

Yeni Yapılması Planlanan bir Kavşağın Mikro-Simülasyon ile Değerlendirilmesi

Halim Ferit BAYATA*¹, Osman Ünsal BAYRAK²

¹Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye

²Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Geliş / Received: 06/07/2018, Kabul / Accepted: 12/11/2018

Öz

Erzurum'da trafiğe kayıtlı araç sayısı 2017 yılı (TUIK) verilerine göre, 114.044'tür. Erzurum, Doğu Anadolu Bölgesinin en büyük şehirlerinden biridir. Aynı zamanda, bölgenin cazibe merkezlerinden biri olduğu için, araç sayısındaki mevsimsel artış% 17.61'dir. Bu sayı her yıl ortalama %2,8 artmasına rağmen, mevcut yolların kapasiteleri sabit kalmaktadır. Bu sonuç, yolların yetersiz kalmasına neden olmakta, trafik yoğunluğunun artmasıyla birlikte, seyahat süresi, gecikme ve egzoz emisyonlarının artmasını da beraberinde getirmektedir. Buna ek olarak, yapılan araştırmalar, Türkiye'de şehir merkezlerinde meydana gelen trafik kazalarının yaklaşık %52'sinin kavşaklarda meydana geldiğini göstermektedir. Bu çalışmada, Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılması planlanan bir kavşağın çevre ve bölge trafiğine etkisi araştırılmıştır. Yapılması düşünülen kavşak, Erzurum-Bingöl devlet yolu üzerinde ve Atatürk Üniversitesi Kampüsünü bu yola bağlayan nokta üzerindedir. Mevcut ve yeni durum, VISSIM mikro-simülasyon programı ile modellenmiş ve seyahat süresi, gecikme, kuyruk uzunlukları ile CO, NOx, VOC ve yakıt tüketimleri karşılaştırılmıştır. Mikro-simülasyon analiz sonuçlarına göre, seyahat süresi ve gecikmelerde %35, kuyruk uzunluklarında %83, egzoz emisyonlarında ise yaklaşık %23'e varan oranlarda azalma gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Egzoz Emisyonları, Kavşak, Mikro-Simülasyon, Trafik Yönetimi

Evaluation of a Newly Planned Intersection with Micro-Simulation

Abstract

The number of vehicles registered to traffic in Erzurum is 114,044 according to the data of 2017 (TUIK). Erzurum is one of the largest cities in the Eastern Anatolia Region. At the same time, as it is one of the attraction centers of the region, the seasonal increase in the number of vehicles is by 17.61%. Although this number increases by an average of 2.8% each year, the capacities of existing roads remain constant. This result leads the current roads to become inadequate, and along with an increase in traffic density, the travel time, delays, exhaust emissions and fuel consumption are increased. In addition, recent studies have shown that approximately 52% of the traffic accidents occurred in urban centers in Turkey occur at the junctions. In this study, the effect of a junction planned by the 12th Regional Directorate of Highways on the environmental and regional traffic was investigated. The planned junction is on the Erzurum-Bingöl state road and the point connecting Atatürk University Campus to this road. The current and new situation are modelled on the VISSIM micro-simulation program and the travel time, delay, queue lengths, CO, NOx, VOC and fuel consumption are compared with each other. According to the micro-simulation analyses results, a reduction of 35% for travel time and delays, 83% for queue lengths and 23% for exhaust emissions were observed.

Keywords: Exhaust Emissions, Junction, Micro-Simulation, Traffic Management

1. Giriş

Günümüzde ulaşım insan hayatını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Trafik yoğunluğunun artması, kazaların, yakıt tüketiminin, egzoz gazlarının ve zaman kaybının artmasını beraberinde getirmektedir.

Bununla birlikte havaya salınan emisyon gazları hem çevreyi hem de insan hayatını olumsuz yönde etkilemektedir. Ulaştırma mühendisliğinin temel iki amacı konfor ve güvenlik olduğundan dolayı, kamu

