

GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Volume: 1, Issue: 2, p. 37-57, 2019

CBS TABANLI ULAŞIM KAYNAKLI HAVA KİRLLETİCİ EMİSYON MİKTARLARININ BELİRLENMESİ

GIS BASED DETERMINATION OF AIR POLLUTANT EMISSION QUANTITIES IN TRANSPORTATION

Elif YILMAZ¹

Aylin KARAKAŞ²

Balca AĞAÇSAPAN³

Alper ÇABUK⁴

(Received 18.01.2019 Published 27.02.2019)

Özet

Kentsel alanlardaki ulaşım araçlarında küresel bir artış gerçekleşmektedir. Bunun sonucu olarak, motorlu taşıtların egzozlarından kent atmosferine verilen kirleticilerin seviyeleri, bölgenin meteorolojik ve topoğrafik koşullarının etkisiyle zaman zaman insan sağlığını tehdit edici boyutlara ulaşabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, ulaşımdan kaynaklı emisyon miktarlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile belirlendiği çalışmaların incelenmesi ve Eskişehir Teknik Üniversitesi'nin İki Eylül Kampüsüne giden araçlardan kaynaklanan hava kirletici emisyonlarının ağ analizi ile belirlenmesidir. Mevcut şehir içi otobüslerinin elektrikli olması durumlarında emisyonların azaltılması amacıyla kampüs içine Anadolu Üniversitesi Yunus Emre Kampüsü ile İki Eylül Kampüsü arasında iki farklı güzergahın emisyon etkisi network analizi ile hesaplanmıştır. Analiz sürecinde ArcGIS network analiz aracı kullanılmıştır. Çalışmada EMEP/CORINAIR emisyon faktörü veri tabanından taşıt kategorilerine, motor teknolojisine ve yakıt türlerine göre uygun emisyon faktörleri seçilmiş, seçilen emisyon faktörleriyle otobüs seferleri ve şahsi araç sayıları kullanılarak trafikten kaynaklı hava kirletici emisyon miktarları network analizi ile tahmin edilmiştir. Çalışmadaki ağ analizinin amacı yol tasarımı ve gelişimini yönlendirecek ideal bir ağ modeli bulmak için farklı modellerin trafik koşullarını karşılaştırmaktır.

Anahtar Kelimeler: Network analiz, CBS, hava kalitesi.

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, eyilmaz1@eskisehir.edu.tr

² Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, aylinkarakas@eskisehir.edu.tr

³ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, bagacsapan@eskisehir.edu.tr

⁴ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Restorasyon Anabilim Dalı, acabuk@eskisehir.edu.tr

Abstract

There is a global increase in transportation in urban areas. As a result, the levels of pollutants from motor vehicles in the city atmosphere can sometimes reach levels that threaten human health because of the meteorological and topographical conditions of the region. The aim of this study are to investigate the studies on the emission-related emission amounts by Geographical Information Systems (GIS) and to determine the air pollutant emissions from the vehicles going to Eskişehir Technical University's İki Eylül Campus by network analysis. In order to reduce emissions in the existing electric city buses, the emission impact of two different routes between the Yunus Emre Campus and the İki Eylül Campus of the Anadolu University was calculated by network analysis. ArcGIS network analysis tool was used in the analysis process. In this study, appropriate emission factors were selected from the EMEP / CORINAIR emission factor database to vehicle categories, engine technology and fuel types, air traffic pollutant emissions, bus programs and personal vehicle numbers and network analyzes were performed. The aim of the network analysis in the study is to compare the traffic conditions of different models to find an ideal network model to guide road design and development.

Keywords: Network analysis, GIS, air quality.

1. GİRİŞ

Otomotiv sanayisinin büyümesi ve nüfus artışı sonucunda, kentsel alanlardaki ulaşım araçlarında küresel bir artış gerçekleşmektedir. Bunun sonucu olarak karayollarında seyir halindeki motorlu taşıtların egzozlarından kent atmosferine verilen kirleticilerin seviyeleri, bölgenin meteorolojik ve topoğrafik koşullarının etkisiyle zaman zaman insan sağlığını tehdit edici boyutlara ulaşabilmektedir. Benzin ve motorin kullanan motorlu taşıtlardan atmosfere salınan egzoz gazlarının bileşiminde; parafinler, olefinler ve aromatikler gibi uçucu organik bileşikler (VOC); aldehitler, ketonlar, karboksilik asitler gibi kısmen yanmış hidrokarbonlar (HC); karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO₂), kurşun bileşikler ve partikül maddeler (PM₁₀) bulunmaktadır. Benzinli motorlarda CO ve yanmadan kalan HC; dizel motorlarda ise NO_x, SO₂ ve partikül madde gibi kirleticiler daha önemlidir (Alkaya vd., 2000). Bunlardan NO_x ve VOC'ler özellikle troposferik ozonun (O₃) oluşmasında önemli bir paya sahiptir. Oksijenin aktif bir hali olan ozon, hidrokarbonlar ile azot oksitlerin de katıldığı, güneş ışığı ile gerçekleşen çok sayıda karmaşık kimyasal reaksiyon sonucu oluşmaktadır.

Bu emisyonlar, yakıt bileşimleri ve yakıt katkı maddeleri ile ilişkili olduğu kadar, motor türü ve yanma verimi ile de doğrudan ilişkilidir. Bunun yanında yakıtların taşıtların depolarına doldurulması ve motorun sıcaklığı ile yakıt/yağ buharlaşmalarından oluşan uçucu organik madde emisyonları da önemli emisyon kaynaklarıdır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar; taşıtın yaşı, motorun çalışma devri, çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığı, ortam basıncı, yakıt türü ve kalitesi gibi parametrelere bağlıdır (Koca ve Elbir, 2013).

Artan araç sayısına bağlı olarak, ulaşımda kullanılan yakıt miktarının artması, atmosferde kirleticiler emisyonlarının ve karbondioksit (CO₂) gazı miktarının hızla yükselmesi, dolayısıyla sera etkisinin oluşması ve iklim değişikliği sorunları, ulaşımda enerji verimliliği konusunu gündemde tutmaktadır. Tüm bu problemleri gidermek için uygun alternatif yakıtlar ve/veya daha verimli alternatif araçların geliştirilmesi gündeme gelmektedir (Uçarol vd., 2009).

Ulaşım kaynaklı hava kirlenmesinin önemli yanı özellikle havalandırması sınırlı caddelerde yoğun trafik ile yer seviyesinde birikim yaparak, trafik çevresinde yer alan kişilere ve trafiğe katılan kişilere doğrudan ve akut etki göstermesidir. Motorlu araçların neden olduğu kirlenme bir çok faktöre bağlıdır. Bunlar; enerji tüketimi ile doğrudan ilgili olup taşıtın motor cinsi, aracı kullanım tarzı, araç yaşı, aracın fiziki durumu, ortalama hızı, yakıt kullanımı, yakıt cinsi, trafik durumu sayılabilmektedir. Petrol türevi yakıtların kullanılması sera gazı salımının (özellikle CO₂'in) büyük oranda artmasına ve buna bağlı olarak küresel ısınma gibi bütün dünyayı etkileyebilecek önemli sonuçların ortaya çıkmasına katkıda bulunmaktadır.

Oluşan emisyon miktarlarının yükselmesi, içten yanmalı motor (İYM) teknolojisinde yapılan iyileştirmeleri, alternatif yakıtlar ve daha verimli alternatif araçların geliştirilmesini gündeme getirmektedir. Bu açıdan bakıldığında elektrikli

araçlar; sessiz olması, düşük seviyede emisyon salınımına sebebiyet vermesi ve yakıt tasarrufu sağlaması gibi avantajları sayesinde bu sorunlara çözüm getirebilecek potansiyele sahiptir.

Avrupa'da karbon emisyonuna göre yapılan vergilendirmeler otomobil almak isteyen kişiler veya mevcut otomobil sahipleri için elektrikli araçları cazip kılmaktadır (Varol vd., 2018).

Bilgi ve bilgisayar teknolojisinin gelişimi ile birlikte uygulanmaya başlanan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), birçok meslek dalında ve iş kolunda, takip ve planlama için kullanılmaktadır. CBS en genel tanımıyla, her türlü veriyi birbirleriyle ve coğrafi konumları ile ilişkilendirerek bilgisayar ortamında toplamak ve bunları grafik ya da basılı olarak izlenmesidir. Özellikle büyük şehirlerde her türlü acil durum planlaması yapılırken, tüm veriler birbirleri ile ilişkilendirilebilmeli ve tüm bu verilerin birlikte analizi yapılabilirdir. Kent bilgi sistemi uygulamalarında, acil durumlarda; ambulans, itfaiye ve polis araçlarının istenen noktaya en kısa sürede ulaşması, zamana bağlı çalışan otobüs, okul taşıtları, metro, çöp toplama, dağıtım ve benzeri hizmetleri sorgulama ve izleme ihtiyacı vardır. Bütün bu analiz işlemleri ağ analizi ile mümkündür. Bu çalışmada da ağ analizi farklı yol güzergahları için emisyonların hesaplanmasında kullanılmıştır.

