



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Otonom-paylaşımlı araç yönetim sistemi

## *Autonomous-shared vehicle management system*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Erdi ŞENER<sup>1</sup>, Aslı SEBATLI-SAĞLAM<sup>2</sup>, Fatih ÇAVDUR<sup>3</sup>

*ORCID*<sup>1</sup>: 0000-0002-5153-0680

*ORCID*<sup>2</sup>: 0000-0002-9445-6740

*ORCID*<sup>3</sup>: 0000-0001-8054-5606

**To cite to this article:** Şener E., Sebatlı-Sağlam A. ve Çavdur F., “Otonom-paylaşımlı araç yönetim sistemi”, *Journal of Polytechnic*, 26(1): 81-92, (2023).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Şener E., Sebatlı-Sağlam A. ve Çavdur F., “Otonom-paylaşımlı araç yönetim sistemi”, *Politeknik Dergisi*, 26(1): 81-92, (2023).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.931490

# Otonom-Paylaşımli Araç Yönetim Sistemi

## Autonomous-Shared Vehicle Management System

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Otonom-paylaşımli araçların yönetimi için web-tabanlı bir karar destek sisteminin geliştirilmesi / Development of a web-based decision support system for the management of autonomous-shared vehicles
- ❖ Araç atama probleminin çok-ürünlü ağ akış problemi bazlı bir yaklaşımla çözülmesi / Solving the vehicle assignment problem using a multi-commodity network flow problem-based approach
- ❖ Kullanıcı dostu bütünlük yapı sayesinde gerçek hayat problemlerinin dinamik olarak çözülmesi ve sonuçların raporlanması / Solving real life problems and reporting results dynamically via the user-friendly integrated system structure

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, otonom-paylaşımli araçların yönetimi için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. / In this study, a decision support system is developed for the management of autonomous-shared vehicles.



Şekil. Karar destek sisteminin bileşenleri / Figure. Components of the decision support system

### Amaç (Aim)

Otonom-paylaşımli araçlar için talep tabanlı araç atama probleminin dinamik koşullar altında minimum maliyetle çözümü amaçlanmıştır. / It is aimed to solve the demand-based vehicle assignment problem for autonomous-shared vehicles with minimum cost under dynamic conditions.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Veritabanı, web-tabanlı kullanıcı arayüzü ve çok-ürünlü ağ akış problemi bazlı karar mekanizmasından oluşan karar destek sistemi geliştirilmiştir. / A decision support system consisting of a database, a web-based user interface and a multi-commodity network flow problem-based decision engine is developed.

### Özgünlük (Originality)

Web teknolojilerinin kullanımıyla, gerçek hayat problemlerini dinamik olarak çözen ve sonuçları raporlayan kullanıcı dostu bütünlük sistem önerilmiştir. / With the use of web technologies, a user-friendly integrated system that dynamically solves real-life problems and reports results is proposed.

### Bulgular (Findings)

Bursa şehir merkezinin ele alındığı bir örnek olay için minimum maliyetli atamalar elde edilmiştir. / Minimum cost assignments are obtained for a case study in Bursa city center.

### Sonuç (Conclusion)

Otonom-paylaşımli araç sistemlerinin verimli yönetimi akıllı şehirlerin ve ulaşım sistemlerinin kurulmasında önemlidir. Trafik sıkışıklığı, çevre kirliliği ve kaynakların aşırı kullanımı gibi problemlerin çözümünde etkili olacağı düşünülmektedir. / Efficient management of autonomous-shared vehicle systems is important in the establishment of smart cities and transportation systems. It is thought to be effective in solving problems such as traffic congestion, environmental pollution and excessive use of resources.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Otonom-Paylaşımlı Araç Yönetim Sistemi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Erdi ŞENER, Aslı SEBATLI-SAĞLAM\*, Fatih ÇAVDUR**

Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.05.2021 ; Kabul/Accepted : 20.08.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 17.09.2021)

## ÖZ

Bu çalışmada, otonom-paylaşımlı araç yönetim sistemleri kapsamında, talep tabanlı araç atama problemi çözümü için bir karar destek sistemi prototipi geliştirilmiştir. Öncelikle, geliştirilen karar destek sistemi prototipi için talep yapısına uygun bir veritabanı tasarlanmıştır. Ardından, bütünlük bir sistem yapısı içerisinde, müşteri taleplerinin kaydedilebilmesi ve sistem yöneticisi tarafından görüntülenebilmesi için kullanıcı dostu web tabanlı bir arayüz tasarlanmıştır. Geliştirilen sistemin çalışması bir örnek uygulama üzerinde gösterilmesi amacıyla kent trafik yoğunluğu yüksek olan şehirlerden Bursa şehir merkezi ele alınmıştır. Oluşturulan uygulama kapsamında, müşteri taleplerini karşılamak üzere şehrin doğu-batı eksenini doğrultusundaki üç merkez ilçesinde (Yıldırım, Osmangazi ve Nilüfer) olmak üzere üç farklı konumda park istasyonu belirlenmiştir. Araç atama probleminin çözümü için çok-ürünlü ağ akış problemi bazlı bir model kullanılmıştır. Günümüzde paylaşımlı araç hizmetleri için hızla artmakta olan girişimlerin, araç konumlandırmalarını ve diğer operasyonlarını bu çalışmada kurgulanana benzer karar destek sistemleri kullanarak optimize etmelerinin verimlilik açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Paylaşımlı araç sistemi, araç atama problemi, araç filo yönetimi, ağ akış modeli, karar destek sistemleri.

# Autonomous-Shared Vehicle Management System

## ABSTRACT

In this study, a decision support system prototype is developed to solve the demand-based vehicle assignment problem within the scope of autonomous-shared vehicle management systems. First, a database suitable for the demand structure is designed for the developed decision support system prototype. Then, a user-friendly, web-based interface is designed so that customer requests can be stored and viewed by the system administrator in an integrated system design. An example case study is used to illustrate the system implementation where the city center of Bursa with its high urban traffic density is considered. In the case study, three parking stations are assumed to be located in three different central districts (namely Yıldırım, Osmangazi and Nilüfer) through the east-west direction of the city in order to meet customer demands. A multi-commodity network flow problem-based model is used to solve the vehicle assignment problem. It is thought that it will be beneficial in terms of the efficiency of the rapidly growing enterprises of shared-vehicle services to optimize their vehicle relocations and other operations using decision support systems similar to the one developed in this study.

**Keywords:** Shared vehicle system, vehicle allocation problem, vehicle fleet management, network flow model, decision support systems.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Otomobile dayalı hareketlilik sistemi, bunu karşılayabiller için önemli ölçüde kişisel özgürlük ve azımsanmayacak derecede ekonomik etkinlik sağlarken; güvenlik, enerji, çevresel etkiler, arazi kullanımı, trafik sıkışıklığı, zaman kullanımı ve erişim eşitliği açısından ciddi yan etkilerle ilişkilidir. Günümüzün otomobile dayalı ulaşım sisteminin sürdürülemez olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir [1]. Bununla birlikte, otomobiller yer yüzünde yalnızca yollarda değil, otoparklarda da yer işgal etmektedir ve park halinde geçirdikleri zaman göz ardı edilemeyecek boyuttadır. Dolayısıyla, bireysel araçların varlığı doğal kaynakların verimsiz kullanımına ve özellikle büyük şehirlerde geniş alanların kullanımına sebep olmaktadır [2].

Bazı ülkeler (örneğin, Almanya ve Kanada) bunu fark etmiş ve kısa vadeli bir kullanım, hareketlilik çözümü olarak araç paylaşımı fikrini benimsemiştir [3], [4]. Bu model, Fan [5] tarafından gerçekleştirilen çalışmada

ifade edildiği gibi müşterilerin bir aracı yalnızca ihtiyaç duyduklarında kullanmalarına olanak tanır. Böyle bir program doğal olarak birçok şehirdeki kentsel tıkanıklığı ve park sorunlarını hafifletmeye yardımcı olabilir. Özellikle, başarılı bir araç paylaşım programı oluşturmak için araç paylaşım operatörleri, dinamik ve belirsiz talepleri etkin bir şekilde yönetebilmeli ve stratejik araç tahsisi ve operasyonel araç yeniden tahsisi konusunda maliyetleri kontrol altında tutmak adına, hem zaman hem de alan açısından iyi kararlar verebilmeli ve aynı zamanda kârlarını artırmalıdır.

