

Trafik Kaynaklı Emisyonun Azaltılabilmesi Amacıyla Sürdürülebilir ve Çok Modlu Yol Ağlarının Tasarlanması; Erzurum – Tortum Yolu Örneği

Emre KUŞKAPAN^{1,a}, Mahmut YILDIRIM^{2,b}, Ömer Lütfü AYDIN^{1,2,c}

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum
²İklim Değişikliği ve Sıfır Atık Şube Müdürlüğü, Erzurum Büyükşehir Belediyesi, Erzurum

^aORCID: 0000-0003-0711-5567; ^bORCID: 0000-0001-8378-248X; ^cORCID: 0000-0003-3616-0754

Makale Bilgileri

Geliş : 09.02.2024

Kabul : 27.09.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1560198

Sorumlu Yazar

Emre KUŞKAPAN

emre.kuskapan@erzurum.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Sürdürülebilir kentler

Hava kirliliği

Taşıt trafiği

Atf şekli: KUŞKAPAN, E., YILDIRIM, M., AYDIN, Ö.L., (2024). Trafik Kaynaklı Emisyonun Azaltılabilmesi Amacıyla Sürdürülebilir ve Çok Modlu Yol Ağlarının Tasarlanması; Erzurum – Tortum Yolu Örneği. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(3), 785-795.

ÖZ

Dünya genelinde artan taşıt sayısı ile ulaşım kaynaklı hava kirlilikleri çok ciddi seviyelere gelmiştir. Bu durumu önlemek için gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkede ulaşım sistemlerinin daha verimli kullanıldığı sürdürülebilir ulaşım türlerine yönelimler başlamıştır. Sürdürülebilir ulaşım sistemlerinde, otomobile dayalı ulaşım sistemleri yerine çok modlu ulaşım sistemleri esas alınarak daha çevreci, güvenilir ve verimli ulaşım olanakları sağlanabilmektedir. Yapılan bu çalışmada da Erzurum İlinde yer alan ve Tortum Yolu olarak ifade edilen yol kesiminde çok modlu bir ulaşım altyapısının oluşturulması gerektiği ve bu doğrultuda hava kirliliğinin önemli ölçüde azaltılabileceği belirlenmiştir. Bu doğrultuda da yapılan saha çalışmaları, incelemeler ve SketchUp ve Lumion Pro 12.5 programlarıyla yapılan modellemeler sonucunda mevcut yol ağı için alternatif bir yol ağı tasarımı yapılmıştır. Modellenen yol ağı için de hava kirlilik değerleri hesaplandığında mevcut duruma göre yaklaşık %24 azalma olacağı öngörülmüştür. Bu sonuçlar Ülkemizin temiz hava eylem planı hedeflerine ulaşılması için önemli rol oynayacaktır.

Designing Sustainable and Multi-Modal Road Networks to Reduce Traffic-Related Emissions

Article Info

Received : 09.02.2024

Accepted : 27.09.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1560198

Corresponding Author

Emre KUŞKAPAN

emre.kuskapan@erzurum.edu.tr

Keywords

Sustainable cities

Air pollution

Vehicle traffic

How to cite: KUŞKAPAN, E., YILDIRIM, M., AYDIN, Ö.L., (2024). Trafik Kaynaklı Emisyonun Azaltılabilmesi Amacıyla Sürdürülebilir ve Çok Modlu Yol Ağlarının Tasarlanması; Erzurum – Tortum Yolu Örneği. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(3), 785-795.

ABSTRACT

With the increasing number of vehicles worldwide, air pollution from transportation has reached very serious levels. To prevent this situation, many developed and developing countries have started to turn towards sustainable transportation modes where transportation systems are used more efficiently. In sustainable transportation systems, more environmentally friendly, reliable and efficient transportation opportunities can be provided based on multimodal transportation systems instead of automobile-based transportation systems. In this study, it has been determined that a multimodal transportation infrastructure should be established on the road section called Tortum Road in Erzurum Province and that air pollution can be significantly reduced in this direction. In this direction, an alternative road network design was made for the existing road network as a result of field studies, investigations and modeling with SketchUp ve Lumion Pro 12.5 programs. When air pollution values are calculated for the modeled road network, it is predicted that there will be a decrease of approximately 24% compared to the current situation. These results will play an important role in achieving the Clean Air Action Plan targets of our country.

1. GİRİŞ

Hava kirliliği, ilk başlarda bölgesel bir sorun olarak başlamış olsa da zamanla uluslararası düzeyde etkili en büyük büyük bir çevre sorunlarından birisi olmuştur. Hava kirliliğinin canlıların sağlığı açısından ciddi seviyede olumsuz etkilere sebep olduğu bilinmektedir. Sağlık problemlerinin yanı sıra toplumsal ve ekonomik problemlere de neden olurken, küresel ölçekte ise ekolojik etkileri de görülmeye başlanmıştır.

Günümüzde iklim değişikliğinin etkileri hayatın her alanında hissedilmektedir. İklim değişikliği, küresel ısınma, kuraklık, doğal afetler, ozon tabakasının delinmesi, su kirliliği, toprak kirliliği, biyolojik çeşitlilik kaybı gibi temel sorunlar hava kirliliğine sebep olan kirleticilerin etkileridir [1].

