

# Taksi Durakları Arasındaki Araç Sayısı Dağılımının Eniyilemesi: Alanya Örneği

(Araştırma Makalesi)

*Optimization of the Distribution of Number of Vehicles Between Taxi Stands: The Case of Alanya*

Doi: 10.29023/alanyaakademik.1268081

Atıl KURT<sup>1</sup>, Mehmet GÜMÜŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, atil.kurt@alanya.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-5438-3743

<sup>2</sup> Prof. Dr., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, mehmet.gumus@alanya.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-2588-0270

## ÖZET

### Anahtar Kelimeler:

Taksi Durakları,  
Doğrusal Matematiksel  
Modelleme, Gelir  
Sapması

### Makale geliş tarihi:

20.03.2023

### Kabul tarihi:

23.07.2024

Taksi taşımacılığının ulaşımdaki yeri dikkate alındığında farklı bölgeler için oluşturulmuş duraklarda bulunan araç sayılarının planlanması önem arz etmektedir. Planlama eksikliği, müşteri memnuniyetsizliğini artırırken farklı taksi duraklarındaki araç başına düşen gelirlerin farklılaşması, yönetsel ve organizasyonla alakalı problemlere yol açabilmektedir. Taksi araç sayısı dağılımı üzerine akademik olarak yapılan çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Bu çalışma bir şehirde bulunan taksi duraklarına araç sayılarının atanması problemini ele almıştır. Çalışmanın amacı mevcut taksi durakları arasındaki araç sayısı dağılımını, taksilerin ortalama gelirlerini dengeleyecek şekilde yeniden planlamaktır. Problemin en iyi çözümü için doğrusal iki matematiksel model geliştirilmiştir. Modellerin uygulanması gerçek veri setleri kullanılarak Antalya ili Alanya ilçesinde bulunan taksi durakları üzerine gerçekleştirilmiştir. Uygulama neticesinde elde edilen model çözümlerine göre taksi durak gelirleri arasındaki sapma mevcut duruma göre yüzde %39,8 ve %36,4 oranlarında azaldığını göstermiştir.

## ABSTRACT

### Keywords:

Taxi Stations, Linear  
Mathematical  
Modelling, Income  
Deviation

Considering the role of taxi transportation in overall transit, planning the number of vehicles at designated stops in different regions is crucial. A lack of planning can increase customer dissatisfaction and lead to discrepancies in revenue per vehicle across various taxi stands, causing managerial and organizational issues. Academic studies on the distribution of taxi vehicle numbers are quite limited. This study addresses the problem of assigning vehicle numbers to taxi stands in a city, aiming to rebalance the distribution of vehicles to stabilize average revenues. To find the optimal solution, two linear mathematical models were developed. The application of these models was conducted using real data from taxi stands in Alanya, Antalya. The results indicated that the revenue disparity among taxi stands decreased by 39.8% and 36.4% compared to the current situation.

## 1. GİRİŞ

Taksi taşımacılığı, günümüz şehir içi ulaşım imkanları arasında önemli bir konumda bulunmaktadır. Taksiler, kent içi ulaşımında diğer ulaşım türlerine göre bağımsız çalışabildikleri için farklılık göstermektedir. Bu bağımsızlık, yolcu taşıma ihtiyacını karşılama konusunda kolay erişilebilirlik avantajı sağlamaktadır; ancak gerçekte taksilere erişimde sorunlar yaşanabilmektedir. Bunun sebeplerinden bir tanesi taksi sayılarının sınırlı olması iken, diğer önemli bir sebep de belirli bölgeler için oluşturulmuş taksilerin yolcu beklemek için sıraya girdiği alan olan taksi duraklarındaki araç sayısı dağılımının hatalı planlanmasıdır.

Kent trafik sisteminde önemli bir role sahip olan taksi durakları, birçok açıdan avantaj sağlamaktadır. Bunlar, taksilerin kent içerisinde müşteri aramayı en aza indirme ve rastgele beklemeleri engelleme, aynı zamanda taksilerin denetimi, park yeri tahsisi ve hizmet kalitesinin artırılması gibi etkenlerde de yararlıdır. Artan nüfus ile taksi taşımacılığına talep artmakla beraber, yıllar önce belirlenmiş taksi durakları ve bu duraklara atanmış taksi sayıları güncelliğini yitirmektedir. Bu da taksi durakları arasında talebi karşılama noktasında aşırı dengesizliklere yol açabilmektedir. Bu sorun Antalya'nın Alanya ilçesinde de gözlemlenebilmektedir.

Alanya Şoförler Nakliyeciler ve Otomobilciler Esnaf Odası verilerine göre, mevcut taksi durağı planlaması 1996 yılında yapılmıştır. Ancak, 1996 yılından sonra bölgenin turistik bir bölge olarak geliştiği göz önüne alındığında, eski planlamanın günümüz şartları için uygun olmadığını değerlendirilmektedir. Bu durumun temel nedeni, ilçedeki her durak bölgesinin beşerî olarak aynı oranda büyümemesidir. Örneğin, şehrin merkez bölgelerdeki nüfus artış oranı Mahmutlar mahallesine göre daha düşüktür. Ayrıca, eğlence, alışveriş ve turistik yerlerin de zaman içerisindeki değişimleri de bu taksi planını olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

Alanya'da bulunan mevcut taksi duraklarındaki planların günümüz koşulları için geçerli olmadığına dair çeşitli örneklerle de karşılaşılmaktadır. Örneğin, bazı duraklarda saatlerce taksi beklendiği ve yeterli taksinin olmadığı gözlemlenirken, bazı duraklarda da çok az müşteri olduğu için bazı taksilerin çok az çalıştığı ilgili esnaf odası başkanlığı tarafından ifade edilmiştir. Ayrıca, bazı taksi duraklarında taksilerin gün boyunca çalışmadığı belirtilmiştir. Bu da taksilerin müşterilerden elde edilen günlük kazançlarını yani gelirlerini etkilemektedir. Bununla birlikte, bu taksi duraklarının çalışma durumundan dolayı hem taksi rayiç bedelleri hem de taksilerin elde ettiği gelirler arasında ciddi bir farklılık olduğu belirtilmiştir. Bu durumun, taksiler arasında adil olmayan bir durumun oluşmasına yol açabileceği düşünülmektedir.

Alanya'da 55 taksi durağı bulunmaktadır ve bu duraklara toplamda 881 taksi farklı sayılarda atanmıştır. Halen uygulanan bu atama planlaması onlarca yıl önce yapılmıştır. Taksilere olan talep, ilçe nüfusunun hızla artması ile genel olarak büyük artış göstermiştir. Ayrıca bölgenin turistik bir yer olması nedeniyle müşteri sayısında ay bazında çok büyük bir değişkenlik olmaktadır. Özellikle turizm sezonunun olduğu sıcak aylarda (Nisan – Eylül arası) müşteri sayısının çok olduğu ve taksi yetersizliğinin yaşandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, farklı duraklarda taksi başına düşen gelirlerde ciddi eşitsizlik olabilmektedir. Bu eşitsizliğin bir sorun teşkil ettiği ilgili ilçe esnaf odası başkanlığınca dile getirilmiştir ve çözüm önerisi talep edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı Alanya'da bulunan taksi duraklarına gelir dağılımındaki eşitsizliği en aza indirecek şekilde taksi araç sayılarının atanmasıdır. Bu bağlamda, sorunu ele alırken ilk etapta her taksi durağındaki taksilerin ay bazında hangi sıklıkla çalıştığı ve ay bazında günlük ortalama müşteri sayısı bilgileri ilgili esnaf odası başkanlığından temin edilmiştir. Ayrıca, müşteri başına duraklara göre ortalama kazanç ve taksi durağında işlerin belirli bir seviyede yürütülmesi için gerekli en az taksi sayısı gibi bilgiler de yine başkanlık vasıtasıyla elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bilgiler kullanarak, taksilerin ortalama kazançlarını dengeleyecek şekilde, her durak için kaç taksi gerektiğini bulmaya yönelik iki karma tamsayı matematiksel model geliştirilmiştir. Birinci model sabit sayıda durağa toplam sayısı belli olan taksi araçlarını atarken taksi başına aylık ortalama gelir eşitsizliğini en aza indirmeyi hedefler. İkinci model de alternatif model olup aynı problemi ele alır ama gelir dağılımında minimum ve maksimum müşteri sayılarını göz önüne alır. Geliştirilen modeller öncelikle küçük ölçekli bir problem üzerinde test edilmiş, sonrasında da Alanya özelinde uygulanmıştır. Uygulama, tamamıyla gerçek bir durum çalışması olup, kullanılan veriler de saha çalışmasıyla elde edilmiş gerçek verilerdir. Model parametresinin, bulunan sonuçlara etkisi görmek için duyarlılık analizi de yapılmıştır.