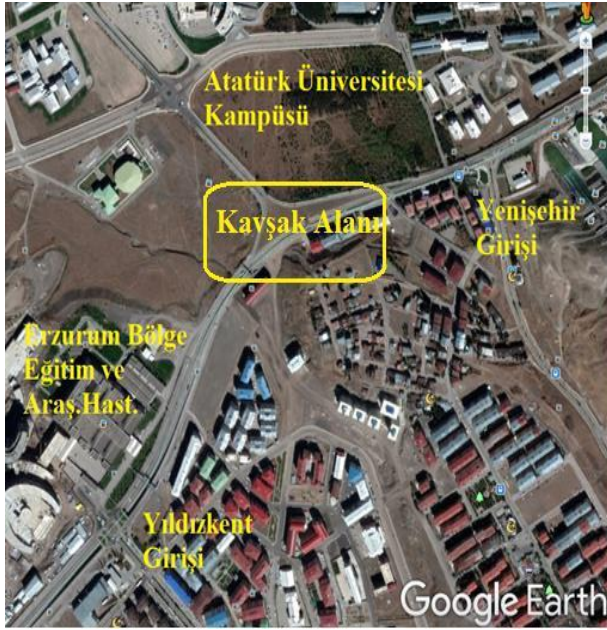
kurumları trafik yoğunluğunu ve dolayısıyla kazaların azalması için yoğun bir şekilde çalışmaktadır. Ulaştırma mühendisliğinde, planlama veya düzenlemenin verimliliğini tahmin etmek son derece önemlidir. Bu bağlamda, farklı ulaştırma modlarında trafik ağlarını analiz etmek için mikro-simülasyon modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Trafik simülasyonu güvenli, ucuz ve kolay uygulanabilir bir yöntem olduğundan, bu modellerle analiz edilebilir (Park ve Schneeberger, 2003; Siddharth ve Ramadurai, 2013).

Araştırmacılar son yıllarda, tasarım alternatiflerinin uygulama performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak için yoğun bir şekilde mikro-simülasyon kullanmaktadırlar (Gomes vd., 2004; Bartın vd., 2007; Laufer, 2007; Smith vd., 2008; Esawey ve Sayed, 2011). VISSIM, PARAMICS, AIMSUN, ARTEMIS vb. birçok trafik mikrosimülasyon programı, kavşakların performanslarını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Bloomberg ve Dale, 2000; Stevanovic vd., 2008; Heaslip vd., 2011). Her bir programın avantajları ve dezavantajları vardır. Örneğin, SIDRA ile bir yol ağını veya kavşağı modellemek daha kolayken, VISSIM'in daha doğru sonuçlar vermektedir (Tianzi vd., 2013). VISSIM, fazla trafik hacmine sahip büyük kavşaklar için uygunken, doymamış kavşakların modellenmesinde CORISM daha uygun olmaktadır (Sun vd., 2013). VISSIM, ulaşım planlaması ve uygulama analizleri için birçok üstün özelliğe sahip, yol-tabanlı (link-based), stokastik bir trafik mikro-simülasyon programıdır (Hallmark vd., 2010). Kompleks yol ağlarının simülasyonu ve değerlendirmesi için idealdir. VISSIM, akıllı trafik sistemleri, trafik yönetimi ve kontrol sistemleri gibi çoklu senaryolara uygulanabilir (Fellendorf ve Vortisch, 2001). Son yıllarda trafik kontrolü ve yönetimi için mikro simülasyon uygulamaları konusunda birçok çalışma yapılmıştır (Gomes vd., 2004; Tianzi vd. 2013; Alkheder, 2017). Bazı araştırmacılar

mikro-simülasyon parametrelerini çalışma alanlarına göre kalibre ederken (Zhao ve Sadek, 2012; Siddharth ve Ramadurai, 2013), bazıları seyahat süresi, gecikme ve egzoz emisyonlarını dikkate alarak yeni kavşak tipleri önermişler (Bartın vd., 2007; Song vd., 2012), bazıları ise genetik algoritma ve analitik hiyerarşi prosesi kullanarak sinyal optimizasyonu ve uygun kavşak tiplerini belirlemişlerdir (Stevanovic vd., 2008; Xu vd., 2012; Murat vd., 2015; Pilko vd., 2017). Bu çalışmada, Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılması planlanan yarım yonca yaprağı şeklinde kavşağın, seyahat süresi, gecikme, CO, NOx ve VOC (uçucu organik bileşenler) emisyonları, kuyruk uzunluğu ve yakıt tüketimi parametrelerine göre bölge trafiğine ve hava kirliliğine olan etkileri araştırılmıştır.

2. Çalışma Alanı

Atatürk Üniversitesi, Türkiye'nin doğusunda yer alan 2 milyon m² kampüs alanıyla ülkemizin sayılı yerleşkelerine sahip bir üniversitedir. Erzurum ulaşım ana planına göre, Bingöl Devlet yolunun bir bölümü olan Çat yolu, yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) değeri 26672 araç/gün ile Erzurum bölgesinin en yoğun ve en hızlı trafiğe sahip yolu olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda gerek yerleşke içinde gerekse Çat yolu üzerinde bulunan eğitim ve araştırma hastaneleri, yolun stratejik önemini artırmakta Doğu Anadolu Bölgesinin sağlık merkezi konumunda dolayı bölge trafiğini rahatlatarak çözümlerin bulunması zorunluluk haline gelmiştir. Bu yüzden, Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü bu alana yarım yonca yaprağı şeklinde bir kavşak yapmayı düşünmektedir (Şekil 1 ve 2). (Şekil 2 Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.)



Şekil 1. Yapımı düşünülen kavşak alanının üstten görünüşü.



Şekil 2. Yapımı düşünülen kavşağın CAD çizimi.