Canlıların hayatta kalabilmesi açısından en birinci faktör olan hava; atmosferi oluşturan gazların karışımı olarak tanımlanmaktadır [2]. Kentsel hava kalitesi, doğal ve antropojenik çevre koşulları arasındaki karmaşık etkileşimin sonucu olarak ifade edilmektedir [3]. Hava kirliliği ise atmosferdeki kirleticilerin bileşiminde ve varlığında insan sağlığını ve çevre dengesini bozacak değişiklikleri ifade etmektedir [4].

Geçmişten günümüze kadar sürekli olarak nüfus, motorlu taşıt kullanımı, sanayileşme ve enerji kullanım oranının artış göstermektedir. Bu durum şehirlerdeki hava kirliliğini daha fazla artırarak, hava kalitesinin azalmasına ve birçok probleme neden olmaktadır [5,6].

Ulaşım sektörü, kentsel ve sosyo-ekonomik gelişmelerle beraber hızla gelişmekte ve ciddi hava kirliliğine sebep olmaktadır. Örneğin Ülkemizde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının hazırlamış olduğu raporlarda orta büyüklükte bir kent için hava kirliliğinin sektörel dağılımı yapıldığında ulaşım sektörünün payının yaklaşık %70'lerde olduğu görülmektedir [7]. Benzer şekilde geçmişten günümüze kadar antropojenik yönden en etkili faktör ulaşımdaki motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlardır. Daha sonrasında endüstriyel tesisler ve konut ısıtma sistemleri şeklinde sıralanabilir. Hızlı nüfus artışıyla birlikte araçların sayıları da hızla artmaktadır. Araçlar, atmosfere yaydıkları egzoz gazları nedeniyle en önemli kirlilik kaynaklarından biri olarak değerlendirilmektedir. Motorlu taşıtların kullandığı yakıtlardan kaynaklı olarak egzozlardan salınan çeşitli gaz ve tozlar hava kalitesini önemli ölçüde düşürmektedir [8].

Taşıtların trafikte harcadıkları zaman ile saldıkları zararlı gazlar doğru orantılıdır. Trafikte harcanan zamanı artıran unsurlardan en temeli ise trafik sıkışıklığıdır. Trafik sıkışıklığı azaltıldığı takdirde bahsedilen problemlerin azaltılabilmesi mümkün hale gelmektedir. Bu sebeple trafik sıkışıklığını azaltabilmek ve trafik akışını iyileştirebilmek için literatürde birçok çalışma yer almaktadır [9-12].

Hava kirliliğini azaltma çabaları aynı zamanda sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve küresel ısınmanın etkisinin en aza indirilmesine de yardımcı olmaktadır [13]. Bu bağlamda, birçok gelişmiş ülke, motorlu taşıtlardan kaynaklı hava kirliliğini azaltmak ve hava kalitesini iyileştirmek için katı yasalar çıkarmıştır [14]. Ancak az gelişmiş ülkelerde ise bu tür yasaların oluşturulmasının daha arka planda kaldığı önceliklerin genellikle kalkınma içerikli çalışmalar üzerinde olduğu görülmektedir [15].

2. KAYNAK TARAMASI

Literatürde motorlu taşıtlardan kaynaklı hava kirliliği üzerine yapılmış çok sayıda çalışma vardır. Bu çalışmalardan bazıları mevcut durumu ele alarak günümüzdeki koşullar altında hava kirliliğini ele almış olup bazı çalışmalar ise geleceğe dönük birtakım tahminler neticesinde oluşabilecek hava koşullarını ele almıştır.

Öztürk [16] taşıtlardan kaynaklanan CO, HC ve NO_x gazlarının hava kirliliğine etkilerini otoyol ve D-100 Devlet Karayolu için karşılaştırmasının yaptığı çalışmada; otoyolda tüm kirletici gazların daha az salınım yaptığı ve kirletici gazların sırasıyla CO, NO_x ve HC'nin daha fazla etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Özen [17], motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğini incelemek amacıyla motorlu taşıt sayısı ve nüfustaki artışların ulaşımdan kaynaklanan hava kirliliği ile ilişkisini araştırmıştır. Çalışmada transit geçiş yapacak araçların şehir içerisinden geçişlerinin engellenmesini, bireysel araç yerine servis araçlarıyla iş yerine gidilmesini, özel ulaşımdan toplu taşımaya geçiş yapılmasını, toplu taşıma araçlarının dumansız

enerji kaynaklarıyla çalışmasını ve merkez bölgede toplu taşıma ile raylı sistemlere öncelik verilmesini önermiştir.

Coşkun [18], araç istatistikleri çıkararak trafik yoğunluğunu belirlemiş ve kentsel atmosferde gözlemlenen kirlilik düzeylerini hesaplamıştır. CO emisyonunun düşük hızlarda ve rölantideki sürüşlerde yüksek değerlere ulaştığını, hava kirliliğinin araç hızı ile negatif bir korelasyon gösterdiğini belirtmiştir.

