

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI OTOYARK SİSTEMİ
UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR İNCELEME



Bora DOĞAROĞLU

Temmuz, 2019
İZMİR

AKILLI OTOPARK SİSTEMİ UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR İNCELEME

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı**

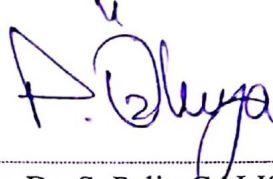
Bora DOĞAROĞLU

Temmuz, 2019

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

BORA DOĞAROĞLU, tarafından DOÇ. DR. S. PELİN ÇALIŞKANELLİ yönetiminde hazırlanan “AKILLI OTOPARK SİSTEMİ UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR İNCELEME” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. S. Pelin ÇALIŞKANELLİ

Yönetici



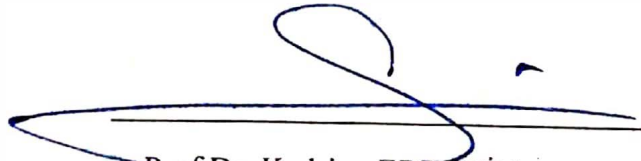
Prof. Dr. Serhan TANYEL

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Özgür BAŞKAN

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

İlk olarak, tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren, anlayışlı ve sabırlı yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. S. Pelin ÇALIŞKANELLİ'ye, teşekkürü borç bilirim.

Çalışmam boyunca değerli tavsiyeleri için sayın Prof. Dr. Serhan TANYEL'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim süresince her zaman destek olan Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı öğretim üyeleri Sayın Prof. Dr. Ali TOPAL'a, Sayın Prof. Dr. Burak ŞENGÖZ'e ve Sayın Doç. Dr. Mustafa ÖZUYSAL'a, yardımları için teşekkür ederim.

Ona ayırmam gereken zamandan çaldığım için öncelikle kızım G. Rüya DOĞAROĞLU'na, tüm desteklerinden dolayı Tüba Küçük DOĞAROĞLU'na, her zaman arkamda olduklarını hissettiğim aileme ve tez çalışmam sırasında desteklerinden dolayı Ali ALMUSAWI'ye ve Hassan ABDULRAHMAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Bora DOĞAROĞLU

AKILLI OTOPARK SİSTEMİ UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR İNCELEME

ÖZ

Günümüzde, özellikle büyük şehirlerde, hızla artan otomobil kullanımına bağlı olarak otopark talebini karşılamada zorluklar yaşanmaktadır. Otopark talebindeki artışın ve bu talebin kentsel trafik akışına etkilerinin belirlenmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Sorunu çözmek için en etkili yöntemlerden biri mevcut park kapasitesini en verimli şekilde kullanmaktır. Son yıllarda otopark kapasitesini etkin ve verimli bir şekilde kullanabilmek için araç sürücülerine, yönlendirme, güzergah belirleme, doluluk tespiti, rezervasyon imkanı vs. gibi olanaklar sunan akıllı ulaşım sistemi uygulamaları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada yerel yönetim tarafından kullanılmakta olan İzmir'in ulaşım bilgi sistemi tanıtılmıştır. Ulaşım bilgi sistemi kullanılarak yapılacak olan gözlemler ve veri toplama için üç farklı otopark seçilmiştir. Seçilen otoparklar bir simülasyon programı ile modellenmiş ve modelin uygunluğu analiz edilmiştir. Model uygunluğu tespit edildikten sonra farklı etkenlerin otopark algısı ve otopark seçimine etkisi bir fayda fonksiyonu ile incelenmiştir. Yapılan analizlerde, akıllı otopark sistemi uygulamasında önerilen model neticesinde ortalama sürüş süresi, yürüme mesafesi, park ücreti ve karbondioksit emisyonlarındaki değişimler incelenmiştir. İnceleme sonuçlarına göre sürüş süresinde, yürüme mesafesinde ve karbondioksit salımında %18 oranına varan iyileşmeler belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Akıllı ulaşım sistemleri, otopark bilgilendirme sistemi, park yeri tercih modeli, akıllı otopark sistemi, otopark yönetimi

AN INVESTIGATION ON INTELLIGENT PARKING SYSTEM APPLICATIONS

ABSTRACT

Nowadays, especially in big cities, there are difficulties in meeting the demand for parking due to the rapidly increasing use of automobiles.. Various studies are carried out in order to determine the increase in the demand for parking and the effects of this demand on the urban traffic flow. One of the most effective methods to solve the problem is to use the existing parking capacity in the most efficient way. In recent years, intelligent transportation system applications have been used in order to use the parking capacity efficiently by providing facilities such as parking guidance, route negotiation, lot occupancy detection, reservation opportunity etc. for drivers.

In this study, the transportation information system of İzmir which was brought into use by the local administration was introduced. Three different car parks were selected for the observations and data collection with the help of the information system. The chosen car parks were modelled with a simulation program and the validity of the model was shown. After the confirmation of the model validity, the effect of various parameters on perception and selection of car park were examined by a utility function. In the analyses, variations in average driving duration, walking distance, parking cost and carbon dioxide emissions were investigated as a result of proposed model in the intelligent parking system application. According to the results, up to 18% improvements were determined in driving time, walking distance and carbon dioxide emissions.

Keywords: Intelligent transportation systems, parking information system, parking preference model, smart parking system, parking management

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ - LİTERATÜR TARAMASI.....	5
2.1 Giriş.....	5
2.2 Akıllı Otopark Sistemleri	6
2.3 Akıllı Otopark Sistem Teknolojilerinin İncelenmesi	12
2.3.1 Park Yönlendirme ve Bilgi Sistemi (Parking Guidance and Information System-PGIS).....	12
2.3.2 Toplu Taşıma (Transit) Tabanlı Bilgi Sistemi (Transit Based Information System)	14
2.3.3 Akıllı Ücret Toplama Sistemi (Smart Payment System).....	16
2.3.4 E-park Sistemi (E-parking).....	18
2.3.5 Otomatik Otopark Sistemi (Automated Parking)	19
2.4 Akıllı Otopark Araç Tanıma Teknolojileri.....	21
2.4.1 Dahili (intrusive) Araç Tanıma Sistemleri	22
2.4.1.1 İndüksiyon Sarmalı Sensörleri	22
2.4.1.2 Magnetometreler	24
2.4.1.3 Manyetik Dirençli Sensörleri	25
2.4.1.4 Pnömatik Tüplü Sensörler.....	25
2.4.1.5 Piezoelektrik Sensörler.....	26
2.4.1.6 Hareket Ağırlık Sensörleri	28
2.4.2 Harici (non-intrusive) Araç Tanıma Sistemleri.....	28
2.4.2.1 Video Görüntü İşlemcisi	30

2.4.2.2 Pasif veya Aktif Kızılötesi Sensörleri	31
2.4.2.3 Mikrodalga Radar Detektörler	32
2.4.2.4 Ultrasonik Detektörler.....	32
2.4.2.5 Akustik Detektörler.....	33
2.4.2.6 Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) veya Transponder Sistemleri	34
BÖLÜM ÜÇ - METODOLOJİ.....	36
3.1 Giriş.....	36
3.2 Çalışmanın Uygulama Adımları	38
3.2.1 Adım 1 – Otopark Seçimi	39
3.2.2 Adım 2 – Gözlem ve Simülasyon Sonuçları	40
3.2.3 Adım 3 – M1 ve M2 Simülasyon Sonuçlarının Kıyaslanması.....	40
3.3 Simülasyon Programının Tasarımı.....	41
3.3.1 Simülasyon Değerlendirilme Yöntemi	45
3.3.1.1 Ortalama Sürüş Süresi, Yürüme Mesafesi ve Ortalama Ücret.....	46
3.3.1.2 Ortalama Karbondioksit Salımı.....	46
3.3.1.3 Doluluk Oranı / Zaman Grafiği.....	49
BÖLÜM DÖRT - VERİLERİN TANITILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	50
4.1 İzmir Ulaşım Merkezi (İZUM) Bilgi Sistemi	50
4.1.1 İZUM Otopark Bilgi Sistemi	51
4.2 Verilerin Değerlendirilmesi	52
4.2.1 Otopark Tercih Modelleri için Toplanan Gözlem Verileri ve Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	52
4.2.1.1 M1 Simülasyon Kabulleri	54
4.2.1.2 M1 Simülasyonu ve Gözlem Verilerinin Karşılaştırılması.....	55
4.2.1.3 Akıllı Otopark Sistem Önerisi ve Tasarımı.....	59
4.2.1.4 Akıllı Otopark Sistem Önerisi Simülasyon Sonuçları ve Değerlendirme.....	60

4.2.2 İZUM Bilgilendirme Sisteminin Otopark Doluluğuna Etkisinin İncelenmesi	69
BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	77



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Akıllı park sistemi genel mimarisi	9
Şekil 2.2 Dinamik/statik değişken mesajlı trafik işaretleri	13
Şekil 2.3 İstanbul'da park et devam et sistemi uygulaması	16
Şekil 2.4 İstanbul'da uygulanan akıllı ücret toplama sitemi	17
Şekil 2.5 İstanbul'da uygulanan e-park sistemi	19
Şekil 2.6 İzmir alsancak tam otomatik otoparkı.....	21
Şekil 2.7 İndüksiyon sarmalı sensörü	23
Şekil 2.8 Otopark girişinde magnetometre ile araç sayım uygulaması	24
Şekil 2.9 Pnömatik tüplü sensör.....	26
Şekil 2.10 Piezoelektrik sensörler	27
Şekil 2.11 Hats teknoloji yapılandırmaları.....	29
Şekil 2.12 Ultrasonik sensörler	33
Şekil 2.13 RFID otopark sistemi.....	34
Şekil 3.1 Araştırmanın akış şeması	39
Şekil 3.2 Netlogo ortamında hazırlanan fayda fonksiyonu tabanlı simülasyon programı.....	41
Şekil 3.3 Netlogo yama koordinat sistemi ve ekranı.....	42
Şekil 3.4 Simülasyon parametreleri	43
Şekil 3.5 Araç ayrılış denklem sonuçları ve gelen araç sayısı grafiği	45
Şekil 3.6 Simülasyon değerlendirme ekranları	46
Şekil 3.7 Simülasyon doluluk oranı / zaman grafik ekranı	49
Şekil 4.1 İZUM akıllı telefon uygulaması ve internet ara yüzü.....	50
Şekil 4.2 İZUM otopark bilgi ekranı.....	52
Şekil 4.3 Seçilen otoparkların, hedef noktasının ve iki ana arterin konumu.....	53
Şekil 4.4 Gözlem ve simülasyon verileri uyumsuzluk oranı grafiği.....	56
Şekil 4.5 Tüm otoparkların ortak değerlendirildiği gözlem ve simülasyon verileri regresyon analizi grafiği	58
Şekil 4.6 Tüm otoparkların için gözlem ve simülasyon verileri karşılaştırma grafiği	59
Şekil 4.7 Liman Caddesi üzerinden otoparklara gidiş güzergahları	61

Şekil 4.8 Cumhuriyet Bulvarı üzerinden otoparklara gidiş güzergahları.....	61
Şekil 4.9 Liman Caddesi yönünden gelen araçlara ait ortalama sürüş süresi	66
Şekil 4.10 Liman Caddesi yönünden gelen araçlara ait ortalama yürüme mesafesi	66
Şekil 4.11 Liman Caddesi yönünden gelen araçlara ait ortalama ücret	67
Şekil 4.12 Liman Caddesi yönünden gelen araçlara ait karbondioksit salımı	67
Şekil 4.13 Cumhuriyet Bulvarı yönünden gelen araçlara ait ortalama sürüş süresi	67
Şekil 4.14 Cumhuriyet Bulvarı yönünden gelen araçlara ait ortalama yürüme mesafesi	68
Şekil 4.15 Cumhuriyet Bulvarı yönünden gelen araçlara ait ortalama ücret	68
Şekil 4.16 Cumhuriyet Bulvarı yönünden gelen araçlara ait ortalama karbondioksit salımı	68
Şekil 4.17 İZUM otopark harita ekranı ve Alsancak bölgesinde gözlem yapılan otoparklar.....	70
Şekil 4.18 İZUM otopark harita ekranı ve Karşıyaka bölgesinde gözlem yapılan otoparklar.....	70
Şekil 4.19 Çarşamba günü için Alsancak Katlı Otoparkı gözlem ve ulaşım ana planı karşılaştırmalı tablosu.....	72
Şekil 4.20 Çarşamba günü için Karşıyaka İskele Otoparkı gözlem ve ulaşım ana planı karşılaştırmalı tablosu.....	73
Şekil 4.21 Çarşamba günü için Bahriye Üçok Yeraltı Otoparkı gözlem ve ulaşım ana planı karşılaştırmalı tablosu	73

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 10% ayrılış olasılığı için denklem 3.5'e göre hesap sonuçları	44
Tablo 3.2 Hafif araçlar için varsayılan değerler.....	48
Tablo 4.1 Seçilen otoparklar	53
Tablo 4.2 Otopark gözlem verileri	54
Tablo 4.3 Gözlem ve simülasyon karşılaştırma sonuçlarının karşılaştırılması.....	57
Tablo 4.4 Farklı ağırlık faktörlerine (β) göre simülasyon durumları	60
Tablo 4.5 Liman caddesi güzergahına göre simülasyon sonuçları	62
Tablo 4.6 Cumhuriyet bulvarı güzergahına göre simülasyon sonuçları	63
Tablo 4.7 Simülasyon sonuçlarının ortalama değerler ile karşılaştırılması	65
Tablo 4.8 Seçilen otoparkların özellikleri.....	69
Tablo 4.9 Seçilen otoparkların gözlem verileri.....	71
Tablo 4.10 İzmir büyükşehir belediyesi 2016 yılı ulaşım ana planı revizyonu otopark doluluk verileri.....	72

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Son yıllarda, özellikle büyük şehirlerde artan araç kullanım oranına paralel olarak park yeri talep artışı gözlenmektedir. Artan talebi karşılamak için iki yaygın yöntem uygulanmaktadır. Bunlardan ilki yeni otopark alanları inşa ederek veya mevcut otoparkların park kapasitesini arttırarak otopark talebinin karşılanmasıdır. Bu yöntem, özellikle şehir merkezlerinde boş arazi bulunmaması ve bulunan arazilerin de maliyetinin yüksek olması sebebi ile otopark talep artışının en fazla olduğu büyük şehirlerde tercih edilmemektedir. Ayrıca, artan ve artmaya devam edeceği öngörülen otopark talebinin yeni otoparklar inşa ederek veya mevcut otoparkların kapasitesini arttırarak karşılanması sürdürülebilir bir çözüm yöntemi sunmamaktadır.

Talep artışını karşılamak için kullanılan ikinci yöntem, otopark yönlendirme ve bilgilendirme sistemlerini otopark yönetimi amacıyla etkin olarak kullanmaktır. Bu yöntemde, yeni otopark alanlarının inşası yerine, sürücüleri çeşitli bilgilendirme sistemleri ile yönlendirerek, mevcut otoparkların kapasitelerinin azami düzeyde kullanılması hedeflenmektedir. Otopark yönetim sistemlerinin etkin olarak kullanılması ve artan talebe göre güncellemesi, özellikle gelişmiş büyükşehir merkezlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Artan park yeri ihtiyacının karşılanabilmesi için, otoparkların doğru planlanması ve yönetilmesinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Akıllı ulaşım sistemlerinden (AUS), otoparkların planlanması ve yönetilmesi için gerekli verilerin toplanması ve sürücülerin yönlendirilmesi amacıyla etkin olarak yararlanılmaktadır. Kullanılan AUS teknolojileri sayesinde otoparkların dolulukları hakkında anlık veriler toplanabilmektedir. Toplanan veriler, farklı AUS teknolojilerinin yardımı ile sürücüleri uygun otoparklara yönlendirmek için kullanılmaktadır. Bu sayede otopark kapasitelerinin azami düzeyde kullanımı mümkün olmaktadır.

AUS'un bir parçası olan Akıllı Otopark Sistemleri (AOS) kullanıcılara, otoparklar hakkında anlık bilgilendirme ve uygun otoparklara yönlendirme gibi farklı hizmetler sunabilmektedir. Otoparklar hakkında bilgilendirme hizmeti sunan AOS teknolojileri, otoparklara ait konum, doluluk, ücret, yürüme mesafesi ve ulaşım süresi gibi sürücü tercihini etkileyebilecek bilgileri anlık olarak iletebilmektedir. Otopark yönlendirmesi yapabilen AOS teknolojileri ise, anlık bilgi sunumunun yanı sıra, sürücüleri güzergâhlarına ve hedef noktalarına göre rezervasyonlu ve rezervasyonsuz olarak en uygun otoparka yönlendirebilmektedir. Rezervasyonsuz otopark yönlendirme sistemleri, sürücüleri en uygun otoparka yönlendirerek zaman ve yakıt tasarrufu sağlayabilirken, rezervasyonlu sistemler, ilave olarak otopark içerisinde boş yer arama sürelerini en aza indirebilmektedir. Ayrıca, rezervasyon sırasında ücret ödeme imkanı sağlayarak otopark girişlerinde de bekleme süresini düşürebilmektedir (Idris, Leng, Tamil, Noor ve Razak, 2009; UDHB Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2014).

Tez çalışması kapsamında, İzmir Büyük Şehir Belediyesi'nin akıllı kent projesi ile hayata geçirilen, Tam Adaptif Akıllı Trafik Yönetim Sisteminin bir parçası olarak hizmete sunulan İZUM (İzmir Ulaşım Merkezi) Mobil uygulaması ve İZUM internet sitesi incelenmiştir. İZUM Akıllı Trafik Sistemi (ATS), akıllı telefon uygulaması ve internet sitesi (<https://izum.izmir.bel.tr/>) aracılığıyla, sisteme dahil edilen otoparklara ait kapasite, konum, anlık doluluk, engelli park yeri sayısı, otopark tipi (katlı, yol kenarı vb.) ve ödeme şekli gibi bilgileri anlık olarak sunmaktadır (İZUM, 2017).

Çalışmada İZUM ATS'ye dâhil, kent merkezinde bulunan ve yoğun park yeri talebi olan otoparklardan beş tanesi seçilmiş, bunlardan üç tanesinin 2016 yılı kapasite kullanımı ile 2018 yılı kapasite kullanımı karşılaştırılmış ve üç tanesinin gözlem verileri ile simülasyon programı kullanılarak sürücü tercih faktörlerinin otopark seçimine etkisi incelenmiştir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında İZUM ATS ile elde edilen otopark doluluk durumu gözlem verilerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Mevcut İZUM ATS için yeni bir sistem önerilmiş ve önerilen bilgilendirme sisteminin sürücü tercihi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gözlem

verileri ile önerilen sistemden elde edilen ortalama karbondioksit salımı, sürüş süresi, park ücreti ve hedef noktaya yürüme mesafesi değerleri kıyaslanmıştır.

İZUM ATS sürücülerin otopark tercihini etkileyebilecek etkenler içerisinde sadece otopark konum ve doluluk durumu bilgisi sunmaktadır. Otopark tercihini etkileyebileceği düşünülen farklı etkenlerin incelemesini yapabilmek için çalışma kapsamında bir mikro-simülasyon programı yazılmıştır. Gözlem verileri ile mikro-simülasyon programının simülasyon becerisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ardından simülasyon modeli ile otopark tercihini etkileyeceği düşünülen diğer etkenlerin değerlendirmesi yapılmış ve gözlem verileri ile kıyaslanmıştır.

Tez çalışması kapsamında, çeşitli etkenlere bağlı olarak (sürüş mesafesi, yürüme mesafesi, otopark ücreti, yönlendirmeden kaynaklanan trafik sıkışıklığı, otoparkın doluluk oranı) oluşturulmuş olan bir fayda fonksiyonu kullanılarak otopark tercihi yapan Çoklu-Ajan Tabanlı Simülasyon programı ile İzmir akıllı otopark bilgilendirme sisteminin değerlendirilmesini amaçlamaktadır. İlk aşamada model doluluk oranına bağlı olarak çalıştırılmış ve gözlem verileri ile kıyaslanarak modelin başarımı istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Daha sonra otopark tercihini etkileyecek diğer faktörlerin sisteme dahil edilmesi ile elde edilebilecek faydalar belirlenmeye çalışılmıştır. Tercihlerin sonuçları; ortalama karbondioksit salımı, sürüş süresi, park ücreti ve hedef noktaya yürüme mesafesi değerlerindeki değişim açısından incelenmiştir.

Tezin amaçları doğrultusunda, seçilen üç otopark için İZUM ATS'nin akıllı telefon uygulaması ve internet sitesi kullanılarak giren ve çıkan araç bilgisi toplanmıştır. Toplanan verilerin değerlendirilmesi için, sürüş süresini, otoparktan hedef noktaya yürüme mesafesini, otopark ücretini, sistemin otoparklara araç yönlendirmesinden kaynaklı oluşacak trafiği ve otopark doluluk kriterlerini dikkate alarak otoparklara araç yönlendirmesi yapabilen bir mikro-simülasyon programı yazılmıştır. Geliştirilen mikro-simülasyon programı ile, birinci aşamada, İZUM ATS sistemini simüle etmek için doluluk bilgisine göre park yeri/otopark tercihi yapan simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada diğer dört tercih kriteri mikro-

simülasyon programında dikkate alınmamıştır. Mikro-simülasyon programından elde edilen otopark doluluk verileri, gözlem verileri ile kıyaslanmış ve programın gerçek durumu simüle etme becerisi incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, beş ayrı tercih kriterini de dikkate alan park tercih durumu için simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu iki modelden elde edilen ortalama karbondioksit salımı, ortalama sürüş süresi, ortalama park ücreti ve ortalama yürüme mesafesi değerleri kıyaslanarak sonuçları ve önerileri tez sonunda sunulmuştur.

Tez çalışması beş ana bölüm olarak kurgulanmıştır. Birinci bölümde çalışmanın konusu, çalışmada kullanılacak yöntem ve çalışmanın amacı belirtilmiştir. İkinci bölümde, tez konusu üzerine yapılmış çalışmaların ve otopark sistemlerinde kullanılmakta olan güncel teknolojiler incelenmiştir. Üçüncü bölümde, İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin hizmeti olan akıllı ulaşım sisteminin parçası olarak akıllı otopark sisteminin değerlendirme yöntemi belirtilmiştir ve tez çalışması için hazırlanan akıllı otopark sistemi simülasyon programının tasarımı anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, gözlem yöntemleri ve simülasyon programı ile gözlem verilerinin değerlendirmesi yapılmıştır. Mevcut sisteme ilave olarak akıllı otopark sistem önerisi ve tasarımı belirtilmiştir. Önerilen akıllı otopark sistemi simülasyon verilerinin, mevcut sistemin simülasyon verileri ile kıyaslanması ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Beşinci bölümde, sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM İKİ

LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Giriş

Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) genel anlamda, güvenliği, hareketliliği ve verimliliği arttırmak amacıyla analiz, kontrol ve iletişim teknolojilerinin yer taşımacılığına uygulanması olarak açıklanmaktadır (Barbaresso, 2014). AUS insanların düşünme veya karar verme yükünü hafifletmeye yönelik ulaşım çözümü olarak tanımlanabilir. AUS, elektronik ve bilgisayar sistemlerini, ulaşımı düzenlemek ve yönlendirmek için kullanmaktadır. Bu sistemler trafik yönetimini iyileştirerek tıkanıklığını azaltmak ve çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla bilgi toplayan, işleyen ve gerçek zamanlı olarak paylaşan çok çeşitli konulardaki uygulamaları içerir. Uygulamalar; yolcu bilgilendirme sistemleri, araç kontrol ve güvenlik sistemleri, toplu taşıma sistemleri, ticari araç yönetim sistemleri, elektronik ödeme sistemleri ve trafik yönetimi sistemleri gibi birçok konuda hizmet verebilmektedir (UDHB Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2014).

AUS'un ilk uygulamaları 1960'ların sonlarında değişken mesajlı trafik işaretleri ve kırmızı ışık kameralarıdır. 1980'de başlayıp 1990'ların ortasına kadar süren ve farklı AUS teknolojilerinin geliştirildiği "AUS Standartları" dönemi ile gelişmiş ülkelerde AUS uygulamaları yaygınlaşmıştır. Günümüzde AUS'un amaçları insan-araç-altyapı-merkez arasında veri alışverişi, trafiğin güvenliği, kapasiteye uygun kullanım, trafik akışının iyileştirilmesi, enerji verimliliği ve çevreye verilen zararın azaltılması olarak tanımlanmaktadır (UDHB Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2014).

Türkiye'de AUS'a dair stratejik politika, hedef ve eylemler Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHB) tarafından 2009 yılında hazırlanan Türkiye Ulaşım ve İletişim Stratejisi Hedef 2023 Belgesi'nde aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Trafik sıkışıklığını engellemek için AUS teknolojilerinin kullanılması;
- Yenilikçi teknoloji ve bilişim sistemlerini kullanan, yenilenebilir enerji; tüketimi ile çevreye duyarlı karayolu taşımacılık istemlerinin ülke genelinde yaygınlaştırılması;
- Otomatik kayıt ve kontrol sistemleri, telematik uygulamaları ile karayolunun gerçek zamanlı kontrol sistemlerinin geliştirilmesi;
- Gelişmiş ekonomilerde uygulanan standartları uygulayarak kent içi ulaşım yönetim sisteminin standardize edilmesi;
- Ülke genelinde elektronik kontrol sistemlerinin yaygınlaştırılması;
- Bilgi teknolojilerine entegre etmek için tüm ulaşım sisteminin dijital hale getirilmesi.

2.2 Akıllı Otopark Sistemleri

Hızla artan nüfus ve paralelindeki araç kullanımı oranı, özellikle şehir merkezlerinde ciddi trafik sıkışıklığı ve otopark problemine sebep olmaktadır. Otopark problemi en basit ifade ile artan taşıt kullanımına bağlı olarak karşılanamayan park yeri talebi olarak açıklanabilir. Günümüzde birçok gelişmiş ve büyük kentte yaşanmakta olan otopark problemi bir yandan günlük trafik sıkışıklığında artışa neden olurken bir yandan da yol kapasitesinde düşüşe ve karayolu dar boğazlarına yol açmaktadır. Ayrıca hava kirliliği, gürültü kirliliği, yakıt tüketimi, kentsel yaşam alanlarının zarar görmesi, zaman kaybı gibi birçok olumsuz durumu da beraberinde getirmektedir.

Arnott ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada şehir merkezinde yol üzerinde hareket etmekte olan araçların %30'unun park yeri aramakta olduğunu ve bu sürenin yaklaşık 7,8 dakika sürdüğünü belirtmiştir (Richard, Tilmann, Ronnie, 2005). Shoup çalışmasında yol üzerindeki araçların %30'unun park yeri aramakta olduğunu belirtmiştir (Shoup, 2006). Çalışkan ve arkadaşları Almanya'da park yeri aramalarından kaynaklanan ekonomik kaybın yıllık 20 milyon Euro olduğunu hesaplamıştır (Caliskan, Graupner, ve Mauve, 2006). Giuffrè ve arkadaşları park yeri arayan araçların kentiçi trafik akımını %25-40 oranında arttırdığını belirtmiştir

(Giuffrè, Siniscalchi ve Tesoriere, 2012). Axhausen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, inceledikleri sürücü grubu için, park yeri arama süresinin toplam seyahat süresinin yaklaşık %25'ini oluşturduğunu ve aynı sürücülerin park yeri arama süresine seyahat süresinden 1,5-2 kat daha fazla önem verdiğini belirlemişlerdir (Axhausen, Polak ve Boltze, 1993). Yapılan çalışmalarda normal binek otomobillerin gün içinde yalnızca 1,5-2,0 saatlik bir süre hareket halinde oldukları ve ekonomik ömürlerinin yaklaşık %90'lık kısmını park halinde geçirdikleri belirtilmektedir (Yardim, 2005).

