

Taşıt Emisyonlarının Azaltılmasında Trafik Işıklarının Senkronizasyon Etkisinin Modellenmesi

M. Emin AKAY * Ali Payıdar AKGÜNGÖR **

* Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksek Okulu, Teknik Programlar Bölümü Otomotiv Programı, 71450, Yahşihan, KIRIKKALE

** Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma ABD. 71450, Yahşihan, KIRIKKALE

ÖZET

Bu makalede Kırıkkale İli Millet bulvarında yer alan 4 sinyalize kavşak ve 5 cadde dilimi üzerinde; kesikli ve yeşil dalga senaryolarına göre taşıt emisyonlarının değişimi modellenmiştir. Bu amaçla, cadde üzerindeki dilimlerde taşıt sayımları yoluyla trafik hacmi ve seyir hızları bulunmuş, kavşaklarda bekleme süreleri tespit edilmiş ve mevcut kesikli duruma göre taşıt kaynaklı emisyonlar bulunmuştur. Daha sonra yeşil dalga etkisini görmek için 50 km/h sabit hızla seyir halinde ve ışıklı kavşakların birinde bekleme yoluyla emisyonların azalması modellenmiştir. Sonuçta yeşil dalga senaryosunun taşıt emisyonlarını genelde % 77,3 oranında azalttığı görülmüştür. Yeşil dalga senaryosunun; cadde emisyonlarını % 3,0 arttırmasına rağmen, kavşaklardaki; bekleme % 80,7 ve kalkışlarda % 77,4 azalma sağlandığı görülmüştür. Yeşil dalga senaryosunun en büyük avantajı, kirleticiler içinde en büyük payı oluşturan CO kirleticisinin % 76,7 oranında düşmesidir.

Anahtar Kelimeler: Trafik, emisyonlar, kesikli akış, yeşil dalga, modelleme, Kırıkkale.

Modeling of Traffic Signals Synchronisation Effect For Vehicle Emission Reduction

ABSTRACT

In this study, the change of vehicle emissions in four signalized intersections and along the five streets in Millet Boulevard of Kırıkkale are modeled according to scenarios of interrupted flow and green (flow) wave. For this purpose, volumes and traveling speeds along the streets and waiting times (delay) in intersections are obtained by vehicle counting methods in these locations. Vehicle based emissions for present interrupted conditions are determined. Afterwards, to examine the effect of green wave, reductions in vehicle emissions are modeled for 50 km/h constant speed and stopping in only one signalized intersection case. It was observed that green wave scenario reduced the vehicle emissions by 74.0 % in general. It was also observed that by green wave scenario, emissions in streets were increased by 3.8 % while emissions during stopping and starting in intersections were decreased by 18.2 % and 22.6 %, respectively. The most important advantage of green wave scenario is that CO pollutant, the biggest share among pollutants, were decreased by 76.8 %.

Key Words : Traffic, emissions, interrupted flow, green flow, modeling, Kırıkkale

1. GİRİŞ

Hava kirliliği, sanayileşme ile birlikte kentlerin en önemli problemlerinden birisi haline gelmiştir. 18. yüzyılın ikinci yarısından başlayan bu olgu, 19. yüzyılda hızlanmış, 20. asrın başında kentsel kirleticilere motorlu taşıtlar da eklenmiştir. Böylece şehir ortamlarında yeni bir kirlilik çeşidi görülmeye başlanmıştır. 1943 yılından itibaren, ilk defa Los Angeles kentinde, sabah - öğle arasında görülen bu kirliliğin; yoğun taşıt trafiği, yaz - kış ılıman bir iklim, etkileşimiyle oluştuğu anlaşılmıştır (1). Bu dumanlı sise; Smoke ve Fog kelimelerinin birleşimiyle Smog adı verilmiştir. 1948'de Smog araştırmacılarca "fotokimyasal sis" olarak tarif edilmiş ve kaynağının taşıtlardan atılan; HC, CO, NO_x ve VOC kirleticileri ve bunlara bağlı olarak havada oluşan ozon olduğu anlaşılmıştır. İlerleyen yıllarda yapılan araştırmalarda VOC'lerin yakıt buharlaşmasından kaynaklandığı ve atmosferdeki ozon tabakasını tahrip ettiği görülmüştür (2).