Polat [19], kent merkezlerinde meydana gelen trafik kaynaklı emisyonları tespit etmiş ve bu emisyonları (NO_x, PM₁₀, SO₂) içeren kirlilik haritalarını oluşturmuş, trafikten kaynaklanan toplam kirletici miktarının sırasıyla en fazla NO_x, PM₁₀ ve SO₂'den kaynaklandığını ve kavşaklardaki araç sayısı arttıkça kirliliğin de doğru orantılı şekilde arttığını gözlemlemiştir.

Çetin ve Ergüder [20], yaptıkları anket çalışmasında motosiklet, benzinli, dizel ve LPG'li araçların yıl bazında kat ettiği mesafeyi elde etmiş, taşıt türüne göre yıllık ortalama hız ve yakıt tüketimini tespit ederek her taşıt tipi için CO, HC, NO_x ve PM emisyonlarını hesaplamışlardır. CO ile HC emisyonlarının daha çok binek otomobillerde ve LPG'li taşıtlarda görüldüğünü tespit etmişlerdir.

Filiz [21], CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC kirleticilerini anlık yakıt miktarı, araç hızı, araç tipi, araç sayısı ve yapılan kilometre verilerine göre hesaplamış, araç yakıtının yanma verimi düşük olduğu için hız değerinin 60 km/saate ulaşana kadar emisyon değerlerinin düştüğünü, araç hızı 60-70 km/saat aralığında iken emisyonların en az oranda seyrettiğini ve 70 km/saatten sonra emisyonların da doğru orantılı olarak arttığını tespit etmiş, NO_x emisyonunun en fazla dizel araçlardan, karbon monoksit (CO) salınımının ise en fazla benzinli araçlardan kaynaklandığını belirtmiştir.

Kuşkapan [22], otomobil odaklı sokak tasarımlarında oluşan kısır döngüden bahsederek tasarımların çok modlu olarak sağlanmasının avantajlarından bahsetmiş, bu avantajlar arasında özellikle yayalar için elverişli ulaşım olanaklarının oluşması sayesinde kentlerdeki hareketliliğin artacağını, çok modlu ulaşım sisteminde motorlu taşıtlara yönelimin azalacağı ve dolayısıyla emisyon kaynaklı hava kirliliğinin de önemli seviyede düşeceğini belirtmiştir.

Bir başka çalışmada ise McCaffery ve arkadaşları [23] taşınabilir emisyon ölçüm sistemleri kullanılarak, farklı görevlerdeki ve motor teknolojilerine sahip 50 ağır vasıttan azot oksit (NO_x) emisyonları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda ileri teknoloji ve alternatif yakıtlı araçların NO_x emisyonlarını önemli ölçüde azaltabileceğini ve hava kalitesi hedeflerine ulaşmak için etkili bir yol sunduğunu göstermektedir.

Shafie ve arkadaşlarının [24] Kuala Lumpur'da gerçekleştirdiği çalışma, farklı araç türlerinden kaynaklanan egzoz ve egzoz dışı partikül madde (PM₁₀) ile karbon monoksit (CO) ve azot oksit (NO_x) gibi gaz kirleticilerin emisyonlarını incelemiştir. Malezya'da PM10 ve NO_x emisyonları diğer OECD ülkelerine kıyasla daha düşük, ancak CO emisyonları Japonya, Kore ve bazı Avrupa ülkelerinden daha yüksektir. Bu nedenle, kentsel çevreyi, insan sağlığını ve toplum refahını iyileştirmek amacıyla ulaşım kaynaklı emisyonları azaltmak için stratejiler geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Trafik kaynaklı hava kirliliğine neden olan kirleticiler ve bu kirleticilerin ortaya çıkmasında etkili olan durumlara ilişkin bazı bilgiler yukarıda verilmiştir. Bu hususta motorlu taşıt kullanımının birçok kentteki hava kirliliği içerisindeki payının ısınma ve endüstri sektörlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Motorlu taşıt kullanımından kaynaklı hava kirliliğini azaltmak için ise başta yerel yönetimler olmak üzere çeşitli kamu kurum ve kuruluşları birtakım politikalar yürütmektedir.

Literatürde var olan çalışmalar incelendiğinde çok büyük bir kısmı mevcut ulaşım sektörünün hava kirliliğine etkisini ortaya koymuştur. Yapılan bu çalışmada ise çalışma alanı olarak belirlenen yol kesiminde trafik kaynaklı hava kirliliği ortaya koyulduktan sonra çalışma alanı için alternatif bir ulaşım sistemi önerilerek bu önerilen sistem ile mevcut sistem arasında hem trafik kaynaklı emisyon hem de trafik kaynaklı oluşabilecek diğer farklılıklar ortaya konmuştur.

3. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı olan ve Erzurum ilinde yer alan Tortum Yolu, Erzurum Kentinin iller arası bağlantı yolu olan D950 karayolu üzerinde yer almaktadır. Kentin kuzey kesiminde yer alan bu yol kesiminin etrafında sanayi ve ticaret işletmeleri yer almakta olup taşıt hareketliliği fazladır. İnceleme alanı ve çevresi detaylı olarak analiz edildiğinde 1/1000 ölçekli uygulama imar planı doğrultusunda bu yol kesiminin konut bölgelerine göre araç hareketliliğinin de giderek arttığı ortaya koyulmaktadır. Çalışma alanının imar planı üzerinde gösterimi Şekil 1’de yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının 1/1000 ölçekli Uygulama İmar Planı üzerindeki gösterimi

Şekilde de görüldüğü üzere imar planında çalışma alanının yol genişliği 35 metre ve bu yol kesimindeki ayrılma, katılma yolları ve kavşak bağlantılarının sayıları ise 6’dır. Fakat uygulamada bu durumlar farklılık göstermektedir. Çalışma alanında karşılıklı olarak kadastral parsel analizi gerçekleştirilmiş ve gidiş geliş toplamda 387 adet kadastral parsel olduğu tespit edilmiştir. Bu durum vatandaşların ticari faaliyet gösteren alanlarına yol geçiş izni, kavşak talebi gibi talepleri ile ulaşım ana planında ve uygulama imar planlarının yapım aşamasında projelendirilmemiş geçiş güzergahlarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu iki durum arasındaki farklılık aşağıda Şekil 2 ve 3’te belirtilmiştir.



Şekil 2. İnceleme alanında bulunan yol bağlantıları (6 Adet) (1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı)

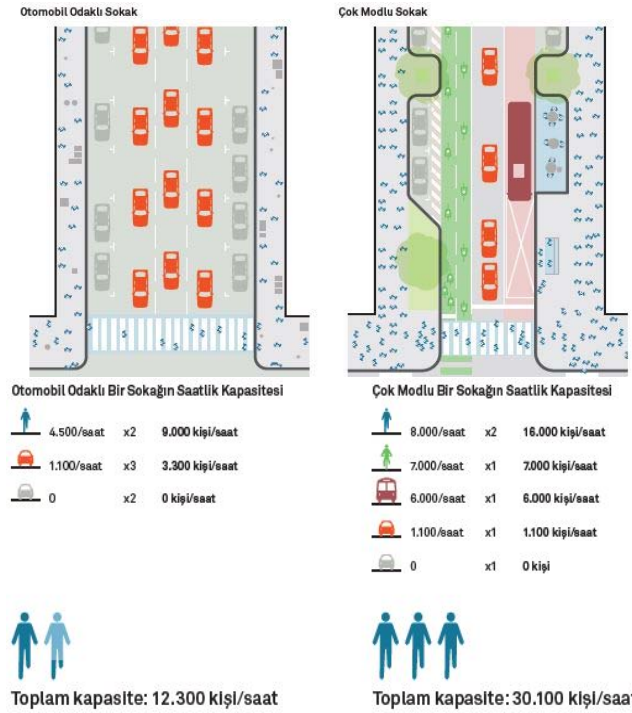


Şekil 3. Mevcut durumda inceleme alanındaki yol bağlantıları (24 adet)

4. YÖNTEM

Çalışma alanında yapılan incelemelerde bazı ayrılma ve katılma yollarının neredeyse hiç kullanılmadığı tespit edilmiştir. Buna rağmen bu kesimlerin bazılarında trafik sinyalizasyon sistemlerinin bulunması trafik akışını ciddi oranda aksatmaktadır. Öte yandan yine saha çalışmalarında yaya yollarında deformasyonlar olduğu bu durumun sürücüler tarafından tespit edilemediği için trafik kazalarına sebebiyet verebileceği tespit edilmiştir. Bu durumla birlikte çalışma alanında yer alan işyerlerinde bisiklet gibi mikro mobilite taşıtlarının sıklıkla kullanıldığı gözlemlenmiştir. Fakat bu taşıtlar için de herhangi bir ulaşım altyapısı yer almamaktadır. Tüm bunlara ilaveten yol kenarı parklanma ve otobüs durakları için ceplerin olmaması da trafik akışını etkileyen dolaylı olarak da hava kirliliğini artıran etmenler olarak gözlemlenmiştir.

Bahsedilen tüm bu sorunların üstesinden gelebilmek için mevcut yol kesiminin yeniden tasarlanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Mevcut yol kesimi tamamen otomobil odaklı olup alternatif ulaşım kaynakları için elverişli değildir. Çalışmada yöntem olarak mevcut yol kesiminin çok modlu şekilde tasarlanması ile de yukarıda bahsedilen birçok problemin üstesinden gelinmiş olacaktır. Aşağıda Şekil 4'te aynı özellikte iki farklı yol kesiminin otomobil odaklı veya çok modlu olarak kullanılması durumunda kapasitesinde oluşabilecek değişiklikler gösterilmektedir.



Şekil 4. Aynı özellikteki iki sokağın otomobil odaklı veya çok modlu olarak tasarlanması durumunda oluşan kapasite farkları [25]

Çalışma alanında yer alan yol güzergahı toplam 4.15 kilometre uzunluğunda olup bu yol kesiminde hız sınırı 50 km/sa'tir. Söz konusu kesimde yeşil dalga uygulaması yapılmaktadır. Ancak taşıt yoğunluğu her iki yönde trafik ışıkları arasında olduğundan güzergâh boyunca bir aracın tek seferde yeşil dalgayı yakalayabilmesi mümkündür. Öte yandan saha çalışmalarında güzergahın başlangıç ve bitiş noktaları arasında ortalama harcanan süre 7 dakika 16 saniye olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında farklı gün ve saat dilimlerinde taşıt sayımları geleneksel bir yöntem olan manuel araç sayım yöntemiyle yapılmıştır. Bununla birlikte Erzurum Büyükşehir Belediyesinin de bölgede yapmış olduğu trafik sayımları da mevcuttur. Çalışma içeriğinde her iki sayım bilgilerinden de yararlanılmıştır. Aşağıda Şekil 5'te mevcut yol kesimi Şekil 6'da ise bu yol kesimindeki taşıt sayımları gösterilmiştir.