Ulaşım sistemindeki en önemli sorunlardan biri olan otopark ihtiyacını karşılayabilmek için genellikle yeni park alanları oluşturulmaya çalışılsa da özellikle kent merkezlerindeki boş alanların az ve kıymetli oluşu bu çözümü zorlaştırmaktadır. Ayrıca artan talebe cevap verebilmek çoğu zaman mümkün değildir ve sürdürülebilir bir çözüm yaklaşımı da sunmamaktadır.

Trafik yönetim sistemleri içerisinde yer alan otopark yönetim sistemleri, birçok gelişmiş şehirde kullanılan, otopark alanlarını yönetmek ve daha etkin kullanabilmek adına teknolojik çözümler sunabilen sistemlerdir (UDHB Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2014). Son yıllarda özellikle kentsel bölgelerdeki otopark alanlarının planlanması ve yönetilmesi büyük önem kazanmıştır. Uygulanan otopark yönetimi çalışmalarındaki temel hedef kısıtlı sayıdaki park alanlarından maksimum düzeyde fayda sağlamaktır. Gelişmiş birçok şehirde otopark alanlarının merkezi düzeyde yönetilebilmesine olanak sağlayan, sürücülere gerçek zamanlı olarak park yeri bilgisi aktarabilen ve rezervasyon imkânı sağlayan, akıllı ulaşım sisteminin bir parçası olarak otopark bilgilendirme ve yönlendirme sistemleri kullanılmaya başlanmıştır.

Otopark sorununa ilişkin ilk çalışmalarda mevcut kapasitenin talebi karşılamaya yetmediği düşünülerek, kapasiteyi arttırıcı ve talebi kısıtlayıcı yöntemler denenmiştir. Ancak bazı durumlarda sorunun yol açısından kaynaklanan eksiklikler, yanlış otopark tasarımı veya sürücülerin alternatif otoparklara ilişkin bilgisi olmamasından da kaynaklanabileceği fark edilmiştir. Bunun üzerine mevcut

kapasitenin daha etkin kullanabilmesi için sürücülere otoparklar ile ilgili bilgi sağlayan sistemler oluşturulmaya başlanmıştır (Polak, Hilton, Axhausen ve Young, 1990).

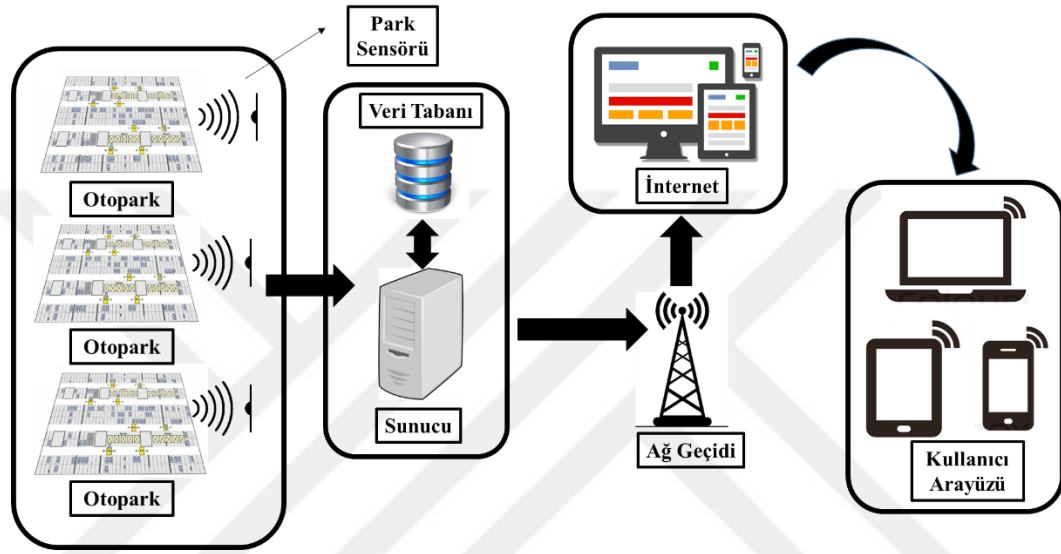
Otopark yönlendirme ve bilgilendirme sistemlerinin (Parking Guidance and Information System - PGIS) ilk uygulamaları 1970'lerin başında Batı Almanya'da yollara yerleştirilen değişken mesajlı tabelalar (variable message signs-VMS) ile başlamıştır (Axhausen ve diğer., 1993). Axhausen ve arkadaşları Nottingham'da uygulanan PGIS ile Frankfurt'da uygulanan VMS sistemlerini incelemiştir. Çalışmalarında araç içi veya yol kenarı akıllı otopark bilgilendirme sistemlerinin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken kriterler aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Axhausen ve diğer., 1993):

- Uygun park yerine yönlendirerek park arama süresini düşürmesi;
- Sürücüleri, yol üzeri park etmekten vazgeçirip otoparkların kullanılmasını arttırması;
- Park sırası bekleyenleri kuyruktan çıkarıp alternatif otoparklara yönlendirmesi ve yönlendirdiği yeni otoparklarda kuyruk oluşturmaması;
- Sürücüleri Park et devam et (Park'n Ride / P+R) sistemine, daha fazla yürümeye veya park bölgesini değiştirmeye teşvik etmesi.

Nottingham bölgesinde yapılan incelemesinden elde edilen bulgulara göre, seyahat başlangıcı öncesi PGI sistemini kullanan sürücülerde ortalama 2,5 dakika daha az park yeri arama süresine ulaşılırken, PGI sistemini seyahat esnasında kullanan sürücülerde park yeri arama sürelerinde bir değişim gözlenmemiştir (Axhausen ve diğer., 1993).

1980'li yıllarda telekomünikasyon ve enformatik kelimelerinin birleştirilmesiyle oluşan, bilginin telekomünikasyon ağı üzerinden iletilmesi ve bu bilginin bilgisayar aracılığı ile işlenmesi süreçlerinin birleştirilmesi olarak tanımlanan "telematik" kavramı ile otopark bilgilendirme ve yönlendirme sistemleri de hızla gelişmiştir (Nowacki, 2012; Tufan, 2014). Teknolojik gelişmeler ile desteklenen sistemler,

hem otopark hem de trafik koşulları hakkında dinamik olarak bilgi paylaşabilme özelliği kazanmıştır. Bilgilendirme ve yönlendirme sistemleri dört ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar, bilgi toplama bileşeni, bilgi yayma bileşeni, kontrol merkezi ve telekomünikasyon ağları olarak sıralanabilir (Idris, Leng, Tamil, Noor ve Razak, 2009). Akıllı otopark bilgilendirme ve yönlendirme sisteminin işleyişine dair örnek bir şema Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Akıllı park sistemi genel mimarisi

Literatürde otopark tercih modelleri genel olarak iki ayrı park tercih süreci için incelenmiştir: (1) Sürücülerin seyahat başlangıcında yaptıkları otopark seçimi (Giuffrè vd., 2012; Shin & Jun, 2014; Thompson, Takada ve Kobayakawa, 2001), (2) Otopark alanı içerisindeki park yeri seçimi (Vo, Van Der Waerden ve Wets, 2016; Zhao, Li, Wang, Li ve Du, 2018).

Sürücülerin seyahat başlangıcında yaptıkları otopark seçimleri park yerine göre ve güzergaha göre olmak üzere basitçe iki başlık altında toplanabilir. Eğer park yeri ve güzergah bilgisi sürücülere sağlanamıyorsa, daha önceki park tecrübelerine göre tercih yapılmaktadır (Ji, Wang, Deng ve Saphores, 2008). Thompson ve arkadaşları sürücülerin otopark tercihlerini etkileyen faktörler olarak sürüş süresi, park yerinde bekleme süresi, otopark ücreti ve parktan sonra hedef noktaya yürüme mesafesini incelenmiştir (Thompson ve diğer., 2001). Giuffrè ve arkadaşları otopark tercihini

etkileyen yürüme süresi, otopark ücreti, otoparkta boş park yeri arama süresi ve seyahat süresini dikkate alarak bir faydasızlık fonksiyonu oluşturmuşlardır (Giuffrè ve diğer., 2012). John-Ho Shin ve Hong-Bae Jun (2014) çalışmalarında otopark tercihi için oluşturdukları fayda fonksiyonunda, tercihe etken parametreler olarak sürüş mesafesini, yürüme mesafesini, otopark ücretini, trafik sıkışıklığını ve otopark doluluk oranını dikkate almışlardır. Farklı tercih parametreleri kullanılarak geliştirdikleri tasarım ve optimizasyonlar ile trafik sıkışıklığının, sürüş süresinin azaltılmasını ve otoparkların daha etkin kullanımını amaçlamışlardır.

Thompson ve A. J. Richardson (1998) yaptıkları çalışmada sürücülerin karar verme ve uygulama süreçlerini içeren bir park yeri arama modeli geliştirmişlerdir. Oluşturdukları model, otopark seçimi ile ilgili çeşitli etkenleri birleştirerek, otoparkın uygunluğunu değerlendiren sayısal bir faydasızlığı tahmin etmektedir. Modelde dikkate alınan faydasızlık etkenleri otoparka ulaşım, ücret ve bekleme süresi olarak kabul edilmiştir. Sürücülerin otopark tercih işlemlerini, algısal ve bilişsel süreçlerde geliştirdikleri hafızaları ile ücret, kapasite ve park süresi limitine göre yaptıklarını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, otopark durum algısı için otoparkın arama sürecinde son görüldüğü andaki durumuna, daha önceki seyahat deneyimine ve son görüşten sonra geçen süreye bağlı Denklem 2.1'deki fonksiyonu geliştirmişlerdir.

$$p(t) = S_L + (p_n - S_L) * \left(\frac{t}{t_{max}}\right) \text{ eğer } 0 \leq t \leq t_{max} \quad (2.1)$$

$$p(t) = p_n \text{ eğer } t > t_{max}$$

$p(t)$ = Gözlemlenen otopark durum algısı

S_L = Otoparkın son görüldüğündeki durumu uygunsuzsa 1, değilse 0

p_n = n sayıda yapılan otopark gözlemine dayalı otopark doluluk algısı

t = geçiş süresi (dk), araç parkının son görünümünden sonra geçen zaman ile parka geri dönmek için geçecek zamanın toplamı,

t_{max} = maksimum geçiş süresi (dk), bu süreden sonra otopark durum algısı önceki n gözlem sayısına bağlı olarak başa döner.

Çalışmalarının sonraki aşamasında, mevcut otopark seçimini temsilen bir fayda fonksiyonu geliştirmişlerdir. Mevcut otopark yerine başka bir parkı seçmenin faydada oluşturacağı değişimi Denklem 2.2 ile göstermişlerdir.

$$\Delta U_k = U_k - U_{mevcut} \quad (2.2)$$

$$U_k = -DU_k \quad (2.3)$$

$$U_{mevcut} = -DU_{mevcut} \quad (2.4)$$

ΔU_k = mevcut otopark yerine k otoparkının seçimi ile faydada oluşacak net değişim,

DU_k = k otoparkının faydasızlığı,

DU_{mevcut} = Mevcut otoparkın faydasızlığı,

U_k = k otoparkının faydası,

DU_{mevcut} = Mevcut otoparkın faydası.

Model, çeşitli güncel park politikalarını yansıtan (örneğin, süre limiti azaltma ve ceza uygulamalarının kaldırılması) otopark sistemindeki bir dizi değişikliğin seçim davranışı üzerindeki etkilerini tahmin etmek için uygulanmıştır. Varsayımsal merkezi iş bölgesi ağı üzerinde yapılan çalışma sonuçlarına göre önerilen model ile sürüş süresinde düşüş gözlenirken yürüme mesafesinde artışın olduğu tespit edilmiştir.

Başka bir çalışmada seyahat öncesi otopark tercihini etkileyen faktörler olarak, park yerinden hedef noktaya yürüme mesafesi, park güvenliği, park etme kolaylığı, park ücreti ve otoparka ulaşım kolaylığı seçilmiştir (Ji ve diğer., 2008). İlk aşamada en önemli tercih kriteri olarak belirlenen yürüme mesafesine göre, ikinci aşamada ise önerilen otopark yönlendirme sistemini temsil eden hedef noktaya yürüme mesafesi, park güvenliği, park etme kolaylığı, park ücreti ve otoparka ulaşım kolaylığı kriterlerine göre tercih yapan modeller oluşturulmuştur. İki model kıyaslaması sonucunda, önerilen otopark yönlendirme sisteminin park yeri arama süresini düşürdüğü ve mevcut otoparkların daha verimli kullanılabileceği tespit edilmiştir (Ji ve diğer., 2008).

Günümüzde otopark tasarım ve optimizasyonu için ampirik yaklaşım, analitik yaklaşım ve Çoklu-Ajan Tabanlı Simülasyon yaklaşımı olarak üç farklı yöntem kullanılmaktadır (Zhao ve diğer., 2018).

2.3 Akıllı Otopark Sistem Teknolojilerinin İncelenmesi

AOS ilk uygulamaları Avrupa, Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya'da yapılmıştır. AOS uygulanması ile trafik kaynaklı çevre kirliliğinin azaltılması, park etme örüntüsü belirlenerek doğru ücret politikaları ile ekonomik kazancın artırılması, seyahat süresinin ve yakıt tüketiminin azaltılması sağlanabilmektedir (Shaheen, Rodier ve Eaken, 2005). Ayrıca AOS, daha güvenli, optimize ve daha etkin sistem uygulamaları ile tam kapasite otopark kullanımı imkanı sunmaktadır (Chinrungrueng, Sunantachaikul ve Triamlumlerd, 2007; Kurogo, Takada ve Akiyama, 2002; Sakai, Sugimoto, Mizuno ve Okuda, 1995).

AOS beş ana kategoride incelenebilir (Shaheen ve diğer., 2005) :

1. Park Yönlendirme ve Bilgi Sistemi (Parking Guidance and Information System-PGIS);
2. Toplu Taşıma (Transit) Yönlendirmeli Bilgi Sistemi (Transit Based Information System);
3. Akıllı Ücret Toplama Sistemi (Smart Payment System);
4. E-park Sistemi (E-parking);
5. Otomatik Otopark Sistemi (Automated Parking).

2.3.1 Park Yönlendirme ve Bilgi Sistemi (Parking Guidance and Information System-PGIS)

Park Yönlendirme ve Bilgi Sistemleri (PYBS) iki kategoride incelenebilir. PYBS tüm şehri kapsayan bir sistem olarak uygulanabildiği gibi belirli bir bölgeyi (otopark gibi) kapsayan uygulamaları da mevcuttur (Shaheen ve diğer., 2005). İki durum için de PYBS bilgi sağlayarak park yeri arama işleminde sürücülerin karar

verme sürecine yardımcı olur. Tüm şehri kapsayan PYBS şehirdeki otoparkların doluluk durumu ile ilgili genel bilgiler verirken otopark içerisinde kurulan PYBS sürücüleri park içerisinde uygun park yerlerine yönlendirme konusunda yardım sağlamaktadır.

PYBS, bilgi yayma mekanizması, bilgi toplama mekanizması, kontrol merkezi ve telekomünikasyon ağları olmak üzere dört bileşenden oluşur. Sürücülere bilgi sağlamak için PYBS’nde Dinamik/Statik Değişken Mesajlı Trafik İşaretleri (DMTİ) kullanılmaktadır. Şekil 2.2’de bir DMTİ uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Dinamik/statik değişken mesajlı trafik işaretleri (Ledeca, 2019)

PYBS’nin ana amacı park arama trafiğini özellikle şehir merkezlerinde ve büyük otopark alanlarında minimize etmektedir. Shaheen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada PYBS ile ulaşılmak istenen faydaları belirtmişlerdir (Shaheen ve diğer., 2005):

- Sürüş süresinde azalış;
- Otomobil kullanımının azaltılması;
- Daha az trafik sıkışıklığı ve sürücü memnuniyetsizliği;
- Daha düşük yakıt ve enerji kullanımı;
- Hava kirliliğinin azaltılması;

- Otopark gelirinin arttırılması;
- Park etme sınırlamalarının geliştirilmesi.

Smith ve Roth tarafından yapılan çalışma şehir genelinde PYBS uygulaması üzerinedir. Bu uygulamada şehir dört bölgeye ayrılmıştır. Sürücülere girdikleri bölgeye göre otoparkların uygunluğu, yönleri, otoparkın adı ve doluluk durumu gibi bilgiler verilmektedir (Idris ve diğer., 2009). Bir diğer şehir geneli PYBS uygulamasında Avrupa'da, 1970'lerin sonuna doğru Frankfurt Almanya'da uygulanan DMTİ sistemi ile araçlar uygun park yerlerine yönlendirilmişlerdir. Genk, Belçika'da uygulanan PYBS, tespit ve yerel işlem, merkezi işlem, kontrol ve çeşitli sistem bileşenlerinden bilgi transferi işlemleri olarak tanımlanan beş safhadan oluşmaktadır. Sistemde bir TV ağı ile toplanan veriler işlenmek üzere merkeze gönderilmekte ardından da statik/dinamik DMTİ'ye iletilmektedir (Van Der Berghe, 1998).

Otopark içerisinde kullanılan PYBS uygulamalarına bir örnek olarak İngiltere, Bristol'da 2.645 adet park yerine sürücüleri yönlendiren PYBS gösterilebilir. Sistem kızılötesi sensörler kullanarak otopark içerisinde boş yerleri tespit edip sürücüleri DMTİ ile yönlendirebilmektedir (Smith ve Roth, 2003). Bir diğer otopark içerisi PYBS uygulama Toulouse, Fransa'da Balgnac Havalimanı'nda çok katlı otoparkta uygulanan PYBS'dir (Smith ve Roth, 2003). Otopark içerisinde uygulanan PYBS'nin gelişmiş uygulamalarından biri Baltimore-Washington Uluslararası Havalimanı'nda hizmet vermektedir. Sistem ultrasonik sensor kullanarak otoparkların doluluk durumunu belirlemektedir. Işıklı elektronik işaretler sürücüleri boş yerlere yönlendirmektedir (Shaheen ve diğer., 2005).

2.3.2 Toplu Taşıma (Transit) Tabanlı Bilgi Sistemi (Transit Based Information System)

Toplu Taşıma Tabanlı Bilgi Sistemi PYBS sistemine benzer bir sistem olmak ile beraber aralarındaki fark Toplu Taşıma Tabanlı Bilgi Sisteminin sürücüleri park et ve devam et uygulamasına yönlendirmesidir (Idris ve diğer., 2009). Sistem

otoparkların doluluğu, toplu taşıma saatleri ve trafik ile ilgili anlık bilgi sunmaktadır. Sistem sürücöleri toplu taşımaya yönlendirerek aynı zamanda dolaylı olarak toplu taşıma gelirlerinin artışına da neden olmaktadır (Chinrungrueng ve diğer., 2007; Shaheen, Rodier ve Eaken, 2005).

TTTBS uygulamasından beklenen faydalar:

- Toplu taşıma kullanımının artırılması;
- Araç kullanımının düşürölmesi;
- Yakıt tüketiminin düşürölmesi;
- Hava kirliliğinin azaltılması ;
- Toplu taşıma gelirlerinin artırılması olarak sıralanabilir (Shaheen ve diğer., 2005).

TTTBS uygulamalarının en karmaşığı Almanya'da uygulanan STADTINFOKOLN isimli bilgilendirme sistemidir. Bu sistemde sürücölere DMTİ ile otoparkların durumu hakkında bilgi sunulmaktadır. Sistemi kullanan sürücöler için iki alternatif mevcuttur. Sürücöler, şehir merkezine gitmeden, tren istasyonunda park et / devam et sistemini kullanmaktadırlar veya şehir merkezinde, doluluk durumu belirtilen otoparklara yönlendirilmektedirler. Sistem otoparkların doluluk durumunu araç detektörleri ile tespit etmektedir. Tespit edilen doluluk durumu DMTİ ile sürücölere iletilmektedir (Shaheen ve diğer., 2005).

Uygulanmakta olan bir diğer örnek Almanya'nın Münih kentinde A9 Autobahn üzerinde Frottmaning U-Bahn istasyonunda yer alan 1.270 park kapasiteli otoparktır. Sistem yol kenarına yerleştirilen üç adet DMTİ ile sürücölere anlık olarak park yeri sayısını, toplu taşıma hareket saatlerini ve trafik haberlerini iletmektedir. Otoparkın içerisinde ise sürücöler, lazer ve ultrason detektörler kullanılarak belirlenen doluluk durumuna göre en yakın otoparka yönlendirilmektedir (Cervero, 1998). Buna benzer sistemler Almanya'nın Frankfurt, Köln, Stuttgart ve Dortmund şehirlerinde, İsviçre Cenevre'de, Fransa'nın Grenoble, Chambéry, Lyon ve Strasbourg şehirlerinde, İngiltere'nin

Southampton ve York şehirlerinde de uygulanmaktadır (Shaheen ve diğer., 2005).

İstanbul'da Metro, Metrobüs, Marmaray, Tramway, Vapur, Havaalanı ve diğer toplu taşıma hatları üzerinde sürücüleri toplu taşımaya yönlendirmek amacı ile park et devam et uygulaması hizmet vermektedir (Şekil 2.3). İstanbul'da uygulanan park et devam et projesi ile ekonomik kazancın yıllık yaklaşık 15 milyon TL olduğu belirtilmiştir. Bu sistem sayesinde yılda yaklaşık 700 ton karbondioksit salımının çevreye yayılması engellenmektedir (İspark, 2019).



Şekil 2.3 İstanbul'da park et devam et sistemi uygulaması (İspark, 2019a)

2.3.3 Akıllı Ücret Toplama Sistemi (Smart Payment System)

Otopark yönetiminde dijital ve kablosuz çağa uygun olarak işletme, bakım ve uygulama maliyetlerini düşürmek ve sürücülerin rahatlığını artırmak için teknolojik gelişmelerden yararlanılmaktadır. AOS, mevcut park alanlarını etkin bir şekilde kullanmak amacıyla hızlı, rahat, güvenilir rezervasyon imkanı sağlayarak aynı zamanda ücret ödemesini kolaylaştırmak için akıllı ödeme teknolojileri sunmaktadır. Akıllı Ücret Toplama Sistemleri (AÜTS) ile parkmetreler ve yeni teknolojiler kullanılarak geleneksel ücret ödeme yöntemlerinden kaynaklanan gecikmelerin önüne geçilebilmektedir. Ayrıca AÜTS bakım ve personel giderleri

gibi maliyetlerin de azaltılmasını sağlamaktadır (Chinrungrueng ve diğer., 2007).

Geleneksel yöntemlerin getirdiği kısıtları kaldırmak için birçok akıllı ödeme metodu geliştirilmiştir. Temaslı ve temassız olmak üzere akıllı kartlar AÜTS uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca mobil iletişim cihazları da kullanılan diğer AÜTS uygulamalarındandır. Akıllı otopark ödeme sistemleri, dünya genelinde cep telefonu geliştiricileri, kredi kartı şirketleri, diğer teknoloji ve hizmet sağlayıcıları tarafından geliştirilmekte ve uygulanmaktadır (Shaheen ve diğer., 2005).

Temaslı akıllı kart örneklerinden banka kartı ve kredi kartı, ücret toplama amaçlı park yerlerine kurulan elektronik parkmetreler ile kullanılan yaygın bir uygulamadır (Shaheen ve diğer., 2005). İstanbul'da İSPARK tarafından uygulanmakta olan temaslı AÜTS sistemi Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde Kaliforniya ve San Francisco eyaletlerinde banka kartı uygulaması yaygın olarak kullanılmaktadır (Shaheen ve diğer., 2005).



Şekil 2.4 İstanbul'da uygulanan akıllı ücret toplama sistemi (İspark, 2019b)

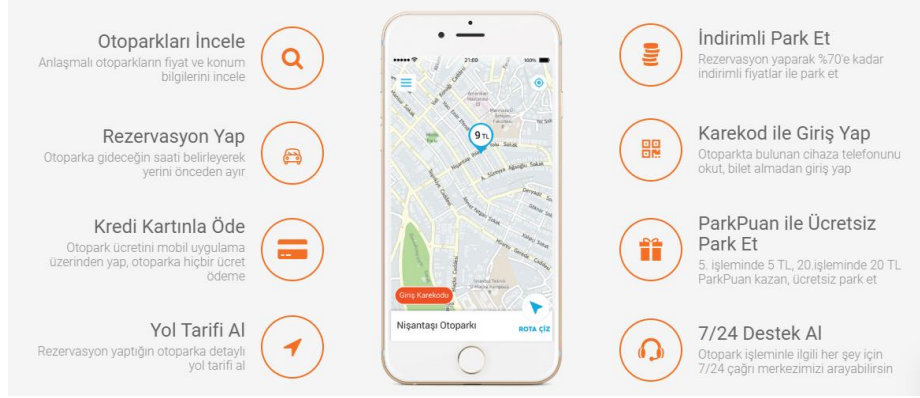
Temassız akıllı kart uygulamasına örnek olarak Michigan, Lansing Kolejinde geliştirilen kampüs içi ödeme sistemi gösterilebilir. Bu sistemde hedeflenen kampüs içerisindeki park ücreti, kütüphane, fotokopi ve yemek ücretlerini tek bir karttan ödeme imkanı sağlanmaktadır. Bunun için tüm sistem bilgilerinin yüklenebildiği bir temassız kart sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem gelir kayıplarını önlemiş ve daha kontrollü ve hızlı erişim ile park alanlarını iyileştirmiştir (Glohr, 2002).

Hollanda'nın Groningen kentinde hayata geçirilen sistem mobil iletişim cihazı uygulamalarına örnek olarak gösterilebilir. Sistemde kullanıcılar adresini, telefon numarasını, tercih edilen ödeme şeklini, plaka numarasını sisteme girerek elektronik posta üzerinden bir sürücü park kartı edinirler. Sürücüler park ederken mobil telefonu ile park konumunu belirlerler ve sürücü park kartını aracın ön camın arkasına görünür şekilde yerleştirir (Dalbert, 2001). Dublin'deki bir başka uygulamada mevcut akıllı sayaç sistemiyle çalışabilen bir cep telefonu sistemi kullanılmıştır (Crawford, 2002). Sistemde sürücüler mobil telefon yardımı ile bir ödeme ve park yeri görüntüleme makinesinin numarasını çevirerek park yeri için bilet temin edebilmektedir.

