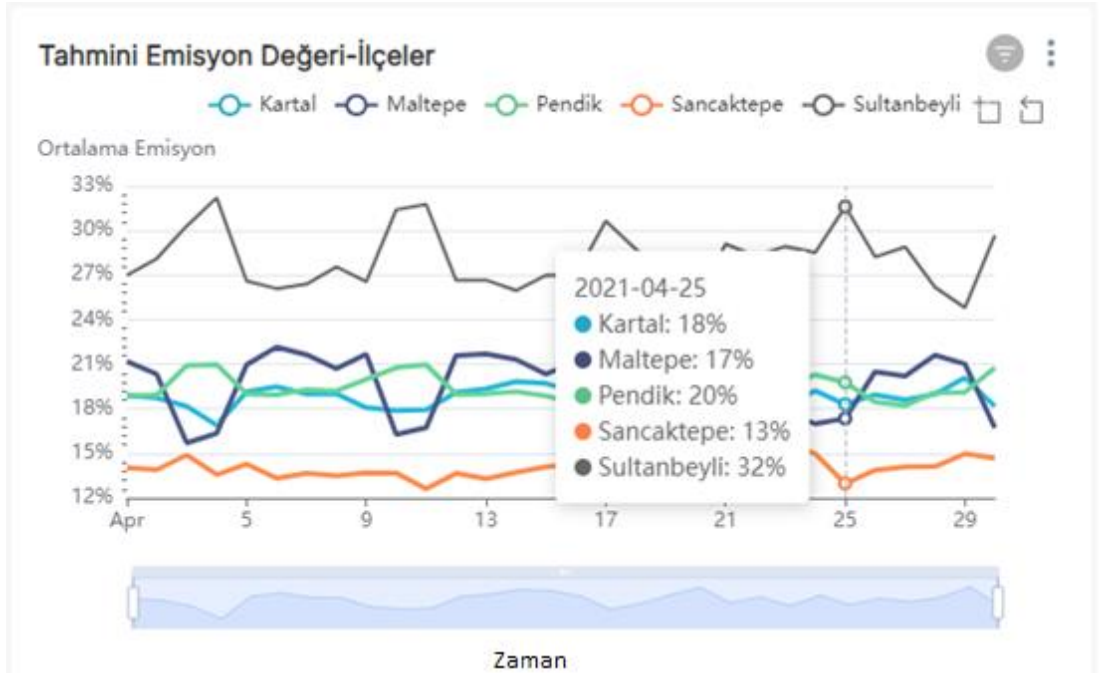


Şekil 5.5 : Tahmini emisyon değeri - Hafta içi grafiği.



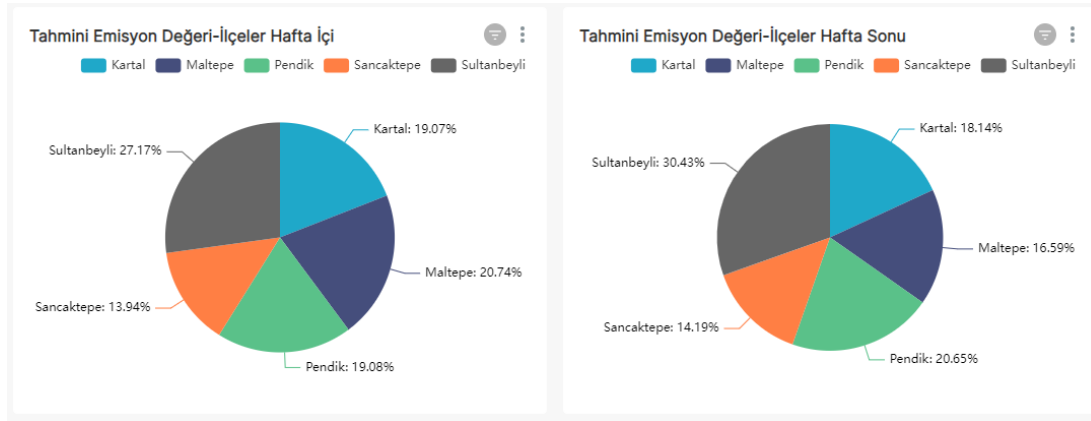
Şekil 5.6 : Tahmin emisyon değeri - Hafta sonu grafiği.