Sabah Zirve Saat (08:00 - 09:00)
Öğle Zirve Saat (13:00 - 14:00)
Akşam Zirve Saat (17:30 - 18:30)



Şekil 5. Çalışmada ölçüm yapılan noktalardan bir tanesinin uydu görüntüsü ve kavşak kolları

	1	2	3	4	Genel Toplam
SABAH	1080	934	240	255	2509
1	11	803	112	78	1004
2	801	18	79	49	947
3	142	37	0	128	307
4	126	76	49	0	251
ÖĞLE	1002	889	268	297	2456
1	8	699	104	134	945
2	724	58	70	74	926
3	89	57	0	89	235
4	181	75	94	0	350
AKŞAM	980	1065	356	288	2689
1	10	837	155	112	1114
2	687	48	70	65	870
3	156	70	0	106	332
4	127	110	131	5	373

Şekil 6. Çalışma alanındaki trafik sayım matrisi

Yapılan trafik ölçümlerinde sayının birim otomobil cinsinden ifade edilebilmesi için araç türüne göre birim otomobil dönüşümü yapılmıştır. Bu dönüşüm işleminde aşağıda verilen Çizelgeden yararlanılmıştır.

Çizelge 1. Taşıtların birim otomobil cinsinden dönüştürülmesi [26]

Taşıtların Türü	Şehir İçi Yolda	Dönel Kavşakta	İşikli Kavşakta
Özel Otomobil, Taksi, Sepetli Motosiklet, Triportör Yüksüz 1500kg'a Kadar Olan Pikap	1,00	1,00	1,00
Minibüs, Dolmuş, Taksi	1,15	1,30	1,27
Yüksüz 1500 kg'dan Ağır Ticari Kamyon, At arabası	2,00	2,80	1,75
Kent İçi ve dışı yolcu otobüsü (körüklü dahil) Servis Otobüsü, Trolleybüs, Tramvay	3,00	2,80	2,25
Motosiklet, Mopet	0,75	0,75	0,33
Bisiklet	0,33	0,50	0,20

Taşıtların türleri birim otomobil cinsinden ifade edildikten sonra yakıt türlerine göre NO_x, PM₁₀ ve SO₂ kirleticilerine ait emisyon faktörleri belirtilmiştir. Bu emisyon faktörleri her bir taşıtların yakıt türüne göre Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından belirlenmiştir. Ayrıca kentte trafiğe kayıtlı otomobil sayılarının yakıt türlerine göre dağılımları da istatistiksel olarak belirlenmiştir [7]. Bahsedilen bu detaylar aşağıda Çizelge 2'de yer almaktadır.

Çizelge 2. Otomobillerin yakıt türlerine göre emisyon faktörü dağılımları

Araç sınıfı	Yakıt tipi	Bulunma oranı (%)	Emisyon Faktörü		
			NO _x	PM ₁₀	SO ₂
Otomobil	Benzin	26	14,5	0,03	0,02
	Dizel	36	11	1,1	0,02
	LPG	38	15,5	0	0,1

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Mevcut güzergâh üzerinde oluşan yıllık emisyon miktarlarının hesaplanabilmesi için taşıtların emisyon faktörleri ve yakıt türlerinin dağılımlarının yanı sıra yıllık ortalama günlük trafik değerleri ve taşıtların kilometre başına ortalama tükettikleri yakıt miktarları değerlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu değerler içerisinde yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) değerleri hesaplanırken güzergahtaki günlük trafik değerleri ve zirve saatlerindeki taşıt trafiği arasındaki ilişki ortaya konmuştur.

Yapılan saha çalışmalarında bu yol kesiminde akşam zirve saatteki taşıt sayısının, günlük toplam taşıt değerinin yaklaşık %6'sına tekabül ettiği tespit edilmiştir. Bu değerlerden yararlanılarak yaklaşık olarak yıllık ortalama günlük trafik değeri 1 numaralı denklem yardımıyla belirlenmiştir.

$$YOGT = \text{Zirve saatteki taşıt değeri} \times \frac{100}{6} \quad (1)$$

Ayrıca yine Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının hazırlamış olduğu raporda kentte ortalama yakıt tüketiminin 100 kilometrede 7 litre olarak belirlendiği şekilde dikkate alınmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda ilgili Bakanlık tarafından yapılan yıllık emisyon miktarı 2 numaralı denklem yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$TYEM = EF \times YOT \times YTBO \quad (2)$$

* TYEM: Türüne göre yıllık emisyon miktarı, EF: Emisyon faktörü, YOT: Yıllık ortalama trafik, YTBO: Yakıt türüne göre bulunma oranı

