



Journal of Turkish Operations Management

Taşıt paylaşım sistemleri için potansiyel karar problemleri üzerine bir literatür taraması

İpek Damla Akpınar^{1*}, Barış Keçeci²

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: idakpinar@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-8977-9521>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: bkececi@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-2730-5993>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 21.10.2022
Revize: 10.03.2023
Kabul: 24.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Taşıt paylaşım sistemleri,
Sınıflandırma,
Konfigürasyon,
Karar problemleri

Özet

Taşıt Paylaşımı (TP), insanların genellikle saatlik olarak kısa süreler için taşıt kiraladıkları bir taşıt kiralama modelidir. Bu sistem sayesinde kullanıcılar bir taşıtı rezerve ederek kısa süreli kullanımına sahip olup, taşıtı teslim alma ve teslim etme aşamaları kişinin kendisine aittir. Taşıt Paylaşım Sistemleri (TPS) ise, nispeten büyük bir grup üye tarafından kullanılmak üzere bulunan küçük ve orta ölçekli bir taşıt filosunu içeren sistemlerdir. TPS'ler kullanılan taşıtlara göre Bisiklet Paylaşım Sistemleri (BPS), Araba Paylaşım Sistemleri (APS), Otonom Bağlı Elektrikli Taşıt Paylaşım Sistemleri (OBET-PS), Elektrikli Araba Paylaşım Sistemleri (eAPS) ve Elektrikli Küçük Taşıtlar Paylaşım Sistemi (EKTPS) olarak beş gruba ayrılmaktadır. TPS'ler işleyiş şekline göre de tercih edilen seyahat türü, taşıt dengesizlik yönetim stratejisi, fiyatlandırma stratejisi, park organizasyonu olmak üzere dört alt başlık altında incelenmiştir. Çalışmanın devamında APS için stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerde karşılaşılan karar problemleri belirlenmiş ve bu konuda literatürde var olan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardaki APS'ler işleyiş türlerine göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca eAPS için de literatürde var olan çalışmalar incelenerek ek karar problemleri tespit edilmiş ve bu çalışmalardaki eAPS'ler de işleyiş türlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu çalışmanın amacı TPS ile ilgili çalışmalarını inceleyerek araştırmacılara konu ile ilgili genel bir bakış açısı sunmaktır.

A literature review on potential decision problems for vehicle sharing systems

Article Info

Article History:

Received: 21.10.2022
Revised: 10.03.2023
Accepted: 24.03.2023

Keywords:

Vehicle sharing systems,
Classification,
Configuration,
Decision problems

Abstract

Vehicle Sharing (VS) is a car rental model where people rent vehicles for short periods, usually hourly. In this system, users can reserve a vehicle and have a short-term use, and the stages of receiving and delivering the vehicle belong to the person himself. Vehicle Sharing Systems (VSS), on the other hand, are systems that include a fleet of vehicles with small and medium sizes for use by a relatively large group of members. VSS are divided into five groups according to the vehicles used; such as Bicycle Sharing Systems (BSS), Car Sharing Systems (CSS), Autonomous Connected Electric Vehicle Sharing Systems (ACEV-SS), Electric Car Sharing Systems (eCSS), and Electric Small Vehicles Sharing Systems (ESVSS). VSS's are examined under four sub-headings due to how they operate: preferred travel type, vehicle imbalance management strategy, pricing strategy, and parking organization. In this study, decision problems encountered at strategic, tactical, and operational levels for CSS are determined and the existing studies in the literature are examined. The CSSs in these studies are classified according to their functioning types. In addition, decision problems are determined by examining the studies available in the literature for eCSS, and the eCSS in these studies are classified according to their functioning types. This study aims to provide the researchers with a general perspective on the topic by examining the studies on VSS.

1. Giriş

Son yıllarda taşıt paylaşımı yenilikçi bir ulaşım seçeneği olarak büyük ilgi görmeye başlamıştır. Taşıt Paylaşımı (TP), genellikle kısa süreler için bir taşıt kiralama modelidir. Bu sistemde taşıtı teslim alma ve teslim etme aşamaları kişinin kendisine aittir. Böylelikle taşıtlar şehrin farklı bölgelerine dağıtılarak paylaşımlı bir hareket sistemi sunulur. Taşıt Paylaşım Sistemleri (TPS) ise, nispeten büyük bir grup üye tarafından kullanılmak üzere bulunan küçük ve orta ölçekli taşıt filosunu içeren sistemlerdir (Shaheen, Sperling ve Wagner, 1999).

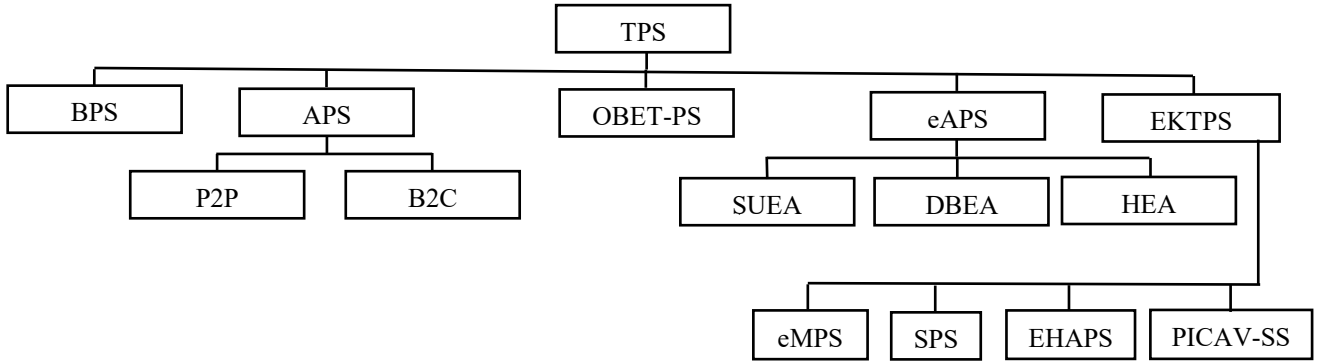
İlk TP fikri 1940'ların sonlarında İsviçre'nin Zürih şehrinde arabalarla faaliyete geçirilmiştir. Fakat ekonomik nedenlerden dolayı ancak 1948 yılına kadar mevcudiyetini koruyabilmiştir (Shaheen ve diğ., 1999). 1980'lere kadar kurulan TPS'ler başarılı olamamıştır. Bu süreçte başarısız olan TPS'ler arasında 1971 yılında Fransa'nın Montpellier kentinde Procotip olarak bilinen ve 1973 yılında Amsterdam'da Witkar ismiyle kurulan sistemler sayılabilir (Shaheen ve diğ., 1999). 1980'lerde ise başarılı olanlar arasında İsviçre'deki Mobility Carsharing ve Almanya'daki Statauto gösterilebilir (Jorge ve Correia, 2013). 1990'ların başında Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin (BİT) gelişimiyle beraber ve 2000'lerde mobil servisler sayesinde başarılı birkaç TPS var olabilmektedir. Bu tür bir sistemi uygulamak ve işletmek adına California Üniversitesinde pilot projeler geliştirilmiştir (Barth ve Todd, 2001). Bu projeler TPS de kullanıcı tepkileri hakkında fikir vermiştir. Son zamanlarda BMW ve FCA grubu ürettikleri otomobilleri pazarlayabilmek için TPS'ye doğrudan dahil olmuşlardır. Böylece otomobil üreticileri de doğrudan pazara dahil olabilmişlerdir (Barth, Shaheen, Fukuda ve Fukuda, 2006; Shaheen, Cohen ve Roberts, 2006; Shaheen ve Cohen, 2007; Shaheen, Cohen ve Chung, 2009; Shaheen ve Cohen, 2013). Günümüzde SHARE NOW adında car2go ve DriveNow'un birleşmesinden oluşan bir Alman otomobil paylaşım şirketi Avrupa'nın en büyük TPS'lerinden biridir. 900.000'den fazla üye ve 11.000'den fazla arabayla Avusturya, Danimarka, Fransa, Almanya, Macaristan, İtalya, Hollanda ve İspanya'da faaliyet göstermektedir. Zipcar ise Amerika'da kurulmuş olan Türkiye'de de hizmet gösteren en büyük TPS'ler arasındadır.

Sanayileşmiş ülkelerde özel taşımacılığın artan kullanımıyla birlikte uzun vadede kirlilik ve trafik yoğunluğu problemleri aşırı enerji ve zaman tüketimi gibi ciddi olumsuz etkilere yol açmıştır. Ayrıca kişisel taşıt kullanımları taşıt satın alma ve sigorta maliyetlerinin yanı sıra kullanımdan kaynaklı yakıt, park yeri gibi maliyetlere de sebep olmaktadır. Kişiler özel taşıt sahibi olmak için tüm bu maliyetlere katlanmaktadırlar fakat taşıt kullanım oranları da çok düşüktür. Örneğin Amerika'da otomobiller zamanlarının %90'ını park halinde geçirmektedirler (Jorge ve diğ., 2013). Toplu taşıma kullanımı bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için iyi bir alternatif olabilmektedir fakat bazı eksiklikleri vardır. İyi bir toplu taşıma ağına sahip olan ülkelerde bile vatandaşlar evlerinin önünden toplu taşıma araçları ile gitmek istedikleri yerlere ulaşamazlar. Bunun için mutlaka önceden belirlenmiş olan duraklara ulaşım sağlamalıdır. Ayrıca toplu taşıma programları esnek değildir, kişiselleştirilemezler. Belirli saatlerde toplu taşıma araçlarının çok yoğun olup diğer saatlerde boş kalması verimliliği düşürür. Tüm bu olumsuz etkileri en aza indirecek bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Özel ve toplu taşıma arasında bir yerde olan TPS'ler kişilerin toplu taşıma ve yürüyüş ile ulaşamayacakları yerlere ulaşmalarını imkân sağlarken vatandaşlara özel araba kullanımının sosyal ve çevresel etkileri hakkında da farkındalık sağlamaktadır. Taşıtların daha verimli kullanılmasının kentsel hareketlilik üzerinde olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir (Litman, 2000; Schuster, Byrne, Corbett ve Schreuder, 2005). Bu taşıtlar özel taşıtlara göre daha yüksek kullanım oranına sahiptir. Çünkü yolda daha fazla, park yerinde daha az zaman harcarlar. TPS'de taşıtlar uzun süreli park yerlerini meşgul etmezler. Bu da park için daha az alana ihtiyaç olduğu anlamına gelir (Mitchell, Borroni-Bird ve Burns, 2010). TPS'nin kullanılmasıyla araba sahibi olan kişilerin oranında düşüş olmuştur bu da araba kullanımını azaltmıştır (Celsor ve Millard-Ball, 2007). Kişilere ek bir ulaşım seçeneği sunarak yakıt verimliliği sağlar. Kentsel emisyonların ve şehir yoğunluğunun azaltılmasına katkı sağlamakla birlikte daha sürdürülebilir bir şehir inşa etmeyi destekler (Martin, ve Shaheen, 2011). Bir Alman otomobil şirketi üzerinde yapılan bir çalışmaya göre kullanıcı başına karbondioksit emisyonlarının 146 ile 312 CO₂/yıl arasında azaldığı gözlemlenmiştir (Firnkorner ve Müller, 2011). TP, Avrupa Birliği'nde önemli sayıda özel ve kamu taşıtlarının paylaşımı ile desteklenmiştir. Avrupa belediyeleri tarafından 2020 yılına kadar taşıt emisyonlarını %20 azaltmak adına APS teşvik edilmiştir (Jorge ve diğ., 2013).

