

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KAVŞAKLARDAKİ TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN YARATTIĞI HAVA
KİRLİLİĞİ MALİYETİNİN SİMÜLASYON MODELLEMESİ İLE ANALİZİ:
TEMUR MALIK-MIRZO ULUGBEK KAVŞAĞI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Okan Hamdi GÖKTUĞ

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bihter EROL

HAZİRAN, 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KAVŞAKLARDAKİ TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN YARATTIĞI HAVA
KİRLİLİĞİ MALİYETİNİN SİMÜLASYON MODELLEMESİ İLE ANALİZİ:
TEMUR MALIK-MIRZO ULUGBEK KAVŞAĞI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Okan Hamdi GÖKTUĞ
(501171637)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bihter EROL

HAZİRAN, 2022



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501171637 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Okan Hamdi GÖKTUĞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KAVŞAKLARDAKİ TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN YARATTIĞI HAVA KİRLİLİĞİ MALİYETİNİN SİMÜLASYON MODELLEMESİ İLE ANALİZİ: TEMUR MALİK-MIRZO ULUGBE KAVŞAĞI ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Bihter EROL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mustafa YANALAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Atınc PIRTI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 03 Haziran 2022
Savunma Tarihi : 20 Haziran 2022



ÖNSÖZ

Varolduğumuz, yaşadığımız, yaşlandığımız, kıymetli evimize, Dünya'mıza iyi bakmak zorundayız. Maalesef giderek artan kentleşme, sanayileşme ve trafik sorunları nefes almamıza engel teşkil edecek noktalara ilerlemekte. Mühendisler ve bireyler olarak taşın altına elimizi koymamız gereken bu dönemde, trafik sorunlarının sadece zamanımızdan, cebimizden ya da hayatımızdan çılmadığını, aslında hepsinden biraz, ama giderek çok daha fazla şey götürdüğünü akademik veriler ışığında aktarabilmek amacıyla elinizdeki tez çalışmamı hazırladım.

Başta hayatımın her anında yanımda olan aileme, lisans eğitimimin başından itibaren benim için bir öğretmenden çok mentor olan değerli hocam Doç. Dr. Bihter EROL'a, her zaman desteklerini hissettiğim kıymetli arkadaşlarıma ve bu süreçte en zor zamanlarımda hep yanımda olan kız arkadaşşıma teşekkürü borç bilirim.

Çalışmamı yakın zamanda kaybettiğimiz kıymetli arkadaşlarım Beril VAROL ve Ömer AKIN'a ithaf eder, şiddetin olmadığı, eşitliğin ve barışın egemen olduğu bir dünya dilerim.

Haziran,2022

Okan Hamdi GÖKTUĞ
(Geomatik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
2.1 Kavşak Tanımı ve Sınıflandırması	7
2.1.1 Eş düzey kavşaklar	7
2.1.2 Farklı seviyeli kavşaklar	8
2.2 Ülkemizde ve Dünya’da Trafik Kavramı	9
2.2.1 Trafik yoğunluğunun çevresel etkileri	16
2.2.1.1 Emisyon kavramı	17
2.2.1.2 Taşıt emisyonlarının çevreye etkisi	20
2.2.2 Trafik yoğunluğunun ekonomik etkileri	23
2.2.2.1 Yolculuk süresi maliyeti	24
2.2.2.2 Taşıt işletim maliyeti	24
2.2.2.3 Hava kirliliği maliyeti	24
3. MATERYAL VE METOT	29
3.1 Kavşakların Benzetim (Simülasyon) Yardımıyla Modellenmesi	29
3.1.1 Vissim benzetim (simülasyon) programı	30
3.1.2 Kavşaklarda simülasyonun kullanılabileceği durumlar	31
3.1.3 Kavşak simülasyonlarında kullanılan girdi parametreleri	31
3.1.3.1 Mevcut parametreler	32
3.1.3.3.1. CBS verileri	32
3.1.3.3.2 Kavşak konum, tür, bağlantı verileri	32
3.1.3.3.3 İstatistiki veriler	32
3.1.3.2 Yeni veriler ile oluşturulan parametreler	33
3.1.3.2.1 Mevcut durumun gözlenmesi ile sahadan toplanan veriler	33
3.1.3.2.2 Araç sayımları	33
3.1.3.2.3 Kullanıcı davranışları	33
3.1.4 Kalibrasyon yöntemleri	34
3.1.5 Kavşak simülasyon sonuç parametreleri	35
3.1.5.1 Araç gecikme süresi	35
3.1.5.2 Kuyruklanma uzunluğu	36
3.1.5.3 Yakıt tüketimi	36
3.1.5.4 Hizmet düzeyi değeri	36

3.1.5.5 Emisyon değerleri	36
3.2 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler	37
3.2.1 Kavşağın konumu ve özellikleri	37
3.2.2 Trafik sayımları	38
4. BULGULAR VE YORUM	47
4.2 Mevcut Durum Analizleri	47
4.2.1 Mevcut durum simülasyon modelinin oluşturulması	47
4.2.2 Mevcut durum simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi	48
4.3 Öneri Kavşak Tasarımlarının Hazırlanması	50
4.3.1 Öneri-1 (eş düzey kavşak) ve sonuçlarının değerlendirilmesi	51
4.3.2 Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) ve sonuçlarının değerlendirilmesi	55
4.4 Geleceğe Yönelik Senaryolar Üzerinden Analizlerin Yapılması	58
4.5 Hava Kirliliği Maliyet Hesabı	64
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	73

KISALTMALAR

IPPC	: Uluslararası Bitki Koruma Birliği
EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
PM	: Partikül Madde
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
KTK	: Karayolları Trafik Kanunu
TDK	: Türk Dil Kurumu





SEMBOLLER

CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
O ₂	: Oksijen
UV	: Ultraviyole
N ₂	: Nitrojen
NO _x	: Nitrojen Oksit Birleşikleri



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1: Dünya genelinde ulaştırma sektöründen kaynaklı emisyon değerleri (URL-1).	21
Çizelge 2. 2: Türkiye’de ulaştırma sektöründen kaynaklı emisyon değerleri (URL-2).....	23
Çizelge 3. 1: 1 numaralı kavşak kolundan çıkış yapan araçların sayım tablosu (30.09.2021).....	40
Çizelge 3. 2: 2 numaralı kavşak kolundan çıkış yapan araçların sayım tablosu (30.09.2021).....	41
Çizelge 3. 3: 3 numaralı kavşak kolundan çıkış yapan araçların sayım tablosu (30.09.2021).....	42
Çizelge 3. 4: 4 numaralı kavşak kolundan çıkış yapan araçların sayım tablosu (30.09.2021).....	43
Çizelge 4. 1: Mevcut durum simülasyon sonuç tablosu.	50
Çizelge 4. 2: Öneri-1 (eş düzey kavşak) simülasyon sonuçları.	54
Çizelge 4. 3: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) simülasyon sonuçları.	58
Çizelge 4. 4: Farklı senaryolara göre analiz sonuçları tablosu.	63
Çizelge 4. 5: Hava kirliliği maliyet hesap tablosu.	65



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1: Araç yoğunluğunun trafik yoğunluğu akış hızına etkisi.	2
Şekil 2. 1: Tıkanıklık fiyatlandırması teorisi.	23
Şekil 3. 1: Çalışma alanının konumu.	37
Şekil 3. 2: Kavşak kollarındaki mevcut şerit sayılarının gösterimi.	38
Şekil 3. 3: Kavşak kol numaraları ve cadde isimleri.	39
Şekil 3. 4: 07:30-11:00 ile 14:30-18:00 saatleri arası sayım değerleri.	44
Şekil 3. 5: Zirve saatteki sayım değerleri.	45
Şekil 4. 1: Mevcut durum sinyal faz diyagramı.	47
Şekil 4. 2: Mevcut durum sinyal gruplarının simülasyon üzerinde gösterimi.	48
Şekil 4. 3: Mevcut durum sinyal faz planları.	48
Şekil 4. 4: Mevcut durum simülasyon görseli.	49
Şekil 4. 5: Mevcut durum kuyruklanma boyları analizi.	49
Şekil 4. 6: Öneri-1 (eş düzey kavşak) planı.	51
Şekil 4. 7: Öneri-1 (eş düzey kavşak) sinyal faz diyagramı.	52
Şekil 4. 8: Öneri-1 (eş düzey kavşak) sinyal grupları.	52
Şekil 4. 9: Öneri-1 (eş düzey kavşak) sinyal faz planları.	52
Şekil 4. 10: Öneri-1 (eş düzey kavşak) simülasyon görseli.	53
Şekil 4. 11: Öneri-1 (eş düzey kavşak) kuyruklanma boyları analizi.	53
Şekil 4. 12: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) planı.	55
Şekil 4. 13: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) sinyal grupları.	56
Şekil 4. 14: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) sinyal faz diyagramı.	56
Şekil 4. 15: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) sinyal faz planları.	56
Şekil 4. 16: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) simülasyon görseli.	57
Şekil 4. 17: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) kuyruklanma boyları analizi.	57
Şekil 4. 18: Farklı senaryolara göre gecikme sürelerinin karşılaştırılması.	59
Şekil 4. 19: Farklı senaryolara göre CO emisyonu değerlerinin karşılaştırılması.	61



KAVŞAKLARDAKİ TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN YARATTIĞI HAVA KİRLİLİĞİ MALİYETİNİN SİMÜLASYON MODELLEMESİ İLE ANALİZİ: TEMUR MALIK-MIRZO ULUGBEK KAVŞAĞI ÖRNEĞİ

ÖZET

Günümüz dünyasında gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin sera gazı salınımlarını azaltmak amacıyla önemli girişimler yaptığı görülmektedir. Bu amaçla sanayi, enerji ve ulaşım alanlarında yatırımlar yapılmakta, küresel ısınma ve iklim değişiklikleri ile mücadele edilmektedir. Bu mücadelenin en önemli unsuru sürdürülebilir, çevreci yaklaşımlar ile projeler üretmektir. Bu projeler ile özellikle kentsel alanlarda çevre ve hava kalitesi iyileştirilmeye çalışılmaktadır.

Kentsel alanlarda çevre kalitesi temelde nüfus yoğunluğuna bağlıdır. Hava kalitesi ise ulaşım aracı sayısı ile ilişkilidir. Ulaşım aracı sayısı da nüfus yoğunluğuna bağlı olarak artış gösterdiğinden, hava kirliliğinin temel kaynaklarının başında ulaşım araçlarının geldiğini söylemek mümkündür. Özellikle karayollarında kullanılan motorlu taşıtlar, kentsel alanlarda hava kalitesini önemli ölçüde düşürmektedir. Motorlu taşıtların motorlarında yanma sonucunda ortaya çıkan egzoz gazları karbon monoksit, partikül madde, uçucu organik madde gibi kirlletici emisyonların salınımına yol açmaktadır. Bu durum insan sağlığı üzerinde önemli olumsuz etkiler ortaya çıkmasıyla sonuçlanmakta, yaşam kalitesini ciddi düzeyde düşürmektedir.

Nüfusun ve araç yoğunluğunun artmasıyla birlikte yoğunluk düzeyinin kritik değeri aşması ve bunun sonucunda trafiğin serbestçe hareket edemeyerek sıkışık bir hale gelmesi trafik sıkışıklığı, tıkanıklığı ya da yoğunluğu olarak adlandırılmaktadır. Trafiğin sıkışması, düzenli akan trafiğin düzensizleşmesine yol açmaktadır. Trafik yoğunluğu sorununa gelişmiş teknolojilerin yaygın kullanıldığı ülkelerden bakıldığında akıllı ulaşım sistemleri gibi çözüm unsurları akla gelirken, altyapı sorunlarının yoğun olduğu ülkelerde kavşaklardan kaynaklı yoğunluğun incelenmesi daha fazla ön plana çıkmaktadır. Kavşaklar, iki veya daha fazla yönden akan trafiğin kesiştiği, ayrıldığı ve birleştiği ortak alanlardır. Farklı yönlerdeki araç trafiği göz önüne alındığında, kavşaklarda trafik kazalarının meydana gelme olasılığı daha yüksektir. Kavşaklar, çevresel koşullara uyum sağlayacak, kaza olasılığı ve gecikme minimum, tesis bakım masrafları düşük ve maksimum kapasite olacak şekilde tasarlanmalıdır. Kavşaklar, kesiştikleri platformun durumuna göre iki gruba ayrılır: eş düzey (hemzemin) kavşaklar ve farklı düzeyli kavşaklar. Farklı düzeyli kavşaklar, trafik hacminin ve trafik yoğunluğunun çok yüksek olduğu geçiş alanlarında uygulanmaktadır. Bu tür kavşakların maliyeti oldukça yüksektir. Öte yandan eş düzey kavşaklar, trafik kazası ve trafik yoğunluğu gibi sorunların daha sık görüldüğü kavşak türleridir.

Kavşaklarda yapılan projelerin gelecekte sağlayacağı faydaların analizleri için kavşak modelleri oluşturulur. Kavşakların modellerinin oluşturulabilmesi için farklı mikro-simülasyon yazılımları kullanılmaktadır. Günümüzde birçok bilimsel araştırmada da faydalanılan Vissim programı yaygın olarak kullanılan bir simülasyon programı olarak

karşımıza çıkmaktadır. Vissim programıyla kavşağın mevcutta çalışma durumu ya da projelendirme çalışması aşamasında birçok alternatif çalışma senaryoları oluşturulabilmektedir. Program bu alternatif senaryoların kavşak üzerinde uygulandığı durumlarda ortaya çıkabilecek sonuçların analizinin yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle ulaştırma veya trafik mühendisleri, ulaşım plancılar değerlendirmeler yaparak sonuçları karar verici mercilere iletebilmektedirler.

Simülasyon modelinin gerçeğe uygun olarak kurulabilmesi için öncelikle kavşağın mevcut geometrik özelliklerinin irdelenmesi gerekmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda kavşak geometrisine ait yönlendirme adaları, şerit genişlikleri, sinyalizasyon öğeleri, kavşak içerisindeki geçiş üstünlükleri vb. özellikler veri haline getirilerek simülasyon programına işlenilmektedir. Bu gözlemlerin yanında girdi verilerini oluşturmak amacıyla kavşaklarda sayımlar yapılmaktadır. Trafik sayımları ile kavşağın mevcut trafik hacimleri saptanır. Bu sayımlar video kamera tekniği ile manuel olarak ya da kavşağa kurulan dedektörler yardımıyla programlarla yapılır ve analiz edilmektedir. Analizlerin sonucunda kavşak içerisindeki hareketler kavşak kolları bazında belirtilerek hangi koldan hangi kol yönüne belirli sürede kaç araç girişi yapıyor verisine ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bunun yanında araçların ivmelenme, hareket kabiliyeti, yakıt tüketimi vb. niceliklerinde simülasyona dahil edilmesi amacıyla sınıflandırma yapılarak ağır taşıt, minibüs, otomobil ayrımı sağlanılabilmektedir. Araç türlerine göre sınıflandırılmış trafik sayımları neticesinde akımların en yüksek olduğu zirve saat saptanarak bu saatteki değerler simülasyon girdisi olarak kullanılmaktadır. Simülasyon sonuçlarında ise araçların gecikme süresi, kuyruklanma uzunluğu, yakıt tüketimi, hizmet düzeyi değeri ve emisyon değerleri elde edilir.

Bu çalışmada, kavşaklarda oluşan trafik yoğunluğundan kaynaklanan hava kirliliği maliyetinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, sözü edildiği üzere trafik yoğunluğunun daha sık görüldüğü eş düzey kavşaklar, konu kapsamına daha detaylı dahil edilmektedir. Çalışmada, kavramsal çerçeve ve söz konusu maliyetin belirlenmesi için uygulanan simülasyon modellemesine ilişkin açıklamalar sunulmaktadır. Bu süreçte, literatür taraması ile ilgili kaynaklardan faydalanılmış, gerekli bilgiler bu kaynaklar ışığında verilmiştir. Araştırmanın uygulama kısmında ise, Özbekistan Taşkent şehrinde bulunan, Temur Malik Caddesi-Mirzo Ulugbek Caddesi kavşağı kullanılmıştır. Temur Malik Caddesi, şehrin en yoğun arterlerinden biri olan Taşkent Büyük Halka Yolu (Çevre Yolu)'nun bir parçasıdır. Mirzo Ulugbek Caddesi ise Taşkent şehir merkezini Çırçık şehrine bağlayan en önemli arter olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle kavşaktaki trafik yoğunluğu yüksek seviyede olup, şehrin gelişmesi ile birlikte gelecek yıllarda yoğunluğun artacağı öngörülmektedir. Çalışma kapsamında belirtilen kavşakta mevcut durum analiz edilmiş, eş düzey ve farklı seviyeli olmak üzere iki öneri çalışılmış, simülasyon modelleri hazırlanmış ve sonuçları detaylı şekilde analiz edilmiştir. Sonuçlar neticesinde hava kirliliği maliyeti ve öneriler ile oluşması muhtemel fayda ortaya konmuştur.

ANALYSIS OF AIR POLLUTION COST CAUSED BY TRAFFIC DENSITY AT INTERSECTIONS BY SIMULATION MODELING: SAMPLE OF TEMUR MALIK STREET-MIRZO ULUGBEK STREET INTERSECTION

SUMMARY

In today's world, it is seen that developed and developing countries take important initiatives to reduce greenhouse gas emissions. For this purpose, investments are made in the fields of industry, energy and transportation, and global warming and climate changes are combated. The most important element of this struggle is to produce projects with sustainable, environmentalist approaches. With these projects, efforts are made to improve the environment and air quality, especially in urban areas.

Environmental quality in urban areas mainly depends on population density. Air quality is related to the number of transportation vehicles. Since the number of transportation vehicles increases depending on the population density, it is possible to say that transportation vehicles are the main sources of air pollution. Especially vehicles used on highways significantly reduce air quality in urban areas. Exhaust gases that arise as a result of combustion in the engines of vehicles cause the release of pollutant emissions such as carbon monoxide, particulate matter, and volatile organic matter. This situation results in significant negative effects on human health and seriously reduces the quality of life.

With the increase in the population and vehicle density, the density level exceeds the critical value and as a result, the traffic becomes congested by not being able to move freely, is called traffic congestion, congestion or density. The congestion of the traffic leads to the irregularity of the regular flowing traffic. When looking at the problem of traffic density in countries where advanced technologies are widely used, solution elements such as smart transportation systems come to mind, while in countries where infrastructure problems are intense, examining the density originating from intersections comes to the fore. Intersections are common areas where traffic from two or more directions intersect, diverge, and converge. Considering vehicular traffic in different directions, traffic accidents are more likely to occur at intersections. Intersections should be designed to adapt to environmental conditions, to have minimum accident probability and delay, low facility maintenance costs and maximum capacity. Intersections are divided into two groups based on the condition of the platform they intersect: at-grade intersections and cross-level intersections. Intersections with different levels are applied in crossing areas where the traffic volume and traffic density are very high. The cost of such intersections is quite high. On the other hand, at-grade intersections are the types of intersections where problems such as traffic accidents and traffic density are more common.

Intersection models are created for the analysis of the future benefits of the projects. Different micro-simulation softwares are used to create models of intersections. Today, the Vissim program, which is also used in many scientific researches, is a widely used simulation program. With the Vissim program, many alternative working scenarios can be created at the current working status of the intersection or during the

project design phase. The program allows the analysis of the consequences that may arise when these alternative scenarios are applied on the intersection. Thus, transportation or traffic engineers, transportation planners can make evaluations and convey the results to the decision-makers.

In order to establish the simulation model in accordance with reality, first of all, the existing geometric features of the intersection should be examined. As a result of the examinations, routing islands of the intersection geometry, lane widths, signaling elements, passing advantages within the intersection, etc. The features are converted into data and processed into the simulation program. In addition to these observations, counts are made at the intersections in order to generate the input data. The current traffic volumes of the intersection are determined by traffic counts. These counts are made and analyzed manually with video camera technique or with the help of detectors installed at the intersection. As a result of the analysis, the movements in the intersection are determined on the basis of the intersection arms, and it is tried to reach the data of how many vehicles enter from which branch to which direction in a certain time. In addition, acceleration, mobility, fuel consumption, etc. of vehicles. Heavy vehicles, minibuses and automobiles can be separated by classification in order to include them in the simulation in their quantities. As a result of traffic counts classified according to vehicle types, the peak hour with the highest flows is determined and the values at this hour are used as simulation input. In the simulation results, the delay time, queuing length, fuel consumption, service level value and emission values of the vehicles are obtained.

In this study, it is aimed to determine the cost of air pollution caused by the traffic density at the intersections. For this reason, as mentioned, at-grade intersections where traffic density is more frequent are included in the scope of the subject in more detail. In the study, explanations about the conceptual framework and the simulation modeling applied to determine the cost in question are presented. In this process, resources related to literature review were used and necessary information was given in the light of these resources. In the application part of the research, Temur Malik Street-Mirzo Ulugbek Street junction located in Tashkent city of Uzbekistan was used. Temur Malik Street is a part of Tashkent Great Ring Road (Ring Road), one of the busiest arteries in the city. Mirzo Ulugbek Avenue is used as the most important artery connecting the city center of Tashkent to the city of Çirçık. For this reason, the traffic density at the intersection is at a high level and it is predicted that the density will increase in the coming years with the development of the city. The current situation at the intersection specified within the scope of the study was analyzed, two proposals were studied, equivalent and different, simulation models were prepared and the results were analyzed in detail. As a result of the results, the cost of air pollution and the possible benefit with the suggestions have been revealed.

1. GİRİŞ

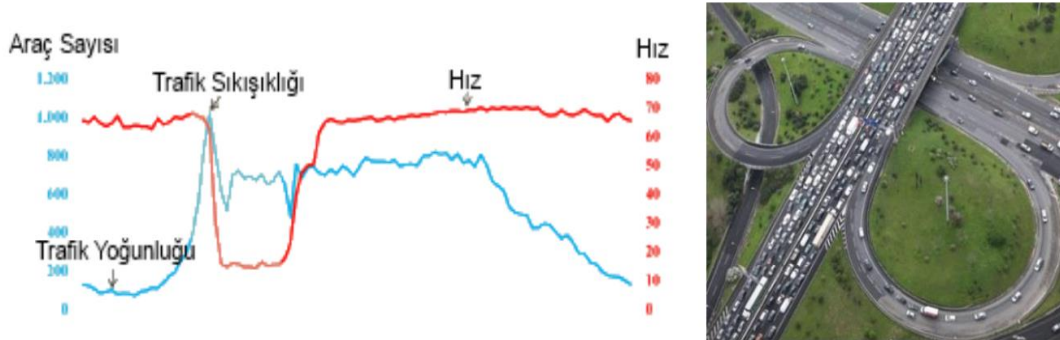
Kentsel alanlarda çevre kalitesi temelde nüfus yoğunluğuna bağlıdır. Hava kalitesi ise ulaşım aracı sayısı ile ilişkilidir. Ulaşım aracı sayısı da nüfus yoğunluğuna bağlı olarak artış gösterdiğinden, hava kirliliğinin temel kaynaklarının başında ulaşım araçlarının geldiğini söylemek mümkündür. Özellikle karayollarında kullanılan motorlu taşıtlar, kentsel alanlarda hava kalitesini önemli ölçüde düşürmektedir. Motorlu taşıtların motorlarında yanma sonucunda ortaya çıkan egzoz gazları karbon monoksit, partikül madde, uçucu organik madde gibi kirletici emisyonların salınımına yol açmaktadır. Bu durum insan sağlığı üzerinde önemli olumsuz etkiler ortaya çıkmasıyla sonuçlanmakta, yaşam kalitesini ciddi düzeyde düşürmektedir. Sinharay ve diğerlerinin (2018) araştırmasında, akciğer ve kardiyovasküler hastalıkların hava kirleticilerine maruziyet ile önemli bir ilişkisi olduğu ortaya konulmuştur.

Hava toksikleri veya hava kirleticileri olarak da adlandırılan hava kirliliği, havadaki birçok gaz, damlacık ve katı parçacığın birleşimidir. Nüfusun artması ve enerji ihtiyacı nedeniyle tüm dünyada çok önemli bir sorun haline gelmiştir (Raz ve diğ., 2018). Hava kirliliğine ilk olarak ulaşım, ikinci olarak endüstriyel emisyonlar (fabrikalar, rafineriler, enerji üretimi) ve üçüncü olarak iç mekan kaynakları (ısıtma ve aydınlatma, yapı malzemelerinden çıkan buharlar, boyalar) kaynaklık etmektedir (Becerra ve diğ., 2013). Birçok hava kirletici türü vardır, ancak hava kalitesini kötüleştiren başlıca kirleticiler partikül madde (PM), kükürt dioksit (SO_2), karbon monoksit (CO), nitrojen dioksit (NO_2), ozon (O_3) ve kurşundur.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) istatistiklerine göre, her yıl yaklaşık 7 milyon insan kirli havaya maruz kalmaktan ötürü hayatını kaybetmektedir (WHO, 2021). Ölüm istatistiklerinden de anlaşılacağı üzere tehlikeli hava kirleticilerin sağlık üzerinde olumsuz etkileri vardır. Kansere, nörolojik hastalıklara, solunum yolu hastalıklarına ve doğum veya gelişimsel kusurlar gibi ciddi sağlık etkilerine neden olabilmektedirler (Straif ve diğ., 2013). Ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonların ABD’de nitrojen oksitler (NO_x), uçucu organik bileşikler (VOCs) ve $PM_{2.5}$ ve PM_{10} için sırasıyla yaklaşık %55, %10 ve %10 olduğu bildirilmiştir (EPA, 2019).

