

**Elektrikli Araç Şarj İstasyonları için Ekspres Şarj Noktası
Yönetim Metotları Geliştirilmesi**

Program Kodu: 3001

Proje No: 217M121

Proje Yürütücüsü:
Doç. Dr. Nilgün FESCİOĞLU-ÜNVER

Araştırmacı(lar):
Prof. Dr. Coşku KASNAKOĞLU

Bursiyer(ler):
Emre Anıl KAKILLIOĞLU
Melike YILDIZ AKTAŞ

AĞUSTOS 2020
ANKARA

ÖNSÖZ

Dünya genelinde elektrikli araç sayısındaki hızlı artışla beraber elektrikli araç şarj istasyonlarına olan talep de artmaktadır. Elektrikli araçların hızlı şarj sunucularında tam dolum süresi 30 dakikayı bulmaktadır. Sürenin uzunluğu, istasyonlarda bekleyen araç sayısını ve araçların ortalama bekleme süresini artırabilecek seviyededir. Araştırmacılar, istasyonlardaki bekleme sürelerini azaltmak için istasyon yer seçimi, araçların dinamik olarak kalabalık olmayan istasyonlara yönlendirilmesi, öncelikli şarj ile bir grup araca şarj sırasında öncelik verilmesi gibi çözümler üzerinde çalışmaktadırlar. Bu çalışma ile öncelikli şarj alanında kullanılmak üzere 3 farklı yöntem geliştirilmiştir. Yöntemlerden biri ile araçların kuyruğu dinamik olarak sıralanmakta, diğer iki yöntem ile de farklı araç sınıflarına atanan sunucu (şarj noktası) sayısı dinamik olarak değiştirilerek sınıfların bekleme sürelerinin birbirine oranının belirlenen seviyede tutulması sağlanmaktadır. Bu proje ile akıllı ulaşım sistemleri alanına yeni ve özgün ekspres şarj istasyonu yönetim sistemleri katılmıştır. Geliştirilen modeller akıllı üretim dahil birçok alana uygulanabilir niteliktedir.

Bu çalışma 217M121 proje numarası ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	i
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1 Elektrikli Araçları Şarj İstasyonları Arasında Yönlendirerek İstasyonlar Arası Talep Dağılımını Düzenleyen Çalışmalar.....	5
2.2 Şarj İstasyonlarının Konumlandırılması ve Boyutlandırılması Konusundaki Çalışmalar.....	6
2.3 Şarj İstasyonlarındaki Elektrik Akıllı Şebeke Aracılığı ile Yönetilmesi ve Maliyet Minimizasyon Çalışmaları.....	8
2.4 Şarj İstasyonlarında Öncelikli Şarj Alanında Yapılan Çalışmalar.....	9
2.5 Diğer Alanlarda Sunucu Sayısını Dinamik Olarak Değiştiren veya Kontrol Teorisini Kullanan Çalışmalar.....	11
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	13
3.1 Ekspres Şarj İstasyonu Yerleşim Planı, İşleyiş ve Performans Ölçütleri.....	13
3.1.1 Ekspres Şarj İstasyonu Yerleşim Planı ve İşleyiş.....	13
3.1.2 Açık ve Kapalı Çevrim Ekspres Şarj İstasyonu Performans Kriterleri.....	15
3.2 Dinamik Kuyruk Sıralama Yöntemi ile Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Metodu.....	16
3.3 Açık Çevrim Kontrolüne Dayalı Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Metodu.....	16
3.4 Kapalı Çevrim (Geri Beslemeli) Kontrol ile Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Metodu.....	19
3.4.1 Kapalı Çevrim Kontrol Metodunun İşleyişi.....	19
3.4.2 Kapalı Çevrim Kontrol Metodu- Kontrolör Tasarımı.....	23
3.4.3 Kapalı Çevrim Kontrol Metodu- Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi.....	24
3.5 Sabit Sayıda Sunucu ile Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Modeli.....	41
3.6 Tek İstasyon Ortamı - Simülasyon Modeli.....	42
3.7 Çoklu İstasyon Ortamı - Simülasyon Modeli.....	44
4. BULGULAR.....	47
4.1 Dinamik Kuyruk Sıralama Yöntemi ile Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Metodu Performans Analizi.....	47
4.1.1 Dinamik Kuyruk Sıralama Yöntemi Tekli İstasyon Performansı.....	47
4.1.2 Dinamik Kuyruk Sıralama Yöntemi Çoklu İstasyon Performansı.....	59
4.2 Açık Çevrim ve Kapalı Çevrim Modelleri Uzun Dönem Denge Durumu Performans Analizi.....	63
4.3 Açık Çevrim ve Kapalı Çevrim Modelleri Gerçek Zamanlı Performans Analizi.....	69
4.4 Açık Çevrim ve Kapalı Çevrim Modelleri Tepki Süresi Performans Analizi.....	75
4.5 Açık Çevrim ve Kapalı Çevrim Modelleri Tek İstasyon Performans Analizi Değerlendirmesi.....	80
4.5.1 Açık Çevrim ve Kapalı Çevrim Modelleri Tek İstasyon Welch Güven Aralığı (CI) Testi.....	80
4.6 Açık/Kapalı Çevrim Modelleri Çoklu İstasyon Ortamında Performans Analizi.....	81
4.6.1 Açık/Kapalı Çevrim Modelleri Çoklu İstasyon Ortamında Performans Analizi.....	81
4.6.2 Çoklu İstasyon Ortamında Coğrafi Büyüklük Duyarlılık ve Performans Analizi.....	89
4.7 Açık/Kapalı Çevrim Modelleri Çoklu İstasyon Ortamında Müşteri Karar Değişim Modeli Performans Analizi.....	93
4.7.1 Müşteri Karar Değişim Modeli.....	93
4.7.2 Müşteri Karar Değişim Modeli Performans Analizi.....	95
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	100
KAYNAKÇA.....	103

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1: Ekspres şarj istasyonlarında yerleşim modeli.....	14
Şekil 2: Açık çevrim kontrol metodunun mekanizması.....	18
Şekil 3: Açık çevrim kontrolcüsü.....	18
Şekil 4: Kapalı çevrim kontrol metodunun mekanizması.....	20
Şekil 5: Yanıt yüzeyi yöntemi akış şeması.....	29
Şekil 6: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıtı1) için varyans analizi tablosu.....	30
Şekil 7: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıtı1) için model özeti tablosu.....	30
Şekil 8: $T_s = 1.5$ başlangıç deney tasarımı tepki süresi residual grafiği.....	31
Şekil 9: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıkıtı2) için varyans analizi tablosu.....	32
Şekil 10: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıkıtı2) için model özeti tablosu.....	32
Şekil 11: $T_s = 1.5$ başlangıç deney tasarımı yüzde sapma residual grafiği.....	33
Şekil 12: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı pareto optimal noktalar.....	34
Şekil 13: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı ve pareto optimal noktalar.....	35
Şekil 14: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının tepki süresi için varyans analizi tablosu.....	37
Şekil 15: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının tepki süresi için model özeti tablosu....	37
Şekil 16: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı tepki süresi residual grafiği.....	38
Şekil 17: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının yüzde sapma için varyans analizi tablosu.....	38
Şekil 18: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının yüzde sapma için model özeti tablosu.....	39
Şekil 19: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı yüzde sapma residual grafiği.....	39
Şekil 20: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı pareto optimal noktalar.....	40
Şekil 21: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı ve pareto optimal noktaların grafik üzerinde gösterilmesi.....	41
Şekil 22: Arena simülasyon modeli ekran görüntüsü.....	42
Şekil 23: Isınma periyodunun belirlenmesi – araçların dakika cinsinden bekleme süreleri....	44
Şekil 24: Çoklu istasyon simülasyon modeli.....	45
Şekil 25: İstasyonların ve araç giriş çıkış noktalarının 20*20 km ² 'lik bir alanda dağılımı.....	46
Şekil 26: Doluluk oranlarına göre dinamik kuyruk yöntemini kullanan araçların bekleme süresi sonuçları.....	52
Şekil 27: Dinamik kuyruk ve standart ekspres modellerinde araçların sınıflara ve doluluk oranlarına göre bekleme süreleri sonuçları.....	55
Şekil 28: Dinamik kuyruk ve spt kuyruk yönetiminde araçların sınıflara ve doluluk oranlarına göre bekleme süreleri sonuçları.....	57
Şekil 29: Dinamik kuyruk ve SPT kuyruk yönetiminde 25 dakika sınırında araçların sınıflara ve doluluk oranlarına göre bekleme süreleri sonuçları.....	58
Şekil 30: Kapalı çevrim kontrol metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma.....	63
Şekil 31: Açık çevrim kontrol metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma.....	64
Şekil 32: Sabit sunucu 2 metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma grafiği.....	65
Şekil 33: Kapalı çevrim kontrol metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma.....	66
Şekil 34: Açık çevrim kontrol metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma.....	67
Şekil 35: Sabit sunucu 2 metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma grafiği.....	67
Şekil 36: Kapalı çevrim kontrol metodunda yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı.....	70
Şekil 37: Kapalı çevrim kontrol metodunda araçlar arası bekleme farkının değişimi.....	70

Şekil 38: Kapalı çevrim kontrol metodunda 18 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süresi.....	71
Şekil 39: Açık çevrim kontrol metodunda yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı.....	72
Şekil 40: Açık çevrim kontrol metodunda araçlar arası bekleme farkının değişimi.....	72
Şekil 41: Açık çevrim kontrol metodunda 18 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süreleri.....	73
Şekil 42: Sabit sunucu 2 metodunda sunucu sayısının 8-6 olduğu durumda araçlar arası bekleme farkı.....	74
Şekil 43: Sabit sunucu 2 metodunda sunucu sayısının 8-6 olduğu durumda 18 dakikalık zaman diliminde sınıfların bekleme süresi.....	74
Şekil 44: Kapalı çevrim kontrol metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı.....	76
Şekil 45: Kapalı çevrim metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı... ..	76
Şekil 46: Açık çevrim kontrol metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı.....	77
Şekil 47: Açık çevrim metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı.....	78
Şekil 48: Sabit 2 metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı (8-6).....	78
Şekil 49: Sabit 2 metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı (8-6).....	79
Şekil 50: Farklı hedeflenen bekleme oranı değerlerinde tepki süresinin değişimi.....	79
Şekil 51: İstasyonların ve araç giriş çıkış noktalarının 15*15 km ² 'lik bir alanda dağılımı.....	90

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1: CCD tasarım matrisi.....	25
Çizelge 2: Ts = 1.5 modelinin ilk deney tasarımı.....	29
Çizelge 3: MATLAB genetik algoritma karakteristikleri.....	33
Çizelge 4: Ts= 1.5 için başlangıç deney tasarımında pareto optimal noktaların çıktı sonuçları.....	34
Çizelge 5: Ts= 1.5 için 2. deney tasarımında pareto optimal noktaların çıktı sonuçları.....	35
Çizelge 6: Ts = 1.5 modelinin 3. deney tasarımı.....	36
Çizelge 7: Ts= 1.5 için 3. deney tasarımında pareto optimal noktaların çıktı sonuçları.....	40
Çizelge 8: Dinamik Kuyruk ve FIFO Sonuçları.....	48
Çizelge 9: Dinamik Kuyruk ve FIFO Modelleri Bekleme Süresi Farkı – (Varışlar arası süre ortalama 3.5 dakika (üssel)).....	48
Çizelge 10: Dinamik Kuyruk ve FIFO Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 3.75 dakika (üssel)).....	49
Çizelge 11: Dinamik Kuyruk ve FIFO Modelleri Bekleme Süresi Farkı – (Varışlar arası süre ortalama 3.75 dakika (üssel)).....	50
Çizelge 12: Dinamik Kuyruk ve FIFO Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel)).....	50
Çizelge 13: Dinamik Kuyruk ve FIFO Bekleme Süresi Farkı - (Varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel)).....	51
Çizelge 14: Dinamik kuyruk ve standart ekspres sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 3,5 dakika (üssel)).....	53
Çizelge 15: Dinamik kuyruk ve standart ekspres sonuçları- (varışlar arası süre ortalama 3.75 dakika (üssel)).....	54
Çizelge 16: Dinamik kuyruk ve standart ekspres sonuçları- (varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel)).....	54
Çizelge 17: Dinamik kuyruk ve spt karşılaştırması (varışlar arası süre ortalama 3.5 dakika (üssel)).....	56
Çizelge 18: Dinamik kuyruk ve spt karşılaştırması (varışlar arası süre ortalama 3.75 dakika (üssel)).....	56
Çizelge 19: Dinamik kuyruk ve spt karşılaştırması (varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel)).....	56
Çizelge 20: Dinamik kuyruk ve spt karşılaştırması (sınıf ayrımı 25 dk).....	58
Çizelge 21: 15 km ² alanda dinamik kuyruk yönetimi çoklu istasyon modeli sonuçları.....	59
Çizelge 22: 20km ² alanda dinamik kuyruk yönetimi çoklu istasyon modeli sonuçları.....	59
Çizelge 23: 25km ² alanda dinamik kuyruk yönetimi çoklu istasyon modeli sonuçları.....	59
Çizelge 24: Dinamik ve FIFO kuyruk yönetimi istasyon karşılaştırması.....	60
Çizelge 25: Dinamik ve FIFO kuyruk yönetimi ile çalışan istasyonlarda bekleme süresi ve araç sayısı farkı.....	61
Çizelge 26: Rasgele dağıtılmış istasyonlarda dinamik ve FIFO kuyruk yönetimi ile çalışan istasyonlarda bekleme süresi ve araç sayısı farkı.....	62
Çizelge 27: Sabit sunuculu sistemlerde yüksek öncelikli araçların sahip olduğu sunucu sayısı.....	64
Çizelge 28: Sabit sunucu 2 metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma değerleri.....	65
Çizelge 29: Sabit sunucu 2 metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma değerleri.....	67
Çizelge 30: Yüksek öncelikli araç oranınının 0.5 olduğu durumlarda gerçekleşen bekleme oranları.....	69
Çizelge 31: Farklı doluluk oranlarında ortalama fark değerleri (yüksek öncelikli araç oranı = 0.5, hedeflenen bekleme oranı = 1.5).....	75
Çizelge 32: Tekli İstasyonda Welch Testi – Gerçekleşen Bekleme Oranları Farkı %95 CI...81	81

Çizelge 33: Kapalı çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların bekleme süreleri.....	82
Çizelge 34: Kapalı çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların istasyonları tercih etme sayısı.....	83
Çizelge 35: Kapalı çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunmadığı durumda araçların bekleme süreleri.....	83
Çizelge 36: Kapalı çevrim çoklu istasyonda günlük bazda mesafe matrisinin olmadığı durumda araçların istasyonları tercih etme sayısı.....	84
Çizelge 37: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların bekleme süreleri.....	85
Çizelge 38: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların sayısı.....	86
Çizelge 39: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunmadığı durumda araçların bekleme süreleri.....	87
Çizelge 40: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunmadığı durumda araçların sayısı.....	87
Çizelge 41: Çoklu istasyonlarda Welch CI testi ile Gerçekleşen Bekleme Oranları Farkı %95 CI.....	88
Çizelge 42: 15*15 m ² lik alanda kapalı çevrim çoklu istasyonda araçların bekleme süreleri..	91
Çizelge 43: 15*15 m ² lik alanda Kapalı çevrim çoklu istasyonda araçların istasyonları tercih etme sayısı.....	91
Çizelge 44: 15*15 m ² lik alanda açık çevrim çoklu istasyonda araçların bekleme süreleri....	92
Çizelge 45: 15*15 m ² lik alanda açık çevrim çoklu istasyonda araçların istasyonları tercih etme sayısı.....	93
Çizelge 46: Öncelik değişiminin yapılabildiği kapalı istasyon modelinde bekleme süreleri....	96
Çizelge 47: Öncelik değişiminin yapılabildiği kapalı istasyon modelinde gerçekleşen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı.....	96
Çizelge 48: Öncelik değişiminin yapılabildiği kapalı istasyon modelinde günlük bazda araç sayıları.....	96
Çizelge 49: Öncelik değişiminin yapılabildiği açık istasyon modelinde bekleme süreleri.....	97
Çizelge 50: Öncelik değişiminin yapılabildiği açık istasyon modelinde gerçekleşen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı.....	98
Çizelge 51: Öncelik değişiminin yapılabildiği açık istasyon modelinde günlük bazda araç sayıları.....	98

ÖZET

Electric Vehicles Initiative – EVI üyesi 16 ülke, yollarında 2030 yılında toplam 100 milyon elektrikli araç bulunmasını hedeflemektedir. Elektrikli araç bataryalarının dolumu için gerekli süre hızlı şarj istasyonlarında 30 dakikaya yakındır. Şarj süresinin uzunluğu, istasyonlarda oluşan kuyruk uzunluğunu ve araçların bekleme süreleri gereken süreyi de artırmaktadır. Bilgi ve iletişim teknolojilerini ulaşım alanına entegre eden Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) desteği ile bu süre azaltılabilir. Bu sürenin, araçların bir bölümü için daha da kısaltılabilmesi, ekspres şarj istasyonlarının oluşturulmasıyla mümkün olabilir. Bu projenin amacı, ekspres elektrikli şarj istasyonlarında uygulanmak üzere kaynak yönetim metotları geliştirmektir.

Bu proje ile hızlı şarj istasyonlarında öncelikli şarj alanında kullanılmak üzere 3 farklı yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen birinci yöntemle istasyonda şarj için bekleyen araçlar kuyruğunun araçların ihtiyaçlarına göre dinamik olarak sıralanması sağlanmıştır. Bu metotta CPU çizelgeleme alanında kullanılan yanıt süresi oranına göre sıralama (HRRN) kuyruk çizelgeleme modelinden faydalanılmıştır. Geliştirilen diğer iki ekspres şarj noktası yönetim modeli ise kontrol teorisi yöntemini kullanmaktadır. Kontrol teorisi temelli yöntemler, 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 (self-controlling) bir yapıya ulaşması sağlanmaktadır. Kontrol teorisi temelli ilk yöntem, farklı sınıflara yapacağı sunucu atamalarının bekleme oranına etkisini bir simülasyon modeli kullanarak tahmin etmekte ve kararını tahmin sonuçlarını kullanarak vermektedir. Kontrol tabanlı ikinci yöntem ise hedeflenen bekleme süreleri oranını sağlayacak sunucu dağılımına bir geri beslemeli kontrol metodu olan Orantısız İntegral Kontrol Metodu (Proportional İntegral Control) ile karar vermektedir.

Geliştirilen metotların performansları simülasyon ortamında farklı koşullar altında test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Dinamik kuyruk sıralama metodunu araçların bekleme sürelerini beklenen şekilde değiştirmekte, kontrol teorisi tabanlı yöntemler de hedeflenen bekleme süreleri oranını başarıyla tutturmaktadır. Bu proje ile akıllı ulaşım sistemleri çerçevesinde elektrikli araç ekspres şarj istasyonları için kendi kendini kontrol eden kaynak yönetim modelleri geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, akıllı ulaşım sistemleri (AUS), ekspres şarj

ABSTRACT

Electric Vehicles Initiative - member countries aim to have a total of 100 million electric vehicles on their roads by 2030. The time required for charging electric vehicle batteries is approximately 30 minutes at fast charging stations. The length of the charging time increases the queue at stations and the waiting time of the vehicles. This time can be reduced with the support of Intelligent Transportation Systems (ITS), which integrates information and communication technologies in the field of transportation. The waiting time can be shortened even more for some of the vehicles by establishing express charging stations. The aim of this project is to develop resource management methods to be applied in express electric vehicle charging stations.

This project proposes three different electric vehicle express charge station management methods. The first method dynamically sorts the queue of vehicles waiting for charging at the station according to their properties, using the HRRN- highest response rate method. The other two express charge station management models are based on control theory. Control theory based methods divide vehicles into two classes and automatically assign servers to keep the ratio of the delay times (waiting times) of vehicles in different classes at a certain level. The first control theory based method predicts the effect of server assignments on the delay ratio through a simulation model. The second method uses the Proportional Integral Control Method and decides on the server-class assignments.

The performances of the developed methods have been tested and compared under different conditions in the simulation environment. The dynamic queue sorting method changes the waiting times of the vehicles as expected, and the control theory-based methods successfully achieve the target delay ratio. With this project, self-controlled resource management models have been developed for electric vehicle express charging stations within the framework of intelligent transportation systems.

Keywords: electric vehicle, intelligent transportation systems (ITS), express charge stations

1. GİRİŞ

Elektrikli arabalar, klasik otomobillerin çevresel olumsuz etkilerini azaltacak bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Elektrikli arabalar daha az enerji dönüşümü geçirir ve gazla çalışan araçlara göre daha az enerji kaybı yaşar. Elektrikli otomobillerin üretilmesinin başlıca nedenlerinden biri sera gazı emisyonları ve zararlı gazların küresel ısınmaya sebep olmasının engellenmesi isteğidir. Halk sağlığı açısından incelendiğinde egzoz emisyonlarının azalması insanların yaşam kalitesinin artmasına, hatta birçok hastalığın sebebi olan zararlı gazların azalmasını sağlayarak hava kalitesinin artmasına ve sağlık sorunlarının azalmasını sağlar (Weeberb, ve diğerleri, 2018). Son yıllarda elektrikli araçların faydaları göz önünde bulundurulduğunda birçok ülkenin üretim, ulaşım gibi alanlarda elektrikli araçlar ile yapılan çalışmalarında artış görülmüştür. Bu kapsamda kurulmuş olan Elektrikli Araçlar Girişimi (Electric Vehicles Initiative-EVI) elektrikli araçların küresel ölçekte her geçen yıl yaygınlaştığını ve 2018 yılında 2017 yılına oranla elektrikli araç kullanımının %63 arttığını belirtmiştir (Global Electric Vehicle Outlook, 2019).

Elektrikli araçların uzun vadeli faydalarının yanında kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek bazı sorunlar bulunmaktadır. Bunlardan biri de araçların şarj süresidir. Elektrikli araçlar evde şarj edildiğinde 1 gece veya daha uzun sürede, normal şarj istasyonlarında 2 ile 4 saat arası şarj süresine sahip olurken, özellikle uzun yollar için kurulan hızlı şarj istasyonlarında bu süre 30 dakikaya kadar düşmektedir (Zorlu Energy Solutions, 2020). Şarj sürelerinin uzun olması istasyonlarda araç kuyruklarının çoğalmasına dolayısıyla da müşterilerin bekleme süresinin artmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada hızlı şarj istasyonlarında öncelikli şarj alanında kullanılmak üzere 3 farklı yöntem geliştirilmiştir. İlk yöntem olan dinamik kuyruk modeli, bilgisayar bilimleri alanında sıklıkla kullanılan yanıt süresi oranına göre sıralama metodunu kullanarak istasyonda bekleyen araç kuyruğunu dinamik olarak sıralamaktadır. Diğer yöntemler olan açık çevrim ve kapalı çevrim modelleri ise istasyona gelen araçları yüksek ve düşük öncelikli olarak iki sınıfta değerlendirmekte ve araç sınıflarının ortalama bekleme sürelerinin oranını belirli bir seviyede tutmayı amaçlayarak sınıflara atanan kaynak sayısını gerçek zamanda dinamik olarak değiştirmektedir. Geliştirilen yöntemlerin performansları, simülasyon ortamında çeşitli koşullar altında test edilmiştir.

Bu çalışmanın literatüre kattığı özgün değerler aşağıdaki gibidir:

- Dinamik kuyruk modeli: Bilgisayar bilimleri CPU çizelgeleme alanında sıklıkla kullanılan bir yöntem olan yanıt süresi oranına göre sıralama, elektrikli şarj alanında kuyruk

sıralamada kullanılmıştır. Bu yöntemin elektrikli araç şarj kuyruğu sıralama alanında kullanılan diğer yöntemlere göre en önemli avantajı, sürücünün kendi belirlediği bir termin zamanına ihtiyaç duymadan çalışabilmesidir.

- Kapalı çevrim modeli: Bilgisayar bilimleri alanında web sunucusu çizelgeleme alanında daha önce kullanılmış olan geri beslemeli kontrol yöntemi, elektrikli araç istasyonlarında ilk kez kullanılmıştır. Ek olarak bu modelde web sunucusu çizelgeleme alanında kullanılan modellerdekinden farklı bir kontrol edilen çıktı önerilmiş ve bu çıktının kontrolünün performansına olan olumlu etkileri gösterilmiştir.

- Açık çevrim modeli: Bu yöntemle kontrolörün gerçek zamanda alacağı kararların sistem üzerindeki etkisi önce simülasyon ortamında ölçülmekte ve etkinin tahmin edilmesi sonrasında nihai karar seçilerek uygulanmaktadır. Bu metod sistem durumunun takip edilebildiği birçok alanda kullanılabilecek yeni bir kaynak yönetim yöntemidir.

- Rekabetçi ortamda karşılaştırma: Literatürdeki çalışmalar öncelik sıralamalı modellerin performansını tek sistem üzerinde incelemekte, rekabetçi ortamdaki etkilerini gözlemlememektedir. Bu çalışma ile geliştirilen modellerin rekabetçi ortamdaki performansları da incelenmektedir.

Bu raporun devamında Bölüm 2'de literatür özeti, Bölüm 3'te gereç ve yöntemler, Bölüm 4'te bulgular ve Bölüm 5'te tartışma ve sonuç yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Çevrenin ve insan sağlığının korunmasına verilen önemle beraber elektrikli araçların sayısında da artış görülmüştür. Önümüzdeki yıllar içerisinde de bu artışın devam etmesi beklenmektedir. Elektrikli araçlar evde şarj imkânı ile uzun sürede şarj olurken, ekspres şarj istasyonları sayesinde bu süre 30 dakika civarına düşmektedir.

Elektrikli araçların sayısının artması ile beraber alt yapı çalışmaları da hız kazanmıştır. Şarj istasyonlarının konumlandırılması ve boyutlandırılması ile birlikte araçlara daha iyi hizmet verilmesi, araçları şarj istasyonlarına yönlendirerek talep dağılımının düzenlenmesi, bekleme süresinin en aza indirgenmesi, kuyruk boyutunun, kuyrukta bekleme süresinin veya şarj istasyonuna giren araç sayısının belli bir seviyede tutulması gibi hedefler literatürdeki çalışmalarda bulunmaktadır. Çalışmalarda göz önünde bulundurulmuş kriterler arasında trafik yoğunluğu, istasyon kapasitesi, müşterilerin kabul edeceği maksimum bekleme süresi, araçların varış süresi, servis süresi, pil boyutu, menzili örnek verilebilir.