2.3.4 E-park Sistemi (E-parking)

E-Park, sürücülere otoparkın doluluk durumu bilgisi ve/veya seyahat öncesinden belirledikleri otoparkta rezervasyon imkanı sağlayabilen bir sistemdir. Bu park yönetim sisteminde rezervasyon ve ödeme sistemlerinin birleştirildiği teknolojik uygulamalar kullanılmaktadır. (Shaheen ve diğer., 2005).

Şekil 2.5'te İstanbul'da uygulanmakta olan Parkkolay E-park sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2.5 İstanbul'da uygulanan E-park Sistemi (Parkkolay, 2019)

E-park sürücülere yolculuk başlangıcında, varmayı hedefledikleri noktaya en yakın otopark için uygunluk bilgisi, rezervasyon ve ücret ödeme imkanı sunar.

Hodel ve Cong (2003) çalışmalarında E-Park sisteminden beklenen faydaları:

- Park yeri arama süresinin azalması;
- Daha kolay park ücreti ödeme imkanı sağlaması;
- Park rezervasyonu;
- Kişiselleştirilmiş bilgi sunumu;
- Yolculuk öncesi ve sonrası otopark doluluk bilgisinin sağlanması;
- Mevcut park alanlarının kullanımının iyileştirilmesi ve etkin yönetimi;
- Güvenlik artışı;
- Otopark gelirlerinin artışı olarak belirtmişlerdir (Hodel ve Cong, 2003).

2.3.5 Otomatik Otopark Sistemi (Automated Parking)

Otomatik Otopark Sistemi (OOS), sürücülerin araçlarını girişte bıraktıkları ve mekanik olarak otopark tarafından düşey ve yatay hareketler ile aracın uygun park yerine taşındığı bir bilgisayar kontrollü sistemdir (İdris ve diğer., 2009). Sistem sınırlı sayıdaki otopark alanının azami düzeyde kullanılmasını sağlar. Bu sistemde, sürücülerin otoparkın içerisine girmeleri gerekmediği için park etme süresi ve güvenlik konusunda daha etkin hizmet sunulmaktadır. Ayrıca araçlar otopark içerisinde çalışmadıkları için havalandırma sistemine de gerek duyulmamaktadır (Smith, 2003).

OOS, normal otoparklara göre park için gerekli alanı yarı yarıya azaltır. İlk kurulum maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, otopark alanlarının pahalı ve kısıtlı olduğu bölgelerde kullanımı uygundur (Orski, 2003).

OOS'a örnek olarak, 2002 yılında Washington, D.C.'de, beş katlı tarihi bir binada 2.200 m² alanda kurulan, 1,5 milyon dolar maliyetli Grand Parc Apartments gösterilebilir. Sistemin %99,5 oranında güvenli olduğu belirtilmekle beraber, arıza durumu için bir sigorta sistemi mevcuttur (Shaheen ve diğer., 2005).

New Jersey'de Robotic Parking Şirketi tarafından geliştirilen OOS'de araçlar, bir akıllı kart yardımı ile park edilmektedir. Sürücüler, giriş kısmındaki dört adet perondan birine araçlarını bırakıp, bilgisayara kartlarını okutarak araçlarının mekanik parkını sağlayabilmektedirler. Otoparkın içerisinde sürücü kaynaklı kazalar oluşmazken, kameralarla devamlı gözetim altında tutularak mekanik aksaklıklardan oluşacak kazalar da anında müdahale ile engellenmektedir (Orski, 2003)

İzmir Alsancak Mahallesi'nde 2014 yılında hizmete giren Alsancak Tam Otomatik Otoparkı 280 araç kapasitesi ile hizmet vermektedir. Düşeyde hareket eden 4 adet taşıyıcı asansöre sahip otomatik otoparkta sürücüler park halindeki araçlarını 200 saniyede geri alabilmektedirler. Şekil 2.6'da görülen Alsancak Tam Otomatik Otoparkı 20 milyon TL'ye maliyet ile kurulmuştur ve 2015 yılında 108.471 araç kullanmıştır (İzmir Büyük Şehir Belediyesi, 2019).



Şekil 2.6 İzmir Alsancak Tam Otomatik Otoparkı (Kentyasam, 2014)

2.4 Akıllı Otopark Araç Tanıma Teknolojileri

Otopark yönetiminde ve araç yönlendirme sistemlerinde, otoparkların doluluk oranlarının anlık olarak belirlenmesi, AOS'un etkin çalışabilmesi için çok önemlidir. Doğru ve anlık olarak doluluk bilgi akışının sağlanabilmesi için çeşitli araç tespit ekipmanları kullanılmaktadır. Kullanılacak araç tanıma teknolojileri otoparkın yerleşim planı ve park tipi gibi kriterlere göre seçilmektedir. Araç tanıma ekipmanları otoparkların sadece giriş ve çıkışlarına yerleştirilebileceği gibi her park yerine ayrı ayrı da yerleştirilerek doluluk tespiti yapabilirler. Araç tanıma ekipmanları ile elde edilen doluluk verileri bilgisayarlar ile işlenerek çeşitli yöntemler ile sürücülere aktarılırlar (Al-Kharusi ve Al-Bahadly, 2014; Shobhit Shanker ve Mahmud, 2005; Yan, Weigle, ve Olariu, 2009).

Araç tanıma ekipmanları iki farklı tipte uygulanmaktadır:

- 1- Dahili (intrusive) Araç Tanıma Sistemleri
- 2- Harici (non-intrusive) Araç Tanıma Sistemleri

Dahili sistemlerde, araç tanıma ekipmanları yol yüzeyinde açılan deliklerin içine yerleştirilirken harici sistemlerde yol yüzeyine ya da tavana monte edilebilen ekipmanlar ile araç tanıma yapılabilmektedir. Dahili sistemler anlık olarak tek araç

tanınması yapabilirken harici sistemler birden çok araç tanınması yapabilmektedir (Idris ve diğer., 2009; Wang Longfei, Chen Hong ve Li Yang, 2009; Zhang ve Wan, 2010)

2.4.1 Dahili (intrusive) Araç Tanıma Sistemleri

Dahili araç tanıma sistemleri, yol yüzeyinde yada otopark girişlerinde delik açılarak araç tanıma ekipmanlarının içine monte edilmesi ile uygulanmaktadır. Yol kaplamasında açılacak delikler dolaylı olarak kaplama ömrünü azaltmaktadır. Montaj sırasında araç trafiğinin durdurulması gerekmektedir. Ayrıca monte edilen ekipmanların trafik yüküne maruz kalacak olması sebebi ile her zaman hasar görme riski bulunmaktadır.

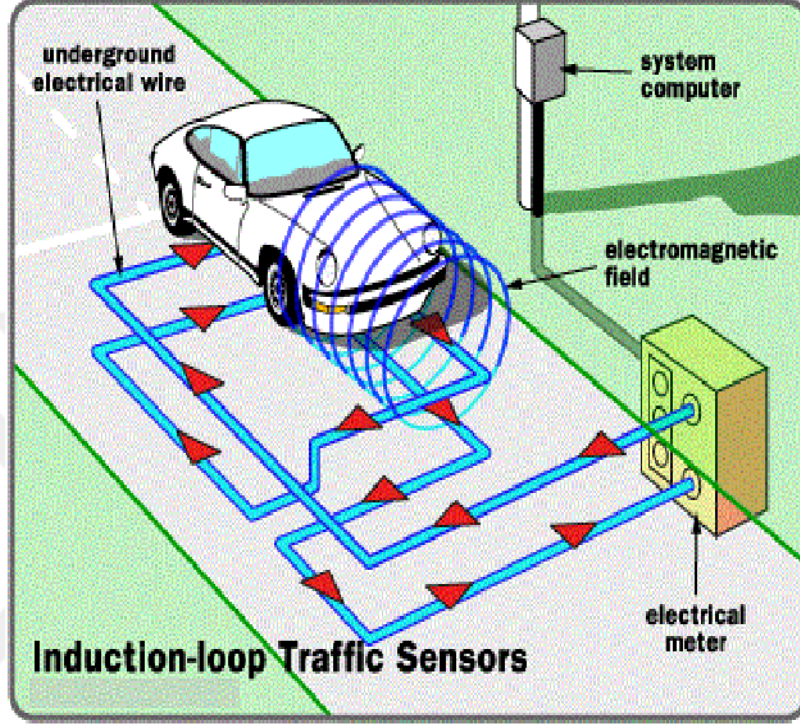
Dahili araç tanıma sistemlerine örnek olarak:

- İndüksiyon sarmalı sensörleri,
- Magnetometreler,
- Manyetik dirençli sensörler,
- Pnömatik tüplü sensörler
- Piezoelektrik sensörler ve
- Hareket ağırlık sensörleri gösterilebilir (Chinrungrueng ve diğer., 2007; Lenz ve Edelstein, 2006; Mimbela ve Klein, 2000; Mouskos, Boile, ve Parker, 2007).

2.4.1.1 İndüksiyon Sarmalı Sensörleri

İndüksiyon Sarmalı Sensörleri (İSS), frekansı 10 ile 50 kHz arasında değişen sinyaller iletebilen farklı ebatlardaki kablo sarımlarından oluşmaktadır. Şekil 2.7’de gösterilen sarmalın frekansındaki değişim, araç geçişi esnasında sarmalın içinde oluşturduğu indüksiyona bağlı gerçekleşmektedir. İndüksiyon sarmalına döngüsel elektrik sinyali uygulanır ve etki alanından geçen aracın metal şasisi sarmalın elektrik akım döngüsünü değiştirir. Frekansta oluşan değişiklikler bir işlemci

ünitesi ile araç tespiti olarak kaydedilir. Tek bir İSS trafik akış ve araç doluluk verilerini toplayabilir. İki İSS ile, doluluk, araç uzunluğu ve hız verileri de toplanabilmektedir (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).



Şekil 2.7 İndüksiyon sarmalı sensörü (Shirabadagi ve Hegadi, 2014)

İSS uygulamasının en önemli avantajı çok ucuz bir teknoloji olmasıdır. Dünyadaki hemen hemen her dinamik trafik kontrol sistemi İSS verilerini kullanmaktadır. Diğer sistemler ile kıyaslandığında İSS araç sayım verisini en doğru şekilde toplayabilmektedir. Bu nedenle doluluk tespiti için en iyi yöntem olarak kullanılmaktadır.

İSS Sistemlerinde, altyapı çalışmalarında ve yol bakım çalışmalarında veya suyun nüfuz etmesi durumlarında detektörler hasar görebilir. Düşük duyarlılıklı İSS'ler, belirli bir eşğin altında hıza sahip araçları tespit etmede başarısız olabilir ve olağandışı araç şasisi tiplerinde ya da nispeten düşük metal içeriğine sahip olan araçlar için (örneğin, motosikletlere) yanlış sayım yapabilmektedir. Metalik köprü döşemelerine montaj için uygun değildir. Birbirlerine çok yakın sarmallar arasında

araç tespitini oluşturmaz etkileyecek bazı radyo parazitleri meydana gelir (İdris ve diğer., 2009; Mouskos ve diğer., 2007; Mathew, 2014).

2.4.1.2 Magnetometreler

Magnetometreler, dünyanın düşey ve yatay manyetik alanlarındaki değişimleri (manyetik anomalileri) tespit ederek araç sayımı yapan sensörlerdir. Genellikle yol yüzeyindeki küçük bir deliğe monte edilir ve işleme ünitesine sabitlenir. Magnetometreler, sisli, karlı veya yağmurlu havalarda diğer araç tespit ekipmanlarına göre daha hassas ölçüm yapabilmektedir. Aynı zamanda trafikten oluşan gerilmelere karşı daha az hassasiyet gösterir ve daha doğru algılama yapabilirler. Sistemin bir diğer avantajı metal köprülere yerleştirme için uygun olmasıdır.



Şekil 2.8 Otopark girişinde magnetometre ile araç sayım uygulaması (Banner, 2019)

Şekil 2.8'de görseli verilen magnetometreler, çok kısıtlı alanda tespit yapabildikleri için geniş alan tespitinde birden fazla ekipman kullanılması gerekmektedir. Ayrıca doğru tespit yapabilmesi için ekipmanların tespit edilecek

alana yakın kurulumu gerekmektedir (Cheung, Ergen ve Varaiya, 2005; Mimbela ve Klein, 2000).

2.4.1.3 Manyetik Dirençli Sensörleri

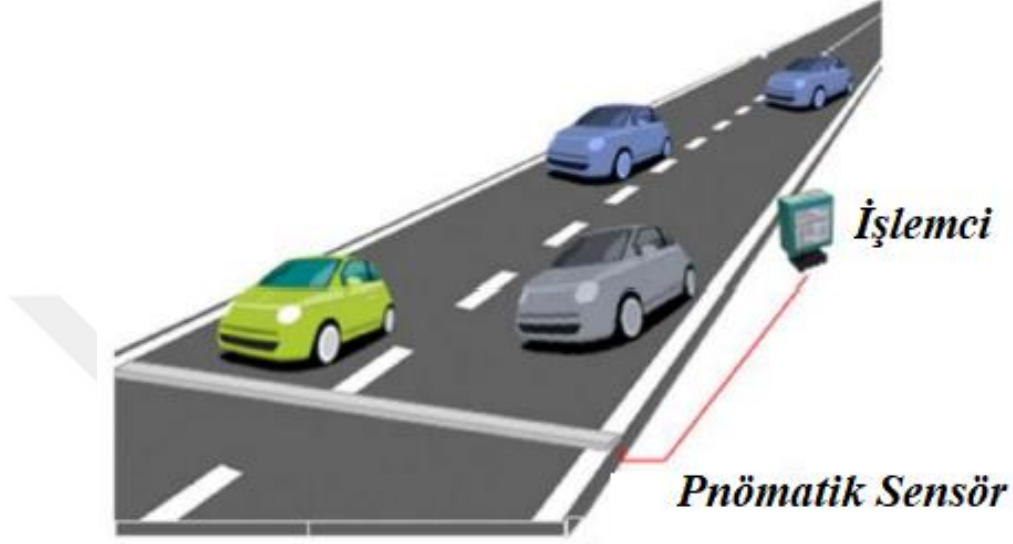
Manyetik dirençli sensörler (MDS), ferromanyetik nesnelere varlığını tespit etmek için dünyanın manyetik alanını etki alanı olarak kullanırlar. Aracın ferromanyetik bileşeninin oluşturacağı manyetik akı sayesinde manyetik alanda oluşan deformasyon bir sinyal olarak kaydedilir ve araç tespiti yapılır. Sistemin çalışma prensibi olan pasif algılama metodu enerji salınmasını gerektirmez, böylece hem enerji tüketimini hem de elektromanyetik parazit riskini en aza indirmektedir (Wolff ve diğer., 2006).

MDS'nin, sabit bir akımla çalışan anizotropik manyetik dirençli sensörler, dev manyetik dirençli sensörler, manyetik tünel bağlantılı sensörler, ultra manyetik dirençli sensörler ve balistik manyetik dirençli sensörler olmak üzere beş farklı çeşidi mevcuttur (Lenz ve Edelstein, 2006). Bu sensörler hafif ve küçük oldukları için çok çeşitli şekillerde monte edilebilirler (Wolff ve diğer., 2006). Çok farklı sıcaklıklarda kullanılabildiği (-55° ile 200° arası) ve ucuz olması sebebi ile dünya genelinde yaygın olarak tercih edilmektedir.

2.4.1.4 Pnömatik Tüplü Sensörler

Pnömatik tüplü sensörler, bir araç lastiğinin tüpün üzerinden geçtiğinde, oluşan patlama sonucu tüp boyunca hava basıncı oluşturarak araç tespiti yapmaktadır. Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, araç ağırlığı ile oluşan hava basıncı, sistemdeki hava anahtarını kapatarak, bir sayaç veya işlemciye iletilen elektrik sinyali üretir. Kurşun-asit, jel veya diğer şarj edilebilir pilleri bir güç kaynağı olarak kullanan pnömatik tüplü sensör portatiftir. Yol tüpü, trafik akış yönüne dik olarak yerleştirilir ve kısa süreli trafik sayımı, aks sayısı ve aralıklarına göre araç sınıflandırması için yaygın olarak kullanılır. Araçlar arası takip mesafesini, kavşak bekleme gecikmesini, dur işareti gecikmesini, doygun akış hızını, araç sınıfının bir

fonksiyonu olarak anlık hız ve otopark doluluk durumunu tespit için kullanılmaktadır (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).



Şekil 2.9 Pnömatik tüplü sensör (Guerrero-Ibáñez, Zeadally ve Contreras-Castillo, 2018)

Pnömatik tüplü sensörler ucuz ve portatif olması ile birlikte, tüm dahili araç tespit sistemlerinin içinde kurulumu en kolay olanıdır. Trafik modellemeleri için kabul edilebilir bir doğrulukla ölçüm yapabildiği için çok yaygın olarak kullanılmaktadır. (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

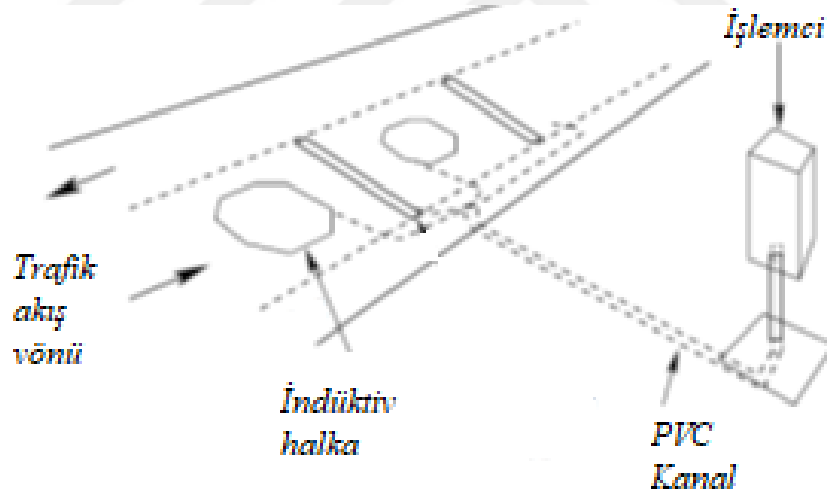
Pnömatik tüplü sensörlerin sistemlerinde bazı araçlar sayılmamakta veya sınıflandırmamaktadır . Pnömatik boru tesisatları dayanıklı değildir ve ömürleri bir aydan azdır. Sensörler, yüksek akış ve yüksek hızdaki yollar için uygun değildir. Sensörler araç park etme olasılığı bulunan yerlerde yerleştirilmemelidir. Çift tekerlekli araçları tespit edemez (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

2.4.1.5 Piezoelektrik Sensörler

Piezoelektrik sensörler, mekanik bir titreşim ya da darbeye maruz kaldıklarında, kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirebilen özel malzemelerden yapılmış araç

tespit sensörleridir. Sistem, araç aksı tarafından sensöre uygulanan basınçtan kaynaklanan voltaj değişikliğini algılayan ve böylece araç aksının ağırlığını ölçen bir veya daha fazla piezoelektrik sensörden oluşur. Araç piezoelektrik sensörden geçtikçe, sistem çıkış voltajını kaydeder ve dinamik yükü hesaplar. Sistem doğru kalibre edildiğinde, bükülebilir plakalar ile ölçülen dinamik yük kullanılarak statik yük tahmini yapılır (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

Piezoelektrik sensör, Şekil 2.10’da gösterildiği gibi, sürüş şeridinde, sürüş yönüne dik olarak yerleştirilir. İndüktif halkalar, trafik akış doğrultusuna göre piezoelektrik sensörünün membaa ve mansap yönüne yerleştirilir. Membaa yönüne yerleştirilen halka, gelen aracı tespit eder ve sistemi uyarır. Mansap yönlü halka, aracın halkalar arasındaki mesafeyi kat ediş zamanına bağlı olarak araç hızını ve aks boşluğunu belirlemek için gerekli veriyi sisteme iletir (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).



Şekil 2.10 Piezoelektrik sensörler (Mathew, 2014)

Tipik piezoelektrik sensörler, ilk kurulum ve bakım maliyetleri açısından bugün kullanılan en ucuz sistemler arasındadır. Piezoelektrik sensörler, diğer sistemlerine göre daha yüksek hız aralıklarında (16-112 km / s) kullanılabilir (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

Geniş bir alan tespiti için çok sayıda ekipmana gerek duyulması sistemin dezavantajı olarak gösterilebilir. Ayrıca piezoelektrik sensörler en az her 3 yılda bir değiştirilmelidir (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

2.4.1.6 Hareket Ağırlık Sensörleri

Hareket ağırlık sensörleri (HAS), ulaşım planlamacıları, tasarımcılar ve yasama kurumları için çok önem arz eden taşıt aks yükü tespiti yapabilmektedir. Hareket ağırlık sensörü olarak kullanılan dört teknoloji; eğilme plakaları, piezoelektrik, yük hücreleri ve kapasitans matıdır. Her bir HAS'nin kendi avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Eğilme plakaları, piezoelektrik HAS'ler ile kıyaslandığında daha doğru ve maliyetli daha yüksekken, yük hücreleri HAS'sine göre daha az doğru ve daha ucuzdur. Kapasitans matı taşınabilir veya kalıcı olarak kullanılabilmesine rağmen HAS sistemleri içerisindeki en az etkin ölçüm yapabilen sistemdir. Doğru ölçüm için yük hücresi HAS'si en uygun sistem olmakla birlikte yüksek maliyetlidir. En ucuz HAS sistemi olarak piezoelektrik sensörleri hava koşullarına ve hızdaki değişimlere karşı diğer sensörlere göre yetersiz kalmaktadır. Ayrıca tespit yeteneği de yük hücresi ve eğilme plakası HAS'den daha düşüktür (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

2.4.2 Harici (non-intrusive) Araç Tanıma Sistemleri

Harici (non-intrusive) Araç Tanıma Sistemleri (HATS) araç tespiti yapılacak bölgeye kolaylıkla kurulabilen, uygulama esnasında yol yüzeyine tahribat etkisi olmayan sistemlerdir. Dahili araç tanıma sistemlerinden farklı olarak HATS'ler, montajı sırasında yapıya zarar vermez ve trafik akışının durmasına neden olmaz (Kastrinaki, Zervakis ve Kalaitzakis, 2003; Mimbela ve Klein, 2000).

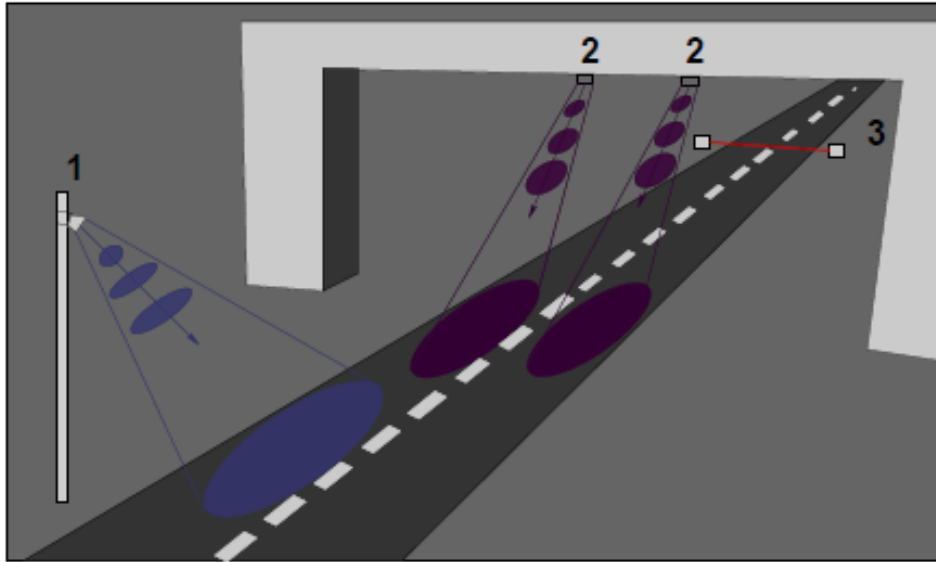
HATS'ler kullanılan teknolojiler:

- Video görüntü işlemcisi,
- Pasif veya aktif kızılötesi detektörler,

- Mikrodalga radar detektörleri,
- Ultrasonik detektörler,
- Akustik detektörler ve
- Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) veya Transponder Sistemleri'dir.

Çoğu HATS, Şekil 11'de gösterildiği gibi, çeşitli yerlere yerleştirilebilen, hava koşullarına dayanıklı koruyucu içine monte edilmiş küçük elektronik ünitelerden oluşan, uygulama ve görsel olarak birbirine benzerlik gösteren ekipmanlardan oluşur (Guerrero-Ibáñez ve diğer., 2018; Idris vd., 2009; Mathew, 2014).

Şekil 2.11'de görülen HATS uygulamalarının ilk tipi yol kenarındaki direklere monte edilen sistemlerdir. Detektör, direğe monte edilen ünitenin ilerisinde veya gerisinde eğik bir alanda araç tespiti yapar. Bu tip HATS'lerde, yüksek araçların küçük araçları perdelemesi ya da istenilen alan dışındaki araçların da tespit edilmesini sağlayacak fazla genişlikteki görüş alanı nedeni ile kör nokta sorunları oluşturur (Guerrero-Ibáñez ve diğer., 2018; Idris vd., 2009; Mathew, 2014).



Şekil 2.11 HATS teknoloji yapılandırmaları (Mathew, 2014)

Şekil 2.11'de görülen ikinci tip HATS detektörler, köprü altlarına monte edilir. Araç tespit alanı doğrudan ünitenin hemen altında veya hafif eğimli olarak ilerisinde ya da gerisindedir. Şekil 2.11'de görülen üçüncü tip HATS detektörler,

yolun eni boyunca bir ışın yayarak araç tespiti yapan, yol kenarına monte edilen ekipmanlardan oluşur. Bu tip detektörler, yan yana maskeleyme yöntemi ile araç tespiti yaptıkları için sadece tek şeritli, tek yönlü akışlar için uygundur (İdris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

2.4.2.1 Video Görüntü İşlemcisi

Video Görüntü İşlemcisi (VGİ) ekipmanları, kamera, görüntü değerlendirme programı ve dijitalleştirme/işleme yapan mikro işlemci tabanlı bilgisayardan oluşmaktadır. VGİ sistemi genellikle kare şeklindeki ardışık yer şeritleri arasındaki farkı değerlendirerek ölçüm yapmaktadır. Kameralı izleme sistemleri çoğu otopark tesisinde bulunabildiği için VGİ'nin kullanılması, yönetim ve uygulama kolaylığı sağlar (Kastrinaki ve diğer., 2003). VGİ sistemlerinde kamera algılama bölgeleri kolayca eklenebilir ve değiştirilebilir. Bu sayede optimum kapsama için herhangi bir geometrik şekildeki alana kolayca uygulanabilmektedir (Mouskos ve diğer., 2007). Bir kamerada toplanan bilgiler diğerine bağlandığında sağlanan geniş alan algılamasıyla, çok şeritli güzergahın algılaması sağlanır ve izleme için gereken kamera sayısı azalır (Mouskos ve diğer., 2007).

