



## Ankara'da Park Et-Devam Et Sisteminin Modellenmesi İle Yolculuk Değişimine Bağlı Emisyon Azaltımının Ölçülmesi

Hatice Gül ÖNDER<sup>1,\*</sup>, Hülagü KAPLAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 06570, Maltepe/Ankara/Türkiye

### Öz

Park et-Devam et Sistemleri (P+D) kentsel yolculuklarda binek otosu kullanımını minimize etmek için kent bütününde ve kent merkezi çevresinde oluşturulacak otoparklara bireyleri yönlendirip, yolculuklarına toplu taşıma ile devam etmelerini teşvik eden aktarma sistemleridir. P+D sistemleri kent içi ulaşımında trafik sıkışıklığı, zaman kaybı, emisyon ve çevresel kirlilikleri azaltmayı amaçlar. Bu sistemlerin kullanım oranını artırmak için alternatif ulaşım politikalarıyla desteklenmelidir. En önemli politikalar, kent merkezine taşıt girişinin kısıtlanarak özellikle binek otosunun kent merkezine girişin ücretlendirilmesidir. Bu politika yardımıyla, kent merkezindeki sıkışıklığın önüne geçilerek fiziksel, görsel ve çevresel ulaşım sorunları engellenmiş olur. Bu çalışmada VISUM 12.52-07 Ulaşım Talep Yönetimi Programı kullanılarak Ankara kent merkezinde belirlenen yedi Trafik Analiz Zonu'nda taşıt girişinin ücretlendirilmesiyle azalan binek otosu yolculuğunun P+D sistemi vasıtasıyla toplu taşımaya aktarılması modellenmiştir. Model sonucunda binek otosu sayısında % 23 azalma görülürken, toplu taşıma yolculuk miktarı % 26 seviyesinde artmıştır. Binek otosu yolculuklarından aktarma sağlamak için, İç Kordon hattı üzerinde 17 P+D aktarma istasyonu önerilmiş, sera gazı miktarındaki azalma yıllık 8042 ton olarak bulunmuştur.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 26/10/2016  
Kabul: 24/02/2017

### Anahtar Kelimeler

Bütünleşik Ulaşım  
Park et-Devam et Sistemi  
Sürdürülebilir Ulaşım

### Keywords

Integrated Transportation  
Park and Ride System  
Sustainable  
Transportation

## Measurement of Emission Reduction Which Depend on Trip Change by Modelling with Park and Ride System in Ankara

### Abstract

Park and Ride Systems (P+R) are transfer systems which are located around the city and near the city center that encourage individuals from using passenger cars to public transport to minimize the use of passenger cars during journeys ending into the city center. P+R systems aim to reduce traffic congestion, time loss, emissions and environmental pollution in urban transport. These systems should be supplemented by alternative transport policies to increase the public transport and systems using rate. The most important policies are to restrict the entrance of vehicles to the city center and to pay for the especially entrance of the passenger car to the city center. By means of this policy, physical, visual and environmental transportation problems are prevented by avoiding the congestion in the city center. Pricing for the entry of passenger car into the designated seven Traffic Analyze Zone in the city center of Ankara are modelled by VISUM 12.52-07 Transportation Demand Management Program for the transfer from passenger car to public transport vehicles by means of P+R Systems. As a result of the model, the number of passenger cars decreased by 23% while the volume of public transport increased by 26%. To provide transfer from passenger car to public transport, 17 P + D transfer stations were proposed on the Inner Cordon line. In this way quantity of greenhouse gas emission reduced by 8042 tons per year.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Park et-Devam et (P+D) Sistemi kentsel ulaşımın sürdürülebilirliği açısından binek otosu kullanımından toplu taşımanın kullanımına yönlendiren alternatif bir ulaşım sistemi olarak görev yapar. Bu sistemlerin temel amacı kent merkezine yapılan binek otosu yolculuklarını azaltıp toplu taşımayı teşvik etmek, trafik sıkışıklığını engellemek, fosil yakıt kullanan binek otosu kaynaklı emisyon ve çevresel kirliliğini azaltarak kent merkezinin yaşam kalitesini yükseltmektir. P+D sistemi sürdürülebilir ve bütünleşik ulaşım

\*İletişim yazarı, e-mail: hgulukavak@gmail.com

bağlamında binek otosu, metro, tramvay, banliyö, otobüs, taşıt paylaşımı, motosiklet ve bisiklet gibi farklı ulaşım türleriyle entegre olabilmektedir.

P+D'in tercih edilebilirliğini artırmak için çeşitli ulaşım politikalarıyla desteklenmesi gerekir. Kent merkezindeki otopark sayı ve kapasitesinin kısıtlanması, buradaki otopark fiyatlarının artırılması, toplu taşımanın güvenli ve konforlu hale getirilmesi, kent merkezine binek otosu girişinin kısıtlanması ve kent merkezine girişin ücretlendirilmesi gibi yardımcı politikalar P+D'in kullanımında teşvik edici olmaktadır [1], [2]. Bu politikalardan en önemi olanı şüphesiz zirve saat trafiğine neden olan ulaşım talebinin caydırılarak trafik sıkışıklığının azaltılmasıdır. Bu bağlamda trafiğin sıkıştığı alanlara erişimin kısıtlanması, denetimli geçiş gibi düzenlemelerle, belirli saatlerde ticari taşıtlar ve binek otosunun alana girişinin engellenmesi öncelikle tercih edilmelidir.

Uluslararası literatürde Congestion Charge veya Congestion Pricing olarak adlandırılan, kentlerde trafik sıkışıklığının sorun oluşturduğu alanlara, binek otosu girişini kısıtlamak ve taşıt sürücülerini caydırmak için birincil düzeyde tercih edilen politika aracı olarak rol oynamaktadır. Sıkışıklık ücretlendirmesi temelde iki amaca hizmet etmektedir. Bunlardan birincisi, belirli güzergâh veya bölgelerdeki trafik sıkışıklığı, emisyon ve gürültü kirliliğinin önüne geçmek; bir diğeri ise yerel yönetimlerce ulaşım sistemi ve altyapı talebini karşılamak için gelir elde etmektir. Ücretlendirme politikaları genellikle tek tesisle ücretlendirme, mesafeye dayalı ücretlendirme, kordon tabanlı ücretlendirme ve alan ücretlendirmesi olarak adlandırılmaktadır [3], [4], [5]. Sıkışıklığın ücretlendirilmesinde iki tür en iyi ücretlendirme sistemi vardır; bunlardan birincisi yol ücretlendirmesi olarak adlandırılır ve işletmesi zordur. İkincisi ise kent çeperinde ücretlendirme halkalarının "toll-cordon" oluşturularak uygulanmasıdır. Ücret toplama alanlarının belirli kordon güzergâhlarını kesen noktalarda olmasından dolayı işletmesi daha kolaydır [6]. Bu çalışmada P+D'in tercih edilebilirliğinin artırılmasında kordon tabanlı sıkışıklık ücretlendirmesi bir araç rolü üstlenecek ve farklı ücretlendirme değerleriyle üretilen ulaşım modelinde sınanarak muhtemel P+D aktarma istasyonu konumu ve ihtiyacı belirlenecektir.