Araç paylaşım modelleri, operasyonel olarak düzenlenmeleri açısından temel olarak üç grupta incelenebilir [6]:

- Çift yönlü (istasyon temelli) model: Paylaşımda olan araçlar, mevcut servis sağlayıcısı ya da yerel yönetim tarafından tanımlanan park istasyonlarında konumlandırılır. Yolculuk, başladığı park istasyonunda bitirilmelidir. Dolayısıyla çift yönlü modelde, müşterinin kişisel ihtiyaçları için planlanabileceği ara

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta: aslisebatli@gmail.com

duraklara park etme işlemi dikkate alınmaz. Park istasyonları önceden tanımlanmıştır.

- Tek yönlü (istasyon temelli) model: Çift yönlü modelden farklı olarak, yolculuğun bittiği park istasyonu, başladığı istasyondan farklı olabilir. Bu modelde de park istasyonları önceden tanımlanmıştır.
- Serbest akış modeli: Araçlar, mevcut servis sağlayıcısı ya da yerel yönetim tarafından tanımlanan operasyonel alanda (hizmet verilen bütün sürüş alanı), halka açık alanlara serbestçe park edebilir. Yolculuk herhangi bir alanda (servis kapsamı içerisindeki) başlayıp, herhangi bir alanda bitebilir.

Bu çalışmada, talep tabanlı araç atama probleminin çözümü için çift yönlü (istasyon temelli) araç paylaşım modeli ele alınarak bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Müşterilerden gelen talepleri karşılamaya yönelik geliştirilen modelde, talep edilen araç sayısı ve çeşidinin belirlenen park istasyonlarından karşılanmasına yönelik atamaların çözümü sunulmuştur. Çalışmada, minimum maliyetli ağ akış probleminin özel durumlarından biri olan atama problemi çözümü için, birden çok araç atamasına uygun bir model olan çok-ürünlü ağ akış modeli baz alınarak bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Söz konusu karar destek sistemi, web tabanlı geliştirilen arayüz aracılığıyla müşterilerden gelen araç taleplerine bağlı olarak araç atamalarının sistem yöneticisinin yerel bilgisayarında (veya ilgili karar mekanizmasının yüklü olduğu herhangi bir sunucu ortamında vb.) optimize edilerek yeniden sisteme yüklenip, raporlanabildiği bir yapı şeklinde sunulmuştur.

Geliştirilen sistemin prototipinde müşteriler ve sistem yöneticisi olmak üzere iki farklı kullanıcı tipi olduğu varsayılmaktadır. Buna bağlı olarak, tasarlanan arayüzlerde de bu iki farklı tip kullanıcı için farklı fonksiyonlar bulunmaktadır. Müşteri tarafından sisteme giriş yapıldığında, ilgili arayüz yardımıyla, müşterilerin aracı almak istediği başlangıç noktası, araçla ulaşmak istediği varış noktası, yolculuk başlangıcı için uygun olduğu zaman (saat) aralığı ve talep ettiği araç tipi (küçük, orta, büyük) olmak üzere farklı parametrelerin seçimi yapılarak çeşitli sistem girdileri oluşturulmaktadır. Geliştirilen sistemde, söz konusu girdilerin yönetimi için MySQL veritabanı yönetim sistemi kullanılmaktadır. Sonraki adımda, sistem yöneticisi tarafından bu girdiler kullanılarak Google API (Application Programming Interface) yardımıyla araç rotalarının mesafe ve zaman verileri oluşturulmaktadır. Elde edilen veriler, Microsoft Excel ortamına aktarılarak MPL (Mathematical Programming Language) OptiMax kütüphanesi kullanılarak Gurobi çözücüsü ile çözdürülmektedir. Çalışma kapsamında kurgulanan sistemde, oluşturulan taleplerin yerel bir bilgisayara (veya ilgili karar mekanizmasının yüklü olduğu herhangi bir sunucu ortamında vb.) aktarılması, çözdürülmesi ve sisteme geri yüklenerek, veritabanına kaydedilmesi ve

raporlanması işlemlerinin söz konusu sistem yöneticisi tarafından yapıldığı varsayılmaktadır.

İlerleyen paragraflarda kısa bir literatür taraması sunularak özetlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda öncelikle ağ akış problemleri hakkında kısaca bilgi verilmiş, sonrasında ise araç paylaşım sistemleri ve araç atama problemlerine değinilmiştir.

Bir problemin bir ağ şeklinde modellenerek çözülmesi, çözüm sürecinde sağlamış olduğu bazı faydalar nedeniyle geçmişten günümüze çok sayıda çalışmada dikkate alınan bir yaklaşımdır. Bu paragrafta bu alanda yapılmış birkaç örnek çalışmadan bahsedilmektedir. Klingman ve ark. [7], ağ problemleri olarak adlandırılan büyük ölçekli doğrusal programlama problemleri oluşturmak için bir bilgisayar programının geliştirilmesini, uygulanmasını ve kullanılabilirliğini açıkladıkları bir çalışma ortaya koymuşlardır. Çalışmada geliştirilen bilgisayar programının üretebileceği en sık tartışılan ağ problemleri arasında, kapasiteli-kapasitesiz taşıma ve minimum maliyet ağ akışı problemlerinin yanı sıra; atama, en kısa yol ve maksimum akış problemleri gibi daha basit biçimleri de bulunmaktadır. Doğrusal programlama uygulamalarındaki önemli bir problem, ağlardaki maksimum çok-ürünlü akışların belirlenmesidir. Simpleks algoritmasının basit metodunun bu tarz problemlere doğrudan uygulanması genellikle mümkün değildir, çünkü küçük ağlar bile mevcut kapasite için çok büyük olan doğrusal programlar oluşturabilir. Bununla birlikte, bu tür problemlerin yapısından faydalanan özel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Tek malzemeli durum için, çeşitli yaklaşımlar Dantzig ve Fulkerson [8] ve Ford ve Fulkerson [9] tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda ortaya konulmuştur. Ford Jr ve Fulkerson [10], simpleks çerçevesinde çok-ürünlü problemin formülasyon yapısını kullanan bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntem, simpleks yöntemin “fiyatlandırma” işlemini (yani çözüme girecek olan değişkenin belirlenmesi), ağ içerisinde bir çift noktayı birleştiren en kısa zinciri bulmak için bir kombinasyon algoritmasının birkaç uygulamasıyla değiştirerek, temel olmayan değişkenleri dolaylı olarak ele almaktadır.

Araç paylaşım sistemleriyle ilgili geçmiş çalışmalar incelendiğinde, bunlar (i) araç paylaşım talebini karakterize eden çalışmalar ve (ii) araç paylaşım organizasyonlarının daha iyi yönetimi için operasyonel modeller geliştirmeye yönelik olan çalışmalar olmak üzere kendi içerisinde ikiye ayrılabilir. Her iki eğilimin de araştırıldığı Jorge ve Correia [11] tarafından yapılmış yakın tarihli bir literatür tarama çalışmasında, araç paylaşım talep modellerinin neredeyse tamamen çift yönlü sistemlere ayrıldığı ve diğer araç paylaşım organizasyonlarına uygulanabilirliğini sınırlandıran belirli bölgeler için tasarlandıkları sonucuna ulaşılmıştır. Araç paylaşım sistemleri için dinamik araç ataması yönetimini stokastik programlama yaklaşımıyla ele alan Fan [12], çalışma tarihi itibarıyla, araç paylaşım programlarının yönetimi ve işletimi için yöneylem araştırmasına dayalı yaklaşımların bilimsel araştırmalarda yaygın olarak

kullanılmadığını belirtmiştir. Buna ek olarak, söz konusu çalışmada araç paylaşım sistemi modelinin, birçok boş aracın yeniden konumlandırılmasını gerektirdiğinden, filo hareketlerini optimize etme ihtiyacı doğurduğunu belirtilmiştir. Öte yandan, özellikle internet teknolojilerinin ve araç sistemlerinin gelişmesine paralel olarak, araç paylaşım sistemlerine yönelik yapılan araştırmalar, sürücüsüz (elektrikli) otomobillerin tasarlanması ve geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmaların da başlamasıyla birlikte otonom araç paylaşım sistemleri olgusunun doğmasına neden olmuştur. Narayanan ve ark. [13] tarafından sunulan çalışmada, otonom-paylaşımlı araçlar alanındaki güncel çalışmalar ile ilgili kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır.