Literatürde taksi araçları ve durakları üzerine yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle araç rotalama, durak yeri belirleme, elektrikli taksiler için şarj istasyonu yeri belirleme üzerine yapılmış araştırmalardır. Bu çalışmanın farkı, bir bölgede hizmet eden taksiler arasındaki gelir eşitsizliğini azaltma amaçlı bir atama problemini ele almasıdır. Geleneksel literatürdeki taksi araştırmaları genellikle operasyonel etkinliği arttırmaya yönelik stratejilere odaklanırken, bu çalışma gelir dağılımının adaleti üzerinde durarak sosyal ve ekonomik açıdan daha dengeli bir hizmet sunma amacını taşımaktadır. Bu yaklaşım, taksi sektöründeki mevcut sorunlara farklı bir bakış açısı getirmesinden dolayı taksi endüstrisindeki ekonomik dengeyi sağlamak adına değerli bir katkı sunabilir.

Çalışmanın bir sonraki bölümü konuyla ilgili çalışmaların incelendiği literatür araştırmasıdır. Üçüncü bölümde detaylı problemin tanımını ve önerilen matematiksel modelleri içerir. Dördüncü bölüm uygulama çalışmasına, beşinci bölümde de elde edilen bulgulara yer verir. Son olarak da sonuç kısmı sunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde taksi duraklarına taksi atamasını ve gelirleri dengelemeyi amaçlayan bir problem üzerine bir çalışma ile karşılaşılmalıdır. Ancak, taksilerin planlaması ile ilgili farklı konuları ele alan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu problemler genellikle taksi durak ve elektrikli araç istasyonları için atama ve yerleşim, taksi seyahat çizelgelemesi ve sevk problemleridir. Çalışmada incelenen yayınlar ile ilgili bir özet Tablo 1’de sunulmuştur ve aynı tablo altında bu çalışmanın konumlandırılması da yapılmıştır.

**Tablo 1. Literatür Çalışmalarının Özeti**

Yayın	Problem Konusu	Çözüm Yöntemi	Çalışılan Bölge
Qu vd. (2019)	Taksi durak yerlerinin seçimi	Tam sayılı programlama	Çin
Yiğit ve Gülhan (2018)	Taksi durak yerlerinin seçimi	Sezgisel	Çorlu
Ma vd. (2019)	Araçların benzinliklere atanması	Tam sayılı programlama	Çin
Öztemiz vd. (2022)	Taksi durak yerlerinin seçimi	Analiz	Malatya
Jung vd. (2014)	Taksi şarj istasyonları yer secimi	Benzetim	Seul
Han vd. (2016)	Taksi şarj istasyonları yer secimi	Tam sayılı programlama, benzetim	Güney Kore
Pan vd. (2019)	Taksi şarj istasyonları yer secimi	Aracı-tabanlı model	Çin
Cilio ve Babacan (2021)	Taksi şarj istasyonları yer secimi	Tam sayılı programlama, Benzetim	İstanbul
Keawthong vd. (2022)	Taksi şarj istasyonları yer secimi	Kuyruk modeli	Bangkok
Anastasiadis vd. (2020)	Taksi şarj istasyonları atanması	Tam sayılı programlama, Genetik Algoritma	Chicago
Yang vd. (2017)	Taksi şarj istasyonları atanması	Kuyruk modeli	Çin
Li (2006)	Taksi servisindeki etkinsizliğe yol açan faktör incelemesi	Benzetim	New York
Xu vd. (2018)	Müşteri talep tahmini	Sezgisel	New York
Seow vd. (2010)	Taksi rota atama	Sezgisel, benzetim	Singapur
Zhu ve Prabhakar (2017)	Taksi rota atama	Sezgisel	New York
Maciejewski vd. (2016)	Taksi müşteri atama	Sezgisel	Berlin
Billhardt vd. (2019)	Taksi müşteri atama	Sezgisel	Madrid
Bai vd. (2014)	Taksi çizelgeleme	Oyun teorisi	
Amar ve Basir (2018)	Çalışma bölgesi pazarlığı	Oyun teorisi	Waterloo ve Kitchener
Mohri ve Akbarzadeh (2018)	Ağ tasarımı	Tam sayılı programlama	İsfahan
Elting ve Egmke (2021)	Taksi müşteri atama	Kısıt programlama	Oberharz
Shi ve Lian (2016)	Müşteri tercihi belirleme	Poisson süreçler	
<b>Bu çalışma</b>	<b>Taksi sayılarının belirlenmesi</b>	<b>Tam sayılı programlama</b>	<b>Alanya</b>

Yer seçimi problemi göz önüne alındığında Qu vd. (2019) taksi durak yerlerinin seçimi ve talep noktalarının bu taksi duraklarına atanması ile ilgili bir problem üzerine çalışmışlardır. Problem çözümü için bir matematiksel model kurulmuş ve onun üzerinden duyarlılık analizleri yapılmıştır. Taksi durakların yerlerinin tekrardan organize edilerek Tekirdağ ilinin Çorlu ilçesindeki hizmet alanını geliştirilmesi Yiğit ve Gülhan (2018) tarafından çalışılmıştır. Ma vd. (2019) araçların benzin depolama merkezlerinde atanması ile birlikte depolama yerleşkelerinin seçimini de yapmaktadır. Problem çözümü için bir matematiksel model ve iki aşamalı komşu arama sezgisel çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Öztemiz vd. (2022) yaptıkları çalışmada Malatya ilindeki taksilerin oluşturduğu trafik yoğunluğunun azaltılması için bir analiz çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında taksi duraklarından kaldırılarak taksileri merkezi bir otoparktan hizmet vermesinin sağlanarak trafik yoğunluğunun azaltılması amaçlanmıştır.

Son yıllarda elektrik şarj istasyonları odaklı çalışmalar artmıştır. Jung vd. (2014) taksi şarj istasyonları için stokastik ve dinamik talebi dikkate alan yer seçim problemi üzerine çalışmışlardır. Çözüm yöntemleri iki seviyeli simülasyon optimizasyon çerçevesine dayanmakta olup kuyruk gecikmesi ile bir üst düzey çoklu atama modelini ve daha düşük seviyeli bir sevk simülasyonunu birleştirmektedir. Han vd. (2016) çalışmasında elektrik istasyonlarının yeri belirlenmesi ile taksilerin bu yerlere atanması ile ilgili bir problem üzerinde çalışmışlardır. Problem çözümü için bir matematiksel model geliştirilmiş ve simülasyon çalışması yapılmıştır. Başka bir elektrik şarj istasyonlarının konumlandırılması problemini Pan vd. (2019) ele almış olup müşteriler, taksi şoförleri, elektrik perakendecileri, dağıtım ağı ve elektrik tüketicilerinin etkisinin dikkate alındığı bir simülasyon çalışması yapmışlardır. Cilio ve Babacan (2021) da elektrikli şarj istasyon yeri belirleme problemi ele almış ve İstanbul (Türkiye) bu çalışma için durum çalışması olarak incelenmiştir. Keawthong vd. (2022) Bangkok için elektrikli araç şarj istasyon yerlerini veriye dayalı süreç yöntemi ile belirlemeye çalışmışlardır. Ayrıca gerekli olan şarj makinesi sayısını da kuyruk modeli ile belirlemişlerdir. Anastasiadis vd. (2020) elektrikli araçların şarj istasyonlarına atanması ve istasyonlardaki şarj makinelerinin sayıları gibi kararları veren bir problem üzerine çalışmışlardır. Problem çözümü için matematiksel model ve genetik algoritma geliştirmişlerdir. Elektrikli araçlara şarj istasyonu atanması problemine Yang vd. (2017) tarafından veriye dayalı optimizasyon yöntemi ile bir çözüm sunulmuştur. Araçların şarj olma olasılıkları kuyruk teorisi modellerine göre belirlenmiş olup atama problemi için bir tamsayı matematiksel model sunulmuştur.

