

Kordon bazlı trafik tıkanıklık fiyatlandırılmasına örnek bir uygulama: Erzurum, Cumhuriyet Caddesi

A sample scheme of cordon-based congestion charge: Erzurum, Cumhuriyet Street

Muhammed Yasin ÇODUR^{1*} , Harun COŞKUN² 

^{1,2}İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.
mycodur@erzurum.edu.tr, errolove@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 15.10.2018
Kabul Tarihi/Accepted: 15.04.2019

Düzeltilme Tarihi/Revision: 05.03.2019

doi: 10.5505/pajes.2019.21284
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Trafik tıkanıklığı probleminin hat safhaya ulaştığı büyük şehirlerde, yerel yönetimler bu soruna karşı çeşitli çözüm yöntemleri geliştirmişlerdir. Bu yöntemler içerisinde en etkili çözüm trafik tıkanıklık fiyatlandırmasıdır. Londra, Stockholm ve Milano şehirlerinin yerel yönetimleri tıkanıklık fiyatlandırması yöntemini başarı ile uygulamışlardır. Bu çalışma kapsamında, Erzurum Cumhuriyet Caddesi'nde yaşanan bu problem için daha önceden uygulanmamış bir yöntem olan tıkanıklık fiyatlandırması çözümü incelenmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan modele ve yapılan anket çalışmalarına göre, Cumhuriyet Caddesi'nde belirlenen kordon güzergâhında teorik olarak tıkanıklık fiyatlandırması hesaplanmıştır. Modelleme çalışmasında otomobil sahipliği, yolculuk süresi, yakıt tüketimi ve salınım maliyetleri kullanılmıştır. Sonuç olarak; kent merkezindeki trafik tıkanıklığının azalacağı ve fiyatlandırma uygulaması ile de önemli bir maddi gelir elde edileceği öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Erzurum, Cumhuriyet caddesi, Kordon bazlı, Tıkanıklık fiyatlandırması.

Abstract

The traffic congestion has been reach to a critical level in the metropolitan cities, however; the local governments have developed various solution methods against this problem. The most effective solution among these methods is traffic congestion pricing. The local governments of the cities of London, Stockholm and Milan have successfully implemented the congestion pricing method. In this study, the solution of the congestion pricing solution in Erzurum Cumhuriyet Street, which is not applied before, has been examined for this problem. According to both the model created and the survey carried out, in the along the cordon route determined at Cumhuriyet Street, account of theoretical congestion pricing has been made. In the modeling study; car ownership, travel time, fuel consumption and emission costs have been used. As a result, it is foreseen that traffic congestion will decrease in the city center and a significant financial income will be obtained with the application of pricing.

Keywords: Erzurum, Cumhuriyet street, Cordon based, Congestion charge.

1 Giriş

Trafik tıkanıklığı fiyatlandırılması kavramı; trafik yoğunluğu yaşayan kentlerdeki sürücülerin trafiğin yoğunluğuna ve belirlenen saatlere göre karayollarını kullanırken değişen ücret ödemesi ile tarif edilmektedir [1].

Londra'nın merkezi ve başka kentlerde, trafik tıkanıklık fiyatlandırmasının başarılı uygulamaları; politik ve sosyo-ekonomik sorunların üstesinden gelmiştir ve şeffaf kullanıcı fiyatlandırmalarının trafik yoğunluğunun azalmasına fayda sağladığı görülmüştür. Dünyadaki birçok kent yönetimi, trafik tıkanıklığının negatif etkilerini azaltmak ve aşırı araç kullanımını kontrol etmek için bir çözüm olarak trafik tıkanıklık fiyatlandırmasını gündemine almıştır. Karayolu ve trafik tıkanıklığı fiyatlandırması aşırı araç kullanımını kontrol altına almak için ulaşım planlamasının bir alanını oluşturmaktadır. Yol fiyatlandırmasının arz-talep yönetimi için fiyatlandırma ve yol altyapısının finansmanı için devlet geliri elde etme gibi iki belirgin amacı olduğu görülmektedir [2].

Trafik tıkanıklığının fiyatlandırılması konusunun kamuoyuna tanıtımını yaparken, halkın desteğini almak pek mümkün görünmemektedir. Bununla birlikte trafik tıkanıklığının artması karşısında fiyatlandırma çözüm yollarının niçin yapıldığının anlatılması ve halkın eğitim durumu gibi

parametreler fiyatlandırma konusunda oldukça önemli olmaktadır. Halkın düşüncesinin zamanla değişeceği birçok kez görülmüştür. Örneğin; Londra'da uygulamadan önce trafik tıkanıklık fiyatlandırılmasını isteyenler %50 iken, uygulamadan 1 yıl sonra bu oran %66 olmuştur [3]. Cumhuriyet Caddesi konumu itibari ile Merkezi Yönetim Caddesi, Çaykara Caddesi, Hastaneler Caddesi, Tebriz kapı ve Yoncalık Mevkileri gibi ana ulaşım güzergâhlarını birbirine bağlayan Erzurum'un en önemli ana yolu güzergâhıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Erzurum Cumhuriyet Caddesi kordon güzergâhı.

Figure 1. Cordon route of Cumhuriyet Street in Erzurum.

Kamuya ait binaların genelde bu caddeye yakın olması, alışveriş ile gezi yerlerinin bu cadde üzerinde bulunması ve Erzurum

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Kalesi, Ulu Camii, Taşhan, Çifte Minareli Medrese, Yakutiye Medresesi gibi tarihi anıtsal yapıların bu cadde üzerinde yer alması bu caddenin önemini daha da artırmaktadır. Bahsedilen sebeplerden dolayı trafik tıkanıklığı problemi bu güzergâh üzerinde sıkça yaşanmakta olup bu problemin çözüme kavuşturulması gerekmektedir.

Erzurum'un yüzölçümü 25066 km² ve Türkiye İstatistik Kurumu 2018 verilerine göre kent sınırlarının toplam nüfusu 760476 kişidir[4]. 417385 kişi ise Erzurum Kent merkezinde yaşamaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Erzurum merkez nüfusunun cinsiyete göre dağılımı.

Table 1. Distribution of Erzurum central population by gender.

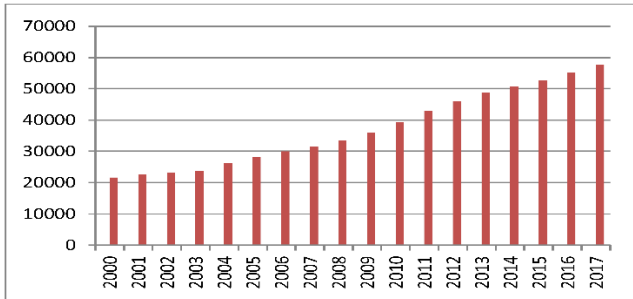
Erzurum Merkez İlçeleri	Kadın Nüfus	Erkek Nüfus	Toplam Nüfus
Aziziye	28074	29018	57092
Palandöken	84690	83740	168430
Yakutiye	97553	94310	191863
Gen. Top.	210317	207068	417385

Erzurum kent merkezi ve ilçelerinde toplam otomobil sayısı 2017 yılı Aralık ayında 57713 olmuştur [5]. Erzurum Trafik Tescil ve Denetleme Şube Müdürlüğü Arşivi verilerine göre, toplam 57713 otomobilin 48157 tanesi tescil edilerek Erzurum kent merkezine ve 11556 otomobil ise Erzurum ilçelerine kayıtlıdır.

Erzurum'un son yıllarda toplam nüfus sayısı incelendiğinde; toplam nüfus 2000 yılında 801287 iken 2017 yılında 760476 kişi olmuştur. Toplam nüfus son 17 yılda %5.09 azalmıştır.

Erzurum göç vermesine rağmen, Erzurum'daki otomobil sayısı yaklaşık 3 katına çıkmıştır (Şekil 2). Erzurum'da yıllardır araç sayısının artmasından dolayı şehrin Cumhuriyet Caddesi gibi önemli ulaşım güzergâhlarında trafik yoğunluğu hat safhaya ulaşmış, araç sürücülerinin planladığı yolculuğun süresinde artışlar yaşanmıştır.

Trafik yoğunluğunun çözümü için yerel yönetimler bazı yöntemler denemişlerdir. Günümüzde cadde boyunca yerel yönetim tarafından saatlik park ücret uygulaması ve caddeye giriş kısmında ücretli otopark mevcuttur. Ayrıca daha önceki yıllarda yol kenarlarında ücretli park uygulamaları, toplu taşıma sistemi ile cadde üzerine seferler planlanması, caddenin trafiğinin tek yönlü olarak düzenlenmesi, caddeye giriş ve yakın çevre alanlarında ücretli otoparklar yapılması gibi yöntemlerle probleme çözüm aranmıştır fakat başarı sağlanamamıştır.