Şekil 5.7’de gösterilen grafikte çalışma bölgesindeki 5 ilçenin bir aylık emisyon dağılımını yüzdelik olarak göstermektedir ve bu grafikler interaktif olarak değiştirilebilmektedir. İlçelerin emisyon dağılımları günlük olarak görüntülenebilmektedir. Ayrıca lejant üzerinde istenilen ilçeler seçilerek birbirleri ile karşılaştırma imkanı vardır.



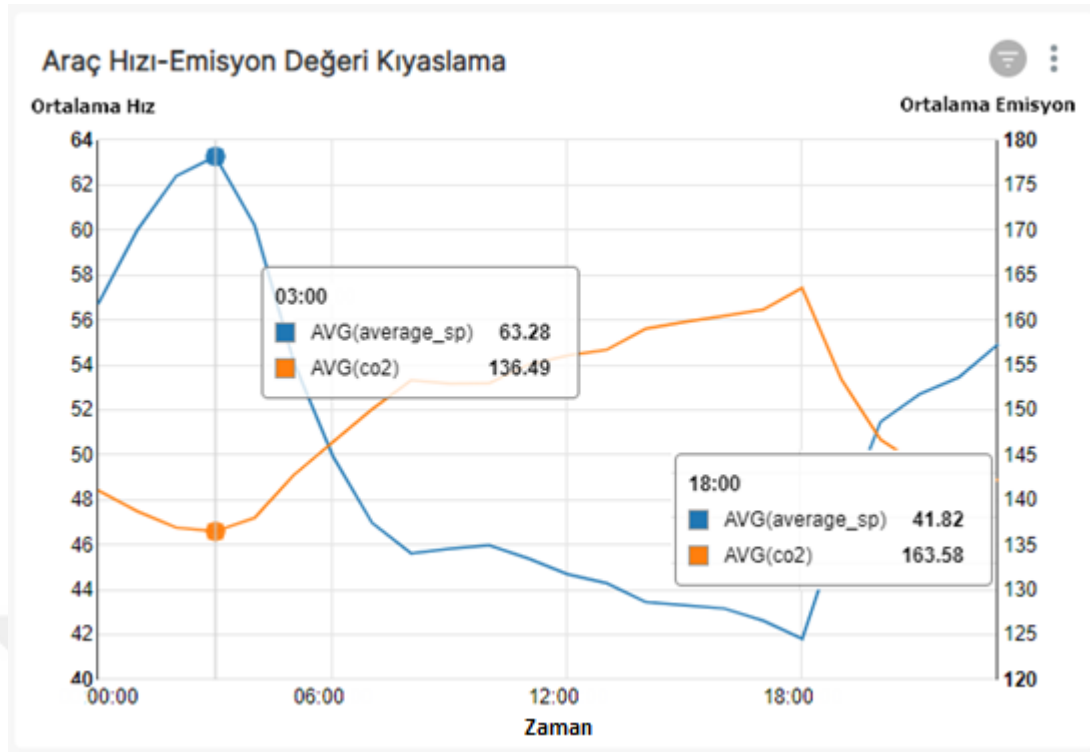
Şekil 5.7 : Tahmini emisyon değeri - İlçeler çizgi grafiği.