Mevcut taksi servisindeki etkinsizliğe yol açan faktörler Li (2006) tarafından incelenmiştir. Çalışmalarında simülasyon modelleri vasıtasıyla taksi filo büyüklükleri, taksi durak sayıları ve müşteri yoğunluğunun etkileri incelenmiştir. Taksi seyahat ve sevk konulu çalışmalara bakıldığında Xu vd. (2018) taksi sevk sistemi üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Çalışma bölgelerini küçük bölümlere ayırarak her bölüm için taksi talebini ve müşterilerin varis noktalarının tahminini geçmiş verilere dayanarak yapmaya çalışmışlardır. Seow vd. (2010) müşteri memnuniyetini artırmayı amaçlayan bir taksi seyahat atama problemi üzerine çalışmış olup yeni bir sevk kuralı geliştirmişlerdir. Zhu ve Prabhakar (2017) bir ağ akış bazlı seyahat atama problemi üzerinde çalışmışlardır. Problem çözümü için önce zamanı ve bölgeyi küçük parçacıklara ayırıp sonrasında çözüm için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Maciejewski vd. (2016) online taksi yönetimi üzerine çalışmış olup müşteri taksi atama problemini odaklanmışlardır. Problem çözümü için kural bazlı sevk sezgiseli, atama problemi gibi modelleme ve simülasyon çalışması gibi çözüm yöntemlerini sunmuş olup performanslarını Berlin (Almanya) için sınamışlardır. Benzer bir probleme ek olarak taksilerin yeniden atanması ve taksi şoförlerine tazminatın da dikkate alındığı çalışma Billhardt vd. (2019) tarafından sunulmuştur. Problem çözümü için sezgisel bir algoritma geliştirilmiş ve literatürdeki üç farklı çözüm yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

Bai vd. (2014) mobil telefonlar ve küresel yerleşim sistemi bazlı bir karar destek sistemini çalışmalarında betimlemişlerdir. Çalışmalarında taksi problemlerini taksi şoförleri arasında işbirlikçi olmayan bir oyun olarak tanımlamışlar ve çalışmalarında oyun teori bazlı bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Taksilerin çalışma bölgelerine atanma problemi ise oyun teorisi kullanılarak Amar ve Basir (2018) tarafından formüle edilmiş olup pazarlığa dayalı çözüm modeli ile çözülmüştür. Simülasyon kullanılarak da çözüm metodlarının performansını sınamışlardır.

Mohri ve Akbarzadeh (2018) kapasite kısıtlı Van-Taksiler için bir ağ çalışması yapmışlardır. Bu taksilerin için merkez belirlenme ve müşterilerin bu merkezlerden akışının atanması problemi çalışılmıştır. Çalışmalarında, Problem çözümü için bir tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Elting ve Egmke (2021) ortak kullanımlı taksi rotalama problemi üzerinde çalışmışlardır. Problemlerinde farklı yerlerde bulunan ve farklı yerlere giden müşterilerin ortak bir taksi ile yolculuk yapılması sağlanmaktadır. Problem çözümü için kısıt programlama yöntemi kullanılmış ve Oberharz alanı (Almanya) bazında bir veri seti kurgulanarak yöntem sınanmıştır. Shi ve Lian (2016) taksi kaynak kullanımını maksimize etmeyi amaçlayan stokastik bir problem üzerine çalışmışlardır. Taksi ve yolcuların sisteme Poisson süreci ile geldiği bir kuyruk sistemi gözlemlenebilir ve gözlemlenemez durumları için incelenmiştir.

Literatürde taksi durak ve elektrikli araç istasyonları için atama ve yerleşim, taksi seyahat çizelgelemesi ve sevk problemleri gibi taksiler için yapılmış birçok çalışma olmasına rağmen duraklardaki gelir düzeyini dengeleme amacıyla taksilerin taksi duraklarına atanması problemi çalışılmamıştır. Dolayısıyla ele alınan bu çalışma bu alanda ilk çalışma olmasından dolayı literatüre katkı sağlamaktadır.

### 3. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL

Bu çalışmada taksi araçlarının taksi duraklarına atanması problemi ele alınmıştır. Problemde belirli bir sayıda ( $N$  adet) taksi olduğu ve bu taksilerin özdeş kapasite ve yeterlilikte olduğu varsayılmıştır. Aynı şekilde, taksi durak sayısı da belirli ve sabit ( $I$  adet) olarak kabul edilmiştir. Temel amaç, bu  $N$  adet taksiden kaç tanesinin hangi duraklara atanması gerektiğini belirlemektir. Atamalar yapılırken mevcut taksi planına göre gerçekleşen müşteri sayıları, her taksinin çalışma sıklığı ve her müşteriden elde edilen ortalama getiri dikkate alınmıştır. Günlük ortalama müşteri sayısı tam olarak bilinemediği için alt ve üst seviyeler belirlenmiş, ortalama müşteri sayısı da bu

alt ve üst seviyenin ortalaması olarak alınmıştır. Müşteri sayılarında dönemsel bazda farklılık yüksek olduğundan dolayı gerçekçi sonuçlara ulaşmak için müşteri talepleri aylık bazda tutulmuş ve planlamada dönemler dikkate alınmıştır. Ayrıca, bazı özel durumlarda işlerin aksamaması için taksi duraklarında belirlenen sayının altında taksi olmaması gerekmektedir. Bundan dolayı da taksi duraklarında en az olması gereken taksi sayıları da dikkate alınmıştır.

Bu planlama sürecinde, her taksi durağında bulunan taksilerin gelirlerini olabildiğince birbirine eşitlenmesi hedeflenmektedir. Bu amaç doğrultusunda, önerilen modelin amaç fonksiyonu ortalamadan sapmaları en aza indirmektir. Ancak ortalamanın altında kalınmamasının ortalama üzerinde kalınmasından daha önemli olduğu varsayımı ile belirli bir katsayı kullanılmıştır.

Problem çözümü için iki farklı matematiksel model geliştirilmiş ve iki alternatif çözüm elde edilmesi hedeflenmiştir. Model kurulurken her taksi durağının her gün çalışacağı varsayılmıştır. Modellerin temel yapıları ayındır, aralarındaki fark günlük gelir sapmalarının hesaplandığı kısımdır. 1. Alternatif çözümü oluşturan modelde ortalamaya göre sapmalar hesaplanırken, 2. Alternatif çözümde de en düşük ve en yüksek müşteri sayılarına göre sapmalar hesaplanmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda aşağıdaki kısıtlar dikkate alınmıştır.

- 1. Alternatif modelde ortalama gelire göre sapmaların bulunmasını sağlanmıştır.
- 2. Alternatif modelde maksimum gelire göre ve minimum gelire göre sapmaların hesaplanması sağlanmıştır.
- Her iki modelde de her duraktaki taksi sayısının belirtilen minimum taksi sayısından daha fazla olması gerekliliği sağlanmıştır.
- Duraklara atanan taksi sayılarının toplamının göz önüne alınan tüm bölgedeki toplam taksi sayısına eşitlenmesi sağlanmıştır.

Oluşturulan matematiksel modelin parametreleri karar değişkenleri ve denklemleri aşağıda verilmiştir.

Parametreler:

$i, j$	taksi durağı ( $i = 1, 2, \dots, I$ )
$t$	aylar ( $t = 1, 2, \dots, T$ )
$N$	bölgedeki toplam taksi sayısı
$w$	ortalama altında gelirin olmasının ortalama üstünde olmasına göre katsayısı
$WF_{it}$	$i$ durağındaki taksilerin $t$ periyodundaki çalışma sıklığı
$C_{it}^{ort}$	$i$ durağındaki taksilerin $t$ periyodundaki taksi başına günlük ortalama müşteri sayısı
$C_{it}^{mak}$	$i$ durağındaki taksilerin $t$ periyodundaki taksi başına günlük belirtilen maksimum müşteri sayısı
$C_{it}^{min}$	$i$ durağındaki taksilerin $t$ periyodundaki taksi başına günlük belirtilen minimum müşteri sayısı
$IN_i$	$i$ durağındaki mevcut taksi sayısı
$R_i$	$i$ durağındaki bir müşteriden elde edilen ortalama gelir
$AR_t^{ort}$	$t$ periyodundaki ortalama günlük gelir (bütün taksilerin ortalaması).
$AR_t^{mak}$	$t$ periyodundaki maksimum müşteri sayılarına göre ortalama günlük gelir (bütün taksilerin ortalaması).
$AR_t^{min}$	$t$ periyodundaki minimum müşteri sayılarına göre ortalama günlük gelir (bütün taksilerin ortalaması).
$Min_i$	$i$ durağında olması gerektiği belirtilen minimum taksi sayısı