Tarihte ilk defa yol ücretlendirmesi 18. yy 'da Büyük Britanya'da bazı yol geçişlerinin ücrete bağlanmasıyla uygulanmıştır [7]. 1975 yılında ise Elektronik Yol Ücretlendirmesi adıyla ilk pilot çalışma Singapur'da denenmiştir [8]. Burada Singapur kent merkezine giriş yapılan her yolun ücretlendirildiği ALS (Area Licensing Scheme) sistemi yer almaktadır. Bu sistemin kullanımıyla birlikte trafik hacminde % 25'lik bir azalma meydana gelmiştir. Toplu taşımada %33'e varan genişleme görülürken, ücretlendirilen alanda park eden taşıt oranı % 30 azalmıştır [9], [10]. İngiltere'de kent merkezi ücretlendirmesi ilk defa 1960'lı yıllarda Durham'da uygulanmıştır. Günümüzde ise Londra'da 07:00-18:00 saatleri arasında ücretlendirme uygulanmaktadır [11]. Uygulama sonucunda binek otosu yolculuk süresindeki gecikmeler % 25 seviyesinde azalmış yolculuk hızı ise % 30 artmıştır. Kentte otobüs tercihi % 14 artış gösterirken, metro tercihi ise % 1 artış göstermiştir [12], [13]. Stockholm'de ise hafta içi 06:30-18:30 saatleri arasında uygulanan kordon tabanlı ücretlendirme sisteminin ilk yılında ücretlendirilen alana geçiş yapan taşıt sayısı % 22 azalmış, 2008 yılında ise % 18 azalma gerçekleşmiştir. Uygulanan bu yöntemle emisyon miktarında % 10-14 arasında düşüş yaşanmış ve toplu taşıma kullanım oranı % 6-9 artış göstermiştir [14], [15]. Kentte 2400 taşıtlık P+D otoparkı düzenlenmiş ve mekik (shuttle) otobüs sistemi-raylı sistem istasyonlarıyla bütünleştirilmiştir [15], [16]. Bu örnekler incelendiğinde bireylerin bu türden kısıtlayıcı ve caydırıcı politikalarla binek otosu kullanımından vazgeçtiği ve kentsel ulaşımında toplu taşıma kullanımının arttığı görülmektedir.

## 2. ARKA PLAN (BACKGROUND)

Ankara kent merkezine ilişkin temel problemin tanımlanması ve uluslararası literatürde farklı yol ve alan bazlı ücretlendirme türlerinden başkent için en uygununun tercih edilmesiyle başlamaktadır. Ankara Metropoliten Alanı ve Yakın Çevresi Ulaşım Ana Planı (AUAP) Trafik Sayımı ve Taşıtlı Doluluk Etüdü 'ne göre kentte sabah zirvesinde (07:00-08:00) kent merkezine yapılan taşıtlı yolculuklarının % 65'i düşük doluluk oranına sahip (1 ve 2 yolculu) binek otosu yolculuklarından oluşmaktadır [17]. Bu taşıtlar sadece trafik sıkışıklığı yaratmakla kalmayıp aynı zamanda gürültü, emisyon ve diğer çevresel kirliliklere de neden olmaktadır. P+D sistemlerinin kullanılabilirliğini artırmak için binek otosu kullanımını azaltacak ve toplu taşımaya yönlendirecek önlemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda taşıt trafiğinin azaltılmak istendiği alanlarda ücretlendirme uygulayarak bu amaca ulaşabilmek mümkündür. Ankara kent merkezindeki taşıt trafiğini kısıtlamak ve buraya yapılacak yolculuklarda binek otosu tercihinden

caydırılmak isteniyorsa, Kordon Ücretlendirmesi yöntemini seçmek iyi bir başlangıç olacaktır. Bu yöntem P+D sisteminin kullanılabilirliğini artırmada araç rolü üstlenecektir. Kordon ücretlendirmesinin uygulanacağı kent merkezi 7 Trafik Analiz Zonu'ndan oluşmakta ve yaklaşık 8 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır. Bu alan çoğunlukla ticarethane, büro, ofis ve kamu binaları, Ankaray ve Metro ana istasyonları ile otobüs duraklarının yer aldığı aktarma noktası ve merkezi iş alanı statüsündedir.

## 2.1. Ulaşım modelinin hazırlanması (Preparation of Transport Model)

Ankara'da olası P+D otopark alanlarının tahmin edilmesi için VİSUM 12.52-07 Ulaşım Talep Yönetimi Programı ve AUAP için toplanan veriler kullanılarak Ulaşım Modeli ve Kalibrasyonu çalışmasında dört aşamalı ulaşım modelinin temel yapısı oluşturulmuştur [18]. Model kurulurken öncelikle ulaşım yapısı güncellenmiş, Trafik Analiz Zonları'nın (TAZ) üretim ve çekim değerleri, hanehalkı anketlerinden elde edilen o zona ait nüfus, çalışan sayısı, öğrenci sayısı, gelir durumu, taşıt sahipliği, ticaret alanları, sanayi alanları ve park alanları gibi bağımsız değişkenlerle üretilen Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi kullanılarak yolculuk amaçlarına göre modele eklenmiştir. Bu değerler ulaşım modelinin ilgili katmanına girilerek bir sonraki adım olan yolculuk dağıtım aşamasındaki Başlangıç-Variş matrislerinin oluşturulmasında kullanılacaktır. Yolculuk dağıtım modeli aşamasında üretim ve çekim değerlerinin zonlar arasındaki dağılımını gösteren mesafe-dağıtım fonksiyonlarının parametrelerini bulmak için Çift Kısıtlı Yerçekimi Modeli (Double-Constrained Gravity Model) kullanılmıştır. Türel Ayrım aşamasında yaya ve motorlu taşıtlar için motorlu taşıtların da kendi içerisinde binek otosu ve toplu taşıma için İç İçe İkili Logit Model (Binary Logit Model) tercih edilmiştir. İkili Logit Model, yolculuğun yapılacağı ulaşım türünün seçiminde iki farklı tür üzerinden değerlendirmenin yapıldığı bir modeldir. Eğer bir türün faydası diğerinden fazla ise modelde faydalı olan o türün seçimi yapılır. Bu çalışmada özellikle binek otosu ve toplu taşıma olarak iki türün yolculuk maliyeti kıyaslanmaktadır. İki türe dair fayda fonksiyonları ayrı ayrı ele alınarak yolculuk maliyeti düşük olan türün modelde seçimi gerçekleşir [35].

Binek otosu ve toplu taşıma ait fayda fonksiyonları ve binek otosunun seçilme olasılığı;

$$U_{OTO} = \sum_{i \in \text{YolLinkler}} \left( K_{Yakit/Km} L_{(i)} + K_{TL/Dk} t_{Araççi(i)} \right) + \text{Otopark ücreti}$$

$$U_{TT} = K_{TL/Dk} \left[ a_1 \sum_{i \in \text{HatLinkler}} t_{Araççi(i)} + a_2 \sum_{i \in \text{YürümeLinkler}} t_{yürüme(i)} + a_3 t_{ilkbekleme} + a_4 \sum_{i \in \text{Aktarma}} t_{bekleme(i)} \right] + \sum_{i \in \text{KulHatlar}} F_{(i)} + K_{Konforsuzluk TL}$$

$$P_{OTO} = \frac{1}{1 - e^{\beta(U_{TT} - K_{OTO_{TT}} U_{OTO} + K_{SBT})}}$$

Fonksiyonları kullanılmıştır. Burada belirtilen [18];