Şekil 5.8’de ilçelerin hafta içi ve hafta sonu emisyon dağılım yüzdeleri verilmiştir. Grafiklere göre emisyon tahmininin en çok olduğu ilçe Sultanbeyli; en düşük olduğu ilçe ise Sancaktepe olarak görünmektedir. Şekil 5.8’e göre Sultanbeyli ilçesinde hafta içi emisyon salınımı %27.17 iken bu değer hafta sonu %30.43’e çıkmaktadır. Sancaktepe ilçesinde ise hafta içi emisyon salınımı %13.94 iken hafta sonu küçük bir artışla %14.19 olmuştur. Bu grafikler 5 ilçe için ideal bir görüntü sunmaktadır ancak tüm ilçeleri kapsayan bir çalışma yapıldığında ağaç haritası (treemap) grafiğinin kullanılması daha uygun olur.



Şekil 5.8 : Tahmini emisyon değeri - İlçeler pasta grafiği.

Şekil 5.9 ortalama hız ve ortalama emisyon değerlerini gösteren, ikili yapıdaki bir çizgi grafiğidir. Grafiğin sol eksenini ortalama hızı gösterirken sağ eksen ortalama CO₂ değerini göstermektedir. Burada ortalama araç hızının gün içindeki zamana bağlı değişimi ile ortalama emisyon değeri kıyaslanabilmektedir. Saat 03.00’da ortalama hız en yüksek seviyede iken emisyon salınımı en az seviyededir. Ortalama araç hızının en yavaş olduğu saat 18.00’da karbon salınımı en üst seviyeye çıkmaktadır. Burada dikkat çeken nokta, araç hızının belli bir değerin altına düştüğünde daha fazla CO₂ saldığıdır.



Şekil 5.9 : Emisyon - Hız zaman serisi grafiği.

Araçlardan kaynaklı emisyonları hesaplamada araç hızı önemli bir etkidir. Şekil 5.9'de görüleceği üzere emisyon miktarı hız değerine göre değişmektedir. Emisyon hesabı yapılırken araç hızının yanı sıra yol uzunluğu ve araç sayısı da dikkate alınmıştır. Araç türü (otomobil, kamyon vb.) de önemli bir faktör olmasına rağmen grafikte araç türüne dair bir ayırım yapılmamıştır. Bunların dışında yakıt tipi, yanma teknolojisi, kontrol teknolojisi, araç yaşı, araç türü, sürüş mesafesi ve iklim gibi birçok etmen dikkate alınmalıdır. Araçların yaydığı emisyon en iyi bu şekilde tahmin edilir ancak yeterli veri olmadığı için bu seçeneklerin hepsinin dahil olduğu hesaplamalar yapmak çok mümkün değildir (Eggleston ve Walsh, 2000).

Literatür incelendiğinde temel arazi gridleme sistemi olarak üçgen, kare ve altıgen geometrik şekilleri ön plana çıkmaktadır. Ayrıca CBS tabanlı ulaşım çalışmalarının çoğunda kare gridleme ağı kullanılmaktadır (Shoman, Alganci, & Demirel, 2019). Tez kapsamında kullanılan verinin, örneğin, 1 km x 1 km kare grid ağına sahip olması arazi yapısını daha iyi temsil ederek daha hassas sonuçların elde edilebilir. Ayrıca 1 km x 1 km kare grid ağına sahip nüfus vb. demografik birçok veriyi içeren farkı vektör tabanlı haritalar ile entegrasyon ve birlikte çalışabilirlik konusunda kolaylık sağlayabilir. Hangi gridleme sisteminin kullanılacağı ve bu gridin hücre boyutunun ne olacağı konusu ise çalışmanın amacı ve ölçeğine göre belirlenmelidir.

Superset, açık kaynak kodlu modern bir iş zekası aracıdır ve harita görselleştirmelerini desteklemektedir. Harita üzerinde polygon, scatterplot, hexagon, arc, grid, path gibi birçok görselleştirme türünü yapmaya imkan tanımaktadır. Ayrıca temel düzeyde harita ile etkileşim de kurulabilmektedir. Bunlara ek olarak, zaman kaydırıcısı (timeslider) gibi özelliklerin eklenmesi ile etkileşim yetenekleri daha üst düzeye çıkarılabilir.