Şekil 2. Erzurum kentine ait yıllık otomobil sahipliği (2000-2017 yılları arası).

Figure 2. Annual car ownership in Erzurum (between 2000-2017).

2 Kaynak özetleri

Bu bölümde, trafik tıkanıklık fiyatlandırılması uygulaması hakkında yapılmış çalışmalardan özetler aktarılmıştır.

Yüksel [6] çalışmasında; İstanbul Boğaziçi Köprüsü için ayrışık ikili lojit tercih modelini kullanarak trafik tıkanıklık fiyatlandırması çalışması yapmıştır. "Department of Transport in the UK" (DTUK) hız-akım bağıntısı model kapsamında kullanılmış ve araç sahipliği ile hıza bağlı maliyetlerini hesaplayarak Ortalama Maliyet (OM), Toplam Maliyet (TM) ve Marjinal Maliyet (MM) değerlerini elde etmiştir. Daha sonra elde ettiği bu değerlerle hız-akım grafiğini oluşturarak herhangi bir akım değerine karşılık teorik fiyatları ve optimum fiyatı hesaplamıştır. Ayrıca çalışmayı bir adım ileriye götürerek trafik tıkanıklığı fiyatlandırmasından elde edilecek gelirle otobüs ile yapılacak toplu taşıma için ek kaynak oluşturarak maliyet analizi yapmıştır. Tıkanıklık fiyatlandırması çalışması ile toplu taşıma ilk yatırım maliyetinin karşılanacağı ve toplu taşımacılığın gelişeceği sonucuna varmıştır. Tıkanıklık fiyatlandırması ile elde edilecek gelirle, toplu taşımacılığın ve ulaşım altyapısının geliştirilmesi için kaynak temini için önemli olduğunu vurgulamıştır. Tıkanıklık fiyatlandırması ile beraber trafikte %25-40 arasında azalmalar sağlanabileceği ve araç hızında 25 km/sa.'e kadar artış gözleneceğini dile getirmiştir.

Yüksel ve Bayrakdar [7] çalışmalarında; İstanbul Boğaziçi Köprüsü için trafik tıkanıklık fiyatlandırılması çalışması yapmışlardır. Uygulamanın toplum içinde sosyal eşitliğe katkı sağlayacağını belirtmiş, toplu taşıma hizmetinde kalitenin artması ile toplu taşımacılığa talebin artacağını dile getirmişlerdir. Ayrıca hava ve gürültü kirliliklerinde azalma yaşanacağından da bahsetmişlerdir.

Saruç [8], trafik tıkanıklığı fiyatlandırılması konusunda bilinmeyenleri yazdığı kitapla anlatmaya çalışmıştır. Kitabında; trafik tıkanıklık fiyatlandırılması hesap yöntemlerini, dünya üzerindeki uygulamaları, bireylerin bu konu hakkındaki tutumu ve kabul edilebilirliği gibi temel konulardan bahsetmiştir. Uygulamanın şeffaf bir şekilde yapıldığı takdirde toplum nezdinde kabul edilebilirliğini dile getirmiştir.

Demirtaş [9] çalışmasında; İstanbul İli, Kadıköy İlçesinde yaşanan trafik yoğunluğu problemi için trafik tıkanıklık fiyatlandırılması yönteminin uygulama potansiyel etkilerini araştırmıştır. Fiyat hesabında ayrık lojit modelini kullanmış ve sonuçlar ışığında uygulanacak 5 TL tıkanıklık fiyatı ile önemli derecede trafik yoğunluğunu azaltacağını belirtmiştir. Trafik yoğunluğunun çözümü için yol genişletme veya yeni yol yapma gibi diğer yöntemlerin uygulanabilir olamamasından dolayı fiyatlandırma uygulaması ile yoğunluğun ciddi manada çözüm olacağını savunmuştur.

Tezcan [10] çalışmasında; İstanbul İli, Eminönü İlçesinde yaşanan trafik tıkanıklığını için kesikli tercih analizi modellerinde yaygın olarak kullanılan ikili lojit tercih modelini tercih etmiştir. Eminönü ilçesine yapılan yolculuklarda birden fazla alternatif toplu taşıma sistemi olmasına karşın toplu taşıma sistemlerini ortak olarak değerlendirmiştir. Araç sahipliği ve hıza bağlı maliyetleri hesaplayarak Ortalama Maliyet, Marjinal Maliyet değerlerini ve optimum trafik tıkanıklık fiyatını 5.75 TL olarak elde etmiştir. Bu durumda trafik yoğunluğunun %12 azalacağını ve günlük 900000 TL'nin üzerinde gelir elde edileceğini dile getirmiştir.

Yüksel ve diğ. [11] çalışmalarında; trafik yoğunluğu üst düzeyde yaşanan İstanbul İli, Eminönü İlçesinde trafik tıkanıklık fiyatlandırılması konusunu araştırmışlardır.

Bölgedeki trafik akımını temsil edecek Akçelik ve Metropolitan Transportation Commission (MTC) hız-akım bağıntılarını kullanarak lojit türel ayırım modeli ile optimum fiyatı belirlenen senaryolara göre Akçelik bağıntısı için 2.68-4.28 \$ aralığında ve MTC bağıntısı için 2.93-4.22 \$ aralığında hesaplamışlardır. Bölge trafiğinde %15-40 arasında azalma ve ortalama araç hızlarında ise 20 km/sa. artacağı sonuçlarına varmışlardır.

Tezcan ve Yayla [12] çalışmalarında; İstanbul İli, Eminönü İlçesinde trafik yoğunluğu için trafik fiyatlandırması çözümünü savunmuşlar ve yaşanan trafik tıkanıklığı çözümüne faydalı olacağı ve ciddi düzeyde ilave gelir kazanılacağını düşünmüşlerdir. İkili lojit modeli oluşturularak farklı fiyatlar için kullanıcı davranışları ve elde edilecek gelirlerin hesaplanmasına olanak sağlamışlardır. Optimum tıkanıklık fiyatını 5.042 TL hesaplamışlar ve uygulamaya konulduğunda %15.92 düzeyinde özel otomobil kullanıcı sayısında azalma görüleceğini elde etmişlerdir.

Şentürk [13] çalışmasında; trafik tıkanıklık fiyatlandırmasının trafiği yönetmek için basit bir vergi stratejisinden daha öte bir anlam ifade ettiğini belirtmiştir. Tıkanıklık fiyatlandırması, kaynak sıkıntısını azaltmak ve yeni finansal kaynakların üretilmesini sağlamak için kullanılabilir alternatif bir karayolu finansman yöntemi olduğunu savunmuştur. Dünya'daki trafik tıkanıklık fiyatlandırılması örneklerini karşılaştırarak elde edilen faydaları analiz etmiştir. Dünya'da artan başarılı uygulamalar neticesinde özellikle İstanbul'da bu uygulamanın hayata geçirilmesi ve trafiğin yoğun olduğu saatlerde uygulandığında başarılı olunacağı sonuçlarına varmıştır.

Khan ve Mcips [14] çalışmalarında; trafik tıkanıklığı yaşayan Bangladeş'in başkenti Dakka kenti içi yıllık trafik tıkanıklık fiyatlandırılmasını tahmin etmişlerdir. Toplam trafik tıkanıklık fiyatı; araç sahipliği maliyeti, yolculuk süresinin maliyeti ve dışsal maliyetlerden oluştuğunu ifade etmişler ve programlama yöntemi ile 3.868 Milyon \$ gelir elde edileceğini tahmin etmişlerdir.

Koru ve diğ. [15] çalışmalarında; Ankara İli, Kızılay İlçesinde mevcut trafik yoğunluğu üzerine fiyatlandırma alanında çalışma yapmışlar, anket verileri sonucunda 1.34 \$ ile 1.91 \$ trafik tıkanıklık fiyat aralığı hesaplamışlardır. Fiyatlandırma yapıldığında özel araçla bölgeye gelişlerin azalacağını ve toplu taşıma sistemlerinin daha fazla tercih edileceğini ifade etmişlerdir. Fiyat uygulaması yapıldığında tıkanıklığın %20-30 civarında azalabileceği ve araç hızlarının ise 15-20 km/sa. artabileceği sonuçlarına ulaşmışlardır.