Yapılması düşünülen bu kavşak ile Atatürk Üniversitesi'nden Yenişehir, Yıldızkent ve Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi güzergâhını kullanacaklarla, bu cazibe merkezlerinden Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi yönünde akacak trafik yoğunluğu planlanarak tasarımı yapılmıştır (Şekil 3 ve 4).



Şekil 3. Mevcut durumdaki rotalar (Google Earth).



Şekil 4. Yeni durumdaki rotalar (Google Earth).

Şekil 3'de, gösterilen sarı çizgi, mevcut durumda Atatürk Üniversitesi'nden Yenişehir güzergahını, mavi çizgi ise Yıldızkent'ten Atatürk Üniversitesi'ne olan rotayı göstermektedir. Şekil 3'den de görüleceği gibi, Atatürk Üniversitesi'nden Yenişehir'e gitmek isteyen bir kişi, Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi önündeki kavşağa kadar gidip buradan geri dönerek gidebilmekte, bu durum da hastane önündeki kavşağın yoğunluğu artırarak çok uzun kuyruk uzunluklarının oluşmasına

neden olmaktadır. Aynı zamanda, Yıldızkent'ten Atatürk Üniversitesi'ne gitmek isteyen bir kişi ise, Yenişehir kavşağına gelmeden sinyalizasyon olmayan bir geçişle yolun karşısına geçmeye çalışmakta, bu da yoğun ve hızlı bir trafiğe sahip olan yolda trafik kazası olma ihtimalini artırmaktadır. Bu olumsuzlukların giderilebilmesi, Şekil 4'te görülen yeni rotalar ve yeni kavşağın yapılması durumunda ortadan kalkabilecek, seyahat süreleri, gecikmeler, kuyruk uzunlukları, egzoz emisyonları ve yakıt tüketiminde azalmalar olabilecektir.

Trafik kontrolü ve yönetimi için trafik verileri toplanması ve analizi büyük ölçüde gereklidir. Bu çalışma için öncelikle ön araştırmalar yapılmış, karayolu ve toplu taşıma envanterleri, trafik hacim sayımları, kavşak trafik hacmi sayımları insansız hava aracı (İHA) ile yapılmış tarafımızdan geliştirilen VehicleCounting ismini vermiş olduğumuz bir yazılımla değerlendirilmiştir. Hız ve gecikme çalışmaları hafta içi ve hafta sonu sabah ve akşam yoğun saatlerinde bölgede gerçekleştirilmiştir. Veriler toplandıktan sonra, analiz edilmiş ve modal grafikler ile araçların frekansları bulunmuştur. Daha sonra bu veriler VISSIM'de girdi verileri olarak kullanılmıştır. Veriler, bir saatlik video kamera kayıtları ile toplanmıştır. Otomobil, otobüs ve minibüsler rotalarına göre ayrılarak trafiğin genel durumu ortaya çıkarılmıştır. Ele alınan rotalar için seyahat süresi ve kuyruk uzunlukları uzmanlar tarafından toplanmıştır. Bu veriler, rotalardaki trafik sıkışıklıklarının daha iyi anlaşılması ve tanımlanması için önemlidir. Mevcut durum ve yeni kavşak, saha şartlarına göre VISSIM'de (v. 10.00.06) modellenmiştir. Modelin kalibrasyonu, güvenilir sonuçları temsil etmesi bakımından çok önemlidir. Bu amaçla kullanılan, rölatif hata ve GEH formülü gibi farklı yöntemler vardır (Alomari vd., 2016; Karakikes vd., 2016; Lidbe vd., 2017). Bu nedenle, modelin kalibrasyonu için GEH

(Geoffrey E. Havers) formülü kullanılmıştır (Denklem 1) (Shankar vd., 2013).

$$= \sqrt{\frac{2(\text{ObsVal} - \text{SimVal})^2}{\text{ObsVal} + \text{SimVal}}} \quad (1)$$

Burada;

ObsVal: Araziden elde edilen değerleri,
SimVal: Simülasyondan elde edilen değerleri temsil etmektedir.

Tablo 1'de, arazi sayımlarından elde edilen rotaların trafik hacim değerleri ile VISSIM'den veri toplama noktaları (datacollectionpoint) yardımıyla elde edilen değerler GEH formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Modelin kalibrasyonu.

GEH	Gözlenen Değerler	Simülasyon Değerleri	GEH Değeri	Kriter GEH<5
Yıldızkent	999	972	0.86	Evet
	999	967	1.02	Evet
Yenişehir	776	748	1.01	Evet
	776	753	0.83	Evet
Teknokent Giriş	798	781	0.61	Evet
	798	778	0.71	Evet
Teknokent Çıkış	1201	1162	1.13	Evet
	1201	1146	1.61	Evet
Toplam	7548	7307	2.80	Evet

Tablo 1'den görüldüğü üzere, tüm değerler ve toplam değer GEH kriterini

sağlamaktadır. Dolayısıyla, oluşturulan modelin kalibre edildiği söylenebilir.