6. SONUÇ

Son yıllarda gerçekleşen hızlı kentleşme ve artan hareketlilikle beraber şehirlerin yönetimi daha karmaşık ve zorlu bir hale gelmiştir. Araçlardan kaynaklı emisyonlar da günümüz şehirlerinin en büyük sorunlarından birisidir. Bu sorunlar ile mücadele edilebilmesi için; bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesinin yanı sıra sosyal medya, arama motorları, sensörler ve bankalar gibi çeşitli kaynaklardan üretilen büyük hacimli dinamik ve heterojen yapıdaki verilere ihtiyaç vardır. Kentsel bilişim ise kentsel sorunların çözümlerine yönelik bu verilerin üretilmesi, elde edilmesi ve çeşitli analizler sonucu anlamlı bilgiler ve öngörüler çıkartılmasını sağlayan bir süreci ifade etmektedir. Bunu sağlamak adına, öncelikle, veri standartlarının oluşturulması ve kurumlar arası işbirliğinin en yüksek düzeyde olması gerekmektedir.

Araçlardan kaynaklı emisyonların bir sorun olarak ele alınabilmesi için, ilk olarak, emisyonların kavramsal şemalarının çıkartılması, modellenmesi ve detay kataloglarının oluşturulması gerekmektedir. Bunun için Türkiye'nin Konumsal Veri Altyapısı projesi olan TUCBS'nin Ulaşım Ağları teması Karayolları şemasına Emisyon veri modeli entegre edilmiştir. Böylelikle, araçlardan kaynaklı emisyon verilerinin tutarlı ve standart bir şekilde üretilmesi, aynı zamanda bu verilerin izlenmesi ve modellenmesi bir sisteme dahil edilmiş olunmuştur.

TUCBS'de üretilen kavramsal veri modelleri ve uygulama şemaları soyut bir modeli ifade etmekte ve bu veri modellerinin fiziksel ortamda test edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda geliştirilen bu modeller yazılımlar ve kullanıcılardan bağımsız olarak çalışabilmelidir. Bu nedenle, Emisyon veri modellerini test edebilmek ve inceleyebilmek için, CBS tabanlı bir sistem mimarisi temeli üzerine web tabanlı bir gösterge paneli kurulmuştur.

Kentsel sürdürülebilir hareketliliğin sağlanması adına kaynakların etkin, ekonomik ve verimli kullanılması gerekmektedir. Bundan dolayı, önerilen çözüm önerisinin daha az maliyetli olabilmesi için tasarlanan web gösterge paneli açık kaynak kodlu yazılımlar ile geliştirilmiştir.

Geliştirilen gösterge panelinde, akan büyük ve heterojen yapıdaki verilerden anlamlı bilgiler ve öngörüler elde edebilmek için, birbirleriyle bağlantılı görsel grafikler, harita ve coğrafi analiz araçları geliştirilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen sonuçlara göre; hafta içi araçlardan kaynaklı CO₂ emisyonunun en yüksek çıktığı zaman dilimi sabah 06.00 – 07.00 civarı ve akşamüzeri saat 18:00 olarak tespit edilmiştir. Hafta sonu ise emisyonunun en az olduğu zaman dilimi sabah 07.00 olarak belirlenmiştir. Hem hafta içi hem de hafta sonu emisyon salınımının en az olduğu saat ise gece 03.00'dır. Ayrıca hafta içi ve hafta sonu ayrı ayrı değerlendirildiğinde hafta sonu daha az emisyon salınmaktadır. Bu oran neredeyse yarı yarıyadır. İlçeler arasında kıyaslama yapıldığında emisyon değeri en yüksek çıkan ilçe Sultanbeyli iken en az çıkan ilçe ise Sancaktepe'dir.