Şarj istasyonlarındaki enerjinin akıllı şebekeler aracılığıyla verimli kullanılması, maliyet minimizasyonu ve fiyatlandırma çalışmaları da literatürde sıklıkla bulunmaktadır. Literatürde istasyon içerisinde daha iyi hizmet verebilmek için hızlı şarj ihtiyacını göz önünde bulunduran çalışmalar da bulunmaktadır. Kuyruk uzunluğunu dikkate alarak araçların şarjını kısıtlayan, araçlar arası önceliğin belirlenerek depolamanın kontrol edildiği, araçların belirli özelliklerine göre sıralandığı ve kuyruk modelinin çözüldüğü, iki farklı önceliğe sahip olan araçlara şarj hizmeti verilirken hizmet kesme uygulamasının yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır.

Guo vd. (2018), Xiong vd. (2017) ve Karaşan vd. (2018) şarj istasyonlarının konumunun ve kapasitesinin optimize edilmesi, Schneider vd. (2014), Desaulniers vd. (2016), Bi ve Tang (2018) ve Keskin ve Çatay (2018) elektrikli araç rotası, Sun vd. (2018), Chen vd. (2019), Chung vd. (2018), Zhang vd. (2013) ve Yao vd. (2016) araçların şarj sürelerinin programlanması veya Zhanga vd. (2020), Sun vd. (2019), Cao vd. (2017) şarj etmek yerine pillerin değiştirilmesi araştırma alanlarından bazılarıdır.

Xiao vd. (2020), Hosseini ve MirHassani (2015), Yang vd. (2018), Zhu vd. (2017), Lu ve Hua (2015), Hosseini ve Sarder (2019) elektrikli araç kuyruğunu göz önünde bulundurarak istasyonların konumunu ve şarj kapasitesini optimize eder, Xiao vd. (2020), Hosseini ve MirHassani (2015), Yang vd. (2018), Zhu vd. (2017), Lu ve Hua (2015), Hosseini ve Sarder (2019), Su vd. (2017), De Weerd vd. (2013), Cao vd. (2016), Tian vd. (2016), Ammous vd. (2019), Qin ve Zhang (2011), Gharbaoui vd. (2012), Guo vd. (2014) gecikme süresini veya

Said vd. (2015) toplam yolculuk süresini en aza indirmek için araçları gerçek zamanlı olarak yönlendirir veya bekleme süresini azaltmak için araç rotası ve önceliğini birleştirir.

Bir aracın önceliği aşağıdakilere göre dinamik olarak değişebilir; aracın son tarihi, boşta kalma süresi, şarj durumu ve talebi (Peng vd., 2012), (Xu vd., 2016), araçların kullanılabilir zamanına ve talebine (Kumar vd., 2015), (Kumar ve Tseng, 2016) dayalı farklı öncelik kriterlerinin ağırlıklı ortalaması, ağırlıklı ortalama araç ve şarj istasyonu öncelik kriteri (Niu vd., 2018), şebekenin arz / talep dengesi ve aracın şarj / deşarj planı (Abd Eldjalil ve Lyes, 2017), (Said ve Mouftah, 2019).

Fiyatlandırma mekanizmaları, kullanıcıların kendi öncelik seviyelerini seçmelerine izin verir. Özellikle halka açık hızlı şarj istasyonlarında araçların bekleme süresi önemli bir kriterdir. Hızlı şarj istasyonlarından oluşan bir ağın merkezi olarak yönetilmesi ve yönlendirme / fiyatlandırma mekanizmalarının birleştirilmesi, araçların servis seviyesinin farklılaştırılmasında etkilidir (Moradipari ve Alizadeh, 2019). Fiyatlandırma stratejisi hem tek istasyon seviyesinde hem de bir şarj istasyonu ağı üzerinde bir kontrol mekanizması görevi görebilir (Bayram vd., 2013). İkili şarj modlu şarj istasyonları, sistemden şarj edilmeden çıkan araçların sayısını en aza indirmek için fiyatlandırma stratejilerinden yararlanabilir (Zhang vd., 2018).

Halka açık hızlı şarj istasyonlarındaki talep, dinamik ve öngörülemeyen bir şekilde değişebilir. Araçların varış zamanları ve servis süreleri stokastiktir. Web servis yönetimi, talebin stokastik olduğu başka bir alandır. Bu alandaki çalışmalar, sistemleri kontrol etmek için gerçek zamanlı kaynak yönetimi modellerini kullanır. Web hizmeti kaynak yönetimi çalışmaları, kural tabanlı (yani makine öğrenimi ve bulanık kontrol) yaklaşımlar ve model tabanlı (yani kuyruk teorisi ve kontrol teorik) yaklaşımlar olarak iki grupta sınıflandırılır (Huang vd., 2014). Kontrol teorisi yaklaşımları, sunucuların gücünü ve/veya sayısını dinamik olarak değiştirir ve gerektiğinde taleplerin kabulünü sınırlar (Stankovic vd., 1999), (Parekh vd., 2001), (Abdelzaher vd., 2002), (Diao vd., 2005).

Konu ile ilgili literatürdeki çalışmalar beş ana başlık altında toplanabilir; elektrikli araçları şarj istasyonları arasında yönlendirerek istasyonlar arası talep dağılımını düzenleyen çalışmalar, şarj istasyonlarının konumlandırılması ve boyutlandırılması konusundaki çalışmalar, şarj istasyonlarındaki elektriğin akıllı şebeke aracılığı ile yönetilmesi ve maliyet minimizasyon çalışmaları, şarj istasyonlarında öncelikli şarj alanında yapılan çalışmalar ve diğer alanlarda sunucu sayısını dinamik olarak değiştiren ve kontrol teorisini kullanan çalışmalar.

2.1 Elektrikli Araçları Şarj İstasyonları Arasında Yönlendirerek İstasyonlar Arası Talep Dağılımını Düzenleyen Çalışmalar

Literatürde elektrikli araçların şarj istasyonlarında bekleme süresini ve toplam yolculuk süresini azaltmayı hedefleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar arasında istasyonlar arası talep dağılımını düzenleyen çalışmalar önemli bir yere sahiptir. Elektrikli araç şarj istasyonlarındaki uzun bekleme sürelerini azaltmak için Akbari ve Fernando (2016) çalışmasında iki katlı çözüm geliştirmiştir. İlk olarak farklı bölgelerde sürücülerin akülerini deşarj profilleri incelenmiş ve her sürüş döngüsünün benzersiz bir profil oluşturduğu bulunmuştur. İkinci olarak sürücülerin bekleme sürelerini en aza indirmek ve her şarj istasyonundaki kuyruk boyutunu uyumlu hale getirmek için bir model kurulmuştur. Toronto şehrinde vaka çalışması yapılmıştır ve sürücülere şarj istasyonu sürüş mesafesini azaltacak ve toplam bekleme süresini en aza indirgeyecek potansiyel şarj istasyonları önerilmiştir.

Anil ve diğ. (2020) çalışmalarında elektrikli araçlara eklenen bir cihaz, şarj istasyonları için bir sunucu ve şarj istasyonları için öncelik tahmincisi içeren ve hepsi birbirine bağlı bir sistem ile elektrikli araçların şarj istasyonlarına yönlendirilmesini sağlamaktadır. Eklenti cihazı, elektrikli araçtan girişler alır ve elde edilen girişler araçlarda bulunan Wi-Fi internet bağlantısı kullanılarak bir sunucuya gönderilir. Sunucu daha sonra alınan verileri belirli bir mesafe içindeki tüm şarj istasyonlarına iletir. Şarj istasyonları öncelik listesini belirler ve listeyi sunucuya geri gönderir. Bir şarj istasyonundan alınan öncelik listesi işlenir ve elektrikli aracın önceliği, şarj istasyonu kimliği ve konumu her elektrikli araca gönderilir. Eklenti cihazı daha sonra gerektiğinde kullanıcıya elektrikli araç şarj etmek için en uygun şarj istasyonuna karar verebilmesi için alınan bilgileri görüntüler. Böylece sistem, kullanıcının elektrikli aracı nerede şarj edeceğine karar vermesine yardımcı olarak şarj istasyonlarının verimli ve optimum şekilde kullanılmasını sağlar.

Tan ve Wang (2017) çalışmasında güç ve ulaşım sistemlerinin şarj istasyonlarına etkisini dikkate alan bir öneride bulunmaktadır. Bu öneride yoğun olmayan saatlerde elektrikli araçları istasyonlara çekerek ve gerçek zamanlı bir yönlendirme ile araç sahiplerinin zaman tasarrufu sağlaması hedeflenmiştir. Bu amaçla elektrikli araçları şarj istasyonlarına etkili bir şekilde yönlendirmek için hiyerarşik oyun yöntemi kullanılmıştır. Bu oyunun üst seviyesinde şarj istasyonları arasında rekabeti modellemek için işbirlikçi olmayan bir oyun önerilmektedir. Bu oyundan elde edilen fiyatlandırma stratejilerine dayanarak, araçların şarj istasyonu seçimi konusunda daha düşük düzeyde çoklu evrimsel oyunlar formüle edilmiştir.

Vardakas (2014) çalışmasında akıllı şebeke ortamında hızlı şarj istasyonu ağı için elektrikli araç şarj yönetimi modeli sunmuştur. Modelde birden fazla araç sınıfına hizmet sağlayan şarj istasyonu ağı dikkate alınmıştır. Modelin temel özelliği şarj çıkışlarının kullanılamaması

nedeniyle elektrikli araçların tercih ettikleri istasyon tarafından hizmet alamaması durumunda iletişim sistemi aracılığıyla sabit veya esnek şarj hizmetleri sağlayan başka bir istasyon seçmelerinin istenmesidir. Yapılan analizler belirli bir bölgeye kurulması hedeflenen istasyon sayısının belirlenmesinde kullanılabilir.

Mukherjee ve Gupta (2015)'nin derleme çalışması akıllı şebekelerdeki elektrikli araçları şarj etmek için zamanlama algoritmaları alanında yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Çalışmalar öncelikle tek yönlü ve iki yönlü şarj olmak üzere ikiye ayrılır. Daha sonra çizelgeler merkezi veya dağıtılmış olmak üzere veya herhangi bir hareketlilik yönünün dikkate alınıp alınmamasına bağlı olarak sınıflandırılır. Sınıflandırmaların ardından ilgili alandaki temel sonuçlar gözden geçirilmiştir.

Gusrialdi ve diğ. (2017) çalışmasında şarj istasyonlarındaki kuyukları dengelemek için bir yöntem geliştirmiştir. Spesifik olarak seçilmiş bir otoyol boyunca elektrikli araçlar dağıtık bir algoritma ile şarj istasyonlarına yönlendirilir ve şarj istasyonlarının benzer şekilde kullanılması sağlanır. Herhangi bir şarj istasyonuna giren toplam elektrikli araç sayısı da benzer bir seviyede tutularak elektrikli araçların o istasyona girip girmeyeceği kararının verilmesi sağlanır.

Qin ve Zhang (2011) çalışmasında şarj işlemlerini mekansal ve zamansal olarak planlayarak şarj istasyonunda bekleme süresini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bekleme süresini minimize eden şarj planlama problemini formüle etmek ve bir performans üst sınırı üretmek için teorik bir çalışma yapılmıştır. Teorik analizden yola çıkarak pratik dağıtık bir plan önerilmiştir. Simülasyon sonuçları, pratik tasarımdaki alt sınırın, teorik alt sınırın yakınında bir bekleme süresi sağladığını göstermiştir.

2.2 Şarj İstasyonlarının Konumlandırılması ve Boyutlandırılması Konusundaki Çalışmalar

Şarj istasyonlarındaki kuyruğun veya toplam araç sayısının belirli bir seviyede tutulabilmesi ve araçlara daha iyi hizmet verebilmek için şarj istasyonlarının konumu ve boyutu önem arz etmektedir. Vazifeh ve diğ. (2019) elektrikli araç şarj istasyonlarının yerlerini belirlemek için veriye dayalı optimizasyonu kullanarak yeni bir metodoloji önermiştir. Problemi formüle ederken sürücülerin toplam fazla sürüş mesafesini en aza indirirken talep bölgesini de kapsamak hedeflenmektedir. Genetik algoritmaya dayalı verimli sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar genetik algoritmanın sürücülerin şarj istasyonlarına olan fazla sürüş mesafesini, enerji yükünü optimize edilmiş olduğunu, hem de Boston metro alanındaki mevcut şarj

istasyonu dağıtımıyla karşılaştırıldığında gerekli şarj istasyonu sayısını önemli ölçüde azaltan çözümler sunduğunu göstermektedir.

Hosseini ve Sarder (2019) elektrikli araç şarj istasyonunun konumlandırılması seçimini yaparken sadece nicel faktörleri değil, aynı zamanda nitel faktörleri de dikkate alan bir Bayes Ağı modeli önermektedir. Akademik literatürden ve uzmanlardan yararlanılarak, şarj istasyonlarının yer seçimine ilişkin değerlendirme temel olarak 11 alt katman oluşmakta ve ekonomik, çevresel ve sosyal kriterleri içermektedir. Belirsizlik altında risk değerlendirmesi ve karar alma süreçlerini ele almak için güçlü bir araç olan Bayes ağları ile geliştirilen ağ modelinin etkinliği duyarlılık analizi yapılarak doğrulanmıştır.

Yudovina ve Michailidis (2015) çalışmasında elektrikli araç şarj istasyonlarında çok az kuyruk veya kuyruk olmayan bir sistem elde etmek için merkezi olmayan politikaları incelemiştir. Şarj süreleri uzun olan elektrikli araçlar için bu amaç çok önemlidir. Önerilen yöntemin uygulanabilirliği her istasyonda birden fazla şarj yuvası olması durumunda geçerlidir. Elde edilen sonuçlar, şarj alt yapısının en uygun konuma inşa edilmesine ilişkin bilgi sağlar.

Ge ve diğ. (2011) çalışmasında elektrikli araç istasyonlarının yerlerini ve büyüklüğünü belirlemek için ızgara bölümlene metoduna dayanan bir yöntem önerilmiştir. Şarj istasyonuna giden yolcuların yolda geçirdikleri zaman süresince kayıplarını en aza indirmeleri, planlama alanını ızgara bölümlene metodu ile inşa etme ve genetik algoritma ile her bir bölümün yerini seçerken trafik yoğunluğunu ve istasyonların kapasitesini dikkate almak hedeflenmiştir. Sürekli tekrarlanan hesaplamalar ile her bir bölümün kapasitesinin ve şarj istasyonlarının yerinin dikkate alınması sonucunda uygun yerleşimlere sahip olunacağı gösterilmiştir ve pratik bir örnek üzerinden modelin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

Lu ve Hua (2015) çalışmasında elektrikli araç şarj altyapısını oluştururken sadece araç menziline göz önüne almak yerine şarj istasyonlarının sayı kısıtını da dikkate almak gerektiği belirtilmiştir. FRLM(akış-yakıt ikmali modu) metodu ile kuyruk teorisi birleştirilerek daha geniş bir ağ sistemi tasarlanmış ve müşterilerin kabul edeceği en yüksek bekleme süresi göz önünde bulundurularak şarj istasyonları için boyutlandırma modeli oluşturulmuştur. Bu model belirlenen maksimum bekleme süresini aşmadan en uygun tahsisi yapmaktadır.

Sadeghi-Barzani ve diğ. (2014) çalışmasında hızlı şarj istasyonlarının en uygun şekilde yerleştirilmesi ve boyutlandırılması için Karışık Tamsayı Doğrusal Olmayan (MINLP) optimizasyon yaklaşımı sunmaktadır. İstasyon geliştirme maliyeti, elektrikli araçların enerji kaybı, elektrik alt istasyonlarının ve yolların konumu önerilen yaklaşımdaki temel faktörler arasındadır. Optimizasyon problemi genetik algoritma tekniği kullanılarak çözülmüştür.

Sonuçlar, şarj istasyonlarının optimal yeri ve büyüklüğünü belirlemek için önerilen yöntemin sağlamlığını ve etkinliğini göstermiştir.

Jia ve diğ. (2012) çalışmasında elektrikli araç şarj istasyonlarının boyutlandırılması ve konumlandırılması problemini grafik teorisi ile modelleme ve simülasyonu için karayolu ağının yapısını özetlemiş ve problemi Cplex ile çözmüştür. Modelin amacı şarj istasyonları ve tüketicilerin entegre maliyetini en aza indirmektir. Sonuçlar yöntemin inşaat ve işletme maliyetlerini etkili bir şekilde azaltabildiğini ve kullanıcı ücretlendirmesini kolaylaştırabildiğini göstermektedir.

2.3 Şarj İstasyonlarındaki Elektrikli Akıllı Şebeke Aracılığı ile Yönetilmesi ve Maliyet Minimizasyon Çalışmaları

Şarj istasyonlarında akıllı şebeke aracılığıyla elektrikliğin yönetilmesi ve maliyetlerin azaltılması çalışmaları literatürde sıklıkla rastlanmaktadır. Nezamoddini ve Wang (2016) çalışmasında akıllı şebeke üzerindeki elektrikliğin arz ve talebini dengede tutmak için talep yanıtı yöntemi kullanmıştır. Zamana dayalı ve teşvik tabanlı talep yanıtı programlarına elektrikli araçların katılımı akıllı şebekelerin kararlılığının artmasını ve olası risklerin azalmasını sağlamıştır. Çalışmada elektrikli araçların risk yönetimi ve bu programlara katılım planlaması için stokastik bir model sunulmuştur.

Logenthiran ve Srinivasan (2011) çalışmasında plug-in hibrit elektrikli araçların müşterilerin talep yanıt programlarına katılma olasılığını artırmakta olduğunu belirtmiştir. Akıllı şarj ve deşarj planları ile işletme maliyetlerini düşürmek ve sistemin yükünü en aza indirmek için evrimsel algoritma ve doğrusal programlama birleştirilmiş ve merkezi olmayan çok ajanlı bir sistem ve hibrit bir algoritma geliştirilmiştir.

You ve diğ. (2016) çalışmasında akıllı bir şarj istasyonu için dinamik elektrik fiyatlandırması ile yeni bir şarj stratejisi önermektedir. Bu yöntem elektrikli araçların belirtilen son teslim tarihlerine kadar şarj görevini yerine getirmelerine yardımcı olup araçların aküde depolamış oldukları enerjiyi toplayıcılar ile paylaşımlarına fırsat vermektedir. Yöntemde karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli kurulmuş, model ise ikili ayrışma ve benders ayrışması yöntemleri ile çözülmüştür.

Yu ve diğ. (2016) elektrikli araçların eş zamanlı olarak artabilecek taleplerini azaltmak veya engellemek için enerji yönetiminin gerekli olduğunu düşünmektedir. Çalışmada elektrikli araçların heterojen talepleri ve istasyonların güç limitleri dikkate alınarak toplam maliyet minimizasyonu problemini formüle edilmiştir. Bu problem dışbükey bir optimizasyon olduğu

için dağıtık bir algoritma önerilmiştir. Böylece hem elektrikli araçlar için hem de şarj istasyonları için ortak bir enerji yönetimi stratejisi oluşturulmuştur.

Zakariazadeh ve diğ. (2014) çalışmasında akıllı dağıtım sistemindeki elektrikli araçların şarj edilmesi/boşaltılması amacıyla çok amaçlı bir planlama yöntemi önermektedir. Çalışmada toplam operasyonel maliyetleri ve emisyonları en aza indirmek amacıyla artırılmış ϵ kısıtlama yöntemine dayanan bir metot önerilmektedir. Araçtan şebekeye ve gerçek sürücü modelleri kullanılarak pareto optimal çözümler elde edilmiştir. Modeli çözmek için Benders ayrıştırma tekniği kullanılmıştır.

Kang ve diğ. (2016) çalışmasında spot elektrik fiyatına göre şarj önceliği ve şarj konumu bilgilerini dikkate alınarak, pil değiştirme senaryosu için merkezi bir şarj stratejisini önermektedir. Stratejide toplam şarj maliyetini en aza indirmek ve güç şebekelerinin güç kaybını ve voltaj sapmasını azaltmak hedefiyle sezgisel bir yaklaşım önerilmiştir. Parçacık sürüsü ve genetik algoritmanın birleştirilmesi ile oluşturulmuş hibrit bir mutasyon stratejisi önerilmiştir.

2.4 Şarj İstasyonlarında Öncelikli Şarj Alanında Yapılan Çalışmalar

Son yıllarda şarj istasyonlarında araçların belirli bir düzen içerisinde hizmet olarak verimi artırmayı hedefleyen çalışmalar artmıştır. Bu çalışmalar arasında kuyruğun belirli bir seviyede kalmasını hedefleyenlerin yanında verilen bir referans şarj gücünü en iyi şekilde kullanmayı hedefleyen çalışmalar bulunmaktadır. Araçların bekleme süresini veya şarjın tamamlanma süresini en aza indirmek, şebekenin yükünü azaltmak da çalışmaların hedefleri arasındadır.

Kakillioğlu (2018) çalışmasında ekspres şarj istasyonlarında bulunan sunucuların araçların ihtiyaçlarına göre dinamik olarak sıralandığı bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde yanıt süresi oranı en yüksek olan araçlar öncelikli olacak şekilde kısa süreli şarj olmak isteyen araçların sistemde daha az beklemesi sağlanmıştır. Çalışmada geliştirilen diğer bir yöntemde ise iki farklı sınıfa ayrılan araçlara ait sunucu sayısı dinamik olarak farklı sınıflardaki araçların bekleme sürelerinin birbirine oranı belirli bir seviyede tutacak şekilde kendi kendine değiştirmektedir. Sonuçlar incelendiğinde geliştiren yöntemin beklenen performansı gösterdiği görülmüştür. Geliştirilen yöntemler çok istasyonlu ortamda analiz edilmiştir. Bu yöntem Bölüm 3'te ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Kakillioğlu (2018) de sunulan çalışma ile bu çalışmanın en önemli farkı bu çalışmada istasyona gelen araçların talep ettikleri şarj süresinin istasyon tarafından bilinmemesidir.

Zenginis ve diğ. (2016) çalışmasında araç modellerini pil boyutlarına göre sınıflandırarak araçların stokastik varış süresi ve şarj ihtiyaçlarını dikkate alarak müşterilerin ortalama

bekleme süreleri hesaplamıştır ve müşterilerin şarj taleplerini sınırlamak için şarj stratejisi önermektedir. Bu stratejide şarj istasyonunun kuyrukta bekleme süresinde herhangi bir artış olmadan daha fazla müşteriye hizmet etmesi hedeflenmiştir.

Malik ve Lehtenon (2017) çalışmasında elektrikli araçların toplam şarj süresi ve ağ kapasitesinin kullanımı açısından optimal şarj imkânı sağlamak için hızlı şarj ihtiyacına odaklanılmıştır. Güç dağıtım şebekesinin kapasitesi her bir sokete bağlı aracın şarj ihtiyacına göre atanacak şekilde kullanılır ve araçların şarj oranını kontrol etmek için akıllı bir algoritma inşa edilmiştir. Soketlere bağlı olan her araç kuyruğun tıkanmasını önlemek için kuyruğun uzunluğuna bağlı olarak belirli miktarda şarj olabilir.

Giorgio ve diğ. (2016) çalışmasında elektrikli araç hızlı şarj uygulamalarında aralıklı yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim ile gerçek zamanlı bir kontrol stratejisi oluşturmuştur. Model, tahmini kontrol yönteminden yararlanır ve iki aşamalıdır. Öncelikle araçlar arasındaki önceliği yönetir ve referans şarj gücünü en iyi şekilde tahsis etmeyi hedefler. İkinci olarak şarj işlemini verimli bir şekilde gerçekleştirmek için depolamayı kontrol eder. Çalışmada iki farklı kullanım amacı bulunmaktadır. İlkinde amaç, elektrikli araçların şarj gücünün nominal değerden sapmasını en aza indirmektir. İkinci amaç ise ilgili güç akışını azaltma ihtiyacıdır. Her iki amaç için de temel hedef, zaman içinde depolamanın şarj durumunun kararlılığını garanti etmektir.

Peng ve diğ. (2012) çalışmasında ilk olarak bir erişim ağı yapısı kurmakta, daha sonra gerçek zamanlı yönetim için bir öneri sunmakta ve kuyruk teorisi ile elektrikli araç şarj dolumu gerçekleştirilmektedir. Çalışmada kalan zaman birimine dayanan öncelik ile dinamik şarj kuyruk modeli kurulmuştur. Bu yöntemlerin şebekenin yükünü azaltma ve verimi artırma gibi faydaları olmuştur.

Said ve diğ. (2015) çalışmasında araçların şarj talebini ve konumlarını şarj istasyonuna önceden haber verdiği iki model önermiştir. İlk modelde kuyruk teorisini temel alarak şarj istasyonundaki şarj taleplerini ele almak için bir matematiksel formül geliştirilmiştir. İkinci modelde ise yüksek ve düşük öncelikli olmak üzere iki elektrikli araç sınıfı ve hizmet kesme disiplini ile öncelik sırası dikkate alınarak ilk model geliştirilmiştir. Araçların şarj istasyonuna yönlendirilmesi bekleme süresini ve şarjın tamamlanma süresini en aza indirecek şekilde yapılmıştır.

Kumar ve diğ. (2015) çalışmasında elektrikli araçların güç sistemine sorunsuz ve verimli bir şekilde entegre edilmesi için koordine şarj yöntemini benimsemiştir. Elektrikli araç şarjlarını planlamak için pil şarj durumu ve kalan zaman gibi kriterlerin yanında farklı öncelik

kriterlerinin elektrikli araç yüklenebilirliği ve adaletli şarj üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şarj yöntemlerinin genel performansı simülasyonlar kullanılarak değerlendirilmiştir.

Eldjalil ve Lyes (2017) çalışmasında akıllı şebekenin, kuyrukta bekleme süresini en aza indirmeyi ve şebeke dengesini korumayı amaçlamaktadır. Elektrikli araçların taleplerini karşılamak için yüksek ve düşük öncelikli olmak üzere iki araç sınıfı ve kuyruğu göz önünde bulundurulmuş ve kuyruk teorisine dayanan bir matematiksel formülasyon geliştirilmiştir. Simülasyon sonuçları ile yaklaşımın etkinliği ölçülmüştür.