Ortalama, maksimum ve minimum müşteri sayılarına göre ortalama gelir sırasıyla  $AR_t^{ort}$ ,  $AR_t^{mak}$  ve  $AR_t^{min}$  şeklinde gösterilmiştir.  $AR_t^{ort}$ ,  $AR_t^{mak}$  ve  $AR_t^{min}$  değerlerinin hesapları sırasıyla 1, 2 ve 3 numaralı formüllerle yapılmaktadır. Denklemlerin pay kısmı duraktaki taksilerin çalışma sıklığı 0 olduğunda ( $WF_{it} = 0$ ) 0 olarak alınmıştır.

$$AR_t^{ort} = \frac{\sum_{i=1}^I \frac{C_{it}^{ort} \times IN_i \times R_i}{WF_{it}}}{N} \quad (1)$$

$$AR_t^{mak} = \frac{\sum_{i=1}^I \frac{C_{it}^{mak} \times IN_i \times R_i}{WF_{it}}}{N} \quad (2)$$

$$AR_t^{min} = \frac{\sum_{i=1}^I \frac{C_{it}^{min} \times IN_i \times R_i}{WF_{it}}}{N} \quad (3)$$

Matematiksel model için olması gereken karar değişkenleri şu şekildedir.

Karar Değişkenleri:

$T_i$   $i$  durağındaki taksi sayısı.

$D_{it}^+$   $i$  durağının  $t$  periyodunda durağın ortalama gelirinden fazla elde edilen gelir miktarı.

$D_{it}^-$   $i$  durağının  $t$  periyodunda durağın ortalama gelirinden az elde edilen gelir miktarı.

Birinci alternatif matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I (D_{it}^+ + wD_{it}^-) \quad (4)$$

Kısıtlar

$$T_i \times AR_t^{ort} - D_{it}^+ + D_{it}^- = \frac{C_{it}^{ort} \times IN_i \times R_i}{WF_{it}} \quad i = 1, 2, \dots, I; t = 1, 2, \dots, T \quad (5)$$

$$T_i \geq \text{Min}_i \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (6)$$

$$\sum_i T_i = N \quad (7)$$

$$T_i \geq 0, \text{ Tamsayı} \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (8)$$

$$D_{it}^+, D_{it}^- \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, I; t = 1, 2, \dots, T \quad (9)$$

Amaç fonksiyonu (4) ortalama gelirden sapmayı en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu fonksiyonda ortalamanın altında gelirin olması ortalamanın üstünde olmasına göre  $w$  kat daha önem taşımaktadır. Kısıt kümesi (5) ortalama gelire göre sapmaların bulunmasına yardımcı olmaktadır. Kısıt kümesi (6) her duraktaki taksi sayısının belirtilen taksi sayısından daha fazla olması gerektiğini sağlamaktadır. Kısıt kümesi (7) bulunan duraklardaki taksi sayılarının toplamını toplam taksi sayısına eşitlemektedir. Kısıt kümesi (8) duraktaki taksi sayılarının negatif olmayan tamsayılardan oluşması gerektiğini göstermektedir. Kısıt kümesi (9) ise sapma miktarların negatif olmamasını sağlamaktadır.

İkinci alternatif matematiksel modelin amaç fonksiyonu birinci alternatif model ile aynı olup kısıtları aşağıda verilmiştir.

Kısıtlar

$$T_i \times AR_t^{mak} - D_{it}^+ + D_{it}^- \geq \frac{C_{it}^{ort} \times IN_i \times R_i}{WF_{it}} \quad i = 1, 2, \dots, I; t = 1, 2, \dots, T \quad (10)$$

$$T_i \times AR_t^{min} - D_{it}^+ + D_{it}^- \leq \frac{C_{it}^{ort} \times IN_i \times R_i}{WF_{it}} \quad i = 1, 2, \dots, I; t = 1, 2, \dots, T \quad (11)$$

Kısıt setleri (6) – (9)

Kısıt kümesi (10) gelirin maksimum gelire göre sapmasını, kısıt kümesi (11) ise minimum gelire göre sapmasını hesaplamaktadır.

### 3.1. Örnek Bir Problem Üzerine Uygulama

Matematiksel modelin sonuçlarını incelemek için, 3 taksi durağı ve 3 periyodun dikkate alındığı örnek bir problemi oluşturuldu. Örnek problem için gerekli veriler Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’deki ilk 3 sütun durak ve ay bazında minimum, ortalama ve maksimum müşteri sayılarını, parantez içinde de çalışma sıklığını göstermektedir. Sonraki sütunler ise sırasıyla mevcut taksi sayısını, en az olması gereken taksi sayısını ve müşteri başına ortalama geliri göstermektedir.

**Tablo 2. Örnek Problem Verileri**

$i \setminus t$	$C_{it}^{min}, C_{it}^{ort}, C_{it}^{mak}(WF_{it})$			$IN_i$	$Min_i$	$R_i$
	1	2	3			
1	6, 7, 8 (1)	4, 5, 6 (1)	6, 7, 8 (1)	13	10	80
2	6, 7, 8 (1)	4, 5, 6 (1)	7, 8, 5, 10 (1)	9	5	70
3	5, 6, 7 (1)	5, 6, 7 (1)	5, 6, 7 (1)	15	10	70

Bu veriler doğrultusunda elde edilen ortalama, maksimum ve minimum müşteri sayılarına göre ortalama gelir değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 3. Örnek Problemin Ortalama, Maksimum ve Minimum Müşteri Sayılarına Göre Ortalama geliri**

$t$	1	2	3
$AR_t^{min}$	412,70	322,43	429,73
$AR_t^{ort}$	486,22	395,95	511,76
$AR_t^{mak}$	559,73	469,46	593,78

Sonrasında matematiksel modelimizi çalıştırdığımızda birinci alternatif model sonucunda Durak 1, 2, ve 3 için sırasıyla 15, 9, 13 taksi sayıları bulunmuştur. Aynı şekilde ikinci alternatif modelin sonucunda ise 14, 9, 14 taksi sayıları belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre mevcut durum ve alternatif modeller aracılığıyla oluşan taksi başına ortalama gelir Tablo 4'te verilmiştir. Sapmalar incelendiğinde, önerilen modellerdeki sapmaların daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ortalama sapmalar mevcut durum, Alternatif 1 ve 2'de sırasıyla 66,2, 48,3 ve 53,4 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 4. Örnek Probleme Göre Mevcut ve Alternatif Modellerin Karşılaştırılması.**

$i \setminus t$	Mevcut			Alternatif 1			Alternatif 2		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	560	400	560	485	347	485	520	371	520
2	490	350	595	490	350	595	490	350	595
3	420	420	420	485	485	485	450	450	450
Standard sapma	70	36	93	3	79	64	35	53	73

#### 4. UYGULAMA ÇALIŞMASI

Bu çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu öncelikle belirtmek isteriz. Çözüm sürecinde kullanılan uygulama çalışmasında, incelenen bölgede toplam 883 taksi faaliyet göstermekte olup, bu taksilerin 55 farklı durağa atanması planlanmıştır. Çalışma kapsamında taksi duraklarının isimleri ve konumları bilinmekte olup, problemde 1'den 55'e kadar numaralandırılarak temsil edilmiştir. Mevcut durumda duraklardaki taksi sayıları 3 ile 49 arasında değişmektedir. Matematiksel model, ILOG CPLEX Studio IDE'nin 22.1.0 versiyonlu optimizasyon programıyla başarılı bir şekilde çözülmüştür.

Ele alınan problemin girdilerinden olan mevcut durumda taksi duraklarında çalışan taksilere ait aylık bazda çalışma sıklığı ilgili esnaf odası vasıtasıyla elde edilmiştir. Çalışan taksilerin çalışma sıklığının, sezonun turizm sezonu olup olmamasına bağımlı olarak değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.