Bu çalışma mevcut literatür taramalarını genişletmesi ve buna ek olarak TPS'leri için potansiyel karar problemlerini ortaya koyması açısından literatüre katkı sağlamıştır. Bu çalışmanın devamında taşıt paylaşım sistemlerinin sınıflandırılmasına yer verilmiştir. APS'nin konfigürasyonları üçüncü bölümde açıklanmıştır. Bir araba paylaşım sistemi tasarlanırken stratejik, taktik ve operasyonel seviyede karşılaşılabilecek karar problemleri üzerinde bölüm dördte durulmuştur. Bölüm beşte bu karar problemlerini çözmek için yapılmış literatürde var olan çalışmalar açıklanmıştır. Elektrikli araba paylaşımı, ek karar problemleri ve var olan çalışmalardan bölüm altıda bahsedilmiştir. Son olarak da bölüm yedide araştırmanın sonuçları tartışılmıştır.

2. Taşıt Paylaşım Sistemlerinin Sınıflandırılması

Taşıt paylaşımının artan popülaritesi ile, dünya çapında çeşitli biçimlerde faaliyet gösteren taşıt paylaşım kuruluşlarının (TPK) sayısında ciddi bir artış olmuştur. TPS'ler günümüzde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu da bu sistemlerin çok çeşitlenmesine sebep olmuştur. TPS'nin sınıflandırılmasını gösteren diyagram Şekil 1'de verilmiştir. Bu sınıflandırma literatürdeki birkaç tarama çalışması birleştirilerek oluşturulmuştur (Ataç, Obrenović ve Bierlaire, 2021; Brandstätter ve diğ., 2016; Ferrero, Perboli, Rosano ve Vesco, 2018; Golalikhani, Oliveira, Carravilla, Oliveira ve Antunes, 2021; Jorge ve diğ., 2013). Yapılan bu sınıflandırmaya göre TPS 5 ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar Bisiklet Paylaşım Sistemleri (BPS), Araba Paylaşım Sistemleri (APS), Otonom Bağlı Elektrikli Taşıt Paylaşım Sistemleri (OBET-PS), Elektrikli Araba Paylaşım Sistemleri (eAPS) ve Elektrikli Küçük Taşıtlar Paylaşım Sistemi (EKTPS)'dir.



Şekil 1. Taşıt Paylaşım Sistemlerinin Sınıflandırılması

BPS, ücretli veya ücretsiz olarak kısa vadeli bisikletlerin belirli bir yerde bireylere ortak kullanım için sunulduğu ortak bir ulaşım hizmetidir. Birçok BPS, insanların bir istasyondan bir bisiklet ödünç almasına ve aynı sisteme ait başka bir istasyona iade etmesine izin verir. İstasyonlar, bisikleti kilitleyen ve yalnızca bilgisayar kontrolü ile serbest bırakan özel bisiklet raflarıdır. Kullanıcı ödeme bilgilerini girer ve bilgisayar bir bisikletin kilidini açar. Kullanıcı, bisikleti yerine kilitleyen bölme yerleştirerek iade eder. İlk BPS 1965 yılında Amsterdam'da Provo şirketi tarafından tanıtılmıştır. Şirket, şehir içinde kullanılmak üzere 50 bisikleti ücretsiz kullanım için vatandaşların hizmetine sunmuştur. Fakat kiltsiz olarak şehre dağıtılan bu bisikletler örgütün çevresel hedeflerine rağmen vatandaşlar tarafından suistimal edilmiş, hırsızlık ve hasarlar engellenememiştir (Shaheen, Guzman ve Zhang, 2010). Teknolojik ve operasyonel iyileştirmelerle kullanıcıları tespit etmek ve bisikletleri güvenli hale getirmek günümüzde daha kolaydır. İlk BPS girişimleri daha çok ekonomik ve çevresel nedenlere dayansa da kâr amacı güden şirketler bu sistemdeki fırsatı göremek için yatırımlarını bu alana yönlendirmişlerdir (Ataç ve diğ., 2021). Günümüzde birçok sistem için, akıllı telefon haritalama uygulamaları yakındaki bisikletleri ve uygun bisiklet park alanlarını göstermektedir. Temmuz 2020'de Google Haritalar, rota önerilerine bisiklet paylaşımlarını dahil etmeye başlamıştır.

APS, rezerve edildiği kullanıcılar tarafından konforlu ve esnek bir seyahat imkânı sağlayan sistemlerdir. P2P (Peer-to-peer) ve B2C (business-to-consumer) araba paylaşımı var olan iki modeldir (Kim, Rasouli ve Timmermans, 2017; Münzel, Boon, Frenken, Blomme ve Linden, 2020). P2P modelinde, araba sahipleri arabalarını kısa süreliğine başka kişilere kiraya verirler. Böylelikle araba sahipleri arabalarını kullanmadıkları zaman; onları başka kişilerin kullanımına sunarak ek kazanç sağlayabilirler. P2P ile paylaşılan arabaları işleten Turo (<https://turo.com/>) isminde bir araba paylaşım sistemi vardır. Turo, 350.000'den fazla araba ve 850'den fazla marka ve model ile on milyondan fazla üyeden oluşan bir topluluktur. ABD, Kanada ve Birleşik Krallık'taki yerel ev sahiplerinden oluşan bu topluluk, istenilen yerde, istenilen herhangi bir arabanın rezerve edilebildiği, bir araba paylaşım pazarıdır. B2C modelinde ise, paylaşımı yapılan tüm arabaların sahibi kuruluştur. Bu paylaşım modelini kullanan Zipcar (<https://www.zipcar.com/>) 2000 yılından beri Kuzey Amerika bölgesinde hizmet veren en büyük araba paylaşım kuruluşlarından biridir. Kullanıcıların talebine göre sahip olduğu arabaların kiralanmasını sağlar.

OBET-PS ise, otonom elektrikli taşıtlardan oluşan taşıt paylaşım sistemidir. Otonom taşıtlar, yapay zekânın otomobili tamamen kendi başına sürdüğü ve sürüş görevi sırasında herhangi bir insan yardımı olmayan taşıtlardır. Aslında ilk sürücüsüz taşıt uzaktan kontrollü olarak 1925 yılında yapılmıştır. Fakat bu alandaki önemli adımlar Carnegie Mellon Üniversitesi'nden bir grup araştırmacının 1995 yılında direksiyonun otonom kontrol edildiği bir taşıt ile 5.000 km'ye yakın bir yol yapmasından sonra atılmaya başlanmıştır. 2002 yılında DARPA (ABD İleri

Savunma Projeleri Ajansı) yarışmaları ile hız kazanmış, daha sonra ABD Otomotiv Mühendisleri Derneği, SAE “Otonom Taşıt” kavramına açıklık getirmek için sıfırdan beşe, 6 otonom taşıt seviyesi tanımlamıştır. Son yıllarda “Otonom Taşıtlar” sürekli konuşulan bir konu haline gelmiştir. Birçok üretici firma otonom taşıtlarını piyasaya çıkarmaya hazırlanmaktadır. Ayrıca OBET’ler trafikte birbirleri ile haberleşebilen taşıtlardır. Bu durum da OBET’lerin TPS için iyi bir alternatif olmasını sağlamaktadır.

eAPS, elektrikli arabaların TPS’de kullanılmasıdır. Elektrikli otomobil, elektrik enerjisi ile çalışan otomobillere verilen isimdir. Elektrikli otomobillerin, otomotiv endüstrisinde ileride önemli bir etkisinin olacağı düşünülmektedir. Bu türdeki arabaların yakıt tasarrufu yanında şehir kirliliğini düşüreceği ve karbon emisyonunu azaltacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle TPK’lar tarafında elektrikli taşıtlar daha çok tercih edilmeye başlanmıştır. Elektrikli arabalar üç başlık altında incelenebilir. Bunlar Şebeke Uyumlu Elektrikli Arabalar (ŞUEA), Değiştirilebilir Bataryalı Elektrikli Arabalar (DBEA) ve Hibrit Elektrikli Arabalar (HEA)’dir. eAPS ile ilgili daha detaylı bilgiye Bölüm 6’da yer verilecektir.

EKTPS içerisinde; Elektrikli Motosiklet (MOPED) Paylaşım Sistemleri (eMPS), Skuter Paylaşım Sistemi (SPS), Elektrikli Hafif Taşıtlar Paylaşım sistemi (EHAPS) ve Tek Kişilik Akıllı Şehir İçinde Erişilebilir Taşıt Paylaşım Sistemi (PICA-V-SS) gibi düşük karbonlu taşıt seçenekleri mevcuttur.

Araba ve bisikletten farklı bir taşıt kullanan ilk paylaşım sistemi MOPED’lerle başlamıştır. 2015 yılında İtalya’da kurulmuş olan Zig Zag Sharing şirketi 2019 yılında GO Sharing ismi ile 500 taşıtla eMPS hizmetine başlamıştır. GO Sharing şu anda Hollanda, Belçika, Almanya, Avusturya ve Türkiye’de aktif olarak hizmet vermektedir. 2012 yılının başında Scoot şirketi San Francisco’da 10 taşıtla MPS başlatmış ve yıl sonunda taşıt sayısı 50’ye çıkmıştır (Lawler, 2012).

2017 yılında ise ilk skuter kullanan paylaşım sistemi Santa Monica, California’da piyasaya sürülmüştür. Uygulamanın ilk yılında 10 milyon sürüş yapıldığı açıklanmıştır (Lawler, 2012).