2.5 Diğer Alanlarda Sunucu Sayısını Dinamik Olarak Değiştiren veya Kontrol Teorisini Kullanan Çalışmalar

Sunucu sayısının dinamik olarak değiştirilmesi bilgisayar bilimi alanında oldukça yaygın bir şekilde kullanılan yöntemdir. Jiang ve Chen (2018) çalışmasında bulut hizmetlerinde sunucuların güç kullanımını, geçiş sayısını ve geçişlerin yol uzunluğunu göz önünde bulundurarak enerji verimliliğini artırmak ve veri merkezlerinin hizmet düzeyinde anlaşma ihlallerini azaltmak için sanal makine konsolidasyonunu kullanarak çevrimiçi bir kaynak yönetim algoritması önermiştir.

Chen ve diğ. (2018) çalışmasında bulut tabanlı yazılım hizmetlerinde kaynak tahsisi için kendi kendine öğrenen ve kendi kendini uyarlayan bir yaklaşım sunmuştur. QoS modeli öncelikle iş verilerini ve tahsis edilen kaynakları girdi olarak kullanarak çıktı değeri elde eder ve geçmiş veriler konusunda kendini eğitir. Çalışmada QoS modelini kullanarak mantıklı bir kaynak tahsisi yapmak için genetik algoritmaya dayalı çevrimiçi otomatik karar verme sistemi kurulmuştur.

Diao ve diğ.(2005) çalışmasında kontrol teorisini kullanarak kendi kendini yöneten bir sistemin performansını analiz etmektedir. Abdelzaher ve diğ. (2008) çalışmasında veritabanı sistemleri, gerçek zamanlı sistemler, sanallaştırılmış sunucular ve güç yönetimi alanlarındaki uygulamalar için kontrol teorisine bir giriş sağlamıştır.

Parekh ve diğ. (2002) çalışmalarında klasik kontrol teorisini temel alan yazılım sistemleri için kontrolör tasarlanması için bir metodoloji tarif etmiştir. İlk aşamada sistem tanımlama, ikinci aşamada ise kontrolör tasarımını gerçekleştirmiştir. Çalışmada amaç hedef kuyruk uzunluğunu korumaktır.

Mousavi ve diğ. (2017) çalışmasında bulut tabanlı yazılım hizmetlerinde yük dengeleme amacıyla dinamik kaynak tahsisinin kullanılması için iki adet yeni optimizasyon algoritması ve hibrit algoritma geliştirmiştir. Maksimum kaynak verimliliği ve ölçeklendirilebilirlik amaçları

arasındadır. Önerilen algoritma, öğretilme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması ve gri kurt optimizasyon algoritmasının hibrit halidir.

Lu vd. (2006) çalışmasında farklı hizmet sınıfları için göreceli ve mutlak bağlantı gecikmesi garantileri sağlamak üzere uyarlanabilir bir Web sunucusu mimarisinin tasarımını ve uygulamasını sunmaktadır.

Bilgisayar bilimleri alanı dışında da sunucu sayısının dinamik olarak değiştirildiği farklı alanlar da bulunmaktadır. Örneğin Liu ve diğ. (2019) çalışmasında ortalama iş gecikmesinin en aza indirilmesi için kuyruk ağlarının optimal kontrol politikasını öğrenmek için model tabanlı destekleyici öğrenme yöntemi kullanmıştır. Bu yöntemin eksik kalan yanlarını tamamlamak için ise Piecewise Decaying ϵ -Greedy Reinforcement Learning isimli yeni bir algoritma önerilmiştir. Kuyruk birikmesinin önüne geçebilmek için bu algoritma ile dinamik sunucu ataması ve yönlendirilmesi yapılmıştır.

Chan ve diğ. (2019) çalışmasında belirli zaman aralıklarının başında kaynakların bir hizmet sisteminin farklı bölümlerine dinamik olarak atanması incelenmiştir. Bu esneklik müşterilerin bekleme süresini azaltmayı sağlamış olup her sınıftaki müşteriler için ortalama hizmet ihtiyaçları ve kuyruklarda bekledikçe elde tutma maliyeti açısından incelenerek çok sınıflı bir kuyruk sistemi kurulmuştur. Elde tutma maliyetini azaltmak amacıyla sezgisel yöntemler geliştirilmiştir ve simülasyon ile denemeler yapılmıştır.

Hu ve diğ. (2015) farklı gözetim hedefleri olan birden fazla tarafın aynı ağı sınırlı algılama kaynakları ile gözetlemesi konusunda algılama kaynaklarını çeşitli görevlere tahsis edilmesini dinamik olarak sağlamıştır. Her görev Markov süreci olarak gerçekleşen belirli bir olay kümesi üzerinde, hepsi belirli miktarda kaynakla tahsis edilen bir dizi izleme denemesi olarak modellenmiştir. Geçmiş gözlemlerin sonuçlarına göre kaynakları verimli bir şekilde tahsis etmek için Kendinden Uyarlamalı Kaynak Tahsisi Algoritması önerilmiştir.

Bu çalışmanın birkaç açıdan literatürdeki diğer çalışmalardan farkı bulunmaktadır. Sunucu sayısını dinamik olarak değiştiren çalışmalar arasında elektrikli araç şarj istasyonlarına gelene kadar araçtan herhangi bir bilgi alınmaması, istasyona gelen araçların reddedilmemesi ve sunucu atamasının kontrol teorisine bağlı olarak yapılması literatürdeki herhangi bir çalışmada bulunmamaktadır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu bölümde proje kapsamında geliştirilen ekspres şarj istasyonu yönetim metotları detaylı olarak açıklanmaktadır. Bölüm 3.1'de ekspres şarj istasyonu yerleşim planı ve işleyiş modeli tanıtılmaktadır. Bölüm 3.2'de dinamik kuyruk sıralama yöntemi ile kontrol, Bölüm 3.3'de açık çevrim kontrol metodu ile kaynak yönetimi ve Bölüm 3.4'te geri beslemeli kontrol (kapalı çevrim) metodu ile kaynak yönetimi modellerinin işleyişi detaylı olarak açıklanmaktadır. Bölüm 3.5'te bu metotlarla karşılaştırma amaçlı olarak kullanılan sunucu sayısının sabit tutulması yoluyla ekspres şarj istasyonu yönetim modeli anlatılmaktadır. Bölüm 3.6'da bu metotların performansının test edildiği simülasyon ortamı, Bölüm 3.7'de ise modellerin birden fazla istasyonun bulunduğu rekabetçi ortamda karşılaştırılabilmeleri için geliştirilen çoklu istasyon simülasyon modeli tanıtılmaktadır.

3.1 Ekspres Şarj İstasyonu Yerleşim Planı, İşleyiş ve Performans Ölçütleri

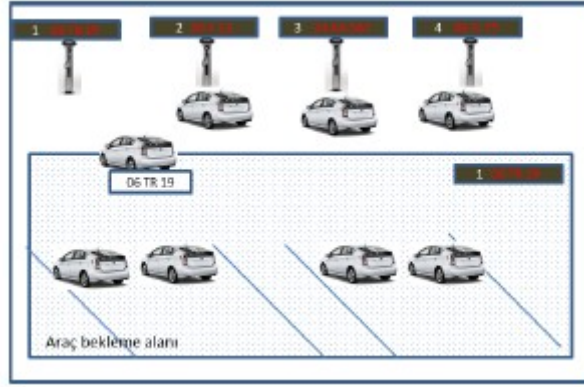
3.1.1 Ekspres Şarj İstasyonu Yerleşim Planı ve İşleyiş

Geliştirilen dinamik kuyruk modeli ve açık/kapalı çevrim ekspres şarj modelleri aynı ekspres şarj istasyonu yerleşim planını kullanmaktadır. Dinamik kuyruk modeli her aracı özelliklerine göre sıraladığı için araçlar sınıflara ayrılmamaktadır. Açık/Kapalı çevrim modelleri için işleyiş bu bölümde açıklanmaktadır. Dinamik kuyruk modelinde yerleşim planı aynı olmakla beraber sistemin işleyişindeki tek fark, öncelik sıralamasının sistemden her araç çıkışında tekrar yapılması ve o andaki en yüksek öncelikli aracın boşalan sunucuya yönlendirilmesidir. Dinamik kuyruk modeli kullanacak ekspres şarj istasyonları için detaylı işleyiş planı Kakillioğlu tarafından tamamlanan tez çalışmasında sunulmaktadır (Kakillioğlu, 2018).

Açık/Kapalı çevrim modelleri arasındaki tek işleyiş farkı, açık çevrimde yeni sunucu-sınıf ataması sistemden her araç çıkışında, kapalı çevrimde ise belirlenen zaman aralıklarında yapılmasıdır. Açık çevrim modelinin detaylı işleyişi Kakillioğlu tarafından tamamlanan tez çalışmasında sunulmaktadır (Kakillioğlu, 2018).

Ekspres şarj istasyonlarının işleyişi, kapalı çevrim kontrol örneği üzerinden açıklanmaktadır:

Ekspres şarj yöntemlerinin çalışma prensibinin uygulandığı istasyon modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Yerleşim planında üst bölümde sunucular (şarj cihazları), alt bölümde park/bekleme alanı bulunmaktadır. Sunucuların üzerindeki ışıklı tabelada sunucunun numarası ve o anda hizmet gören veya sunucuya gelmesi beklenen aracın plaka numarası yazmaktadır. Araç bekleme alanında bekleyen araçlar, kendi plakalarını herhangi bir sunucu ekranında gördükleri zaman şarj işlemine başlamak üzere sunucuya yaklaşırlar.



Şekil 1: Ekspres şarj istasyonlarında yerleşim modeli

Kurulan modelin işleyişi araçlar ve istasyon için aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir:

Araçlar:

- İstasyona gelen araç, hangi sınıfa ait olduğunu istasyona bildirir.
- İstasyonda o anda boşta olan sunucu varsa o sunucuya araç yönlendirilir. Boş sunucu yoksa bekleme alanında araç beklemeye başlar.
- Araç, sunucuların üzerindeki ışıklı tabelada kendi plakasını gördüğü an sunucuya yaklaşır ve şarj olmaya başlar.

İstasyon:

- İstasyona gelen her aracın plakasını ve ekspres şarj istasyonu yönetim modelinin ihtiyaç duyduğu tüm bilgileri kaydeder.
- İstasyonda boş sunucu varsa gelen aracı o sunucuya yönlendirir.
- Boş sunucu yoksa gelen aracı bekleme alanına yönlendirir.
- Belirlenen örneklem zamanı içerisinde modelin yapısına göre şarj olmaya başlamış veya kuyrukta bekleyen araçların bekleme sürelerini göz önünde bulundurarak o anki zaman diliminde sunucuların sınıflara atamasını yapar.
- Sunucu hangi sınıfa hizmet verecekse o sınıfın ilk sırasındaki araç boşalan noktaya ilerleyerek şarj olmaya başlar. Eğer ilgili sınıfa ait herhangi bir araç sistemde yoksa diğer sınıf sırasındaki ilk araç sunucuya yönlendirilir.

Açık çevrim modelinde İstasyon görevi "d" de aşağıdaki gibidir:

Açık çevrim – İstasyon - d. Her sunucu boşalışında şarj olmaya başlamış veya kuyrukta bekleyen araçların bekleme sürelerini göz önünde bulundurarak boşalan sunucunun yeni sınıfa atamasını yapar.

3.1.2 Açık ve Kapalı Çevrim Ekspres Şarj İstasyonu Performans Kriterleri

Bu bölümde Açık ve Kapalı Çevrim modellerinin performans analizinde kullanılan kriterler açıklanmaktadır. Dinamik kuyruk modelinin takip ettiği bir referans değer olmadığı için performans karşılaştırmasında, talep edilen servis süresine göre yüksek ve düşük öncelikli olarak ayrılan araçların ortalama bekleme süreleri kullanılmıştır.

Açık ve Kapalı çevrim modellerinde performansı ölçmek için dört kriter belirlenmiştir.

HpBekleme: Yüksek öncelikli araçların bekleme süresi

LpBekleme: Düşük öncelikli araçların bekleme süresi

- Sınıflar arası bekleme farkı: Performans kriterlerinden ilki olan sınıflar arası bekleme farkının 0 olması beklenmektedir. Bu değer Eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$\text{Fark} = \text{HpBekleme} * \text{Hedeflenen Bekleme Oranı} - \text{LpBekleme} \quad \text{Eşitlik 1}$$

- İstasyonun önceden belirlemiş olduğu ve araç sınıfları arasındaki bekleme oranının hedeflenen bekleme oranı değerinden yüzde sapma miktarı: Yüzde sapma miktarının mümkün olduğu kadar sifıra yakın olması gerekmektedir. Bu değer Eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$\text{Yüzde Sapma Miktarı} = \frac{100 * (\text{HpBekleme} * \text{Hedef Bekleme Oranı} - \text{LpBekleme})}{(\text{HpBekleme} * \text{Hedef Bekleme Oranı})}$$

Eşitlik 2

- Bekleme Oranı: Araçlar arasındaki gerçekleşen bekleme oranının hedeflenen bekleme oranı değerine yakın olması istenmektedir. Bu değer Eşitlik 3 ile hesaplanır.

$$\text{Gerçekleşen Bekleme Oranı} = \text{LpBekleme} / \text{HpBekleme} \quad \text{Eşitlik 3}$$

- Tepki Süresi: Sistemin dışardan gelecek bozucu etkiler karşısında tekrar toparlanarak kararlı duruma geçiş süresidir. Tepki süresinin ölçülmesindeki amaç, sistemin bozucu etkilere karşı ne kadar sürede dengeye geldiğini ölçmektir. Tepki süresi hesaplanırken örneklem zamanının 1.5 dakika olduğu bir modelde sistemde 20 örneklem zamanda (30 dakika boyunca) fark değeri art arda 6 ile -6 arasında olursa sistemin kararlı hale ulaştığı kabul edilmiştir.

Tepki süresi analizi için simülasyon modelinde yüksek ve düşük öncelikli araçların toplam varış hızı test edilen koşula uygun olacak şekilde ayarlanır. Araçlar arası varış süresi sabittir. Koşturumun 15000. Dakikasında sisteme 20 tane yüksek öncelikli araç aynı anda gönderilir ve sistemin hangi anda kararlı hale geldiği ölçülür. Koşturum toplamda 30000 dakika çalıştırılır.

3.2 Dinamik Kuyruk Sıralama Yöntemi ile Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Metodu

Bu yöntemde istasyona gelen araçlardan talep ettikleri servis süresi bilgisi toplanmakta ve geliş saatiyle birlikte kayıt altına alınmaktadır. İstasyonda boşalan bir sunucu (şarj noktası) olduğunda sıralama algoritması çalıştırılmakta ve en yüksek önceliğe sahip olan araç boşalan sunucuya yönlendirilmektedir. Bu yöntemin literatürde bulunan termin zamanı (deadline) kullanan diğer yöntemlere göre en önemli avantajı, sürücünün kendi keyfiyetine göre belirleyeceği bir termin zamanına ihtiyaç duymadan objektif olarak çalışabilmesidir.

Bu yöntemde “öncelik sırası” CPU çizelgeleme alanı için geliştirilmiş yanıt süresi oranı en yüksek olana göre sıralama (highest response rate next-HRRN) kuralı ile Eşitlik 4’te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. 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 boşalışında tekrar yapılmakta ve en yüksek öncelik değerine sahip olan araç boşalan pompaya yönlendirilmektedir.

$$\text{öncelik} = (s_{bek} + s_{şarj}) / (s_{şarj}) \quad \text{Eşitlik 4}$$

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.

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), ortalamasının üzerinde olanlar ise uzun şarj(normal) sınıfta yer almaktadır. Araçların ortalama bekleme süreleri üç durumla karşılaştırılacaktır. Bunlar yöntemin kullanılmadığı FIFO kuyruk durumundaki kısa-uzun şarj sınıfı bekleme süreleri, ekspres şarj için sabit sayıda şarj noktasının ayrıldığı durum 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.

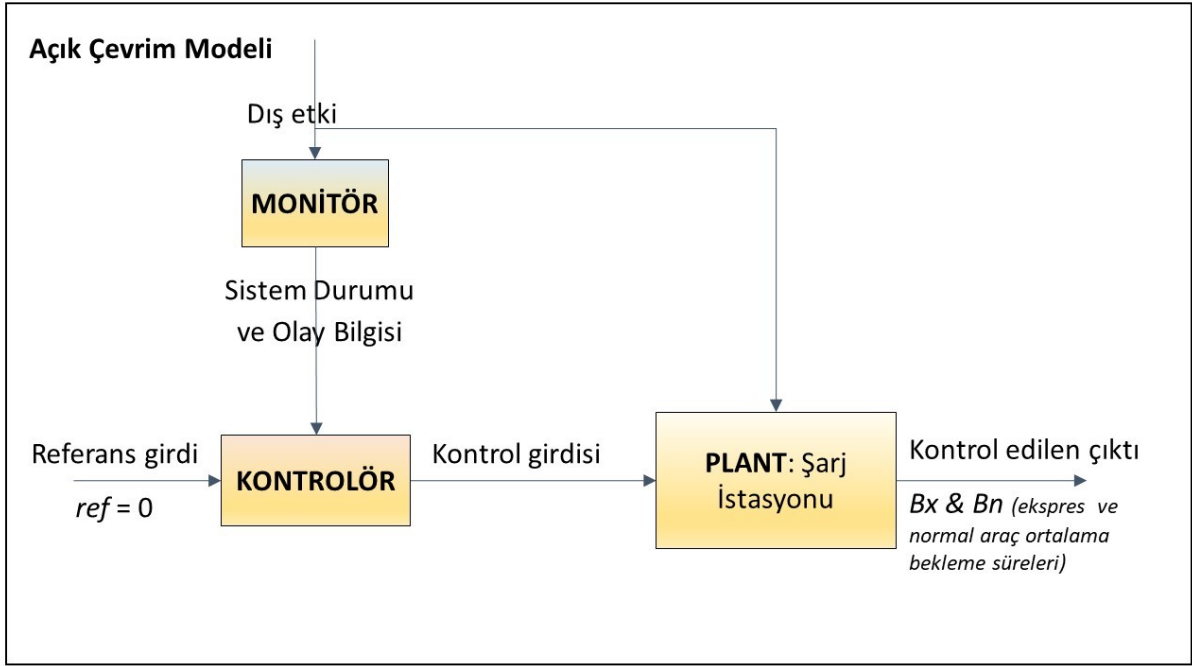
3.3 Açık Çevrim Kontrole Dayalı Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Metodu

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.

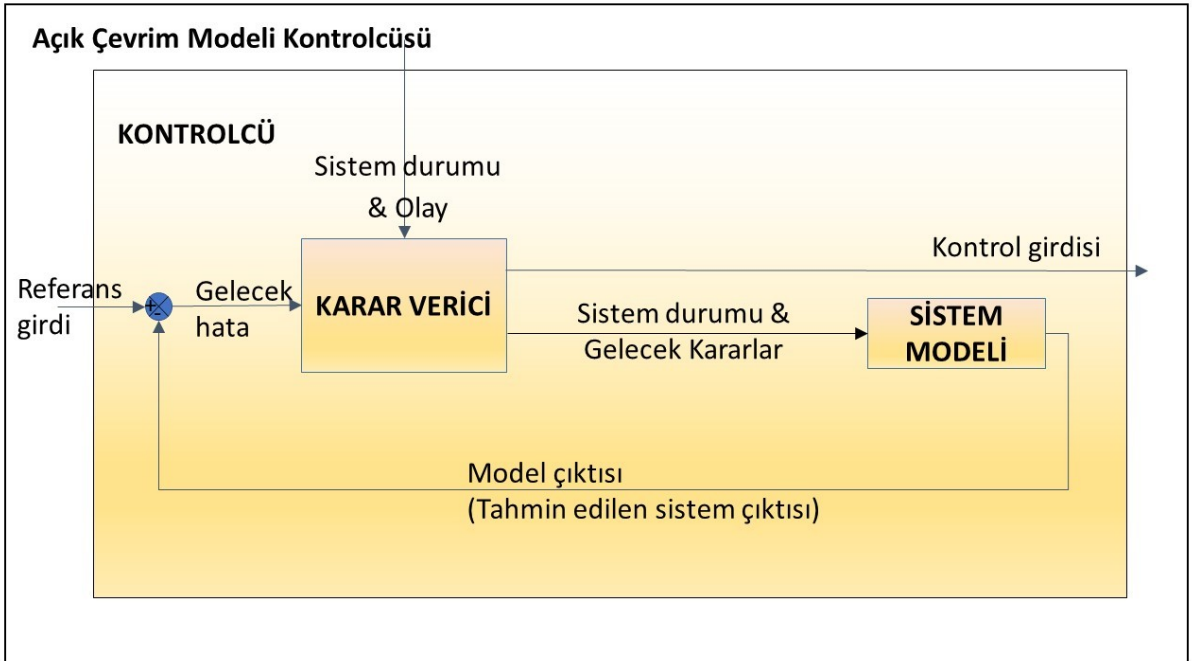
Açık çevrim kontrole dayalı ekspres şarj istasyonu yönetim metodu, öncelikle sisteme giriş yapan araçlara benzersiz bir numara verir. Bu numara ile birlikte aracın durum bilgisi (geliş zamanı, talep ve müşteri sınıfı) sistemle paylaşılır. Sunucu durum bilgileri de (şarj noktalarının servise başlama zamanı, servis verdiği aracın talebi ve sunucu sınıfı) sürekli olarak sistem tarafından tutulur. Müşterilerin ve sunucuların yüksek öncelikli ve düşük öncelikli olmak üzere iki ayrı sınıfı vardır. Sunucu sınıflarının belirlenmesi sistem tarafından açık çevrim kontrol metoduna uygun şekilde yapılır. 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 başlanılacağını 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. 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 yüksek ve düşük öncelikli sınıfa ait araçlar için elde edilen bekleme süreleri hesaplanır ve düşük öncelikli araçlar için hedeflenen bekleme süresi ile gerçekleşecek bekleme süresi farkı Eşitlik 1 ile hesaplanır. Aynı şekilde sunucunun diğer sınıfa geçmesi durumunda oluşacak fark değeri de hesaplanır ve sunucunun hangi sınıfa atanması durumunda farkın mutlak değeri daha düşük bir değer alıyorsa sunucu o sınıfa atanır.

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 2: Açık çevrim kontrol metodunun mekanizması



Şekil 3: Açık çevrim kontrolcüsü

Şekil 2 de Açık çevrim kontrol mekanizması gösterilmektedir. Monitör ünitesi araç gelişi, servis tamamlanışı gibi sisteme etki eden olayları takip eder. Bir olay gerçekleştiğinde kontrolöre sistem durumu ve olay ile ilgili bilgi verir. Her sunucu boşalışında monitör sistem durumu bilgisi olarak bekleyen araçların sınıf, geliş saati ve talep edilen servis miktarını kontrolöre bildirir. Kontrolör monitörden gelen bilgileri kullanarak boşalan sunucunun atanacağı sınıfı belirler ve kontrol girdisi olarak bu sunucuya yönlendirilecek aracın plaka numarasını (sunucunun atandığı sınıfın en uzun süredir bekleyen aracı – FIFO sıralama) istasyona iletir. İstasyon ilgili sunucunun ışıklı tabelasında gönderilen plaka numarasını ilan eder. Kontrolör, boşalan sunucunun atanacağı sınıfı belirlemek için içindeki karar verici ve sistem modeli ünitelerini kullanır. Kontrolörün içindeki üniteler ve aralarındaki etkileşim Şekil 3 de görüldüğü gibidir. Kontrolör, gelen sistem durumu ve olay bilgilerini kullanarak sistem modelini çalıştırır. Sistem modeli, gelecek olay listeleme metodu kullanılmaktadır. Karar verici, boşalan sunucunun farklı sınıf tiplerine atanması durumunda gerçekleşecek bekleme sürelerini tahmin etmek için sistem modelini kullanır. Sistem modelinden gelen bekleme süresi tahminlerini kullanarak Fark değerini (Eşitlik 1) hesaplar ve Farkın mutlak değerini en fazla azaltan sunucu sınıf atama kararını seçer.

3.4 Kapalı Çevrim (Geri Beslemeli) Kontrol ile Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Metodu

Bölüm 3.4.1'de kapalı çevrim kontrol metodunun işleyiş mekanizması, Bölüm 3.4.2'de kontrolcünün kullandığı oransal integral kontrol fonksiyonu ve bölüm 3.4.3'te ise oransal integral kontrolörün parametre değerlerinin belirlenişi anlatılmaktadır.

3.4.1 Kapalı Çevrim Kontrol Metodunun İşleyişi

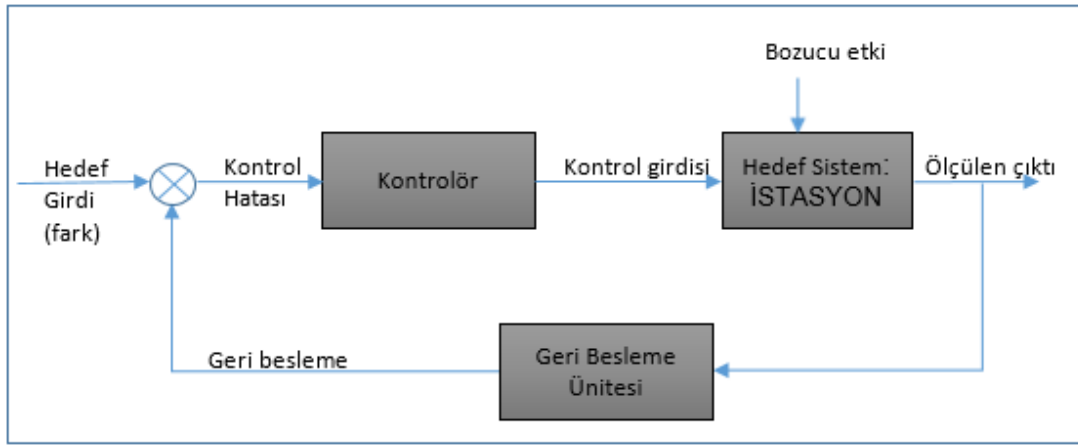
Kapalı çevrim kontrol metodunda istasyonun hedeflenen bekleme oranı olarak ilan ettiği değer ne ise, herhangi bir zaman aralığında istasyonda bulunan araçlardan düşük öncelikli araçların ortalama bekleme süresi, yüksek öncelikli araçların ortalama bekleme süresinin hedeflenen bekleme oranı değeri kadar katı olmalıdır. Geliştirilen bu metodun amacı sistemdeki sunucuları dinamik olarak farklı sınıflara atayarak istenen hedeflenen bekleme oranı seviyesine ulaşmaktır.