Trafik tıkanıklık fiyatlandırılması konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde; iki farklı yöntemle hesaplanmanın yapıldığı görülmüştür. Birinci yöntemde; bir model oluşturularak optimum tıkanıklık fiyatı hesabı yapılmaktadır. İkinci yöntemde ise; anket çalışması yapılarak fiyat tercihleri sorusu ile teorik trafik tıkanıklık fiyatı hesabı yapılmaktadır. Fiyatlandırmadaki bir değer optimum, diğer değer teorik olmasından dolayı bu iki yöntemin sonucunun karşılaştırılması yapılamamıştır. Bu çalışmada ise ana amaç; model ve anket çalışması sonucunda hesaplanan teorik tıkanıklık fiyatlarını karşılaştırmaktır. Bu çalışmada; optimum tıkanıklık fiyatı hesabı yerine en olumsuz koşul olan karayolunda pratik kapasite üzerine çıkılması halinde teorik trafik tıkanıklık fiyatı hesaplanmıştır. Yapılan anket çalışmasında ise; belirlenen fiyat tercihleri katılımcılara sorularak anket yardımı ile teorik tıkanıklık fiyatı hesaplanmıştır.

3 Materyal ve yöntem

1077 metre uzunluğunda olan Cumhuriyet Caddesinin 650 m uzunluğuna tekabül eden Havuzbaşı-Yakutiye Belediyesi arasındaki karayolu kordon güzergâhı olarak seçilmiştir. 25 Ocak 2018 tarihinde arazide araç sayımı yapılarak araç hızı ile ilgili ölçümler yapılmıştır.

Erzurum'un nüfus ve araç sahipliği verilerine Türkiye İstatistik Kurumu'nun internet sitesinden ve Erzurum kent merkezi toplam otomobil bilgisine Erzurum Trafik Tescil ve Denetleme Şube Müdürlüğü arşivinden ulaşılmıştır. Motorlu taşıt vergisi tutar bilgisi, Erzurum Vergi Dairesi Başkanlığı arşivinden alınmıştır.

Kordon bazlı teorik trafik tıkanıklığı hesabı için kullanılacak parametrelerin büyüklükleri Erzurum'a ait veriler ile elde edilmiş bu parametreler doğrultusunda modelin denklemleri oluşturulmuştur. Anket çalışması ile de sürücülerin tıkanıklık fiyatı cevabı öğrenilmeye çalışarak teorik tıkanıklık fiyatı hesabı yapılmıştır.

3.1 Anket çalışması ve anket sonucu teorik tıkanıklık fiyatı hesabı

Erzurum İli, Cumhuriyet Caddesinde yaşanan trafik yoğunluğu için daha önceden uygulanmamış bir çözüm yolu olan trafik tıkanıklığı fiyatlandırması çalışması yapılmak istenmektedir. Erzurum Kent Merkezi; Erzurum-Merkez, Yenişehir-Kayakyolu, Yıldızkent, Şükrüpaşa, Hilalkent-Sanayi ve Aziziye gibi altı bölgeye ayrılmış ve Cumhuriyet Caddesi kordon güzergâhını sıkça kullanan sürücülerle anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışması; ankete katılan sürücülerin demografik verileri, kordon güzergâhını kullanma sıklıkları, yolculuk yaptığı aracın kime ait olduğu ve masraflarını kimin karşıladığı, aracın kullanım amacının ne olduğu, kordon güzergâhı üzerinde trafik tıkanıklığının olup olmadığı ve trafik tıkanıklığı fiyatlandırılması konularını içeren 14 sorudan oluşmaktadır.

Erzurum kent merkezinin altı bölgesinde yapılan anketlerin belli bir düzeyde istatistikî güvenilirliği sağlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, %95 güvenilirlik düzeyinde ve ± 5 hata payı ile yapılacak çalışma için yeterli olacağı düşünülmüştür. Nüfusu 417845 olan Erzurum kent merkezinde yapılacak anket sayısı (1) denklemi ile hesaplanmıştır. Denklem 1'de görülen p değeri, evrende örneklemin gözlenme oranı ile ifade edilmektedir ve 0.5 değerindedir.

$$AS = \frac{Z^2 \times (p) \times (1 - p)}{c^2} \quad (1)$$

Bu formülde;

AS: Anket Sayısı

Z: Standart Normal Tablosundan alınan değer

p : Bir seçeneği işaretleyen yüzde değeri

c : Sonucun güvenilirlik aralığı

Nüfus sayısı bilindiğinde anket sayısının düzeltme denklemi ise; (2) denkleminde gösterilen şekildedir.

$$DAS = \frac{AS}{1 + \frac{AS - 1}{NS}} \quad (2)$$

Bu formülde;

DAS: Düzeltilmiş anket sayısı,

NS: Nüfus sayısı.

Hesaplamalar sonucunda 417845 nüfuslu Erzurum kent merkezinde ± 4.18 hata payı ile %95 güvenilirlikli bir sonuç alabilmek için, 549 adet anket uygulaması yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Erzurum kent merkezinde Cumhuriyet Caddesi kordon güzergâhı üzerinde yolculuk yapan otomobil sahipleri tespit edilmiştir. 16.01.2018-25.02.2018 tarihlerinde, tespit edilen sürücülere anket ve trafik tıkanıklığı fiyatlandırması konusunda bilgi verilmiştir. Bilgilendirmeden sonra katılımcılar ile yüz yüze 570 adet anket çalışması yapılmıştır. Katılımcıların anketteki sorulara içtenlikle cevap verdiği varsayılmıştır. Çalışma kapsamında; 20 adet anket hatalı olduğu için değerlendirme dışı bırakılmıştır. 550 kişinin anket verileri örneklem olarak kabul edilmiştir.

Erzurum İli, Cumhuriyet Caddesi kordon güzergâhı için hazırlanan anket çalışmasının 14. sorusunda katılımcılara trafik tıkanıklık fiyat tercihleri sorulmuştur. Fiyat tercihi cevap şıkları belirlenirken; daha önceki çalışma cevap şıkları, toplumun ekonomik durumu, toplu taşıma ücretleri gibi parametreler dikkate alınmıştır. Verilen cevaplar doğrultusunda "Ağırlıklı Ortalama Hesabından" faydalanılarak anket sonucu teorik trafik tıkanıklık fiyatı (3) numaralı denkleme göre bulunmaktadır.

$$TTF_{Anket} = (TF_{1.FİYAT} \times n_1 + \dots + TF_{x.FİYAT} \times n_x) / N \quad (3)$$

Burada;

N: Ankete katılan toplam kişi sayısı

n: Bir fiyatı seçen katılımcı sayısı

TF: Anket seçeneklerinde yer alan tercih fiyatları

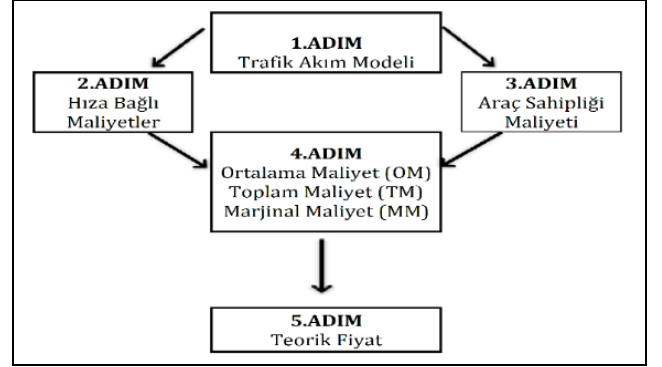
TTF_{Anket} : Anket sonucu teorik trafik tıkanıklık fiyatını göstermektedir.

3.2 Model çalışması ve model sonucu teorik tıkanıklık fiyatı hesabı

Trafikte kendi aracı ile yolculuk yapan kullanıcılar, mevcut trafiğin biraz daha yavaşlamasına neden olarak kendisi ile beraber bütün kullanıcıların yakıt maliyetlerini ve yolculuk sürelerini arttıracaktır. Yola katılan her bir aracın, trafik içerisinde yer alan araçların her birine getirdiği ilave maliyetlerin toplamına "Marjinal Maliyet" denilmektedir. "Ortalama Maliyet" ise, otomobil kullanıcısının yolculuk planlamasında hesapladığı bir kilometre için maliyete denilmektedir. "Toplam Maliyet", o anda yolculuk yapacağı karayolu üzerinde bulunan trafikteki araç sayısı ile Ortalama Maliyetin çarpımı sonucu elde edilen maliyete denir [6]. Modelin hesap adımları Şekil 3'te verilmiştir.