Araç paylaşımını, otonom araçları, elektrikli araçları ve şarj altyapısının planlamasını ayrı konular olarak inceleyen çok sayıda çalışma vardır. Benzinle çalışan ve (özellikle) elektrikli otonom araçları ortak bir modelde inceleyen çalışmaların ise daha sınırlı sayıda olduğu belirtilebilir. Wang ve diğ. [14] yaptıkları çalışmada, kuyruk teorisine dayalı olarak paylaşılan otonom araçlar için dinamik bir filo yönetimi algoritması önermişlerdir. Beş istasyon ve beş araç ile oluşturulan simülasyon ortamında ortalama yolcu bekleme süresi ve ortalama araç kullanım oranı performans ölçülerine yönelik karşılaştırmalar yapmışlardır. Fagnant ve Kockelman [15] paylaşımlı otonom araç kullanımının çevresel faydalarına odaklanmışlar ve bu araçların operasyonlarını modellemek için ajan-tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Simülasyon sonuçlarında, her bir paylaşımlı otonom aracın 11 geleneksel özel aracın yerini alabileceği ve bu durumun %10'a kadar daha fazla seyahat mesafesine neden olduğu bilgisi elde edilmiştir. Benzer şekilde, Martinez ve Crist [16], yapmış oldukları çalışmada, otonom ve paylaşımlı araç uygulamalarında sürüş paylaşımı etkinleştirildiğinde, her bir paylaşımlı aracın özel sektöre ait yaklaşık 10 aracın yerini alabileceği ve mevcut durumdaki araçlardan %6 daha fazla yolculuk mesafesi oluşturduğu sonucunu ortaya koymuşlardır. Çalışma sonucunda ortaya çıkan bir başka veri de; sürüş paylaşımı olmadan, paylaşımlı her araç, özel mülkiyete ait 6 aracın yerini alabileceği, ancak %44 daha fazla seyahat mesafesi sağlayacağı verisi olmuştur. Bu çalışmada aynı zamanda, 175 kilometrelik bir elektrik menzili ve 30 dakikalık bir şarj süresi varsayılarak, paylaşılan otonom araçların elektrikli hale getirilmesinin etkisine de bakılarak filonun %2 daha büyük olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Chen ve ark. [17] otonom-paylaşımlı elektrikli araç filosu için ajan-tabanlı model geliştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, filo işletim maliyetlerinin büyük bir bölümünü araç yatırım maliyetlerinin oluşturduğunu göstermektedir. Öte yandan, bu araçların elektrikli olmayan araçlar için maliyet açısından rekabet edebilmesinin şarj otomasyonuna bağlı olduğu vurgulanmıştır.

Araç paylaşımı başlığı altında, son yıllarda şehir içi ulaşımda paylaşımlı bisiklet ve küçük motosiklet kullanımlarındaki artış dikkat çekmektedir. Sayarshad ve

ark. [18] geliştirdikleri matematiksel programlama modeli ile karşılanamayan talebi, kullanılmayan bisiklet sayısını ve talebi karşılamak için istasyonlar arasında boş bisikletleri taşıma maliyetini en aza indirmek için gerekli minimum bisiklet filosu boyutunu belirlemeyi amaçlamışlardır. Nair ve ark. [19] çalışmalarında akış miktarındaki dengesizliklere odaklanarak bisiklet filosu yönetimi için şans kısıtlarının yer aldığı bir model kullanmışlar ve birtakım performans ölçütleri cinsinden analizler yapmışlardır.

Bir diğer paylaşımlı araç kullanım şekli ise otomobil ortak kullanımıdır. Bir başka ifadeyle, aynı yere giden kişilerin ortaklaşa araç kullandıkları yapılar ortaya çıkmaktadır. Alonso-Mora ve ark. [20] bu yapıyı ele almışlar ve dinamik araç atama ve rotalama problemlerinin çözümü için kısıt programlama temelli bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Bai ve ark. [21] ise problemi ekonomik açıdan ele alarak yolcular arasında ödeme açısından adil bir atamanın yapılmasını hedeflemişlerdir. Spieser ve ark. [22] da filodaki uygun araç sayısını belirlemek amacıyla bir sistem geliştirmişler ve çeşitli araç paylaşım modellerinin mali faydalarını analiz etmişlerdir. Wen ve ark. [23] çalışmalarında, ortak kullanımlı araç filosu yönetiminde arz-talep arasındaki dengesizliği gidermek için takviyeli öğrenme temelli bir yaklaşım önermişlerdir.

Araç paylaşımında, tek-yönlü model ve serbest akış modeli temelli yönetim stratejilerinin yaygınlaşması, park istasyonları arasında araçların orantısız dağıtımına neden olmaktadır. Bu durum da karşılanamayan müşteri talebine neden olmakta ve filo yönetim maliyetlerini önemli ölçüde arttırmaktadır. Dolayısıyla paylaşımlı araçların yeniden konumlandırılması kritik bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Kek ve ark. [24] tarafından yapılan çalışmada operatör tabanlı yeniden konumlandırma tekniklerini uygulayan bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Burada kaynak kullanımını en üst düzeye çıkarmak ve hizmet seviyelerini geliştirmek amaçlanmıştır. Benzer bir çalışmada yeniden konumlandırma maliyetleri ile bu işlemi gerçekleştiren personelin giderlerini minimize etmek amacıyla üç-şamalı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiş ve bu yaklaşım bir karar destek sistemi çatısı altında sunulmuştur [25]. Bu alanda yapılan bir başka çalışmada ise ajan-tabanlı bir sistem aracılığıyla farklı filo boyutları için filonun yeniden konumlandırılması durumundaki müşteri bekleme süreleri analiz edilmiştir [26]. Jorge ve ark. [27] çalışmalarında, tek yönlü model için araç paylaşım servisinin karını maksimize eden bir matematiksel programlama modeli önermişler ve geliştirdikleri simülasyon modeli ile farklı yeniden konumlandırma stratejilerini analiz etmişlerdir. Winter ve ark. [28] tarafından sunulan çalışmada ise otopark kapasitesi kısıtları altında farklı yeniden konumlandırma stratejileri analiz edilmiştir. Tang ve ark. [29] literatürde yer alan diğer çalışmalardan farklı olarak paylaşımlı araçların yeniden konumlandırılmasında talep, seyahat süresi ve yeniden konumlandırma süresi olmak üzere çeşitli

belirsizlik unsurlarını ele alarak gürbüz optimizasyon temelli bir çözüm yaklaşımı sunmuşlardır.

Araç paylaşım sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, araç atama problemi de önem kazanmaktadır. Bununla birlikte literatürde araç atama problemlerinin dikkate alındığı çalışmalar çok daha öncesine dayanmaktadır. Bunlara örnek olarak dinamik araç atama probleminin ele alındığı Powell [30] tarafından gerçekleştirilen çalışma verilebilir. Araç atama problemini ele alan başka bir çalışmada da Frantzeskakis ve Powell [31] tarafından sezgisel bir algoritma önerilmiş ve önerilen algoritmanın çeşitli yaklaşımlarla karşılaştırması yapılmıştır. Deneysel sonuçları, yeni algoritmanın test edilen diğer yaklaşımlara göre üstünlüğünü göstermiştir. Benzer bir problem kurgusu için Cheung ve Chen [32] tarafından yapılan çalışmada, dinamik konteyner atama probleminin iki aşamalı bir stokastik ağ modeli olarak nasıl formüle edilebileceği incelenmiştir. Modeldeki kararlar, boş konteynerlerin nasıl yeniden konumlandırılacağını ve limanlarda nerede ve kaç adet kiralık konteynerin gerekli olduğu çözümünü içermektedir. Çalışmada ayrıca, stokastik doğrusallaştırma yönteminin ve stokastik hibrit yaklaşım prosedürünün ağ modelini çözmek için nasıl uygulanabileceğini göstererek, bu yöntemlerin birkaç uygulamasını geliştirmişler ve ardından etkinliklerini sayısal testlerle karşılaştırmışlardır. Stokastik optimizasyon temelli bir diğer çalışmada ise Fan ve ark. [33] tarafından talep değişkenliği gibi belirsizlik unsurları altında problem ele alınarak çok aşamalı bir stokastik doğrusal tamsayılı programlama modeli formüle edilmiştir. Araç paylaşım sistemlerinde, dinamik araç atama problemini çözmek için Monte Carlo simülasyonu temelli bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Fan [5] çalışmasında, benzer bir çözüm yaklaşımını tek yönlü modeller için uygulamıştır. Literatürde yer alan bazı çalışmalarda ise araç atama ve rotalama problemleri birlikte ele alınmıştır [34], [35]. Zhang ve ark. [36] tarafından sunulan çalışmada ise elektrikli araç paylaşımında araç atama ve şarj kararları birlikte dikkate alınarak ağ akış modelleri temelli bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir.

