

YOL TIKANIKLIĞININ EKONOMİSİ ÜZERİNE*

M. BRUCE JOHNSON
Çev. : Hasan ERTÜRK**

Bu makalede¹, şehir içinde otomobille seyahatin piyasa talebini parasal-fiyat gibi zaman fiyatının bir fonksiyonu olarak (2) piyasa arzını trafik yoğunluğu ve ortalama hız arasındaki varsayılan ilişkilerden türetilen bir akış fonksiyonu olarak ifade eden bir model sunulmaktadır. Trafik tıkanıklığının niteliksel olarak farklı tipleri belirlenmektedir. Parasal ve zaman vergileri biçiminde marjinal maliyet fiyatlaması, trafik tıkanıklığının her iki tipini kontrol etmede uygulanabilir ve etkin bir yöntem olarak sunulmuştur. Mevcut ampirik çalışmaların sonuçları kullanılarak, şehiriçi yolların üç tipi için vergi sedülleri hesaplanmıştır.

1. GİRİŞ

Günümüzde şehiriçi yollarda trafik tıkanıklığının yaygın olduğu ve bu durumun belirli sosyal maliyetler yarattığı şeklinde ortak bir görüş vardır. Bu konudaki önemli sorunlar: bu sosyal maliyetlerin nasıl ölçüleceği ve bunların nasıl azaltılacağı veya yok edileceğidir. Bu makalede (1) kesin bir biçimde trafik tıkanıklığı tanımlanmaya (2) bu tanımlama ile geleneksel fiyat

* "On the Economics of Road Congestion", *Econometrica*, Vol. No. 1-2 (January-April, 1964), ss. 137-150.

** Doç. Dr., Uludağ Üniv. İktisadi ve İdari Bilimler Fak. Kamu Yönetimi Bölümü Öğretim Üyesi

1 Bu makalenin belirli bölümlerinde meslektaşım Prof. Dr. Walter'in eleştirilerinden yararlanılmıştır. Mevcut hataların sorumluluğu bana aittir.

teorisi arasında uyumlu bir model geliştirilmeye, (3) uygun bir kanıtlama yapılmaya çalışılmıştır. Analiz; otomobille seyahatin parasal işlem (operating) maliyetlerinin ve zaman maliyetlerinin her ikisinin de bireysel karar işlemiyle ilgili olduğu fikrine dayanmaktadır. Biçimsel olarak, kişilerin parasal-fiyat parametreleri gibi zaman-fiyat parametreleri ile de yüzyüze olduğu ve otomobille seyahatin piyasa talep fonksiyonlarının bu parametrelerden elde edilebileceği varsayılmıştır.

Başlangıçta bir ayırım yapmak amacıyla sadece zaman maliyetini kapsayan basit bir tıkanıklık modeli ele alınmış ve tıkanıklık olayının belirli özellikleri olduğu varsayılmıştır. Bu özellikler şunlardır: Tıkanıklığın birikimci etkileri nedeniyle, otomobille yolculukların parasal ve zaman maliyetleri arasındaki bağlantı kurulduğunda ve zaman maliyeti gibi parasal işlem maliyeti de arttığında, yolculuk talepleri bu iki parametreye bağlı olarak analiz edilebilmektedir. Marjinal maliyet fiyatlaması, trafik tıkanıklığının aşırı sosyal maliyetlerini yok etmek için genel vergi tarifeleri anlamında kullanılmaktadır. Bu iki parametre her bir yolda birbiriyle ilişkili olduğundan, parasal ve zaman vergilerinin ikili bir sistemi ortaya çıkmaktadır. Zaman vergilerini parasal vergiler şekline dönüştürmek için yolculuk süresinin tahmini değerinin kullanılabilirliği daha sonra tartışılacaktır. Araç kullanma maliyetlerinin ve trafik akışı zaman maliyetinin ilişkisini gösteren mevcut ampirik çalışmalar, bu iki verginin iki özel tarifesini hesaplamak için kullanılan bilginin ilk kaynaklarıdır. Vergi tarifeleri modelin maliyet yanına bağlı olduğundan, marjinal maliyet fiyatlaması yoluyla vergi tarifeleri üzerinde deriğe noktalarının belirlenebilmesi için talep eşitlikleri ile ilgili ilave bilgi gerekmektedir.

2. ZAMAN MALİYETLERİ VE YOL TIKANIKLIĞI

2.1. Tıkanıklığın Mekanizması

Herhangi bir yolda veya yolun bir bölümü için aşağıdaki değişkenleri ölçebileceğimizi varsayıyoruz.

F= Akış (Flow): Bir dakikada yoldan geçen araç sayısı

D= Yoğunluk (Density): Herhangi bir zamanda bir km.'lik yoldaki ortalama araç sayısı²

2 Basitlik amacıyla, yoldaki her noktada yoğunluğun aynı olduğu varsayılmıştır. Böylece yoğunluktaki değişmeler gibi, yoldaki ayarlamalar da anlık olacaktır. Takip edilen analiz mukayeseli statik olduğundan, bu varsayım özel bir zorluk yaratmaz.

S= Hız (Speed): Yolda bir dakikadaki ortalama hız.

Analizi basitleştirmek amacıyla bir km.de harcanan zamanı hızın tersi olarak dikkate alalım. ($T=S^{-1}$). Şimdi T'nin bilinen bir şekilde yoğunluğa bağlı olduğunu düşünelim. T(D) sürekli türevi alınabilir bir fonksiyon olduğunda ve $T'(D) < 0$, $T''(D) = k$ (bir pozitif sabit olduğunda) $T=T(D)$ yazabiliriz. Bu nedenle herhangi bir dönemdeki yoldaki akış, yoğunluk ve hızın çarpımıdır³ veya $F=F(D)=D.T^{-1}$ dir.

$$1 - F'(D) = T^{-1} \left(1 \frac{D}{T} \cdot \frac{dT}{dD} \right) = 0, \text{ sadece } \frac{dT}{dD} = \frac{T}{D} \text{ olduğunda;}$$

$$2 - F''(D) = 2T^{-2} \left(\frac{dT}{dD} \right) \left(\frac{D}{T} \cdot \frac{dT}{dD} - 1 \right) - DT^{-2} T''(D) < 0$$

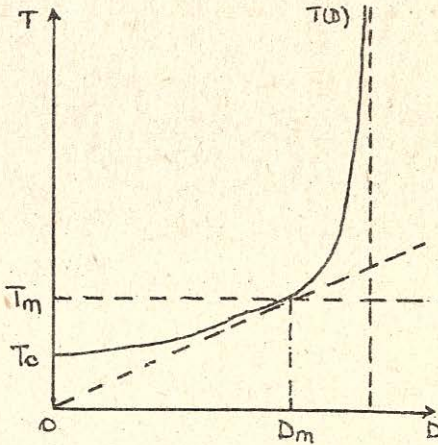
olduğunda akış fonksiyonu maksimum olmaktadır.