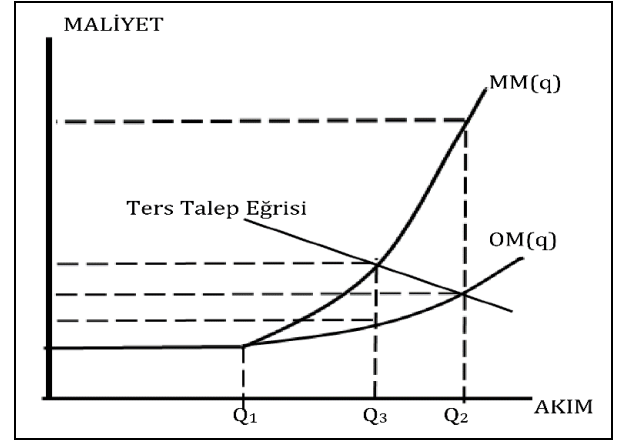
Maliyetler ile yolculuk talebi birbirleriyle etkileşim halindedir. Şekil 4'te görüldüğü üzere, Q_1 akımına kadar trafik yoğunluğu oluşmadığından Marjinal ve Ortalama Maliyet eğrileri birbirinden ayrılmamaktadır. "Teorik tıkanıklık fiyatı"; her akım değerinde marjinal maliyet ile ortalama maliyet eğrileri arasındaki farka denilmektedir [6]. Ters talep eğrisi ile OM eğrisinin kesiştiği nokta (Q_2), tıkanıklık fiyatlandırmasının uygulanmadığı durumdur. Ayrıca seyahat eden sürücüler; sebep olduğu maliyetleri karşıladığında, $MM(q)$ eğrisi dikkate alınacaktır ve denge noktası Q_3 noktası olacaktır. Bu noktada

$MM(q)$ eğrisi ile $OM(q)$ eğrisi arasındaki fark trafik tıkanıklık fiyatını (pigou vergisi, optimum fiyat) verecektir [11].



Şekil 3. Teorik trafik tıkanıklık fiyatlandırılmasının hesap adımları.

Figure 3. Calculating steps of theoretical traffic congestion pricing.



Şekil 4. Ortalama ve marjinal maliyet eğrileri ile ters talep eğrisi ilişkisi.

Figure 4. Relationship between average cost, marginal cost and inverse demand curves.

Tıkanıklık fiyatlandırmasını; seçilecek hız-akım bağıntısı, salınım maliyetleri, yakıt tüketimi maliyetleri ve araç sahipliği maliyeti gibi parametreler belirlemektedir. Fiyatlandırma oluşturulmasında, kordon trafiğindeki araçların homojen yapıda olması ve farklı özelliklerdeki otomobillerin teknik açıdan ortalamayı temsil edecek bir tip otomobil tanımlanması kabulleri yapılmıştır [6].

Araç sahipliği maliyeti, araca sahip olduğu süre boyunca kullanıcının araca yaptığı harcamalar anlamına gelmektedir. Bu maliyet; aracın yaptığı yol uzunluğu, aracın yaşı, tipi, motor hacmi, aracın kaza yapma yapmaması gibi parametrelerle ilişkilidir. Araç sahipliği maliyeti; trafik sigortası, salınım denetim bedeli, motorlu taşıtlar vergisi, muayene bedeli, yağ maliyeti, lastik maliyeti ve bakım-onarım maliyetlerinden oluşmaktadır.

Bu maliyetlerin hesabı yapılırken, Erzurum'a ait veriler kullanılmıştır. Maliyetlerin hesaplanmasında, Erzurum kent merkezine kayıtlı bir otomobil yıllık 10000 km yol kat ettiği kabul edilmiştir. Çalışmanın güncelliğini koruması için tüm parasal değerler 1 Amerikan Dolarına çevrilmiştir. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası'nın kayıtlarına göre 02.04.2018

tarihinde 1 Amerikan Dolarının 3.9577 Türk Lirasına karşılık geldiği verisi tüm çalışma boyunca sabitlenerek bütün hesaplarda bu değerden faydalanılmıştır.

Araç sahipliği maliyeti parametrelerinin hesabı yapılarak araç sahipliği maliyeti toplamda 0.0683 \$/km olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Araç sahipliği maliyeti.

Table 2. Cost of car ownership.

Maliyet Cinsi	Tutarı(\$/km)
Motorlu Taşıtlar Vergisi	0.0212
Trafik Sigortası	0.0188
Salınım Denetimi Bedeli	0.0007
Muayene Bedeli	0.0029
Yağ Tüketimi Bedeli	0.0038
Lastik Bedeli	0.0070
Bakım-Onarım ve Yedek Parça	0.0139
Toplam	0.0683

Bu makalede, [6] numaralı çalışmada trafik tıkanıklık fiyatlandırılması için oluşturulan modelden faydalanılmıştır. Hız-akım bağıntısı için DTUK modeli kullanılmıştır. DTUK modeli; sadeliği, kullanılacak verilerin arazide kolayca elde edilebilmesi ve modellenmiş akım hızlarının gerçeğe yakın olması gibi nedenlerden dolayı tercih edilmiştir. DTUK yolculuk süresi-akım bağıntısının 3. durumu olan trafik akım değerinin (q) pratik kapasiteden (Q_2) büyük olması hali ($q > Q_2$ durumu), kurulan modelde yolculuk süresi-akım bağıntısı seçilmiştir. DTUK yolculuk süresi-akım denklemi Denklem 4'de verilmiştir [6].

$$t = \frac{l}{V_k + \left(\frac{q}{Q_2} - 1 \right)} \quad (4)$$

Burada;

t : 1 km başına düşen yolculuk süresi,

l : Yol uzunluğu,

q : Trafik akım değeri (birimoto/sa.×şerit),

V_k : Kapasite hızı (km/sa.),

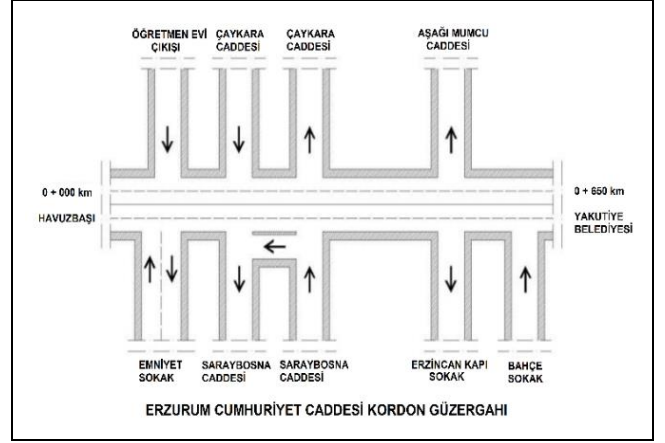
Q_2 : Pratik kapasiteyi (birimoto/sa.×şerit) ifade etmektedir.

Güzergâh uzunluğu 0.65 km olduğu için l değeri 0.65 alınarak hız-akım modeli oluşturulmuştur [16]. Modelde; 420 birimoto/sa.×şerit değerinin üzerindeki akım değerleri için hızlar dikkate alınmamıştır. Cumhuriyet Caddesi'ndeki trafik yoğunluğunu oluşturan bölge (Şekil 5), 0+000 km ile 0+650 km kesitleri arası güzergâhtır. Model hız-akım ($v - q$) bağıntısında kullanılacak veriler, 21.03.2018 tarihinde kordon güzergâhında 07.30-09.00 saatleri arası arazide yapılan ölçümler (hız, yoğunluk, yolun geometrik durumu gibi ölçümler) sonucunda aşağıdaki gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Pratik kapasitedeki akım hızı: 23 km/sa.

Pratik kapasite: 391 birimoto/sa.×şerit

Trafik tıkanıklığının maliyetinin hesabında hıza bağlı olarak; zaman, yakıt tüketimi ve salınım maliyetleri hesaplanacaktır. Akım, kullanıcı ile karayolu özelliklerinin homojen olduğu ve karayolunda yolculuk yapacak otomobillerin benzer oldukları model oluşumu aşamasında kabul edilmiştir [6].



Şekil 5. Cumhuriyet Caddesi kordon güzergâhi kesiti.

Figure 5. Cordon route section of Cumhuriyet Street in Erzurum.

1960 yıllarından itibaren yolculuk süresinin maliyetinin tahmin edilebilmesi için pek çok çalışma yapılmıştır ve halen günümüzde geçerliliği olan iki tahmin yöntemi bulunmaktadır. İlk yöntem, anket çalışmaları ile otomobilini devamlı kullanan kişilerin tercih ifadelerine göre bir maliyet hesabının yapılmasıdır. İkinci yöntem ise, araç kullanan kişilerin yolculuk süresinin kısalması ile elde edeceği ekonomik getirinin hesaplanması yöntemidir. İkinci yöntemde; yolculuk süresinin maliyetinin, araç sahibinin gelirinin %50'si ile %100'ü arasında değiştiği kabul edilmiştir [17].