UOTO = Binek otosunun fayda fonksiyonu

UTT = Toplu taşımanın fayda fonksiyonu

POTO= Binek otosu türünün seçilme olasılığı

K yakıt/Km: Km başına yakıt maliyeti sabiti

L(i): Yapılan yolun km cinsinden uzunluğu

tAraççi(i): Araç içi yolculuk süresi

KTL/Dk: Zamanın değeri=6,4TL/saat = 0,107 TL/dk

tAraççi (i): Toplu taşıma aracında geçen yolculuk süresi

tYürüme (i): Toplu taşıma durağına yürüme süresi

tİlkbekleme: Durakta bekleme süresi

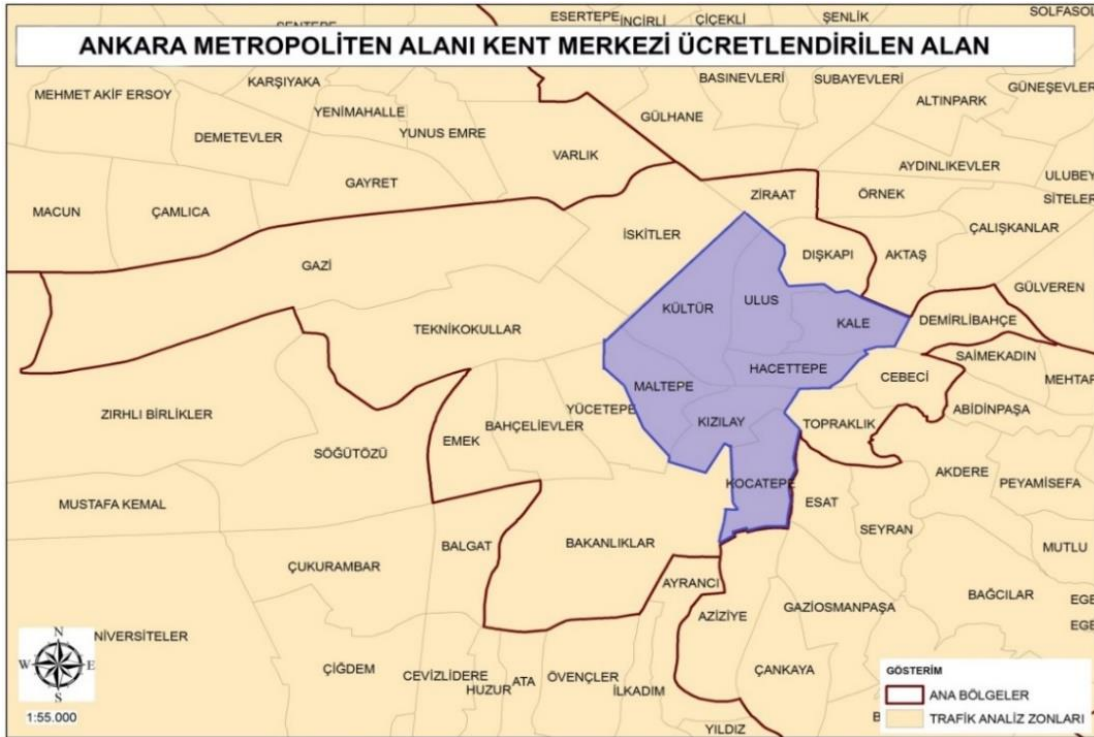
F(i): Hat bazında bilet ücreti

Modelde toplu taşıma atamasında Rasgele Atama (Stochastik Assignment) araç içi yolculuk ve sıklıkla ile güzergâh seçimleri için tercih edilmiş; Kullanıcı Dengesi Ataması (User Equilibrium Assignment) ise en fazla binek otosu atamalarında maliyeti minimize etmek amacıyla ve yolağının hacim/kapasite oranları dikkate alınarak kullanılmıştır.

Rasgele ve Kullanıcı Dengesi Ataması türlerinin seçilmesinin bir diğer nedeni ise üçüncü bölümde bahsedilecek olan Pigouvian eğrileri tanımlanırken, bu atama türünün gerçek yolculuk maliyetini optimum düzeyde tutmaya dayalı olmasıdır [6].

## 2.2. Kordon tabanlı sıkışıklık ücretlendirmesi önerisi (Cordon-Based Congestion Pricing Proposal)

Ankara'da daha önceden uygulanmış bir P+D Sistemi bulunmamaktadır. Yeni bir sistemin önerilmesi ve otopark alanının tespit edilmesi için, hangi TAZ'ın ne kadar binek otosu yolculuğu çektiği ve P+D otoparkı önerisi ile bu sayının ne kadar azalacağını belirlemek gerekmektedir. Öncelikle binek otosu yolculuklarından toplu taşıma yolculuklarına ne kadarlık bir oranın aktarılacağı hesaplanmıştır. Bu oranın hesaplanmasında en önemli yöntemlerden biri olarak, kent merkezine binek otosu ile giriş kısıtlama getirilmesi düşünülen TAZ'ların ücretlendirilmesi öngörülmektedir. Ankara'da merkezi iş alanı ve kamusal alan fonksiyonlarının yoğun olduğu Ulus, Kale, Kültür, Hacettepe, Maltepe, Kızılay, Kocatepe TAZ'ları ücretlendirilecek bölgeler olarak belirlenmiş ve Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1. Kent merkezi ücretlendirilecek alan

Kordon tabanlı ücretlendirme yöntemine göre yukarıda belirtilen TAZ'lara ücretin girilmesi ve ulaşım modeli basamaklarında bazı değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada toplu taşıma kullanımının artırılması amaçlandığı için kordon ücretlendirmesi modelde sadece binek otosu kullanıcıları için geçerlidir. Bu nedenle Türel Ayrım aşamasında yalnızca binek otosunun fayda fonksiyonuna Alan Ücreti (Area Toll-fonksiyonda SM olarak eklenmiştir) değişkeni eklenerek ücretlendirme modele dâhil edilmiş, yolculuk amaçlarına ve türel ayrıma göre her bir sekmeye ücret fonksiyonu eklenmiş, belirlenen 7 TAZ'ın bağlantı sağlayıcılarına yedi farklı değerde (3, 6, 10, 12, 18, 30, 100) ücret girilmiş ve model çalıştırılmıştır. Binek otosunun kordon tabanlı ücretlendirmeye göre fayda fonksiyonu aşağıdaki şekildedir.

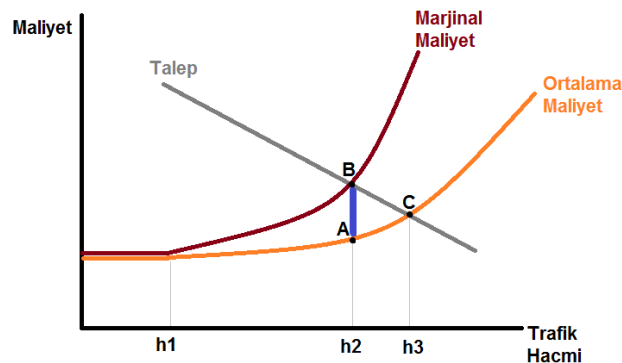
$$U_{OTO} = \sum_{i \in \text{YolLinkler}} \left( K_{Yakut/Km} L_{(i)} + K_{TL/Dk} t_{Araçlı(i)} \right) + \text{Otopark ücreti} + SM$$

Burada yer alan SM, Kordon tabanlı ücretlendirme için belirlenen teorik sıkışıklık maliyetidir. Sıkışıklık maliyetinin sadece bu fonksiyonda yer almasının nedeni, binek otosu için maliyetlerin artırılarak toplu taşımanın modelde tercihinin artırılmasını, dolayısıyla da P+D aktarma alanlarını kullanacak taşıt ve yolcu sayısının tahmin edilmesini sağlamaktır. Burada mevcut binek otosu fayda fonksiyonuna sonradan eklenen Sıkışıklık Maliyeti ile farklı ücretlendirme değerlerine göre yapılacak atamalarla türel dağılımdaki kullanılan taşıt türü değişimleri belirlenebilecektir. Modelde Kullanıcı Dengesi Atamasıyla binek otosu yolculuklarının kordon tabanlı sıkışıklık ücreti miktarlarına göre en az maliyetli ve en kısa süreli yol ağını tercih ettiği ortaya çıkmıştır. Değerin en fazla 100 alınmasının nedeni bu değerden sonra kent merkezinden transit geçiş yapan binek otosu sayısının artış göstermesiyle modelde yanıltıcı sonuçlara neden olmasıdır.