Türkçeye Fransızcadan giren trafik kelimesi İtalyanca kökenlidir. Trafik anlamında İngilizcede “traffic”, Fransızcada “trafic” ve İtalyancada “traffico” kelimeleri kullanılmaktadır. Osmanlı döneminde ise “geliş-gidiş” anlamındaki “seyrüsefer” kelimesi kullanılmıştır. Uluslararası trafik sözcüğü de Türkiye’de 18 Mayıs 1953 tarihli, 8411 Sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan 6085 Sayılı ilk KTK (Karayolları Trafik Kanunu) ile resmi olarak kabul edilmiştir (Murat, 2013). Trafik sözcüğü en geniş anlamıyla ulaşımı kapsamaktadır. Bu kapsama deniz yolu, hava yolu, demir yolu ve kara yoluyla ulaşım dahildir. Dar anlamıyla ise trafik yol üzerindeki hayvan, yaya veya taşıtların hareketini düzenleyen kurallar ve bu kurallar kapsamındaki tüm hal ve hareketleri ifade etmektedir (Murat, 2013). Trafik, TDK tarafından ise “ulaşım yollarının yayalar ve her türlü taşıt araçları tarafından kullanılması, seyrüsefer” şeklinde tanımlanmıştır (TDK, 2005). 13 Ekim 1983 tarihli, 2918 Sayılı KTK’nın 3’üncü maddesinde ise trafik kavramına şu şekilde tanım getirilmiştir: “Yayaların, hayvanların ve araçların kara yolları üzerindeki hal ve hareketleridir.”

Araç yoğunluğunun artmasıyla birlikte yoğunluk düzeyinin kritik değeri aşması ve bunun sonucunda trafiğin serbestçe hareket edemeyerek sıkışık bir hale gelmesi trafik sıkışıklığı, tıkanıklığı ya da yoğunluğu olarak adlandırılmaktadır. Trafiğin sıkışması, düzenli akan trafiğin düzensizleşmesine yol açmaktadır. Düzenli ve düzensiz trafiği geleneksel gaz-sıvı faz geçişine benzetmek mümkündür (Nagatani, 1998). İlerleme ya da araç yoğunluğu hacim veya yoğunluğa, gecikme zamanının tersi de sıcaklığa benzetilebilmektedir. Trafik akışı ile gaz-sıvı faz geçişi arasındaki bu benzerlikler sayesinde trafik akışları modellenebilmektedir. Hız ile araç sayısı arasındaki ilişkinin trafik yoğunluğuna olan etkisi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. 1: Araç yoğunluğunun trafik yoğunluğu akış hızına etkisi.

Temelde trafik akışı mikroskobik ve makroskobik model olmak üzere iki ölçekte değerlendirilmektedir. Mikroskobik ölçekte trafikteki tüm araçlar tek tek

incelenmekteyken makroskobik ölçekte sistem genelinin ortalama değerlerinin kullanıldığı modelleme yöntemleri yer almaktadır. Trafik sıkışıklığı, trafik akışındaki en önemli problem olan mikroskobik bir model olma özelliği taşımaktadır (Ganji ve diğ., 2011). Son yıllarda trafik sıkışıklığı probleminin çözülebilmesi için çeşitli yaklaşımlar ileri sürülmüştür. Bunlara örnek olarak hidrodinamik ve/veya kinetik kuramlar, termodinamik yaklaşım gibi çeşitli yaklaşımları göstermek mümkündür. Khomenko ve diğerleri (Khomenko ve diğ., 2004) trafik sıkışıklığı sorununu Lorenz sistemiyle ele almış ve üçüncü dereceden doğrusal olmayan korunumsuz sarkaç modeline dönüştürmüştür.

Trafik yoğunluğu dünya genelinde önemli bir sorundur. Kentleşme, nüfus oranı ve araç sayısındaki artış dünya çapındaki trafik yoğunluğunu da arttırmıştır (Tyagi ve diğ., 2012). Trafik yoğunluğunun yarattığı olumsuz etkileri altı başlıkta toplamak mümkündür. Bu etkiler şunlardır (Tyagi ve diğ., 2012);

- Şehrin altyapısal verimliliğini azaltmaktadır.
- Yolculuk sürelerini arttırmaktadır.
- Yakıt tüketimini arttırmaktadır.
- Hava kirliliğini arttırmaktadır.
- Araç kullanıcılarının daha çok yorulmasına neden olmaktadır.
- Araç kullanıcılarında öfke kontrol problemleri gibi psikolojik sorunlara yol açmaktadır.

Bu etkilerden de anlaşılacağı üzere trafik yoğunluğunun giderilmesi şehrin altyapısal verimlilik düzeyini artırmanın yanı sıra yolculuk sürelerini kısaltacak, yakıt tüketimini ve hava kirliliğini azaltacak ve araç kullanıcılarının hem daha az yorulmasını hem de daha az sayıda sinirsel sorun yaşamasını sağlayabilecektir. Trafik yoğunluğunu ortadan kaldırmak için farklı dönemlerde yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Akıllı ulaşım sistemleri (ITS – Intelligent Transportation System) özellikle de gelişmiş ülkelerde ulaşım sistemleri için çözümler üretmiştir. Araç tespiti, araç hızı tespiti, kaza tespiti, trafik yoğunluğu tespiti, şerit kontrolü ve akıllı trafik ışık kontrolleri gibi unsurlar bu çözümlerden bazılarıdır. Bu çözümlerde ilk aşamada hızölçer, manyetik detektör gibi algılayıcılar kullanılmıştır (Tyagi ve diğ., 2012). Bununla birlikte, destek ve kurulum yönünden çok maliyetli olmalarına ek olarak bu süreçlerde trafik akışını engellemeleri sebebiyle bu algılayıcıların geniş ölçekli

uygulanabilirlikleri yoktur. Bu nedenle son yıllarda görüntü, ses, radar, lazer, ultrasound gibi algılayıcılara yönelik çalışmalar artmıştır (Tyagi ve diğ., 2012).

Akıllı ulaşım sistemleri sayesinde kamera görüntüleriyle trafik yoğunluğu tespiti ve araç takibi çalışmaları yapılabilmektedir ancak çevresel perdelemeler ve farklı ışık ortamları nedeniyle bu çalışmalar amaçlarını tam anlamıyla karşılayamamaktadır. Görüntü işleme teknolojisindeki gelişmelere karşılık bu problemlere yüksek performanslı çözümler getirilmemiştir. Bununla birlikte görüntü işleme teknolojisi çok fazla hesaplama gerektiren fonksiyonlara sahip olması yönüyle çok nitelikli ekipmanlara ihtiyaç duymaktadır. Bu durum, maliyetlerin önemli ölçüde artmasına yol açmakta ve bu teknolojilerin geniş çaplı uygulamalarını zorlaştırmaktadır (Kato ve diğ., 2004).

Gelişmiş ülkelerdeki akıllı ulaşım sistemlerinin büyük bölümü trafik yoğunluğunu ölçmede manyetik loop detektörünü kullanmaktadır. Bu sensör kurulum ve teknik destek açısından oldukça maliyetlidir. Buna ek olarak, sensör üzerinde yapılması gereken bakımlar için tüm trafik akışının kesilmesi gerekmektedir. Şerit temelli çalışan bu sistem trafik yoğunluğunun ve şerit ihlallerinin sıkça yaşandığı bölgelerde oldukça iyi çalışmaktadır (Coifman ve Cassidy, 2002). Akıllı ulaşım sistemlerinde akustik sinyal çalışmaları da son yıllarda büyük hız kazanmıştır (Tyagi ve diğ., 2012). Trafik yoğunluğu tespiti, araç tespiti, araç hızı, araç tanımlama gibi uygulamaların akustik sinyaller kullanılarak gerçekleştirilmesi yönünde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Kato, 2005). Akustik sinyal teknik destek ve kurulum açısından düşük maliyete sahip olması ve kurulum ya da destek zamanlarında trafiğin akışını engellememesi yönüyle oldukça kullanışlıdır. Bu nedenle akustik sinyal geniş çaplı uygulamalar için de uygundur (Tyagi ve diğ., 2012).

Trafik yoğunluğu sorununa gelişmiş teknolojilerin yaygın kullanıldığı ülkelerden bakıldığında akıllı ulaşım sistemleri gibi çözüm unsurları akla gelirken, altyapı sorunlarının yoğun olduğu ülkelerde kavşaklardan kaynaklı yoğunluğun incelenmesi daha fazla ön plana çıkmaktadır. Kavşaklar, iki veya daha fazla yönden akan trafiğin kesiştiği, ayrıldığı ve birleştiği ortak alanlardır. Farklı yönlerdeki araç trafiği göz önüne alındığında, kavşaklarda trafik kazalarının meydana gelme olasılığı daha yüksektir. Kavşaklar, çevresel koşullara uyum sağlayacak, kaza olasılığı ve gecikme minimum, tesis bakım masrafları düşük ve maksimum kapasite olacak şekilde tasarlanmalıdır. Kavşak tasarımında dikkat edilecek noktalar şöyle sıralanabilir :

- Sürücünün kafasını karıştıracak karmaşık tasarımlar tercih edilmemelidir,
- Çapraz trafik akışları mümkün olduğunca az olmalıdır,
- Kavşaktan geçen ana trafik akışı en az akış yönünde olmalıdır,
- Homojen olmayan akışlar ayrılmalıdır,
- Kavşaktaki hız fiziki yapı ile kontrol edilmelidir,
- Her yönden gelen araçların durumu incelenmelidir,
- Kazalara neden olmayacak şekilde düzenlemeler yapılmalıdır,
- Alternatif çözümler değerlendirilmelidir.

Kavşaklar, kesiştikleri platformun durumuna göre iki gruba ayrılır: eş düzey (hemzemin) kavşaklar ve farklı düzeyli kavşaklar. Farklı düzeyli kavşaklar, trafik hacminin ve trafik yoğunluğunun çok yüksek olduğu geçiş alanlarında uygulanmaktadır. Bu tür kavşakların maliyeti oldukça yüksektir. Öte yandan eş düzey kavşaklar, trafik kazası ve trafik yoğunluğu gibi sorunların daha sık görüldüğü kavşak türleridir.

Bu çalışmada, kavşaklarda oluşan trafik yoğunluğundan kaynaklanan hava kirliliği maliyetinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, sözü edildiği üzere trafik yoğunluğunun daha sık görüldüğü eş düzey kavşaklar, konu kapsamına daha detaylı dahil edilmektedir. Çalışmada, kavramsal çerçeve ve söz konusu maliyetin belirlenmesi için uygulanan simülasyon modellemesine ilişkin açıklamalar sunulmaktadır. Bu süreçte, literatür taraması ile ilgili kaynaklardan faydalanılmış, gerekli bilgiler bu kaynaklar ışığında verilmiştir. Araştırmanın uygulama kısmında ise, gerekli trafik yoğunluğuna ve basit bir geometriye sahip bir kavşak belirlenip mevcut durum modellemeleri ile öneri tasarımlar çalışılmıştır. Simülasyon sonuçları detaylı şekilde analiz edilmiş, hava kirliliği maliyeti ve öneriler ile oluşması muhtemel fayda ortaya konmuştur. Çalışma, beş bölümde tamamlanmıştır. Birinci bölüm, çalışmanın temel konusuna yönelik açıklamaların verildiği ve araştırma amacı ile kapsamının belirlendiği giriş bölümüdür. İkinci bölümde, kavşaklar, trafik yoğunluğu ve hava kirliliği olarak üç ana başlıkta ifade edilebilecek olan, çalışmanın temel konusuna yönelik bilgiler sunulmaktadır. Ayrıca bu bölümde, kavşakların simülasyon ile modellenmesine yönelik metodolojik yaklaşımlar da ele alınmıştır. Üçüncü bölüm, araştırmanın metodolojisini oluşturmakta olup burada çalışmanın gereç ve yöntemleri verilmiştir. Dördüncü bölümde araştırma uygulaması kapsamında bulgular, beşinci bölümde ise sonuç ve değerlendirme sunularak, çalışma tamamlanmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Kavşak Tanımı ve Sınıflandırması

2.1.1 Eş düzey kavşaklar

Eş düzey kavşaklar, trafik akımlarında kavşakların kesiştikleri düzeyin aynı olduğu kavşak tipi olarak tanımlanmaktadır. Maliyet ve uygulanabilirlik bağlamında daha sık tercih edilen eş düzey kavşaklar, bu avantajlarına karşın trafik kazaları, trafik yoğunluğu, gecikme gibi dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Eş düzey kavşaklar da denetim biçimlerine göre sinyalize, sinyalize olmayan ve dönel kavşak olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Yılmaz, 2022).

Sinyalizasyon, trafik akımlarını kontrol eden ve yönlendiren sistemler olarak ifade edilmektedir. Sinyalize eş düzey kavşaklar ise bu sistemler ile denetlenen kavşaklardır. Sinyalizasyon ile düzenli bir trafik akışı oluşturulabilmekte ve böylelikle yoğunluk daha kontrol edilebilir hale getirilmektedir (Karagöz, 2018). Trafik yoğunluğunu azaltmaya yönelik ilk önlem genellikle mevcut yolların genişletilmesi ya da yeni yolların yapılmasıdır. Bununla birlikte, özellikle de tarihsel açıdan değerli kent merkezlerinin yeni yollar için yıkılması oldukça güçtür. Bu nedenle bu tür yerleşim yerlerindeki trafik akışını kapasiteye uygun düzeyde tutmak için yapılması gereken yol boyunca trafik akışını kontrol altında tutmaktır. Kavşaklar, yol ağındaki bu kontrol noktalarıdır. Kavşakların sinyalizasyonla desteklenmesi yerine katlı olarak inşa edilmesi taşıt yoğunluğunun kontrol edilemez bir boyuta gelmesine ve böylelikle trafik sıkışıklıklarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yoğun trafik akışına sahip kent merkezlerindeki en uygun kontrol yöntemi kavşakların sinyalizasyon sistemiyle desteklenmesidir. Taşıtların daha iyi seyretmesi taşıt hareketliliğine yönelik uygulamaların odak noktasıdır. Bu kapsamda yol altyapısı düzenleyerek kapasiteyi yükseltmek, kavşakları geometrik olarak düzenleyerek denetim sistemleri kurmak, yol genişletme veya daraltma uygulamalarıyla şerit genişliği sağlamak, yolun kaplama özelliklerini değiştirmek, yol kenarı otoparklarını kısıtlamak, ulaşım koordinatlarının sürekliliğini sağlamak, servis ve yaya trafiğini düzenlemek, yollarda işletme önlemleri

almak, bölgesel trafik kontrol sistemleri oluşturmak, trafik levha ve çizgilerini düzenlemek, sinyalizasyon sistemini eşgüdümlü hale getirmek; otobüs, taksi ve durak yerlerini belirlemek gibi düzenlemeler yapılmaktadır (Acar, 1992).

Dönel kavşaklarda trafik büyük merkez adanın etrafından dolaşarak akmaktadır. Dönel kavşak daha yüksek hacimli yollarda kullanılması, kavşağın daha geniş bir alanı kaplaması ve kullanılan adanın çap yönünden daha büyük olması yönüyle dairesel adalardan ayrılmaktadır. Trafik kazalarının fazlaca yaşandığı, trafik tıkanıklık düzeyinin yüksek olduğu, geometrisi ve yapısı bozuk kavşakların dönel kavşak olarak kullanılması yararlı olacaktır. Dönel kavşaklar ana yoldan gelen akımı yavaşlatarak tali yoldan gelen akımın ana yola katılmasını kolaylaştırmaktadır. Bunun yanı sıra peyzaj yapılması halinde estetik bir görüntüye kavuşmaktadır. Kavşaklardaki tıkanıklıkların ve kuyrukların büyük bölümü dönel kavşak uygulamasıyla ortadan kaldırılabilmektedir. Tüm bunlara ek olarak dönel kavşaklar trafik ışıklarına kıyasla daha güvenli olmanın yanı sıra bakım maliyeti açısından da daha az gidere yol açmaktadır. Buna karşılık peyzajın sürekli düzenleme gerektirmesi, büyük taşıtların ada etrafından dolaşırken sorun yaşaması, yol kenarı park yerleri ve yaya geçitleri için yeni düzenlemelerin gerekmesi dönel kavşakların dezavantajları olarak öne çıkmaktadır (Özinal ve Uz, 2021).

2.1.2 Farklı seviyeli kavşaklar

Farklı düzeyde kavşaklar, kesişen trafik akışlarının farklı derecelere aktarıldığı kavşaktır. Bu tip trafik kazalarına ve gecikmelere karşı ciddi bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu kavşağın dezavantajı, tasarım maliyetinin oldukça yüksek olması ve şehirde kavşak için kullanılacak alanın sınırlı olmasıdır. Bu nedenle, bu tipteki kavşakların inşasının zor olduğunu söylemek mümkündür. Öte yandan, topoğrafik koşullar nedeniyle eş düzey kavşak uygulamasının daha zor ve pahalı olduğu yerlerde, otoyollarda ve trafik yoğunluğunun azaltılamadığı yerlerde farklı düzey kavşak tasarımı yapılması zorunludur. Farklı düzey kavşak kapasitesini etkileyen faktörler; kavşağın geometrik yapısı, terminal giriş çıkışlarının geometrik yapısı ve ana yollardaki trafik yoğunluğudur. Köprülülük ya da katlı kavşak olarak da adlandırılan bu tip, trafik hacminin fazla olduğu alanlarda, kapasite ve güvenliğin yetersiz olduğu durumlarda yol güvenliğini sağlamak için tercih edilmektedir (Yılmaz, 2022).

2.2 Ülkemizde ve Dünya’da Trafik Kavramı

Türkiye’deki en eski karayolunun M. Ö. 2000 yılında Hititler tarafından yapıldığı bilinmektedir. Karadeniz ve Ege kıyılarına kadar uzanan bu yol genel olarak İç Anadolu’nun başlıca yerleşim merkezlerini birbirine bağlamak amacıyla kurulmuştur. Pers İmparatorluğu döneminde ise imparatorluk başkenti Susa ile Musul, Mardin, Diyarbakır, Malatya ve Sivas illerini geçerek Ege Bölgesi’ndeki ünlü kent Sardes’i birbirine bağlayan; buna ek olarak Ege kıyılarında yer alan İzmir, Efes, Milet, Foça gibi yerleşim yerlerini de kapsayan 2600 kilometre uzunluğunda bir kral yolu yapılmıştır. Roma İmparatorluğu döneminde ise batı ucu İstanbul’a kadar uzanan ve Anadolu’nun tümünü kapsayan pek çok yol inşa edilmiştir. Selçukluların yapmış olduğu yeni bir yol ise İstanbul ile Konya’yı bağlamış; Gülek Boğazı’nı geçerek Tarsus, Antalya, Kayseri, Sivas ve Erzincan üzerinden Erzurum’a kadar uzanmıştır. Osmanlı İmparatorluğu döneminde genellikle Selçukluların yapmış olduğu yollar kullanılmıştır. Ümit Burnu’nun bulunması ve Avrupa ile Hindistan arasında deniz ulaşımının mümkün hale gelmesi, Anadolu’da bulunan karayollarının önemini kaybetmesine neden olmuştur. Cumhuriyet döneminin ilk yıllarında demiryolu taşımacılığına önem verilmiş olmakla birlikte ilerleyen dönemlerde karayolu taşımacılığı daha öncelikli hale gelmiştir.

Türkiye toprakları pek çok medeniyete ev sahipliği yapmış olduğu için tarihteki önemli karayollarının büyük bir bölümü Türkiye üzerinden geçmiştir. İpek Yolu, Kral Yolu gibi dönemin önemli ticaret yolları Türkiye’de bulunmaktadır. Yer şekilleri, Türkiye’deki yolların doğrultusunu önemli ölçüde etkilemektedir. Yollar genellikle batı-doğu doğrultusunda uzanmaktadır. Yük ve yolcu taşımacılığının önemli bir bölümü için karayollarından faydalanılmaktadır. Karayolları, ülkenin en ücra köşelerine dahi ulaşımı mümkün kılması nedeniyle hızlı bir biçimde gelişmiştir. 19’uncu yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte kasabaların kentlere, kentlerin ise demiryollarına ve iskelelere bağlanmalarını sağlayan karayolları inşa edilmiş fakat Osmanlı İmparatorluğu’nun son döneminde savaşların da etkisiyle bu yollar bakımsız hale gelmiştir. Cumhuriyetin ilk yıllarında ise demiryoluna verilen önem nedeniyle yalnızca mevcut karayollarının iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapıp yeni karayolları inşa edilmemiştir. Osmanlı döneminde 14 bin kilometre şose, 4 bin kilometre toprak yol bulunmaktayken cumhuriyetin ilanı ile birlikte toplam yol uzunluğu 18 bin 300 kilometreyi bulmuştur. Türkiye’de karayolu yapımı İkinci Dünya

Savaşı'nın ardından önem kazanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nin yardımları ve 1950 yılında çıkarılan Karayolları Kanunu uyarınca yol yapımının Karayolları Genel Müdürlüğü'ne devredilerek karayolları yapımına ayrılan ödeneğin arttırılmasıyla birlikte karayolu yapımı artmıştır (Gözenç, ve diğ., 1998). Türkiye'deki karayolları idari bir sınıflandırmayla otoyollar, devlet yolları, il yolları ve köy yolları olmak üzere dört farklı grupta toplanmıştır. Bunlara ek olarak trafik değeri ve geometrisine göre ana yol ve tali yol; yolu kullanan taşıt cinsine göre otoyol, yaya yolu, bisiklet yolu ve otobüs yolu; trafik türüne göre gezi yolu, konut yolu, iş-ticaret yolu; yol platformunun durumuna göre bölünmüş ve bölünmemiş yol; trafiğin akış yönüne göre tek yönlü yol ve çift yönlü yol; kaplama durumuna göre ise asfalt yol, toprak yol, parke yol ve stabilize yol olarak sınıflandırmalar mevcuttur (Akpınar, 2010).

Trafik kavramının tarihçesinin temelinde insanların hareket ederek bir yerden başka bir yere gitme ve ulaşma isteği yer almaktadır. Yaklaşık 4 bin yıl önce, insanlar bu amaçlarını gerçekleştirebilmek için hayvanları kullanmıştır. M.Ö 2000'li yıllarda ise tekerleğin icadıyla birlikte insanların hareket hızı da önemli ölçüde artmıştır. “Kendi kendine hareket eden” anlamında “otomobil” olarak isimlendirilen ilk araç, 1771'de Fransa'da üretilmiştir ve o dönemde hareket için buhar gücünü kullanmıştır. Motorlu ilk araç 1862 yılında İngiltere'de üretilirken halka satılmak üzere tasarlanmış ilk otomobil 1885 yılında Almanya'da bulunan KarlBenz atölyesinde üretilmiştir. Türkiye'deki ilk yerli araç, 1960'lı yıllarda üretilen Anadol'dur (EGM, 2009).

Türkiye'de 1920'li yıllarda ulaşım ile ilgili olarak çalışmalar yapılmış ve karayolu, denizyolu, havayolu ve demiryolu ulaşimleri arasında uyum sağlanması gerekliliğinden bahsedilmiştir. Buna karşılık, özellikle İkinci Dünya Savaşı'nın ardından yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte, Türkiye'de karayolu sistemi ön plana çıkmıştır. Daha yüksek hızlara ulaşabilen modern otomobillerin üretilmesiyle birlikte Türkiye'de karayolu taşımacılığı hızlı bir biçimde gelişmiştir. “Mal ve can emniyetini tehlikeye düşürecek şekilde taşıt kullananları takip ve kontrol etme” yetkisi, 765 Sayılı Türk Ceza Kanunu'nun 1 Temmuz 1926'da yürürlüğe giren 564 ve 565'inci maddeleriyle genel zabıtaya verilmiştir. 14 Nisan 1930 tarihli, 1580 Sayılı Belediye Kanunu ile ise trafik düzenini sağlamak görevi belediyelerin olmuştur. Bu durum, merkezi bir yönetim mekanizmasının olmayışı nedeniyle trafik düzenleme görevlerinin yerine getirilmesinde aksaklıklar yaşanması sonucunu doğurmuştur. Bu nedenle 1 Mart 1950'de yürürlüğe giren 5539 Sayılı Kanun'la birlikte Karayolları

Genel Müdürlüğü kurulmuş ve Türkiye’de karayolu altyapısı bu hamleyle birlikte daha hızlı bir biçimde gelişmeye başlamıştır. Karayolu ağının genişlemesi ve karayolu kullanıcılarının sayısının artmasıyla birlikte trafik düzenleme ve denetimlerine ilişkin yeni düzenlemelere gidilmiş, bu amaçla çıkarılan 6085 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu 18 Mayıs 1953’te 8411 Sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Bu kanunun 3’üncü maddesi uyarınca trafik düzen ve denetiminin Emniyet Genel Müdürlüğü’nün teşkil edeceği bölge ve il trafik zabıtası tarafından yapılması öngörülmüştür. Bu kanundaki eksiklerin giderilmesi, denetim mekanizmalarının daha işlevsel hale getirilmesi ve günün şartlarına uyum sağlanabilmesi amacıyla da 2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu, 18 Ekim 1983 tarihli ve 18195 Sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Gerekli görüldüğü takdirde üzerinde değişiklikler yapılabilen bu kanun halen yürürlükte olup trafik zabıtasına önemli yetkiler ve görevler yüklemiştir (EGM, 2009).