Bu çalışmanın öne çıkan unsurlarını ise talep tabanlı araç atama probleminin çok-ürünlü ağ akış problemi olarak formülasyonu, ilgili web teknolojilerinin kullanımıyla gerçek hayat problem verilerinin ve formülasyon parametrelerinin dinamik olarak oluşturulması ve raporlanmasının yanı sıra, söz konusu unsurların bütünleşik bir yapı altında çalışan bir sistem olarak kurgulanması oluşturmaktadır.

Makalenin sonraki bölümünde geliştirilen karar destek sisteminin bileşenleri açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde, geliştirilen sistemin test edilmesi amacıyla bir örnek olay sunulmakta ve söz konusu örnek olay için elde edilen bulgular verilmektedir. Son bölümde ise çalışma ile ilgili genel değerlendirme yapılmaktadır.

## 2.METODOLOJİ (METHODOLOGY)

Bu çalışmada, otonom-paylaşımlı araç yönetim sistemleri kapsamında, talep tabanlı araç atama probleminin çözümü için bir karar destek sistemi prototipi geliştirilmiştir. Geliştirilen karar destek sisteminin kullanıcı etkileşimini sağlamak amacıyla web tabanlı arayüzler tasarlanmıştır. İlgili arayüz yardımıyla, müşterilerin aracı almak istediği başlangıç noktası, araçla ulaşmak istediği varış noktası, yolculuk başlangıcı için uygun olduğu zaman (saat) aralığı ve talep ettiği araç tipi (küçük, orta, büyük) olmak üzere farklı parametrelerin seçimi yapılarak çeşitli sistem girdileri oluşturulmaktadır. Geliştirilen sistem kapsamında, söz konusu girdilerin yönetimi için MySQL veritabanı yönetim sistemi kullanılmaktadır. Sonraki adımda, sistem yöneticisi tarafından bu girdiler kullanılarak Google API yardımıyla araç rotalarının mesafe ve zaman verileri oluşturulmaktadır. Elde edilen veriler, Microsoft Excel ortamına aktarılarak MPL OptiMax kütüphanesi kullanılarak Gurobi çözücüsü ile çözdürülmekte ve sonuçlar raporlanmaktadır. Çalışma kapsamında kurgulanan sistemde, oluşturulan taleplerin yerel bir bilgisayara (veya ilgili karar mekanizmasının yüklü olduğu herhangi bir sunucu ortamında vb.) aktarılması, çözdürülmesi ve sisteme geri yüklenerek, veritabanına kaydedilmesi ve raporlanması işlemlerinin söz konusu sistem yöneticisi tarafından yapıldığı varsayılmaktadır.

Çalışma kapsamında araç atamalarının gerçekleştirilmesi için sunulan çözüm yaklaşımı, çok-ürünlü ağ akış problemi (multi-commodity minimum-cost network flow problem) baz alınarak oluşturulmuştur. Buna ek olarak, söz konusu çözüm yaklaşımı ilgili web teknolojilerinin kullanımıyla gerçek hayat problem verilerinin ve formülasyon parametrelerinin dinamik olarak oluşturulması ve raporlanmasının yanı sıra, söz konusu unsurların bütünleşik bir yapı altında çalışan bir sistem olarak kurgulandığı bir karar destek sistemi altında sunulmaktadır. İzleyen alt bölümlerde sırasıyla kullanılan çözüm yaklaşımına temel teşkil eden model sunulmakta ve geliştirilen karar destek sistemi altyapısı açıklanmaktadır.

### 2.1.Otonom-Paylaşımlı Araç Atama Modeli

(Autonomous-Shared Vehicle Assignment Model)

Bu çalışmada ele alınan araç atama probleminde, müşterilerin araç taleplerinin minimum maliyetle karşılanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, problemin çözülmesi için sunulan aşağıdaki model, Bazaraa ve diğ. [37] tarafından verilen çoklu-ürün ağ akış modeli baz alınarak kurgulanmıştır.

İndisler:

$i, j, p$ : Düğüm noktaları;  $i, j, p = 1, \dots, n_N$   
 $k$ : Araç tipleri;  $k = 1, \dots, n_C$

Parametreler:

- $c_i^T$ :  $i$  düğüm noktasındaki talebin kalkış ve varış noktaları arasındaki yolculuk süresi (saniye)
- $c_{ij}^{PO}$ :  $i$  düğüm noktasındaki park yerinden  $j$  düğüm noktasındaki talebin kalkış noktasına olan yolculuk süresi (saniye)
- $c_{ij}^{DP}$ :  $i$  düğüm noktasındaki park yerinden  $j$  düğüm noktasındaki talebin varış noktasına olan yolculuk süresi (saniye)
- $b_{ik}$ :  $i$  düğüm noktasının  $k$  araç tipi için net tedarik miktarı (park düğümleri için  $b_{ik} > 0$  ve talep düğümleri için  $b_{ik} < 0$ )
- $L_{ij}$ :  $(i, j)$  arki üzerindeki akış miktarının alt sınırı
- $U_{ij}$ :  $(i, j)$  arki üzerindeki akış miktarının üst sınırı
- $L_{ijk}$ :  $(i, j)$  arki üzerindeki akış miktarının  $k$  araç tipi için alt sınırı
- $U_{ijk}$ :  $(i, j)$  arki üzerindeki akış miktarının  $k$  araç tipi için üst sınırı

Karar değişkenleri:

- $x_{ijk}$ :  $i$  düğüm noktasındaki park yerinden  $j$  düğüm noktasındaki talebi karşılamak için  $(i, j)$  arki üzerinden gönderilen  $k$  tipi araç miktarı

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{i=1}^{n_N} \sum_{j=1}^{n_N} \sum_{k=1}^{n_C} (c_i^T + c_{ij}^{PO} + c_{ij}^{DP}) x_{ijk} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^{n_N} x_{ijk} - \sum_{p=1}^{n_N} x_{pik} = b_{ik}, \quad \forall i, k \quad (2)$$

$$L_{ijk} \leq x_{ijk} \leq U_{ijk}, \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

$$L_{ij} \leq \sum_{k=1}^{n_C} x_{ijk} \leq U_{ij}, \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad \forall i, j, k \quad (5)$$

Denklem (1)'de yer alan amaç fonksiyonu, toplam ağ akış maliyetini minimize etmekte ve maliyet parametreleri arasında (i) talebin başlangıç ve varış noktaları, (ii) park yeri ile talebin kalkış noktası ve (iii) park yeri ile talebin varış noktası arasındaki yolculuk süresi yer almaktadır. Denklem (2), ağ akış denge denklemidir. Dengeli bir ağ olmaması ( $\sum_{i=1}^{n_N} \sum_{k=1}^{n_C} b_{ik} \neq 0$ ) durumunda hayali bir düğüm noktası oluşturularak ağ dengelenmektedir. Burada, her bir araç tipi için ayrı ayrı kontrol yapılmakta ve toplam arz miktarının toplam talep miktarından yüksek olması durumunda hayali talep miktarı; aksi durumda hayali arz miktarı oluşturulmaktadır. Bu hayali düğüm noktasında gerçekleşen akış miktarları ise kullanılmayan kapasite ve karşılanamayan talep miktarlarına karşılık gelmektedir. Model çözümünün elde edilmesinin ardından bu değerler performans parametresi olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Denklem (3) ve Denklem (4) ile akış kapasitesi alt ve üst sınırları kontrol edilmektedir. Bu kapasite kısıtları her bir araç tipi için ayrı ele alındığı gibi toplam akış miktarı cinsinden de dikkate alınmaktadır. Denklem (5) ise değişken tanımlamalarını göstermektedir.