3. Bulgular

Model kalibre edildikten sonra, mevcut durum seyahat süresi, gecikme, kuyruk uzunluğu, CO, NO_x ve VOC emisyonları ile yakıt tüketimi açısından yeni kavşağın yapıma durumuna göre karşılaştırılmıştır (Şekil 5, 6).

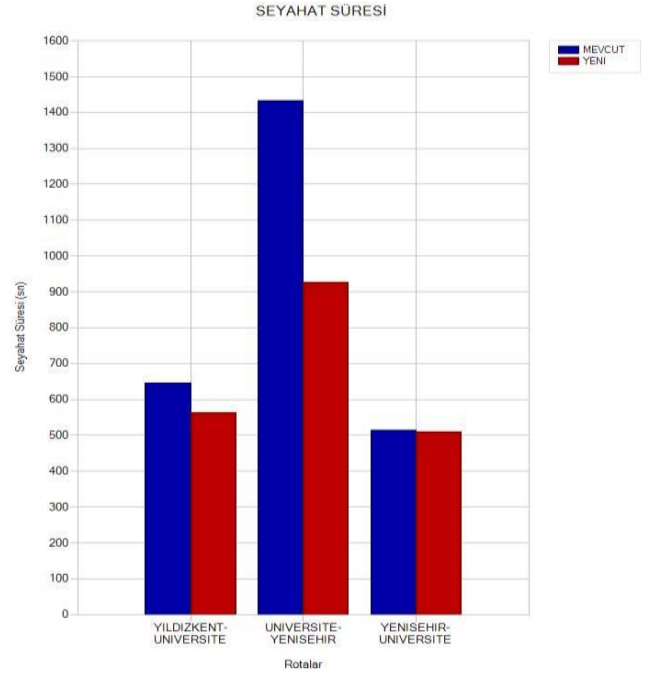


Şekil 5. Mevcut durum (VISSIM görüntüsü).



Şekil 6. Yeni kavşağın uygulandığı durum (VISSIM görüntüsü).

3.1. Seyahat Sürelerinin Değerlendirilmesi



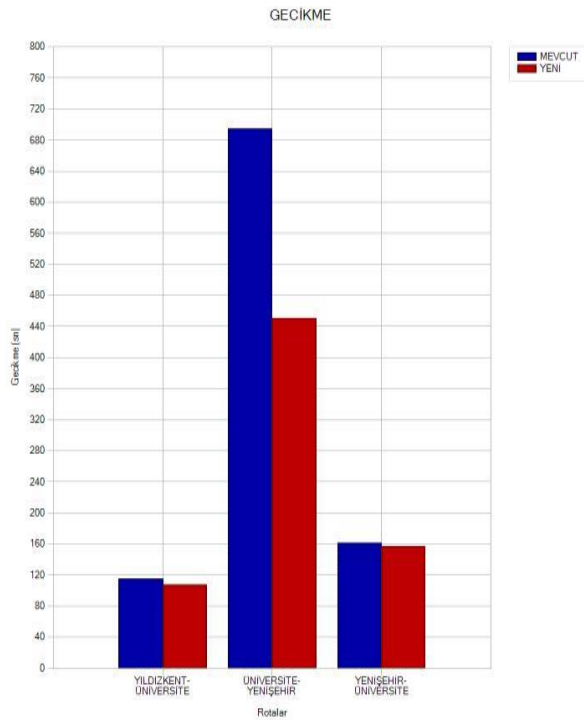
Şekil 7. Seyahat sürelerinin karşılaştırılması.

Mevcut durum ve yeni yapılacak olan kavşak için rotalar Şekil 3 ve 4' te verilmiştir. Bu rotalar için seyahat süreleri ise Şekil 7'de verilmiştir. Mevcut durum yeni kavşakla karşılaştırıldığında, Yıldızkent-Üniversite rotasında %12,8, Üniversite-Yenişehir rotasında %35,3 ve Yenişehir-Üniversite rotasında %1 azalma meydana gelmiştir. Yıldızkent-Üniversite rotasında, araçlar Şekil 3'ten de görüleceği üzere, Yenişehir Kavşağından yaklaşık 250m önce verilen sola dönüşü kullanmaktadırlar. Burası, sinyalize olmayan, sadece geçiş üstünlüğü ile geçişlerin yapılabildiği bir kavşaktır (Şekil 8). Bu kavşağa gelen araçlar karşı yönden gelen araçları beklemekte, özellikle pik saatlerde gecikmeler artmakta dolayısıyla seyahat süresi de artmaktadır. En fazla azalma Üniversite-Yenişehir rotasında meydana gelmiştir. Mevcut durumda bu rotayı kullanan araçlar, önce hastane kavşağına gitmekte, buradan U-dönüşü ile Yenişehir'e gidebilmektedir (Şekil 3). Yeni kavşakta bu rota, üniversiteden çıkarak herhangi bir kavşağa uğramadan Yenişehir Kavşağına gittiğinden, seyahat süresinde önemli ölçüde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 8. Yıldızkent – Üniversite rotası.