Birinci derece şarttan dolayı akış fonksiyonu, şekil (1.a)'daki zaman-yoğunluk fonksiyonu gösteren eğriye orijinden geçen bir doğru teğet olduğunda maksimum olur. Eğer birinci dereceden şart gerçekleşirse ikinci dereceden şartın ilk terimi sıfır olacaktır, $-D.T^{-2}T''(D) < 0$ ayrılabilir ve sınırlama gereği $T''(D) > 0$ olduğundan, D'nin kabul edilebilir değerleri için negatif olmalıdır. Bu nedenle D, Dmax'a yaklaşırken, T sonsuza ve akış fonksiyonu T eksenine asimtotik olarak yaklaşır.

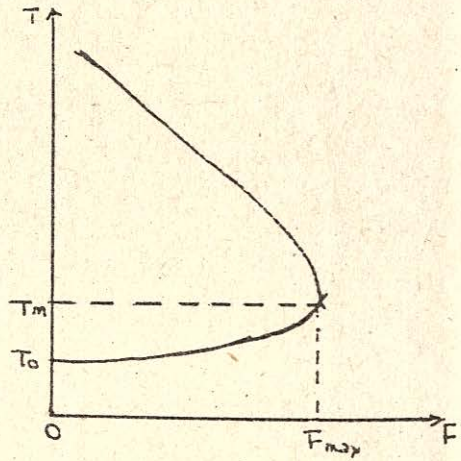
Burada genelleştirilen akış ilişkisinin piyasanın talep yönüyle ilişkisi olmayan tamamıyla teknolojik bir olay olduğu belirtilebilir. Şekil 1.b'deki akış eğrisi, çok nadir bir şekilde belirli bir yolla ilişkilidir yani bir anlamda akış eğrisinin biçimi ve pozisyonu çok nadir olarak yolun fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bu yapının, trafik tıkanıklığının alternatif tanımlamalarını sağladığından daha büyük öneme sahip olduğu gerçektir: Tip I'de, artan akışa

3 Bu formülde, akış yolun uzunluğundan bağımsızdır. T, ortalama hızın (S) tersi olduğundan, yolda km.de harcanan dakikaların ortalama değeridir ve ortalama yolculuk süresini göstermez. Son değişken (T.L.) nin çarpımı olarak görünebilir. (L, yolun km. olarak uzunluğudur). Böylece farklı uzunluğa sahip iki yol için, her iki yolda da ortalama hız ve yoğunluk aynı ise, akış değişkeninin aynı değerini elde edebiliriz. Diğer yandan toplam yolculuk miktarı, yolun uzunluğuna direkt olarak bağlıdır ve $vm=T.L.$ olarak gösterilebilir. Bu ayrımlar bu çalışmada temel ayrımlardır.

göre ortalama zaman maliyeti de artar. Tip II'de ise akışdaki düşmeyle birlikte ortalama-zaman maliyeti artar. Tip I, artan ortalama maliyet genel fikrine uygundur ve şekil 1.b'de T_0T_m eğrisiyle gösterilmiştir. Tip II tıkanıklık, şekil 1.b'de eğrinin geri dönüşlü kısmı olan T_mF ile gösterilmiştir. İkinci tip tıkanıklık özel bir konudur çünkü, eğrinin geri dönüşlü kısmındaki herhangi bir noktadaki trafik hacminin herhangi bir değeri, daha düşük yoğunluk ve ortalama zaman maliyet değerleriyle, eğrinin pozitif eğimli kısmında başarılabılır⁴. Yolun kullanımında bu görünüşteki bir etkinsizlik aşağıdaki bölümde incelenmektedir.



Şekil: 1.a



Şekil: 1.b

Şimdi yoldaki seyahatler için bir talep fonksiyonu belirleyelim. Seyahat için talep miktarı (E_d) (dakikada yola giren araç sayısı olarak tanımlanır) fiili yolculuk süresi (T.L.)ye bağlıdır. L, yolun km. olarak uzunluğunu göstermektedir ve yoğunluk ile ilişkisiz olduğundan, talep fonksiyonunda sabit varsayılabilir. Bu nedenle talep fonksiyonu sadece T değişkenine bağlıdır. Sonuç olarak bir yoldaki piyasa talebi $E_d = E_d(T)$ olarak gösterilebilmektedir.

4 Prof. A.A. Walters öncü makelesinde [13] bu konuda talep fonksiyonundaki kaymayla benzer bir akış ilişkisi yaratmıştır. Bu makalede kullanılan yaklaşım, tıkanıklık olayının arz ve talebi arasında çok kesin bir ayırım yapma avantajını sağlamaktadır.

Talep fonksiyonuyla ilgili tek sınırlama onuru sağ aşağı doğru eğimli olmasıdır. Analizin bu aşamasında, seyahatler parasal anlamda maliyetsiz varsayılmış yani talep fonksiyonu sadece zaman fiyatına bağlı kabul edilmiştir. Bu varsayım gelecek bölümde terk edilecektir ve şimdilik sadece tıkanıklığın iki tipinin önemli özelliklerini birbirinden ayırt etmek için yapılmaktadır.