Birçok avantaja sahip olsa da, VGİ sistemleri sadece, tek bir kamera ile birkaç gözlem alanını denetleyebildiğinde ve gözlenen alanlar iyi ışıklandırıldığında maliyet bakımından avantaj sağlar. Hava şartları, gölgeler, bitişik şeride araç gölgesinin düşmesi, gece-gündüz geçişi, araç / yol kontrastı, su, tuz kiri, kamera lensindeki buz sarkıtları ve örümcek ağları performansı etkileyebilir. Otopark tesisinin yüksekliği ve yerleşim planı da bir sorun teşkil edebilir (Mimbela ve Klein, 2000; Mouskos ve diğer., 2007). Video kameraların optimum araç tespiti ve hız ölçümü için gereken kamera montaj yüksekliği yaklaşık 1,50m'dir. Bu da alçak tavanlı otopark tesislerinde kesinlikle bir sorun olacaktır (Mouskos ve diğer., 2007).

2.4.2.2 Pasif veya Aktif Kızılötesi Sensörleri

Kızılötesi Sensörler (KS), araç varlığı, doluluk tespiti, trafik hacmi, araç hızı ve araç tipi ayrımı ile yaya geçitlerindeki yayaların tespiti için kullanılmaktadır. Detektörden farklı olarak KS uygulaması, yansıyan veya yayılan enerjiyi elektrik sinyallerine dönüştürmektedir. Bir noktadaki araç varlığı gerçek zamanlı sinyal işleme ile tespit edilir.

İki tip kızılötesi sensör uygulaması kullanılmaktadır. Bunlardan ilki Pasif Kızılötesi Sensörlerdir (PKS). Pasif Kızılötesi Sensörler ile araçsız ortamda yol yüzeyinden yayılan veya yansıyan kızılötesi radyasyon ile gelen aracın yüzeyinden yayılan kızılötesi radyasyonun (frekansı 1011 - 1014Hz olan elektromanyetik radyasyon) farkının tespiti ile araç sayımı yapılır. PKS araç tespit sistemi trafik hacmi, araç varlığı ve otopark doluluğu tespitini yapabilir. PKS'lerin olumsuz hava şartlarına karşı hassasiyetleri düşüktür ancak düşük çözünürlüklü sensör ölçümlerini doğru yapamayabilir (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

İkinci tip kızılötesi sensör uygulaması Aktif Kızılötesi Sensörlerdir (AKS). AKS sistemleri yol yüzeyine kesik kesik veya sürekli ışın gönderir. Gönderilen ışının geri yansıma zamanı ölçer. Ölçüm alanında bir aracın varlığı, yansıma zamanını düşürür. AKS uygulamalarında Doppler frekansı kullanılarak hareketli araçların hız tespiti hassas olarak yapılabilmektedir. AKS sistemi, trafik hacmi, hız, araç sınıflandırması, araç tespiti, trafik yoğunluğu değerlerinin tespitinde kullanılmaktadır (Mathew, 2014).

AKS sisteminin avantajları doğru trafik hacmi, hızı ve araç sınıflandırması yapabilmesidir. Lazer sistemleri gündüz ve gece koşullarında çalışır. Dezavantajları ise olumsuz hava koşullarından çok etkilenmeleridir. Puslu veya dumanlı ortamda doğru ölçüm yapamaz. Küçük ebatlı araçların tespitinde başarısız olabilmektedir. Diğer uygulamalar ile karşılaştırıldığında nispeten yüksek maliyetlidir. Hassas, ancak sınırlı algılama alanına sahip olmaları sebebi ile diğer uygulamalara göre ek birimler gerektirir (Mathew, 2014).

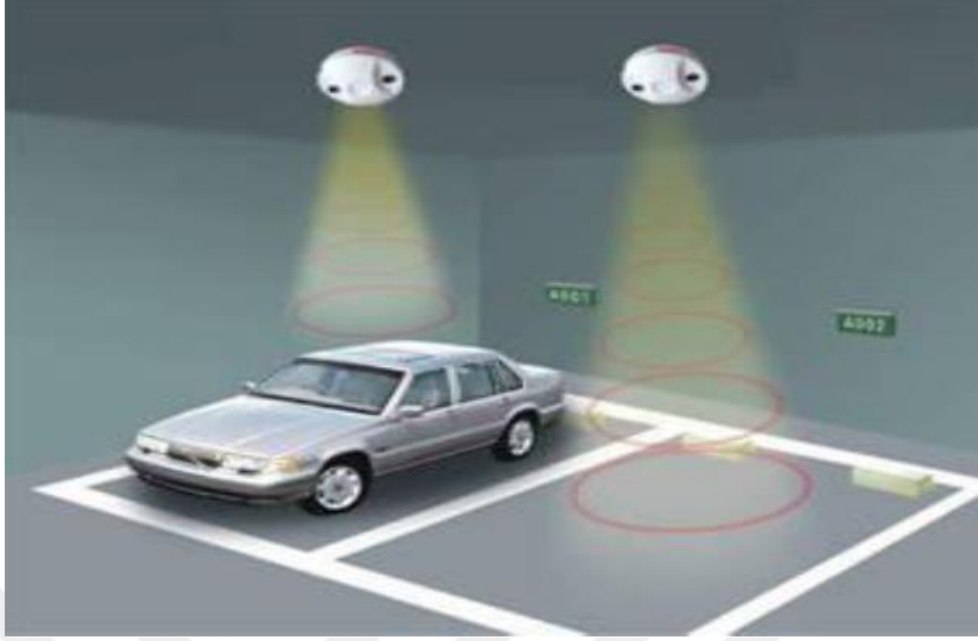
2.4.2.3 Mikrodalga Radar Detektörler

Mikrodalga Radar Detektörleri (MRD) düşük enerjili mikrodalga ışınlarını (2,5 ila 24 GHz) bir anten aracılığıyla araç tespit bölgesine iletir. Bölgedeki nesnelere Radyasyonun bir kısmını MRD sisteminde bulunan alıcı antene geri yansıtır. Doppler üniteleri araç hızını tespit eder. MRD sistemi sabit nesnelere algılayamaz (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

MRD sisteminin avantajları, hassas tespitler yapabilmesi, kurulumunun kolay olması, uzun mesafede etkili olması, birden fazla bölge tespiti yapabilmesi ve geç-gündüz şartlarında kullanılabilmesi olarak sıralanabilir. MRD sisteminin dezavantajları ise, yan yana araçların hatalı tespiti, çevresindeki elektroniklerle elektromanyetik etkileşimden kaynaklanan kullanım kısıtlamaları olarak gösterilebilir.

2.4.2.4 Ultrasonik Detektörler

Ultrasonik Detektörler (UD), araç tespiti yapılacak olan alana 25 ila 50 KHz arasındaki bir frekansta darbe ses dalgaları iletir. İletilen dalgaların yansıması ile araç tespiti yapılır. Darbe dalga formları, tanımlanan bir alandan sensöre yansıyan enerjiyi tespit ederek yol yüzeyine ve araç yüzeyine olan mesafeleri ölçer. Yol yüzeyine olan mesafe dışında bir mesafe ölçülürse, sensör bu ölçümü, Şekil 2.12’de gösterildiği gibi bir aracın varlığı olarak tanımlar. Trafik hacmi ve araç hızı, aracın her ölçüm alanını geçtiği zamanı kaydederek hesaplanabilir.



Şekil 2.12 Ultrasonik sensörler (Kianpishah, Mustafa, Limtrairut ve Keikhosrokiani, 2012)

UD sisteminin avantajları olarak, hassas ölçüm yapabilmesi, yüksek araçların ölçümünü yapabilmesi, çok şeritli yollarda ölçüm yapabilmesi ve kurulumu kolay olması gösterilebilir. Sistemin dezavantajları da, ses yayılımını etkileyen çevresel etkilerin performansı düşürmesi, hızlı hareket eden araçların sayımını doğru yapamaması veya yanlış araç sınıflandırmasıdır (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

2.4.2.5 Akustik Detektörler

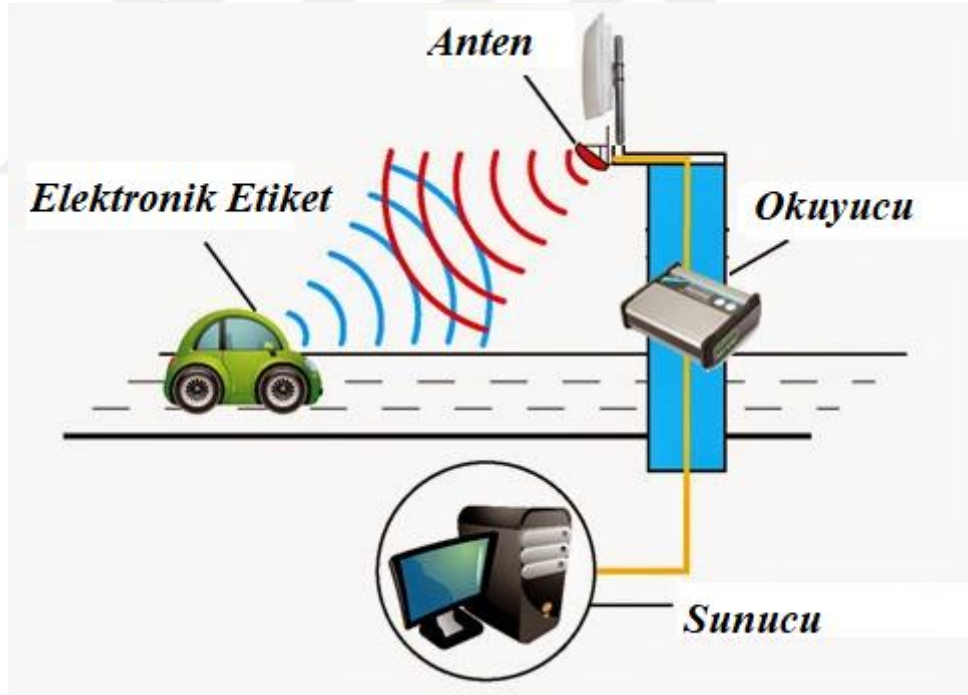
Akustik Detektörler (AD) yaklaşan bir aracın çevre eşliğinin üstündeki sesini algılamak için bir dizi mikrofon kullanır. Mikrofonlar arasındaki zaman gecikmeleri ve sinyal değişimleri araç konumunu belirlemek için kullanılır. Elde edilen sinyaller araç hızının ve motor tipine göre araç sınıfının belirlenmesinde kullanılır. Bu sayede trafik hacmini, araç hızını, doluluğu ve araç sınıflarını ölçmek mümkündür (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

AD sistemlerin avantajları, dışarı herhangi bir etkisi olmayan pasif bir sistem olması, doğrudan hız ve doluluk ölçümü yapabilesi olarak gösterilebilir. Dezavantajları ise, ses yayılımını etkileyen çevresel etkiler performansı düşürmesi

ve yan yana araçlardan gelen ses karışımından dolayı yoğun trafikte araç tespitini düşük doğrulukta yapmasıdır (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

2.4.2.6 Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) veya Transponder Sistemleri

Radyo Frekans Tanımlama (RFID), etiket veya transponder adı verilen uydu alıcı-verici cihazları kullanarak uzak mesafe veri toplama ve depolamaya dayanan otomatik araç tanımlama yöntemidir. Radyo-frekans tanımlama teknolojisi, bir RFID okuyucusunun ve bir RFID etiketinin eşzamanlı kullanımını gerektirir. Bir RFID etiketi, radyo dalgalarını kullanarak tanımlama ve izleme yapma amacıyla, bir ürüne, hayvana veya kişiye uygulanabilen veya monte edilebilen bir objedir. Bazı etiketler, birkaç metre uzaklıkta ve okuyucunun görüş hattının ötesinde okunabilir (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).



Şekil 2.13 RFID otopark sistemi (AsiaRFID, 2017)

Şekil 2.13'te gösterilen temel bir RFID sistemi üç bileşenden oluşur; bir anten veya bobin, bir alıcı-verici ve bir transponder.

Bir RFID etiketi, bilgi toplamak için bir mikroçipten ve bu verileri bir okuyucuya kablosuz iletebilen bir antenden oluşur. Temelde çip, her etikete özgün bir tanımlayıcı veya plaka numarası içerir. Toplanan veriler genellikle değişken mesajlı trafik işaretleri (DMTİ) aracılığıyla güncel hareket zamanı ve varış zamanı bilgilerini sürücülere sunmak için kullanılmaktadır. Transponder sistemleri ayrıca, toplu taşıma veya acil servis araçlarına trafik sinyallerinde ve kritik noktalarında öncelik tanımak için tasarlanmış Seçmeli Araç Algılama (SVD) sistemleri ile birlikte kullanılır. RFID sisteminin otomatik araç tanımlama, envanter yönetimi, konteyner veya depo yönetimi, ürün stoklarında ve otopark yönetimi geniş uyulama alanları mevcuttur (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

RFID sisteminde etiketler, görüş hattı olmaksızın, aradaki engellerin ötesinden algılanabilmektedir. Etiketli bir ürün bir okuyucunun yakınına geldiğinde, RFID etiketleri otomatik olarak okunur. İki veya daha fazla okuyucudan gelen sinyallerin çakışma sorununa neden olması, etiketin eşzamanlı okuyucu sorgulamasına cevap verememesi ve küçük bir alanda birden fazla etiketin bulunması nedeni ile oluşan etiket çakışması sistemin dezavantajları olarak gösterilebilir (Idris ve diğer., 2009; Mathew, 2014).

AOS'da kullanılan sistem ve araç tanıma teknolojilerinin uygulama koşullarına bağlı olarak avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Bu nedenle uygulanacak sistem ve araç tanıma teknolojilerinin etkinliği ve verimliliği için kullanım amaç ve şartlarına uygun olarak seçilmesi ve tasarlanması önemlidir.

İzmir şehir merkezinde akıllı otopark sistem teknolojisi olarak Park Yönlendirme ve Bilgi Sistemi, Akıllı Ücret Toplama Sistemi, E-Park ve Otomatik Otopark Sistemi hizmet vermektedir. Tez çalışması kapsamında incelemesi yapılan İZUM sistemi ise bir E-Park sistem teknolojisidir.

BÖLÜM ÜÇ METODOLOJİ

3.1 Giriş

Otopark yerinin seçimi bir tercih sürecini içermektedir. Sürücüler kendi kişisel özellikleri, yolculuk nedenleri ve bütçeleri gibi birçok farklı parametreye bağlı olarak araçlarını park edecekleri yeri seçerler. Bu tercih işlemi için her sürücü kendi kriterlerine göre bir tercih süreci yürütür ve en faydalı alternatifi seçer. Fayda teorisi, içerik olarak ortak temel ihtiyacın teminine hizmet eden potansiyel alternatifler arasından birinin seçimini dikkate alarak karar verme mekanizmasını tanımlamaya yönelik bir yaklaşımdır. Ayrıca yolculuk davranış şekillerinin ve ulaştırma sisteminin kullanıcılara sağladığı faydaların modellenmesinde kullanılmaktadır (Özuysal, Tanyel ve Oral, 2012).

Yapılan çalışmalara göre, hedef noktaya yürüme mesafesi, sürüş ve bekleme süresi, otopark ücreti, otoparkların servis seviyesi, güvenlik, otoparka en uygun ulaşımın sağlanması, en iyi trafik akışının sağlanması, park halindeki araçlardan kaynaklı tıkanıklık sorunlarının azaltılması, şehirde özel otomobil kullanımının asgariye düşürülmesi gibi faktörler, sürücülerin park yeri seçimi yaparken göz önünde bulundurduğu etkenlere örnek olarak gösterilebilir (Caicedo, Blazquez ve Miranda, 2012; Hensher ve King, 2001; Kawakami, Takayama ve Liu, 2017; Lam, Li, Huang ve Wong, 2006; Shi An, Bo Han ve Jian Wang, 2005). Otopark tercihlerini etkileyen çok farklı etkenler olmakla birlikte, İZUM sistemindeki otopark bilgilendirme uygulamalarında, otoparklara ait boş park yeri bilgisi sunulmaktadır. Sürücüler, sistemi kullanarak boş park yeri bilgisine göre otopark tercihi yapabilmektedirler. Sürücülerin otopark tercihini etkileyebilecek, sürüş mesafesi, park sonrası hedef noktaya yürüme mesafesi, park ücreti, yönlendirme sisteminden kaynaklı oluşacak trafik ve doluluk durumu gibi farklı etkenlerin birlikte değerlendirildiği ve sürücülerin bu etkenlere göre otoparklara yönlendirildiği yeni bir sistem uygulaması ile otopark kullanım etkinliğinin artacağı öngörülmüştür. Bu amaçla, önerilen sistem ile mevcut durumun kıyaslamasını

yapmak için, Denklem 3.1'deki rezervasyonsuz fayda bağıntısı ile bir simülasyon programı oluşturulmuştur (Shin ve Jun, 2014).

$$U_{ij}^2 = (\beta_1 D_{ij}^* + \beta_2 W_{ij}^* + \beta_3 C_j^* + \beta_4 P_j^* + \beta_5 R_{ij}^*) / 15 \quad (3.1)$$

Burada;

U_{ij}^2 : j otoparkına i aracını yönlendirme için park fayda fonksiyonu ($0 \leq U_{ij}^2 \leq 1$),

D_{ij} : i aracının mevcut konumundan j otoparkına sürüş mesafesi,

W_{ij} : j otoparkından i aracının hedef noktasında yürüme mesafesi ($j=1, \dots, m$),

C_j : j otoparkının park ücreti (TL / sa.),

P_j : j otoparkına sistem tarafından yönlendirilen araç sayısı (trafik sıkışıklığı derecesi),

R_{ij} : i aracı için j otoparkının uygunluk derecesi ($j=1, \dots, m$),

β_1 : Aracın mevcut durumundan yönlendirilen park yerine sürüş mesafesi için ağırlık faktörü,

β_2 : Yönlendirilen park yerinden hedef noktaya yürüme mesafesi için ağırlık faktörü,

β_3 : Park ücreti için ağırlık faktörü,

β_4 : Trafik sıkışıklığı için ağırlık faktörü,

β_5 : Uygunluk derecesi için ağırlık faktörü,

olarak tanımlanmaktadır.

“ β ” ağırlık faktörleri, rezervasyonsuz fayda fonksiyonunda kullanılan parametrelerin önemine göre 0 ile 3 arasında değişen katsayılardır (Shin ve Jun, 2014). Otopark tercihine etkisine göre fayda fonksiyonundaki “ β ” ağırlık faktörleri farklı değerler alabilir.. Bu çalışmada “ β ” ağırlık faktörleri değiştirilerek fayda fonksiyonu sonucuna göre tercihi etkileyen parametrelerin etkinliği incelenmiştir.

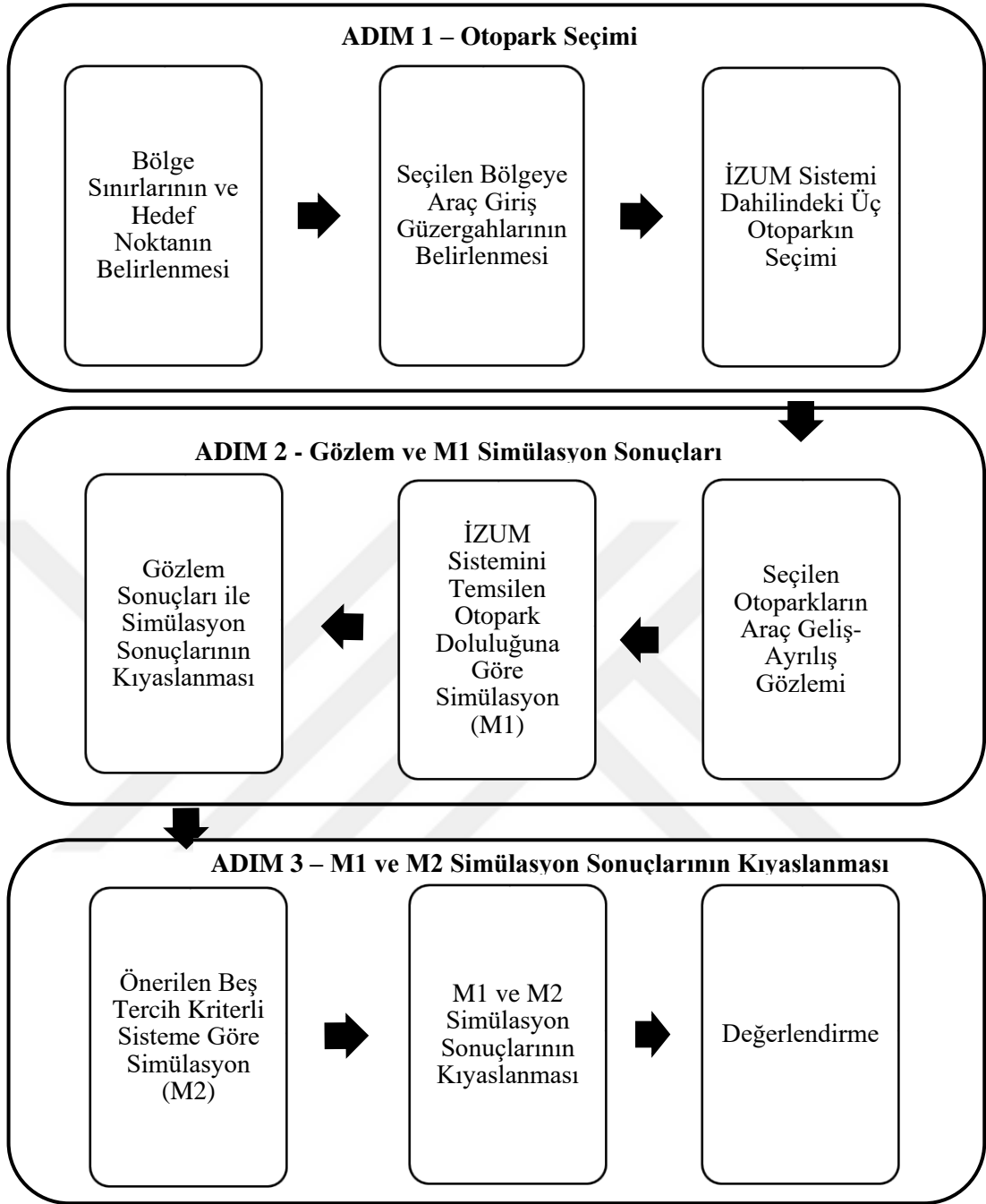
Fayda fonksiyonunda kullanılan tüm parametreler (sürüş mesafesi, park sonrası hedef noktaya yürüme mesafesi, park ücreti, yönlendirme sisteminden kaynaklı oluşacak trafik ve doluluk durumu) farklı sayısal ölçekte oldukları için tek bir ölçek içerisinde ele alabilmek amacıyla, Denklem 3.2 kullanılarak 0 ile 1 arasında değişecek şekilde normalize edilmiştir (Shin ve Jun, 2014):

$$X_{ij}^* = (X_{ij} - X_{ij}^{min}) / (X_{ij}^{maks} - X_{ij}^{min}) \quad j=1, \dots, m, \quad 0 \leq X_{ij}^* \leq 1 \quad (3.2)$$

X: Normalize edilen parametreler (*D, W, C, P, R*)

3.2 Çalışmanın Uygulama Adımları

Çalışmada ilk olarak, mevcut İZUM otopark bilgilendirme sistemini temsil eden, sürücülerin boş yer bilgisine (doluluğa) göre otopark tercihlerini yaptıkları Model 1 (M1) oluşturulmuştur. İkinci olarak, otopark tercihini etkileyeceği düşünülen sürüş mesafesini, park sonrası hedef noktaya yürüme mesafesini, park ücretini, yönlendirme sisteminden kaynaklı oluşacak trafiği ve doluluk oranını değerlendiren 5 değişkenli Model 2 (M2) oluşturulmuştur. Aynı durum için sürücü otopark tercihlerini temsilen oluşturulan iki farklı model simüle edilerek sonuçları kıyaslanmıştır. Bu işlemler için takip edilen araştırmanın yöntemine ait akış şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Araştırmanın akış şeması

3.2.1 Adım 1 – Otopark Seçimi

Çalışmada ilk olarak İZUM otopark bilgilendirme sistemine kayıtlı otoparkların bulunduğu bölgelerden biri seçilmiştir. Bölge seçimi yapılırken şehrin merkez konumunda olması ve içerisinde en az üç otoparkın İZUM sisteminde yer almasına dikkat edilmiştir. İkinci olarak bölge içerisinde, ulaşılmak istenen hedef nokta

seçimi yapılmıştır. Üçüncü olarak seçilen bölgeye araç giriş güzergahları belirlenmiştir. Son olarak seçilen bölge sınırları içerisinde, seçilen hedef noktaya yakın ve İZUM bilgilendirme sisteminde yer alan üç otopark seçilmiştir.

3.2.2 Adım 2 – Gözlem ve Simülasyon Sonuçları

İZUM sisteminde seçilen otoparkların gerçek zamanlı boş yer bilgilerindeki değişimler gözlemlenerek otoparklara gelen ve ayrılan araç sayıları ile geliş ve ayrılış zamanları kaydedilmiştir. Gözlemler, hafta içi günlerde, trafiğin pik saatlerinde (08:00 – 10:30), birer saatlik zaman periyotları halinde yapılmıştır. Gözlemler sonucu üç otoparka gelen toplam araç sayısı ile mevcut durum (M1) simüle edilmiştir. Simülasyonda, mevcut İZUM Sistemi'ni kullanan sürücülerin tercihini otopark doluluğuna göre yaptığı kabulü ile sürücüler otoparklara yönlendirmiştir. Simülasyondan elde edilen gelen araç sayıları ile gözlem sonucu elde edilen gelen araç sayıları kıyaslanmıştır.

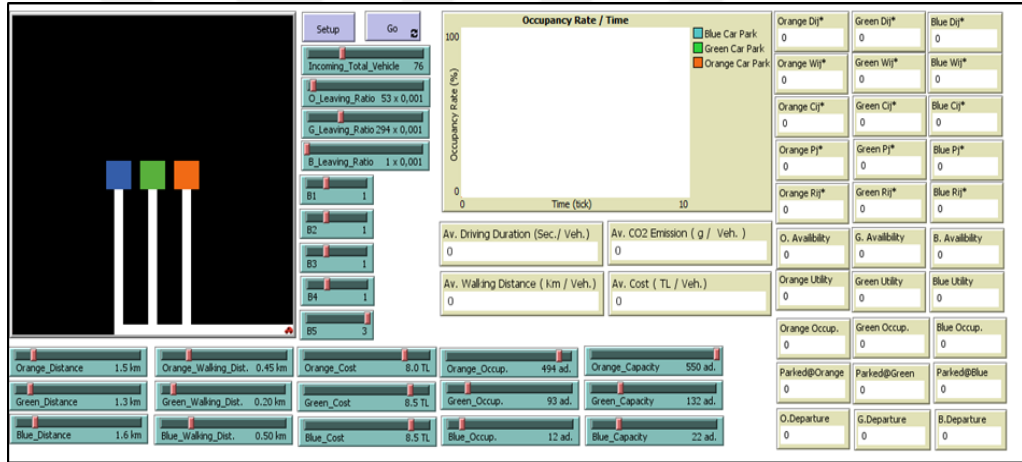
3.2.3 Adım 3 – M1 ve M2 Simülasyon Sonuçlarının Kıyaslanması

Mevcut İZUM otopark bilgilendirme sisteminde sürücülere sadece anlık olarak otopark dolulukları ile ilgili bilgi verilmektedir. Sürücüler sistemi kullanarak sadece doluluk oranlarına göre tercih yapabilmektelerdir. Mevcut otoparkların azami düzeyde kullanımı için İZUM sistemi önemli bir uygulama olmakla beraber sisteme ilave edilecek farklı bilgilendirme özellikleri ile sistemin verimliliği artırılabilir.