İstasyona gelen araçlar, talep ettikleri şarj süresinden bağımsız olarak, belirli ücret ödemiş olanlar(VIP) yüksek öncelikli, ücret ödemiş olanlar düşük öncelikli olmak üzere ikiye

ayrılmaktadır. İstasyondaki sunucuların araç sınıflarına farklı oranlarda atanmasıyla araç sınıfları arası bekleme sürelerinde farklılaşma oluşmaktadır.

Çalışmada iki farklı kapalı çevrim kontrol metodu geliştirilmiştir. İlk metotta bekleme aşamasını tamamlayarak kuyruktan ayrılmış ve servis almaya başlamış/tamamlamış olan araçların bekleme hedefinden sapmaları ölçülerek sistem kontrol edilmektedir. Bu yöntem Sonlanmış Bekleme ile Kontrol Metodu (SBK) olarak adlandırılmıştır.

Geliştirilen ikinci yöntem ise kuyruқта halen beklemekte olan araçların o ana kadar gerçekleşmiş olan bekleme sürelerini kullanarak sistemi kontrol etmektedir. Bu yöntem Devam Eden Bekleme ile Kontrol Metodu (DBK) olarak adlandırılmıştır. Kapalı çevrim kontrol metodunun elemanları Şekil 4'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4: Kapalı çevrim kontrol metodunun mekanizması

Şekil 4'de "Geri Besleme Ünitesi", ölçülen çıktıyı hedef girdi ile karşılaştırılabilir hale getirerek sisteme "Geri Besleme" bilgisi olarak gönderir. Geri besleme ile hedef girdi arasındaki fark "Kontrol Hatası($E(k)$)" olarak tanımlanır. "Kontrolör", kontrol hatasını kullanarak sistemin çıktısını hedef girdiye yaklaştıracak "Kontrol Girdisi"ni hesaplar ve sisteme iletir. Hedef sistem, iletilen bu girdi ile çalışmaya devam eder ve adımlar zaman içerisinde düzenli aralıklarla tekrarlanır.

Sonlanmış bekleme ile kontrol metodu (SBK) ve devam eden bekleme ile kontrol metotlarının (DBK) her ikisi de düşük öncelikli araçların ortalama bekleme süresinin yüksek öncelikli araçların ortalama bekleme süresine oranını önceden ilan edilen hedeflenen bekleme oranı seviyesinde tutmayı amaçlamaktadır. Bu hedeften sapmalar (fark) geri besleme ünitesi ile hesaplanır. Kontrol hatası ise gerçekleşen bekleme farkının (geri besleme) hedeflenen fark değeri (hedef girdi) olan 0 (sıfır) dan sapma miktarıdır. Her iki sistem de sapma miktarını 0 (sıfır) olarak tutturabilmek için istasyona kontrol girdisi olarak kaç adet sunucunun hangi sınıfa atanması gerektiği bilgisini yollar. Her iki metot da aşağıdaki elemanları paylaşmaktadır:

- Hedef girdi: Hedeflenen fark miktarı (hedeflenen sapma = 0 (sıfır))
- Kontrol girdisi: $S_o(k)$ – k. zaman aralığında yüksek öncelikli araçlara atanması gereken sunucu sayısının toplam sunucu sayısına oranı

Kontrol girdisi Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanır.

- $S_x(k)$ – k. zaman aralığında yüksek öncelikli araçlara ayrılan sunucu sayısı
- $S_n(k)$ – k. zaman aralığında düşük öncelikli araçlara ayrılan sunucu sayısı

$$S_o(k) = \frac{S_x(k)}{S_n(k) + S_x(k)} \quad \text{Eşitlik 5}$$

- Boh: hedeflenen bekleme oranı

(Düşük öncelikli araçların ortalama bekleme süresi / Yüksek öncelikli araçların ortalama bekleme süresi)

İki metot diğer kontrol elemanlarında aşağıdaki farklılıkları göstermektedir:

1. Sonlanmış Bekleme ile Kontrol Metodu (SBK):

- Ölçülen çıktı: Geçen son örneklem zamanında servis almaya başlamış (beklemesi sonlanmış) yüksek öncelikli ve düşük öncelikli araç sınıflarında gerçekleşen ortalama bekleme süreleri

$B_x(k)$: Yüksek öncelikli araç sınıfında k. zaman aralığında gerçekleşen ortalama bekleme süresi

$B_n(k)$: Düşük öncelikli araç sınıfında k. zaman aralığında gerçekleşen ortalama bekleme süresi

- Geri Besleme: Yüksek öncelikli araçların ortalama bekleme süresinin $B_x(k)$ olduğu durumda düşük öncelikli araçların yüksek öncelikli araçların ortalama bekleme

süresinin ($B_x(k)$) B_{oh} katı kadar beklemesi istenmektedir. Bu durumda yüksek öncelikli araçların hedeflenenden fazla beklediği (veya düşük öncelikli araçların hedeflenenden az beklediği) sürenin miktarı $fark(k)$ Eşitlik 6'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$fark(k) = B_x(k) * B_{oh} - B_n(k) \quad \text{Eşitlik 6}$$

k. zaman aralığında iki sınıftan birinden ya da her ikisinden beklemesi sonlanan araç olmaması durumunda oluşan $fark(k)$ değeri 0 kabul edilmektedir.

- Kontrol hatası: Gerçekleşen bekleme farkının hedef fark olan sıfır (0) dan sapma miktarı Eşitlik 7 ile hesaplanmaktadır.

$$E(k) = 0 - fark(k) \quad \text{k. zaman aralığındaki kontrol hatası} \quad \text{Eşitlik 7}$$

2. Devam eden Bekleme ile Kontrol Metodu (DBK):

- Ölçülen çıktı: Geçen son örneklem zamanının sonunda hala kuyrukta bulunan (servis almaya başlamamış - beklemesi sonlanmamış) yüksek öncelikli ve düşük öncelikli araçların gerçekleşen ortalama bekleme süreleri

$B_{xd}(k)$: Yüksek öncelikli araç sınıfında k. zaman aralığında gerçekleşen ortalama bekleme süresi

$B_{nd}(k)$: Normal araç sınıfında k. zaman aralığında gerçekleşen ortalama bekleme süresi

- Geri Besleme: Yüksek öncelikli araçların ortalama bekleme süresinin $B_{xd}(k)$ olduğu durumda düşük öncelikli araçların yüksek öncelikli araçların ortalama bekleme süresinin ($B_{xd}(k)$) B_{oh} katı kadar beklemesi istenmektedir. Bu durumda yüksek öncelikli araçların hedeflenenden fazla beklediği (veya düşük öncelikli araçların hedeflenenden az beklediği) sürenin miktarı $farkd(k)$ Eşitlik 8 'deki gibi hesaplanır.

$$farkd(k) = B_{xd}(k) * B_{oh} - B_{nd}(k) \quad \text{Eşitlik 8}$$

k. zaman aralığında iki sınıftan birinden ya da her ikisinden kuyrukta araç olmaması durumunda oluşan $farkd(k)$ değeri 0 kabul edilmektedir.

- Kontrol hatası: Gerçekleşmekte olan bekleme farkının hedef fark olan sıfır (0) dan sapma miktarı Eşitlik 9 ile hesaplanmaktadır.

$$E(k) = 0 - farkd(k) \quad \text{Eşitlik 9}$$

Metotların işleyiş adımları:

Sistem kullanılan metoda göre araçların ilgili bekleme sürelerini kaydeder. SBK için son zaman aralığında servise başlayan ($Bx(k)$ ve $Bn(k)$), DBK için son zaman aralığı bitiminde henüz kuyrukta beklemekte olan ($Bxd(k)$ ve $Bnd(k)$) araçların bekleme süreleri kaydedilir.

Geri besleme ünitesi, hedef sistemin (istasyonun) farklı araç sınıfları için bildirdiği ortalama bekleme sürelerini alarak geçmiş zaman aralığındaki bekleme oranı hedefinden sapma miktarını (SBK için $fark(k)$, DBK için $farkd(k)$) hesaplar ve geri besleme olarak iletir.

Hedeflenen fark (sıfır - 0) ile gerçekleşen fark kullanılarak kontrol hatası ($E(k)$) bulunur. Kontrol hatası Kontrolör'e aktarılır. SBK metodu için o anki örneklem zamanda sonlanmış beklemesi olan herhangi bir araç yoksa gerçekleşen fark 0 olarak alınır. DBK metodu için ise kuyrukta bekleyen herhangi bir araç yoksa gerçekleşen fark 0 olarak kaydedilir.

Kontrolör; kontrol hatası miktarı bilgisini, kontrol algoritması ile değerlendirerek bir sonraki zaman diliminde sunucuların sınıflara hangi oran ile paylaşılması gerektiğini hesaplar. Hesaplanan kontrol çıktısı ($So(k)$) hedef sisteme iletilir. Yüksek öncelikli araçlara atanacak sunucu sayısı Eşitlik 10'da gösterildiği gibi, istasyonun sahip olduğu sunucu sayısı (MaxSunucu) ile kontrol çıktısı çarpılarak ve en yakın tam sayıya yuvarlanarak elde edilir.

$$Sx(k) = So(k) * MaxSunucu \quad \text{Eşitlik 10}$$

Eğer sunucu sınıf atamalarında sayısal bir değişiklik yoksa kontrolör sisteme müdahale etmez. Eğer bir sınıfa atanan sunucu sayısının artırılması gerekiyorsa, o sınıfın elinde olmayan sunucular arasından en yakın zamanda boşalacak olanlar tespit edilir ve yeni atamalara bu sunuculardan başlanır.

3.4.2 Kapalı Çevrim Kontrol Metodu- Kontrolör Tasarımı

Kontrolör tasarımı aşamasında adımlar SBK ve DBK modelleri için aynıdır. SBK modeli kontrol edilen çıktı olarak fark değerini, DBK modeli ise $farkd$ değerini ölçmekte ve kullanmaktadır. Tasarlanan kontrolör mekanizmasının denklemleri aşağıdaki gibidir:

PI kontrolcü için standart sürekli zaman ifadesi Eşitlik 11'de gösterildiği gibidir:

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = Kp + Ki * \frac{1}{s} \quad \text{Eşitlik 11}$$

Burada Kp oransal, Ki integral terimin katsayısı olup, s ise Laplace değişkenidir. Kontrolcünün girişi hata e , çıkışı da sistemin girişi u şeklindedir. Bu ifade Ts örnekleme periyodu ile ayrıştırılırsa Eşitlik 11'teki şekilde ifade elde edilir:

$$Cd(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = K_p + K_i * \frac{T_s}{z-1} \quad \text{Eşitlik 12}$$

Burada z ayrık zaman z-dönüşümü değişkeni olup zamanda bir periyot kaydırmaya denk gelmektedir. Bu ifade kullanılarak sırayla , Eşitlik 13, Eşitlik 14, Eşitlik 15, Eşitlik 16, Eşitlik 17 kullanılarak ayrık zaman (k) alanındaki kontrolcünün giriş (e(k)) - çıkış (u(k)) ilişkisi elde edilebilir:

$$U(z) = K_p * E(z) + K_i * \frac{T_s}{z-1} * E(z) \quad \text{Eşitlik 13}$$

$$U(z) * (z-1) = K_p * E(z) * (z-1) + K_i * T_s * E(z) \quad \text{Eşitlik 14}$$

$$U(z) * z - U(z) = K_p * E(z) * z - K_p * E(z) + K_i * T_s * E(z) \quad \text{Eşitlik 15}$$

$$U(z) - U(z) * z^{-1} = K_p * E(z) - K_p * E(z) * z^{-1} + K_i * T_s * E(z) * z^{-1} \quad \text{Eşitlik 16}$$

$$U(z) = U(z) * z^{-1} + K_p * E(z) - K_p * E(z) * z^{-1} + K_i * T_s * E(z) * z^{-1} \quad \text{Eşitlik 17}$$

Buradan ayrık zamana geçiş yapılırsa;

$$u(k) = u(k-1) + K_p * e(k) - K_p * e(k-1) + K_i * T_s * e(k-1) \quad \text{Eşitlik 18}$$

ifadesi elde edilir. Eşitlik 19'da u(k), k. zaman aralığının sonunda kontrolörün çıktısı olan kontrol girdisini; e(k), k. zaman aralığında bekleme farkının hedef değerden sapma miktarını göstermektedir. e(k) değeri hesaplanırken, SBK metodu için Eşitlik 7'den, DBK metodu için Eşitlik 9'dan yararlanılmaktadır. PI kontrolör denklemi Eşitlik 19'deki şekilde ifade edilebilir.

$$So(k) = So(k-1) + K_p * e(k) - K_p * e(k-1) + K_i * T_s * e(k-1) \quad \text{Eşitlik 19}$$

3.4.3 Kapalı Çevrim Kontrol Metodu- Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi

Geliştirilen oransal integral tabanlı modelin Kp ve Ki parametrelerinin belirlenmesi için farklı yöntemler kullanılmıştır:

1. Sonlanmış beklemeleden gelen veriyle kontrol ve bu kontrolcünün Kp, Ki parametrelerinin belirlenmesi için sistem tanımlama yöntemi.
2. Devam eden beklemeleden gelen veriyle kontrol ve bu kontrolcünün Kp, Ki parametrelerinin belirlenmesi için sistem tanımlama yöntemi.
3. Devam eden beklemeleden gelen veriyle kontrol ve bu kontrolcünün Kp Ki parametrelerinin belirlenmesi için yüzey tepki metodolojisi yöntemi.

Proje kapsamında üç yöntem de kullanılmış, en iyi performans, devam eden beklemeleden gelen veriyle kontrol ve bu kontrolcünün Kp Ki parametrelerinin belirlenmesi için yüzey tepki

metodolojisi kullanımıyla elde edilmiştir. İlk iki yöntemin uygulama detayları bu projenin çıktılarından olan Yıldız Aktas(2020)'de detaylı olarak açıklanmaktadır. Bu bölümde Yüzey tepki metodolojisi ile Kp Ki parametrelerinin belirlenme adımları açıklanmaktadır.

Yüzey tepki metodu ile kontrol parametrelerinin bulunması 2 aşamada gerçekleşmiştir. İlk adım Bölüm 3.4.3.1'de anlatılan yüzey tepki metodu ile yüzey tepki fonksiyonlarının geliştirilme adımları, ikinci adım ise geliştirilen yüzey tepki fonksiyonları kullanılarak Bölüm 3.4.3.2'de bahsedildiği üzere genetik algoritma aracılığıyla tasarım optimizasyonudur.

Yüzey Tepki Metodu

Yüzey tepki metodu (Response Surface Methodology - RSM) süreçleri iyileştirmek, geliştirmek veya optimize etmek için kullanılan bir yöntemdir. Birçok alanda uygulamaları bulunmaktadır. Çeşitli girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi tanımlamak ve çıktıları geliştirmek için kullanılan bir yöntemdir (Myers, Montgomery ve Anderson-Cook 2015). Yanıt genellikle fiziksel deneylerden veya bu çalışmadaki gibi simülasyon sonuçlarından elde edilir. Birçok durumda yanıtlar birinci veya ikinci dereceden regresyon modeli olarak tanımlanarak tahmin edilir (Hasanien, Abd-Rabou ve Sakr 2010). Bu çalışmada tepkiyi daha doğru tahmin etmek için ikinci dereceden model kullanılmıştır.

Yanıt yüzeyi metodunda deney tasarımı oluşturmak için kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada deney tasarımı Merkezi Bileşik Deney Tasarımı (Central Composite Design - CCD) yöntemi ile Çizelge 1'de gösterilen matrise ve Eşitlik 20 ve Eşitlik 21'e uygun şekilde yapılmıştır.

Çizelge 1: CCD tasarım matrisi

Deney Numarası	x ₁	x ₂	Yanıt
1	1	1	R1
2	-1	1	R2
3	1	-1	R3
4	-1	-1	R4
5 (Eksen 1)	0	-1.41421	R5
6 (Eksen 2)	0	1.414214	R6
7 (Eksen 3)	1.414214	0	R7
8 (Eksen 4)	-1.41421	0	R8
9 (Merkez)	0	0	R9

$$x_1 = \frac{2 * (Kp - \acute{K}p)}{\Delta Kp} \quad \text{Eşitlik 20}$$

$$x_2 = \frac{2 * (Ki - \acute{K}i)}{\Delta Ki} \quad \text{Eşitlik 21}$$

Eşitlik 22’te ikinci dereceden regresyon modellerinin genel gösterimi bulunmaktadır.

$$y = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_k * x_k + \beta_{11} * x_1^2 + \dots + \beta_{kk} * x_k^2 + \beta_{12} * x_1 * x_2 + \beta_{13} * x_1 * x_3 + \dots + \beta_{k-1,k} * x_{k-1} * x_k + \varepsilon \quad \text{Eşitlik 22}$$

[CITATION Mye15 \l 1055]

Eşitlik 22’te β parametre iken ε sistem hatasıdır.

Genetik Algoritma ile Tasarım Optimizasyonu

Genetik algoritma çaprazlama, mutasyon gibi operatörler aracılığıyla çeşitliliğe fırsat veren ve çözüm kümesi olarak popülasyon elde edilen bir yöntemdir. Avantajları sebebiyle birçok çalışmada kullanılmaktadır.

1. Kromozomun kodlanması: Bir popülasyon bir dizi kromozomdan oluşur. Popülasyon büyüklüğü çalışmaya göre herhangi bir boyutta olabilir. Büyüklük tüm süreç boyunca sabit kalır. Problem değişkenleri uygun bir kodlama sistemi ile kodlanır. Bu çalışmada problem değişkenleri $K_p - K_i$ çiftleridir.

2. Amaç fonksiyonu: Başlangıç popülasyonu üretildikten sonra çözümler değerlendirilmelidir. Amaç fonksiyonu, her adımda çözümün değerlendirilmesinden sorumlu olan bir işlemdir.

Kodlama ve amaç fonksiyonu değerlendirmesine ek olarak basit genetik algoritmalar üç temel işlemde oluşur: üreme, çaprazlama ve mutasyon. Eski popülasyonun her bir dizisi, yeni bir popülasyon oluşturulmadan önce bu üç adımdan geçer.

3. Seçim: Doğal seçilimden ilham alınarak oluşturulan genetik algoritma, popülasyonun “en uygun” üyelerinin hayatta kaldığı ve “en az uygun” üyelerin yok edildiği bir seçim süreci gerçekleştirir. Seçim süreci, evrimsel algoritmayı daha iyi çözümlere yönlendiren adımdır. Seçim çeşitli yollarla gerçekleştirilebilir.

4. Çaprazlama: Üreme sonrasında çaprazlama, ana kromozomlardan seçilen genler üzerinde çalışır ve yeni yavrular oluşturur.

5. Mutasyon: Çaprazlamanın ardından mutasyon gerçekleşir. Mutasyon işlemi, çaprazlamadan sonra oluşan yavruların kromozomlarını rastgele değiştirir. (Kramer 2017)

Birçok çalışmada Genetik Algoritma ve Yüzey Tepki Metodu beraber kullanılmıştır. Bunlardan biri olan Hasanien ve diğ. (2012) çalışmasında değişken hızlı rüzgar türbini tahrikli sabit mıknatıslı senkron jeneratörünün frekans dönüştürücüsünde kullanılan kontrolör için optimum tasarım prosedürü için genetik algoritma (GA) ve tepki yüzeyi metodolojisini (RSM)

kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan PI kontrolörünün parametrelerinin ayarlanması matematik model veya transfer fonksiyonu ile ifade edilmesi zordur. Bu sebeple çalışmada kontrolörün parametrelerini en uygun şekilde tasarlamaya çalışan bir yöntem sunulmuştur.

YTM ve GA ile Kontrol Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu bölümde Yüzey Tepki Metodu ve Genetik Algoritma ile tasarım optimizasyonu metodunun probleme uygulanışı anlatılmaktadır.

Elektrikli araç şarj istasyonu ekspres sunucu yönetim sistemi performansında kullanılan iki ölçüt Bölüm 3.1.2'de tanımları verilmiş olan tepki süresi (Çıktı1) ve belirlenen hedeflenen bekleme oranı değerinden yüzde sapma miktarıdır (Çıktı2).

Yüzde sapma miktarı hesaplanırken yüksek öncelikli araç oranının 0.3, hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5, tüm araçlar arası varış süresi üssel dağılım ve ortalama 1.45 dakika olduğu, servis sürelerinin TRIA(10,18,30) dakika şeklinde tanımlandığı bir simülasyon kullanılmıştır. Araçlar arası varış süresi, istasyondaki doluluk oranını 0.95 yapacak şekilde belirlenmiştir.

Tepki süresi hesaplanırken ise yüksek öncelikli araç oranının 0.5, hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5, araçlar arası varış süresi sabit ve ortalama 1.45 olacak şekilde (istasyon doluluk oranı 0.95) bir simülasyon kullanılmıştır. 30000 dakikalık bir modelde 15000 dakikada sisteme 20 adet yüksek öncelikli araç gönderilmiş ve sistemin dengeye kaç dakikada geleceği ölçülmüştür.

Bu çalışma kapsamında farklı örneklem zamanları için deneyler yapılmış ve seçilen örneklem zamanları için farklı kontrolör parametreleri belirlenmiştir. Örneklem zamanının düşürülmesinin tepki süresi üzerindeki olumlu etkisi gözlemlenerek örneklem zamanı 3 ve 1.5 dakikaya kadar düşürülmüştür. Bu yöntem öncelikle örneklem zamanının 3 olduğu modelde uygulanmıştır daha sonra sistemin çalışmasının planlandığı doluluk seviyesinde araçlar arası varış süresi 1.45 dakika olduğu için 1.45 dakikada 1 tane sunucu boşaldığı düşünülerek örneklem zamanı 1.5 dakikaya indirilerek kontrolörün hızlanması ve boşalan sunucularla ilgili tip değişiklik kararlarını hızlıca alabilmesi sağlanmıştır.

Kontrolör parametrelerinin belirlenmesi için aşağıdaki adımlar uygulanmıştır:

Adım 1: Başlangıç K_p ve K_i parametrelerinin belirlenmesi

- Kp parametresinin hesaplanması

Toplam sunucu sayısının 14 olup her iki araç sınıfına ait olan pompa sayısının sırasıyla 7-7 olduğu bir sistem olduğunu düşünülürken, bir pompanın diğer sınıfa geçmesini sağlayacak fark (HpBekleme * Hedeflenen Bekleme Oranı - LpBekleme) merkez nokta için belirlenir ve Eşitlik 24 ile Kp parametresi bulunur. Örneğin 1 adet pompanın diğer sınıfa geçmesini sağlayacak farkın 4 dakika olduğu bir durumda Eşitlik 23 kullanıldığında Kp parametresi -0.01786 çıkmaktadır.

$$Kp = -(1/(\text{Toplam Sunucu Sayısı} * \text{Fark}))$$

Eşitlik 23

- Ki parametresinin hesaplanması

Ki parametresi, Kp parametresine bağlı olarak hesaplanır.

Daha yüksek örneklem zamanında yapılan deneylerde iyi sonuç elde edilen bir Kp-Ki parametre çiftinin (-0.0061017, -0.00023952) aralarındaki oran dikkate alınarak başlangıç Ki parametresi başlangıç Kp parametresinin 0.04 ile çarpılarak elde edilmiştir.

Adım 2: Belirlenen Kp ve Ki değerleri ile bir CCD deney tasarım matrisi düzenlenmesi:

Kp ve Ki parametreleri için merkez noktanın belirlenmesinin ardından delta seçilerek tasarım matrisindeki diğer noktalar Çizelge 1'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

Adım 3: Deney noktaları ve performans kriteri yanıtlarının bulunduğu tablonun oluşturulması:

Yanıtları elde edebilmek için öncelikle her deney noktası için Çıktı1(Tepki Süresi) ve Çıktı2(Yüzde Sapma) yanıt değerlerinin 50 koşuşturmada elde edilen ortalama değerleri kaydedilir.

Adım 4: Deney noktalarının yanıtları kullanılarak yüzey denklemi oluşturulması:

Yüzey denklemi oluşturmak için Minitab 19 programı kullanılmıştır. Öncelikle programa Kp, Ki, Çıktı1(Tepki Süresi) ve Çıktı2(Yüzde Sapma) değerleri kopyalanır. Ardından program üzerinde Deney Tasarımı (Design of Experiment-DOE) bölümünden Yanıt Yüzeyi (Response Surface) kısmından her bir yanıt için ayrı denklemlerin oluşturulması aşaması tamamlanır.

Adım 5: Oluşturulan tepki yüzey denklemleri kullanılarak genetik algoritma ile pareto optimal noktalarının belirlenmesi:

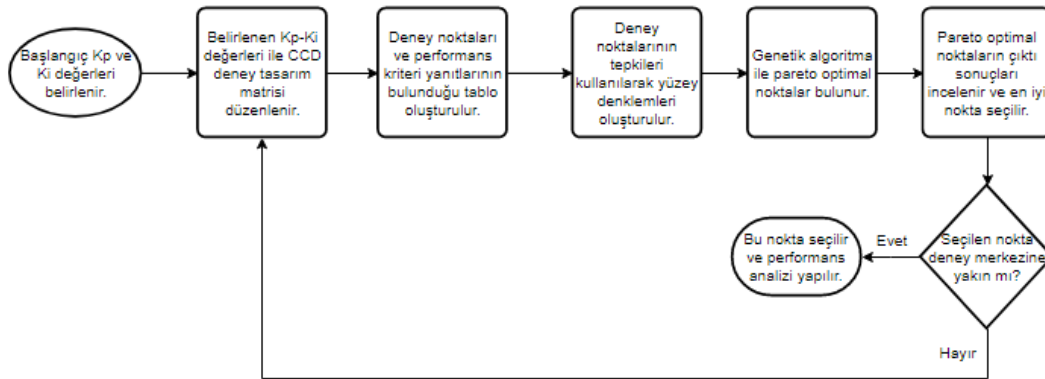
Pareto Optimal: Pareto optimal setinde bulunan objektif fonksiyon değerlerinden hiçbirini, başka bir objektif fonksiyon değerini daha da kötüleştirmeden geliştirilemiyorsa bu çözüm pareto optimaldir. (Miettinen 1998)

Minitab programından Tepki süresi ve Yüzey sapma değerleri için birer model olmak üzere toplam iki adet ikinci derece regresyon modeli elde edildikten sonra bu modeller üzerinde optimal noktaların aranması için Genetik Algoritma Metasezgisel yöntemi kullanılmaktadır. Bu bölüm için MATLAB programının "Optimization" paketi içerisinde bulunan "Multiobjective Genetic Algorithm" aracı kullanılmıştır ve regresyon denklemleri kullanılarak pareto optimal Kp, Ki parametre çifti elde edilmektedir.