Karayollarının hızla gelişmesi ve trafik yoğunluğunun artması, trafik yönetiminin de öneminin anlaşılmasını sağlamıştır. Motorlu-motorsuz araçlar ve yayaların güvenli hareketini sağlamayı amaçlayan trafik yönetimi, yol kapasitesinin artırılması ve trafik yoğunluğunun kontrol altında tutulması gibi önlemler ve yönlendirici uygulamalar olarak tanımlanmaktadır (Yorulmaz, 2001). Özellikle yeni ulaşım altyapısının sağlanmasının mümkün olmadığı alanlarda trafik akışının iyileştirilmesi amacıyla sürekli biçimde gerçekleştirilen düzenlemeler olarak gerçekleştirilen trafik yönetimi ile trafik yoğunluğu düzenlenebilmektedir. Bu kapsamda alınan önlemler taşıt hareketliliğine yönelik teknikler, yolcu hareketliliğine yönelik teknikler ve taşıt talebine yönelik teknikler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

Taşıt hareketliliğine yönelik teknikler, trafik yoğunluğunun azaltılması için mevcut yolların genişletilmesi, yeni yolların yapılması gibi düzenlemeleri kapsamaktadır. Tarihi değere sahip kentsel alanlarda yeni yollar için yıkım çalışmaları büyük bir güçlüğü yol açtığından, trafik akışının kontrol altında tutulması daha fazla tercih edilmektedir. Yol ağındaki kontrol noktaları ise kavşaklardır. Kavşakların sinyalizasyonla desteklenmesi yerine katlı olarak inşa edilmesi taşıt yoğunluğunun kontrol edilemez bir boyuta gelmesine ve böylelikle trafik sıkışıklıklarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yoğun trafik akışına sahip kent merkezlerindeki en uygun kontrol yöntemi kavşakların sinyalizasyon sistemiyle desteklenmesidir. Taşıtların daha iyi seyretmesi taşıt hareketliliğine yönelik uygulamaların odak

noktasıdır. Bu kapsamda yol altyapısı düzenleyerek kapasiteyi yükseltmek, kavşakları geometrik olarak düzenleyerek denetim sistemleri kurmak, yol genişletme veya daraltma uygulamalarıyla şerit genişliği sağlamak, yolun kaplama özelliklerini değiştirmek, yol kenarı otoparklarını kısıtlamak, ulaşım koordinatlarının sürekliliğini sağlamak, servis ve yaya trafiğini düzenlemek, yollarda işletme önlemleri almak, bölgesel trafik kontrol sistemleri oluşturmak, trafik levha ve çizgilerini düzenlemek, sinyalizasyon sistemini eşgüdümlü hale getirmek; otobüs, taksi ve durak yerlerini belirlemek gibi düzenlemeler yapılmaktadır (Acar, 1992).

Yolcu hareketliliğine yönelik teknikler, trafik yoğunluğu sorunlarının çözülmesi için kent içi ulaşımında mümkün olduğu kadar toplu taşımanın tercih edilmesi, toplu taşımanın teşvik edilmesine dayanmaktadır. Özel araç kullanımı ulaşım altyapısının verimini azaltmakta, maliyetleri ve çevre kirliliğini artırmakta, enerji tüketimine sebep olmaktadır. Yolcu hareketliliğine yönelik uygulamaların odak noktası yolcuların daha iyi seyahat etmelerini sağlamaktır. Bu kapsamda toplu taşıma işletmeciliğini geliştirmek, hat sistemlerini düzenlemek, otobüslere öncelik tanınan otobüs yolu, otobüs şeridi ve sinyalizasyon gibi uygulamaları hayata geçirmek, yaya alanlarını ve yürümeyi yaygınlaştırmak gibi çalışmalar yapılmaktadır (Berkmen, 1978).

Taşıt talebine yönelik tekniklerde bireylere mümkün olduğunca fazla alternatif sağlamak ve özel araç kullanımı azaltmak amaçlanmaktadır. Bununla birlikte bireyler açısından özel otomobilin toplu taşımaya kıyasla çoğunlukla daha üstün olduğu da bilinmektedir. Doğrudan kapıdan kapıya ulaşım sağlaması, oturarak ve beklemeden seyahat etme gibi imkanlar nedeniyle özel otomobiller tercih edilebilmektedir. Bunlara ek olarak bireyler özel otomobilde bağımsızlık ve mahremiyet de sağlayabilmektedir. Bu durum, özel otomobil kullanıcılarını toplu taşıma sistemlerine teşvik etmeyi zorlaştırmaktadır. Yapılan bir araştırma, toplu taşımanın ücretsiz olması durumunda dahi özel araç sahiplerinin yalnızca %15'inin toplu taşımayı tercih etmeyi düşünmediğini göstermektedir. Toplu taşımanın cazip hale gelmesi için yalnızca hizmet düzeyi ve ücret politikalarının yeterli olmadığı, bunlara ek olarak ekonomik, fiziksel ve yönetsel açıdan caydırıcı uygulamalara da ihtiyaç duyulduğu açıktır. Talep yönetimi olarak adlandırılan bu uygulamalar şunlardır (Acar, 1992):

Fiziksel Caydırıcılar: Fiziksel caydırıcılar trafik sinyalleri veya fiziksel engeller, bölgeleme sistemi ve otopark sayısının azaltılması şeklinde üç farklı biçimde uygulanabilmektedir. Trafik sinyalleri ve fiziksel engeller uygulaması kapsamında

kent merkezlerine giden yollar üzerine gecikme yaratmak amacıyla bilinçli olarak trafik sinyalleri ve fiziksel engeller yerleştirilmektedir. Toplu taşımacılık yapan taşıtlar bu uygulamadan muaf tutulmaktadır. Bu sinyaller, taşıtlara verilen geçiş süresini kısaltmaktadır. Sürücüler üzerinde bu yolla biktırıcı etki yapılmaya çalışılmaktadır. Aynı doğrultuda, yol üzerindeki engellerin de kapasiteyi azaltması, hızı azaltmayı mecburi kılması ve çokça dur-kalk hareketine neden olması hedeflenmektedir. Bu uygulamaların trafik sıkışıklığının yoğun olarak yaşandığı sabah ve akşam saatlerinde yapılması, toplu taşıma araçlarına öncelik verilmesiyle birlikte özel araç sahipleri üzerinde psikolojik etki yaratabilmektedir. Bölgeleme sisteminde ise kent merkezleri belirli bölgelere ayrılmakta ve bölgeler arasındaki geçiş özel araçlar için zorlaştırılmaktayken toplu taşıma araçlarının doğrudan geçişi mümkün kılınmaktadır. Diğer bir yaklaşım olan otopark kullanımının azaltılması, kent merkezi ve kent merkezine yakın bölgelerdeki otopark sayısının kısıtlanmasını öngörmektedir. Bu sayede katlı otopark benzeri yüksek kapasite ve maliyet gerektiren yatırımlar tamamen sona ermekte, merkezi alanlardaki otopark miktarı sabit tutulabilmekte ve hatta azaltılabilmekte, yol üzerine park etmiş araçlar daha sıkı denetlenebilmektedir. Otopark sayısının azaltılması özel araç sahiplerinin yürüyüş mesafesini arttıracığından, özel araç sahibi olmanın avantajlarını azaltarak bireylerin toplu taşımaya yönelmesine yardımcı olabilmektedir. Bu yöntem kent merkezinde park edebilecek araç sayısını sınırlayarak kentin genel trafik ağı üzerindeki yoğunluğu da azaltmaktadır.

Ekonomik Caydırıcılar: Ekonomik caydırıcı unsurların ilki kent merkezindeki otopark ücretlerinin arttırılmasıdır. Bu unsurla amaçlanan otoparklara talebi azaltmak ve böylelikle kentsel trafik ağının yükünü hafifletmektir. Diğer bir unsur olan merkezi alana girişlerin ücretlendirilmesi eylemi ise merkezi alanlara girişlerde fiziksel bir sınırın bulunması ve bu sınırın kapılarla kontrol edilip, kapılarda bölgeye giriş ücretleri toplanması öngörmektedir. Denetim ve alınan ücret miktarı bu uygulamada önemli bir caydırıcı olmaktadır. Merkezi alandaki yolların ücretli hale getirilmesi de ekonomik açıdan caydırıcı olabilecek bir diğer unsurdur. Bu uygulama, taşıtlara sayaç takılmasını gerektiren teknolojik bir uygulamadır. Bu sayaçlar aracın kent merkezine girdiği ve çıktığı zamanı saptayarak aracın kent merkezinde geçirdiği toplam süreyi hesaplamaktadır. Taşıtlar sahipleri, sayaçların kaydettiği bu sürelerle uygun olarak gerekli ödemeleri belirli zamanlarda ilgili merkezlere yapmaktadır.

Yönetmelik Caydırıcılar: Yoğun trafiğin bulunduğu merkezi alanlara giriş ve bu alanda kalış için aylık veya haftalık, ücretli ya da ücretsiz izin alınması öngörülmektedir. İzin belgesi alabilmek için gereken bürokratik işlemler ve masraflar bu uygulamada caydırıcı rol oynamaktadır. Özel otomobil konforuna alışmış bireyler, bu konfora alternatif bulabilmeleri halinde özendirici toplu taşıma uygulamalara ilgi duyabilecektir. Bu sebeple toplu taşıma sistemlerinin konforlu, rahat bir yolculuk olanağı sağlaması için çaba gösterilmelidir. Özendirici bir toplu taşıma sisteminin hedeflenen başarıya ulaşabilmesi için bazı koşulları sağlaması gerekmektedir. Bu sistem düzenli bir besleyici sistem, sisteme doğrudan bağlı düzenli bir otopark veya bunların her ikisini içermeli; konforlu, hızlı bir toplu taşıma deneyimi sunabilmeli; özendirici sistemin sonundan seyahat bitiş yerine kadar uzanan düzenli bir dağıtıcı sisteme; dağıtıcı ve besleyici sistemleri de kapsayan tek ücrete sahip olmalıdır (Acar, 1992).

Wegman (1996), karayolu güvenliğinin karayolu trafiğinin kalite göstergesi olduğunu ifade etmiştir (Wegman, 1996). Teknolojinin hızla gelişmesi ve yerleşik kültürdeki değişiklikler, dünya üzerindeki araç sayısının da hızlı biçimde artmasına neden olmaktadır.

Motorlu kara taşıtlarının sayısının hızla artması, karayolu güvenliğinin toplumun her kesimini ilgilendiren önemli bir sorun olmasına neden olmuştur. DSÖ (2015) verileri, dünya üzerindeki kayıtlı motorlu araç sayısının 2007 ile 2010 yılları arasında yaklaşık %15 arttığını göstermektedir (WHO, 2015). Karayolu trafik hizmetlerinin koordinasyonlu ve iyi biçimde yönetilememesi ülkelerde trafik kazaları, zaman kaybı, trafikte düzensizlik ve tıkanıklık, fiziksel ve ruhsal sağlık problemleri, işgücü ve enerji kaybı, devlet otoritesine olan inançta azalma ve maddi kayıplar gibi problemlere yol açabilmektedir (Avcı, 2002).

Yurtdışı literatüründe “traffic calming” olarak bilinen trafik sakinleştirme kavramından Türkiye’de ilk olarak İbrahim Boynukalın 1980 yılında “trafik rahatlatma” ifadesiyle söz etmiştir. Bu kavramın anlamı Hülal Kaplan tarafından 1991 yılında düzenlenen Birinci Kentsel Tasarım ve Uygulamalar Sempozyumu’nda geliştirilerek “Trafik Rahatlatma, Trafik Sakinleştirme, Trafik Yavaşlatma” haline gelmiştir. Kavram, 1995 yılındaki Beşinci Kentsel Tasarım ve Uygulamalar Sempozyumu’nda da yine Hülal Kaplan tarafından “Trafik Durultma Tasarımı”

şeklinde Türkçeleştirilmiştir. Trafik sakinleştirmenin amacı, motorlu taşıtları tasarım yöntemiyle yavaşlatarak kentsel yaşam kalitesini arttırmaktır (Yaşlıca ve diğ., 2001).

Kaplan (1992) trafik rahatlatmayı “özellikle binek taşıt hızlarının kısıtlanması ve ulaşım mekanının (yol, sokak ve meydanlar) geliştirilen tasarım öğeleri ile çevre aktivitelerinin kullanımına uyarlanarak düzenlenmesi” ifadesiyle tanımlamıştır. Karayoluyla ilişkili trafik yavaşlatma çalışmaları, İngiliz Trafik Yavaşlatma Yönetmeliği’nde (1999) ise “karayolu güzergahı üzerindeki çevreyi korumak ve/veya iyileştirmek, güvenlik hissini arttırmak için motorlu taşıt ve taşıt dışı trafiğin hareketliliğini etkileyici önlemler” olarak tanımlanmıştır. Trafik sakinleştirme araçları, çeşitli ilkelerin belirlenmesiyle meydana gelmiştir. Bu ilkeler şunlardır (Kaplan, 1992);

- Taşıt-taşıt ve taşıt-yaya kesişme noktalarındaki durum,
- Kaza düzeyi,
- Taşıt hızları,
- Trafik güvenliği algılama düzeyi,
- Taşıt trafik hacim ve yoğunluğu,
- Hava kirliliği ve trafik gürültüsü düzeyi,
- Mekanda gerçekleştirilen aktivitelerin düzeyi,
- Halkın tasarım aşamasında yer alma düzeyi,
- Bisiklet kullanım düzeyi,
- Sokak görünümü ve yeşil dokunun değerlendirilmesi,
- Hangi sorunun çözüldüğü ve/veya nereye aktarıldığı.

Boynukalın, trafik rahatlatma uygulamalarındaki esas amaçları şu şekilde sıralamıştır (Boynukalın, 1980);

- Ulaşım sürecini daha sağlıklı hale getirmek,
- Barınma çevresini düzeltmek,
- Trafik emniyetini arttırmak,
- Trafik işlevini yeniden düzenlemek,

- Trafik akımını iyileştirmek,
- Modern ulaşım sistemlerini desteklemek,
- Çevre kirliliğine karşı önlemler almak,
- Ulaşım tesislerinin yetkinlik düzeyini arttırmak,
- Sokaklara eskiden sahip oldukları sosyal yaşam kalitesini yeniden kazandırmak,
- Merkezin konut yerleşimini desteklemek,
- Alt ticaret merkezlerinin geliştirilmesine yardımcı olmak,
- Kentsel mekanın kullanıcıları için daha yaşanabilir hale gelmesini sağlamak.

Günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık yarısı kentsel alanlarda yaşamakta ve bu oranın 2050'ye kadar üçte ikiye çıkması öngörülmektedir (CSB, 2021). Kentsel nüfusun giderek artması birçok alanda olduğu gibi ulaşım sistemlerinde de problemlere yol açmaktadır. Trafik yoğunluğunun artışı başlıca bir problem olarak göze çarpmaktadır. Yoğunluğun artması ile birlikte trafikte tıkanmalar meydana gelmektedir.

Trafikteki tıkanmalar şehir içi ve şehir dışında farklı etkenlere bağlıdır. Şehir içinde özellikle pik saatlerdeki toplam taşıt sayısı, şehir dışında ise ağır taşıt oranı ve yol geometrisi önemlidir. (Öztürk, 2005). Nüfusun ve araç sahipliğinin artması ile birlikte şehir içi trafik yoğunluğunun artışı ve trafikte tıkanmalar meydana gelmekte, bu tıkanmalar ise çevresel ve ekonomik sonuçlar doğurmaktadır. Şimdi, kontrol altına alınması için çeşitli teknikler uygulanan ve trafik yönetiminin önemini ön plana çıkaran trafik yoğunluğunun etkileri ele alınacaktır.

2.2.1 Trafik yoğunluğunun çevresel etkileri

Trafik yoğunluğunun en önemli çevresel etkileri gürültü ve hava kirliliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Gürültü kirliliği taşıtların çalışma esnasında çıkardıkları motor sesi ve sürücülerin trafikte oluşturdukları korna seslerinden kaynaklı olarak oluşmaktadır. Birçok bilimsel kaynak gürültünün insan sağlığı ve psikolojisinde olumsuz etkileri olduğuna değinmektedir. Hava kirliliği ise araçların egzozlarından atmosfere yayılan gazlardan oluşur. Çalışmamız hava kirliliği konusu ile sınırlandırılmış olduğundan, çalışmanın bu kısmında emisyon kavramı açıklanacak ve emisyon kaynaklı hava kirliliğine değinilecektir.

2.2.1.1 Emisyon kavramı

Taşıtların çalışması için kullanılan yakıtın içten yanmalı motorlarda yanması sonucu açığa çıkan, çevreye zararlı gazlara emisyon adı verilmektedir (Yakın ve Behçet, 2019). Taşımacılık faaliyetleri ile salınan emisyonlar karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), uçucu organik bileşikler (VOC), nitrojen oksitler (NO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partikül madde (PM) artışına neden olur (Bagieński, 2015). Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından 1970-2010 yılları arasındaki sera gazı emisyonu değerleri %76 karbondioksit (CO₂), %16 metan (CH₄), %6,2 diazotoksit (N₂O) ve % 2 oranında florlu gazdan oluşmaktadır (Dündar ve Kolay, 2021). Fosil atıklardan elde edilen yakıt kullanımı özellikle karbondioksit artışına sebep olmakta olup bu yakıtlar sanayi, ısınma ve ulaşım faaliyetlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. 2016 yılında yapılan Dünya Sera Gazı Emisyonları analizine göre karbondioksit salınımının %11,9'unun karayolu taşımacılığı kaynaklı olduğu belirtilmiştir (Dündar, 2021).

Emisyon, yakıt ve benzerleri maddelerin yakılması sonucunda ayrışma, sentez, buharlaşma gibi işlemler aracılığıyla maddelerin yığılması, taşınması, ayrılması ve diğer mekanik işlemler sonucunda bir tesisten atmosfere yayılmakta olan hava kirleticileri olarak ifade edilmektedir. Azot oksitler oksijen O₂ ve nitrojen N₂'nin (NO, NO₂) bir bileşimleri olarak bilinmektedir. Azot oksitler, yüksek basınç, yüksek sıcaklık, yanma sırasında aşırı oksijen, yanma sırasında yüksek sıcaklık bölgesinde oluşan NO ve NO₂ gazından oluşmaktadır. Havadaki en önemli kirleticilerden biri olarak nitelendirilen Azot oksit (NO_x), genellikle enerji santrallerinden ve motorlu taşıtların egzoz borularından yayılmaktadır. Kentsel alanlardaki ana NO₂ kaynakları, motorlu taşıtların yakıtının yanması, fabrikaların ısıtılması ve endüstriyel prosesler olarak belirtilmektedir. Kentsel alanlardaki konsantrasyonlar ise, en fazla şehir merkezinde meydana gelen trafik emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Azot dioksit, içeriği ve özellikleri nedeniyle atmosferdeki insan sağlığı açısından en zararlı azot bileşiklerinden biridir. Azot oksit NO_x canlı organizmalar için zehirli olmaktadır. Bu nedenle kulak ve göz rahatsızlığına yol açmakta ve sinir sistemini olumsuz yönde etkilemektedir (Gümüşay ve diğ., 2009).

Karbon monoksit (CO), havanın ortalama molar ağırlığına yakın bir molar ağırlığa sahip renksiz, kokusuz bir gazdır. Karbon monoksit iyi dağılamayan, renksiz ve kokusuz bir yapıda olması nedeniyle fark edilemeyen bir gaz olarak ifade edilmektedir

Atmosferde fosil yakıtların, baca gazlarının, orman yangınlarının ve iç mekan sigara dumanının kullanılması büyük miktarlarda karbon monoksit yaymaktadır. Karbon monoksit baş dönmesinin yanı sıra reflekslerin yavaşlamasına da neden olmaktadır. Havada yüksek oranda bulunması sonucunda ölümlere yol açabilmektedir (Aydınlar ve diğ., 2009).

Karbon monoksit, bir yakıttaki karbon tamamen yanmadığında üretilen zehirli bir gazdır. Bunun yanı sıra ülke çapında bütün CO emisyonlarının yaklaşık yüzde 60'ını ve kentsel emisyonların yüzde 95'ini oluşturmaktadır. Bu emisyonlar, özellikle sıkışık alanlarda yüksek CO konsantrasyonlarına neden olmaktadır. Karbondioksit renksiz, yanıcı olmayan bir gazdır. Karbon içeren yakıtların tamamen yanması ile oluşur. Yatkıların motorda yanması belirli bir miktarda karbondioksit ortaya çıkmaktadır. Motorlu taşıtlar tarafından yayılan en zararsız gaz olarak kabul edilse de dünya atmosferindeki karbondioksitin sürekli artması iklim değişikliğine katkıda bulunduğu bilinmektedir. Artan karbon monoksit, güneşin uzun dalgalı radyasyonunun uzaya dönmesini engellemekte ve küresel sıcaklıklar sürekli olarak yükselmesine neden olmaktadır. Yakıtta kullanılan karbondioksit miktarını kontrol etmek mümkündür. Başka bir deyişle, karbondioksit emisyonlarının ek olarak izlenmesi gerekmemektedir. Ancak motorda tam yanmanın sağlanması gerekmektedir. CO kan dolaşımına girer ve vücudun organlarında ve dokularında O₂ dağılımının azalmasına yol açmaktadır. CO'ya maruz kalmak yalnızca sağlıklı insanları değil aynı zamanda hasta insanları da etkilemektedir. Yüksek CO seviyeleri, zayıf görüğe, çalışma yeteneğinin azalmasına, uсталık gerektiren işlere ve öğrenme yeteneğine neden olabilmektedir. ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) halk sağlığı standardına göre, günün ikinci 8 saati için maksimum ortalama CO konsantrasyonu milyonda 9'u aşmaması gerekmektedir (Şenveli, 2008).

Atmosferde gazdan başka bileşenler de bulunmaktadır. Doğal veya insan yapımı gazlarda sıvı ve katı parçacıkların süspansiyonu ile üretilen toz ya da partikül madde adı verilen kirlenici türlerinin çeşitli iklimsel ve hijyenik etkiler nedeniyle önem arz ettikleri belirtilmektedir . Bu asılı maddeler çok ince olmakta ve havada koloidal süspansiyon oluşturmaları durumu ise aerosol olarak adlandırılmaktadır. Bu aerosoller doğal sis olayının temel etkeni olmakta ve kirlenmeye bağlı yapay sis olaylarında büyük öcude etkili olmaktadır. Araçlarda yakıtın yanması, üretim süreçleri ve ısıtma ihtiyaçları sonucunda partikül madde oluşur. Katı bir malzeme olan toz, endüstriyel ve

termal atık gazlarla birlikte doğrudan havaya salınan kül, kömür, çimento tozu, kum, talaş ve toprak gibi maddeleri içerir. Hava tozluysa, yani doğal ve yapay parçacıklarla doluysa;

- Görüş mesafesinin kısılmasına neden olmakta,
- Güneş ışınlarının enerji taşıdığı dalga boylarında etkili olarak gelen enerji akışının değişmesini sağlama,
- İnsan, bitki ve hayvan sağlığına olumsuz yönde etki etmektedir.

Öte yandan dizel yakıt az miktarda kükürt içerir. Yakıttaki kükürt silindirde yanarak kükürt dioksit oluşturmaktadır. Bu durum, yüksek konsantrasyonlarda solunum zorluğunun meydana gelmesine yol açabilmektedir. Kükürt dioksit, astım hastaları için on derece tehlikelidir. Ayrıca gözlerde ve mukoza zarlarında rahatsızlığa yol açmaktadır. Hidrokarbon emisyonları motorlu taşıtlarda kullanılan petrolün tamamen yanması, etilen (C_2H_4) ve benzen (C_6H_6) gibi hidrokarbonların çevreye salınmasına neden olmaktadır. Bu hidrokarbonlar havadaki diğer kimyasallarla reaksiyona girmektedir. Bunun sonucunda gözlere ve solunum yollarına zarar verebilmektedir. Benzen gibi bazı hidrokarbonların kanserojen etkileri vardır. Bu kirleticilerin ve bunların atmosferik özelliklerinin neden olduğu kimyasal reaksiyonlardan en önemlisi, floroklorokarbonların yeryüzünü koruyan ozon tabakasına büyük ölçüde zarar verdiği ve dünyayı güneşin ultraviyole (UV) ışınlarından koruduğu fotokimyasal olaylar olarak ifade dilmektedir. Doğal ve insan yapımı sonucunda atmosfere karışan kirleticiler, atmosfere salındıkları anda kimyasal reaksiyonlara yol açmaktadır. Bu kirleticiler hava akımlarıyla karışır ve yayılır, dağılır ve taşınırlar. Bu nedenle söz konusu kirleticilerin doğası, kaynaktan ayrılıp alıcılara ulaştıkça değişime uğrayabilmektedir. Kirlilik genellikle havadaki katı partikül ve kükürt dioksit miktarı ile belirlenmektedir. Ancak organik madde, atmosferdeki kimyasal olaylarda son derece önemli rol üstlenmektedir. Bu durumun sebebi olarak, organik maddenin atmosferde reaksiyona girip girmemesine bakılmaksızın, bir kimyasal reaksiyonun çekirdeğini oluşturmasıdır. Hava kirliliği durumunda kirleticiler ve içerdikleri atmosfer de önemli bir rol oynamaktadır. Hava kirliliği araştırmasının yapıldığı her yerde öncelikle o bölgedeki havanın iklim koşulları ve kimyasal yapısının incelenmesi gerekmektedir. (Ay ve diğ., 2010).