**Tablo 5. Duraklarda Çalışan Taksilerin Çalışma Sıklığı**

Durak	Aylar											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
6	6	6	6	6	1	1	1	1	1	1	6	6
7	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
11	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
12	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
15	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
24	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
25	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	3	3
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3	3
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
35	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
36	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
39	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
41	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
42	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	3	3	3	3	2	2	1	1	1	2	3	3
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
46	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
48	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3
49	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
51	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
54	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	3	3
55	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0

Tablo 6. Bildirilen En Düşük ve En Yüksek Müşteri Sayısı

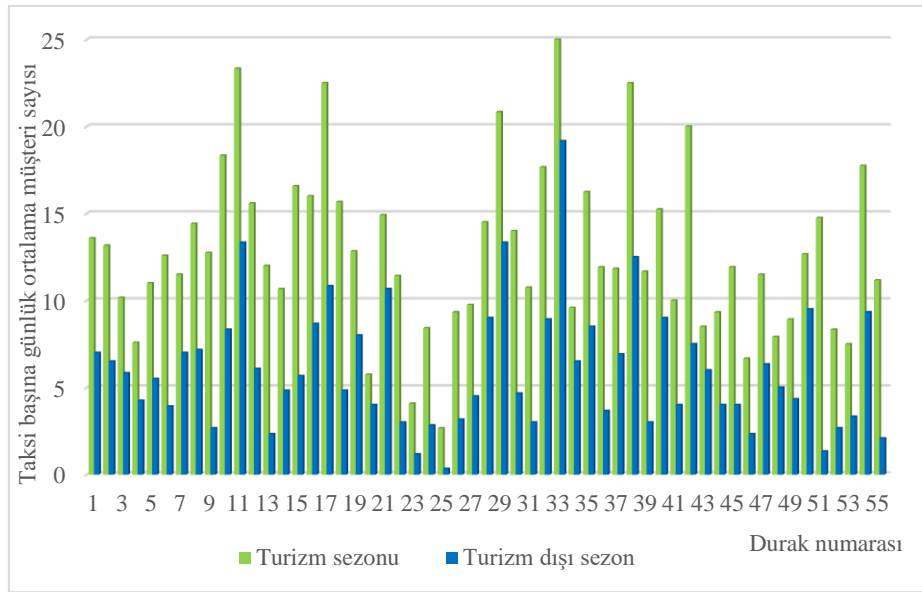
Durak	Aylar											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6-8	4-6	6-8	6-8	12-14	15-20	15-20	15-20	8-10	8-10	6-8	6-8
2	6-8	4-6	7-10	10-12	13-15	13-15	14-17	14-17	8-10	6-8	5-7	4-7
3	5-7	5-7	5-7	7-10	7-10	10-12	12-14	10-12	8-10	6-8	5-7	3-5
4	3-6	4-6	4-6	4-6	5-7	7-10	8-12	8-10	6-8	4-6	2-4	2-4
5	4-6	4-6	4-6	4-6	5-7	15-17	15-17	15-17	6-8	6-8	5-7	4-6
6	2-4	2-4	4-6	13-15	13-15	12-14	12-15	12-15	5-10	5-10	2-4	1-3
7	5-8	5-8	7-9	7-9	10-15	10-15	12-16	12-14	8-10	8-10	6-8	4-6
8	5-10	5-10	5-10	10-15	10-15	14-16	15-20	15-18	10-15	5-10	5-8	5-8
9	1-3	1-3	1-3	1-3	5-6	15-20	18-20	18-20	12-15	3-5	3-5	1-3
10	5-10	5-10	5-10	10-15	10-15	20-25	20-25	25-30	10-15	10-15	5-10	5-10
11	10-15	10-15	10-15	15-20	15-20	25-30	25-30	25-30	20-25	15-20	10-15	10-15
12	3-7	3-7	3-7	5-10	5-10	20-25	20-25	20-25	10-12	8-10	5-10	3-7
13	1-3	1-3	1-3	4-7	5-8	15-20	15-20	15-20	5-10	2-4	2-4	1-3
14	3-5	3-5	3-5	3-6	8-10	12-15	13-15	13-15	8-10	6-8	4-6	4-6
15	3-5	3-5	8-10	8-10	8-10	20-25	25-30	20-25	8-10	8-10	2-6	2-6
16	6-8	6-8	6-8	10-12	10-12	20-22	20-22	20-22	10-12	10-12	10-12	8-10
17	5-10	5-10	5-10	15-20	15-20	20-25	30-35	20-25	20-25	15-20	15-20	5-10
18	2-6	2-6	2-6	5-9	10-12	18-22	22-25	22-25	8-10	8-10	2-6	2-6
19	4-6	4-6	4-6	6-8	10-12	10-12	15-17	15-17	15-17	10-12	10-12	10-12
20	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	5-10	5-10	5-10	3-5	3-5	3-5	3-5



21	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	15-20	15-20	18-20	15-20	13-15	8-10	13-15
22	2-4	2-4	2-4	5-7	8-10	10-15	15-20	15-20	5-7	2-4	2-4	2-4
23	0-2	0-2	0-3	0-3	0-3	6-8	6-8	4-8	0-3	0-3	0-2	0-2
24	2-4	2-4	2-4	2-4	6-8	10-15	10-15	10-15	2-4	2-4	2-4	1-3
25	0-0	0-0	0-0	0-0	1-3	3-5	3-5	3-5	1-3	1-3	0-0	0-0
26	2-4	2-4	2-4	2-4	3-5	14-16	14-16	14-16	3-5	3-5	2-4	2-4
27	3-5	3-5	3-5	5-9	5-9	10-15	10-15	10-15	5-9	5-9	3-5	3-5
28	6-9	6-9	6-9	10-13	10-13	10-15	18-20	18-20	12-15	12-15	8-10	8-10
29	10-15	10-15	10-15	15-20	15-20	20-25	25-30	20-25	15-20	15-20	10-15	10-15
30	4-6	4-6	4-6	4-6	10-15	15-20	20-25	15-20	8-10	5-7	3-5	2-4
31	2-4	2-4	2-4	6-8	10-15	10-15	10-15	10-15	5-10	2-4	2-4	2-4
32	5-8	5-8	5-8	14-16	14-16	14-16	20-22	20-22	18-20	18-20	5-10	5-10
33	15-20	15-20	15-20	15-20	20-25	25-30	30-35	25-30	20-25	20-25	20-25	15-20
34	5-7	5-7	5-7	5-7	5-10	10-12	10-12	10-12	10-12	8-10	5-7	5-7
35	6-8	6-8	13-15	13-15	15-20	18-20	18-20	18-20	8-10	8-10	6-8	6-8
36	1-5	1-5	1-5	5-7	5-7	15-20	15-20	15-20	6-8	6-8	1-5	1-5
37	5-6	5-6	5-6	8-9	8-9	12-13	14-15	14-15	12-13	9-10	9-10	5-7
38	5-10	5-10	15-20	15-20	15-20	20-25	25-30	25-30	20-25	15-20	10-15	10-15
39	0-0	0-0	0-0	4-6	6-8	12-16	15-20	15-20	8-10	8-10	8-10	0-0
40	8-10	8-10	8-10	10-15	10-15	15-20	20-25	15-20	8-10	8-10	8-10	8-10
41	3-5	3-5	3-5	8-10	8-10	10-12	10-12	10-12	8-10	3-5	3-5	3-5
42	5-7	5-7	5-7	14-16	14-16	20-25	20-25	20-25	20-25	14-16	5-7	5-7
43	4-6	4-6	6-8	6-8	7-9	8-10	10-12	8-10	6-8	6-8	6-8	4-6
44	2-4	2-4	2-4	3-5	6-8	10-12	10-15	10-15	8-10	8-10	2-4	2-4
45	1-5	1-5	1-5	5-7	6-8	15-20	15-20	15-20	5-7	5-7	5-7	1-5
46	1-3	1-3	1-3	2-6	2-6	8-10	8-12	8-10	2-6	2-6	1-3	1-3
47	4-6	4-6	4-6	7-10	7-10	10-12	15-17	13-15	10-12	8-12	6-10	4-6
48	4-6	4-6	4-6	4-6	5-8	8-12	10-12	8-12	4-6	4-6	4-6	4-6
49	3-5	3-5	3-5	5-7	5-7	10-14	10-15	10-12	5-7	5-7	3-5	3-5
50	8-10	8-10	8-12	8-12	8-12	10-12	15-20	15-20	8-12	8-12	8-12	8-10
51	0-0	0-0	0-0	10-15	10-15	14-18	15-20	15-20	10-15	7-9	0-0	0-0
52	1-3	1-3	1-3	4-6	4-6	8-12	10-12	10-12	7-9	5-7	1-3	1-3
53	2-4	2-4	2-4	5-7	5-7	8-10	8-10	8-10	5-7	4-6	2-4	2-4
54	8-10	8-10	8-10	8-10	15-20	15-20	20-25	20-25	15-20	10-12	8-10	8-10
55	0-0	0-0	0-0	6-10	8-10	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	0-0	0-0

Aylık çalışma sıklığı, Tablo 5’te verilmiş olup Tablodaki “1” rakamı ilgili taksinin her gün çalıştığını, “2” sayısı da taksinin iki günde bir defa işe gittiğini göstermektedir. Tabloda belirtilen “0” sayısı ise taksinin o ayda hiçbir gün işe gitmediğini belirtmektedir.