2.2. Bir Sosyal Maliyet Olarak Tıkanıklık

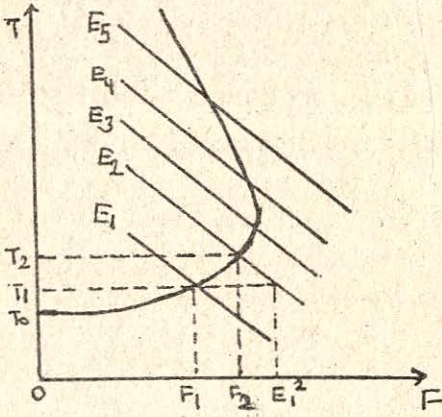
Akış fonksiyonunun bu tek şekli çok ayrıntılı bir araştırmayı gerektirir. Eğrinin pozitif eğimli kısmında olduğu gibi negatif eğimli kısmında da (geri dönüşlü kısım) bir denge kurabileceği görülmektedir ve bu denge talep eğrisinin pozisyonuna bağlıdır. Eğer geri dönüşlü kısım da bir denge oluşuyorsa, bu durumu şöyle yorumlayabiliriz⁵: Bu durum, aşırı yüksek bir zaman maliyeti değeri ile ve aşırı yüksek yoğunluk değerinde yola girenlerin sayısı çıkanların sayısına eşitlenene kadar yoğunluğun D_m 'nin çok üzerine çıktığı girişlerin oranının çıkışların oranını aştığı bir durumdur. Örneğin, talep fonksiyonunun ek bir parametreye bağlı olduğunu varsayalım, bu parametre talep eğrisinin (E_d) 24 saatte E^1 ve E^5 arasında değişmesidir; E_1 gece yarısı saat 5'teki talebi, E_5 zirve talebi, ara pozisyonlar zirve dışı zamanlardaki talep fonksiyonlarını göstermektedir.

Varsayalım ki sistem talep fonksiyonu E^1 in akış fonksiyonunu kestiği noktada başlangıç dengesindedir ve parametrik bir değişme nedeniyle talep E^2 ye kaymıştır. T_1 'de girenlerin sayısı çıkanların sayısından daha büyük olacağından ve sistemin bir kez daha dengeye geldiği T_2 de, $E_1^2 = F_2$ olana kadar, T artacağından yoğunluk artar. Benzer bir şekilde talep E_3 den E_4 e kayduğunda, yeni denge pozisyonuna geldikten sonra giriş ve çıkışların sayısında fiili bir azalma olacağı ileri sürülebilir. Talep fonksiyonundaki yukarı doğru kaymalar E ve F 'nin denge değerlerinde azalmalara yol açar⁶. Bu nedenle, akış eğrisinin geri dönüşlü kısmında oluşan herhangi bir denge pozisyonu daha düşük yoğunluk ve ortalama zaman-maliyetiyle başarılabilen bir

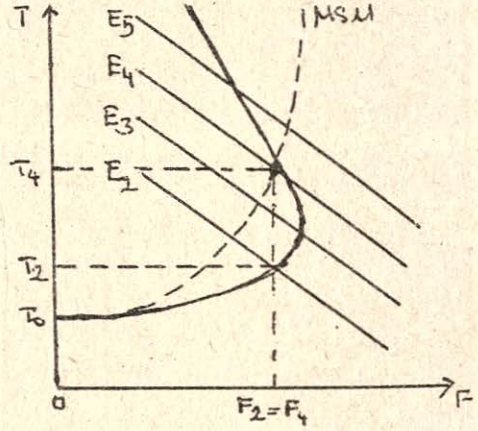
5 T yoğunluğun (D) bir fonksiyonu olduğundan, dengesizlik durumlarında yoğunluğu düzenlemeyi tanımlayan bir ilişki önerilebilir. Örneğin, $D > 0$ olmak üzere eğer $E^d > F$ ise $0 < \lambda = a$ (bir sabit) olmak üzere $D = \lambda(E^d - F)$ dir. Eğer yola girenlerin sayısı, çıkanların sayısından daha büyük ise (belirli bir yoğunlukta) yoğunluk zamanla artar, tersine, belirli bir yoğunlukta, $F > E^d$ ise yoğunluk düşer.

6 Bakınız, Walters [13, s. 680].

denge akış miktarı olduğunu göstermektedir. Öyleyse kesin bir şekilde yüksek yoğunluk dengesi, sistemin etkinsiz noktalarını ve toplumun başarısızlığını ve fiyatlanmış şehiriçi yol kullanımıyla birlikte oluşan olumsuz dışsal ekonomileri ifade eder.



Şekil: 2.a



Şekil: 2.b

Şimdi de düzenlemenin geleneksel metodu optimal olmayan fiyatlamayı (Marjinal maliyet fiyatlaması geleneğini) kullanmanın sonucunu araştıralım. Akış eğrisinin sağa doğru yükselen $T_0 T_m$ kısmı bir ortalama (veya birim) zaman-maliyet fonksiyonudur, diğer anlamda, akış fonksiyonu tek bir inverse fonksiyona sahiptir: $T=T(F)$, $0 \leq F \leq F_{max}$, bu durum bu eğrinin üzerinde bir ortalama sosyal maliyet olduğunu ifade eder. Akış eğrisinin inversünün bu kısmı için marjinal eğri Şekil: 2.b'de MSM olarak gösterilen eğridir ve yolda dakikadaki akışın bir fonksiyonu olarak marjinal sosyal zaman-maliyetini gösterir.

Akıştaki artışlar nedeniyle ortalama zaman maliyeti yükseleceğinden yoldaki ilave bir aracın marjinal-sosyal zaman maliyeti ortalama sosyal zaman maliyetinden büyük olacaktır. Her ilave araç tıkanıklığa (Tip I) yoğunluğu ve tüm diğer araçların bir km.lik ortalama zaman maliyetini artırarak katkıda

bulunur⁷. Eğer zaman fiyatı şekil 2.b'deki talep eğrilerinin herbirinin marjinal sosyal zaman maliyetine eşit ise, vergi öncesi ve sonrası denge pozisyonları şöyle yorumlanabilir: E_1 , E_2 ve E_3 durumlarında Marjinal Maliyet Fiyatlaması (MMF) nin kullanılmasından sonra, zaman-fiyatı daha yüksek, akış daha azdır. E_4 durumunda, konumu nedeniyle, talep eğrisi ve MSM eğrisi, akış eğrisinin geri dönüşlü kısmında aynı noktada kesiştiğinden MMF'nin uygulanması durumunda zaman fiyatı ve akışta değişme olmaz. Eğer talep eğrisi E_5 durumunda ise MMF uygulaması daha çok akış ve daha az fiyata yol açar. Sadece bu son durumda, MMF'nin belirsiz olmayan bir iyileşmeye neden olacağı söylenebilir. Genelde böyle bir iyileşme, eğer akış eğrisi üzerinde orjinal denge noktası MSM eğrisi ve akış eğrisinin geri dönüşlü kısmının kesiştiği noktanın yukarısında ise ortaya çıkar.