Sonuç olarak, tez kapsamında ele alınan “Araçlardan kaynaklı emisyonların modellenmesi ve takip edilmesinde karşılaşılan ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Teknolojilerini ilgilendiren sorun ve zorluklar nelerdir? Kavramsal olarak veri modelleri ve standartların oluşturulmuş olması tek başına yeterli midir? Büyük veri ve coğrafi analizler bu sorunların çözümünde nasıl etkin bir şekilde kullanılabilir? Bu sorunlara yönelik daha az maliyetli bir çözüm önerisi sunulabilir mi?” araştırma soruları cevaplanmış ve coğrafi ve dinamik veriler kullanılarak, Ulusal KVA standartı projesi olan TUCBS'nin Ulaşım Ağları veri temasına uygun, araçlardan kaynaklı emisyonları takip etmek ve karar vericilere destek olmak için web tabanlı açık kaynak kodlu bir gösterge paneli tasarlanmıştır.

Bunlara ek olarak, benzer çalışmalara katkıda bulunmak ve sonraki araştırmalara yeni araştırma alanları açmak için bazı önerilerde bulunulabilir. İstanbul'un beş ilçesini ve sadece nisan ayını kapsayan bu çalışma, üst düzey donanımsal destek ile tüm İstanbul için ve daha geniş zaman dilimlerini kapsayacak şekilde genişletilebilir. Ayrıca makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanıldığı, var olan görsel ve coğrafi analiz araçlarının zenginleştirildiği, farklı profillerdeki karar vericilere yönelik dinamik bir arayüz tasarımı gerçekleştirilebilir.

KAYNAKÇA

- 49 nolu Coğrafi Bilgi Sistemleri Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi.** (2019). T.C. Resmi Gazete, 30941, 7 kasım 2019.
- Adolph, M.** (2013). *Big Data : Big today , normal tomorrow.*
- Agrahari, A., & Rao, D. D.** (2017). A Review paper on Big Data : Technologies, Tools and Trends. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(10).
- Anbaroğlu, B., Güllüoğlu, N. C., Bilgin, G., & Aydınöğlu, A. Ç.** (2021). Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi Ulaşım Veri Temasının Katılımcı Coğrafi Bilgi Yaklaşımıyla Güncellenmesi. *Geomatik*, 6(2), 115-123. doi:10.29128/geomatik.714493
- Bowatte, G., Lodge, C. J., Knibbs, L. D., Lowe, A. J., Erbas, B., Dennekamp, M., Abramson, M. J.** (2016). Traffic-Related Air Pollution Exposure is Associated with Allergic Sensitization, Asthma and Poor Lung Function in Middle Age. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. doi:10.1016/j.jaci.2016.05.008
- CIO.** (2019). *AI Unleashes the Power of Unstructured Data*. Ocak 10, 2022 tarihinde Chief Information Officer: <https://www.cio.com/article/3406806/ai-unleashes-the-power-of-unstructured-data.html> adresinden alındı
- Çavuş, M. F., & Kurt, H. S.** (2017). Kamu Kurumlarında Açık Kaynak Kodlu Yazılımların Kullanımı. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 5, 39-49. doi:10.25272/j.2147-7035.2017.5.3.03
- ÇŞB.** (2019). *2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- ÇŞİDB.** (2022a). *Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi Rehber Uygulaması*. Ocak 10, 2022 tarihinde T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://rehber.tucbs.gov.tr/tr/tanimlama-rehberi/tucbs-nedir> adresinden alındı
- ÇŞİDB.** (2022b). *TUCBS Coğrafi Veri Sözlüğü*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://cografiverisozlugu.tucbs.gov.tr/#/tema/UlasimAglari> adresinden alındı
- ÇŞİDB.** (2022c). *Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi Ulaşım Ağları Teması Veri Tanımlama Dokümanı Sürüm 2.0*. https://rehber.tucbs.gov.tr/tucbs_ua.pdf adresinden alındı