Taşıt emisyonları; yakıt deposundan buharlaşma, karter kaçakları, yakıt sisteminde buharlaşma ve egzoz emisyonları olarak dört farklı noktada oluşmaktadır (3). Kirleticiler benzinli motorlarda; CO, NO_x, HC ve uçucu organik bileşikler (VOC) iken, dizel motorlarda; NO_x, PM, HC, SO_x ile aldehit ve ketonlardan oluşmaktadır (4). Ayrıca toksik etki yapan kurşun(Pb) ve yer seviyesi ozonu ile, sera gazı olan metan(CH₄) da ihmal edilemez kirleticilerdendir (5). Taşıtların seyir şartları kirleticilerin cinslerini ve miktarlarını etkilemektedir. Yüksek hızlı seyirlerde NO_x artarken, kavşaklardaki bekleme-lerde; CH₄ ve CO emisyonları, duruş-kalkış hareketlerinde de; CO, HC, NO_x ve VOC emisyonları artmaktadır (6, 7).

Yollarda ve yakın çevresindeki insan ve vasıtaların hareketleri trafik olarak tanımlanır. Bu faaliyetlerin; emniyetli, çabuk ve ekonomik olması için kurallar ve düzenlemelere gidilmiştir (8). Trafiğin seyri; yollar, taşıtlar ve sürücü davranışları parametrelerinden etkilenir.

Seyir halindeki taşıtlar yol şartlarına göre; soğuk ilk hareket, hızlanma-yavaşlama, bekleme ve normal sürüş şartlarında çalışırlar ve bu şartlara göre; yakıt sarfiyatları, atıkları kirleticilerin miktarı ve çeşitleri değişir (9). Bir yol üzerindeki trafiğin akış hızı ve kapasitesi; şerit sayısına ve genişliğine, kavşak adedine, sinyalizasyonun olup olmamasına, trafik kompozisyonuna ve yol üzerindeki park yerlerinin mevcut olup olmamasına bağlı olarak değişir. Bu şartlar trafiğin akışını ve yolun kapasitesini etkilediği için, taşıtın seyir şartına da doğrudan yansır. Trafiki sürekli akış halinde tutmak; sürücülerin ve taşıtın daha az yorulması ile yakıt tüketiminin, gecikmenin ve emisyonların azalmasını sağlamak bakımından önem taşımaktadır. Bu yüzden trafikte “kesikli akış” şartlarını azaltan, onun yerine “yeşil dalga” akımını sağlayan trafik şartları sağlanmaya çalışılır. Böylece hem trafik problemlerinin çözümü sağlanırken, hem de ekonomik kazanç (yakıt tasarrufu, işgücü kazancı vb.) artırılarak ülke ekonomisine katkı sağlanmaktadır. Konunun öneminden dolayı yeşil dalga uygulamasına dönük çalışmalar yaygın olarak yapılmaktadır (10, 11).

2. EMİSYONLARIN MODELLENMESİ

2.1. Matematik Model

Taşıt emisyonlarının modellenmesi esnasında, Kesikli akış ve yeşil dalga senaryoları için aşağıdaki kabbuller yapılmıştır:

a. Caddelerden geçen taşıt sayısı her iki yön için (gidiş ve geliş yönleri için) eşittir ve yol kentsel çift şeritlidir.

b. Taşıtlar; soğuk ilk hareket, hızlanma-yavaşlama, bekleme ve normal sürüş şartlarında çalışmaktadırlar ve egzozdan, depodan, yakıt sisteminden ve karter kaçaklarından dolayı; CO, CH₄, HC, NH₃, NO_x, PM, N₂O ve VOC emisyonları atmaktadırlar.