Adım 6: Pareto optimal noktaların çıktı sonuçlarının incelenmesi:

İlk deney noktalarının çıktı sonuçları elde edildikten sonra seçilen pareto optimal noktaların simülasyonu yapılır. Simülasyon sonuçları her iki çıktı açısından incelenerek kullanılacak olan Kp-Ki çifti seçilir. Ardından seçilen noktanın deney merkezine yakınlığı incelenir. Seçilen nokta deney alanının kenarında kalıyorsa bu nokta merkeze alınarak yeni bir tasarım matrisi düzenlenerek Adım 2'ye dönülür. Seçilen nokta tasarım alanının merkezine yakınsa bu nokta seçilerek farklı koşullardaki performansı incelenir.

Gerçekleştirilen adımlar Şekil 5'te akış şeması ile gösterilmektedir.



Şekil 5: Yanıt yüzeyi yöntemi akış şeması

Örneklem zamanının (Ts) 1.5 olduğu sistemde uygulama

Çalışmanın bu bölümünde $T_s = 1.5$ dakikalık örneklem zamanı kullanılmaktadır. Uygulamaların ilk adımında kullanılan başlangıç Kp ve Ki parametreleri $T_s = 3$ dakika örneklem süreli deneyden elde edilmiştir. $T_s = 3$ dakika örneklem süresiyle yapılan deneyin detayları Yıldız Aktaş (2020)'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Adım 1 – Adım 2: Bu deney tasarımında $T_s = 3$ deneylerinde kullanılan son deney tasarımı kullanılmış olup simülasyon çalıştırmalarında sadece T_s değeri 1.5 olarak değiştirilmiştir.

Adım 3: Deney noktaları ve 50 çalıştırma yapılmış olan simülasyon sonuçları Çizelge 2'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 2: Ts = 1.5 modelinin ilk deney tasarımı

	Kp	Ki	Tepki Süresi (dk)	Yüzde Sapma (%)
R1	-0.0125	-0.00175	98.88 ± 5.78	-3.67 ± 0.50
R2	-0.0225	-0.00175	85.86 ± 6.44	-12.81 ± 0.76
R3	-0.0125	-0.00225	80.55 ± 3.24	-3.76 ± 0.48
R4	-0.0225	-0.00225	81.96 ± 6.11	-10.43 ± 0.66
Eksen 1	-0.0175	-0.00235	81.45 ± 5.37	-5.44 ± 0.52
Eksen 2	-0.0175	-0.00165	90.75 ± 3.82	-6.24 ± 0.58
Eksen 3	-0.01043	-0.002	90.72 ± 5.69	-3.61 ± 0.48
Eksen 4	-0.02457	-0.002	80.91 ± 6.36	-14.99 ± 0.81
Merkez	-0.0175	-0.002	84.9 ± 5.56	-5.74 ± 0.57

Adım 4: Deney noktalarının yanıt değerleri (Tepki Süresi ve Yüzde Sapma) kullanılarak yüzey denklemleri Minitab19 programı ile bulunmuştur. Tepki süresi için Varyans Analizi ve Model Özeti tabloları Şekil 6 ve Şekil 7’te gösterilmiştir.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	291.761	58.352	14.11	0.027
Linear	2	237.663	118.832	28.74	0.011
Kp	1	81.176	81.176	19.63	0.021
Ki	1	156.487	156.487	37.85	0.009
Square	2	2.041	1.021	0.25	0.796
Kp*Kp	1	1.311	1.311	0.32	0.613
Ki*Ki	1	1.926	1.926	0.47	0.544
2-Way Interaction	1	52.056	52.056	12.59	0.038
Kp*Ki	1	52.056	52.056	12.59	0.038
Error	3	12.403	4.134		
Total	8	304.164			

Şekil 6: Ts = 1.5 için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıtı1) için varyans analizi tablosu

Model Summary

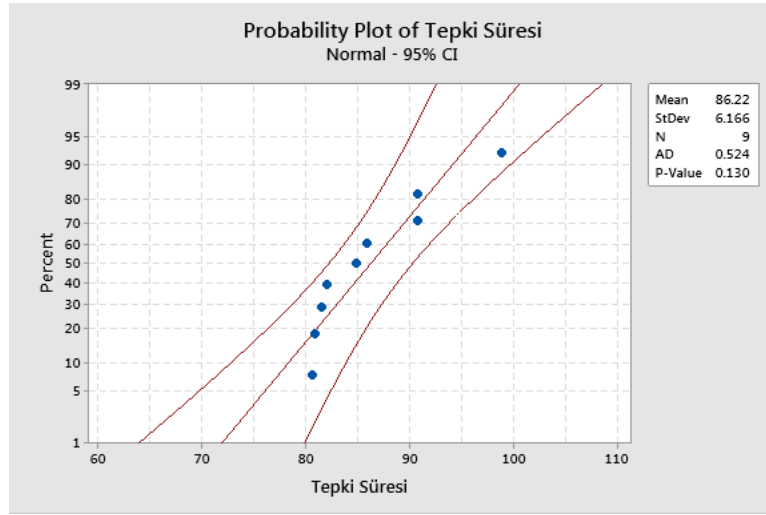
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.03333	95.92%	89.13%	*

Şekil 7: Ts = 1.5 için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıtı1) için model özeti tablosu

Bu çalışmada önem derecesi (level of significance) olarak $\alpha = 0.05$ değeri kabul edilmiştir. Şekil 6’te verilen ANOVA değerleri incelendiğinde doğrusal parametreler olan Kp ve Ki için p değerinin 0.05 den düşük olduğu görülmektedir. P değerinin kabul edilen önem derecesi olan 0.05 den küçük olması Kp ve Ki parametrelerinin Tepki Süresi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca Kp * Ki ile ifade edilen ikili etkileşim için p değeri de 0.05 den

küçüktür. İkili etkileşimin var olması değişkenlerden birinin etkisinin diğer değişkenin seviyesine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Şekil 7'te verilen Model özeti tablosunda R^2 değerinin %95.92, düzeltilmiş R^2 (R^2 adjusted) değerinin %89.13 olduğu gözükmektedir. R^2 (R-sq) değeri yanıtta varyasyonun model tarafından açıklanabilme yüzdesini ifade etmektedir. Düzeltilmiş R^2 (R^2 -sq(adj)), model tarafından açıklanan yanıtta varyasyonun, modeldeki tahmin sayısına göre gözlem sayısı ile ayarlanan yüzdesidir. Elde edilen R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerlerinin %100 e yakın oluşu, modelin veriyle uyumunun yüksek olduğunu göstermektedir. Modelin performansının analizi için incelenen, deneysel sonuçlar ile tepkilerin tahmini için oluşturulan regresyon denklemleri ile üretilen tahmin değerlerinin uyumunu gösteren grafik Şekil 8'da verilmektedir.



Şekil 8: Ts = 1.5 başlangıç deney tasarımı tepki süresi residual grafiği

Şekil 8'da mavi noktaların grafik içerisindeki doğrusal çizgilere olan yakınlığı tahmin edilen değerlerin simülasyon sonuçları ile uyumunu gösterir. (Neşeli ve diğerleri, 2012) Grafiğin tahmin tutarlılığı %95.92'dir. Regresyon modeli ile elde edilen tahmin değerlerinin simülasyon değerlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiş ve dolayısıyla regresyon modelinin geçerliliği ispatlanmıştır.

Tepki süresi için regresyon denklemi Eşitlik 25'teki gibidir.

$$\text{Tepki Süresi} = 292.7 + 7349 * K_p + 120276 * K_i + 26850 K_p * K_p + 13020000 * K_i * K_i + 2886000 * K_p * K_i \quad \text{Eşitlik 24}$$

Deney tasarımı sonuçları kullanılarak ikinci performans ölçütü olan Yüzde Sapma değeri için de regresyon modeli oluşturulmuştur. Yüzde sapma için Varyans Analizi ve Model Özeti tabloları Şekil 9 ve Şekil 10'de gösterilmiştir.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	145.288	29.058	446.79	0.000
Linear	2	128.697	64.348	989.42	0.000
Kp	1	127.231	127.231	1956.30	0.000
Ki	1	1.466	1.466	22.54	0.018
Square	2	15.075	7.537	115.89	0.001
Kp*Kp	1	9.470	9.470	145.62	0.001
Ki*Ki	1	0.017	0.017	0.27	0.640
2-Way Interaction	1	1.516	1.516	23.32	0.017
Kp*Ki	1	1.516	1.516	23.32	0.017
Error	3	0.195	0.065		
Total	8	145.483			

Şekil 9: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıkıtı2) için varyans analizi tablosu

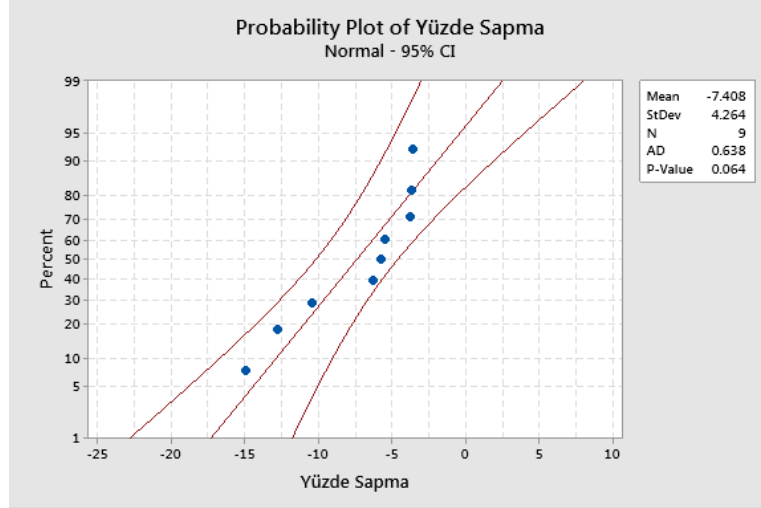
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.255023	99.87%	99.64%	*

Şekil 10: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıkıtı2) için model özeti tablosu

Şekil 9'de verilen ANOVA değerleri incelendiğinde tepki süresinde olduğu gibi doğrusal parametreler olan Kp ve Ki için p değerinin yine 0.05'ten düşük olduğu görülmektedir. Bu durum Kp ve Ki parametrelerinin Yüzde Sapma üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. İkili etkileşim Kp*Ki ve karesel etkileşimlerden Kp*Kp için de p-değerleri 0.05'ten küçüktür.

Şekil 10'de verilen Model özeti tablosunda R^2 değerinin %99.87, düzeltilmiş R^2 (R^2 adjusted) değerinin %99.64 olduğu gözükmemektedir ve modelin veriyle uyumunun yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Modelin performansının analizi için incelenen Residual grafiği Şekil 11'da verilmektedir.



Şekil 11: Ts = 1.5 başlangıç deney tasarımı yüzde sapma residual grafiği

Şekil 11'da mavi noktaların grafik içerisindeki doğrusal çizgilere olan yakınlığı tahmin edilen değerlerin simülasyon sonuçları ile uyumunu gösterir. Grafiğin tahmin tutarlılığı %95.92'dir. Yüzde sapma değeri için regresyon denklemi Eşitlik 26'daki gibidir.

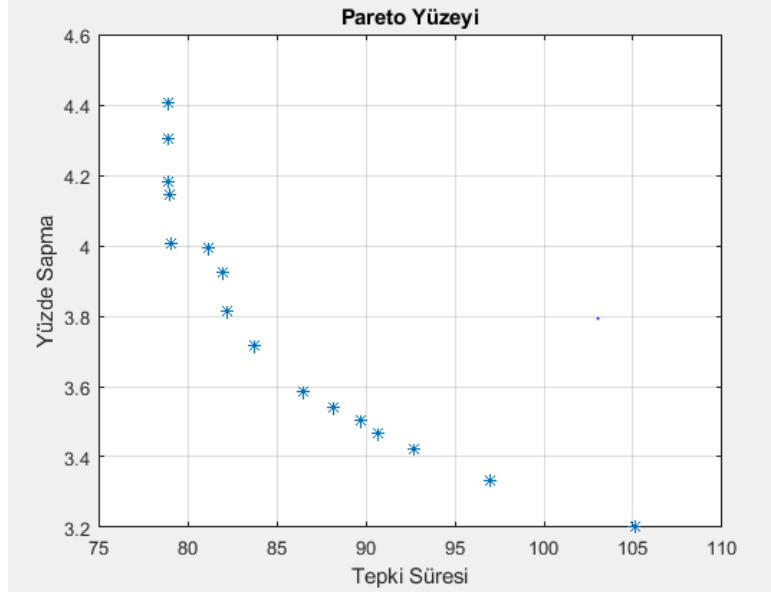
$$\text{Yüzde Sapma} = -5.0 - 743 * K_p + 1945 * K_i - 72172 * K_p * K_p - 1240602 * K_i * K_i + 492560 * K_p * K_i \quad \text{Eşitlik 25}$$

Adım 5: Tepki süresi ve yüzde sapma için elde edilen regresyon denklemleri kullanılarak pareto optimal K_p - K_i çiftlerinin elde edilmesi için MATLAB yazılımı Genetik Algoritma paketi kullanılmıştır. MATLAB yazılımında Genetik Algoritma karakteristikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

MATLAB programından elde edilen pareto optimal noktaların grafiği Şekil 12'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 3: MATLAB genetik algoritma karakteristikleri

Popülasyon Tipi	Çift Vektör (Double Vector) (Default)
Popülasyon Büyüklüğü	18 (Default)
Amaç Ölçek Fonksiyonu	Rank (Default)
Seçme Fonksiyonu	Uniform (Default)
Çaprazlama Fraction	0.8 (Default)
Çaprazlama Fonksiyonu	Dağıtık (Scattered) (Default)



Şekil 12: Ts= 1.5 için başlangıç deney tasarımında pareto optimal noktalar

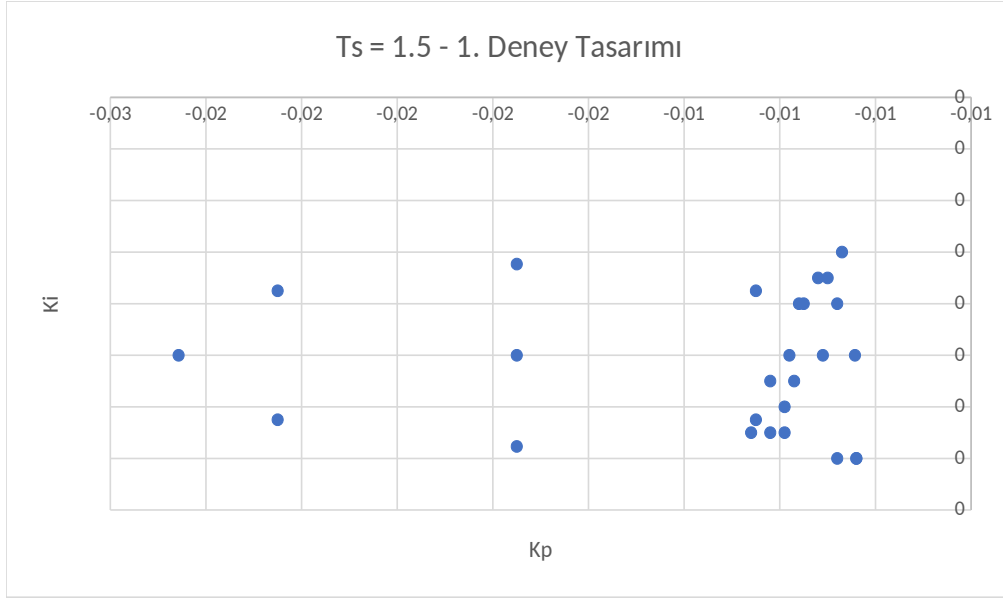
Pareto optimal noktaların gerçek çıktı değerlerinin bulunması için simülasyon modeli kullanılarak 50 koşuturum yapılmıştır. Pareto olarak belirlenen Kp-Ki noktaları için simülasyondan elde edilen değerler ve regresyon denklemlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te gösterilmektedir. Simülasyon sonuçlarının regresyon denkleminde elde edilen sonuçlarla uyumu regresyon modelinin sonuç yüzeyini iyi bir şekilde temsil edebildiğini göstermektedir.

Çizelge 4: Ts= 1.5 için başlangıç deney tasarımında pareto optimal noktaların çıktı sonuçları

Noktalar	Kp	Ki	Tepki Süresi (dk) (Simülasyon)	Yüzde Sapma (%) (Simülasyon)	Tepki Süresi (dk) (Regresyon)	Yüzde Sapma (%) (Regresyon)
1	-0.0104	-0.0024	79.35 ± 3.31	-3.76 ± 0.51	77.542	-4.60
2	-0.0107	-0.0016	98.7 ± 5.024	-3.52 ± 0.50	107.438	-3.17
3	-0.0119	-0.0023	79.17 ± 3.64	-3.71 ± 0.496	80.280	-3.93
4	-0.0108	-0.0018	92.82 ± 4.96	-3.47 ± 0.52	98.254	-3.34
5	-0.0122	-0.0023	79.17 ± 2.86	-3.73 ± 0.49	80.261	-3.89
6	-0.0126	-0.0023	79.71 ± 3.33	-3.62 ± 0.48	80.243	-3.86
7	-0.0111	-0.002	85.44 ± 4.36	-3.57 ± 0.472	90.031	-3.56
8	-0.0117	-0.0021	82.86 ± 3.75	-3.61 ± 0.49	86.140	-3.64
9	-0.0108	-0.0024	86.70 ± 6.05	-3.71 ± 0.49	77.601	-4.44
10	-0.0116	-0.0018	88.77 ± 4.84	-3.58 ± 0.49	97.012	-3.33
11	-0.0112	-0.0017	95.64 ± 3.89	-3.52 ± 0.50	101.867	-3.25
12	-0.011	-0.0017	93.9 ± 4.62	-3.52 ± 0.48	102.237	-3.24

13	-0.0115	-0.0018	92.34 ± 5.72	-3.56 ± 0.49	97.166	-3.32
14	-0.0118	-0.002	85.29 ± 4.01	-3.57 ± 0.48	89.358	-3.51
15	-0.0119	-0.0022	83.28 ± 4.77	-3.60 ± 0.50	83.014	-3.77
16	-0.0122	-0.0021	84.87 ± 4.08	-3.55 ± 0.48	85.816	-3.61

Şekil 13'de Ts= 1.5 için başlangıç deney tasarımı ve pareto optimal noktalar grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 13: Ts= 1.5 için başlangıç deney tasarımı ve pareto optimal noktalar

Adım 6: Şekil 13 incelendiğinde pareto noktalarının deney tasarım alanının kenarında kaldığı gözlemlenmektedir. Pareto noktalarının simülasyon değerleri, yüzde sapma değeri açısından incelendiğinde güven aralıklarının büyük oranda çakıştıkları görülmektedir. Noktalar tepki süresi açısından incelenerek 1. nokta ikinci deney tasarımının merkezi olarak belirlenmiştir. İkinci deney tasarımından elde edilen pareto optimal noktalar ve bu noktaların regresyon ve simülasyon çıktı değerleri Çizelge 5'te gösterilmektedir.

Çizelge 5: Ts= 1.5 için 2. deney tasarımında pareto optimal noktaların çıktı sonuçları

Noktalar	Kp	Ki	Tepki Süresi (dk) (Simülasyon)	Yüzde Sapma (%) (Simülasyon)	Tepki Süresi (dk) (Regresyon)	Yüzde Sapma (%) (Regresyon)
1	-0.0145	-0.0027	73.32 ± 3.63	-4.03 ± 0.49	73.215	-3.953
2	-0.0109	-0.002	86.1 ± 3.61	-3.61 ± 0.50	92.428	-3.422
3	-0.0116	-0.0023	82.17 ± 3.95	-3.62 ± 0.48	80.23	-3.516
4	-0.0134	-0.0026	74.55 ± 2.92	-3.79 ± 0.48	73.766	-3.73
5	-0.0137	-0.0026	76.32 ± 2.77	-3.85 ± 0.48	73.657	-3.78
6	-0.0109	-0.0021	83.31 ± 4.18	-3.53 ± 0.48	87.946	-3.45
7	-0.0112	-0.0023	82.14 ± 3.99	-3.64 ± 0.47	80.703	-3.51
8	-0.0117	-0.0025	80.49 ± 4.20	-3.67 ± 0.48	76.064	-3.56
9	-0.011	-0.0021	81.84 ± 3.43	-3.52 ± 0.47	87.814	-3.45

10	-0.0139	-0.0027	73.11 ± 2.19	-3.89 ± 0.47	73.287	-3.826
11	-0.0112	-0.0024	77.82 ± 3.08	-3.73 ± 0.49	78.33	-3.534
12	-0.0121	-0.0026	78.42 ± 3.82	-3.70 ± 0.48	74.67	-3.599
13	-0.0125	-0.0026	81.87 ± 4.16	-3.79 ± 0.49	74.32	-3.626
14	-0.0116	-0.0024	83.76 ± 4.56	-3.69 ± 0.50	77.85	-3.539

Toplamda 3 deney tasarımı yapılmış ve nihai Kp-Ki çiftine ulaşılmıştır.

3. deney tasarımı için takip edilen adımlar aşağıdaki gibidir.

Adım 1: İkinci deney tasarımında elde edilen 1. Nokta merkez alınarak pozitif ve negatif noktalar elde edilmiştir.

Adım 2: Çizelge 1'e göre deney noktaları bulunmuştur.

Adım 3: Deney noktaları ve 50 çalıştırma sonucu elde edilen çıktı sonuçları Çizelge 6'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 6: Ts = 1.5 modelinin 3. deney tasarımı

	Kp	Ki	Tepki Süresi (dk) (Çıktı1)	Yüzde Sapma (%) (Çıktı2)
R1	-0.0084	-0.00235	86.88 ± 5.30	-4.02 ± 0.49
R2	-0.0184	-0.00235	74.82 ± 4.40	-5.98 ± 0.57
R3	-0.0084	-0.00285	81.09 ± 4.51	-4.31 ± 0.48
R4	-0.0184	-0.00285	76.71 ± 5.70	-5.46 ± 0.50
Eksen 1	-0.0134	-0.00295	79.14 ± 4.15	-3.89 ± 0.48
Eksen 2	-0.0134	-0.00225	82.8 ± 4.88	-3.83 ± 0.49
Eksen 3	-0.00633	-0.0026	86.31 ± 5.45	-4.82 ± 0.54
Eksen 4	-0.02047	-0.0026	74.7 ± 5.34	-7.28 ± 0.6
Center	-0.0134	-0.0026	74.55 ± 2.92	-3.79 ± 0.48

Adım 4: Deney noktalarının tepki değerleri kullanılarak yüzey denklemleri Minitab19 programı ile bulunmuştur. Tepki Süresi için Varyans Analizi ve Model Özeti tabloları Şekil 14 ve Şekil 15'te gösterilmiştir.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	189.676	37.935	67.28	0.003
Linear	2	145.261	72.631	128.82	0.001
Kp	1	134.964	134.964	239.38	0.001
Ki	1	10.297	10.297	18.26	0.024
Square	2	29.669	14.835	26.31	0.013
Kp*Kp	1	22.190	22.190	39.36	0.008
Ki*Ki	1	26.084	26.084	46.26	0.006
2-Way Interaction	1	14.746	14.746	26.15	0.014
Kp*Ki	1	14.746	14.746	26.15	0.014
Error	3	1.691	0.564		
Total	8	191.367			

Şekil 14: Ts = 1.5 için 3. deney tasarımı noktalarının tepki süresi için varyans analizi tablosu

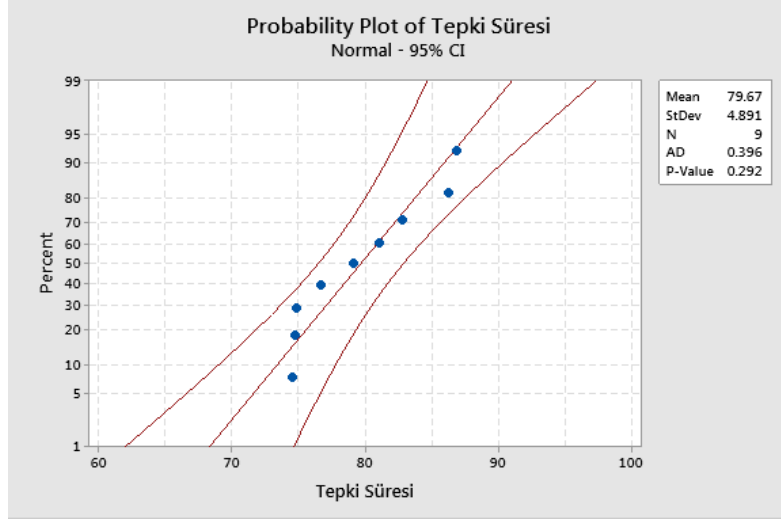
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.750865	99.12%	97.64%	*

Şekil 15: Ts = 1.5 için 3. deney tasarımı noktalarının tepki süresi için model özeti tablosu

Şekil 14'de verilen ANOVA değerleri incelendiğinde doğrusal parametreler olan Kp ve Ki için p değerinin 0.05'ten düşük olduğu görülmektedir. Bu durum Kp ve Ki parametrelerinin Tepki Süresi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Karesel etkileşimlerden Ki*Ki ve Kp*Kp için de p-değeri 0.05'ten küçüktür.

Şekil 15'te verilen Model özeti tablosunda R² değerinin %99.12, düzeltilmiş R² (R² adjusted) değerinin %97.64 olduğu görülmektedir ve modelin veriyle uyumunun yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Modelin performansının analizi için incelenen grafik Şekil 16'te verilmektedir.



