

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU SEÇİMİ VE EKSPRES ŞARJ
İSTASYONLARI İÇİN ADAPTİF KAYNAK ATAMA METODLARI
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre Anıl KAKILLIOĞLU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nilgün FESCİOĞLU-ÜNVER

AĞUSTOS 2018

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....
Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 151311019 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Emre Anıl KAKILLIOĞLU** 'nun ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU SEÇİMİ VE EKSPRES ŞARJ İSTASYONLARI İÇİN ADAPTİF KAYNAK ATAMA METODLARI GELİŞTİRİLMESİ**" başlıklı tezi **09.08.2018** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Nilgün FESCİOĞLU-ÜNVER**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nur Nevin ÖZDEMİREL (Başkan)**
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Nilgün FESCİOĞLU-ÜNVER
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Salih TEKİN
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Emre Anıl Kakillioğlu

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU SEÇİMİ VE EKSPRES ŞARJ İSTASYONLARI İÇİN ADAPTİF KAYNAK ATAMA METODLARI GELİŞTİRİLMESİ

Emre Anıl Kakillioğlu

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nilgün Fescioğlu-Ünver

Tarih: Ağustos 2018

Çevre kirliliği ile mücadelede ulaşım alanında alınabilecek en etkili önlem elektrikli araç kullanımının artırılmasıdır. Özellikle CO₂ gazı salınımının azaltılmasında elektrikli araçlar önemli bir faktördür. Kullanımının çevreye olumlu etkileri vardır ancak hızlı şarj istasyonlarında batarya dolma süresi 30 dakikayı bulmaktadır. Şarj süresinin uzunluğu istasyonlarda oluşan kuyruk uzunluğunu ve araçların beklemeleri gereken süreyi artırmaktadır. Araçların doğru istasyonlara yönlendirilmesi ile bu süre azaltılabilir. Ayrıca araçların bir bölümü için bu süre ekspres şarj istasyonlarının oluşturulması ile daha da düşürülebilir. Bu çalışmanın iki amacı bulunmaktadır. Birinci amacı istasyon seçim yöntemleri geliştirmek, ikinci amacı ise ekspres şarj noktası yönetim metodları geliştirmektir.

İstasyon seçim yöntemleri üzerine yapılan çok sayıda çalışma vardır. Araçların ve istasyonların kendileri hakkında sisteme gönderdikleri bilgi tipleri, toplanan bilgiyi değerlendirme yöntemleri ve seçim kararında uyguladıkları yöntem açısından geliştirilen yöntemler farklılık göstermektedir. Literatürde araçların bilgilerini merkezi sisteme gönderip yönlendirme bilgisini merkezi sistemden aldıkları

yöntemler sıkça çalışılmıştır. Bu yöntemler bilgi paylaşımı konusunda çekincesi olan kişiler tarafından kullanılmak istenmeyebilir. Ayrıca iletişim altyapısı yetersiz bölgelerde de kullanımda aksaklıklar çıkabilir. Bu durumlarda araçların kendi kararlarını alacakları yöntemler kullanılabilir. Araçların kendi kararlarını alıp merkezi sisteme bildirmedikleri modeller literatürde kısıtlı sayıda bulunmaktadır.

Ekspres şarj konusunda son derece kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Literatürde ekspres şarja ayrılmış şarj noktası sayısını dinamik olarak değiştiren bir çalışmaya ise rastlanmamıştır. Ekspres şarj istasyonları için öncelikle istasyonda şarj için bekleyen araçların ihtiyaçlarına göre dinamik olarak sıralandığı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde CPU çizelgeleme alanında kullanılan yanıt süresi oranı en yüksek olana göre sıralama (HRRN) modelinden faydalanılmıştır. Bu sayede kısa süreli şarj olmak isteyen araçların sistemde uzun süreler beklemelerinin önüne geçilecektir. Ayrıca bu yöntem çok istasyonlu rekabetçi ortamda da incelenmiştir. Ekspres şarj yöntemleri için geliştirilen diğer yöntem ise ekspres şarj noktalarının sayısını dinamik olarak değiştirmektir. Bu yöntem araçları iki sınıfa ayırmakta ve farklı sınıflardaki araçların bekleme sürelerinin birbirine oranını belirli bir seviyede tutacak şekilde otomatik sunucu ataması yapmaktadır. Böylelikle istasyonun kendi performansını izleyerek işleyişini kontrol etmesi yani kendi kendini kontrol eden bir yapıya ulaşması sağlanmaktadır. Geliştirilen yöntem farklı koşullar altında incelenmiştir. Ayrıca çoklu simülasyon ortamına aktarılarak rekabetçi ortamdaki performansı da gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde geliştiren yöntemin beklenen performansı gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, İstasyon Seçim, Ekspres Şarj.

ABSTRACT

Master of Science

ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION METHODS AND SELF ADAPTIVE RESOURCE ALLOCATION METHODS FOR EXPRESS CHARGE STATIONS

Emre Anil Kakillioglu

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Science Programme

Supervisor: Assoc. Prof. Nilgun Fescioglu-Unver

Date: August 2018

One of the most effective precautions to limit the environmental pollution is increasing electric vehicle usage in transportation area. In particular, electric vehicles are an important factor in reducing CO₂ emissions. There are beneficial effects of using electric vehicles, however the battery charging time is 30 minutes at the fast charging stations. The length of the charging duration, increases the number of vehicles waiting at a charging station and the time the vehicles have to wait at the stations. The waiting time can be reduced by directing the vehicles to the right directions. Moreover, for some of the vehicles, this time may be reduced by the means of express charging stations. This study has two goals. The first goal is developing station selection methods for vehicles, the second is developing express charge point management methods for stations.

There are many studies in literature on station selection methods. The charging station selection algorithms differentiate from each other according to the information types the stations and vehicles send and collect, how they use the information and the performance criteria they use for decision making. In the

literature, methods of sending the information of the vehicles to the central system and receiving the information from the central system have been frequently worked. These methods may not be used by those who are hesitant about sharing personal information. In addition, there may be disruptions in usage in areas where transportation communication infrastructure is insufficient. In these cases, the methods that enable vehicles make their decisions themselves can be used. There are a limited number of models in the literature in which vehicles take their own decisions and do not report to the central system.

There is a very limited number of studies on express charging. In the literature, to the best of our knowledge- there is no study that dynamically changes the number of charge points separated for the express charge. For express charging stations, firstly, a method of dynamically sorting vehicles waiting for charging in the station according to their needs has been developed. In this method, the sorting model is used according to the highest rate of response time (HRRN) used in the CPU scheduling field. Vehicles that want to charge for a short time on this method will be prevented from waiting for long periods in the system. This method has also been examined in a multi-station competitive environment. Another method developed for express charging methods is to dynamically change the number of express charge points. This method divides the vehicles into two classes and makes automatic server assignment to keep the ratio of the waiting times of vehicles in different classes at a certain level. In this way, the station monitors its own performance and controls its operation, that is, it has a self-controlling structure. The developed method was investigated under different conditions. In addition, performance in a competitive environment has been observed by being transferred to a multiple simulation environment. Results show that the methods developed are performing as expected.

Keywords: Electric vehicle, Station selection, Express charging.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Nilgün Fescioğlu-Ünver'e, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, tezimi okuyup değerlendiren hocalarım Prof. Dr. Nur Evin Özdemirel ve Dr. Öğr. Üyesi Salih Tekin'e, destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma ayrıca burs sağladığı için TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne çok teşekkür ederim. Bu çalışma 217M121 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Elektrikli Şarj Alanında Araçları İstasyonlara Yönlendirerek İstasyonlar Arası Talep Dağılımını Düzenleyen Çalışmalar	6
2.2 Elektrikli Şarj İstasyonlarında Öncelikli Şarj Alanında Yapılan Çalışmalar ...	10
2.3 Diğer Alanlarda Yapılan Sunucu Sayısını Dinamik Olarak Değiştiren Çalışmalar.....	11
3. İSTASYON SEÇİM ALGORİTMALARI	15
3.1 İstasyon Seçim Sisteminin İşleyişi	15
3.2 İstasyon Seçim Yöntemleri	16
3.3 Gelecek Olay Listeleme Metodu	20
3.4 Simülasyon Modeli	21
3.5 Analiz	26
3.5.1 Sonuçlar	26
3.5.2 Duyarlılık analizleri	31
3.5.2.1 Talep artışına ve grid büyüklüğüne göre duyarlılık	31
3.5.2.2 Hesaplama zaman aralıklarına duyarlılık.....	34
4. EKSPRES ŞARJ İSTASYONU YÖNETİMİ – DİNAMİK KUYRUK SIRALAMA METODU	37
4.1 Ekspres Şarj İstasyonu İşleyişi ve Yönetimi	37
4.2 Yöntem	38
4.3 Tekli İstasyon Simülasyon Modeli.....	41
4.4 Tekli İstasyon Modeli Analizi.....	43
4.4.1 Tekli istasyon için sonuçlar.....	43
4.4.1.1 Dinamik kuyruk sıralama yöntemi ve FIFO kuyruk yönetimi karşılaştırması	43
4.4.1.2 Dinamik kuyruk sıralama yöntemi ve standart ekspres sunucu karşılaştırması	48
4.4.1.3 Dinamik kuyruk sıralama yöntemi ve SPT kuyruk yöntemi karşılaştırması	51
4.4.2 Tekli istasyon duyarlılık analizleri.....	55
4.5 Dinamik Kuyruk Sıralama Metodu Çoklu İstasyon Simülasyon Modeli	56
4.6 Dinamik Kuyruk Sıralama Metodu Çoklu İstasyon Simülasyon Modeli Sonuçları.....	58
5. EKSPRES ŞARJ İSTASYONU YÖNETİMİ – AÇIK ÇEVİRİM KONTROLE DAYALI DİNAMİK SUNUCU ATAMA PROBLEMİ	63

5.1 Yöntem	64
5.2 Tekli İstasyon Simülasyon Modeli	68
5.3 Tekli İstasyon Analizi.....	72
5.3.1 Tekli istasyon performansı	72
5.3.2 Tekli istasyonda ekspres şarj modellerinin karşılaştırması	74
5.3.2.1 Tekli istasyonda açık çevrim – standart ekspres modelleri karşılaştırması.....	74
5.3.2.2 Tekli istasyonda açık çevrim – dinamik kuyruk modelleri karşılaştırması.....	76
5.3.2 Tekli istasyon için duyarlılık analizleri.....	81
5.4 Açık Çevrim Kontrole Dayalı Dinamik Sunucu Atama Yöntemi Çoklu İstasyon Analizi	86
6. TARTIŞMA VE GELECEK ÇALIŞMALAR.....	101
KAYNAKÇA	107
ÖZGEÇMİŞ.....	111



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : İstasyon Seçim Sistemi İşleyişi.	16
Şekil 3.2 : İstasyon Seçim Modeli Simülasyon Ortamı.	22
Şekil 3.3 : İstasyonların ve Araç Giriş-Çıkış Noktalarının Konumları.....	23
Şekil 3.4 : Araçların Hedef Noktalarına Dağılımı	24
Şekil 3.5 : Isınma Periyodu Belirlenmesi – Dakika Cinsinden Araçların Kuyrukta Ortalama Bekleme Zamanı.....	26
Şekil 3.6 : Doluluk Oranlarına Göre İstasyon Seçim Modellerinin Araçların Sistem İçinde Geçirdikleri Toplam Süre Üzerinden Karşılaştırması	30
Şekil 3.7 : Doluluk Oranlarına Göre İstasyon Seçim Modellerinin İstasyonlarda Beklemeyen Araç Sayıları Üzerinden Karşılaştırması	30
Şekil 3.8 : 15km ² Alanda Yöntemlerin Toplam Süre Üzerinden Karşılaştırması.....	32
Şekil 3.9 : 20km ² Alanda Yöntemlerin Toplam Süre Üzerinden Karşılaştırması.....	32
Şekil 3.9 : 25km ² Alanda Yöntemlerin Toplam Süre Üzerinden Karşılaştırması.....	32
Şekil 3.11 : 15km ² Alanda Yöntemlerin Bekleyen Araçların Bekleme Süresi Üzerinden Karşılaştırması	33
Şekil 3.12 : 20km ² Alanda Yöntemlerin Bekleyen Araçların Bekleme Süresi Üzerinden Karşılaştırması	33
Şekil 3.12 : 25km ² Alanda Yöntemlerin Bekleyen Araçların Bekleme Süresi Üzerinden Karşılaştırması	33
Şekil 4.1 : Ekspres Şarj İstasyonları İçin Yerleşim Tasarımı.....	38
Şekil 4.2 : Ekspres Şarj İstasyonları İçin Akış Şeması.	39
Şekil 4.3 : Dinamik Kuyruk Sıralama Metodu Arena Modeli.	42
Şekil 4.4 : Dinamik Kuyruk Metodu İçin Isınma Periyodu Belirlenmesi.....	42
Şekil 4.5 : Doluluk Oranlarına Göre Dinamik Kuyruk Yöntemini Kullanan Araçların Bekleme Süresi Sonuçları.....	48
Şekil 4.6 : Dinamik Kuyruk ve Standart Ekspres Modellerinde Araçların Sınıflara ve Doluluk Oranlarına Göre Bekleme Süreleri Sonuçları.....	51
Şekil 4.7 : Dinamik Kuyruk ve SPT Kuyruk Yönetiminde Araçların Sınıflara ve Doluluk Oranlarına Göre Bekleme Süreleri Sonuçları.....	54
Şekil 4.8 : Dinamik Kuyruk ve SPT Kuyruk Yönetiminde 25 Dakika Sınırlı Araçların Sınıflara ve Doluluk Oranlarına Göre Bekleme Süreleri Sonuçları.....	55
Şekil 4.8 : Çoklu Simülasyon Modeli İçin Isınma Periyodu Belirlenmesi – Dakika Cinsinden Araçların Kuyrukta Ortalama Bekleme Zamanı	58
Şekil 5.1 : Açık Çevrim Mekanizması	63
Şekil 5.2 : Açık Çevrim Kontrole Dayalı Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Metodu. 66	
Şekil 5.3 : Açık Çevrim Kontrole Dayalı Dinamik Sunucu Atama Yöntemi Akış Şeması.....	69
Şekil 5.4 : Açık Çevrim Kontrole Dayalı Ekspres Şarj İstasyonu Arena Modeli	70
Şekil 5.5 : Isınma Periyodu Belirlenmesi – Dakika Cinsinden Araçların Kuyrukta Ortalama Bekleme Zamanı	71

Şekil 5.6 : Farklı Referans Ve Araç Dağılımları İçin Hesaplanan Yüzdellik Sapma Oranları	82
Şekil 5.7 : Bekleme Süresi Sapma Miktarı - Dalgalı Sınıf Ayrımı	84
Şekil 5.8 : Bekleme Süresi Sapma Miktarı (Ref: 1,2 ve 1. Sınıf Araç Oranı 0,3) İçin Elde Edilen Bekleme Oranlarının Merkez Değer İle Karşılaştırılması	86
Şekil 5.9 : Bekleme Süresi Sapma Miktarı (Ref: 1,5 ve 1. Sınıf Araç Oranı 0,3)	86
Şekil 5.10 : Isınma Periyodu Belirlenmesi – Dakika Cinsinden Araçların Kuyrukta Ortalama Bekleme Zamanı	89
Şekil 5.11 : Başlangıç, Hedef ve İstasyon Konumları.....	94



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Simülasyon Parametreleri.....	11
Çizelge 3.2 : Seçim Modeli Performansları (Doluluk Oranı :0,89 – Alan :20km ²)..	27
Çizelge 3.3 : Seçim Modeli Performansları (Doluluk Oranı :0,74 – Alan :20km ²)..	27
Çizelge 3.4 : Seçim Modeli Performansları (Doluluk Oranı :0,68 – Alan :20km ²)..	27
Çizelge 3.5 : Seçim Modeli Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,89 – Alan :20km ²)..	28
Çizelge 3.6 : Seçim Modeli Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,89 – Alan :20km ²)..	28
Çizelge 3.7 : Seçim Modeli Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,74 – Alan :20km ²)..	28
Çizelge 3.8 : Seçim Modeli Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,74 – Alan :20km ²)..	29
Çizelge 3.9 : Seçim Modeli Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,68 – Alan :20km ²)..	29
Çizelge 3.10 : Seçim Modeli Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,68 – Alan :20km ²)	29
Çizelge 3.11 : Farklı Bilgi Yayınlanma Sıklıklarında Seçim Modeli Performansları	35
Çizelge 3.12 : Farklı Bilgi Yayınlanma Sıklıklarında Seçim Modeli Performansları	35
Çizelge 3.13 : Farklı X Değerleri İçin Seçim Modeli Performansları	35
Çizelge 3.14 : X'in 5 ve 7 Değerleri İçin Araçların Yolda Geçirdikleri Zamanlar ...	36
Çizelge 4.1 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Sonuçları	44
Çizelge 4.2 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Modelleri Bekleme Süresi Farkı – (Varışlar arası süre ortalama 3,5 dakika (üssel))	45
Çizelge 4.3 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 3,75 dakika (üssel))	46
Çizelge 4.4 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Modelleri Bekleme Süresi Farkı – (Varışlar arası süre ortalama 3,75 dakika (üssel))	46
Çizelge 4.5 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel))	46
Çizelge 4.6 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Modelleri Bekleme Süresi Farkı – (Varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel))	47
Çizelge 4.7 : Dinamik Kuyruk ve Standart Ekspres Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 3,5 dakika (üssel))	49
Çizelge 4.8 : Dinamik Kuyruk ve Standart Ekspres Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 3,75 dakika (üssel))	50
Çizelge 4.9 : Dinamik Kuyruk ve Standart Ekspres Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel))	50
Çizelge 4.10 : Dinamik Kuyruk ve SPT Karşılaştırması (Varışlar arası süre ortalama 3,5 dakika (üssel))	52
Çizelge 4.11 : Dinamik Kuyruk ve SPT Karşılaştırması (Varışlar arası süre ortalama 3,75 dakika (üssel))	52
Çizelge 4.12 : Dinamik Kuyruk ve SPT Karşılaştırması (Varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel))	53
Çizelge 4.13 : Dinamik Kuyruk ve SPT Karşılaştırması (Sınıf Ayrımı 25 dakika)...	54
Çizelge 4.14 : Dinamik Kuyruk Yöntemi Farklı Talep Dağılımlarının Karşılaştırması.....	56

Çizelge 4.15 : 15km ² Alanda Dinamik Kuyruk Yönetimi Çoklu İstasyon Modeli Sonuçları.....	58
Çizelge 4.16 : 20km ² Alanda Dinamik Kuyruk Yönetimi Çoklu İstasyon Modeli Sonuçları.....	59
Çizelge 4.17 : 25km ² Alanda Dinamik Kuyruk Yönetimi Çoklu İstasyon Modeli Sonuçları.....	59
Çizelge 4.18 : Dinamik ve FIFO Kuyruk Yönetimi İstasyon Karşılaştırması	60
Çizelge 4.19 : Dinamik ve FIFO Kuyruk Yönetimi İle Çalışan İstasyonlarda Bekleme Süresi ve Araç Sayısı Farkı	61
Çizelge 4.20 : Rasgele Dağıtılmış İstasyonlarda Dinamik ve FIFO Kuyruk Yönetimi İle Çalışan İstasyonlarda Bekleme Süresi ve Araç Sayısı Farkı.....	62
Çizelge 5.1 : Açık Çevrim ve Standart Kuyruk Sistemi (FIFO) Karşılaştırması.....	71
Çizelge 5.2 : Referans Değer 1,5 ve 1. Sınıf Araç Oranı 0,3 İçin Açık Çevrim Sonuçları.....	72
Çizelge 5.3 : Sınıf Ayrımı Rastgele - FIFO Kuyruk Modeli ve Açık Çevrim Modeli Karşılaştırması	73
Çizelge 5.4 : Sınıf Ayrımının İşlem Süresine Bağlı Olduğu Durumda FIFO Kuyruk Modeli ve Açık Çevrim Modeli Karşılaştırması	74
Çizelge 5.5 : Sınıf Ayrımının İşlem Süresine Bağlı Olduğu Durumda FIFO Kuyruk Modeli ve Açık Çevrim Modeli Karşılaştırması	74
Çizelge 5.6 : Servis Süresi TRIA(10,15,30)dk İçin Açık Çevrim ve Standart Ekspres Model Sonuçlarının Karşılaştırması	75
Çizelge 5.7 : Servis Süresi TRIA(10,20,30)dk İçin Açık Çevrim ve Standart Ekspres Model Sonuçlarının Karşılaştırması	76
Çizelge 5.8 : EXPO(3,5)dk Varışlar Arası Süre İçin Açık Çevrim Dinamik Kuyruk Karşılaştırması	77
Çizelge 5.9 : EXPO(3,5)dk Varışlar Arası Süre İçin Bağımlı Örneklem t Testi Sonuçları.....	77
Çizelge 5.10 : EXPO(3,75)dk Varışlar Arası Süre İçin Açık Çevrim ve Dinamik Kuyruk Karşılaştırması.....	78
Çizelge 5.11 : EXPO(3,75)dk Varışlar Arası Süre İçin Bağımlı Örneklem t Testi Sonuçları.....	78
Çizelge 5.12 : EXPO(4,00)dk Varışlar Arası Süre İçin Açık Çevrim ve Dinamik Kuyruk Karşılaştırması.....	79
Çizelge 5.13 : EXPO(4,00)dk Varışlar Arası Süre İçin Bağımlı Örneklem t Testi Sonuçları.....	79
Çizelge 5.14 : Sınıf Dağılımlarının Eşit Olduğu Açık Çevrim ve Dinamik Kuyruk Karşılaştırması	80
Çizelge 5.15 : Referans Değeri 1,5 İçin Elde Edilen Sonuçlar	81
Çizelge 5.16 : Referans Değeri 1,2 İçin Elde Edilen Sonuçlar	82
Çizelge 5.17 : Dalgalı Sınıf Ayrımı ve Farklı Referans Değerleri İle Elde Edilen Sonuçlar	83
Çizelge 5.18 : Saatlik Sınıf Oranı.....	83
Çizelge 5.19 : Türlerine Göre Aynı Bölgede Olan İstasyonların Aynı Noktada Konumlandırıldığı Sonuçlar	89
Çizelge 5.20 : Sınıf Ayrımlarına Göre İstasyonları Tercih Eden Araç Sayıları.....	90
Çizelge 5.21 : Türlerine Göre Aynı Bölgede Olan İstasyonların Aynı Noktada Konumlandırıldığı Durumda 1. Sınıf Araçlar İçin Farkın Güven Aralıkları.....	91
Çizelge 5.22 : Mesafe Matrisinin Olmadığı Durumda Elde Edilen Sonuçlar	91

Çizelge 5.23 : Mesafe Matrisinin Olmadığı Durumda Sınıf Ayrımına Göre Araçlara İletilen Değerlerden Çok ve Az Bekleme Miktarları.....	92
Çizelge 5.24 : Mesafe Matrisinin Olmadığı Durumda Sınıf Ayrımına Göre İstasyonları Tercih Eden Araç Sayıları.....	93
Çizelge 5.25 : Mesafe Matrisinin Olmadığı Durumda Sınıf Ayrımına Göre İstasyonları Tercih Eden Araç Sayıları İçin Farkın Güven Aralıkları.	93
Çizelge 5.26 : Rastgele Dağılmış FIFO ve Açık Çevrim İstasyonlarda Ortalama Bekleme Süreleri	94
Çizelge 5.27 : Rastgele Dağılmış(Ters) FIFO ve Açık Çevrim İstasyonlarda Ortalama Bekleme Süreleri	95
Çizelge 5.28 : Rastgele Dağılmış(Ters) FIFO ve Açık Çevrim İstasyonlarda Araç Sayıları.....	96
Çizelge 5.29 : Eşit Sınıf Dağılımında Rastgele Dağılmış FIFO ve Açık Çevrim İstasyonlarda Ortalama Bekleme Süreleri	96
Çizelge 5.30 : Eşit Sınıf Dağılımında Rastgele Dağılmış FIFO ve Açık Çevrim İstasyonlarda Araç Sayıları.....	97
Çizelge 5.31 : Yüksek Servis Süresi Dağılımı İle Türlerine Göre Aynı Bölgede Olan İstasyonların Aynı Noktada Konumlandırıldığı Sonuçlar	97
Çizelge 5.32 : Yüksek Servis Süresi Dağılımı İle Türlerine Göre Aynı Bölgede Olan İstasyonların Aynı Noktada Konumlandırıldığı Sınıf Ayrımına Göre İstasyonları Tercih Eden Araç Sayıları.....	98
Çizelge 5.33 : Yüksek Servis Süresi İçin Mesafe Matrisinin Olmadığı Durumda Sınıf Ayrımına Göre Araçlara İletilen Değerlerden Çok ve Az Bekleme Miktarları.....	99

1. GİRİŞ

İnsan nüfusunun artması, sanayileşme ile birlikte üretimin artması ve buna bağlı olarak insanların ihtiyaçlarının çoğalması günlük hayatımıza birçok fayda getirirken üretim esnasında ve özellikle içten yanmalı motorlu taşıtların kullanımı sırasında ortaya çıkan gazlar dünyayı tehdit etmektedir. Fosil yakıtların yakılarak atmosfere karışması güneşten gelen ışınları yeteri kadar yansıma yapmasını engelleyerek ısının atmosfer içinde kalmasına neden olmaktadır (Biocycle,2004). Atmosfer içinde biriken enerji dünyanın sıcaklığını artırarak iklim üzerinde olumsuz etkiler bırakmaktadır. Bu etkileri azaltmak ve engelleyebilmek için son yıllarda üretim alanından ulaşım alanına birçok önlem alınmaktadır. Ulaşım alanında alınan ilk önlem ise içten yanmalı motorlu araçların yerine elektrik motorlu araçların kullanımının yaygınlaştırılmasıdır. Türkiye'nin de içinde bulunduğu Elektrikli Araçlar Girişimi (Electric Vehicles Initiative - EVI) üyesi 30 ülke, 2030 yılı hedeflerinin satılan tüm araçlardan en az %30'unun elektrikli araçlar olmasını bildirmektedir. Bu şekilde bu ülkelerde 2015 yılında toplam 1 milyon olan elektrikli araç sayısının 2030 yılında 100 milyona ulaşması hedeflenmektedir (EVI (2015)).

İçten yanmalı motora sahip araçların yerini alacak elektrikli araç sayısındaki artış karbondioksit salınımını düşürürken bir takım problemleri de beraberinde getirmektedir. Elektrikli araçların tam dolumu için gerekli zaman evde şarj durumunda 30 saate kadar çıkmaktadır. Bu tarz dolular Seviye-1 olarak adlandırılmaktadır. Özel donanımları bulunan Seviye-2 şarj ise dolum süresini 8 saate kadar indirmektedir. Hızlı şarj olarak adlandırılan yöntem ise özel istasyonların kurulması ile birlikte bu süreyi 30 dakikaya kadar çekebilmektedir (EVSolutions (2016), USEnergy (2016)).

Seviye-1 ve Seviye-2 şarjlar araçlar evde veya iş yerlerinde uzun dönem park halinde olduklarında kullanılabilir. Bu imkânı olmayan araçlar veya yolda seyir halindeyken şarjı biten araçların halka açık yerlerdeki hızlı şarj istasyonlarını kullanmaları gerekmektedir. Araçlar gidecekleri dolum istasyonlarını rastgele seçebilecekleri gibi

kendisine en yakın istasyonu veya toplam gideceği yolu en küçükleyen istasyonu da seçebilir. Bu istasyonlarda araçların boş bataryadan tam dolu bataryaya ulaşmaları için gereken süre 30 dakikayı bulmakta ve bu da istasyonlarda şarj için bekleyen araç sayısının hızlı bir şekilde artmasına dolayısıyla da araçların bekleme sürelerinin fazla olmasına yol açabilmektedir. Bu yoğunluğun önüne geçebilmek için araçların şarj istasyonlarına ait bilgileri değerlendirip araçların toplam yolculuk süresini azaltmasında yardımcı olacak karar destek algoritmasına ihtiyaç vardır. Bir takım araçlar ise kendilerine sunulan bu hizmetten daha fazlasını talep edebilir. İstasyonlarda öncelikli olmak ve daha az beklemek isteyebilirler. Bu isteği karşılayabilmek için ekspres şarj imkânı sağlayan istasyonların sistemde olması gerekmektedir. Ekspres şarj ile, araçların bir bölümüne şarj önceliği tanınarak veya bir araç sınıfı için özel sunucu ayrılarak toplam şarj ihtiyacı düşük olan araçların ya da daha kısa süre beklemek için daha fazla ücret ödemeyi kabul eden (tek seferlik ücret artışı kabul ederek veya aylık-senelik VIP kart satın alarak) araçların bekleme süreleri azaltılabilir.

Bu çalışmanın iki amacı vardır. İlk amaç elektrikli araçların istasyon seçimlerine destek olarak araçların toplam yolculuk süresini azaltmaktır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde merkezi sistemle yönlendirme yapan çok sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Merkezi sistem ile araçlar konum, şarj ve hedef bilgilerini merkezi sistem ile paylaşmakta ve yönlendirme bilgisi alınmaktadır. Ayrıca merkezi sistem aracın gideceği istasyonu bilgilendirmektedir. Ancak bu tarz özel bilgilerin paylaşılması bazı araç sahipleri tarafından olumlu karşılanmayabilir. Bu durumda aracın dışarı bilgi yollamasını gerektirmeyen sistemler daha tercih edilir olmaktadır. Bu çalışmada araçların dışarı bilgi vermeden sadece istasyon bilgilerini alarak toplam yolculuk süresini kısaltmayı hedefleyen bir sistem geliştirilmiştir. Araçların sisteme bilgi vermeden ama sistemden istasyonlarla ilgili bilgi alarak, istasyon seçimini dağıtık olarak kendinin yaptığı sistemlerin, araçların bilgilerine ihtiyaç duyan merkezi sistemlere göre getireceği en önemli avantajlardan bazıları aşağıda sıralanmaktadır:

1. Düşük haberleşme yükü
2. Dış merkezli saldırılardan etkilenmemeleri (Schlote (2014))

3. Yanlış bilgi veren veya tavsiyeye uymadan hareket eden araç sahiplerinden etkilenmemeleri (Schlote (2014))

4. Araçların buldukları konum, gidecekleri yer, şarj durumu bilgisi gibi özel bilgilerini sistemle paylaşmak zorunda kalmamaları (Guo vd. (2014), Schlote (2014))

Çalışmanın ikinci amacı ise elektrikli şarj istasyonları için ekspres şarj noktası yönetim metodu geliştirmektir. Bu amaç için üzerinde çalışılmış iki yöntem vardır. Geliştirilen ilk yöntem “Dinamik Kuyruk Modeli” olarak adlandırılmakta olup araçları ihtiyaç duydukları servis süresi ve sisteme girdikleri andan itibaren geçirdikleri bekleme süresi bilgilerini kullanarak dinamik olarak sıralamaktadır. Bu sıralama için bilgisayar bilimleri alanında kullanılan HRRN (Highest Response Ratio Next) yöntemi kullanılmaktadır. Dinamik kuyruk sıralama modeli ile hem kısa süreli şarj olmak isteyen araçlara öncelik tanınmakta hem de uzun süre şarj olmak isteyen araçların çok uzun süre bekleme süresinin önüne geçilmektedir. Geliştirilen ikinci yöntem, ”Açık çevrim kontrol modeli” olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem ekspres şarj ve normal şarj olmak isteyen araçların sistem içinde geçirdikleri bekleme sürelerinin birbirine oranını, önceden ilan edilen bir oranda tutmayı amaçlamaktadır. Bu yöntem için istasyondaki sunucular ekspres ve normal sınıf olarak ayrılmışlardır ve sınıflara dahil edilen sunucu sayısı dinamik olarak değişmektedir. Literatürde istasyonlarda dinamik kuyruk sıralama konusunda kısıtlı sayıda çalışma bulunmakta, istasyondaki şarj noktalarının araç sınıflarına dinamik olarak atanması konusunda ise bir çalışma bulunmamaktadır.

Geliştirilen yöntemler Rockwell Automation tarafından üretilen Arena Simulation 14 paket programına aktarılmıştır. Bu programın Visual Basic dili ile entegre olması geliştirilen yöntemlerin Arena üzerinde uygulanabilirliğini sağlamıştır. Koşuturumlar Intel i5-3230M 2.6GHz işlemcili, 4 GB Hafızaya sahip 2 çekirdekli bilgisayarda yapılmıştır. İlgili tüm tahmin hesaplarında α (tip I hata) değeri 0,05 kabul edilmiştir.

Tez 2. bölümde literatür araştırması ile devam edecektir. Sonrasında 3. bölümde istasyon seçim algoritmaları incelenmiştir. Dinamik kuyruk sıralama yöntemi 4. bölümde anlatılmıştır. Açık çevrim kontrole dayalı dinamik sunucu atama yöntemi ile 5. bölümde geliştirilen yöntemler sonlanmıştır. Sonuçlar ve referans bölümleri ile tez çalışması sonlanmaktadır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Elektrikli araçlara olan talebin artması ve buna bağlı olarak üretiminin de artmasıyla gelecek yıllarda trafikte olan elektrikli araç sayısında artış beklenmektedir. Bu araçların da en uygun yerden elektrik alması sorunu da önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Elektrikli araçların akıllı enerji ağı içinde yönetimleri konusundaki çalışmalar, Ağdan Araca (Grid to Vehicle) ve Araçtan Ağa (Vehicle to Grid) olarak ikiye ayrılmaktadır (Rigas vd. (2015)). Araçtan Ağa (Vehicle to Grid) çalışmaları sisteme bağlı araçların ihtiyaç halinde bataryalarındaki elektriği şebekeye göndererek sistemin güç dengesini korumalarını amaçlamaktadır. Ağdan Araca (Grid to Vehicle) konulu çalışmalar ise şebekeden araca elektrik verilmesini yani aracın şarj edilmesini yönetir. Şebekeden araca elektrik verilmesi konusundaki çalışmalar da amacına göre ikiye ayrılmaktadır: Ağın güç dengesinin korunması ve şarj istasyonlarındaki sıkışıklığın azaltılması.

Ağın güç dengesini korumayı amaçlayan çalışmalar genellikle istasyonlardaki şarj işlemlerinin amaca uygun şekilde çizelgelenmesi ve farklı istasyonlardan satılan elektriğin farklı fiyatlandırılması yöntemlerini kullanmaktadır. Bu çalışmalarda genellikle aracın uzun dönemli park halindeyken sisteme bağlanması ve bağlı bulunduğu sürenin hangi bölümünde şarj olacağını planlanması yapılmaktadır (Rigas (2013), Timpner ve Wolf (2014), Gan vd. (2013)). Guo vd. (2014) şarj istasyonlarının gücünü, ağın dengesini korumak için değiştirmeyi önermektedir. Bu değişiklik de şarj süresini ve dolayısıyla istasyonun kapasitesini değiştirmektedir.

İstasyonlardaki sıkışıklığı yöneten çalışmalar, müşteri memnuniyetini artırmayı amaçlamakta ve müşterinin sistemde geçirdiği toplam zamanı azaltmayı hedeflemektedirler. Bu çalışmalarda araçlar, merkezi bir sistem tarafından veya dağıtık olarak şarj istasyonlarına yönlendirilirler. Araçlar ve istasyonlar arası bilgi alışverişinin yapılabilmesi için araç-istasyon arasında kablosuz haberleşme servisleri ve Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) altyapısı kullanılmaktadır.

Konu ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar üç ana başlık altında incelenebilir; elektrikli araç şarj alanında araçları istasyonlara yönlendirerek istasyonlar arası talep dağılımını düzenleyen çalışmalar, elektrikli şarj istasyonlarında öncelikli şarj alanında yapılan çalışmalar ve diğer alanlarda yapılan sistemde bulunma süresini ya da bekleme süresini kısaltmayı amaçlayan çalışmalar.

2.1 Elektrikli Şarj Alanında Araçları İstasyonlara Yönlendirerek İstasyonlar Arası Talep Dağılımını Düzenleyen Çalışmalar

Literatürde araçların istasyon seçiminde kullanmaları için geliştirilmiş mekanizmalar aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Merkezi sistem tüm araçlardan ve istasyonlardan bilgi toplar. Sistemdeki tüm araçların toplam yolculuk süresini kısaltacak şekilde rota ve istasyon seçim tavsiyesini araçlara gönderir (De Weerd vd. (2013), Malandrino vd. (2015), Adler (2014)).
- Merkezi sistem tüm araçlardan ve istasyonlardan bilgi toplar. Araçlar bu bilgileri değerlendirerek kendilerinin yolculuk süresini en küçükleyecek rota ve istasyon seçimini dağıtık olarak yapar (Qin ve Zhang (2011), Gharbaoui vd. (2012), Cao vd. (2015)). Araçlar yerine merkezi sistem her araç için bu bilgiyi değerlendirerek (tüm araçların toplam yolculuk süresi yerine o an tavsiye isteyen aracın toplam yolculuk süresini hesaplayarak) karar verir ve tavsiyesini araca iletir (Yang vd. (2013), Park vd. (2014)).
- Merkezi sistem tüm istasyonlardan bilgi toplar, araçlardan bilgi toplamaz. Araçlar kendilerinin yolculuk süresini en küçükleyecek rota ve istasyon seçimini dağıtık olarak yaparlar (Schlote (2014), Guo vd. (2014)).
- İstasyonlar ve araçlardan bilgi toplanmaz. Araçlar kendilerinin yolculuk süresini en küçükleyecek rota ve istasyon seçimini dağıtık olarak yaparlar. Bu modeller genellikle en kısa yol seçimi, rastgele yol-istasyon seçimi gibi basit teknikler kullanırlar. Bu tür modeller içerisinde en gelişmiş De Weerd vd. (2013) tarafından sunulan araçların yol uzunlukları ve tarihsel kuyrukta bekleme süresi bilgisi (anlık olmayan, geçmiş zamanlara dayalı bilgi) kullanarak yaptıkları seçim modelidir.

Qin ve Zhang (2011) bir otoban sistemi üzerinde giriş-çıkış noktalarında konumlandırılmış hızlı şarj istasyonlarına araç yönlendirme problemini ele almaktadır. Her araç yolculuğun başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki en kısa yol üzerinde bulunan istasyonlardan birinde şarj olmaktadır. Araç konum, hız, şarj durumu, hedef ve rotası hakkında bilgiyi yanından geçtiği bir istasyona vermektedir. İstasyonlar bu bilgiyi birbirine aktararak aracın en az bekleyeceği istasyonu tespit eder, sistem o istasyonda rezervasyon yapar ve istasyonlar üzerinden araca iletir. Araç başka bir istasyonun yanından geçerken işlem tekrarlanır ve son durumda başka bir istasyon daha kısa bir bekleme süresi veriyorsa rezervasyon değiştirilir. Araç rezervasyon yaptığı istasyona ulaştığında şarj olur. İstasyonlar kendilerine rezervasyon talebi geldikçe o talep için bekleme süresini hesaplar ve bu bilgiyi diğer istasyonlara aktarır. Bir istasyon, bir araç kendisine gelirse beklemesi gereken süreyi hesaplarırken şunlara dikkat eder: şu anda şarj olmakta olan araç sayısı ve şarjın süresi, şarj için şu anda beklemekte olan araçlar ve şarj süreleri, bu istasyonda yapılmış olan rezervasyonlar ve bu rezervasyonların kararlılığı (iptal edilmeme ihtimali). Araçların şarj istasyonlarında tam doluluk durumuna kadar şarj edildikleri varsayılmaktadır. Önerilen algoritmanın performansı simülasyon yöntemiyle ölçülmektedir. Bu çalışmada rezervasyonlar aracın her istasyona yaklaşışında yenilenip değiştirilebilmektedir.

Yang vd. (2013) tek bir otoban üzerinde bir veya daha fazla sefer şarj olması gereken araçların istasyon seçimi için bir sistem geliştirmiştir. Sistemde istasyona gelen bir araç ihtiyacı olan şarj miktarını merkezi sisteme bildirir. Araç şarjı tamamlandığında bir sonra şarj olacağı istasyonun seçimi için merkezi sisteme mesaj gönderir. Sistem, isteğin geldiği anda istasyonlardaki bekleme sürelerini hesap ederek araca en az bekleme süresine sahip istasyonu bildirir. Önerilen diğer bir model ise, aracın şarjı tamamlandığı anda değil, yol üzerinde bir şarj istasyonuna yaklaştığı anda merkezi sistemle haberleşmesi ve seçimini yapması şeklinde çalışmaktadır. Önerilen modellerin performansı en yakın, en uzak ve rastgele istasyon seçimlerinin araç tarafından ek bilgi kullanmadan yapıldığı algoritmalarla simülasyon ortamında karşılaştırılmıştır. Çalışmada, tüm istasyonlardaki bekleme süreleri, araç bir istasyona yaklaştığında hesaplanmakta, aracın diğer istasyonlara ulaşacağı süre içinde olabilecek değişiklikler göz önünde bulundurulmamaktadır.