Mevcut sistemi temsilen yapılan Model 1 (M1) simülasyon sonuçları ile önerilen sistem için yapılan Model 2 (M2) simülasyon sonuçlarının sürüş süresi, yürüme mesafesi, park ücreti ve karbondioksit salımı üzerindeki etkisi incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

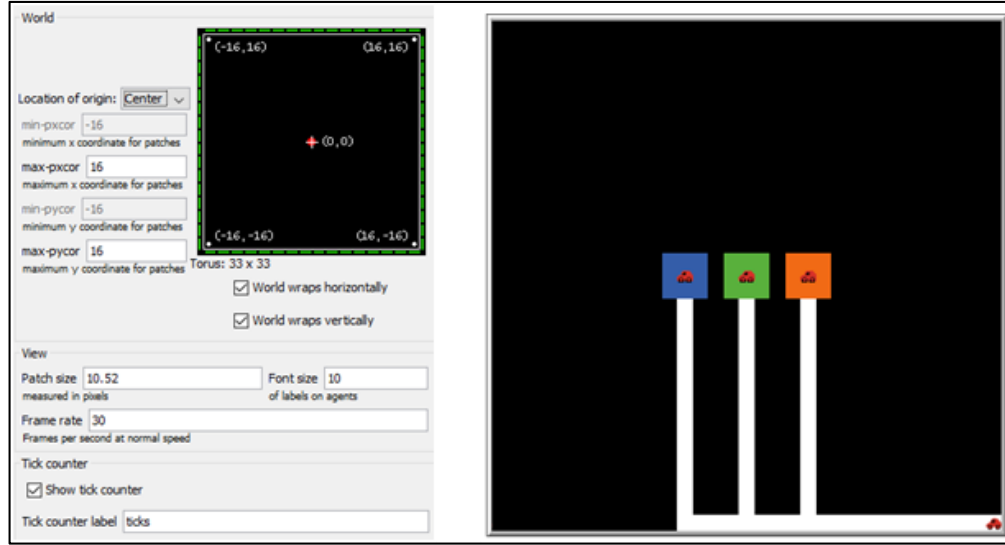
3.3 Simülasyon Programının Tasarımı

Bu çalışma için Çoklu-Ajan Tabanlı NetLogo simülasyon ortamında Denklem 3.1'deki rezervasyonsuz fayda fonksiyonuna göre 3 farklı otopark için tercih yapan bir simülasyon programı yazılmıştır. Tasarlanan simülasyon programına ait arayüz Şekil 3.2'de verilmiştir. NetLogo, kendi yazılım dilini kullanan, açık kaynak kodlu, Çoklu-Ajan-Tabanlı bir modeldir. Mikro düzeydeki davranışlar ile etkileşimlerinden ortaya çıkan makro düzeydeki modeller arasındaki bağlantıları araştırmak için kullanılmaktadır. Sağladığı simülasyon ortamı ile gerçek gözlemlene yöntemine göre daha hızlı ve esnek sonuçlar verebilir. Bu simülasyon ortamında modeller farklı kriterlere göre değerlendirilebilir (Vo, Van Der Waerden ve Wets, 2016).



Şekil 3.2 Netlogo ortamında hazırlanan fayda fonksiyonu tabanlı simülasyon programı

NetLogo simülasyon ortamı yama (patch) olarak ifade edilen koordinat sistemi üzerine kuruludur (Şekil 3.3). Bu yamalar küçük kare kutular şeklindedir ve bir araya gelerek simülasyon ekranını oluşturmaktadır. Bu yamalardan oluşan simülasyon ekranında 3 farklı renkteki (Turuncu, Yeşil, Mavi) otopark için Şekil 3.3'te görülen beyaz renkteki güzergahlar ile yerleşim planı oluşturulmuştur.



Şekil 3.3 Netlogo yama koordinat sistemi ve ekranı

Programda araçların sisteme giriş noktası Şekil 3.3'te görülen beyaz renkteki güzergah başlangıcıdır. Program, zaman birimi olarak “tick” olarak ifade edilen zaman sayacını kullanmaktadır. Simülasyon ortamında her 3 otoparka ulaşmak için araçların ne kadar mesafe kat etmesi gerektiği hesaplanmıştır. Simülasyona girilen sürüş mesafeleri ile otoparklara varış sürelerini dengeleyebilmek için araçların otopark güzergâhlarındaki hızları farklı oranlarda yavaşlatılmıştır. Simülasyon için sabit araç hızı 40 km/sa olarak kabul edilmiştir ve 1 “tick” birim süre 3 saniyeye eşitlenmiştir.

Program, sürüş mesafesi (D_{ij}), yürüme mesafesi (W_{ij}), park ücreti (C_j), trafik sıkışıklığı derecesi (P_j) ve uygunluk derecesi (R_{ij}) değerlerini, her bir birim zaman diliminde, anlık otopark durumlarına göre hesaplamaktadır. Elde edilen anlık parametreler ile rezervasyonsuz fayda fonksiyonu kullanılarak her otopark için fayda değeri hesaplanmıştır. Çıkan sonuca göre gelen araçlar en düşük fayda fonksiyon değerine sahip otoparka yönlendirilmiştir. Parametrelerin hesabı için gerekli olan başlangıç değerlerinin veri giriş ekranı Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

Orange_Distance 1.5 km	Orange_Walking_Dist. 0.45 km	Orange_Cost 8.0 TL	Orange_Occup. 428 Veh.	Orange_Capacity 550 Veh.
Green_Distance 1.3 km	Green_Walking_Dist. 0.20 km	Green_Cost 8.5 TL	Green_Occup. 104 Veh.	Green_Capacity 132 Veh.
Blue_Distance 1.6 km	Blue_Walking_Dist. 0.50 km	Blue_Cost 8.5 TL	Blue_Occup. 14 Veh.	Blue_Capacity 22 Veh.

Şekil 3.4 Simülasyon parametreleri

Simülasyon programında yönlendirme için dikkate alınan uygunluk derecesinin (R_{ij}) bulunabilmesi için Denklem 3.3 yardımı ile her otopark için ayrı ayrı Araçlar Arası Ortalama Geliş Zamanları ($MTBA_j$) hesaplanır (Shin ve Jun, 2014).

$$MTBA_j = \frac{\sum_{k=2}^{q_j} (t_{jk} - t_{j(k-1)})}{q_j - 1} \quad (3.3)$$

Burada;

$MTBA_j$: Belli bir zaman aralığı içerisinde j otoparkına gelen araçlar arasındaki ortalama geliş zamanlarını ($j=1, \dots, m$)

k : j otoparkı için belirli bir zaman aralığındaki araç geliş indeksini ($k=1, \dots, q_j$)

t_{jk} : k'nıncı aracın j otoparkına geliş zamanını ($j=1, \dots, m$)

q_j : Belirli bir zaman aralığında j otoparkına gelen araç sayısını ($j=1, \dots, m$) ifade etmektedir.

Her otopark için ortalama geliş zamanları bulunduktan sonra Denklem 3.4 ile otoparkların anlık uygunluk dereceleri hesaplanır.

$$R_{ij} = \frac{T_{ij}}{f_j} \quad (3.4)$$

Burada;

R_{ij} : j otoparkının parkının i'ninci araç için uygunluk derecesini

T_{ij} : j otoparkı için i'ninci aracın toplam geliş süresini

f_i : t anında j otoparkındaki boş yer sayısını

ifade etmektedir.

Program, tüm parametreleri hesaplandıktan sonra “ β ” ağırlık faktörleri ile çarparak tüm otoparklar için anlık fayda fonksiyonu hesaplar. Sistemde gelen araçlar, hesaplama sonucunda en düşük fayda fonksiyonu değerine sahip otoparka yönlendirilir.

Araçların otoparklardan ayrılışları programa girilen ayrılış yüzdelerine göre yapılmaktadır. Otoparkların ayrılış yüzdeleri gözlemler sonucunda elde edilen ayrılan araç ve gelen araç oranı ile hesaplanır. Her otopark için ayrılış yüzdesi simülasyon başlamadan önce programa veri giriş bölümünden girilir. Programa girilen ayrılış yüzdesine göre simülasyonda araç ayrılışı gerçekleşir. Örneğin programa girilen 50% ayrılış oranı, otoparka gelen her 2 araç için otoparktan 1 aracın ayrılacağı anlamına gelir.

Simülasyon programında, araç ayrılışı hesabı için Denklem 3.5’deki araç ayrılış fonksiyonu kullanılmıştır. Simülasyonda Denklem 3.5’den anlık olarak elde edilen değer, ayrılış yüzdesinden küçük veya eşitse 1 aracın ayrılma olasılığı oluşmaktadır.

$$2 \times \text{Gelen Araç Sayısı} \times \text{Ayrılış Oranı} (\%) + 1 = X \text{ mod}(2) \quad (3.5)$$

$$\text{Eğer} \begin{cases} |X| \leq \text{Ayrılış Oranı} \rightarrow \text{Ayrılış Oluşur} \\ |X| > \text{Ayrılış Oranı} \rightarrow \text{Ayrılış Oluşmaz} \end{cases}$$

Aşağıdaki Tablo 3.1’de 10% ayrılış örneği için Denklem 3.5 kullanılarak elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 3.1 10% Ayrılış olasılığı için denklem 3.5’e göre hesap sonuçları

Ayrılış Oranı	Gelen Araç Sayısı	2 * Gelen Araç Sayısı * Ayr. Or. + 1	Mod 2 = X	X-1	Mutlak Değer	< Ayrılış Oranı
0,1	1	1,2	1,2	0,2	0,2	0
0,1	2	1,4	1,4	0,4	0,4	0
0,1	3	1,6	1,6	0,6	0,6	0
0,1	4	1,8	1,8	0,8	0,8	0
0,1	5	2	0	-1	1	0
0,1	6	2,2	0,2	-0,8	0,8	0

0,1	7	2,4	0,4	-0,6	0,6	0
0,1	8	2,6	0,6	-0,4	0,4	0
0,1	9	2,8	0,8	-0,2	0,2	0
0,1	10	3	1	0	0	1
0,1	11	3,2	1,2	0,2	0,2	0
0,1	12	3,4	1,4	0,4	0,4	0
0,1	13	3,6	1,6	0,6	0,6	0
0,1	14	3,8	1,8	0,8	0,8	0
0,1	15	4	0	-1	1	0
0,1	16	4,2	0,2	-0,8	0,8	0
0,1	17	4,4	0,4	-0,6	0,6	0
0,1	18	4,6	0,6	-0,4	0,4	0
0,1	19	4,8	0,8	-0,2	0,2	0
0,1	20	5	1	0	0	1

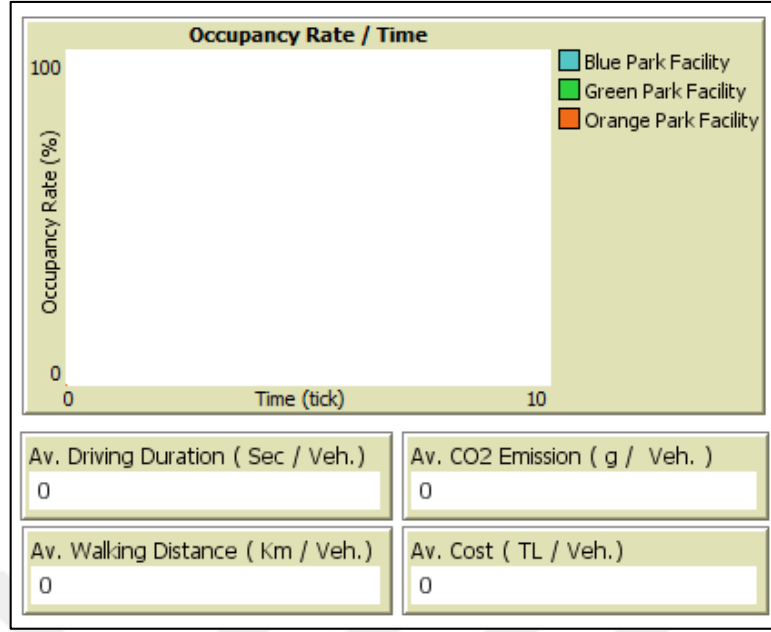


Şekil 3.5 Araç ayrılış denklem sonuçları ve gelen araç sayısı grafiği

Şekil 3.5'te gelen araç sayısı ve Denklem 3.5 sonucunun grafiği görünmektedir. Burada gelen her 10 araç için 1 aracın %10 araç ayrılış oranı bandının altına düştüğü görülmektedir. Sonuç olarak program, girilen %10 araç ayrılış oranına göre her 10 araç için 1 araç ayrılışı olasılığı gerçekleştirmektedir.

3.3.1 Simülasyon Değerlendirilme Yöntemi

İZUM Bilgilendirme Sistemi ile rezervasyonsuz fayda fonksiyonunun otopark tercihi üzerindeki etkilerinin kıyaslamasını yapabilmek için program tarafından 4 farklı değerlendirme sonucu ve bir değerlendirme grafiği oluşturulmuştur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Simülasyon değerlendirme ekranları

3.3.1.1 Ortalama Sürüş Süresi, Yürüme Mesafesi ve Ortalama Ücret

Simülasyon sonuçlarını değerlendirmek için otoparklara gelen araçların ortalama sürüş süreleri, yürüme mesafeleri ve ücret değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler, gelen araçlara ait toplam sürüş sürelerinin, yürüme mesafelerinin ve ücret değerlerinin gelen araç sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

3.3.1.2 Ortalama Karbondioksit Salımı

Simülasyon programı anlık olarak araç başına ortalama karbondioksit salımı değerini hesaplanmaktadır. Simülasyon programında, karbondioksit salımının hesaplanması için Denklem 3.6 kullanılmıştır (Akçelik, Smit ve Besley, 2014):

$$f_t(CO_2) = f_{CO_2} f_t(fuel) \quad (3.6)$$

Burada;

$f_t(CO_2)$: anlık karbondioksit salım oranını (g/s)

$f_t(fuel)$: yakıt tüketimi oranı (mL / s)

f_{CO_2} : yakıt tüketimine karşılık gelen karbondioksit salımıdır (g/mL veya kg/L).

Akçelik çalışmasında f_{CO2} değerini hafif araçlar için 2,35 g/mL olarak tespit etmiştir. Bu çalışmada f_{CO2} değeri 2,35 g/mL olarak kabul edilmiştir. Zamana bağlı yakıt tüketimi f_i (*fuel*) değerinin hesaplanması için Akçelik'in önerdiği Denklem 3.7 ve 3.8 kullanılmıştır (Akçelik ve diğer., 2014):

$$f_i(\text{fuel}) = \alpha + \beta P_t \quad (3.7)$$

$$\alpha = f_i / 3600 \quad (3.8)$$

Burada;

α = Rölanti yakıt tüketimi (mL/s)

β = Tüketilen yakıt ile motorun ürettiği güç arasındaki verimlilik parametresi (mL/kJ veya g/kJ)

f_i = Rölantide yakıt tüketimi oranı (mL / h) dır.

P_t değeri motorun ürettiği toplam çekiş gücünü tanımlar. Akçelik toplam çekiş gücünün, sürtünme için gereken güç " P_c " (Denklem 3.10), hareketten doğan atalet için gereken güç " P_I " (Denklem 3.11) ve yolun eğimi için gereken güç " P_G " (Denklem 3.12) değerlerinin toplamından oluştuğunu belirtmiştir (Akçelik ve diğer., 2014). Bu üç değer toplamı eğer aracın maksimum motor gücünden büyükse, toplam çekiş gücü aracın maksimum motor gücü " P_{max} " olarak tanımlanmıştır (Denklem 3.9).

$$P_T = \min(P_{max}, P_C + P_I + P_G) \quad (3.9)$$

$$P_C = b_1 v + b_2 v^3 \quad (3.10)$$

$$P_I = \frac{M_v a v}{1000} \quad (3.11)$$

$$P_G = \frac{9,81 M_v (G/100) v}{1000} \quad (3.12)$$

Burada;

P_C = Toplam gücün seyhat bileşenidir (kW)

P_I = Toplam gücün atalet bileşenidir (kW)

P_G = Toplam gücün eğim bileşenidir (kW)

G = Yol eğimi (aşağı yönlü ise negatif alınacaktır)

M_v = Araç ağırlığı / yükleri ile birlikte (kg)

v = Anlık hız (m/s)

a = anlık ivme (m/s²)

b_1 = Yuvarlanma direncinden kaynaklı sürtünme yakıt tüketimi parametresi (kN)

b_2 = Aerodinamik direncinden kaynaklı sürtünme yakıt tüketimi parametresi (kN/(m/s)²)

Akçelik düz bir yolda ($G = 0$, $P_G = 0$) anlık seyir yakıtı tüketim oranını ($a=0$, $P_I=0$) Denklem 3.13'ü kullanarak belirlemektedir (Akçelik ve diğer., 2014):

$$f_{ct} = \alpha + \beta P_C \quad (3.13)$$

Bu çalışmada Denklem 3.13 kullanılarak zamana bağlı araç yakıt tüketimi değerleri hesaplanmıştır.

Araç özelliğine bağlı değerler için Akçelik'in çalışmasındaki Tablo 3.2'deki hafif araçlar için varsayılan değerler kabul edilmiştir (Akçelik ve diğer., 2014).

Tablo 3.2 Hafif araçlar için varsayılan değerler

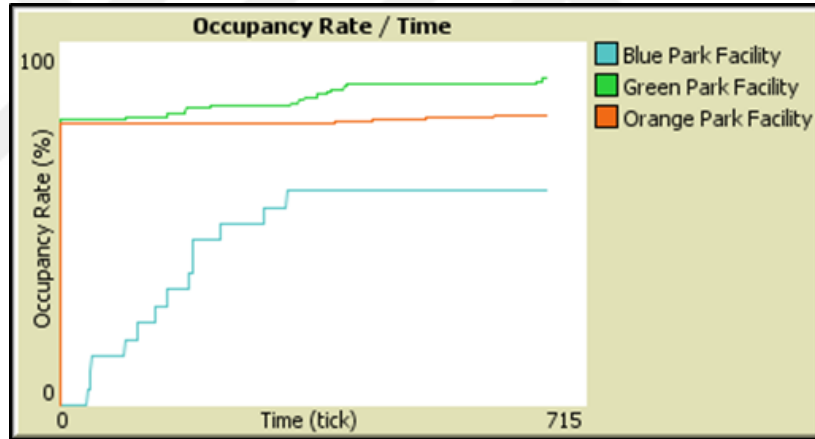
Parametre	Tanım	Varsayılan Değer	Birim
f_i	Rölantide yakıt tüketimi oranı	1200	mL/h
b_1	Yuvarlanma direnci ile ilgili sürtünme yakıt tüketimi parametresi	0,160000	kN
b_2	Aerodinamik sürtünme ile ilgili sürtünme yakıt tüketimi parametresi	0,000518	kN/(m/s) ²
β	Verimlilik parametresi	0,100	mL/kJ
M_v	Ortalama taşıt ağırlığı	1600	kg
f_{CO_2}	CO ₂ salım oranı	2,350	g/mL

Simülasyonda kabul edilen 40 km/sa. ortalama hız için hesaplamalar sonucunda anlık karbondioksit salımı $f_i(CO_2)$ 1,36 g/s olarak bulunmuştur.

Toplam karbondioksit salımı değeri, araç geliş sürelerinin karbondioksit salımı değeri ile çarpımı sonucu elde edilmektedir. Ortalama karbondioksit salımı değeri ise, toplam karbondioksit salımı değerinin gelen araç sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

3.3.1.3 Doluluk Oranı / Zaman Grafiği

Simülasyon programında bir diğer değerlendirme yöntemi de Doluluk Oranı / Zaman Grafiğidir. Program anlık olarak otoparkların doluluklarını hesaplamaktadır. Doluluk oranı, otoparktaki anlık araç sayısının otopark kapasitesine bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Simülasyonda zamana bağlı doluluk oranı (%) grafiksel olarak Şekil 3.7’de görüldüğü gibi teşkil edilmektedir.



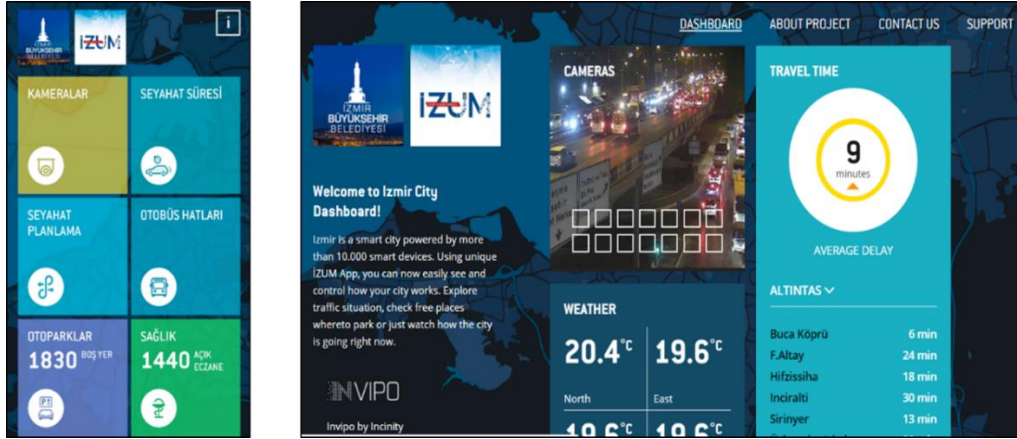
Şekil 3.7 Simülasyon doluluk oranı / zaman grafik ekranı

BÖLÜM DÖRT

VERİLERİN TANITILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 İzmir Ulaşım Merkezi (İZUM) Bilgi Sistemi

2017 yılından itibaren, İzmir’de akıllı ulaşım sistemlerinin bir uygulaması olarak şehrin ana arterlerini denetleyebilen ve trafiği yönetebilen İzmir Ulaşım Merkezi (İZUM) kullanıcılara ücretsiz hizmet sunmaktadır. Sistemde sürücülere, akıllı kavşak uygulaması, trafik takip kameraları, ölçüm, izleme, ihlal tespit sistemleri, hız koridoru gibi akıllı şehir kapsamında kurulan hizmetler sunulmaktadır. Kurulum maliyeti 61 milyon 500 bin TL olan sistem ile trafik akış ve yoğunluğuna bağlı olarak Şekil 4.1’de gösterilen web sitesi ve akıllı telefon uygulaması ile internet üzerinden güzergah seçimleri yapılabilmektedir. Kural ihlallerinin gözlenerek önüne geçilmesi, yol kapasitelerinin azami düzeyde kullanılması, araç ve yaya trafiğinin güvenliğinin artırılması, seyahat sürelerinin kısaltılması, kavşaklardaki gecikmelerin azalması İZUM sisteminden beklenen faydalardır (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2018).



Şekil 4.1 İZUM akıllı telefon uygulaması ve internet ara yüzü

Sistem uygulaması dahilinde; 402 akıllı kavşak, 110 noktada trafik izleme kamerası, 201 trafik ölçüm sistemi, 47 DMS (Değişken Mesaj Sistemi), 1500 otobüs ile toplu ulaşım yönetim sistemi, 164 itfaiye aracına öncelik sistemi, 30 meteoroloji ölçüm sistemi, 151 kırmızı ışık ihlal sistemi, 114 noktada park ihlal

sistemi, 9 güzergahta hız koridoru, 15 noktada Gabari Algılayıcı Sistem kurulumu yapılmıştır (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2018).

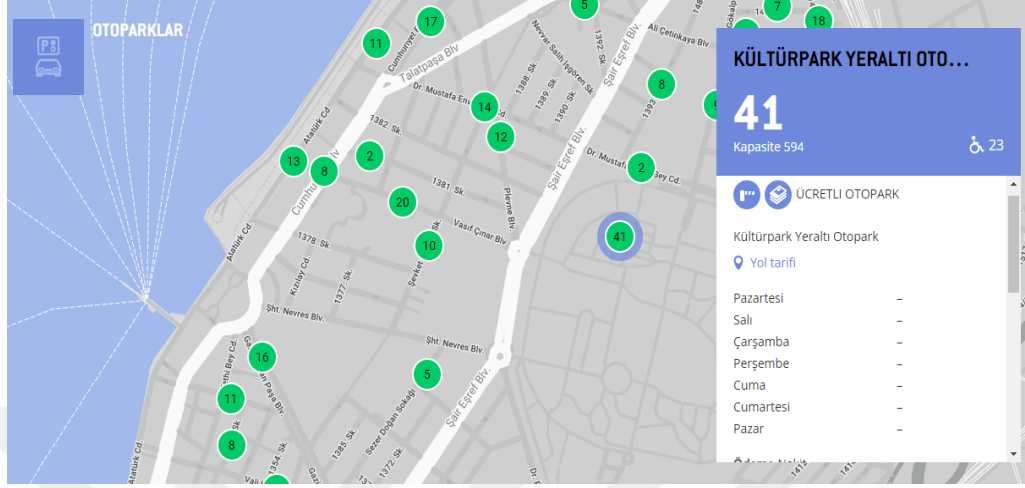
İZUM sisteminin hedefleri olarak, sinyalize kavşakların akıllı şekilde yönetilmesi, şehir trafik durumunun trafik izleme sistemi ile gerçek zamanlı kontrolü, trafik ölçüm sistemi ile trafik verilerinin toplanması ve analiz edilmesi, trafik ihlal sistemi ile trafik hatalarının tespitinin yapılması, yayalaştırılmış bölgelerin oluşturulması, ana arterlere yerleştirilen değişken mesaj sistemleri ile anlık olarak sürücülere trafik durumu ve hava şartları gibi bilgi hizmetinin sunulması, engellilere yönelik konuşan yaya butonu hizmetinin sunulması, toplu taşıma kullanımının ve kalitesinin artırılması, kaza ve yol kapanma bilgilerinin anlık olarak sistem kullanıcılarına iletilmesi ve meteorolojik verilerin sürücülere aktarılması gösterilebilir (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2018).

4.1.1 İZUM Otopark Bilgi Sistemi

Tez çalışması kapsamında incelemesi yapılan İZUM Bilgilendirme Sistemine ait hedeflerden biri yol kenarı otoparkların gerçek zamanlı verilerinin sürücüler ile paylaşılmasıdır. Yeraltı sensörleri ile yol kenarı otopark doluluk durumları sistem tarafından gerçek zamanlı olarak tespit edilebilmektedir. Tespit edilen gerçek zamanlı doluluk bilgileri mobil uygulama ve internet sayfası üzerinden sürücülere sunularak araç park yeri arama sürelerinin düşürülmesi hedeflenmektedir (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2018).