Şekil 16: Ts = 1.5 için 3. deney tasarımı tepki süresi residual grafiği

Şekil 16'te mavi noktalar grafik içerisindeki doğrusal çizgilere yakındır ve tahmin edilen değerler simülasyon sonuçları ile uyumludur. Grafiğin tahmin tutarlılığı %99.12'dir. Tepki süresi değeri için regresyon denklemi Eşitlik 27'deki gibidir.

$$\text{Tepki Süresi} = 494.6 + 7776 * K_p + 274252 * K_i + 110475 * K_p * K_p + 47910000 * K_i * K_i + 1536000 * K_p * K_i$$

Eşitlik 27

Yüzde sapma için Varyans Analizi ve Model Özeti tabloları Şekil 17 ve Şekil 18'da gösterilmiştir.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	11.5916	2.31832	231.51	0.000
Linear	2	5.4457	2.72283	271.91	0.000
Kp	1	5.4431	5.44306	543.56	0.000
Ki	1	0.0026	0.00260	0.26	0.646
Square	2	5.9802	2.99010	298.60	0.000
Kp*Kp	1	3.6815	3.68153	367.65	0.000
Ki*Ki	1	0.0027	0.00265	0.26	0.642
2-Way Interaction	1	0.1657	0.16572	16.55	0.027
Kp*Ki	1	0.1657	0.16572	16.55	0.027
Error	3	0.0300	0.01001		
Total	8	11.6216			

Şekil 17: Ts = 1.5 için 3. deney tasarımı noktalarının yüzde sapma için varyans analizi tablosu

Model Summary

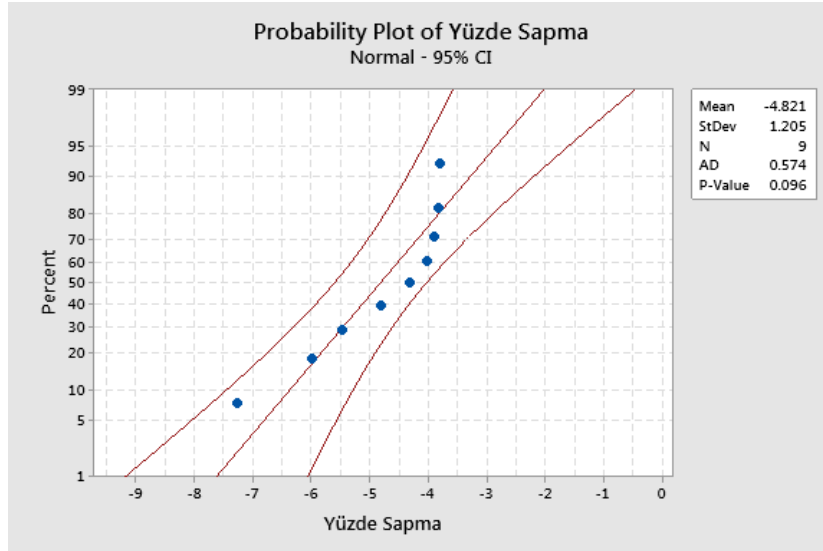
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.100069	99.74%	99.31%	*

Şekil 18: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının yüzde sapma için model özeti tablosu

Şekil 17'te verilen ANOVA değerleri incelendiğinde doğrusal parametrelerden K_p değerinin 0.05'ten düşük olduğu görülmektedir. Karesel etkileşimlerden $K_p * K_p$ için de p-değeri 0.05'ten küçüktür. K_i değeri için p-değeri 0.05 den büyük olmasına rağmen ikili etkileşim için alınan p-değerinin 0.05 den küçük olması K_i değerinin etkisini göstermektedir.

Şekil 18'da verilen Model özeti tablosunda R^2 değerinin %99.74, düzeltilmiş R^2 (R^2 adjusted) değerinin %99.31 olduğu gözükmemektedir ve modelin veriyle uyumunun yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Modelin performansının analizi için incelenen grafik Şekil 19'de verilmektedir.

Şekil 19'de mavi noktalar grafik içerisindeki doğrusal çizgilere yakındır ve tahmin edilen değerler simülasyon sonuçları ile uyumludur. Grafiğin tahmin tutarlılığı %99.74'tür. Yüzde Sapma için regresyon denklemi Eşitlik 27'deki gibidir.

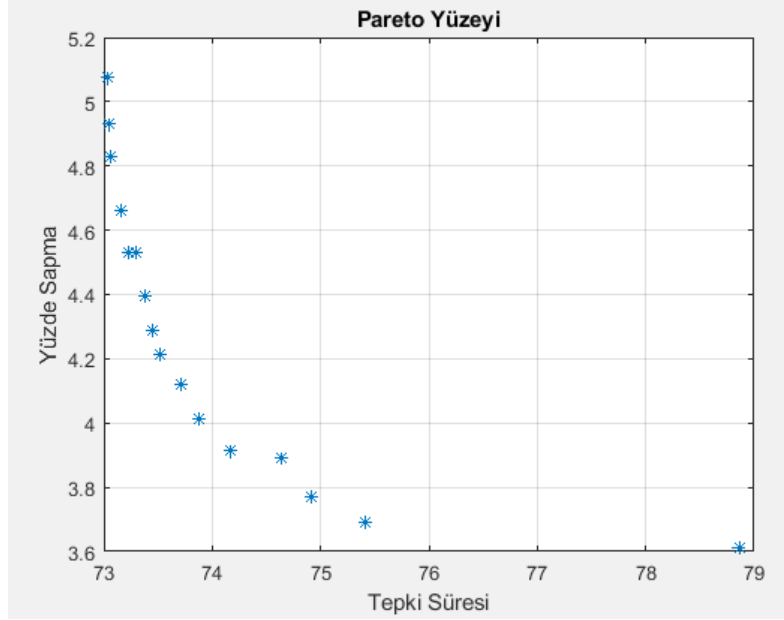


Şekil 19: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı yüzde sapma residual grafiği

$$\text{Yüzde Sapma} = -7.44 - 618 * K_p - 401 * K_i - 44998 * K_p * K_p - 482916 * K_i * K_i + 162836 * K_p * K_i$$

Eşitlik 26

Adım 5: “Multiobjective Genetic Algorithm” aracı ve regresyon denklemleri kullanılarak elde edilen pareto optimal noktaların Matlab programından alınmış grafiği Şekil 20’de gösterildiği gibidir.



Şekil 20: Ts= 1.5 için 3. deney tasarımında pareto optimal noktalar

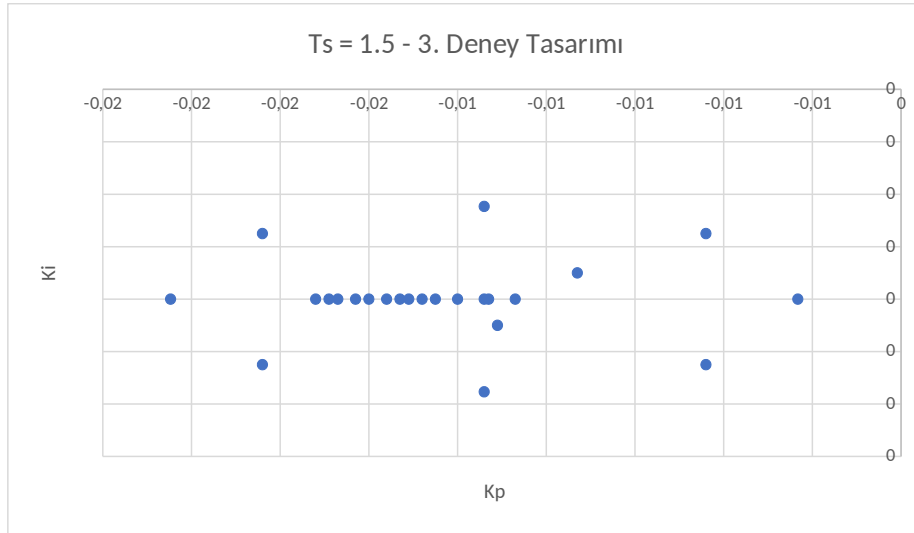
Pareto optimal noktaların simülasyon kullanılarak 50 çalıştırma sonucu gerçek çıktı değerleri ve regresyon sonuçları elde edilmiştir. Bu değerler Çizelge 7’de gösterilmektedir.

Çizelge 7: Ts= 1.5 için 3. deney tasarımında pareto optimal noktaların çıktı sonuçları

Noktalar	Kp	Ki	Tepki Süresi (dk) (Simülasyon)	Yüzde Sapma (%) (Simülasyon)	Tepki Süresi (dk) (Regresyon)	Yüzde Sapma (%) (Regresyon)
1	-0.0113	-0.0025	81.3 ± 3.63	-3.68 ± 0.49	78.04	-3.62
2	-0.0172	-0.0026	75.36 ± 4.04	-4.94 ± 0.49	73.04	-5.06
3	-0.0148	-0.0026	74.13 ± 4.65	-4.04 ± 0.48	73.64	-4.11
4	-0.0163	-0.0026	75.39 ± 3.75	-4.55 ± 0.47	73.12	-4.64
5	-0.0169	-0.0026	80.1 ± 3.71	-4.89 ± 0.50	73.05	-4.91
6	-0.0167	-0.0026	79.8 ± 3.64	-4.78 ± 0.50	73.06	-4.82
7	-0.0156	-0.0026	75.18 ± 2.93	-4.36 ± 0.50	73.30	-4.37
8	-0.0151	-0.0026	78.9 ± 4.92	-4.20 ± 0.49	73.49	-4.20
9	-0.016	-0.0026	76.77 ± 2.99	-4.53 ± 0.50	73.18	-4.52
10	-0.0127	-0.0026	79.38 ± 3.85	-3.83 ± 0.51	75.20	-3.69
11	-0.0133	-0.0026	81.45 ± 4.49	-3.80 ± 0.48	74.65	-3.77
12	-0.0153	-0.0026	75.6 ± 4.75	-4.30 ± 0.48	73.41	-4.26
13	-0.014	-0.0026	76.95 ± 4.03	-3.93 ± 0.48	74.12	-3.90
14	-0.0145	-0.0026	78.75 ± 4.45	-4.15 ± 0.46	73.80	-4.02
15	-0.0131	-0.0027	76.38 ± 4.07	-3.81 ± 0.48	74.80	-3.74

Adım 6: 3. deney tasarımı sonucunda pareto optimal noktalar Şekil 21'da gösterildiği gibidir. Noktaların merkez nokta etrafında konumlandığı görülmektedir.

Her iki çıktı değerinde de iyi sonuçlar verdiği için en iyi Kp-Ki parametre çifti merkez noktaya yakın bir nokta olan 15. Nokta (-0.0131, -0.0027) olarak seçilmiştir.



Şekil 21: Ts = 1.5 için 3. deney tasarımı ve pareto optimal noktaların grafik üzerinde gösterilmesi

3.5 Sabit Sayıda Sunucu ile Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Modeli

Kapalı çevrim ve açık çevrim kontrol metodu ile karşılaştırmada kullanılan bir yöntem sabit sunucu sayısının bulunduğu sistemdir. Bu sistemde yüksek öncelikli araçların sunucu sayısı araçların geliş oranı ve hedeflenen bekleme oranına bağlı olarak dengeli bir şekilde Eşitlik 28'de gösterildiği gibi paylaşılır.

Toplam Sunucu Sayısı (TSS): 14 pompa

Hp Rate: Yüksek öncelikli araçların toplam araçlara oranı

Lp Rate: Düşük öncelikli araçların toplam araçlara oranı (1 – Hp Rate)

Hp Sunucu Sayısı: Yüksek öncelikli araçların sahip olması gereken sunucu sayısı

Boh = Hedeflenen bekleme oranı

$$\text{Hp Sunucu Sayısı} = \text{Yuvarla} \left(\text{TSS} * \frac{\text{Hp Rate} * \text{Boh}}{(\text{Lp Rate} + \text{Hp Rate} * \text{Boh})} \right)$$

Eşitlik 27

(TRIA(10, 18, 30) dakika) ile işlem süreleri atanır. Araçlar poisson dağılıma uygun şekilde gelmektedir ve araçlar arasındaki süre üssel dağılıma uygundur. Araçlararası ortalama varış süresi, farklı koşul testlerinde test edilen doluluk oranını elde edecek şekilde değiştirilmektedir.

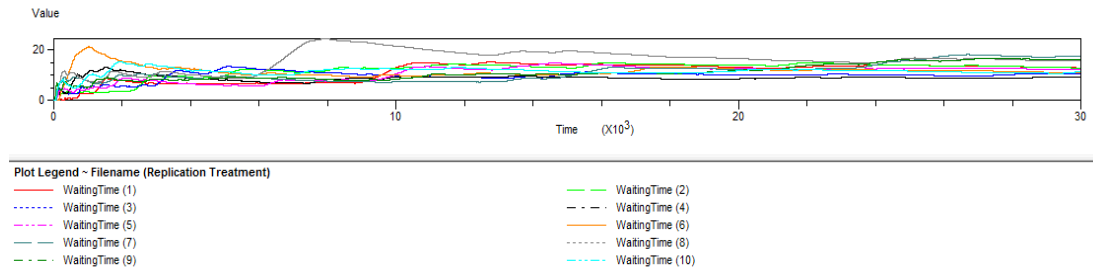
Araçlara istasyon tarafından benzersiz bir numara atanır. Araçların sisteme giriş zamanları ve servise başladıkları andaki sunucuyu tuttıkları zaman sistemde kaydedilir. Araç istasyona geldiğinde kuyruklar boşsa ve boşta (bir araca servis vermeyen) herhangi bir sunucu varsa Sabit Sunucu 1 metodu hariç diğer tüm metotlarda araç beklemeden boş olan sunucuda servis almaya başlar. Sunucuların tamamı dolu ise gelen araç, kendi sınıfına ait kuyruқта beklemeye başlar. Herhangi bir sunucu boşaldığında ilgili sunucu hangi sınıfa aitse kuyruktaki araçlardan o sınıfa ait ilk araç servise alınır. Eğer pompanın sınıfı ile aynı sınıfta araç yoksa diğer sınıftan olan araçlardan ilki işleme alınır.

Şekil 22'de büyük dikdörtgen ile işaretli bölüm, sisteme giren araçların doğru sınıftaki sunuculara yönlendirilmesi işlemini ve performans ölçümleri kaydını yapmaktadır. Küçük dikdörtgen bölümde ise Monitör ve Kontrolör bölümleri bulunmaktadır. Monitör bölümü sistem durumunu izlemekte ve kontrolü harekete geçirmektedir. Kapalı çevrim modelinde Monitör, her örneklem zamanı sonunda sistem çıktılarını ölçüp kayıt altına alır ve Kontrolör bölümüne gönderir. Kontrolör bölümü her örneklem zamanında monitörden gelen ölçümleri ve Eşitlik 13'ü kullanarak bir sonraki örneklem zamanında geçerli olacak sunucu oranını ($S_o(k)$) belirler. Eğer belirlenen kaynak oranı 0'dan küçük veya 1'den büyükse, oran olarak minimum ve maksimum limitler olan 0 veya 1 alınır. Açık çevrim modelinde Monitör her sunucu boşalışında Kontrolörü harekete geçirir ve Kontrolör boşalan sunucunun yeni sınıfına karar verir.

Bütün doğrulama ve geçerleme çalışmaları açık ve kapalı çevrim modellerinde ayrı ayrı tamamlanmıştır. Geliştirilen simülasyon modeli için doğrulama aşamasında kontrol metodlarının simülasyon ortamına doğru geçirilip geçirilmediği kontrol edilmiştir. Bu amaçla kapalı çevrim modelinde her örneklem zamanda kuyruқта bekleyen yüksek ve düşük öncelikli araç sayısı, her bir sınıfın kuyruқта bekleme süresi, sunucuyu tutmuş olan araç sayıları, sunucuyu tutmuş olan araçların bekleme süreleri, her örneklem zamanda yüksek öncelikli araçların sahip olması gereken sunucu sayısı gibi veriler excel dosyasına yazdırılmış ve kontrol mekanizmasının doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. Açık çevrim modelinde de kontrolörün farklı durumlarda alacağı karar ve yapacağı hesaplar simülasyon ortamı dışında ayrıca hesaplanmış ve simülasyon kararlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbiri ile tutarlı sonuçlar olduğu için doğrulama aşaması tamamlanmıştır. Geçerlilik

aşamasında ise araçların sistemde geçirdiği ortalama zaman kuyruk modeli ile kontrol edilmiştir.

Doğrulama geçirme aşaması tamamlandıktan sonra simülasyon modelinin ısınma periyodu belirlenmiştir. Isınma periyodunun belirlenmesinde dakika cinsinden araçların sistemde geçirdikleri zaman içerisinde bekleme sürelerinin ortalama değeri kullanılmıştır. Şekil 23'de Arena Output Analyzer'dan 30000 dakikalık modelden alınan sonuçlar gösterilmiştir. Yatay eksen dakika cinsinden zamanı gösterirken, dikey eksen araçların bekleme sürelerini göstermektedir. Şekilden sistemin kararlı hale gelinceye kadar geçirdiği süre 3000 dakika olarak belirlenmiş ve bu süre ısınma periyodu olarak kabul edilmiştir.



Şekil 23: Isınma periyodunun belirlenmesi – araçların dakika cinsinden bekleme süreleri

3.7 Çoklu İstasyon Ortamı - Simülasyon Modeli

Çoklu istasyon ortamında istasyonlar, araçların seçim yapmasına yardımcı olmak için kendilerine şu anda gelebilecek iki farklı sınıftan araçlar için farklı bekleme süreleri ilan ederler. Bu sürelerin hesaplanması için istasyonlar gelecek olay listeleme metodunu kullanırlar. Gelecek olay listeleme metodu içinde istasyona sırasıyla her iki sınıftan da hayali birer araç sokulur ve bu araçlar simülasyon ortamında bir sunucu tutana kadar ilerletilerek toplam bekleme süreleri hesaplanıp ilan edilir. Şarj olacak bir istasyon arayan araçlar, ilan edilen bekleme sürelerini de değerlendirerek kendi toplam yolculuk sürelerini en azlayacak istasyonu seçerler. Toplam yolculuk süresi, aracın çıkış istasyonundan şarj istasyonuna giderken geçirdiği süre, şarj istasyonunda bulunduğu süre (bekleme ve servis süresi) ve şarj istasyonundan hedeflediği varış noktasına giderken geçirdiği sürenin toplamıdır.

Çoklu istasyon testleri, tekli istasyonda oluşturulan kontrol mekanizmaları birden fazla istasyona yerleştirilerek simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Toplam alan 4 bölgeye ayrılmış ve her bölgeye 2 istasyon yerleştirilmiştir. İstasyonlar bölgeler içinde farklı noktalara konumlandırılmıştır. Ayrıca araçların gidecekleri hedef noktaları da kesikli dağılıma uygun olarak belirlenmiştir.

Açık/kapalı çevrim modellerinin karşılaştırılmasında kullanılan çoklu istasyon simülasyon modeli bu bölümde anlatıldığı gibidir. Testler farklı koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde 20*20 km² lik örnek bir alan üzerindeki bir test örnek olarak anlatılmaktadır.

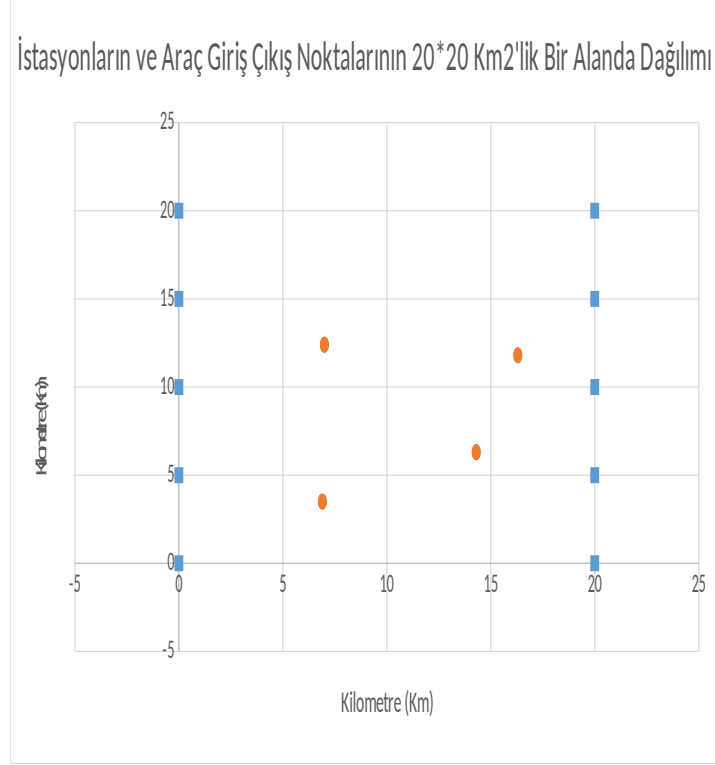
Simülasyon ortamında tekli istasyon modeli çoklu istasyon modeline entegre edilmiştir. Sistem içerisinde 8 tane istasyon bulunmaktadır. Araçlar 5 noktanın herhangi birinden çıkıp karşıdaki 5 noktadan herhangi birine giderken 8 istasyondan birini kendilerinin toplam yolculuk sürelerini en azlayacak şekilde seçmek istemektedirler. Bunun için her istasyon 1.5 dakikada bir kez o istasyona anlık olarak herhangi bir kişinin gelmesi durumunda her iki araç sınıfı için de ne kadar süre bekleyeceğini duyurmaktadır. Kapalı çevrim modelinde her 1.5 dakikada bir kez istasyonların kontrolörleri ayrı ayrı çalışmakta ve bir sonraki adımda pompa oranının nasıl olması gerektiğine karar vermektedir. Açık çevrim modelinde her istasyon her sunucu boşalığında kendi sunucu-sınıf atamalarını yenilemektedir. Her iki model de, istasyon seçmek isteyen araçlar için her 1.5 dakikada bir yeni bekleme süreleri ilan etmektedirler.

Simülasyon modeli Şekil 24'deki gibi güncellenmiştir. Şekilde 1 ile gösterilen kısımdan gelen araçlar 3 numaralı bölgeye, 3 numaralı bölgeden gelen araçlar ise 1 numaralı bölgeye doğru hareket etmektedir. 2 numaralı bölge ise istasyonların bulunduğu bölgedir. 2 numaralı bölgede altta bulunan modüller istasyonlardaki tahmini bekleme süresini anons etmek için kullanılan modüldür.



Şekil 24: Çoklu istasyon simülasyon modeli

İstasyonların konumu 20*20 km² lik bir alanda dağıtık şekilde belirlenmiştir ve her konumda 1 adet kapalı veya açık çevrim metodu ile çalışan istasyon, 1 adet de FIFO yöntemi ile çalışan istasyon olması planlanmıştır. Böylece FIFO ile kapalı çevrim metodunu karşılaştırmak hedeflenmiştir. İstasyon 1, 3, 5 ve 7 kapalı veya açık çevrim kontrol metodu ile çalışırken, İstasyon 2, 4, 6 ve 8 FIFO ile çalışmaktadır. İstasyonların konumu Şekil 25'te gösterilmiştir.



Şekil 25: İstasyonların ve araç giriş çıkış noktalarının 20*20 km²'lik bir alanda dağılımı

Modelde araçların varışlar arası geçen süre hem sol taraftan hem de sağ taraftan sisteme giriş yapılan noktalarda simetriktir. Ortalama varış hızı dış noktalardan iç noktalara doğru artmaktadır. %95 doluluk oranı araçlar arası varış süreleri üssel dağılıma uygun olarak ortalama Nokta A/D 1-5 için 2.55 dakika, Nokta A/D 2-3 1.8 dakika, Nokta A/D 3 için ise 1.17 dakika şeklinde ayarlanmıştır. Araçların hızları UNIF(40,60) km/s şeklindedir.

Dinamik kuyruk sıralama modelinin çoklu istasyon ortamında testleri benzer şekilde yapılmış olup farklı parametre değerleri kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Bu bölümde proje kapsamında geliştirilen modellerin tek istasyondaki ve birden fazla istasyonun bulunduğu rekabetçi ortamdaki performansları incelenmektedir. Geliştirilen modellerin karşılaştırılması için Bölüm 3.5 de anlatılan sabit sayıda sunucu ile ekspres servis veren istasyon modeli aynı koşullarda çalıştırılmıştır.

4.1 Dinamik Kuyruk Sıralama Yöntemi ile Ekspres Şarj İstasyonu Yönetim Metodu Performans Analizi

Dinamik kuyruk sıralama yöntemi herhangi bir hedef referans değeri takip etme amacıyla olmadığı için Açık ve Kapalı çevrim kontrole dayalı modellerle karşılaştırılmamıştır. Dinamik kuyruk modelinin tek istasyondaki performansı Bölüm 4.1.1'de, çoklu istasyon ortamındaki performansı Bölüm 4.1.2'de incelenmektedir.

4.1.1 Dinamik Kuyruk Sıralama Yöntemi Tekli İstasyon Performansı

Geliştirilen dinamik kuyruk sıralama yöntemi FIFO kuyruk yöntemi ile, standart ekspres sunucu (Said vd. 2015) 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.

Dinamik Kuyruk Sıralama Yöntemi ve FIFO Kuyruk Yönetimi Karşılaştırması

Çizelge 8'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 8'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 koşuturlarda araçların yarısı ekspres sınıfta iken diğler yarısı normal sınıfta değlerlendirilmektedir.

Çizelge 8: 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 değeri iç içe geçmiş durumdadır. Ancak Çizelge 8'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 9'da 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 bağlı 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 9: 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 9'a 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 10 ve

Hata: Başvuru kaynağı bulunamadı'de, farkların güven aralığını gösteren bağımsız örneklem t testi sonuçları Çizelge 11 ve Hata: Başvuru kaynağı bulunamadı'te gösterilmiştir.

Çizelge 10 ve Çizelge 11 araçlar arası varışların EXPO(3.75) dakika dağılımına uygun olduğu sonuçları göstermektedir. Bu koşullarda ortalama sunucu doluluk oranı araçların servis sürelerine bağlı olarak sırasıyla %81 ve %88'dir.

Çizelge 10: 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 11: 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 10'da 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 11'deki t testi sonuçları da Çizelge 10'da yapılan çıkarımları doğrular niteliktedir.

Araçlar arası varışların EXPO(4.00) dakika dağılımına uygun olduğu sonuçlar ise Çizelge 12 ve Çizelge 13'te verilmektedir.