Çalışmanın amacı, Eskişehir Teknik Üniversitesi'nin İki Eylül Kampüsüne giden araçlardan kaynaklanan hava kirlenici emisyonların network analizi kullanılarak belirlenmesidir. Çalışmanın diğer ve önemli ayağında mevcut şehir içi otobüslerinin elektrikli olması durumlarında emisyonların azaltılmasına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, kampüs içine Anadolu Üniversitesi Yunus Emre Kampüsü ile İki Eylül Kampüsü arasında iki farklı güzergahın emisyon etkisi network analizi ile yapılmıştır. Çalışmada EMEP/ CORINAIR emisyon faktörü veri tabanından taşıt kategorilerine, motor teknolojisine ve yakıt türlerine göre uygun emisyon faktörleri seçilmiş, seçilen emisyon faktörleriyle otobüs seferleri ve şahsi araç sayıları kullanılarak trafikten kaynaklı hava kirlenici emisyon miktarları network analizi ile tahmin edilmiştir. Çalışma kapsamında tamamen taşıtların seyir halinde egzozlarından attıkları kirleniciler incelenmiştir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Çok sayıda makale ulaştırma faaliyetlerinin çevresel etkilerini araştırmış ve çeşitli ulaştırma senaryoları için emisyon oranlarını bildirmiştir. Sera gazı emisyonları ile ilişkili etkileri sınırlamak için çevresel, sosyal ve politik baskılar artmaktadır. Kullanımdaki büyümeye ve araçların etkisine rağmen, rotalama probleminin temel amacı olarak emisyonların azaltılması konusunda araştırma çok azdır.

Figliozzi (2010) çalışmasında, emisyonların ve yakıt tüketiminin en aza indirilmesinin birincil amaç veya genelleştirilmiş bir maliyetin bir parçası olduğu yeni bir araç yönlendirme sorununu (VRP) formüle ederek, çalışıp ve çözmektedir. Kalkış zamanları ve seyahat hızları karar değişkenleri haline gelmiştir. Yazara göre, zamana

bağlı seyahat hızları, zaman pencereleri ve kapasite kısıtlamaları olan sıkışık ortamlardaki rotaların tasarımı sırasında araç emisyonlarını en aza indiren başka bir araştırma veya formülasyon yoktur.

Dessouky, Rahimi ve Weidner (2003), talebe cevap veren bir transit operasyon için maliyet, hizmet ve çevresel performans arasındaki değişimleri dikkate almaktadır. Zamanlama sezgisel olarak geçiş işlemlerini simüle ederek ve çevreye yaşam döngüsü etkilerini dikkate alarak, emisyonlar için optimize edilmiş heterojen filolar için minimum ek maliyetle önemli çevresel iyileştirmelerin mümkün olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu aynı faydalar homojen filolar için gözlenmemiştir. Bu araştırma bir dizi çevresel performans ölçüsüne odaklanmış ve her bir çözümün yaşam döngüsü üzerindeki çevresel etkilerini dikkate alır; CO₂ ye odaklanır veya yönlendirme ile ilişkili emisyonları minimize etmez.

Palmer (2007), CO₂ emisyonlarını hesaba katmak için bir araç yönlendirme sorununu modelle araştırmıştır. Bu model, zaman veya mesafedeki optimizasyonlar için emisyonları azaltma veya emisyonları hesaplamak için kullanılmıştır. Zaman yerine emisyonlar için optimize edilirken emisyonlarda % 4.8, mesafe yerine emisyonlar için optimize edilirken emisyonlarda % 1.2 azalma olduğu bulunmuştur. Modeli, hız ve araç performansına dayalı emisyonları tahmin etmeye odaklanmış ve yol tıkanıklığına dayanarak hızı tahmin edilmiştir. Palmer 'ın modeli, emisyonlar ve hizmet arasındaki dengeyi değerlendirmek için yararlı bir model sunma konusunda en yakın olandır.

Bu araştırmacıların her biri, araç yönlendirmenin çevresel etkilerinin bulunması konusunda önemli ilerlemeler kaydetmiş olsa da her birinin optimizasyonuna izin verirken, maliyet, hizmet ve emisyonlar arasındaki değişimleri hesaba katmamaktadır.

ArcGIS yazılımı, yönlendirme ve zamanlama problemlerini çözmeye izin vermektedir. Bu yazılım, adres verileri ve bağlantı maliyeti işlevlerini içeren eksiksiz bir yol ağı içermektedir, ancak araç faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonları tahmin etmez. Wygonik ve Goodchild (2011) yapmış olduğu araştırmada, ArcGIS VRP aracını, zaman pencereli bir kentsel toplama ve dağıtım sistemi için en düşük maliyetli, en düşük emisyon yönlendirmelerini sağlayan rotaları hesaba katarak genişletmiştir. Bu araç, karayolu ağ koşullarındaki, zaman penceresi kısıtlamalarındaki ve filo kompozisyonundaki değişikliklerle ilgili farklı politikaların analizini sağlamaktadır ve farklı senaryolar için maliyet ve emisyon değişikliklerini dikkate almaktadır.

ArcGIS, VRP'yi kapasite kısıtlamaları, çoklu araçlar ve zaman pencereleriyle kentsel toplama ve dağıtım sistemleri için çözebilmektedir. Bu araç sert veya yumuşak zaman pencerelerini göz önünde bulundurabilmekte ve problem bir saatten daha kısa bir süre durduğunda emisyonları hesaba katacak şekilde genişletilmektedir. EPA standartlarına göre, sıcak halde katalitik konvertörlü bir motor, bu süreden sonra soğuk duruma geçecek ve sıcak ve soğuk durumdaki emisyonlarının oluşmasına neden olacaktır. Bununla birlikte, çoğu yerleşim yerindeki kentsel toplama ve teslim sistemindeki duraklamalar bu bir saatlik süreyi geçmemektedir. ArcGIS, emisyonları en aza indirmek ve belirli bir vaka incelemesi filosu için emisyonlar, maliyet ve hizmet

kalitesi arasındaki değişimleri dikkate almak için kullanılmaktadır. Bu örnek olay incelemesi gerçek bir toplama ve teslimat sistemine, müşterilere, sipariş miktarlarına ve teslimat zaman pencerelerine dayanmaktadır. Çalışmada, bu değişen baskılar altında maliyet, hizmet kalitesi (zaman çizelgesi ile temsil edilir) ve bir kentsel toplama ve dağıtım sistemi emisyonları arasındaki dengeleri ortaya koymaktadır. Yazarlar tarafından ArcGIS'te geliştirilen bir model, bu işlemlerin değerlendirilmesinde, belirli operasyon özelliklerine sahip gerçek bir filo içeren belirli bir vaka incelemesi için kullanılmıştır. Emisyonların azaltılması problemi, zaman pencerelerinde araç rotalama olarak modellenmiştir. Zaman pencerelerinin etkisinin, müşteri yoğunluğunun ve araç seçiminin özel olarak dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir (Wygonik ve Goodchild, 2011).

Ehmke vd., (2016), kısa ve orta vadeli gelecekte karşılaşılabilecek en önemli zorluklardan biri olacak kentsel alanlarda araçların yönlendirilmesinden beklenen emisyonların en aza indirilmesini araştırmıştır. Çalışmadaki en önemli zorluk, ayrıntılı yük bilgilerini göz önünde bulunduran, hesaplanabilir şekilde izlenebilir bir yolun geliştirilmesidir. Geleneksel araç rotalama hedeflerinden farklı olarak, yükün varlığı müşteriden müşteriye beklenen zamana bağlı emisyonları en aza indirecek yolları çevrimiçi olarak hesaplamayı gerektirir. Bu yolların çoğunu önceden hesaplanmasına izin veren analitik bir sonuç ortaya koyulmuştur.

Deneyler aracılığıyla, karışık müşteri örnekleri için emisyonları optimize ederken emisyonlarda önemli tasarruf sağlanabileceğini tespit ederek, şehir içi turlar, esasen rotaların nispeten kısa olması nedeniyle önemli ölçüde daha az gelişme gösterdiği tespit edilmiştir. Genel olarak, emisyonlarda tasarrufun tur sürelerinde nispeten küçük artışlarla tespit edilebileceğini ve bunun da şirketlere büyük maliyetler olmadan emisyonlarda büyük tasarrufun mümkün olabileceğini göstermiştir. Sonuçlar birden fazla araca da genişletilmiştir. Araç filoları emisyonlarda büyük bir etken olduğundan, karışık filolarda büyük miktarda emisyon tasarrufu elde edilmiştir.