Her taksi durağına ait ay bazında bir taksinin günlük en yüksek ve en düşük müşteri sayıları verisi elde edilmiş ve bu veriler Tablo 6’da sunulmuştur. Tablo 6 en düşük ve en yüksek müşteri sayılarını ayrıntılı olarak göstermektedir. Ortalama müşteri sayısı belirlenirken, bu iki sayının ortalaması alınmıştır. Ortalama müşteri sayının da taksi çalışma sıklığındaki gibi turizm sezonunda olup olmamasına göre farklı olduğu gözlemlenmiştir. Taksi durakları için ortalama müşteri sayıları, turizm sezonu ve turizm dışı sezon olarak ayrıştırılarak Grafik 1. de gösterilmektedir.



**Grafik 1. Duraklara Göre Turizm ve Turizm Dışı Sezonu Olarak Ayrılmış Ortalama Müşteri Sayıları**

Geliştirilen matematiksel modelin girdilerinden olan mevcut taksi sayısı, olması gereken en düşük taksi sayısı ve bir müşterinin ortalama getirisi de Tablo 7 de verilmiştir. Buradaki taksi sayısı toplamı 881 adettir, ancak 2 taksi serbest çalıştığından dolayı duraklara eklenmemiştir. Olması gereken en düşük taksi sayısı, her durağın yoğunluğu dikkate alınarak ilgili esnaf odası başkanlığı tarafından belirlenmiştir. Bir müşterinin ortalama getirisi de yaklaşık değer olarak ilgili esnaf odası tarafından belirlenmiştir. 41 Numaralı taksi durağındaki 8 taksi sırası ile çalışmamaktadır, dolayısıyla oradaki aktif taksi sayısı 49'dur. Bundan dolayı hesaplamaları yaparken 41 numaralı taksi durağının taksi sayısı 41 olarak alınmış olup, işlemler bittikten sonra 8 taksi tekrardan durağa eklenmiştir.

**Tablo 7. Duraklara Ait İlgili Veriler**

Durak	Mevcut Taksi Sayısı	Olması Gereken En Düşük Taksi Sayısı	Bir Müşterinin Ortalama Getirisi (PB*)	Durak	Mevcut Taksi Sayısı	Olması Gereken En Düşük Taksi Sayısı	Bir Müşterinin Ortalama Getirisi (PB*)
1	13	10	80	29	12	12	150
2	9	5	70	30	38	35	175
3	15	10	70	31	18	12	70
4	29	15	70	32	11	8	70
5	26	15	70	33	30	30	125
6	38	35	175	34	8	5	70
7	15	10	70	35	26	18	70
8	7	5	70	36	11	7	70
9	6	4	70	37	12	7	70
10	22	20	70	38	30	30	125
11	15	15	85	39	33	30	200
12	23	20	125	40	6	6	90
13	12	8	70	41	49	25	70
14	11	8	70	42	17	15	70
15	21	15	70	43	7	5	70
16	15	15	70	44	18	10	70
17	6	6	80	45	9	6	70
18	19	15	70	46	12	7	70
19	10	7	70	47	12	7	70
20	3	3	70	48	33	15	70
21	7	5	70	49	17	10	70

22	14	8	70	50	16	16	150
23	6	3	70	51	32	30	200
24	13	5	70	52	8	5	70
25	3	3	175	53	5	3	70
26	8	5	70	54	15	12	70
27	10	7	70	55	9	9	175
28	11	11	175				

\* PB: Para Birimi

Bu verilerin dışında, her taksi durağında en az 3 taksinin olması gerektiği ve ayrıca bir taksinin gelirinin ortalamasının altında olmamasının, ortalamasının üstünde olmamasından 2 kat daha önemli olduğu belirlenmiştir.

## 5. BULGULAR

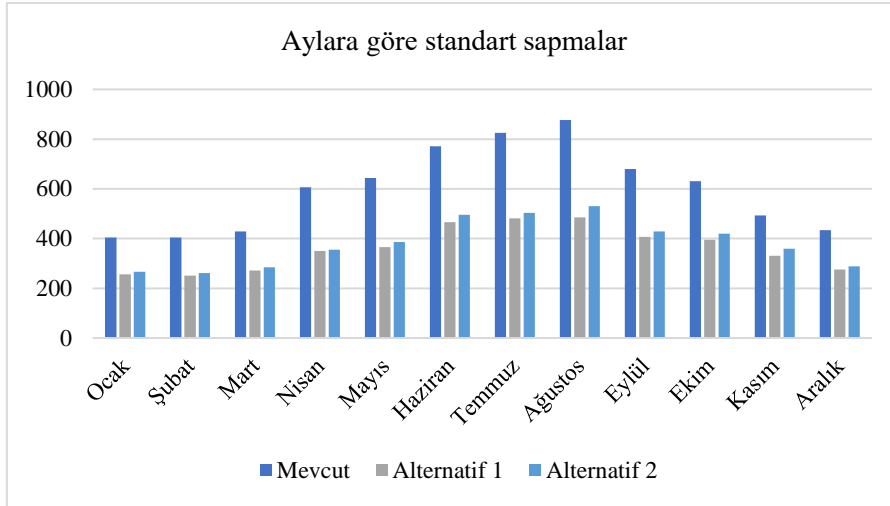
Yukarıda verilen girdilerle birlikte, daha önce de belirtildiği gibi, 2 farklı matematiksel model geliştirilmiştir. İlk matematiksel model, bir duraktaki taksilerin ortalama gelirden sapmalarını minimize etmeye yönelik olarak ortalama müşteri sayılarını dikkate almış ve çalıştırılmıştır. İlk matematiksel model sonucunda elde edilen duraklara ait taksi sayıları Tablo 8'teki Alternatif 1 adlı sütunda verilmiştir. İkinci matematiksel model ise en düşük ve en yüksek müşteri sayılarını dikkate alarak ortalama gelirden sapmayı en aza indirecek şekilde kurgulanmıştır ve çalıştırılmıştır. İkinci matematiksel modelin sonuçları ise Tablo 8'teki Alternatif 2 adlı sütununda verilmiştir.

**Tablo 8. Model Çözümünden Elde Edilen Alternatif Çözümler**

Durak	Mevcut Taksi Sayısı	Alternatif 1 Önerilen Sayı	Alternatif 2 Önerilen Sayı	Durak	Mevcut Taksi Sayısı	Alternatif 1 Önerilen Sayı	Alternatif 2 Önerilen Sayı
1	13	10	10	29	12	28	27
2	9	6	6	30	38	55	61
3	15	10	10	31	18	12	12
4	29	15	15	32	11	9	9
5	26	15	15	33	30	68	68
6	38	50	47	34	8	5	5
7	15	10	10	35	26	19	18
8	7	5	5	36	11	7	7
9	6	4	4	37	12	7	8
10	22	20	20	38	30	60	64
11	15	20	19	39	33	59	56
12	23	29	32	40	6	6	6
13	12	8	8	41	49	26	25
14	11	8	8	42	17	15	15
15	21	15	17	43	7	5	5
16	15	15	15	44	18	10	10
17	6	8	8	45	9	6	6
18	19	15	15	46	12	7	7
19	10	7	7	47	12	7	7
20	3	3	3	48	33	15	15
21	7	6	6	49	17	10	10
22	14	8	8	50	16	23	22
23	6	3	3	51	32	62	59
24	13	5	5	52	8	5	5
25	3	3	3	53	5	3	3
26	8	5	5	54	15	13	12
27	10	7	7	55	9	11	11
28	11	20	19				