### 3. SIKIŞIKLIK ÜCRETLENDİRMESİNDE TEORİK ÇERÇEVE (THEOROTICAL FRAMEWORK FOR CONGESTION PRICING)

Sürdürülebilir ulaşım bağlamında temel hedeflerden biri dışsallıkların azaltılması ve toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi olarak belirlenmiştir [19]. Dışsallık genel anlamıyla bir üreticinin veya tüketicinin karşılığında herhangi bir bedel ödemeksizin bir diğer üreticiye veya tüketicie sağlamış olduğu fayda veya zararı ifade etmektedir [20]. Bu çalışmada bahsedilen dışsallık kavramı ulaşımına bağlı negatif dışsallıkları tanımlamaktadır. Bunlar bireye, topluma ve çevreye verilen zarar, sağlık sorunları, zaman kayıpları, yapı çevrenin tüketilmesini de içeren ve dolayısıyla toplumsal bir maliyete neden olan durumlardır. Ulaşım ağına her bir taşıtın dâhil olması, diğer taşıt kullanıcıları açısından bazı negatif dışsallıklara sebebiyet vermektedir. Bu dışsallıklara, yolculuk hızının azalması, yakıt tüketiminin artması, yolculuk süresinin uzaması, ileriki süreçte taşıt bakım-onarım maliyetinin artması gibi olumsuz etkiler örnek verilebilir. Trafik sıkışıklığı ile ortaya çıkan bu dışsallıklardan sadece diğer taşıt kullanıcıları değil aynı zamanda toplu taşıma kullanan yolcular da etkilenmektedir [21], [22], [23]. Bu nedenle bireysel ulaşımına bağlı negatif dışsallıkların neden olduğu ve tüm toplumu etkileyen maliyetlerin azaltılması için, bu dışsallığın sıkışıklık ücreti adı altında taşıt kullanıcılarına yüklenmesi gerekmektedir.

Sıkışıklık ücretlendirmesinin temeli Pigou tarafından 1920'lerde atılmıştır. Pigou'ya göre bir işletmenin oluşturduğu kirlilik düzeyinin iki tür maliyeti olmaktadır. Bunlardan biri kontrol maliyeti bir diğeri de hasar maliyetidir. Kontrol maliyetinde işletmenin daha az kirlilik üretmesini sağlamak için işleme önceden bir maliyet yüklenmesi gerektiği vurgulanırken, dışsal maliyetlerin azaltılarak kirlilik düzeyinin düşürüldüğü durumda elde edilen fayda ise bize hasar maliyetini vermektedir. Kontrol maliyetinin işleme maddi olarak yüklenmesi durumunda kirliliği önleyici bir durum ortaya çıkar, maliyetin karşılanması ile dışsallıklar içselleştirilmiş ve kirlileti sorunu azaltılmış olur. Pigou 1932 yılında bu içselleştirmeler için bir vergilendirme uygulanmasını önermiş ve Pigouvian eğrilerini geliştirmiştir. Pigou'ya göre uygulamalı refah ekonomilerinin temel taşı olan "The Economics of Welfare"de kirliliği üretenin kirlilik maliyetini de karşılaması gerektiğinden bahsedilmiş ve bu maliyet "Pigovian tax" olarak adlandırılmıştır [24], [25]. Burada vergi olarak adlandırılmasının en temel nedeni, yol ağını kullanan sürücüler için trafik sıkışıklığının negatif bir dışsallık oluşturması ve bunun da ancak kullanıcıya mali olarak yüklenmesiyle içselleştirilebileceğini düşündürmesidir. Bir bakıma Pigou'nun kirlilik sorunu için geliştirdiği eğriler (Bkz. Grafik 3.1) sıkışıklık ücretlendirmesi için kullanılabilir. Burada trafığe katılan her bir taşıtın Marjinal Özel Maliyet toplamı ile diğer sürücüler üzerinde oluşturduğu Marjinal Sosyal Maliyetlerin toplamı arasındaki farkın taşıt sürücülerine yüklenmesini gerektirmektedir.



Grafik 3.1. Pigouvian Eğrileri [25], [26], [30]

Grafik 3.1’de yatay ekseninde yol ağında artan taşıt sayısına bağlı olarak, dikey eksenindeki yolculuk maliyeti değişimleri verilmiştir. Yol ağında yolculuk yapan taşıt sayısının artması ile yolculuk maliyetleri de artar. Bu durumda o yol ağını tercih eden taşıt sayısındaki azalma negatif doğrusal bir talep eğrisi olarak karşımıza çıkar. Yolculuk maliyeti; yakıt bedeli, taşıt yıpranma bedeli, sigorta/kasko bedeli, taşıtla yolculuk artışına bağlı olarak fazladan geçirilen zamanın para birimi cinsinden değerini içerir. Burada taşıt kullanıcılarının ödemeyi kabullendiği özel maliyetler toplamı, Ortalama Maliyet Eğrisi olarak adlandırılır ve yol ağını kullanan taşıt sahibinin sadece kendi taşıtını kullandığı süre boyunca karşılamayı göze aldığı maliyetlerin pozitif eğri ile temsilidir. Marjinal Maliyet Eğrisi olarak adlandırılan, içerisinde hem taşıt kullanıcısının kendi karşılamayı düşündüğü özel maliyetlerin toplamını hem de kendisi dışındaki yol ağı kullanıcısına yüklemiş olduğu dışsal maliyetlerin toplamını da içeren yine pozitif eğimli bir eğri olarak karşımıza çıkar. Saruç’a göre [36] bu eğri her bir sürücünün trafik akışında yol açtığı ve topluma yaydığı ekstra maliyeti göstermektedir. Trafik hacmi  $h_1$ ’e gelene kadar trafik akışı normal seyrinde devam etmektedir. Ancak  $h_2$ ’in üstüne çıktığında Marjinal Maliyet, Ortalama Maliyete kıyasla hızlı bir artışa geçer. Trafik hacminin  $h_3$  değerinde olduğu durumda, Ortalama Maliyet Eğrisinin talep eğrisi ile kesiştiği A noktasında optimum maliyet değeri ortaya çıkmaktadır. Ancak taşıt sürücüleri sadece özel maliyetlerini karşılamak amacıyla taşıtlarını kullandığından Marjinal Maliyet Eğrisi ile talebin kesiştiği B noktasında denge gerçekleşmektedir. Sıkışıklığın maliyeti de B noktası ile A noktası arasında kalan farkı bize vermektedir [26] [37].

Marjinal Maliyet Eğrisi ile Ortalama Maliyet Eğrisi arasındaki farkın bize Sıkışıklık Maliyetini verdiği gerçeğinden yola çıkarak, özel maliyetler toplamına sıkışıklık bedelinin eklenmesiyle birlikte bu dışsal maliyetlerin içselleştirilmesi gerçekleştirilmiş olacaktır. Yol ağı kullanıcılarının bir kısmı maliyeti karşılamak istemediği için taşıtıyla o güzergâhı ya da alanı kullanmaktan vazgeçecek ve toplu taşımaya yönelecek ya da alternatif yolları kullanarak yol ağının denge seviyesine gelmesine neden olacaktır.

### 3.1. Teorik sıkışıklık ücretlendirmesi ve tahminler (Theoretical congestion pricing and forecasts)

Bu bölümde teorik sıkışıklık ücreti tahmin edilmektedir. Tahmin metodunda, 2013 yılında yapılan AUAP Hane Halkı Anketi yolculuk verileri, Trafik Sayım ve Taşıt Doluluk Etüdü verileri ve bu çalışmanın temelini oluşturan yedi farklı ücretlendirme sonucunda elde edilen trafik hacim verileri kullanılmıştır [27]. 1999 yılında Li’nin Singapur için uyguladığı trafik hacim verilerine dayalı tahmin yöntemi temel alınmıştır [28]. Bu yöntemde göre sabah zirvesindeki bir saatlik yolculuğa (Ankara modelinde sabah zirvesi 07:00-08:00 alınmıştır) karşılık gelen yolculuk maliyetinin taşıt kullanıcısının saatlik gelirene oranı esas alınmış, böylece yolculuk süresindeki kısalmaya dayalı azalan yolculuk maliyetinin ekonomik açıdan faydası hesaplanmaya çalışılmıştır.