İZUM web sitesinin ana ekrandaki otopark menüsünde otoparkların anlık boş yer bilgisi görülmektedir. Web sitesindeki menü üzerindeki “OTOPARKLAR” seçeneği ile girildiğinde otoparkların konumunun ve boş yer sayısının gösterildiği otopark yerleşim planı sayfasına ulaşılmaktadır (Şekil 4.2). Şekil 4.2’de görülen web sitesi üzerinden erişilen İZUM otopark bilgi ekranında otoparkların konumları harita üzerine yerleştirilmiş yeşil daireler ile gösterilmektedir. Dairelerin iç kısmında otoparklardaki boş yer bilgisi sunulmaktadır. Ayrıca dairelerin üzerine basıldığında otoparkın boş yer bilgisi ile birlikte, kapasitesi, ücret ödeme şekli, engelli park yeri sayısı ve azami araç genişliği ve yüksekliği bilgisi sunulmaktadır.

Otoparklarda boş yer kalmaması durumunda yeşil renkli daireler kırmızı renge dönüşerek sistem kullanıcılarını görsel olarak bilgilendirmektedir.



Şekil 4.2 İZUM otopark bilgi ekranı

İzmir'deki toplam 11.079 araç kapasiteli 65 adet otoparkın gerçek zamanlı doluluk bilgisi, engelli araç kapasitesi ve konum bilgisi internet sitesi, mobil uygulama ve otopark bilgilendirme ekranları üzerinden kullanıcılara iletilmektedir (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2018).

4.2 Verilerin Değerlendirilmesi

4.2.1 Otopark Tercih Modelleri için Toplanan Gözlem Verileri ve Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışmada inceleme alanı olarak İzmir, Konak İlçesi, Alsancak Mahallesi seçilmiştir. Bölge içerisinde senaryo gereği ulaşılmak istenen hedef nokta olarak ÖSYM Hizmet Binası kabul edilmiştir. Hedef noktaya en yakın üç otoparkın araç geliş ve ayrılış gözlemleri yapılmıştır (Şekil 4.3). Seçilen otoparklara ait bilgiler Tablo 4.1'de verilmiştir. Çalışmada, tüm araçların sırası ile önce Liman Caddesi üzerinden ardından Cumhuriyet Bulvarı üzerinden geldiği kabul edilmiştir.

Tablo 4.1 Seçilen otoparklar

No	Otopark	Tür	Park Kapasitesi (araç)	Ücret (3 Saat)
1	Alsancak Katlı Otoparkı	Kapalı	550	8,00 TL
2	Kordon 1 (Kuzey) Yol Kenarı Otoparkı	Yol Kenarı	132	8,50 TL
3	Kordon 2 (Güney) Yol Kenarı Otoparkı	Yol Kenarı	22	8,50 TL



Şekil 4.3 Seçilen otoparkların, hedef noktasının ve iki ana arterin konumu

İZUM sisteminde seçilen otoparkların hafta içi günlerde, trafiğin pik saatlerinde (08:00 – 10:30), birer saatlik zaman periyotları halinde yapılan gözlem sonuçları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Otopark gözlem verileri

Gözl. No	Tarih	Saat	Alsancak Kath Otoparkı		Kordon 1 (Kuzey) Yol Kenarı Otoparkı		Kordon 2 (Güney) Yol Kenarı Otoparkı		Toplam Gelen Araç Sayısı
			Gelen Araç Sayısı	Ayrılan Araç Sayısı	Gelen Araç Sayısı	Ayrılan Araç Sayısı	Gelen Araç Sayısı	Ayrılan Araç Sayısı	
1	19.09.2018	09:20 a.m. 10:20 a.m.	46	8	5	5	3	4	54
2	26.09.2018	08:10 a.m. 09:10 a.m.	48	6	19	11	6	3	73
3	3.10.2018	08:30 a.m. 09:30 a.m.	51	4	12	4	5	6	68
4	10.10.2018	08:28 a.m. 09:28 a.m.	60	3	23	6	4	5	87
5	17.10.2018	08:20 a.m. 09:20 a.m.	57	3	17	5	2	0	76
6	24.10.2018	08:23 a.m. 09:23 a.m.	53	5	30	8	8	4	91

Gözlem başlangıç anında seçilen otoparkların İZUM otopark bilgi sisteminde görünen boş yer sayıları kaydedilmiştir. Daha sonra sistemde 1 saat boyunca otoparklara giren ve çıkan araç sayıları kaydedilmiştir. Gözlem sonucu otoparklara toplam gelen araç sayısı ve gözlem başlangıç anındaki otoparkların doluluk durumları programa girilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir.

4.2.1.1 M1 Simülasyon Kabulleri

Sürücülerin, mevcut İZUM otopark bilgilendirme sisteminden alınan boş yer bilgisine bağlı olarak Denklem 3.4 ile hesaplanan uygunluk durumuna göre otopark tercihi yaptıkları kabul edilmiştir. Ayrıca seçilen bölgenin şehrin iş ve turizm merkezlerinden biri olması sebebi ile bölge otoparklarını düzenli kullanan sürücülerin de öncelikle otoparkların uygunluk durumuna göre tercihi yapacağı varsayımı yapılmıştır. M1 simülasyonu için uygunluk derecesinin (R_{ij}) ağırlık faktörü olan β_5 katsayısı "1" alınmış diğer β katsayıları "0" alınarak sistem tercihinin sadece doluluğa göre yapılması sağlanmıştır.

Seçilen Alsancak bölgesine araç girişlerinin bölgeye bağlanan iki ana arterden gerçekleştiği kabul edilmiştir. Simülasyon ayarları yapılırken, tüm araçların bu iki ana arterden sırası ile önce Liman Caddesi üzerinden ardından Cumhuriyet Bulvarı

üzerinden geldiği kabul edilmiştir (Şekil 4.3). Bu nedenle her bir gözlem setine ait 2 adet simülasyon sonucu elde edilmiştir.

Programda kullanılacak olan otoparklara ait ayrılış yüzdeleri, gözlemlerde tespit edilen ayrılan araç sayısı ve gelen araç sayısının oranlanması ile yüzde değer olarak programa girilmiştir. Örneğin, Tablo 4.2’de görüldüğü gibi, yapılan ilk gözlemden turuncu otoparka (Alsancak Katlı Otoparkı) gözlem süresince 46 araç gelmiş ve 8 araç da ayrılmıştır. Bu örnek durum için otopark ayrılış yüzde değeri olarak simülasyon programına % 17,4 girilmiştir.

4.2.1.2 M1 Simülasyonu ve Gözlem Verilerinin Karşılaştırılması

M1 için yapılan simülasyon sonucunda otoparklardaki toplam araç sayıları ile gözlem sonucunda gelen araç sayıları istatistiksel yöntemler kullanılarak karşılaştırılmış ve simülasyon ve gözlem sonuçlarının uyumu değerlendirilmiştir. Değerlendirmede Uyuşmazlık Oranı (*Discrepancy Ratio - DR*), Etkinlik Faktörü (*Efficiency Factor - EF*), Kök Ortalama Kare Hatası (*Root Mean Square Error - RMSE*) ve Regresyon Analizi yöntemleri kullanılmıştır.

Uyuşmazlık Oranı (*Discrepancy Ratio - DR*) analizlerin kıyaslanması için kullanılan bir yöntemdir. Elde edilen verilerin gözlem verileri ile kıyaslanması Denklem 4.1 kullanılarak yapılmıştır. Genel olarak *DR* değerinin -0,1 ile 0,1 arasında olması simülasyon modelinin tahmin sonuçlarının yeterli olduğunu göstermektedir. 0,1 değerinin üzerindeki tahminler yüksek tahmin, -0,1 değerinin altındaki tahminler düşük tahmin ve -0,1 ile 0,1 değerleri arasındaki tahminler uygun tahminler olarak ifade edilmektedir (Özuysal, Çalışkanelli, Tanyel ve Baran, 2009)

$$DR = \log_{10} \left(\frac{Q_e^{pre}}{Q_e^{obs}} \right) \quad (4.1)$$

Q_e^{pre} : Simülasyon sonucu elde edilen değer

Q_e^{obs} : Gözlem sonucu elde edilen değer

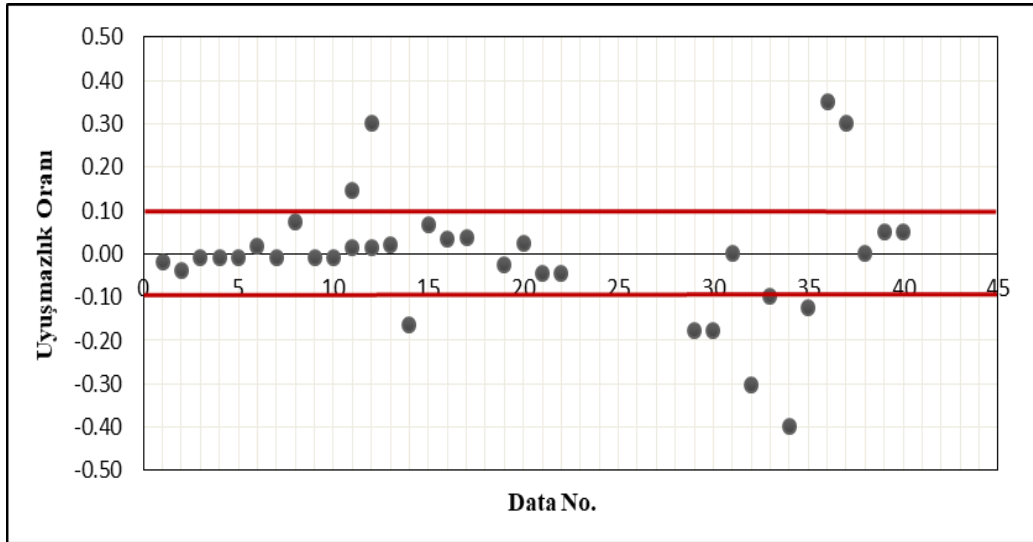
Çalışmada *RMSE* (Kök Ortalama Kare Hatası) ve Ekinlik Faktörü (*efficiency factor -EF*) analizleri de yapılmıştır. Bu analizler ile M1 simülasyonun modelinde gözlem verilerinin tahmininde yaptığı hatalar hesaplanır. Denklem 4.2 ile hesaplanan *EF* değeri $-\infty$ ile 1,0 değeri arasında değişmektedir. $EF = 1$, gözlemlenen veriler ile modelin mükemmel eşleştiğini göstermektedir. $EF = 0$, model tahminlerinin gözlem verilerinin ortalaması kadar doğru tahmin yapabildiğini göstermektedir. *EF* değerinin 0'dan küçük olması durumunda modelin ortalamadan da kötü tahmin yaptığı anlamına gelmektedir (Özuysal ve diğer., 2009).

$$EF=1-\left(\frac{\sum_i^N (Q_{e(i)}^{obs}-Q_{e(i)}^{pre})^2}{\sum_i^N (Q_{e(i)}^{obs}-\bar{Q}_e)^2}\right) \quad (4.2)$$

Denklem 4.3 kullanılarak *RMSE* analizi yapılmıştır.

$$RMSE=\left(\frac{\sum_i^N (Q_{e(i)}^{obs}-Q_{e(i)}^{pre})^2}{N}\right) \quad (4.3)$$

DR analizine göre gözlem ve simülasyon verilerinin kıyaslanması sonucu elde edilen değerden oluşan grafik Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Gözlem ve simülasyon verileri uyumsuzluk oranı grafiği

Tablo 4.3'te görüldüğü gibi tüm otoparkların ortak değerlendirildiği DR analizinde doğru tahmin oranı %69, yüksek tahmin oranı %11 ve düşük tahmin oranı da %19 olarak bulunmuştur. Her otopark için ayrı yapılan DR analizden, en çok aracın geldiği Alsancak Çok Katlı Otoparkı'nın sonuçları %100 doğru tahmini göstermektedir. Gözlenen gelen araç sayısı azaldıkça DR analizinin doğru tahmin değerinin düştüğü görülmüştür. Kordon 1 Yol Kenarı Otoparkı için yapılan DR analizinde doğru tahmin oranı %67 olurken yüksek ve düşük tahmin oranları %17 olarak tespit edilmiştir. Kordon 2 Yol Kenarı Otoparkında ise DR analizinde doğruluk oranı %42 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.3 Gözlem ve simülasyon karşılaştırma sonuçlarının karşılaştırılması

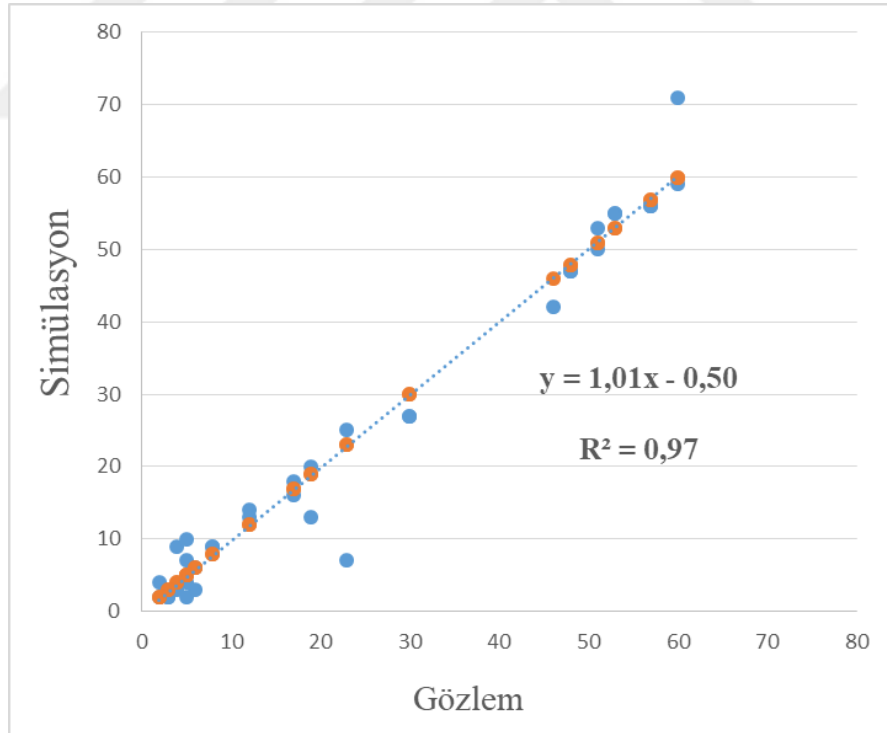
		Alsancak Katlı Otoparkı	Kordon 1 Yol Kenarı Otoparkı	Kordon 2 Yol Kenarı Otoparkı	Tüm Otoparklar
RMSE		3,64	3,82	1,21	3,95
Etkinlik Faktörü		0,44	0,53	-0,14	0,96
Uyuşmazlık Oranı	Yüksek Tahmin*	%0	%17	%17	%11
	Uygun Tahmin **	%100	%67	%42	%69
	Düşük Tahmin ***	%0	%17	%42	%19
* 0.10 üzerinde farklılık olan tahminlerin yüzdesi.					
** Tahminlerin -0,10 ile 0,10 arasında farklılık gösteren yüzdeleri.					
*** -0.10 altında farklılık olan tahminlerin yüzdeleri.					

Etkinlik Faktörü (EF) kıyaslamasında tüm otoparkların ortak değerlendirilmesi sonucunda EF değeri 0,96 olarak hesaplanmıştır. Bulunan değer, modelin ve gözlem verilerinin neredeyse mükemmel bir eşleşmeye karşılık geldiğini göstermektedir. Her otoparkın kendi gözlem verileri ile ayrı ayrı kıyaslanması sonucunda sırasıyla Alsancak Çok Katlı Otoparkı için $EF=0,44$, Kordon 1 Yol Kenarı Otoparkı için $EF=0,53$ ve Kordon 2 Yol Kenarı Otoparkı için $EF= - 0,14$ olarak hesaplanmıştır. Gözlemler sonucunda özellikle Kordon 2(güney) Yol Kenarı otoparkına gelen araç sayısının düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, Kordon 2(güney) Yol Kenarı Otoparkı için kıyaslanan simülasyon ve gözlem sonuçlarındaki küçük farklarda bile etkinlik faktörü değerinin düşmesine neden

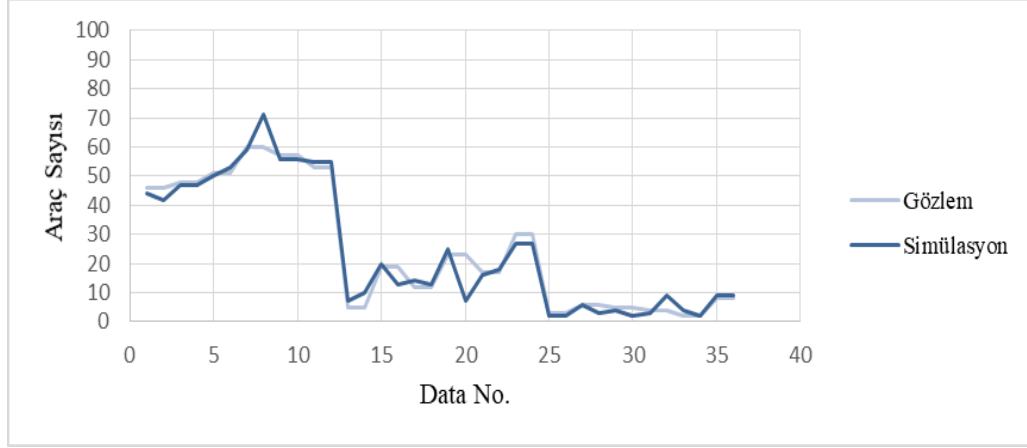
olmaktadır. Diğer yandan Alsancak Çok Katlı Otoparkına ve Kordon 1 (Kuzey) Yol Kenarı Otoparkına gelen araç sayıları fazla olduğu için simülasyon ile gözlem verileri arasında daha yüksek etkinlik faktörü değerine ulaşılmasına sebep olmuştur.

RMSE hesapları sonucunda, diğer analizden farklı olarak, Kordon 2 Yol Kenarı Otoparkı hata oranının diğer otoparkların hata oranlarından ve tüm otoparkların ortak değerlendirildiği analizin hata oranından daha düşük olduğu hesaplanmıştır.

Otoparkların ortak değerlendirildiği tüm otoparklara ait gözlenen gelen araç sayıları ile simülasyon sonucu otoparklara gelen araç sayılarına ait regresyon analizi sonuçları Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Regresyon analizi sonucunda R2 değeri 0,97 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi gözlem verileri ve simülasyon sonuçları arasında anlamlı bir benzerlik görünmektedir.



Şekil 4.5 Tüm otoparkların ortak değerlendirildiği gözlem ve simülasyon verileri regresyon analizi grafiği



Şekil 4.6 Tüm otoparkların için gözlem ve simülasyon verileri karşılaştırma grafiği

M1 simülasyon verileri ile gözlem verilerinin Uyuşmazlık Oranı (*Discrepancy Ratio - DR*), Etkinlik Faktörü (*Efficiency Factor - EF*), Kök Ortalama Kare Hatası (*Root Mean Square Error - RMSE*) ve Regresyon analizleri sonucunda programın simülasyon becerisi belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında yazılan simülasyon programının gözlem verilerine ile uyumlu sonuç verdiği tespit edilmiştir.

4.2.1.3 Akıllı Otopark Sistem Önerisi ve Tasarımı

Çalışmada, otopark tercihinde etkili beş değişkeni dikkate alan, Denklem 3.1'deki rezervasyonsuz otopark fayda fonksiyonuna göre oluşturulmuş otopark yönlendirme sisteminin simülasyonu kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarının sürüş süresi, yürüme mesafesi, park ücreti ve karbondioksit salımı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Denklem 3.1'deki ağırlık faktörleri tercih sistemini etkileyebilecek şekilde farklı değerler ile incelenmiştir. Çalışmada dikkate alınan değişkenlerin otopark tercihi üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile β ağırlık faktörleri 0 ile 3 arasında değişen değerler olarak alınmıştır. M1'de mevcut İZUM bilgilendirme sistemini simüle etmek için doluluk oranına ait ağırlık faktörü (β_5) 3 olarak alınırken diğer ağırlık faktörleri ($\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$) sıfır olarak alınmıştır. Bu sayede tercih kriteri olarak sadece doluluk oranına göre simülasyon yapılmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir. M2'de β ağırlık faktörleri değiştirilerek 6 farklı durum için dikkate alınan etkenlerin

otopark tercihi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Tüm etkenlerin eşit değerlendirildiği tercih durumu için tüm β ağırlık değerleri 2 olarak alınmıştır. Simülasyonda kullanılan β ağırlık faktörleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Farklı ağırlık faktörlerine (β) göre simülasyon durumları

β	Mevcut Durum (M1)	1. Durum (M2_1)	2. Durum (M2_2)	3. Durum (M2_3)	4. Durum (M2_4)	5. Durum (M2_5)	6. Durum (M2_6)
β_1	0	2	3	1	1	1	1
β_2	0	2	1	3	1	1	1
β_3	0	2	1	1	3	1	1
β_4	0	2	1	1	1	3	1
β_5	1	2	1	1	1	1	3

Otopark tercihini etkileyen sürüş süresi, yürüme mesafesi, park ücreti ve karbondioksit salımı değişkenlerinin otopark tercihi üzerindeki etkilerini incelemek amacı ile Tablo 4.4'te gösterilen 6 farklı durum için simülasyon yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. M2'de her değişkenin eşit önem katsayısına göre dikkate alındığı durumun yanı sıra sürüş mesafesi (D_{ij}^*), yürüme mesafesi (W_{ij}^*), otopark ücreti (C_j^*), simülasyonun yönlendirmesinden dolayı oluşacak trafik sıkışıklığı (P_j^*) ve doluluk oranı (R_{ij}^*) değişkenlerinin katsayılarının arttırıldığı durumlar da incelenmiştir.

Senaryo dahilinde örnek olarak seçilen 3 otoparka 1 saat boyunca gelen tüm araçların Liman Caddesi üzerinden geleceği kabulü ile simülasyona girilmiştir. Ardından tüm araçların ikinci ana arter olan Cumhuriyet Bulvarı üzerinden gelecekleri kabul edilmiştir. İki güzergah için M2 simülasyonu ile farklı 6 durumdan elde edilen sonuçlar ve M1 simülasyonu ile elde edilen mevcut durum sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.2.1.4 Akıllı Otopark Sistem Önerisi Simülasyon Sonuçları ve Değerlendirme

İncelenen Alsancak Bölgesine ait araç geliş yönleri ve geliş yönlerine göre seçilen üç otoparkın güzergahları Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Simülasyon sonuçları değerlendirmesinde araçların geliş yönüne göre Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de belirtilen güzergahlar dikkate alınmıştır.



Şekil 4.7 Liman Caddesi üzerinden otoparklara gidiş güzergahları (Google Earth 2019’dan yararlanılarak oluşturulmuştur)



Şekil 4.8 Cumhuriyet Bulvarı üzerinden otoparklara gidiş güzergahları Google Earth 2019’dan yararlanılarak oluşturulmuştur)

Aynı güzergah için fayda fonksiyonundaki β ağırlık katsayıları değiştirilerek simülasyonlardan ortalama sürüş süresi, ortalama yürüme mesafesi, ortalama ücret ve ortalama karbondioksit salımı değerleri elde edilmiştir. Fayda fonksiyonlarına göre elde edilen simülasyon sonuçları araç güzergahlara bağlı olarak Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.5 Liman Caddesi güzergahına göre simülasyon sonuçları

Tarih	DURUM	MODEL	Ort. Sürüş Süresi (sn)	Ort. Yürüme Mesafesi (km / araç)	Ort. Ücret (TL / araç)	Ort. CO ₂ (g / araç)	Turuncu Otopark		Yeşil Otopark		Mavi Otopark	
							Gel.	Ayr.	Gel.	Ayr.	Gel.	Ayr.
19.09.2018	Mevcut D.	M1	33,50	0,42	8,09	45,66	44	6	7	6	3	3
	Durum I	M2_1	34,00	0,39	8,13	46,34	40	7	14	13	0	0
	Durum II	M2_2	29,00	0,43	8,04	39,52	50	7	4	3	0	0
	Durum III	M2_3	35,00	0,38	8,15	47,70	38	4	16	15	0	0
	Durum IV	M2_4	27,00	0,45	8,00	36,80	54	7	0	0	0	0
	Durum V	M2_5	39,00	0,38	8,19	53,15	34	6	16	15	4	3
	Durum VI	M2_6	35,00	0,40	8,13	48,38	40	6	11	11	3	3
	En Düşük Değer		27,00	0,38	8,00	36,80						
	Fark %		%19	%10	%1	%19						
26.09.2018	Mevcut D.	M1	38,84	0,39	8,18	52,93	47	5	20	9	6	3
	Durum I	M2_1	31,07	0,41	8,08	42,34	62	6	11	6	0	0
	Durum II	M2_2	29,22	0,43	8,04	39,82	67	8	6	2	0	0
	Durum III	M2_3	41,79	0,31	8,27	56,96	33	4	40	21	0	0
	Durum IV	M2_4	27,00	0,45	8,00	36,80	73	8	0	0	0	0
	Durum V	M2_5	38,84	0,36	8,21	52,93	43	3	28	12	2	1
	Durum VI	M2_6	38,84	0,40	8,16	52,93	49	3	16	8	8	3
	En Düşük Değer		27,00	0,31	8,00	36,80						
	Fark %		%30	%21	%2	%30						
03.10.2018	Mevcut D.	M1	35,74	0,40	8,13	48,70	50	2	14	3	4	4
	Durum I	M2_1	32,56	0,40	8,10	44,37	54	3	14	4	0	0
	Durum II	M2_2	27,79	0,44	8,01	37,88	66	5	2	0	0	0
	Durum III	M2_3	33,75	0,39	8,13	46,00	51	4	17	4	0	0
	Durum IV	M2_4	27,00	0,45	8,00	36,80	68	4	0	0	0	0
	Durum V	M2_5	35,74	0,39	8,14	48,70	49	3	16	4	3	3
	Durum VI	M2_6	34,15	0,43	8,09	46,54	56	3	6	2	6	5
	En Düşük Değer		27,00	0,39	8,00	36,80						
	Fark %		%24	%3	%2	%24						
10.10.2018	Mevcut D.	M1	36,62	0,38	8,16	49,91	59	11	25	3	3	0
	Durum I	M2_1	31,66	0,41	8,09	43,14	72	2	15	4	0	0
	Durum II	M2_2	28,86	0,43	8,03	39,34	81	4	6	1	0	0
	Durum III	M2_3	35,38	0,37	8,16	48,22	60	3	27	5	0	0
	Durum IV	M2_4	27,00	0,45	8,00	36,80	87	4	0	0	0	0
	Durum V	M2_5	40,66	0,38	8,20	55,41	52	1	26	4	9	0
	Durum VI	M2_6	36,93	0,39	8,16	50,33	60	2	22	3	5	0
	En Düşük Değer		27,00	0,37	8,00	36,80						
	Fark %		%26	%3	%2	%26						
17.10.2018	Mevcut D.	M1	35,53	0,40	8,13	48,42	56	2	16	3	4	0
	Durum I	M2_1	34,46	0,38	8,14	46,97	55	2	21	5	0	0
	Durum II	M2_2	33,75	0,39	8,13	46,00	57	3	19	4	0	0
	Durum III	M2_3	39,08	0,34	8,22	53,26	42	1	34	8	0	0
	Durum IV	M2_4	36,95	0,42	8,13	50,36	57	3	10	1	9	0
	Durum V	M2_5	39,08	0,36	8,20	53,26	45	2	28	6	3	0
	Durum VI	M2_6	35,88	0,39	8,14	48,90	54	1	19	3	3	0
	En Düşük Değer		33,75	0,34	8,13	46,00						
	Fark %		%5	%15	%0	%5						
24.10.2018	Mevcut D.	M1	40,35	0,38	8,20	55,00	56	2	16	3	4	0
	Durum I	M2_1	38,57	0,37	8,19	52,57	55	2	21	5	0	0
	Durum II	M2_2	38,57	0,38	8,18	52,57	57	3	19	4	0	0
	Durum III	M2_3	38,27	0,36	8,20	52,16	42	1	34	8	0	0
	Durum IV	M2_4	39,76	0,39	8,19	54,19	57	3	10	1	9	0
	Durum V	M2_5	41,54	0,38	8,21	56,61	45	2	28	6	3	0
	Durum VI	M2_6	38,57	0,37	8,19	52,57	54	1	19	3	3	0
	En Düşük Değer		38,27	0,36	8,18	52,16						
	Fark %		%5	%5	%0	%5						