## 2.2.Karar Destek Sistemi Tasarımı (Design of the Decision Support System)

Çalışmada, ele alınan araç atama problemi için bir karar destek sistemi prototipi geliştirilmiştir. Geliştirilen karar destek sistemi, çok-ürünlü minimum-maliyetli ağ akış problemi baz alınarak oluşturulmuş olup, ileride yapılacak çalışmalara yardımcı olması ve yeni teknolojilerle uyum sağlayabilmesi açısından web servisleriyle birlikte çalışacak şekilde kurgulanmıştır.

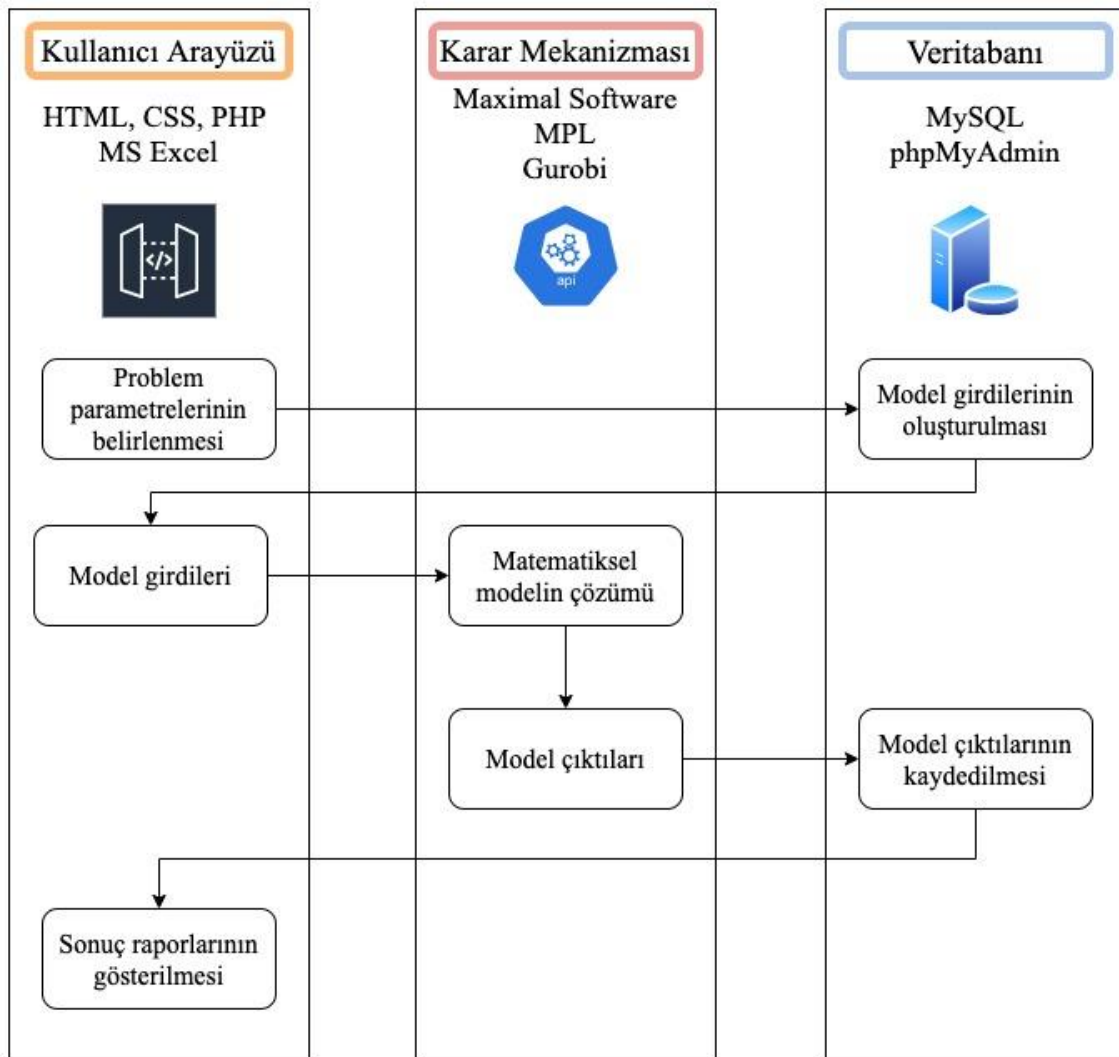
Geliştirilen karar destek sisteminin bileşenleri, Şekil 1'de görüldüğü gibi (i) veri, (ii) sunuş ve (iii) işlem mantık katmanları olmak üzere üç başlık altında incelenebilir. Bu çalışmada öncelikle, modelde kullanılacak girdiler ve verileri kaydetmek üzere açık kaynak kod tabanlı MySQL veritabanı yönetim sistemi kullanılarak tasarlanmış olan veritabanındaki operasyonel veri işlemleri için de PHP (Personal Home Page) programlama dili kullanılmıştır.



Şekil 1. Karar destek sisteminin bileşenleri (Components of the decision support system)

Bu çalışmada, ileriye yönelik çalışmalara temel oluşturma açısından, girdi verilerinin (müşteri taleplerinin), internet ortamında oluşturulabilmesi için HTML (Hyper Text Markup Language), CSS (Cascading Style Sheet), JavaScript ve PHP yazılım dilleri yardımıyla bir arayüz tasarlanmıştır. Şekil 2’de görüldüğü gibi, web ortamında geliştirilen arayüz aracılığıyla, kullanıcı (müşteri) tarafından problemin çözümü için gerekli parametrelerin girişi yapılmaktadır. Veritabanına eşzamanlı olarak kaydedilen girdi parametreleri, aynı zamanda Microsoft Excel ortamına da aktarılmaktadır ve model girdisi olarak kullanılarak,

MPL ortamında geliştirilen matematiksel programlama modeli Gurobi çözücü kullanılarak çözdürülmekte ve yine ilgili çalışma sayfalarında çözüm raporları dinamik olarak oluşturulmaktadır. Yerel bilgisayarda çözücü ve Microsoft Excel arasındaki bağlantının sağlanması ve tüm işlemlerin dinamik olarak gerçekleştirilebilmesi için Maximal Software OptiMax Kütüphanesi kullanılmaktadır. Daha sonra atamaların ve araç rotalarının sistem yönetici tarafından daha kolay olarak yorumlanması açısından elde edilen sonuçlar, bir kez daha web ortamında tablo haline dönüştürülmekte ve Google Haritalar üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 2. Karar destek sisteminin çapraz-fonksiyonel iş akış şeması  
(Cross-functional flowchart of the decision support system)

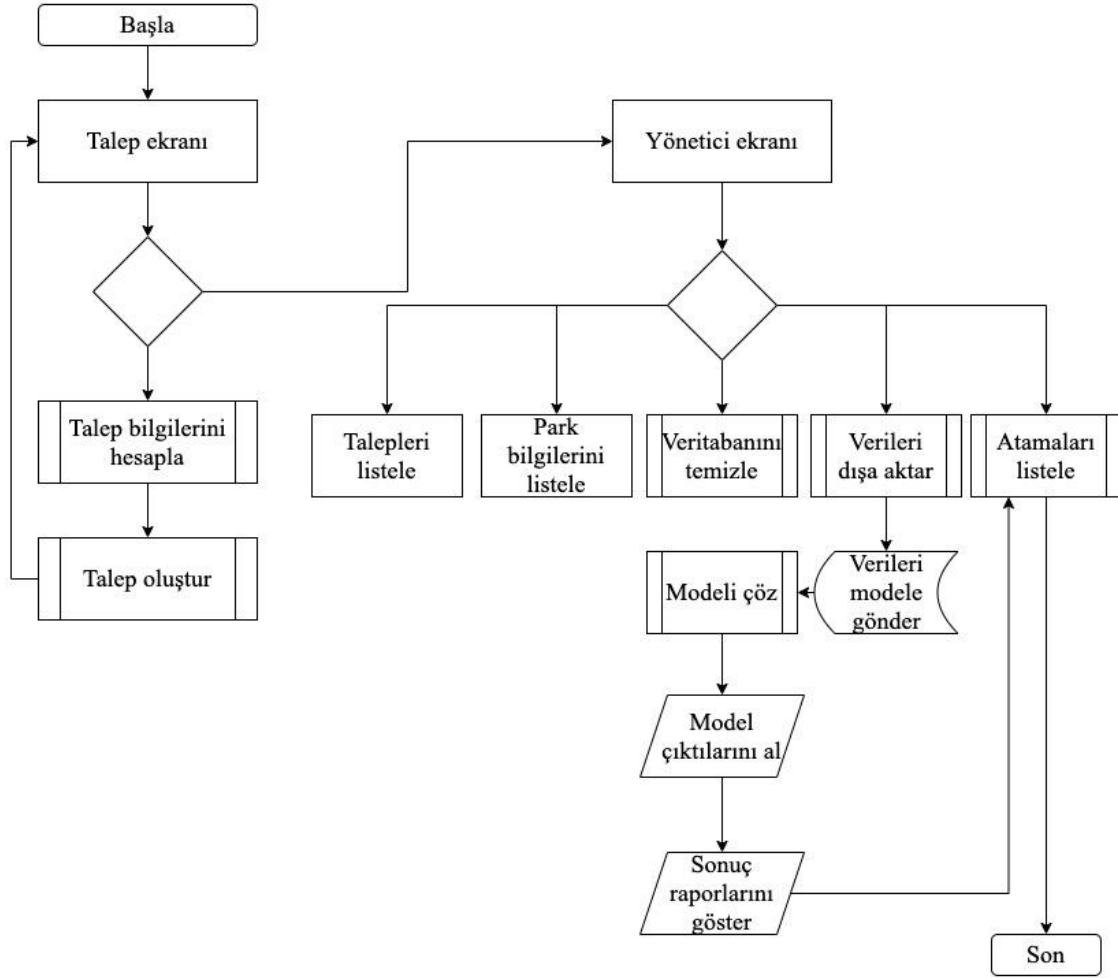
Tasarlanan veri tabanının nesne-ilişki diyagramı Ek 1’de yer almaktadır. Veritabanındaki tabloların alan tanımları ve değişken türleri oluşturulurken web uygulamasında kullanılan Uygulama Programlama Arayüzleri (API’ler) ile uyumuna dikkat edilmiştir. Çalışmada tasarlanan karar destek sistemi, iki farklı ortamda çalışmaktadır.