- Dailey, D.** (2020). *Netezza and IBM Cloud Pak for Data: A Knockout combo for tough data*. Ocak 10, 2022 tarihinde IBM: <https://www.ibm.com/blogs/journey-to-ai/2020/06/netezza-and-ibm-cloud-pak-a-knockout-combo-for-tough-data/> adresinden alındı
- Dublin.** (2022). Ocak 11, 2022 tarihinde Dublin Dashboard: <https://www.dublindashboard.ie/> adresinden alındı
- Eckerson, W.** (2012). *Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business, Second Edition*. New Jersey. doi:<https://doi.org/10.1002/9781119199984>
- EEA.** (2020). *Average CO2 emissions from newly registered motor vehicles in Europe*. European Environment Agency: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/average-co2-emissions-from-motor-vehicles/assessment-1> adresinden alındı
- Eggleston, S., & Walsh, M.** (2000). Emissions: Energy, Road, Transport. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. içinde Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2_3_Road_Transport.pdf adresinden alındı
- Fan, Y. V., Perry, S., Klames, J. J., & Lee, C. T.** (2018). A review on air emissions assessment : Transportation. *Journal of Cleaner Production*, 194. doi:10.1016/j.jclepro.2018.05.151
- Ferreira, N., Poco, J., Vo, H. T., Freire, J., & Silva, C. T.** (2013). Visual Exploration of Big Spatio-Temporal Urban Data : A Study of New York City Taxi Trips. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12), 2149-2158. doi:10.1109/TVCG.2013.226
- Few, S.** (2004). Dashboard Confusion. *Intelligent Enterprise*.
- Few, S.** (2006). *Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data*. Italy: O'Reilly.
- FGDC.** (2022). Ocak 11, 2022 tarihinde Federal Geographic Data Committee: <https://www.fgdc.gov/nsdi/nsdi.html> adresinden alındı
- Firican, G.** (2017). *The 10 Vs of Big Data*. tdwi: <https://tdwi.org/articles/2017/02/08/10-vs-of-big-data.aspx> adresinden alındı
- Gantz, J., & Reinsel, D.** (2012). *IDC Digital Universe Study: Big Data, Bigger Digital Shadows and Biggest Growth in the Far East*.
- Gartner.** (2022a). *Big Data*. Ocak 10, 2022 tarihinde Gartner: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data> adresinden alındı
- Gartner.** (2022b). *Big Data*. Ocak 10, 2022 tarihinde Gartner: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data> adresinden alındı

- GDI-DE.** (2022). Ocak 10, 2022 tarihinde Geodateninfrastruktur Deutschland: <https://www.gdi-de.org/> adresinden alındı
- HEI.** (2010). *Traffic-Related Air Pollution : A Critical Review of the Literature on Emissions , Exposure , and Health Effects*. Health Effects Institute.
- HEI.** (2019). *State of Global Air 2019*. Boston: Health Effect Institute.
- Hussein, A. A.** (2020). How Many Old and New Big Data V ' s Characteristics , Processing Technology , And Applications (BD1). *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, 9(9), 15-27.
- İBB.** (2018). *İstanbul Yıllık Ulaşım Raporu 2017*.
- IBM.** (2022). *What is big data analytics?* Ocak 10, 2022 tarihinde IBM: <https://www.ibm.com/analytics/hadoop/big-data-analytics> adresinden alındı
- IDC.** (2021). Kasım 10, 2021 tarihinde International Data Corporation: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46286020> adresinden alındı
- IEA.** (2021). *Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector*. International Energy Agency. doi:<https://doi.org/10.1787/c8328405-en>
- INSPIRE.** (2022). Ocak 10, 2022 tarihinde INSPIRE Knowledge Base: <https://inspire.ec.europa.eu/> adresinden alındı
- İPA.** (2019). *İstanbul Sürdürülebilir Ulaşım Kongresi*. İstanbul Planlama Ajansı.
- ISO.** (2022). Ocak 10, 2022 tarihinde International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/home.html> adresinden alındı
- ISOTC211.** (2022). Ocak 11, 2022 tarihinde Geographic technology standard models & schemas: <https://www.isotc211.org/> adresinden alındı
- ITU-T.** (2016). *ITU-T's Technical Reports and Specifications: Shaping Smarter and More Sustainable Cities: Striving for Sustainable Development Goals*.
- Janes, A., Sillitti, A., & Succi, G.** (2013). Effective Dashboard Design. *Cutter IT Journal*, 17-24.
- Kara Rapor.** (2020). *Kara Rapor 2020 Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri*. Temiz Hava Hakkı Platformu.
- Koch, P. R., Hölbig, C. A., & Rieder, R.** (2018). Using Kepler. gl to visualize weather data.
- Kulkarni, R.** (2019). *Big Data Goes Big*. Ocak 10, 2022 tarihinde Forbes: <https://www.forbes.com/sites/rkulkarni/2019/02/07/big-data-goes-big/?sh=fd7a71c20d7b> adresinden alındı
- Lee, J.-G., & Kang, M.** (2015). Geospatial Big Data : Challenges and Opportunities. *Big Data Research*, 2, 74-81. doi:10.1016/j.bdr.2015.01.003