Saha çalışmasında; güzergâh üzerindeki kavşak noktaları çok sık aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu durum kavşakların ve sinyalizasyon sistemlerinin verimli şekilde kullanılmamasının bir sonucudur. Tortum yolu diye adlandırılan ana yola, katılım ve bu yoldan ayrılmaların bağlantı yolları ile sağlanmasının trafik akışını daha verimli şekilde sağlayacağı tespit edilmiştir. Öte yandan sık yerleştirilmiş kavşak noktalarının bazılarının kaldırılması ve art arda gelen kavşak noktaları arasında en az 1500 metre mesafe bulunması gerektiği de tespit edilmiştir. Yine yol kesiminde yaya yollarına ait işaretlemelerin yetersiz olduğu, ticari faaliyette bulunan işletmelerin bir kısmının mikro mobilite taşıtlarını kullandığı tespit edilmiştir. Fakat bu taşıt türleri için de ayrılmış bir yol kesimi bulunmamaktadır. Çalışma alanındaki bir diğer problem ise güzergahın sağ ve sol kesimlerinin sanayi işletmesi olması sebebiyle yüksek gürültü seviyelerine sahip olmasıdır. Mevcut yol kesiminin 30 metre genişliğine kadar büyütülebileceği bölgenin imar durumundan tespit edilmiştir.

Tüm bu durumlar birlikte değerlendirildiğinde önce mevcut sisteme ait daha sonra ise bu çalışma kapsamında önerilen güzergâh çalışmasına ait tahmini olarak oluşabilecek hava kirliliği hesaplanmıştır. Aşağıda Şekil 7'de bu çalışma kapsamında SketchUp ve Lumion Pro 12.5 kullanarak tasarlanan güzergâh için oluşturulan modellere ait görseller sunulmaktadır [27-28]. Bu görsellerde ana yol kesiminin sağına ve soluna bağlantı yolları yerleştirilmiş, kavşak sayısı ana arterlere bağlanacak şekilde üçe düşürülmüş, yaya yolları işaretlenmiş, mikro mobilite taşıtları için yol düzenlemesi yapılmış, gürültü ve hava kirliliğini önlemek için ise orta refüjlerde ağaçlandırma çalışması yapılmıştır.



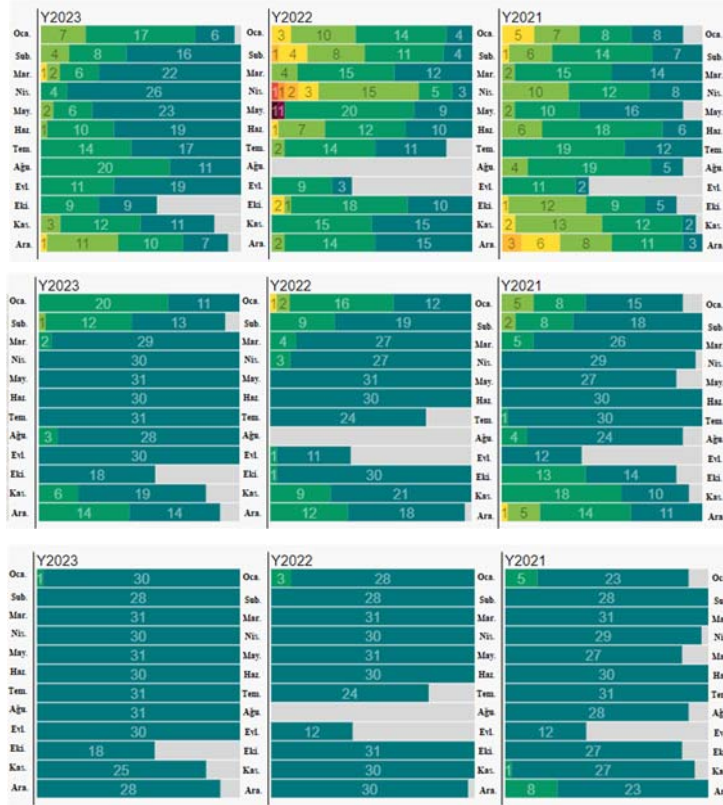
Şekil 7. Çalışma alanı için oluşturulan tasarıma ait bazı görseller

Çalışma alanı için oluşturulan tasarımda ana yola katılma ve ana yoldan ayrılmaların büyük bir kısmı bağlantı yolları ile sağlanmıştır. Bununla birlikte kavşak sayısı üçe düşürüldüğü için mevcut yol kesiminde trafik akışı hızlandırılmıştır. Sinyalize kavşaklar arası mesafe de artırıldığı için yeşil ışık dalga hızı 70 km/sa olarak belirlenmiştir. Tüm bunların yanında yaya ulaşımı ve mikro mobilite taşıtları için elverişli koşullar oluşturulması sebebiyle bu ulaşım kaynaklarına yönlendirme sağlanmış olacaktır. Saha çalışmalarında yapılan gözlem ve incelemelerde çok modlu ulaşım tasarımı durumunda mevcut taşıt trafiğinin yaklaşık %13'ünün alternatif ulaşım kaynakları ile sağlanması öngörülmektedir.