3.2. Gecikmelerin Değerlendirilmesi

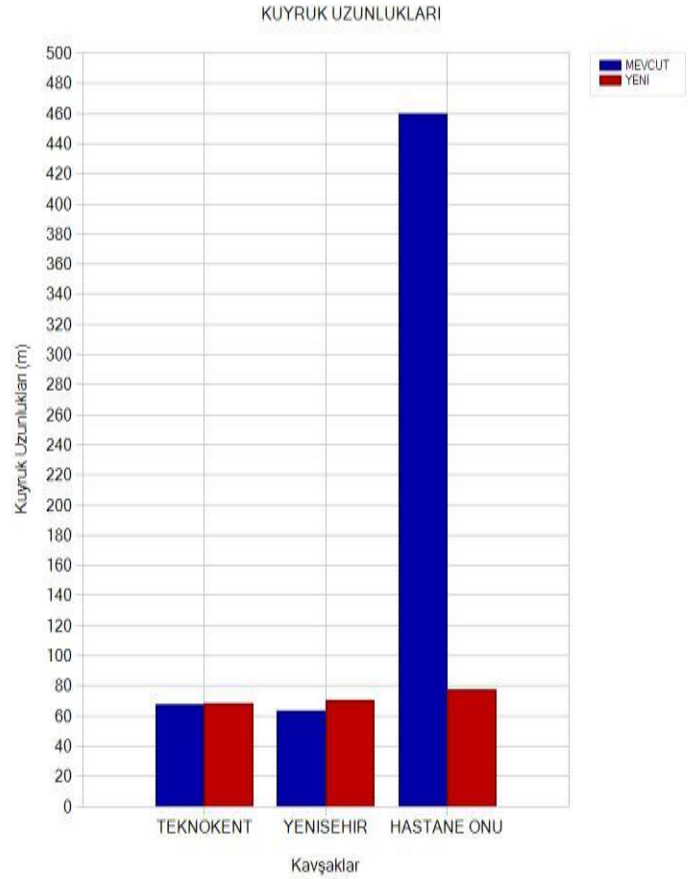


Şekil 9. Rotalara göre gecikmeler.

Kullanılan rotaların gecikme süreleri Şekil 9’da verilmiştir. Mevcut durum yeni kavşakla karşılaştırıldığında, Yıldızkent-Üniversite rotasında %6.9, Üniversite-Yenişehir rotasında %35.2 ve Yenişehir-Üniversite rotasında %2.5 azalma meydana gelmiştir. VISSIM’de gecikmeler, teorik (ideal) seyahat süresinden, simülasyon sonucu ölçülen

gerçek seyahat süresinin çıkarılması ile verilmektedir. Seyahat sürelerinin değerlendirilmesinde anlatıldığı gibi, Üniversite-Yenişehir rotasında, Hastane önünden geçme zorunluluğu kalktığı için gecikmelerde önemli ölçüde azalma meydana gelmiştir.

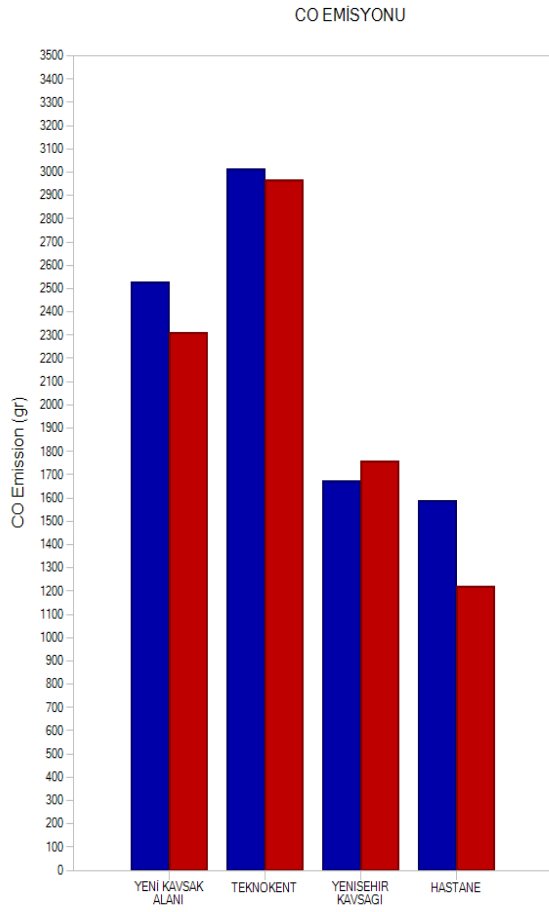
3.3. Kuyruk Uzunluklarının Değerlendirilmesi