Tablo 1

Taşıtlar parametreleri	ve	1. dilim ve kavşak	2. dilim ve kavşak	3. dilim ve kavşak	4. dilim ve kavşak	5. dilim
Benzinli oto; X		X1 = 5176	X2 = 2412	X3 = 3240	X4 = 244	X5 = 2324
LPG’li oto; T		T1 = 1035	T2 = 482	T3 = 648	T3 = 49	T4 = 465
Hafif dizel; Y		Y1 = 2340	Y2 = 1168	Y3 = 1364	Y4 = 1016	Y5 = 1036
Otobüs; Z		Z1 = 260	Z2 = 52	Z3 = 56	Z4 = 36	Z5 = 60
Kamyon; V		V1 = 272	V2 = 72	V3 = 88	V4 = 88	V5 = 112
Diğerleri; W		W1 = 296	W2 = 108	W3 = 124	W4 = 100	W5 = 92

c. Modellenen taşıtlar; Benzinli oto, kamyonet ve minibüs, otobüs, kamyon ve motosikletler olmak üzere 5 çeşittir. Benzinli araçların; % 80’inin süper benzin ve % 20’sinin de LPG ile çalıştığı kabul edilmiştir. Modellemede denklem 1’de verilen genel formül kullanılmıştır (12).

$$E = \sum_{jkl} F_{jl} M_{jkl} P_l \quad 1$$

Buradaki terimlerden; E: Emisyonların toplamı; ton, F: Taşıtların emisyon faktörü, kg/km, M: Yol kat sayısı, P: Bir aracın toplam araçlar içindeki yüzdesi, j, k l indislerinden; j hızı, k yol tipini, l araç çeşidini ifade etmektedir. 1 no’lu genel denklemden yararlanarak, çeşitli emisyon eşitlikleri türetilmiştir. Bunlardan ilki, Millet bulvarındaki toplam emisyon miktarını veren ve denklem 2’de ifade edilen bağıttır.

$$\sum E = E_{Cadde} + E_{Kavşak} + E_{Kalkış} \quad 2$$

Burada; $\sum E$; toplam emisyonu, E_{Cadde} ; cadde dilimlerindeki emisyonu, $E_{Kavşak}$; kavşaklardaki emisyonu ve $E_{Kalkış}$ da; duruş-kalkış halindeki emisyonları göstermektedir. Taşıtların emisyon faktörleri g/km cinsinden, benzinli oto, kamyonet-minibüs, otobüs ve kamyon için; Faiz vd. kaynağından (6) ve motosiklet için de CORINAIR Emisyon Envanter Rehberinden (7) yararlanılmıştır.

2.2. Trafik Bilgilerinin Derlenmesi

Modellemenin yapıldığı Millet Bulvarı 4,25 km uzunluğunda, doğu-batı yönünde uzanmakta olup, Samsun ve Kayseri devlet karayollarını birleştirmektedir. Caddenin güneyi MKE tesisleri ve demiryolu ile sınırlanmış ve kuzeyinde kentin yoğun yerleşim alanları bulunmaktadır.

Cadde 4 adet ışıklı kavşaktan ve 5 dilimden oluşmaktadır. Modellemede benzinli otomobil, kamyonet-minibüs, otobüs, kamyon ve motosiklet olmak üzere 5 farklı taşıt türü ve CO, CH₄, HC, NH₃, NO_x, PM, N₂O ve VOC olarak 8 farklı kirletici esas alınmıştır. Modelleme için gerekli taşıt sayısını bulmak için, Millet bulvarı dilimlerinde sayımlar yapılmıştır. Tablo 1’de sonuçları verilen sayımlar, 2006 Mayıs ayında 9 gün süreyle ve mesai günlerinde, sabah (7.30 - 8.30), öğle (12.30 - 13.30) ve akşam saatlerinde (17.30 - 18.30) ve ardışık 15’er dakikalık dilimlerle, 1 saat süreyle

yapılmış ve sayımların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

2.3. Trafik Akış Senaryoları ve Programın Çalışması

Emisyon modellemesinde; kesikli ve yeşil dalga olmak üzere iki senaryo vardır. Bu senaryolara göre, Pascal dilinde ve Delphi 5 şartlarında çalışan, görsel karakterli ve kullanıcıya çeşitli alternatifler sunan, etkileşimli bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Algoritması

Ek-1’de verilen bu program; hem kesikli hem de yeşil dalga akış senaryolarında çalışmakta, sürüş şartları, kavşakta bekleme ve kavşakta kalkış halinde oluşan emisyonları ayrı ayrı hesaplamaktadır. Program sonunda senaryolar arasında karşılaştırma da yapılabilmektedir. Modelleme Şekil 1’de verilen Millet Bulvarı bilgileri ile başlamakta, arkasından Şekil 2’de verilen senaryolar seçim ekranı gelmektedir.