Çalışma alanında yapılan saha çalışmalarında son yıllarda alternatif ulaşım kaynaklarına yönelimin her geçen gün arttığı da tespit edilmiştir. Bu durumu destekler nitelikte olarak aşağıda yer alan Şekil 8'de çalışma alanına en yakın hava ölçüm istasyonundan elde edilen son üç yıla ait hava kalite değerleri gösterilmektedir. Çizelge 3'te ise hava kalite indekslerine göre yapılan sınıflandırmalar yer almaktadır. PM₁₀, NO_x ve SO₂ hava kirleticileri açısından her üç türde de 2023 yılında hava kalitesinde önceki iki yıla göre artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Hava kalitesi indekslerine göre sınıfların dağılımı

Hava kalite indeksi	Sınıfı
0-50	İyi
51-100	Orta
101-150	Hassas gruplar için sağlıksız
151-200	Sağlıksız
201-300	Çok sağlıksız
300+	Tehlikeli



Şekil 8. Çalışma alanı için sırasıyla PM_{10} , NO_x , SO_2 emisyonlarına ait son 3 yıllık hava kalite değerleri [29]

Bazı bireylerin mevcut ulaşım olanaklarının yetersizliğinden kaynaklı olarak bu ulaşım türünü tercih etmekte bazı endişeler duyduğu da belirlenmiştir. Bu endişelerin önemli bir kısmının ise güvenli ulaşım olanaklarının olmamasından kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada planlanan elverişli ulaşım olanakları sağlandığı takdirde ise bahsedilen %13 lük artışla hava kirliliği daha da azalmış olacaktır.

Kısa mesafelerde alternatif ulaşım kaynaklarına yönelim sağlanması durumunda incelenen yol kesiminde işletme hızının artacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla bu kesimde harcanan sürenin azaltılması ve sinyalasyon sistemlerinin optimize edilmesi sonucu oluşabilecek tahmini yıllık emisyon değerleri ile mevcut emisyon değerlerinin yer aldığı veriler aşağıda Çizelge 4'te yer almaktadır.

Çizelge 4. Mevcut durum ve tasarım sonrası için oluşacak tahmini emisyon değerleri

	Yıllık emisyon miktarları (kg)			
	NO_x	PM_{10}	SO_2	Toplam
Mevcut durum	31118	866	108	32092
Tasarım sonrası durum	23546	642	57	24245