İsveç'te yapılan bir araştırma (Ericsson vd., 2006), gezginlerin kendiliğinden rota seçimine dayanarak yapılan seyahatlerin %46'sının çevre dostu olmadığı ortaya koymuştur. En çevre dostu seçilen rotayla ise, bu yolculuklardaki araç emisyonları %8,2 azaltılabilmektedir. Benzer şekilde, Ahn ve Rakha (2008) bir eko-yönlendirme stratejisi kabul edilirse araç emisyonunda % 4-20 oranında bir düşüş sağlanabileceği bildirilmiştir. Japonya'da bir alan çalışması (Kono vd., 2008), çevre dostu yolun araç emisyonunun en az seyahat süresi yolundan %9 daha uzun olduğunu tespit etmiştir. Bu gibi durumlarda, bir eko-rota navigasyon sistemi, daha düşük araç emisyonlarına sahip en çevre dostu yolu önerebilmektedir, ancak seyahat süresi seyahat süresi bütçesini aşabilmektedir.

Zeng vd. (2016) çalışmasında, bir araç dinamiği temelli CO₂ emisyon modeli ve bir seyahat süresi tarafından sınırlanan minimum CO₂ emisyonları açısından en çevre dostu yolu bulma sorununu gidermek için eko-yönlendirme yaklaşımını önermektedir. Bu rotalama problemini çözmek için Pareto-optimal optimizasyon metodu kullanılmıştır.

Önerilen yöntemin faydaları temel olarak iki yöndendir. İlk olarak, mikroskobik CO₂ karşılaştırarak gibi CMEM ve VSP emisyon modelleri, eko-yönlendirme için giriş değişkenleri ortalama hız, ortalama hızlanma ve eğim açısidir. İkincisi, geleneksel eko-yönlendirme yöntemine kıyasla, önerilen yöntem yalnızca CO₂ emisyonunu optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda hem zamanında varış hem de çevre dostu olma veya yakıt ekonomisini garanti eden seyahat süresini de dikkate alınmaktadır.

Sbihi ve Eglese (2007) karbon salınımını etkin bir şekilde azaltmak için ekonomik verimlilikten ziyade sosyal ve çevresel faktörleri dahil ederek geleneksel VRP ve araç rotalama düzenlemesini genişletmenin gerekli olduğunu göstermiştir. Bektaş ve Laporte (2011), amaç fonksiyonunun seyahat mesafesini, sera emisyonlarının miktarını, yakıtı, seyahat sürelerini ve maliyetlerini hesaba katan bir Kirlilik Yönlendirme Sorunu (PRP) önermiştir.

Carins (1999), marketlere yapılan ev dağıtımının çevresel etkilerini, hız değişikliklerine dikkat etmeden mesafeyi emisyonlara dönüştürerek çevresel etkilerini değerlendirmiştir. Van Woensel vd. (2001) trafik akış bilgisinin emisyonlardaki önemini göstermişlerdir. Elde ettiği sonuçlar, sabit hızda emisyonların hesaplanmasının, benzin tüketen araçlar için ortalama emisyonda %20'ye kadar olan ve sıkışık dönemlerde yaklaşık %40 artış gösteren dizel tüketenler için yaklaşık %11'e varan düşük rotalara neden olduğunu göstermiştir.

Davies ve Whyatt (2014), CBS ile ağ analizi uygulaması ile yaya yollarında araç trafiğinden kaynaklı hava kirlenicilerine PM_{2.5}'a göre kümülatif maruz kalımı fizyoloji, aktivite seviyesi, meteoroloji, fiziksel çevre özellikleri gibi değişkenlere göre modellemişlerdir. Belirli bir rota için maruz kalmanın değerlendirilmesine ek olarak, bu yaklaşım, yolculuk süresi maruziyetini en aza indiren alternatif rotaları belirlemek için kullanılmıştır. CBS ile ağ analizi temelli çalışan bu yöntem hem esnek hem de ölçeklenebilir olup fizyoloji, aktivite düzeyi, kirlilik konsantrasyonu ve yolculuk süresi arasındaki etkileşimlerin keşfedilmesini sağlamaktadır. Bu yöntem ile fizyoloji ve aktivite seviyesinin maruz kalma hesaplamalarına entegre edilmesini sağlamak için, epidemiyolojik çalışmalar için daha gerçekçi girdiler sağlama potansiyeline sahip daha kapsamlı bir yolculuk zamanına bağlı olarak maruz kalma tahmini yapılabileceği gösterilmiştir.

Naderipour ve Alinaghian (2016) CO₂, CO ve NO_x ölçümü, değerlendirmesi ve en aza indirilmesi için zamana bağlı araç rotalama probleminde (OTDVRP) üç önemli emisyon (araçlardan yayılan) olarak yeni bir kapsamlı model sunulmuştur. OTDVRP'de şehir merkezleri gibi sıkışık bölgelerin trafik özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. İki nokta arasındaki yolculuk süresi kalkış saatine bağlıdır ve araçlar depoya geri dönmemektedir. Önerilen sorunu çözmek için, geliştirilmiş bir Parçacık Sürüsü Optimizasyonu algoritması geliştirilmiştir.

Benzer bir çalışma McGill Üniversitesi (Montreal, Kanada) tarafından yapılmıştır. Ulaştırma sera gazı emisyonları, yaş, cinsiyet ve seyahat mesafesini belirleyen bir seyahat araştırması ile tahmin edilmiştir. Emisyonları hesaplamak için, GIS kampüse

gidiş geliş mesafelerini belirlemek için kullanılmıştır, ancak anket yanıtlarının sadece posta kodu seviyesindeki yerini belirleyebilmişlerdir. Bununla birlikte, bu sayede, çalışma mevsime, cinsiyete, seyahat şekline bağlı olarak sera gazı emisyonları belirlenmiştir. Son olarak, bu çalışma birkaç farklı senaryoya dayanarak ortaya çıkabilecek emisyon değişikliklerini ortaya koymuştur (Mathez vd., 2016).

Appleyard vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, kapsamlı bir seyahat anketi geliştirmek için öncelikle üniversitenin iklim eylem planları, anket verileri ve literatür üzerine kuruludur ve daha sonra Kaliforniya'daki San Diego Eyalet Üniversitesi'ndeki (SDSU) fakülte, personel ve öğrenciler için ulaşım ile ilişkili sera gazı emisyonlarını tahmin etmek için yenilikçi coğrafi analiz yaklaşımı geliştirilmiştir. Spesifik olarak, anket, kullanılabilir bir dizi coğrafi hesaplanmış ticari alan/politika bölgesi ile analiz edilir. Çalışma;

- 1) kampüs topluluğunun ulaşım emisyonlarını tahmin etmek,
- 2) çeşitli politika senaryolarının mekansal olarak çerçevelerini test eder ve son olarak
- 3) kampüslerin karbon ayak izini azaltma politikalarını yönlendirmeye ve hedeflemeye yardımcı olacak bölgeler olarak hizmet etmektedir.

Bu kapsamlı detaylı güzergah analizi sadece en önemli kirlenicilerin ne olduklarını ve kaynağını ortaya çıkarmakla kalmayıp, aynı zamanda belirli politikaların seyahat davranışını ve toplam sera gazı miktarını gerçekten nasıl değiştirebileceğini belirlemek için kullanılabilir alternatif senaryoların test edilmesini de bilgilendirerek ve kalibre etmektedir. Çeşitli politika senaryo testlerinin sonuçları, daha fazla bisiklete binmeyi ve yürümeyi teşvik etme gibi kampüs sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik eylemleri ortaya koymaktadır. Bu araştırma aynı zamanda, kampüse yakın daha iyi ve uygun fiyatlı konut seçenekleri sunmanın üniversitenin sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabileceğinin kanıtıdır.