Grafik 3.1’de de görüldüğü gibi, hedeflenen trafik hacmindeki negatif dışsallık maliyetinin içselleştirildiği noktada Ortalama Maliyet ile Marjinal Maliyetler arasındaki fark (B-A) o akım değerine karşılık gelen sıkışıklığın maliyeti olarak hesaplanmaktadır.  $MM(h) = OM(h) + SM(h)$  ‘de Marjinal Maliyet (MM), Ortalama Maliyet (OM) ile Sıkışıklık Maliyetinin (SM) toplamıyla ifade edilmektedir. Sıkışıklık Maliyetinin Marjinal Dışsal Maliyete eşit olduğu anda optimum trafik düzeyine erişilmiş olur [29]. Ücretlendirmede sıkışıklığın olduğu düzeydeki trafik hacmi (h) göz önünde bulundurulur. Burada yer alan “h” trafik hacmindeki SM değerini;

$$MM(h) = OM(h) + h \frac{\Delta OM(h)}{\Delta h} \quad 3.1$$

olarak ifade edebiliriz. Burada açılımı verilen SM, ücretlendirmenin olmadığı zamandaki OM ile ücretlendirme olan zamandaki OM farkının o durumlardaki şerit başına düşen trafik hacmine ( $\Delta h$ ) bölünmesi ve ücretlendirme durumundaki şerit başına trafik hacmiyle ( $h$ ) çarpımı ile ifade edilebilir. Formül yazımında kolaylık sağlanması açısından ücretlendirme öncesi mevcut durum “m” olarak, ücretlendirmenin olduğu diğer durumlar ise “s” olarak belirtilmiştir. Buradan da 3.2’de ifade edilen formüle ulaşılmaktadır.

$$SM = h \frac{\Delta OM}{\Delta h} = h \frac{OM_m - OM_s}{h_m - h_s} \quad 3.2$$

Formül 3.2’de yer alan ücretlendirme öncesi ve sonrası OM değerlerini açtığımızda; taşıt bekleme süresi, taşıt hareket süresi, yolculuk yapanların saatlik gelir düzeyi, bekleme süresinin değerinin saatlik gelirdeki



payı, hareket süresinin değerinin saatlik gelirdeki payı ve ortalama taşıt sayısının hesaba katıldığı bir sonuca ulaşılır. Walters'ın 1961 yılında yaptığı çalışmada belirttiği gibi OM eğrisinin oransal olarak yolculuk süresi değişimi eğrisiyle benzer olduğu varsayılmaktadır [30]. Yani sürücülerin kavşaktaki toplam bekleme süresi ile toplam hareket süresini ön planda tutarak OM'i benzer şekilde değerlendirilir.  $OM(h) = G \cdot \frac{M}{V}$  olarak ifade edilebilir. Burada M yolculuk mesafesini (km); H yolculuk hızını (km/saat) ve G saatlik genelleştirilmiş yolculuk maliyetini (TL) vermektedir. M/V'nin toplam yolculuk süresini verdiği bilinmektedir ve hareket süresi ile bekleme süresinin toplamı da bize toplam yolculuk süresini vermektedir. Böylece  $OM(h) = S_b(h)G_b + S_h(h)G_h$  olarak ifade edilir.  $S_b$  toplam bekleme süresi;  $S_h$  toplam hareket süresi;  $G_b$  bekleme süresi için saatlik genelleştirilmiş maliyeti ve  $G_h$  hareket süresi için saatlik genelleştirilmiş maliyeti vermektedir. Normal koşullarda kentsel yolculuklarda kaybedilen zamanın parasal değerini tanımlamak amacıyla zamanın değeri kavramı kullanılmaktadır. Zamanın değeri ile gelir arasında doğrusal bir orantı söz konusudur [23]. Benzer şekilde saatlik genelleştirilmiş yolculuk maliyeti, saatlik ortalama gelirin belirli bir oranına karşılık gelir. Bu durumda  $G_b = Z_b \cdot g$  ve  $G_h = Z_h \cdot g$  olacaktır. Burada ifade edilen Z bekleme ve hareket süresi bazında zamanın değerinin saatlik ortalama gelire oranına karşılık gelirken; g ortalama saatlik geliri ifade etmektedir. Buradan da 3.3'deki sıkışıklık maliyeti tahmin formülünü elde ederiz.

$$SM = h_s \frac{(S_{b_m} - S_{b_s})Z_b \cdot g}{h_m - h_s} + \frac{(S_{h_m} - S_{h_s})Z_h \cdot g}{h_m - h_s} \quad 3.3$$

Elde edilen bu formül modelde yer alan farklı ücret miktarlarından en uygun olanının belirlenmesi amacıyla model verilerinin hazırlanan pilot çalışmada kullanımı ile uygulamaya yönelik daha net sonuçlara ulaşılması sağlanacaktır.

### 3.2. Ankara kent merkezinde pilot güzergâhın seçimi (Selection of pilot route in Ankara city center)

Modelde ücretlendirilecek alan olarak Şekil 2.1'de sınırları belirtilen kent merkezi çekirdeği kullanılmıştır. Teorik sıkışıklık ücretinin tahmin edilmesi için belirtilen alan içerisinde saat yönünde taşıt hareketinin mümkün olduğu Şekil 3.1'deki dairesel güzergâh seçilmiştir. Güzergâhın dairesel olmasının temel sebebi, doğrusal güzergâhlardaki transit geçişlerin modelde yanıltıcı olmasını engellemektir. Toplamda 3,3 km uzunlukta olan bu güzergâh, kuzeyde Celal Bayar Bulvarı, doğuda Aksu Caddesi, güneyde Ziya Gökalp Caddesi ve Gazi Mustafa Kemal Bulvarı ile batıda ise Strazburg Caddesi ile sınırlanmakta ve 24 cadde ya da sokak ile kesişmektedir. Seçilen güzergâhın şerit kapasiteleri homojen özellik göstermekte, güncellenen yolağına istinaden modelde yol kademelenmesi/yol genişlikleri ve hizmet düzeyi farklılaştırılmaksızın, şerit başına ortalama 900 taşıt/saat olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.1. Ücretlendirilen alan içerisinde seçilen güzergâh

Model ataması sonuçlarına göre, seçilen güzergâhtan elde edilen şerit başına düşen ortalama trafik hacim değerleri, toplam bekleme süresi, toplam hareket süresi, toplam yolculuk süresi, taşıtla ortalama yolculuk

hızı ve hacim/kapasite değerleri tahmin formülünde (Bkz. Formül 3.3) kullanılmak üzere Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

**Tablo 3.1.** Seçilen güzergahın yolculuk süresi değerleri

	Trafik hacmi	Sb	Sh	H	Hacim/ Kapasite
Mevcut Durum “0”	853	0,165	0,089	37,11	95
Değer “3”	830	0,144	0,088	37,20	92
Değer “6”	810	0,124	0,087	37,89	90
Değer “10”	806	0,094	0,086	40,13	90
Değer “12”	739	0,091	0,084	39,24	82
Değer “18”	677	0,074	0,080	41,48	75
Değer “30”	570	0,045	0,074	44,61	63
Değer “100”	523	0,014	0,064	51,85	58
Değer	Ücretlendirme için modele girilen değer (birimsiz)				
Trafik hacmi	Şerit başına toplam taşıt sayısı (taşıt/şerit saat)				
Sb	Toplam bekleme süresi (saat)				
Sh	Toplam hareket süresi (saat)				
H	Ortalama yolculuk hızı (km/saat)				
Hacim/Kapasite	Yolağındaki taşıtların hacim/kapasite oranı (%)				

Hane halkı anketlerinden elde edilen hane halkı aylık ortalama gelir düzeyi üzerinden hesaplanan Genelleştirilmiş Yolculuk Maliyetlerine göre teorik sıklık ücretinin tahmin edilmesi yöntemine başvurulmaktadır. Burada genelleştirilmiş yolculuk maliyetleri, Ankara’da yaşayan hanelerin ortalama aylık geliri, taşıt sahibi hanelerin ortalama aylık geliri ve taşıtla yolculuk yapan hanelerin ortalama aylık geliri ile zamanın değeri hesaplanarak değerlendirilmektedir. Tablo 3.2’de görüldüğü gibi Ankara’da taşıt sahipliğinin fazla olması (1000 kişiye 204 taşıt) ve ortalama gelir düzeylerinde çok fazla farklılık bulunmadığından teorik sıklık ücreti tahminleri yakın sonuçlar vermektedir.