Bu model trafik tıkanıklığının özünü açıklamakla birlikte modelin genişletilmesi gereği açıktır. Ayrıca bu model problemin parasal maliyetlerle değil zaman maliyetleri şeklinde kesin bir ifadesi için gereklidir⁸. Diğer yandan model geleneksel kavramlarla ifade edilenlerden daha geniş kapsamlıdır. Şimdi E_4 ve akış eğrisinin kesişmesiyle oluşan bir denge pozisyonu düşünelim. Başlangıçta, kişiler yolda seyahatlerinin her km. si için T_4 dakika harcamaktadırlar. MMF'nin uygulamasından sonra, bir km. de $(T_4 - T_2)$ kadar vergi ödemek zorunda iken, km. de T_2 dakika harcarlar. Şüphesiz, yolculuk süresi $(T_2 \cdot L)$ ile zaman vergisi $(T_4 - T_2) \cdot (L)$ nin toplamı, orjinal veya vergi önesi toplam yolculuk süresinin değerine eşittir. Kavramsal olarak, zaman vergisini, yola girişe izin verici bir şey olmaktan öte otoritelerce gerek duyulan "bekleme dönemi" olarak kabul etmeliyiz. Bu formulasyon ile zamandan başka parasal anlamdaki geleneksel MMF arasındaki önemli ayırım burada zaman vergisi yolunun tutulmasıdır, ancak bu uygulama bir parasal verginin empoze edildiği durumun tersine alternatif sosyal kullanımlar açısından otoriteler için kullanışlı olmayabilir. Bilindiği gibi sistemin belirli mevcut sosyal yapısı, zamanın diğer kullanımlar için depolanamamasıdır.

Sonuç olarak, vergi sonrasında daha yüksek zaman fiyatını içeren herhangi bir durumun vergi öncesi duruma göre daha iyi olduğu söylenemiyebilir. Akış eğrisinin maksimum olduğu noktadaki akış eğrisi ve E_3 talep eğrisinin kesişmesiyle oluşan akış ve zaman maliyeti dengesini düşünelim, bu durumda

7 Sosyal maliyetin bu şekilde açıklanması ile ilgili fevkalade bir tartışma için bakınız, Beckmann, McGuire ve Winsten, [2, s. 86.]

8 Walters [13, s. 679].

MMF'nin uygulanması vergi öncesi duruma göre, daha fazla harcanan zamana ve daha az toplam akışa yol açar. Zaman vergisinin uygulanması toplum açısından tamamiyle aldatıcı olduğundan vergi sonrası denge orjinal duruma göre kesinlikle daha kötüdür. Gerçekten, sistem akış eğrisinin daha düşük kısmında işleyecek ancak bu durum daha düşük bir toplam akış ve daha yüksek toplam harcamayla başarılacağından etkinlik fikrine ters olacaktır. MMF'sı uygulaması, sadece vergi öncesi denge yani akış eğrisinin ve MSM eğrisinin kesişmesi akış eğrisinin geri dönüşlü kısmında olduğunda uygundur. MMF'sıyla ilgili bu sınırlamalar, uygulamada karşılaşılan durumlarda genellikle daha belirgindir. Daha zayıf sınırlayıcı kuralların zaman maliyetini parasal maliyet şekline dönüştürebildiğimizde ortaya çıktığını açıkça belirtmek gerekir. Eğer zaman vergisi tahsil edilebildiği gibi elde tutularak geri iade edilebilirse, MMF'sı geleneksel görüşü uygundur. Eğer seyahatin toplam parasal değeri biliniyorsa⁹ ve eğer tatmin edici bir güven derecesi ile tahmin edilebilirse, fonksiyon elde tutulabilirlik şartını garanti etmek şartıyla, zaman vergisini parasal vergiye dönüştürmek için kullanılabilir. Bu koşullar altında MMF'sı sadece yeni refah ekonomisinin öğütlerine ve teorik itirazlara yön vermeye yarayacaktır.

3. MARJİNAL MALİYET FİYATLAMASI

Şimdi belirli bir yolda seyahatin talep fonksiyonunu zaman-fiyat parametresiyle birlikte bir parasal-fiyat parametresine dayandıralım: $X=X(P,T^*)$; X , bir karar devresinde yolda seyahat edenlerin sayısını P , 1 km. deki parasal maliyetleri ve T^* 1 km. de harcanan dakikaları (yolculuğun zaman fiyatını) göstermektedir. Maliyet kısmında biri zaman maliyeti ve diğer trafik hacmine göre parasal araç kullanma maliyeti ile ilgili olan iki ayrı maliyet fonksiyonuna sahibiz. Varsayalım ki birim zaman maliyeti T (birim zaman fiyatının tersine yıldızsızdır) yoldaki trafik hacminin fonksiyonudur: $T'(X) \geq 0$ olduğunda $T=T(X)$ 'dir. Zaman maliyet fonksiyonuyla ilgili bu şart analizi Tip I tıkanıklık ile sınırlamaktadır ve akış eğrisinin geri dönüşlü kısmındaki denge durumları dışlanmaktadır. Çünkü Tip II tıkanıklık, önceki bölümün sınırlamalarına konu olan etkinsizliğin daha yüksek bir şartını ifade eder ve elemine edilmek zorundadır.

9 STRTOZ, Robert H.; ticareti yapılamayan bir malı ifade eden tıkanıklığın farklı kişiler için farklı vergileri gerektirebileceğini ileri sürmektedir [11, s. 115].