EHAPS, 2018 yılında ENUU isimli bir şirket tarafından İsviçre’de yeni bir tür taşıt paylaşım sistemi olarak piyasaya sürülmüştür. Daha sonra 2019 yılında Getaround adlı başka bir şirket benzer taşıtları Rotterdam’da piyasaya sürmüştür (Ataç ve diğ., 2021).

PICA-V taşıtı özellikle yaşlılar ve engelliler olmak üzere farklı nedenlerle hareket kabiliyeti kısıtlanan kişiler için özel olarak tasarlanmıştır. Ergonomi, konfor, stabilite, destekli sürüş, eko-sürdürülebilirlik, park etme ve hareket kabiliyetinin yanı sıra taşıt/altyapı akıllı ağ iletişimi PICA-V tasarımının ana özellikleri arasındadır. PICA-V ulaşım sistemi, kentsel trafiğin kısıtlı olduğu alanlarda vatandaşlara verimli ve akılcı bir hizmet sunmak için tasarlanmıştır.

3. Taşıt Paylaşım Sistemlerinin Konfigürasyonları

TPS konfigürasyonları dört ana başlık altında incelenebilir (Ataç ve diğ., 2021). Bunlar;

- Tercih edilen seyahat türüne göre: Tek yönlü seyahat ve gidiş dönüş seyahat,
- Taşıt dengesizlik yönetim stratejisine göre: Kullanıcı tabanlı, sabit personel tabanlı ve dinamik personel tabanlı,
- Fiyatlandırma stratejisine göre; Sabit ve dinamik,
- Park organizasyonuna göre; istasyon bazlı ve serbest park alanlı.

Geleneksel TPS olan gidiş-dönüş seyahat seçeneğinde kullanıcılar taşıtı teslim aldığı yere bırakmak zorundadır. Burada her istasyon için talebe göre istasyonun araba yoğunluğu planlanabildiği için operatörlerin işi daha kolaydır. Ancak kullanıcılar için taşıtı aldıktan sonra aynı istasyona getirme zorunluluğu her zaman uygun olmayabilir. Kişisel ihtiyaçlara daha uygun olan sistem tek yönlü seyahat seçeneğidir. Tek yönlü taşıt paylaşımında kullanıcılar bir taşıtı bir istasyondan alıp farklı bir istasyona bırakabilirler. Daha sonra yeniden bir taşıta ihtiyaç duyarlarsa başka bir taşıt alabilirler. Bu nedenle tek yönlü taşıt paylaşım sistemleri eğlence, alışveriş, sportif faaliyetler için kullanılabilen alternatif gidiş-dönüş sistemine göre daha fazla seyahatin yapılmasına olanak tanır (Barth ve Shaheen, 2002). Hatta Almanya’da yapılan bir ankette tek yönlü araba paylaşım şirketi olan car2go’nun pazar talebinin Almanya’da gidiş-dönüş seyahat seçeneği ile hizmet veren başka bir araba paylaşım şirketinden 25 kat daha yüksek olduğu görülmüştür (Firkorn ve Müller, 2011). Yunanistan’da gerçekleştirilen bir ankette ise arabanın alındığı yerden başka bir istasyona gönderme esnekliğinin kritik bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır (Efthymiou, Antoniou ve Waddell, 2012). Gidiş-dönüş seyahat seçeneği bulunan bir TPS’nin davranışı incelenmiş

ve seyahatlerin çoğunun bakkal ve diğer ev alışverişleri için yapıldığı görülmüştür (Costain, Ardron ve Habib, 2012). Bu da gidiş dönüş seçeneğinde seyahat nedenlerinin sınırlı olduğu fikrini desteklemektedir.

Tek yönlü seyahat sistemlerinde park istasyonlarında biriken taşıtlar dengesizliğe sebep olabilir. Taşıtlar popüler lokasyonlarda birikme eğiliminde olduklarından bazı istasyonlarda park alanı sıkıntısı, bazı istasyonlarda ise taşıt sıkıntısı yaşanabilir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için operatörler taşıt filosunu yeniden dengelemelidir. Kullanıcı tabanlı bir dengelemede istasyonlar arası dengelemenin kullanıcılar tarafından yapılması amaçlanmaktadır. Bunu sağlayabilmek için kullanıcılara bazı teşvikler verilebilir. Ayrıca dengeleme her bir taşıtı istenen yere götürebilen personel tarafından veya toplu olarak taşınmasını sağlayan daha büyük taşıtlar ile yapılabilir. Personel bazlı dengeleme statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Statik yeniden dengeleme sistem kapalıyken yani genellikle gece boyunca her gün sonunda yapılır. Dinamik yeniden dengelemenin ise çevrim içi ve çevrim dışı olmak üzere iki uygulaması vardır. Çevrim dışı olanda talep bilgisinin önceden bilindiği varsayılır ve gün boyunca gerçekleşecek yeniden dengeleme işlemleri gün başında bir kez yapılır. Daha fazla bilgi mevcut olsa bile gün içinde güncellenmez. Diğer taraftan çevrim içi yeniden dengeleme, gün içindeki değişen talep bilgilerine tepki vererek yönlendirme kararları değiştirilebilir. Yeniden dengeleme türü, yeniden dengeleme operasyonlarında kullanılan stratejiyi ifade eder ve sistemde kullanılan taşıtların türüyle güçlü bir şekilde ilişkilidir. Örneğin, bir kamyonla düzinelerce araba taşımak mümkün olmadığından, bir APS'yi yeniden dengelemek için büyük kamyonları kullanmak verimli değildir. Öte yandan, bir BPS için, insan gücünü kullanarak bisikletleri yeniden dengelemek genellikle pratik ve istenen bir durum değildir.

Fiyatlandırma teşvikleri kullanıcı tabanlı yeniden dengelemeyi teşvik etmek için kullanılmaktadır. Bu teşvikler genellikle dinamik fiyatlandırma stratejisi olarak uygulanır. Burada seyahatin fiyatı sadece başlangıç, varış noktası, seyahat uzunluğu ve süresi gibi yolculuğun özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda seyahatin yapılacağı saat, filonun durumu, sıklık düzeyi gibi TPS'nin dinamiklerine de bağlıdır. Eğer fiyat yalnızca yolculuk karakteristiğine bağlı ise buna statik fiyatlandırma stratejisi denir.

TPS de kullanılan taşıtlar bırakılması gereken park istasyonlarına göre istasyon bazlı ve serbest park alanlı olmak üzere ikiye ayrılır. İstasyon bazlı modelde kullanıcılar arabaları önceden belirlenmiş olan istasyonlardan alarak yine belirli olan istasyonlara bırakmalıdırlar. Serbest park alanlı modellerde ise kullanıcılar kiraladıkları arabaları belirlenmiş olan bölgenin içerisinde herhangi bir halka açık park alanına bırakabilirler. Serbest park alanlı sistemler kullanıcı açısından daha esnektir fakat operatör için daha karmaşıktır. Buna örnek olarak car2go ve BMW DriveNow verilebilir (Brandstätter ve diğ., 2016).

4. Farklı Yönetim Seviyeleri İçin Karar Problemleri

Araba paylaşım sistemlerinin artışıyla beraber rekabetçi bir pazar oluşmuştur. Artan taleple birlikte sistemin daha iyi anlaşılması ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Aslında AP sadece bir iş veya filo optimizasyonu problemi değil; vatandaşlar, kamu yetkilileri, belediyeler ve şirketlerde dahil olmak üzere farklı aktörlerin içinde olduğu karmaşık bir sistemdir. Sistem bu aktörler arasındaki güçlü bağların yanı sıra mevcut toplu taşıma ağıyla entegrasyon halinde olma gerekliliğini de beraberinde getirmektedir. Bütün bu etmenlerden dolayı tüm bir şehre sunulan APS karmaşık bir problem haline gelmektedir. Bu çalışmada uygulanabilir bir taşıt paylaşım sistemi tasarlanırken karşılaşılabilecek birçok karar problemi üzerinde durulmuştur. Amaç AP'yi daha iyi tasarlayabilmek için sistemlerin talebinin ve arzının doğru bir şekilde modellenebilmesidir.

Problemler stratejik, taktik ve operasyonel seviyede alınabilecek kararları kapsamaktadır. Eğer bu problemler doğru bir şekilde ele alınmazsa sistem önemli bir kullanıcı kaybı, dolayısıyla da gelir kaybı yaşayabilir. Stratejik seviyede alınan kararlar bir yıldan fazla uzun vadeli planlama için alınan kararlardan oluşur. Sistemin kapsamı bu seviyede alınan kararlar ile belirlenir. Taktik seviye alınan kararlar orta vadeli alınan kararları içerir. Bu kararlar 4-6 ay içerisinde güncellenebilir veya değiştirilebilir. Bu seviye stratejik ve operasyonel seviyeleri birbirine bağlayan bir ara seviye gibi düşünülebilir. Operasyonel seviyede ise sistemin mevcut durumu izlenir ve kısa vadede (bir gün veya birkaç saat) yapılması gereken fiziksel eylemler tanımlanır.

4.1. Stratejik Seviye Kararlar

Bu seviyede kullanılan veriler genellikle statiktir. Örneğin, şehrin coğrafi konumunu ve özelliklerini, park yerlerini, bölgenin ekonomik durumunu ve refah düzeyini içerir. Önemli bir girdi parçası, günün saatine göre düzenlenen, başlangıç-varış noktası matrisleri biçimindeki toplam geçmiş seyahat talebidir.

Stratejik düzeyde talep modelleri, varış yeri seçim modellerini içerir. Bunlar, (i) kullanıcı segmentasyonu, yani nüfusun sistemi benimseme olasılığı olan kesimlerinin belirlenmesi, (ii) reklam yatırımı ve (iii) pazara yerleştirme ile ilgili iş kararları almak için kullanılırlar (Ataç ve diğ., 2021).

Stratejik düzeydeki tedarik modelleri, arz/talep etkileşimlerinin bir simülasyonu ile birleştirilmiş bir ağ tasarım optimizasyon modelini içerir. Ağ topolojisi, kullanılan taşıt türü, yeniden dengeleme stratejisi ve sunulan hizmet düzeyi ile ilgili kararları desteklerler.

Ağ tasarımının bir parçası olarak, otopark tesislerinin optimal konumu ve büyüklüğüne karar vermek, taşıtların hem fazla hem de yetersiz stoklanmasını önlemek için verilmesi gereken önemli bir karardır. İstasyon bazlı konfigürasyonlarda bu kararlar sistem kurulumunun başında verilir. Her park yeri sadece bir taşıt kapasiteli istasyon olarak değerlendirilebileceğinden, serbest park alanlı park seçeneği için durum değişmez. Bu aşamada simülasyon yöntemi, operatörün sistemi değerlendirmesine ve buna göre aksiyon almasına yardımcı olur.