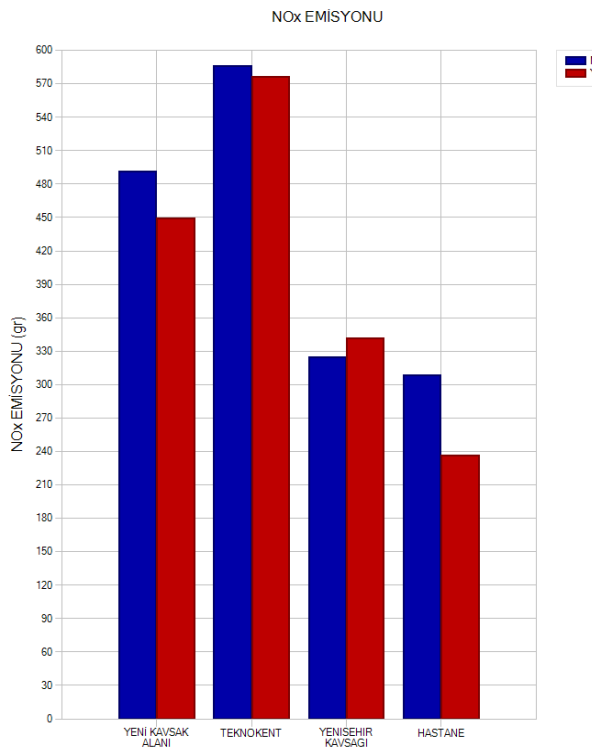
Şekil 10. Kuyruk uzunlukları.

Bu kavşak Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesinin hemen önünde bulunmaktadır. Yapılan saha ölçümlerinde de pik saatlerde benzer uzunluklar bulunmuştur. Dolayısıyla, mevcut durumda 400 – 450m civarında oluşan kuyruk uzunluğunun 70 – 80m gibi uzunluklara inmesi, burada oluşan trafik karmaşasını ortadan kaldırdığı gibi gürültü ve hava kirliliğini de önemli ölçüde azaltacağı açıktır.

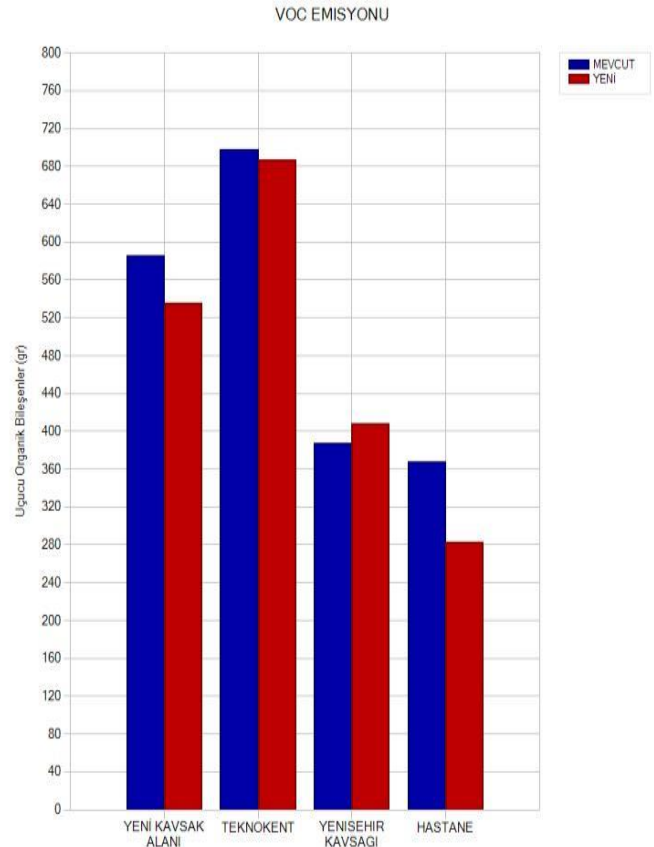
3.4. Egzos Emisyonlarının Değerlendirilmesi



Şekil 11. CO emisyonları.



Şekil 12. NO_x emisyonları.