Trafik hacmi ve parasal araç kullanma maliyeti arasındaki ilişki çok aldattıcıdır. Biz aslında tıkanıklık maliyetleriyle (daha kesin bir şekilde, tıkanıklığın parasal maliyetleriyle) ilgilendiğimizden işlem maliyetleri, artan akış eğrisiyle ifade edildiğinde trafik tıkanıklığındaki artışı da yansıtabilir. Bu nedenle birim zaman maliyeti ve işlem maliyeti arasında teknolojik bir ilişkinin olduğunu varsayabiliriz: $C'(T) \geq 0$ olduğunda $C=C(T)$ 'dir. Birim işlem maliyeti (C) ve trafik hacmi (X) arasındaki ilişki dolaylıdır. İşlem maliyeti trafik hacminin bir fonksiyonu olan zaman maliyetinin bir fonksiyonudur. MMF'sının kabulü denge için iki ayrı şartı gerektirir. Birinci şart birim zaman maliyetini, ikincisi ise birim işlem maliyetini kapsamaktadır.

$$3 - T^* = T \left(1 + \frac{X}{T} \cdot \frac{dT}{dX} \right) = T (1 + E_{TX})$$

$$4 - P = C \left(1 + \frac{X}{C} \cdot \frac{dC}{dX} \right) = C (1 + E_{CX})$$

E_{TX} =trafik hacmine göre birim zaman maliyeti fonksiyonunun elastikiyetidir ve $E_{CX} = E_{CT} \cdot E_{TX}$, trafik hacmine göre birim işlem maliyeti fonksiyonunun türevidir¹⁰. Zaman ve parasal vergilerin, fiyatlara ve marjinal maliyetlere ayrı ayrı eşitliği için aşağıdaki eşitlikler gereklidir:

$$5 - Q = T \cdot E_{TX}$$

$$6 - R = C \cdot E_{CX} = C \cdot E_{CT} \cdot E_{TX}$$

Zaman vergisi Q (parasal bir vergiye dönüşmeden önce) birim zaman maliyeti ile trafik hacmine göre birim zaman maliyeti fonksiyonunun elastikiyeti çarpımına eşittir. Tıkanıklığı azaltıcı işlem maliyeti vergisinin değeri R, belirli bir hızdaki birim işlem maliyeti ile trafik hacmine göre birim zaman maliyeti fonksiyonunun elastikiyeti çarpımına eşittir. Aşağıdaki bölümlerde, 5 ve 6 no'lu eşitliklerin sağ yanındaki değişkenlerin tahminleri gösterilecektir. Sonuçta Q ve R vergilerinin şedülleri, ortalama hızın fonksiyonları olarak bulunabilecektir.

10 Burada bir fonksiyonun fonksiyonu için elastikiyet kuralı kullanılmaktadır.

4. AMPİRİK İLİŞKİLER

4.1. Araç Kullanma Maliyetinin Tahminleri

1 mildeki toplam araç kullanma maliyetleri ve hız arasındaki ilişki, ulaştırma ve trafik literatüründeki birçok çalışmanın konusu olmuştur. Çok önemli ve ayrıntılı çalışmalardan biri de Chicago Area Transportation Study'in himayesinde George Haikalis ve Hyman Joseph tarafından yapılan çalışmadır [8]. Aşağıdaki alıntı Chicago metropoliten alanında 1 mildeki toplam araç kullanma maliyetini tahmin etmek için yapılan işlemin kısa bir tanımındır:

Lisans ücretleri (license fees) veya eskime gibi otomobil sahibinin sabit maliyetleri trafik akışının miktarı veya yol tiplerinden etkilenmediğinden analizde yer almamaktadır. Trafik şartlarına göre değişen akaryakıt, yağ, lastikler ve bakım maliyetleri gibi araç kullanma maliyetleri gözönüne alınmıştır. Her bir ortalama hız için gidilen zaman hesaplanmıştır. 1 mildeki durma sayısı, 1 milde durdurulan zamanın 0,35 dakikaya bölünmesiyle bulunmuştur. Bu sayı, Chicago ana yollarında zirve ve zirve dışı saatlerin her ikisi için de bulunmuştur. Değişken araç kullanma maliyetleri ise, her ortalama hız için gitme ve durma maliyetlerinin toplanmasıyla elde edilmiştir. Kullanılan maliyetlerin ve işlemlerin ayrıntılı bir açıklaması, CATS Research News'deki bir makalede yer almaktadır. İki kez hesaplamamak için, akaryakıt vergileri araç kullanma maliyetlerine dahil edilmemiştir¹¹.

Bu tahmini verilerin bir kısmı Tablo P'deki 1-3 nolu kolonlarda yeniden gösterilmiştir. Diğer kolonlar, birim zaman maliyetine göre (ortalama hızın tersi) birim araç kullanma maliyetinin yay ve nokta elastikiyetlerini göstermektedir. Yay elastikiyetin tahminleri özellikle düzeltilmemiştir. Ancak eğer birim araç kullanma maliyeti birim zaman maliyeti yerine gösterilirse, lineer bir yaklaşım her yönüyle tatmin edici uygun ve düzeltilmiş nokta elastikiyet tahminleri vermektedir. $1.714 \leq T \leq 5.454$ alanı için aşağıdaki lineer fonksiyon, hemen hemen mükemmel görünen fonksiyon alanının uç noktalarındaki değişkenlerin değerlerine dayalıdır.

$$7 - C = 1.829 + 0.312 T$$

11 Haikalis and Joseph [8, ss. 53-54].

Tablo: 1
Haikalis-Hyman Araç Kullanma Maliyetleri Verileri

Ortalama Hız (s) mil/saat	Bir mili gitme süresi (T) dakika	Bir mildeki özel araç maliyetleri c (Cents)	Nokta elastikiyet $E_{CT} = \frac{T}{C} \cdot \frac{dC}{dT}$
35	1.714	2.36	.226
34	1.764	2.37	.232
33	1.818	2.38	.238
32	1.875	2.39	.244
31	1.935	2.40	.251
30	2.000	2.41	.258
29	2.068	2.44	.264
28	2.142	2.47	.270
27	2.222	2.50	.277
26	2.307	2.53	.284
25	2.400	2.57	.292
24	2.500	2.61	.298
23	2.608	2.65	.307
22	2.727	2.69	.316
21	2.857	2.73	.326
20	3.000	2.78	.336
19	3.157	2.83	.348
18	3.333	2.88	.361
17	3.525	2.93	.375
16	3.750	3.01	.388
15	4.000	3.10	.402
14	4.285	3.19	.419
13	4.615	3.29	.447
12	5.000	3.39	.460
11	5.454	3.53	.482

Bu alan dışındaki trafik hacmi için zaman maliyetinin elastikiyeti hakkındaki bilginin az olması nedeniyle, araştırmayı saatte 11 mil 35 mil arasındaki alan için sınırlandıracağız. Bu nedenle Tablo 1'de sadece lineer fonksiyona dayalı nokta elastikiyet tahminleri (4 nolu kolonda) yer almaktadır.