**Tablo 3.2.** Saatlik gelir farkına göre teorik sıklık ücreti karşılaştırmaları

		g1	g2	g3
	Trafik hacmi	12,82	15,27	12,31
Değer “3”	830	6,11	7,27	5,86
Değer “6”	810	6,23	7,42	5,98
Değer “10”	806	9,78	11,65	9,39
Değer “12”	739	3,91	4,66	3,76
Değer “18”	677	2,91	3,47	2,79
Değer “30”	570	2,04	2,43	1,96
Değer “100”	523	2,07	2,47	1,99
Zb	Bekleme süresinin değerinin saatlik gelirdeki payı (%) 0,61 alınmıştır			
Zh	Hareket süresinin değerinin saatlik gelirdeki payı (%) 0,39 alınmıştır			
g1	Hane halkı saatlik gelir ortalaması (TL)			
g2	Taşıt sahiplerinin saatlik gelir ortalaması (TL)			
g3	Binek otosuyla yolculuk yapanların saatlik gelir ortalaması (TL)			



#### 4. OPTIMUM SIKIŞIKLIK ÜCRETİNİN BELİRLENMESİ (DETERMINING OF OPTIMUM CONGESTION CHARGE)

Ankara için optimum sıkışıklık ücreti belirlenirken, dünya örneklerinde ücretlendirme için gerekli olan hız-akım ve akım-kapasite ilişkilerine göre bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. Bu kabuller model atamalarından trafik hacmi ve hız değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de optimum sıkışıklık ücretinin belirlenmesinde kullanılacak değerler yer almaktadır.

Bir yolağındaki taşıt hareketliliği ve buna bağlı olarak değişen trafik yoğunluğu arasında doğrusal olmayan bir hız-akım ilişkisi vardır. Yolağında seyreden taşıt sayısı arttığı zaman seyir hızı azalacak, toplam yolculuk süresi artış gösterecektir. Yolculuk süresinin artışıyla bekleme süresi ve yakıt sarfiyatı artacak, dolayısıyla yolculuk maliyetinde de artış yaşanacaktır [21]. Bu tür hız-akım ilişkisinin gözlemlendiği koşullarda sıkışıklık ücretinin uygulanabilirlik düzeyi, yolağındaki kapasite kullanımının % 90’a ulaştığı anda uygun hale gelmektedir [31]. Seçilen güzergâhta şerit başına kapasitenin 806 taşıt/şerit saat ile % 90 sınırına ulaştığı “Değer 10” düzeyindeki atama sonuçları sıkışıklık ücretinin uygulanabilirlik düzeyi olarak kabul edilmiştir.

Yolağına eklenen her bir taşıt, hızın azalmasına neden olmaktadır. Şerit kapasitesine yaklaşıldığında hız-akım ilişkisinde kırılma yaşanmaktadır. Bu kırılma hızın 40 km/saat’e düştüğü andan itibaren gerçekleşmektedir [31]. Bu nedenle seçilen güzergâhta hızın 40 km/saat’in altına düştüğü “Değer 10’a” karşılık gelen yolculuk ataması değerleri kabul edilmiştir. Böylece hem hız hem de akım (trafik hacmi) değerleri için ortak ücretlendirme değerine ulaşılmıştır.

Tablo 3.2’te görüldüğü gibi talep tahmin modelinde ücretlendirmenin temel girdisi olan Alan Ücretlendirmesi (Area Toll) için 7 farklı değerde atama yapılmıştır. Bu bağlamda modele girilen değer yükseldikçe ücretlendirme miktarının da artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak Değer 10’da ücret miktarının zirve yaptığı, sonrasında ise modele girilen değer artsa dahi ücretin azalma yönünde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum bize ücretlendirmenin kırılma yaşanan Değer 10 düzeyinde kabul edilmesinin doğru bir seçenek olduğunu göstermektedir.

Modelde zamana ve ücrete göre atamanın yapılması ile birlikte ücretlendirilen alana giriş yapan binek otosu sayısı ve toplu taşıma yolculuk sayılarındaki değişimler Tablo 4.1’de görülmektedir.

**Tablo 4.1.** Mevcut durum ve ücretlendirme durumunun karşılaştırması

Zon adı	Mevcut Durum		Değer 10	
	BOS	TTY	BOS	TTY
Kocatepe	2622	3144	2078	3922
Maltepe	3979	4273	3003	5678
Kızılay	21112	25747	16210	33121
Hacettepe	1791	5346	1301	5903
Kültür	2976	3972	2321	4799
Ulus	7617	7568	5649	10120
Kale	1450	2573	1233	2848

BOS: Binek Otopu Sayısı, TTY: Toplu Taşıma Yolculuk Sayısını temsil eder

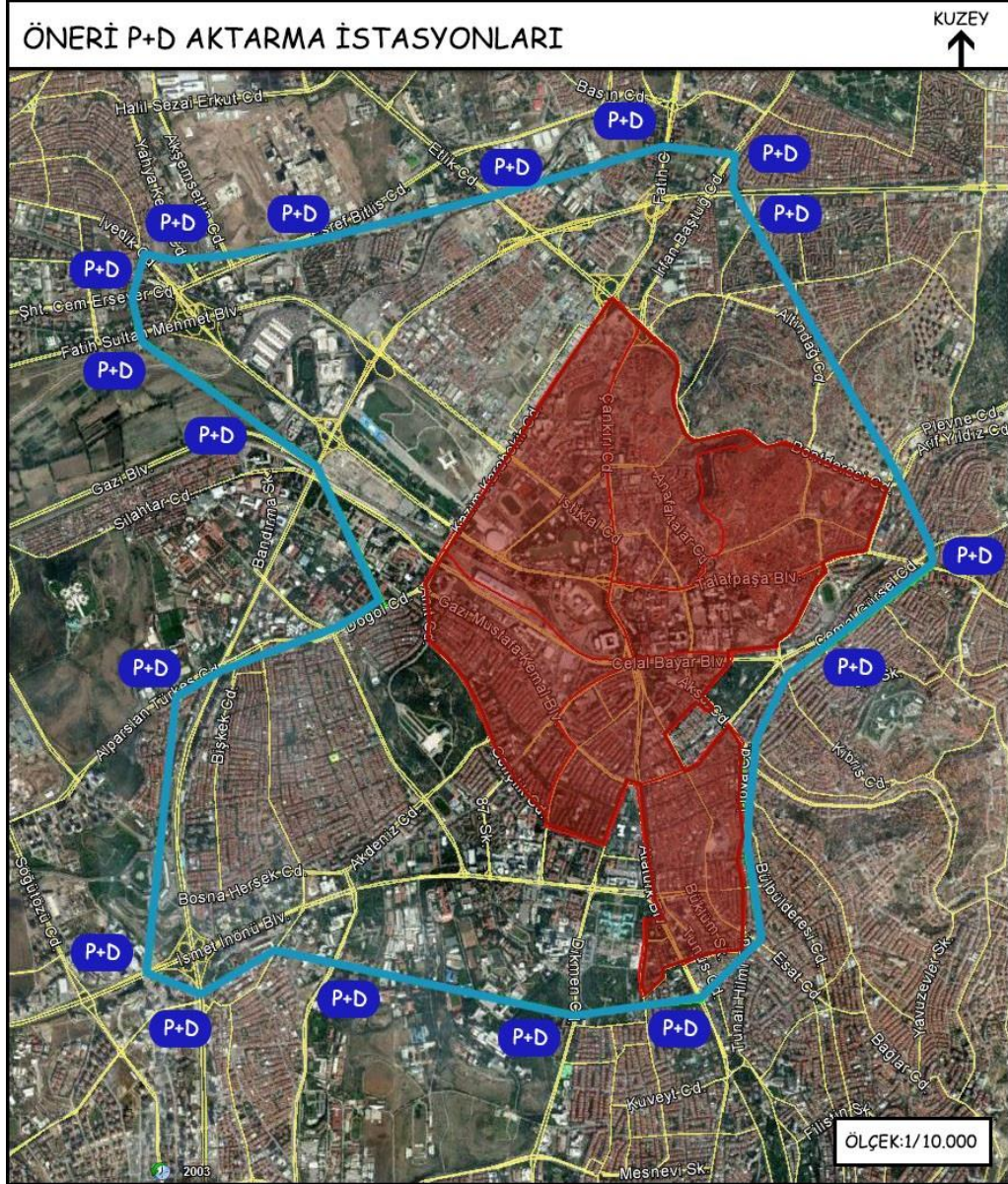
AUAP Trafik Sayımı ve Taşıt Doluluk Etüdü verilerine göre [17] bir binek otosu 1,62 yolcu doluluğuna sahiptir. Değer 10 için binek otosu sayısında 9.752 azalma tespit edilmiştir. Dolayısıyla binek otosu yolculuğu sayısı 15.798 olarak bulunurken, toplu taşıma yolculuk sayısında da 13.766 artış gözlemlenmiştir. Atama sonucu elde edilen bu yolculuk sayısı modelde, P+D’in muhtemel kullanıcıları olarak kabul edilmektedir. Model atamasına göre binek otosu sayısı azalış oranı % 23 iken, toplu taşıma yolculuğu artış oranının % 26 seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum bize, türel dağılımdaki değişimi göstermektedir.