Yolculuk süresinin maliyetinin hesaplanması için anket çalışmalarına katılan kişilerin Ek-B' de verilen aylık hane geliri sorusuna verdiği cevaplar değerlendirilerek otomobil sahiplerinin ağırlıklı ortalama saatlik gelirlerinin hesaplanması gerekmektedir [6].

Otomobil sahiplerinin kişi başına düşen ağırlıklı ortalama saatlik geliri Tablo 3'te görüldüğü üzere 4.62 \$/sa. bulunmuştur. Hesaplanan bu değer %50'si olan 2.31 \$/sa. ile %100'ü olan 4.62 \$/sa. arasındaki değerler, modelde kullanılacaktır.

Tablo 3. Otomobil sahiplerinin ağırlıklı ortalama saatlik gelir tablosu.

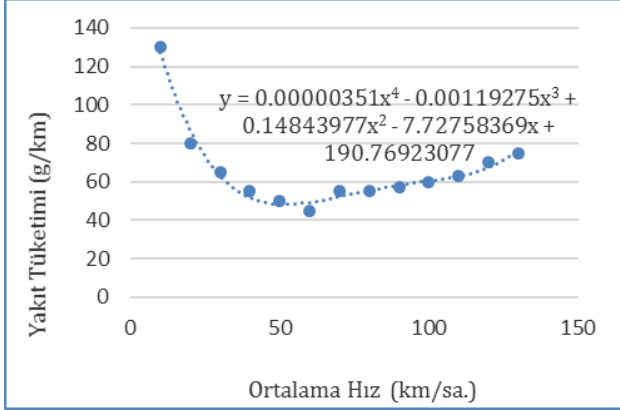
Table 3. Weighted average hourly income statement of car owners.

Kişi Başına Düşen Gelir	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5
Ortalama Aylık TL	800	2050	3750	6500	8000
Ortalama Saatlik TL	4.55	11.65	21.31	36.93	45.45
Ortalama Saatlik \$	1.15	2.94	5.38	9.33	11.48
Gruplar Ağırlıklı Ortalama Saatlik \$	4.62				

Avrupa Birliği Ekonomi Komisyonunca oluşturulan ECE 15-04 sayılı düzenleme standartları içinde kalan otomobillerin ölçümler sonucu ortaya konulmuş olan ortalama yolculuk hızına bağlı yakıt tüketimi ve salınım değerleri ele alınmıştır. ECE 15-04 isimli düzenleme, Avrupa'da üretilmiş otomobillerde 1984 yılında uygulanmaya başlanırken Türkiye'de 1988'de uygulamaya konulabilmiştir. Araç kullanımı sırasında insan sağlığı açısından zararlı CO (karbon monoksit), CO₂ (karbondioksit), NO_x (azot oksitler), VOC (uçucu organik bileşikler) veya HC (hidrokarbonlar) ile mikro partiküller araç egzozundan dışarı atılır. VOC'un temel

maddesi, petrolün yakılamayan bir bileşeni olarak havaya salınan hidrokarbonlardır. CO₂ salınım maliyeti ihmal edilecek kadar çok düşük olduğundan fiyat hesabında değerlendirilmemiştir [6].

Haworth ve Symmons çalışmalarında; CO, NO_x ve HC salınımlarının araç hızı ile değişimini gösteren bir grafik elde etmişlerdir ve bu grafikten faydalanılarak Şekil 6, 7, 8 ve 9'da verilen denklemler oluşturulmuştur [18].



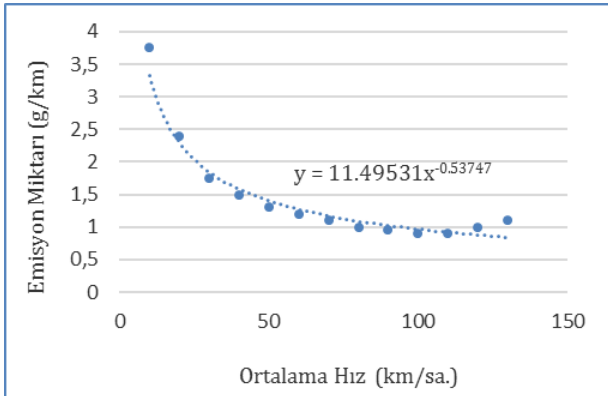
Şekil 6. Yakıt tüketiminin araç hızı ile değişim grafiği.

Figure 6. Variation of fuel consumption with vehicle speed.

Yakıt tüketimi $f_1(V)$ ve ortalama hızı V ile gösterildiğinde, Şekil 6'dan elde edilen denklem aşağıdaki hali almaktadır.

$$f_1(V) = 0.00000351 \times V^4 - 0.00119275 \times V^3 + 0.14843977 \times V^2 - 7.72758369 \times V + 190.76923077 \quad (5)$$

Hidrokarbon salınım miktarı $f_2(V)$ ve ortalama hızı V ile gösterildiğinde, Şekil 7'den elde edilen denklem aşağıdaki hali almaktadır.



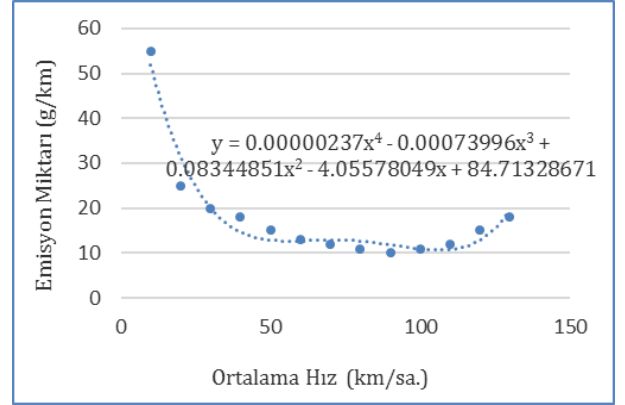
Şekil 7. Hidrokarbon salınım miktarının araç hızı ile değişim grafiği.

Figure 7. Variation of the amount of hydrocarbon release with vehicle speed.

$$f_2(V) = 11.49531 \times V^{-0.53747} \quad (6)$$

Karbon monoksit salınım miktarı $f_3(V)$ ve ortalama hızı V ile gösterildiğinde, Şekil 8'den elde edilen denklem aşağıdaki hali almaktadır.

$$f_3(V) = 0.00000237 \times V^4 - 0.00073996 \times V^3 + 0.08344851 \times V^2 - 4.05578049 \times V + 84.71328671 \quad (7)$$

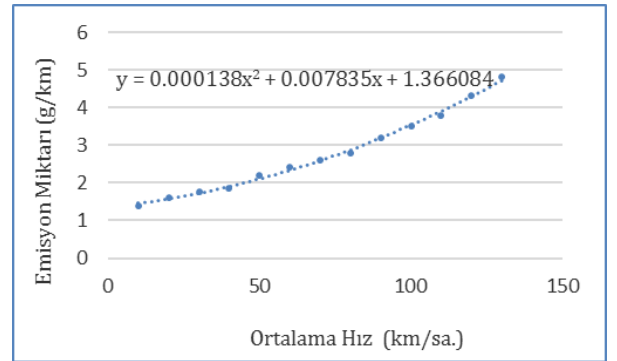


Şekil 8. Hidrokarbon salınım miktarının araç hızı ile değişim grafiği.

Figure 8. Variation of the amount of hydrocarbon release with vehicle speed.

Azot oksit salınım miktarı $f_4(V)$ ve ortalama hızı V ile gösterildiğinde, Şekil 9'dan elde edilen denklem aşağıdaki hali almaktadır.

$$f_4(V) = 0.000138 \times V^2 + 0.007835 \times V + 1.366084 \quad (8)$$



Şekil 9. Azot oksit salınım miktarının araç hızı ile değişim grafiği.

Figure 9. Variation of nitrogen oxide release amount with vehicle speed.

Araçla yapılan 1 km yolculuğa ilişkin yakıt tüketim maliyetinin hesaplanmasında km başına düşen tüketim değeri kullanılan yakıt satış fiyatıyla çarpılması gerekmektedir. Erzurum Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Erzurum İli Temiz Hava Eylem Planında (2014-2019) belirtildiği üzere; Erzurum'daki otomobillerin %29.44'ü benzin, %17.57'si motorin ve %52.99'u lpg türü yakıt ile çalışmaktadır [19]. Burada araçlarda kullanılan benzin, motorin ve lpg yakıtlarının akaryakıt istasyonlarında satılan fiyatlar ve otomobil yakıt yüzdeleri ile hesap yapılmalıdır. 29.03.2018 tarihinde kurşunsuz benzin 6.01 TL, motorin 5.37 TL ve lpg 3.45 TL değerinde satılmaktadır (Aytemiz Petrol Fiyat Listesi). 1 litre yakıt fiyatı ağırlıklı ortalama hesabı ile $6.01 \times 0.2944 + 5.37 \times 0.1757 + 3.45 \times 0.5299 = 4.54$ TL bulunmuş ve 1 g yakıtın maliyeti ise 0.00454 TL hesaplanmıştır. Bu değer USD para birimine çevrildiğinde 0.00115 \$'a tekabül etmektedir.