MODELLEME NASIL ÇALIŞIYOR?	
Bu çalışma Millet Bulvarında Kesikli Akış Senaryosu ve Yeşil Dalga Senaryosu şartlarında trafikten kaynaklanan kirleticilerin hesaplanmasını ve iki akış senaryosu arasındaki kirletici farkının bulunmasını amaçlamaktadır.	
CADDE ŞARTLARI	
1. Dilim : Sanayi Kavşağı - Garaj Kavşağı	4.25 km : CdL : 50 km/h
2. Dilim : Garaj Kavşağı - TEDAŞ Kavşağı	0.46 km : Cd2L : 40 km/h
3. Dilim : TEDAŞ Kavşağı - TCDD Kavşağı	0.59 km : Cd3L : 50 km/h
4. Dilim : TCDD Gar - Rektörlük	0.84 km : Cd4L : 70 km/h
5. Dilim : Rektörlük - Kayseri Kavşağı	1.74 km : Cd5L : 70 km/h

Şekil 1. Millet Bulvarı trafiğinde taşıt cinslerine göre saatlik trafik yükü

KESİKLİ TRAFİK AKIŞ SENARYOSU		YEŞİL DALGA SENARYOSU	
1. CADDE ADI	:Millet Bulvarı	1. CADDE ADI	:Millet Bulvarı
2. TRAFİK HIZI	:Değişken	2. TRAFİK HIZI	:50 km/saat
3. CADDE DİLİM SAYISI	:5	3. CADDE DİLİM SAYISI	:5
4. LAMBALI KAVŞAK SAYISI	:4	4. LAMBALI KAVŞAK SAYISI	:4
5. SEYİR ŞARTLARI	:Taşıtın Kırmızı / Yeşil ışığa rastlanması tesadüfe bağlıdır.	5. SEYİR ŞARTLARI	:Taşıt bir kavşakta yeşil ışığa rastlar, trafik kesiksiz devam eder.

Şekil 2. Senaryolar başlangıç ekranı

Program istenilen bir senaryo ile başlamak da mümkündür. Kesikli Akış Senaryosu şartlarında taşıtlar; 5 dilimde farklı hızlarda seyretmekte ve 4 ışıklı kavşakta çeşitli sürelerle beklemektedirler. Yeşil Dalga Senaryosunda ise, taşıtlar yalnız 2 no’lu kavşakta beklemekte ve trafik 50 km/h hızla kesintisiz akmaktadır. Trafik akışında; kesilme, duruş-kalkış gibi engellerin minimuma indirilmesi ile taşıt emisyonlarındaki azalma tespit edilmektedir.

Program Kesikli Akış Senaryosu ile başlanırsa, Şekil 3’de verilen görüntü ekrana gelmektedir. Program 1. cadde dilimine ait; sürüş, kavşakta bekleme ve kalkış emisyonlarını hesaplayacak şekilde seçilmiş olarak kullanıcı önüne gelmekte, istenirse seçim değiştirilebilmektedir.

Şekil 3. Kesikli akış senaryosu trafik şartları

Daha sonra Şekil 4’de verildiği gibi taşıt sayıları girilmekte, modellenen kirleticiler seçilmektedir. Hesaplama sonuçları Şekil 5 görüntüsüyle verilmektedir. Burada hem 8 farklı kirletici miktarı kg/h olarak, hem de hepsinin toplamı verilmektedir. Bütün dilimlerde hesaplamalar yapıldıktan sonra, senaryonun tamamının sonucu görülmekte ve senaryolar arası fark hesaplamaya geçilmektedir.

Taşıt Cinsi	Taşıt Sayısı	Kirleticiler
Benzinli Otomobil	5176	<input checked="" type="checkbox"/> CO
LPG' li Otomobil	1035	<input checked="" type="checkbox"/> CH4
Kamyonet . Minibüs	2340	<input checked="" type="checkbox"/> HC
Otobüs	260	<input checked="" type="checkbox"/> NH3
Kamyon	272	<input checked="" type="checkbox"/> NOX
Motosiklet	296	<input checked="" type="checkbox"/> N2O
		<input checked="" type="checkbox"/> PM
		<input checked="" type="checkbox"/> VOC