Çizelge 12: Dinamik Kuyruk ve FIFO Sonuçları - (Varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel))

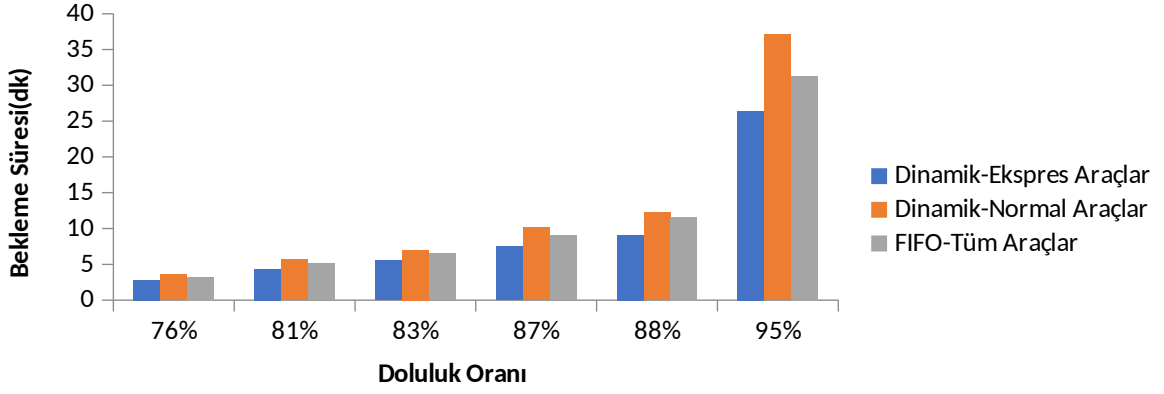
EXPO(4.00)	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Dinamik Kuyruk	FIFO
Servis Süresi TRIA(10,15,30)	Tüm Araçlar	[3.02 3.28]	[3.17 3.33]
	Ekspres Araçlar	[2.69 2.89]	[3.17 3.31]
	Normal Araçlar	[3.37 3.69]	[3.15 3.35]
Servis Süresi TRIA(10,20,30)	Tüm Araçlar	[6.02 6.52]	[6.27 6.77]
	Ekspres Araçlar	[5.33 5.73]	[6.26 6.72]
	Normal Araçlar	[6.73 7.31]	[6.27 6.79]

Çizelge 13: Dinamik Kuyruk ve FIFO 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]

Bu koşuturularda 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 26 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 26: Doluluk oranlarına göre dinamik kuyruk yöntemini kullanan araçların bekleme süresi sonuçları

Dinamik Kuyruk Sıralama Yöntemi ve Standart Ekspres Sunucu Karşılaştırması

Bu bölümde dinamik kuyruk sıralama yöntemi modeli standart ekspres model ile 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 14'te 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 koşullarda araçların yarısı ekspres sınıf, yarısı normal sınıfta değerlendirilmiştir.

Çizelge 14: 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 14'e 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 15 ve Çizelge 16'da gösterilmiştir.

Çizelge 15: Dinamik kuyruk ve standart ekspres sonuçları- (varışlar arası süre ortalama 3.75 dakika (üssel))

EXPO(3.75)	Ortalama	Dinamik Kuyruk	Standart	Standart
------------	----------	----------------	----------	----------

	Bekleme Süreleri(dakika)		Ekspres(1YÖ)	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]

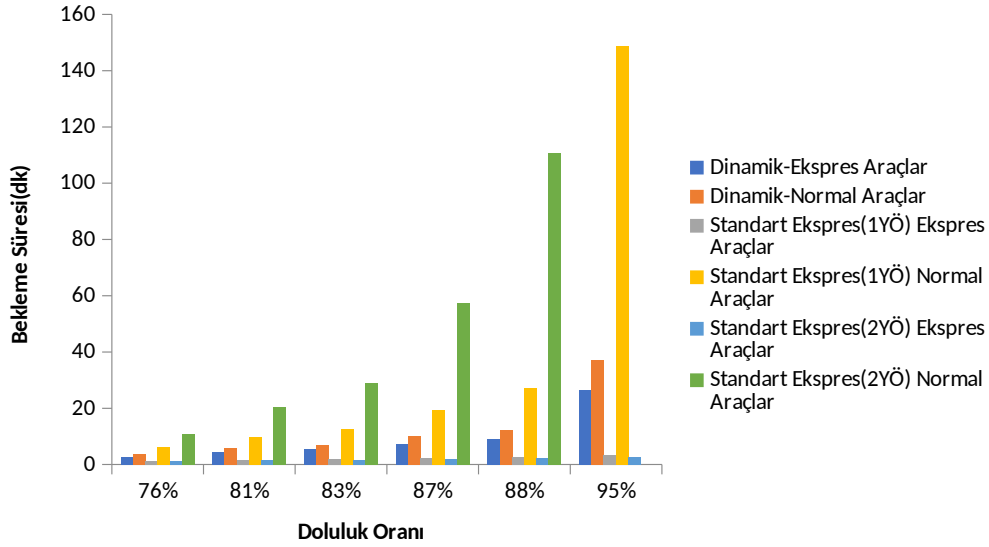
Çizelge 16: Dinamik kuyruk ve standart ekspres sonuçları- (varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel))

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 15 ve Çizelge 16 incelendiğinde sonuçların Çizelge 14'e 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 27 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 yarım aralık değeri

verdiği gözlemlenmektedir. Sunucu doluluk oranları azaldığında ise önceki grafiğe benzer şekilde modellerden elde edilen bekleme süreleri arasındaki farklar azalmaktadır.



Şekil 27: Dinamik kuyruk ve standart ekspres modellerinde araçların sınıflara ve doluluk oranlarına göre bekleme süreleri sonuçları

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 çizelgelerde sırasıyla EXPO(3.5), EXPO(3.75) ve EXPO(4.00) dakika dağılımına uygundur. Sonuçlar modellerin 10000 saat çalıştırılması sonucunda elde edilmiştir. Çizelge 17'de araçların ortalama bekleme süreleri dakika cinsinden sonuçlarla gösterilmiştir. Sistemdeki tüm araçların sınıf ayrımı yapılmaksızın ortalama bekleme süreleri tüm araçlar satırında yer almaktadır.

Çizelge 17: Dinamik kuyruk ve spt karşılaştırması (varışlar 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 17'ye 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 varışlar arası zamanlarda da yapılmıştır. Sonuçlar ve Hata: Başvuru kaynağı bulunamadı'da gösterilmiştir.

Çizelge 18: Dinamik kuyruk ve spt karşılaştırması (varışlar 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]

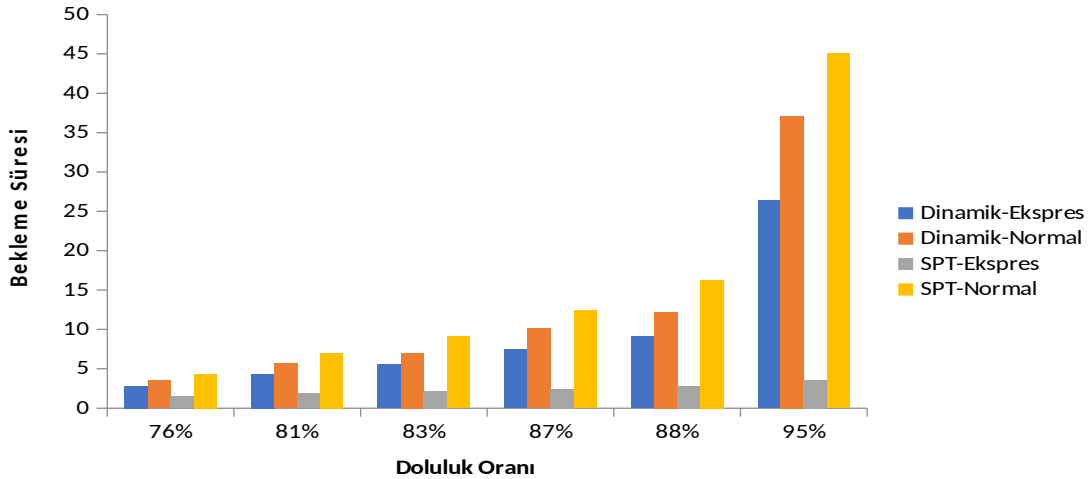
Çizelge 19: Dinamik kuyruk ve spt karşılaştırması (varışlar arası süre ortalama 4 dakika (üssel))

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. Hata: Başvuru kaynağı bulunamadı'da 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 28 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 oranının en yüksek olduğu seviyede oluşturulan farkın güven aralığına göre iki sistem arasında fark bulunmaktadır.



Şekil 28: 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 20'de gösterilmektedir. Bu ayrımla normal sınıfta incelenen

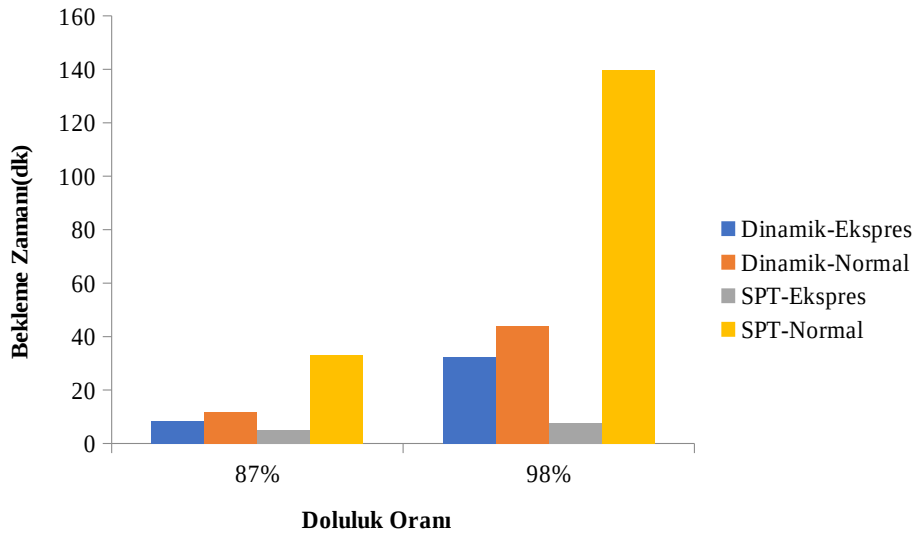
araçlar, işlem süresi açısından en yüksek %91'lik dilime girmektedirler. Çizelge 20 SPT ve Dinamik kuyruk modellerinin yüksek işlem süresine sahip araçlar (normal araçlar) açısından nasıl performans gösterdiğini detaylı incelemektedir.

Çizelge 20: 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 20'de 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 29, Çizelge 20'den elde edilen ortalama değerleri göstermektedir.



Şekil 29: Dinamik kuyruk ve SPT kuyruk yönetiminde 25 dakika sınırında araçların sınıflara ve doluluk oranlarına göre bekleme süreleri sonuçları

Özet olarak Dinamik Kuyruk yönteminin SPT yöntemine göre en önemli avantajı uzun süreli servise ihtiyaç duyan araçların çok uzun süre beklemesinin önüne geçmesidir. Kuyruk sıralamasını bekleme süresini de dikkate alarak yaptığı için araç sahiplerinin yaşayacağı bekleme süresi kaynaklı memnuniyetsizliği azaltabilecektir.

4.1.2 Dinamik Kuyruk Sıralama Yöntemi Çoklu İstasyon Performansı

Bu bölümde dinamik kuyruk sıralama yönteminin çoklu istasyon modelinde çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çizelge 21, Çizelge 22 ve Çizelge 23'te alanın boyutuna ve araçların ihtiyaç duyduğu servis süresi dağılımına göre istasyonlardaki ortalama bekleme sürelerinin %95 güven aralıkları sunulmaktadır. Bu koşullarda tüm istasyonların dinamik kuyruk modeline göre araç sıralaması yaptığı durum incelenmiştir. Çizelge 21, Çizelge 22 ve Çizelge 23'teki tüm veriler dakika cinsindedir. Elde edilen sonuçlar modelin 10000 saat 5 tekrar çalıştırılması sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 21: 15 km² alanda dinamik kuyruk yönetimi çoklu istasyon 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]

Çizelge 22: 20km² alanda dinamik kuyruk yönetimi çoklu istasyon 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 23: 25km² alanda dinamik kuyruk yönetimi çoklu istasyon 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]

Elde edilen sonuçlara göre, dinamik kuyruk yönteminin çoklu istasyon modelinin tekli istasyonda olduğu gibi ekspres araçlara daha kısa bekleme süreleri sunduğu görülmektedir. Çizelge 21, Çizelge 22 ve Çizelge 23'teki değerler karşılaştırıldığında alan büyüdükçe araçların bekleme sürelerinin de arttığı görülmektedir.

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 koşullarda 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 29'a uygun olarak hesaplanmıştır.

Eşitlik 28

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 24'te 20km² alan için incelenmiştir.

Çizelge 24: Dinamik ve FIFO kuyruk yönetimi istasyon karşılaştırması

	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)		İstasyonu Tercih Eden Araç Sayısı (24 saatte)	
	Ekspres Sınıf	Normal Sınıf	Ekspres Sınıf	Normal Sınıf
20km ²				

TRIA(10,15,30)Servis Süresi	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 24'te 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 25'te verilmiştir.

Çizelge 25: Dinamik ve FIFO kuyruk yönetimi ile çalışan istasyonlarda 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	[1,29 1,40]	[-0,98 -0,89]	[-2 -1]	[-2 -1]

vs. 2				
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 koşturumun sonuçları incelenmiştir. İstasyon 1, 3, 5 ve 7 FIFO kuyruk yönetimine göre çalışırken İstasyon 2, 4, 6 ve 8 dinamik kuyruk yönetimine göre çalışmaktadır. Sonuçlar 'da verilmiştir.

Çizelge 26: Rasgele dağıtılmış istasyonlarda dinamik ve FIFO kuyruk yönetimi ile çalışan istasyonlarda bekleme süresi ve araç sayısı farkı

		Ortalama Bekleme Süreleri (dakika)		İstasyonu Tercih Eden Araç Sayısı (24 Saatte)	
20km2		Ekspres Sınıf	Normal Sınıf	Ekspres Sınıf	Normal Sınıf
TRIA (10,15,30)Servis Süresi	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.

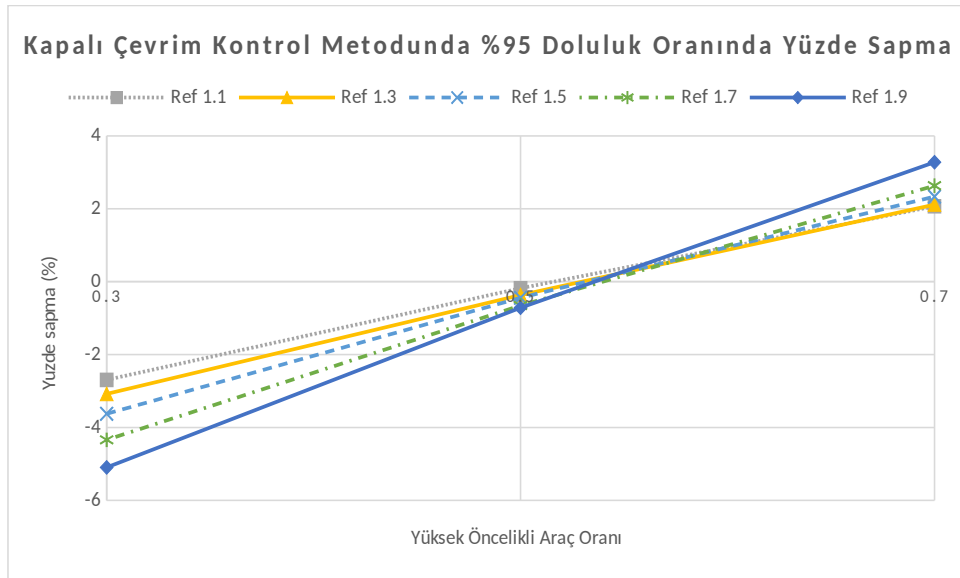
4.2 Açık Çevrim ve Kapalı Çevrim Modelleri Uzun Dönem Denge Durumu Performans Analizi

Bu bölümde açık ve kapalı çevrim modellerinin denge durumundaki performansı ve doluluk oranı ile hedeflenen bekleme oranındaki değişikliklere olan duyarlılığı analiz edilmektedir.

Şekil 30, Şekil 31 ve Şekil 32'da sırasıyla kapalı çevrim, açık çevrim ve sabit sunucu 2 metotları için %95 doluluk oranında yüksek öncelikli araçların tüm araçlara oranının 0.3, 0.5 ve 0.7 olduğu, hedeflenen bekleme oranı değerinin ise 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 ve 1.9 olduğu sistemlerde yüzde sapma grafikleri gösterilmiştir. %95 doluluk oranında araçların geliş oranları 0.69 dakika, %90 doluluk oranında 0.65 dakika şeklindedir. Yüzde sapma değerleri Eşitlik 29 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yüzde Sapma Miktarı} = \frac{100 * (HpBekleme * Referans Girdi - LpBekleme)}{(HpBekleme * Referans Girdi)}$$

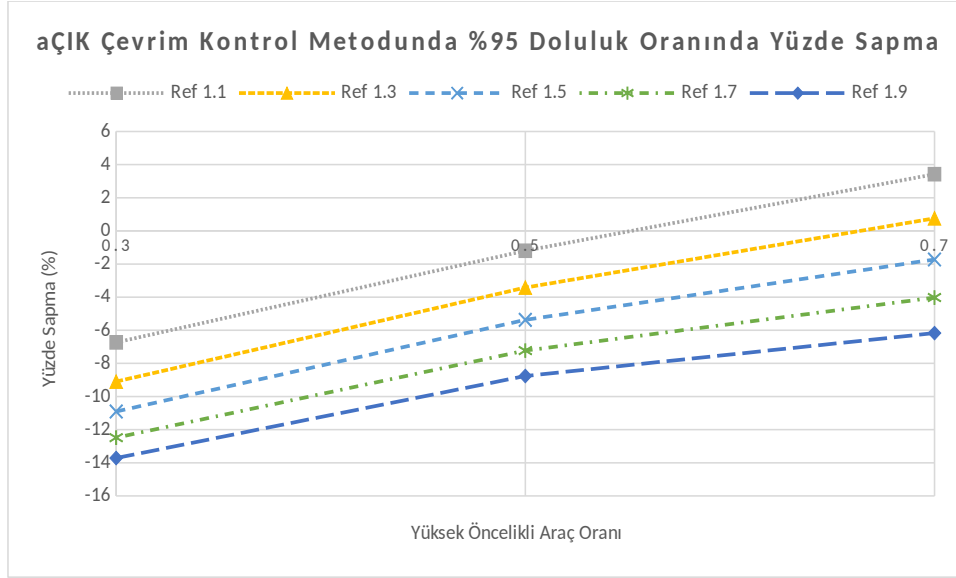
Eşitlik 29



Şekil 30: Kapalı çevrim kontrol metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma

Şekil 30'de kapalı çevrim kontrol metodunda %95 doluluk oranında araç oranına ve hedeflenen bekleme oranı değerine bağlı olarak değişen yüzde sapma değerleri dikey eksende gösterilmiştir. Yatay eksen yüksek öncelikli araç oranını göstermektedir.

Şekil 31'de açık çevrim kontrol metodunda %95 doluluk oranında araç oranına ve hedeflenen bekleme oranı değerine bağlı olarak yüzde sapma değerlerindeki değişim dikey eksende gösterilmiştir.



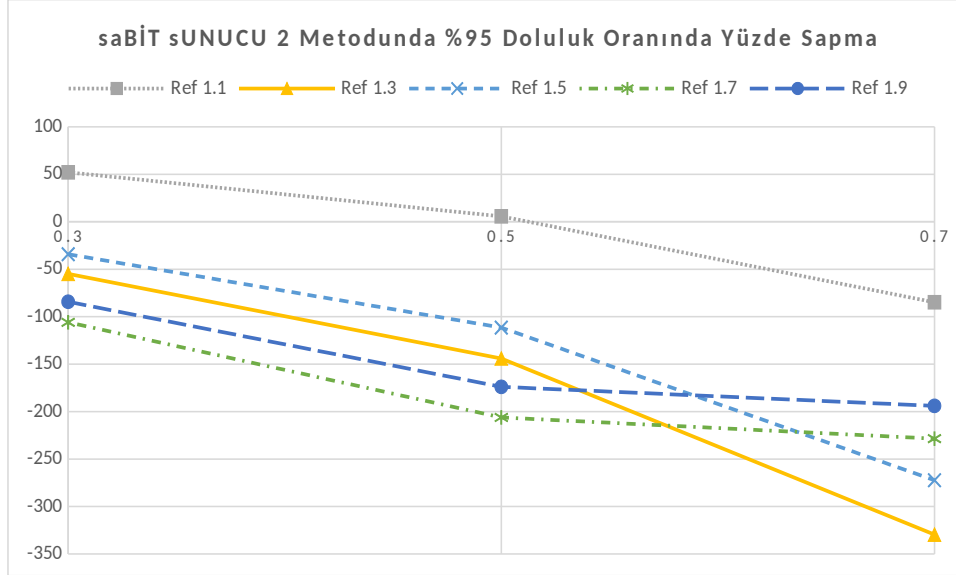
Şekil 31: Açık çevrim kontrol metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma

Sabit sunuculu sistemlerde araçlara ayrılan sunucu sayısı hesaplanırken Eşitlik 27 kullanılmıştır. Çizelge 27'de her bir hedeflenen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı için yüksek öncelikli araçların sahip olduğu sunucu sayısı gösterilmiştir. Bu sunucu sayıları sabit sunuculu sistemlerde ve tüm doluluk oranlarında aynı kalmaktadır.

Çizelge 27: Sabit sunuculu sistemlerde yüksek öncelikli araçların sahip olduğu sunucu sayısı

Hedeflenen Bekleme Oranı / Yüksek Öncelikli Araç Oranı	0.3	0.5	0.7
1.1	4	7	10
1.3	5	8	11
1.5	5	8	11
1.7	6	9	11
1.9	6	9	11

Şekil 32'da dikey ekseninde sabit 2 metodunda %95 doluluk oranında sunucu sayısının sabit olduğu fakat sunucunun boş olması durumunda araçların sınıf gözetmeksizin sunucuyu kullanabildiği durumda yüzde sapma değerleri, yatay ekseninde ise yüksek öncelikli araçların oranı gösterilmiştir.



Şekil 32: Sabit sunucu 2 metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma grafiği

Şekil 32'da grafiği çizilmiş olan değerlerin verileri Çizelge 28'de gösterilmiştir.

Çizelge 28: Sabit sunucu 2 metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma değerleri

Hedeflenen Bekleme Oranı / Yüksek Öncelikli Araç Oranı	0.3	0.5	0.7
1.1	52.09099	5.710336	-84.8303
1.3	-54.9211	-144.031	-329.598
1.5	-34.2649	-111.493	-272.318
1.7	-105.961	-206.166	-228.516
1.9	-84.2808	-173.938	-193.935

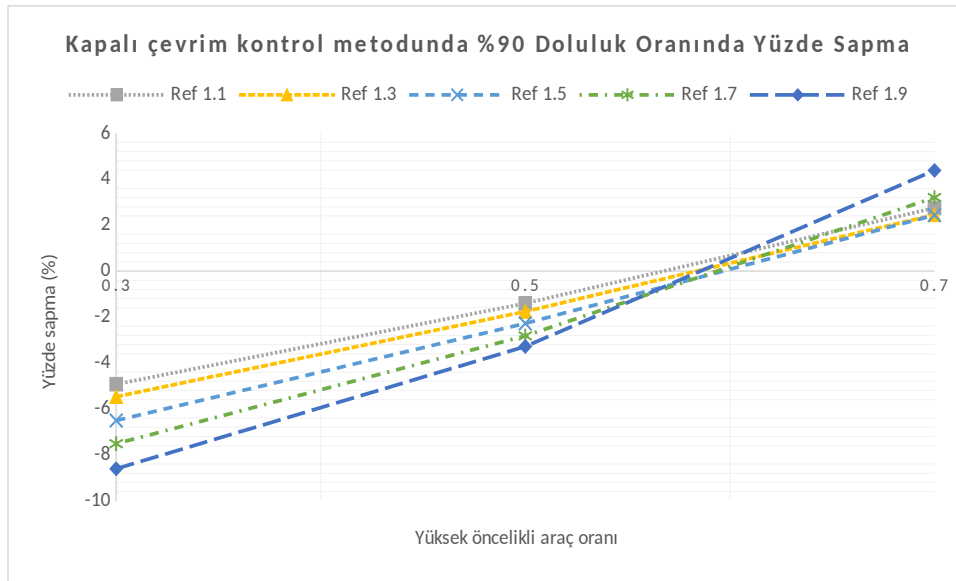
%95 doluluk oranında tüm metotlar karşılaştırıldığında Şekil 30'de kapalı çevrim kontrol metodunda araç oranının 0.5 olduğu sistemde yüzde sapma 0'a oldukça yakın iken araç oranının 0.3 olduğu modellerde -2 ile -6 arasında, oranın 0.7 olduğu modellerde ise 2 ile 4 arasında değişmektedir.

Şekil 31'da açık çevrim kontrol metodunda araç oranının değişmesi ile birlikte sapma değerinde her hedeflenen bekleme oranı değerinde paralel bir değişim gözlenmektedir. Araç

oranının 0.5 olduğu sistemde sapma 0 ile -10 arasında, oranın 0.3 olduğu modellerde -6 ile -14 arasında, oranın 0.7 olduğu modellerde ise 4 ile -8 arasında değişmektedir.

Şekil 32'da sabit sunucu 2 metodunda yüksek öncelikli araç oranı arttıkça yüzde sapma değerinde mutlak olarak artma görülmektedir. En az sapma hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.1 olduğu modellerde görülmektedir.

Şekil 33, Şekil 34 ve Şekil 35'te sırasıyla kapalı çevrim, açık çevrim ve sabit sunucu 2 metodları için %90 doluluk oranında yüksek öncelikli araçların tüm araçlara oranının 0.3, 0.5 ve 0.7 olduğu, hedeflenen bekleme oranı değerinin ise 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 ve 1.9 olduğu sistemlerde yüzde sapma grafikleri gösterilmiştir.