NO_x ve HC salınımları insan sağlığını etkileyen ve ozon üretimini tetikleyen zararlı gaz salınımlarıdır. CO salınımı insan sağlığını etkiler ve iklim değişimine neden olur. Yapılan araştırmalar sonucunda, Türkiye'de otomobil kaynaklı salınım maliyetine ilişkin bir çalışma olmadığı görülmüştür. Bunun için

birim salınım fiyatlarının hesabında; Avrupa Birliğine üye 15 ülkenin (EU-15) tarafından üretilen değerlerden faydalanılmıştır. NO_x salınımının EU-15 maliyeti 2002 yılı için 0.00420 Euro/g, HC salınımının EU-15 maliyeti 2002 yılı için 0.00210 Euro/g ve CO salınımının EU-15 maliyeti 1998 yılı için 0.00015 Euro/g olarak hesaplanmıştır [6]. Önceki tarihlere göre hesaplanmış salınım maliyetleri 2018 yılına dönüştürülmesi için paranın yıllık getirisi olarak %4 kullanılmıştır. Bu salınım değerleri 2018 yılına güncellendiğinde Tablo 4'te gösterildiği değerler elde edilecektir [16].

Tablo 4. EU-15 emisyon maliyetlerinin 2018 yılına dönüştürülmüş birim maliyet tablosu.

Table 4. Unit cost of EU-15 emission costs converted to 2018.

Emisyon Cinsi	Hesaplandığı Yıl	EU-15 Maliyeti Euro/g	EU-15 Maliyetinin 2018 Yılına Dönüştürülmüş Birim Maliyet (2018) Euro/g
NO _x	2002	0.00420	0.00787
HC	2002	0.00210	0.00393
CO	1998	0.00015	0.00033

02.04.2018 tarihinde Euro-Dolar paritesi 1.2331 değeri olduğundan bu parite değeri çalışma boyunca sabitlenmiştir. Güncelleme işlemi için kullanılacak katsayı; Türkiye'deki kişi başına düşen milli gelirin, Avrupa Birliği ülkelerindeki kişi başına düşen milli gelire bölünmesiyle bulunacaktır. Güncelleme katsayısı, 25780/35830=0.720 olarak hesaplanmıştır. Tablo 5'te salınım cinslerinin Türkiye için güncellenen birim maliyetleri gösterilmektedir.

Tablo 5. Salınım maliyetlerinin Türkiye'ye güncellenmiş birim maliyet tablosu.

Table 5. Updated unit cost based on the cost of the oscillation to Turkey.

Salınım Cinsi	EU-15 Maliyetinin 2018 Birim Maliyeti Euro/g	USD Doları Birim Maliyeti \$/g	Türkiye İçin Güncellenen Birim Maliyet \$/g
NO _x	0.00787	0.00970	0.00698
HC	0.00393	0.00485	0.00349
CO	0.00033	0.00041	0.00030

Matematiksel olarak Marjinal Maliyet, Toplam Maliyetin akıma göre türevidir ve Ortalama Maliyet fonksiyonu hıza bağlı olarak denklem 12'de verilmiştir.

$$TM(q) = q \times OM(q) \quad (9)$$

$$MM(q) = q \times OM(q) \frac{dv}{dq} \quad (10)$$

$$V = f_v(q) \quad (11)$$

$$OM(V) = k_1 + \frac{k_2}{V} + k_3 \times f_1(V) + k_4 \times f_2(V) + k_5 \times f_3(V) + k_6 \times f_4(V) \quad (12)$$

Bu denklemde;

k_1 = Araç sahipliği maliyetini,

k_2 = Zaman maliyetini,

k_3 = Yakıt maliyetini,

k_4 = Hidrokarbon maliyetini,

k_5 = Karbon monoksit maliyetini,

k_6 = Azot oksit maliyetini ifade etmektedir.

(12) denkleminde $f_v(q)$ hız-akım denklemi için $V = f_v(q)$ fonksiyonu yerleştirildiğinde q değişkenine bağlı OM fonksiyonu elde edilmektedir ve (13) denklemi oluşmaktadır.

$$OM(V) = OM(f_v(q)) = OM(q) \quad (13)$$

Hız-akım denklemi için $OM(q)$ fonksiyonu oluşturulur. (10) denklemi ile $MM(q)$ fonksiyonu bulunur. Tam da bu noktada her akım değerine karşılık gelen TTF değerleri hesaplanır [6].

$$TTF_1(q) = MM(q) - OM(q) \quad (14)$$

Oluşturulan modelde Ortalama Maliyet fonksiyonu q parametresine bağlı olarak (15) denklemi elde edilir.

$$OM(V) = k_1 + \frac{k_2}{f_v(q)} + k_3 \times f_1(f_v(q)) + k_4 \times f_2(f_v(q)) + k_5 \times f_3(f_v(q)) + k_6 \times f_4(f_v(q)) \quad (15)$$

TTF değerini bulmak için kullanıcının karayolunda yolculuk yapması durumunda oluşan Marjinal Maliyetten, araç sahiplerinin bireysel olarak karşıladığı kısmının (OM) çıkarılması lazımdır. Halbuki modelde, gerçekte kullanıcının ödemediği salınım maliyetleri de yer almaktadır. Bundan dolayı, Ortalama Maliyet fonksiyonundan salınım maliyetleri çıkartılarak $OMB(q)$ fonksiyonu (16) denkleminde gösterildiği gibi elde edilecektir [6].

$$OMB(q) = k_1 + \frac{k_2}{f_v(q)} + k_3 \times f_1(f_v(q)) \quad (16)$$

Teorik tıkanıklık fiyatı, yolculuk yapan sürücülerin sebep olduğu ve karşılamadığı maliyetlerin toplamından oluştuğu için modelde kullanılacak tıkanıklık fiyatı (17) ve (18) denklemlerinde olduğu gibi bulunacaktır.

$$TTF_2(q) = MM(q) - OMB(q) \quad (17)$$

$$TTF_2(q) = MM(q) - (k_1 + \frac{k_2}{f_v(q)} + k_3 \times f_1(f_v(q))) \quad (18)$$

Matlab 2015a programında; Ek A'da verilen $q > Q_2$ için $MM(q)$ ve $OMB(q)$ değerleri çözüme kavuşturularak model sonucu teorik trafik tıkanıklığı fiyatı hesabı yapılacaktır.

4 Araştırma bulguları

4.1 Anket sonucu teorik tıkanıklık fiyatı hesabı

Anket sorusunda belirlenen fiyatlar; Erzurum Cumhuriyet Caddesine yakın saatlik otopark ücretleri, Erzurum kentinde bir kişinin toplu taşımaya ödediği ücret ve literatürde yer alan tıkanıklık fiyatları dikkate alınarak belirlenmiştir. "Araç giriş ücreti uygulaması planlanan Cumhuriyet Caddesine (Havuz başı-Yakutiye Belediyesi Arası) saat 07.30-09.00 ve 16.30-18.00 arası girmek söz konusu olduğunda hangi ücret size özel aracımı kesinlikle Cumhuriyet Caddesine giriş yapmam dedirtir?" sorusuna katılımcıların verdiği cevaplar Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Fiyat tercihi sorusuna katılımcıların vermiş olduğu cevaplar.

Table 6. Answers given by the participants to the question of price preference.

Giriş Ücreti (TL)	Kişi Sayısı	%	Kümülatif %
1	137	24.91	24.91
2	52	9.45	34.36
3	46	8.36	42.72
4	26	4.73	47.45
5	111	20.18	67.63
6	18	3.27	70.90
7	13	2.36	73.26
8	9	1.64	74.90
9	9	1.64	76.54
10 TL ve Üzeri	129	23.46	100.00

(3) denklemine anketlerden elde edilen veriler yerleştirildiğinde aşağıdaki (19) denklemi elde edilmektedir.

$$TTF_{Anket} = (1 \times 137 + 2 \times 52 + 3 \times 46 + 4 \times 26 + 111 + 6 \times 18 + 7 \times 13 + 8 \times 9 + 9 \times 9 + 10 \times 129) / 550 \quad (19)$$

$$TTF_{Anket} = 2680/550 = 4.873 \text{ TL}$$

Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası'nın 02.04.2018 tarihli dolar kuru 1 USD=3.9577 TL olması nedeniyle çalışma boyunca sabit kabul edilmiş ve sonuç olarak anket sonucu teorik tıkanıklık fiyatı dolar cinsinden TTF_{Anket} değeri 1.231 \$ hesaplanmıştır.