Cao vd. (2015)'nin önerdikleri yöntemde her istasyon kendisi hakkında konum, şarj hızı, kuyrukta bekleme süresi gibi bilgileri her 100 saniyede bir dinleyenlere iletir. Yol kenarlarında kurulu dinleme üniteleri de farklı istasyonların bilgisini toplayarak araçlara iletir. Araç, yolunun üzerindeki istasyonlar arasından şarj olmak istediği istasyonu seçer ve rezervasyon isteğini, beklenen varış zamanı ile şarj süresini istasyona iletir. İstasyonlar bekleme süresini anlık kuyruk durumuna bakarak hesaplar. Araçlar istasyon seçimini yaparken, hem istasyonların bildirdiği bekleme süresini hem de kendilerinden önce istasyona varacak araçların rezervasyonlarını en az bekleyecekleri istasyonu seçecek şekilde yaparlar.

Gharbaoui vd. (2012) Elektrikli araç yönlendirmede en yakın istasyon ve en az bekleme süresi olan istasyon seçimi modellerini, farklı haberleşme teknolojileri kullanılması durumlarında (gecikmeli ve gecikmesiz haberleşme), ortalama bekleme süresi açısından karşılaştırmaktadır. Araçlar sisteme konum ve şarj talebi bilgisi vermekte, istasyonlar ise tahmini bekleme süresi bildirmektedir. Çalışmada araçlardan gecikmeli ve gecikmesiz haberleşme yöntemleri kullananların oranlarındaki değişikliğin istasyon seçim modellerinin performansı üzerine etkileri incelenmektedir. Çalışmada istasyonda bekleme süresi tahmin edilirken, aracın bilgiyi istediği andaki bekleme süresi ve aracın şarj süresi kullanılmakta, aracın istasyona varmasına kadar geçecek zamanda istasyona gelecek diğer araçlar sebebiyle bekleme süresinde oluşabilecek değişiklikler hesaba katılmamaktadır.

De Weerdt vd. (2013) çalışmalarında istasyonlardaki bekleme zamanlarını hesaplamak için tarihsel veri (istasyonlara giden araç sayıları hakkında uzun dönemli veri) ile yoldaki araçların yolculuk hedeflerinden yararlanmıştı. Araçlar yolculuk başlangıcında buldukları yer, zaman, gidecekleri yer ve şarj durumu hakkında merkezi sisteme bilgi vermektedirler. Araçların verdiği bilgi kullanılarak her araç için o aracın hangi istasyona hangi zaman diliminde ulaşabileceğinin ihtimalleri (trafik ve benzeri kaynaklı belirsizlikler hesaba katılarak) dinamik programlama yöntemiyle hesaplanmaktadır. Yoldaki araçların niyeti, şu an istasyonda olan araçlar ve geçmişteki istasyon ziyaretleriyle ilgili tarihsel veri kullanılarak hesaplanan olasılıklar bir Monte Carlo simülasyonunda kullanılarak araçların istasyonlarda kuyrukta bekleme süreleri tahmin edilmektedir. Araçların en iyi rotası, bu tahminler

kullanılarak, toplam yolculuk zamanını (yol ve şarj istasyonlarında geçen toplam süre) en küçükleyecek şekilde belirlenmektedir.

Malandrino vd. (2015) araçları şarj istasyonlarına merkezi bir sistem aracılığıyla yönlendirmektedir. Sistem 60 saniye boyunca araçlardan mevcut konum ve hedef bilgisi ile şarj taleplerini toplayıp oyun teorisi metodu kullanarak Nash-dengesine uygun istasyon önerisini araçlara göndermektedir. Çözüm önerisi hesaplanırken araçların buldukları yerden hedefledikleri noktaya ulaşımına kadar geçen toplam süre ve şarj için ödeyecekleri ücret göz önünde bulundurulmaktadır. Park vd. (2014) elektrikli araç şarjı için rezervasyon temelli bir merkezi sistem önermektedir. Araçlar şarj olmak istedikleri zaman dilimini ve şarj miktarını içeren bilgiyi sisteme gönderir ve şarj istasyonlarından gelen bekleme ve şarj süresi bilgilerine göre istasyon seçimini yapmaktadır. Rezervasyon temelli çalışmalara bir başka örnek de Turner ve Moyer (2014)'in patent çalışmasıdır.

Schlote (2014) araçların merkezi sisteme bilgi vermeden bağımsız olarak istasyon seçimini yapabilecekleri bir model geliştirmiştir. Bu modelde kuyrukta bekleyen araç sayısı az olan - yeni araç kabul edebilecek istasyonların bir harita üzerinden yanıp sönen yeşil ışıkla sinyal vermeleri, şarj ihtiyacı olan araçların da belli bir sıklıkla yeşil ışıkları kontrol etmeleri önerilmektedir. Model, araçlardan bilgi toplamayarak iletişim yükünü düşürmeyi ve özel bilgilerin dolaşmasını engellemeyi amaçlamaktadır. Adler (2014) ise çalışmasında istasyonlarda pillerini şarj etmek yerine dolu pillerle değiştirecek araçların istasyonlara yönlendirilmesi için merkezi bir rezervasyon sistemi önermektedir.

Guo vd. (2014) çalışmalarında araçların merkezi sisteme bilgi göndermeden dağıtık olarak istasyon seçimini yapabilecekleri bir sistem geliştirmiştir. Önerilen yöntem ile istasyonlar merkezi sisteme kendileri hakkında bilgi yollamakta, merkezi sistem de bu bilgiyi yayınlamaktadır. Araç terminali toplam yolculuk süresini en küçükleyecek rotayı hesaplayarak sürücüye önermektedir. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak şarj istasyonlarının şarj güçlerini, güç ağını dengelemek için artırıp azaltabildiği varsayılmıştır. Yolda sürüş zamanının tahmini için de gerçek zamanlı trafik verisi kullanan navigasyon uygulamalarından yararlanılmaktadır

Yang vd. (2013b) istasyon sıklığı için farklı bir yöntem getirmekte ve belli bir iş yoğunluğu sınırını geçen şarj istasyonlarına destek olmak üzere mobil şarj istasyonlarının yönlendirilmesini, o istasyonun yoğunluğu azaldığında mobil istasyonun daha yoğun olan başka bir bölgeye gönderilmesini önermektedir.

2.2 Elektrikli Şarj İstasyonlarında Öncelikli Şarj Alanında Yapılan Çalışmalar

Elektrikli şarj istasyonlarında belirli müşteri sınıflarına öncelik vererek onların daha kısa süre beklemelerini sağlamaya çalışan kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Juhazs (2014) patent çalışmasında önceden ödeme yapan sürücülerin, firmanın çalışanlarının veya VIP sürücülerin bekleyen araç kuyruğunda sürekli olarak ön sıralara kaydırılmasını önermektedir. Önerilen sistem kuyruğun geliş sırasına (FIFO) ya da aracın şarj durumuna göre veya tüm özelliklerin farklı ağırlıklandırılarak toplanmasından oluşan yeni bir özelliğe göre de sıralanabileceğini belirtmektedir. Bu çalışmada kuyruk dinamik olarak sıralanmakta ancak sıralamada öncelik verilen özellik ne ise ona sahip olan araçlar sisteme girdiği sürece bu özelliklere sahip olmayan araçlar beklemek zorunda kalmaktadırlar.

Peng vd. (2012) çalışmalarında istasyona gelen araçları önceliğe göre sıralı tek bir kuyrukta bekletmektedirler. Çalışmada öncelik olarak, “kalan zaman” (slack time) kullanılmaktadır. Gelen tüm araçlar sistemden çıkmaları gereken zamanı bildirmekte, sistem de aracın ihtiyacı olan şarj süresini hesaplayarak kalan zamanı belirlemektedir. Wei vd. (2016) tek bir kuyrukta araçlar arası önceliklendirme yapmış ve öncelik katsayısını hesaplarken sürücünün bildirdiği zaman sınırının yanı sıra aracın şarj ihtiyacı ve toplam bekleme süresini de çarpanlar arasına katarak oluşturduğu bir formül kullanmıştır.

Bilgisayar bilimleri alanında CPU işlem kuyruğu sıralama çalışmaları CPU'nun bir sonra işleyeceği işi belirlemektedir. Bu alanda hedeflenen amaca göre farklı kuyruk disiplinleri kullanılması önerilmektedir. CPU çizelgelemedeki amaçlar: CPU kullanım oranını artırmak, birim zamanda tamamlanan iş sayısını artırmak, işlerin tamamlanma süresini azaltmak, işlerin bekleme süresini azaltmak ve benzerleridir. Kullanılan çizelgeleme algoritmaları ilk giren ilk çıkar (FIFO, first in first out), en kısa süreli iş önce çıkar (shortest job first- SJF), round robin çizelgeleme, yanıt süresi oranı öncelikli (Highest response ratio next - HRRN) ve benzerleridir. Bu

algoritmalar arasından SJF ve HRRN kısa süreli işlere öncelik tanımaktadır. Ancak SJF kısa süreli işlerin varış sıklığının yüksek olduğu ortamlarda uzun süreli işlerin çok uzun süre beklemelerine sebep olabilmektedir. HRRN sıradaki iş paketlerine bekledikleri toplam süre ve ihtiyaçları olan işlem süresine bağlı olarak bir öncelik atayarak, kısa süreli işlemlerin daha önce cevaplanmasını, ancak uzun süreli işlemlerin de sürekli olarak geride kalmamasını sağlar (Chopra (2009)). HRRN yöntemi, işler için iş sahipleri tarafından zaman sınırlarının atanmasını da gerektirmeyen bu modeldir. CPU çizelgelemede sıklıkla kullanılmasına rağmen, elektrikli şarj alanında dinamik kuyruk sıralamada bu yöntemi uygulayan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada bu yöntem ilk kez elektrikli şarj alanında uygulanacaktır.

Said vd. (2015) araçları yüksek öncelikli ve düşük öncelikli olmak üzere iki farklı kuyrukta bekletmektedir. Bu modelde düşük öncelikli şarj için ayrılmış şarj noktası bulunmamakta, yüksek öncelikli araçlara ise sabit sayıda şarj noktası ayrılmış olup, bu noktalar doluysa yüksek öncelikli araçların tüm boş şarj noktalarını kullanmalarına izin verilmektedir. Önerdikleri modelde istasyonda beklemekte olan yüksek öncelikli araç bulunduğu sürece düşük öncelikli araçlara şarj imkânı verilmemektedir. Şarj noktalarının bir bölümü sürekli olarak yüksek öncelikli araçlar için ayrılmış olup, bekleyen hiç yüksek öncelikli araç olmasa bile yüksek öncelik için ayrılmış noktalarda düşük öncelikli araçların şarjına izin verilmemektedir. Said vd. (2015) modellerinin performansını simülasyon ortamında test etmişlerdir. Literatürde istasyonlarda ekspres şarj için ayrılmış kapasiteyi dinamik olarak değiştiren bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.3 Diğer Alanlarda Yapılan Sunucu Sayısını Dinamik Olarak Değiştiren Çalışmalar

Farklı hizmet sınıflarının olduğu ve bekleme süresinin bir performans ölçütü olarak kullanıldığı alanlarda sunucu sayısının dinamik olarak değiştirilmesi sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Martonosi (2011) bir havaalanında iki farklı kuyruğa dinamik olarak değişen sayıda sunucu atayarak müşterilerin toplam kuyrukta bekleme süresini en küçüklemeyi amaçlamaktadır. Problemin çözümü için akışkan kuyruk (fluid queue) modeli, yaklaşık dinamik programla ile beraber kullanılmış ve algoritmanın performansı simülasyon ortamında test edilmiştir. Problemden

sunucuların kuyruklar arası transferinin maliyeti (sunucuların o sırada çalışmaması veya başka sebepler kaynaklı maliyetler) de göz önüne alınmaktadır.

Andradóttir vd. (2003) üretim alanında yaptıkları çalışmalarında birkaç iş sınıfına birden servis verebilen esnek sunucuların bulunduğu bir sistemde sunucuları kuyruklara dinamik olarak atama politikaları geliştirmişler. Çalışmayla kuyruk ağının kapasite kullanımını en çoklamayı amaçlamaktadırlar. Çalışmada deterministik akışkan kuyruk modeli varsayımı kullanılarak bir doğrusal programlama modeli çözdürülmekte ve bu modelin önerdiği sunucu zamanı-işlem sınıfı ataması temel alınarak sunucuların işlem sınıfları arasında dönüşümlü olarak çalışmasını sağlayacak bir round-robin politikası önerilmektedir.

Whitt (1999) bir telefon çağrı merkezinde telefona cevap verecek eleman sayısını dinamik olarak belirleyebilmek için gerçek zamanlı ve tarihsel veriyi birlikte kullanarak kısa gelecek için talebin ortalamasını ve varyansını tahmin edecek bir yöntem geliştirmiştir. Ortalama ve varyans belirlendiğinde çağrı merkezinde gelecek birkaç dakika (1-20 dakika) içinde elemanlarının kaçının telefon cevaplamaya yönlendirileceği ve kaçının düşük öncelikli diğer işlerde çalışmak üzere kenarda bekletileceğine dinamik olarak karar verilmektedir.

Dinamik olarak sunucu atama probleminin önem kazandığı görece yeni bir alan da otonom hesaplama (autonomic computing) alanıdır. Otonom hesaplama araştırma alanı, bilgi işleme merkezlerinin kendi kendini yapılandırma (self-configuring), kendi kendini optimize etme (self-optimizing), kendi kendini koruma (self-protection) ve kendi kendini iyileştirme (self-healing) gibi özelliklere sahip olmasını, kısaca kendi kendini yönetmesini sağlayacak yöntemlerle ilgilenir (Kephart ve Chess (2003)). Otonom hesaplama alanında, iş merkezlerine gönderilen farklı tipte işlerin sunuculara yönlendirilmesi ve işlere ayrılan sunucu sayısının dinamik olarak belirlenmesi çeşitli araştırmalarla incelenen bir konudur.

Bennani ve Menasce (2005) birçok uygulama ortamının paylaştığı büyük iş merkezlerinde, değişken yük altında uygulamaları sunuculara dinamik olarak atayarak sistemdeki toplam yanıtlama süresini (response time) azaltmayı amaçlamaktadır. Çalışmada işlemlerin sistemden elde ettikleri fayda (utility) bekleme süresine bağlı bir fonksiyonla değerlendirilmekte ve sistemden elde edilecek

toplam faydayı artıracak sunucu-uygulama ataması sezgisel arama yöntemiyle belirlenmektedir. Çalışmada, sunucu-uygulama atamasının belli kontrol aralıklarında veya sistemdeki toplam fayda fonksiyonunun değerindeki değişimlere bağlı olarak dinamik olarak tekrar yapılmasını sağlayacak bir kontrol mekanizması önerilmektedir.

Palmer ve Mitrani (2005) farklı iş tiplerinin gönderildiği çok sunuculu bir ortamda sunucuları iş tiplerine dinamik olarak atayacak sezgisel yöntemler önermektedirler. Çalışmada sunucuların farklı iş tiplerine geçiş maliyeti (switching cost) de göz önüne alınmaktadır. Önerilen sezgisel yöntemlerin performansı, Markov süreç tekniği kullanılarak hesaplanan en iyi performansla karşılaştırılmakta ve dinamik-sezgisel olarak adlandırılan metodun optimale yakınlığı gösterilmektedir. Dinamik-sezgisel, zaman adımlarında gerçekleştirilebilecek farklı sunucu-kuyruk atamalarının toplam maliyete etkisini hesaplamak için kuyruk uzunluklarını, işi elde tutma maliyetini (holding cost) ve sunucu değiştirme zamanını kullanmakta ve sunucu kaydırıp kaydırmama kararını vermektedir.

Son yıllarda özellikle çok katmanlı web uygulamalarında dinamik kaynak planlama üzerine yapılan çalışmaların sayısı artmıştır. İş gücünün dinamik olarak değiştiği ve farklı katmanların farklı kaynak ihtiyaçlarının olduğu bu ortamlarda statik bir kaynak planlama modelinin ihtiyaçları karşılaması mümkün değildir. Huang vd. (2014) yaptıkları derleme çalışmasında, dinamik sunucu atama konusundaki araştırmaları yöntemlerine göre ikiye ayırmaktadır: Kural tabanlı yöntemler (makine öğrenmesi, bulanık kontrol) ve model tabanlı yöntemler (kuyruk modelleri, kontrol teorisi modelleri). Huang vd. (2014), kontrol teorisi kullanan araştırmaların avantajının, kontrol sistemleri modelleme, tasarım ve analizinde hali hazırda kullanılan gelişmiş yöntemlerden faydalanmaları olduğunu belirtmektedir. Kontrol teorisi yöntemini kullanarak geri beslemeli kontrol metoduyla servis performansını kontrol eden çalışmalar arasında Stankovic vd. (1999), Parekh vd. (2001), Abdelzaher vd. (2002), Diao vd. (2005) bulunmaktadır. Bu çalışmalar müşterilere önceden söz verilen servis seviyesi anlaşmasına (SLA- Service Level Agreement) uyabilmek için farklı seviyelere atanan sunucu sayı veya gücünü dinamik olarak ayarlamakta ve aynı zamanda servis için kabul edilecek müşteri sayısını da kontrol etmekte, gerektiği zaman yeni talepleri reddetmektedirler. Bu yöntemlerin ekspres şarj problemine

uygulanabilirliği göz önüne alındığında, farklı iş tiplerine farklı servis seviyesinde hizmet verilmesinin ekspres şarj mantığıyla uyumlu olduğu, ancak talep edilen servis seviyesinde hizmet verilebilmesi için yeni taleplerin reddedilmesinin elektrikli şarj alanında kabul edilebilir bir yöntem değildir.

Bu alandaki bir diğer çalışma da Lu vd. (2001), Lu vd. (2006) farklı önem derecesine sahip işlerin tamamlanma sürelerinin birbirlerine oranını kontrol etmek için, farklı iş tiplerine atanacak sunucu sayısını dinamik olarak değiştiren bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma, geri beslemeli kontrol yöntemini kullanmakta ve servis taleplerinin geri çevrilmesini gerektirmemektedir.

Geliştirilen yöntemlerin literatürde olan çalışmalardan farkı 3 bölümde incelenebilir. İlk olarak araçların sistem içerisinde geçirdikleri zamanı en küçüklemeye çalışan çalışmalar arasında istasyon seçiminin dağıtık olarak yapıldığı durumlarda literatürdeki çalışmalardan farklı olarak “yakınlık” kavramı geliştirilmiştir. Bu kavramın oluşturulan simülasyon modelinde performansı incelenmiştir. İkinci olarak, istasyonda dolum için sırada olan elektrikli araçların sırasını dinamik olarak değiştiren bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Geliştirilen öncelik kavramı ile birlikte araçlar belirlenen zamanlarda tekrar sıralanacak ve sistemin performansı ölçülecektir. Son olarak araçların ekspres ve normal sınıflara ayrıldığı ve sunucuların sınıflara ait olduğu durumlarda kaynakların sınıf atamasını dinamik olarak yapan çalışmalar içerisinde, geliştirilen yöntemin kullanıcılardan talep edilen bitiş zamanı bilgisi istememesi ve aynı zamanda kullanıcılara söz verilen servis seviyesi anlaşmasına bağlı kalabilmek için gelen işleri veya müşterileri reddetmemesi açısından literatürde bir ilk olacaktır. Bahsedilen bu özelliklere sahip başka bir elektrikli araç sunucu atama problemine de literatürde karşılaşılmamıştır.

3. İSTASYON SEÇİM ALGORİTMALARI

Bu bölümde amaç elektrikli araçların şarj istasyonu seçimine destek olarak araçların toplam yolculuk süresini azaltacak sezgisel yöntemler geliştirmektir. Bu yöntemler istasyonlardan farklı türde veriler alıp analiz ederek araçları istasyonlara yönlendirmektedir. Yönlendirme yapılırken araçların bilgileri istasyonlarla veya 3. kişilerle paylaşılmamaktadır. Bu da gizliliğin korunmasını sağlamaktadır.

Bölüm 3.1’de istasyon seçim algoritmalarının süreç akışı anlatılmaktadır. Bölüm 3.2’de geliştirilen ve literatürde kullanılan istasyon seçim yöntemlerinin algoritmaları detaylı olarak açıklanmaktadır. Bölüm 3.3’te oluşturulan simülasyon modeli ve ortamı anlatılmaktadır. Bölüm 3.4’te elde edilen sonuçları analiz edilmektedir. Son olarak Bölüm 3.5’teki analiz ile istasyon seçim algoritmaları sonlanacaktır.

3.1 İstasyon Seçim Sisteminin İşleyişi

İstasyon seçim algoritmalarında süreç araçta ve istasyonda olmak üzere iki koldan ilerler. Araç önce gideceği varış noktasını belirler. Varış noktası belirlenen araç kullanılacak istasyon seçim yöntemine uygun olarak paylaşım merkezinden gerekli bilgileri alır. Alınan bilgilerle kullanılacak istasyon seçim yöntemi çalıştırılır. Tüm istasyonlar arasından mevcut araç için en uygun istasyon belirlenir ve araç ilgili istasyona yönlendirilir. En uygun istasyon, belirlenen istasyon seçim kuralı kullanılarak seçilir. Araç istasyona doğru yola çıkar ve istasyona ulaşır. İstasyona ulaştığı anda şarj için gerekli bilgilerini istasyonla paylaşır, boşta sunucu varsa şarj olmaya başlar. Yoksa sıraya girer ve FIFO (ilk girenin ilk çıktığı) kuyruk yönetimine göre sırasını bekler. Şarj işlemi tamamlanan araç istasyondan ayrılır ve varış noktasına doğru yola çıkar. Hedef noktasına ulaşan araç sistemden ayrılır. İstasyonlar ise kendilerine ulaşan araçların bilgilerini kaydeder. Sistemde kullanılan araç yönlendirme algoritmasına bağlı olarak belirlenen aralıklarla istasyon durumu kontrol edilir. Aynı zamanda istasyonda bulunan araçların bilgileri kullanılarak FEL (gelecek olay listeleme) yöntemi ile hesaplama yapılan anda olası bir aracın istasyonda harcayacağı bekleme zamanı da hesaplanır. Bu bilgiler hesaplandığı anda

paylaşım merkezine gönderilir ve orada depolanır. İstasyon seçim süreci Şekil 3.1 de özetlenmektedir.



Şekil 3.1 : İstasyon Seçim Sistemi İşleyişi.

3.2 İstasyon Seçim Yöntemleri

Bu bölümde, geliştirilen istasyon seçim yöntemleri detaylı olarak açıklanmaktadır. Geliştirilen yöntemlerin amacı araçların toplam yolculuk sürelerini azaltmaktır. Bir aracın toplam yolculuk süresi şu bölümlere ayrılabilir:

Toplam yolculuk süresi = Aracın bulunduğu noktadan istasyona varışına kadar geçen süre + istasyonda bekleme süresi + istasyonda şarj olma süresi + aracın istasyonun bulunduğu noktadan gideceği yere varışına kadar geçen süre.

Bu bölümlerden aracın yolda hareket halinde bulunduğu süreler toplanarak:

Kat edilen mesafe süresi = Aracın bulunduğu noktadan istasyona varışına kadar geçen süre + aracın istasyonun bulunduğu noktadan gideceği yere varışına kadar geçen süre olarak ifade edilebilir. Bu durumda:

Toplam yolculuk süresi (s_{tot}) = Katedilen mesafe süresi (s_{mes}) + İstasyonda bekleme süresi (s_{bek}) + istasyonda şarj olma süresi ($s_{şarj}$) eşitliği yazılabilir. İstenen şarj süresinin ($s_{şarj}$) seçilen istasyona bağlı olarak değişmeyeceği varsayılmaktadır.

Araçlardan ve istasyonlardan alınabilecek tüm bilgilerin tek merkezde birleşerek yönlendirme tavsiyesinin tüm araçlara bu merkez tarafından yapılması araçların yolculuk süresini en aza indirebilir. Ancak bu tür bir sistemin düzgün çalışabilmesi

için araç ve istasyonların kendilerinden istenen tüm bilgileri tam, doğru ve zamanında vermeleri gerekir. Araçların bilgi paylaşımı konusunda çekincesinin olduğu gizliliğin ön planda olduğu durumlarda veya haberleşme açısından sıkıntıların bulunduğu ortamlarda bu tür bir yönlendirmenin sağlıklı işlemesi mümkün olmaz. Bu durumlarda araçların kendi kararlarını kısıtlı bilgiyle dağıtık olarak vermelerini sağlayacak algoritmalar kullanılarak araçların bekleme süresi azaltılabilir. Literatürde merkezi sistemle yönlendirme yapan çok sayıda yöntem bulunmasından dolayı ve önceki bölümde söz edilen olumsuzlukların önüne geçebilmek adına, anlatılacak yöntemlerin hepsi dağıtık modele uygun olarak geliştirilmiştir.

Dağıtık sistemde merkezi sistemin aksine aracın hangi istasyonu tercih ettiği, saat kaçta hangi istasyonda bulunacağı, şarj süresinin ne kadar olacağı sistem tarafından bilinmez. İstasyonlardan alınabilecek bilgiler ise kullanılan istasyon seçim algoritmasına göre değişiklik gösterebilir. Araçların karar verme anında istasyon bilgilerine ulaşabildikleri varsayılmıştır.

Araçların gidecekleri istasyonları seçerken kullandıkları farklı yöntemler için istasyonlardan farklı bilgiler gereklidir. Örneğin, her istasyon için toplam sunucu sayısı (toplam şarj noktası sayısı) istasyon seçim kararını etkileyebilecek bir parametredir. Kuyrukta bekleyen aracı olmayan ve toplam 6 şarj noktasının hepsi dolu olan bir istasyon için de, toplam 2 şarj noktasının hepsi dolu olan bir istasyon için de bekleme süresi tek aracın dolmuş süresidir. Bu durumda araç istasyona varana kadar geçecek zamanda istasyona gelecek diğer araçlar sebebiyle oluşacak bekleme süresinin toplam 2 şarj noktası olan istasyonda daha fazla olma ihtimali yüksektir. Benzer şekilde bir istasyonda boş şarj noktası bulunması o istasyondaki o anki bekleme süresinin sıfır olduğunu göstermektedir. Şu anda boş olan şarj noktası sayısı bilgisi, aynı anda birden fazla istasyonda kuyrukta bekleyen araç olmadığı durumda önem kazanan bir parametredir. Araçların bilgi vermediği, dolayısıyla yoldaki araçların hesaba katılmadığı çalışmalarda istasyonlar sadece sistemlerindeki araç bilgisini bildirmektedir. Örneğin, 6 şarj noktasından 5 i dolu olan bir istasyon da, 6 şarj noktasının hepsi boş olan bir istasyon da aynı bekleme süresi olan sıfır dakikayı sisteme bildirmektedir. İstasyon seçimi yapan aracın istasyona ulaşmaya kadar geçirdiği sürede, aynı istasyona gelen diğer araçların 6 noktası dolu olan istasyona kıyasla 5 noktası dolu olan istasyonda kuyruk oluşturması daha yüksek ihtimaldir.

İstasyona gelebilecek araçların ve istasyonda bulunan araçların şarj süresinin bilinmediği durumlarda bir araç için toplam yolculuk süresinin en belirsiz etmeni istasyonda bekleme süresi (s_{bek}) dir. Hesaba katılan s_{bek} , araç istasyona gelene kadar oluşabilecek kuyruğu gözardı ettiği için gerçekleşecek toplam yolculuk süresini önemli ölçüde artırabilir. Örneğin İstasyon A için

$s_{tot}A = s_{mes} (15 \text{ dk.}) + s_{şarj} (15 \text{ dk.}) + s_{bek} (15 \text{ dk.})$ toplam 45 dakikadır. İstasyon B için bu süre

$s_{tot}B = s_{mes} (25 \text{ dk.}) + s_{şarj} (15 \text{ dk.}) + s_{bek} (5 \text{ dk.})$ yine 45 dakikadır. Eğer aracın varış anında bekleme sürelerinde %15’lik artış gerçekleşirse İstasyon A ve B arasındaki toplam yolculuk süresi farkı 1,5 dakikaya çıkacaktır.

Tezin bu aşamasında araçların, toplam yolculuk sürelerini en küçükleyen istasyonu seçmeleri yerine, toplam yolculuk süreleri birbirine “yakın” olan, toplam şarj noktası sayısı veya boşta şarj noktası sayısı fazla olan istasyonlar arasından seçim yapmaları sağlanacaktır. Toplam yolculuk süresinin “yakın”lığı Algoritma 3.1’deki gibi hesaplanacaktır. Yakın istasyonların hesabında kullanılan x değeri için duyarlılık analizi yapılmış ve bunun sonucunda x ’in alacağı değer belirlenmiştir. Duyarlılık analizinin sonuçları Bölüm 3.5.2.2’de gösterilmiştir.

Algoritma 3.1 : Yakın İstasyon Hesaplama Algoritması

1. Tüm istasyonlar için hesaplanan s_{bek} değeri alınır. Aracın bulunduğu yer ve gideceği lokasyona bağlı olarak s_{mes} hesaplanır. Şarj süresini gösteren $s_{şarj}$ değerinin araç için tüm istasyonlarda eşit olduğu (katedilecek ek mesafe-bekleme süresi sebebiyle $s_{şarj}$ değerinde belirgin bir artış olmayacağı) kabul edilir.
2. Hesaplanan s_{bek} ve gerçekleşen s_{bek} arasında $\pm\%x$ fark olabileceği varsayılarak s_{tot}^+ ve s_{tot}^- hesaplanır:
 - $s_{tot}^+ = s_{mes} + s_{şarj} + s_{bek} * (100 + x)/100$
 - $s_{tot}^- = s_{mes} + s_{şarj} + s_{bek} * (100 - x)/100$
 - i. Toplam yolculuk süresi olarak tek bir değer yerine bir aralık değerlendirmeye alınır: $s_{tot} = [s_{tot}^- s_{tot}^+]$
 - ii. Bir istasyonda bekleme süresinin sıfır olması durumunda $s_{tot}^- = s_{tot}^+$

durumu gerçekleşir ve s_{tot} aralığının genişliği sıfır olur.

3. İstasyonlar için hesaplanan s_{tot} aralıkları s_{tot}^- 'ye göre küçükten büyüğe sıralanır.
4. İstasyonlar için sıralanmış s_{tot} aralıkları birbirleriyle karşılaştırılarak, en düşük s_{tot}^- 'ye sahip olan istasyonun s_{tot} aralığı ile bir bölümü çakışan s_{tot} aralığına sahip istasyonlar “yakın” kabul edilir.

Bu algoritmaya göre s_{tot}^- 'ye göre dakika cinsinden sıralı ilk üç istasyon (İstasyon A, İstasyon B ve İstasyon C) birbirine “yakın” ve düşük s_{tot} 'a sahiptirler. İstasyon A: [31,5 38,5], İstasyon B: [36 44], İstasyon C: [37,8 46,2]

İstasyon seçim yöntemlerinin istasyonlardan istediği veri tipleri ve kullandıkları istasyon seçim kuralları aşağıdaki gibidir. İlk iki model (bekleme süresi modeli ve toplam yolculuk süresi modeli) literatürde mevcut olup, bu tez kapsamında geliştirilen yöntemleri test etmek için kullanılmıştır.

Bekleme Süresi Modeli (BSM):

İstasyonlar araçlara konum ve istasyon durum bilgisini (her istasyon için hesaplanan tahmini bekleme zamanı) gönderir. Araç içi yazılım en düşük tahmini bekleme zamanına sahip olan istasyona yönlendirilir.

Toplam Yolculuk Süresi Modeli (TYS):

İstasyonlar araçlara konum ve istasyon durum bilgisini (her istasyon için hesaplanan tahmini bekleme zamanı) gönderir. Araç içi yazılım aracın toplam yolculuk süresini araç istasyona varana kadar başka araç gelmeyeceğini varsayarak hesaplar. Araç toplam yolculuk süresi düşük olan istasyonu seçer.

Toplam Şarj Noktası Modeli (TSN)

Toplam şarj noktası modelinde istasyonlar araçlara konum ve istasyon durum bilgisini (her istasyon için hesaplanan tahmini bekleme zamanı ve istasyonlarda bulunan toplam şarj noktası sayısı) gönderir. Araç içi yazılım aracın toplam yolculuk süresini araç istasyona varana kadar başka araç gelmeyeceğini varsayarak hesaplar.

Araç, yakın olarak belirlenen istasyonlar arasından, toplam şarj noktası sayısı en fazla olan istasyonu seçer.

Toplam Dolu-Boş Şarj Noktası Modeli (TDBSN)

İstasyonlar araçlara konum ve istasyon durum bilgisini (her istasyon için hesaplanan tahmini bekleme zamanı, istasyonlarda bulunan toplam şarj noktası sayısı ve istasyonlarda bulunan boş şarj nokta sayısı) gönderir. Araç içi yazılım aracın toplam yolculuk süresini araç istasyona varana kadar başka araç gelmeyeceğini varsayarak hesaplar. Araç, yakın olarak belirlenen istasyonlar arasından, boş şarj noktası en fazla olan istasyonu seçer. Boş şarj noktası sayılarının eşit olması durumunda toplam şarj noktası sayısı en fazla olan istasyonu seçer. İstasyonların boş şarj noktası olmaması durumunda model, toplam şarj noktası (TSN) modeli gibi çalışır.

Yakın-Yakın İstasyon Modeli (YYI)

İstasyonlar araçlara konum ve istasyon durum bilgisini (her istasyon için hesaplanan tahmini bekleme zamanı) gönderir. Araç içi yazılım aracın toplam yolculuk süresini araç istasyona varana kadar başka araç gelmeyeceğini varsayarak hesaplar. Araç, yakın olarak belirlenen istasyonlar arasından, mesafe olarak kendisine en yakın olan istasyonu seçer.

Yakın-Toplam Yakın İstasyon Modeli (YTY)

İstasyonlar araçlara konum ve istasyon durum bilgisini (her istasyon için hesaplanan tahmini bekleme zamanı) gönderir. Araç içi yazılım aracın toplam yolculuk süresini araç istasyona varana kadar başka araç gelmeyeceğini varsayarak hesaplar. Araç, yakın olarak belirlenen istasyonlar arasından, toplam mesafeyi en küçükleyen istasyonu seçer.

3.3 Gelecek Olay Listeleme Metodu

Literatürde var olan ve bu çalışma kapsamında geliştirilen istasyon seçim modellerinin çalışabilmesi için her istasyonun belirlenen zaman aralıklarında tahmini bekleme zamanı verisini hesaplaması gerekir. Hesaplanan bu süre hesaplama yapıldığı anda gelebilecek bir aracın ne kadar bekleme süresine katlanacağını gösterir. Araç içi yazılım çağrıldığı anda hesaplanan son güncel bekleme zamanı

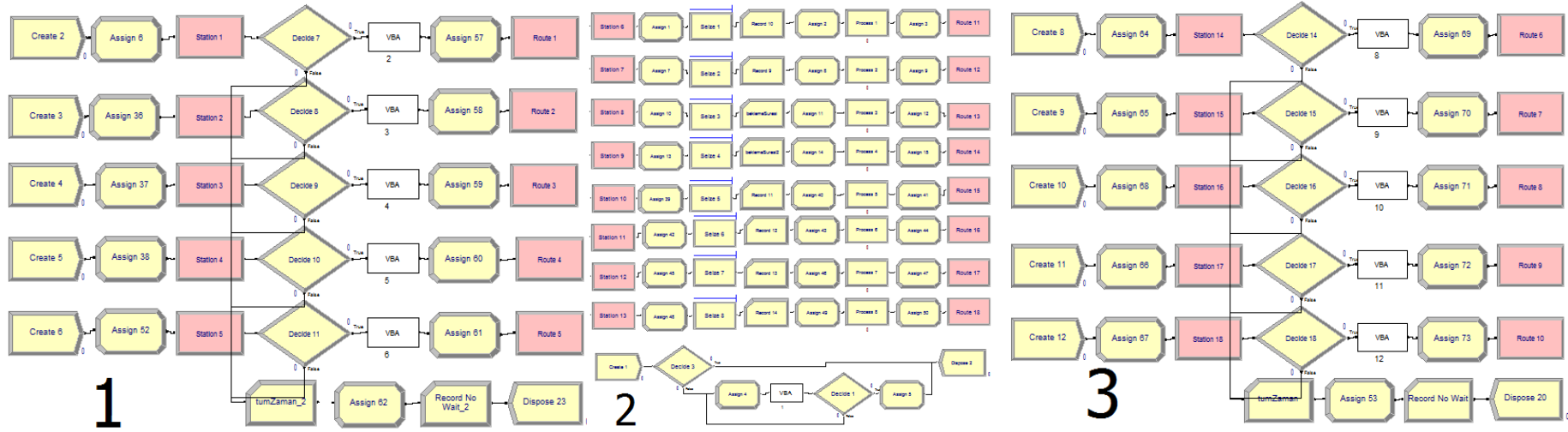
bilgilerini istasyonlardan alır. İstasyonlar, kendilerine gelecek araç için gerçekleşecek bekleme süresi bilgilerini gelecek olay listeleme yöntemi kullanarak hesaplar. Gelecek olay listeleme yönteminin adımları Algoritma 3.2’de gösterilmiştir.

Algoritma 3.2 : Gelecek Olay Listeleme

1. Servis görmekte olan araçların servis bitiş zamanını gelecek olay listesinde listele. Gelecek olay listesini zamana göre sırala.
 2. Saati en yakın olay zamanına getir.
 3. En yakın olayı listeden kaldır.
 4. En yakın olayı gerçekleştir. Sistem durumunu güncelle, ilgili sunucuyu boş hale getir.
 5. Kuyruktaki ilk aracı servise başlat. Bu aracın servis bitiş zamanını gelecek olay listesine ekle. Gelecek olay listesini zamana göre sırala.
 6. Birikimli istatistikler ve sayaçları güncelle.
 7. Gelecek olay listesi boş değilse Adım 2’ye dön. Olay listesi boş ise hesaplanan bekleme zamanını aktar.
-

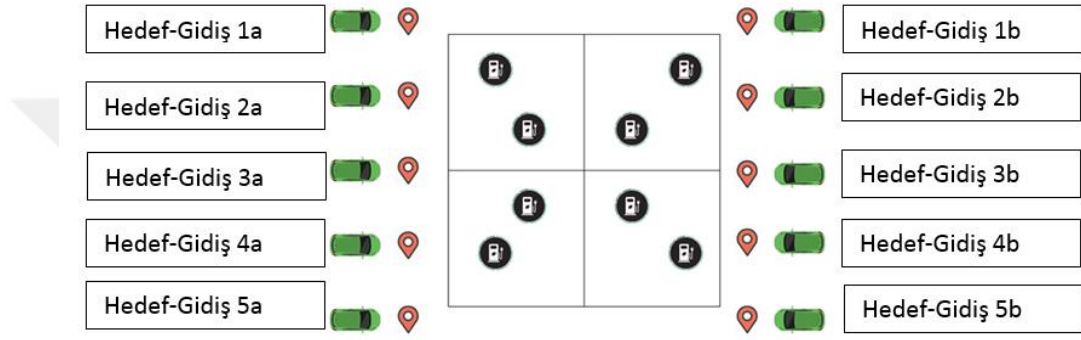
3.4 Simülasyon Modeli

İstasyon seçim modelleri simülasyon ortamına aktarılırken araçların farklı noktalardan sisteme girebilmeleri, sisteme giriş yaptıktan sonra seçilen çözüm yöntemine göre doğru istasyona yönlendirilmeleri amaçlanmıştır. Simülasyon ortamının ekran görüntüsü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Simülasyon ortamını 3 bölümde incelemek mümkündür. 1. ve 3. bölümler araçların sisteme giriş ve çıkış yaptığı noktalardır. Araçlar sisteme giriş yapıyorlar ise araç içi yazılım çağırılarak seçilen yönteme en uygun istasyon belirlenir ve araç istasyona yönlendirilir. Araç içi yazılıma bu sırada hedef noktası girdi olarak verilmektedir. Araç eğer sistemden çıkıyor ise sistem içerisinde geçirdiği zamanlar türlerine göre kaydedilir. Bu kayıtlar sistem performansını karşılaştırmak için kullanılmaktadır.



Şekil 3.2 : İstasyon Seçim Modeli Simülasyon Ortamı.

1 numaralı kısımdan giren aracın 3 numaralı kısımda bulunan çıkış istasyonlarına doğru, 3 numaralı kısımdan giren aracın da 1 numaralı kısımda bulunan çıkış istasyonlarına doğru seyahat ettiği varsayılmaktadır. 2. bölüm ise dolmuş istasyonlarının bulunduğu bölümdür. Her istasyonda belirlenen sayıda sunucu bulunmaktadır. Şekil 3.3 istasyon konumlarını ve araçların sisteme giriş çıkış yaptığı yerleri göstermektedir. Alanın sol tarafından (a-Gidişleri) giren araçların sağ taraftaki hedeflere (b-Hedefleri), ve benzer şekilde sağından giren (b-Gidişleri) araçların sol taraftaki (a-Hedefleri) hedeflere yöneldiği varsayılmaktadır.



Şekil 3.3 : İstasyonların ve Araç Giriş-Çıkış Noktalarının Konumları.