Son olarak, operatörün kullanıcılara sunmak istediği hizmet düzeyine bu seviyede karar verilmelidir. Operatör kullanıcı memnuniyetini üst düzeyde tutmak isterse, strateji şehirdeki taşıt sayısını ve/veya park yerlerini artırmak olabilir. Öte yandan, işletmeci daha sermaye odaklıysa, sistemin fiziksel bileşenlerine (taşıtlar, park yeri vb.) yapılan yatırım, hizmet seviyesinden daha önemlidir ve bu da kullanıcı memnuniyetini işletmeci için ikincil bir amaç haline getirir.

Stratejik düzeyde, hedef sistemin karlılığını veya kullanıcı memnuniyetini maksimize etmektedir. Çözüm metodolojileri; optimizasyon modelleri, simülasyon taşıtları ve çeşitli kesin ve sezgisel algoritmaları içerir (Ataç ve diğ., 2021).

4.2. Taktik Seviye Kararlar

Bu düzeyde kullanılan veriler, orta vadeli zaman aralığı ve mevsimsel özellikleri içermektedir. Alınan kararlar kapsamında mevsimsel hava tahmini, yağış, önemli olaylar/festivaller ve işgücü maliyeti dikkate alınır. Stratejik düzeyin aksine, bu düzey, ayrıştırılmış geçmiş talep verilerini hesaba katar. Dağıtılmış veriler, operatörün orta vadede talebi tahmin eden bir model geliştirmesine ve orta vadeli zaman aralığını kapsamamasını sağlar. Bu ayrıştırılmış talep verileri; seçilen zaman dilimi, başlangıçlar ile varış yerleri gibi herhangi bir kritere göre ve herhangi bir düzeyde toplanabilir.

Stratejik düzeyden aktarılan bütçe ve hedef kitleye ilişkin girdiler, orta vadeli talep tahmini için veri olarak kullanılır. Bu veriler (i) fiyatlandırma stratejisi (sabit veya dinamik) ve (ii) kullanıcılara yönelik teklifler/kampanyalar ile ilgili aksiyonları almak için kullanılırlar. Sabit fiyatlandırma durumunda, fiyatlandırma değerleri de bu seviyede belirlenir.

Taktik düzeydeki tedarik modelleri, bir taşıt filosu boyutlandırma modelini içerir. Sistemin filo büyüklüğü, personel sayısı, yeniden dengeleme stratejisinin süresi (statik veya dinamik) ve olası geçici istasyonlarla ilgili kararları içerir. Operatör, sistemi izler ve filo boyutunu ayarlar. Filo büyüklüğünü kısa bir süre için değiştirmek pratik değildir. Operatör, böyle bir ihtiyacı makul bir süre içinde izleyebilmeli ve analiz edebilmelidir. Yeniden dengeleme, rezervasyonlar ve fiyatlandırma gibi stratejilerin mevcut ve/veya gelecekteki olası uygulamalarını değerlendirmek için, sistemi simüle eden bir bileşen de eklenebilir.

Statik yeniden dengeleme durumunda, operatör yeniden dengelemenin günün hangi saatinde yapılacağına karar vermelidir. Dinamik durumda ise operatörün yeniden dengeleme işlemlerinin sıklığına ve ayrıca bunu çevrim içi veya çevrim dışı yapmasına karar vermesi gerekir. Buna göre, sistemi yeniden dengeleyebilmek için personel sayısı belirlenmelidir. Son olarak, olası önemli etkinlikler/festivaller için geçici istasyon kararları da bu aşamada verilir.

4.3. Operasyonel Seviye Kararlar

Bu düzeyde kullanılan veriler ayrıştırılmış ve genellikle dinamiktir. Örneğin, günlük hava tahmini, mevcut park yeri müsaitliği ve varsa mevcut rezervasyonları içerir. Geçmiş seyahat talebi verileri ayrı ayrı konum ve zamanda ayrıntılı olarak belirtilir.

Operasyonel seviyedeki talep modelleri, istasyon/bölge başına kısa vadeli talep tahminini içerir. Dinamik fiyatlandırma durumunda gerçek fiyatlandırmaya karar vermek için kullanılır.

Operasyonel seviyedeki tedarik modelleri, park mevcudiyeti ve taşıtların bir sonraki zaman penceresindeki konumu için olan modelleri içerir. Yeniden dengeleme operasyonları ve bakımla ilgili yönlendirme kararlarını destekler. Bu operasyonlar için yönlendirme iki durumda incelenebilir: yeniden dengeleme kamyonları için yönlendirme ve personel yer değiştirme. Bu seviyedeki simülasyon bileşeni, operatörün kısa vadeli verileri kullanarak yönlendirme stratejilerindeki değişiklikleri analiz etmesine yardımcı olur.

4.4. Araba Paylaşım Sistemleri için Karar Problemleri

Literatürde APS için karar problemleri Golalikhani ve diğ. (2021) tarafından tanımlayıcı ve kuralcı çalışmalar olarak sınıflandırılmıştır. Tanımlayıcı çalışmalar daha çok anket yöntemlerine dayanır ve sistemin durumunu veya ortaya çıkan sorunun özelliklerini tanımlamaya ve araştırmaya odaklanmaktadır (Kothari, 2004). AP kapsamında, birçok tanımlayıcı çalışma, AP'nin özellikleri, etkileri ve pazar potansiyelinin yanı sıra müşterilerin bir APS'ye katılma ve onu seyahatler için kullanma kararlarını etkileyen faktörler hakkında bilgiler vermektedir. APS için verilecek olan tanımlayıcı kararlar; hizmet türleri, AP üyeliğini etkileyen faktörler, AP kullanımını etkileyen faktörler, pazar eğilimleri ile bakış açıları ve AP'nin etkileri olmak üzere beş gruba ayrılmaktadır (Golalikhani ve diğ., 2021). Hizmet türleri başlığı altında yapılan çalışmalarda APS'nin seçilen konfigürasyonlarına göre müşteri memnuniyetleri, APS verimliliği ve kârlılığı incelenmektedir. AP üyeliğini etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi ile AP hizmetlerinin benimsenmesini ve yayılmasını etkileyen arz yönlü önemli faktörler açıklanmaktadır. Bu sayede APS'lerin daha verimli tasarlanması ve iş başarısızlık risklerinin en küçüklenmesi sağlanmaktadır. AP kullanımını etkileyen faktörler, sistemleri kullanıcıların davranışları açısından değerlendirmektedir. Bu değerlendirme sonucunda APS için potansiyel talepler tahmin edilerek sistemler daha verimli hale getirilebilmektedir. Ayrıca kullanıcıların seyahat seçim davranışları da incelenmektedir. Bu sistemler tasarlanırken diğer bir önemli tanımlayıcı karar da pazar potansiyellerini ve eğilimlerini anlamaktır. Bu nedenle literatürdeki birçok çalışmada APS'lerin gelişimi ve ortaya çıkan eğilimleri araştırılmıştır. Son olarak AP'nin etkileri de literatürde incelenen problemler arasındadır. Bu çalışmalar AP'nin yayılma etkilerini tespit ederek, hükümetler, politikacılar ve sistemin sürdürülebilirliğini sağlamanın yolunu arayanlar için faydalı bilgiler sağlamaktadır.

Bu tanımlayıcı problemler için yapılan çalışmalar daha çok anket yöntemine dayanır ve bir APS'nin durumu ile karşılaşılan sorunları tanımlamaya yönelik problemleri içermektedir. Yapılan literatür araştırmasında ise optimizasyon yöntemlerine dayanan stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerdeki karar problemlerini ele alan kuralcı çalışmalar incelenmiştir. Tanımlayıcı çalışmaların bizim için önemi, ele alınan kuralcı çalışmalar için veri sağlaması ve bir APS'nin özelliklerinin daha verimli bir şekilde belirlenmesi için kaynak oluşturmaktır. Kuralcı çalışmalar için karar problemleri beş başlık altında incelenmiştir (Brandstätter ve diğ., 2016).

İstasyon ve Operasyon Alanı Sorunları:

Bir APS'nin uygulanmasında uzun vadeli bir karar olarak, APS'ler iş modelleri gerektiriyorsa, operasyon alanının yanı sıra istasyonların yeri, sayısı ve boyutu belirlenmelidir. Bu bağlamda, APS'ler kullanıcı memnuniyetini ve kârını en üst düzeye çıkarırken, istasyon kurmaktan kaynaklanan maliyetleri en aza indirmenin yollarını aramaktadır.

Filo Boyutlandırma ve Dağıtım Sorunları:

Orta vadeli taktik düzeydeki bu kararlarla, taşıt paylaşım sistemlerinin verimliliğini artırmak için esas olarak optimal taşıt sayısı (filo boyutu) ve istasyonlar arasındaki filo dağılımı belirlenmeye çalışılır.

Talep Modelleme Sorunları:

Kullanıcıların seyahat davranışlarına ve araba paylaşımı kullanımını etkileyen faktörlere odaklanan deneysel araştırmaların yanı sıra, kısa vadeli operasyonel kararlardan olan seyahat talebi tahmin modelleri de APS üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tanımlayıcı araştırmalarda uygulanan istatistiksel yöntemler, otomobil paylaşımı talebini etkileyen faktörleri belirlemek için esas olarak mevcut arzdan etkilenen gerçek kullanım verilerini veya anket sonuçlarını analiz eder. Bu nedenle, tanımlayıcı araştırma, araba paylaşım sistemlerinin planlanması ve işletilmesi için gerekli olan tüm potansiyel talebi modellemek için önemlidir. Aslında, hizmet seviyesini doğru bir şekilde ölçmek için kritik olmakla birlikte, taşıt paylaşım sistemleri için talep modellemesinde karşılanamayan talepleri dikkate almak önemlidir (Albiński, Fontaine ve Minner, 2018). Kuralcı çalışmalar açıklayıcı olmayı değil, esas olarak simülasyon ve makine öğrenimi yöntemlerini kullanarak taşıt paylaşım talebini modellemeyi ve tahmin etmeyi amaçlar.

Daha önce de belirtildiği gibi, stratejik, taktik ve operasyonel kararlar arasında bir ilişki vardır. Yani istasyonların sayısı, konumu ve büyüklüğü ile filo büyüklüğü ve talep tahminleri, taşıtların dağıtımını etkiler. Bu nedenle Boyacı ve diğ. (2015), de Almeida Correia ve Antunes (2012) ve Nourinejad ve Roorda (2014), yer değiştirme operasyonlarını diğer uzun vadeli ve orta vadeli kararlarla entegre etmiştir.