Çizelgede yer alan sonuçlar incelendiğinde mevcut yol kesimi için yapılan tasarımın yıllık emisyon miktarını yaklaşık %24 düşüreceği tespit edilmiştir. Bu değer günümüz koşullarında oldukça iyi bir oran olduğu söylenebilmektedir. Özellikle ülkemizin 2030 yılına kadar zararlı gaz emisyonunu %35 oranında azaltma politikaları adına bu ve benzeri değişimlere gitmesinin gerekliliği de düşünüldüğünde yapılan çalışmanın önemli bir politika ortaya koyacağı düşünülmektedir [30]. Bununla birlikte ülkemizde elektrikli taşıtlara yönelimin hız kazanmasının yanı sıra alternatif ulaşım kaynaklarına da yönelime öncelik verilmesi hedeflere daha kısa sürede ulaşılmasına olanak sağlamış olacaktır. Kentlerde düzenlenen imar planlarının gözden geçirilerek sadece otomobil odaklı tasarımlar yerine sürdürülebilir ulaşımın temelini oluşturan çok modlu tasarımlar yapılması da atılabilecek en önemli adımlar arasında yer almaktadır.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada Erzurum İlinde yer alan Tortum yolu olarak adlandırılan yol kesimi hava kirliliği açısından ele alınmıştır. Bu yol kesimi kentte trafik yoğunluğunun en sık yaşandığı ve hava kirliliğinin en yüksek olduğu yol kesimlerinden birisidir. Yapılan saha çalışmalarında bu yol kesimine katılma ve bu yol kesiminden ayrılma kollarının gerektiğinden çok daha fazla olduğu, trafik sinyalizasyon sistemlerinin çok sık yerleştirildiği, yol genişlikleri uygun olmasına rağmen alternatif ulaşım kaynakları için olanakların yetersiz olduğu ve yaya yolları işaretlemelerinin deforme olduğu gözlemlenmiştir. Tüm bu gözlemlerin yanı sıra yol kesiminde yapılan taşıt sayımları ile mevcut yıllık emisyon miktarları hesaplanmıştır. Mevcut yol kesimi için yapılan çok modlu tasarım ile daha önce tespit edilen tüm problemlere çözümler sunulmuştur. Öte yandan tasarım sonucu oluşabilecek yıllık emisyon miktarı yaklaşık olarak hesaplandığında %24 civarında bir azalma olacağı öngörülmüştür. Yapılan bu çalışmanın Ülkemizin temiz hava eylem planları açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Öte yandan Ülke politikalarının sadece otomobil odaklı tasarımlar yerine sürdürülebilir çok modlu ulaşım yöntemlerine yönelimler sayesinde daha yaşanabilir kentler oluşabilmesinin mümkün olabileceği belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmanın gelecekte benzer amaçlarla yapılacak olan çalışmalar ve sahadaki uygulamalar için önemli bir kaynak olabileceği düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Kırımhan, S., 2006. Hava kirliliği ve kontrolü. Turhan Kitapevi. Ankara.
2. Aydınlar, B., Güven, H., Kirksekiz, S., 2009. Hava kirliliği nedir, ölçüm ve hava kalite modelleme yöntemleri nelerdir. Hava Kirliliği ve Modellemesi Dergisi, 16(2), 83-91.
3. Mayer, H., 1999. Air pollution in cities. Atmospheric environment, 33(24-25), 4029-4037.
4. Zencirci, S.A., Işıkli, B., 2017. Hava kirliliği. Estüdam Halk Sağlığı Dergisi, 2(2), 24-36.
5. Milku Augustine, K., Attiogbe, F., Derkyi, N.S.A., Atepor, L., 2023. A review of policies and legislations of vehicular exhaust emissions in Ghana and their enforcement. Aerosol Science and Engineering, 7(2), 169-181.
6. Toros, H., Bağış, S., 2017. Hava kirlilik modellerinde kullanılacak emisyon envanteri oluşturulması için yaklaşımlar ve İstanbul hava kirliliği dağılımı örneği. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(2), 1-12.
7. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Erzurum İl Müdürlüğü, 2020. Erzurum İli Temiz Hava Eylem Planı. https://webdosya.cb.gov.tr/db/erzurum/menu/thep-2020-2024_20201019103133.pdf
8. Uzun, Ö., Gümüş, M., Demir, A., 2021. Ücretli yol kenarı parkların trafik akışına etkisinin incelenmesi. İdealkent, 12(34), 1878-1899.
9. Armah, F.A., Yawson, D.O., Pappoe, A.A., 2010. A systems dynamics approach to explore traffic congestion and air pollution link in the city of Accra, Ghana. Sustainability, 2(1), 252-265.
10. Baghirova, M., 2023. Establishment of confidence intervals for average vehicle speeds. Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi, 6(2), 131-142.
11. Lu, J., Li, B., Li, H., Al-Barakani, A., 2021. Expansion of city scale, traffic modes, traffic congestion, and air pollution. Cities, 108, 102974.
12. Öden, M.K., Bilgin, İ., 2019. Sarayönü ilçe merkezinde trafik kaynaklı gürültü kirliliğinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(1), 103-114.
13. Dünya Sağlık Örgütü, 2023. Hava Kirliliği Raporları, <https://www.who.int/news/item/10-10-2023-monitoring-air-pollution-levels-is-key-to-adopting-and-implementing-who-s-global-air-quality-guidelines>
14. Zhang, Y., Andersson, S., Muhammed, M., 1995. Nanophase catalytic oxides: I. Synthesis of doped cerium oxides as oxygen promoters. Applied Catalysis B: Environmental, 6(4), 325-337.
15. Ji, W., Huang, Z., Gao, G., Zheng, P., 2024. Evaluation of integrated transport efficiency and equity at the county level-taking the counties in ningbo city as an example. Transport Policy.
16. Öztürk, G., 2006. Düzce ilinde trafikten kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
17. Özen, M., 2006. Karayolu ulaşımının hava kirliliğine etkileri ve çözüm önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
18. Coşkun, A., 2008. Şehir atmosferinde taşıt emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
19. Polat, E.E., 2016. Gaziantep'in trafik kaynaklı hava kirliliğinin belirlenmesi üzerine bir çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.

20. Çetin, M., Ergüder, T.O., 2020. Erzincan'da motorlu taşıtlar tarafından atmosfere bırakılan egzoz emisyonları ve tahmini miktarlarının belirlenmesi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 13(3), 1403-1412.
21. Filiz, A., 2019. Karayolu kaynaklı hava kirliliği dağılım modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.
22. Kuşkapan, E. 2023. Yaya ulaşımının artırılması ve güvenliklerinin sağlanması amacıyla yapay zekâ ve görüntü işleme yöntemlerinin kullanılması. Doktora Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Erzurum.
23. McCaffery, C., Zhu, H., Tang, T., Li, C., Karavalakis, G., Cao, S., Durbin, T.D., 2021. Real-world NOx emissions from heavy-duty diesel, natural gas, and diesel hybrid electric vehicles of different vocations on California roadways. *Science of the Total Environment*, 784, 147224.
24. Shafie, S.H.M., Mahmud, M., 2020. Urban air pollutant from motor vehicle emissions in Kuala Lumpur, Malaysia. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(12), 2793-2804.
25. Küresel Sokak Tasarım Rehberi. 2019. <https://globaldesigningcities.org/publication/global-street-design-guide-tr/>
26. Türk Standart Enstitüsü, 2019. Şehir içi ulaşım hesaplamalarında kullanılan araç tiplerine göre otomobil eşdeğeri katsayıları, <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?>
27. Sketchup Deneme Versiyonu, 2023. <https://www.sketchup.com/en>
28. Lumion, 2023. <https://lumion.com/>
29. World's Air Pollution, 2023. <https://waqi.info/#/c/39.689/40.304/9.2z>
30. Birleşmiş Milletler İklim Zirvesi, 2022. <https://www.wwf.org.tr/?12740/2030-Iklim-Hedefi>.