Li vd. (2017) nin çalışmasının amacı, herhangi bir seyahat için Taipei büyükşehir bölgesindeki en temiz rotayı belirten sağlıklı bir gidiş haritası geliştirmek ve farklı gidilecek rotalarda maruz kalan kirlenici dozlarını değerlendirmektir. Bu çalışmada Tayvan EPA'nın Taipei metropol bölgesindeki hava kalitesi izleme istasyonlarından hava kirliliği izleme verilerini (CO, SO₂, NO₂, PM₁₀ ve PM_{2.5}) kullanarak, farklı modlarla (motosikletçilik, bisiklet ve yürüyüş), her bir kirlenicinin Taipei metropol bölgesindeki dağılımını tahmin etmek için ters mesafe ağırlıklandırma (IDW) gibi uzaysal enterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır. Farklı günlük işe gidiş yollarının çeşitliliğini temsil etmek için üç yol seçildi. En temiz rota seçimi, en düşük kümülatif kirleniciye maruz kalmayı bulmak için algoritmasına dayanmaktadır. IDW enterpolasyonlu CO, SO₂, NO₂, PM₁₀ ve PM_{2.5} değerleri 0.42-2.2 (ppm), 2.6-4.8 (ppb), 17.8-242.9 (ppb), 32.4-65.6 (ppb), 17.8-42.9 (ppb), 32.4-65.6 (µg/m³) ve 14.2-38.9 (µg/m³) sırasıyla. IDW sonuçları ile karşılaştırmak için, motosiklet rotası boyunca partikül madde konsantrasyonu (PM₁₀, PM_{2.5} ve PM₁) ölçülmüştür.

Lajunen ve Lipman (2016), yaşam döngüsü maliyetlerini, enerji tüketimini ve dizel, doğal gaz, hibrit elektrik, yakıt hücresi hibriti ve akü elektrikli şehir otobüslerinin emisyonlarını değerlendirmektedir. Hibrit otobüsler hem içten yanmalı bir motora hem de elektrikli bir motor ya da yakıt hücrelerine sahiptir. Sonuçlar, hibrid ve elektrikli otobüsler için geleneksel fosil yakıtlı otobüslere kıyasla önemli emisyon düşüşünü göstermektedir. Finlandiya ve Kaliforniya'da otobüs işletimi ve yakıt üretimi ile ilgili emisyonlar göz önünde bulundurulmuştur.

Dreier vd. (2018), geleneksel, hibrit elektrikli ve plug-in hibrit elektrikli güç aktarma organları dahil olmak üzere Brezilya'nın Curitiba kentindeki altı şehir otobüsü için fosil enerji kullanımı ve sera gazı emisyonu tahmininde bulunulmuştur. Çalışma, geleneksel iki akslı bir şehir otobüsüne kıyasla, mesafe başına % 30 ve % 75 daha az fosil tüketen hibrit elektrikli ve plug-in hibrit elektrikli iki akslı şehir otobüslerin etkili olduğunu göstermiştir. Bu, hibrit araçta için geleneksel bir şehir otobüsüne kıyasla, emisyonların % 27 oranında azalmasına yol açmaktadır.

Mahmoud vd. (2016) ekonomik, çevresel, operasyonel ve enerji verimliliği yönleri dahil olmak üzere alternatif güç aktarma teknolojilerinin bütünsel bir incelemesini sunmaktadır. Hibrit elektrik, yakıt hücresi ve akü elektrik otobüsleri dizel otobüslerle karşılaştırılmaktadır. Yazarlar, elektrikli otobüslerin performansının enerji profillerine ve operasyonel taleplere karşı hassas olsa da, elektriği yenilenebilir kaynaklardan kullanan batarya elektrikli otobüslerinin çevresel faydalar ve operasyonel avantajlar göz önüne alındığında en iyi seçenektir.

3. MATERYAL VE METOD

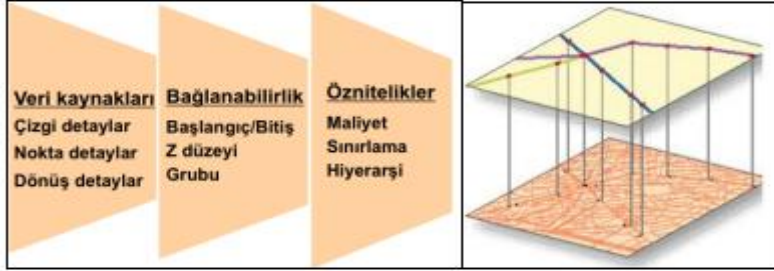
3.1. Network Analizi

Ağ, taşıma tipi olarak aynı coğrafi olayı sergileyen birbirine bağlı hat topluluğudur. Ağ yapıları üzerinde bir noktadan diğer noktaya erişebilme özelliği bulunmaktadır. Ağ analizi; vektör tabanlı coğrafi veriler ile gerçekleştirilen, çizgi özelliği gösteren coğrafi verilerle karar vermeye yönelik analizlerdir. Ağ verisinin yönetimi, CBS yazılımlarının yapısına göre farklılık göstermektedir. Örneğin yalnız tek yönde hareketi gerektiren elektrik, doğalgaz ve su gibi çizgisel mühendislik yapıları ile iki yönde hareketi gerektiren karayolu ve tren yolu gibi ulaşım altyapılarında farklı ağ veri setleri kullanılmaktadır. Ağ bileşenlerine ait veri setlerinin öznitelikleri ise ağ üzerinden güzergâh belirlemede kullanılmaktadır. Temel olarak üç ağ bileşeni bulunmaktadır;

- Kenar (Edges) : Çizgi geometrisinde kavşakları bağlar.
- Kavşak (Junction): Kenarların birbirine bağladığı veya ağ analizine giren çıkış-variş noktaları için kullanılır.
- Dönüşler (Turns): Kenar-kavşak-kenar geçişlerindeki yönelimleri tanımlar.

Örneğin U dönüşü yasak bir kavşağı ifade ederken kullanılmaktadır. Ağ analizinde bağlantı, kenar ve dönüş bileşenleriyle beraber öznitelik gruplarında veri setinin Şekil 1'deki diğer değişkenleri tanımlanmaktadır. Örneğin ağ bağlanabilirlik ilişkisinde, kenarların yüksekliğine göre 0, -1, 1, 2 gibi Z düzey grubunda belirtilen

değerler atanabilmektedir. Hiyerarşik sınıflamalara göre ulaşım objeleri; sokak, cadde, bulvar, otoyol gibi yol bileşenlerine sınıf değeri atanarak tanımlanmaktadır. Böylece en kısa yolculuk sürelerinin tercih edilmesinde sınıf değerlerine göre güzergâh seçimi yapılabilmektedir (Kesik ve vd., 2015).



Şekil 1. Ağ tanımlayıcıları ve veri yapısı

Ağ analizinin temel amacı çizgi (hat) karakteristiklerinin mekansal analizidir. Haritadaki çizgi karakteristikleri fiziksel hatlar (çizgiler) ve sanal hatlar olarak iki ana sınıfa ayrılır. Genel olarak fiziksel hat gerçek dünyada vardır ve hava fotoğraflarında gözlenebilmektedir. Nehirler, kıyı çizgisi ve yollar fiziksel hatların tipik örnekleridir. Sanal hat karakteristikleri ise politik sınırlar ve yönetim sınırları gibi soyut yapıdadır. Politik birimler arasında çeşitli ölçeklerdeki sınırlar sanal hatların tipik örneğidir. Coğrafi gridi oluşturan meridyenler ve paraleller sanal hatların diğer bir çeşididir.

Hat karakteristiklerinin mekansal analizi iki tip problem ile ilgilenir;

- Hatlar arasındaki bağlantının yapısı
- Birbirine bağlı hatlar vasıtasıyla sistemdeki hareket

Bağlantılı hatlar bir ağı tanımlar ve ağın analizi ağ analizi olarak adlandırılır. Birçok durumda ağ analizi sokaklar, yollar ve anayollar gibi fiziksel hatlar ile ilgilenmektedir. Sanal hatlar ağın yapısını pek etkilemez. Geleneksel olarak ağ analizi ulaşım araştırmalarının bir alt disiplindir. Ağ analizi ile ilgili konular, ulaşım coğrafyası, kırsal alan ulaşım planlaması, inşaat mühendisliği, endüstri mühendisliği ve ulaşım ekonomisi ile ifade edilmektedir (Yomralıoğlu, 2000).

Ağ analizi uygulamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- “Adres belirleme” işlemi yol ağı kullanılarak yapılabilir.
- Belirlenen başlangıç ve bitiş noktası arasında “en kısa / uzun yol analizi” yapılabilir.
- En yakın hastaneyi, suç mahalline en yakın polis arabalarını veya müşteri adreslerine en yakın mağazaları bulmak için “en yakın olanak fonksiyonu” ile analiz yapılır.
- Ağ analizi kullanılarak belirli bir zaman veya mesafe maliyetinde erişilebilir alanlar “servis alanı” veya “kaynak tahsisi” olarak belirlenebilir.
- “Optimum güzergâh belirleme” analizi, iki nokta arasında birden fazla bağlantı olduğu durumlarda bu bağlantılardan en uygununu seçme işlemidir.

- Başlangıç-bitiş noktaları maliyet matrisi, uygun yer seçimi ve optimizasyon işlemlerinde ağ analiz fonksiyonları kullanılabilir.