Taşıt Stok Dengesizliği Sorunları:

Bir araba paylaşım sistemindeki taşıtların dengesiz dağılımı, esas olarak, kullanıcıların taşıtları yolculuğa başladıkları yerden farklı bir yere park etmelerine izin veren tek yönlü istasyon tabanlı ve serbest park alanlı hizmetlerde ortaya çıkar. Taşıt stok dengesizliğinin etkilerini azaltmak ve APS kullanıcılarının taşıtların kullanılabilirliğini sağlamak için bu karar problemi kısa vadeli operasyonel düzeydeki bir karardır. Bu problemi ortadan kaldırmak için, optimal filo dağılımını yeniden sağlayacak yaklaşımlar geliştirmeye çalışılır. Bu kapsamda dengesizliği azaltmak için kullanıcılara bazı teşvikler verilerek yeniden dengeleme sağlanabilir.

Literatüre göre, taşıt dengesizliğinin üstesinden gelmek için yaygın prosedürler genel olarak üç türe ayrılabilir (Jorge ve diğ., 2013; Martínez, Correia, Moura ve Lopes, 2017; Santos ve Correia, 2015). İlk tip, APS personelinin taşıtları fazla taşıt bulunan istasyonlardan/bölgelerden eksik oldukları bir istasyona/bölgeye taşımalarının planlandığı operatör tabanlı yer değiştirmedir. İkinci tür, kullanıcıların genellikle fiyat teşviklerine dayalı mekanizmalar aracılığıyla APS tarafından istenen alanlara taşıtlarını yeniden yerleştirmeye teşvik edildiği kullanıcı tabanlı yer değiştirmedir (örneğin, toplam kiralama maliyetinde %20 indirim yapılması). Dinamik fiyatlandırma ise kullanıcılara aşırı stoklu alanlarda daha düşük fiyatlara ve taşıt sıkıntısı olan bölgelerde daha yüksek fiyatlara yolculuklar sunar. Bu son tip, kullanıcıların seçtikleri yolculuk seçeneğiyle taşıt stok dengesizliğinin azaltılması amaçlanır. Yani dinamik fiyatlandırma ile yer değiştirme yapılmadan önce kullanıcılar tarafından yapılmak istenen yolculukların taşıt stok dengesizliğine sebep olup olmama durumu değerlendirilmekte ve değerlendirme sonucuna göre göre yolculuklar kabul veya reddedilmektedir. Dinamik fiyatlandırma ile dengesizliğe sebep olan seyahatler için kullanıcılara daha yüksek fiyatlar sunularak, seçim kullanıcılara bırakılmaktadır. Bu bağlamda, taşıt stok dengesizliğinin etkilerini hafifletmek için fiyatlandırma kararlarının önemi göz önünde bulundurulmalıdır.

Fiyatlandırma Sorunları:

Kısa vadeli operasyonel seviyeye giren bu kararlar ile yolculuk ücretlerinin statik mi dinamik mi olacağı belirlenir. Ayrıca eğer dinamik fiyat stratejisi kullanılacaksa yolculuklara göre fiyatlandırmanın nasıl değişeceği kararı da önem arz etmektedir.

5. Araba Paylaşım Sistemleri Literatür Araştırması

Son yıllarda yeni ve daha sürdürülebilir bir ulaşım yolu olan araba paylaşım sistemleri ile ilgili yapılmış olan birçok çalışma vardır. Bu çalışma kapsamında genellikle B2C araba paylaşım sistemi ile ilgili olan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda görülmüştür ki 4. Bölümde belirtilen stratejik, taktiksel ve operasyonel seviye karar problemleri arasında güçlü bir etkileşim vardır. Bu nedenle yapılan bu sınıflandırmaya göre kesin bir şekilde çalışmaları kategorize etmek mümkün olamamıştır. İncelenen makalelerin konfigürasyon türlerine göre sınıflandırılmış hali Tablo 1'de mevcuttur. Tabloda her bir çalışmanın ele aldığı probleme ve çözüm yaklaşımına göre amaç fonksiyonu türü, seyahat tipi, park şekli, yeniden dengeleme stratejisi ve fiyatlandırma türü işaretlenmiştir. Bu sınıflandırma açısından net bir ifade bulundurmeyen çalışmalar için işaretleme yapılmayarak ilgili hücreler boş bırakılmıştır.

Çalışmalar amaç fonksiyonlarına göre parasal tabanlı (PT) ve hizmet düzeyi kalitesine (HDK) göre ayrılmıştır. PT amaçlar en az maliyet veya toplam karın en büyüklenmesini hedeflemektedir. HDK'de ise müşterilere sağlanan hizmet düzeyinin en büyüklenmesi amaçlanmıştır. Tablo 1'de de görüldüğü gibi bazı çalışmalar her iki amacı da sağlamaya çalışmıştır. Seyahat tipi, park şekli, yeniden dengeleme stratejisi ve fiyatlandırma türü kapsamında yapılan ayrımların kapsamı Bölüm 3'te açıklanmıştır. Bu tabloya göre literatürde var olan çalışmalar daha çok parasal tabanlı amaçlar için oluşturulmuştur. Ayrıca kullanıcılar tarafından daha çok tercih edilen tek yönlü sistemler ve uygulamanın kolaylığı açısından da daha kolay olan istasyon bazlı sistemler üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Tablo 1. APS için sınıflandırılmış makaleler

Yazar	Amaç Fonk.		Seyahat tipi		Park Şekli		Yeniden Dengeleme Stratejisi			Fiyatlandırma Türü	
	¹ PT	² HDK	³ GD	⁴ TY	⁵ İB	⁶ SPA	⁷ S	⁸ D	⁹ KT	¹⁰ Sb	⁸ D
Fan, Machemehl ve Lownes (2008)	✓			✓	✓			✓		✓	
Nair ve Miller Hooks (2011)	✓	✓		✓	✓		✓			✓	
de Almeida Correia ve diğ. (2012)	✓			✓	✓		✓			✓	
Jorge, Correia ve Barnhart (2014)	✓			✓	✓			✓		✓	
Jorge, Barnhart ve de Almeida Correia (2015)	✓			✓	✓					✓	
Jorge, Molnar ve de Almeida Correia (2015)	✓			✓	✓	✓			✓	✓	✓
Santos ve diğ. (2015)	✓			✓	✓			✓		✓	
Nourinejad, Zhu, Bahrami ve Roorda (2015)	✓			✓	✓			✓		✓	
Chow, Yu ve Pavone (2015)	✓			✓	✓				✓		✓
Rossi, Zhang, Hindy ve Pavone (2018)	✓	✓		✓		✓		✓		✓	
Huang, de Almeida Correia ve An (2018)	✓			✓	✓			✓		✓	
Sun, Tang, Chen ve Zhang (2020)	✓			✓		✓					
Enzi, Parragh, Pisinger ve Prandstetter (2021)	✓			✓	✓					✓	
Nguyen, Hoang ve Vu (2022)	✓			✓	✓						✓

¹PT: Parasal Tabanlı, ²HDK: Hizmet Düzeyi Kalitesi, ³GD: Gidiş-Dönüş, ⁴TY: Tek Yön, ⁵İB: İstasyon Bazlı, ⁶SPA: Serbest Park Alanlı, ⁷S: Statik, ⁸D: Dinamik, ⁹KT: Kullanıcı Tabanlı, ¹⁰Sb: Sabit

6. Elektrikli Araba Paylaşım Sistemleri, Karar Problemleri ve Literatür Araştırması

Bu bölümde elektrikli arabaların kullanım avantajları, çeşitleri, ilk ne zaman kullanılmaya başlandığı gibi temel bilgiler verildikten sonra APS'de elektrikli arabaların kullanılmasıyla birlikte değişen veya ortaya çıkan karar problemlerinden bahsedilecektir. Son olarak ise eAPS ile ilgili literatür taramasına yer verilmiştir.

6.1 Elektrikli Araba Paylaşım Sistemleri

Elektrikli araba, elektrik enerjisi ile çalışan otomobillere verilen isimdir. Bu arabalar, içten yanmalı motora sahip türdeşlerinin aksine petrol ve türevi yakıtlara ihtiyaç duymamaktadır. Bunun yerine arabalarda bulunan lityum iyon ve benzeri pillerden oluşan setler vasıtasıyla elektrik motoruna güç aktarılır. Ayrıca atmosfere herhangi bir zararlı gazın salınımını yapmadıkları için periyodik olarak gerçekleştirilen egzoz gazı muayenesinden muaf tutulurlar. Üstelik düşük yakıt tüketimi, bakım sıklıklarının az olması ve ikinci el satışlarında değer kaybetmemeleri nedeniyle bu arabalar, ciddi oranda maliyet avantajı da sağlamaktadır. Bu sayede elektrikli arabalar yakıt tasarrufu yanında şehir kirliliğini düşürürler ve karbon emisyonunu da azaltırlar. Bu nedenle APS'de çevre dostu elektrikli arabalar giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.

Elektrikli arabaların ŞUEA, DBEA ve HEA olarak üç başlık altında incelendiğinden Bölüm 2'de bahsedilmiştir. ŞUEA prize takılarak şarj edilen elektrikli arabalardır. Kullanıcılar şarj istasyonlarına geldiklerinde arabaları şarj olana kadar beklemek zorundadırlar. DBEA ise pilli elektrikli arabalardır. Eğer arabanın şarjı biterse kullanıcıların şarj istasyonuna giderek boş bataryalarını dolusu ile değiştirmeleri yeterlidir. Yani arabaları şarj olana kadar istasyonda beklemeleri gerekmemektedir. HEA da ise arabalar hem prize takılarak şarj olabilmekte hem de boş bataryalar dolusu ile değiştirilebilmektedir.