Tablo 4.6 Cumhuriyet Bulvarı güzergahına göre simülasyon sonuçları

Tarih	DURUM	MODEL	Ort. Sürüş Süresi (sn)	Ort. Yürüme Mesafesi (km / araç)	Ort. Ücret (TL / araç)	Ort. CO ₂ (g / araç.)	Turuncu Otopark		Yeşil Otopark		Mavi Otopark	
							Gel.	Ayr.	Gel.	Ayr.	Gel.	Ayr.
19.09.2018	Mevcut D.	M1	33,00	0,41	8,11	44,98	42	6	10	9	2	2
	Durum I	M2_1	29,00	0,35	8,22	39,52	30	5	22	20	2	2
	Durum II	M2_2	27,33	0,33	8,24	37,25	28	3	26	24	0	0
	Durum III	M2_3	26,33	0,32	8,27	35,89	25	2	29	28	0	0
	Durum IV	M2_4	34,67	0,43	8,04	47,25	50	8	4	3	0	0
	Durum V	M2_5	30,00	0,36	8,28	40,89	24	3	22	19	8	6
	Durum VI	M2_6	30,00	0,36	8,19	40,89	33	2	19	18	2	2
	En Düşük Değer			26,33	0,32	8,04	35,89					
Fark %			%20	%22	%1	%20						
26.09.2018	Mevcut D.	M1	33,16	0,41	8,11	45,20	57	5	13	6	3	1
	Durum I	M2_1	27,00	0,32	8,26	36,80	35	4	37	21	1	0
	Durum II	M2_2	23,92	0,28	8,34	32,60	24	3	49	25	0	0
	Durum III	M2_3	22,44	0,26	8,38	30,58	18	1	55	31	0	0
	Durum IV	M2_4	33,53	0,42	8,07	45,70	63	6	10	4	0	0
	Durum V	M2_5	27,74	0,33	8,30	37,81	29	2	37	17	7	3
	Durum VI	M2_6	31,07	0,38	8,16	42,34	50	5	21	9	2	1
	En Düşük Değer			22,44	0,26	8,07	30,58					
Fark %			%32	%37	%0	%32						
03.10.2018	Mevcut D.	M1	32,82	0,40	8,11	44,74	53	4	13	3	2	2
	Durum I	M2_1	31,37	0,38	8,16	42,75	46	3	19	6	3	3
	Durum II	M2_2	30,97	0,38	8,14	42,21	49	2	19	6	0	0
	Durum III	M2_3	31,37	0,38	8,16	42,75	46	2	19	6	3	3
	Durum IV	M2_4	34,15	0,42	8,05	46,54	61	2	7	2	0	0
	Durum V	M2_5	32,96	0,39	8,25	44,93	34	2	19	6	15	13
	Durum VI	M2_6	31,50	0,38	8,17	42,93	45	3	19	6	4	4
	En Düşük Değer			30,97	0,38	8,05	42,21					
Fark %			%6	%5	%1	%6						
10.10.2018	Mevcut D.	M1	35,48	0,44	8,09	48,36	71	3	7	1	9	1
	Durum I	M2_1	30,41	0,37	8,17	41,45	57	2	28	5	2	0
	Durum II	M2_2	29,79	0,36	8,17	40,61	57	2	30	7	0	0
	Durum III	M2_3	30,41	0,37	8,19	41,45	54	1	29	6	4	0
	Durum IV	M2_4	33,52	0,42	8,07	45,68	75	3	12	2	0	0
	Durum V	M2_5	31,03	0,37	8,22	42,30	48	2	29	6	10	1
	Durum VI	M2_6	30,00	0,36	8,18	40,89	55	0	30	7	2	0
	En Düşük Değer			29,79	0,36	8,07	40,61					
Fark %			%16	%18	%0	%16						
17.10.2018	Mevcut D.	M1	31,97	0,39	8,13	43,58	56	1	18	5	2	0
	Durum I	M2_1	27,95	0,34	8,22	38,09	42	2	34	8	0	0
	Durum II	M2_2	26,75	0,32	8,26	36,48	37	1	39	11	0	0
	Durum III	M2_3	27,83	0,33	8,30	37,93	31	1	38	1	7	0
	Durum IV	M2_4	32,33	0,40	8,13	44,06	56	1	17	5	3	0
	Durum V	M2_5	28,66	0,34	8,30	39,06	30	0	36	9	10	0
	Durum VI	M2_6	27,24	0,33	8,26	37,12	36	1	38	11	2	0
	En Düşük Değer			26,75	0,32	8,13	36,48					
Fark %			%16	%18	%0	%16						
24.10.2018	Mevcut D.	M1	31,55	0,38	8,20	43,00	56	1	18	5	2	0
	Durum I	M2_1	30,36	0,37	8,20	41,38	42	2	34	8	0	0
	Durum II	M2_2	29,27	0,35	8,20	39,90	37	1	39	11	0	0
	Durum III	M2_3	29,47	0,36	8,21	40,17	31	1	38	1	7	0
	Durum IV	M2_4	30,66	0,37	8,18	41,79	56	1	17	5	3	0
	Durum V	M2_5	30,86	0,37	8,27	42,06	30	0	36	9	10	0
	Durum VI	M2_6	29,77	0,36	8,20	40,57	36	1	38	11	2	0
	En Düşük Değer			29,27	0,35	8,18	39,90					
Fark %			%7	%8	%0	%7						

Her bir gözlem verisi için mevcut durumu temsil eden M1 simülasyonu ve 6 adet farklı durumu temsil eden M2 simülasyonları ile birlikte toplam 7 simülasyon yapılmıştır. M2 simülasyonuna ait 6 durum arasından elde edilen en düşük simülasyon sonuçları seçilerek En Düşük Değer Satırına yazılmıştır. En düşük simülasyon sonuçları ile mevcut durum simülasyonu sonuçları kıyaslanmış ve aralarındaki fark bir alt satırda verilmiştir. Fark değeri, M2 simülasyon sonucunun M1 simülasyon sonucuna kıyasla azalma miktarını göstermektedir.

Ortalama sürüş süresi ve karbondioksit salımı açısından Tablo 4.5 incelendiğinde, M2 değerleri içerisindeki en düşük sürüş süresi değeri, otopark ücretini ağırlıklı olarak dikkate alan Durum IV simülasyonun sonucunda görülmüştür. Bunun başlıca sebebi en yakın otoparkın aynı zamanda en düşük ücrete sahip olmasıdır. Bununla beraber ikinci en düşük sürüş süresi, sürüş mesafesini ağırlıklı olarak dikkate alan Durum II simülasyonunda elde edilmiştir. Ortalama yürüme mesafesi açısından bakıldığında, M2 simülasyonları arasında yürüme mesafesini ağırlıklı dikkate alan Durum III sonuçlarının en düşük değeri verdiği görülmektedir. Ortalama ücret açısından bakıldığında, Durum IV olarak tanımlanan otopark ücretini ağırlıklı alan simülasyon sonuçları M2 değerleri arasındaki en düşük değeri vermektedir.

Tablo 4.6 incelendiğinde, M2 değerleri içerisindeki en düşük sürüş süresi ve karbondioksit salımı değerleri sırasıyla sürüş mesafesi ve yürüme mesafesini ağırlıklı dikkate alan Durum II ve Durum III simülasyon sonuçlarından elde edilmiştir. Yürüme mesafesinin sürüş süresi üzerine etkisi, en az yürüme mesafesine sahip otoparkın aynı zamanda sürüş mesafesi açısından da en yakın otopark olması nedeniyle oluşmaktadır. Aynı sebeple yürüme mesafesi incelendiğinde de Durum II ve Durum III simülasyon sonuçlarından elde edilen değerlerin en düşük olduğu görülmektedir. Ortalama ücret incelemesinde otopark ücretini ağırlıklı alan Durum IV simülasyon sonuçları M2 değerleri arasında en düşük değeri vermektedir.

Farklı günlerde yapılan gözlemlere göre oluşturulan simülasyon gruplarında, mevcut duruma kıyasla, özellikle sürüş süresi, karbondioksit salımı ve yürüme mesafesi değerlendirme sonuçlarında dikkat çekici azalmalar meydana gelmiştir. Park ücretlerinin birbirlerine yakın değerler olması sebebi ile değerlendirme sonuçlarında çok büyük değişiklikler gözlenmemiştir.

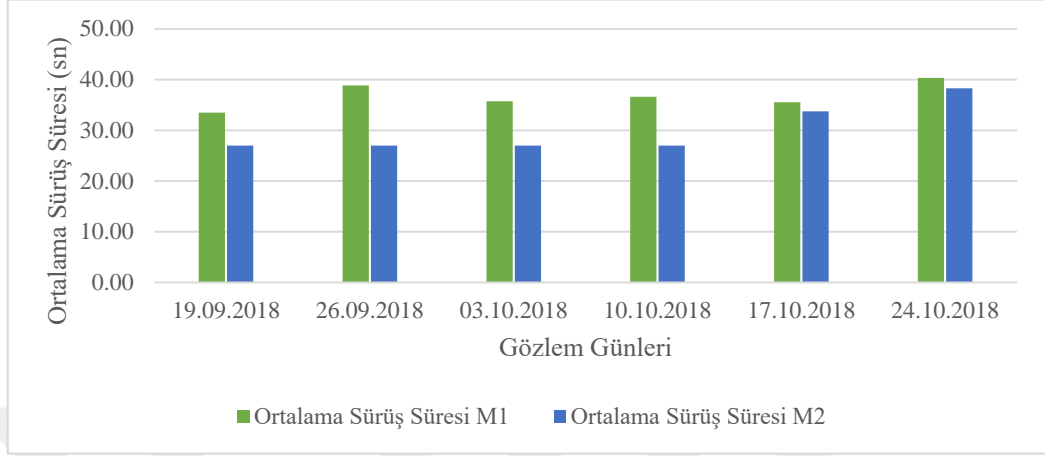
Tablo 4.7’de tüm gözlem günleri için yapılan M1 simülasyon sonuçlarının ortalaması ile M2 simülasyonda 6 durumdan elde edilen en düşük değerlerin ortalamaları karşılaştırılmıştır. M2 simülasyonundan elde edilen en düşük değerler Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da gri boyalı hücre içerisinde belirtilmiştir.

Tablo 4.7 Simülasyon sonuçlarının ortalama değerler ile karşılaştırılması

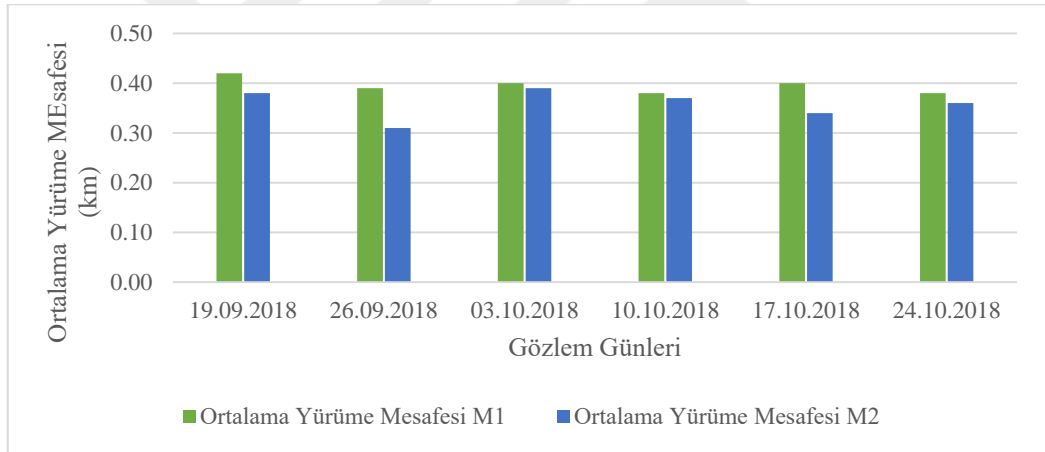
ORTALAMA SONUÇLAR / Liman Caddesi				
Ortalama Durum	Ort. Sürüş Süresi (Sn.)	Ort. Yürüme Mesafesi (Km / Araç)	Ortalama Park Ücreti (TL / Araç)	Ort. CO ₂ Salımı (Gram / Araç)
Ort. Mevcut Durum (M1)	36,76	0,40	8,15	50,11
Ort. En Düşük Değer (M2)	30,00	0,36	8,05	40,90
Fark %	%18	%9	%1	%18
ORTALAMA SONUÇLAR / Cumhuriyet Bulvarı				
Ortalama Durum	Ort. Sürüş Süresi (Sn.)	Ort. Yürüme Mesafesi (Km / Araç)	Ortalama Park Ücreti (TL / Araç)	Ort. CO ₂ Salımı (Gram / Araç)
Ort. Mevcut Durum (M1)	33,00	0,41	8,13	44,98
Ort. En Düşük Değer (M2)	27,59	0,33	8,09	37,61
Fark %	%16	%18	%0	%16

Tablo 4.7’de görüldüğü gibi M1 ve M2 kıyaslaması sonucunda Liman Caddesi yönünden gelişlerde karbondioksit salını ve sürüş sürelerinde ortalama %18 azalma görülmüştür. Değerlendirme sonucuna göre, ortalama yürüme mesafesinde %9 ve ortalama park ücretinde de %1 azalma tespit edilmiştir. Cumhuriyet Bulvarı üzerinden gelişlerde ortalama sürüş süresi ve ortalama karbondioksit salımı değerlerinde %16 azalma tespit edilirken ortalama yürüme mesafesi değerleri %18 azalmıştır. Ortalama park ücretinde ise belirgin bir azalış gözlemlenmemiştir.

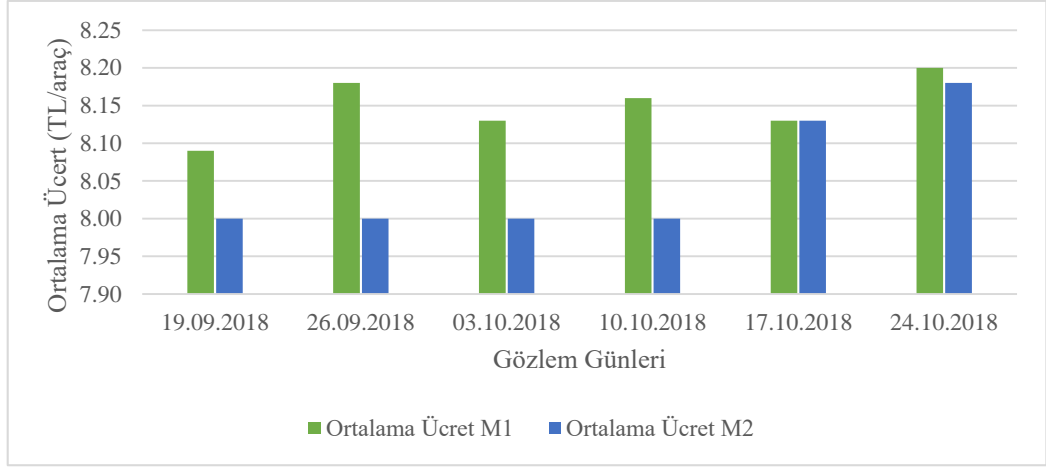
Model 1 sonuçları ile Model 2'nin en düşük sonuçlarının ortalama değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırması Şekil 4.9 - 4.16'da verilmiştir.



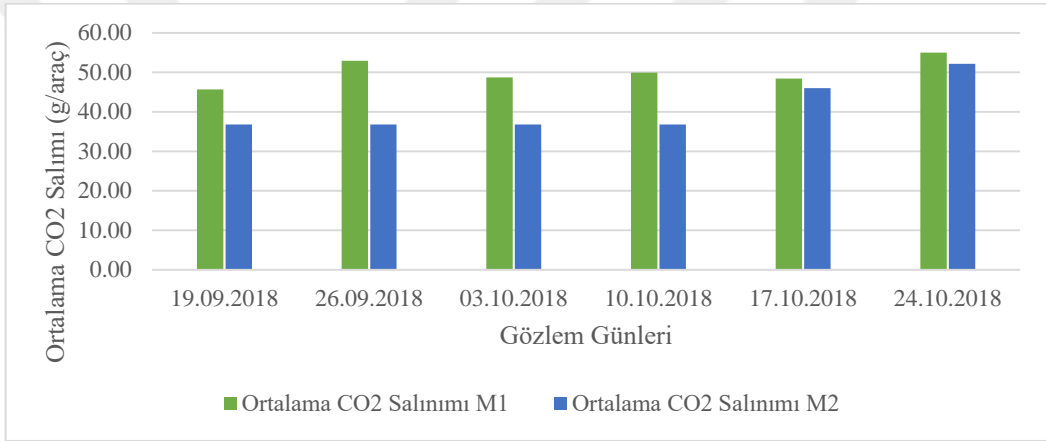
Şekil 4.9 Liman Caddesi yönünden gelen araçlara ait ortalama sürüş süresi



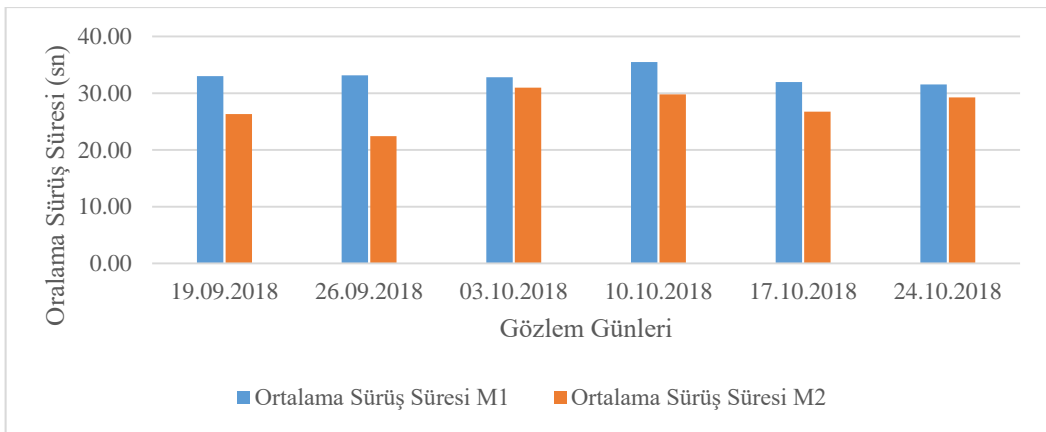
Şekil 4.10 Liman Caddesi yönünden gelen araçlara ait ortalama yürüme mesafesi



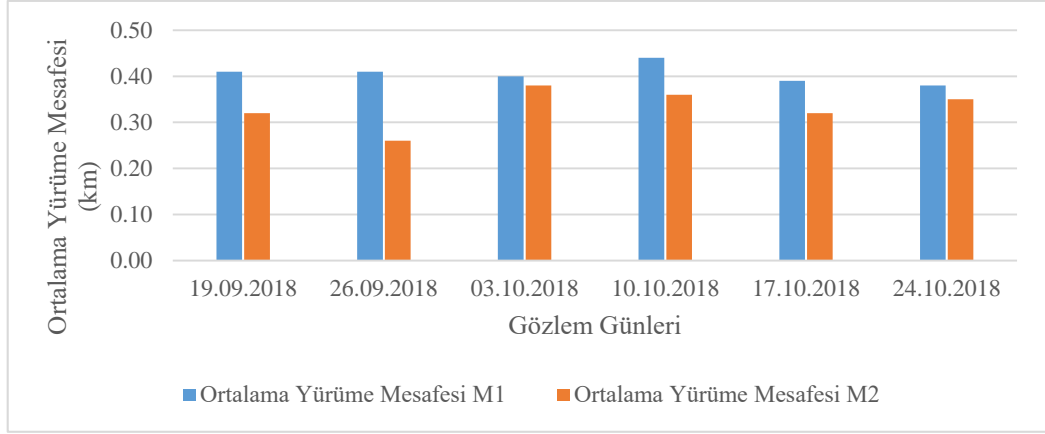
Şekil 4.11 Liman Caddesi yönünden gelen araçlara ait ortalama ücret



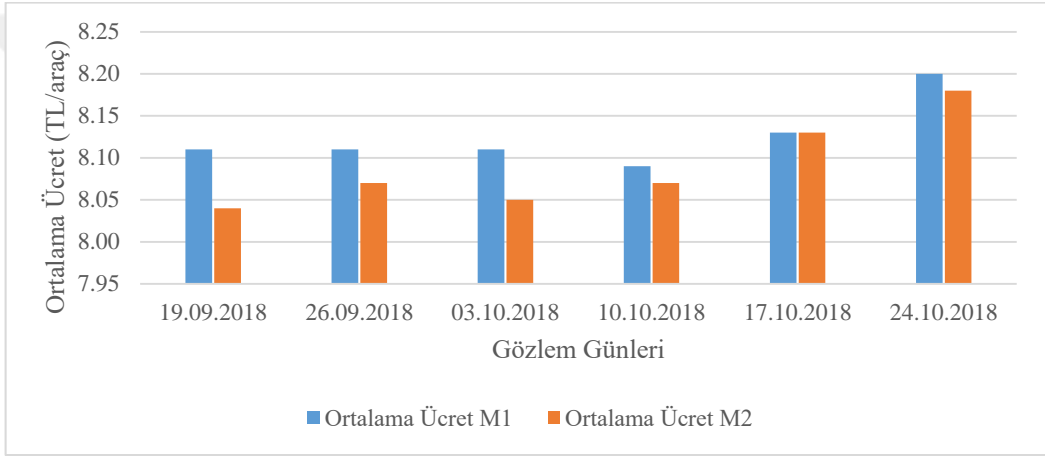
Şekil 4.12 Liman Caddesi yönünden gelen araçlara ait karbondioksit salımı



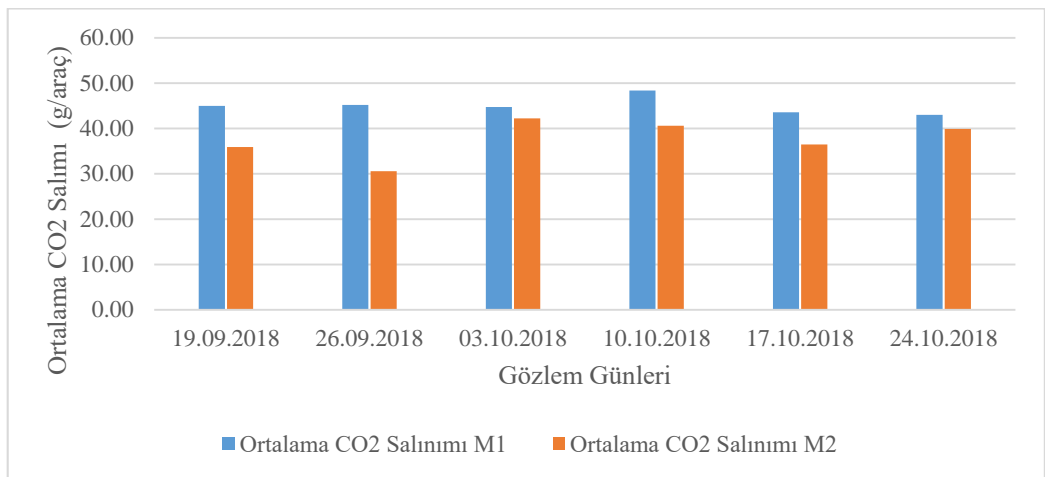
Şekil 4.13 Cumhuriyet Bulvarı yönünden gelen araçlara ait ortalama sürüş süresi



Şekil 4.14 Cumhuriyet Bulvarı yönünden gelen araçlara ait ortalama yürüme mesafesi



Şekil 4.15 Cumhuriyet Bulvarı yönünden gelen araçlara ait ortalama ücret



Şekil 4.16 Cumhuriyet Bulvarı yönünden gelen araçlara ait ortalama karbondioksit salımı

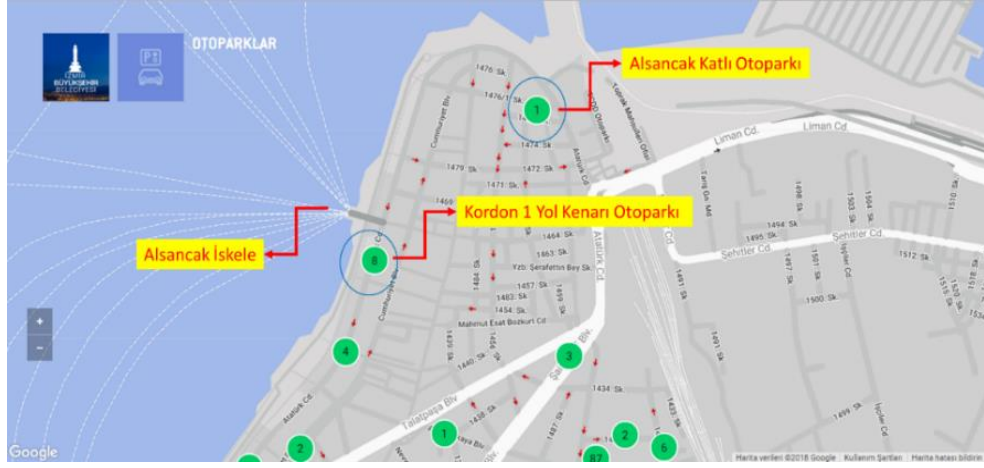
4.2.2 İZUM Bilgilendirme Sisteminin Otopark Doluluğuna Etkisinin İncelenmesi

Tezin bu bölümünde, ilk olarak İzmir'in ilçelerinden olan Konak ve Karşıyaka ilçelerinde seçilen 3 farklı otoparkta İZUM bilgilendirme sisteminin internet sitesi ve/veya telefon uygulaması kullanılarak gözlemler yapılmış ve gözlem yapılan saatlik dilimler boyunca otoparklara giren ve çıkan araç sayıları gözlemlenmiştir. İkinci aşamada, gözlem yapılan saat dilimi içinde her dakikada giren ve çıkan araç sayıları dikkate alınarak doluluk oranları hesaplanmıştır. Hesaplanan doluluk oranları, 2016 Ulaşım Ana Plan Revizyonu çalışmaları kapsamında otoparkların tespit edilen doluluk oranları ile karşılaştırılarak otopark talebindeki değişim ve sistemin olası etkileri incelenmiştir.