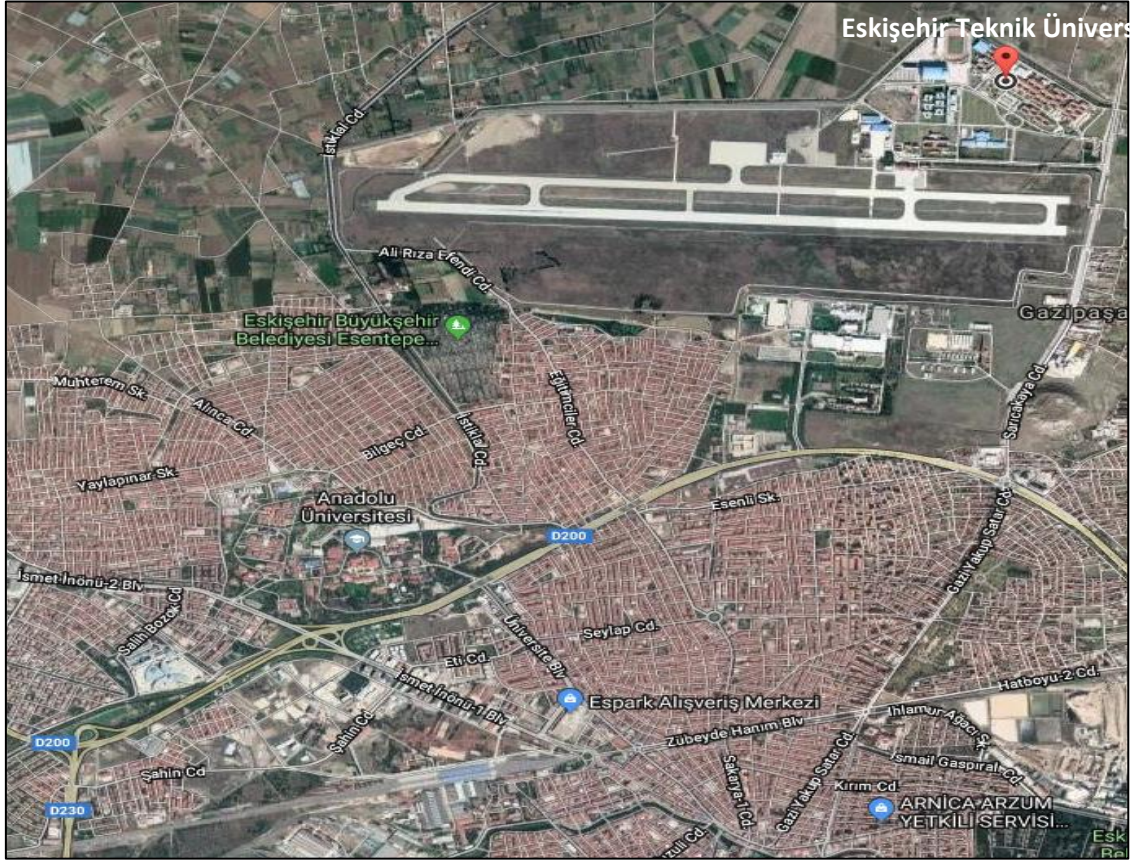
Ağ analizini yapmadan önce etki (impedance) değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kargo dağıtımını etki faktörü; zaman, benzin ve şoförün alacağı ücretken, etki faktörünü kargonun teslim edileceği zaman ve yol durumu etkimektedir. Arz ve talep değerleri de ağ analizi uygulamalarında önemli bileşenlerdir. Örneğin; hastane için arz (supply) hastanenin yatak sayısı iken, talep (Demand) ise hastanede kalmak isteyen birey sayısıdır (Kesik vd., 2015).

Yol ağı kalıpları üzerine yapılan pek çok çalışma, arazi geliştiricileri ve şehir plancıları için rehberlik etme eğilimindedir. Bu nedenle çalışmalar genellikle topluluk veya kentsel düzeyde gerçekleştirilmektedir. Topluluk düzeyinde analiz, yol ağı modellerinin seyahat, güvenlik ve yürüyüş ortamına olan etkilerine odaklanmaktadır. Kentsel alanlardaki yol yapıları, arazi kullanımı, kentsel genişleme ve çevre için hangi yol sisteminin daha iyi olduğunu açıklamak için tüm kentsel alanlar için incelenmiştir. Ayrıca, analiz prosedürü ve sonuçlarının standartlaştırılması için aynı miktarda düğüm ve bağlantıya sahip ağlar temelinde bazı araştırmalar yürütülmektedir. Yol ağı modeli analizinin amacı sadece farklı ağ türlerini tanımlamak değil, aynı zamanda yol tasarımını ve gelişimini yönlendirecek ideal bir ağ modeli bulmak için farklı modellerin trafik koşullarını karşılaştırmaktır (Zhang vd., 2011).

3.2. Çalışma Alanı

Eskişehir Teknik Üniversitesi İki Eylül Kampüsü şehir merkezinin kuzeyinde yer almaktadır. Kampüse karayolu ile otobüs ve şahsi araçlarla ulaşım sağlanmaktadır. Diğer taraftan önümüzdeki süreçte şehir merkezinden kampüse tramvay hattı yapılması planlanmaktadır.

Çalışma kapsamında araç sayımları yapılamadığı için, hesaplamalar mevcut otoparklara kabul edilen araç sayıları ve 2 farklı şehir içi otobüs güzergahları üzerinde yapılmıştır. Bu güzergahlar çalışmada Rota-1 ve Rota-2 olarak adlandırılmıştır. Kampüsün Eskişehir'deki yeri Şekil 1'de, kampüse giden araç güzergahları sonuçlar kısmında gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanının Eskişehir kentindeki yeri ve araç güzergahları

3.3. Emisyon Envanteri

Çalışmada Eskişehir Teknik Üniversitesine giden Eskişehir Büyükşehir Belediyesi otobüsleri için emisyon hesapları yapılmıştır. Emisyonlar, farklı kategorilerdeki taşıtların sayıları ve literatürden seçilen emisyon faktörleri kullanılarak her bir otobüs güzergahları için günlük toplamlar halinde hesaplanmıştır.

Çalışmada "EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook" isimli veritabanında yer alan CORINAIR tabanlı emisyon faktörleri (EEA, 2016) kullanılmıştır. Bu veritabanında verilen emisyon faktörleri;

- taşıt türü (motosiklet, otomobil, hafif yük vasıtaları ve ağır yük vasıtaları)
- motor teknolojisi (üretim yılı, motor hacmi, vb.)
- kullanılan yakıt türü (benzin, dizel, LPG)
- taşıt hızı (otoyol, kentiçi yol, kent dışı yol)

parametrelerine bağlıdır ve kullanım tarzları daha çok taşıt hızlarına bağlı eşitlikler şeklindedir.

Çalışma kapsamında, verilerin sağlanabilirliği göz önünde bulundurularak uygun olan hesaplama yöntemi olan EEA Tier 1 yöntemi seçilmiştir. Bu kapsamda ihtiyaç duyulan veriler aşağıda verilmiştir:

- Belediye otobüsleri yakıt ve sefer sayısı (Eskişehir Büyükşehir Belediyesi)
- CBS'ye aktarılmış alan-yol haritaları
- İki Eylül Kampüsü mevcut otoparktaki araç sayısı
- Her bir kategori yakıt tüketim miktarları (Tier 1 metodu ile hesaplanmıştır)

Hesaplamalarda kullanılacak araç tiplerine ve yakıt türlerine göre dağılım, EMEP/EEA 2016 Hava Kirleticiler Emisyon Envanteri Kılavuzunda yer alan emisyon faktörleri kullanılmıştır.

TIER1 Metodu

Egzoz emisyonları için Tier 1 yaklaşımı aşağıdaki genel denklemi kullanır:

$$E_i = \sum_j (\sum_m (FC_{j,m} \times E_{Fi,j,m}))$$

E_i = Kirleticiler emisyonu [g],

$FC_{j,m}$ = Her bir araç kategorisinin yakıt tüketimi [kg],

$E_{Fi,j,m}$ = araç kategorisi ve yakıt türü için kirleticinin yakıt tüketimine bağlı emisyon faktörü [g/kg].