**Tablo 4.2.** P+D Sistemi aktarma istasyonu, otobüs sefer sayısı ve otopark kapasitesi ihtiyacı

	Değer 10
Binek otosu sayısı	9752
Metro istasyonlarındaki mevcut otopark kapasitesi	4235
Otopark kapasite ihtiyacı	5517
Artan Toplu Taşıma Yolculuğu	13766
Toplam otobüs sefer sayısı	172
P+D aktarma istasyonu sayısı	17
P+D otopark kapasitesi	321

Tablo 4.2’de görüldüğü gibi toplamda gerçekleşen binek otosu yolculuğundan hareketle 9.752 taşıtlık otopark talebi ortaya çıkmıştır. Kentteki Metro istasyonlarında 4.235 taşıtlık mevcut otopark kapasitesi bulunmasının yanı sıra, 5.517 taşıtlık otopark kapasitesine ihtiyaç duyulmakta ve böylece öneri P+D otopark alanlarının ulaşım sistemine dâhil edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Metro istasyonlarındaki otopark alanlarına ek olarak, model sonucuna göre ücretlendirilen 7 TAZ’na giriş yapılan ana güzergâhlar üzerinde belirlenen öneri P+D aktarma istasyonları mevcut durumda kent merkezine ulaşımında en fazla tercih edilen ve İç Kordon Hattı üzerinde yer alan güzergâhlar göz önünde bulundurularak 17 noktada belirlenmiştir. Resim 4.1’de görüldüğü gibi bu istasyonlar Etlik Caddesi, Fatih Caddesi, İrfan Baştuğ Caddesi, Turgut Özal Bulvarı, Plevne Caddesi, Tıp Fakültesi Caddesi, Atatürk Bulvarı, Dikmen Caddesi, Türkocağı Caddesi, Mevlana Bulvarı, İsmet İnönü Bulvarı, Alparslan Türkeş Caddesi, Gazi Bulvarı, Fatih Sultan Mehmet Bulvarı, Cem Ersever Caddesi, İvedik Caddesi, Eşref Bitlis Caddesi olarak belirlenmiştir.

Toplu taşımanın tercih edilebilirliğini artıracak konfor, hizmet kalitesi, servis sıklığı, güvenilirlik ve dakiklik gibi hizmet parametrelerinin de göz önünde bulundurulduğu sistem unsurları tercih edilmelidir. Bu nedenle ortalama 80 yolcuyla konforlu bir şekilde taşıyacak ve kent merkezine yapılacak yolculukların sık ve yoğun olması nedeniyle kalkış sıklığı (headway) 6 dakika olarak belirlenen mekik otobüsleri bu aktarma istasyonlarında hizmet verecektir. Model atamasına göre toplu taşımaya aktarma yapacak yolculuklar için gerekli olan P+D aktarma istasyonlarındaki otobüs sefer sayısı 172 ve birim otopark yeri ihtiyacı ortalama 321 adet olarak belirlenmiştir.



*Resim 4.1. P+D Aktarma istasyonu konumları*

## 5. EMİSYONDAKI AZALMANIN ÖLÇÜLMESİ (MEASURING THE REDUCTION IN EMISSIONS)

Karbondioksit Türkiye'nin sera gazı emisyonu miktarının % 82'sini oluştururken, metan ve azot oksit gazları, sırasıyla % 15 ve % 1,4 ile CO<sub>2</sub>'nin ardından gelmektedir [32], [33]. Ulaşım modellerinde CO<sub>2</sub> emisyonu hesaplanmasının temel nedeni özellikle küresel ısınma tehdidine neden olan ve karbon ayak izini artıran bir gaz türü olmasından kaynaklanır [23]. Bu nedenle üretilen ulaşım modelindeki yolculuk değişimine bağlı azalan sera gazı emisyon miktarlarının hesaplanmasında özellikle CO<sub>2</sub> miktarları hesaba katılmıştır.

2013 yılı TÜİK Motorlu Kara Taşıtları İstatistiklerine göre Ankara'da 2013 yılında trafiğe kayıtlı 51 farklı taşıt markası üzerinden bir değerlendirme yaptığımızda ortalama CO<sub>2</sub> emisyon değeri yaklaşık 157.85 g/km olarak bulunmuştur [34]. Ankara özelinde emisyon miktarının hesaplanmasında bu değer kabul edilmektedir.

Model ataması sonucunda farklı ücretlendirme değerlerine bağlı olarak sera gazı emisyonundaki azalmalar da farklılık göstermektedir. Model verilerinden elde edilen binek otosu sayısındaki azalmaya bağlı sera gazı emisyonundaki azalmalar Tablo 5.1'de hesaplanmıştır. Buna göre mevcut duruma göre kıyaslandığında



sıkışıklık ücretlendirmesi ve P+D sisteminin kullanımı sonrası yıllık sera gazı emisyonundaki azalma 8042 ton olarak ölçülmektedir.

**Tablo 5.1** Kordon tabanlı sıkışıklık ücretlendirmesi sonrası emisyon miktarındaki değişim

Değer	Binek otosu yolculuğu (km)	Binek otosu emisyon (ton)	Toplu taşıma emisyon (ton)	Sabah zirve saat emisyonu (ton)	Yıllık emisyon (ton)	Yıllık Emisyon azalma miktarı (ton)
Mevcut Durum	3.205.068	505	226	731	1.979.218	
Değer 10	3.078.248	486	243	729	1.971.176	8042

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Ücretlendirilen alan içerisindeki taşıt sayısı ve hıza bağlı yapılan değerlendirmelerle, teorik sıkışıklık ücretinin Değer 10 düzeyinde kabul edilebilir olduğu ve 11,65 TL olması tahmin edilmektedir. Mevcut durumla kıyaslandığında kordon ücretlendirmesi ile kent merkezine giriş yapan binek otosu sayısında 9752 taşıtla % 23 azalma, toplu taşıma yolculuk sayısında ise % 26 artış ölçülmüştür. Azalan bu taşıt sayısı yolağında yaklaşık 48 km’lik taşıt kuyruğunu önleyecektir. Azalan binek otosu yolculuklarının kent çeperinde metro istasyonu otoparklarında ve kent merkezine giriş yapmadan da İç Kordon hattında önerilen 17 P+D aktarma istasyonu otoparklarında tutularak ücretsiz olarak toplu taşıma entegrasyonu sağlanacaktır. Bu aktarma istasyonlarındaki ortalama otopark kapasitesi binek otosu sayıları göz önünde bulundurularak 321 olarak belirlenmiştir. Her bir öneri P+D aktarma istasyonundan yolculuk talebini karşılamak amacıyla kalkış sıklığı 6 dakika olan ve bir saatte 10 sefer yapacak 80 yolcu kapasiteli mekik otobüsler hizmet verecektir. Sürdürülebilir ve bütünleşik ulaşımın temel bir şartı olarak P+D otoparkları ile aktarma istasyonlarındaki bilet sistemi, sefer saatleri ve mekik otobüs sistemi bütünleşik olarak işletilecektir.