Her ne kadar bu yaklaşım Haikalis-Joseph verilerine uygun görünüyorsa da, belirtilmelidir ki bu oranın dışındaki daha düşük hızlar için de

uygundur. Özellikle, birim araç kullanma maliyeti saatte 40 millik hız dolaylarında sabit olmaktadır ($T=1$ milde 1.5 dakika) ve sonuç olarak araç kullanma maliyetinin elastikiyeti bu hızlar için sıfırdır¹². Tahmin edilen öteki sonuçlar açısından bu sıfır elastikiyet, tıkanıklığa sebep olma nedeniyle ödenecek parasal vergilerin, bu oranlardaki hızlar için sıfır olması gereken araç kullanma maliyetleri içinde artacağını ifade etmektedir.

4.2. Zaman-Maliyet Tahminleri

Birim zaman-maliyeti ortalama hızlardan doğrudan elde edilebilirken, trafik hacmine göre birim zaman-maliyet fonksiyonunun elastikiyetini tahmin etmek biraz zordur. Bölüm 2.1'de tanımlanan akış eğrisinin şekli yoldan yola değişmektedir ve bu nedenle de bu elastikiyetin tek bir global tahminini elde etmek güçtür. Yine de akış ilişkisini araştıran ampirik çalışmalar, yukarıda genelleştirilen geri dönüşlü akış eğrisinin biçimine uygun düşen, birim-zaman maliyeti ve akış ilişkilerinin varlığını ortaya koymuştur.

Robert R. Coleman kendi yönettiği Pennsylvania şehirlerindeki şehiriçi yolculuk süreleri ile ilgili bir çalışmaya dayanarak şu yorumu yapmaktadır:

Yolculuk süresi ile miktar/kapasite oranı arasındaki ilişkinin, yolculuk süresini tahmin etmek için çok kullanışlı bir metod olduğuna inanılmaktadır... Oranda kullanılan miktar, test edilen bölümdeki bir saatteki miktarı göstermektedir (6 dakikalık sayılar 10 ile çarpılmıştır) ve kapasite test edilen bölümdeki yer alabilecek araçların ortalamasıdır. Bu oranda, yolculuk süresine etki eden trafik hacmindeki değişmeler, sinyal süresi ve diğer değişkenler tek bir değişkenle birleştirilmektedir. Bu ilişki, tek yönlü ana yollar, çift yönlü ana yollar ve çift yönlü yerel yollar için parabolik eğrilerle gösterilmektedir¹³.

12 Claffey [5, s. 25] ve Bone [3, s. 447] ye göre saatte 30-35 mil arasındaki hızlarda elastikiyet sıfır olmaktadır.

13 Bu veriler nüfusu 10.000 ile 28.000 arasında değişen 5 şehirdeki 15 farklı test bölümünden toplanmıştır. Coleman [6, ss. 62-63].

Tablo: 2
Coleman'ın Tahminleri

Yolun Tipi	a	b	c	Korelasyon Katsayısı	Tahmin
A-1-W	- 1.79	0.968	- 0.087	0.65	0.15
A-2-W	- 0.964	0.883	- 0.96	0.72	0.15
L-2W	- 7.61	3.61	- 0.38	0.45	0.16

Tablo 2'de Coleman tarafından kullanılan parabolik regresyonların sonuçları gösterilmektedir. Tüm bu parabolik regresyonlar $X^* = a + bT + cT^2$ şeklindedir. X^* = "bir saatlik miktar/ortalama işlek kapasite" olarak ve T = bir milde geçen dakikalarla ölçülen "ortalama yolculuk süresi" olarak tanımlanmaktadır. Mesafe üzerindeki sınırlamalar nedeniyle, korelasyon katsayısıyla ölçülen ve en iyi tahmine uygun iki eşitliği yani tek yönlü ve çift yönlü ana yolların regresyonlarını dikkate alalım. Coleman analizinde X^* değişkeni modelimizde gerekli olan mutlak terimlerden ziyade trafik hacmi verilerinin %'si olarak gösterilmiştir. Buna rağmen trafik hacmine göre ayrı ayrı birim zaman maliyet fonksiyonlarının elastikiyeti, hacim yüzde veya mutlak terimlerle gösterilse de aynıdır. Böylece, yüzde değerleri mutlak değerlere dönüştürmek gereksizdir.

X^* (hacim/kapasite) mil başına zaman biçimindeki zaman maliyet fonksiyonu olarak tanımlandığından, belirli regresyon eşitliklerinde biraz değişiklik gerekmektedir. Optimal vergilerin hesaplanması, hacmin (veya hacim/kapasite) bir fonksiyonu olarak zaman maliyetini gerektirir ve sıfırdan maksimuma kadar olan tüm hacim/kapasite oranlarında bu regresyon eşitliklerinin hepsi için tek inverse türetilmelidir. Ancak hacime göre birim zaman maliyetlerinin elastikiyeti bilgiyi gerektirir ve bu bilgi dolaysız olarak mevcuttur. Bir fonksiyonun bağımsız değişkenine göre elastikiyeti bu fonksiyonun inverse fonksiyonunun bağımsız değişkenine göre elastikiyetinin tersine eşit olduğunu ifade eden teoremi kullanabiliriz. Böylece iki regresyon için hacme göre birim zaman maliyetinin nokta elastikiyet tahminleri aşağıdaki

gibi yazılabilir¹⁴:

$$8 - E_{TX}^1 = \frac{1}{E_{XT}^1} = \frac{0.968T - 1.79 - 0.87T^2}{0.968T - 0.174T^2} (A-1-W)$$

$$9 - E_{TX}^2 = \frac{1}{E_{XT}^2} = \frac{0.883T - 0.964 - 0.096T^2}{0.883T - 0.912T^2} (A-2-W)$$

4.3. Optimal Vergi Tarifeleri

Geçen bölümlerde elde edilen bilgiler aşağıdaki Tablo 3'de özetlenmiştir. 1 ve 2 nolu kolonlar sırasıyla, hızların uygun düzeylerini ve birim zaman maliyetlerini göstermektedir. 5 ve 6 nolu kolonlarda ise, iki Coleman regresyonunun herbirinde ortak olan parasal vergiye dönüştürülmüş zaman vergilerini göstermektedir; dönüştürücü faktör V (yolculuk süresinin global değeri) hesaplanırken, maliyet bir otomobil için dakikada 1.5 cent olarak varsayılmıştır. Bir başka ılımlı tahmin, her ne kadar keyfi olarak belirleniyor ise de, bir araçta 1.8 kişinin olduğu varsayımına göre zamanın değerini bir saatte kişi başına 50 cent olarak yapılmaktadır¹⁵. 7 ve 8 nolu kolonlar, araç kullanma maliyetlerini artıran ve tıkanıklığı artırma nedeniyle ödenmesi gerekli parasal vergilerin alternatif tahminlerini göstermektedir. Burada C ve E_{CT} değerleri için, birim zaman elastikiyetini iki Coleman regresyon tahminleri ile birleştirici şekilde Haikalis-Joseph araç kullanma maliyet verilerinden faydalanılmıştır.