Barth ve Todd (1999), elektrikli arabaların kullanımını araba paylaşım sistemleri bağlamında ilk düşünenler arasındadır. Güney Kaliforniya'daki bir tatil yerindeki bir vaka çalışmasına dayanarak, müşteri bekleme sürelerini karşılamayı amaçlayarak her 100 yolculuk için 3-6 arabanın yeterli olduğu, ancak gerekli süreyi en aza indirmek için yaklaşık 18-24 arabanın gerekli olacağı sonucuna varmışlardır. Çalışmada yolculukların ortalama 5 milden daha kısa sürdüğü ve dolayısıyla da araba şarj durumunun hiçbir zaman yaklaşık %70'in altına düşmediği varsayılmıştır. Yolculuk başına araba sayısının yanı sıra, yer değiştirme algoritmasının ve kullanılan şarj şemasının böyle bir sistemi başarılı bir şekilde işletmenin ana faktörleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

6.2 Elektrikli Araba Paylaşım Sistemlerinde Karar Problemleri

Elektrikli arabaların kullanıldığı taşıt paylaşım sistemlerinin tasarlanması ve işletilmesi, geleneksel yanmalı arabaların kullanıldığı sistemlere göre ek zorluklar doğurmaktadır. Örneğin, belirli şarj istasyonlarında arabaların gün boyunca şarj edilmesi zorunluluğu EA'ların kullanılabilirliğini önemli ölçüde sınırlamaktadır. Ayrıca, yüksek maliyetli olmasından dolayı çok fazla şarj istasyonu inşa edilmemiştir ve pahalı hızlı şarj istasyonları olmadığından şarj süreleri oldukça uzun olabilmektedir. Son olarak, elektrik tüketimi arabaların gün içindeki şarj durumunu daha iyi tahmin etmek için doğru bir şekilde modellenmesi gereken sürüş ve çevre koşullarından (örneğin, hız profili veya dış sıcaklık) önemli ölçüde etkilenir.

eAPS'de ortaya çıkan stratejik kararlar, esas olarak, operasyonel bölge boyunca şarj istasyonlarının konumlarını ve boyutlarını (yani şarj yuvalarının sayısını) planlamayı içerir. İşletmecinin temel amacı, istasyonların inşasından kaynaklanan maliyetlerini en aza indirirken, aynı zamanda işletme sırasında memnun kullanıcı taleplerinden elde edilen kârın en üst düzeye çıkarılmasını sağlamaktır. Kullanıcılar, yalnızca istekleri nispeten yüksek bir olasılıkla karşılanırsa bir taşıt paylaşım sistemi kullanmayı düşüneceklerinden, bir operatör, taşıt paylaşım sistemini kurmak için gerekli ilk maliyetler (uzun vadeli yatırım) ile taşıt paylaşım sistemini sürdürebilmek için gereken maliyetler arasında zor bir dengeyle karşı karşıya kalmaktadır (Brandstätter ve diğ., 2016).

Taktiksel kararlar orta vadeli planlama kararlarıyla ilgilidir. Bu zaman ufku içinde, eAPS ile ilgili olan ana optimizasyon problemi, arabaların şarj istasyonlarına tahsis edilmesidir. Böyle bir problem, esas olarak, arabaların ilk konumunun kritik olduğu ve talep dağılım modellerinde önemli değişiklikler meydana geldiğinde ayarlanması gerekebileceği iki yönlü modellerle ilgilidir (Brandstätter ve diğ., 2016).

Operasyonel seviye kararlar ise APS içinde geçerli olan talep modelleme, taşıt stok dengesizliği, fiyatlandırma gibi daha kısa vadeli kararları kapsayan karar problemleridir.

Elektrikli arabalar Bölüm 6.1’de belirtildiği gibi çevresel ve ekonomik açıdan birçok avantajı olmasına rağmen yukarıda belirtilen sebepler nedeniyle APS’de klasik taşıtlara göre birkaç ek planlanması zor karar problemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu ek karar problemleri aşağıda sıralanmıştır.

6.2.1. İstasyonların/Şarj İstasyonlarının Konumu

Yukarıda bahsedildiği gibi, bir araba paylaşım sisteminin performansını belirleyen önemli bir faktör, hangi müşterilerin onu gerçekten kullanabileceğini belirlediğinden, şu anda kullanılmayan her bir arabanın sistem içindeki konumudur. Birçok araba paylaşım sistemi istasyon bazlı olduğundan (yani, arabalar her zaman araba paylaşım şirketinin sahip olduğu sabit park yerlerinden alınır ve oraya iade edilir), bu istasyonların konumu eşit derecede önemli hale gelir. Bu, özellikle elektrikli araba kullanan sistemler için geçerlidir, çünkü genellikle gün içinde belirtilen istasyonlarda şarj edilmeleri ve gece boyunca (tamamen) şarj edilmeleri gerekir. Bu problemlerde temel amaç taşıt paylaşım şirketlerinin toplam maliyetini minimize etmek veya toplam kârı maksimize etmektir. Ek olarak, bazen müşterilerin yürüme mesafesini en aza indirmek gibi kullanıcı memnuniyetine ilişkin hedefler de göz önünde bulundurulur.

6.2.2. Arabaların Mevcut İstasyonlara Tahsisi

Arabaların istasyonlar arasında yerinin değiştirilmesinin yanı sıra (sonraki bölümlerde açıklanacağı gibi), çoğu çalışma arabaların istasyonlara atanmasını açıkça optimize etmemektedir. Arabaların belirli bir talebin kaynağı olarak kabul edilmesi ve istasyonların bu talebi karşılamak için inşa edilmesi ve boyutlandırılması da bu problemin çözümü için farklı bir bakış açısıdır.

6.2.3. Çok İstasyonlu Araba Paylaşım Sistemleri için Arabaların Yer Değiştirmesi

Son yıllarda, tek yönlü seyahat seçeneği, geleneksel veya elektrikli araba filolarıyla taşıt paylaşım hizmetlerinde giderek daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Tek yönlü taşıt paylaşım sistemleri, sabit park yerlerinin olmadığı durumlarda serbest park alanlı veya istasyon bazlı olabileceğinden daha önce bahsedilmiştir. Serbest park alanlı sistemlere ilişkin çalışmalar çok az olmakla beraber, daha çok istasyon tabanlı sistemler üzerinde çalışılmıştır. Ancak, bu bölümde açıklanan birçok konu, serbest park alanlı sistemler için de geçerlidir. Tek yönlü seyahat seçeneği, APS’de potansiyel müşterilerin sayısında önemli bir artış sağlar. Bu gelişmiş esnekliğin, servis sağlayıcı arasındaki araba dağıtımını üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Gidiş-dönüş zorunluluğu olmadığı için, araba park alanlarında bir dengesizlik durumu meydana gelebilir ve arabaların yetersiz olduğu istasyonlarda araba kullanılabilirliğini sağlama sorununu sistem sağlayıcısı için önemli bir sorun haline getirebilir. Aynı APS’de olduğu gibi araba paylaşım şirketinin hizmet dışı seyahatlerini kısıtlamak ve ekonomik kayıplarını sınırlamak için iki tür yer değiştirme stratejisi uygulanabilir. Kullanıcı Tabanlı (KT) stratejide yer değiştirmeye müşterinin kendisi karar verirken, Operatör Tabanlı (OT) stratejide yer değiştirme kararları personel operatörleri tarafından merkezi veya dağıtılmış bir şekilde gerçekleştirilir.

KT yer değiştirme stratejilerinin şu anda gerçek potansiyelleri henüz değerlendirilmemiştir. Bununla birlikte, günümüzde sağlayıcıların iş yükünü azaltmak için kullanıcılara bazı teşvikler önerilmektedir (örneğin, car2go kullanıcıları, arabaya yakıt doldururlarsa kullanıcılarına ücretsiz sürüş süresi vermektedir) (Brandstätter ve diğ., 2016).

Mevcut araba paylaşım sağlayıcıları genellikle sistem kapandıktan sonra gece boyunca yer değiştirme işlemlerini gerçekleştirir. Literatürde farklı pratik yer değiştirme yöntemleri mevcuttur. Bu tür tekniklerin örnekleri Barth, Todd ve Xue (2004) tarafından aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- EA'ların bir kamyonla taşınması,
- Bir "servis" arabası ile tek bir EA'nın çekilmesi,
- Operatörlerin bir "servis" arabası kullanarak yer değiştirme pozisyonlarına taşınması.

6.2.4. Pil Değiştirme

Pil değiştirme sorunu APS’lerden farklı olarak eAPS ile alakalı bir sorundur. Bataryalı elektrikli arabaların geniş çapta yayılması için bir ana zorluk, sınırlı menzilleri ve geleneksel arabaların aksine, yeniden şarj işlemlerinin önemli miktarda zaman almasıdır. Özellikle uzun mesafeli seyahatlerde gece şarjı yeterli değildir. Bu nedenle, pil değiştirme (şarj etmek yerine), pillerin bir şirkete ait olduğu ve kullanıcıların halihazırda kullanılmış (neredeyse

Tablo 2. eAPS için sınıflandırılmış makaleler

Yazar	Amaç Fonk.		Seyahat tipi		Park Şekli		Yeniden Dengeleme Stratejisi			Fiyatlandırma Türü	
	¹ PT	² HDK	³ GD	⁴ TY	⁵ İB	⁶ SPA	⁷ S	⁸ D	⁹ KT	¹⁰ Sb	⁸ D
Kumar ve Bierlaire (2012)		✓	✓		✓					✓	
Worley, Klabjan ve Sweda (2012)	✓		✓		✓					✓	
Wang ve Lin (2013)	✓	✓									
Almuhtady, Lee, Romeijn, Wynblatt ve Ni (2014)	✓										
Cavadas, de Almeida Correia ve Gouveia (2015)		✓									
Yang ve Sun (2015)	✓										
Weigl ve Bogenberger (2015)	✓			✓		✓		✓		✓	
Boyacı, Zografos ve Geroliminis (2015)	✓			✓	✓			✓		✓	
Boyacı, Zografos ve Geroliminis (2017)	✓	✓		✓	✓			✓		✓	
Xu, Meng ve Liu (2018)	✓			✓		✓		✓			✓
Zhao ve diğ. (2018)	✓			✓	✓		✓			✓	
Zhang, Liu ve He (2019)	✓			✓	✓		✓			✓	
Xu ve Meng (2019)	✓			✓	✓			✓		✓	
Boyacı ve Zografos (2019)	✓			✓	✓			✓			✓
Miao, Jia, Li ve Qiu (2019)	✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓	
Lai, Chen ve Natarajan (2020)	✓	✓		✓	✓						✓
Li, Pantelidis, Chow ve Jabari (2021)		✓		✓	✓						
Cai, Wang, Luo ve Liang (2022)	✓			✓	✓						✓

¹PT: Parasal Tabanlı, ²HDK: Hizmet Düzeyi Kalitesi, ³GD: Gidiş-Dönüş, ⁴TY: Tek Yön, ⁵İB: İstasyon Bazlı, ⁶SPA: Serbest Park Alanlı, ⁷S: Statik,

⁸D: Dinamik, ⁹KT: Kullanıcı Tabanlı, ¹⁰Sb: Sabit

boş) pillerini önceden tanımlanmış Pil Değişirme İstasyonlarında (PDİ) tam şarjlı bir pille değiştirdiği uygun bir alternatif olarak kabul edilmiştir. Bu işlem birkaç dakika içinde yapılabilmektedir bu nedenle kullanıcılar açısından çok daha avantajlı bulunmaktadır (Yani geleneksel bir arabaya yakıt ikmali yapmak için gereken yaklaşık aynı zaman dilimini kapsamaktadır). Pillerde standardizasyon eksikliği ve sistemi kurmak için gereken büyük yatırımlar bu tür bir teknolojik yaklaşımı zorlaştırırsa da literatürde bazı ilginç çalışmalar bulunmaktadır.