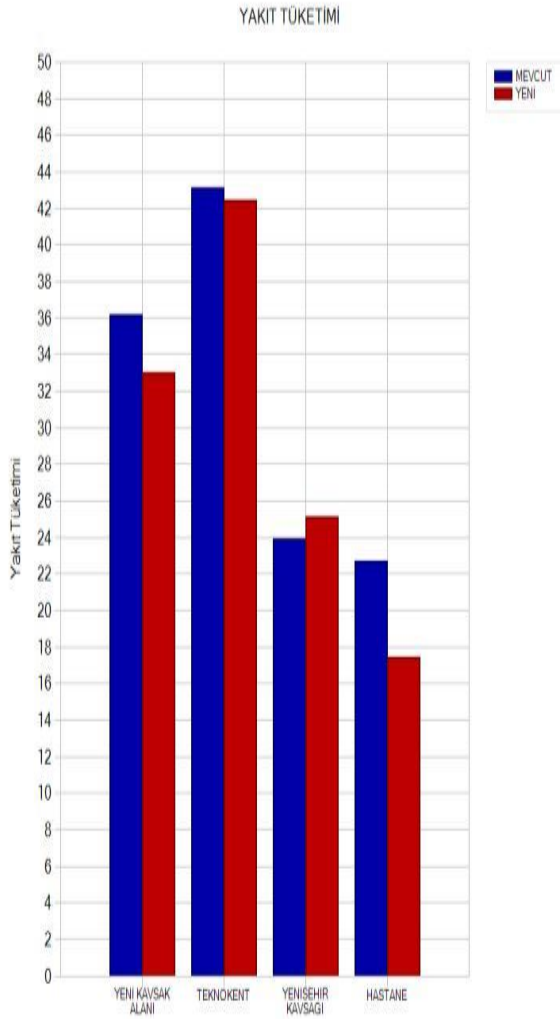


Şekil 13. VOC emisyonları

Yeni bir kavşağın tasarlanması sırasında, trafiğe çözüm olmasının yanında, çevreye verdiği kirliliğin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yapılan çalışmada egzoz emisyonlarının etkileri de incelenmiştir. Bu değerlendirmeyi yapabilmek için her iki alternatifte de bulunan üç farklı kavşak alanı ile kavşağın yapılması planlanan alanda oluşacak emisyon değerleri belirlenmiştir (Şekil 11, 12 ve 13). Şekiller incelendiğinde, Yenişehir Kavşağı hariç diğer tüm alanlarda emisyonlarda azalma meydana gelmiştir. Bu azalmalar, yeni kavşak alanında %8.5, Teknokent Kavşağında %1.6, Yıldızkent Kavşağında (Hastane önü) ise %23.1 seviyelerindedir. Yenişehir Kavşağındaki artış yaklaşık olarak %5 seviyelerindedir. Bu artış, mevcut sinyalizasyonların kullanılması ile meydana gelmiştir. Yeni yapılan kavşak ile rotalarda meydana gelen değişiklikler, özellikle Yenişehir'e olan ulaşım süresinin kısılmasına neden olmuştur. Dolayısıyla ister istemez bu bölge olumsuz etkilenmektedir. Bu

olumsuz etkinin sinyal optimizasyonu ile çözülebileceği düşünülmektedir. Egzos emisyonlarının değerlendirilmesinde, Yenişehir kavşağındaki olumsuzluktan ziyade, Hastane önündeki emisyonların azalması daha önem kazanmaktadır. Her gün binlerce hastanın geldiği bu bölgedeki taşıt kaynaklı hava kirliliğinin %23 gibi bir oranda azalması, yapılacak olan kavşağın gerekliliğini ortaya koymaktadır.

3.5. Yakıt Tüketiminin Değerlendirilmesi



Şekil 14. Yakıt tüketimi.

Mevcut ve yeni durumda oluşacak yakıt tüketim değerlerinin grafiği Şekil 14'te verilmiştir. Yakıt tüketim değerleri VISSIM'den düğüm noktaları (node) aracılığı ile alınmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada daha önce belirlenen kavşak alanları ile yeni yapılması düşünülen kavşak alanı düğüm noktaları olarak belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlardan, Yenişehir Kavşağı hariç diğer düğümlerde yakıt tüketimlerinde %2.3'ten %23.3'e kadar azalma meydana gelmiştir. En fazla azalma ise yine Yıldızkent Kavşağında (Hastane önü) meydana gelmiştir.

4. Sonuç ve Tartışma

Erzurum'da yeni yapılması planlanan bir kavşağın, yapılmadan önce seyahat süresi, gecikme, kuyruk uzunlukları, CO, NOx ve VOC emisyonları ile yakıt tüketimi parametrelerine göre çevreye ve bölge trafiğine olan etkileri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar ulaşılmıştır.

- Yeni yapılacak kavşakla birlikte seyahat sürelerinde ve gecikmelerde %35'e varan azalmalar meydana gelmiştir.
- Mikro-simülasyon analiz sonuçlarına göre kuyruk uzunluklarında %83 oranında azalma gözlenmiştir.
- Hava kirliliği dikkate alındığında CO, NOx ve VOC emisyonlarında %23'lere varan azalmalar meydana gelmiştir.
- Yakıt tüketimleri dikkate alındığında, %23'lere varan azalmalar tespit edilmiştir.
- Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Yenişehir Kavşağında az da olsa kuyruk uzunluğu, emisyon ve yakıt tüketimi değerlerinin artmasına rağmen, tüm ağ düşünüldüğünde yeni kavşağın uygulanmasının gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır.
- Yıldızkent Kavşağında bulunan Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi için kuyruk uzunluğunda meydana gelen azalma hem gürültü kirliliğinin önüne geçecek hem de egzoz gazlarının azalmasından dolayı buradaki trafiğin hava kirliliğine olan katkısı azalacaktır.