Sonuçlar gösteriyor ki, Büyükşehirlerin iş ve çalışma alanı statüsündeki kent merkezinde trafik yoğunluğunun azaltılması amacıyla sıkışıklığın ücretlendirilmesi gibi yardımcı politikaların uygulanması, mali yükümlülükler getirilerek bu alanlara binek otosu girişlerinin caydırılabileceğini göstermektedir. Binek otosu ile kent merkezine girişten vazgeçilmesi durumunda bireylerin yolculuklarını toplu taşıma ile sürdürmelerini teşvik edecek P+D gibi alternatif ulaşım sistemleri ile kent içi yolculuk talebinin karşılanması ulaşımında bütünleşik bir yaklaşımı ortaya koyacaktır.

Bu makale, danışmanlığını Prof. Dr. Hülagü Kaplan’ın yaptığı, Araş. Gör. Hatice Gül ÖNDER tarafından hazırlanan “Sürdürülebilir Bütünleşik Ulaşım Kurgusunun Park Et-Devam Et Sistemi ile Modellenmesi: Ankara Metropolitan Alanı Kent Merkezi Örneği” adlı Doktora Tezinden üretilmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Borhan, M. N., İsmail, A., Rahmat, R. A., Amrak, K., “Effect of Transport Policies to Shifting Private Car Users to Park and Ride in Putrajaya, Malaysia” Australian Journal of Basic and Applied Science, Cilt 5 No 3, 303-308, 2011.
- [2] Holguin-Veras, J., Reilly J., Aras-Vera F., “New York City Park & Ride Study”, Rensselaer Polytechnic Institute, University Transportation Research Center-Region 2,10, 2012.
- [3] Gomez-Ibanez, J. A., Small, K. A., “Road Pricing for Congestion Management: The Transition from Theory to Policy”, The University of California Transportation Center, University of California at Berkeley, 214, 1998.
- [4] Şentürk, S. H., “Tıkanıklık Fiyatlaması, Dünya Uygulamaları ve Türkiye’deki Durumun Değerlendirilmesi”, Maliye Dergisi, Sayı 162, 288, 2012.

- [5] ODOT-Oregon Department of Transport, “Overwiev of ODOT Tolling and Pricing”, White Paper Development Process, 2009.
- [6] Lindsay, C. R., Verhoef, E. T., “Traffic Congestion and Congestion Pricing”, 8-15, 2000.
- [7] William A., “The Turnpike Road System in England 1663-1840, Institutional Aspects of Directive 2004/52/EC on the Interoperability of Electronic Road Toll Systems in the Community”, Basel, 1972.
- [8] Cervero R., “The Transit Metropolis: A Global Inquiry”, Chapter 6, Island Press, Washington D.C., 169, 1998.
- [9] Phang S. Y., Toh R. S., “Road Congestion Pricing in Singapore: 1975-2003”, Transportation Journal Cilt 43 No 2, 16-25, 2004
- [10] Kampfen S., “Road Pricing-an effective means against congestion”, Applied Environmental Economics, 2011.
- [11] TFL-Transport for London, "Public and stakeholder consultation on a Variation Order to modify the Congestion Charging scheme Impact Assessment Traffic volume, Speed and Congestion", 12, 2014.
- [12] Littman, T., “London Congestion Pricing Implications for Other Cities”, Victoria Transport Policy Institute, 5, 2011.
- [13] Bhatt, K., Higgins, T., “Lessons Learned from International Experience in Congestion Pricing”, US Department of Transportation Federal Highway Administration, USA, 2008.
- [14] CSTA-The City of Stockholm Traffic Administration, Analysis of Traffic in Stockholm: with Special Focus on the Effects of the Congestion Tax Between 2005-2008: Summary, 4-7, 2009.
- [15] Eliasson, J., “A Cost-Benefit Analysis of the Stockholm Congestion Charging System”, Transportation Research Part A Cilt 43, 468-480, 2009.
- [16] Börjesson, M., Eliasson, J., Hugosson, M. B., Brundell-Freij, K., “The Stockholm Congestion Charges 5 Years on Effects, Acceptability and Lessons Learnt”, Transport Policy, Cilt 20, 1-12, 2012.
- [17] Ankara Metropolitan Alanı ve Yakın Çevresi Ulaşım Ana Planı, Trafik Sayımı ve Taşıt Doluluk Etüdü, Ankara, 2014.
- [18] Ankara Metropolitan Alanı ve Yakın Çevresi Ulaşım Ana Planı, Ulaşım Modeli ve Kalibrasyonu Çalışması, Ankara, 2014.
- [19] Benk, S., “Kent içi Ulaşım Sonucu Oluşan Negatif Dışsallıklar ve Önleme Yolları”, İktisadi Araştırma Vakfı Ünal Aysal Tez Değerlendirme Yarışması, 30-70, 2007.
- [20] Kaynak, M., Kalkınma İktisadı, Gazi Kitabevi, Ankara, 2007.
- [21] Liu, Y-J., Sun, M-Z., Zhou, L., Lu, L.,” Analysis on the Principle of Congestion Charging Policy and Study on Desicion-Making Model”, Procedia Engineering, 836-842, 2016.
- [22] De Palma, A., Lindsey, R., “Traffic Congestion Pricing Methodologies and Technologies”, Transportation Research Part C, Vol 19, 1377-1399, 2011.
- [23] Mayeres, I., Ochelen, S., Proost, S., “The Marginal External Cost of Urban Transport”, Pergamon, Cilt 1 No 2, 111-130, 1996.
- [24] Pigou, A. C., “The Economics of Welfare”, McMillan, London, 1920.
- [25] Pearce, D. W., “Chapter 5: Methods of Securing the Optimal Amount of Pollution”, Environmental Economics, Longman Inc, New York, 73-106, 1976.



- [26] Wightman, P., "From Freeway to Feeway: Congestion Pricing Policies for BC's Fraser River Crossings", Master Tezi, Simon Fraser University, 2008.
- [27] Ankara Metropolitan Alanı ve Yakın Çevresi Ulaşım Ana Planı, Hane Halkı Araştırması Sonuçları, Ankara, 2014.
- [28] Li, M. Z. F., "Estimating Congestion Toll by Using Traffic Count Data-Singapore's Area Licensing Scheme", Transportation Research Part E, 1-10, 1999.
- [29] Nash, C., Sansom T., "Calculating Transport Congestion and Scarcity Costs-Final Report of the Expert Advisors to the High Level Group on Infrastructure Charging", Working Group 2, 1-29, 1999.
- [30] Walters, A. A., "Theory an Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion", Econometrica Cilt 29 No 4, 676-699, 1961.
- [31] UKDOT-United Kingdom Department of Transport, "The Cost-Benefit Analysis Manual", HMSO, London, 1996.
- [32] Bahçeci, D, "Kişisel Karbon Ayak İzi Rehberi", Yeni İnsan Yayınevi, İstanbul, 2013.
- [33] Lynas, M., Çeviren: Neşet Kutluğ, "Karbon Ayak İziniz; Karbon Kirliliğinizi Düşürmek İçin Basit Yöntemler", Açık Radyo Kitapları, İstanbul, 2009.
- [34] TÜİK, Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri, Ankara, 2013.
- [35] Mathew T. V. ve Rao, K. V. K. Chapter 9. Model Split, Introduction to Transportation Engineering, National Programme on Technology Enhanced Learning, 2006.
- [36] Saruç N. T. Trafik Sıkışıklığı Ücretlendirmesi: Ekonomik Teori ve Uygulamalar, Gazi Kitabevi, Ankara, 2008.
- [37] Button, K. J. The Rationale for Road Pricing: Standard Theory and Latest Advances, Research in Transportation Economics, 9(1),3-25, 2004.