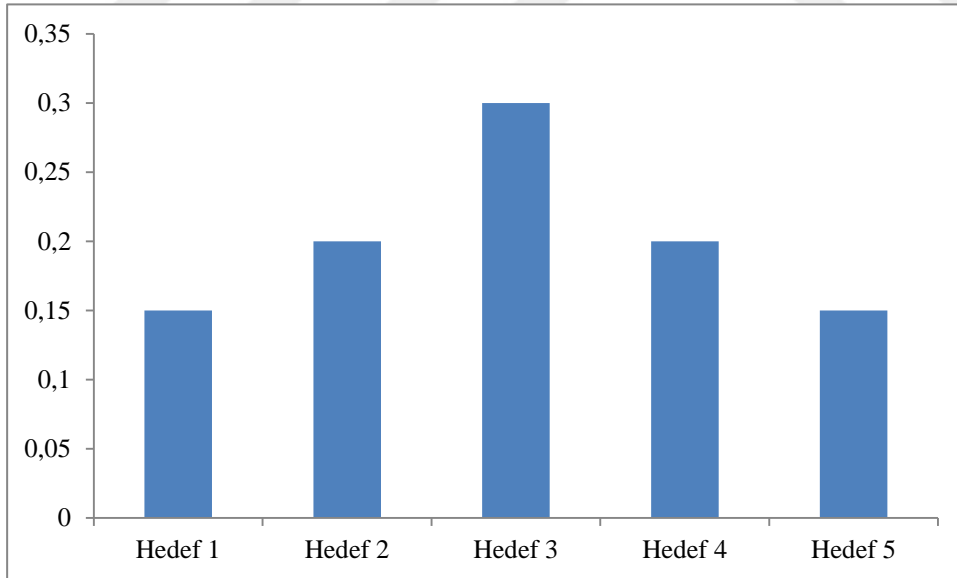
2. bölümün altındaki modüllerde ise her bir istasyon için olası bir istasyona varış durumunda gelen aracın katlanacağı bekleme zamanı, belirlenen zaman aralıklarında çağırılan VBA modülünde “Visual Basic” dilinde kodlanmış olan gelecek olay çizelgeleme yöntemiyle hesaplanmaktadır.

Simülasyon modelinde araçların varacağı hedefleri, araçların hızları, ihtiyaç duydukları servis süreleri, modelin büyüklüğü, istasyonların ve giriş çıkış yerlerinin bulunduğu noktalar ve araçlar arası geçen süreler parametre olarak sistemin içindedir. Kullanılan parametre değerleri Çizelge 3.1’de özetlenmektedir. Sisteme her iki bölgeden de giren araçların, gidecekleri bölgede bulunan istasyonlardan merkezdekileri seçme ihtimallerinin daha çok olduğu varsayılmaktadır. Araçların gidecekleri hedefleri bu varsayıma uygun bir olasılık fonksiyonu ile belirlenmektedir. Sisteme her iki bölgeden de giren araçların gidecekleri bölge bulunan istasyonlardan merkezdekileri seçme ihtimallerinin daha çok olduğu varsayılmaktadır. Araçların gidecekleri hedefleri bu varsayıma uygun bir olasılık fonksiyonu ile belirlenmektedir.

Çizelge 3.1 : Simülasyon Modeli Parametreleri.

Araçların Varış Hedefi Seçim İhtimalleri	(Kesikli Dağılıma Uygun Olarak) Hedef 1a – 1b: 0,15 Hedef 2a – 2b: 0,20 Hedef 3a – 3b: 0,30 Hedef 4a – 4b: 0,20 Hedef 5a – 5b: 0,15
Araçların Sisteme Girişleri Arası Geçen Süre(dakika)	(Üssel Dağılım) Gidiş 1a – 1b: Çeşitli Değerler Gidiş 2a – 2b: Çeşitli Değerler Gidiş 3a – 3b: Çeşitli Değerler Gidiş 4a – 4b: Çeşitli Değerler Gidiş 5a – 5b: Çeşitli Değerler
Araçların Servis İhtiyacı	(Kesikli Dağılıma Uygun Olarak) 15dakika – 0,10 20dakika – 0,25 25dakika – 0,30 30dakika – 0,35
Araçların Hızı(km/s)	Uniform (40, 60)

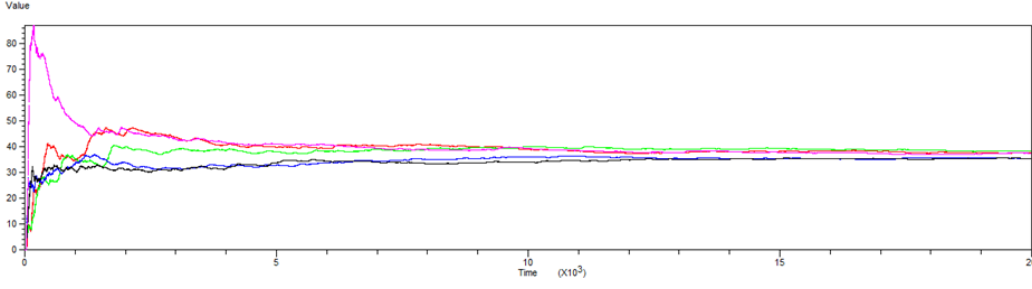
Bu dağılıma göre yola çıkan bir aracın hedefleri seçme ihtimalleri Şekil 3.4'te gösterildiği gibidir. Bu dağılımla merkezi noktada olan Hedef 3a ve 3b, en sık varış noktası hedefi olan bölgeler olmaktadır.



Şekil 3.4 : Araçların Hedef Noktalarına Dağılımı.

Araçların hızlarının sistem içi yazılım çağırıldığı anda 50km/s olduğu ancak araç yönlendirmesi yapıldıktan sonra 40km/s ve 60km/s arasında Uniform dağılıma uygun bir değer aldığı varsayılmıştır. İhtiyaç duyulan servis süreleri ise kesikli dağılım ile belirlenmiştir. İstasyon seçim yöntemlerinin testi için geliştirilen simülasyon modeli, yüzölçümü 15, 20 ve 25 km² olan kare şeklinde üç farklı alan ile çalıştırılmıştır. Bu boyutlara uygun olarak şarj istasyonlarının noktaları alanı eşit olarak 4 parçaya ayıran bölgelerin içine rastgele yerleştirilmiştir. Araçların giriş ve çıkış yapacağı noktalar 5 tanesi alanın doğusunda, 5 tanesi ise batısında olmak üzere aralarında eşit mesafe olacak biçimde seçilmiştir. Bu sayede ilerleyen bölümlerde aynı bölgede farklı tip çalışma mantığına sahip istasyonların hangi araçlar tarafından tercih edildiği daha net biçimde gözlenebilecektir. Araçların sisteme girişleri arasında geçen süre merkez noktalarda daha sık olacak şekilde belirlenmiştir. Uç noktalarda ise daha seyrek zamanlı girişler mevcuttur. Modelin hem solunda hem de sağında girişler arası geçen süre Çizelge 3.1’de gösterildiği gibidir. Talep edilen şarj süresi bahsedilen kesikli dağılıma uygundur (Çizelge 3.1). Her bölgedeki istasyonlardan bir tanesinde 3 adet sunucu bulunurken diğerinde 6 adet sunucu olacak şekilde model çalıştırılmıştır. İstasyonların hesapladığı ve ortak birime ilettiği bekleme zamanları her 1 dakikada tekrar hesaplanmıştır.

Kurulan simülasyon modelinden doğru sonuçlar alabilmek ve sonuçları doğru şekilde analiz edebilmek için modelin çalışacağı ısınma periyodu zamanı belirlenmiştir. Tüm çözüm yöntemlerini kapsayacak en uzun süreli ısınma periyodu seçilmiştir. Isınma periyodunun belirlenmesinde dakika cinsinden araçların kuyrukta beklediği ortalama zaman değeri kullanılmıştır. Kararlı bir yapıya geçildiği zamana kadar elde edilen veriler sistemi ortalamadan uzaklaştıracağı için, araçların kuyrukta beklediği ortalama değer hesaplamasına dahil edilmemelidir. Şekil 3.5 Arena Output Analyzer ile elde edilen 20000 dakikalık koşturum sonuçları göstermektedir. Yatay eksen dakika cinsinden geçen süreyi gösterirken dikey eksen araçların sistemdeki ortalama bekleme zamanını göstermektedir. Bu sonuca göre ısınma periyodu 5000 dakika olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.5 : Isınma Periyodu Belirlenmesi – Dakika Cinsinden Araçların Kuyrukta Ortalama Bekleme Zamanı.

Geliştirilen simülasyon modelinin doğrulama geçerlilik çalışmaları iki aşamada yapılmıştır. Öncelikle doğrulama aşamasında istasyon seçim metodunun simülasyon ortamına doğru geçirilip geçirilmediği incelenmiştir. Araçların talep ettiği şarj süreleri değiştirilerek araçların sistemde bekledikleri süreler, kuyruk uzunlukları ve sunucu doluluk oranları incelenerek modelin tutarlılığı kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçların tutarlı olması ile doğrulama aşaması tamamlanmıştır. Geçerlilik aşamasında ise, araçların sistemde geçirdiği ortalama zamanın simülasyon boyunca değişimine bakılmış ve kararlı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sisteme giren ve sistemden çıkan araç sayısı da geçerliliği doğrular niteliktedir.

3.5 Analiz

Bu bölümde geliştirilen yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmış ve duyarlılık analizleri yapılmıştır.

3.5.1 Sonuçlar

Geliştirilen yöntemlerin performanslarını ölçmek için literatürde bulunan toplam yolculuk süresinin en küçük olduğu istasyonun tercih edildiği TYS modeli ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırma yapılırken tüm araçların sistem içinde harcadıkları toplam zaman ortalaması ve 24 saatte içerisinde beklemeyen araç sayıları esas alınmıştır. Koşuturularda, sisteme varışlar arası süreler için farklı değerler kullanılmıştır. Ortalama sunucu doluluk oranları 0,89, 0,74 ve 0,68, talep edilen şarj süreleri de Çizelge 3.1’de bahsedilen kesikli dağılıma uygundur. Yakın istasyonların belirlenmesinde kullanılan çarpan değeri 5 olarak kabul edilmiştir. Ortam büyüklüğü 20km² olarak alınmıştır. İstasyonlar her 1 dakikada bekleme zamanı hesaplamaktadır. Elde edilen bekleme zamanları dakika cinsindedir ve

sonuçlar 5 koşturumun ortalama değerlerini göstermektedir. Sonuçlar Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. Gösterilen değerler %95 güven aralığı ile elde edilmiştir.

Çizelge 3.2 : Seçim Modeli Performansları (Doluluk Oranı :0,89 – Alan :20km²).

Doluluk oranı: 0,89 - Alan :20km ² Yola çıkışlar arası süreler(dk): G1ab:10,20 G2ab:7,60 G3ab:5,10 G4ab:7,60 G5ab:10,20		
Yöntem	Toplam Zaman	24 Saatte Beklemeyen Araç Sayısı
Toplam Yolculuk Süresi (TYS)	[73,01 74,07]	[543 569]
Toplam Şarj Noktası (TSN)	[71,96 74,44]	[550 585]
Toplam Dolu-Boş Şarj Noktası (TDBSN)	[73,48 75,60]	[543 578]
Yakın-Yakın İstasyon (YYİ)	[71,89 74,81]	[568 618]
Yakın-Toplam Yakın İstasyon (YTY)	[81,41 86,79]	[538 575]

Çizelge 3.3 : Seçim Modeli Performansları (Doluluk Oranı :0,74 – Alan :20km²).

Doluluk: 0,74 - Alan :20km ² Yola çıkışlar arası süreler(dk): G1ab:12,50 G2ab:9,37 G3ab:6,25 G4ab:9,37 G5ab:12,50		
Yöntem	Toplam Zaman	24 Saatte Beklemeyen Araç Sayısı
Toplam Yolculuk Süresi(TYS)	[57,92 58,50]	[846 865]
Toplam Şarj Noktası(TSN)	[57,50 58,52]	[843 865]
Toplam Dolu-Boş Şarj Noktası(TDBSN)	[57,49 58,13]	[872 902]
Yakın-Yakın İstasyon(YYİ)	[56,31 57,21]	[928 962]
Yakın-Toplam Yakın İstasyon(YTY)	[56,91 57,57]	[911 931]

Çizelge 3.4 : Seçim Modeli Performansları (Doluluk Oranı :0,68 – Alan :20km²).

Doluluk: 0,68 - Alan :20km ² Yola çıkışlar arası süreler(dk): G1ab:13,50 G2ab:10,00 G3ab:6,70 G4ab:10,00 G5ab:13,50		
Yöntem	Toplam Zaman	24 Saate Beklemeyen Araç Sayısı
Toplam Yolculuk Süresi(TYS)	[56,49 57,05]	[845 866]
Toplam Şarj Noktası(TSN)	[55,82 56,26]	[863 871]
Toplam Dolu-Boş Şarj Noktası(TDBSN)	[55,75 56,49]	[892 902]
Yakın-Yakın İstasyon(YYİ)	[55,03 55,31]	[955 966]
Yakın-Toplam Yakın İstasyon(YTY)	[55,42 55,67]	[936 943]

Elde edilen sonuçlara göre geliştirilen yöntemlerin araçların toplam yolculuk süresini en aza indiren istasyon seçim yönteminden daha kötü olmadığı, bazı durumlarda ise daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Çizelge 3.2'de ortalama süreler ve 24 saatte beklemeyen araç sayısında modeller arasında fark olup olmadığı aralıklar çakıştığı için anlaşılabilir değildir. Sunucuların ortalama doluluk oranlarının 0,74 olduğu koşturumlarda (Çizelge 3.3) ise Yakın-Yakın ve Yakın-Toplam Yakın istasyon modellerinin sonuçlarının toplam yolculuk süresi modelinden ortalama en kötü durumda 1 dakika daha iyi olduğu gözlemlenmektedir. Beklemeyen araç sayılarında özellikle son iki modelde fark edilir derecede artış vardır. Yoğunluğun daha da düşük

olduğu Çizelge 3.4'te belirlenen parametre değerlerinde beklemeyen araç sayıları karşılaştırıldığında özellikle son iki modelin toplam yolculuk süresinin en az olduğu istasyonu seçen modelden 24 saatte fazladan 100 aracı hiç beklemeden sistemden çıkarabildiği görülmektedir. Yöntemler arasındaki farkı daha net bir biçimde görebilmek için araçların sistem içinde buldukları süre ve beklemeden ayrılan araç sayısı üzerinden farkın güven aralıkları oluşturulmuştur. Doluluk oranının 0,89 olduğu durumdaki sonuçlar Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da, 0,74 olduğu durumda Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8'de son olarak 0,68 doluluk oranından elde edilen sonuçlar Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 : Seçim Modelleri Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,89 – Alan:20km²).

Tüm Zaman(dk)	TYS	TSN	TDBSN	YYI	YTY
TYS		[-2,34 3,03]	[-2,92 0,91]	[-2,24 2,61]	[-14,51 -6,60]
TSN	[-3,03 2,34]		[-4,53 1,83]	[-2,97 2,65]	[-16,18 -5,61]
TDBSN	[-0,91 2,92]	[-1,83 4,53]		[-1,26 3,64]	[-14,65 -4,44]
YYI	[-2,61 2,24]	[-2,65 2,97]	[-3,64 1,26]		[-16,50 -4,98]
YTY	[6,60 14,51]	[5,61 16,18]	[4,44 14,65]	[4,98 16,50]	

Çizelge 3.6 : Seçim Modelleri Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,89 – Alan:20km²).

Beklemeyen Araç Sayısı	TYS	TSN	TDBSN	YYI	YTY
TYS		[-42,57 18,70]	[-44,89 35,90]	[-77,32 2,53]	[-25,29 24,01]
TSN	[-18,70 42,57]		[-44,88 59,76]	[-70,99 20,07]	[-26,07 48,66]
TDBSN	[-35,90 44,89]	[-59,76 44,88]		[-74,92 9,12]	[-43,36 51,07]
YYI	[-2,53 77,32]	[-20,07 70,99]	[-9,12 74,92]		[-23,67 97,18]
YTY	[-24,01 25,29]	[-48,66 26,07]	[-51,07 43,46]	[-97,18 23,67]	

Çizelge 3.7 : Seçim Modelleri Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,74 – Alan:20km²).

Tüm Zaman(dk)	TYS	TSN	TDBSN	YYI	YTY
TYS		[-1,18 2,39]	[-1,18 2,78]	[-0,12 3,83]	[-0,62 3,36]
TSN	[-2,39 1,18]		[-0,83 1,22]	[0,18 2,31]	[-0,51 2,04]
TDBSN	[-2,78 1,18]	[-1,22 0,83]		[0,35 1,75]	[0,15 0,98]
YYI	[-3,83 0,12]	[-2,31 -0,18]	[-1,75 -0,35]		[-1,33 0,37]
YTY	[-3,36 0,62]	[-2,04 0,51]	[-0,98 -0,15]	[-0,37 1,33]	

Çizelge 3.8 : Seçim Modelleri Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,74 – Alan:20km²).

Beklemeyen Araç Sayısı	TYS	TSN	TDBSN	YYI	YTY
TYS		[-10,09 13,60]	[-54,68 -6,84]	[-11,25 -67,40]	[-83,59 -46,61]
TSN	[-13,60 10,08]		[-55,53 -9,51]	[-113,1 -69,03]	[-86,30 -47,42]
TDBSN	[6,84 54,68]	[9,51 55,53]		[-77,71 -39,40]	[-45,59 -23,07]
YYI	[67,40 111,25]	[69,03 113,14]	[39,40 77,71]		[0,18 48,26]
YTY	[46,61 83,59]	[47,42 86,30]	[23,07 45,59]	[-48,26 -0,18]	

Çizelge 3.9 : Seçim Modelleri Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,68 – Alan:20km²).

Tüm Zaman(dk)	TYS	TSN	TDBSN	YYI	YTY
TYS		[0,49 0,96]	[-0,46 1,37]	[1,07 2,13]	[0,73 1,67]
TSN	[-0,96 -0,49]		[-1,13 0,59]	[0,45 1,29]	[0,07 0,88]
TDBSN	[-1,37 0,46]	[-0,59 1,13]		[0,61 1,67]	[0,26 1,24]
YYI	[-2,13 -1,07]	[-1,29 -0,45]	[-1,67 -0,61]		[-0,52 -0,26]
YTY	[-1,67 -0,73]	[-0,88 -0,07]	[-1,24 -0,26]	[0,26 0,52]	

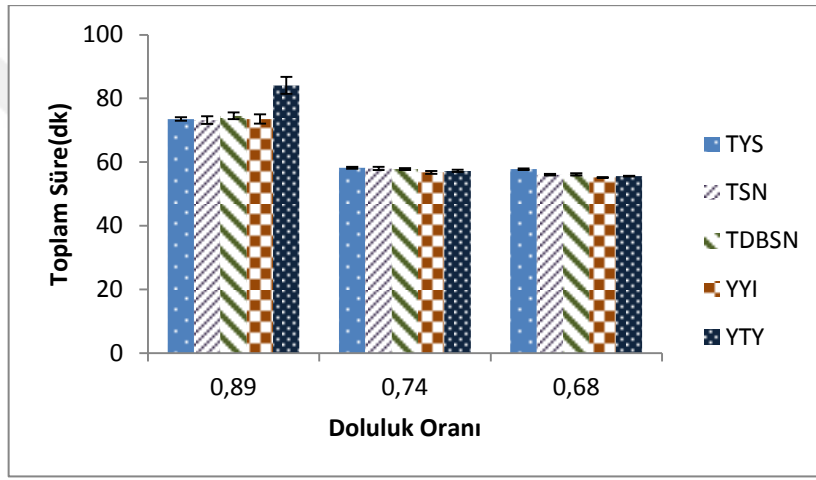
Çizelge 3.10 : Seçim Modelleri Karşılaştırması (Doluluk Oranı :0,68 – Alan:20km²).

Beklemeyen Araç Sayısı	TYS	TSN	TDBSN	YYI	YTY
TYS		[-30,02 6,95]	[-54,15 -29,75]	[-126 -83,15]	[-105,12 -62,29]
TSN	[-6,95 30,02]		[-38,01 -22,81]	[-109,2 -77]	[-79,66 -64,68]
TDBSN	[29,75 54,15]	[22,81 38,01]		[-77,64 -48,05]	[-53,16 -30,35]
YYI	[83,15 126,44]	[77,29 109,23]	[48,05 77,64]		[8,89 33,27]
YTY	[62,29 105,12]	[64,68 79,66]	[30,35 53,16]	[-33,27 -8,89]	

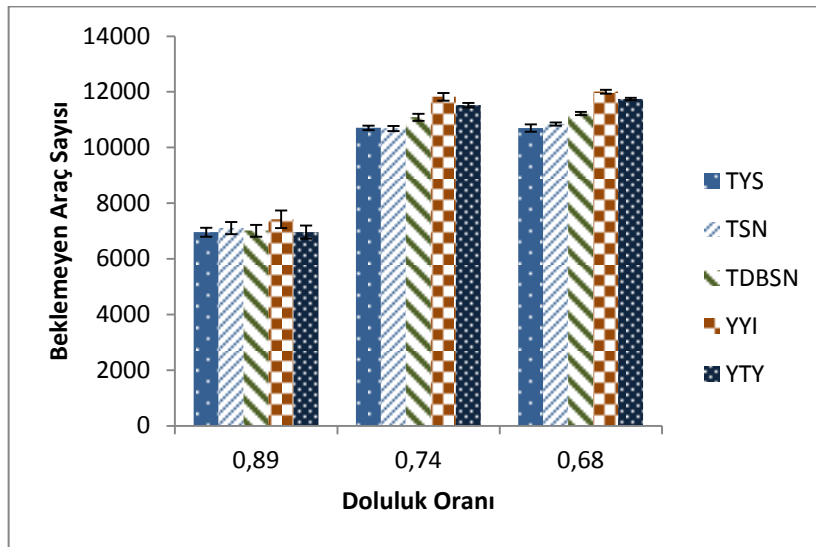
Bonferroni eşitsizliğine göre oluşturulan çizelgelerin %90 güven aralığında olması için her bir karşılaştırmada kullanılan α (tip I hata) değeri 0,01 olarak alınmıştır. Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.10 arasında oluşturulan karşılaştırmalarda bu değer kullanılmıştır. Modellerden alınan sonuçlar ile oluşturulan güven aralıkları, ikili karşılaştırmaların istatistiksel önem hesaba katılarak yapılmasını sağlar. Örneğin 0,89 doluluk oranında araçların sistem içinde geçirdikleri süre üzerinden yapılan karşılaştırmada hiçbir modelin TYS'den daha iyi olmadığı görülmektedir. TYS'ye ait satırdaki değerlerin hiçbirisi tamamen pozitif tarafta değildir. Aynı sonucu doluluk oranında YTY modelinin satırına bakılırsa tüm aralıkların 0'ın sağında olduğu görülmektedir. Bu sonuç YTY'yi kullanan araçların diğer tüm modelleri kullanan

araçlara göre sistemde daha fazla zaman geçirdiği anlamına gelmektedir. YTY ve TYS karşılaştırıldığında TYS modelinde araçlar 6 dakika ile 15 dakika arasında sistemde daha az bulunmaktadır. Buna benzer karşılaştırmalar, diğer sunucu doluluk oranları ile ve beklemeyen araç sayıları üzerinden de yapılabilir. Genel olarak bakıldığında YYI modeli sunucu doluluk oranı azaldıkça TYS modelinden belirgin şekilde daha iyi sonuç vermektedir. Sunucu doluluk oranı arttıkça iki modelden alınan sonuçlar birbirine yaklaşmakta ve ayırım yapılamaz hale gelmektedir.

Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’te yer alan verilerin görsel hali Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Doluluk Oranlarına Göre İstasyon Seçim Modellerinin Araçların Sistem İçinde Geçirdikleri Toplam Süre Üzerinden Karşılaştırması.



Şekil 3.7 : Doluluk Oranlarına Göre İstasyon Seçim Modellerinin İstasyonlarda Beklemeyen Araç Sayıları Üzerinden Karşılaştırması.

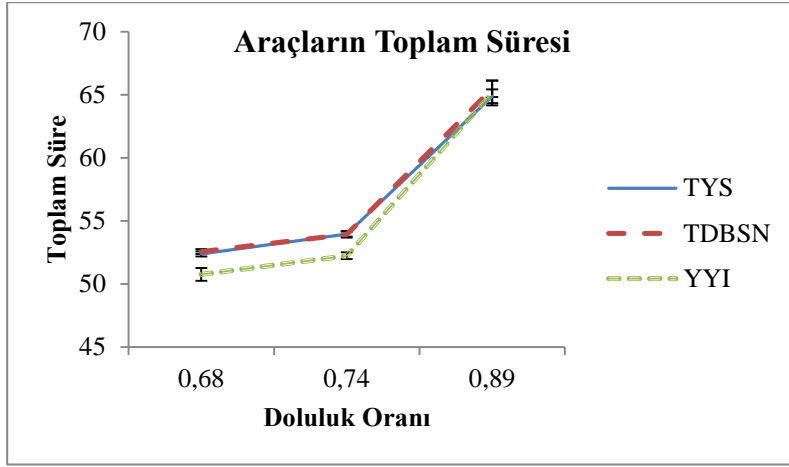
3.5.2. Duyarluluk analizleri

Bu bölümde toplam yolculuk süresi modeli ile geliştirilen yöntemlerden iyi sonuç verenlerin duyarlılık analizleri yapılmıştır. Bu yöntemler Toplam Dolu-Boş Şarj Noktası Modeli (TDBSN) ve Yakın – Yakın İstasyon (YYI) Modelidir. Geliştirilen yöntemlerin hangi şartlar altında performansının yüksek olduğu gözlemlenmeye çalışılmıştır. Farklı sistem parametreleri için farklı sonuçlar üzerinden karşılaştırmalar yapılmıştır.

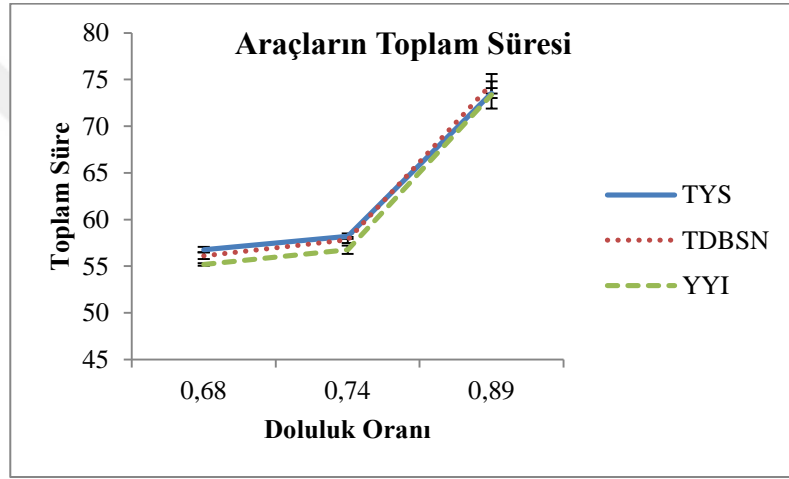
3.5.2.1. Talep artışına ve grid büyüklüğüne göre duyarlılık

Öncelikle araçların 3 farklı boyuttaki sisteme farklı sıklıkta girdikleri durumlar incelenmiştir. Talep artışları sunucu doluluk oranları ile gösterilmiştir. Aynı işlem süresi dağılımına sahip modelde sisteme daha sık araç gelmesi sunucu doluluk oranlarını artırmaktadır. Model parametreleri simülasyonun koşturum süresi haricinde Bölüm 3.4'te bahsedildiği gibidir. Bölüm 3.4'te belirlenen ısınma periyoduna göre simülasyonun 5000 dakikası ısınma periyoduna ayrılmışken toplam süresi 50000 dakika olarak belirlenmiştir. Performans ölçümleri tüm araçların sistem içinde geçirdikleri toplam zaman üzerinden ve istasyonda bekleyen araçların bekleme süreleri üzerinden yapılmıştır. Sırasıyla 15, 20 ve 25 km² büyüklüğündeki alanlar için elde edilen sonuçlar, araçların sistem içinde geçirdikleri toplam süre üzerinden Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Bekleyen araçların istasyonda geçirdikleri bekleme süreleri verileri ise 15, 20 ve 25 km² alanlar için Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'tedir. Elde edilen tüm sonuçlar modelin belirtilen süre boyunca 5 kere çalışmasının ortalaması sonucu elde edilmiştir.

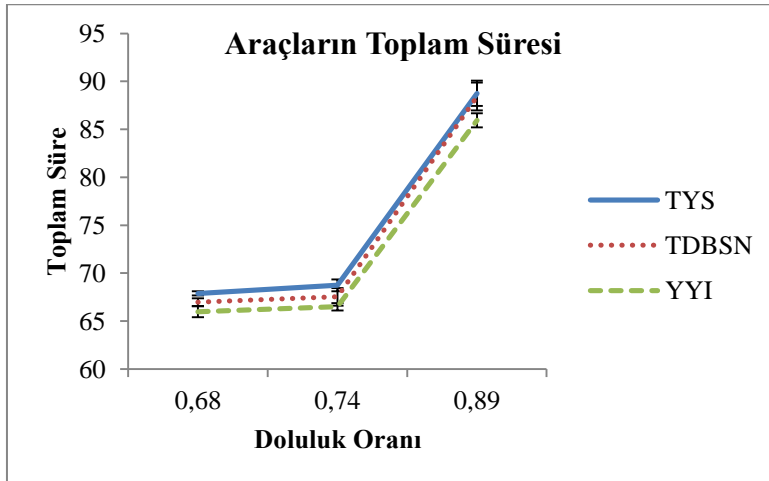
Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 farklı sunucu doluluk oranında belirlenen yöntemlerin performansını araçların sistem içinde harcadıkları toplam sürelerin ortalaması üzerinden karşılaştırmaktadır. 3 şekil sırasıyla model büyüklüğünün 15, 20 ve 25km² olduğu sonuçlardan oluşmaktadır. Tüm şekillerde araçların sisteme daha sık gelmesiyle sunucu doluluk oranlarının yükseldiği ve bu nedenle araçların sistem içinde harcadıkları toplam sürenin arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca araç yoğunluğunun arttığı koşturumlarda çözüm yöntemleri arasındaki farkların ortadan kalktığı da açık bir şekilde görülmektedir. Daha düşük yoğunluklarda özellikle Yakın-Yakın İstasyon Modeli (YYI) diğer yöntemlerden daha iyi sonuç vermektedir.



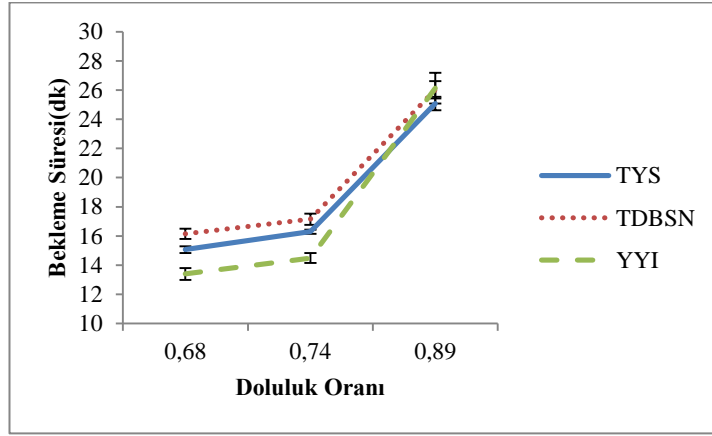
Şekil 3.8 : 15km² Alanda Yöntemlerin Toplam Süre Üzerinden Karşılaştırması.



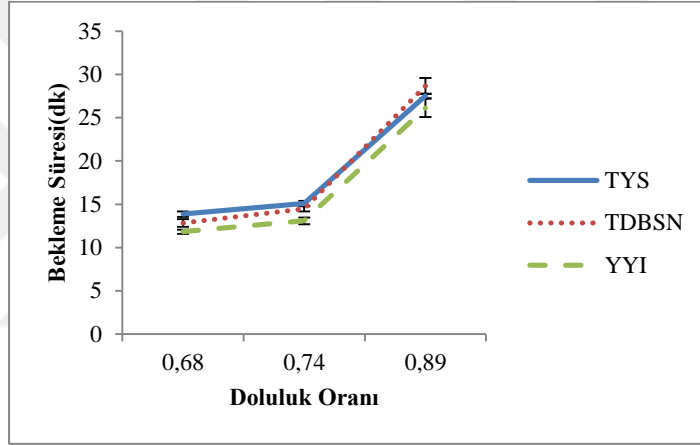
Şekil 3.9 : 20km² Alanda Yöntemlerin Toplam Süre Üzerinden Karşılaştırması.



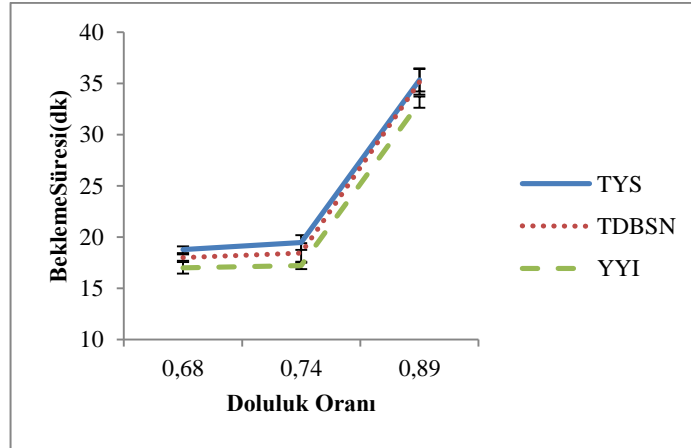
Şekil 3.10 : 25km² Alanda Yöntemlerin Toplam Süre Üzerinden Karşılaştırması.



Şekil 3.11 : 15km² Alanda Yöntemlerin Bekleyen Araçların Bekleme Süresi Üzerinden Karşılaştırması.



Şekil 3.12 : 20km² Alanda Yöntemlerin Bekleyen Araçların Bekleme Süresi Üzerinden Karşılaştırması.



Şekil 3.13 : 25km² Alanda Yöntemlerin Bekleyen Araçların Bekleme Süresi Üzerinden Karşılaştırması.

Modellerin performans karşılaştırmasında kullanılan bir başka ölçüt de istasyon içerisinde bekleyen araçların bekleme süreleri ortalamalarıdır. Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13 önceki karşılaştırmada olduğu gibi Toplam Yolculuk Süresi Modeli, Toplam Dolu-Boş Şarj Noktası Modeli ve Yakın-Yakın İstasyon Modelinin sonuçlarını karşılaştırmaktadır. Araçların sisteme daha sık girdikleri durumlarda sunucu doluluk oranları artmakta ve bu da bekleyen araçların bekleme sürelerinin artmasına dolayısıyla araçların sistem içerisinde geçirdikleri toplam sürenin artmasına sebep olmaktadır. Bu sonuç karşılaştırmalarda net bir şekilde görülmektedir. Modeldeki alan büyüklüğünün artması da mesafelerin ve dolayısıyla araçların yolda geçirdikleri sürenin artmasına ve kendilerine verilen bilginin zamanla doğruluğunu kaybetmesine neden olmaktadır. Bu nedenle önceki karşılaştırmalarda da görüldüğü üzere, aynı sunucu doluluk oranına sahip koştuurumlarda model boyutu büyük olanlarda araçların sistem içerisinde geçirdikleri toplam süre ve bekleyen araçların bekleme süreleri küçük modellere göre daha fazladır. Bunlar modelin doğal sonuçlarıdır. Yöntemler karşılaştırıldığında ise sunucu doluluk oranlarının artması modeller arasındaki farkın kapanmasına yol açmaktadır. Daha düşük yoğunluktaki koştuurumlarda modeller arasındaki farklar daha net görülebilmektedir. Düşük yoğunluktaki koştuurumlarda karşılaştırılan modellerin literatürde var olan Toplam Yolculuk Süresi Modelinden kötü olmadığı sonucuna varılabilmektedir. Özellikle alan büyüklüğünün küçük olduğu 15km² koştuurumlarında yakın yakın istasyon (YYİ) modelinin daha iyi sonuçlar aldığı görülmektedir. İstasyon seçim anında kullanılan bilgiler, seçilen istasyon yakın olduğunda, araç istasyona vardığı zaman dahi geçerliliğini korumaya devam edebilmektedir. Bu sebeple YYİ modeli kısa mesafelerde daha iyi sonuçlar sunabilmektedir.

3.5.2.2. Hesaplama zaman aralıklarına duyarlılık

Bu bölümden önce istasyonlar her dakikada kendilerinin tahmini bekleme sürelerini hesaplayıp ortak alana göndermişlerdir. Gönderim sıklığının artması veya azalmasının getireceği performans farkları da incelenmek istenmiştir. Model büyüklüğünün 20km² olduğu durumda Toplam Yolculuk Süresi Modeli ve Yakın-Yakın İstasyon Modeli için karşılaştırmalar yapılmıştır. Model parametreleri simülasyonun koştuurum süresi haricinde Bölüm 3.4'te bahsedildiği gibidir. Bölüm 3.4'e göre simülasyonun 5000 dakikası ısınma periyoduna ayrılmışken toplam süresi 50000 dakika olarak belirlenmiştir. Çizelgelerin sütunlarında hesaplamaların

yapıldığı sıklık bilgileri, satırlarda ise hangi yöntemin kullanıldığı bilgisi yer almaktadır. Sonuçlar araçların istasyonda geçirdikleri bekleme süreleridir. Bu sonuçlar simülasyonun 5 tekrar çalıştırılması sonucu elde edilmiştir. Çizelge 3.11 doluluk oranının 0,68 olduğu durumu gösterirken Çizelge 3.12 doluluk oranının 0,89 olduğu durumdur.

Çizelge 3.11 : Farklı Bilgi Yayınlanma Sıklıklarında Seçim Modeli Performansları.

Yöntem/Doluluk:0,68 Bekleme Süresi(dk)	0,5 Dakika	1 Dakika	5 Dakika
TYS	[5,14 5,94]	[5,30 5,60]	[6,61 6,85]
YYİ	[3,60 4,12]	[3,93 4,15]	[4,47 4,99]

Çizelge 3.12 : Farklı Bilgi Yayınlanma Sıklıklarında Seçim Modeli Performansları.

Yöntem/Doluluk:0,89 Bekleme Süresi(dk)	0,5 Dakika	1 Dakika	5 Dakika
TYS	[17,85 19,25]	[18,60 20,17]	[23,34 25,14]
YYİ	[19,05 21,49]	[18,29 21,87]	[23,92 27,84]

Her iki çizelgedeki sonuçlar incelendiğinde, istasyonların hesaplamaları arası geçen süre 5 dakika olduğunda, araçların en fazla bekleme süresine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum hesaplanan bekleme süresinin zaman içinde geçerliliğini kaybetmesinden kaynaklanmaktadır. Geçerli olmayan bilgi ile yönlendirilen araçlar gittikleri istasyonda kendilerine ilan edilenden daha fazla bekleme süresine katlanmaktadır.

Algoritma 3.1’de her istasyon için hesaplanan s_{tot}^+ ve s_{tot}^- değerleri için “x” değerine ihtiyaç vardır. Bu değer parametre olup koşturum başında modele girilmiştir. Farklı x değerleri yakın istasyon sayısında farklılıklara yol açacağı için duyarlılık analizi yapılmıştır. YYİ modeli analizin yapılacağı çözüm yöntemi olup toplam doluluk oranının 0,89 olduğu durum incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.13’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.13 : Farklı X Değerleri İçin Seçim Modeli Performansları.(Doluluk:0.89)

Süre/x	x=3	x=5	x=7
Toplam Süre(dk)	[74,61 79,71]	[72,52 76,26]	[72,88 74,90]
Bekleme Süresi(dk)	[20,35 25,21]	[18,29 21,87]	[18,51 20,37]

Çizelge 3.13’e göre “x” değerinin 1’e yaklaşması araçların kuyrukta buldukları süreyi dolayısıyla da sistem içinde geçirdikleri toplam süreyi artırmaktadır. Aynı zamanda elde edilen sonuçların aralıkları da x değerinin 1’e yaklaşmasında genişlemektedir. Bu değer küçülmesi seçilebilecek istasyon sayısını azaltmakta bu

sebeple de aracın sistem içinde daha az bulunarak işlem alacağı bir seçeneğin göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Koşturumlarda kullanılan 5 değeri ile 7 değeri ortalama değerlere bakıldığında çakışmaktadır. X değerine karar verebilmek için araçların toplam yolculuk süreleri de incelenmiştir. Değerler Çizelge 3.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.14 : X'in 5 ve 7 Değerleri İçin Araçların Yolda Geçirdikleri Zamanlar

Süre/x	x=5	x=7
Kuyrukta Bekleyen Araçlar için Yolda Geçirdikleri Zaman(dk)	[30,62 30,90]	[30,74 31,07]
Kuyrukta Beklemeyen Araçlar için Yolda Geçirdikleri Zaman (dk)	[27,63 27,81]	[27,74 27,90]

Çizelge 3.14'e göre farklı x değerleri için sistemde bekleyen ve beklemeyen araçların yolda geçirdikleri süreler birbirine çok yakındır. Pratik açıdan fark olmayacak kadar yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ancak x'in 5 değeri ile kuyrukta beklemeyen araçların yolda geçirdikleri sürenin 7 ile elde edilen değerden daha düşük çıkması ile koşturumlar x'in 5 değerine göre alınmıştır.