Şekil 4. Taşıt sayıları ve modellenen kirleticilerin seçilmesi

CO	kg/h	NOX	kg/h
83.23681722		11.25141776	
CH4	kg/h	N2O	kg/h
0.2665039		0.07026894	
HC	kg/h	PM	kg/h
1.3153052		0.4711628	
NH3	kg/h	VOC	kg/h
0.0072912		9.05636728	

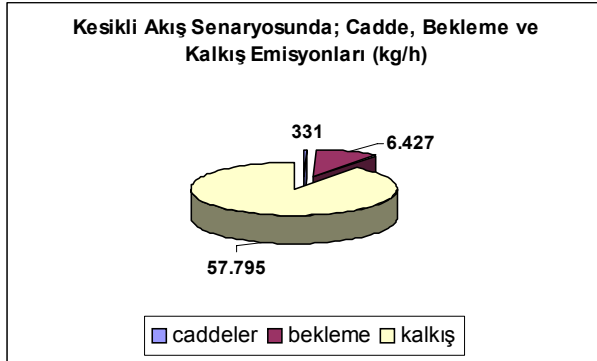
EMİSYON TOPLAMI
105.6751343 kg/h

Şekil 5. Bir cadde diliminde; sürüş, bekleme ve kalkış emisyon toplamları sonuç ekranı

3. MODELLEME SONUÇLARI

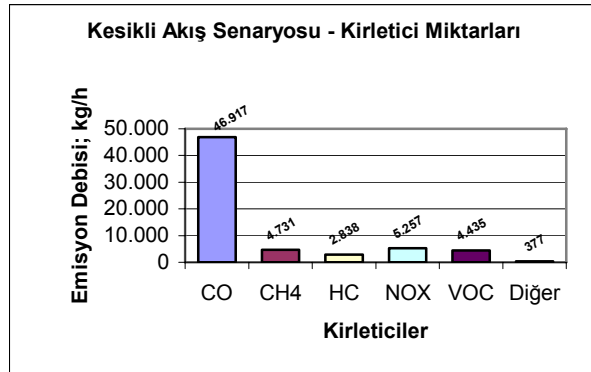
3.1. Kesikli Akış Senaryosunun Emisyonlara Etkisi

Bu senaryoya göre; caddeler ve kavşaklardaki emisyon sonuçları Şekil 6'da topluca verilmiş olup toplam kirletici miktarı 64.554 kg/h olmuştur. Sonuçlara göre; toplam kesikli akış senaryosu emisyonları içinde; cadde emisyonları % 0,5'lik, kavşak emisyonları (bekleme ve kalkış) emisyonları da % 99,5'lik paya sahiptir. Kavşakta kalkış şartındaki emisyonların % 99,5 gibi büyük bir pay oluşturması, kavşaklardaki duruş-kalkış hareketlerinin en büyük sakıncasıdır.



Şekil 6. Kesikli akış senaryosunda; seyir, bekleme ve kalkış emisyonları

Kirleticiler açısından kesikli akış senaryosu sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Burada; en yüksek değer 46.917 kg/h ve % 72,7 ile CO'dur. Bunu 5.257 kg/h ve % 8,1 ile NO_x, 4.731 kg/h ve % 7,3 ile CH₄, 4.435 kg/h ve % 6,9 ile VOC, 2.838 kg/h ve % 4,4 ile HC kirleticileri izlemektedir. Diğer kirleticilerin toplamı 377 kg/h ve % 0,6 dır