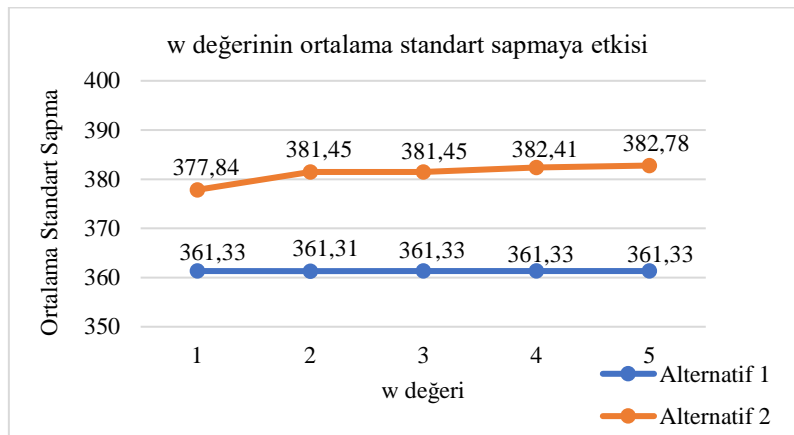
Tablo 8 incelendiğinde bazı duraklardaki taksi sayılarında artmalar, bazılarında ise azalmalar olmuştur. Çalışmanın amacı taksilerin aylık gelir düzeylerinin dengelenmesidir. Bu da müşteri sayısı ile birlikte müşteri başına ortalama gelire bağlıdır. Dolayısıyla müşterisi çok olan veya müşteri başına geliri çok olan duraklarda taksi sayılarının artması doğaldır. Tablo 8'de 38 ve 51 numaralı duraklarda taksi sayılarının artması buna örnek verilebilir.

Matematiksel modellerin etkinliğini değerlendirmek amacıyla, taksilerin gelirlerinin aylara göre standart sapmasını hem mevcut durum ve alternatif çözümler için incelenmiştir. Elde edilen standart sapmaların aylara göre dağılımı, Grafik 2’de gösterilmiştir. Grafik 2’ye bakıldığında, önerilen çözümlerin mevcut sistemle karşılaştırıldığında daha az bir sapmaya yol açtığı gözlemlenmektedir. Alternatif çözümlerin ise birbirlerine yakın seviyede sapma oluşturduğu görülmektedir. Standart sapmaların ortalamalarına göz attığımızda, mevcut durumda 599,7 PB’lik bir sapma olduğu, Alternatif 1’de 361,3 PB ve Alternatif 2’de ise 381,5 PB olmuştur. Bu sonuçlara göre alternatif 1 çok az farkla olsa da Alternatif 2’den daha iyi bir sonuç verdiği söylenebilir. Mevcut duruma göre kıyaslandığında ise Alternatif 1 ve 2 sırasıyla % 39.8 ve %36.4 daha az sapma oluşturmuştur. Dolayısıyla önerilen çözümlerle daha adil bir gelir dağılımı sağlayabileceği söylenebilir. Ayrıca, Grafik 2 incelendiğinde yaz aylarında sapmanın kış aylarına göre daha yüksek olduğu sonucuna varılabilir.



**Grafik 2. Aylara Göre Çözümlerin Standart Sapmaları**

Amaç fonksiyonunda bulunan ortalama altında gelirin, ortalama üstünde olmasına göre katsayısının ( $w$ ) taksi gelirlerindeki standart sapmasına olan etkisini incelenmiştir. Bu kapsamda, 1’den 5’e kadar farklı tamsayı  $w$  değerleri kullanılarak her iki modelde çözülmüş olup karşılık gelen standart sapmalar hesaplanmıştır.  $w$  değerinin her iki modelin de sonucuna olan etkisi Grafik 3’te görselleştirilmiştir. Alternatif 1 model sonuçlarında  $w$  değerinin 2 olduğu durumda çok az bir düşüş gözlemlenmiştir, ancak diğer  $w$  değerleri benzer sonuçlar vermiştir. Aynı şekilde 2. Alternatif modelde ise  $w$  değeri arttıkça ortalama standart sapma artmıştır, ancak bu artış belirgin değildir. Bu grafiklerden yola çıkarak,  $w$  değerinin sonuçlara etkisinin olmadığı sonucuna varılabilir.



**Grafik 3. w Değerinin Taksi Gelirlerindeki Standart Sapmaya Etkisi**

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şehir içi ulaşımda etkin olan taksi taşımacılığı, artan nüfusla birlikte kendi içerisinde problemler barındırmaktadır. Turistik bir bölge olan Alanya’da taksi durak planlaması 1996 yılında yapılmıştır ve günceliğini yitirmiştir. Bu nedenle günümüzde durak yoğunlukları ve taksiler arasında oluşan gelir eşitsizliği oluşmuş ve önemli bir sorun teşkil etmektedir.

Bu çalışmada Antalya ili Alanya ilçesinde faaliyet gösteren 881 taksinin gelir eşitsizliği ve durak yoğunluğu problemi ele alınmıştır. Problemin çözümünde, bu taksilerin 55 durağa atama planlamasını yaparken aylık bazda

taksi başına gelir dağılımının dengelenmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda alternatif iki karma tamsayıli model önerilmiştir. Bu çalışma, Alanya'daki taksi duraklarındaki en uygun taksi sayılarını belirlemek amacıyla gerçek veri setleri kullanmıştır. Ortalama müşteri sayılarını ve çalışma sıklıklarını dikkate alarak ortalama gelir sapmasını en aza indirecek şekilde iki farklı matematiksel model çözülmüştür. İki farklı model sonucunda elde edilen farklı alternatif sonuçlar sunulmuştur.

Model ve çözüm önerilerinde, faaliyet gösteren tüm taksilerin aylık gelirlerinin birbirine oranla olabildiğince eşitlenmesi amaçlanmıştır. Bu çerçevede, bir taksinin ortalama geliri, genel ortalama gelire göre biraz daha düşük veya yüksek olabilir. Ortalamanın üstünde kalmanın, altında kalmaya göre önemini belirleyen oran üzerinden duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan duyarlılık analizi sonuçları, bu oranın sonuçlara çok da etkisinin olmadığını göstermektedir.

Elde edilen sonuçlara göre alternatif çözümler mevcut duruma göre %39,8 ve %36,4'e yakın bir seviyede daha dengeli bir gelir dağılımı sağlayacağını göstermektedir. Böylelikle hem taksi sahipleri açısından hem de taksi müşterilerinin taksilere erişimi açısından daha verimli bir sistem elde edilecektir. Karar verici için ayrıca ikinci bir alternatif sunulması ile yine dengeli bir taksi dağılımı yapılmış olup karar vericiye seçenek sunulmuştur. Çalışmada, değişime olan direnç gibi bazı sosyal kısıtlar önerilen matematiksel modele eklenmediği için alternatif çözümler oluşturularak nihai seçim karar vericilere bırakılmıştır.

Bu çalışma, gelecekteki araştırmalara zemin oluşturabilecek bir niteliğe sahiptir. Problem alanı, taksi durakları için yer seçimi ve yeni bir taksi durağının eklenmesi gibi kavramlar eklenilerek çalışmaya uygundur. Ayrıca, gelecekteki taksi müşteri tahminlerin dikkate alındığı, ileriye dönük taksi durakları ve taksi taşımacılığında kapasite planlaması gibi konular, gelecekteki çalışmaların odak noktaları olabilir.

## EXTENDED SUMMARY

### Introduction and Research Purpose

Taxi transportation, which is effective for urban transport, faces its own challenges with the increasing population. Taxis can operate independently compared to other modes of transportation within the city. This independence provides an advantage of easy accessibility in meeting passenger transport needs. However, there can be issues with accessing taxis in practice. One reason for this is the limited number of taxis, while another significant reason is the faulty planning of the distribution of vehicles at taxi stands, which are designated areas where taxis wait for passengers in certain regions.

In Alanya, a touristic district of Antalya province, taxi-stand planning was conducted decades ago and has become outdated. Currently, it has been observed that at some stands, taxis are waited for hours without sufficient availability, while at other stands, taxis are underutilized. Additionally, it has been indicated by the relevant tradesmen's chamber that taxis at a few taxi stands do not even operate throughout the day. This situation not only negatively impacts customers using taxis, but also creates problems regarding daily earnings among taxi owners. Due to the current number of taxis at the stands, there is a significant disparity between taxi fare rates and the incomes generated by the taxis. The existing arrangement is regarded as unfair among the taxi owners.

This study addresses the income inequality and stand density problem of 881 taxis operating in Alanya. In solving this problem, the aim is to balance the monthly income distribution per taxi while planning the assignment of these taxis to 55 stands. In line with this goal, two alternative mixed-integer programming models have been proposed and solved using real data sets.