Havadaki partiküllerin %0.01-3'lük kısmını çok zararlı elementler oluşturmaktadır (Yılmazcan, 2010). Ağır metallerin sağlığa zararları, insan dokularında birikmeleri ve

sinerjik etkilerinden kaynaklanmaktadır. Havadaki partiküllerin yanı sıra, yediğimiz besinler ve içtiğimiz su yoluyla vücuda büyük miktarlarda metal partiküller girmektedir. Atmosferik kirliliğin bir parçası olan metaller, fosil yakıtların yanması, üretim süreci ve metal içeren ürünlerin fırınlarında yakılması nedeniyle çevreye salınmaktadır. Bu kapsamda atmosferde büyük miktarlarda bulunan ve insan sağlığına olumsuz etki eden metaller arasında genellikle kurşun, kadmiyum, nikel, cıva ve asbest yer almaktadır. Diğer metallerin bir kısmı insan yaşamı için son derece önemlidir. Ancak, diğer metallerin içeriğinin insan sağlığı açısından bir tehdit oluşturmaması nedeniyle önemli görülmediği ifade edilmektedir. Ancak belirli sınırların ötesinde bulunabilen her metalin insan sağlığına zararlı olduğu bilinmektedir.

2.2.1.2 Taşıt emisyonlarının çevreye etkisi

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlarda gazlar, aerosoller ve partiküller gibi yüzlerce bileşik bulunmaktadır. Motorlu araçlara yönelik olarak temel hava kirleticileri karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), partikül madde (PM), azot oksit (NO_x) ve uçucu organik bileşikler (HC) olarak ifade edilmektedir. Bu kapsamda azot oksit (NO_x) ve uçucu organik bileşikler, troposferik ozona yol açmaktadır. Oksijenin aktif formu olan ozon, ısı ve güneş ışığının etkisi altında hidrokarbonlar ve azot oksitlerin birleşmesi sonucunda meydana gelmektedir. Özellikle insanlarda solunum yollarını büyük ölçüde olumsuz etkilemekte ve yapıları, binaları ve malzemeleri aşındırmaktadır. Ayrıca ormanları ve bitkilerin asit yağmurları şeklinde yok olmalarına neden olmaktadır. Bilinen karbon monoksit kirliliğine ek olarak, artan yer seviyesindeki ozon seviyeleri, stratosferik ozonun faydalarına bakılmaksızın çevre sağlığına son derece zarar verdiği ifade edilmektedir. Motorlu taşıtlardan çıkan egzoz dumanları gazlar, aerosoller ve partiküller şeklinde atmosfere salınmaktadır. Motorlu taşıtlarla ilişkili ana hava kirleticileri karbon monoksit, karbon dioksit, partiküller, azot oksitler ve uçucu organik bileşiklerdir. Söz konusu maddeler özellikle insan solunum yollarına zararlıdır. Ayrıca bulunduğu yerden rüzgar tarafından taşınarak ve asit yağmuru şeklinde başka yerlere ulaşmakta ve bitki örtüsünün yanı sıra ormanları da tahrip etmektedir (Munzuroğlu, 2010).

Bir çevre sorununun başlangıcında ele alınması gereken en ciddi konu trafikle ilgili kirleticilerdir. Motorlu araçlar, hava kirliliği kaynağı olan insan yapımı gazların ve parçacıkların salınmasına katkıda bulunmaktadır. Birçok ülkenin, daha sıkı emisyon önlemleri uygulayarak potansiyel negatif yönlü sağlık etkilerini azaltmada ilerleme

kaydettiği bilinmektedir. Hızlı nüfus artışı, ekonomik toparlanma, artan motorlu taşıt sayısı ve artan bağımlılık, dünya çapında bilimsel araştırmaların artmasına neden olmuştur. Hava kirliliğinin %27'si ulaşım araçlarından kaynaklanmaktadır. Kirleticiler motor tipine göre değişir; Kullanılan iki ana motor türü vardır. Bunlar benzinli ve dizel olarak ifade edilmektedir. Benzinli araçlar için ana emisyon kaynakları arasında lastikler, egzoz boruları, fren balataları, yakıt depoları ve karbüratörler yer almaktadır. Egzoz emisyonlarının üç temel emisyon yapılmaktadır. Bunlar; yanmamış yakıt parçacıklarından siyah duman, yakıtın tamamen yanmasıyla ortaya çıkan gri-beyaz duman, motor yağı ve yanmamış yakıt karışımından meydana gelen mavi duman olarak ifade edilmektedir (Kara, 2013).

Motorlu taşıt egzoz emisyonları da karbondioksit, metan ve azot oksitler gibi yüksek sera gazları nedeniyle küresel ısınmada önemli bir rol oynamaktadır. Havalandırma sistemlerinde ozon tabakasını incelten maddeler olarak kullanılan kurşun, asbest ve kloroflorokarbonların ise diğer zararlı emisyonları ürettikleri belirtilmektedir. Söz konusu emisyonlar, yanmamış yakıtlar ve eksik yanmanın yanı sıra yakıt bileşimi ve yakıt katkı maddeleriyle ilişkilidir. Bunların yanı sıra motorlu taşıt trafiği esnasında yakıt dağılımı, araçların dolumu, depolama ve buharlaşma kayıplarının iyi bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Araçlardan kaynaklanan emisyonlar, araç teknolojisine, kullanılan yakıt ve aracın çalışmasına ve araç tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Motorlu taşıtlar çevrenin; korozyon, aşınma, korozyon dumanları, yakıt buharları, kurşun bileşikler, asbest ve lastik tozu, gaz halindeki sıvılar ve katı atıklar aracılığıyla kirlenmesine yol açmaktadır. Bunların yanı sıra motorlu taşıtlar çevrede dumanlar, yakıt buharları, kurşun bileşikler, asbest ve lastik tozu, korozyon, erozyon, pas, gazlar, sıvılar ve katı atıklardan kaynaklanan kirliliğin oluşmasına neden olmaktadır (Gümrükçüoğlu ve Soylu, 2007). Aşağıda, Türkiye ve dünyada ulaştırma sektörü kaynaklı emisyon değerlerine ilişkin istatistikler sunulmaktadır.

Çizelge 2. 1: Dünya genelinde ulaştırma sektöründen kaynaklı emisyon değerleri (URL-1).

Yıllar	CO2 emisyonu (t)
1990	4,27
1995	4,08
2000	4,11
2005	4,52
2010	4,79
2015	4,81
2020	4,47

Yıllar	CH4 emisyonu (t)
1990	1,33
1995	1,21
2000	1,14
2005	1,13
2010	1,12
2015	1,12
2018	1,09
Yıllar	N2O emisyonu (t)
1990	0,45
1995	0,44
2000	0,41
2005	0,42
2010	0,41
2015	0,41
2018	0,40

Taşıtlardan kaynaklı emisyonlarının hava kirliliğine büyük oranda katkı sağladığı tespit edilmiştir. Bu çerçevede motorlu araçlar şehirdeki (Munzuroğlu, 2010);

- Karbondioksit (CO) emisyonlarının yaklaşık %80'ninden,
- Kurşunun %100'ünden,
- Azot oksitlerin (NOx) %60'ından,
- Hidrokarbon (HC) emisyonlarının yaklaşık %50'sinden sorumludur.

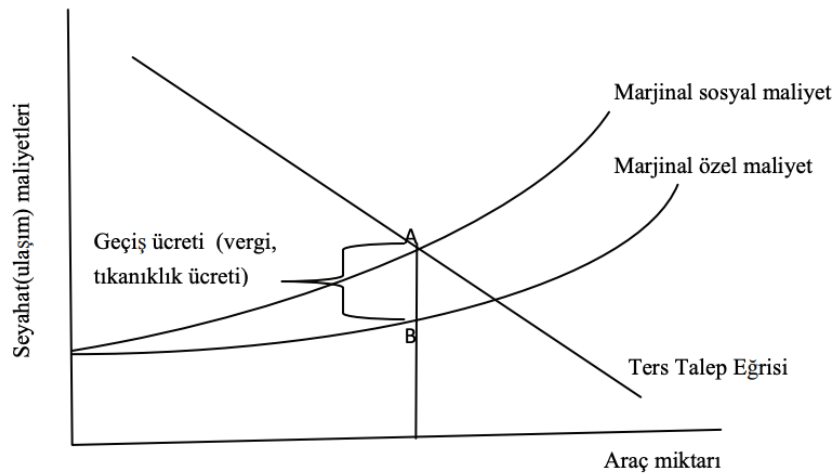
Çizelge 2.2'de görüldüğü üzere, karbon emisyonu değerleri dünya genelinde 2015'te zirveye ulaşmıştır. 2020 verilerinde görülen düşüşün alınan önlemler ve Covid-19 pandemisi etkileri ile ilişkilendirilebileceği düşünülmektedir.

Çizelge 2. 2: Türkiye’de ulaştırma sektöründen kaynaklı emisyon değerleri (URL-2).

Yıllar	CO2 emisyonu (bin ton)
1990	26.250,8
1995	33.180,0
2000	35.490,2
2005	41.043,8
2010	44.382,6
2015	74.271,6
2020	79.032,5
Yıllar	CH4 emisyonu (bin ton)
1990	4,0
1995	5,5
2000	8,9
2005	8,6
2010	11,4
2015	14,5
2020	15,1
Yıllar	N2O emisyonu (bin ton)
1990	2,1
1995	2,7
2000	2,5
2005	2,6
2010	2,4
2015	3,9
2020	4,3

2.2.2 Trafik yoğunluğunun ekonomik etkileri

Kentsel alanlarda yoğun bir klasik dışsallık olan trafik yoğunluğu, pek çok maliyetle sonuçlanmaktadır. Trafik yoğunluğunun maliyetleri, “Tıkanıklık Fiyatlandırması Teorisi” adı verilen bir yaklaşım çerçevesinde değerlendirilmektedir.



Şekil 2. 1: Tıkanıklık fiyatlandırması teorisi (Şentürk, 2012).

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere, yatay eksenle araç sayısı bulunmakta ve dikey eksenle genelleştirilmiş seyahat maliyeti yer almaktadır. Genelleştirilmiş seyahat maliyetinin kapsamı yakıt tüketiminden sigorta bedeline, hatta zaman kaybına kadar tüm faktörleri içermektedir (Şentürk, 2012). Şimdi, çalışma konumuz çerçevesinde bu maliyetler yolculuk süresi, taşıt işletim maliyeti ve hava kirliliği maliyeti olmak üzere üç grupta ele alınacaktır.

2.2.2.1 Yolculuk süresi maliyeti

Yolculuk süresi ulaşım aracına erişim, durakta bekleme, araçta geçen süre ve inilip hedef noktaya erişilene kadar geçirilen sürenin tamamını kapsamaktadır. Yolculuk süresinin genelleştirilmiş maliyeti ise zaman ve maddi değerin toplamını ifade etmektedir. Yolculukta harcanan zaman ile yolculuk süresi birim maliyetinin çarpılmasıyla elde edilen değer, yolculuğun her bölümü için değişkenlik göstermekle beraber özellikle trafik yoğunluğunun bulunduğu alanlarda trafikte bekleme ile artmaktadır (Candan, 2009).

2.2.2.2 Taşıt işletim maliyeti

Bu maliyetler bir araç satın alınması ya da belli bir süre aracın kullanımı için bedel ödenmesini kapsayan, sabit maliyetlerdir. Aracın kullanım ya da satın alım bedelinin yanında bakım, tamir, yenileme gibi masrafları da bu kapsama girmektedir. Trafik yoğunluğunun ve dolayısıyla da araç kullanımının azalması, araçlarda yıpranma bedelini de düşüreceği için toplam işletme maliyetlerinden tasarruf sağlanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, araç büyüdükçe taşıt işletim maliyeti de artış göstermektedir. Akaryakıt, yağ, lastik, bakım, sigorta, tescil-kayıt, satın alma ve yıpranma maliyetleri araç büyüklüğüyle beraber artış göstermektedir. Kişilerde araç satın alma kararı toplu ulaşım hizmetlerinin yeterliliği, bisiklet ve yürüme yollarının gelişmişliği ile de ilişkili olduğu için trafik yoğunluğunu ve dolayısıyla taşıt işletim maliyetini azaltmak için söz konusu hizmetlerin geliştirilmesi gerekmektedir (Candan, 2009).

2.2.2.3 Hava kirliliği maliyeti

Hava kirliliği; atmosferde canlıların sağlığını ve ekolojik dengeyi bozabilecek katı, sıvı ve gaz kirleticilerin bulunması olarak ifade edilmektedir (Cuci ve Polat, 2015). Dünya genelinde artan motorlu taşıt sayısı trafik sorununa sebep olmuştur. Bunun neticesinde ise egzoz emisyonların motorlu taşıtların aktivitesi ile bağlantılı olduğu

anlaşılmıştır. Karayolları, bölgesel ekonomik kalkınmanın hızlandırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda inşaat ve işletme aşamalarında çevre üzerinde büyük bir etkisi vardır. Bununla birlikte trafiğin önemli olumsuz sonuçları bulunmaktadır. Bu sonuçlar arasında hava kirliliği, gürültü kirliliği, su kirliliği, ekolojik kriz gibi etkiler yer almaktadır (Zhao ve Zhao, 2012). Hava kirliliği; havadaki yabancı madde miktarının normal seviyeyi aştığı, canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen ve maddi hasara neden olan bir durumdur. Hava kirliliği üç kaynağa ayrılabilir.

- i. Isınmadan kaynaklanan hava kirliliği,
- ii. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği,
- iii. Sanayiden kaynaklanan hava kirliliği.

Motorlu taşıtlar, hava kirliliğinin ana kaynaklarından biri olarak nitelendirilmektedir. Nüfusun artmasıyla birlikte gelir düzeyi her geçen gün artmakta ve motorlu taşıtların sayısı da hızla artmaktadır. Hidrokarbonlar (HC) ve azot oksitler (NOx) gibi kirleticiler genellikle ulaşımdan kaynaklanmaktadır. Bu kirleticiler insan sağlığını tehdit etmektedir.

Son yıllarda Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonuna (UNECE) üye olan ülkelerin büyük bir kısmında, çevre hava kalitesinin önemli ölçüde iyileştirildiği bilinmektedir. Uzun Menzilli Sınır Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi (2012) aracılığıyla emisyonların azaltılması amacıyla uygulanmış bir dizi tedbir ile başarı elde edilmiştir. Bunun yanı sıra hava kirliliği seviyelerinin hala insan ve çevre sağlığı açısından büyük bir risk oluşturduğuna yönelik kanıtlar görülmektedir (WHO, 2013). ABD, Avrupa ve diğer gelişmiş ülkelerde yürütülen çalışmalar neticesinde elde edilen verilerde, yoğun trafiğin olduğu büyük şehirlerde hava kirliliğinin temel kaynağının motorlu taşıtlar olduğu tespit edilmiştir (Ndoke ve diğ., 2006). Bu kapsamda motorlu taşıtların ve otoyol kullanımının hızla artış göstermesiyle birlikte, karayolları boyunca artan kirleticilerin insan, bitki, hayvan ve çevre açısından büyük problemlere yol açtığı ifade edilmektedir.

Motorlu taşıt kullanımı arttıkça, motorlu taşıt egzozlarındaki zehirli maddeler her geçen gün çevre ve insan sağlığını bozmaktadır. Benzinli ve dizel araçlardan çıkan zehirli emisyonlar, özellikle trafiğin yoğun olduğu kentsel alanlarda çevre ve insan sağlığına önemli zararlar verebilmektedir. Karayolu taşımacılığından kaynaklanan

emisyonlar, yakıt türüne bağlı olarak değişmektedir. Taşıtlarda benzin kullanımı önemli bir karbondioksit kaynağı olarak görülmektedir. Dizel yakıt partikül üretmesine rağmen kurşun içermemektedir. Dizel yakıtların, benzine göre daha az CO ve HC emisyonuna sebep olduğu belirtilmektedir. Trafik sıkışıklığını azaltmak için, genellikle topografik kısıtlamalar nedeniyle kentsel alanlarda tüneller yapılmaktadır. Bu tünellerde yetersiz hava kalitesi ve havalandırma ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (El-Fadel ve Hashisho, 2000).

Bunların yanı sıra otoyol boyunca salınmış olan kirleticilerin azot dioksit NO₂, NO, CO₂, SO₂, CO, toplam askıda partiküller (TSP) ve ağır metaller oldukları tespit edilmiştir (Zhao ve Zhao, 2012). Söz konusu kirleticilerin burun ve göz yanmasının yanı sıra solunum sorunları gibi sağlık problemlerine yol açtıkları ifade edilmektedir. Son yıllarda yürütülen araştırmalarda yoğun biçimde otoyolları kullanan kişilerin akciğer fonksiyon bozukluğu ve astım dahil olmak üzere kronik solunum semptomları geliştirdiği ortaya çıkarılmıştır. Diğer kirleticilerin aksine, ağır metallerin gıda zinciri yoluyla da birikim yapabilecek bir etki yarattığı gözlenmiştir. Son yıllardaki gıda güvenliği araştırmalarının çoğu, ağır metallerin yol kenarındaki topraklarda ve tarım ürünlerinde büyük miktarlarda bulunduğunu göstermiştir (Zhao ve Zhao, 2012).

Hava kirliliği ile ortaya çıkan ekonomik maliyetin değerlendirilmesi için en doğru yaklaşım literatür taramasından faydalanmak olacaktır. Bu kapsamda, farklı ülkeler ve Türkiye’de kirlilik ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi değerlendiren araştırmalara genel bir bakış sunmak, çalışma amacı kapsamında gerekli ve faydalıdır.

Konu üzerine yapılan çalışmalardan Grossman ve Krueger’in (1991) araştırması, ekonomik büyüme ve çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi belirlemede öncü olmuştur. Lean ve Smyth (2010), araştırmalarında ASEAN-5 ülkelerinde ekonomik büyüme ve karbon emisyonu ilişkisini ele almışlardır. Araştırma 1980-2006 dönemini kapsamaktadır ve Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi söz konusu ülkeler için geçerli bulunmuştur.

Lee (2013), çalışmasında 1971-2009 döneminde G20 ülkelerindeki karbon emisyonu ile ekonomik büyüme ve doğrudan yabancı yatırımların ilişkisini incelemiştir. Karbon emisyonu ve doğrudan yabancı yatırımlar arasında bir ilişki bulunmamıştır. Buna karşın karbon emisyonu ve ekonomik büyüme arasında negatif yönlü anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir. Karbon emisyonu düzeyi arttıkça, ekonomik büyüme azalmaktadır.

Baek (2016) ise 1981-2010 döneminde beş Asya ülkesinde benzer bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırma sonuçlarına göre doğrudan yabancı yatırımların karbon emisyonu üzerinde negatif yönlü etkisinin olduğu saptanmıştır. Yıldırım vd. (2017), 1974-2013 döneminde ekonomik büyüme ile doğrudan yabancı yatırımların karbon emisyonuna etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre ekonomik büyüme çevre kirliliğini artırmakta, doğrudan yabancı yatırımlar ise karbon emisyonu üzerinde ters U şeklinde bir etki sağlamaktadır.

Rahman vd. (2020) araştırmalarında 1989-2018 döneminde Litvanya’da ekonomik büyüme ve karbon emisyonu arasındaki ilişkiyi ele almışlardır. Araştırma sonuçlarına göre karbon emisyonu ve ekonomik büyüme arasında ters U şeklinde bir ilişki bulunmaktadır. Önemli bir bulgu olarak Do ve Dinh’in (2020) kişi başına reel ekonomik büyümenin karbon emisyonu üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğunu ortaya koyduklarını belirtmek gerekmektedir.

Literatürde de ortaya konulduğu üzere, ekonomik büyüme ve karbon emisyonu arasında anlamlı ilişkiler vardır. Dolayısıyla hava kirliliği maliyetinin değerlendirilmesi akademik anlamda ve uygulamada önem taşıyan bir yaklaşım olacaktır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Kavşakların Benzetim (Simülasyon) Yardımıyla Modellenmesi

Günümüzde kent içi ve kentsel ulaşım sistemlerinde çeşitliklerinin artması ve ağ yapılarının giderek büyümesiyle birlikte, saha çalışmalarının yapılması, analizlerin daha çok zaman alması ve karmaşıklaşması sebebiyle matematiksel modellemelerin daha aktif bir şekilde kullanılabileceği yeni arayışların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Emniyetli, hızlı ve daha düşük maliyetle çalışma imkanları sunabilmesi istenen bu arayışlar sonucunda simülasyon teknikleri ilerletilerek daha ayrıntılı modeller oluşturulmaya başlanmıştır.

Özellikle kent içi ulaşımında araç sayılarının da artmasıyla birlikte trafik yoğunlukları meydana gelmekte, oluşan yoğunluklar nedeniyle de ulaşım ağları üzerinde iyileştirmeler yapma ihtiyacı doğmaktadır. Bu amaçla yerel yönetimler ulaşım projeleri üretmekte ve uygulamaktadırlar. Proje uygulamalarının hayata geçmeden önce etkilerinin öngörülebilmesi amacıyla simülasyon modelleri oluşturulur. Simülasyon modelleri aracılığıyla proje alanının mevcut durumu ile farklı versiyonlardan oluşan öneri projelerin birtakım parametreler göz önünde bulundurularak kıyaslaması yapılabilmektedir.

Hızla artan insan nüfusu özellikle şehirlerde yoğunlaşmasıyla birlikte yolculuk hareketlerinde büyük artışlar yaşanılmasına sebep olmuştur. Hem araç sahipliğinin yoğun olduğu hem de araç sahibi olmayan, yoğun nüfusa sahip kent merkezlerinde artan yolculuk talepleri toplu taşıma kullanımını arttırmış bununla birlikte de ulaşım problemlerinin artışı kaçınılmaz bir hal almıştır. Oluşan bu problemlerin büyük çoğunluğu araçların emniyetle güzergahına devam ettiği veya yön değiştirmesine yardımcı olan kavşaklarda meydana gelmektedir. Bu problemleri ortadan kaldırmak ise kavşakların doğru çalışmasıyla mümkün olup, yüksek başarılı çalışması için ise iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Benzetim programları genel olarak makro ölçekli ulaşım ağlarında kullanılsa da kavşak bazlı oluşan sorunları çözmek veya

iyileştirmeler sonucu oluşturulan senaryoların analizlerini yapmak adına mikro ölçekli olarak da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kavşaklarda benzetimin kullanılmasıyla;

- Mevcut kullanımın analizinin yapılması,
- Kaza olma oranları yüksek olan kavşaklarda ilgili problemin kaynağının saptanması,
- Saptanan problemlerdeki sorunları iyileştirme çalışmaları yapmak,
- İyileştirme sonucu kavşakları farklı çalıştırma senaryoları oluşturmak ve seçmek,
- Oluşturulan senaryoları uygulamadan önce değerlendirebilme imkânı,
- Senaryolara mevcutta olan veya projelendirmesi yapılan farklı ulaşım türlerini entegre etme,
- Riski düşük verimi yüksek çalışmalar hazırlamak,
- Zamandan artırım ve harcamalardan tasarruf sağlamak gibi konularda projelere yararlar sağlamaktadır.

3.1.1 Vissim benzetim (simülasyon) programı

Kavşakların modellerinin oluşturulabilmesi için farklı mikro-simülasyon yazılımları kullanılmaktadır. Günümüzde birçok bilimsel araştırmada da faydalanılan Vissim programı yaygın olarak kullanılan bir simülasyon programı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Vissim simülasyon programı PTV GmbH tarafından geliştirilmiş, Almanya’da bulunan Karlsruhe Teknik Üniversitesince de kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir (Akın, 2020). Vissim programı genellikle kent içi ulaşım ağlarındaki trafik ve yaya akışını modellemek için kullanılan zamana bağlı davranışsal bir benzetim programıdır (Erol, 2018).

Vissim programıyla kavşağın mevcutta çalışma durumu ya da projelendirme çalışması aşamasında birçok alternatif çalışma senaryoları oluşturulabilmektedir. Program bu alternatif senaryoların kavşak üzerinde uygulandığı durumlarda ortaya çıkabilecek sonuçların analizinin yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle ulaştırma veya trafik mühendisleri, ulaşım plancılar değerlendirmeler yaparak sonuçları karar verici mercilere iletebilmektedirler.

Simülasyon modelinin kurulabilmesi için birtakım girdilere ihtiyaç duyulmaktadır.