Bunlardan ilki web tarayıcılarda çalışacak olan, hem müşterilerden gelen talep verilerinin toplandığı, hem gelen taleplerin mesafe ve zaman bilgilerinin hesaplanıp listelendiği; hem de model sonuçlarının sistem yöneticisine gösterildiği web tabanlı arayüzleri ifade etmektedir. Diğeri ise modelin çözdürülmesinde sistem



yöneticisi tarafından kullanılacak olan, aynı zamanda da model sonuçlarının da detaylı olarak incelenebileceği

Microsoft Excel platformudur. Bu platformlara yönelik fonksiyonel akış diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Fonksiyonel akış diyagramı (Functional flow diagram)

Web ortamındaki genel sistem işleyiş karşılık, Microsoft Excel platformunda, talep girdilerinin matematiksel programlama modelinde kullanmak üzere düzenlenmesi, bunların modele girdi olarak sunulması ve çözüm sonuçlarının detaylı olarak analizi gerçekleştirilebilecek şekilde kısmen daha sade kullanıcı arayüzleri hazırlanmıştır. Bununla birlikte, kullanıcının (sistem yöneticisi) hiçbir matematiksel altyapıya sahip olmasına ihtiyaç kalmaksızın, sadece arayüzdeki butonlara tıklayarak modeli çözdürebilmesi ve çözüm sonuçlarını inceleyebilmesi sağlanmıştır. Bir diğer ifadeyle, web ortamı üzerinden talep bilgilerinin lokal bilgisayara aktarılmasının ardından, sistem yöneticisi, Microsoft Excel'de tasarlanmış arayüz üzerinden, lokal bilgisayarındaki talep verilerini sadece bir butona tıklayarak model girdileri olarak düzenleyebilmekte ve MPL ortamında geliştirilen matematiksel programlama modeli Gurobi çözücüsü kullanılarak çözdürülmektedir. Raporlama amacıyla çözüm sonuçları hem detaylı bir şekilde hem de özet tablolara dönüştürülerek ilgili çalışma sayfalarına yazdırılmaktadır. Modelin çözümünden

elde edilen sonuçların Microsoft Excel ortamında listelenmesinin yanı sıra; atamaların ve araç rotalarının sistem yöneticisi tarafından kolay yorumlanması açısından aynı zamanda yeniden web ortamına yüklenmekte ve çözüm tablosu olarak sunulmakta ve harita üzerinde de gösterilmektedir.

Geliştirilen sistemin Microsoft Excel tarafında gerçekleştirilen işlemleri en genel haliyle aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Mevcut çözümün silinerek, dosyanın yeni problem için hazır hale getirilmesi.
- Sunucudan metin dosyası formatında indirilmiş verilerin Microsoft Excel ortamına aktarılması, veri boyutlarına göre dinamik olarak dizilerin oluşturulması, arz-talep miktarlarına göre dengeleme işleminin gerçekleştirilmesi.
- Model için maliyet yapılarının oluşturulması ve karşılanamayan talebe karşılık gelen maliyet parametresinin jenerik olarak hesaplanması, diğer model parametrelerinin belirlenmesi.

- MPL model tanımlamalarının ilgili kütüphane fonksiyonları aracılığıyla (OptiMax) oluşturulması.
- Yine ilgili kütüphane fonksiyonları aracılığıyla Model çözümünün gerçekleştirilmesi ve çözüm raporunun hazırlanması ve sunucuya yüklenecek olan metin dosyası formatındaki çözüm dosyasının oluşturulması.

Bu bölümde açıklanan unsurların ve sistemin çalışmasının gösterilebilmesi için sonraki bölümde gerçek hayat verileriyle oluşturulmuş bir örnek uygulama sunulmaktadır.

### 3. ÖRNEK OLAY (CASE STUDY)

Bu çalışmada, otonom-paylaşımlı araç yönetim sistemleri kapsamında, talep tabanlı araç atama probleminin çözümü için geliştirilmiş olan karar destek sisteminin çalışması gerçek hayat verileri kullanılarak

oluşturulan bir örnek olay üzerinde gösterilmektedir. Geliştirilen sistemin çalışması bir örnek uygulama üzerinde gösterilmesi amacıyla kent trafik yoğunluğu yüksek olan şehirlerden Bursa şehir merkezi ele alınmıştır. Oluşturulan uygulama kapsamında, müşteri taleplerini karşılamak üzere şehrin doğu-batı eksenini doğrultusundaki üç merkez ilçesinde (Yıldırım, Osmangazi ve Nilüfer) olmak üzere üç farklı konumda park istasyonu belirlenmiş ve bu istasyonlarda hizmet veren toplam 30 aracın olduğu varsayılarak, tasarlanan web arayüzü kullanılarak 35 rassal müşteri talebi oluşturulmuştur. Oluşturulan talepler ve bu taleplere karşılık park istasyonları arasında Google Haritalar Uzaklık Matrisi API yardımıyla mesafe ve süre matrisi hesaplanmaktadır.

Prototip çalışma için belirlenen park istasyonları ve her bir park istasyonundaki araç çeşitleri ve kapasitesi Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Park istasyonlarının kapasite bilgileri (Capacity information of the park stations)

Park İstasyonu	İstasyon Tanımı	Küçük Araç	Orta Boy Araç	Büyük Araç
Park1	6W7R+3H Nilufer, Bursa	6	3	1
Park2	53W4+R3 Osmangazi/Bursa, Türkiye	4	4	2
Park3	55W9+Q2 Yıldırım/Bursa, Türkiye	3	5	2

Problemin çözülmesi için geliştirilen model, önceki bölümde verilen çok-ürünlü ağ akış problemi baz alarak kurgulanmıştır. Araç talebi girdileri arasında yer alan başlangıç noktası ve varış noktası bilgilerine ek olarak yukarıdaki tabloda bilgileri verilen park istasyonları modeldeki düğüm noktalarını oluşturmaktadır. Her müşteri talebi için park istasyonları özelinde hesaplanan; talebin başlangıç ve varış noktaları, park yeri ile talebin kalkış noktası ve park yeri ile talebin varış noktası arasındaki yolculuk süresi, modelde birim akış maliyet parametreleri olarak kullanılmıştır.