-
- 14 Bu teorem doğrusal fonksiyonlar için geçerlidir, çünkü bu eşitlikler tahminidir, tersine döndürme (inversion) tahminlerde yukarıya doğru bir meyil yaratır.
- 15 Araç başına saatte 0.90 \$ tahmini Mohring [10, s.128] ve AASHO [1, s. 126] nın sonuçlarına dayanmaktadır. Vergili yol çalışmaları daha yüksek değerleri göstermektedir: Claffey [4] 1.41 \$ ve Lawton 2.28 \$. Vergili yol çalışmalarının sonuçları şüphelidir, mamafih yolculuk süresinin tahmini değeri genellikle serbest yol yolculuğu karşısında vergili yolların yolculuğunun rahatlığı ve konforunun subjektif değerini kapsar. Extren bir durumda belirli vergili yollar, alternatif serbest yollardakinden daha yüksek zaman ve parasal maliyetler olduğunda kullanılır: [AASHO 1, s. 77].

Tablo: 3
1 Mil İçin Uygulanacak Vergilerin Tahmini

Hız s	Bir Milde Harcanan Süre (T)	E_{TX}^1	E_{TX}^1	$V.Q^1$		$V.Q^2$		R^1		R^2		$R^1+V.Q^1$		$R^2+V.Q^2$	
				$E_{TX}^1.V.T$	$E_{TX}^2.V.T$	$C.E_{CT}E_{TX}^1$	$C.E_{CT}E_{TX}^2$	Mil başına Cent olarak	Mil başına Cent olarak						
35	1.714	0.000	0.282	0.000	0.724	0.000	0.150	0.0000	0.8754						
34	1.764	.000	.307	.000	.812	.000	.168	.0000	.9810						
33	1.818	.000	.333	.000	.907	.000	.188	.0000	1.0965						
32	1.875	.000	.360	.000	1.012	.000	.109	.0000	1.2221						
31	1.935	.000	.388	.000	1.126	.000	.233	.0000	1.3590						
30	2.000	.000	.418	.000	1.254	.000	.259	.0000	1.5130						
29	2.068	.000	.449	.000	1.392	.000	.289	.0000	1.6810						
28	2.142	.000	.481	.000	1.545	.000	.320	.0000	1.8665						
27	2.222	.000	.517	.000	1.723	.000	.358	.0000	2.0810						
26	2.307	.000	.554	.000	1.917	.000	.398	.0000	2.3150						
25	2.400	.024	.594	.086	2.138	.018	.445	.1040	2.5843						
24	2.500	.064	.638	.240	2.392	.049	.496	.2890	2.8880						
23	2.608	.106	.688	.414	2.691	.086	.559	.5000	3.2510						
22	2.727	.150	.744	.613	3.043	.127	.632	.7410	3.6750						
21	2.857	.197	.811	.844	3.475	.175	.721	1.0190	4.1976						
20	3.000	.247	.891	1.111	4.009	.230	.832	1.3421	4.8410						
19	3.157	.301	.991	1.425	4.692	.296	.975	1.7210	5.6687						
18	3.333	.363	1.125	1.814	5.624	.377	1.169	2.1921	6.7943						
17	3.525	.433	1.314	2.289	6.947	.475	1.443	2.7654	8.3910						
16	3.750	.521	1.630	2.930	9.168	.608	1.903	3.5380	11.0721						
15	4.000	.634	2.243	3.804	13.458	.790	2.795	4.5940	16.2530						
14	4.285	.797	4.096	5.122	26.326	1.065	5.474	6.1870	31.8010						
13	4.615	1.077	∞	7.455	∞	1.583	∞	9.0398	∞						
12	5.000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞						
11	5.454	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						

Sonuç olarak, 9. kolon, birinci Coleman regresyon tahmininden hesaplanan araç kullanma maliyeti vergisi ve dönüştürülmüş zaman vergisinin toplamını göstermektedir. Benzer şekilde 10. kolonda ikinci Coleman regresyon tahmininden elde edilen aynı bilgiyi göstermektedir.

9 ve 10 nolu kolonlar, orjinal verilerin toplanması açısından yol tiplerine göre veya iki farklı yoldaki ortalama hızın (veya birim-zaman maliyetinin) bir fonksiyonu olarak optimal parasal vergilerin tarifeleri gibi yorumlanabilir. Tek yönlü ana yolda (A-1-W) saatte 25 milden daha fazla olan hızlar için verginin optimal düzeyi sıfır olmaktadır. İki yönlü anayollarda (A-2-W) sadece saatte 35 mili aşan hızlarda vergi sıfırdır. Her iki durumda, vergiler saatte 12 ile 13 mil arasındaki hızlarda belirsiz olarak yüksek düzeylere varmaktadır ve hızın bu kritik değeri kendiliğinden yukarı doğru geriye dönen herbir akış eğrisindeki T değerlerine tekabül etmektedir. Trafik hacmine göre birim zaman maliyetinin elastikiyeti verginin optimal düzeyini belirlemede anahtar bir faktördür. Ayrıca bu elastikiyet sadece onunla ilişkili olan yolun fiziksel karakteristiklerinin bir fonksiyonudur.