4. EKSPRES ŞARJ İSTASYONU YÖNETİMİ – DİNAMİK KUYRUK SIRALAMA METODU

Dinamik kuyruk sıralama ile ekspres şarj istasyonu yönetimi metodu istasyonlarda şarj için bekleyen araç kuyruğunu belirli zamanlarda belirlenen kurala göre tekrar sıralar ve kısa süre şarj olmak isteyen araçların kuyrukta daha az beklemelemlerini sağlar. Geliştirilen yöntemin literatürde incelenen örneklerden (Peng vd. (2012), Wei vd. (2016)) en önemli farkı sürücü tarafından bildirilen bir termin bilgisine ihtiyaç duymamasıdır.

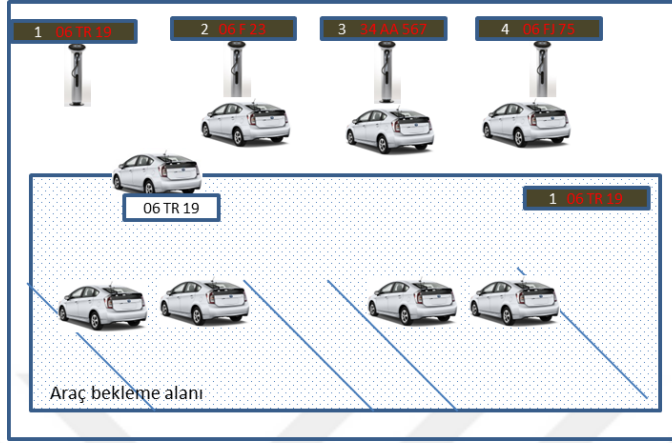
Bölüm 4.1’de geliştirilen ekspres şarj istasyonu yönetim modellerinin tümü için geçerli olan Ekspres Şarj İstasyonu çalışma mantığı anlatılmaktadır. Bu bölümün devamında ise dinamik kuyruk sıralama metodu incelenmektedir. Bölüm 4.2’de dinamik kuyruk sıralama yöntemi, Bölüm 4.3 ve 4.4’te yöntemin tek istasyonda çalışmasını incelemek için kurulan simülasyon modeli ve analiz sonuçları, Bölüm 4.5 ve 4.6’da ise birden fazla şarj istasyonu arasından seçim yapılabildiği senaryoda kullanılan model ve analiz sonuçları anlatılmaktadır.

4.1 Ekspres Şarj İstasyonu İşleyişi ve Yönetimi

Çalışma kapsamında şarja ihtiyaç duyan elektrikli araçlardan bir bölümünün sistemde daha az beklemelemlerini sağlayacak ekspres şarj istasyonu kuyruk ve kaynak kontrol yöntemleri (ilerleyen bölümlerde kısaca ekspres şarj yöntemleri olarak bahsedilmiştir) geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemlerin performansının ölçülebilmesi için de simülasyon modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller için araçların merkezi sisteme kendileri hakkında bilgi vermeden dağıtık olarak istasyon seçim kararını verdikleri bir ortam hazırlanmış ve ekspres şarj yöntemleri istasyonlara entegre edilerek rekabet ortamındaki performansları test edilmiştir.

Bölüm 4 ve Bölüm 5’te tercih eden araçların daha az beklemelemleri sağlanarak 2 farklı ekspres şarj yöntemi geliştirilmiştir. Ekspres şarj yöntemlerinin çalışması için önerilen istasyon düzeni Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Şarj noktalarının üzerinde de günümüz banka sıra uygulamalarında kullanılan ışıklı tabelalar bulunmaktadır. Bu

tabelalarda ilgili şarj noktasının numarası ve ilgili noktaya beklenen veya ilgili noktada şarj olan aracın trafik plaka numarası yazmaktadır. Araç, bekleme bölgesinde kendi plakası bir şarj noktasında ilan edildiği zaman ilan edilen noktaya giderek şarj işlemine başlar.



Şekil 4.1 : Ekspres Şarj İstasyonları İçin Yerleşim Tasarımı.

Bu bölümde ekspres şarj için geliştirilen ilk yöntem olan kuyruktaki araçların dinamik olarak sıralanması yöntemi kullanılacaktır. Bölüm 5'te ise farklı sınıflardaki araçlara hizmet veren farklı tip şarj noktalarının sayısını dinamik olarak değiştiren ve sistemin kendi kendine kontrolünü sağlayan açık çevrim kontrol temelli bir yöntem ele alınacaktır. Bu bölümde anlatılan dinamik kuyruk sıralama yöntemi araçların sıralamasını dinamik olarak, beklenen süre ve ihtiyaç duyulan şarj süresine göre yapmaktadır. Bölüm 5'te geliştirilen açık çevrim yöntemi ise kısa süre şarj olmak isteyen araçların yanı sıra sistemde daha az beklemek istedikleri için daha fazla ücret ödeyen veya VIP karta sahip müşteri sınıflarına verilen hizmetin de ayrıştırılmasına yardımcı niteliktedir.

4.2 Yöntem

Dinamik kuyruk sıralama yöntemi, istasyon içerisinde bekleyen araçların sıralarının belirli zamanlarda her araç için hesaplanan öncelik değerlerine göre yeniden karar verilmesidir. Bu sayede hem kısa süreli şarj olmak isteyen araçların sistemden çabuk çıkmaları sağlanacak hem de uzun süreli şarj olacak araçların sistemde gereğinden fazla beklemelerinin önüne geçilecektir. Sistemin adımları araçlar ve istasyon için aşağıdaki gibidir:

Araç:

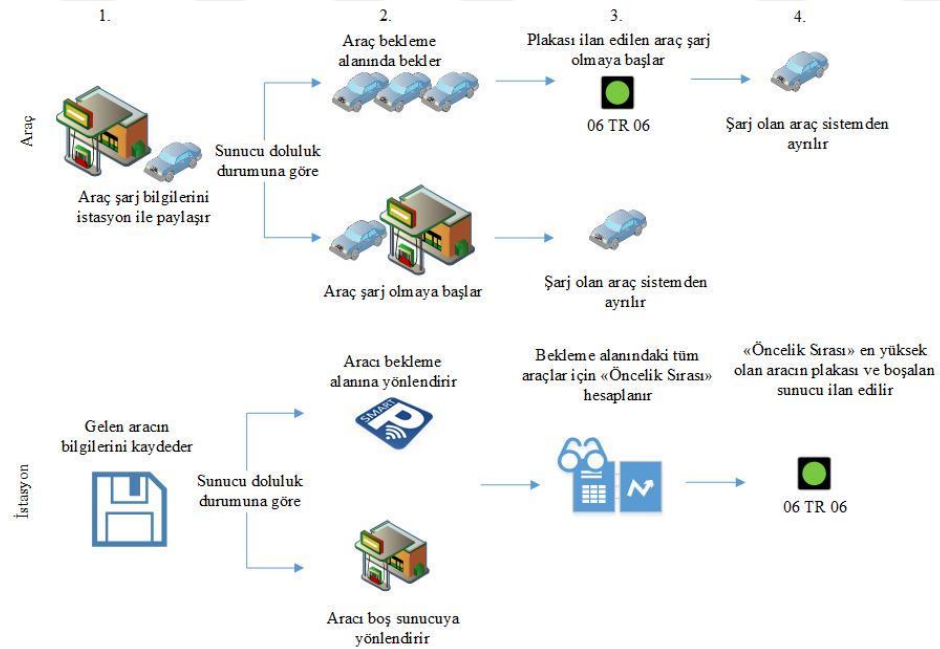
1. İstasyona gelen araç ihtiyacı olan şarj süresini istasyona bildirir.
2. Araç, o anda boşta şarj noktası varsa boş olan şarj noktasına yönlendirilir. Boş şarj noktası yoksa bekleme alanında beklemeye başlar.
3. Araç, ışıklı şarj noktası no-plaka tabelasını takip eder. Kendi plakası ilan edildiğinde belirtilen şarj noktasına geçerek şarja başlar.

İstasyon:

1. Gelen araçların plakası, geliş zamanı ve talep ettikleri şarj miktarını kaydeder.
2. Boş şarj noktası varsa gelen aracı boş şarj noktasına yönlendirir.
3. Boş şarj noktası yoksa gelen aracı bekleme alanına yönlendirir.

Her şarj noktası boşaldığında bekleme alanındaki tüm araçlar için “öncelik sırası” hesaplar. İstasyon ışıklı tabelada “öncelik sırası” en yüksek olan aracın plakasını ve boşalan şarj noktasının numarasını ilan eder.

Oluşturulan sistemin adımlarının görsel anlatımı Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Ekspres Şarj İstasyonları İçin Akış Şeması.

Bu yöntemde “öncelik sırası” CPU çizelgeleme alanı için geliştirilmiş yanıt süresi oranı en yüksek olana göre sıralama (highest response rate next-HRRN) kuralı ile

hesaplanmıştır (Eşitlik (4.1)). Bu kurala göre kuyrukta bulunan her aracın önceliği aracın hesaplama yapılan zamana kadar geçirdiği bekleme süresi (s_{bek}) ile talep ettiği şarj süresi ($s_{şarj}$) toplamının şarj süresine bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Araçlar “öncelik” değerlerine göre yüksekten düşüğe doğru sıralanmaktadır. Sıralama işlemi, her pompa boşalığında tekrar yapılmakta ve en yüksek öncelik değerine sahip olan araç boşalan pompaya yönlendirilmektedir.

$$\text{öncelik} = (s_{bek} + s_{şarj}) / (s_{şarj}) \quad (4.1)$$

Bu sıralama yöntemi öncelik belirlerken hem hali hazırda beklenmiş olunan süre miktarını hem de kaynağı kullanma süresinin uzunluğunu göz önünde bulundurmaktadır. Bu yöntem sayesinde kısa süreli işlere öncelik verilip uzun süreli işlerin sürekli beklemelerinin önüne geçilmektedir.

İstasyonlarda sunucuların her boşalığında kullanılan bu yöntem çok sayıda istasyonun bulunduğu çoklu istasyon sisteminde her istasyon için ilan edilen bekleme süreleri hesaplanırken de kullanılmaktadır. İstasyonlar, araçların seçim yapmasına yardımcı olmak için kendilerine şu anda gelebilecek düşük süreli şarj ihtiyacı ve yüksek süreli şarj ihtiyacı iki araç tipi için geçerli olmak üzere iki adet bekleme süresi ilan ederler. Bu sürelerin hesaplanması için belirlenen aralıklarla her iki araç tipi için de dinamik kuyruk yönetimine uygun olarak gelecek olay listeleme metodu çalıştırılmaktadır. Hesap anında sisteme önce kısa süreli şarj olacak bir araç varsayılan talep süresi ile hayali olarak girer. Sistem dinamik kuyruk ve gelecek olay listeleme metodu kullanılarak ilerletilir ve hayali aracın sistemde kaç dakika bekleyeceği hesaplanır. Aynı işlemler o anda sisteme uzun süreli şarj olacak bir aracın gireceği durum için de yapılır. Hesaplanan veriler sisteme ilan edilerek araçların istasyon seçiminde kullanılır.

Yöntemin performansını ölçmek için araçlar kısa ve uzun şarj olarak iki sınıfta değerlendirilmektedir. Talep edilen şarj süresi sisteme parametre olarak verilen değer ortalamasının altında olanlar kısa şarj(ekspres), ortalamanın üzerinde olanlar ise uzun şarj(normal) sınıfında yer almaktadır. Araçların ortalama bekleme süreleri üç farklı sistem için karşılaştırılmaktadır. Bunlar, yöntemin kullanılmadığı FIFO kuyruk, ekspres şarj için sabit sayıda şarj noktasının ayrıldığı standart ekspres şarj ve işlem süresi en kısa olanın ilk önce hizmet almaya başladığı(SPT) kuyruk yönetim

sistemidir. Geliştirilen yöntem önce tek istasyona sahip model üzerinde çalıştırılmış, ardından da çoklu istasyon ortamı oluşturulmuştur. Sonuçlar önce tek istasyon için incelenmiş ardından çoklu istasyon ortamındaki performansı incelenmiştir.

4.3 Tekli İstasyon Simülasyon Modeli

Dinamik kuyruk sıralama yöntemi ilk olarak tek istasyonlu simülasyon modeli üzerinde test edilmiştir. Kurulan modelin istasyonunda toplamda 6 adet özdeş sunucu bulunmaktadır. Sunucular için sınıf ayrımı bulunmamaktadır. Müşteriler ise sadece yöntemin performansını ölçmek için ikiye ayrılmaktadır. İşlem süresi sisteme gelen araçların ortalama işlem süresinden az olanlar kısa şarj (ekspres), ortalamanın üzerinde olanlar uzun şarj (normal) sınıfındadır. Araçların sisteme girişleri arasında geçen süreler belirlenen dağılıma göre rastgele olarak belirlenmektedir. Araçların istasyondan talep edecekleri şarj süreleri de belirlenen dağılıma uygun olarak rastgele biçimde verilmektedir. Tekli istasyon modelinde araçlar yolda vakit geçirmeden oluşturuldukları anda istasyona giriş yapmaktadırlar. İstasyona giriş yapan aracın giriş saati ve aracın talep ettiği şarj süresi istasyon tarafından kaydedilmektedir. İstasyonda boşta sunucu olması durumunda araç boş sunucuya yönlendirilirken sunucuların tamamının dolu olması durumunda ise bekleme alanına yönlendirilmektedir. İşlemi biten her aracın ardından bekleme alanındaki tüm araçlar için öncelik değeri hesaplanmaktadır. Öncelik hesaplanırken ilk olarak, aracın hesaplama anına kadar istasyonda geçirdiği bekleme süresi bulunur(s_{bek}). Daha sonra hesaplanan değer üzerine aracın talep ettiği şarj süresi eklenir($s_{şarj}$). Son olarak elde edilen toplam, aracın talep ettiği şarj süresine bölünür ve öncelik değeri hesaplanır (Eşitlik (4.1)). Bekleme alanında en yüksek öncelik değerine sahip olan araç ilan edilir ve boşalan sunucuya yönlendirilir. Aracın dolum işlemine başlanır. İşlemi biten araç sunucuyu terk ettiği sırada eğer bekleme alanında bir araç yoksa öncelik değeri hesaplanmaz ve araç istasyonu terk eder. Sunucu bu sırada boş kalır. Dinamik kuyruk sıralama metodunun Arena üzerindeki uygulaması Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Modelin parametreleri: araçların sisteme gelme sıklığı ve istasyondan talep ettikleri şarj miktarlarıdır.

edilmiştir. Böylece, geliştirilen modelin doğrulama aşaması tamamlanmıştır. Geçerlilik aşamasında ise, modele önceden belirlenen sabit sayıda ve belirlenen özellikte araçlar gönderilmiştir. Araçların her adımı el ile kontrol edilmiş, modelin hesapladığı öncelik değerleri karşılaştırılmıştır. Bu sayede hangi aracın önce işleme gireceği kontrol edilmiş ve bir tutarsızlık gözlemlenmemiştir. Bu sayede incelenen model için geçerlilik aşaması da tamamlanmıştır.

4.4 Tekli İstasyon Modeli Analizi

Bu bölümde tek istasyon ile çalıştırılan model için sonuçlar incelenmiş, diğer modeller ile karşılaştırılmış ve duyarlılık analizleri yapılmıştır.

4.4.1 Tekli istasyon için sonuçlar

Geliştirilen dinamik kuyruk sıralama yöntemi FIFO kuyruk yöntemi ile, standart ekspres sunucu (Said vd. 2014) yöntemi (ekspres şarj için ayrılan sunucu sayısının sabit olduğu ve sadece ekspres sınıfına dahil talepleri karşıladığı yöntem) ve SPT kuyruk yöntemi (servis süresi en az olanın ilk önce servis aldığı yöntem) ile karşılaştırılmıştır. Bu bölümdeki tüm karşılaştırmalarda istasyonda bulunan sunucu sayısı 6'dır. Karşılaştırma yapılırken araçların istasyon içerisindeki bekleme süreleri esas alınmıştır. Performans ölçümünün sağlıklı bir biçimde yapılabilmesi için araçlar ekspres ve normal şarj olmak üzere iki sınıfta incelenmiştir. İlgili koşturumun şarj ihtiyacı dağılımına göre ortalamanın altında olanlar ekspres şarj, üstünde olanlar normal sınıfta yer almıştır.

4.4.1.1 Dinamik kuyruk sıralama yöntemi ve FIFO kuyruk yönetimi karşılaştırması

Çizelge 4.1'de dinamik kuyruk sıralama yöntemi ile FIFO kuyruk modelindeki araçların bekleme süreleri karşılaştırılmaktadır. Her iki modelde de araçlar arası varış zamanı EXPO(3,5) dakika dağılımına uygun olarak alınmıştır. Aynı zamanda araçların ihtiyaç duyduğu şarj süreleri de farklı koşturumlarda TRIA(10,15,30) ve TRIA(10,20,30) dakika dağılımına uygundur. Çizelge 4.1'de her iki modelin de 10000 saat çalıştığı sonuçlar %95 güven aralıkları oluşturularak gösterilmektedir. Ortalama bekleme süreleri sütunu altında bulunan ilk satır sınıf ayrımı yapmaksızın tüm araçların bekleme süreleri ortalamasını göstermektedir. Ekspres sınıf araçlar

servis süresi TRIA(10,15,30) dakika olan koşturum için ortalama değer olan 18'den az servis süresi olan araçları, servis süresi 18'den büyük olanlar normal sınıf araçları göstermektedir. Servis süresi TRIA(10,20,30) dakika olan koşturumda ise araçların sınıf ayrımı 20 dakikadan yapılmaktadır. Bu durumda tüm koşturumlarda araçların yarısı ekspres sınıfta iken diğer yarısı normal sınıfta değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.1 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Sonuçları.

EXPO(3,5)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk	FIFO
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[8,29 9,53]	[8,76 9,24]
	Ekspres Araçlar	[7,10 8,14]	[8,77 9,21]
	Normal Araçlar	[9,60 11,00]	[8,72 9,28]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[26,43 40,95]	[30,12 32,48]
	Ekspres Araçlar	[22,49 34,49]	[30,12 32,48]
	Normal Araçlar	[30,43 47,37]	[30,10 32,48]

Tüm araçların ortalama bekleme süreleri ve sınıf ayrımı yapılarak elde edilen bekleme süreleri karşılaştırıldığında iki modelden birinin daha iyi olduğu söylenemez. Dinamik kuyruk araçların ihtiyaç duyduğu şarj süreleri dağılımının TRIA(10,15,30) dakika olduğu durumda ekspres araçlar için FIFO kuyruk yöntemine sahip olan modelden yaklaşık olarak 1 dakika daha hızlı hizmet verirken normal sınıf araçlar için bu sonuca varmak mümkün değildir. Sonuçların aralık değerleri iç içe geçmiş durumdadır. Ancak Çizelge 4.1'e göre araçların ihtiyaç duyduğu şarj süresi ortalaması yükseldikçe dinamik kuyruk sıralama yönteminin FIFO kuyruk yöntemine göre daha fazla sapmaya sahip olduğu söylenebilir. Bu durumu matematiksel olarak incelemek için araçların ortalama bekleme süreleri üzerinden bağımlı örneklem t testi (paired t-test) uygulanmıştır. Çizelge 4.2'de varışlar arası sürenin EXPO(3,5) dakika, servis sürelerinin TRIA(10,15,30) ve TRIA(10,20,30) dakika dağılımına uygun, sunucu doluluk oranının da araçların servis süresi dağılımına bağılı olarak sırasıyla %87 ve %95 olduğu durumlarda Dinamik kuyruk modeli ve FIFO modeli performans karşılaştırması bağımsız örneklem t-testi kullanılarak incelenmiştir. Farklı işlem sürelerine göre dinamik kuyruk modelinden ve FIFO kuyruk modelinden elde edilen çıktılar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken farklı modellerdeki aynı araç gruplarının süreleri esas alınmıştır.

Çizelge 4.2 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Modelleri Bekleme Süresi Farkı – (Varışlar arası süre ortalama 3,5 dakika (üssel)).

EXPO(3,5)		FIFO Kuyruk Tüm Araçlar	FIFO Kuyruk Ekspres Araçlar	FIFO Kuyruk Normal Araçlar
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Dinamik Kuyruk Tüm Araçlar	[-0,96 0,45]		
	Dinamik Kuyruk Ekspres Araçlar		[-2,09 -0,95]	
	Dinamik Kuyruk Normal Araçlar			[0,24 1,99]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Dinamik Kuyruk Tüm Araçlar	[-5,09 9,89]		
	Dinamik Kuyruk Ekspres Araçlar		[-10,19 8,15]	
	Dinamik Kuyruk Normal Araçlar			[-1,02 16,28]

Çizelge 4.2'ye göre servis süresinin TRIA(10,15,30) dakika dağılımına uygun olduğu durumda hesaplanan aralık değerinin sıfırı içerdiğinden dolayı tüm araçların ortalama bekleme süreleri için dinamik kuyruk modeli ve FIFO kuyruk modeli arasında bir fark olduğu söylenemez. Aynı dağılıma ait sonuçlardan ekspres araçların bekleme süreleri karşılaştırıldığında aralık değerlerinin sıfırı içermediği ve sayı değerine göre eksi tarafta olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre dinamik kuyruk modelinin ilgili dağılım parametresinde ekspres araçların FIFO kuyruk modeline göre sistemde yaklaşık olarak 1 ve 2 dakika arasında daha az zaman harcadığı sonucuna ulaşılabilir. İlgili servis süresi dağılımında normal araçların karşılaştırılması incelendiğinde ise aralık değerinin sıfırı içermediği ve sayı değerine göre pozitif tarafta olduğu görülmektedir. Normal araçlar FIFO kuyruk modelinde yaklaşık olarak 0,25 dakika ile 2 dakika arasında daha az beklemektedir. Servis sürelerinin TRIA(10,20,30) dakika dağılımına uygun olduğu durumda elde edilen sonuçlarda ise tüm aralık değerlerinin sıfırı içerdiği görülmektedir. Sonuç olarak ilgili parametre değerinde üstün olan bir yöntem bulunmamaktadır. Bu karşılaştırma araçlar arası varışların farklı olduğu durumlar için de yapılmıştır. Güven aralıkları Çizelge 4.3 ve 4.5 de, farkların güven aralığını gösteren bağımsız örneklem t testi sonuçları Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 araçlar arası varışların EXPO(3,75) dakika dağılımına uygun olduğu sonuçları göstermektedir. Bu koşullarda ortalama sonucu doluluk oranı araçların servis sürelerine bağlı olarak sırasıyla %81 ve %88'dir.

Çizelge 4.3 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 3,75 dakika (üssel)).

EXPO(3,75)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk	FIFO
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[4,79 5,17]	[5,00 5,22]
	Ekspres Araçlar	[4,19 4,49]	[5,01 5,21]
	Normal Araçlar	[5,45 5,91]	[4,99 5,25]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[10,70 11,76]	[10,79 12,39]
	Ekspres Araçlar	[9,27 10,15]	[10,81 12,35]
	Normal Araçlar	[12,12 13,37]	[10,77 12,41]

Çizelge 4.4 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Modelleri Bekleme Süresi Farkı – (Varışlar arası süre ortalama 3,75 dakika (üssel)).

EXPO(3,75)		FIFO Kuyruk Tüm Araçlar	FIFO Kuyruk Ekspres Araçlar	FIFO Kuyruk Normal Araçlar
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Dinamik Kuyruk Tüm Araçlar	[-0,32 0,06]		
	Dinamik Kuyruk Ekspres Araçlar		[-0,90 -0,63]	
	Dinamik Kuyruk Normal Araçlar			[0,30 0,82]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Dinamik Kuyruk Tüm Araçlar	[-0,76 0,03]		
	Dinamik Kuyruk Ekspres Araçlar		[-2,28 -1,45]	
	Dinamik Kuyruk Normal Araçlar			[0,78 1,51]

Çizelge 4.5 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel)).

EXPO(4,00)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk	FIFO
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[3,02 3,28]	[3,17 3,33]
	Ekspres Araçlar	[2,69 2,89]	[3,17 3,31]
	Normal Araçlar	[3,37 3,69]	[3,15 3,35]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[6,02 6,52]	[6,27 6,77]
	Ekspres Araçlar	[5,33 5,73]	[6,26 6,72]
	Normal Araçlar	[6,73 7,31]	[6,27 6,79]

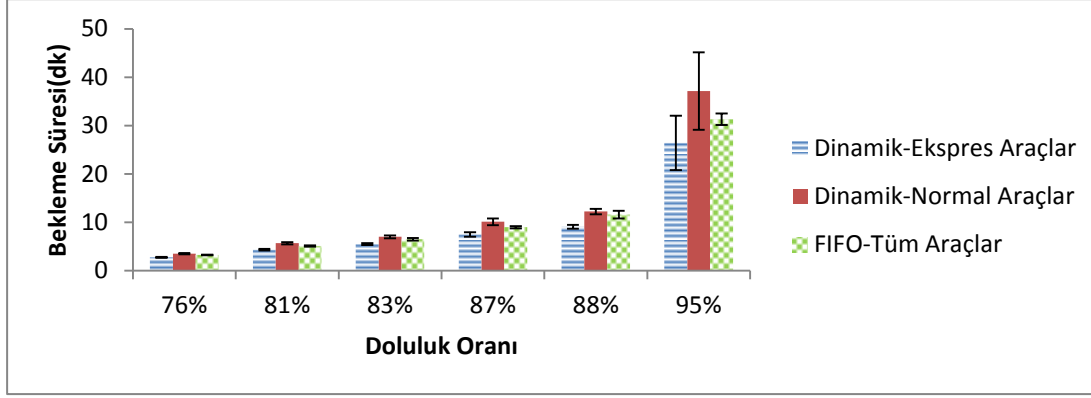
Çizelge 4.3'te servis süresinin TRIA(10,15,30) dakika olduğu koşturumda ekspres araçların yaklaşık olarak 1 dakika sistemde daha az bulunduğu, servis süresinin TRIA(10,20,30) olduğu durumda bu farkın 1,5 dakika civarında olduğu gözlemlenmektedir. Normal sınıf araçlar karşılaştırıldığında ise FIFO kuyruk yöntemi 1 dakika ile 1,5 dakika kadar daha iyi sonuç vermektedir. Çizelge 4.4'teki t testi sonuçları da Çizelge 4.3'te yapılan çıkarımları doğrular niteliktedir.

Çizelge 4.6 : Dinamik Kuyruk ve FIFO Modelleri Bekleme Süresi Farkı – (Varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel)).

EXPO(4,00)		FIFO Kuyruk Tüm Araçlar	FIFO Kuyruk Ekspres Araçlar	FIFO Kuyruk Normal Araçlar
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Dinamik Kuyruk Tüm Araçlar	[-0,22 0,03]		
	Dinamik Kuyruk Ekspres Araçlar		[-0,56 -0,32]	
	Dinamik Kuyruk Normal Araçlar			[0,12 0,43]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Dinamik Kuyruk Tüm Araçlar	[-0,70 0,22]		
	Dinamik Kuyruk Ekspres Araçlar		[-1,36 -0,55]	
	Dinamik Kuyruk Normal Araçlar			[-0,03 1,01]

Araçlar arası varışların EXPO(4,00) dakika dağılımına uygun olduğu sonuçlar ise Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da verilmektedir. Bu koşullarda ortalama sunucu doluluk oranı araçların servis sürelerine bağlı olarak sırasıyla %76 ve %83'tür. Ekspres araçların önceki sonuçlarda olduğu gibi dinamik kuyruk modelinde yaklaşık olarak 1,5 dakika ile 0,5 dakika kadar daha az zaman harcamaktadır. Servis süresinin TRIA(10,15,30) dakika dağılımı olduğu durumda normal sınıf araçlar FIFO kuyruk yönetiminde yaklaşık olarak yarım dakika daha çabuk sistemi terk ederken servis süresinin TRIA(10,20,30) dakika dağılımına uyduğu durumda t testi sonuçlarına göre aralık değeri sıfırı içerdiğinden iki sistem arasında matematiksel bir fark bulunmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Şekil 4.5 dinamik kuyruk yöntemini kullanan araçların sınıf ayrımı yapılarak sistem içinde geçirdikleri bekleme sürelerini görsel olarak ifade etmektedir. Yatay eksen farklı varışlar arası zaman ve araçların servis süresi dağılımına bağlı olarak ortaya çıkan sunucu doluluk oranıdır. Düşey eksen ise dakika cinsinden bekleme süresidir. Bu grafiğe göre doluluk oranının %95 seviyesinde olduğu durumda dinamik kuyruğu kullanan ekspres sınıf araçlar ile FIFO kuyruk yönetimine sahip araçlar arasında yarım aralık değerleri de göz önünde bulundurulduğunda istatistiksel olarak bir fark olmadığı görülmektedir. Sunucu doluluk oranının yüksek olması dinamik kuyruk yönteminin işlevselliğini ortadan kaldırmaktadır. Benzer bir yorum sunucu doluluk oranlarının çok düşük seviyelerde olduğu durumlar için de yapılabilir. Araçlar sistem içinde daha az kuyruk oluşturdukça dinamik sıralama algoritması daha az çalışacak ve sınıf ayrımı ortadan kalkacaktır.



Şekil 4.5 : Doluluk Oranlarına Göre Dinamik Kuyruk Yöntemini Kullanan Araçların Bekleme Süresi Sonuçları.

4.4.1.2 Dinamik kuyruk sıralama yöntemi ve standart ekspres sunucu karşılaştırması

Dinamik kuyruk sıralama yöntemi modeli standart ekspres model ile de karşılaştırılmıştır. Standart ekspres modelde sabit sayıda yüksek ve düşük öncelik düzeyine sahip sunucular bulunmaktadır. Servis süresi, araçların ortalama işlem süresine göre ortalamanın altında kalanların her iki öncelik düzeyine ait sunucularda işlem görebildiği, ortalamanın üstünde kalan araçların ise sadece düşük öncelik düzeyine sahip sunucularda işlem görebildiği durumlarda incelenmiştir. Sonuçlar tüm modellerin 10000 saat çalıştırılması sonucunda elde edilmiştir. Standart ekspres model toplam 6 adet sunucu içinde, 1 adet yüksek önceliğe sahip sunucu (1YÖ) ve 2 adet yüksek önceliğe sahip sunucu olduğu (2YÖ) durumlarda çalıştırılmıştır. Sonuçlar araçların ortalama bekleme sürelerinin dakika cinsinden gösterimidir. Çizelge 4.7’de varışlar arası geçen sürenin EXPO(3,5) dakika olduğu ve araçların ihtiyaç duyduğu şarj sürelerinin sırasıyla TRIA(10,15,30) ve TRIA(10,20,30) dakika dağılımına uyduğu varsayılmıştır. Sistemdeki tüm araçların sınıf ayrımı yapılmaksızın ortalama bekleme süreleri tüm araçlar satırında yer almıştır. Ekspres araçlar servis süresinin TRIA(10,15,30) dakika dağılımına uygun olduğu durumda servis süresi 18 dakikadan az olan araçların bekleme sürelerini gösterirken 18 dakikadan fazla olan araçların bekleme süreleri normal araçlar satırında belirtilmiştir. Servis süresi dağılımının TRIA(10,20,30) dakika olduğu durumda ise servis süresi 20 dakikadan az olan araçlar ekspres sınıf araçlar, 20 dakikadan fazla olanlar normal sınıf araçlardır. Bu durumda tüm koşurumlarda araçların yarısı ekspres sınıf, yarısı normal sınıfta değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.7 : Dinamik Kuyruk ve Standart Ekspres Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 3,5 dakika (üssel)).

EXPO(3,5)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk	Standart Ekspres(1YÖ)	Standart Ekspres(2YÖ)
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[8,29 9,53]	[10,26 10,72]	[26,44 30,76]
	Ekspres Araçlar	[7,10 8,14]	[2,24 2,32]	[1,90 1,94]
	Normal Araçlar	[9,60 11,00]	[18,96 19,82]	[53,02 61,98]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[26,43 40,95]	[58,35 93,73]	Sistem kararlı değil.
	Ekspres Araçlar	[22,49 34,49]	[3,32 3,42]	
	Normal Araçlar	[30,43 47,37]	[113,47 183,97]	

Çizelge 4.7'ye göre standart ekspres modelin ortalama servis süresi yükseldiğinde veya yüksek öncelikli sunucu sayısı arttığında kararlılığını kaybetmeye meyilli olduğu görülmektedir. Ortalama servis süresinin yükselmesi yüksek öncelikli olmayan sunucuların doluluk oranlarının %100'e yaklaşmasına yol açmaktadır. Bu da servis süresi ortalamasının üzerinde olan araçların sistemde uzun zaman geçirmesine neden olmaktadır. Sonuçlardan da görüldüğü gibi servis süresinin artması sistemi kararsızlığa götürmektedir. Yüksek öncelikli sunucu sayısının artması da normal araçların daha kısıtlı sayıda sunucularda hizmet almasına ve bekleme sürelerinin artmasına yol açmaktadır. Ekspres araçlar için iyi sonuç verse de tüm araçlar için sistem değerlendirildiğinde farklı sınıf araçların bekleme süreleri arasında dengesizlik mevcuttur. Servis sürelerinin TRIA(10,15,30) dakika olduğu durum incelendiğinde standart ekspres modelde (1YÖ) yüksek öncelikli sunucu doluluk oranı %77 iken diğer sunucuların doluluk oranları %89 seviyesindedir. Dinamik kuyruk modelinde ise tüm sunucuların doluluk oranları %87 seviyesindedir. 2 adet yüksek öncelikli sunucu bulunan modelde (2YÖ) ise doluluk oranları %72 ve %95 seviyesindedir. Standart ekspres modelde yüksek öncelikli sunucu sayısının artması doluluk oranları arasındaki farkın açılmasına yol açmakta ve normal sınıf araçların sistemde çok fazla beklemelerine neden olmaktadır. Bu da sistemi kararsızlığa götürmektedir. Aynı şekilde ortalama işlem süresinin yüksek olması da standart ekspres modelin işlevselliğini kaybettirmektedir. Standart ekspres modelin dinamik kuyruk modelinden iyi olduğu tek durum servis süresinin TRIA(10,15,30) dakika olduğu 1 yüksek önceliğe sahip sunucunun olduğu modeldir (1YÖ). Bu model ile dinamik sunucu karşılaştırıldığında ekspres sınıf araçların sistemi daha çabuk terk ettiği görülmektedir. Ancak normal sınıf araçlar ve tüm araçların bekleme süreleri karşılaştırıldığında dinamik sunucu modelinde araçların daha az beklediği

gözlemlenmektedir. Bu karşılaştırmalar, varışlar arası sürenin sırasıyla EXPO(3,75) ve EXPO(4,00) dakika dağılımına uygun olduğu durumlarda da yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.8 ve 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 : Dinamik Kuyruk ve Standart Ekspres Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 3,75 dakika (üssel)).

EXPO(3,75)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk	Standart Ekspres(1YÖ)	Standart Ekspres(2YÖ)
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[4,79 5,17]	[5,32 5,86]	[9,97 11,29]
	Ekspres Araçlar	[4,19 4,49]	[1,70 1,78]	[1,46 1,50]
	Normal Araçlar	[5,45 5,91]	[9,25 10,31]	[19,21 21,91]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[10,70 11,76]	[13,58 16,16]	[45,31 67,33]
	Ekspres Araçlar	[9,27 10,15]	[2,55 2,65]	[2,12 2,18]
	Normal Araçlar	[12,12 13,37]	[24,64 29,70]	[88,87 132,37]

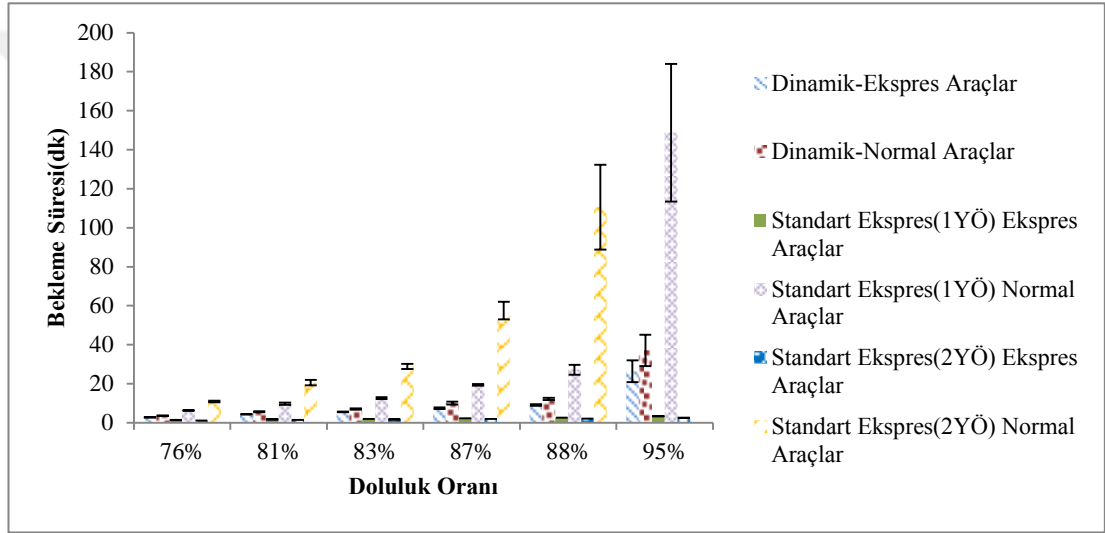
Çizelge 4.9 : Dinamik Kuyruk ve Standart Ekspres Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel)).

EXPO(4,00)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk	Standart Ekspres(1YÖ)	Standart Ekspres(2YÖ)
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[3,02 3,28]	[3,60 3,86]	[5,59 6,05]
	Ekspres Araçlar	[2,69 2,89]	[1,34 1,40]	[1,13 1,15]
	Normal Araçlar	[3,37 3,69]	[6,04 6,52]	[10,42 11,36]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[6,02 6,52]	[7,01 7,57]	[14,63 15,91]
	Ekspres Araçlar	[5,33 5,73]	[1,96 2,04]	[1,69 1,73]
	Normal Araçlar	[6,73 7,31]	[12,10 12,12]	[27,27 30,16]

Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9 incelendiğinde sonuçların Çizelge 4.7’dekine benzer olduğu görülmektedir. Ekspres sınıfa ait araçlar standart ekspres modelde sistemde daha az beklerken normal sınıf araçlar çok daha fazla beklemektedir. Varışlar arası geçen sürenin artmasıyla sunuculardaki yoğunluk azalmış olup standart ekspres modelin dinamik kuyruk modeline göre avantajı kaybolmaya başlamıştır. Ekspres sınıf araçlar göz önünde bulundurulduğunda dinamik kuyruk ve standart ekspres model arasındaki bekleme süreleri farkı azalmıştır. Varışlar arası geçen süre arttıkça standart ekspres model daha kabul edilebilir sonuçlar vermeye başlamıştır. Bu da modelin yüksek yoğunlukta çalışamayacağını göstermektedir. Dinamik kuyruk ise yoğunluk durumuna bakmaksızın tüm durumlarda mantıklı sonuçlar vermektedir.

Şekil 4.6 dinamik kuyruk yöntemi ve standart ekspres modelindeki araçların sınıf ayrımları yapılarak elde edilen sistem içerisindeki bekleme zamanlarını göstermektedir. Yatay eksen farklı varışlar arası zaman ve araçların servis süresi dağılımına bağlı olarak ortaya çıkan sunucu doluluk oranıdır. Düşey eksen ise dakika

cinsinden bekleme süresidir. Bu grafiğe göre doluluk oranı yükseldikçe standart ekspres modelde normal sınıf araçların yüksek bekleme sürelerine katlanmaları gerektiği görülmektedir. %95 doluluk oranında 2 adet yüksek önceliğe sahip standart ekspres modelin normal sınıf araçlar için elde edilen bekleme süresi de sistemin kararlı yapıdan çıkmasından dolayı çizdirilememiştir. %95 doluluk oranına bakıldığında 1 yüksek öncelikli sunucusu bulunan standart ekspres modelin, normal sınıf araçlar için daha yüksek ortalama bekleme süresi ve daha geniş bir yarı aralık değeri verdiği gözlemlenmektedir. Sunucu doluluk oranları azaldığında ise önceki grafiğe benzer şekilde modellerden elde edilen bekleme süreleri arasındaki farklar azalmaktadır.



Şekil 4.6 : Dinamik Kuyruk ve Standart Ekspres Modellerinde Araçların Sınıflara ve Doluluk Oranlarına Göre Bekleme Süreleri Sonuçları.