3.1.2 Kavşaklarda simülasyonun kullanılabileceği durumlar

Trafik simülasyon uygulamaları çok geniş bir kapsama sahiptir. Bu kapsam çerçevesinde farklılaşan modeller, mevcut gereksinime göre tercih yapılmasını sağlamaktadır. Kolektif ve sürekli karayolları trafik akış modellemesi, trafik talebinin saptanması kapsamında temel alınmaktadır. Bu yaklaşım, tek başına araçları dışlamasından ve trafik ışıklarının ayrı araçlara tepki vermesinden ötürü şehir içi alanlarda simülasyon için yeterli olmamaktadır. Sürekli trafik akış modelleri, araçları tek başına yol simülasyonuna dahil etmeyi mümkün hale getirmiştir. Her aracın durumu eşit zaman aralıkları kapsamında hesaplanmaktadır. Wiedmann modeline dayanan ve boylamasına araç hareketi ile yanal hareketler için bir algoritmayı temel alan psikolojik-fiziksel araç takibini içeren mikroskobik yaklaşım, Vissim yazılımı ile gerçekleştirilmektedir. Mezoskopik modeller trafik yoğunluğuna bağlı ayrık yaklaşımıyla gerçekleştirilmektedir. Her aracın hareket durumu parametreleri olaya dayalı biçimde hesaplanmaktadır.

Kavşaklarda simülasyon karmaşık bir sistemin bileşenlerinin incelenmesi kapsamında kullanılabilmektedir. Modelin farklı unsurlar ve değişkenler çerçevesinde verdiği tepkiler incelenmektedir. Hangi unsurun daha önemli olduğu ve değişkenler arasındaki etkileşim saptanmaktadır. Analitik çözüm metodolojisini güçlendiren bir unsur olarak simülasyon, kavşaklarda tasarım değişiklikleriyle sonuçlara bu değişikliklerin etkisini ortaya koymayı mümkün kılmaktadır.

3.1.3 Kavşak simülasyonlarında kullanılan girdi parametreleri

Simülasyon modelinin gerçeğe uygun olarak kurulabilmesi için öncelikle kavşağın mevcut geometrik özelliklerinin irdelenmesi gerekmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda kavşak geometrisine ait yönlendirme adaları, şerit genişlikleri, sinyalizasyon öğeleri, kavşak içerisindeki geçiş üstünlükleri vb. özellikler veri haline getirilerek simülasyon programına işlenilmektedir. Bu gözlemlerin yanında girdi verilerini oluşturmak amacıyla kavşaklarda sayımlar yapılmaktadır. Trafik sayımları ile kavşağın mevcut trafik hacimleri saptanır. Bu sayımlar video kamera tekniği ile manuel olarak ya da kavşağa kurulan dedektörler yardımıyla programlarla yapılır ve analiz edilmektedir. Analizlerin sonucunda kavşak içerisindeki hareketler kavşak kolları bazında belirtilerek hangi koldan hangi kol yönüne belirli sürede kaç araç girişi yapıyor verisine ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bunun yanında araçların ivmelenme,

hareket kabiliyeti, yakıt tüketimi vb. niceliklerinde simülasyona dahil edilmesi amacıyla sınıflandırma yapılarak ağır taşıt, minibüs, otomobil ayrımı sağlanılabilmektedir. Araç türlerine göre sınıflandırılmış trafik sayımları neticesinde akımların en yüksek olduğu zirve saat saptanarak bu saatteki değerler simülasyon girdisi olarak kullanılmaktadır. Benzetimin oluşturulabilmesi için gereken parametreleri iki gruba ayırabiliriz.

3.1.3.1 Mevcut parametreler

Modellemesi yapılacak olan çalışma alanının demografik, mekânsal, sosyoekonomik ve ulaşım yapısını tanımak için kullanılan parametredir. Nüfus, iş gücü, gelir düzeyi, arazi kullanımı, kent içi ve kentle bağlantısı olan yerleşim bölgeleri arasındaki ulaşım bilgileri, yük taşımacılığı ve yolcu hareketliliğinin tür, başlangıç-varış noktaları gibi bilgiler de bu parametre ile toplanmaktadır.

Ulaşım Planlama Çalışmaları ve Ulaşım Ana Planı Hazırlama Kılavuzu (2014) de belirtildiği üzere veri teminine ilişkin görüşme ve/veya yazışma yapılabilecek kurumlar şu şekilde olabilir;

- Belediyeye ait birimler,
- Valiliğe ait birimler,
- Merkezi idareye ait birimler,
- İlgili Sivil Toplu Örgütleri (Odalar, Dernekler vb.)

3.1.3.3.1. CBS verileri

Çalışmanın yapılacağı alanın mevcut arazi kullanımı, üst yapı, altyapı bilgileri, koordinat, konum bilgileri gibi verilere erişimi bu parametre ile gerçekleştirilmektedir.

3.1.3.3.2 Kavşak konum, tür, bağlantı verileri

Benzetimin yapılacağı kavşağa ait konum, tür, geometri, trafik yön bilgileri, işaretleme envanterleri (yatay, dikey), işaretleme özellikleri (sinyal sistemleri, kamera, dedektör) gibi verilerden oluşmaktadır. Bu tür veriler daha önce gerçekleştirilmiş olan çalışmalar olup, bilgilerine yukarıda bahsettiğimiz kurumlardan erişim sağlanması gerekmektedir.

3.1.3.3.3 İstatistikî veriler

Kentin demografik yapısı, çalışma gücü, gelir dağılımı, araç sahipliği gibi verilerle birlikte trafikte sorunların yaşanmasına sebep olan yeni senaryolar ve iyileştirmeler

gerektiren kara nokta ve darboğazların da belirtildiği bu veriler kamu ve özel kuruluşlardan toplanılabilmektedir.

3.1.3.2 Yeni veriler ile oluşturulan parametreler

Benzetimde kullanılacak olan veri tabanının güvenilirliğinin arttırılması ve tutarlılığının sağlanabilmesi için verilerin doğru olması kadar, güncel olması da gerekmektedir. Birçok değişken parametrenin kullanıldığı ulaşım modellemelerinde bu amaca yönelik güncel bilgilerin oluşturulması için çalışmalar yapılmaktadır.

3.1.3.2.1 Mevcut durumun gözlenmesi ile sahadan toplanan veriler

Modelleme için gereken verilerde eksikliklerin giderilmesi, elde mevcut olarak bulunan verilerin güncellenmesi ve kullanılacak olan verilerin güvenilirliğinin arttırılması adına yapılacak olan anket, sayım ve bilgilerin irdelenmesi için gereken parametrelerdir. Bu parametreler aşağıda açıklanmıştır.

3.1.3.2.2 Araç sayımları

Perde kordun hattında, şehir giriş çıkışlarında, şehir merkezi kavşaklarında ya da çalışmanın yapılacağı bölgede anketler ve araç sayımları yapılmaktadır. Çalışma, araçların yoğun olduğu zirve zaman diliminde yapılmalı, araçlar gruplandırılmalı ve her kavşak kolu için girdi sayıları oluşturulmalıdır. Sayımlar manuel ya da detektörler yardımı ile yazılımlarla gerçekleştirilebilmektedir.

3.1.3.2.3 Kullanıcı davranışları

Ulaşım projelerine mutlaka dahil edilmesi gereken diğer bir parametre ise kullanıcı davranışlarıdır. İnsan psikolojisindeki farklılıklar ile oluşan bu davranış çeşitlilikleri gerek sürücü gerek yaya tarafından her bölgede değişkenlik göstermektedir. Benzetim programlarına bu parametreler dahil edilerek yapılan çalışmanın daha doğru sonuçlar vermesine ve karar vericilerin yanıtılmasına sebep olunmamalıdır.

Toplanan mevcut ve yeni parametreler ortak bir veri şeklinde yazılıma işlenir. Benzetim programının gerçeği en iyi şekilde yansıtabilmesi için programda girdi olarak kullanılacak olan verilerin doğru ve güncel olmasıyla birlikte, parametrelere bağlı olarak kullanılması gerekmektedir aksi taktirde kavşak problemine çözüm olarak sunulacak olan hiçbir öneri alternatifi çözüm sağlamayacak öneri senaryosu ve gerçek uyguma arasında büyük farklılıklar yaşanacaktır.

3.1.4 Kalibrasyon yöntemleri

Model oluşturulduktan sonra simülasyonun kavşağın gerçek hayattaki halini en doğru şekilde yansıtmaları için kalibrasyonu yapılmalıdır. Kalibrasyon sürecinde birçok yöntem kullanılabilmektedir. Bunlar simülasyon – gözlem değeri uygunluğu, Geoffrey E. Havers istatistiği (GEH), bağıl hata gibi yöntemlerdir. (Becerikli ve diğ, 2021)

VISSIM kalibrasyonu sırasında ise model çıktıları saha verileri ile kıyaslanıp ve elde edilen bulguların kabul edilebilir seviyede olup olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmadaki doğrulama kriterleri Amerikan Federal Otoyol İdaresi (FHWA) tarafından yapılan önerilere ve geçmişte yürütülen çalışmalara dayanarak yapılmıştır.

Kalibrasyon kriterlerimiz şunlardır;

1. Sabah ve akşam zirve trafik saatlerdeki tıkanıklık ve kuyruklanma noktalarının belirlenmesi.
2. Modellenen kapasitenin saha ölçüm değerlerinden en fazla yüzde on sapması
3. Modellenen yol linkleri ile gözlemlenen akım ve seyahat süresi değerlerinin aşağıdaki kriterlere göre kıyaslanması:
 - a. Model hacim değerinin gözlemlenen gerçek durum hacminin %85’den fazla uyumlu olduğu durumlarda;
 - i. 700 araç/saat’den düşük hacimlerde 100 araç/saat’den fazla fark olmamalı,
 - ii. 700-2700 araç/saat arasındaki hacimlerde en fazla %15 fark olmalı, 52
 - iii. 2700 araç/saat’den fazla hacimlerde 400 araç/saat’den fazla fark olmamalı,
 - b. Model hacim değerinin gözlemlenen gerçek durum hacminin %85’den fazla uyumlu olduğu durumlarda; GEH istatistik değeri 5’den küçük olmalı,
 - c. Bütün akımların hacimlerinin toplamında en fazla %5 fark olmalı,
 - d. Bütün akımların hacimlerinin toplamında GEH istatistik değeri 4’den küçük olmalı
 - e. Ortalama seyahat süresinde en fazla %15 fark olmalı,
4. Görsel olarak kabul edilebilir ayrılma ve katılımlardaki kuyruklanmalar,
5. Modellenen ortalama hızın gözlemlenen durumla kabul edilebilir aralıkta olması,

Model ve sayımlarla ortaya konan hacimler GEH diye adlandırılan ki-kare istatistiği ile de karşılaştırılmalıdır. GEH istatistiği trafik mühendisliğinde, trafik tahmininde ve modellenmesinde iki trafik hacminin karşılaştırılmasında kullanılan bir formüldür. GEH istatistiği adını; 1970’lerde ulaşım plancısı olarak Londra’da çalışan Geoffrey E.Havers’den almıştır. GEH istatistiği doğru bir istatistiksel test değildir. Ancak çeşitli trafik hacim değerlerinin analiz edilmesinde oldukça kullanışlı bir ampirik formüldür. GEH istatistik formülü eşitlik 3.1’deki gibidir:

$$GEH = \sqrt{(M - C) / (0.5x(M + C))} \quad (3.1)$$

Burada “M” değeri trafik modelinden (veya yeni durumdan) gelen hacim değeri ve “C”de gerçek (veya eski durum) sayım değeridir.

Trafik hacimlerinin birbiriyle uyumlu olması durumu çeşitli GEH değer aralıklarıyla aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- $GEH < 5$ Akımların birbirine uyumlu olduğu söylenebilir.
- $5 < GEH < 10$ Akımların daha iyi değerlendirilmesi gerekli
- $10 < GEH$ Akımlar birbiriyle uyumsuzdur. (Koç, 2011)

3.1.5 Kavşak simülasyon sonuç parametreleri

Vissim benzetim (simülasyon) programının analizleri sonucunda çıktı olarak kullanılan en yaygın parametreler aşağıda açıklanmıştır.

3.1.5.1 Araç gecikme süresi

Araç gecikme süresi kompleks bir yapıya sahip ve pek çok belirsizliği barındıran bir parametredir. Kavşakları kullanan trafik akımlarında artış olması güvenlik ve kapasite sorununu artırmaktadır. Kavşağa giren akımların kavşağı en az gecikmeyle boşaltabilmeleri için belli bir akım düzeni sağlanmalıdır. Kavşağın yüksek verimle çalışabilmesi için araç gecikme süresini azaltmak gerekmektedir. Yapılan bir araştırmaya göre trafik yoğunluğu maliyetinin %90’ı seyahatlerde oluşan gecikmelerden kaynaklanmaktadır. Kalan oran ise fazladan yakıt tüketimiyle ilişkilendirilmiştir.

3.1.5.2 Kuyruklanma uzunluğu

Özellikle trafik akışında zirve saatlerde yüksek kuyruk uzunlukları görülebilmektedir. Kavşakların performans parametreleri arasında önemli bir faktör olan kuyruklanma uzunluğu trafik yoğunluğunun kontrol altına alınmasıyla beraber azalan, ortalama durma sayısı da beraberinde azalış gösteren bir parametredir.

3.1.5.3 Yakıt tüketimi

Daha önce de belirtildiği üzere trafik yoğunluğunun nedenlerinin yüzde 10'u fazladan yakıt tüketimiyle ilişkilidir. Kavşağın verimli çalışma durumu kapsamında değerlendirilen parametrelerden biri de yakıt tüketimidir. Trafik yoğunluğu ve yakıt tüketimi çift yönlü bir pozitif ilişki içindedir. Trafik yoğunluğu da yakıt tüketiminin artmasıyla beraber artış göstermektedir. Bu nedenle kavşak simülasyon modellemelerinde önemli bir parametredir.

3.1.5.4 Hizmet düzeyi değeri

Hizmet düzeyi değeri parametresi kavşağın kapasite değerini ifade etmektedir. Troutbeck ve Brilon'un araştırmasında denetimsiz eş düzey kavşak modellemesi çerçevesinde kullanılan yöntemler detaylı şekilde açıklanmaktadır. Hizmet düzeyi değerinin belirlenebilmesi için analiz edilen kavşağa ait performans ölçütleri kullanılmaktadır. Gecikme süresi, doygunluk derecesi, kuyruklanma uzunluğu, yakıt tüketimi gibi değerler bu ölçütleri ifade etmektedir.

3.1.5.5 Emisyon değerleri

Emisyon değerleri, ulaşım taleplerinin yükselmesi ve trafik hacminin artması sonucunda ana arterler ve bunlar üzerinde bulunan kavşakların yetersiz kalmaları nedeniyle çözüm üretme sürecinde kullanılan parametrelerden birini ifade etmektedir. Emisyon değerleri araç gecikme süresi ve kuyruklanma uzunluğu gibi parametrelerle beraber ele alınarak kavşak performansı belirlemeyi sağlamaktadır. Zhou vd. (2015) çalışmalarında etkin mikroskobik ve makroskobik trafik akışı gösterimi gerektiren yeni emisyon ve yakıt tüketimiyle ilgili uygulamalar çerçevesinde bir model ve çözüm algoritması sunmuşlardır. Mezoskopik simülasyon uygulamalarında emisyon / yakıt tüketimi etkisinin değerlendirilmesi için emisyon değerleri önemli bir parametre

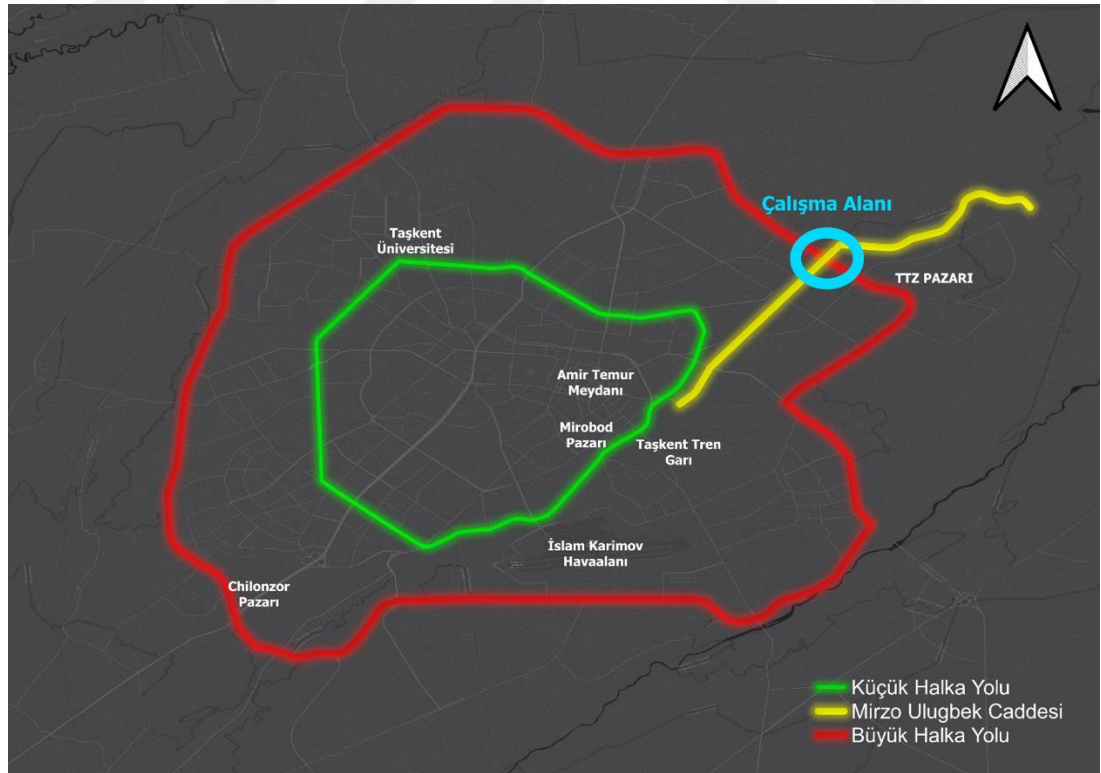
olarak karşımıza çıkmaktadır. Emisyon oranları parametresinin gecikme, kavşak tipi maliyeti ve güvenlik parametreleriyle beraber analitik hiyerarşi süreci kullanılan Murat ve diğerlerinin (2016) çalışmasında da ön plana çıktığı görülmektedir.

3.2 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Çalışmanın bu kısmında, simülasyon uygulaması kapsamında seçilen alan ve kullanılan verilere ilişkin tanıtıcı bilgilere yer verilmektedir.

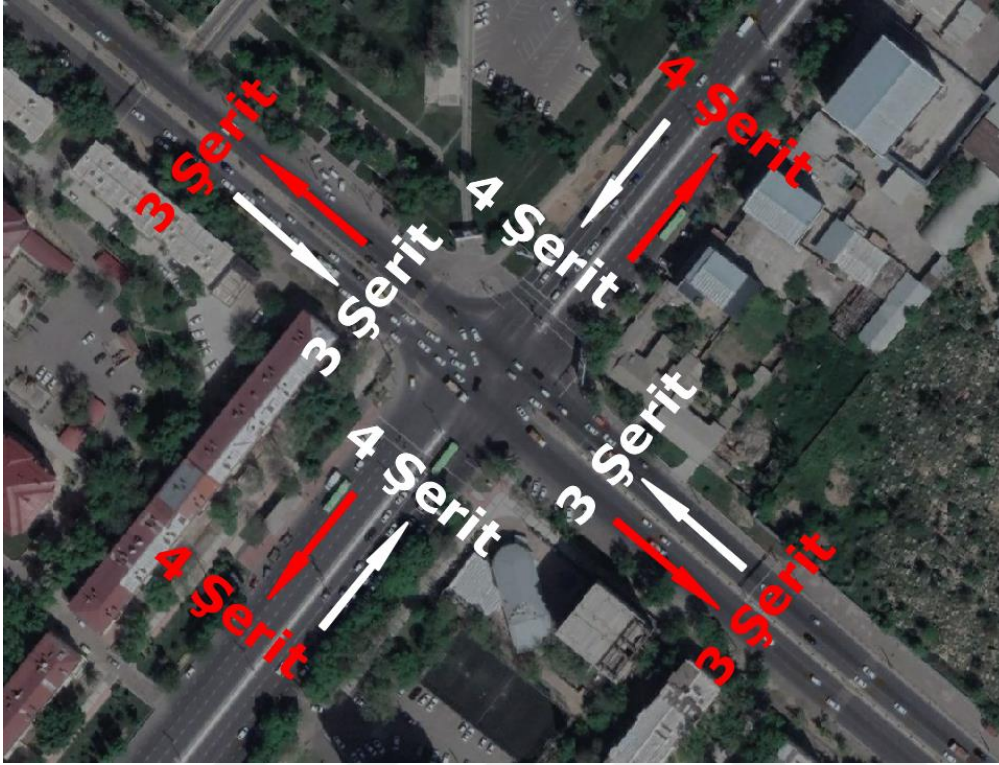
3.2.1 Kavşağın konumu ve özellikleri

Çalışma için Özbekistan Taşkent şehrinde bulunan, Temur Malik Caddesi-Mirzo Ulugbek Caddesi kavşağı kullanılmıştır. Temur Malik Caddesi, şehrin en yoğun arterlerinden biri olan Taşkent Büyük Halka Yolu (Çevre Yolu)’nun bir parçasıdır. Mirzo Ulugbek Caddesi ise Taşkent şehir merkezini Çirçık şehrine bağlayan en önemli arter olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle kavşaktaki trafik yoğunluğu yüksek seviyede olup, şehrin gelişmesi ile birlikte gelecek yıllarda yoğunluğun artacağı öngörülmektedir.



Şekil 3. 1: Çalışma alanının konumu.

Kavşak 4 kollu, sinyalizasyon sistem ile çalışan eydüzey bir yapıya sahiptir. Şekil 3.1’de kavşak kollarına giriş ve çıkış şerit sayıları belirtilmiştir.



Şekil 3. 2: Kavşak kollarındaki mevcut şerit sayılarının gösterimi.

Taşkent genelinde sinyalizasyon kavşaklarda 2 fazlı sistem kullanılıp sola dönüşler ekstra sola dönüş şeritleri olmaksızın eş zamanlı olarak koruma süreleri içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu durum trafik güvenliği açısından büyük sorunlara yol açmaktadır. Ayrıca sola dönen araçlar yoğun trafikte düz giden akımların önünde engel oluşturmakta ve kavşaklarda tıkanmalara neden olmaktadır. Çalışma yapılan kavşakta da aynı sistem geçerli olup Mirzo Ulugbek’nde 4 şeritli yolun 2 şeridi sola dönüşler nedeniyle kapanıp, 2 şerit düz akıma hizmet etmektedir. Temur Malik Caddesi’nde ise 3 şeridin araç yoğunluğuna bağlı olarak bir yahut iki şeridinin sola dönüş için kullanıldığı tespit edilmiştir.

3.2.2 Trafik sayımları

Çalışma yapılan kavşakta pik saatteki trafik yoğunluğunu hesaplamak amacıyla 07:30-11:00 ile 14:30-18:00 saatleri arasında trafik sayımları yapılmıştır. Yapılan sayımlarda araçlar otomobil, otobüs ve kamyon/tır olarak sınıflandırılmış, sayımlar 15’er dakikalık aralıklarla tasnif edilmiştir. Kavşak kol numaraları ile cadde isimleri Şekil 3.3’te gösterilmektedir.



Şekil 3. 3: Kavşak kol numaraları ve cadde isimleri.

Sayım tabloları kavşak kollarından çıkan araç sayıları belirtilecek şekilde hazırlanmıştır.

Çizelge 3. 1: 1 numaralı kavşak kolundan çıkış yapan araçların sayım tablosu (30.09.2021).

	KAYIT ZAMANI	OTOMOBİL				OTOBÜS				KAMYON				TOPLAM				
		1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	Toplam
SABAH	07:30-07:45	3	40	149	66	0	0	0	3	0	1	8	0	3	41	157	69	270
	07:45-08:00	6	85	168	71	0	3	1	2	0	2	12	0	6	90	181	73	350
	08:00-08:15	10	87	172	85	0	5	2	3	0	0	9	1	10	92	183	89	374
	08:15-08:30	5	90	192	99	0	1	1	2	0	5	9	0	5	96	202	101	404
	08:30-08:45	9	97	194	88	0	4	1	1	0	4	10	0	9	105	205	89	408
	08:45-09:00	18	110	190	70	0	3	1	3	0	3	8	0	18	116	199	73	406
	09:00-09:15	9	100	191	61	0	3	0	2	0	3	5	1	9	106	196	64	375
	09:15-09:30	12	82	198	93	0	2	3	1	0	1	10	1	12	85	211	95	403
	09:30-09:45	13	86	198	76	0	3	1	1	0	2	17	2	13	91	216	79	399
	09:45-10:00	20	112	208	70	0	1	1	4	1	4	12	1	21	117	221	75	434
	10:00-10:15	12	83	184	76	0	3	1	3	1	4	9	1	13	90	194	80	377
	10:15-10:30	15	68	175	81	0	3	1	1	0	5	18	0	15	76	194	82	367
	10:30-10:45	14	112	209	86	0	2	3	1	2	10	25	0	16	124	237	87	464
	10:45-11:00	18	98	178	72	0	4	1	2	0	5	17	3	18	107	196	77	398
	KAYIT ZAMANI	OTOMOBİL				OTOBÜS				KAMYON				TOPLAM				
		1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	Toplam
AKŞAM	14:30-14:45	18	81	169	74	0	2	1	0	0	4	30	1	18	87	200	75	380
	14:45-15:00	13	88	173	73	0	1	2	2	0	4	21	0	13	93	196	75	377
	15:00-15:15	15	89	178	73	0	3	2	3	0	8	9	0	15	100	189	76	380
	15:15-15:30	24	96	173	89	0	2	3	1	0	5	17	1	24	103	193	91	411
	15:30-15:45	17	93	181	79	0	2	1	1	0	5	22	0	17	100	204	80	401
	15:45-16:00	21	99	171	72	0	3	3	3	1	5	11	0	22	107	185	75	389
	16:00-16:15	9	83	170	80	0	2	2	2	0	5	14	0	9	90	186	82	367
	16:15-16:30	19	89	182	78	0	4	3	2	0	3	7	1	19	96	192	81	388
	16:30-16:45	18	97	178	86	0	2	1	3	1	3	10	0	19	102	189	89	399
	16:45-17:00	20	91	195	70	0	3	1	3	0	3	9	0	20	97	205	73	395
	17:00-17:15	23	99	189	78	0	3	4	2	0	0	21	0	23	102	214	80	419
	17:15-17:30	19	91	185	59	0	3	1	2	0	7	9	0	19	101	195	61	376
	17:30-17:45	20	102	171	78	0	1	1	1	0	3	11	0	20	106	183	79	388
	17:45-18:00	19	94	172	60	0	1	2	3	0	3	5	1	19	98	179	64	360

Çizelge 3. 2: 2 numaralı kavşak kolundan çıkış yapan araçların sayım tablosu (30.09.2021).