5. SONUÇLAR

Önceki bölümlerin teorik ve ampirik yorumları belirli şartlardaki bir trafik sıkışıklığını, yolun bulunduğu bölgeye ve günün zamanına göre ayırdedilebilen ve seçilen bir vergileme düzeni aracılığıyla kontrol edilebileceğini göstermektedir. Farklı yollarla ilgili akış eğrilerinin konumu bu yolların fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişmekte ve genelde her bir hız için farklı vergi miktarları gerekmektedir. Benzinden alınan federal ve eyalet vergileri, tıkanıklığın ortaya çıktığı yerlerde veya belirli zamanlarda alınmayan ve genelde motorlu araç kullanımından vazgeçirici bir vergi olduğundan, trafik tıkanıklığı durumlarında etkisiz bir araç olarak görünmektedir. Tipik bir otomobilin 1 galon benzine 15 mil gittiğini varsaydığımızda, benzinden alınan eyalet ve federal vergisi galon başına 10 cent, mil başına 667 cent'lik bir vergiye eşittir. Bu vergi oranı Tablo 3'e göre, tek yönlü anayolda ortalama saatte 23 milin üstündeki hızlar için yüksektir ancak, iki yönlü anayollar için saatteki hız ortalama 35 mil olduğunda bile azdır.

Genel bir şehiriçi akaryakıt vergisini, belirli yollarda marjinal sosyal maliyet zamanın önemli bir kısmı için sıfır olabileceğinden, trafik sıkışıklığı ile mücadele etmede tümüyle uygun olmayan bir araç olarak görünmektedir. Ayrıca, diğer yollarda akış eğrisinin geri dönüşlü kısmındaki bir denge olarak

tanımlanabilen duruma benzer bir tıkanıklık ortaya çıkabilir. Zaman vergisinin bir parasal vergiye dönüştürülebildiği ve MMF'nin teorik amaçlarından vazgeçilebildiği varsayımları altında ayırıcı bir MMF'sı uygulanabilirse de, bu analiz için sadece akış eğrisinin daha düşük ve pozitif eğimli kısmı uygundur.

Alan A. Walters, trafik tıkanıklığının aşırı sosyal maliyetlerini yok etmek için, diğer birçok ayırıcı vergileme düzenlemesinin yanısıra genel bir şehiriçi akaryakıt vergisinin en az mil başına 2.2 cent olması şeklindedir. Bir otomobilin bir galonla 15 mil gidebildiğini varsayarak, bu vergi galon başına 33 cent etmektedir ve saatte 30 mil süratle giden bir otomobilin maliyetlerine eşit olmaktadır. Geçen bölümlerin analizlerinin sonuçlarına göre, şehiriçi akaryakıt vergisi bazı yollarda araç kullanımını vazgeçirme işleminde en ufak bir değişiklik yaratmadığı gibi, farklı zamanlarda diğer yolların kullanımında cesaret verici olmada tamamiyle yetersiz bir araçtır. Mil başına 2.2 cent oranında bir vergi sadece, tablo 3'de gösterilen saat başına 27 mil ve 18 mil civarındaki hızlar için geçerlidir. Burada vergi oranlarının denge setinin her bir yol için farklı olacağı düşüncesi nispi kolaylığa dayandırılmıştır ve pratikte denge vergi oranları setinin elde edilmesi sorunu ayrı ve güç bir olaydır. Bu analiz ile oluşturulan vergi tarifeleri modelin talep denklemlerinden bağımsızdır. Belirli talep denklemlerine göre denge vergi oranlarının vergi tarifelerini düzenlemeden önce, talep denklemleriyle ilgili ayrıntılı bilgi gerekmektedir.

Ayırıcı MMF'nin uygulamasına ilişkin sonuç olarak şunlar söylenebilir. Önceleri bir ayırıcı vergileme cetveli düzenlemesi tamamiyle akademik bir alıştırma iken, şimdi elektronik bilgisayarlarda ve veri toplayıcı cihazlardaki yeni gelişmeler sonucunda nispeten etkin ve uygulanabilir bir duruma gelmiştir. William Vickrey böyle bir monitorik (izleyici) sistemi önermiştir. Bu teklife göre, sürekli gözleyici araçlar (parmanent scanning devices) ruhsatlı bölgelerde özel otoları izleyebilir ve tıkanık alanlarda otomobillerin gidişini engellemeksizin onların görüntülerini kaydedebilir. Daha sonra aracın sebep olduğu tıkanıklık düzeyine göre vergi araç sahibine fatura edilebilir. Pratikte geçerli olan güçlük, tıkanık alana girmeden önce vergilerin ve tıkanıklığın mevcut düzeyini araç sürücülerine belirten sistemin geliştirilmesidir. Diğer bir anlatımla, eğer sistem belirli denge özelliklerini gerektiriyor ise, öncelikle fiyat ve vergi bilgisi gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] **American Association of State Highway Officials**; Road User Benefit Analyses for Highway Improvements. A Report by the Committee on Planning and Design Policies. Washington, D.C., 1960.
- [2] **Beckmann, M., C.B. McCuire and C.B. Winsten**; Studies in the Economics of Transportation. Cowles Commission, Yale, 1955.
- [3] **Bone, A.J.**; "Travel-Time and Gasoline Consumption Studies in Boston", Highway Research Board Proceedins, 1952.
- [4] **Claffey, Paul J.**; "Characteristics of Passenger Car Travel on Toll Roads and Comparable Free Roads", Highway Research Board Bulletin, No. 306, 1961.
- [5] —————; "Time and Fuel Consumption for Highway User Benefit Studies", Highway Research Board Bulletin, No. 276, 1960.
- [6] **Coleman, Robert R.**; "A Study of Urban Travel Times in Pennsylvania Cities", Highway Research Board Bulletin, No. 303, 1961.
- [7] **Glaze, C.K. and G. Van Mieghem**; "Washington Motor Vehicle Operating Cost Survey", Highway Research Board Proceedings, 1957.
- [8] **Haikalis, George and Hyman Joseph**; "Economic Evaluation of Traffic Networks", Highway Research Board Bulletin, No. 306, 1961.
- [9] **Lawton, L.**; "Evaluating Highway Improvements on Mileage and Time Cost Basis", Traffic Quarterly, 1950.
- [10] **Mohring, Herbert**; "Land Values and the Measurement of Highway Benefits", The Journal of Political Economy, Vol. LXIX, No. 3 (June 1961).
- [11] **Strotz, Robert, H.**; "Urban Transportation Parables", unpublished Research Report for the Transportation Center at Northwestern University, Evanston.
- [12] **U.S. Congress, Senate and House Joint Committee on Washington Metropolitan Problems**; Transportation Plan for the National Capital Region, 86th Congress, 1st. sess., 1959.
- [13] **Walters, Alan A.**; "The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion", Econometrica, Vol. 29, No. 4 (October, 1961).