4.2 Model sonucu teorik tıkanıklık fiyatı hesabı

Matlab 2015a Programında; tıkanıklık fiyatlandırılması hesabında kullanılacak parametreler ve değerleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Model parametreleri ve değerlerine ait tablo.

Table 7. Model parameters and values.

Parametre	Parametre Değeri	Parametre Birimi
k_1	0.0683	\$/km
k_2	2.31-4.62	\$/sa.
k_3	0.00115	\$/g
k_4	0.00349	\$/g
k_5	0.00030	\$/g
k_6	0.00698	\$/g
Q_2	391	birimoto/sa. x şerit
V_k	23	km/sa.

Hız-akım bağıntısının üçüncü bağıntısı olan ($q > Q_2$) durumu incelenmiş olup pratik akım üzerindeki $MM(q)$ ve $OMB(q)$ değerleri hesaplanmıştır. $MM(q)$ değeri 1.027 \$ ile 1.755 \$ aralığında ve $OMB(q)$ değeri ise 0.321 \$ ile 0.574 \$ aralığında hesaplanmıştır. Teorik tıkanıklık fiyatı hesabı, (20) denkleminden faydalanılarak minimum ve maksimum olarak (21) ve (22) denklemlerinde gösterildiği gibi hesaplanacaktır.

$$TTF(q) = MM(q) - OMB(q) \quad (20)$$

$$TTF_{min}(q) = MM_{min}(q) - OMB_{min}(q) \quad (21)$$

$$TTF_{max}(q) = MM_{max}(q) - OMB_{max}(q) \quad (22)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda minimum ve maksimum teorik tıkanıklık fiyatı hesapları aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$TTF_{min}(q) = 1.027 - 0.321 = 0.706 \$$$

$$TTF_{max}(q) = 1.755 - 0.574 = 1.181 \$$$

Hız-akım bağıntısının üçüncü bağıntısı olan ($q > Q_2$) durumuna göre, model sonucu teorik tıkanıklık fiyatı değeri 0.706 ile 1.181 \$ aralığında hesaplanmıştır. Bu durumda, model sonucu teorik tıkanıklık fiyatı TTF_{model} 1.181 \$ olarak seçilmiştir.

Görüldüğü üzere; hem anket hem de model sonucuna göre iki tane teorik tıkanıklık fiyatı hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin birbirine yakın olmasından dolayı kurulan model, teorik tıkanıklık fiyatı hesabında dikkate alınacak bir model çalışması olmuştur. Anket çalışmasında belirlenecek fiyatlandırma sorusunun da uygulamanın yapılacağı kenti temsil ettiği takdirde, anket sonucu teorik tıkanıklık fiyatının da bulunacağı görülmektedir.

5 Sonuçlar

Bu makalede, Erzurum kentinin önemli problemlerinden biri olan trafik tıkanıklıklarına çözüm olarak düşünülen kordon bazlı tıkanıklık fiyatlandırmasının, kentte uygulanabilirliğine yönelik bir araştırma yapılmıştır. Hem model hem de anket sonucuna göre iki farklı teorik tıkanıklık fiyatı elde edilmiştir.

Katılımcıların fiyat seçeneklerinden en çok tercih ettiği fiyat %24.91 ile 1 TL olmuştur. 1 TL fiyat tercihinin yaklaşık dört katılımcıdan birisi tercih etmiştir. Bu tercih, kordon hattında yolculuk yaparken ücret ödemeyen toplumun kordon güzergâhının ücretsiz kalmasının istenmesi anlamına gelmektedir. En fazla tercih edilen ikinci fiyat ise %23.46 ile 10 TL ve üzeri fiyat olmuştur. Katılımcıların en fazla tercih ettiği üçüncü fiyat ise %20.18 ile 5 TL olmuştur. 5 TL altında yapılacak herhangi bir kordon güzergâhı fiyatlandırmasında, katılımcıların %47.45'i bu ücreti ödemeyi kabul etmiştir. Bu durumda, trafik tıkanıklığı probleminin %52.55 oranında azalacağı söylenebilir. Ayrıca anket sonucu teorik tıkanıklık fiyatının 4.873 TL hesaplanması ve 5 TL altı uygulamayı destekleyen %47.45 oranında katılımcının bulunması gibi sebeplerden dolayı kordon güzergâhına saat 07.30-09.00 ile saat 16.30-18.00 arası araç girişlerinin 5 TL (1.263 \$) olması uygulanabilir bir fiyat olmuştur.

Model sonucu teorik tıkanıklık fiyatlandırılması hesabı için zaman, yakıt tüketimi, araç sahipliği ve salınım maliyetleri ele alınmıştır. Modelde kullanılan parametre değerlerinin bulunmasında, Erzurum iline özgü veriler kullanılmıştır. Model sonucunda teorik tıkanıklık fiyatı 1.181 \$ bulunmuştur.

Anket sonucu teorik tıkanıklık fiyatı hesabında; fiyat tercihi sorusuna verilen cevaplar ışığında ağırlıklı ortalama hesabı yönteminden faydalanılarak 1.231 \$ bulunmuştur.

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde; anket ve model sonucu hesaplanan teorik tıkanıklık fiyat sonuçları birbirine oldukça yakındır. Aralarındaki fark, sadece 1.231-1.181= 0.050 \$ kadardır ve aralarındaki değişim oranı %4.06 seviyesindedir. Böylelikle kurulan model, fiyatlandırma konusunda görüşü alınan otomobil sahiplerinin trafik tıkanıklık fiyatlandırması konusunda istediği ücreti temsil ettiği görülmektedir.

Model veya anket sonucu trafik tıkanıklık fiyatlarından hangisi kullanılacak olursa olsun, kordon güzergâhına günün zirve saatleri (saat 07.30-09.00 ile saat 16.30-18.00 arası)

yolculuklar için her iki fiyatın da hayata geçirilebilecek seviyede olduğu görülmektedir. Cumhuriyet Caddesi'nde yaşanan trafik tıkanıklığı problemine karşı kordon bazlı tıkanıklık fiyatlandırma çözümü yerel yönetim tarafından düşünülebilir. Bu uygulama sonucu elde edilecek gelir; ulaşım altyapısı ve tıkanıklık fiyatlandırılması teknolojileri için kullanıldığı takdirde, toplumun bu uygulamaya olumlu bakacağı görülmektedir.

Cumhuriyet Caddesi kordon güzergâhına günün zirve saatlerinde yapılacak tüm girişlere, kordon bazlı tıkanıklık fiyatlandırılması uygulaması yapılabilir. Kordon güzergâhına yakın bölgede yaşayanlar, iş amaçlı kullananlar, engelli vatandaşlar ve kordon güzergâhını sıkça kullanan kişiler için günün zirve saatlerindeki tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasını indirimli kullanmaları sağlanabilir. İnternet sitesi üzerinden, ödeme noktalarından ve cep telefonu aracılığıyla rahatça ödeme yapabileceği altyapı oluşturulmalıdır.

6 Conclusion

In this study, the applicability of cordon-based congestion pricing as a solution to traffic congestion, one of the important problems of Erzurum, was investigated. Within the scope of the study, both model and survey studies were conducted and two different theoretical congestion prices were determined.

The survey participants chose the price of 1 TL at most, with a rate of 24.91%. This preference means that the society that does not pay for traveling on the cordon line will remain free of charge on the cordon route. The second most preferred price was 10 TL and above with a rate of 23.46%. The third most preferred price of the participants was 5 TL with a rate of 20.18%. In any cordon route pricing less than 5 TL, 47.45% of the participants agreed to pay this fee. In this case, it can be said that the traffic congestion problem will decrease by 52.55%. In addition, due to reasons such as the calculation of the theoretical congestion price of 4.873 TL and the presence of 47.45% participants who support the application below 5 TL, the vehicle entries between the hours of 07.30-09.00 and 16.30-18.00 hours on the lane route was 5 TL (\$ 1.263).

As a result of the model, time, fuel consumption, vehicle ownership and emission costs were discussed for the theoretical congestion pricing calculation. In finding the parameter values used in the model, data specific to the province of Erzurum were used. As a result of the model, the theoretical congestion price was found to be \$ 1.181.