- London.** (2022). Ocak 11, 2022 tarihinde London: <https://citydashboard.org/london/> adresinden alındı
- Mauro, A. D., Greco, M., & Grimaldi, M.** (2014). What is Big Data ? A Consensual Definition and a Review of Key Research Topics. doi:10.13140/2.1.2341.5048
- ODH.** (2022). *What is Open Data?* Ocak 10, 2022 tarihinde Open Data Handbook: <https://opendatahandbook.org/guide/en/what-is-open-data/> adresinden alındı
- OGC.** (2022). *OGC.* Ocak 11, 2022 tarihinde Open Geospatial Concorium: <https://www.ogc.org/> adresinden alındı
- OKR.** (2012). *Spatial Data Infrastructure and INSPIRE.* OKR (Open Knowledge Repository): <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17082> adresinden alındı
- OSS.** (2022, Ocak 10). *Açık Kaynak Kodlu Yazılım.* Wikipedia: https://tr.wikipedia.org/wiki/A%C3%A7%C4%B1k_kaynak_kodlu_yaz%C4%B1%C4%B1m#cite_note-1 adresinden alındı
- PostgreSQL.** (2022). Ocak 11, 2022 tarihinde PostgreSQL: <https://www.postgresql.org/> adresinden alındı
- Press, G.** (2020). *54 Predictions About The State of Data In 2021.* 2022 tarihinde Forbes: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2021/12/30/54-predictions-about-the-state-of-data-in-2021/?sh=293fff5b397d> adresinden alındı
- QGIS.** (2022). Ocak 11, 2022 tarihinde QGIS: <https://www.qgis.org/en/site/> adresinden alındı
- Rasmussen, B.** (2020). *Digitization: A climate sinner or savior?* Ocak 10, 2022 tarihinde IBM: <https://www.ibm.com/blogs/nordic-msp/digitization-and-the-climate/> adresinden alındı
- Razak, M., Fauzi, S., Gining, R., & Jamaluddin, M.** (2019). Data visualisation of vehicle crash using interactive map and data dashboard. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 14(3), 1405-1411. doi:10.11591/ijeecs.v13.i3.pp1405-1411
- Seref, S., & Sinanc, D.** (2013). Big Data : A Review., (s. 42-47).
- Singapour.** (2022). Ocak 11, 2022 tarihinde Geospatial.SG: <https://www.geospatial.sg/> adresinden alındı
- Statista.** (2022a). *Volume of data/information created, captured, copied, and consumed worldwide from 2010 to 2025.* Ocak 10, 2022 tarihinde Statista: <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/> adresinden alındı
- Statista.** (2022b). *Big data market size revenue forecast worldwide from 2011 to 2027.* Ocak 10, 2022 tarihinde Statista: <https://www.statista.com/statistics/254266/global-big-data-market-forecast/> adresinden alındı