Dikkate alınacak taşıt kategorileri; otomobiller ve ağır vasıta (otobüs) araçlarıdır. Bu araçlarda çoğunlukla benzin ve dizel yakıt kullanıldığı için, bu yakıt türlerine bağlı emisyon faktörleri kullanılmıştır. EMEP/CORINAIR emisyon faktörleri ve yakıt tüketim verileri Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Emisyon hesaplamalarında kullanılan genel denklem;

$$\text{Emisyon (g)} = \text{Alınan yol (km)} \times \text{Yakıt tüketimi (g/km)} \times \text{Emisyon faktörü (g/kg)}$$

Tablo 1. Araç Kategorileri ve Yakıt Türlerine Göre Emisyon Faktörleri

Araç Tipi	Yakıt Türü	Emisyon Faktörü (g/kg yakıt)			
		CO	NO _x	NVOC	PM
Otomobil	Benzin	84.7	8.73	10.05	0.03
	Dizel	3.33	12.96	0.70	1.10
	LPG	84.7	15.20	13.64	0.00
Hafif Ticari Araçlar (Minibüs ve Kamyonet)	Benzin	152.3	13.22	14.59	0.02
	Dizel	7.40	14.91	1.54	1.52
	LPG	NA	16.00	NA	0.00
Ağır Ticari Araçlar	Benzin	7.58	15.00	1.92	0.94

(Otobüs ve Kamyon, Otobüs ve Kamyon, Traktör, Çekici, Özel Amaçlı Araç, Tanker, Arazi Taşıtı, Diğerleri)	Dizel	NA	33.37		1.20
	CNG	5.70	13.00	0.26	0.02
Motorsiklet (2 tekerlekli)	Benzin	497.7	6.64	131.4	2.20

*<http://www.eea.europa.eu/publications/emepeea-emission-inventory-guidebook-2016>

EMEP Emission Inventory Guide Book'a göre SO₂ emisyon faktörleri tüm araç ve yakıt kategorilerine göre 0.02 g/kg dır.

Tablo 2. Tier 1 yönteminde-Araç kategorisine göre km başına tipik yakıt tüketimi değerleri

Araç Tipi	Yakıt	Yakıt tüketimi (g/km)
Otomobil	Benzin	70
	Dizel	60
	LPG	57.5
Hafif Ticari Araçlar (Minibüs ve Kamyonet)	Benzin	86.5
	Dizel	62.6
	LPG	100
Ağır Ticari Araçlar (Otobüs ve Kamyon, Otobüs ve Kamyon, Traktör, Çekici, Özel Amaçlı Araç, Tanker, Arazi Taşıtı, Diğerleri)	Benzin	80
	Dizel	240
	CNG	500
Motorsiklet (2 tekerlekli)	Benzin	35

*<http://www.eea.europa.eu/publications/emepeea-emission-inventory-guidebook-2016>

3.4. Yol Verileri

Her bir çalışma güzergahı için, seçilen yol bağlantılarının uzunlukları ve trafik ağı için CBS tabanlı ağ analizi kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışma, bir araç bir çalışma alanına girdiğinde ve bölgenin yol bağlantılarını geçtiğinde, bu seyahatin yol güzergahı içinde toplam mesafesini temsil ettiğini kabul etmiştir.

3.5. Araç yakıt kategorileri

Her bir araç tipi için emisyon seviyeleri ve emisyon faktörleri, yakıt kullanımına ve aynı zamanda söz konusu araç tipi tarafından tüketilen yakıt türlerine bağlıdır (Andrews, 2008). Emisyon hesaplamalarında, yakıt kullanımının toplam emisyon miktarını belirlemede önemli bir etken olmasına karşın emisyon hesaplamalarında,

yanma işlemi sırasında bir aracın tükettiği yakıtın türünün de salınan emisyon seviyelerini etkilediğini göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, bulunan her bir farklı tipte araç tarafından kullanılan yakıtın türünü otobüs için Dizel, otomobil için dizel ve benzin yakıt tiplerine göre hesaplama yapılmıştır. Bu çalışmada bulunan her bir taşıt sınıfının kullanabileceği yakıt türlerini ve her bir araç sınıfındaki her bir yakıt türünün emisyon faktörleri Tablo 1’de her bir araç kategorisinin kilometre başına kilogram cinsinden yakıt tüketimi Tablo 2’de verilmiştir.

3.6. Günlük Trafik Hacmi

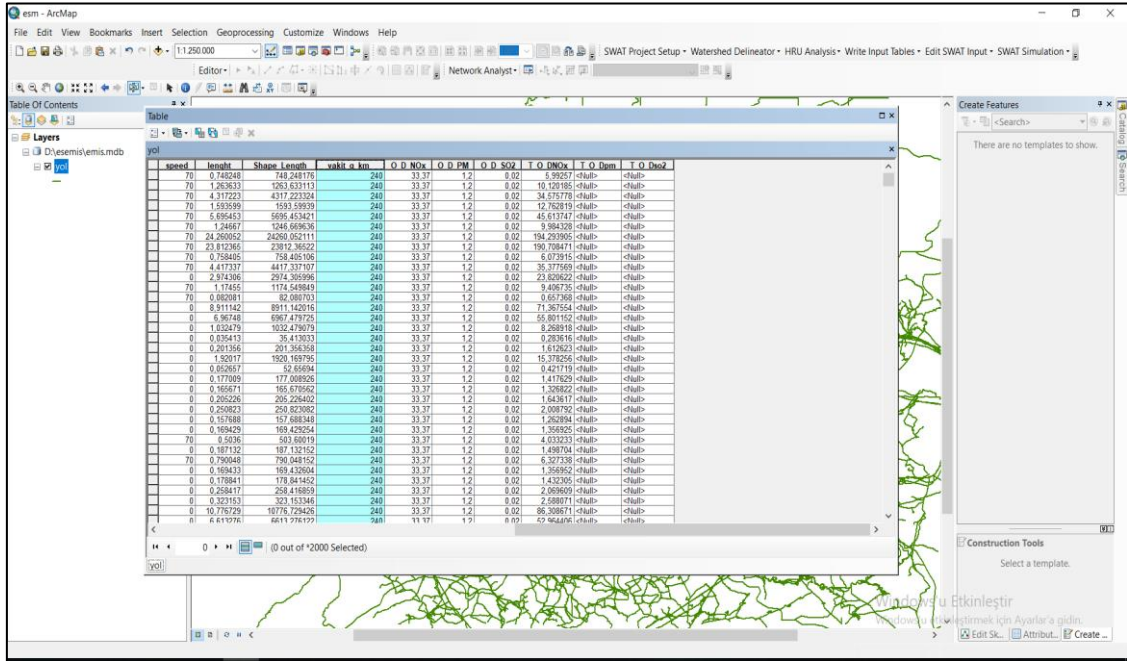
Eskişehir Teknik Üniversitesi İki Eylül Kampüsü’ne günlük gelen araç sayısı verileri Büyükşehir Belediyesi ve Üniversite’den alınan verilerle alttaki gibi gerçekleşmektedir.

- Otomobil: 1014
- Belediye Otobüsü-1 (Kırmızı 4): 85
- Belediye Otobüsü-2 (Mavi 4): 29

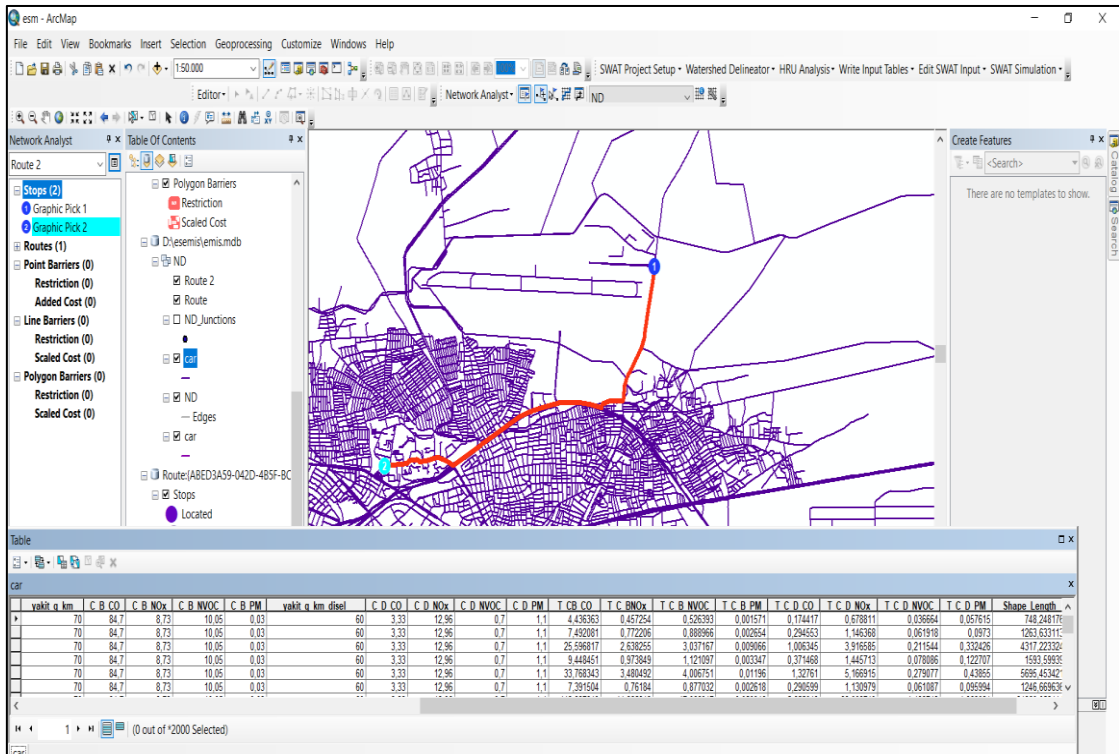
Burada parantez içinde gösterilen otobüsün özel adını temsil etmektedir. Tramvay ve elektrikli otobüsün kullanımda olduğu kabul edilmiştir. Taşıt trafiğinin hacmine, araç aktivite seviyelerine ve gözlemlenen araçların yakıt tiplerine bağlı olarak, ilgili emisyon faktörleri, denklem (2) ve denklem (1) her bir araç kategorisi için, tek bir gün için tahmin edilmiştir. Bu veriler daha sonra, bir yıllık ortalama gün sayısı ile her bir çalışma alanı için günlük değerlerin çarpılmasıyla günlük toplam kirletici emisyon değerine dönüştürülmüştür.