5. Kaynaklar

- Alkheder, S. 2017. Learning from the past: traffic safety in the eyes of affected local community in Abu Dhabi City, United Arab Emirates. *Transportation Letters*, 9(1), 20-38.
- Alomari, A.H., Al-Deek, H., Sandt, A., Rogers Jr, J.H., Hussain, O. 2016. Regional evaluation of bus rapid transit with and without transit signal priority. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (2554), 46-59.
- Bartin, B., Mudigonda, S., Ozbay, K. 2007. Impact of electronic toll collection on air pollution levels: Estimation using microscopic simulation model of large-scale transportation network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 68-77.
- Bloomberg, L., Dale, J. 2000. Comparison of VISSIM and CORSIM traffic simulation models on a congested network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (1727), 52-60.
- Esawey, M.E., Sayed, T. 2011. Unconventional USC intersection corridors: evaluation of potential implementation in Doha, Qatar. *Journal of Advanced Transportation*, 45(1), 38-53.
- Fellendorf, M., Vortisch, P. 2001. Validation of the microscopic traffic flow model VISSIM in different real-world situations. Paper presented at the Transportation Research Board 80th Annual meeting.
- Gomes, G., May, A., Horowitz, R. 2004. Congested freeway microsimulation model using VISSIM. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (1876), 71-81.
- Hallmark, S., Fitzsimmons, E., Isebrands, H., Giese, K. 2010. Roundabouts in signalized corridors: evaluation of traffic flow impacts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (2182), 139-147.
- Heaslip, K., Jain, M., Elefteriadou, L. 2011. Estimation of arterial work zone capacity using simulation. *Transportation Letters*, 3(2), 123-134.
- Karakikes, I., Spangler, M., Margreiter, M. 2016. Motorway Network Simulation Using Bluetooth Data. *Transport and Telecommunication Journal*, 17(3), 242-251.
- Laufer, J. 2007. Freeway capacity, saturation flow and the car following behavioural algorithm of the VISSIM microsimulation software. Paper presented at the 30th Australasian Transport Research Forum.
- Lidbe, A.D., Hainen, A.M., Jones, S.L. 2017. Comparative study of simulated annealing, tabu search, and the genetic algorithm for calibration of the microsimulation model. *Simulation*, 93(1), 21-33.
- Murat, Y.S., Arslan, T., Cakici, Z., Akçam, C. 2015. Analytical Hierarchy Process (AHP) based Decision Support System for Urban Intersections in Transportation Planning. Using Decision Support Systems for Transportation Planning Efficiency. *sl: United States of America by Engineering Science Reference*, 203-202.
- Park, B., Schneeberger, J. 2003. Microscopic simulation model calibration and validation: case study of VISSIM simulation model for a coordinated actuated signal system. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (1856), 185-192.
- Pilko, H., Mandžuka, S., Barić, D. 2017. Urban single-lane roundabouts: A new analytical approach using multi-criteria and simultaneous multi-objective optimization of geometry design, efficiency and safety. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 80, 257-271.

- Shankar, K.R., Prasad, C., Reddy, T. 2013. Evaluation of Area Traffic Management Measures Using Microscopic Simulation Model. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104, 815-824.
- Siddharth, S., Ramadurai, G. 2013. Calibration of VISSIM for Indian heterogeneous traffic conditions. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104, 380-389.
- Smith, M.C., Sadek, A. W., Huang, S. 2008. Large-scale microscopic simulation: toward an increased resolution of transportation models. *Journal of Transportation Engineering*, 134(7), 273-281.
- Song, G., Yu, L., Zhang, Y. 2012. Applicability of traffic microsimulation models in vehicle emissions estimates: Case study of VISSIM. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2270, 132-141.
- Stevanovic, J., Stevanovic, A., Martin, P.T., Bauer, T. 2008. Stochastic optimization of traffic control and transit priority settings in VISSIM. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 16(3), 332-349.
- Sun, D.J., Zhang, L., Chen, F. 2013. Comparative study on simulation performances of CORSIM and VISSIM for urban Street network. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 37, 18-29.
- Tianzi, C., Shaochen, J., Hongxu, Y. 2013. Comparative study of VISSIM and SIDRA on signalized intersection. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96, 2004-2010.
- Xu, T., Moon, D.H., Baek, S.G. 2012. A simulation study integrated with analytic hierarchy process (AHP) in an automotive manufacturing system. *Simulation*, 88(4), 450-463.
- Zhao, Y., Sadek, A.W. 2012. Large-scale agent-based traffic micro-simulation: Experiences with Model refinement, calibration, validation and application. *Procedia Computer Science*, 10, 815-820.