### Literature Review

There are number of studies in the literature on taxi vehicles and stands. Those studies generally focus on vehicle routing, determining stand locations, and identifying charging station locations for electric taxis. The uniqueness of this study lies in addressing an assignment problem aimed at reducing income inequality among taxis serving a specific city. While traditional taxi research in the literature typically focuses on strategies to increase operational efficiency, this study aims to provide a more balanced service from a social and economic perspective by emphasizing the fairness of income distribution. This approach could offer a valuable contribution to achieving economic balance in the taxi industry by bringing a different perspective to the existing problems in the sector.

### Research Problem and Methodology

The problem considered includes  $N$  number of taxis, all assumed to have identical capacity and qualifications. Moreover, there are  $I$  number of taxi stands at known locations. The main goal is to determine how many of these  $N$  taxis should be assigned to each stand. When making assignments, the number of customers at the current taxi stands, the frequency of each taxi's operation, and the average revenue generated from each customer are taken into account. Since the daily average number of customers cannot be known exactly, lower and upper bounds have been established, and the average customer number is taken as the mean of these bounds. Given the significant

periodic variation in customer numbers because of tourism, to achieve realistic results, customer demands have been recorded on a monthly basis. Additionally, it has to be ensured that the number of taxis at the stands does not fall below a specified amount to prevent service disruptions. Therefore, the minimum required number of taxis at each stand is also taken into account.

In the allocation process, the aim is to equalize the incomes of the taxis at each stand as much as possible. To this end, the objective function of the proposed model is to minimize deviations from the average. However, it is assumed that not falling below the average is more important than exceeding it, which has been factored in using a specific coefficient.

Two different mathematical models have been developed in order to obtain two alternative solutions. It is assumed that each taxi stand will operate every day in the model setup. The fundamental structures of the models are the same, with the difference lying in the section where daily income deviations are calculated. In the first alternative model, deviations from the average income are minimized. In the second alternative model, deviations from the maximum and minimum income are also considered. In both models, it is required that the number of taxis at each stand be greater than the specified minimum number. Moreover, the total number of taxis assigned to the stands has to be equal to the total number of taxis in the entire district.

## Results and Conclusions

The proposed models were tested and solved using real data sets. According to the results obtained, the alternative solutions provide a more balanced income distribution, approximately 39.8% and 36.4% better than the current situation. Thus, a more efficient system will be achieved both from the perspective of taxi owners and in terms of taxi customers' access to taxis. A second alternative was also presented to the decision-maker, providing another option with a balanced distribution of taxis. Since certain social criteria, such as resistance to change, could not be incorporated into the proposed mathematical model, alternative solutions were generated, and the final decision was left to the decision-makers.

The aim of the study was to equalize the monthly earnings of all operating taxis as much as possible. In this context, the average income of a taxi may be slightly lower or higher than the overall average income. A sensitivity analysis was conducted based on the ratio that determines the importance of being above the average compared to being below it. The results of the sensitivity analysis show that this ratio does not have a significant impact on the outcomes.

Future research may include incorporating concepts such as site selection for taxi stands and the addition of new taxi stands. Moreover, topics such as taxi stand capacity planning and forecasting future taxi demand could be extensions.

## KAYNAKÇA

- Amar, H. M., & Basir, O. A. (2018). A game theoretic solution for the territory sharing problem in social taxi networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(7): 2114-2124. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2825654>
- Anastasiadis, E., Angeloudis, P., Ainalis, D., Ye, Q., Hsu, P. Y., Karamanis, R., ... & Stettler, M. (2020). On the selection of charging facility locations for ev-based ride-hailing services: a computational case study. *Sustainability*, 13(1), 168. <https://doi.org/10.3390/su13010168>
- Bai, R., Li, J., Atkin, J. A., & Kendall, G. (2014). A novel approach to independent taxi scheduling problem based on stable matching. *Journal of the Operational Research Society*, 65(10): 1501-1510. <https://doi.org/10.1057/jors.2013.96>
- Billhardt, H., Fernández, A., Ossowski, S., Palanca, J., & Bajo, J. (2019). Taxi dispatching strategies with compensations. *Expert Systems with Applications*, 122: 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.001>
- Cilio, L., & Babacan, O. (2021). Allocation optimisation of rapid charging stations in large urban areas to support fully electric taxi fleets. *Applied Energy*, 295, 117072. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117072>
- Elting, S., & Ehmke, J. F. (2021). Potential of shared taxi services in rural areas—a case study. *Transportation Research Procedia*, 52: 661-668. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.079>
- Gülhan, G., & Yiğit, H. İ. (2018). Taksi duraklarının konum ve kapasitelerinin, erişilebilirlik ölçütleri ve nüfus dağılımı kapsamında değerlendirilmesi: Tekirdağ-Çorlu örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 8(3): 153-166. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/534393>

- Han, D., Ahn, Y., Park, S., & Yeo, H. (2016). Trajectory-interception based method for electric vehicle taxi charging station problem with real taxi data. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(8): 671-682. <https://doi.org/10.1080/15568318.2015.1104565>
- Jung, J., Chow, J. Y., Jayakrishnan, R., & Park, J. Y. (2014). Stochastic dynamic itinerary interception refueling location problem with queue delay for electric taxi charging stations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40: 123-142. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.01.008>
- Keawthong, P., Muangsin, V., & Gowanit, C. (2022). Location selection of charging stations for electric taxis: a Bangkok case. *Sustainability*, 14(17), 11033. <https://doi.org/10.3390/su141711033>
- Li, S. S. H. (2006). Multi-attribute taxi logistics optimization. (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology). <http://hdl.handle.net/1721.1/35112>
- Ma, H., Shen, N., Zhu, J., & Deng, M. (2020). A novel facility location problem for taxi hailing platforms: A two-stage neighborhood search heuristic approach. *Industrial Management & Data Systems*, 120(3), 526-546. <https://doi.org/10.1108/IMDS-07-2019-0380>
- Maciejewski, M., Bischoff, J., & Nagel, K. (2016). An assignment-based approach to efficient real-time city-scale taxi dispatching. *IEEE Intelligent Systems*, 31(1): 68-77. <https://doi.org/10.1109/MIS.2016.2>
- Mohri, S. S., & Akbarzadeh, M. (2018). Incomplete hub location model for designing van-taxi networks. *Transportation Research Record*, 2672(8): 619-628. <https://doi.org/10.1177/03611981187835>
- Öztemiz, F., Duran, M., & Karcı, A. (2022). Kent merkezindeki taksilerin oluşturduğu trafik yoğunluğunun azaltılması için bir çalışma. *Uluslararası Bilim Teknoloji ve Tasarım Dergisi*, 3(2): 102-115. <https://dergipark.org.tr/en/pub/istd/issue/74922/1113696>
- Pan, A., Zhao, T., Yu, H., & Zhang, Y. (2019). Deploying public charging stations for electric taxis: A charging demand simulation embedded approach. *IEEE Access*, 7: 17412-17424. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2894780>
- Seow, K. T., Dang, N. H., & Lee, D. H. (2009). A collaborative multiagent taxi-dispatch system. *IEEE Transactions on Automation science and engineering*, 7(3): 607-616. <https://doi.org/10.1109/TASE.2009.2028577>
- Shi, Y., & Lian, Z. (2016). Optimization and strategic behavior in a passenger-taxi service system. *European Journal of Operational Research*, 249(3):1024-1032. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.07.031>
- Qu, Z., Wang, X., Song, X., Pan, Z., & Li, H. (2019). Location optimization for urban taxi stands based on taxi GPS trajectory big data. *IEEE Access*, 7: 62273-62283. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2916342>
- Xu, J., Rahmatizadeh, R., Bölöni, L., & Turgut, D. (2018, October). Taxi dispatch planning via demand and destination modeling. In 2018 IEEE 43rd Conference on Local Computer Networks (LCN): 377-384. IEEE. <https://doi.org/10.1109/LCN.2018.8638038>
- Yang, J., Dong, J., & Hu, L. (2017). A data-driven optimization-based approach for siting and sizing of electric taxi charging stations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 77: 462-477. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.02.014>
- Zhu, C., & Prabhakar, B. (2017, December). "Reducing inefficiencies in taxi systems". In 2017 IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC): 6301-6306. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CDC.2017.8264609>