Literatürdeki yaklaşımlar, esas olarak, pil değiştirme istasyonlarının kurulması (ve muhtemelen bakımının yapılması) için toplam maliyetlerin en aza indirilmesi ile ilgilidir. Ayrıca klasik araba rotalama uygulamalarında toplam rotalama maliyetleri de kısmen dikkate alınmaktadır. İlgili çalışmaların çoğu, maksimum seyahat menzillerini sınırlayan kısıtlamaları (bir konum-yönlendirme sorunu düşünüldüğünde) ve nispeten küçük potansiyelli takas istasyonları setlerine (genellikle yalnızca mevcut “geleneksel” benzin istasyonları) yönelik kısıtlamaları dikkate alır. Ayrıca, elektrik şebekesinin sınırlamalarından kaynaklanan (özellikle hızlı şarj kullanılıyorsa) konum başına pil sayısı üst sınırları dikkate alınmaktadır.

6.3. Elektrikli Araba Paylaşım Sistemleri Literatür Araştırması

Elektrikli arabaların kullanımının yaygınlaşması ile elektrikli araba paylaşım sistemleri ile ilgili yapılmış olan birçok çalışma vardır. Daha önce de belirtildiği gibi stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerdeki karar problemleri arasında güçlü bir etkileşim vardır. Bu nedenle yapılan bu sınıflandırmaya göre kesin bir şekilde çalışmaları kategorize etmek mümkün olmamıştır. İncelenen makalelerin konfigürasyon türlerine göre sınıflandırılmış hali Tablo 2’de mevcuttur. Bu tabloda da Tablo 1’de olduğu gibi her bir çalışmanın ele aldığı probleme ve çözüm yaklaşımına göre amaç fonksiyonu türü, seyahat tipi, park şekli, yeniden dengeleme stratejisi ve fiyatlandırma türü işaretlenmiştir. Bu sınıflandırma açısından net bir ifade bulundurmayan çalışmalar için işaretleme yapılmayarak ilgili hücreler boş bırakılmıştır.

Çalışmalar amaç fonksiyonlarına göre parasal tabanlı (PT) ve hizmet düzeyi kalitesine (HDK) göre ayrılmıştır. PT amaçlar en az maliyet veya toplam kârın en büyüklenmesini hedeflemektedir. HDK’de ise müşterilere sağlanan hizmet düzeyinin en büyüklenmesi amaçlanmıştır. Tablo 2’de de görüldüğü gibi bazı çalışmalar her iki amacı da sağlamaya çalışmıştır. Seyahat tipi, park şekli, yeniden dengeleme stratejisi ve fiyatlandırma türü kapsamında yapılan ayrımların kapsamı Bölüm 3’te açıklanmıştır. Bu tabloya göre literatürde var olan çalışmalar daha çok parasal tabanlı amaçlar için oluşturulmuştur. Ayrıca kullanıcılar tarafından daha çok tercih edilen tek yönlü sistemler ve uygulamanın kolaylığı açısından da daha kolay olan istasyon bazlı sistemler üzerinde daha çok çalışılmıştır.

7. Sonuç

Yakın zamanda TPS’nin daha çok kullanılmasıyla birlikte bu konuda yapılan çalışmalar da yoğunlaşmıştır. Bu çalışma kapsamında APS ve eAPS için literatürde var olan kuralcı çalışmalar için bir çerçeve çizilmeye çalışılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda literatürde bazı boşluklar tespit edilmiştir. Bunlardan ilki APS ile ilgili kuralcı ve tanımlayıcı birçok çalışma olmasına rağmen aradaki bağlantının net olarak kurulamamasıdır. Yani tanımlayıcı çalışmalardan elde edilen çıkarımların kuralcı çalışmalarda kullanılması daha verimli ve uygulanabilir APS’ler tasarlanabilecekken yapılan çalışmalarda bu net bir şekilde görülmemiştir. Bir diğeri ise APS’lerin genellikle tekil olarak ele alınmasıdır. Literatürde var olan çalışmaların bazıları çok modlu yani diğer ulaşım taşıtlarını da APS planlamasına dahil etmiştir ve müşterilere seçebilecekleri daha fazla seçenek sunmuşlardır. Bu şekilde yapılacak bir planlamanın güçlükleri olsa da daha uygulanabilir ve müşteriler tarafından daha çok tercih edilebilir olduğu düşünülebilir. Gelecekte yapılan çalışmalar için çok modlu seyahat seçeneklerinin de APS’lere dahil edildiği modeller çoğaltılabilir. Geleneksel APS’de homojen bir filonun bulunduğu varsayılmıştır. Halbuki gerçek hayat problemlerinde bir filoda farklı taşıtlar da bulunabilmektedir. Bu da göz önünde bulundurularak her bir değişen taşıt tipine göre değişen fiyat ve talep bilgileri de modellere dahil edilebilir. Serbest park alanlı APS’nin yaygınlaşması ile kullanıcıların APS’lere olan taleplerinin artacağı ve kullanıcıların taşıt sahibi olmaktansa bu paylaşım sistemlerini tercih edeceği düşünülmektedir. Bu nedenle literatürde az sayıda çalışılan serbest park alanlı APS’ler için daha fazla model geliştirilebilir. Ayrıca TPS’nin konfigürasyonlarına göre yapılan ayırmda görülmüştür ki yapılan çalışmalar genellikle her bir alt başlıktan sadece birine ait olma eğilimindedir. Yani bir APS ya gidiş dönüş ya tek yönlü seyahat seçeneğine izin vermekte veya ya istasyon bazlı park alanları ya da serbest park alanları içermektedir. Yapılacak çalışmalarda bu sınıflandırmalar için hibrit çalışmalar önerilerek daha opsiyonel modeller geliştirilebilir. APS’de müşteriler tarafından son anda rezervasyonlar iptal edilebilmekte veya değiştirilebilmektedir. Talep modelleri ile ilgili yapılan çalışmalarda bu stokastik durum daha fazla dâhil edilerek daha gerçekçi modeller oluşturulabilir.

Bu çalışmada sayfa sınırlaması nedeniyle kapsam daraltılarak sadece TPS sınıflandırılmasında belirtilen alt başlıklardan iki tanesi olan APS ve eAPS'ler için karar problemleri üzerinde durulmuştur. Gelecek çalışmalarda BPS, OBET-PS ve EKTPS'ler için de karar problemleri ayrıntılı olarak incelenebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; İpek Damla Akpınar, bilimsel yayın araştırması, literatür taraması, makalenin oluşturulması, sonuçların tartışılması; Barış Keçeci, çalışma alanı ve konunun bulunması, araştırma yönteminin denetlenmesi, bulguların tartışılması ve nihai yazıya katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

Albiński, S., Fontaine, P., & Minner, S. (2018). Performance analysis of a hybrid bike sharing system: A service-level-based approach under censored demand observations. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 116, 59-69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.05.011>

Almuhtady, A., Lee, S., Romeijn, E., Wynblatt, M., & Ni, J. (2014). A degradation-informed battery-swapping policy for fleets of electric or hybrid-electric vehicles. *Transportation Science*, 48(4), 609-618. Doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.2013.0494>

Ataç, S., Obrenović, N., & Bierlaire, M. (2021). Vehicle sharing systems: A review and a holistic management framework. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 10, 100033. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2021.100033>

Barth, M., & Shaheen, S. A. (2002). Shared-use vehicle systems: Framework for classifying carsharing, station cars, and combined approaches. *Transportation Research Record*, 1791(1), 105-112. doi: <https://doi.org/10.3141/1791-16>

Barth, M., & Todd, M. (1999). Simulation model performance analysis of a multiple station shared vehicle system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 7(4), 237-259. doi: [https://doi.org/10.1016/S0968-090X\(99\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S0968-090X(99)00021-2)

Barth, M., & Todd, M. (2001). User behavior evaluation of an intelligent shared electric vehicle system. *Transportation Research Record*, 1760(1), 145-152. doi: <https://doi.org/10.3141/1760-1>

Barth, M., Shaheen, S. A., Fukuda, T., & Fukuda, A. (2006). Carsharing and station cars in Asia: Overview of Japan and Singapore. *Transportation Research Record*, 1986(1), 106-115. doi: <https://doi.org/10.1177/0361198106198600114>

Barth, M., Todd, M., & Xue, L. (2004). User-based vehicle relocation techniques for multiple-station shared-use vehicle systems. Retrieved from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.360.8614>

Bird marks one year anniversary with 10 millionth environmentally-friendly ride, (2018). Retrieved from <https://www.prnewswire.com/news-releases/bird-marks-one-year-anniversary-with-10-millionth-environmentally-friendly-ride-300715767.html>

Boyacı, B., & Zografos, K. G. (2019). Investigating the effect of temporal and spatial flexibility on the performance of one-way electric carsharing systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 129, 244-272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.09.003>

Boyacı, B., Zografos, K. G., & Geroliminis, N. (2015). An optimization framework for the development of efficient one-way car-sharing systems. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 718-733. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.020>