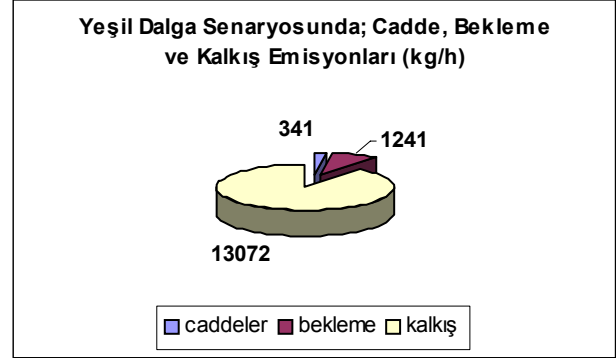


Şekil 7. Kesikli akış senaryosunda toplam kirletici miktarları

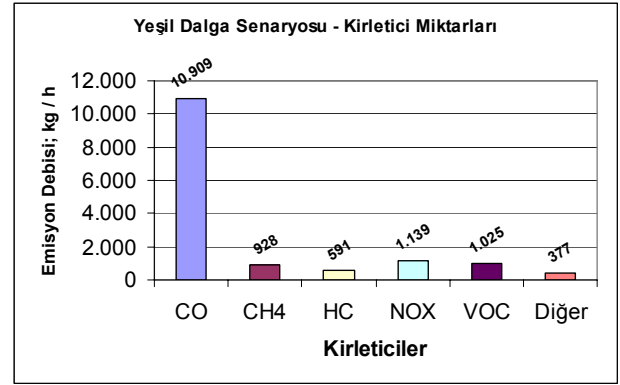
3.2. Yeşil Dalga Senaryosunun Emisyonlara Etkisi

Sonuçları Şekil 8'de verilen yeşil dalga senaryosuna göre; caddeler ve kavşaklardaki toplam kirletici miktarı 14.653 kg/h olmuştur. Bu sonuçlara göre, yeşil dalga senaryosunun toplamı içinde; cadde emisyonları % 2,3'lük, kavşak emisyonları (bekleme ve kalkış) emisyonları da % 97,7'lik paya sahiptir. Yeşil

dalga senaryosunun sonuçları 6 çeşit kirleticiler açısından Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Yeşil dalga senaryosuna göre; seyir, bekleme ve kalkış emisyonları



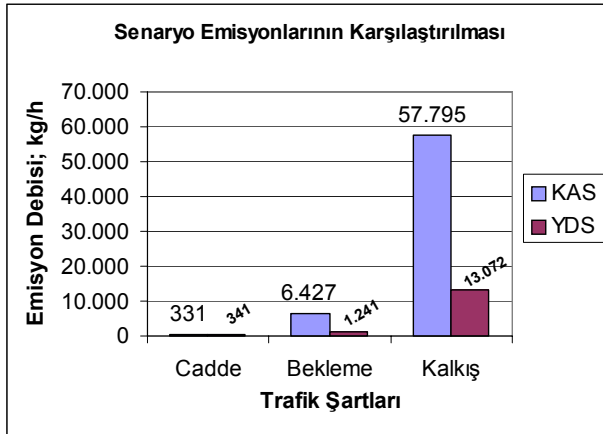
Şekil 9. Yeşil dalga senaryosunda; toplam kirletici miktarları

Sonuçlar incelendiğinde; CO emisyonu 10.909 kg/h miktar ve % 74,4 ile ilk sırada yer alırken, onu 1.139 kg/h ve % 7,8 ile NO_x, 1.025 kg/h ve % 7,0 ile VOC, 928 kg/h ve 6,3 ile CH₄ ve 591 kg/h ve % 4,0 ile HC kirleticileri takip etmektedir. Diğer kirleticilerin oranı 377 kg/h ve % 2,6 olmuştur.

3.3. Senaryoların Karşılaştırılması

Her iki senaryoya göre; 3 farklı trafik şartına göre atılan emisyonların karşılaştırması Şekil 10'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere genel emisyon toplamı kesikli akış senaryosunda 64.554 kg/h iken, yeşil dalga senaryosunda 14.653 kg/h olmuştur. Yeşil dalga senaryosu uygulanmasıyla genel emisyon azalması 49.901 kg/h ve % 76,1 dir. Yeşil dalga senaryosunun trafik şartına bağlı emisyonları incelendiğinde ise; emisyonların; caddelerde % 3,0 arttığı, beklemede % 80,7 ve kalkışta % 77,4 oranında azaldığı görülmüştür

Yeşil dalga senaryosu ile gelen azalmanın en bariz vasfı, en büyük kirletici payı oluşturan CO kirleticisinin; 46.917 kg/h değerinden 10.909 kg/h değerine inerek, 36.008 kg/h ve % 76,7 azalma sağlanmasıdır.