- Superset.** (2022). Ocak 11, 2022 tarihinde Apache Superset Github: <https://github.com/apache/superset> adresinden alındı
- Sustainable Mobility for All.** (2017). *Global Mobility Report 2017: Tracking Sector Performance*. Washington DC: SuM4All.
- Şahin, Ü., Tör, O. B., & Bora Kat, S. T.** (2021). *Türkiye'nin Karbonsuzlaşma Yol Haritası 2050'de Net Sıfır Yönetici Özeti*. İstanbul Politikalar Merkezi (İPM).
- Tang, J., McNabola, A., Misstear, B., Pilla, F., & Alam, M. S.** (2019). Assessing the Impact of Vehicle Speed Limits and Fleet Composition on Air Quality Near a School. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. doi:10.3390/ijerph16010149
- Ticaret Bakanlığı.** (2021). *Yeşil Mutakabat Eylem Planı*. T.C. Ticaret Bakanlığı. <https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf> adresinden alındı
- Toyoda, M., Yokoyama, D., Komiyama, J., & Itoh, M.** (2017). Road Safety Estimation Utilizing Big and Heterogeneous Vehicle Recorder Data. *2017 IEEE International Conference on Big Data (BIGDATA)*, (s. 4841-4842).
- TÜİK.** (2021). *TÜİK*. Ocak 11, 2022 tarihinde Türkiye İstatistik Kurumu: <https://www.tuik.gov.tr/> adresinden alındı
- United Nations.** (2015). Paris Agreement. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf adresinden alındı
- United Nations.** (2019). World Population Prospects 2019: Highlights. Department of Economic and Social Affairs.
- van der Voorn, T., & Popov, V.** (2013). *UN World Economic and Social Survey 2013. Sustainable Development Challenges*.
- Walker, J. D., Letcher, B. H., Rodgers, K. D., Muhlfeld, C. C., & D'Angelo, V. S.** (2020). An Interactive Data Visualization Framework for Exploring Geospatial Environmental Datasets and Model Predictions. *Water*, 12. doi:10.3390/w12102928
- Wang, Z., Lu, M., Yuan, X., Zhang, J., & Wetering, H. v.** (2013). Visual Traffic Jam Analysis Based on Trajectory Data. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(12), 2159-2168. doi:10.1109/TVCG.2013.228
- Wexler, S., Shaffer, J., & Cotgreave, A.** (2017). *The Big Book of Dashboards: Visualizing Your Data Using Real-World Business Scenarios*. New Jersey.
- WHO.** (2022). *Air Pollution*. Ocak 7, 2022 tarihinde World Health Organization: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 adresinden alındı
- Zheng, Y., Capra, L., Wolfson, O., & Yang, H.** (2014). Urban Computing: Concepts, Methodologies, and Applications. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 5, 1-55. doi:10.1145/2629592

Zheng, Y., Wu, W., Chen, Y., Qu, H., & Ni, L. M. (2016). Visual Analytics in Urban Computing : An Overview. *IEEE Transactions on Big Data*, 2, 276-296. doi:10.1109/TBDATA.2016.2586447



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad

: Abdullah Uğur TOPAL



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014 - 2019, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2019 - 2022, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ocak 2020'den itibaren Gebze Teknik Üniversitesi Ulaşım Teknolojileri Enstitüsünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.
- 2019 Temmuz – Eylül ayları arasında Erasmus Staj programı kapsamında Londra'da Barbarossa Construction Ltd şirketinde staj eğitimi gördü.
- 2017-2018 güz döneminde Erasmus öğrenci değişimi programı ile bir dönem Kauno Kolegija'da eğitim gördü.