As a result of the survey, the theoretical congestion price was found as \$ 1.231 by using the weighted average calculation method in the light of the answers given to the price preference question.

When these results are evaluated; The theoretical occlusion price results calculated as a result of the survey and the model are very close to each other. The difference between them is only $1.231-1.181 = \$ 0.050$ and the rate of change between them is 4.06%. Thus, the established model is seen to represent the fee that the car owners whose opinions are taken on pricing are asked for in terms of traffic congestion pricing.

Regardless of the model or survey, whichever traffic congestion prices will be used, it is seen that both prices are at a level that can be realized for the trips of the day to the promenade (between 07.30-09.00 and 16.30-18.00). The local administration can consider a cordon-based congestion pricing solution for the traffic congestion problem in Cumhuriyet

Street. Income to be obtained as a result of this application; If it is used for transportation infrastructure and congestion pricing technologies, it is seen that the society will look at this practice positively.

All the entrances to be made at the peak hours of the day to the Cumhuriyet Street can be priced based on cordon route. For those who live in the area close to the cordon route, for business users, disabled citizens and those who use the cordon route frequently, they can use the pricing application at the peak hours of the day at a discount. An infrastructure should be created to pay comfortably through the website, payment points and mobile phones.

7 Teşekkür

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisine katkı veren tüm Editörlere ve Hakemlere teşekkür ederiz.

8 Kaynaklar

- [1] Komanoff C. "Environmental consequences of road pricing". *A Scoping Paper for the Energy Foundation*, 24(4), 1-24, 1997.
- [2] Veckermann TM, Venter C. "International experience with road and congestion pricing and options for Johannesburg". *Proceedings of the 27th Southern African Transport Conference (SATC 2008)*, Pretoria, South Africa, 7-11 July 2008.
- [3] Ahmed B. "Manchester congestion charge scheme: A Review". *Journal of Civil Engineering and Congestion Technology*, 2, 236-241, 2011.
- [4] Türkiye İstatistik Kurumu. "İbbs-Düze1, İbbs-Düze2, İl ve İlçe Nüfusları". <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (24.01.2018).
- [5] Türkiye İstatistik Kurumu. "Motorlu Kara Taşıt Sayısı". <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=89&locale=tr> (24.01.2018).
- [6] Yüksel H. Toplu Taşımacılığın Geliştirilmesi için bir Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli Önerisi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2004.
- [7] Yüksel H, Bayrakdar Z. "Boğaziçi Köprüsü'nde tıkanıklık fiyatlandırmasının trafiğe ve toplu taşımacılığa etkilerinin araştırılması". *TMMOB Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Aylık Bülteni*, 78, 15-27, 2005.
- [8] Saruç TN. Trafik Sıkışıklığı Ücretlendirmesi: Ekonomik Teori ve Uygulamalar. Ankara, Türkiye, Gazi Yayınları, 2008.
- [9] Demirtaş B. Kadıköy Merkez Bölgesinde Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2009.
- [10] Tezcan OH. Trafik Tıkanıklığı Yönetimi Olarak Fiyatlandırma ve İstanbul-Eminönü için bir uygulama. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2009.
- [11] Yüksel H, Yardım MS, Gürsoy M. "Eminönü İçin Bir Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli". *İMO Teknik Dergi*, 327, 4995-5022, 2010.
- [12] Tezcan OH, Yayla N. "Tıkanıklık fiyatlandırmasının İstanbul için uygunluğunun araştırılması. Eminönü fiyatlandırma modeli". *İTÜ Dergisi/d*, 9(6), 125-136, 2010.
- [13] Şentürk SH. "Tıkanıklık fiyatlandırması, Dünya uygulamaları ve Türkiye'deki durumun değerlendirilmesi". *Maliye Dergisi*, 162, 282-303, 2012.
- [14] Khan T, Mcips MRI. "Estimating cost of traffic congestion in Dhaka city". *International Journal of Enginerring Science and Innovative Technology*, 2(3), 281-289, 2013.

- [15] Kuru MT, Akgüngör AP, Korkmaz E. "Trafik tıkanıklığının fiyatlandırılması ve uygulamalarının incelenmesi: Kızılay Ankara örneği". *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3), 497-508, 2017.
- [16] Çoşkun H. Kordon Bazlı Trafik Tıkanıklığı Fiyatlandırılmasına Örnek bir Uygulama: Erzurum, Cumhuriyet Caddesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2018.
- [17] Li MZF. "The role of speed-flow relationship in congestion pricing with an application to Singapore". *Transportation Research Part B*, 36, 731-754, 2002.
- [18] Haworth N, Symmons M. "The relationship between fuel economy and safety outcomes". Monash University Accident Research Centre, Victoria, Australia, 188, 2001.
- [19] Erzurum Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. "Erzurum İli Temiz Hava Eylem Planı (2014-2019)". <https://webdosya.csb.gov.tr/db/erzurum/webmenu/webmenu8073.pdf> (10.02.2018).

Ekler

Ek A: $q > Q_2$ durumu için maliyet bağıntıları

$$\text{OMB}(q) = k_1 + k_2 / (0.65 \times V_k \times Q_2 \times 8) \times (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2) + k_3 \times (731.161 \times 0.00000351 \times V_k^4 \times Q_2^4 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^4 - 140.608 \times 0.00119275 \times V_k^3 \times Q_2^3 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^3 + 27.04 \times 0.14843977 \times V_k^2 \times Q_2^2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^2 - 5.2 \times 7.72758369 \times V_k \times Q_2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2) + 190.76923077)$$

$$\text{MM}(q) = k_1 + 1/5.2 \times k_2 / V_k / Q_2 \times (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2) + 1/5.2 \times k_2 \times q / Q_2 + k_3 \times (731.161 \times 0.00000351 \times V_k^4 \times Q_2^4 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^4 - 140.608 \times 0.00119275 \times V_k^3 \times Q_2^3 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^3 + 27.04 \times 0.14843977 \times V_k^2 \times Q_2^2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^2 - 5.2 \times 7.72758369 \times V_k \times Q_2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2) + 190.76923077) + k_3 \times q \times (2924.64 \times 0.00000351 \times V_k^5 \times Q_2^4 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^5 + 421.824 \times 0.00119275 \times V_k^4 \times Q_2^3 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^4 - 54.08 \times$$

$$0.14843977 \times V_k^3 \times Q_2^2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^3 + 5.2 \times 7.72758369 \times V_k^2 \times Q_2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^2) + k_4 \times 11.49531 \times (8 \times V_k \times Q_2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2))^{-0.53747} + k_4 \times q \times 11.49531 \times (8 \times V_k \times Q_2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2))^{-0.53747} \times V_k / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2) + k_5 \times (731.161 \times 0.00000237 \times V_k^4 \times Q_2^4 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^4 - 140.608 \times 0.00073996 \times V_k^3 \times Q_2^3 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^3 + 27.04 \times 0.08344851 \times V_k^2 \times Q_2^2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^2 - 5.2 \times 4.05578049 \times V_k \times Q_2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2) + 84.71328671) + k_5 \times q \times (-2924.64 \times 0.00000237 \times V_k^5 \times Q_2^4 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^5 + 421.824 \times 0.00073996 \times V_k^4 \times Q_2^3 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^4 - 54.08 \times 0.08344851 \times V_k^3 \times Q_2^2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^3 + 5.2 \times 4.05578049 \times V_k^2 \times Q_2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^2) + k_6 \times (27.04 \times 0.000138 \times V_k^2 \times Q_2^2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^2 + 5.2 \times 0.007835 \times V_k \times Q_2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2) + 1.366084) + k_6 \times q \times (-54.08 \times 0.000138 \times V_k^3 \times Q_2^2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^3 - 5.2 \times 0.007835 \times V_k^2 \times Q_2 / (8 \times Q_2 + V_k \times q - V_k \times Q_2)^2)$$

Ek B: Anket Trafik tıkanıklık fiyat ve aylık hane geliri soruları

Araç giriş ücreti uygulaması planlanan Cumhuriyet Caddesine (Havuz başı-Yakutiye Belediyesi Arası) saat 07.30-09.00 ve 16.30-18.00 arası girmek söz konusu olduğunda hangi ücret size "özel aracımı kesinlikle Cumhuriyet Caddesine giriş yapmam" demektir?

1 TL	2 TL	3 TL	4 TL	5 TL
6 TL	7 TL	8 TL	9 TL	10 TL ve üzeri

Aylık hane geliriniz aşağıdakilerden hangisidir?

1600 TL ve altı	1601-2500 TL arası
2501-5000 TL arası	5001-8000 TL arası
8001 TL ve üzeri.	