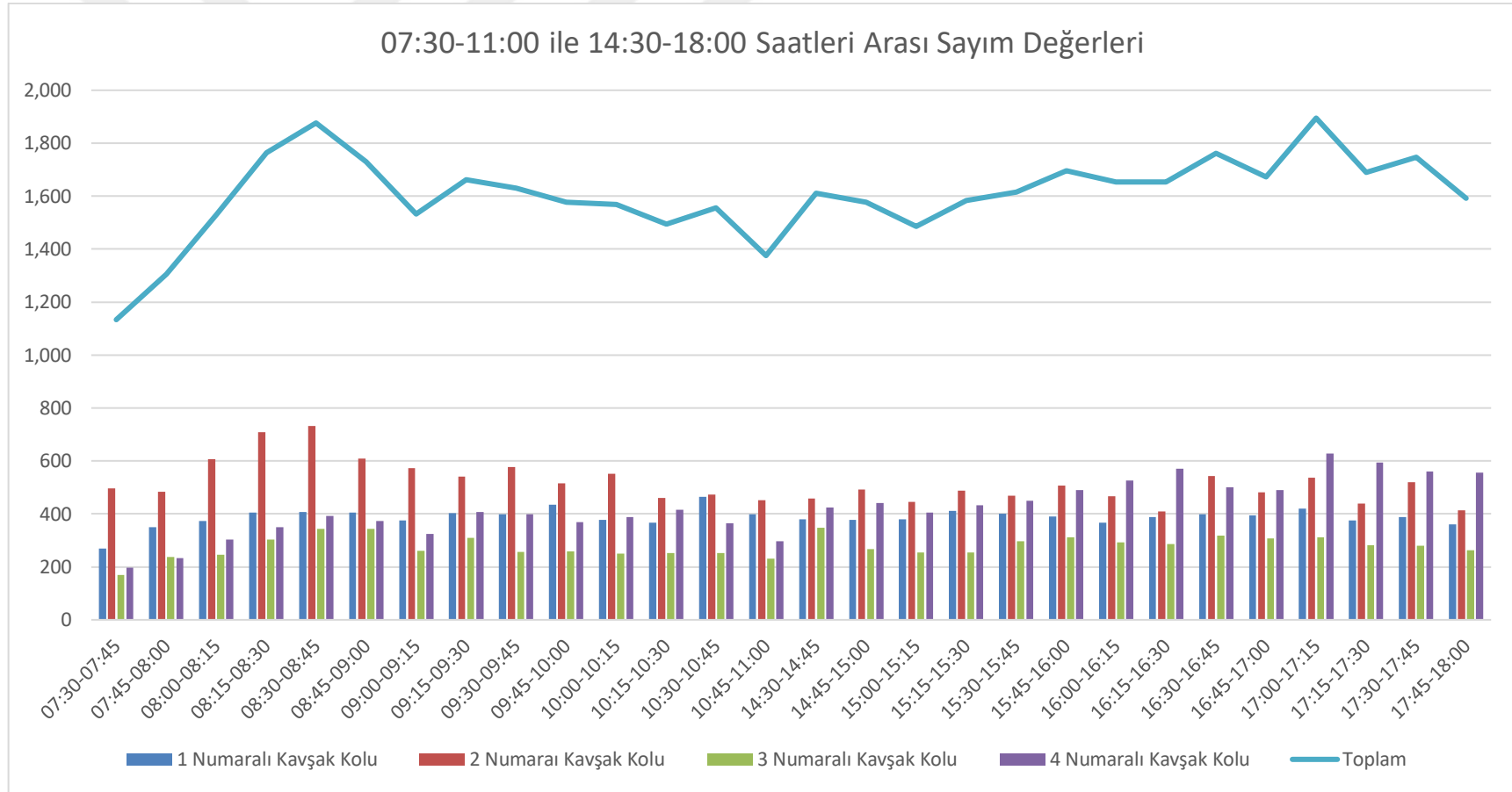
	KAYIT ZAMANI	OTOMOBİL				OTOBÜS				KAMYON				TOPLAM				
		2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	Toplam
SABAH	07:30-07:45	63	0	25	396	5	0	1	7	0	0	0	0	68	0	26	403	497
	07:45-08:00	66	0	21	389	1	0	0	4	2	0	0	1	69	0	21	394	484
	08:00-08:15	69	2	50	476	2	0	1	5	1	0	0	0	72	2	51	481	606
	08:15-08:30	82	0	62	553	3	0	1	6	1	0	0	0	86	0	63	559	708
	08:30-08:45	121	1	64	540	3	0	0	2	0	0	0	0	124	1	64	542	731
	08:45-09:00	113	0	50	439	1	0	2	2	2	0	0	0	116	0	52	441	609
	09:00-09:15	104	2	49	405	2	0	0	2	1	0	4	3	107	2	53	410	572
	09:15-09:30	75	0	42	407	5	0	2	4	3	0	1	1	83	0	45	412	540
	09:30-09:45	106	0	41	419	2	0	0	4	4	0	1	0	112	0	42	423	577
	09:45-10:00	89	2	43	369	3	0	1	3	1	1	3	1	93	3	47	373	516
	10:00-10:15	106	2	47	386	2	0	1	3	0	0	2	2	108	2	50	391	551
	10:15-10:30	76	1	33	336	2	0	1	3	3	0	2	3	81	1	36	342	460
	10:30-10:45	89	0	37	334	3	0	1	3	1	0	3	3	93	0	41	340	474
	10:45-11:00	71	0	34	339	1	0	1	2	0	0	1	2	72	0	36	343	451
	KAYIT ZAMANI	OTOMOBİL				OTOBÜS				KAMYON				TOPLAM				
		2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	Toplam
AKŞAM	14:30-14:45	87	3	48	302	3	0	1	2	5	0	3	4	95	3	52	308	458
	14:45-15:00	110	1	54	318	2	0	0	4	1	0	3	0	113	1	57	322	493
	15:00-15:15	101	4	46	286	2	0	1	2	1	0	2	0	104	4	49	288	445
	15:15-15:30	108	0	47	312	3	0	1	4	3	0	2	7	114	0	50	323	487
	15:30-15:45	106	3	52	300	1	0	1	2	3	0	1	0	110	3	54	302	469
	15:45-16:00	97	3	46	344	2	0	1	3	7	0	1	2	106	3	48	349	506
	16:00-16:15	92	3	52	306	2	0	2	6	2	0	0	1	96	3	54	313	466
	16:15-16:30	83	0	41	272	3	0	1	3	2	0	1	3	88	0	43	278	409
	16:30-16:45	123	2	52	355	2	0	1	3	1	0	3	1	126	2	56	359	543
	16:45-17:00	122	2	44	301	3	0	1	2	4	0	0	2	129	2	45	305	481
	17:00-17:15	112	4	56	349	2	0	1	5	4	0	2	2	118	4	59	356	537
	17:15-17:30	99	2	48	282	3	0	0	3	0	0	0	1	102	2	48	286	438
	17:30-17:45	130	1	67	311	4	0	1	4	1	0	1	0	135	1	69	315	520
	17:45-18:00	103	2	58	242	2	0	1	4	1	0	0	1	106	2	59	247	414

Çizelge 3. 3: 3 numaralı kavşak kolundan çıkış yapan araçların sayım tablosu (30.09.2021).

	KAYIT ZAMANI	OTOMOBİL				OTOBÜS				KAMYON				TOPLAM				
		3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	Toplam
SABAH	07:30-07:45	85	27	0	49	1	1	1	0	3	0	0	2	89	28	1	51	169
	07:45-08:00	141	22	0	61	2	1	0	1	7	2	0	0	150	25	0	62	237
	08:00-08:15	143	25	0	63	1	1	0	2	10	0	0	1	154	26	0	66	246
	08:15-08:30	171	39	4	76	2	1	0	0	8	2	0	0	181	42	4	76	303
	08:30-08:45	218	35	3	77	1	1	0	0	5	2	0	2	224	38	3	79	344
	08:45-09:00	210	38	2	73	4	1	0	0	9	4	1	1	223	43	3	74	343
	09:00-09:15	158	29	2	59	1	1	0	0	8	2	0	1	167	32	2	60	261
	09:15-09:30	191	34	1	68	2	1	0	0	9	0	2	2	202	35	3	70	310
	09:30-09:45	152	26	1	55	2	1	0	0	13	1	1	4	167	28	2	59	256
	09:45-10:00	140	29	3	58	2	1	0	0	20	3	0	3	162	33	3	61	259
	10:00-10:15	137	39	1	44	1	1	0	0	21	3	1	3	159	43	2	47	251
	10:15-10:30	157	33	1	46	1	1	0	0	13	0	0	1	171	34	1	47	253
	10:30-10:45	141	44	1	45	1	1	0	0	14	2	0	4	156	47	1	49	253
	10:45-11:00	139	41	0	39	0	1	0	0	11	0	0	0	150	42	0	39	231
	KAYIT ZAMANI	OTOMOBİL				OTOBÜS				KAMYON				TOPLAM				
		3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	Toplam
AKŞAM	14:30-14:45	152	22	3	51	1	1	0	0	114	2	0	2	267	25	3	53	348
	14:45-15:00	138	40	1	52	1	0	0	0	26	4	0	5	165	44	1	57	267
	15:00-15:15	139	38	2	53	0	2	0	0	14	1	0	6	153	41	2	59	255
	15:15-15:30	140	31	3	57	3	0	0	0	17	1	0	2	160	32	3	59	254
	15:30-15:45	182	46	2	46	2	1	0	1	13	2	0	2	197	49	2	49	297
	15:45-16:00	187	45	3	59	1	1	0	0	11	2	0	2	199	48	3	61	311
	16:00-16:15	159	48	2	56	3	1	0	0	17	2	0	5	179	51	2	61	293
	16:15-16:30	178	32	3	55	1	1	0	0	15	2	0	0	194	35	3	55	287
	16:30-16:45	193	59	2	48	3	1	0	0	10	2	0	1	206	62	2	49	319
	16:45-17:00	175	54	1	64	1	1	0	0	9	1	0	1	185	56	1	65	307
	17:00-17:15	182	60	2	46	1	2	0	0	14	3	0	1	197	65	2	47	311
	17:15-17:30	163	51	2	52	0	0	0	0	12	0	0	2	175	51	2	54	282
	17:30-17:45	155	51	4	50	5	0	0	0	10	3	0	1	170	54	4	51	279
	17:45-18:00	151	48	0	49	1	0	0	0	11	3	0	0	163	51	0	49	263

Çizelge 3. 4: 4 numaralı kavşak kolundan çıkış yapan araçların sayım tablosu (30.09.2021).

	KAYIT ZAMANI	OTOMOBİL				OTOBÜS				KAMYON				TOPLAM				
		4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	Toplam
SABAH	07:30-07:45	35	125	26	4	2	4	1	0	1	0	0	0	38	129	27	4	198
	07:45-08:00	50	146	30	5	2	1	0	0	0	0	0	0	52	147	30	5	234
	08:00-08:15	51	199	34	11	3	5	0	0	0	1	0	0	54	205	34	11	304
	08:15-08:30	53	235	44	7	3	4	0	0	0	3	0	0	56	242	44	7	349
	08:30-08:45	60	274	43	4	3	3	0	0	0	6	0	0	63	283	43	4	393
	08:45-09:00	66	252	39	6	1	5	0	0	0	2	2	0	67	259	41	6	373
	09:00-09:15	78	204	32	7	1	2	0	0	1	0	0	0	80	206	32	7	325
	09:15-09:30	76	277	38	7	2	4	0	0	0	2	2	0	78	283	40	7	408
	09:30-09:45	85	261	40	5	2	3	0	0	0	2	0	0	87	266	40	5	398
	09:45-10:00	87	230	35	7	2	3	0	0	1	1	2	0	90	234	37	7	368
	10:00-10:15	86	254	32	7	2	1	0	0	1	2	4	0	89	257	36	7	389
	10:15-10:30	95	264	29	12	3	4	0	0	2	3	3	0	100	271	32	12	415
	10:30-10:45	82	232	34	7	2	3	0	0	0	3	2	0	84	238	36	7	365
	10:45-11:00	77	176	32	4	2	1	0	0	0	2	2	0	79	179	34	4	296
	KAYIT ZAMANI	OTOMOBİL				OTOBÜS				KAMYON				TOPLAM				
		4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	Toplam
AKŞAM	14:30-14:45	90	286	21	13	2	4	0	0	1	3	4	0	93	293	25	13	424
	14:45-15:00	88	293	43	4	3	1	0	0	3	1	5	0	94	295	48	4	441
	15:00-15:15	84	275	38	4	1	3	0	0	0	0	1	0	85	278	39	4	406
	15:15-15:30	99	281	39	6	3	2	0	0	2	0	0	0	104	283	39	6	432
	15:30-15:45	99	293	40	6	2	3	0	0	1	4	1	0	102	300	41	6	449
	15:45-16:00	96	336	31	14	2	5	0	0	0	6	0	0	98	347	31	14	490
	16:00-16:15	106	369	35	6	2	3	0	0	0	4	2	0	108	376	37	6	527
	16:15-16:30	90	415	41	14	2	4	2	0	0	2	0	0	92	421	43	14	570
	16:30-16:45	78	380	26	8	2	2	0	0	1	1	2	0	81	383	28	8	500
	16:45-17:00	103	335	38	6	2	3	0	0	1	0	1	0	106	338	39	6	489
	17:00-17:15	100	483	30	6	2	3	1	0	2	1	0	0	104	487	31	6	628
	17:15-17:30	118	418	43	5	2	3	1	0	1	1	2	0	121	422	46	5	594
	17:30-17:45	101	414	34	2	2	2	0	0	1	4	0	0	104	420	34	2	560
	17:45-18:00	124	389	29	2	2	2	0	0	3	3	1	0	129	394	30	2	555



Şekil 3. 4: 07:30-11:00 ile 14:30-18:00 saatleri arası sayım değerleri.

Yapılan sayımlar sonucunda sabah 09:45-10:45 saatleri ile akşam 16:45-17:45 saatleri pik saatler olarak belirlenmiştir. Akşam pikinin daha yüksek olması nedeniyle çalışmada esas alınan değerler bu saat aralığındaki sayımlardır. Pik saat özet gösterimi Şekil 3.5’te belirtilmiştir.



Şekil 3. 5: Zirve saatteki sayım değerleri.

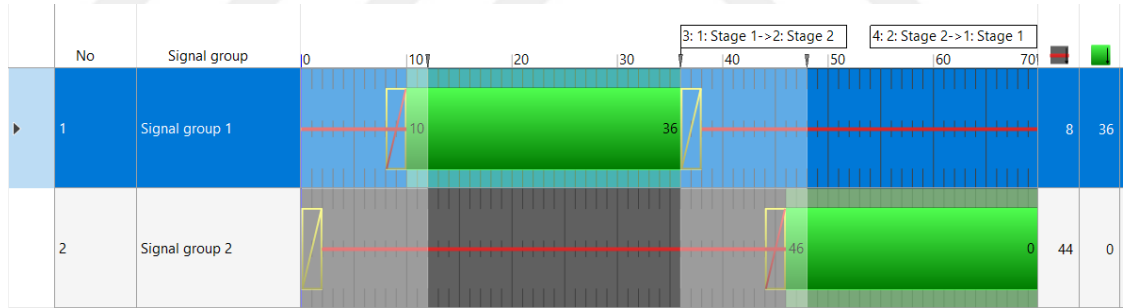


4. BULGULAR VE YORUM

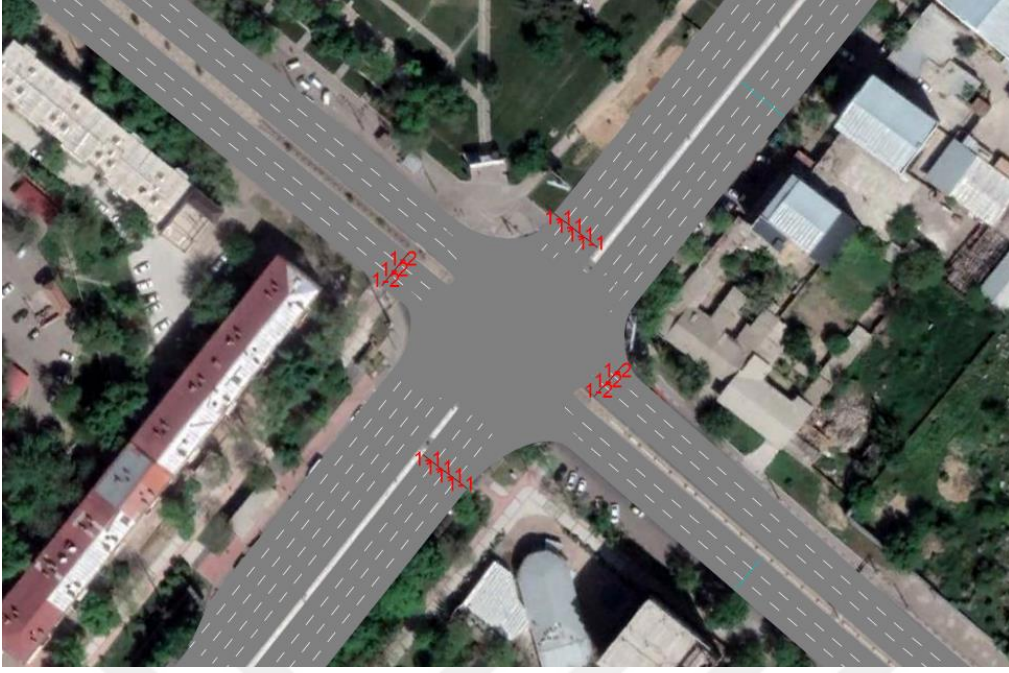
4.2 Mevcut Durum Analizleri

4.2.1 Mevcut durum simülasyon modelinin oluşturulması

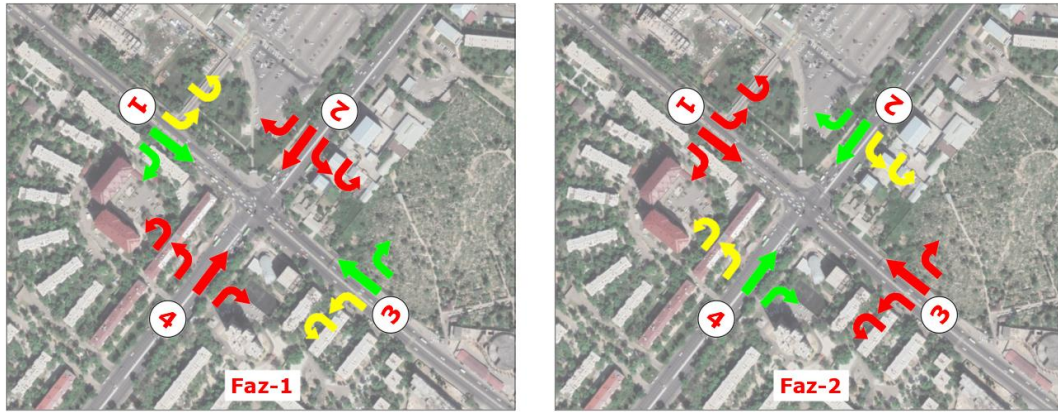
Google uydu görüntüsü referans alınarak kavşak geometrisi simülasyon programında oluşturulmuştur. Trafik sayımlarından elde edilen değerler, araç tiplerine uygun olarak girdi olarak modele işlenmiştir. Sayım videolarındaki görüntüler ile birim zamanda katedilen yol dikkate alınarak kurp bölgelerinde hız düşürmeler işlenmiş, simülasyon modelinin kalibrasyonu yapılmıştır. Yine sayım için sahada çekilen videolar üzerinden kavşakta pik saatte uygulanan sinyal faz diyagramı simülasyona eklenmiştir. Mevcut faz diyagramı Şekil 4.1’de, simülasyon modeli ile sinyal gruplarının yerleri Şekil 4.2’de, sinyal planları ise Şekil 4.3’te belirtilmektedir.



Şekil 4. 1: Mevcut durum sinyal faz diyagramı.



Şekil 4. 2: Mevcut durum sinyal gruplarının simülasyon üzerinde gösterimi.



Şekil 4. 3: Mevcut durum sinyal faz planları.

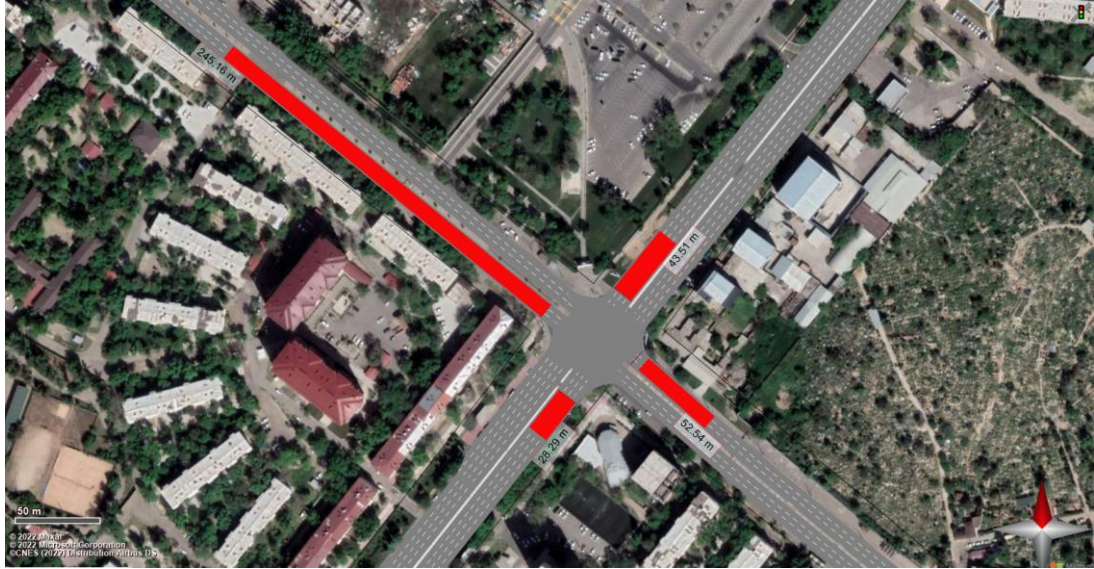
4.2.2 Mevcut durum simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi

Mevcut durum simülasyonu kalibrasyon işlemlerinin de tamamlanmasının ardından çalıştırılıp analiz sonuçları oluşturulmuştur.



Şekil 4. 4: Mevcut durum simülasyon görseli.

Simülasyon sonuçları kapsamında kavşak kollarındaki kuyruklanma boyları, kavşağın ortalama gecikme süresi, hizmet düzeyi, araç başına ortalama durma süreleri, yakıt emisyonları ve yakıt tüketimi parametreleri dikkate alınmıştır. Kavşak kollarındaki ortalama kuyruklanma boyları Şekil 4.5'te, analiz sonuçları ise Çizelge 4.1'de belirtilmektedir.



Şekil 4. 5: Mevcut durum kuyruklanma boyları analizi.

Çizelge 4. 1: Mevcut durum simülasyon sonuç tablosu.