4. BULGULAR

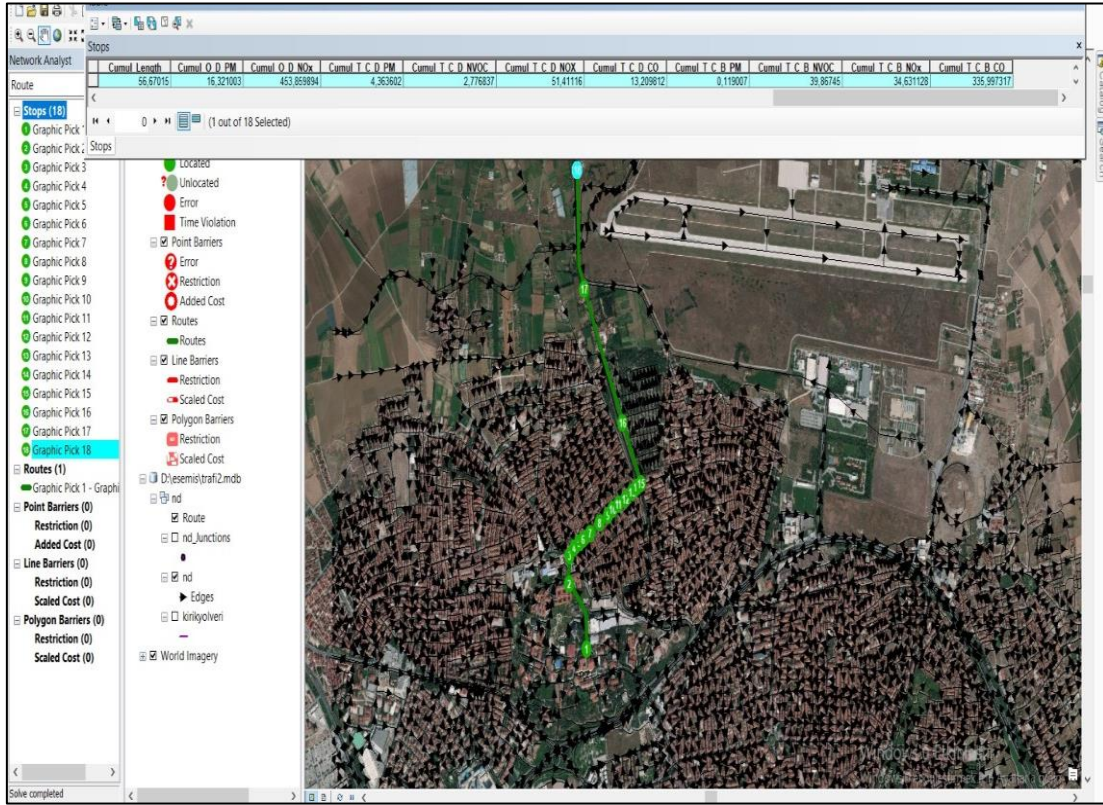
Çalışma alanı olan Eskişehir Teknik Üniversitesi ulaşım yolları için otomobil ve belediye otobüslerine 2 ayrı rotada Network analizi yapılmıştır. Network analizi ile her iki rota için bu araçlardan kaynaklanan toplam günlük emisyon değerleri g/km cinsinden hesaplanmıştır. Çalışma alanında yapılan ARC GIS Network Analizi Şekil. 3 de gösterildiği gibidir. Şekil-4 ve Şekil-5’te güzergahlar gösterilmiştir.



Şekil 3. Network analizi



Şekil 4. Anadolu Üniversitesi-ESTÜ Mavi-4 normal güzergah (ROTA-1) için Network analiz



Şekil.5. Anadolu Üniversitesi-ESTÜ Mavi-4 yeni güzergah (ROTA-2) için Network analizi

Rota-1 ve Rota-2 için, otomobil ve belediye otobüsü, kullanılan yakıt türüne göre günlük toplam emisyonlar Tablo-3 ve Tablo-4 'te gösterildiği gibidir.

Tablo 3. Yakıt türü ve güzergaha göre bir otomobilin emisyon sonuçları

	NOx (g/kg yakıt)	CO (g/kg yakıt)	PM (g/kg yakıt)	NVOC (g/kg yakıt)
Rota-1 (Dizel)	90.54	23.26	7.68	4.89
Rota-1 (Benzin)	60.99	591.73	0.21	70.21
Rota-2 (Dizel)	51.41	13.21	4.36	2.78
Rota-2 (Benzin)	34.63	335.10	0.12	39.87

Eskişehir Teknik Üniversitesi'ne mevcut otoparka kabul edilen araç sayısı ile ilgili toplam emisyon miktarları aşağıdaki gibidir:

- Buna göre 1014 otomobilin tamamının dizel yakıtlı olması durumunda Rota-1 için NO_x, CO, PM ve NVOC miktarları sırasıyla 92; 24; 8; 5 kg/kg yakıt-gün
- 1014 otomobilin tamamı benzin olması durumunda Rota-1 için NO_x, CO, PM ve NVOC miktarları sırasıyla: 62; 600; 0.2 ve 71 kg/kg yakıt-gün
- 1014 otomobilin tamamı dizel olması durumunda Rota-2 için NO_x, CO, PM ve NVOC miktarları sırasıyla: 52; 13; 4.4 ve 2.8 kg/kg yakıt-gün
- 1014 otomobilin tamamı benzin olması durumunda Rota-2 için NO_x, CO, PM ve NVOC miktarları sırasıyla: 35; 340; 0.12 ve 40 kg/kg yakıt-gün

Dizel yakıtlı araçlar her iki rota için de NO_x emisyonunu artmıştır. Rota-2 tüm emisyon değerleri dikkate alındığında daha uygundur. Burada, Rota-2'nin mevcut yola alternatif olarak sunulmasının nedeni emisyon miktarının bu yolda daha az olmasıdır.

Tablo 4. Dizel yakıtlı bir belediye otobüsünün emisyon sonuçları

	NO _x (kg/kg yakıt)	PM (kg/kg yakıt)
Rota-1	0.8 (46)*	0.028 (1.6)
Rota-2	0.45 (26)	0.016 (0.928)

*Parantez içindeki değerler kümülatif miktarları vermektedir.

Belediye otobüslerinin tümü dizel yakıtlıdır. EPA'da dizel yakıtlı LHV (otobüs vd) araçlar için sadece NO_x ve PM emisyon faktörleri yer almaktadır (EPA, 2016). Dolayısıyla emisyon hesaplamaları bu iki parametre için yapılmıştır. Diğer parametreler hesaplanmamıştır. Tablo-4 teki, günlük emisyon miktarlarına göre karşılaştırıldığında Rota-2 otobüs güzergahı Rota-1'e kıyasla daha uygundur.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma Eskişehir Teknik Üniversitesi İki Eylül Kampüsü'ne ulaşım amacıyla kullanılan araçların sebep olduğu karayolları ulaşım araçları kaynaklı hava kirliliğinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla kampüs içinde trafiği temsil edecek şekilde mevcut giriş kapısından Anadolu Üniversitesi Yunussemre Kampüsü ile İki Eylül Kampüsü arasında sefer yapan belediye otobüsü, ve aynı güzergah için otomobillerden kaynaklanan emisyon hesapları yapılmıştır. Mevcut kullanılan güzergaha alternatif olarak yeni bir güzergah olan Yunussemre Kampüsü-Yeşiltepe-İki Eylül Kampüsü arasındaki güzergah ile mevcut güzergahın emisyonları network analizi ile hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre mevcut güzergaha alternatif olarak belirlenen yeni güzergahın, emisyon miktarlarının daha düşük olması göz önünde bulundurulduğunda daha uygun olduğu görülmüştür. Emisyon miktarları iki güzergah için karşılaştırma yapıldığında dizel yakıtlı otobüslerde NO_x ve PM miktarları yeni güzergahta daha düşük olduğu belirlenmiştir. Her iki güzergah için otomobilden kaynaklanan tüm kirlenitler bazında karşılaştırma yapıldığında yeni güzergahın daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Emisyon hesaplarında yalnızca taşıt sayıları ve taşıtların katettiği mesafe de aynı oranlarda sonuçlara etki etmektedir. Emisyon envanterinin daha sağlıklı yapılabilmesi için araçların hızları, teknik özellikleri gibi verilerin temin edilmesi gerekir. Ayrıca, belediye otobüsleri için durak ve trafik ışıklarında bekleme süreleri sırasında emisyon salımları hesaplanması gerekmektedir. Otomobil için de trafik ışıklarında beklediği süre zarfında yaymış olduğu kirletici emisyonlar da dahil edilmelidir.