Örnek otoparklardan biri şehrin merkezi konumundaki Konak ilçesi Alsancak semtinde bulunan Alsancak Katlı Otoparklarıdır. Diğer otoparklar Karşıyaka ilçesinde bulunan Bahriye Üçok Yeraltı Otoparkı ve Karşıyaka İskele Otoparklarıdır. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de İZUM otopark ekranı üzerinde otoparkların yerleri gösterilmiş ve otoparklara ait bazı bilgiler Tablo 4.8'de verilmiştir. Örnek olarak seçilen otoparklara gelen ve otoparklardan ayrılan araç sayıları, hafta içi günlerde trafiğin ve park talebinin yoğun olduğu 8:00a.m. – 10:30a.m. saatleri arasında birer saatlik gözlemler ile toplanmıştır.

Tablo 4.8 Seçilen otoparkların özellikleri

No	Otopark	Tür	Kapasite
1	Alsancak Katlı Otoparkı	Kapalı	550
2	Bahriye Üçok Yer Altı Otopark	Kapalı	268
3	Karşıyaka İskele Açık Otoparkı	Açık	65



Şekil 4.17 İZUM otopark harita ekranı ve Alsancak bölgesinde gözlemi yapılan otopark



Şekil 4.18 İZUM otopark harita ekranı ve Karşıyaka bölgesinde gözlemi yapılan otoparklar

Seçilen otoparklara gelen ve otoparklardan ayrılan araç verilerini toplamak için İZUM bilgilendirme sistemi kullanılmıştır. Gözlem anında sistemde belirtilen boş park yeri sayısındaki azalma araç gelişi olarak dakika bazında kaydedilmiştir. Aynı şekilde boş park yeri sayısındaki artış da otoparktan araç ayrılışı olarak dakika bazında kaydedilmiştir. Gözlemlerden elde edilen veriler Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.8 Seçilen otoparkların gözlem verileri

Göz. No	Tarih	Saat	Alsancak Katlı Otoparkı	
			Geliş (araç)	Ayrılış (araç)
1	19.09.2018	09:20a.m. 10:20 a.m.	46	8
2	26.09.2018	08:10a.m. 09:10 a.m.	48	6
3	3.10.2018	08:30a.m. 09:30 a.m.	51	4
4	10.10.2018	08:28a.m. 09:28 a.m.	60	3
5	17.10.2018	08:20a.m. 09:20 a.m.	57	3
6	23.10.2018	08:30a.m. 09:30 a.m.	16	15
7	24.10.2018	08:23a.m. 09:23 a.m.	53	5
8	25.10.2018	08:20a.m. 09:20 a.m.	50	9
9	1.11.2018	08:20a.m. 09:20 a.m.	51	14
Göz. No	Tarih	Saat	Bahriye Üçok Yeraltı Otoparkı	
			Geliş	Ayrılış
1	7.11.2018	08:25a.m. 09:25 a.m.	76	4
Göz. No	Tarih	Saat	Karşıyaka İskele Otoparkı	
			Geliş	Ayrılış
1	7.11.2018	08:25a.m. 09:25 a.m.	36	3

Gözlemler sonucunda her gözlem günü ve saat aralığı için otoparklara ait doluluk oranları hesaplanmıştır. Her otoparkın araç kapasitesi ile saatlik park süresi çarpılarak saatlik toplam kapasitesi "araç.dakika" cinsinden hesaplanmıştır. Örneğin Bahriye Üçok Yeraltı Otoparkı için toplam araç kapasitesi 268'dir. 1 park yeri için 1 saat boyunca 60 dakika park kapasitesi ile toplam park yeri sayısı (268 araç) çarpılınca $60dk \times 268 \text{ araç} = 16.080 \text{ dakika-araç}$ park etmek kapasitesine ulaşılmaktadır. Gözlem sonucu elde edilen dakikalık araç doluluk miktarlarının 1 saatlik toplamı, gözlem dakika- araç kullanım miktarını vermektedir. Gözlem dakika-araç kullanım miktarı ile kapasite dakika-araç miktarının oranı otoparkın doluluk oranı olarak alınmıştır.

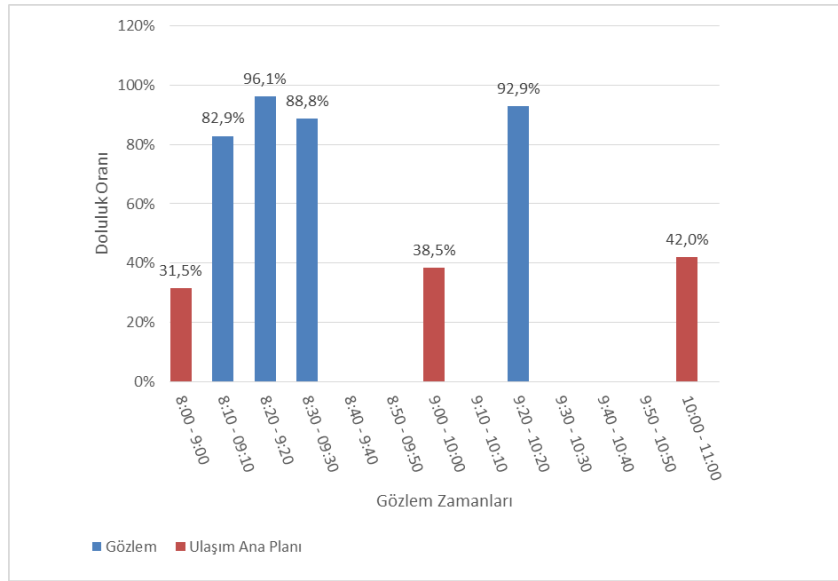
Elde edilen doluluk oranları 2016 yılında İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan Ulaşım Ana Planı Revizyon (UDHB Strateji Geliştirme

Başkanlığı, 2014) çalışmalarında aynı otoparklar için elde edilen doluluk oranları (Tablo 4.10) ile kıyaslanmıştır. Elde edilen değerler kıyaslamalı olarak Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir.

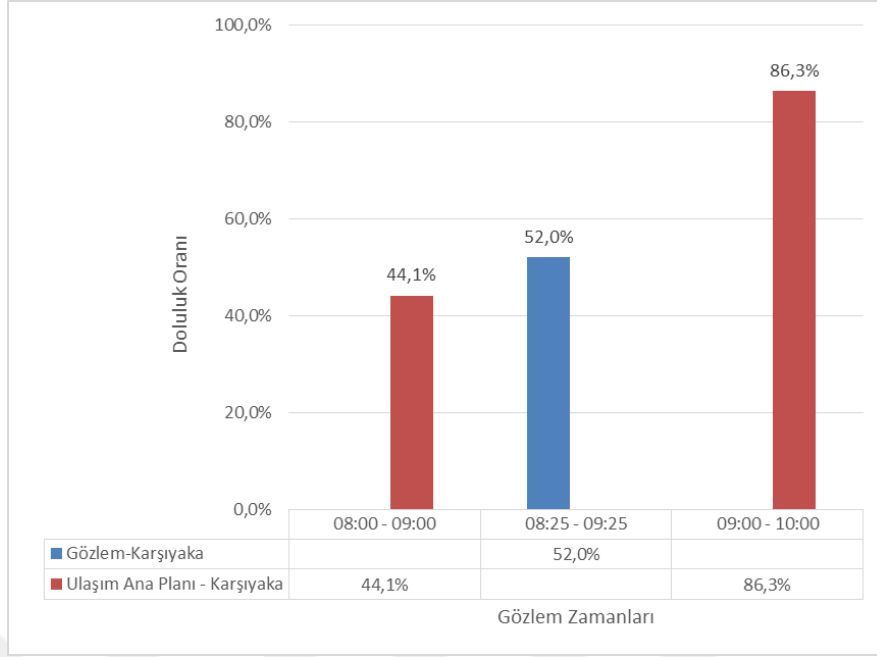
Tablo 4.9 İ.B.B. 2016 Yılı Ulaşım Ana Planı Revizyonu otopark doluluk verileri

Otopark	Çarşamba		
	08:00 - 09:00	09:00 - 10:00	10:00 - 11:00
Alsancak Katlı Otoparkı	%31,5	%38,5	%42,0
Karşıyaka İskele Otoparkı	%44,1	%86,3	%108,8
Bahriye Üçok Yeraltı Otoparkı	%31,3	%52,6	%72,4

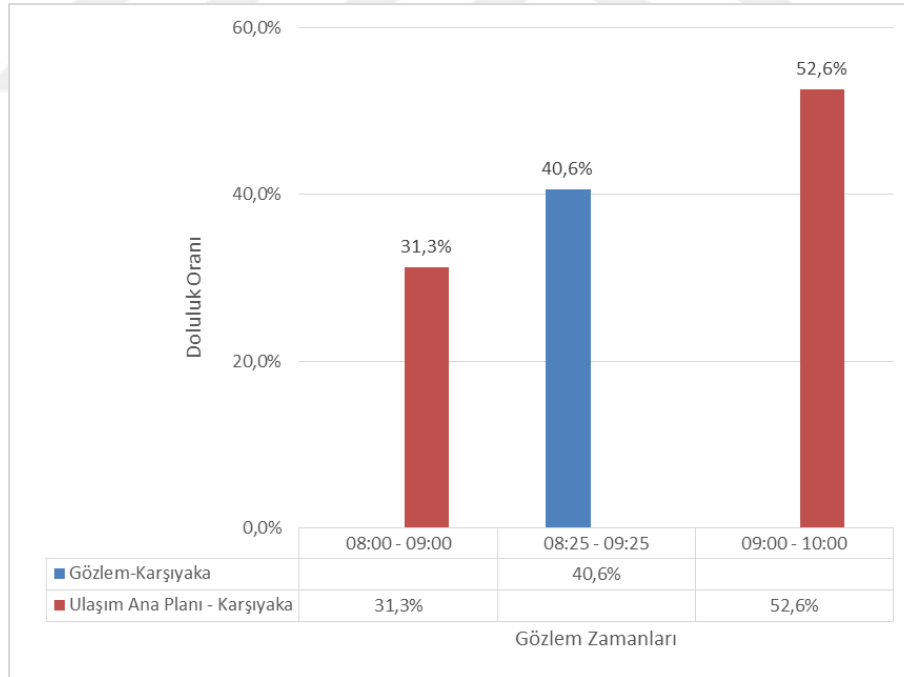
Alsancak Katlı Otoparkında elde edilen doluluk oranları değerleri 2016 yılı verileri ile karşılaştırıldığında (Şekil 4.19-4.21) doluluk oranının büyük oranda arttığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar bir açıdan şehir merkezine özel araç ile gelişlerin arttığını diğer açıdan da otoparkların daha etkin kullanıldığını şeklinde yorumlanabilir. İZUM sisteminin daha yaygın ve etkin kullanımının gerekliliği ve uygulama özelliklerinin artırılması sistemin kullanılma oranının da arttıracacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.19 Çarşamba günü için Alsancak Katlı Otoparkı gözlem ve ulaşım ana planı karşılaştırmalı tablosu



Şekil 4.20 Çarşamba günü için Karşıyaka İskele Otoparkı gözlem ve ulaşım ana planı karşılaştırmalı tablosu



Şekil 4.21 Çarşamba günü için Bahriye Üçok Yeraltı Otoparkı gözlem ve ulaşım ana planı karşılaştırmalı tablosu

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından artan otomobil kullanımı ile birlikte oluşan trafik ve otopark talebini karşılamak için hizmete sunulan tam adaptif trafik denetim sisteminin parçası olarak İZUM otopark bilgilendirme sistemi otoparkların doluluk bilgisini anlık olarak sağlayarak mevcut otoparkların azami kapasite ile kullanılmasını amaçlamaktadır. Sürücüler sistemi kullanarak yalnızca otoparkların doluluk durumuna göre tercih yapabilmektedirler. Ancak sürücülerin otopark tercihini etkileyebilecek ve otopark kullanımını daha verimli hale getirebilecek sürüş mesafesi, park sonrası hedef notaya yürüme mesafesi, park ücreti ve otopark talebinden dolayı oluşacak trafik gibi farklı etkenler mevcuttur.

Çalışmada mevcut İZUM otopark bilgilendirme sisteminin simülasyonu ile önerilen otopark tercih modelin simülasyon sonuçları kıyaslanmıştır. Otopark doluluk bilgisi hizmetini veren mevcut İZUM otopark bilgilendirme sistemi Model 1 (M1) olarak, otopark tercihini ve verimliliğini etkileyebilecek farklı etkenlerin de dahil edildiği yeni tercih modeli ise Model 2 (M2) olarak simülasyon programları ile değerlendirilmiştir. İki model için yapılan simülasyonlarından elde edilen sonuçlar ortalama sürüş süresi, ortalama karbondioksit salımı, ortalama yürüme mesafesi ve ortalama otopark ücreti bakımından kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Gözlem verileri kullanılarak M1'e göre simülasyon programında gözlenen durumun simülasyonu yapılmış, sonuçlar gözlem verileri ile kıyaslanarak uyuşmazlık oranı, etkinlik faktörü, kök ortalama kare hatası ve regresyon analizi ile simülasyon programının tahmin becerisi belirlenmiştir. Sonuçlara göre çalışma için yazılan çoklu-ajan tabanlı simülasyon programının sonuçlarının gözlem verileri ile uyduğu tespit edilmiştir.

- Simülasyon sonuçları incelendiğinde, mevcut İZUM Bilgilendirme Sistemini Simüle eden M1 simülasyon sonuçlarının ortalaması ile önerilen beş tercih kriterli modelin (M2) 6 farklı ağırlık katsayısına göre yapılan simülasyonlarından elde edilen en düşük değerlerin ortalaması kıyaslandığında ortalama sürüş sürelerinde, karbondioksit salımında ve yürüme mesafelerinde %18'e varan iyileşme tespit edilmiştir.
- Bazı gözlem günlerine ait simülasyon sonuçları tek başına incelendiğinde, önerilen beş tercih kriterli modelden (M2) elde edilen en düşük değerler ile mevcut durumdan (M1) elde edilen değerlerin kıyaslanması sonucu karbondioksit salımında ve sürüş süresinde %30'a varan iyileşmeler tespit edilmiştir.
- Seçilen bölgede otopark ücretlerinin birbirine yakın olması sebebi ile otopark ücretinde gözlenen iyileşme %1 olarak tespit edilmiştir.
- Elde edilen sonuçlara göre, İZUM otopark bilgilendirme sistemine ilave edilecek yeni bilgiler ile mevcut otoparkların daha etkin kullanılmasını sağlamak mümkündür. İlave edilecek sürüş mesafesi, park sonrası hedef noktaya yürüme mesafesi, park ücreti, yönlendirme sisteminden kaynaklı oluşacak trafik ve doluluk durumunu gibi bilgiler ile sistem sürücüyü en uygun otoparka yönlendirebilecektir. Bu özellikler sayesinde otoparkların daha etkin kullanımı sağlanabilecek, karbondioksit salımı ve yakıt tüketimi de azaltılmış olacaktır.
- Gözlem verileri ile yapılan doluluk analizi sonucuna göre Konak ilçesinde incelenen otoparklar için doluluk oranlarının arttığı belirlenmiştir.
- Karşıyaka ilçesinde incelenen otoparklar için yapılan karşılaştırmada doluluk oranlarında 2016 yılına kıyasla önemli bir değişiklik olmadığını tespit edilmiştir.

Sonraki çalışmalarda tercih sürecini etkileyebilecek başka etkenler kullanılarak farklı fayda fonksiyonları yazılabilir. Etkenlerin ağırlık katsayıları çeşitli yöntemler

kullanılarak optimize edilebilir. Çeşitli anket çalışmaları ile sistemin etkinliğinin daha detaylı incelenmesi yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Akçelik, R., Smit, R. ve Besley, M. (2014). Recalibration of a vehicle power model for fuel and emission estimation and its effect on assessment of alternative intersection treatments. *TRB 4th International Conference on Roundabouts, Seattle, DC, USA*, 16-18.
- Al-Kharusi, H. ve Al-Bahadly, I. (2014). Intelligent parking management system based on image processing. *World Journal of Engineering and Technology*, 2(02), 55.
- Arnott, R., Rave, T. ve Schöb, R. (2005). *Alleviating urban traffic congestion* (1st Ed.). Massachusetts: MIT Press Books.
- An, S., Han, B. ve Wang, J. (2004, August). Study of the mode of real-time and dynamic parking guidance and information systems based on fuzzy clustering analysis. *Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2790-2794. IEEE.
- AsiaRFID. (2017). *How to: track vehicles with RFID*. 25 Haziran 2019, https://www.asiarfid.com/index.php?_route_=rfid-journal/how-to-track-vehicles-with-rfid.html.
- Axhausen, K. W., Polak, J. W. ve Boltze, M. (1993). Effectiveness of parking guidance and information systems: recent evidence from Nottingham and Frankfurt am Main. *ITE Journal*, 109–113.
- Banner. (2019). *Araç algılama için kablosuz manyetik alan ölçerlerin başlıca 3 avantajı*. 12 Haziran 2019, <https://www.bannerengineering.com/tr/tr/company/expert-insights/3-advantages-wireless-magnetometer-vehicle-detection.html>

- Barbaresso, J., Cordahi, G., Garcia, D., Hill, C., Jendzejec, A. ve Wright, K. (2014). USDOT's Intelligent Transportation Systems (ITS) ITS Strategic Plan 2015-2019. 14-145.
- Caicedo, F., Blazquez, C. ve Miranda, P. (2012). Prediction of parking space availability in real time. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 7281–7290.
- Caliskan, M., Graupner, D. ve Mauve, M. (2006). Decentralized discovery of free parking places. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad hoc Networks*, 30-39.
- Cervero, R. (1998). *The transit metropolis: a global inquiry*(9). Washington, D.C.: Island Press.
- Cheung, S. Y., Ergen, S. C. ve Varaiya, P. (2005). Traffic surveillance with wireless magnetic sensors. *Proceedings of the 12th ITS world congress*, 173181.
- Chinrungrueng, J., Sunantachaikul, U. ve Triamlumlerd, S. (2007). Smart parking: an application of optical wireless sensor network. *SAINT - 2007 International Symposium on Applications and the Internet - Workshops, SAINT-W*, 66.
- Crawford, D. (2002). Dublin parking goes mobile: new cashless payment technology is set to take off throughout europe. *ITS International*, 8(3), 62–63.
- Dalbert, T. (2001). Groningen goes cashless: a dutch city is deploying new technologies to manage central-area on-street parking more efficiently. *ITS International*, 7(5), 51–52.
- G.C, S., Shirabadagi, S. ve Hegadi, R. (2014). High density traffic management using image background subtraction algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 10–15.

- Giuffrè, T., Siniscalchi, S. M. ve Tesoriere, G. (2012). A novel architecture of parking management for smart cities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, 16–28.
- Glohr, E. (2002). Lansing community college parking smart card trailblazer. *Parking Professional*, 36–40.
- Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S. ve Contreras-Castillo, J. (2018). Sensor technologies for intelligent transportation systems. *Sensors*, 18(4), 1212.
- Hensher, D. A. ve King, J. (2001). Parking demand and responsiveness to supply, pricing and location in the Sydney central business district. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(3), 177–196.
- Hodel, T. B. ve Cong, S. (2003). Parking space optimization services , a uniformed web application architecture. *Intelligent Transport Systems and Services, ITS World Congress Proceedings*, 16–20, Madrid, Spain.
- Idris, M. Y. I., Leng, Y. Y., Tamil, E. M., Noor, N. M. ve Razak, Z. (2009). Car park system: a review of smart parking system and its technology. *Information Technology Journal*, 8(2), 101–113.
- İspark. (2019a). *Park et devam et*. 11 Haziran 2019, <http://ispark.istanbul/projeler/park-et-devam-et/>
- İspark. (2019b). *Otopark ödeme*. 07 Haziran 2019, <http://ispark.istanbul/wp-content/uploads/2017/11/odeme-otoprr-.jpg>.
- İzmir Büyük Şehir Belediyesi. (2019). *Tam otomatik, tam kapasite*. 11 Haziran 2019, <https://www.izmir.bel.tr/tr/Haberler/tam-otomatik-tam-kapasite/16074/156>

İzmir Büyükşehir Belediyesi. (2018). *Trafikte akıllı ulaşım dönemi ve İZUM*. 13 Haziran 2019, <https://www.izmir.bel.tr/tr/Projeler/trafikte-akilli-ulasim-donemi-ve-IZUM/1280/4>

İZUM (2017). *İZUM (İzmir Ulaşım Merkezi)*. Tarihinde 21 Temmuz 2019, adresinden erişildi <https://izum.izmir.bel.tr/>

Ji, Y., Wang, W., Deng, W. ve Saphores, J.-D. (2008). A model of parking choice and behavior. *First International Symposium on Transportation and Development Innovative Best Practices 2008* (C. 10, s. e22).

Kastrinaki, V., Zervakis, M. ve Kalaitzakis, K. (2003). A survey of video processing techniques for traffic applications. *Image and Vision Computing*, 21(4), 359–381.

Kawakami, S., Takayama, H. ve Liu, Z. (2017). A study on parking place choice and parking demand forecast by traffic assignment models. *IFAC Proceedings Volumes*, 27(12), 943–948.

Kentyasam. (2014). *Alsancak'ta tam otomatik katlı otopark hizmete girdi*. 12 Haziran 2019, <http://www.kentyasam.com/alsancakta-tam-otomatik-katli-otopark-hizmete-girdi-hbrdty-30517.html>

Kianpisheh, A., Mustaffa, N., Limtrairut, P. ve Keikhosrokiani, P. (2012). Smart parking system (SPS) architecture using ultrasonic detector. *International Journal of Software Engineering and its Applications*, 6(3), 51–58.

Kurogo, H., Takada, K. ve Akiyama, H. (1995, August). Concept of a parking guidance system and its effects in the Shinjuku area-configuration, performance, and future improvement of system. *Pacific Rim TransTech Conference. 1995 Vehicle Navigation and Information Systems Conference Proceedings. 6th International VNIS. A Ride into the Future*, 67-74. IEEE.

- Lam, W. H. K., Li, Z. C., Huang, H. J. ve Wong, S. C. (2006). Modeling time-dependent travel choice problems in road networks with multiple user classes and multiple parking facilities. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(5), 368–395.
- Ledeca. (2019). *Kayseri Vms-vts dış mekan led ekran projesi | Ledeca*. 11 Haziran 2019, <https://www.ledeca.com/tr/kayseri-vms-vts-dis-mekan-led-ekran-projesi-r429>
- Lenz, J. ve Edelstein, A. S. (2006). Magnetic sensors and their applications. *IEEE Sensors Journal*, 6(3), 631–649.
- Mathew, T. V. (2014). Transportation systems engineering. *Cell Transmission Models, IIT Bombay*.
- Mimbela, L. E. Y. ve Klein, L. A. (2000). *Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems*. <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/tvtw/vdstits.pdf>
- Mouskos, K. C., Boile, M. ve Parker, N. (2007). *Technical solutions to overcrowded park and ride facilities* (No. FHWA-NJ-2007-011). New Jersey. Dept. of Transportation.
- Nowacki, G. (2012). Development and standardization of intelligent transport systems. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 6(3), 404–411.
- Orski, K. (2003). Best space scenario. *Traffic Technology International*, 54–56. http://www.ukipme.com/mag_traffic.htm

- Özuysal, M., Çalışkanelli, S. P., Tanyel, S. ve Baran, T. (2009). Capacity prediction for traffic circles: applicability of ANN. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 162(4), 195–206.
- Özuysal, Mustafa, Tanyel, S. ve Oral, M. Y. (2012). Fayda esaslı erişilebilirliğin ulaşım türü seçimi. *İMO Teknik Dergi*, 5987–6016.
- Parkkolay. (2019). *Parkkolay - Park yerini cepte bil!* 11 Haziran 2019, <https://www.parkkolay.com/>
- Polak, J. W., Hilton, L. C., Axhausen, K. W. ve Young, W. (1990). Parking guidance system: current practice and future prospects. *Traffic Engineering and Control*, 519–524.
- Sakai, A., Sugimoto, T., Mizuno, K. ve Okuda, T. (1995). Parking guidance and information systems Akihito. *6th International VNIS. A Ride into the Future*. Seattle, WA, USA: IEEE.
- Shaheen, S. A., Rodier, C. J. ve Eaken, A. M. (2005). Smart parking management field test: a bay area rapid transit (BART) district parking demonstration. *Institute of Transportation Studies, Issues in*(June), 57–66.
- Shin, J. ve Jun, H. (2014). A study on smart parking guidance algorithm. *Transportation Research Part C*, 44, 299–317.
- Shobhit Shanker ve Mahmud, S. M. (2005). An intelligent architecture for metropolitan area parking control and toll collection. *IEEE Proceedings. Intelligent Vehicles Symposium, 2005*. 723–728.
- Shoup, D. C. (2006). Cruising for parking. *Transport Policy*, 13(6), 479–486.
- Smith, J. L. (2003). Automated valet parking. *Elevator World*, 79–81.

- Thompson, R. G. ve Richardson, A. J. (1998). A parking search model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(3), 159–170.
- Thompson, R. G., Takada, K. ve Kobayakawa, S. (2001). Optimisation of parking guidance and information systems display configurations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 9(1), 69–85.
- Tufan, H. (2014). Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları ve Türkiye için bir AUS Mimarisi Önerisi. *Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, TC Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı*.
- UDHB Strateji Geliştirme Başkanlığı. (2014). *Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eki Eylem Planı (2014-2016)*. Ankara: Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı.
- Van Der Berghe, L. (1998). Guidance for Ghent: parking directions over the cable tv network. *Traffic Technology International '98* (ss. 59–62).
- Vo, T. T. A., Van Der Waerden, P. ve Wets, G. (2016). Micro-simulation of car drivers' movements at parking lots. *Procedia Engineering*, 142, 100–107.
- Wang Longfei, Chen Hong ve Li Yang. (2009). Integrating mobile agent with multi-agent system for intelligent parking negotiation and guidance. *2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 1704–1707.
- Wolff, J., Heuer, T., Haibin Gao, Weinmann, M., Voit, S. ve Hartmann, U. (2006). Parking monitor system based on magnetic field senso. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, 1275–1279. Toronto, Canada.

Yan, G., Weigle, M. C. ve Olariu, S. (2009). A novel parking service using wireless networks. İçinde *2009 IEEE/INFORMS International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics* , 406–411.

Yardim, M. S. (2005). Otomatik otoparklar ve Türkiye’deki otopark probleminin çözümü için uygulama potansiyeli. *6.Ulaştırma Kongresi*, 363–371. İstanbul: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi.

Zhang, X. ve Wan, D. (2010). Economic analysis of regional parking guidance system based on TIA. *2010 WASE International Conference on Information Engineering*, 401–404.

Zhao, C., Li, S., Wang, W., Li, X. ve Du, Y. (2018). Advanced parking space management strategy design: an agent-based simulation optimization approach. *Transportation Research Record*, 0361198118758671.