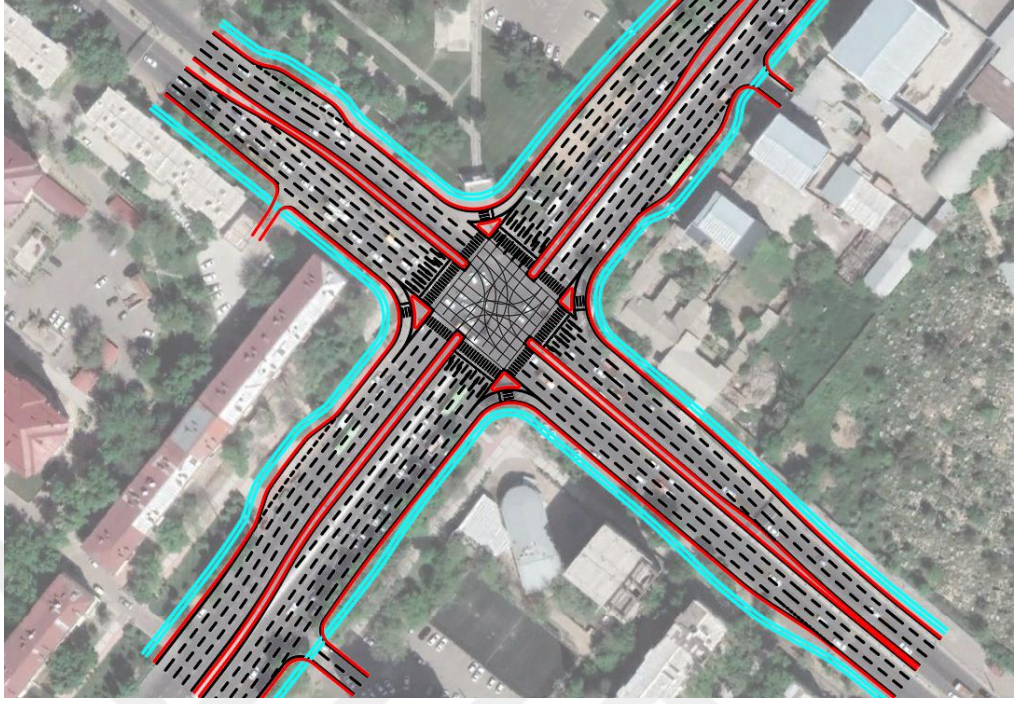
Mevcut Durum Simülasyon Sonuçları	
Ortalama Gecikme Süresi (sn)	67.47
Ortalama Durma Sayısı	2.33
Ortalama Kuyruklanma Boyu (m)	92.38
Maksimum Kuyruklanma Boyu (m)	397.35
Hizmet Düzeyi	E
Yakıt Emisyonları	
CO(gram)	23509.16
NOX(gram)	4574.027
VOC(gram)	5448.474
Yakıt Tüketimi	
ABD Galonu (Sıvı)	336.326
Litre	88.98

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde mevcut durumda kavşağın E hizmet düzeyinde çalıştığı görülmektedir. Kavşaktaki en fazla kuyruklanmanın olduğu kol 245.16 metre kuyruklanma boyu ile 1 numaralı kavşak kolunda görülmüştür. Bu durumun ana sebebi sola dönüş yapan araçların kavşak merkezinde beklemeleri esnasında düz giden akıma engel olmalarıdır. Aynı problem diğer kavşak kollarında da görülmekte olup öneri tasarımda sola dönüşlerin kendi şeritlerinden yapılmasının gerekli olduğunu göstermektedir.

4.3 Öneri Kavşak Tasarımlarının Hazırlanması

Çalışma kapsamında kavşaktaki trafik problemini çözmeye yönelik bir eşdüzey bir de farklı seviyeli öneri tasarım hazırlanmıştır.

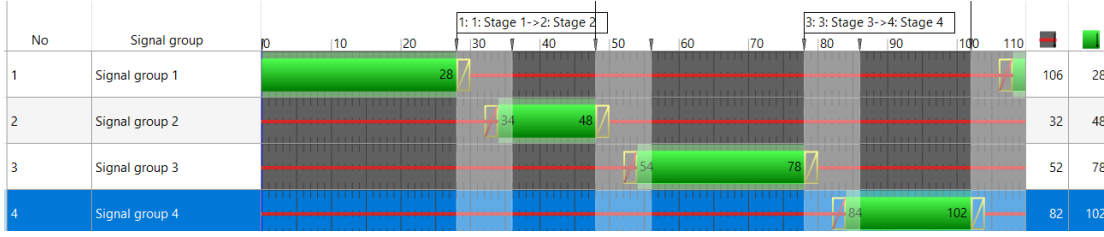
4.3.1 Öneri-1 (eş düzey kavşak) ve sonuçlarının değerlendirilmesi



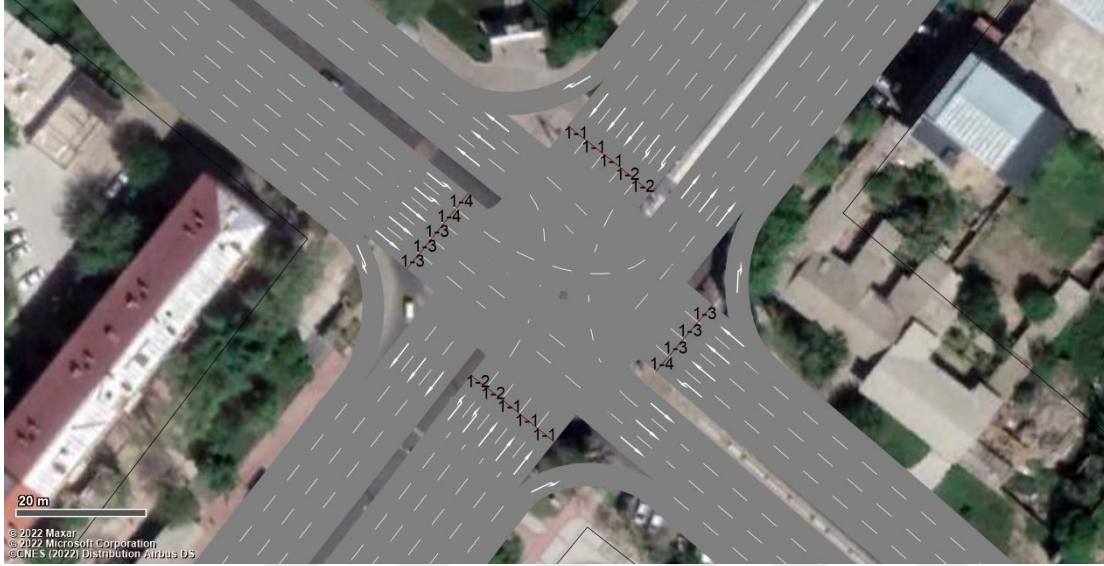
Şekil 4. 6: Öneri-1 (eş düzey kavşak) planı.

Öneri kavşak tasarımı Şekil 4.6’da belirtildiği üzere sola dönüşler için ayrı şeritlerin açıldığı, 4 faz sistemi ile çalışması planlanan bir yapıya sahiptir. Kavşak kapasitesinin artırılması için kuzeyde bulunan geniş kaldırım alanlarının bir bölümü yola dahil edilmiştir. Bu sayede kavşak kısmında yolda genişleme yapılarak sağa dönüşleri yaya kontrollü serbest bırakmak üzere ekstra şeritler açılmıştır. Tasarımda kavşak merkezinden 150’şer metre uzaklıkta sonlandırılıp mevcut duruma rakortmanı yapılacak şekilde çalışılmıştır.

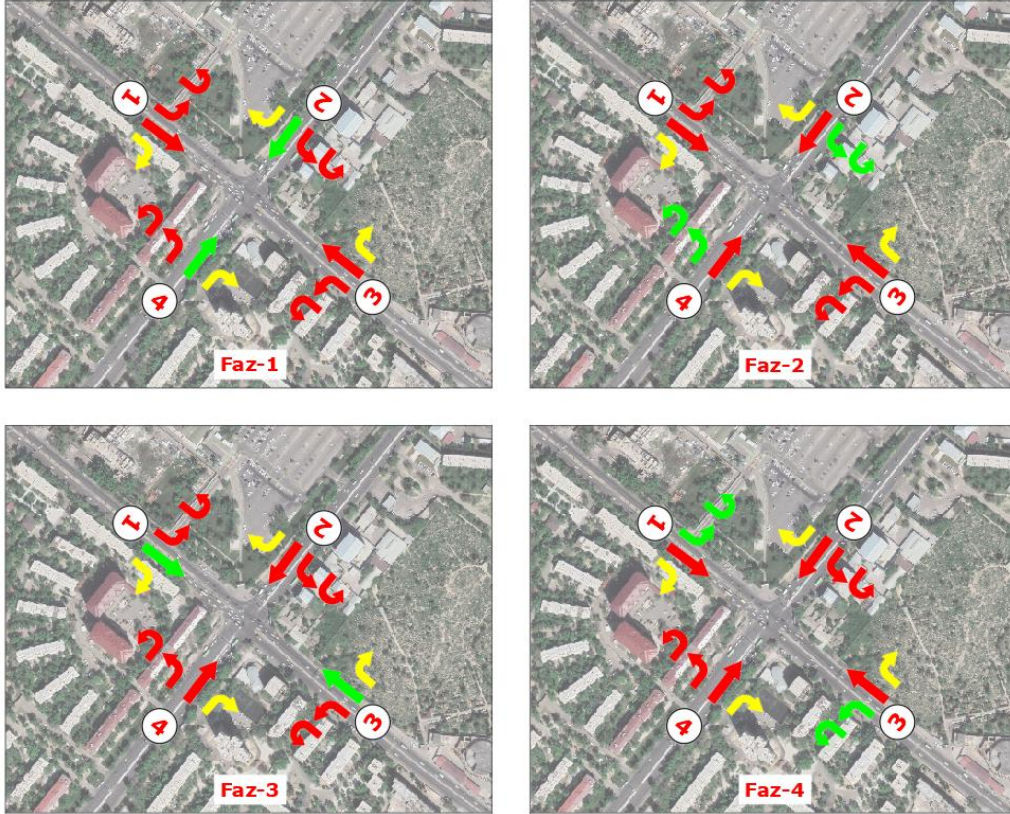
Kavşak 4 fazlı sinyal düzeni uygulanacak şekilde çalışılmıştır. Sinyal fazları karşılıklı akslarda önce düz akımlar, ardından sola dönüşler aynı anda geçiş yapacak şekilde düzenlenmiştir. Trafik sayımlarında pik saatte elde edilen araç sayıları girdi olarak tanımlandıktan ve kalibrasyon işlemleri yapıldıktan sonra Vissim sinyal optimizasyon aracı ile faz süreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar neticesinde faz döngü süresi 110 saniye olarak belirlenmiş olup optimizasyon sonucu en uygun sinyal faz değerleri Şekil 4.7’de belirtilmiştir.



Şekil 4. 7: Öneri-1 (eş düzey kavşak) sinyal faz diyagramı.



Şekil 4. 8: Öneri-1 (eş düzey kavşak) sinyal grupları.



Şekil 4. 9: Öneri-1 (eş düzey kavşak) sinyal faz planları.



Şekil 4. 10: Öneri-1 (eş düzey kavşak) simülasyon görseli.

Simülasyon sonuçları kapsamında kavşak kollarındaki kuyruklanma boyları, kavşağın ortalama gecikme süresi, hizmet düzeyi, araç başına ortalama durma süreleri, yakıt emisyonları ve yakıt tüketimi parametreleri dikkate alınmıştır. Kavşak kollarındaki ortalama kuyruklanma boyları Şekil 4.11’de analiz sonuçları ise Çizelge 4.2’de belirtilmektedir.



Şekil 4. 11: Öneri-1 (eş düzey kavşak) kuyruklanma boyları analizi.

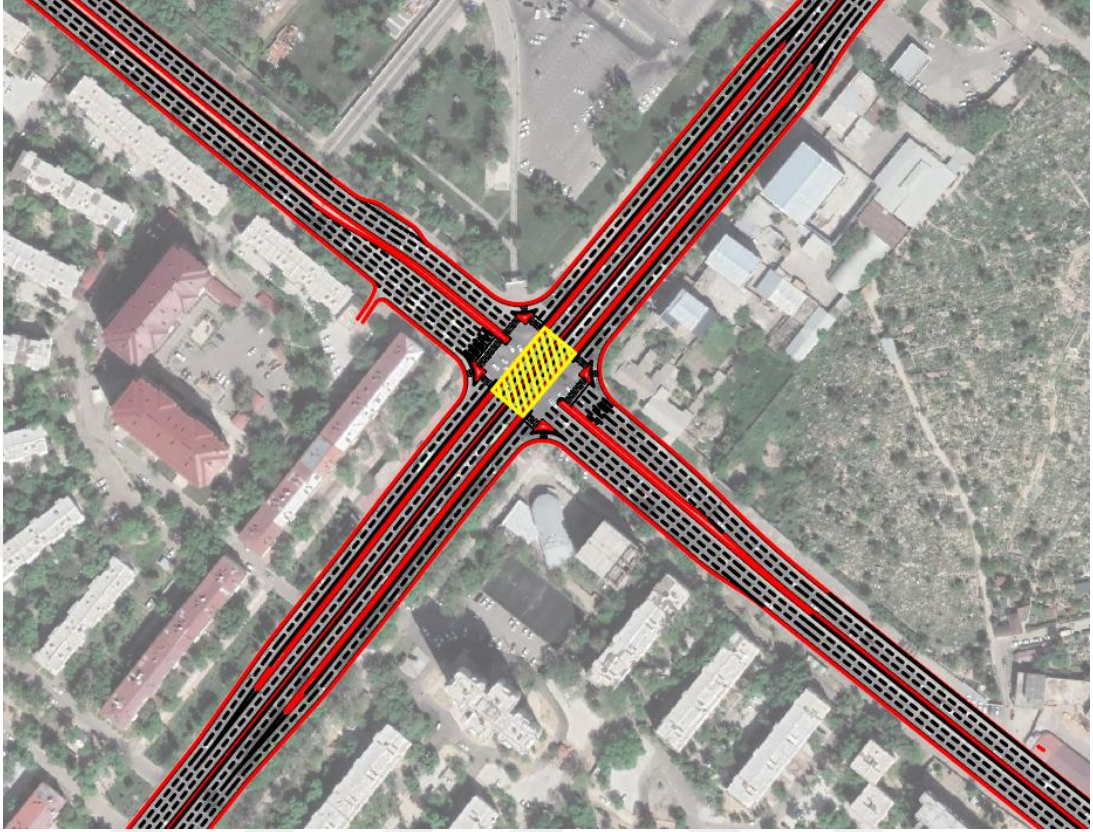
Çizelge 4. 2: Öneri-1 (eş düzey kavşak) simülasyon sonuçları.

Öneri-1 (Eşdüzey Kavşak) Simülasyon Sonuçları	
Ortalama Gecikme Süresi (sn)	36.83
Ortalama Durma Sayısı	0.75
Ortalama Kuyruklanma Boyu (m)	24.91
Maksimum Kuyruklanma Boyu (m)	170.44
Hizmet Düzeyi	D
Yakıt Emisyonları	
CO(gram)	16796.365
NOX(gram)	3267.962
VOC(gram)	3892.72
Yakıt Tüketimi	
ABD Galonu (Sıvı)	240.291
Litre	63.57

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde öneri durumunda kavşağın D hizmet düzeyinde çalıştığı görülmektedir. Kavşaktaki en fazla kuyruklanmanın olduğu kol 181.56 metre kuyruklanma boyu ile 4 numaralı kavşak kolunda görülmüştür. Sinyal optimizasyonu ile kuyruklanmaların kavşak kollarına benzer oranda dağıldığı görülmektedir.

Kavşağın daha yüksek kapasite ile çalışmasının bir yolu faz sayısını düşürmek olabilir. Bu tip bir çalışma için daha büyük ölçekte kavşak bölgesi incelenip sirkülasyon planları oluşturulmalıdır. Faz sayısını düşürmek için bir diğer öneri de sola dönüşleri yasaklayıp, U dönüşleri ile bu hareketlere izin vermek olabilir. Ancak bu tasarım için kavşak bölgesinde yeterli alan bulunmamakta olup, çalışma kapsamında herhangi bir kamulaştırma bedeli oluşturulmaksızın öneriler geliştirilmiştir. Bu sebeple üçüncü bir öneri olarak farklı seviyeli kavşak tasarımı yapılmıştır.

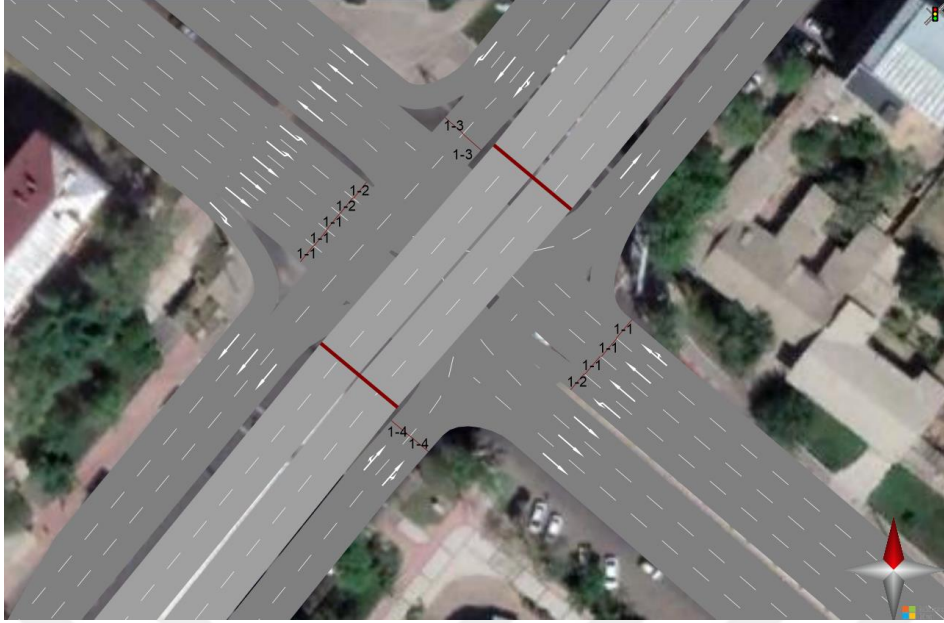
4.3.2 Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) ve sonuçlarının değerlendirilmesi



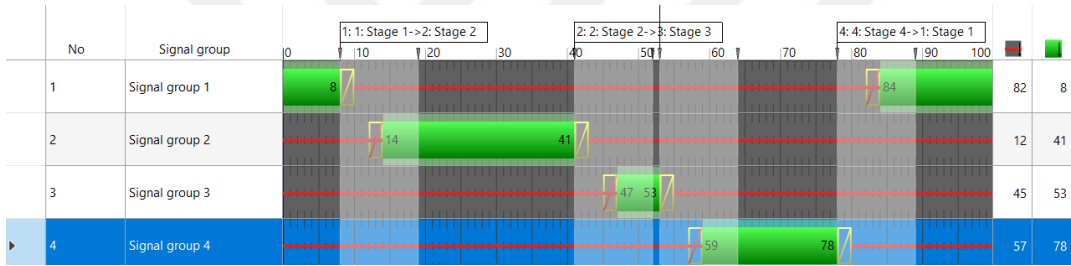
Şekil 4. 12: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) planı.

Trafik sayım değerleri dikkate alındığında ana akımın Mirzo Ulugbek Caddesi üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Hem bu sebeple hem de cadde genişlikleri dikkate alındığında transit geçiş aksı olarak bu cadde uygun görülmektedir. Bu sebeple Mirzo Ulugbek Caddesi üzerinde bir köprü tasarımı yapılmıştır. Temur Malik Caddesi'ne sola dönüşlerin kısıtlanmaması amacıyla hemzemin şekilde yan yollar devam ettirilmiş, köprü'nün altında 4 fazlı sinyal sistemi ile çalışacak bir tasarım oluşturulmuştur.

Kavşak 4 fazlı sinyal sistemi ile çalışmakta olup faz döngü süresi 100 saniye olarak belirlenmiştir. Pik saatteki araç sayıları girdi olarak işlenmiş, sinyal optimizasyonu simülasyon programı aracılığıyla yapılmıştır. Kavşağa ait sinyal planı Şekil 4.13'te, sinyal faz diyagramı Şekil 4.14 ve faz planları Şekil 4.15'te belirtilmiştir.



Şekil 4. 13: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) sinyal grupları.



Şekil 4. 14: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) sinyal faz diyagramı.



Şekil 4. 15: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) sinyal faz planları.



Şekil 4. 16: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) simülasyon görseli.

Simülasyon sonuçları kapsamında kavşak kollarındaki kuyruklanma boyları, kavşağın ortalama gecikme süresi, hizmet düzeyi, araç başına ortalama durma süreleri, yakıt emisyonları ve yakıt tüketimi parametreleri dikkate alınmıştır. Kavşak kollarındaki ortalama kuyruklanma boyları Şekil 4.17’de, analiz sonuçları ise Çizelge 4.3’te belirtilmektedir.



Şekil 4. 17: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) kuyruklanma boyları analizi.

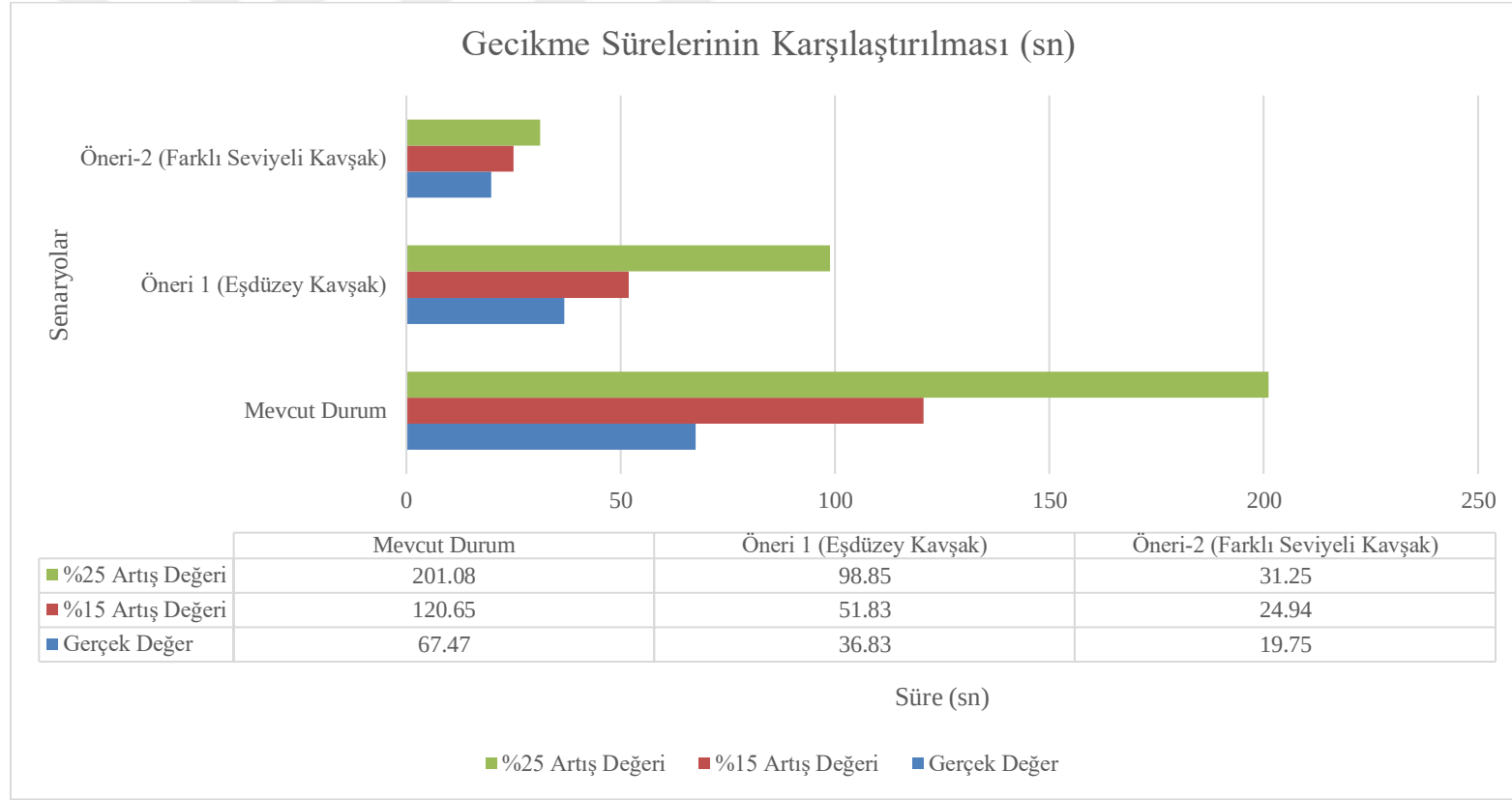
Çizelge 4. 3: Öneri-2 (farklı seviyeli kavşak) simülasyon sonuçları.

Öneri-2 (Farklı Seviyeli Kavşak) Simülasyon Sonuçları	
Ortalama Gecikme Süresi (sn)	19.75
Ortalama Durma Sayısı	0.41
Ortalama Kuyruklanma Boyu (m)	15.1
Maksimum Kuyruklanma Boyu (m)	90.01
Hizmet Düzeyi	B
Yakıt Emisyonları	
CO(gram)	14223.011
NOX(gram)	2767.281
VOC(gram)	3296.32
Yakıt Tüketimi	
ABD Galonu (Sıvı)	203.477
Litre	53.83

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde kavşağın B hizmet düzeyinde çalıştığı görülmektedir. Kavşak kollarındaki kuyruklanmaların bir faz süresinde bitecek kadar azaldığı görülmektedir.

4.4 Geleceğe Yönelik Senaryolar Üzerinden Analizlerin Yapılması

Çalışma yapılan kavşağın konumu ve Taşkent'in hem nüfus hem de kentleşme açısından büyümekte olan bir şehir olmasından dolayı trafik yükünün gelecek yıllarda artacağı öngörülmektedir. Nitekim Özbekistan Devlet İstatistik Komitesi'nin açıkladığı verilere göre Özbekistan'daki bireysel araç sahipliliği 2020-2021 yılları arasında %15 artış göstermiştir. Bu verilerden hareketle çalışmanın bu kısmında trafik yükündeki artışın mevcut ve öneri durumlar için etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda simülasyon modellerine girilen araç değerleri kısa vadeli projeksiyon için %15, orta ve uzun vade için ise %25 arttırılmış, simülasyon sonuçları analiz edilmiştir.