4.4.1.3 Dinamik kuyruk sıralama yöntemi ve SPT kuyruk yöntemi karşılaştırması

Dinamik kuyruk sıralama yöntemi son olarak SPT (en kısa işlem süresine sahip aracın en önce işleme başladığı yöntem) kuyruk yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Önceki karşılaştırmalarda olduğu gibi ekspres sınıf araçlar servis süresi TRIA(10,15,30) dakika olan koşturum için ortalama değer olan 18'den az servis süresi olan araçları gösterirken servis süresi 18'den büyük olanlar normal sınıf araçlardır. Servis süresi TRIA(10,20,30) dakika olan koşturumda ise araçların sınıf ayrımı 20 dakikadan yapılmaktadır. Bu durumda tüm koşturumlarda araçların yarısı ekspres sınıfta iken diğer yarısı normal sınıfta değerlendirilmektedir. Varışlar arası geçen süre çizelgelerinde sırasıyla EXPO(3,5), EXPO(3,75) ve EXPO(4,00) dakika

dağılımına uygundur. Sonuçlar modellerin 10000 saat çalıştırılması sonucunda elde edilmiştir. Çizelge 4.10'da araçların ortalama bekleme süreleri dakika cinsinden sonuçlarla gösterilmiştir. Sistemdeki tüm araçların sınıf ayrımı yapılmaksızın ortalama bekleme süreleri tüm araçlar satırında yer almaktadır.

Çizelge 4.10 : Dinamik Kuyruk ve SPT Karşılaştırması (Varişlar arası süre ortalama 3,5 dakika (üssel)).

EXPO(3,5)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk	SPT	Fark CI
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[8,29 9,53]	[6,99 7,41]	[0,85 2,22]
	Ekspres Araçlar	[7,10 8,14]	[2,41 2,45]	[4,55 5,51]
	Normal Araçlar	[9,60 11,00]	[11,95 12,81]	[-3,20 -1,31]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[26,43 40,95]	[20,50 28,08]	[0,63 18,17]
	Ekspres Araçlar	[22,49 34,49]	[3,56 3,64]	[18,39 30,89]
	Normal Araçlar	[30,43 47,37]	[37,51 52,55]	[-18,36 6,22]

Çizelge 4.10'a göre en kısa işlem süresine sahip olan aracın ilk olarak hizmet aldığı durumda (SPT) ekspres sınıf araçların dinamik kuyruk modeline göre sistemde çok daha az zaman harcadığı görülmektedir. Ancak normal sınıf araçlar karşılaştırıldığında servis sürelerinin TRIA(10,15,30) dakika dağılımına uyduğu durumda normal sınıf araçlar dinamik kuyruk modelinde sistemi daha hızlı terk edebilmektedir. Servis süresi dağılımının TRIA(10,20,30) dakika olduğu durumda tüm araçlar için oluşturulan farkın %95 güven aralığında, dinamik kuyruk sistemini kullananların yaklaşık 1 ile 18 dakika arasında bir süre boyunca sistemde daha fazla beklediği görülmektedir. Normal sınıf araçlar için ise güven aralığı 0'ı içerdiğinden iki model arasında bir farkın olduğunu söylemek mümkün olmamaktadır. Bu karşılaştırma farklı varişlar arası zamanlarda da yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11 : Dinamik Kuyruk ve SPT Karşılaştırması (Varişlar arası süre ortalama 3,75 dakika (üssel)).

EXPO(3,75)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk	SPT	Fark CI
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[4,79 5,17]	[4,22 4,44]	[0,41 0,88]
	Ekspres Araçlar	[4,19 4,49]	[1,86 1,90]	[2,31 2,60]
	Normal Araçlar	[5,45 5,91]	[4,79 5,17]	[-1,60 -0,85]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[10,70 11,76]	[9,03 10,03]	[1,03 2,36]
	Ekspres Araçlar	[9,27 10,15]	[2,75 3,81]	[6,49 7,36]
	Normal Araçlar	[12,12 13,37]	[15,30 17,24]	[-4,58 -2,46]

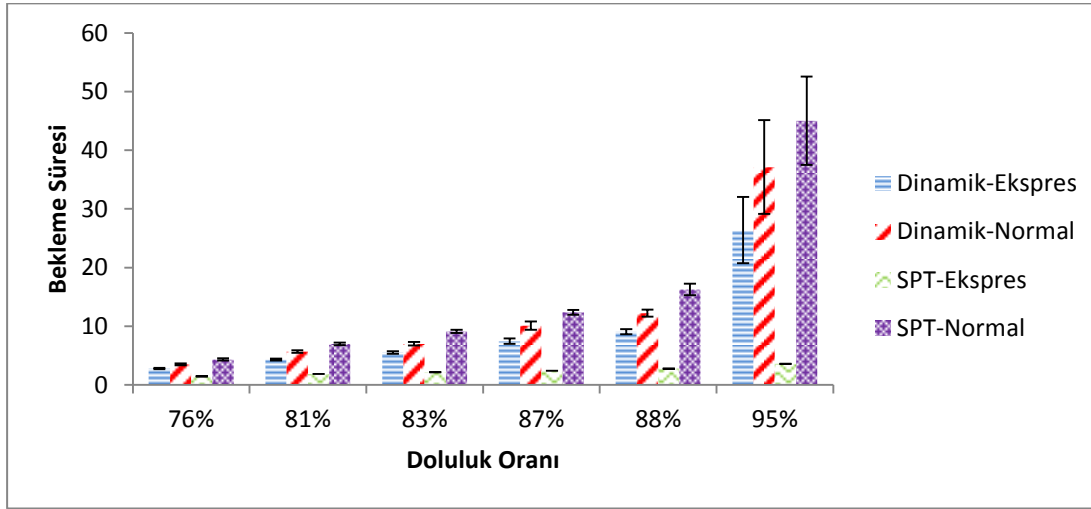
Çizelge 4.12 : Dinamik Kuyruk ve SPT Karşılaştırması (Varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel)).

EXPO(4,00)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk	SPT	Fark CI
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[3,02 3,28]	[2,75 2,95]	[0,08 0,51]
	Ekspres Araçlar	[2,69 2,89]	[1,42 1,50]	[1,20 1,46]
	Normal Araçlar	[3,37 3,69]	[4,19 4,53]	[-1,13 -0,51]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[6,02 6,52]	[5,51 6,79]	[0,36 0,89]
	Ekspres Araçlar	[5,33 5,73]	[2,14 2,20]	[3,13 3,58]
	Normal Araçlar	[6,73 7,31]	[8,84 9,40]	[-2,44 -1,76]

Araçların sisteme varışları arasında geçen süre arttığında veya sunucularındaki ortalama doluluk oranı düştüğünde dinamik kuyruk ve SPT kuyruk yönetimi arasındaki farkın, tüm araçlar ve ekspres sınıf araçlar incelendiğinde yüksek doluluk oranına göre kapandığı görülmektedir. Çizelge 4.12’de dinamik kuyruk modelini kullanan ekspres sınıf araçların bekleme süreleri her iki servis süresi dağılımında da SPT kuyruk modelini kullanan ekspres sınıf araçların bekleme sürelerinden uzundur. Normal sınıf araçların bekleme süreleri karşılaştırıldığında dinamik kuyruk modelinin SPT kuyruk yönetimine göre düşük yoğunluklarda daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmektedir.

Şekil 4.7 dinamik kuyruk yöntemi ve standart ekspres modelindeki araçların sınıf ayrımları yapılarak elde edilen sistem içerisindeki bekleme zamanlarını göstermektedir. Yatay eksen farklı varışlar arası zaman ve araçların servis süresi dağılımına bağlı olarak ortaya çıkan sunucu doluluk oranıdır. Düşey eksen ise dakika cinsinden bekleme süresidir. Bu sonuçlara göre SPT kuyruk yönetimine sahip modelde ekspres sınıf araçların, tüm yoğunluklarda dinamik kuyruk modelini kullanan ekspres sınıf araçlara göre çok daha kısa bir sürede sistemi terk ettiği sonucuna ulaşılabilmektedir.

Normal sınıf araçlar karşılaştırıldığında %76-88 doluluk seviyelerinde dinamik kuyruk modelinin bu araçlara daha hızlı servis verdiği görülmektedir. Doluluk oranın en yüksek olduğu seviyede oluşturulan farkın güven aralığına göre iki sistem arasında fark bulunmaktadır.



Şekil 4.7 : Dinamik Kuyruk ve SPT Kuyruk Yönetiminde Araçların Sınıflara ve Doluluk Oranlarına Göre Bekleme Süreleri Sonuçları.

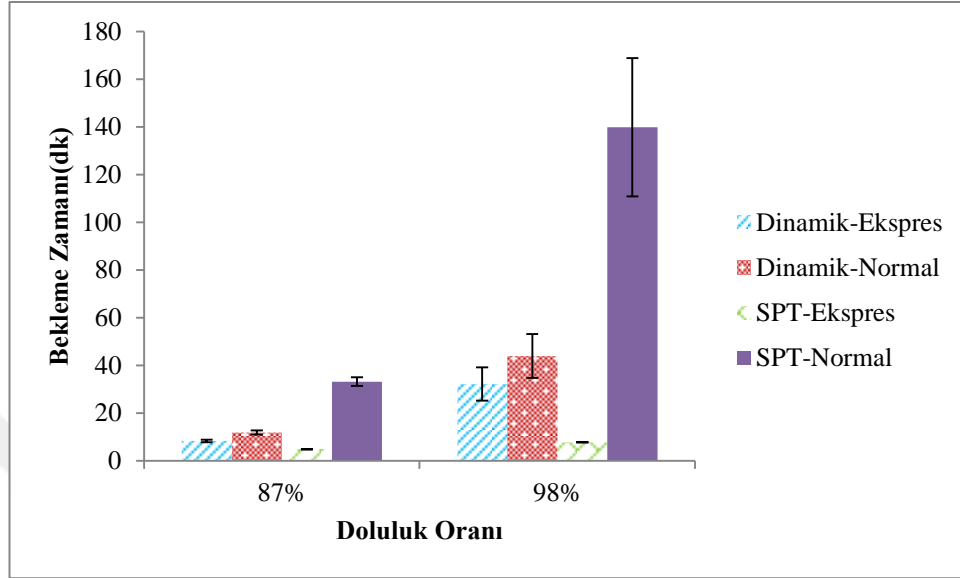
Bu karşılaştırma ayrıca ekspres ve normal sınıf ayrımının 25 dakika olduğu durumda da yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.13'te gösterilmektedir. Bu ayrımla normal sınıfta incelenen araçlar, işlem süresi açısından en yüksek %91'lik dilime girmektedirler. Çizelge 4.13 SPT ve Dinamik kuyruk modellerinin yüksek işlem süresine sahip araçlar (normal araçlar) açısından nasıl performans gösterdiğini detaylı incelemektedir.

Çizelge 4.13 : Dinamik Kuyruk ve SPT Karşılaştırması (Sınıf Ayrımı 25 dk).

EXPO(3,5)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk	SPT	Fark CI
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[8,16 9,32]	[6,99 7,41]	[0,85 2,22]
	Ekspres Araçlar	[7,91 9,01]	[4,75 4,93]	[3,05 4,17]
	Normal Araçlar	[11,02 12,72]	[31,39 35,05]	[-23,68 -19,01]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[26,43 40,95]	[20,50 28,08]	[0,63 18,17]
	Ekspres Araçlar	[16,26 39,22]	[7,66 7,98]	[17,36 31,47]
	Normal Araçlar	[34,75 53,15]	[110,90 168,86]	[-127,54 -64,30]

Çizelge 4.13'te görüldüğü üzere, sınıf ayrımının 25 dakikadan yapıldığı durumda, ekspres sınıf araçların bekleme süreleri önceki durumlarda olduğu gibi SPT kuyruk yönetimi modelinde daha düşüktür. Buna rağmen normal sınıf araçların bekleme süreleri ortalaması çok yüksek seviyelere çıkmaktadır. Tüm araçların ortalama değerine bakıldığında ise servis süresi dağılımının TRIA(10,15,30) dakikaya uyduğu durumda SPT kuyruk yönetimi 2,5 dakika daha kısadır. Servis süresi ortalaması arttığında ise bu fark SPT lehine daha çok açılmaktadır.

Ancak normal sınıf araçların sistemde çok uzun süreler beklemesi müşteri memnuniyetini kötü etkilemektedir. Bu da sistemi sürdürülebilir olmaktan çıkarmaktadır. Şekil 4.8, Çizelge 4.13'ten elde edilen ortalama değerleri göstermektedir.



Şekil 4.8 : Dinamik Kuyruk ve SPT Kuyruk Yönetiminde 25 Dakika Sınırlı Araçların Sınıflara ve Doluluk Oranlarına Göre Bekleme Süreleri Sonuçları.

4.4.2 Tekli istasyon duyarlılık analizleri

Dinamik kuyruk sıralama yöntemi araçların sisteme farklı yoğunluklarda girdiği durumlar için de incelenmiştir. Araçların ihtiyaç duyduğu servis süreleri $TRIA(10,15,30)$ ve $TRIA(10,20,30)$ dakika dağılımına uygun olarak verilmiştir. Buna ek olarak, araçlar servis sürelerine göre yarısı ekspres yarısı normal sınıf olacak şekilde ayrılmıştır. 10000 saat boyunca elde edilen koşuturum sonuçları Çizelge 4.16'te gösterilmektedir. Çizelge 4.16'daki sonuçlar Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12'de ayrı ayrı verilen dinamik kuyruğa ait sonuçları beraber göstermektedir.

Çizelge 4.14'de her bir koşuturum için ekspres sınıf ve normal sınıf araçların bekleme süreleri farkının %95 güven aralığı oluşturulmuştur. Araçlar arası varışın $EXPO(3,5)$ dakika ve servis süresinin de $TRIA(10,15,30)$ dakika olduğu durumda ekspres sınıf araçlar normal sınıf araçlara göre 3 dakika kadar sistemde daha az beklemektedir. Aynı araçlar arası dağılımda servis sürelerinin $TRIA(10,20,30)$ dakika olduğu durumda ise bu fark 8 dakika ile 12 dakika arasında olmaktadır. Servis sürelerinin artması sonucu doluluk oranlarını da etkilediğinden daha yoğun durumlarda bu fark daha iyi gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 4.14 : Dinamik Kuyruk Yöntemi Farklı Talep Dağılımlarının Karşılaştırması.

Dinamik Kuyruk	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	EXPO(3,50)	EXPO(3,75)	EXPO(4,00)
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[8,29 9,53]	[4,79 5,17]	[3,02 3,28]
	Ekspres Araçlar	[7,10 8,14]	[4,19 4,49]	[2,69 2,89]
	Normal Araçlar	[9,60 11,00]	[5,45 5,91]	[3,37 3,69]
	Ekspres-Normal Farkı	[-2,88 -2,42]	[-1,77 -0,62]	[-0,80 -0,67]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[26,43 40,95]	[10,70 11,76]	[6,02 6,52]
	Ekspres Araçlar	[22,49 34,49]	[9,27 10,15]	[5,33 5,73]
	Normal Araçlar	[30,43 47,37]	[12,12 13,37]	[6,73 7,31]
	Ekspres-Normal Farkı	[-12,89 -7,94]	[-3,21 -2,84]	[-1,58 -1,37]

Araçlar arası varışların daha sakin olduğu durum EXPO(4,00) incelendiğinde aynı servis süreleri dağılımlarına göre bu farkın çok az olduğu görülmektedir. Özetle yoğunluğun fazla olması sınıflar arası farkı açarken az olması aradaki farkı kapatmaktadır.

4.5 Dinamik Kuyruk Sıralama Metodu Çoklu İstasyon Simülasyon Modeli

Geliştirilen dinamik kuyruk sıralama metodu birden fazla sayıda istasyonun bu yöntemi kullandığı durumlarda da incelenmiştir. Simülasyon modeli Bölüm 3.4'te anlatılan istasyon seçim yöntemlerinde oluşturulan yapının üstüne kurulmuştur. Araçların sisteme giriş ve çıkış noktaları, alan büyüklükleri aynı şekilde aktarılmıştır. Toplam alan 4 bölgeye ayrılmış ve her bölgeye 2 istasyon yerleştirilmiştir. İstasyonlar bölgeler içinde rastgele olarak konumlandırılmıştır. (Bölüm 3.4'te anlatıldığı gibi). Ayrıca araçların gidecekleri hedef noktaları da kesikli dağılıma uygun olarak belirlenmiştir. İstasyonlar ise dinamik kuyruk sıralama yöntemini uygulayacak şekilde değiştirilmiştir. İstasyonların gelecek araçlar için duyurdukları tahmini bekleme süresi hesabında da dinamik kuyruk sıralamaya uygun olacak şekilde değişiklik yapılmıştır. Gelecek olay listeleme yönteminin adımları ilerletilirken de dinamik kuyruk sıralama yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin adımları Algoritma 5.1'de gösterilmiştir.

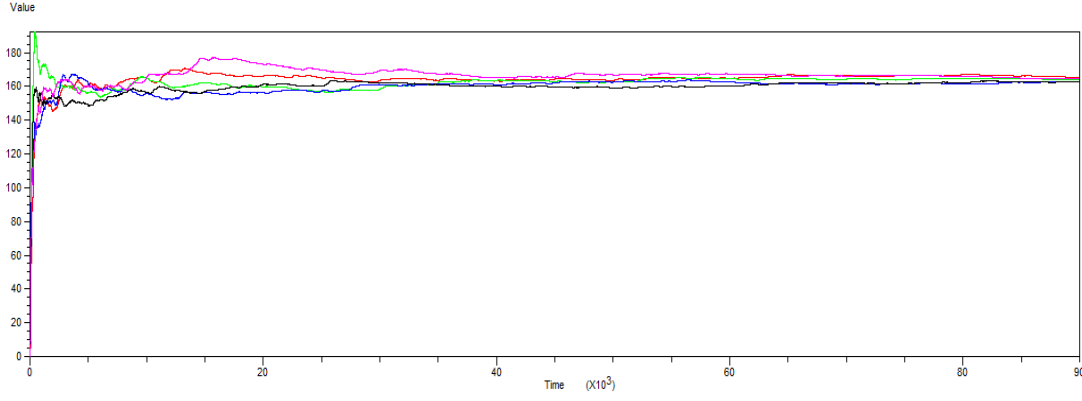
Algoritma 5.1 : Dinamik Kuyruk Sıralama Metoduna Uygun Gelecek Olay Listeleme

1. Hizmet almakta olan araçların servis bitiş zamanını gelecek olay listesinde listele.
Gelecek olay listesini zamana göre sırala.
2. Saati en yakın olay zamanına getir.

-
3. En yakın olayı listeden kaldır.
 4. En yakın olayı gerçekleştir. Sistem durumunu güncelle, ilgili sunucuyu boş hale getir.
 5. Kuyruktaki araçların s_{bek} ve $s_{şarj}$ bilgilerini al.
 6. Kuyruktaki her araç için Eşitlik (4.1)'e uygun olarak *öncelik* hesapla.
 7. Önceliği en yüksek olan aracı servise başlat. Bu aracın servis bitiş zamanını gelecek olay listesine ekle. Gelecek olay listesini zamana göre sırala.
 8. Birikimli istatistikler ve sayaçları güncelle.
 9. Gelecek olay listesi boş değilse Adım 2'ye dön. Olay listesi boş ise hesaplanan bekleme zamanını aktar.
 10. Kuyrukta araç kalmadıysa hesaplamaya başlanılan zamandan son aracın sistemi terk edeceği zamanı çıkar ve tahmini bekleme süresini ilan et.
-

Araçlar, istasyon seçim modellerinde de geliştirilen yöntemlerin performansını ölçmek için kullanılan ve Bölüm 3.2.2'de anlatılan Toplam Yolculuk Süresi Modeli ile istasyonlara yönlendirilmiştir. Araçlar arası geçen süre üssel dağılıma uygun olarak her iki taraf için de sırasıyla 6, 4,5, 3, 4,5 ve 6 dakikadır. Diğer parametreler Bölüm 3.4'te anlatıldığı gibidir. Tekli istasyon modelinde olduğu gibi araçların ihtiyaç duyduğu servis süresi dağılımına göre elde edilen ortalama değer altında kalanlar ekspres, üstündekiler ise normal sınıf araçlardır.

Simülasyon modelinin ne kadar süre boyunca ısınma periyoduna sahip olması gerektiği de belirlenmiştir. 1500 saat boyunca model çalıştırılmış ve tüm istasyonlarda araçların ortalama bekleme zamanlarının toplamları kaydedilmiştir. Alınan sonuçlar Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Yatay eksen zaman eksenini gösterirken dikey eksen bekleme zamanını dakika cinsinden göstermektedir. Bu sonuçlarla dinamik kuyruk yönetiminin çoklu istasyon simülasyon modeli için 1000 saatlik bir ısınma periyodu belirlenmiştir. Bölüm 4.6'da elde edilen sonuçlar ise modelin 10000 saat boyunca 5 tekrar sonucu topladığı verilerden elde edilmiştir.



Şekil 4.9 : Çoklu Simülasyon Modeli İçin Isınma Periyodu Belirlenmesi – Dakika Cinsinden Araçların Kuyrukta Ortalama Bekleme Zamanı.

4.6 Dinamik Kuyruk Sıralama Metodu Çoklu İstasyon Simülasyon Modeli Sonuçları

Bu bölümde dinamik kuyruk sıralama yönteminin çoklu istasyon modelinde çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17’de alanın boyutuna ve araçların ihtiyaç duyduğu servis süresi dağılımına göre istasyonlardaki ortalama bekleme sürelerinin %95 güven aralıkları sunulmaktadır. Bu koşuturularda tüm istasyonların dinamik kuyruk modeline göre araç sıralaması yaptığı durum incelenmiştir. Çizelge 4.17, 4.18 ve 4.19’daki tüm veriler dakika cinsindedir. Elde edilen sonuçlar modelin 10000 saat 5 tekrar çalıştırılması sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 4.15 : 15km² Alanda Dinamik Kuyruk Yönetimi Çoklu İstasyon Modeli Sonuçları.

15km ²	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[6,88 6,96]
	Ekspres Araçlar	[5,20 5,28]
	Normal Araçlar	[8,66 8,82]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[11,36 11,40]
	Ekspres Araçlar	[8,37 8,45]
	Normal Araçlar	[14,28 14,40]

Elde edilen sonuçlara göre, dinamik kuyruk yönteminin çoklu istasyon modelinin tekli istasyonda olduğu gibi ekspres araçlara daha kısa bekleme süreleri sunduğu görülmektedir. Çizelge 4.15, 4.16 ve 4.17’deki değerler karşılaştırıldığında alan büyüdükçe araçların bekleme sürelerinin de arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.16 : 20km² Alanda Dinamik Kuyruk Yönetimi Çoklu İstasyon Modeli Sonuçları.

20km ²	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[7,92 8,02]
	Ekspres Araçlar	[6,06 6,10]
	Normal Araçlar	[9,98 10,06]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[13,64 13,72]
	Ekspres Araçlar	[10,01 10,17]
	Normal Araçlar	[17,12 17,44]

Çizelge 4.17 : 25km² Alanda Dinamik Kuyruk Yönetimi Çoklu İstasyon Modeli Sonuçları.

25km ²	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[9,36 9,50]
	Ekspres Araçlar	[7,22 7,34]
	Normal Araçlar	[11,64 11,88]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[16,46 16,74]
	Ekspres Araçlar	[11,98 12,22]
	Normal Araçlar	[20,93 21,29]

Alan büyüklüğü arttıkça her iki tip için de toplam bekleme sürelerinin artması, araçların istasyon seçim zamanı ile istasyona varış zamanı arasındaki sürenin büyüyen mesafeler sebebiyle artması ve karar anındaki koşulların varış anında büyük oranda değişmiş olmasıyla açıklanabilir.

Dinamik kuyruk sıralama yöntemi kullanımının istasyonlara rekabet açısından getireceği faydanın incelenmesi için istasyonların bir kısmının FIFO kuyruk yönetimine göre bir kısmının da dinamik kuyruk sıralama yöntemine göre çalıştığı durum incelenmiştir. Toplam alan dört bölgeye ayrılmış, her bölgeye düşen iki istasyon aynı noktaya konumlandırılmıştır. Böylelikle aynı bölgelerdeki istasyonların konum avantajlarının önüne geçilmiştir. Aynı noktadaki iki istasyon arasındaki tek fark araçları sıraladıkları kuyruk sistemidir. Her bölgeden bir istasyon noktası seçilerek bu noktaya bir adet FIFO kuyruk yönetimine göre işleyen istasyon ve bir adet dinamik kuyruk sıralama yöntemine göre işleyen istasyon konumlandırılmıştır. İstasyon 1, 3, 5 ve 7 bu koşurumlarda FIFO kuyruk yönetimine göre çalışırken İstasyon 2, 4, 6 ve 8 dinamik kuyruk (DK) yönetimine göre çalışmaktadır. İstasyon 1 ve 2, 3 ve 4, 5 ve 6, 7 ve 8 aynı noktalara konumlandırılmıştır. Bu düzenleme ile

birlikte, ekspres ve normal sınıfa ait araçların sayısal olarak hangi istasyonları daha fazla tercih edeceğinin ve oluşacak bekleme sürelerinin sonuçları gözlemlenmek istenmiştir. İstasyonu tercih eden günlük ortalama araç sayısı güven aralıkları ile Eşitlik 4.2'ye uygun olarak hesaplanmıştır.

$$\bar{Y} \pm t_{\alpha/2, n-1} S / \sqrt{n} \quad (4.2)$$

Araçların talep ettiği servis süreleri TRIA(10,15,30) dakikadır. Bu dağılıma göre 18 dakikadan az işlem süresine sahip olanlar ekspres, fazla olanlar ise normal sınıf araçlardır. Sonuçlar Çizelge 4.18'de 20km² alan için incelenmiştir.

Çizelge 4.18 : Dinamik ve FIFO Kuyruk Yönetimi İstasyon Karşılaştırması.

20km ²		Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)		İstasyonu Tercih Eden Araç Sayısı (24 saatte)	
		Ekspres Sınıf	Normal Sınıf	Ekspres Sınıf	Normal Sınıf
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1 (FIFO)	[5,61 5,73]	[5,53 5,79]	[187 189]	[173 174]
	İstasyon 2 (DK)	[4,26 4,38]	[6,46 6,76]	[189 190]	[174 175]
	İstasyon 3 (FIFO)	[9,04 9,22]	[9,02 9,24]	[217 218]	[200 201]
	İstasyon 4 (DK)	[6,74 6,90]	[10,62 10,92]	[218 211]	[200 202]
	İstasyon 5 (FIFO)	[15,68 15,96]	[15,75 15,99]	[221 222]	[205 206]
	İstasyon 6 (DK)	[10,18 10,36]	[19,33 19,57]	[224 225]	[206 207]
	İstasyon 7 (FIFO)	[7,80 7,92]	[7,80 7,96]	[199 201]	[184 185]
	İstasyon 8 (DK)	[5,65 5,83]	[9,12 9,43]	[200 201]	[185 186]

Çizelge 4.18'de görüldüğü gibi FIFO kuyruk yönetimi ile çalışan istasyonlarda ekspres ve normal sınıf araçların bekleme sürelerinde bir fark bulunmamaktadır. Dinamik kuyruk sıralama yöntemi ile çalışan istasyonlarda ise ön görüldüğü gibi ekspres sınıf araçların bekleme süreleri normal sınıf araçların bekleme sürelerinden daha düşüktür. Aynı konumda bulunan istasyonları (örneğin 1 ve 2) kendi aralarında karşılaştırdığımızda dinamik kuyruk sistemi ile yönetilen istasyonların ekspres sınıfa daha hızlı servis verdikleri ancak normal sınıfa FIFO istasyona göre daha uzun bekleme süreleri ile servis verdikleri gözlemlenmektedir. Bu durum normal sınıftaki araçların daha fazla beklemeyi göze alarak dinamik kuyruk sistemi ile yönetilen istasyonları seçtiği izlenimini yaratmaktadır. Oysa normal sınıftaki araçlar yola çıkarken istasyon seçimini toplam sürelerini azaltacak şekilde yapmaktadır. Dinamik

kuyruk uygulamasının ilan ettiği bekleme süreleri araç istasyona varana kadar ve servisini bitirene kadar başka araç gelmeyeceği varsayımıyla hesaplanmaktadır. Tüm araçlar, kendileri istasyona varmadan önce gelen araçlar sebebiyle tahmin edilenden daha fazla beklemek zorunda kalabilirken, dinamik kuyruk istasyonlara giden normal araçlar, kendilerinden sonra gelen ekspres araçlar yüzünden de daha fazla beklemek zorunda kalmaktadırlar. Bu sebeple aynı noktadaki farklı tipte istasyonların normal sınıflarındaki araçlar arasında bekleme süresi farklılıkları oluşmaktadır. Farklılıkları dakika bazında görebilmek için aynı noktada olan istasyonlarda araçların karşılaştığı bekleme süreleri ve araç sayıları üzerinden farkların %95 güven aralıkları hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19 : Dinamik ve FIFO Kuyruk Yönetimi İle Çalışan İstasyonlarda Bekleme Süresi ve Araç Sayısı Farkı.

20km2	Ekspres Araç Bekleme Süresi Farkı	Normal Araç Bekleme Süresi Farkı	Ekspres Araç Sayısı Farkı	Normal Araç Sayısı Farkı
İstasyon 1 vs. 2	[1,29 1,40]	[-0,98 -0,89]	[-2 -1]	[-2 -1]
İstasyon 3 vs. 4	[2,19 2,43]	[-1,79 -1,48]	[-4 -1]	[-2 1]
İstasyon 5 vs. 6	[5,39 5,69]	[-3,69 -3,45]	[-4 -1]	[-3 -1]
İstasyon 7 vs. 8	[2,09 2,21]	[-1,58 -1,26]	[-1 1]	[-1 0]

Aynı noktadaki istasyonları tercih eden araç sayıları incelendiğinde istasyonlara gelen normal araç sayıları arasında istatistiksel olarak belirgin farklar olmadığı, dinamik kuyruk yönetimine sahip istasyonların ekspres sınıf tarafından (İstasyon 7 ve 8 hariç) daha fazla tercih edildiği gözlemlenmektedir. Beklenildiği üzere, ekspres sınıfta olan araçların bekleme süreleri de dinamik kuyruk yönetimine sahip istasyonlarda daha düşüktür. Ekspres araçlar 1 dakika ile 5 dakika arasında sistemde daha az beklemektedirler. Ekspres sınıf üzerinden kazanılan bu zaman normal sınıf araçlar üzerinde dinamik kuyruk yönetimine sahip istasyonlarda tersine dönmektedir. Normal sınıf araçlar FIFO kuyruk yönetimi ile çalışan istasyonlarda 1 dakika ile 4 dakika arasında daha az beklemektedir.

İstasyonların rasgele konumlandırıldığı rekabetçi ortamda da dinamik kuyruk ve FIFO kuyruk yönetiminin farkları gözlemlenmek istenmiştir. Bunun için servis süresi dağılımının TRIA(10,15,30) dakika ve sınıf ayrımının 18 dakikadan yapıldığı koşuturumun sonuçları incelenmiştir. İstasyon 1, 3, 5 ve 7 FIFO kuyruk yönetimine göre çalışırken İstasyon 2, 4, 6 ve 8 dinamik kuyruk yönetimine göre çalışmaktadır.

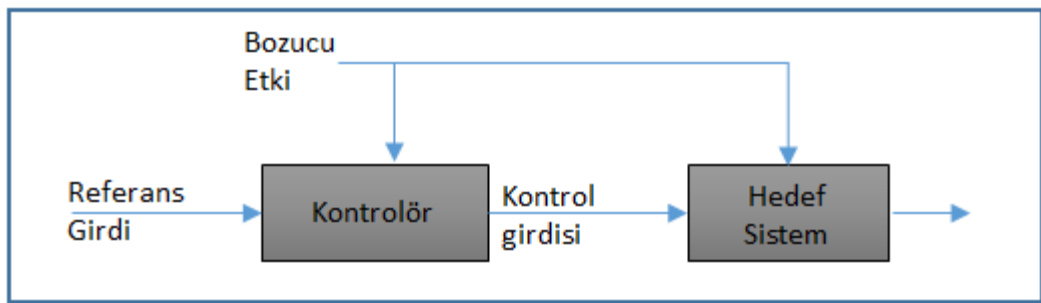
Çizelge 4.20 : Rasgele Dağıtılmış İstasyonlarda Dinamik ve FIFO Kuyruk Yönetimi İle Çalışan İstasyonlarda Bekleme Süresi ve Araç Sayısı Farkı

		Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)		İstasyonu Tercih Eden Araç Sayısı (24 saatte)	
20km ²		Ekspres Sınıf	Normal Sınıf	Ekspres Sınıf	Normal Sınıf
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1 (FIFO)	[10,57 10,75]	[10,58 10,76]	[210 212]	[195 196]
	İstasyon 2 (DK)	[2,39 2,47]	[3,18 3,28]	[173 175]	[161 162]
	İstasyon 3 (FIFO)	[9,81 9,89]	[9,79 9,95]	[226 228]	[209 210]
	İstasyon 4 (DK)	[3,69 3,81]	[5,12 5,36]	[200 202]	[184 185]
	İstasyon 5 (FIFO)	[16,26 16,40]	[16,30 16,36]	[225 226]	[208 210]
	İstasyon 6 (DK)	[3,33 3,47]	[4,66 4,82]	[192 193]	[177 178]
	İstasyon 7 (FIFO)	[12,88 13,12]	[12,85 13,19]	[221 222]	[205 206]
	İstasyon 8 (DK)	[4,48 4,58]	[6,37 6,55]	[209 211]	[193 194]

Ortalama bekleme sürelerine bakıldığında dinamik kuyruk ile çalışan istasyonlarda ekspres sınıf araçlar normal sınıf araçlara göre daha az süreye sahiptir. Aynı bölgedeki istasyonlar karşılaştırıldığında ise istasyonların konumlarından dolayı tek numaralı olan istasyonların daha fazla tercih edildiği görülmektedir. Tek numaralı istasyonlar merkeze daha yakın konumlarda bulunmaktadır.

5. EKSPRES ŞARJ İSTASYONU YÖNETİMİ – AÇIK ÇEVİRİM KONTROLE DAYALI DİNAMİK SUNUCU ATAMA PROBLEMİ

Açık çevrim kontrol yöntemi ekspres ve normal sınıfların bekleme sürelerinin birbirine oranını önceden ilan edilen bir referans değerde tutmayı amaçlar. Yöntem, ekspres şarj ve normal şarj olacak araçlar için sistem girdilerini takip ederek sistem çıktısı ve referans girdi arasında oluşacak farkı önceden tahmin eder ve bu farkı engelleyici kontrol girdisini hesaplayarak hedef sisteme gönderir. Geliştirilen yöntem gelecekteki hatayı engelleyecek şekilde kontrol girdisini değiştirir. Kontrol girdisine bağlı olarak boşalan sunucunun servis vereceği sınıf tipinde değişiklik yapıp yapılmayacağı belirlenir. Böylece ekspres şarj olacak ve normal şarj olacak araçların bekleme süreleri oranının ortalamada referans değer seviyesinde olması sağlanır. Bu bölümde geliştirilen yöntem, sunucu atamasını yapmak için gerçekleşmiş bekleme sürelerinden gelen bilgiyi değil, gerçekleşmesi öngörülen bekleme süreleriyle ilgili bilgiyi değerlendirir. Açık çevrim kontrol mekanizmasının elemanları Şekil 5.1'deki gibidir:



Şekil 5.1 : Açık Çevrim Mekanizması.

Açık çevrim mekanizmasına başlangıç anında verilen referans girdisi, kuyrukta bulunan normal sınıfa ait araçların araç başına düşen bekleme zamanının, bekleyen ekspres sınıfa ait araçların araç başına düşen bekleme zamanına oranı hedefidir. Kontrolör tarafından bu hedef, girdi olarak alınır ve kontrolör her sunucu boşalığında hedef sisteme kontrol girdisi olarak sunucu tipinin değişip değişmeyeceği bilgisini

gönderir. Bozucu etki ise, sistem dengesini bozan girdilerdir. Açık çevrim mekanizmasının işleyişi ile ilgili detaylar 5.1 Yöntem bölümünde anlatılmaktadır. Bölüm 5.2’de oluşturulan simülasyon modeli sunulmaktadır. Bölüm 5.3 ve 5.4’te sırasıyla tek istasyon ve çoklu istasyon ortamında yöntemin performansı incelenmektedir.

5.1 Yöntem

Çok kaynaklı bir servis sisteminde, sistemde bulunan farklı sınıflara ait müşteriler tarafından talep edilen servis süresi bilgisi ve servis almakta olan müşterilerin servise başlama zamanı bilgisi (özetle sistemin durum bilgisi) toplanabildiği sürece, hangi müşterinin kuyrukta ne kadar süre beklemesi gerekeceği ve dolayısıyla farklı sınıflarda herhangi bir anda beklemede olan işlemlerin ortalama bekleme süreleri, beklemenin fiilen gerçekleşmesinden önce hesaplanabilir.

Açık çevrim kontrole dayalı ekspres şarj istasyonu yönetim metodu, öncelikle sisteme giriş yapan araçlara benzersiz bir numara verir. Bu numara ile birlikte aracın durum bilgisi (geliş zamanı, talep ve müşteri sınıfı) sistemle paylaşılır. Sunucu durum bilgileri de (şarj noktalarının servise başlama zamanı, servis verdiği aracın talebi ve sunucu sınıfı) sürekli olarak sistem tarafından tutulur. Müşterilerin ve sunucuların ekspres ve normal olmak üzere iki ayrı sınıfı vardır. Sunucu sınıflarının belirlenmesi sistem tarafından açık çevrim kontrol metoduna uygun şekilde yapılır (Algoritma 5.1). Belirlenen sınıflar araçların kendilerine ait sunucularda önceliklerinin olmasını sağlar. Sisteme giren araçlar, ilk olarak sunucuların doluluk durumlarına bakarlar. Eğer boş bir sunucu varsa gelen aracın ve sunucunun sınıfına bakılmaksızın araç şarj dolumuna başlanır. Sunucuların tamamı dolu ise gelen araç sıraya girer ve sunucuların sıra bekleyen araçlara duyurduğu sırayı takip etmeye başlar. İlgili duyuru ilan edilen numaraya sahip aracın ilan edilen sunucuda şarj işlemine başlanacağını bildirir. Şarj işlemi biten bir araçtan sonra ilgili istasyonda bulunan araçlar için gelecek olay listeleme yöntemi kullanılarak hesaplama anında herhangi bir önceliğe sahip aracın gelmesi durumunda araç için gerçekleşecek bekleme süresi hesaplanır. Gelecek olay listeleme yönteminin adımları Algoritma 5.2’de verilmiştir. Sunucunun mevcut durumda servis verdiği sınıfta kalması ya da diğer sınıfa geçmesi durumunda oluşacak iki farklı bekleme zamanı da hesaplanır. İlk adımda sunucunun aynı müşteri sınıfında devam etmesi durumunda ekspres ve

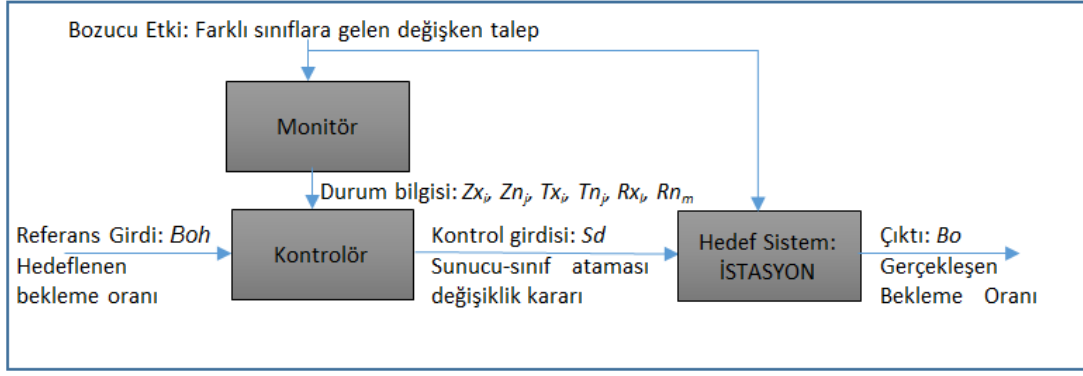
normal sınıfa ait araçlar için elde edilen bekleme süreleri oranlanır ve belirlenen referans girdi değerinden farkına bakılır. İkinci adımda sunucunun diğer sınıfa atanması durumu için aynı hesaplama yapılır ve elde edilen oran belirlenen referans değerinden çıkarılır. İlk durumda elde edilen farkın sıfır olmaması ve sunucunun aynı sınıfta devam etmesi durumunda elde edilen değer, sunucunun diğer sınıfa atanması halinde elde edilen değerden büyük olması durumunda (referans değerden farkın artması durumunda) sunucu sınıfı değiştirilir. Diğer durumlarda ise sunucu sınıfında bir değişiklik yapılmaz. Hesaplama yapıldıktan sonra sırada bekleyen sadece bir araç var ise sunucu sınıfına bakılmaksızın şarj işlemine alınır. Aynı şekilde eğer sunucunun sınıfı ile aynı sınıfa ait bir araç bulunmaz ise sıranın başındaki araç şarj işlemine başlar. Ancak sırada her iki sınıfa da ait araçlar var ise sunucunun sınıfına uyan ilk aracın şarj işlemine başlanır. Her bir sunucudaki işlem bittiğinde kontrol algoritması çalıştırılır ve sunucu sınıfına bu algoritmaya uygun olarak karar verilir.