- Boyacı, B., Zografos, K. G., & Geroliminis, N. (2015). An optimization framework for the development of efficient one-way car-sharing systems. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 718-733. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.020>
- Boyacı, B., Zografos, K. G., & Geroliminis, N. (2017). An integrated optimization-simulation framework for vehicle and personnel relocations of electric carsharing systems with reservations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 95, 214-237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.10.007>
- Brandstätter, G., Gambella, C., Leitner, M., Malaguti, E., Masini, F., Puchinger, J., ... & Vigo, D. (2016). Overview of optimization problems in electric car-sharing system design and management. In *Dynamic perspectives on managerial decision making* (pp. 441-471). Springer, Cham. Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-39120-5_24
- Cai, L., Wang, X., Luo, Z., & Liang, Y. (2022). A hybrid adaptive large neighborhood search and tabu search algorithm for the electric vehicle relocation problem. *Computers & Industrial Engineering*, 167, 108005. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108005>
- Cavadas, J., de Almeida Correia, G. H., & Gouveia, J. (2015). A MIP model for locating slow-charging stations for electric vehicles in urban areas accounting for driver tours. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, 188-201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.11.005>
- Celsor, C., & Millard-Ball, A. (2007). Where does carsharing work? Using geographic information systems to assess market potential. *Transportation Research Record*, 1992(1), 61-69. doi: <https://doi.org/10.3141/1992-08>
- Chow, Y., Yu, J. Y., & Pavone, M. (2015). Two Phase \$ Q-\$ learning for Bidding-based Vehicle Sharing. arXiv preprint arXiv:1509.08932. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1509.08932>
- Costain, C., Ardron, C., & Habib, K. N. (2012). Synopsis of users' behaviour of a carsharing program: A case study in Toronto. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(3), 421-434. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.11.005>
- de Almeida Correia, G. H., & Antunes, A. P. (2012). Optimization approach to depot location and trip selection in one-way carsharing systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 233-247. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.06.003>
- Efthymiou, D., Antoniou, C., & Waddell, P. (2012). Which factors affect the willingness to join vehicle sharing systems? Evidence from young Greek drivers. *Paper presented at the Transportation Research Board 91st Annual Meeting*. Retrieved from <https://trid.trb.org/view/1129049>
- Enzi, M., Parragh, S. N., Pisinger, D., & Prandtstetter, M. (2021). Modeling and solving the multimodal car-and ride-sharing problem. *European Journal of Operational Research*, 293(1), 290-303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.11.046>
- Fan, W., Machemehl, R. B., & Lownes, N. E. (2008). Carsharing: Dynamic decision-making problem for vehicle allocation. *Transportation Research Record*, 2063(1), 97-104. doi: <https://doi.org/10.3141/2063-12>
- Ferrero, F., Perboli, G., Rosano, M., & Vesco, A. (2018). Car-sharing services: An annotated review. *Sustainable Cities and Society*, 37, 501-518. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.020>
- Firkorn, J., & Müller, M. (2011). What will be the environmental effects of new free-floating car-sharing systems? The case of car2go in Ulm. *Ecological economics*, 70(8), 1519-1528. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.03.014>
- Golalikhani, M., Oliveira, B. B., Carravilla, M. A., Oliveira, J. F., & Antunes, A. P. (2021). Carsharing: A review of academic literature and business practices toward an integrated decision-support framework. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 149, 102280. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102280>
- Huang, K., de Almeida Correia, G. H., & An, K. (2018). Solving the station-based one-way carsharing network planning problem with relocations and non-linear demand. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 90, 1-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.02.020>

- Jorge, D., & Correia, G. (2013). Carsharing systems demand estimation and defined operations: a literature review. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 13(3). doi: <https://doi.org/10.18757/ejtir.2013.13.3.2999>
- Jorge, D., Barnhart, C., & de Almeida Correia, G. H. (2015). Assessing the viability of enabling a round-trip carsharing system to accept one-way trips: Application to Logan Airport in Boston. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 359-372. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.04.020>
- Jorge, D., Correia, G. H., & Barnhart, C. (2014). Comparing optimal relocation operations with simulated relocation policies in one-way carsharing systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(4), 1667-1675. doi: <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2304358>
- Jorge, D., Molnar, G., & de Almeida Correia, G. H. (2015). Trip pricing of one-way station-based carsharing networks with zone and time of day price variations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 81, 461-482. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.06.003>
- Kim, J., Rasouli, S., & Timmermans, H. (2017). Satisfaction and uncertainty in car-sharing decisions: An integration of hybrid choice and random regret-based models. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 13-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.11.005>
- Kothari, C. R. (2004). *Research methodology: Methods and techniques*. New Age International. Retrieved from <https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr>
- Kumar, P., & Bierlaire, M. (2012). Optimizing locations for a vehicle sharing system. In Swiss Transport Research Conference (No. CONF). Retrieved from <https://infoscience.epfl.ch/record/195890>
- Lai, K., Chen, T., & Natarajan, B. (2020). Optimal scheduling of electric vehicles car-sharing service with multi-temporal and multi-task operation. *Energy*, 204, 117929. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117929>
- Lawler, R. (2012). Zipcar for Scooters. *Startup Scoot Networks Launches to the Public in San Francisco*. Retrieved from <https://techcrunch.com/2012/09/26/scoot-sf-launch/>
- Li, L., Pantelidis, T., Chow, J. Y., & Jabari, S. E. (2021). A real-time dispatching strategy for shared automated electric vehicles with performance guarantees. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152, 102392. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102392>
- Litman, T. (2000). Evaluating carsharing benefits. *Transportation Research Record*, 1702(1), 31-35. Doi: <https://doi.org/10.3141/1702-04>
- Martin, E. W., & Shaheen, S. A. (2011). Greenhouse gas emission impacts of carsharing in North America. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 12(4), 1074-1086. doi: <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2158539>
- Martínez, L. M., Correia, G. H. D. A., Moura, F., & Mendes Lopes, M. (2017). Insights into carsharing demand dynamics: Outputs of an agent-based model application to Lisbon, Portugal. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(2), 148-159. doi: <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1226997>
- Miao, H., Jia, H., Li, J., & Qiu, T. Z. (2019). Autonomous connected electric vehicle (ACEV)-based car-sharing system modeling and optimal planning: A unified two-stage multi-objective optimization methodology. *Energy*, 169, 797-818. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.066>
- Mitchell, W. J., Borroni-Bird, C. E., & Burns, L. D. (2010). *Reinventing the automobile: Personal urban mobility for the 21st century*. MIT press. Retrieved from <https://books.google.com.tr/books?id=32>
- Münzel, K., Boon, W., Frenken, K., Blomme, J., & van der Linden, D. (2020). Explaining carsharing supply across Western European cities. *International Journal of Sustainable Transportation*, 14(4), 243-254. doi: <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1542756>
- Nair, R., & Miller-Hooks, E. (2011). Fleet management for vehicle sharing operations. *Transportation Science*, 45(4), 524-540. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1100.0347>

- Nguyen, T. K., Hoang, N. H., & Vu, H. L. (2022). A unified activity-based framework for one-way car-sharing services in multi-modal transportation networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102551. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102551>
- Nourinejad, M., & Roorda, M. J. (2014). A dynamic carsharing decision support system. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 66, 36-50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.03.003>
- Nourinejad, M., Zhu, S., Bahrami, S., & Roorda, M. J. (2015). Vehicle relocation and staff rebalancing in one-way carsharing systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 98-113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.06.012>
- Rossi, F., Zhang, R., Hindy, Y., & Pavone, M. (2018). Routing autonomous vehicles in congested transportation networks: Structural properties and coordination algorithms. *Autonomous Robots*, 42(7), 1427-1442. doi: <https://doi.org/10.1007/s10514-018-9750-5>
- Santos, G., & Correia, G. (2015). A MIP model to optimize real time maintenance and relocation operations in one-way carsharing systems. *Transportation Research Procedia*, 10, 384-392. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.088>
- Schuster, T. D., Byrne, J., Corbett, J., & Schreuder, Y. (2005). Assessing the potential extent of carsharing: A new method and its implications. *Transportation research record*, 1927(1), 174-181. doi: <https://doi.org/10.1177/0361198105192700120>
- Shaheen, S. A., & Cohen, A. P. (2007). Growth in worldwide carsharing: An international comparison. *Transportation Research Record*, 1992(1), 81-89. doi: <https://doi.org/10.3141/1992-10>
- Shaheen, S. A., & Cohen, A. P. (2013). Carsharing and personal vehicle services: worldwide market developments and emerging trends. *International journal of sustainable transportation*, 7(1), 5-34. doi: <https://doi.org/10.1080/15568318.2012.660103>
- Shaheen, S. A., Cohen, A. P., & Chung, M. S. (2009). North American carsharing: 10-year retrospective. *Transportation Research Record*, 2110(1), 35-44. doi: <https://doi.org/10.3141/2110-0>
- Shaheen, S. A., Cohen, A. P., & Roberts, J. D. (2006). Carsharing in North America: Market growth, current developments, and future potential. *Transportation Research Record*, 1986(1), 116-124. doi: <https://doi.org/10.1177/03611981061986001>
- Shaheen, S. A., Guzman, S., & Zhang, H. (2010). Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: past, present, and future. *Transportation research record*, 2143(1), 159-167. doi: <https://doi.org/10.3141/2143-20>
- Shaheen, S. A., Sperling, D., & Wagner, C. (1999). A Short History of Carsharing in the 90's. *Journal of World Transport Policy and Practice*, 5(3), 16-37. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/6p3305b0>
- Sun, X., Tang, W., Chen, J., & Zhang, J. (2020). Optimal investment strategy of a free-floating sharing platform. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 138, 101958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101958>
- Wang, Y. W., & Lin, C. C. (2013). Locating multiple types of recharging stations for battery-powered electric vehicle transport. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 58, 76-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.07.003>
- Weikl, S., & Bogenberger, K. (2015). A practice-ready relocation model for free-floating carsharing systems with electric vehicles—Mesoscopic approach and field trial results. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 57, 206-223. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.06.024>
- Worley, O., Klabjan, D., & Sweda, T. M. (2012, March). Simultaneous vehicle routing and charging station siting for commercial electric vehicles. In *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference* (pp. 1-3). IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/IEVC.2012.6183279>

- Xu, M., & Meng, Q. (2019). Fleet sizing for one-way electric carsharing services considering dynamic vehicle relocation and nonlinear charging profile. *Transportation Research Part B: Methodological*, 128, 23-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.07.016>
- Xu, M., Meng, Q., & Liu, Z. (2018). Electric vehicle fleet size and trip pricing for one-way carsharing services considering vehicle relocation and personnel assignment. *Transportation Research Part B: Methodological*, 111, 60-82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.03.001>
- Yang, J., & Sun, H. (2015). Battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles. *Computers & operations research*, 55, 217-232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.07.003>
- Zhang, D., Liu, Y., & He, S. (2019). Vehicle assignment and relays for one-way electric car-sharing systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 120, 125-146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.12.004>
- Zhao, M., Li, X., Yin, J., Cui, J., Yang, L., & An, S. (2018). An integrated framework for electric vehicle rebalancing and staff relocation in one-way carsharing systems: Model formulation and Lagrangian relaxation-based solution approach. *Transportation Research Part B: Methodological*, 117, 542-572. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.09.014>