Çalışmada hiçbir araç için aracın yaşını belirlemek ya da kullandığı yakıt ayırımını yapmak mümkün değildir. Oysa emisyon faktörleri araç türlerine ve yaşlarına göre ciddi değişiklikler göstermektedir.

EMEP/CORINAIR emisyon faktörü veri tabanından taşıt kategorilerine, motor teknolojisine ve yakıt türlerine göre uygun emisyon faktörleri seçilen çalışmada, seçilen emisyon faktörleriyle otobüs seferleri ve şahsi araç sayıları kullanılarak trafikten kaynaklı hava kirletici emisyon miktarları network analizi ile tahmin edilmiştir. CBS ortamında ağ analizi yapılan simülasyon ile yol tasarımı ve gelişimi konularında fikir geliştirilebilir, mevcut altyapı ve teknoloji gözetilerek araç tipi, sefer sayısı, rota optimizasyonu gibi kararlar, ekonomik unsurları ve kümülatif kirliliğe maruz kalma miktarı gibi çevresel etkileri minimize edecek şekilde optimal kararlara erişilebilecektir.

Ayrıca çalışma, ulaşımda kullanılan araçların sıfır emisyon değerine sahip elektrikli otobüs ve tramvay gibi araçlarla değiştirilmesi durumunda, oluşturulan rota alternatiflerinde kirliliğin ne kadar azalacağını gösterme konusunda yardımcı olacaktır. Özetle, bu çalışmada CBS ile yapılan simülasyonlarla geri dönüşü mümkün olmayan hataların önlenmesine katkı sağlanabileceği, sınırlı kaynakların etkin kullanımı, çevre sağlığı, halk sağlığı gibi konuları kapsayan sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyici kararların alınmasında önemli katkılarının olabileceği gösterilmeye çalışılmıştır.

KAYNAKÇA

- Ahn, K, Rakha, H. (2008). The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.*, 13 (3) pp: 151-167.
- Alkaya, B. ve Yıldırım, M. (2000). Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri, *ÇEV-KOR Ekoloji Çevre Dergisi*, 9, 34, 15 – 20.
- Appleyard, B., Mckinstry, J. and Frost, A.R. (2016). Calculating the Campus CarbonFootprint: Measuring University Associated Greenhouse Gas Emissions from Transport. *Transportation Research Record*,
- ArcGIS Network Analyst | Overview. 6
<http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/networkanalyst/>. Accessed Dec. 22, 2018.
- Bektas,T and Laporte,G. (2011). The pollution-routing problem, *Transp. Res. Part B Methodol.*, 45 (8), 1232-1250.

- Carins, S. (1999). The home delivery of shopping: the environmental consequences. TSU Working paper, ESRC Transport Studies Unit, University of London, London.
- Davies, G. and Whyatt, J.D., (2014). A network-based approach for estimating pedestrian journey-time exposure to air pollution, *Science of The Total Environment*, V. 485–486, 62-70.
- Desouky, M., Rahimi, M. and Weidner, M. (2003). Jointly optimizing cost, service and environmental performance in demand-responsive transit scheduling, *Transportation Research:Part D*, 8(6), pp: 433-465.
- Dreier, D., Silveira, S., Khatiwada, D., Fonseca, K.V.O., Nieweglowski, R., Schepanski, R. (2018). Well-to-Wheel analysis of fossil energy use and greenhouse gas emissions for conventional, hybrid-electric and plug-in hybrid-electric city buses in the BRT system in Curitiba, Brazil *Transport. Res. Part D Transport Environ.*, 58, pp: 122-138.
- EEA (European Environment Agency) (2016). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook–2016,
<https://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>
- Ehmke, J.F., Campbell, A.M., and Thomas, B.W. (2016). Vehicle routing to minimize time-dependent emissions in urban areas, *European Journal of Operational Research*, (251), pp: 478-494.
- Ericsson, E. Larsson, H. Brundell-Freij, K. (2006), Optimizing route choice for lowest fuel consumption–potential effects of a new driver support tool *Transp. Res. Part C: Emerg. Technol.*, 14 (6), pp: 369-383.
- Figliozzi, M.A. (2010). Vehicle routing problem for emissions minimization, *Transportation Res Rec* 2197, pp: 1-7.
- Kesik, O. A., Aydınoglu, A. Ç. ve Taştan B. (2015). Ağ Analizi Tekniklerini Kullanarak Afetlerle Başa çıkabilmede Erişebilirlik: İstanbul Fatih İlçesi Örneği, *Eastern Geographical Review* – 36
- Koca, H. ve ELBİR, T. (2013). Bir Üniversite Yerleşkesi İçinde Karayolu Trafiğinden Kaynaklanan Hava Kalitesinin Belirlenmesi, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi (HKAD)* 2, 45-54.
- Kono, T., Fushiki, T., Asada, K., Nakano, K. (2008). Fuel consumption analysis and prediction model for “Eco” route search 15th World Congress on Intelligent Transport Systems and ITS America’s 2008 Annual Meeting.
- Lajunen, A., Lipman T. (2016). Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses, *Energy*, 106, pp: 329-342.

- Li, H.C., Chiuch, P.T., Liu, S.P. Huang, Y.Y. (2017). Assessment of different route choice on commuters' exposure to air pollution in Taipei, Taiwan, *Environ. Sci. Pollut. Res.* (24), pp: 3163-3171.
- Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M., Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: a review of alternative powertrains *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 62, pp: 673-684
- Mathez, A., K. Manaugh, V. Chakour, A. El-Geneidy, and M. Hatzopoulou (2013). How can we alter our carbon footprint? Estimating GHG emissions based on travel survey information. *30 Transportation*, Vol. 40, No. 1, pp: 131-149.
- Naderipour, M. and Alinaghian, M. (2016). Measurement, evaluation and minimization of CO₂, NO_x, and CO emissions in the open time dependent vehicle routing problem, *Measurement*, (90), pp: 443-452.
- Palmer, A. (2007). The Development of an Integrated Routing and Carbon Dioxide Emissions Model for Goods Vehicles, Ph.D. thesis Cranfield University.
- Sbihi, A and Eglese, R. (2007). Combinatorial optimization and green logistics *4OR: Q. J. Oper. Res.*, 5 (2), pp: 99-116.
- Uçarol, H., Kural, E., Bahar, D. M., Özsu, E. ve Elcik, E. (2009). Hibrid Ve Elektrikli Araçlar Ulaşımında Enerji Verimliliği İçin Bir Alternatif, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü.
- Van Woensel, T., Creten, R., Vandaele, N. (2001). Managing the environmental externalities of traffic logistics: the issue of emissions, *Prod. Oper. Manage.*, 10 (2), pp: 207-223.
- Varol, S., Öztürk, Z. ve Öztürk, O. (2018). İstanbul'da Karayolu Yolcu Taşımacılığında Elektrikli Araç Kullanımının İncelenmesi, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* Vol: 5, No: 2, 367-386.
- Wygonik, E, Goodchild, A. (2011). Evaluating CO₂ emissions, cost and service quality trade-offs in an urban delivery system case study, *IATSS Research* (35), pp: 7-15.
- Yomralıoğlu, T. (2000). Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar.
- Zeng, W., Miwa, T., Morikawa, T. (2016). Prediction of vehicle CO₂ emission and its application to eco routing navigation. *Transportation Research Part C* (68), 194-214.
- Zhang, Y., Wang, X., Zeng, P. ve Chen, X. (2011). Centrality Characteristics of Road Network Pattern of Traffic Analysis Zones. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2256, 16-24.