Şekil 5.2 geliştirilen bu yöntemin detaylarını göstermektedir:

- Referans girdi = Bekleme oranı hedefi (Boh)
- Kontrol girdisi (kontrolörün çıktısı) = boşalan sunucunun hangi sınıfa atanması gerektiği bilgisi $Sd \in \{0,1\}$

$$Sd = \begin{cases} 1, & \text{sunucu atanmış olduğu sınıftan alınarak diğer sınıfa atanır} \\ 0, & \text{varolan sunucu atamasında değişiklik yapılmaz} \end{cases}$$

- Çıktı: $Bs = Bn - Bx * Boh$ - Gerçekleşen bekleme hedefinden sapma (Bs), Ekspres sınıfa ait araçların bekleme süreleri ortalaması (Bx) ve normal sınıfa ait araçların bekleme süreleri ortalaması (Bn) cinsinden hesaplanır.
- Durum bilgisi: Sistemde ekspres şarj için bulunan araçlar seti (Ax), bu sınıfa atanmış sunucular seti (Sux), sistemde normal şarj için bulunan araçlar seti (An), bu sınıfa atanmış sunucular seti (Sun), ekspres şarj talep eden araçların geliş zamanı ($Zx_i, \forall i \in Ax$) ve talep miktarı ($Tx_i, \forall i \in Ax$), normal şarj talep eden araçların geliş zamanı ($Zn_j, \forall j \in An$) ve talep miktarı ($Tn_j, \forall j \in An$), ekspres sınıf sunucuları servise başlama zamanı ($Rx_l, \forall l \in Sux$), normal sınıf sunucuları servise başlama zamanı ($Rn_m, \forall m \in Sun$).



Şekil 5.2 : Açık Çevrim Kontrolle Dayalı Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Metodu.

Algoritma 5.1 : Açık çevrim kontrol metodu algoritması

1. Sistem durum bilgisi sürekli kaydedilir. İstasyonda bir şarj noktası servisi bitirdiğinde yani sunucu boşaldığında kontrolörü aktive eder ve anlık istasyon durum bilgisini ($Zx_i \forall i \in Ax$, $Tx_i \forall i \in Ax$, $Zn_j \forall j \in An$, $Tn_j \forall j \in An$, $Rx_i \forall i \in Sux$, $Rn_m \forall m \in Sun$) kontrolöre gönderir.
2. Kontrolör aktive edildiğinde:
 - i. İçinde kodlu bulunan parametrik sistem modeline anlık istasyon durum bilgisini girer.
 - ii. Sistem modelinin gelecekteki davranışını belirlemek için Gelecek Olay Listeleme metodunu (Algoritma 5.2) kullanır. Bu işlemi iki durum için yapar; boşalan şarj noktasının aynı sınıfında kalması durumu ve diğer sınıfa dahil edilmesi durumu. Algoritma 5.2 parametre olarak “Değişiklik durumu” değerini alır. Boşalan sunucunun tipinin devam etmesi ve etmemesi durumlarında “Değişiklik durumu” sırasıyla 0 ve 1 değerlerini alır.
 - iii. Şu anda istasyonda bulunan farklı sınıflardaki araçlar için gerçekleşecek bekleme sürelerinin ortalamalarının oranını, istasyonun sunucu atamalarının mevcut şekilde devam etmesi durumunda ($Bo0$) ve mevcut şekilde devam etmemesi durumunda ($Bo1$) hesaplar. Ortalama bekleme sürelerinin oranı ve referans girdisi (Boh) arasındaki farkları ($|Boh-Bo0|$ ve $|Boh-Bo1|$) hesaplar.
 - iv. Hesaplanan farklara göre:
 - $|Boh-Bo0| = 0 \rightarrow Sd = 0$; Mevcut atamayla devam edilmesi durumunda oluşacak fark sıfır ise kontrolör mevcut sunucu atamasında bir değişiklik yapmaz. Kontrol girdisine boşalan

sunucunun hali hazırda servis verdiği sınıfta kalması gerektiği yazılır.

Bu durumda Kontrol girdisi $Sd = 0$ (değişiklik yok) değerini alır.

- $|Boh-Bo0| > 0 \ \&\& \ |Boh-Bo0| > |Boh-Bo1| \rightarrow Sd = 1$; Fark 0'dan farklı ise kontrolör boşalan sunucunun diğer sınıfa atanması durumunda gerçekleşecek olan hatayı ($|Boh-Bo1|$) kontrol eder. Değişikliğin getireceği fark daha düşükse kontrol girdisine boşalan sunucunun diğer sınıfa atanması gerektiği bilgisi yazılır ($Sd = 1$).
- $|Boh-Bo0| > 0 \ \&\& \ |Boh-Bo0| < |Boh-Bo1| \rightarrow Sd = 0$; Değişikliğin getireceği yeni fark daha yüksekse kontrolör mevcut atamada bir değişiklik yapmaz ($Sd = 0$).

v. Hesaplanan kontrol girdisi (Sd) hedef sisteme iletilir.

Gelecek olay listeme algoritması kontrolör aktive edildiğinde çalışarak her iki sınıfa ait araçların bekleme sürelerini hesaplar ve bu değerlerin ortalamalarını alarak referans değer ile yapılacak karşılaştırma sonucunda sunucuda sınıf değişikliği yapılıp yapılmayacağını belirlemede görev alır. Algoritma ilk olarak sistem durum bilgileri alınır. Algoritmanın amacı, sırada bulunan tüm araçları kendi sınıfında servis veren bir sunucuya atayarak araçların sistemde beklediği zamanı hesaplamaktır. Öncelikle en kısa sürede boşalacak olan sunucu belirlenir. Sunucu sınıfı ile aynı sınıftan bir aracın sırada beklemesi durumunda araç ilgili sunucuya atanır ve sunucunun işlem bitiş zamanı hesaplanır. Aracın sistemde geçirdiği bekleme zamanı da ilgili durum için kaydedilir. Eğer sunucu sınıfı ile araç sınıfı uyuşmuyor ise sırada bulunan diğer araçlar kontrol edilir. Sunucu sınıfı ile eşleşen bir araç var ise ilgili sunucuya ataması yapılır, sunucunun işlem bitiş zamanı hesaplanır. Aracın sistemde geçirdiği bekleme zamanı da ilgili durum için kaydedilir. Sırada bulunan hiçbir araç sınıfı ile sunucu sınıfı uyuşmuyor ise sıranın başında herhangi bir sunucuya atanmamış ilk aracın ataması gerçekleştirilir. Sunucunun işlem bitiş zamanı hesaplanır. Aracın sistemde geçirdiği bekleme zamanı da ilgili durum için kaydedilir. Sırada bekleyen tüm araçlar için bu işlemler tamamlandığında her iki sınıfa ait araçlar için ortalama bekleme süresi hesaplanır (Bx ve Bn değerleri). Ardından aynı algoritma kullanılarak boşalan sunucunun sınıfının değiştirilmesi durumunda her iki sınıf için oluşacak bekleme süreleri hesaplanır. Kontrolör bu değerleri kullanarak her iki durumda sınıfların bekleme sürelerinin birbirine oranını hesaplar ve işlemlerine Algoritma 5.1, adım 2.ii ile devam eder.

Algoritma 5.2 gelecek olay listeleme metodunun adımlarını açıklamaktadır:

Algoritma 5.2 : Gelecek Olay Listeleme

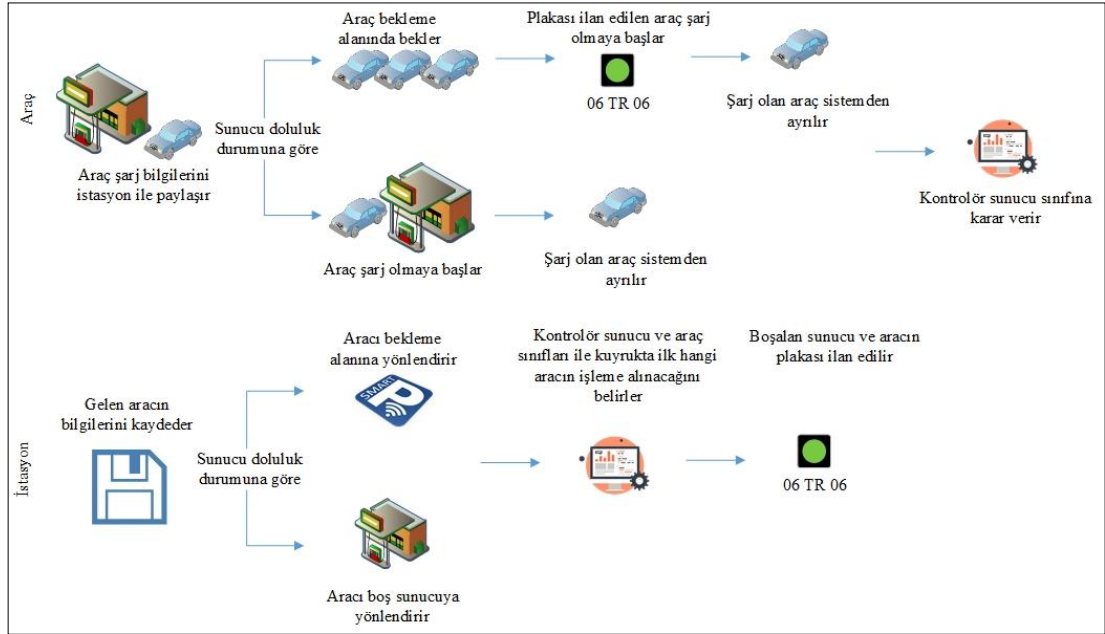
1. Değişiklik durumu parametresinin değerine göre boşalan sunucunun tipini belirle.
2. Servis görmekte olan araçların servis bitiş zamanını gelecek olay listesinde listele. Gelecek olay listesini zamana göre sırala.
3. Saati en yakın olay zamanına getir.
4. En yakın olayı listeden kaldır.
5. En yakın olayı gerçekleştir. Sistem durumunu güncelle, ilgili sunucuyu boş hale getir.
6. Kuyrukta boşalan sunucunun tipine sahip araç varsa bu tipte olan kuyruktaki ilk aracı servise başlat. Boşalan sunucu ile aynı tipte araç yoksa kuyrukta bulunan diğer tipten ilk aracı servise başlat.
7. Servise başlayan aracın servis bitiş zamanını gelecek olay listesine ekle. Gelecek olay listesini zamana göre sırala.
8. Birikimli istatistikler ve sayaçları güncelle.
9. Gelecek olay listesi boş değilse Adım 2'ye dön. Olay listesi boş ise farklı tiplerde araçlara hesaplanan ortalama bekleme zamanlarını aktar.

Geliştirilen yöntemin performansı, ekspres şarj sınıfına ait olan araçların bekleme süreleri ortalamasının referans değer ile çarpımının, normal şarjı seçen araçların bekleme süresinin ortalamasından farkı ile ölçülmüştür.

5.2 Tekli İstasyon Simülasyon Modeli

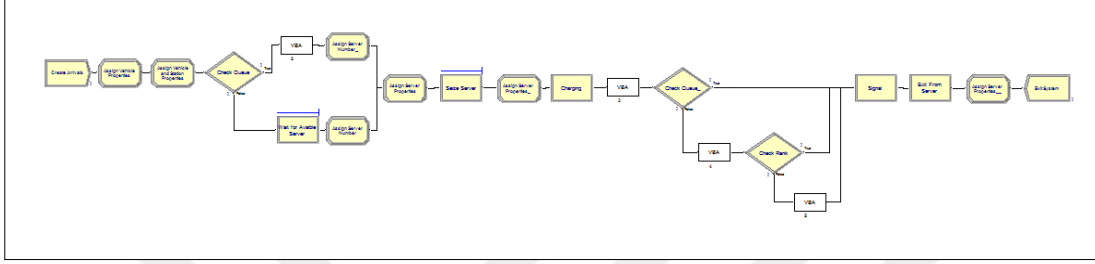
Açık çevrim kontrole dayalı ekspres şarj istasyonu yönetim metodu öncelikle tek istasyon modeli üzerinde test edilmiştir. İstasyonda toplam 6 adet sunucu bulunmaktadır. Başlangıç durumunda sunucuların yarısı ekspres sınıfta diğer yarısı normal sınıfta bulunmaktadır. Müşteri sınıfı ise belirlenen oranlara göre rastgele olarak (öncelikli VIP kart sahibi müşteriler) veya işlem süresine bağlı olarak belirlenmektedir. Araçların sisteme girişleri sırasında geçen süreler de belirlenen dağılıma göre rastgele olarak araçlara verilmektedir. Araçların ihtiyaç duydukları şarj talep süreleri de belirlenen dağılıma göre araçlara rastgele olarak atanmaktadır. Araçlar model içerisinde yolda vakit geçirmeden aynı an içerisinde istasyona girmektedir. İstasyona giren araçlara istasyon tarafından benzersiz bir numara

verilmektedir. Ayrıca araç ihtiyacı olan şarj süresini ve sınıf bilgisini paylaşırken sistem de bu özellikleri aracın istasyona girdiği zaman ile birlikte kaydetmektedir. İstasyonda boş sunucu olması durumunda araç ilgili sunucuya yönlendirilirken sunucuların tamamının dolu olması durumunda sıraya girmektedir. Sunucunun talebi karşılamaya başladığı zaman da sonraki aşamalarda kullanılmak üzere kaydedilmektedir. Aracın talebi tamamlanır tamamlanmaz kontrolör devreye girmektedir. Boşalan sunucunun aynı sınıfta kalması ve diğer sınıfa geçmesi durumunda sıradaki araçların katlanacağı bekleme zamanı gelecek olay listeleme metodu ile hesaplanmakta ve ayrı sınıflar için bekleme zamanı ortalaması alınmaktadır. Elde edilen sonuçların, referans değer ile yapılan hesaplama sonunda ortaya çıkan değer ile karşılaştırılması sonucunda sunucuda değişiklik yapıp yapılmayacağına karar verilmektedir. Sırada bekleyen herhangi bir araç yoksa sunucu boşta kalmaktadır. Kuyrukta bekleyen araçların olması durumunda ise araç ve sunucu sınıflarının eşleşmelerine bakılmaktadır. Sunucu sınıfı ile aynı sınıfta bir araç var ise ilgili araç sunucuya yönlendirilmekte ve aracın talebi karşılanmaya başlanmaktadır. Eğer sunucu sınıfına ait bir araç istasyonda beklemiyor ise sıranın başındaki aracın numarası ilan edilmekte ve aracın talebi karşılanmaya başlanmaktadır. İstasyonun ve araçların sistem içindeki davranışlarının görsel olarak açıklaması Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3: Açık Çevrim Kontrolle Dayalı Dinamik Sunucu Atama Yöntemi Akış Şeması.

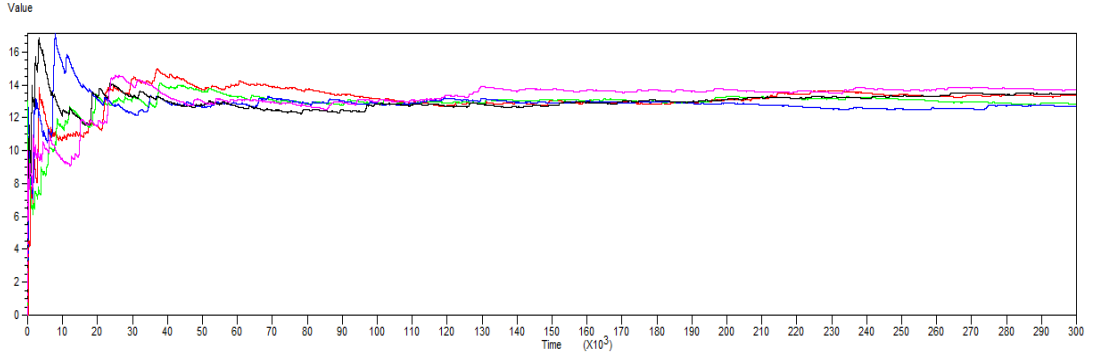
Tekli istasyon simülasyon modeli belirlenen süre içerisinde çalışmasına devam etmekte ve gerekli verileri kaydetmektedir. Geliştirilen modelin Arena üzerindeki uygulaması Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Modelin parametreleri: araçların sisteme geliş sıklığı, talep ettikleri şarj miktarı, sınıf dağılım oranlarıdır (ekspres ve normal sınıf yüzdeleri). Modelin diğer bir parametresi de belirtilen referans değerdir. Açık çevrim yöntemi, araç sınıflarının bekleme sürelerinin oranını bu referans değerinde tutacak şekilde sunucu-sınıf atamalarını yapmaktadır.



Şekil 5.4 : Açık Çevrim Kontrole Dayalı Ekspres Şarj İstasyonu Arena Modeli.

Geliştirilen model üzerinde mantıklı sonuçlar alabilmek ve analizler yapabilmek için öncelikle modelin çalışacağı ısınma periyodu zamanı belirlenmiştir. Isınma periyodunun belirlenmesinde araçların kuyrukta beklediği ortalama zaman değeri kullanılmıştır. Kararlı bir yapıya geçildiği zamana kadar elde edilen veriler sistemi ortalamadan uzaklaştıracağı için, araçların kuyrukta beklediği ortalama değer hesaplamasına dahil edilmemelidir. Şekil 5.5 Arena Output Analyzer ile elde edilen 5000 saatlik koşturum sonuçları göstermektedir. Yatay eksen dakika cinsinden geçen süreyi gösterirken dikey eksen araçların sistemdeki ortalama bekleme zamanınıdır. Bu sonuca göre ısınma periyodu 1000 saat(60000 dakika) olarak belirlenmiştir.

Geliştirilen modelin doğrulama geçerlilik çalışmaları iki aşamada yapılmıştır. Doğrulama aşamasında açık çevrim kontrole dayalı ekspres şarj istasyonu yönetim metodunun simülasyon ortamına doğru geçirilip geçirilmediği incelenmiştir. Ekspres şarj olacak araçların oranı, talep ettikleri şarj süreleri referans değerler değiştirilerek araçların bekleme süreleri, kuyruk uzunlukları ve sunucu doluluk oranları incelenerek modelin tutarlılığı kontrol edilmiştir.



Şekil 5.5 : Isınma Periyodu Belirlenmesi – Dakika Cinsinden Araçların Kuyrukta Ortalama Bekleme Zamanı.

Ardından geliştirilen model FIFO kuyruk sıralamasına göre işleyen aynı parametre değerlerine sahip simülasyon modeli ile karşılaştırılmıştır. FIFO kuyruk yönetimine göre işleyen modelde araçların ortalama bekleme zamanı ile, geliştirilen modeldeki her iki sınıfa ait araçların bekleme zamanının ortalama değerlerinin çakıştığı gözlemlenmiştir. Bu iki model arasında fark olup olmadığını istatistiksel olarak kanıtlamak için %95 güven aralığı oluşturulmuştur. Yapılan karşılaştırmadan elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’de görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Açık Çevrim ve Standart Kuyruk Sistemi (FIFO) Karşılaştırması.

	Açık Çevrim	FIFO	Fark CI
Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	[8,53 9,55]	[8,76 9,24]	[-0,45 0,53]

Elde edilen bu sonuçla model doğruluk testinden geçmiştir. İki model arasında araçların bekleme süreleri üzerinden hesaplanan güven aralığı 0’ı içermektedir. Geçerlilik aşamasında ise t testi ve β testi uygulanmıştır. Geliştirilen modelde araçların sisteme gelişleri arasında geçen zaman EXPO(3,5) dakika dağılımına uygun olarak seçilmiştir. Referans değer 1,5 ve ekspres sınıfa ait araçların oranının 0,3 olduğu model üzerinden test yapılmıştır. t testi için sistemdeki araçların kuyrukta bekledikleri ortalama süre, aynı girdi değerlerini kullanan bir FIFO simülasyon modelinden elde edilmiştir. 5 tekrar için araçların sistemde geçirdiği sürenin ortalaması ve standart sapması kullanılarak t_0 (0,34) hesaplanmıştır. Bulunan değer t_{critic} (2,77) ile karşılaştırılmıştır. t_0 değerinin t_{critic} değerinden küçük olmasından dolayı test reddedilmemiştir. t testinden sonra testin gücü (β değeri) de hesaplanmıştır. 5 tekrar için δ değeri 1,08 olarak bulunmuştur. Çift taraflı t testinin karakteristik eğrileri tablosundan $\beta(\delta)$ değerinin 0,59 olduğu gözlemlenmiştir. Bu

sonuca göre 5 tekrardan elde edilen sonuçlarla geçersiz modelin kabul edilme olasılığı, belirlenen 0,1 değerinden yüksek olduğu için yeni tekrar sayısına karar verilmiştir. Yine aynı tablodan $\beta(\delta) \leq 0,1$ olduğu tekrar sayısı 17 olarak seçilmiştir. Model 17 tekrar ile tekrar çalıştırılmıştır. 17 tekrar için araçların sistemde geçirdiği sürenin ortalaması ve standart sapması kullanılarak t_0 (0,88) hesaplanmıştır. Bulunan değer t_{critic} (2,11) ile karşılaştırılmıştır. t_0 değerinin t_{critic} değerinden küçük olmasından dolayı test reddedilmemiştir. Böylece modelin geçerliliği doğrulanmıştır.

5.3 Tekli İstasyon Analizi

Bu bölümde tek istasyon ile çalıştırılan model için sonuçlar incelenmiş, diğer modeller ile karşılaştırılmış ve duyarlılık analizleri yapılmıştır.

5.3.1 Tekli istasyon performansı

Açık çevrim modelinde amaç, farklı sınıflar arasında belirlenen bekleme süresi oranına mümkün olduğunca yakın olmaktır. İstasyonlardaki sunucuların sınıfları değiştirilerek bu oran sağlanmaya çalışılmaktadır. 1. sınıf araç oranının 0,3 olduğu durumda aşağıda verilen parametrelerle koşturum sonuçları Çizelge 5.2’de gösterilmektedir. Son satırda bulunan oran koşturum sonucunda 2. sınıf araçların bekleme ortalamasının 1. Sınıf araçların bekleme ortalamasına oranını göstermektedir. Sisteme verilen referans değerinden 0,1 sapma ile koşturum sonlanmıştır.

Çizelge 5.2 : Referans Değer 1,5 ve 1. Sınıf Araç Oranı 0,3 İçin Açık Çevrim Sonuçları.

EXPO(3,5) Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	ref:1,5/1.snf:0,3
	Tüm Araçlar	[8,53 9,55]
	1. Sınıf Araçlar	[5,97 6,65]
	2. Sınıf Araçlar	[9,63 10,79]
	ORAN	1,61

Açık çevrim modeli araçların belirli orana göre sınıf ayrımının yapıldığı FIFO kuyruk modeli ile de karşılaştırılmıştır. Her iki modelde de araçların 0,3’ü 1. sınıf araçlardır. FIFO modelinde araçlar ilk giren ilk çıkar prensibine göre işleme alınmaktadır. Bundan dolayı farklı sınıflar arasında bekleme süresi farkı

olmamaktadır. Ancak sonuçlar açık çevrim modeli ile karşılaştırıldığında 1. sınıf araçlar FIFO modelde daha çok bekleyeceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen bekleme süreleri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : Sınıf Ayrımı Rastgele - FIFO Kuyruk Modeli ve Açık Çevrim Modeli Karşılaştırması.

EXPO(3,5) Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	ref:1,5/1.snf:0,3	FIFO	Fark CI
	Tüm Araçlar	[8,53 9,55]	[8,76 9,24]	[-0,45 0,53]
	1. Sınıf Araçlar	[5,97 6,65]	[8,77 9,21]	[-2,98 -2,37]
	2. Sınıf Araçlar	[9,63 10,79]	[8,72 9,28]	[0,61 1,80]
	ORAN	1,61		

Sonuçlar incelendiğinde oluşturulan %95 güven aralığının istenilen sonuçları verdiği görülmektedir. 1. sınıf araçlar için güven aralığı sayı doğrusuna göre negatif taraftadır. Açık çevrimi kullanan 1. sınıf araçlar, FIFO kuyruk yöntemini kullanan 1. sınıf araçlara göre sistemde yaklaşık olarak 3 dakika daha az beklemektedir. 2. sınıf araçlar ise FIFO kuyruk yönetiminde sistemi yaklaşık 2 dakika daha erken terk etmektedir.

İki model, sınıf ayrımının süreye bağlı olduğu durumda da karşılaştırılmıştır. İşlem süreleri 15 dakikadan az olanlar 1. sınıf, fazla olanlar ise 2. sınıf olarak gruplandırılmıştır. Araçların ortalama bekleme süreleri oluşturulan %95 güven aralıklı fark değeri ile karşılaştırıldığında iki model arasında bir fark bulunmamıştır. 1. sınıf araçlar karşılaştırıldığında ise yine açık çevrim modelinde araçlar sistemde daha az beklemişlerdir. Hem ortalama bekleme süresi değerinden hem de oluşturulan %95 güven aralığından bu sonuca ulaşmak mümkündür. Güven aralığı sayı doğrusunun negatif tarafındadır ve 1. sınıf araçlar FIFO kuyruk yönetimine göre sistemde 2,8 dakika ile 3,5 dakika arasında daha az beklemişlerdir. Sistemde açık çevrim araçlarda kazanılan bu süre 2. sınıf araçlarda ise kaybedilmiştir. Açık çevrim modelindeki 2. sınıf araçlar FIFO kuyruk modeline göre sistemde ortalamada yaklaşık 1 dakika fazla beklemişlerdir. Ayrıca açık çevrim modelinde referans değer 1,5 olarak sisteme girilmiş ve sonuç 1,67 olarak alınmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 : Sınıf Ayırımının İşlem Süresine Bağlı Olduğu Durumda FIFO Kuyruk Modeli ve Açık Çevrim Modeli Karşılaştırması.

EXPO(3,5) Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	ref:1,5	FIFO	Fark CI
	Tüm Araçlar	[8,41 9,15]	[8,76 9,24]	[-0,70 0,32]
	1. Sınıf Araçlar	[5,62 6,04]	[8,77 9,21]	[-3,51 -2,80]
	2. Sınıf Araçlar	[9,33 10,19]	[8,72 9,28]	[0,11 1,40]
	ORAN	1,67		

Çizelge 5.5 referans değer 1,5 ve 1. sınıf araç oranının 0,5 olduğu sonuçları göstermektedir. Açık çevrim kontrole dayalı dinamik sunucu atama yöntemi araç sınıfları arasındaki fark azaldıkça referans bekleme süresi oranına daha çok yaklaşmaktadır.

Çizelge 5.5 : Referans Değer 1,5 ve 1. Sınıf Araç Oranı 0,5 İçin Açık Çevrim Sonuçları.

EXPO(3,5) Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	ref:1,5/1.snf:0,5
	Tüm Araçlar	[8,53 9,55]
	1. Sınıf Araçlar	[6,74 7,52]
	2. Sınıf Araçlar	[10,32 11,58]
	ORAN	1,53

5.3.2 Tekli istasyonda ekspres şarj modellerinin karşılaştırması

Geliştirilen yöntem standart ekspres sunucu yöntemi (ekspres şarj için ayrılan sunucu sayısının sabit olduğu ve sadece ekspres sınıfına dâhil talepleri karşıladığı yöntem) ve Bölüm 4.3'te açıklanan tek istasyonlu dinamik kuyruk modeli ile karşılaştırılmıştır.

5.3.2.1 Tekli istasyonda açık çevrim – standart ekspres modelleri karşılaştırması

Bu bölümde açık çevrime dayalı ekspres şarj istasyonu modeli standart ekspres model ile karşılaştırılmıştır. Standart ekspres modelde yüksek ve düşük öncelik düzeyine sahip sunucular bulunmaktadır. Öncelikle servis süresi 15 dakikadan az olan araçların her iki öncelik düzeyine ait sunucularda işlem görebildiği, 15 dakikadan uzun servis süresine sahip araçların ise sadece düşük öncelik düzeyine sahip sunucularda işlem görebildiği durum incelenmiştir. Her iki modelde varışlar arası geçen zaman EXPO(3,5) dakika ve araçların ihtiyaç duyduğu şarj süreleri

TRIA(10,15,30) dakika dağılımına uyduğu varsayılmıştır. Açık çevrime dayalı modelde referans değeri 1,5 olarak kabul edilmiştir. Standart ekspres model, 1 adet yüksek önceliğe sahip sunucu olduğu(1YÖ) ve 2 adet yüksek önceliğe sahip sunucu olduğu(2YÖ) durumlarda çalıştırılmıştır. Çizelge 5.6'da araçların ortalama bekleme süreleri dakika cinsinden sonuçlarla gösterilmiştir. Ortalama bekleme süreleri sütunu altında bulunan ilk satır sınıf ayrımı yapmaksızın tüm araçların bekleme süreleri ortalamasıdır. 1. sınıf araçların bekleme süresi 15 dakikadan az şarj olmuş araçların ortalama bekleme süresini göstermektedir. 2. sınıf araçların bekleme süresi ise 15 dakikadan fazla işlem görmüş araçların ortalama bekleme süreleridir.

Çizelge 5.6 : Servis Süresi TRIA(10,15,30)dk İçin Açık Çevrim ve Standart Ekspres Model Sonuçlarının Karşılaştırması.

EXPO(3,5) Ref : 1,5	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Açık Çevrim	Standart Ekspres(1YÖ)	Standart Ekspres(2YÖ)
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[8,41 9,15]	[22,06 24,86]	Sistem kararlı değil.
	1.Sınıf Araçlar	[5,62 6,04]	[1,36 1,40]	
	2.Sınıf Araçlar	[9,33 10,19]	[28,96 32,70]	
	ORAN	1,67		

Açık çevrim modelinin tüm araçlar göz önünde bulundurularak araçların ortalama bekleme süreleri ve sınıf ayrımı yapılarak elde edilen bekleme süreleri karşılaştırmasında standart ekspres (1YÖ) modelinden daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Aynı şekilde 2. sınıf araçlar için de bu sonuca varmak mümkündür. Ancak 1. sınıf araçlarda standart ekspres (1YÖ) modeli daha iyi sonuç vermektedir. Sistemde 2 adet yüksek öncelikli sunucunun bulunduğu standart ekspres model (2YÖ)'in ise kararlı bir yapıya sahip olmadığı görülmüştür. Araçların bekleme süreleri sistemin çalışma uzunluğuna bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle açık çevrim ile karşılaştırma yapılmamıştır. İki sistem ayrıca servis süresi dağılımlarının TRIA(10,20,30) dakikaya uygun olduğu ve açık çevrim için referans değerinin 1,5 olduğu durum için de incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7'ye göre standart ekspres model araçların ortalama servis süresi arttıkça karşılaştırma yapılabilir sonuçlar vermemektedir. Yüksek öncelikli sunucu sayısının sabit olması araçların sistem içerisinde fazla zaman kaybetmesine ve kuyrukta bekleyen araç sayısının artmasına neden olmaktadır.

Çizelge 5.7 : Servis Süresi TRIA(10,20,30)dk İçin Açık Çevrim ve Standart Ekspres Model Sonuçlarının Karşılaştırması.

EXPO(3,5) Ref : 1,5	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Açık Çevrim	Standart Ekspres(1YÖ)
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[30,19 33,53]	Sistem kararlı değil.
	1.Sınıf Araçlar	[12,62 13,68]	
	2.Sınıf Araçlar	[32,71 36,37]	
	ORAN	2,62	

Sonuçlardan da görüldüğü gibi sunucu tipini değiştirmek ve buna göre servis alacak aracın sırasını değiştirmek sunucu doluluk oranlarının daha eşit olmasını sağlamakta, bu nedenle de araçların sistem içerisinde geçirdikleri zamanı azaltmaktadır.

5.3.2.2 Tekli istasyonda açık çevrim – dinamik kuyruk modelleri karşılaştırması

Bu bölümde açık çevrim modeli, Bölüm 4.3 de anlatılan dinamik kuyruk modeli ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sadece açık çevrim modelinde 1.sınıf ve 2.sınıf ayırımının servis süresine bağlı olduğu durum için yapılmıştır.

Çizelge 5.8’de açık çevrime dayalı ekspres şarj istasyonu modeli ile dinamik kuyruk modelindeki araçların ortalama bekleme süreleri karşılaştırılmıştır. Her iki modelde de araçlar arası varış zamanı EXPO(3,5) dakika dağılımına uygun olarak alınmıştır. Aynı zamanda araçların ihtiyaç duyduğu şarj süreleri de farklı koşullarda TRIA(10,15,30) ve TRIA(10,20,30) dakika dağılımına uygundur. Açık çevrime dayalı modelde referans değeri ise 1,5 olarak kabul edilmiştir. Çizelge 5.8’de her iki modelin de 10000 saat çalıştığı sonuçlar gösterilmiştir. Ortalama bekleme süreleri sütunu altında bulunan ilk satır sınıf ayırımı yapmaksızın tüm araçların bekleme süreleri ortalamasıdır. 1. sınıf araçların bekleme süresi 15 dakikadan az şarj olmuş araçların ortalama bekleme süresini göstermektedir. 2. sınıf araçların bekleme süresi ise 15 dakikadan fazla şarj olmuş araçların ortalama bekleme süresidir. Bu durumda araçların ihtiyaç duydukları servis süresinin TRIA(10,15,30) olduğu durumda araçların %25’i 1. sınıf, %75’i 2.sınıf araç iken servis süresinin TRIA(10,20,30) olduğu durumda araçların %13’ü 1. sınıf, %87’si 2. sınıf araçlardır.

Tüm araçların ortalama bekleme süreleri ve sınıf ayırımı yapılarak elde edilen bekleme süreleri karşılaştırıldığında iki modelden birinin daha iyi olduğu söylenemez.

Çizelge 5.8 : EXPO(3,5)dk Varışlar Arası Süre İçin Açık evrim Dinamik Kuyruk Karşılaştırması.

EXPO(3,5) Ref : 1,5	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Açık evrim	Dinamik Kuyruk
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[8,41 9,15]	[8,16 9,32]
	1.Sınıf Araçlar	[5,62 6,04]	[6,47 7,21]
	2.Sınıf Araçlar	[9,33 10,19]	[8,73 10,03]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[30,19 33,53]	[26,43 40,95]
	1.Sınıf Araçlar	[12,62 13,68]	[18,36 28,28]
	2.Sınıf Araçlar	[32,71 36,37]	[27,60 42,76]

Ancak araçların ihtiyaç duyduğu servis süresi ortalaması yükseldikçe dinamik kuyruk modelinin daha fazla bekleme süresi varyasyonuna neden olduğu söylenebilir. Açık evrim dinamik kuyruk modeline göre daha kararlı yapıdadır. Bu durumu matematiksel olarak incelemek için araçların ortalama bekleme süreleri üzerinden bağımlı örneklem t testi (paired t-test) uygulanmıştır. Çizelge 5.9’da varışlar arası sürenin EXPO(3,5) dakika dağılımına uygun, referans girdinin 1,5 olduğu ve servis sürelerinin de TRIA(10,15,30), TRIA(10,20,30) dakika dağılımına uygun olduğu (sunucu doluluk oranının sırasıyla %87 ve %95 olduğu) durumdaki sonuçlar incelenmiştir. Farklı işlem sürelerine göre açık çevrim modelinden elde edilen ve dinamik kuyruk modelinden elde edilen çıktılar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken farklı modellerdeki aynı araç gruplarının süreleri esas alınmıştır.

Çizelge 5.9 : EXPO(3,5)dk Varışlar Arası Süre İçin Bağımlı Örneklem t Testi Sonuçları.

EXPO(3,5)	Referans Girdi: 1,5	Dinamik Kuyruk Tüm Araçlar	Dinamik Kuyruk 1. Sınıf Araçlar	Dinamik Kuyruk 2. Sınıf Araçlar
Servis süresi TRIA(10,15,30) 1.sınıf %25 2.sınıf %75	Açık evrim Tüm Araçlar	[-0,61 0,69]		
	Açık evrim 1. Sınıf Araçlar		[-1,46 -0,55]	
	Açık evrim 2. Sınıf Araçlar			[-0,32 1,10]
Servis süresi TRIA(10,20,30) 1.sınıf %13 2.sınıf %87	Açık evrim Tüm Araçlar	[-7,86 4,19]		
	Açık evrim 1. Sınıf Araçlar		[-14,71 -5,62]	
	Açık evrim 2. Sınıf Araçlar			[-6,91 5,62]

Çizelge 5.9’a göre servis süresinin TRIA(10,15,30) dakika dağılımına uygun olduğu durumda hesaplanan aralık değerinin sıfırı içermesinden dolayı tüm araçların

ortalama bekleme süreleri için, açık çevrim modeli ve dinamik kuyruk modeli arasında bir fark olduğu söylenemez. Aynı dağılıma ait sonuçlardan 1. sınıf araçların bekleme süreleri karşılaştırıldığında aralık değerlerinin sıfırı içermediği ve sayı değerine göre eksi tarafta olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre açık çevrim modelinin ilgili dağılım ve referans değerinde 1. sınıf araçların dinamik kuyruk modeline göre sistemde daha az zaman harcadığı sonucuna ulaşılabılır. İlgili servis süresi dağılımında 2. sınıf araçların karşılaştırılması incelendiğinde ise aralık değerinin sıfırı içerdiği görülmektedir. Servis sürelerinin TRIA(10,20,30) dakika dağılımına uygun olduğu durumda da önceki duruma benzer sonuçlar görülmektedir. Bu karşılaştırma araçlar arası varış süresinin farklı olduğu durumlar için de yapılmıştır. Ortalama bekleme süreleri ve t testi sonuçları Çizelge 5.10, Çizelge 5.11, Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 : EXPO(3,75)dk Varışlar Arası Süre İçin Açık Çevrim ve Dinamik Kuyruk Karşılaştırması.

EXPO(3,75) Ref : 1,5	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Açık Çevrim	Dinamik Kuyruk
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[4,82 5,08]	[4,79 5,17]
	1.Sınıf Araçlar	[3,41 3,57]	[3,86 4,18]
	2.Sınıf Araçlar	[5,29 5,59]	[5,10 5,52]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[10,94 11,96]	[10,70 11,76]
	1.Sınıf Araçlar	[6,11 6,55]	[7,73 8,61]
	2.Sınıf Araçlar	[11,63 12,75]	[11,11 12,21]

Çizelge 5.11 : EXPO(3,75)dk Varışlar Arası Süre İçin Bağımlı Örneklem t Testi Sonuçları.

EXPO(3,75)	Referans Girdi: 1,5	Dinamik Kuyruk Tüm Araçlar	Dinamik Kuyruk 1. Sınıf Araçlar	Dinamik Kuyruk 2. Sınıf Araçlar
Servis süresi TRIA(10,15,30) 1.sınıf %25 2.sınıf %75	Açık Çevrim Tüm Araçlar	[-0,21 0,14]		
	Açık Çevrim 1. Sınıf Araçlar		[-0,74 -0,35]	
	Açık Çevrim 2. Sınıf Araçlar			[-0,04 0,31]
Servis süresi TRIA(10,20,30) 1.sınıf %13 2.sınıf %87	Açık Çevrim Tüm Araçlar	[-0,56 1,02]		
	Açık Çevrim 1. Sınıf Araçlar		[-2,37 -1,32]	
	Açık Çevrim 2. Sınıf Araçlar			[-0,30 1,35]

Çizelge 5.12 : EXPO(4,00)dk Varışlar Arası Süre İçin Açık evrim ve Dinamik Kuyruk Karşılaştırması.

EXPO(4,00) Ref: 1,5	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Açık evrim	Dinamik Kuyruk
TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[3,14 3,32]	[3,02 3,28]
	1.Sınıf Araçlar	[2,32 2,42]	[2,53 2,69]
	2.Sınıf Araçlar	[3,42 3,62]	[3,19 3,47]
TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[6,22 6,62]	[6,02 6,52]
	1.Sınıf Araçlar	[3,91 4,17]	[4,64 4,90]
	2.Sınıf Araçlar	[6,54 6,98]	[6,23 6,75]

Çizelge 5.13 : EXPO(4,00)dk Varışlar Arası Süre İçin Bağımlı Örneklem t Testi Sonuçları.

EXPO(4,00)	Referans Girdi: 1,5	Dinamik Kuyruk Tüm Araçlar	Dinamik Kuyruk 1. Sınıf Araçlar	Dinamik Kuyruk 2. Sınıf Araçlar
Servis süresi TRIA(10,15,30) 1.sınıf %25 2.sınıf %75	Açık evrim Tüm Araçlar	[-0,06 0,22]		
	Açık evrim 1. Sınıf Araçlar		[-0,34 -0,15]	
	Açık evrim 2. Sınıf Araçlar			[0,02 0,35]
Servis süresi TRIA(10,20,30) 1.sınıf %13 2.sınıf %87	Açık evrim Tüm Araçlar	[-0,01 0,31]		
	Açık evrim 1. Sınıf Araçlar		[-0,82 -0,56]	
	Açık evrim 2. Sınıf Araçlar			[0,09 0,45]

Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11 araçlar arası varışların EXPO(3,75) dakika dağılımına uygun ve referans girdinin 1,5 olduğu sonuçları göstermektedir. Bu koşturumda ortalama sunucu doluluk oranı, araçların servis sürelerine bağılı olarak sırasıyla %81 ve %88'dir. Sonuçlar incelendiğinde Çizelge 5.9 ile Çizelge 5.11'in paralel çıktılarının olduğu gözlemlenmektedir. Bekleme süreleri karşılaştırıldığında, iki model arasında tüm araçlar ve 2. sınıf araçlar için istatistiksel bir fark yokken, 1. sınıfa ait araçlar açık çevrim modelinde daha az beklemektedir.

Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13 ise araçlar arası varışların EXPO(4,00) dakika dağılımına uygun ve referans girdinin 1,5 olduğu sonuçları göstermektedir. Bu koşturumda ortalama sunucu doluluk oranı araçların servis sürelerine bağılı olarak sırasıyla %76 ve %83'tür. Bekleme sürelerinde iki model arasında tüm araçlarda Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.11'de olduğu gibi istatistiksel bir fark görülmemektedir. Her iki servis süresi dağılımında da 1. sınıf araçlar açık çevrim modelinde daha az

beklemektedir. İlgili parametre değerlerinde dinamik kuyruk modelinin 2. sınıf araçlarda daha iyi sonuç verdiği gözlenmektedir.

Açık çevrim ve dinamik kuyruk modeli arasındaki farkı araç dağılımlarının yaklaşık olarak aynı olduğu durumu da gözlemleyebilmek için ayrıca servis sürelerinin $TRIA(10,15,30)$ dakika dağılıma uygun ancak işlem süresi 18 dakikadan küçük olanların 1. sınıf araç, 18 dakikadan büyük olanların 2. sınıf araç olduğu durumda karşılaştırma yapılmıştır. Koşuturum sonuçları Çizelge 5.14'te gösterilmiştir. Bu koşuturumlarda her iki model için de varışlar arası geçen süre $EXPO(3,5)$ dakika dağılımına uygun ve açık çevrim için referans değeri 1,5 olarak kabul edilmiştir. Bu durumda tüm araçların %52'si 1. Sınıf %48'i 2. sınıf araçlardır. Çizelge 5.14'te iki model arasında yapılan bağımlı örneklem t testi sonuçlarından görülmektedir ki araç dağılımları birbirine yaklaştıkça iki model arasındaki fark ortadan kalkmaktadır. Güven aralıkları her iki model için de ilgili sınıf değerlerinde diğer model değerinin içinde bulunmaktadır.

Çizelge 5.14 : Sınıf Dağılımlarının Eşit Olduğu Açık Çevrim ve Dinamik Kuyruk Karşılaştırması.

EXPO(3,5)	Referans Girdi: 1,5	Dinamik Kuyruk Tüm Araçlar	Dinamik Kuyruk 1. Sınıf Araçlar	Dinamik Kuyruk 2. Sınıf Araçlar
Servis süresi $TRIA(10,15,30)$ 1.sınıf %52 2.sınıf %48	Açık Çevrim Tüm Araçlar	[-0,69 0,60]		
	Açık Çevrim 1. Sınıf Araçlar		[-1,50 -0,02]	
	Açık Çevrim 2. Sınıf Araçlar			[-0,29 1,29]

Sonuç olarak açık çevrim modeli 1. sınıf araçları, dinamik kuyruk modelindeki aynı tip araçlara göre incelenen parametre değerlerinde daha az bekleterek sistemden daha çabuk çıkmasını sağlamaktadır. 2. sınıf araçlarda ise yüksek doluluk oranı durumunda modeller arasında bir fark yoktur. Doluluk oranının düşük olduğu durumlarda ise dinamik kuyruk modeli 2. sınıf araçları 0,45 dakika gibi az bir farkla daha az bekletebilmektedir. Dinamik kuyruk modelinin yüksek doluluk oranlarında yüksek bekleme süresi varyansına sebep olduğu gözlemlenmektedir. Açık çevrim modeli, bekleme süresi varyansı açısından da dinamik kuyruk modeline göre avantajlıdır.

5.3.3 Tekli istasyon için duyarlılık analizleri

Bu bölümde, tek istasyona sahip açık çevrime dayalı ekspres şarj istasyonu modelinde farklı parametre değerleri kullanılarak duyarlılık analizleri yapılmıştır. Çizelge 5.15, Çizelge 5.16 ve Çizelge 5.17’de açık çevrim kontrole dayalı ekspres şarj istasyonu modelinin 10000 saat çalıştırılması sonucunda elde edilen bekleme sürelerinin dakika cinsinden sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16’da araçların sabit bir sınıf ayırım oranı yapıldığı sonuçlar yer alırken, Şekil 5.6 ile farklı referans değerler ve sınıf oranlarında sistemin performansı incelenmiştir. Çizelge 5.17’de günün farklı saatlerine göre bu sınıf oranlarının değiştiği durum gösterilmiştir. Çizelge 5.18’de bu dağılımın saatlere göre oranı verilmiştir.

Varışlar arası geçen zamanın EXPO(3,5) dakika, araçların ihtiyaç duyduğu servis sürelerinin TRIA(10,15,30) dakika dağılımına uygun ve referans değerinin 1,5 olduğu durumda farklı sınıf oranları ile alınan sonuçlar Çizelge 5.15’de, referans değerinin 1,2 olduğu durumda alınan sonuçlar Çizelge 5.16’da incelenmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen araçların ortalama bekleme sürelerine sonuçlar kısmında yer verilmiştir. Çizelge 5.15, Çizelge 5.16 ve Çizelge 5.17’nin ortalama bekleme süreleri sütunu altında bulunan ilk satır sınıf ayırımı yapmaksızın tüm araçların bekleme süreleri ortalamasını gösterirken, farklı sınıflara ait araçların ayrı ayrı bekleme süreleri ortalamaları 1. ve 2. sınıf araçların bulunduğu satırda ifade etmektedir. En alt satırda bulunan oran ise koşturum sonucu elde edilen 2. sınıf araçların bekleme ortalamasının 1. sınıf araçların bekleme ortalamasına oranıdır. Sütunların ilk satırlarında bulunan değerler ise koşturum parametreleridir. Örneğin Çizelge 5.14’te sırasıyla referans değerinin 1,5 olduğu durumlarda 1. sınıfa ait araçların belirlenen oranlara uygun olarak 0,3, 0,5 ve 0,7 olduğu sonuçlar gösterilmiştir.

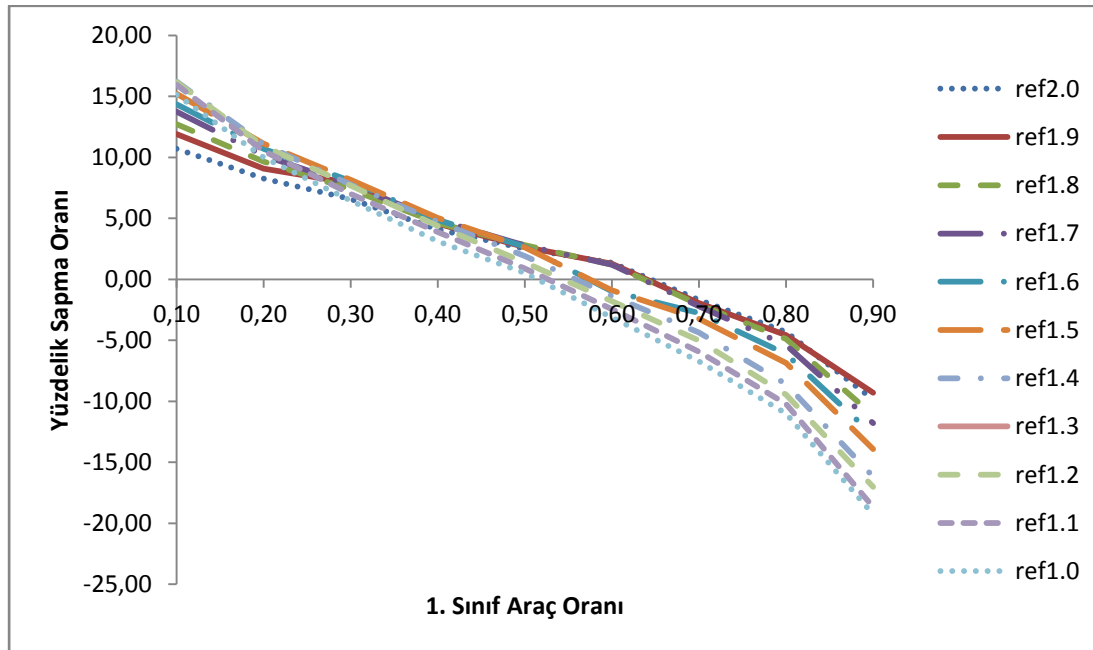
Çizelge 5.15 : Referans Değeri 1,5 İçin Elde Edilen Sonuçlar.

EXPO(3,5) Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	ref:1,5/1.snf:0,3	ref:1,5/1.snf:0,5	ref:1,5/1.snf:0,7
	Tüm Araçlar	[8,53 9,55]	[8,53 9,55]	[8,53 9,55]
1. Sınıf Araçlar	[5,97 6,65]	[6,75 7,53]	[7,54 8,42]	[7,54 8,42]
2. Sınıf Araçlar	[9,63 10,79]	[10,32 11,58]	[10,85 12,19]	[10,85 12,19]
ORAN		1,61	1,53	1,44

Çizelge 5.16 : Referans Değeri 1,2 İçin Elde Edilen Sonuçlar.

EXPO(3,5) Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	ref:1,2/1.snf:0,3	ref:1,2/1.snf:0,5	ref:1,2/1.snf:0,7
	Tüm Araçlar	[8,53 9,55]	[8,53 9,55]	[8,53 9,55]
1. Sınıf Araçlar	[7,11 7,95]	[7,70 8,64]	[7,70 8,64]	[8,20 9,18]
2. Sınıf Araçlar	[9,13 10,23]	[9,35 10,47]	[9,35 10,47]	[9,29 10,41]
ORAN		1,28	1,21	1,13

Tek istasyonlu açık çevrime dayalı sunucu atama yönteminde simülasyon modelinin davranışını inceleyebilmek için farklı referans değerleri ve farklı sınıf araç oranları ile koşuturlar gerçekleştirilmiştir. Tüm koşuturlarda araçların ihtiyaç duyduğu servis süresi TRIA(10,15,30) dakika dağılımına uygundur. Sunucu doluluk oranının %87 olduğu koşuturlar üzerinden analiz yapılmıştır. Farklı her koşuturunun, her bir tekrarı için 1. sınıf ve 2. sınıf araçların bekleme süreleri kaydedilmiştir. Eşitlik (5.1)'den yararlanılarak 2. sınıfın hedeflenen bekleme süresinden sapma (B_s) değerleri hesaplanmıştır. Bu değer 2. sınıf araçların bekleme süresi ortalamasına bölünerek, gerçekleşen referans değerinin 2. sınıf araçların bekleme süresine göre yüzdeler oranı hesaplanmıştır. Tüm koşuturların tüm tekrarları için hesaplanan değerler Şekil 5.6 üzerinde görselleştirilmiştir.



Şekil 5.6 : Farklı Referans Ve Araç Dağılımları İçin Hesaplanan Yüzdeler Sapma Oranları.

Şekil 5.6’da yüzdelik sapma oranının negatif olması 2.sınıf araçların hedeflenenenden daha fazla beklediğini, pozitif olması hedeflenenenden daha az beklediğini göstermektedir. İki sınıfın oranlarının eşit olduğu durumda sistem hedeflenen bekleme oranını yakın olarak tutturabilmektedir. Araç oranları arasında farklılaşma başladığında ise, sistem sayıca az olan araç türünün lehine olacak şekilde hedeften sapmaktadır. Yüzde sapma miktarı özellikle hedeflenen referans değer in küçülmesiyle beraber büyümektedir. Örneğin, 1.sınıf araç oranının 0.9 olduğu yani araçların %90’ının 1.sınıf olduğu durumda 2.sınıf araçların hedeflenen bekleme süresinden sapma miktarı, referans değer in 1.9 olduğu durumda %9.3 iken, referans değer in 1.0 olduğu durumda %19.2 ye çıkmaktadır. Bu durum, açık çevrim modelinin sayıca az olan sınıfa kaynaklarının önemli bölümünü aktardıktan sonra gelen diğer sınıf araca yeteri kadar hızlı kaynak aktaramadığını göstermektedir. Açık çevrim yönteminin bu zayıf yönünün gelecek çalışmalarda, yöntemin sınıf oranlarını tahmin eden bir algoritmayla entegre edilmesi ile güçlendirilebileceği düşünülmektedir.

Çizelge 5.17 : Dalgalı Sınıf Ayrımı ve Farklı Referans Değerleri İle Elde Edilen Sonuçlar.

EXPO(3,5) Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	ref:1,2	ref:1,5
	Tüm Araçlar	[8,53 9,55]	[8,53 9,55]
	1. Sınıf Araçlar	[7,84 8,70]	[6,96 7,68]
	2. Sınıf Araçlar	[9,28 10,48]	[10,24 11,60]
	ORAN	1,19	1,49

Çizelge 5.18 : Saatlik Sınıf Oranı.

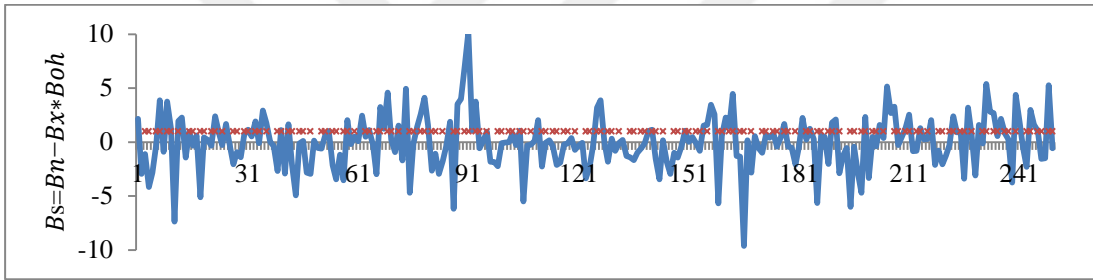
Saat	1. Sınıf Araç Oranı	2. Sınıf Araç Oranı
0-6	0,5	0,5
6-9	0,7	0,3
9-12	0,5	0,5
12-15	0,3	0,7
15-18	0,5	0,5
18-21	0,7	0,3
21-24	0,5	0,5

Çizelge 5.17 sonuçları değerlendirildiğinde araçların sınıf ayrım oranlarının zaman içinde değişken olduğu durumlarda da ortalama bekleme süreleri oranının verilen referans değerde olması sistemin sabit bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Sınıf ayrımının saatlere göre değişkenlik gösterdiği durumda sistemin, istasyona giren araç tiplerinin oranı değiştğinde vereceği tepkiyi gözlemlemek için varışlar arası dağılımın EXPO(3,5) dakika, servis sürelerinin TRIA(10,15,30) dakika dağılımına uygun ve referans değerin 1,2 olduğu 2000 saatlik koşturumda 2 saatlik aralıklarla gözlemler yapılmıştır. 1000 saatlik veri sınıflara ait araç sayılarının ve bekleme sürelerinin tutulduğu veriler Şekil 5.7'nin oluşturulmasında kullanılmıştır. Şekildeki veriler gerçekleşen bekleme hedefinden sapma verileridir. Bu veriler 2. sınıf araçların bekleme süreleri ortalamasından 1. sınıf araçların bekleme süreleri ortalaması ile referans değerin çarpımının çıkarılması ile elde edilmiştir (Eşitlik 5.1).

$$B_s = B_n - B_x * B_{oh} \quad (5.1)$$

Şekil 5.7'de dikey eksen gerçekleşen bekleme hedefinden sapmayı gösterirken yatay eksen 2 saatlik aralıklarla ölçüm yapılan noktalarını belirtmektedir.

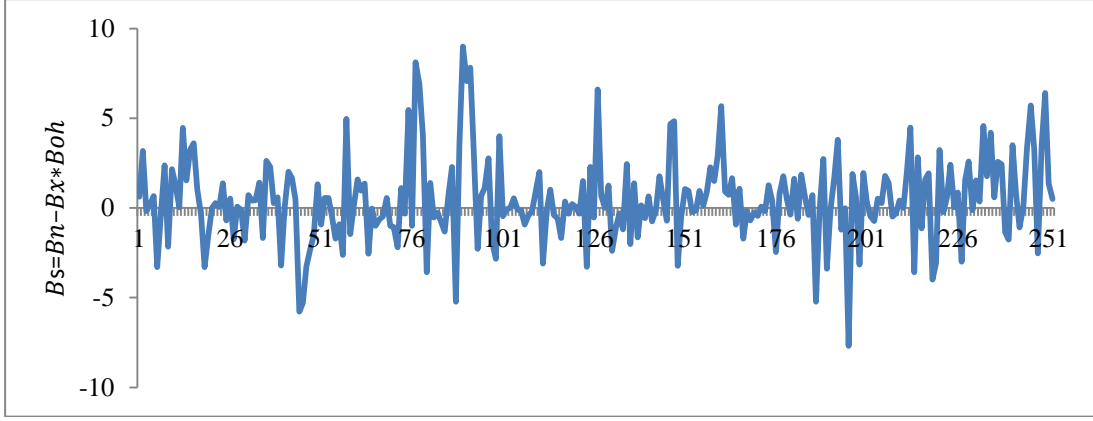


Şekil 5.7 : Bekleme Süresi Sapma Miktarı - Dalgalı Sınıf Ayrımı.

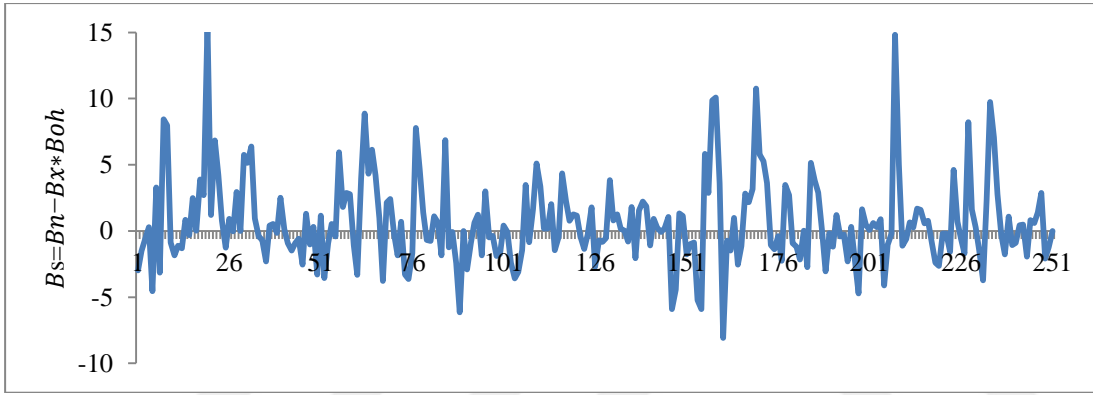
Elde edilen çizgi grafiğinin sıfırın etrafında olması gözlemlenen aralıkta gerçekleşen bekleme hedefinden sapmanın en düşük miktarda tutulmaya çalışıldığını göstermektedir. Şekil, ortalamada sıfır civarında olsa da birkaç noktada yüksek sapmalara sahip olduğu gözlemlenmektedir. Şekil oluşturulurken kullanılan gerçekleşen bekleme hedefinden sapma formülü (Eşitlik (5.1)) iki farklı değişkene sahiptir: 2. sınıfa ait araçların bekleme süresi ortalaması(B_n) ve 1. sınıfa ait araçların bekleme süresi ortalaması(B_x). 2. sınıfa ait araçların bekleme süresi ortalamasının, referans değer ile çarpılan 1. sınıfa ait araçların bekleme süresi ortalamasından yüksek çıkması şekilde artı yönde bir sapmaya neden olurken (2.sınıf araçların hedeflenenden fazla beklemesi durumu), 1. sınıfa ait araçların bekleme süresi ortalamasının referans değerle çarpımının 2. sınıfa ait araçların bekleme süresi ortalamasından yüksek çıkması eksi yönde sapmaya (1.sınıf araçların hedeflenenden fazla beklemesi durumu) neden olmaktadır. Ölçüm yapılan zaman dilimi içerisindeki

1. ve 2. sınıf araçların toplanan verileri incelendiğinde, yüksek miktarda sapma olan ölçüm dilimlerinde ve bu sapmalardan bir önceki ölçüm dilimlerinde sapma yönüne göre bir sınıfa ait araçların toplam işlem süresinin diğer sınıfa ait araçların toplam işlem süresinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin 90. ve 91. ölçüm noktalarında 2. sınıfa ait araçların işlem süresi toplam 1. sınıfa ait araçların işlem süreleri toplamının neredeyse 2 katıdır. 90'ıncı ölçüm noktasında 1. sınıf 8 araç toplam 71 dakika beklemişken 2. sınıf 27 araç 487 dakika beklemiştir. Ortalamada 1. sınıf araç yaklaşık 9 dakika 2. sınıf araç ise 17 dakika beklemiştir. Sonuç olarak 2. sınıfa ait araçlar hedeflenenden daha fazla beklemiştir. Kontrolör bu durumda 2. sınıfa ait sunucu sayısını artırarak sistem dengesini sağlayarak grafiğin tekrar sıfır etrafına gelmesini sağlamıştır. Ters yöndeki sapma olan 166. nokta incelendiğinde ise durumun 90. ve 91. ölçüm noktasındaki verilere göre tam tersi olduğu anlaşılmıştır. 166'ıncı ölçüm noktasında 25 adet 1. sınıf araç toplamda yaklaşık 320 dakika, ortalama araç başına 12 dakika beklemiştir. 14 adet 2. sınıf araç ise toplamda 80 dakika, ortalama araç başına yaklaşık 5 dakika beklemiştir. Bu noktada 1. sınıfa ait araçların toplam işlem süresi 2. sınıfa ait araçların toplam işlem süresinden çok yüksektir ve birinci sınıfa ait araçlar şekilde yüksek miktarda saptmaya neden olacak kadar fazla beklemişlerdir. Kontrol bu noktalarda 1. sınıfa ait sunucu sayısını artırarak sistemin denge noktasına gelmesini sağlamıştır.

Saatlik sınıf oranının sabit olduğu durumda da gerçekleşen bekleme hedefinden sapma grafiği çizdirilmiştir. Şekil 5.7 varışlar arası dağılımın EXPO(3,5) dakika, servis sürelerinin TRIA(10,15,30) dakika dağılımına uygun, referans değer 1,2 ve 1. sınıfa ait araçlar oranının 0,3 olduğu 2000 saatlik koşturum sonucu elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Şekil 5.6'da olduğu gibi 2 saatlik aralıklarla gözlem yapılmıştır ve 250 adet ölçüm noktası grafiğin çizilmesinde kullanılmıştır. Referans değerinin 1,5 olduğu ve diğer girdilerin aynı olduğu koşturumun gerçekleşen bekleme hedefinden sapma grafiği ise Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Bekleme Süresi Sapma Miktarı (Ref: 1,2 ve 1. Sınıf Araç Oranı 0,3) İçin Elde Edilen Bekleme Oranlarının Merkez Değer İle Karşılaştırılması.



Şekil 5.9 : Bekleme Süresi Sapma Miktarı (Ref: 1,5 ve 1. Sınıf Araç Oranı 0,3).

5.4 Açık Çevrim Kontrole Dayalı Dinamik Sunucu Atama Yöntemi Çoklu İstasyon Analizi

Bu bölümde açık çevrim yönteminin çoklu istasyon modelinde çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Açık çevrim modelinin çok istasyonlu olarak çalıştırılması için, geliştirilen yöntem Bölüm 3.4'te anlatılan simülasyon modeline entegre edilmiştir. İstasyonlar açık çevrim yöntemine göre çalışmakta ve sunucu atamalarına karar verilmiştir. Benzer şekilde araçların istasyon seçimi için gerekli olan tahmini bekleme süresi için de açık çevrim yöntemi ile çalışan gelecek olay listeleme yöntemi kullanılmıştır. Her istasyon, belirlenen zaman aralıklarıyla, kendisine bu anda gelecek 1.sınıf ve 2.sınıf araç için ayrı ayrı olmak üzere tahmini bekleme süresini hesaplar ve ilan eder. Bu hesaplamayı yaparken istasyon açık çevrim metoduyla çalışmakta olduğunu göz önüne alır ve her sunucu boşaldığında hedeflenen referans değerini tutturmak için alması gereken sunucu değişiklik

kararlarını da hesaba katar. Bu hesaplamayı yapmak için istasyon kendine araç sınıflarından birine ait sanal bir araç geldiğini varsayar ve bu sanal aracın toplam bekleme süresini hesaplar. Aynı hesaplamayı diğer araç sınıfına ait bir aracın gelmesi durumu için de tamamlar. İstasyonların gelecek aracın tahmini bekleme süresini hesaplamak için kullandıkları gelecek olay listeleme yöntemin adımları Algoritma 5.3'te verilmiştir.

Algoritma 5.3 : Tahmini Bekleme Süreleri İçin Gelecek Olay Listeleme Algoritması

1. Sistem durum bilgisini alır. Anlık istasyon durum bilgisi ($Zx_i \forall i \in Ax$, $Tx_i \forall i \in Ax$, $Zn_j \forall j \in An$, $Tn_j \forall j \in An$, $Rx_l \forall l \in Sux$, $Rn_m \forall m \in Sun$) algoritmaya girdi olarak gönderilir. Ayrıca algoritma içerisinde kullanılacak olan diğer karar değişkenleri ve parametreler belirlenir.

$$C_j = \text{Sanal araç seti} \quad j = 1,2$$

$$K = \text{İlgili istasyonda sırada bulunan araç seti}$$

$$T = \text{İlgili istasyondaki sunucu seti}$$

$$Zb = \text{Belirlenen zaman}$$

$$Sb_i = i \text{ sunucusunun işlem bitiş zamanı} \quad \forall i \in Sux, Sun$$

$$As_k = k \text{ aracının servis süresi} \quad \forall k \in K$$

$$X_k = \begin{cases} 1, & \text{sıradaki } k \text{ numaralı araç bir sunucuya atandı } i \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad \forall k \in K$$

$$Y_k = \begin{cases} 1, & \text{sıradaki } k \text{ numaralı araç ekspres sınıfta ise} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad \forall k \in K$$

$$S_t = \begin{cases} 1, & \text{istastondaki } t \text{ sunucusu ekspres sınıfta ise} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad \forall t \in T$$

2. $\forall j$ için **tekrarla**

- a. Aracı sıranın en arkasına yerleştir ve ihtiyaç duyduğu şarj zamanını belirle

3. $\forall k \in K$ için **tekrarla**

- a. eğer $X_k = 0$ ise,

İşlemi en erken bitecek sunucuyu belirle ($i, i \in T$)

Zb 'yi işlemi biten sunucu zamanına ilerlet

1. eğer $Y_k = S_i$ ise (sunucu ve araç tipi eşleşti ise)

$$X_k = 1$$

$$Sb_i = Zb + As_k \text{ (} i \text{ sunucusunun işlem bitiş zamanını belirle)}$$

k aracının bekleme zamanını ilgili durum için kaydet

2. eğer $Y_k \neq S_i$ ise,

a. $\forall k \in K$ için **tekrarla**

a. eğer $Y_k = S_i \ \&\& \ X_k = 0$ ise,

$$X_k = 1$$

$$Sb_i = Zb + As_k$$

k aracının bekleme zamanını ilgili durum için kaydet

b. $X_1 = 1$

$$Sb_i = Zb + As_k$$

$k = 1$ aracın bekleme zamanını ilgili durum için kaydet

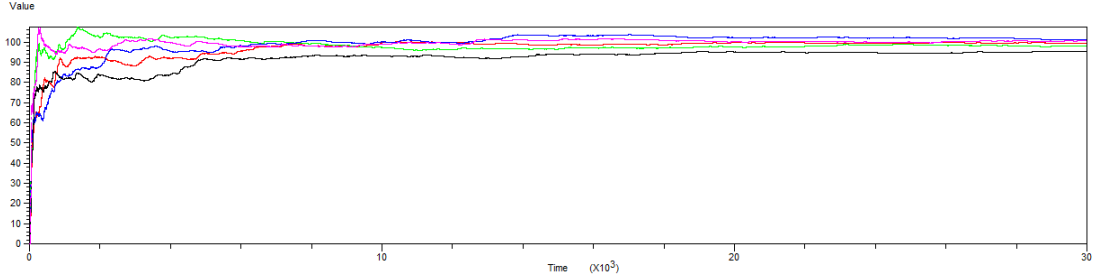
b. İşlemi en erken bitecek sunucuyu belirle (i)

Zb'yi işlemi biten sunucu zamanına ilet

4. Algoritma 5.1'i çağır ve mevcut durumda araçların bekleme zamanı bilgileri ile sunucu atamasına karar ver
5. eğer sanal araç atanmış ise **çık**
6. **sonraki k**

Öncelikle geliştirilen simülasyon modeli için ısınma periyodu belirlenmiştir. Yüksek öncelikli araç oranının 0,3 ve referans değerinin 1,5 olduğu durumda büyüklüğün $20 \times 20 \text{ km}^2$ olduğu model 30000 dakika boyunca çalıştırılmıştır. Modelde araçlar arası geçen süre hem sol taraftan hem de sağ taraftan sisteme giriş yapılan noktalarda sırasıyla EXPO(6), EXPO(4,5), EXPO(3), EXPO(4,5) ve EXPO(6) dakika dağılımına uygundur. Bu parametre değerleri ile araçların istasyon içindeki zamana bağlı ortalama bekleme süreleri kaydedilmiş ve 5 tekrardan elde edilen veriler Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Yatay eksen zamanı gösterirken dikey eksen zamana bağlı

bekleme sürelerini göstermektedir. Eksenler dakika cinsindedir. Grafiğe göre ısınma periyodu 15000 dakika olarak belirlenmiştir. Bundan sonra elde edilen tüm sonuçlarda 150000 dakika koşturumun 15000 dakikası ısınma periyoduna ayrılmıştır.



Şekil 5.10 : Isınma Periyodu Belirlenmesi – Dakika Cinsinden Araçların Kuyruktaki Ortalama Bekleme Zamanı.

Açık çevrim yönteminin FIFO kuyruk yönetimine göre performans farkını görmek için istasyonlardan yarısının FIFO kuyruk yönetimi ile diğer yarısının açık çevrim yöntemi ile yönetildiği durum incelenmiştir. Aynı bölge içinde olan iki istasyon modelde uzaklık matrisinde gerekli değişiklikler yapılarak aynı noktaya konumlandırılmıştır. Böylelikle aynı bölgedeki araçların birbirine karşı konum avantajı elde edememeleri sağlanmıştır. Yüksek öncelikli araç oranı 0,3 ve referans değeri 1,5 olarak alınmıştır. İstasyon 1, 3, 5 ve 7 FIFO kuyruk yönetimi ile diğerleri açık çevrim ile yönetilmiştir. 20km² büyüklüğünde elde edilen sonuçlar Çizelge 5.18’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar ortalama bekleme sürelerini ve %95 güven aralığı ile oluşturulmuş dakika cinsinden bekleme süreleri farkını göstermektedir.

Çizelge 5.19 : Türlerine Göre Aynı Bölgede Olan İstasyonların Aynı Noktada Konumlandırıldığı Sonuçlar.

		Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)		
ref:1,5/1.snf:0,3 20x20km ²		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Fark CI
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1(FIFO)	[5,82 6,14]	[5,93 6,07]	[-0,16 0,13]
	İstasyon 2(AÇ)	[4,29 4,45]	[6,67 7,11]	[-2,67 -2,37]
	İstasyon 3(FIFO)	[9,04 9,54]	[9,03 9,53]	[-0,02 0,03]
	İstasyon 4(AÇ)	[6,56 6,74]	[10,57 11,03]	[-4,34 -3,96]
	İstasyon 5(FIFO)	[15,88 16,62]	[15,93 16,47]	[-0,07 0,17]
	İstasyon 6(AÇ)	[10,67 11,27]	[18,16 19,08]	[-7,82 -7,46]
	İstasyon 7(FIFO)	[8,02 8,80]	[8,11 8,69]	[-0,18 0,20]
	İstasyon 8(AÇ)	[5,72 6,06]	[9,30 9,90]	[-3,87 -3,55]

Çizelge 5.19 incelendiğinde aynı bölgede olan istasyonlardan, örneğin İstasyon 1 ve İstasyon 2, 1. sınıf araçların açık çevrim ile çalışan istasyonda daha az bekleme süresi ile sistemden ayrıldığı görülmektedir. İstasyon 2’yi tercih eden 1. sınıf araç İstasyon 1’i tercih eden 1. sınıf araçtan ortalama 1,5 dakika kadar daha az beklemektedir. 2. sınıf bir araç ise aynı noktada bulunan açık çevrim istasyonunu tercih ettiğinde daha fazla bekleme süresine katlanmaktadır. İstasyon 1 ve İstasyon 2 incelendiğinde bu farkın da yaklaşık 1 dakika olduğu gözlemlenmektedir. Diğer ikili istasyonlar için de aynı durum geçerlidir. Açık çevrim ile çalışan istasyonlar göz önüne alındığında da bekleme süresi bakımından 2. sınıf araçların 1. sınıf araçlara oranı 1,57’dir. Referans değerden 0,07 uzakta koşturum sonuçlanmıştır. Aynı konumda bulunan istasyonlardan araç sayısı bakımından hangisinin daha çok tercih edildiğini gözlemleyebilmek için günlük istasyon başına gelen araç sayıları %95 güven aralığı ile hesaplanmış ve Çizelge 5.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.20 : Sınıf Ayrımına Göre İstasyonları Tercih Eden Araç Sayıları.

		Araç Sayıları	
		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar
ref:1,5/1.snf:0,3 20x20km ²			
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1(FIFO)	[107 110]	[255 258]
	İstasyon 2(AÇ)	[108 112]	[254 257]
	İstasyon 3(FIFO)	[122 124]	[295 296]
	İstasyon 4(AÇ)	[128 131]	[289 291]
	İstasyon 5(FIFO)	[126 129]	[297 302]
	İstasyon 6(AÇ)	[129 131]	[297 298]
	İstasyon 7(FIFO)	[114 115]	[272 275]
	İstasyon 8(AÇ)	[116 117]	[269 272]

İstasyonlara gelen araç sayıları incelendiğinde açık çevrim ile çalışan istasyonları günlük bazda 1. sınıf araçların daha fazla tercih ettiği görülmektedir. Sadece ilk istasyon çiftinde güven aralıkları çakışmaktadır. Genel itibari ile aynı şartlara sahip olan istasyonlardan açık çevrim ile çalışan istasyonun 1. sınıf bir araca daha çabuk hizmet verebilecek olması 1. sınıf araçlar tarafından da daha fazla tercih edilmesini beraberinde getiren bir sonuçtur. İlk istasyon çiftinde güven aralıkları çakıştığı için istasyon çiftlerine gelen araç sayılarının ortalamalarının güven aralıkları farkı da hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.21 : Türlerine Göre Aynı Bölgede Olan İstasyonların Aynı Noktada Konumlandırıldığı Durumda 1. Sınıf Araçlar İçin Farkın Güven Aralıkları.

EXPO(3,5)	Ref: 1,5	İstasyon 2 1. Sınıf Araçlar	İstasyon 4 1. Sınıf Araçlar	İstasyon 6 1. Sınıf Araçlar	İstasyon 8 1. Sınıf Araçlar
Servis süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1 1. Sınıf Araçlar	[-4 1]			
	İstasyon 3 1. Sınıf Araçlar		[-8 -4]		
	İstasyon 5 1. Sınıf Araçlar			[-4 -1]	
	İstasyon 7 1. Sınıf Araçlar				[-2 -1]

Elde edilen sonuçlara göre İstasyon 1 ve İstasyon 2'yi tercih eden 1. sınıf araçların günlük ortalamaları arasında bir fark bulunmamaktadır. Diğer istasyon çiftleri arasında ise açık çevrim ile çalışan istasyonların 1. sınıf araçlar tarafından daha çok tercih edildiği görülmektedir. Bir başka deyişle 1. sınıf araçlar FIFO kuyruk yönetimi ile çalışan istasyonları çizelgede görülen sayı aralıklarınca daha az tercih etmektedir. Örneğin İstasyon 3 ve İstasyon 4 arasındaki karşılaştırma günlük 4 ve 8 araç arasında FIFO kuyruk yönetimine sahip istasyona(İstasyon 3) daha az araç geldiği yöndedir.

Çizelge 5.19'a göre 2. sınıf araçlar açık çevrim ile çalışan istasyonlarda FIFO istasyonlara göre daha fazla beklemektedir. Bunun nedenini kendinden önce gelen araçlardan mı yoksa sonra gelen araçlardan mı kaynaklandığını anlamak için mesafe matrisinin tüm elemanları 0 olarak (aracın karar anında istasyona ulaşması sağlanarak) model aynı parametreler ile tekrar çalıştırılmıştır. Sonuçları Çizelge 5.22'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.22 : Mesafe Matrisinin Olmadığı Durumda Elde Edilen Sonuçlar.

		Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)		
ref:1,5/1.snf:0,3 20x20km ²		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Fark CI
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1(FIFO)	[0,87 0,95]	[0,87 0,97]	[-0,05 0,03]
	İstasyon 2(AÇ)	[0,73 0,77]	[0,92 0,98]	[-0,23 -0,17]
	İstasyon 3(FIFO)	[0,82 0,86]	[0,84 0,90]	[-0,06 0,00]
	İstasyon 4(AÇ)	[0,71 0,77]	[0,93 0,95]	[-0,23 -0,16]
	İstasyon 5(FIFO)	[0,83 0,89]	[0,83 0,91]	[-0,04 0,02]
	İstasyon 6(AÇ)	[0,66 0,76]	[0,88 0,96]	[-0,25 -0,16]
	İstasyon 7(FIFO)	[0,80 0,86]	[0,80 0,88]	[-0,06 0,02]
	İstasyon 8(AÇ)	[0,69 0,73]	[0,87 0,93]	[-0,21 -0,17]

Çizelge 5.22'ye göre FIFO kuyruk yönetimi ile çalışan istasyonlara ait bekleme zamanlarında fark olmadığı görülmektedir. Açık çevrim ile çalışan istasyonlarda araçların ortalama bekleme süreleri üzerinden oranlandığı zaman referans değerinin 1,27 çıktığı görülmektedir. Sisteme girilen değer 1,5 olmasına rağmen araçların kuyruksa en az bekleme süresiyle işlemlerini tamamlayıp çıkmalarından dolayı iki sınıfa ait bekleme sürelerinin birbirine yaklaştığı gözlemlenmektedir. Mesafenin olmadığı durumda kuyruklarda bulunan ortalama araç sayısı 0,24'tür. Ayrıca araçların istasyon seçimi yaparken kendilerine iletilen bekleme zamanı ile istasyonda bekledikleri ortalama bekleme zamanı da tutulmuştur. Tutulan bu veriler aracın fazladan veya az beklemesi sonucu ortaya çıkan farkın araç başına düşen ortalamasının %95 güven aralıklı değerini hesaplamak için kullanılmıştır. Bu hesaplama her iki sınıf araçlar için de yapılmış ve Eşitlik 4.2'den yararlanılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.23 : Mesafe Matrisinin Olmadığı Durumda Sınıf Ayrımına Göre Araçlara İletilen Değerlerden Çok ve Az Bekleme Miktarları.

Araçlara İletilen Değerlerden Çok ve Az Bekleme Miktarları(dakika)			
ref:1,5/1.snf:0,3 20x20km ²		İletilenden Çok Bekleyenler	İletilenden Az Bekleyenler
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	1. Sınıf	[3,53 3,58]	[-0,01 0,00]
	2. Sınıf	[4,05 4,11]	[-0,01 0,00]

Sonuçlar incelendiğinde 1. sınıf araçların 2. sınıf araçlara göre çok bekleme sürelerinin daha az olduğu sonucuna varılmaktadır. Açık çevrim yönteminde sisteme girilen referans değer doğrultusunda 1. sınıf araçların sistemde daha az beklemesi gerektiğinden sistemde oluşan bu farkın da 1. sınıf araçların lehine daha az olması öngörülebilir. Sonuçlar bunu kanıtlar niteliktedir. Görülmektedir ki araçlar karar anında istasyona ulaşırsalar bile her iki sınıf da kendilerine bildirilenden farklı bir bekleme zamanı ile karşılaşabilmektedirler. Bunun sebebi açık çevrim metodunun her sunucu boşalığında, o anda istasyonda bulunan araçların ortalama bekleme süresini referans değere yaklaştıracak şekilde hareket etmesidir. Dolayısıyla bir aracın bekleme süresi kendisinden sonra gelen araçlar sebebiyle de değişmektedir.

Araçların istasyon tercihini daha detaylı gözleyebilmek için tüm koşturum boyunca istasyonlara gelen araç sayıları sınıflarına göre ayrı bir şekilde saklanmıştır. Koşturum sonunda bu veriler %95 güven aralığı ile sınıflarına göre günlük

İstasyonları tercih eden araç sayılarına dönüştürülmüştür. Sonuçlar Çizelge 5.24'te verilmiştir.

Çizelge 5.24 : Mesafe Matrisinin Olmadığı Durumda Sınıf Ayrımına Göre İstasyonları Tercih Eden Araç Sayıları.