Şekil 10. Senaryo emisyonlarının karşılaştırılması

4. SONUÇLARIN YORUMLANMASI VE ÖNERİLER

4.1. Kavşak Senkronizasyonu ve Emisyonları Azaltıcı Etkisi

Yeşil dalga senaryosunun taşıtların yakıt sarfiyatlarını azalttığı kesikli akış senaryosuna göre toplam emisyon miktarını bir saatte 64.554 kg'dan 14.653 kg'a indirmesi ile de görülmektedir. Azalma miktarı % 77,3 dür. Yeşil dalga senaryosunun getirdiği azalmanın en büyük etkisi, kirleticiler içinde % 71,6 pay oluşturan CO miktarının, 36.008 kg/h değerindeki azalmayla; 10.910,8 değerine düşmesidir. Bu azalma % 76,7 olmuştur.

Yeşil dalga senaryosunun trafik şartına bağlı emisyonları incelendiğinde ise; kavşakta beklemede % 80,7 ve kalkışta % 77,4 azalma sağlandığı görülmüştür. Yeşil dalga senaryosunun tek zayıf sonucu Cadde emisyonlarının 331 kg/h değerinden 341 kg/h değerine yükselerek, emisyonların % 3,0 oranında artmasıdır. Bunun sebebi; 3. ve 4. cadde dilimlerindeki 70 km/h olan seyir hızının bu senaryoda 50 km/h ile sınırlanmış olmasıdır. Bu durum benzinli motorlardaki CO emisyonlarının hıza bağlı olarak azalması eğilimine ters düşmesiyle ilgilidir.

4.2. Kırıkkale İçin Çözüm Önerileri

Yeşil dalga senaryosunun faydaları net olarak görülmüştür. Bu yüzden kavşaklarda beklemenin en aza indirilmesi, yığılmanın azaltılması aşağıdaki faydaları sağlayacaktır:

- Taşıtların yakıt sarfiyatı ve buna bağlı olarak atılan emisyonlar azalacaktır.

- Araçların yıpranması asgariye inecek, kavşaklarda sıkışmalardan doğan kural ihlalleri ve kazalar azalacaktır.

Bu yararlar sebebiyle, yeşil dalga senaryosunun Millet bulvarından başka, 2 kavşaklı Atatürk Bulvarı ile 4 kavşaklı Samsun yolu güzergâhlarında da uygulanması kent için faydalı olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Wark, K, et. al., Air Pollution; Its Origin and Control, Menlo Park, California, Addison-Wesley Longman Inc., 3rd Edition, 1998.
2. E. Atasoy, E., Döğeroğlu, T., Eskişehir'de yakıt kullanımı ve yanmadan kaynaklanan uçucu organik bileşiklerin (VOC) mevcut potansiyeli. V. Yanma ve Hava Kirliliğinin Kontrolü Sempozyumu, Elazığ, s. 305-318, 2000.
3. Husselbee, William L., Automotive Emission Control, Reston, Virginia, 22090., Reston Publishing Company Inc., A Prentice – Hall Company, 1984.
4. Borat, O. vd., Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, İstanbul / Ankara / Bursa, 1992.
5. Akay, M. E., "Kırıkkale'de Taşıtların Konut ve Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliği Araştırması", Makine Mühendisliği A. B. D. Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kasım 2004, Kırıkkale.
6. Faiz, A., et. al., Air pollution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions, Appendix 2.2., Washington, D.C., The World Bank, 1996.
7. CORINAIR Emission Inventory Guidebook, October 2002.
8. Çelebi, Y., Samsunda Taşımacılıktan Kaynaklanan Hava Kirliliği ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi. Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 1998.
9. Hüttenberger, P., Egzoz Gazlarının Çevreye Etkileri Semineri, 15 Nisan 1996, İstanbul, Türkiye'deki Humboldt Bursiyerleri Derneği Yayını, 1997.
10. Adal, E., "Yeşil Dalga Koordinasyon Sistemlerinin Kentiçi Trafığa Etkileri" Trafik Planlamaları ve Uygulamaları Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 1999, Ankara.
11. Yalınz, P., "Eskişehir'de Birbirine Yakın Kavşaklardaki Trafik İşıklarının Koordineli Olarak Düzenlenmesi", İnşaat Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz 1999, Eskişehir.
12. Tırıs, M., Hava Kirliliği Modellemesi, Bölüm 9, Hava Kirliliği-Kaynakları ve Kontrolü, Gebze, TÜBİTAK – Marmara Araştırma Merkezi, 1993

Ek 1 Bilgisayar Programı Algoritması