Web arayüzü üzerinden oluşturulan talep verileri, sistem yöneticisi tarafından yine ilgili web arayüzü kullanılarak sunucudan sistem yöneticisinin yerel bilgisayarına indirilmekte ve geliştirilen makrolar yardımıyla dinamik olarak model girdileri oluşturulup, model çözdürüldükten sonra sonuçlar Microsoft Excel

ortamında raporlanmaktadır. Örnek uygulama kapsamında, 30 araçlık kapasiteye karşılık 35 müşteri talebinin oluşturulmuş olması, modelde dengesiz bir ağın ortaya çıkmasına ( $\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n b_{ik} \neq 0$  durumuna) neden olmuştur. Çalışma kapsamında geliştirilen makrolarla, ağı dengelemek için dinamik olarak hayali bir düğüm (arz noktası) yaratılmıştır. Bu hayali düğümde gerçekleşen akış miktarları ise karşılanamayan talep miktarlarına karşılık gelmektedir. Oluşturulan hayali düğümler için yine dinamik olarak çok büyük bir sayıyla ifade edilen bir tanımlayıcı ve ayrıştırıcı tanımlama yapılmaktadır ve böylece geliştirilen model, örnek olayda olduğu gibi sadece talep fazlalığı için değil; hem arz hem de talep fazlalığı için çözüm vermektedir. Tanımlanan örnek olay için Microsoft Excel ortamında oluşturulan sonuç raporundan bir kesit Şekil 4'te görülmektedir.

Cozum Vektörü						
park_id	request_id	com_id	x_ijk	orijin	destination	park_definitior car_type
1	12689	1	1	1 ozluce Gorukle	Fatih, 2. Mese	6W7R+3H Nilu kucuk
1	12690	3	1	Cumhuriyet, Nil Besevler, Bes	6W7R+3H Nilu	buyuk
1	12695	2	1	ihlamur Cd., 16 Fatih Sultan N	6W7R+3H Nilu	orta
1	12696	1	1	sehrekustu, Cer isiktepe, Laciv	6W7R+3H Nilu	kucuk
1	12702	1	1	Altinsehir, 1612 Bursa Uluslar	6W7R+3H Nilu	kucuk
1	12713	2	1	Ertugrul, 16000 Aydinpinar, S	6W7R+3H Nilu	orta
1	12716	2	1	ucevler, 16120 ihsaniye, 1613	6W7R+3H Nilu	orta
1	12718	1	1	Santral Garaj, K Cumhuriyet, h	6W7R+3H Nilu	kucuk
1	12722	1	1	sehrekustu, Cer Gorukle, Atati	6W7R+3H Nilu	kucuk
1	12723	1	1	Pinarbasi, Bayr: Minarelicavus	6W7R+3H Nilu	kucuk

Şekil 4. Microsoft Excel çözüm raporu ekran görüntüsü (A screenshot of the solution reports in Microsoft Excel)

Örnek olay için modelin çözüm performans parametreleri incelendiğinde, talep karşılama oranı %86 ve park istasyonu kullanım oranı da %100 olarak elde edilmiştir. Buna ek olarak, örnek olay için ortalama yolculuk mesafesinin 37,59 km ve ortalama yolculuk süresinin 2.750,03 saniye olduğu görülmektedir.

Tanımlanan örnek olay için çözüm raporu sadece sistem yöneticisinin yerel bilgisayarında Microsoft Excel ortamında raporlanmaktadır. Gerekli olması durumunda, sistem yöneticisi tarafından söz konusu çözüm üzerinde istenen değişiklikler de yapılarak, çözüm raporunun son şekli, yine sistem yöneticisi tarafından internet ortamına

da yüklenerek, sunucudaki veritabanına kaydedilmekte ve ilgili web arayüzü aracılığıyla da görüntülenebilmektedir. Sistem yöneticisi tarafından çözüm raporunun internet ortamına yüklenmesi, ilgili çözümün onaylandığı anlamına gelmekte ve karşılık gelen rotalar da Google Harita görselleri aracılığıyla dinamik olarak oluşturulmakta ve arayüzde sunulabilmektedir. Şekil 5'te web ortamına yüklenmiş olan çözüm raporunu gösteren web sayfasından bir kesit ve bu çözüme ait örnek bir rotanın (12.696 talep numaralı rotanın) Google Haritalar aracılığıyla sunumu görülmektedir.

Talep Listesi
Park İstasyonu Sorgu Listesi
Talepleri Klasöre Çıkar
Atamaları Listele
Talepleri Temizle

Atamaları Yükle / Göster
Atamaları Sil

**Performans Sonuçları**

Ortalama Mesafe (km)	Ortalama Süre (sn)	Talep Karşılama Oranı (%)	Park İstasyonu Kullanım Oranı
37,59	2750,03	0,86	1

**Atama Tablosu**

Başlangıç Nok.	Variş Nok.	Park Tanımı	Araç Tipi	Rota
ozluce Gorukle Kampusu, ozluce, 16059 Nilufer/Bursa, Turkey	Fatih, 2. Meselik Sk., 16200 Osmangazi/Bursa, Turkey	6W7R+3H Nilufer, Bursa	kucuk	Rota
Cumhuriyet, Nilufer Hatun Cd. No:114, 16140 Nilufer/Bursa, Turkey	Besevler, Besevler Cd. No:103 D:B, 16110 Nilufer/Bursa, Turkey	6W7R+3H Nilufer, Bursa	buyuk	Rota
ihlamur Cd., 16140 Minarelicavus Osb/Nilufer/Bursa, Turkey	Fatih Sultan Mehmet Bulvari, Baris, Sumer Sk. No:1, 16110 Nilufer/Bursa, Turkey	6W7R+3H Nilufer, Bursa	orta	Rota
sehrekustu, Cemal Nadir Cd. No:22 D:28, 16050 Osmangazi/Bursa, Turkey	Isiktepe, Lacivert Cd. No: 6, 16065 Isiktepe Organize Sanayi Bolgesi/Nilufer/Bursa, Turkey	6W7R+3H Nilufer, Bursa	kucuk	Rota
Altinsehir, 16120 Nilufer/Bursa, Turkey	Bursa Uluslararası ve sehirlerarası Otobus Terminali, Terminal Cd. Bursa Otagar, 16190 Demirtas Dumlupinar Osb/Osmangazi/Bursa, Turkey	6W7R+3H Nilufer, Bursa	kucuk	Rota

**Başlangıç Noktası:**

**Variş Noktası:**

**Şekil 5.** Web arayüzü çözüm raporu ekran görüntüsü  
(A screenshot of the solution report in the web interface)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Günümüzde, büyük kentlerde yaşanan araç trafiği ve ulaşım konusundaki problemlere farklı çözüm arayışları günden güne artmaktadır. Bu çözüm arayışı, sadece trafik sıkışıklığı adına değil; daha geniş çerçeveden değerlendirilerek sürdürülebilirlik ve kısıtlı kaynakları

daha verimli kullanarak yaşadığımız gezegeni korumak açısından da önemli hale gelmektedir. Her geçen gün artan enerji ihtiyacını alternatif kaynaklarla karşılamak ve karbondioksit salınımını azaltmak için hem kamu kurumları, hem de özel girişimler büyük çaba sarf etmektedir. Kullandığımız araçlarda petrol kaynaklı

yakıtlara alternatif olarak elektrik enerjisinin de kullanılmaya başlanmış olması, uzun yıllar boyunca planlanan ve günümüzde uygulama aşamasında olan bir çevre koruma hareketidir. Son yıllarda araç paylaşım uygulamalarının da bu çevre koruma hareketine eklendiği görülmektedir ve insanların araç sahipliği azaltılıp, amortisman, yakıt, bakım, park alanı gibi unsurlarda da paylaşım ekonomisi benimsenmeye başlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda, tüm dünyada araç paylaşım sistemleri hızla gelişmekte olup, otonom araç teknolojilerindeki gelişmelerin de bu sürecin daha da hızlanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Araç paylaşım sistemleri yönetimi konusunda karşılaşılan zorluklar arasında, sistemin dinamik yapısından kaynaklı olarak belirsizlik altında karar verme, atama ve dengeleme gibi önemli problemler yer almakta ve bu problemlere yönelik olarak çok sayıda çalışma gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, otonom-paylaşımlı araç atama probleminin çözümü için geliştirilen karar destek sisteminin, günümüzde hızla artan paylaşım modelleri için kullanılması durumunda, sistem yöneticilerinin karar verme süreçlerine yardımcı olacağı ve benzer sistemlerin yaygınlaşmasının giderek artan araç paylaşım sistemlerine verimlilik açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Geliştirilen karar destek sistemi prototipinin gelecek çalışmalarda daha da geliştirilerek, araçlar için dinamik park yeri seçimi özelliğinin olduğu, atama sürecinde müşterilerin zaman penceresi seçimlerinin de göz önünde bulundurulduğu, veritabanı işlemlerinin ve optimizasyon sürecinin lokal sistemlerden bağımsız olarak tamamen bulutta gerçekleştirilebildiği ve kimlik doğrulama ile tüm bu işlemlerin güvenli bir ortamda gerçekleştirilebileceği bütünlük bir sisteme dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Veritabanı yönetiminin ve optimizasyon işlemlerinin lokal sistemden bağımsız olarak gerçekleştirilmesiyle birlikte, geliştirilen karar destek sisteminin mobil uygulamaya dönüştürülmesi de gelecek çalışmalarda ele alınabilir.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Erdi ŞENER:** Veri tabanı ve arayüz tasarımlarını gerçekleştirmiş, bütünlük sistemin entegrasyonunu yapmıştır. Makale yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir.