		Araç Sayıları	
ref:1,5/1.snf:0,3 20x20km ²		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1(FIFO)	[121 124]	[285 287]
	İstasyon 2(AÇ)	[121 125]	[280 284]
	İstasyon 3(FIFO)	[119 120]	[282 283]
	İstasyon 4(AÇ)	[120 122]	[279 281]
	İstasyon 5(FIFO)	[118 122]	[280 281]
	İstasyon 6(AÇ)	[119 121]	[278 280]
	İstasyon 7(FIFO)	[117 120]	[277 280]
	İstasyon 8(AÇ)	[119 120]	[274 277]

Araç sayılarının aralıklarına bakıldığında 2. sınıf araçların FIFO kuyruk yönetimine göre çalışan istasyonları daha fazla tercih ettiği görülmektedir. 1. sınıf araçların güven aralıkları ise istasyon ikililerinde çakışmaktadır. Tercihler arasında fark olup olmadığını anlayabilmek için 1. sınıf araçlar üzerinden istasyon ikilileri arasında farkın %95 güven aralığı oluşturulmuştur ve Çizelge 5.25'te gösterilmiştir.

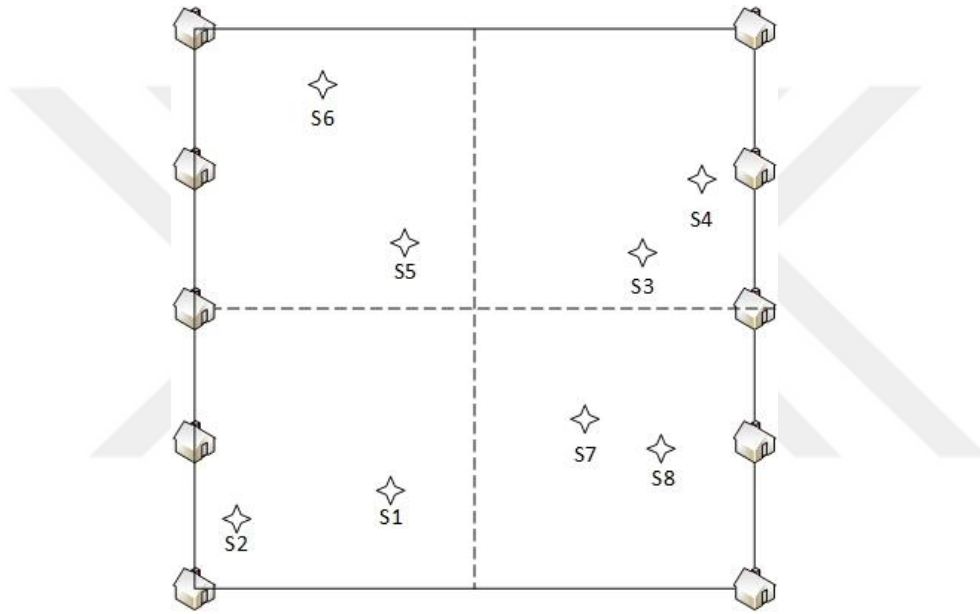
Çizelge 5.25 : Mesafe Matrisinin Olmadığı Durumda Sınıf Ayrımına Göre İstasyonları Tercih Eden Araç Sayıları İçin Farkın Güven Aralıkları.

EXPO(3,5)	Referans Girdi: 1,5	İstasyon 2 1. Sınıf Araçlar	İstasyon 4 1. Sınıf Araçlar	İstasyon 6 1. Sınıf Araçlar	İstasyon 8 1. Sınıf Araçlar
Servis süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1 1. Sınıf Araçlar	[-1 1]			
	İstasyon 3 1. Sınıf Araçlar		[-2 0]		
	İstasyon 5 1. Sınıf Araçlar			[-2 2]	
	İstasyon 7 1. Sınıf Araçlar				[-3 1]

Çizelge 5.25'e göre 1. sınıf araçların istasyon tercihleri için kesin bir sonuca varmak mümkün değildir. İstasyon 3 ve İstasyon 4 ikilisinde 1. sınıf araçlar açık çevrim ile çalışan istasyona daha çok yönelmişlerdir. Diğer istasyon ikilileri için bir üstünlük bulunmamaktadır. 1. sınıf araç FIFO kuyruk yönetimine sahip istasyonu seçtiğinde bile en kötü ihtimalle 2. sınıf araç ile eşit önceliğe sahiptir. Açık çevrim ile çalışan

bir istasyonda ise önceliklidir. Bu nedenle 1. sınıf araçların sayıları açısından istasyon bazında genel bir üstünlüğü bulunmamaktadır.

Çizelge 5.19 ve Çizelge 5.25 arasındaki sonuçların tutarlı olması sebebiyle istasyonların yerlerinin rastgele olarak konumlandırıldığı koşulların sonuçları yarısı FIFO yarısı açık çevrim ile çalışan model için alınmıştır. İstasyonların harita üzerinde gösterimi Şekil 5.10'da verilmiştir. Araçların hedef ve varış noktası dağılımları Çizelge 3.1 de verildiği gibidir. Çizelge 5.26 ve Çizelge 5.27'de ilgili referans değer ve sınıf oranları için sonuçlar verilmiştir. Diğer parametreler bölümün başında bahsedildiği gibidir.



Şekil 5.11 : Başlangıç, Hedef ve İstasyon Konumları.

Çizelge 5.26 : Rastgele Dağılmış FIFO ve Açık Çevrim İstasyonlarda Ortalama Bekleme Süreleri.

		Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	
		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar
ref:1,5/1.snf:0,3 20x20km ²			
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1(FIFO)	[10,59 11,15]	[10,85 11,01]
	İstasyon 2(AÇ)	[2,26 2,36]	[3,32 3,44]
	İstasyon 3(FIFO)	[9,76 10,16]	[9,74 10,06]
	İstasyon 4(AÇ)	[3,49 3,63]	[5,20 5,44]
	İstasyon 5(FIFO)	[16,47 16,87]	[16,47 16,83]
	İstasyon 6(AÇ)	[3,18 3,32]	[4,80 5,02]
	İstasyon 7(FIFO)	[13,18 13,42]	[13,06 13,48]
	İstasyon 8(AÇ)	[4,27 4,37]	[6,51 6,61]

Çizelge 5.26 incelendiğinde açık çevrim ile çalışan istasyonlarda 2. sınıf araçların 1. sınıf araçlara bekleme oranı koşturum sonunda 1,49 olarak hesaplanmıştır. Sisteme girilen 1,5 referans değerden 0,1 uzaklıkta koşturum sonlanmıştır. Araçların merkeze yakın hedef noktalarını daha çok tercih etmeleri sebebiyle haritanın ortasına doğru bulunan istasyonların tercih edilme oranları daha yüksek olmuştur. Ayrıca merkeze yakın bulunan istasyonların hepsinin FIFO kuyruk yönetimine denk gelmesi dağıtık olarak yerleştirilen istasyonlar için kesin bir yorum yapılmasının önüne geçmiştir. Bu nedenden dolayı aynı parametreler ile ancak istasyon işleyiş tipleri değiştirilerek model bir kez daha çalıştırılmış ve sonuçları Çizelge 5.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.27 : Rastgele Dağılmış(Ters) FIFO ve Açık Çevrim İstasyonlarda Ortalama Bekleme Süreleri.

		Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	
		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar
ref:1,5/1.snf:0,3 20x20km ²			
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1(AÇ)	[7,39 7,79]	[12,17 12,85]
	İstasyon 2(FIFO)	[2,89 3,05]	[2,87 3,09]
	İstasyon 3(AÇ)	[7,05 7,19]	[11,38 11,70]
	İstasyon 4(FIFO)	[4,48 4,94]	[4,65 4,85]
	İstasyon 5(AÇ)	[11,15 11,39]	[18,86 19,36]
	İstasyon 6(FIFO)	[4,20 4,40]	[4,20 4,46]
	İstasyon 7(AÇ)	[8,98 9,26]	[15,07 15,45]
	İstasyon 8(FIFO)	[5,66 6,00]	[5,57 5,93]

Sonuçlar incelendiğinde, Çizelge 5.27’nin yüksek bekleme süresi olan istasyonlarında yüksek bekleme süreleri ortalamaları çıktığı görülmektedir. Şekil 5.10’da verilen konumlarda İstasyon 1, 3, 5 ve 7 merkeze daha yakın noktalarda bulunmaktadır. Araçlar toplam süreyi kısalttığı için yolu uzatmak yerine istasyonda daha fazla beklemeyi tercih etmektedirler. Çizelge 5.26 ve Çizelge 5.27’de elde edilen sonuçlar bunu destekler niteliktedir. Ek olarak istasyonu tercih eden araç sayıları da incelenmek istenmiştir ve Çizelge 5.28’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.28’e göre açık çevrim ile çalışan istasyonlar 1. sınıf araçlar tarafından daha çok tercih edilmiştir. Hem istasyonların buldukları konum itibari ile hem de açık çevrim istasyonların 1. sınıf araçlara sağladığı avantajlardan dolayı beklenen bir sonuç elde ettikleri gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.28 : Rastgele Dağılmış(Ters) FIFO ve Açık Çevrim İstasyonlarda Araç Sayıları.

		Araç Sayıları	
ref:1,5/1.snf:0,3 20x20km ²		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1(AÇ)	[121 124]	[285 287]
	İstasyon 2(FIFO)	[98 100]	[237 241]
	İstasyon 3(AÇ)	[135 139]	[300 303]
	İstasyon 4(FIFO)	[112 114]	[270 274]
	İstasyon 5(AÇ)	[132 133]	[302 305]
	İstasyon 6(FIFO)	[109 110]	[259 262]
	İstasyon 7(AÇ)	[129 131]	[289 299]
	İstasyon 8(FIFO)	[118 121]	[281 286]

2. sınıf araçların da kendilerine daha öncelikli davranılmayacağını bildikleri halde daha uzaktaki istasyona gitmek yerine gidecekleri hedefe yakın istasyonu tercih etmişlerdir. Yol-istasyon ödünleşiminde tercihlerini istasyonda daha fazla beklemek için kullanmışlardır.

Çizelge 5.29 : Eşit Sınıf Dağılımında Rastgele Dağılmış FIFO ve Açık Çevrim İstasyonlarda Ortalama Bekleme Süreleri.

		Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	
ref:1,5/1.snf:0,5 20x20km ²		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1(FIFO)	[10,69 11,15]	[10,65 11,11]
	İstasyon 2(AÇ)	[2,43 2,57]	[3,41 3,69]
	İstasyon 3(FIFO)	[9,82 10,04]	[9,72 10,04]
	İstasyon 4(AÇ)	[3,80 3,92]	[5,57 5,77]
	İstasyon 5(FIFO)	[16,29 16,71]	[16,21 16,73]
	İstasyon 6(AÇ)	[3,42 3,62]	[5,01 5,31]
	İstasyon 7(FIFO)	[13,04 13,42]	[13,02 13,46]
	İstasyon 8(AÇ)	[4,62 4,82]	[6,95 7,31]

İki sınıf oranının eşit olduğu durumda açık çevrim ile çalışan istasyonlardaki bekleme süreleri ortalamaları incelendiğinde bekleme süreleri oranının 1,46 olduğu görülmektedir. Bu verilere göre koşturum sisteme girilen 1,50 değerinden 0,04 uzaklıkta sonuçlanmıştır.

Çizelge 5.30 : Eşit Sınıf Dağılımında Rastgele Dağılmış FIFO ve Açık Çevrim İstasyonlarda Araç Sayıları.

		Araç Sayıları	
ref:1,5/1.snf:0,5 20x20km ²		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	İstasyon 1(FIFO)	[201 204]	[204 207]
	İstasyon 2(AÇ)	[168 172]	[167 170]
	İstasyon 3(FIFO)	[216 217]	[219 220]
	İstasyon 4(AÇ)	[193 195]	[191 193]
	İstasyon 5(FIFO)	[215 217]	[218 221]
	İstasyon 6(AÇ)	[183 188]	[182 187]
	İstasyon 7(FIFO)	[214 214]	[213 215]
	İstasyon 8(AÇ)	[204 206]	[198 200]

Servis süresi TRIA(10,15,30) dakika dağılımına uygun olarak çalıştırılan modellerden alınan sonuçlar açık çevrim yönteminin FIFO kuyruk yönetimine göre üstünlüğünü gösterir niteliktedir. Sunucuların doluluk oranlarının daha yüksek olduğu durumlarda da sınıflar arasında oluşan bekleme süresi farkını gözlemleyebilmek için servis süresi dağılımın TRIA(10,20,30) dakikaya uygun diğer parametre değerlerinin önceki koşuturumla aynı olduğu sonuçlar da incelenmiştir. İstasyonlarda sınıflara göre oluşan bekleme süreleri ortalaması ve %95 güven aralığı ile oluşturulmuş farklar Çizelge 5.31’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.31 : Yüksek Servis Süresi Dağılımı İle Türlerine Göre Aynı Bölgede Olan İstasyonların Aynı Noktada Konumlandırıldığı Sonuçlar.

		Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)		
ref:1,5/1.snf:0,3 20x20km ²		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Fark CI
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	İstasyon 1(FIFO)	[15,19 16,01]	[15,15 16,17]	[-0,29 0,16]
	İstasyon 2(AÇ)	[10,50 11,20]	[17,61 18,81]	[-7,64 -7,07]
	İstasyon 3(FIFO)	[15,68 16,60]	[15,78 16,42]	[-0,28 0,37]
	İstasyon 4(AÇ)	[11,19 11,65]	[18,73 19,61]	[-8,05 -7,43]
	İstasyon 5(FIFO)	[23,76 24,32]	[23,30 24,46]	[-0,19 0,52]
	İstasyon 6(AÇ)	[15,71 16,81]	[27,46 28,56]	[-11,81 11,69]
	İstasyon 7(FIFO)	[18,85 19,81]	[18,83 19,67]	[-0,10 0,27]
	İstasyon 8(AÇ)	[12,48 13,60]	[21,53 23,17]	[-9,56 -8,96]

Alınan sonuçlara göre açık çevrim ile çalışan istasyonlarda sınıfların bekleme süreleri ortalaması 1,67'dir. Referans değerden 0,17 fark ile koşturum sonlanmıştır. Aynı noktada konumlandırılan istasyon kümelerinden açık çevrim ile çalışanlar 1. sınıf araçlara daha düşük bekleme süresi sunmuştur. Aynı bölgede olan FIFO kuyruk sistemine göre çalışan istasyonda ise 1. sınıf araçlara ait bekleme süresi açık çevrim ile çalışan istasyonlara göre yüksektir. İstasyonları tercih eden araç sayıları da günlük ortalama olarak Çizelge 5.32'de incelenmiştir.

Çizelge 5.32 : Yüksek Servis Süresi Dağılımı İle Türlerine Göre Aynı Bölgede Olan İstasyonların Aynı Noktada Konumlandırıldığı Sınıf Ayrımlarına Göre İstasyonları Tercih Eden Araç Sayıları.

		Araç Sayıları	
		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar
ref:1,5/1.snf:0,3 20x20km ²			
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	İstasyon 1(FIFO)	[110 113]	[270 273]
	İstasyon 2(AÇ)	[115 118]	[267 268]
	İstasyon 3(FIFO)	[117 121]	[287 291]
	İstasyon 4(AÇ)	[127 130]	[279 281]
	İstasyon 5(FIFO)	[119 121]	[288 290]
	İstasyon 6(AÇ)	[125 127]	[283 285]
	İstasyon 7(FIFO)	[115 118]	[280 284]
	İstasyon 8(AÇ)	[119 122]	[276 279]

Çizelge 5.32'ye göre 1. sınıf araçların aynı noktada bulunan açık çevrim ile çalışan istasyonları daha çok tercih ettiği görülmektedir. FIFO kuyruk yönetimi ile çalışan istasyonlar konum olarak daha avantajlı noktalarda bulunsalar da araçların servis ihtiyaçlarının artmasından dolayı artan sunucu doluluk oranlarının da etkisi ile belirgin farklar ile açık çevrim ile çalışan istasyonlar daha çok tercih edilmiştir. İstasyonlarda oluşan bekleme süreleri ve tercih eden araç sayıları servis sürelerinin TRIA(10,20,30) dakika dağılımına uyduğu, mesafelerden kaynaklı tercihlerin önüne geçebilmek için mesafe matrisinin 0 olarak alındığı (aracın karar anında istasyona ulaştığı), diğer parametrelerin ise aynı olduğu şartlar altında da incelenmiştir. İstasyonlara ait bekleme süreleri Çizelge 5.33'te gösterilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde görülmektedir ki, açık çevrim yöntemi kullanan istasyonların en önemli dezavantajı, 2.sınıf araçların bekleme sürelerinin aynı noktada bulunan FIFO istasyonlara göre daha fazla oluşudur. Açık çevrim modelinin, ilan ettiği tahmini bekleme sürelerini daha sonra gelebilecek araçları da öngörerek

hesaplaması sağlandığında bu dezavantajın önüne geçilebilecektir. Bu durumda açık çevrim istasyonların toplam müşteri sayısı düşecektir ama 1.sınıf araçlardan alınacak ek ücretlerle bu kayıp telafi edilebilir.

Çizelge 5.33 : Yüksek Servis Süresi İçin Mesafe Matrisinin Olmadığı Durumda Sınıf Ayırlarına Göre Araçlara İletilen Değerlerden Çok ve Az Bekleme Miktarları.

		Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)		
		1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Fark CI
ref:1,5/1.snf:0,3 20x20km ²				
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	İstasyon 1(FIFO)	[2,35 2,45]	[2,57 2,79]	[-0,39 -0,17]
	İstasyon 2(AÇ)	[2,06 2,32]	[2,87 3,07]	[-0,82 -0,73]
	İstasyon 3(FIFO)	[2,27 2,39]	[2,54 2,78]	[-0,42 -0,23]
	İstasyon 4(AÇ)	[2,07 2,29]	[2,84 3,08]	[-0,84 -0,72]
	İstasyon 5(FIFO)	[2,27 2,45]	[2,46 2,76]	[-0,34 -0,15]
	İstasyon 6(AÇ)	[2,03 2,23]	[2,78 3,12]	[-0,88 -0,75]
	İstasyon 7(FIFO)	[2,26 2,44]	[2,54 2,74]	[-0,40 -0,17]
	İstasyon 8(AÇ)	[2,00 2,28]	[2,80 3,06]	[-0,85 -0,73]



6. TARTIŞMA VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Elektrikli araçların trafikteki yoğunluğu günümüzde hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu artış, elektrikli araç şarjı için gerekli altyapı ve şarj istasyonu araştırmalarını da beraberinde getirmektedir. Elektrikli araçların şarjı hızlı şarj istasyonlarında dahi 30 dakikayı bulabildiği için istasyonlarda bekleme süreleri de uzamaktadır. Bu alandaki araştırmalar, elektrikli araçları bekleme sürelerini ve toplam yolculuk sürelerini azaltacak şekilde istasyonlara yönlendirmeyi amaçlamaktadır. Bekleme süresini araçların bir bölümü için kısaltabilecek bir başka yöntem de ekspres şarj uygulamasıdır. İstasyonlar, daha yüksek ücret ödemeyi göze alan öncelikli araçlar veya daha kısa süre şarj olmayı tercih edecek araçların daha az beklemelerini sağlayacak şekilde bir kaynak dağılımı yapabilirler. Bu durumda tüm araçların olmasa da bir bölüm araçların daha hızlı servis görmeleri sağlanabilir.

Bu çalışma iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde araçların istasyonlara yönlendirilmesinde kullanılabilecek istasyon seçim modelleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler, istasyonların kendilerine gelecek araçlar için ilan edecekleri tahmini bekleme süresi bilgisini kullanmaktadırlar. Bu çalışmada, araçların kendileri ile ilgili bilgileri istasyona vardıklarında verdikleri, önceden rezervasyon veya seçimleri hakkında bildirim yapmadıkları koşullar incelenmiştir. Araçlar kendilerine ilan edilen süreyi ve istasyonun lokasyon bilgisini kullanarak toplam yolculuk sürelerini azaltacak bir istasyon tercihi yapmaktadırlar. Ancak bir araç hedeflediği istasyona varana kadar önüne başka araçlar gelebilir. Bu belirsizliğin bekleme süresine etkisini azaltmak için tez kapsamında bir “yakınlık” kavramı geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller Visual Basic dilinde kodlanmış ve Arena programına entegre edilerek simülasyon ortamında test edilmiştir. Araçların “yakın” istasyonlar arasından kendisine en yakın olan istasyonu seçtiği yöntem (YYI) geliştirilen modeller arasında en iyi sonuçlara sahiptir. Karşılaştırma yapıldığında YYI modelinin, toplam yolculuk süresine göre seçim yapma durumuna göre daha kötü olmadığı, ve bazı durumlarda daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Alınan sonuçların hepsinde araçların aynı

seçim yöntemini kullandığı varsayılmıştır. Gelecek çalışmalarda araçların farklı çözüm yöntemlerini kullandığı sonuçlar da incelenecektir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde elektrikli araç şarj istasyonları için iki farklı ekspres şarj noktası yönetim metodu geliştirilmiştir. Her iki yöntem de Visual Basic dilinde kodlanıp Arena Simülasyon programı ile entegre edilerek benzetim ortamında test edilmişlerdir. İlk olarak kısa süreli şarj olmak isteyen araçların daha az bekleyerek istasyondan ayrılmalarını sağlayan dinamik kuyruk sıralama metodu önerilmiştir. Metot kısa süreli şarj olmak isteyen araçları sistemden daha çabuk çıkarırken uzun süreli şarj olacak araçların da fazla beklemelerinin önüne geçmektedir. Bu iki amaç CPU programlamada sıkça kullanılan HRRN(Highest Response Ratio Next) yöntemi ile sağlanmaktadır. Kuyrukta bekleyen her araç için ihtiyaç duydukları şarj ve bekleme süreleri ile bir oran hesaplanmaktadır. Bu oran her sunucu boşalışında güncellenmektedir. En yüksek orana sahip araç ilk sırada işleme başlamaktadır. Geliştirilen bu yöntem tek istasyonun ve çok istasyonun olduğu rekabetçi modellerde farklı yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Tek istasyonun olduğu FIFO ve SPT kuyruk yönetimine göre işleyen modeller ile standart ekspres modeli dinamik kuyruk yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Farklı varışlar arası sürelerde ve servis ihtiyacı dağılımında farklı sınıflara ait araçların bekleme süreleri incelenmiştir. FIFO kuyruk yönetimi ile yapılan karşılaştırmada ekspres sınıf araçların en yoğun olan koşutrum haricinde dinamik kuyruk modelinde sistemi daha hızlı terk ettiği görülmüştür. Normal sınıf araçlarda ise FIFO kuyruk yönetimini kullanan araçlar sistemi daha hızlı terk edebilmektedirler. Dinamik kuyrukta ekspres sınıf araçlarda kazanılan zaman normal sınıf araçlarda kaybedilmektedir. Daha sonra dinamik kuyruk, ekspres sınıf araçlara sabit sayıda sunucu ile hizmet veren standart ekspres model ile karşılaştırılmıştır. Ekspres sınıf araçlara hizmet eden sabit sayıda sunucu bulunduran bu sistem ekspres sınıf araçları sistemden daha çabuk çıkarabilmektedir. Ancak normal sınıf araçların bu sunucuları kullanamaması sistemde uzun süre bekleyen normal sınıf araçlara neden olmaktadır. Yüksek öncelikli sunucu sayısını artırmak bu bekleme süreleri daha da yükseltmektedir. Araç gelişlerinin sık ve servis ihtiyacının yüksek olduğu durumda da sabit sınıf sunucusu yöntemi ile çalışan model kararlılığını yitirmektedir. Aynı parametreler ile çalıştırılan dinamik kuyruk yönetimi ise kararlı sonuçlar verebilmiştir. Normal sınıf araçların sistemde uzun süreler beklemesi müşteri memnuniyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Tek istasyonlu

sistemlerde dinamik kuyruk yönetimi son olarak SPT (shortest processing time - en kısa işlem süresi) kuyruk yönetimi ile karşılaştırılmıştır. SPT kuyruk yönetimi beklemekte olan araçlardan en kısa işlem süresine sahip olan aracı en önce boş olan sunucuya yerleştirmektedir. Dinamik kuyruk yönetiminde olduğu gibi bu sistemde tüm sunucular tüm sınıflar tarafından kullanılabilir. İşlem süresi en küçük olan aracın ilk önce işleme alınması da ortalama bekleme süresini azaltmaktadır. Servis süresine dağılımında ortalama değerinden az olan araçların ekspres sınıfta değerlendirildiği koşullarda ekspres araçların dinamik kuyruk yöntemine göre çok daha az bekleme süresine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık normal sınıf araçlar sistemde fazla beklemektedir. sınıf ayırımı seviyesi yükseldikçe normal sınıf araçların SPT kuyruk sisteminde ortalama bekleme süresi müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyecek şekilde artmaktadır. Dinamik kuyruk için son olarak çoklu istasyon ortamında sistemin nasıl davrandığı incelenmiştir. Farklı alan büyüklükleri ve servis süresi dağılımları için sonuçlar alınmıştır. Ayrıca çoklu istasyon ortamında her bölgedeki istasyonlardan birini FIFO, diğerini dinamik kuyruk sistemi ile çalışır hale getirip bu istasyonların aynı noktalarda konumlandırıldığı koşullarda sonuçları incelenmiştir. İstasyonlardaki bekleme süreleri ve istasyonu tercih eden araç sayıları karşılaştırılmıştır. Daha kısa süre şarj olacak araçların aynı noktadaki dinamik kuyruk ile çalışan istasyonları daha fazla tercih ettiği gözlemlenmiştir. Aynı noktadaki FIFO ve Dinamik kuyruk istasyonlardaki ikinci sınıf araçlar karşılaştırıldığında, ikinci sınıf araçların Dinamik kuyruk istasyonlarda daha fazla beklediği gözlemlenmektedir. Bunun sebebi ise dinamik kuyruk modelinde sonradan gelen bir aracın daha önce gelmiş bir aracın önüne geçebilmesi ve bu sebeple istasyonların ilan ettiği bekleme sürelerinin geçerliliğini yitirmesidir. Gelecek çalışmalarda dinamik kuyruk modeli kullanan istasyonların bekleme süresi tahminlerini yaparken arkadan gelebilecek araçlarla ilgili tahminlerini de entegre etmeleri sağlanarak model iyileştirilebilir.

Ekspres şarj yöntemi için geliştirilen ikinci yöntem açık çevrim kontrole dayalı dinamik sunucu atanmasıdır. Bu çalışmada amaç birinci ve ikinci sınıf araçların istasyonda geçirecekleri bekleme sürelerinin birbirine oranının önceden belirlenen ve ilan edilen bir seviyede tutulmasıdır. . Seviyenin korunması için sunucular da araçlar gibi iki sınıfa ayrılmıştır. Geliştirilen sistemde sunucular, öncelikli olarak kendi sınıflarından olan araçlara hizmet verirler ancak diğer tipteki araçlara da hizmet

verebilirler. Sisteme verilen referans seviyenin korunabilmesi için sunucuların her boşalığında o an istasyonda bekleyen araçlar için hesaplama yapılır. Hesaplama sonucunda referans seviye beklenenden olumsuz yönde farklı ise sunucularda gerekli değişiklikler yapılarak gelecek bekleme zamanları için önlem alınır. Geliştirilen yöntemde önce koşturum sonunda referans değerini sağlandığı görülmüştür. Referans değerinden sapmaların olduğu durumlar da bulunmaktadır. Yöntemin, iki sınıfa ayrılan araçların oranları farklılaştıkça referans değeri tutturmakta zorlandığı gözlemlenmiştir. Yöntem daha sonra FIFO modeli ile karşılaştırılıp beklendiği gibi birinci sınıf araçlara daha az bekleme süresi sunduğu gözlemlenmiştir. Karşılaştırmalar daha sonra çok istasyonlu modeller üzerinden yapılmıştır. Aynı bölgede olan istasyonların aynı noktaya konumlandırılması ve birinin FIFO diğeri için açık çevrim mantığı ile çalışması sonucu araçların tercihleri ve ortaya çıkan bekleme süreleri incelenmiştir. Birinci sınıf araçların aynı noktadaki açık çevrim ile çalışan istasyonu daha çok tercih ettiği gözlemlenmiştir. İstasyonların konumlarının da araçların istasyon tercihlerinde önemli bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır. Araçların yolda geçirdikleri zaman olmadan rekabetçi bir ortamda nasıl tercih yaptıklarını gözlemlemek için de model mesafe matrisi olmadan tekrar çalıştırılmıştır. FIFO model ve açık çevrim ile çalışan istasyonlar arasındaki bekleme süresi ve istasyonları tercih eden araç sayıları daha net bir şekilde görülebilmektedir. Açık çevrim ile çalışan istasyonlar birinci sınıf araçlar tarafından daha çok tercih edilirken birinci sınıf araçlara daha az bekleme süresi sunmaktadır. Aynı zamanda ikinci sınıf araçların birinci sınıf araçlara göre bekleme süresini modele girilen referans girdi oranı yakınlarında tutmuştur.

Özetle, geliştirilen istasyon seçim modelleri ve ekspres şarj yöntemleri gelecek için olumlu sonuçlar vermiştir. Araçlar doğru istasyonlara yönlendirilerek sistemi daha çabuk terk etmeleri sağlanmıştır. Ekspres şarj yöntemleri ile de sisteme para ödeyerek veya işlem süresi belirlenen seviyenin altında olanların daha az bekleme süresi ile istasyonlardan çıkmaları sağlanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmanın özgün değeri ve literatüre yapacağı katkı aşağıdaki bölümlerde incelenebilir:

1. İstasyon seçim algoritmaları: Bu bölümde, literatürde son derece kısıtlı çalışılmış olan dağıtık araç yönlendirme (araçların seçim kararını kendi

yaptığı ve merkeze bildirmediği modeller) alanında özgün modeller geliştirilmiştir. Literatürde bu alanda ilk kez, belirsizlik ortamında kullanılacak “yakınlık” kavramı geliştirilmiş ve performansı incelenmiştir. Ayrıca kullanılan farklı tipe bilgilerin performansı nasıl etkilediği test edilmiştir

2. Dinamik kuyruk sıralama ile ekspres şarj istasyonu yönetimi: Bilgisayar bilimleri alanında CPU işlem kuyruğu sıralamada sıklıkla kullanılan HRRN yöntemi literatürde ilk kez elektrikli araç şarj istasyonlarında uygulanacaktır. Böylelikle literatürdeki elektrikli araç şarj çalışmalarında kullanılan sürücü tarafından bildirilen “deadline” özelliği, sıralama önceliği hesaplamasına katılmayarak sıralamanın objektif olarak yapılması sağlanacaktır.
3. Açık çevrim kontrollü ekspres şarj istasyonu yönetim modeli: Bu yöntem, sistem durumunun takip edilebildiği birçok alanda kullanılacak yeni bir metot getirmektedir.
4. Bilgisayar bilimleri alanında sunucu ve kuyruk yönetim modelleri uygulanırken, sistemin performansının (kısalan bekleme-işlem sürelerinin) gelen iş talebi yoğunluğunu etkilemediği varsayılmaktadır. Modeller, rekabetçi ortam yerine tek bir sunucunun hizmet verdiği ortamlarda kullanılmaktadır. Bu çalışma ile ilk kez yönetim performansının sisteme olan talebi gerçek zamanlı olarak etkilediği, performans ve sistem durumu arasında bir geri beslemenin olduğu rekabetçi ortamda sunucu ve kuyruk yönetim modelleri uygulanmaktadır. Performansın rekabet ortamındaki değişimi bu çalışma ile ilk kez ölçülecektir.

Bu alandaki gelecek çalışmalar aşağıdaki problemleri ele alabilir:

1. Ekspres şarj açık çevrim modelinin farklı sınıf oranlarındaki performansını iyileştirmek için tahmin algoritmaları ile entegre çalışmasının sağlanması.
2. Açık çevrim modeli kullanan istasyonların tahmini bekleme süresini ilan ederken, aracın varışından sonra istasyona gelebilecek araçlarla ilgili tahminlerini de süre hesabına dahil etmelerinin sağlanması.
3. Ekspres şarj istasyonu sunucu dağılımını gerçekleştirecek bekleme sürelerini değil, gerçekleşmiş bekleme sürelerini kullanarak yapan kapalı çevrim metotların geliştirilmesi.

4. Açık çevrim kontrole dayalı dinamik sunucu atama yönteminde farklı sınıflardaki müşteriler için elde edilen performans ölçülerine bakılarak fiyatlandırma politikası geliştirilmesi.



KAYNAKÇA

Abdelzaher, T.F., Shin, K.G. and Bhatti, N., 2002. Performance guarantees for web server end-systems: A control-theoretical approach. *IEEE transactions on parallel and distributed systems*, 13(1), pp.80-96.

Adler, J. 2014. "Routing and Scheduling of Electric and Alternative-Fuel Vehicles", PhD. Tezi, Arizona State University. http://repository.asu.edu/attachments/134788/content/Adler_asu_0010E_13619.pdf, son erişim tarihi: 01.07.2018.

Andradóttir, S., Ayhan, H., & Down, D. G. 2003. "Dynamic server allocation for queueing networks with flexible servers", *Operations Research*, 51(6), 952-968.

Bennani, M. N., Menasce, D. 2005. "Resource allocation for autonomic data centers using analytic performance models", *IEEE Proceedings. Second International Conference on Autonomic Computing*, 229-240.

BioCycle August 2004, Vol. 45, No. 8, p. 54

Cao, Y., Wang, N., Kamel, G., Kim, Y. J. 2015. "An Electric Vehicle Charging Management Scheme Based on Publish/Subscribe Communication Framework", *IEEE Systems Journal*, doi: 10.1109/JSYST.2015.2449893

Chopra R. 2009. *Operating System (A Practical App)*. New Delhi: S.Chand & Company PVT. LTD.

De Weerd, M. M., Gerding, E. H., Stein, S., Robu, V., Jennings, N. R. 2013. "Intention-aware routing to minimise delays at electric vehicle charging stations", *Proceedings of the Twenty-Third international joint conference on Artificial Intelligence*, 83-89.

Diao, Y., Hellerstein, J.L., Parekh, S., Griffith, R., Kaiser, G. and Phung, D., 2005, April. Self-managing systems: A control theory foundation. In *Engineering of Computer-Based Systems, 2005. ECBS'05. 12th IEEE International Conference and Workshops on the* (pp. 441-448). IEEE.

EVSolutions, 2016. *Electric Vehicle Charging Products and Services*, <https://www.iea.org/topics/transport/evi/>, son erişim tarihi: 01.07.2018.

Gan, L., Topcu, U., & Low, S. H. 2013. "Optimal decentralized protocol for electric vehicle charging". *Power Systems, IEEE Transactions on*, 28(2), 940-951.

Gharbaoui, M., Valcarenghi, L., Bruno, R., Martini, B., Conti, M., & Castoldi, P. (2012, Mart). An advanced smart management system for electric vehicle recharge. In *Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 IEEE International* (pp. 1-8). IEEE.

Guo, Q., Xin, S., Sun, H., Li, Z., & Zhang, B. 2014. Rapid-charging navigation of electric vehicles based on real-time power systems and traffic data. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(4), 1969-1979.

Huang, D., He, B. and Miao, C., 2014. A survey of resource management in multi-tier web applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3), pp.1574-1590.

Lu, C., Abdelzaber, T.F., Stankovic, J.A. and Son, S.H., 2001. A feedback control approach for guaranteeing relative delays in web servers. In *Real-Time Technology and Applications Symposium, 2001. Proceedings. Seventh IEEE* (pp. 51-62). IEEE.

Lu, C., Lu, Y., Abdelzaher, T.F., Stankovic, J.A. and Son, S.H., 2006. Feedback control architecture and design methodology for service delay guarantees in web servers. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 17(9), pp.1014-1027.

Malandrino, F., Casetti, C., Chiasserini, C. F., Reineri, M. 2015. "A game-theory analysis of charging stations selection by EV drivers", *Performance Evaluation*, 83, 16-31.

Martonosi, S. E. 2011. "Dynamic server allocation at parallel queues", *IIE Transactions*, 43(12), 863-877.

Palmer, J., Mitrani, I. 2005. "Optimal and heuristic policies for dynamic server allocation", *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 65(10), 1204-1211.

Park, H. M., Yang, M. B., Kang, H., Park, C. J., Kim, S. B., Lee, J., Park, G. L. 2014. "A Preemption-based Reservation Management Algorithm for Charging Electrical Vehicles", *Life Science Journal*, 11(7).

Qin, H., & Zhang, W. 2011. "Charging scheduling with minimal waiting in a network of electric vehicles and charging stations". *Proceedings of the Eighth ACM international workshop on Vehicular inter-networking*, 51-60.

Parekh, S., Gandhi, N., Hellerstein, J., Tilbury, D., Jayram, T. and Bigus, J., 2001. Using control theory to achieve service level objectives in performance management. In *Integrated Network Management Proceedings, 2001 IEEE/IFIP International Symposium on* (pp. 841-854). IEEE.

Peng, H., Jinkuan, W. and Yinghua, H., 2012, July. Dynamic-priority-based real-time charging management for plug-in electric vehicles in smart grid. In Control Conference (CCC), 2012 31st Chinese (pp. 2432-2436). IEEE.

Rigas, E. S., Ramchurn, S. D., Bassiliades, N. 2015. "Managing electric vehicles in the smart grid using artificial intelligence: a survey". IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16:4.

Rigas, E. S., Ramchurn, S. D., Bassiliades, N., Koutitas, G. 2013. "Congestion management for urban EV charging systems", IEEE International Conference on Smart Grid Communications, 121-126.

Said, D., Cherkaoui, S. and Khoukhi, L., 2015. Multi-priority queuing for electric vehicles charging at public supply stations with price variation. Wireless Communications and Mobile Computing, 15(6), pp.1049-1065.

Schlote, A. C. 2014. "New Perspectives on Modelling and Control for Next Generation Intelligent Transport Systems"

Stankovic, J.A., Lu, C., Son, S.H. and Tao, G., 1999. The case for feedback control real-time scheduling. In Real-Time Systems, 1999. Proceedings of the 11th Euromicro Conference on (pp. 11-20). IEEE.

Timpner, J., Wolf, L. 2014. "Design and evaluation of charging station scheduling strategies for electric vehicles", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 15(2), 579-588.

Turner D., Moyer D. 2014. "Reservation systems for electric vehicle charging stations", US Patent App. 14/083,239

Türkiye-AUS. "Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2018 – 2020 Eylem Planı", <http://hgm.ubak.gov.tr/tr/sayfa/49#AUS>, son erişim tarihi: 01.07.2018.

USEnergy. 2016. US Department of Energy, "Developing Infrastructure to Charge Plug-In Electric Vehicles", http://www.afdc.energy.gov/fuels/electricity_infrastructure.html, son erişim tarihi: 01.07.2018.

Wei W., Minghao A., Naishi C., Xianjun G., Tianjiao P. (2016) "Multi-level Feeder Queue Optimization Charging Model of Electric Vehicle and its Implementation of M-R Algorithm", International Journal of u- and e-Service, Science and Technology, Vol.9, No.3, pp.199-208

Whitt, W. 1999. "Dynamic staffing in a telephone call center aiming to immediately answer all calls". Operations Research Letters, 24(5), 205-212.

Yang, S. N., Cheng, W. S., Hsu, Y. C., Gan, C. H., Lin, Y. B. 2013. “Charge scheduling of electric vehicles in highways”, *Mathematical and Computer Modelling*, 57(11), 2873-2882.

Yang, S. N., Wang, H. W., Gan, C. H., Lin, Y. B. 2013b. “Mobile charging information management for smart grid networks”, *International Journal of Information Management*, 33(2), 245-251.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Emre Anıl Kakillioğlu
Uyruğu : Türk
Doğum Tarihi ve Yeri : 07.01.1993/Zile
E-posta : akakilli@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2018, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2018	TOBB ETÜ	Tam Burslu Yüksek Lisans Öğrencisi
2014	Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği	Mühendis
2013	Türk Traktör & CNH	Mühendis
2012	Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.	Mühendis

YABANCI DİL:

İngilizce

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kakillioğlu, E. A.**, Fescioğlu-Ünver, N. “Elektrikli Araçlar İçin Şarj İstasyonu Seçim Modelleri Geliştirilmesi”, 37. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi (YAEM), 5-7 Temmuz 2017, İstanbul

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- İnanç, B.C., Dastjerd, N.K., **Kakillioğlu, E.A.** ve Fescioğlu-Ünver, N. “Policy Analysis with Simuation: Centralization of Blood Supply Chain”, 7. Uluslararası Simülasyon ve Modelleme Metodolojileri, Teknolojileri ve Uygulamaları Konferansı (SIMULTECH 2017), 26-28 Temmuz 2017, Madrid
- Bülbül, Z., **Kakillioğlu, E.A.**, Gültekin, H., “Fazla Mesai ve Sıra Bağımlı Ayar Zamanı İle Makine Çizelgeleme Problemi”, 36. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi (YAEM), 13-15 Temmuz 2016, İzmir