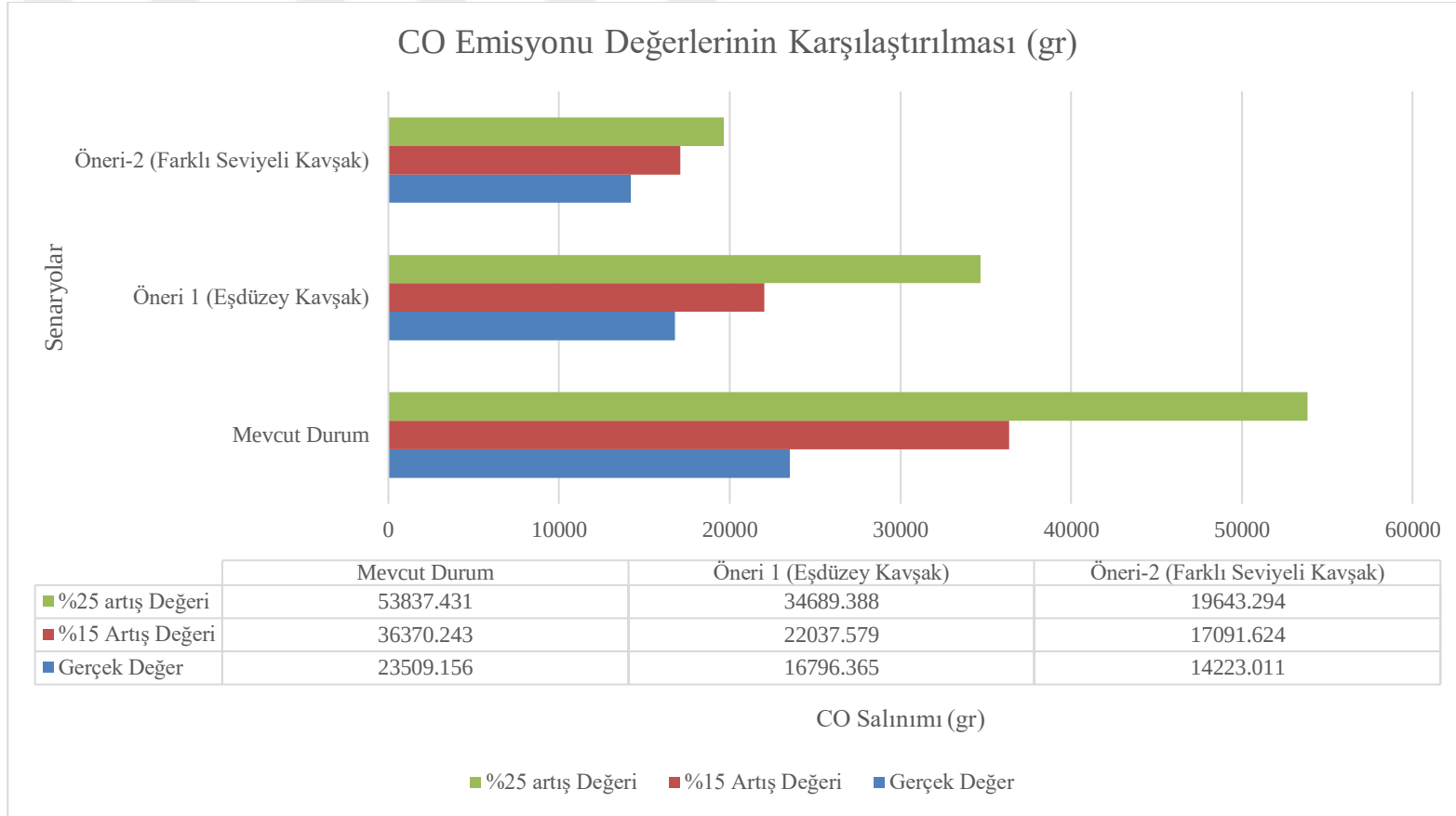
Şekil 4. 18: Farklı senaryolara göre gecikme sürelerinin karşılaştırılması.

Gecikme süreleri analiz edildiğinde;

-Eşdüzey tasarıma sahip öneride gecikme süresi açısından %45.41 iyileşme sağlanmıştır. Bu rakam trafik yoğunluğunun %15 arttırıldığı senaryoda %57.04 iken, %25 arttırıldığı senaryoda %50.84 iyileşme olarak karşımıza çıkmaktadır.

-Farklı seviyeli kavşak tasarımının ise gecikme süresi açısından %70.73 oranında iyileşme sağladığı görülmektedir. İlk senaryoda iyileşme oranı %79.33 iken, değerlerin %25 arttırıldığı ikinci senaryoda bu oran %84.46'yı bulmaktadır.





Şekil 4. 19: Farklı senaryolara göre CO emisyonu değerlerinin karşılaştırılması.

Hava kirliliğinin maliyet analizi için en önemli parametre olan karbon emisyonlarının analizinde trafik yoğunluğunun artması ile birlikte salınım değerlerinin yüksek oranda artış gösterdiği analiz sonuçlarına yansımaktadır. Kavşak tipleri açısından bu analiz irdelendiğinde;

-Eşdüzey kavşak tasarımına sahip öneride mevcut duruma göre %28.55, %15 artış gösterilen senaryoda %39.41, %25 artış gösterilen ikinci senaryoda ise %35.57 iyileşme görülmektedir.

-Farklı seviyeli kavşak tasarımına sahip öneride ise gerçek değerler ile yapılan simülasyon sonuçlarında %39.50, birinci senaryoda %53.01, ikinci senaryoda ise %63.51 iyileşme görülmektedir.

Diğer parametrelerin sonuçları dikkate alındığında da benzer oranlarda iyileşmelerin sağlandığı Çizelge 4.4'te görülmektedir.

Çizelge 4. 4: Farklı senaryolara göre analiz sonuçları tablosu.

Gerçek Değerler	Mevcut Durum	Öneri 1 (Eşdüze Kavşak)	Öneri-2 (Farklı Seviyeli Kavşak)
Ortalama Gecikme Süresi (sn)	67.47	36.83	19.75
Ortalama Durma Sayısı	2.33	0.75	0.41
Ortalama Kuyruklanma Boyu (m)	92.38	24.91	15.1
Maksimum Kuyruklanma Boyu (m)	397.35	170.44	90.01
Hizmet Düzeyi	E	D	B
Yakıt Emisyonları			
CO(gram)	23509.156	16796.365	14223.011
NOX(gram)	4574.027	3267.962	2767.281
VOC(gram)	5448.474	3892.72	3296.32
Yakıt Tüketimi			
ABD Galonu (Sıvı)	336.326	240.291	203.477
Litre	88.98	63.57	53.83

%15 Artış Yapılan Durum	Mevcut Durum	Öneri 1 (Eşdüze Kavşak)	Öneri-2 (Farklı Seviyeli Kavşak)
Ortalama Gecikme Süresi (sn)	120.65	51.83	24.94
Ortalama Durma Sayısı	4.12	1.08	0.48
Ortalama Kuyruklanma Boyu (m)	181.12	40.67	22.16
Maksimum Kuyruklanma Boyu (m)	398.27	342.81	120.7
Hizmet Düzeyi	F	D	C
Yakıt Emisyonları			
CO(gram)	36370.243	22037.579	17091.624
NOX(gram)	7076.328	4287.712	3325.409
VOC(gram)	8429.155	5107.422	3961.149
Yakıt Tüketimi			
ABD Galonu (Sıvı)	520.318	315.273	244.515
Litre	137.65	83.41	64.69

%25 Artış Yapılan Durum	Mevcut Durum	Öneri 1 (Eşdüze Kavşak)	Öneri-2 (Farklı Seviyeli Kavşak)
Ortalama Gecikme Süresi (sn)	201.08	98.85	31.25
Ortalama Durma Sayısı	7.51	2.74	0.57
Ortalama Kuyruklanma Boyu (m)	291.35	92.92	31.63
Maksimum Kuyruklanma Boyu (m)	472.08	412.39	176.77
Hizmet Düzeyi	F	F	C
Yakıt Emisyonları			
CO(gram)	53837.431	34689.388	19643.294
NOX(gram)	10474.808	6749.294	3821.871
VOC(gram)	12477.344	8039.601	4552.523
Yakıt Tüketimi			
ABD Galonu (Sıvı)	770.206	496.272	281.02
Litre	203.76	131.29	74.34

4.5 Hava Kirliliği Maliyet Hesabı

Uygulama kapsamında zirve saatteki trafik yoğunluğuna istinaden yapılan analizler sonucunda emisyon değerleri elde edilmiştir. Bu değerler vasıtasıyla kavşakta yapılacak düzenlemenin hava kirliliği maliyetleri açısından katkı sağlayacağı maddi değeri hesaplamak için birtakım kabul ve varsayımlara gereksinim duyulmaktadır.

Simülasyon sonuçlarında elde edilen salınım değerleri trafik açısından kavşaktaki en yoğun bir saat için geçerlidir. Yıllık bazda maliyet hesabı yapmak için öncelikle günlük salınım değeri hesabı yapılmıştır.

Trafik sayımları 07:30-11:00 ile 14:30-18:00 saatleri arasında yapılmış olup, sabah zirve saat ile akşam zirve saat akımları arasında kayda değer bir fark görülmemektedir. Zirve dışı saatlerdeki toplam araç değerlerinin ortalaması dikkate alındığında, zirve saatten %10 oranında azalma görülmektedir.

Gece saatlerinde trafik yoğunluğunun gecikmelere ve kuyruklanmalara yol açmayacağı varsayılarak, günlük 2 saat zirve, 8 saat zirve dışı olmak üzere 10 saatlik trafik verisi üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

Trafik sayımları 30 Eylül 2021 Perşembe günü yapılmış olup, günlük bazda hesaplanan trafik değeri hafta içi günlerde sabit tutulup, hafta sonu yolculukların az olacağı öngörüldüğünden bu değer %50'si hesaplamalarda dikkate alınmıştır.

Taşıt kaynaklı karbon salınımının ton başına birim maliyeti için birçok çalışma ve görüş ortaya konmuş olup “Victoria Transport Policy Institute” tarafından yayımlanan “Transportation Cost and Benefit Analysis II – Air Pollution Costs” raporunda taşıt kaynaklı karbon salınımının hava kirliliğine ve iklim değişikliğine verdiği zararın maliyeti 35 dolar olarak kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında ulaşılan veriler ve kabuller çerçevesinde yapılan maliyet hesabı Çizelge 4.5'te belirtilmiştir.

Çizelge 4. 5: Hava kirliliği maliyet hesap tablosu.

	Mevcut Durum	Öneri-1 (Eşdüzey Kavşak)	Öneri-2 (Farklı Seviyeli Kavşak)
Zirve Saatler için Salınım Değeri (2 saat)	47018.312	33592.73	28446.022
Zirve Dışı Salınım Değeri (8 saat)	169265.9232	120933.828	102405.6792
Hafta İçi Salınım Değeri	1081421.176	772632.79	654258.506
Hafta Sonu salınım değeri (20 saat)	235091.56	167963.65	142230.11
Haftalık Salınım Değeri	1316512.736	940596.44	796488.616
Yıllık Salınım Değeri (ton)	68458.66227	48911.01488	41417.40803
Maliyet	\$2,396,053.18	\$1,711,885.52	\$1,449,609.28
Fayda		\$684,167.66	\$946,443.90
Fayda Maliyet Oranı		28.55%	39.50%



5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında Özbekistan Taşkent'te bulunan Temur Malik Caddesi-Mirzo Ulugbek Caddesi kavşak bölgesinde trafik sayımları ve mevcut durum analizleri yapılmış, kavşaktaki trafik akışını daha verimli hale getirmeye yönelik, biri eş düzey, diğeri farklı seviyeli olmak üzere iki öneri tasarım yapılmıştır. Sayım sonuçlarından elde edilen veriler baz alınarak öneri tasarımlar simülasyon ortamında modellenmiş, sonuçları analiz edilmiştir.

Analizler sonucunda;

- İlk öneri olan eş düzey kavşak tasarımının kısa vadede olumlu sonuçları olmasına karşın, gelecek senelerde trafik yoğunluğunun %25 oranında artması durumunda kapasitesini dolduracağı ve yeniden trafik sorunlarının yaşanacağı saptanmıştır. Bu öneri maliyet açısından uygun bir çözüm önerisi olup karbon emisyonlarının maliyet analizlerine göre yılda 684.167,65 \$ fayda sağlayacağı öngörülmektedir.

- İkinci öneri olan farklı seviyeli kavşak tasarımı nispeten yüksek maliyetli bir öneri olsa da orta ve uzun vadede kavşaktaki trafik sorununa çözüm getirmekte olup, karbon emisyonlarının maliyet analizlerine göre yılda 946.443,90 \$ fayda sağlayacağı öngörülmektedir.

-Sonuçlar değerlendirildiğinde trafik sıkışıklığı yaşanan kavşaklarda uygun maliyetli geometrik düzenlemeler ve sinyal optimizasyonları ile kayda değer bir iyileşme sağlanabildiği ancak taşıt sayılarıyla birlikte trafik yoğunluğunun artması durumunda, orta ve uzun vadede farklı seviyeli kavşak tasarımlarının daha faydalı sonuçlar ortaya koyduğu anlaşılmaktadır. Ancak farklı seviyeli kavşak tasarımlarının, kavşağa bağlı yollar ile birlikte koridor bazlı inceleme ve analizler ile yapılmasının daha doğru olduğunu belirtmek doğru olacaktır. Bu çalışmada konu, hava kirliliği maliyetleri açısından ve tek kavşak bölgesindeki analizler ışığında değerlendirilmiştir.

-Günümüz dünyasının en önemli sorunlarından birisi olan küresel ısınma ve iklim değişikliği tehdidine karşı karayolu ulaşımı kaynaklı karbon salınımının azaltılması

konusunda da çalışmanın kaydadeğer sonuçları olmuştur. Emisyon değerlerindeki iyileşme incelendiğinde karbon kaynaklı salınım sonuçlarında, birinci önerinin uygulanması durumunda yılda yaklaşık 18500 ton, ikinci önerinin uygulanması durumunda ise 27000 ton iyileşme görülmektedir. Sürdürülebilir bir çevre yaratmak için şehirlerin ulaşım altyapılarında bu tip çalışmaların yaygınlaşması büyük önem arz etmektedir.

Yapılan çalışma kavşaklardaki tıkanmaların önüne geçilmesi ile çevre ve hava kirliliği açısından sağlanacak faydayı sayısal verilerle ortaya koymayı amaçlayıp bilimsel metotlara dayanan simülasyon modellemeleri ve analizleri ile sonuca ulaşmıştır.



KAYNAKLAR

- Acar, İ. H.** (1992). Kentiçi Trafik Sorunlarının Hafifletilmesinde Genel Yöntemler ve İstanbul'un Durumu. *İstanbul 2.Kentiçi Ulaşım Kongresi Bildiriler Kitabı*, (s. 468-480). İstanbul.
- Akpınar, M. V.** (2010). *Karayolu Tasarımı Ders Notları*.
- Avcı, Ş.** (2002, 1-143). Türkiye'de Karayolu Trafik Hizmetinde Görevli Kurum ve Kuruluşlar Arasında Koordinasyon ve Görev Paylaşımı Sorunu. *Trafik Planlaması ve Uygulaması Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ay, E., Balta, M., Çolak, M., & Semercioglu, H.** (2010). *Hava kirliliği ve modellenmesi*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü Ders Notları.
- Aydınlar, B., Güven, H., & Kırksekiz, S.** (2009). *Hava Kirliliği ve Modellemesi*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü Ders Notları.
- Bagieński, Z.** (2015). Traffic air quality index. *Science of the Total Environment*(505), 606-614.
- Becerra, T., Wilhelm, M., Olsen, J., Cockburn, M., & Ritz, B.** (2013). Ambient Air Pollution and Autism in Los Angeles County, California. *Environmental Health Perspectives*, 121(3), 380-386.
- Berkmen, E.** (1978). Toplu Taşımanın Ülke Ekonomisine Çekim Enerjisi Açısından Katkısı. *1.Toplu Taşıma Kongresi, Bildiriler Kitabı*, (s. 101-110). Ankara.
- Boynukalın, İ.** (1980). *Yaya Yolları ve Yayalaştırma Teknikleri*. Ankara: ADMMA Geliştirme Derneği Yayınları.
- Candan, S.** (2009). Kara Ulaşımı Fayda ve Maliyetlerinin Çıçülmesinin Yöntemleri ve Uygulamalara Etkileri. *Doktora Tezi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Coifman, B., & Cassidy, M.** (2002). Vehicle reidentification and travel time measurement on congested freeways. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(10), 899-917.
- Cuci, Y., & Polat, E.** (2015). Gaziantep'in Trafik Kaynaklı Hava Kirliliğinin Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 1-11.
- Dündar, A. O.** (2021). Türkiye'deki Büyükşehirlerin Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Sera Gazı Emisyon Miktarının Karşılaştırmalı Analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 318-337.
- Dündar, A., & Kolay, A.** (2021). Karayolu yük ve yolcu taşımacılığının çevresel sürdürülebilirlik bakımından değerlendirilmesi ve Konya ili sera gazı

emisyoununun hesaplanması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 317-334.

- El-Fadel, M., & Hashisho, Z.** (2000). Vehicular emissions and air quality assessment in roadway tunnels: the Salim Slam tunnel. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(5), 355-372.
- Ganji, S. S., Barari, A., Najafi, M., & Domairry, G.** (2011). Analytical Evaluation of Jamming Transition Problem. *Canadian Journal of Physics*, 89, 729-738.
- Gözenç, S., Gümüő, E., & Ertin, G.** (1998). Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi İlköğretim Öğretmenliği Lisans Tamamlama Programı. Anadolu Ün. Yay No: 1069, Açık Öğretim Fak.Yay.No:594, Eskiőehir.
- Gümrükçüoğlu, M., & Soylu, ő.** (2007). şehiriçi Ulaştırma Kaynaklı Kirletici Emisyonların Hesaplanmasında Adapazarı Örneği. *Uluslararası Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Konferansı*. Konya.
- Gümüşay, M., Erhan, S., & Ünal, A.** (2009). Karayolunda Hareket Halindeki Araçların Egzost Gazlarının CBS Ortamında Analiz Edilmesi. 12. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. Ankara: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası.
- Kaplan, H.** (1992). Büyük Kentlerimizde Trafik Rahatlatma Önlemleri, Trafik Bütünleőtirmesi ve Toplu Taőtım Sistemlerinin Yeri. 4. *Toplu Taőtım Kongresi*, (s. 64-78). Ankara.
- Kara, N.** (2013). *Determination and Modeling of Emission Factors Using a Highway Tunnel* (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karagöz, G.** (2018). *Kent İçi Sinyalize Eşdüzey Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Modellenmesi ile Trafik Akışının İyileştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Eskiőehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kato, J.** (2005). An attempt to acquire traffic density by using road traffic sound. *Active Media Technology*, 353-358.
- Kato, J., Watanabe, T., Joga, S., Liu, Y., & Hase, H.** (2004). An HMM/MRF based stochastic framework for robust vehicle tracking. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 5(3), 142-154.
- Khomenko, A., Kharchenko, D., & Yushchenko, O.** (2004). Jamming Transition with Fluctuations of Characteristic Acceleration/Braking Time. *Ser. Physic*, 37, 44-56.
- Munzuroğlu, Ü.** (2010). *İstanbul Trafığindeki Ticari Taksilerin Emisyon Açısından Olumsuz Etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Bahçeőehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Murat, B.** (2013). *Trafik Hukuku Trafik Kazalarından Doğan Hukuki ve Cezai Sorumluluklar Temel Trafik ve Çevre Bilgisi* (6. b.). Ankara: Adalet Yayınevi.
- Nagatani, T.** (1998). Thermodynamic Theory for the Jamming Transition in Traffic Flow. *Physical Review E*, 58, 4271-4276.
- Ndoke, P., Akpan, U., & Kato, M.** (2006). Contribution of Vehicular Traffic to Carbon Dioxide Emission in Kaduna and Abuja, Northern Nigeria. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 5(9), 81-90.

- Özinal, Y., & Uz, V.** (2021). Dönel kavşak geometrik elemanlarının kavşak güvenliği üzerine etkisinin literatür ışığında değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 24(1), 283-297.
- Öztürk, Z.** (2005). *Karayolu Şehiriçi Trafikte Tıkanma Maliyeti*. İTÜ İnşaat Fakültesi, Ulaştırma Anabilim Dalı Ders Notları.
- Raz, R., Levine, H., Pinto, O., Broday, D., & Weisskopf, M.** (2018). Traffic-related air pollution and autism spectrum disorder: a population-based nested case-control study in Israel. *American Journal of Epidemiology*, 187(4), 717-725.
- Sinharay, R., Gong, J., Barratt, B., Ohman-Strickland, P., Ernst, S., Kelly, F., . . . Chung, K. F.** (2018). Respiratory and cardiovascular responses to walking down a traffic-polluted road compared with walking in a traffic-free area in participants aged 60 years and older with chronic lung or heart disease and age-matched healthy controls: a randomised, crossover. *The Lancet*, 391(10118), 339-349.
- Straif, K., Cohen, A., & Samet, J.** (2013). *Air Pollution and Cancer*. WHO.
- Şentürk, S. H.** (2012). Tıkanıklık Fiyatlaması, Dünya Uygulamaları ve Türkiye'deki Durumun Değerlendirilmesi. *Maliye Dergisi*(162), 282-303.
- Şenveli, E.** (2008). Etanol Katkılı Yakıt Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TDK.** (2005). Türk Dil Kurumu Türkçe Sözlük. Ankara: Türk Dil Kurumu Yayın.
- Tyagi, V., Kalyanamaran, S., & Krishnapuram, R.** (2012). Vehicular traffic density state estimation based on cumulative road acoustics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(3), 1156-1166.
- Wegman, F.** (1996). *Karayolu Trafik Kazaları: Başarıyla Üstesinden Gelinebilecek Dünya Çapında Bir Problem!* (T. Kiper, Çev.) PIARC Karayolu Güvenliği Komitesi.
- WHO.** (2013). *Health Effects of Particulate Matter; Policy implications for countries in Eastern Europe, Caucase and Central Asia*. World Health Organization.
- WHO.** (2015). *Number of registered vehicles*. Erişim: 18 Haziran 2022, http://www.who.int/gho/road_safety/registered_vehicles/number_text/en/. adresinden alındı
- WHO.** (2021). *Air pollution*. Erişim: 19 Haziran 2022, <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>.
- Yakın, A., & Behçet, R.** (2019). Van ili trafik kaynaklı hava kirleticilerinin emisyon envanteri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(3), 1567-1573.
- Yaşlıca, E., Şenlier, N., & Polat, E.** (2001). Kentsel Tasarımın Bir Boyutu Olan Ulaşım ve Kentsel Yaşam Kalitesi: Trafik Durultması Olgusu. *Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi*. Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Yılmaz, H.** (2022). *Eşdüzey Kavşakların Performans Etkilerinin Araştırılması: Bursa Esentepe Kavşağı Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Yılmazcan, Ö.** (2010). Partiküler Maddelerin Elementel İçeriklerinin Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yorulmaz, E.** (2001). Bursa’da Trafik Yönetimi Ulaşım Sorunları ve Çözüm Önerileri. *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zhao, Y., & Zhao, C.** (2012). Concentration and distribution analysis of heavy metals in total suspended particulates along Shanghai-Nanjing expressway. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1405-1411.
- URL-1:** Our World in Data <<https://github.com/owid/co2-data>>, erişim tarihi 18.06.2022.
- URL-2:** data.tuik.gov.tr., erişim tarihi: 18.06.2022.
- URL-3:** T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Kentsel- Kırsal Nüfus Oranı <<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kentsel---kirsal-nufus-orani-i-85670>>, erişim tarihi: 16.06.2022.
- URL-4:** Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Hizmetleri Başkanlığı
<https://www.egm.gov.tr/kurumlar/egm.gov.tr/IcSite/kom/YAYINLARIMIZ/T%C3%9CRK%C3%87E/2008%20RAPORU%20T%C3%9CRK%C3%87E.pdf>, erişim tarihi: 16.06.2022.
- URL-5:** Smog, Soot, and Other Air Pollution from Transportation.
<https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change/smog-soot-and-other-air-pollution-transportation>, erişim tarihi: 11.06.2022.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Okan Hamdi GÖKTUĞ

ÖĞRENİM DURUMU

- **Lisans:** 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği
-

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER

- 2017-2019 yılları arasında IDEArc Uluslararası Mühendislik firmasında proje mühendisi olarak çalıştı.
- 2019 yılında Kalyon Trafik firması ile birlikte Özbekistan Taşkent Ulaşım Ana Planı Konsept Projesi'nde görev aldı.
- 14 Kasım 2019 tarihinde Geoin Proje firmasını kurdu. Kurucu ortak olarak çalışmalarına devam etmektedir.
- Yurtiçi ve yurtdışı birçok şehirde ulaştırma mühendisliği projelerinde proje mühendisliği ve proje yönetimi yapmıştır.