**Aslı SEBATLI-SAĞLAM:** Karar mekanizması ve sonuçları raporlama sürecini geliştirmiştir. Makale metninde düzenlemeler yapmıştır.

**Fatih ÇAVDUR:** Veri tabanı, kullanıcı arayüzü ve karar mekanizmasından oluşan bütünlük sisteminin

kurgulanması ve entegrasyonunda rol almıştır. Makale metninde düzenlemeler yapmıştır.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Chapman L., "Transport and climate change: a review", *Journal of transport geography*, 15(5): 354-367, (2007).
- [2] Rigole P. J., "Study of a shared autonomous vehicles based mobility solution in Stockholm", *Master of Science Thesis*, Industrial Ecology, Royal Institute of Technology, (2014).
- [3] Shaheen S. A., Cohen A. P. and Roberts J. D., "Carsharing in North America: Market growth, current developments, and future potential", *Transportation Research Record*, 1986(1): 116-124, (2006).
- [4] Shaheen S. and Cohen A., "Worldwide carsharing growth: An international comparison", *Transportation Research Record*, 1992(1): 81-89, (2007).
- [5] Fan W. D., "Optimizing strategic allocation of vehicles for one-way car-sharing systems under demand uncertainty", *Journal of the Transportation Research Forum*, 53(3): 7-20, (2014).
- [6] Nourinejad M. and Roorda M. J., "Carsharing operations policies: a comparison between one-way and two-way systems", *Transportation*, 42(3): 497-518, (2015).
- [7] Klingman D., Napier A. and Stutz, J., "NETGEN: A program for generating large scale capacitated assignment, transportation, and minimum cost flow network problems", *Management Science*, 20(5): 814-821, (1974).
- [8] Dantzig G. B. and Fulkerson D. R., "Computation of maximal flows in networks", *Naval Research Logistics Quarterly*, 2(4): 277-283, (1955).
- [9] Ford L. R. and Fulkerson D. R., "Maximal flow through a network", *Canadian journal of Mathematics*, 8(1): 399-404, (1956).
- [10] Ford Jr L. R. and Fulkerson D. R., "A suggested computation for maximal multi-commodity network flows", *Management Science*, 50(12): 1778-1780, (2004).
- [11] Jorge D. and Correia G., "Carsharing systems demand estimation and defined operations: a literature review", *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 13(3): 201-220, (2013).
- [12] Fan W. D., "Management of dynamic vehicle allocation for carsharing systems: Stochastic programming approach", *Transportation research record*, 2359(1): 51-58, (2013).
- [13] Narayanan S., Chanotakis E. and Antoniou C. "Shared autonomous vehicle services: A comprehensive review", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111: 255-293, (2020).
- [14] Wang F., Yang M. and Yang R., "Dynamic fleet management for cybears", *2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, Toronto, ON, Canada, 1246-1250, (2006).

- [15] Fagnant D. J. and Kockelman, K. M., “The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40: 1-13, (2014).
- [16] Martinez L. and Crist P., “Urban Mobility System Upgrade—How shared self-driving cars could change city traffic”, *International Transport Forum*, Paris, (2015).
- [17] Chen T. D., Kockelman K. M. and Hanna J. P., “Operations of a shared, autonomous, electric vehicle fleet: Implications of vehicle & charging infrastructure decisions”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94: 243-254, (2016).
- [18] Sayarshad H., Tavassoli S. and Zhao F., “A multi-periodic optimization formulation for bike planning and bike utilization”, *Applied Mathematical Modelling*, 36(10): 4944-4951, (2012).
- [19] Nair R., Miller-Hooks E., Hampshire R. C. and Bušić, A., “Large-scale vehicle sharing systems: analysis of Vélib”, *International Journal of Sustainable Transportation*, 7(1): 85-106, (2013).
- [20] Alonso-Mora J., Samaranayake S., Wallar A., Frazzoli E. and Rus D., “On-demand high-capacity ride-sharing via dynamic trip-vehicle assignment”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(3): 462-467, (2017).
- [21] Bai W., Quan J., Fu L., Gan X. and Wang X., “Online fair allocation in autonomous vehicle sharing”, *GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference*, Singapore, 1-6, (2017).
- [22] Spieser K., Treleaven K., Zhang R., Frazzoli E., Morton D. and Pavone M., “Toward a systematic approach to the design and evaluation of automated mobility-on-demand systems: A case study in Singapore”, *Road Vehicle Automation*, Springer, Cham, (2014).
- [23] Wen J., Zhao J. and Jaillet P., “Rebalancing shared mobility-on-demand systems: A reinforcement learning approach”, *2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Yokohama, Japan, 220-225, (2017).
- [24] Kek A. G., Cheu R. L. and Chor M. L., “Relocation simulation model for multiple-station shared-use vehicle systems”, *Transportation research record*, 1986(1): 81-88, (2006).
- [25] Kek, A. G., Cheu R. L., Meng Q. and Fung C. H., “A decision support system for vehicle relocation operations in carsharing systems”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1): 149-158, (2009).
- [26] de Souza F., Gurumurthy K. M., Auld J. and Kockelman K. M., “A repositioning method for shared autonomous vehicles operation”, *Procedia Computer Science*, 170: 791-798, (2020).
- [27] Jorge D., Correia G. H. and Barnhart C., “Comparing optimal relocation operations with simulated relocation policies in one-way carsharing systems”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(4): 1667-1675, (2014).
- [28] Winter M. K. E., Cats O., Martens K. and van Arem B., “Relocating strategies under parking constraints for a fleet of shared automated vehicles”, *hEART 2018: 7th Symposium of the European Association for Research in Transportation*, Athens, Greece, 1-7, (2018).
- [29] Tang Q., Zhang Y. and Zhou M., “Vehicle repositioning under uncertainty”, *SSRN*, (2020).
- [30] Powell W. B., “A stochastic model of the dynamic vehicle allocation problem”, *Transportation science*, 20(2): 117-129, (1986).
- [31] Frantzeskakis L. F. and Powell W. B., “A successive linear approximation procedure for stochastic, dynamic vehicle allocation problems”, *Transportation Science*, 24(1): 40-57, (1990).
- [32] Cheung R. K. and Chen C.Y., “A two-stage stochastic network model and solution methods for the dynamic empty container allocation problem”, *Transportation science*, 32(2): 142-162, (1998).
- [33] Fan W., Machemehl R. B. and Lownes, N. E., “Carsharing: Dynamic decision-making problem for vehicle allocation”, *Transportation Research Record*, 2063(1): 97-104, (2008).
- [34] Cokyasar T. and Larson J., “Optimal assignment for the single-household shared autonomous vehicle problem”, *Transportation Research Part B: Methodological*, 141: 98-115, (2020).
- [35] Liu J., Mirchandani P. and Zhou X., “Integrated vehicle assignment and routing for system-optimal shared mobility planning with endogenous road congestion”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 117: 102675, (2020).
- [36] Zhang D., Liu Y. and He S., “Vehicle assignment and relays for one-way electric car-sharing systems”, *Transportation Research Part B: Methodological*, 120: 125-146, (2019).
- [37] Bazaraa M. S., Jarvis J. J. and Sherali H.D., “Linear Programming and Network Flows”, 4, *John Wiley and Sons*, ISBN 978-0-470-46272-0, New Jersey, (2010).

**Ek 1. Veri Tabanı Nesne-İlişki Diyagramı (Appendix 1. Database Entity-Relationship Diagram)**