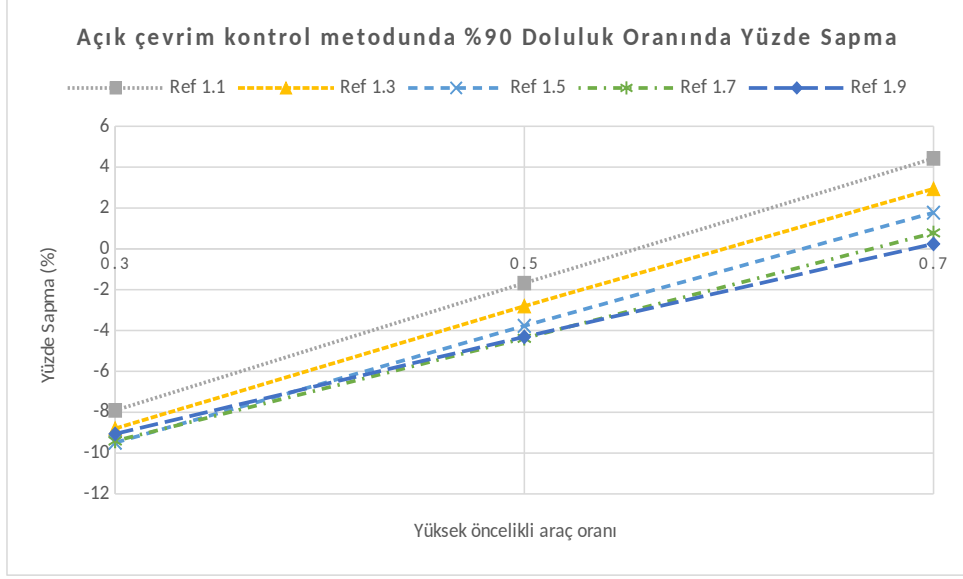


Şekil 33: Kapalı çevrim kontrol metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma

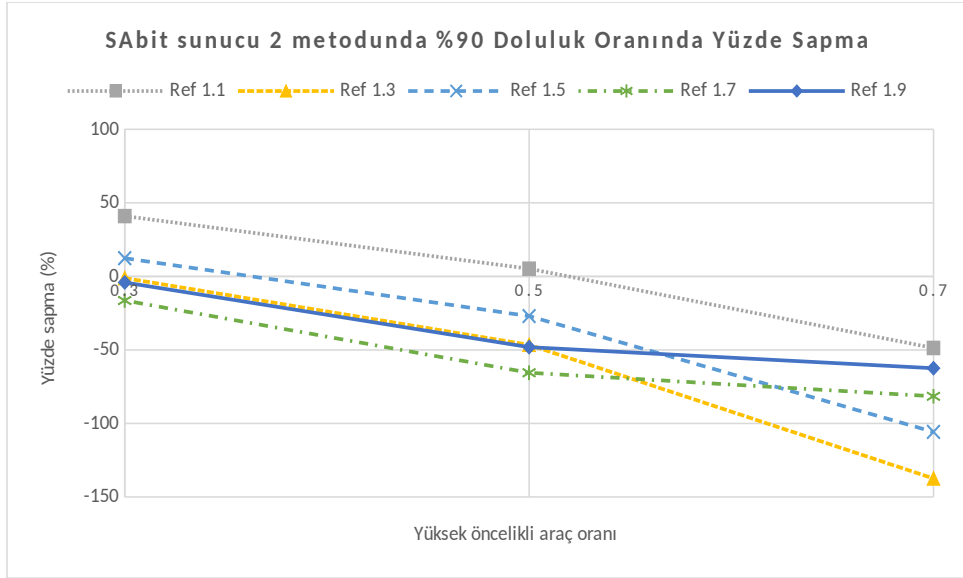
Şekil 33'de kapalı çevrim kontrol metodunda %90 doluluk oranında araç oranına ve hedeflenen bekleme oranı değerine bağlı olarak yüzde sapma değerlerindeki değişim dikey ekseninde, yüksek öncelikli araç oranı ise yatay ekseninde gösterilmiştir.

Şekil 34'de açık çevrim kontrol metodunda %90 doluluk oranında araç oranına ve hedeflenen bekleme oranı değerine bağlı olarak yüzde sapma değerlerindeki değişim dikey ekseninde, yüksek öncelikli araç oranı ise yatay ekseninde gösterilmiştir.

Şekil 35'te dikey ekseninde sabit 2 metodunda %90 doluluk oranında sunucu sayısının sabit olduğu fakat sunucunun boş olması durumunda araçların sınıf gözetmeksizin sunucuyu kullanabildiği durumda yüzde sapma değerleri, yatay ekseninde ise yüksek öncelikli araçların oranı gösterilmiştir. Çizelge 29'da ise Şekil 35'te grafik olarak gösterilmiş olan veriler bulunmaktadır.



Şekil 34: Açık çevrim kontrol metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma



Şekil 35: Sabit sunucu 2 metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma grafiği

Çizelge 29: Sabit sunucu 2 metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma değerleri

Hedeflenen Bekleme Oranı / Yüksek Öncelikli Araç Oranı	0.3	0.5	0.7
1.1	40.9978	5.218986	-48.6853
1.3	-1.13988	-46.551	-137.406
1.5	12.3454 4	-27.0109	-105.752
1.7	-16.411	-65.5445	-81.5455
1.9	-4.15722	-48.1187	-62.4355

Tüm metotlarda %90 doluluk oranında gerçekleşen yüzde sapma değerleri karşılaştırıldığında Şekil 33'de kapalı çevrim kontrol metodunda araç oranının 0.5 olduğu sistemde sapma 0'a oldukça yakın iken araç oranının 0.3 olduğu modellerde -4 ile -9 arasında, oranın 0.7 olduğu modellerde ise 2 ile 5 arasında değişmektedir. %95 doluluk oranına nazaran yüzde sapma miktarları artmıştır. Bunun sebebi araç doluluğunun azalması ile birlikte kontrolörün gereken tepkiyi verememesidir. Kontrolör parametreleri %95 doluluk oranı ortamında analiz edilerek elde edildiği için farklı doluluk oranlarında daha düşük performans göstermesi beklenebilir.

Şekil 34'de açık çevrim kontrol metodunda araç oranının değişmesi ile birlikte sapma değerinde her hedeflenen bekleme oranı değerinde yaklaşık paralel bir değişim gözlenmektedir. Araç oranının 0.5 olduğu sistemde sapma -2 ile -5 arasında, oranın 0.3 olduğu modellerde -8 ile -10 arasında, oranın 0.7 olduğu modellerde ise 0 ile 5 arasında değişmektedir. Modelde doluluk oranının %95 olduğu sisteme göre yüzde sapma değerleri mutlak olarak daha azdır.

Şekil 35'te sabit sunucu 2 metodunda yüzde sapma değerleri %95 doluluk oranına nazaran daha azdır.

%90 doluluk oranında kapalı ve açık çevrim kontrol metotları uç noktalarda benzer sonuçlar vermiştir. Sabit sunucu-2 metodunda ise hedef bekleme oranının artması ve yüksek öncelikli araç oranının düşmesi ile yüzde sapma değerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Açık çevrim kontrol metodunda ise araç doluluk oranı ile yüzde sapma miktarı doğru orantılı şekilde değiştirmektedir. Doluluk oranlarında doluluk oranının azalması ile açık çevrim kontrol metodu daha iyi tepki vermiştir. Sabit sunucu 2 metodunda ise açık çevrim kontrol metodu ile benzer şekilde doluluk oranının azalması yüzde sapma miktarını mutlak olarak azalmıştır.

Çizelge 30'da yüksek öncelikli araç oranının 0.5 olduğu modellerde gerçekleşen bekleme oranı değerleri gösterilmiştir. Değerler incelendiğinde kapalı çevrim kontrol metodu tüm hedeflenen bekleme oranlarında hedefe en yakın sonuç veren metot olmuştur.

Çizelge 30: Yüksek öncelikli araç oranının 0.5 olduğu durumlarda gerçekleşen bekleme oranları

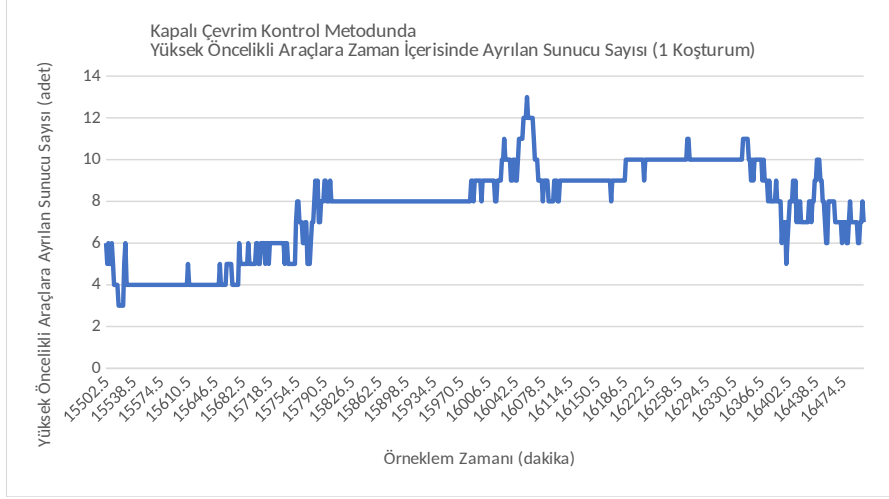
Hedeflenen Bekleme Oranı	Yüksek Öncelikli Araç Oranı = 0.5	90%	95%
1.1	Kapalı Çevrim	1.115	1.102
	Açık Çevrim	1.118	1.113
	Sabit Sunucu-2	1.043	1.037
1.3	Kapalı Çevrim	1.323	1.305
	Açık Çevrim	1.336	1.344
	Sabit Sunucu-2	1.905	3.172
1.5	Kapalı Çevrim	1.534	1.507
	Açık Çevrim	1.557	1.58
	Sabit Sunucu-2	1.905	3.172
1.7	Kapalı Çevrim	1.748	1.712
	Açık Çevrim	1.774	1.823
	Sabit Sunucu-2	2.814	5.205
1.9	Kapalı Çevrim	1.962	1.914
	Açık Çevrim	1.982	2.066
	Sabit Sunucu-2	2.814	5.205

4.3 Açık Çevrim ve Kapalı Çevrim Modelleri Gerçek Zamanlı Performans Analizi

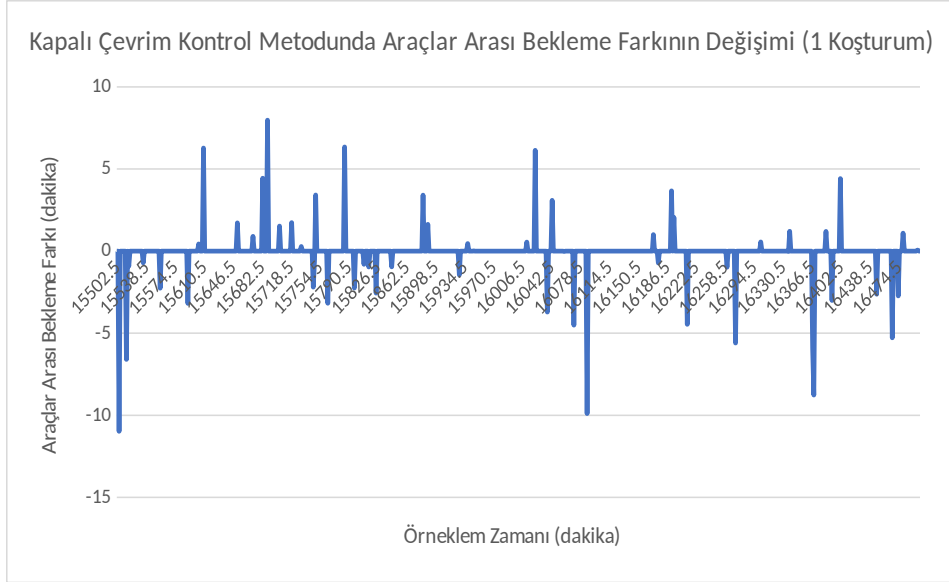
Bu performans kriterinde tüm kontrol metotları için araç doluluk oranının %95, hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5, yüksek öncelikli araç oranının 0.5 olduğu koşturum uzunluğunun 30000 dakika olduğu sistemler içerisinde 15501-16500 dakikaları arasındaki zaman içerisinde araçlar arası bekleme farkı ve talep edilen sunucu sayısı 1 koşturum üzerinden gösterilmektedir. Fark değeri hesaplanırken kuyrukta beklemeleri bitip servis almaya başlayan araçların bekleme süreleri göz önünde bulundurulmuştur.

Şekil 36'te kapalı çevrim kontrol metodu ile yapılan koşturumda yüksek öncelikli araçların belirtilen zaman aralığı içerisinde talep ettiği sunucu sayısının değişimi dikey eksen üzerinde gösterilmektedir. Yatay eksen ise örneklem zamanını göstermektedir. Koşturum süresince yüksek öncelikli araçlar maksimum 13, minimum 3 sunucuya sahip olmuştur.

Şekil 37'te kapalı çevrim kontrol metodunda dikey eksen yüksek ve düşük öncelikli araçlar arasındaki bekleme farkını gösterirken, yatay eksen örneklem zamanı göstermektedir.



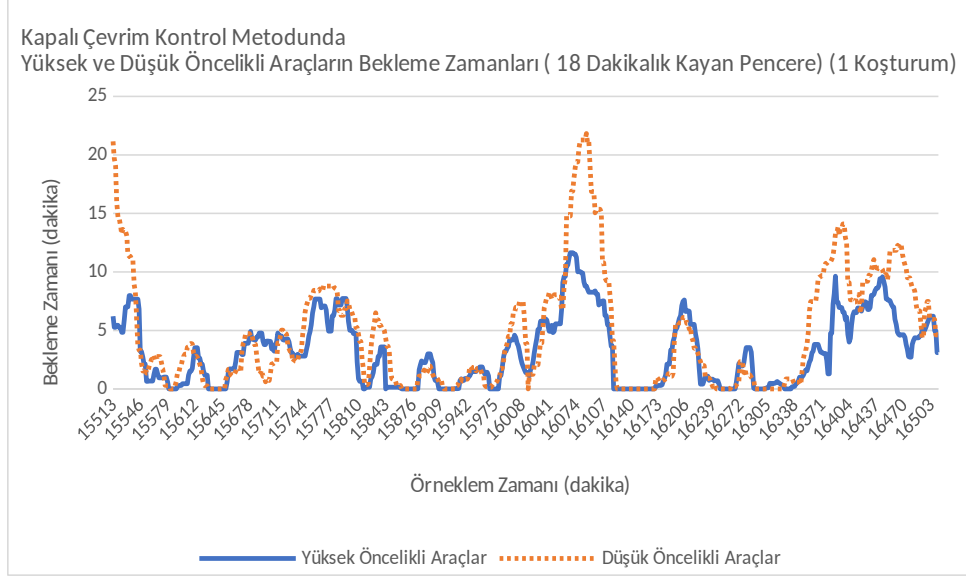
Şekil 36: Kapalı çevrim kontrol metodunda yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı



Şekil 37: Kapalı çevrim kontrol metodunda araçlar arası bekleme farkının değişimi

Araçlar arası bekleme farkı arttıkça sunucu sayıları arasındaki fark da artmaktadır. Araçlar arası bekleme farkı maksimum 7.98 dakika, minimum -10.98 dakika olmuştur.

Şekil 38'da dikey eksen kapalı çevrim kontrol metodunda yüksek ve düşük öncelikli araçların bekleme zamanlarının 18 dakikalık zaman dilimlerinde alınmış olan ortalamalarını göstermektedir. Yatay eksen örneklem zamanını belirtmektedir. Kayan pencere metodu kullanılmıştır.



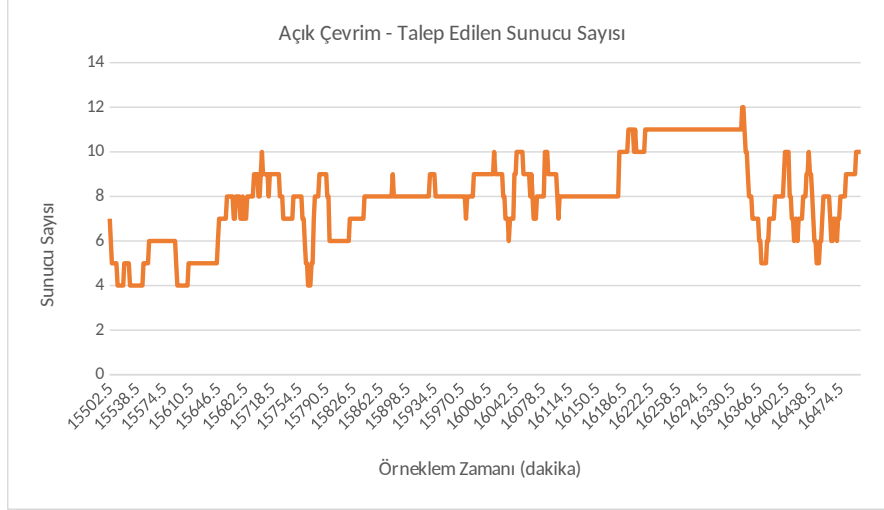
Şekil 38: Kapalı çevrim kontrol metodunda 18 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süresi

Şekil incelendiğinde birçok noktada düşük öncelikli araçların yüksek öncelikli araçların bekleme sürelerinin hedeflenen bekleme oranı değeri de olan 1.5 katı kadar beklemeye sahip olduğu görülmüştür.

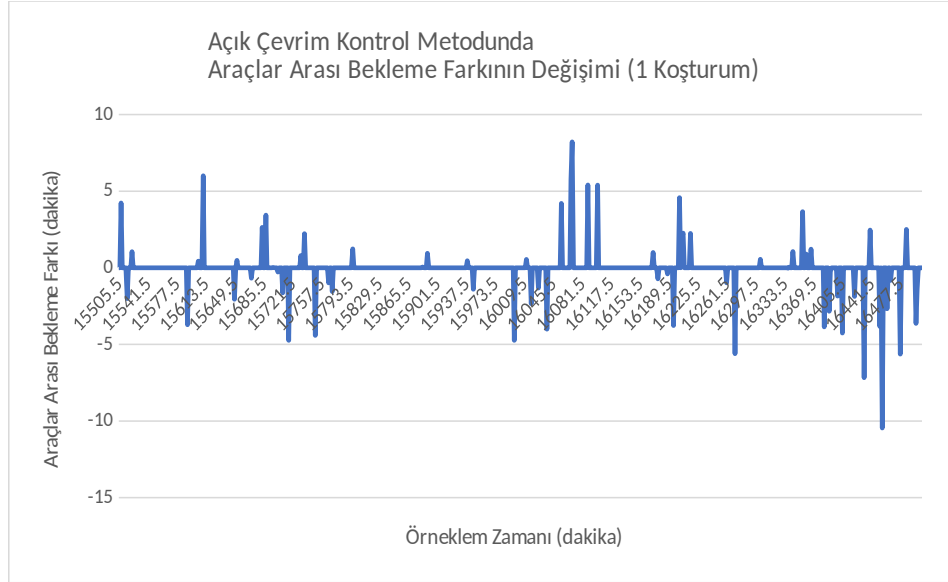
Şekil 39'de açık çevrim kontrol metodu ile yapılan koşTURUMDA yüksek öncelikli araçların belirtilen zaman aralığı içerisinde talep ettiği sunucu sayısının değişimi dikey eksenle gösterilmektedir. Yatay eksen ise örnekleme zamanını göstermektedir.

KoşTURUM süresince yüksek öncelikli araçlar maksimum 12, minimum 4 sunucuya sahip olmuştur. Kapalı çevrim kontrol metoduna nazaran sunucu sayılarında daha az değişim görülmüştür.

Şekil 40'de açık çevrim kontrol metodunda dikey eksen yüksek ve düşük öncelikli araçlar arasındaki bekleme farkını gösterirken, yatay eksen örnekleme zamanını göstermektedir.



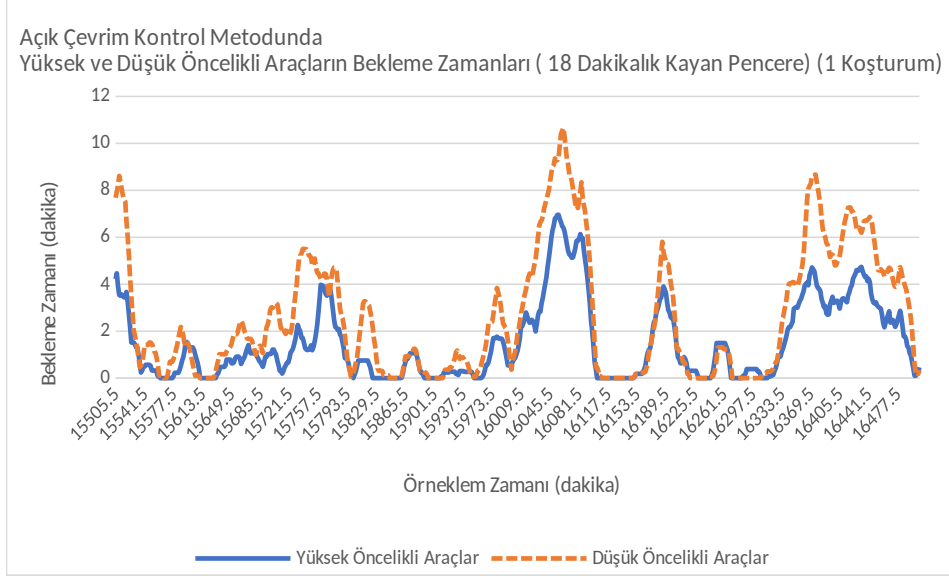
Şekil 39: Açık çevrim kontrol metodunda yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı



Şekil 40: Açık çevrim kontrol metodunda araçlar arası bekleme farkının değişimi

Araçlar arası bekleme farkı arttıkça sunucu sayıları arasındaki fark da artmaktadır. Araçlar arası maksimum fark 8.22 dakika iken, minimum fark ise -10.46 dakikadır. Kapalı çevrim kontrol metodu ile benzer fark değerleri gözlenmiştir.

Şekil 41'da dikey eksen açık çevrim kontrol metodunda yüksek ve düşük öncelikli araçların bekleme zamanlarının 18 dakikalık zaman dilimlerinde alınmış olan ortalamalarını göstermektedir. Yatay eksen örneklem zamanını belirtmektedir.



Şekil 41: Açık çevrim kontrol metodunda 18 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süreleri

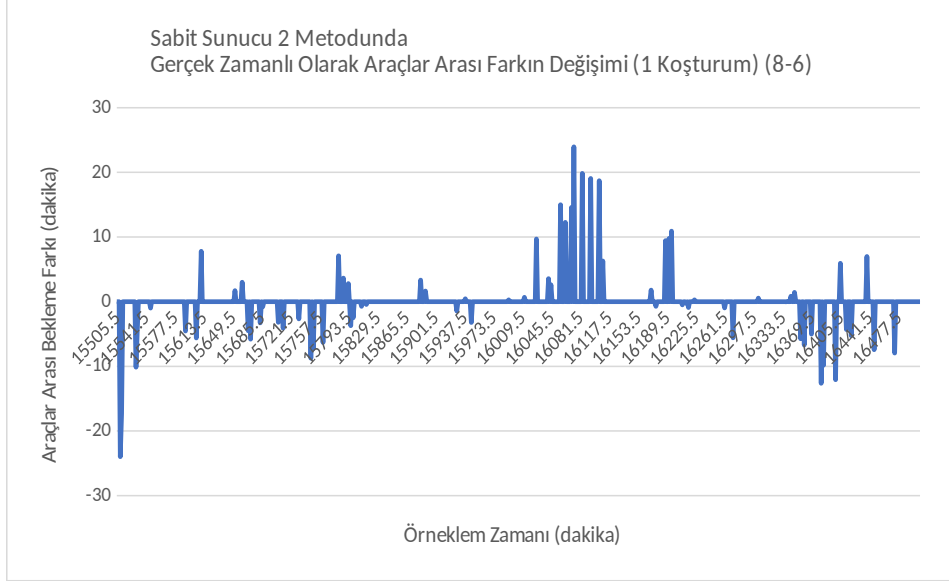
Şekilde yüksek öncelikli ve düşük öncelikli araçlar bekleme zamanları birbirleri ile eş zamanlı olarak artıp azalmaktadır. Bekleme oranları ise hedeflenen bekleme oranı değeri olan 1.5'a yakındır.

Sabit sunuculu sistemlerde hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5, araç oranının 0.5 olduğu durumlarda yüksek öncelikli araçların sahip olması gereken sunucu sayısı 8 olarak bulunmuştur.

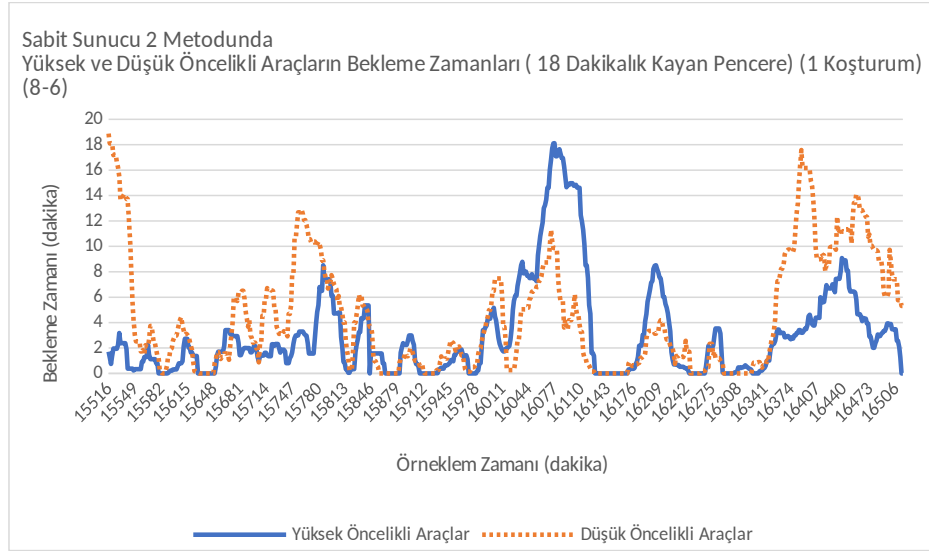
Şekil 42'ta sabit 2 metodu ile sunucu sayısının yüksek ve düşük öncelikli araçların sahip olduğu sunucu sayısının sırayla 8-6 şeklinde dağıtıldığı sistemde araçlar arasındaki bekleme farkı dikey eksende gösterilmiştir. Yatay eksen örneklem zamanını göstermektedir.

Sabit sunucu-2 metodunda kapalı ve açık çevrim metodlarında elde edilen bekleme farkları ile benzerlik göstermiştir. Maksimum bekleme farkı 23.94 dakika iken, minimum bekleme farkı -23.96 dakikadır.

Şekil 43'de dikey eksen sabit 2 metodunda yüksek ve düşük öncelikli araçların bekleme zamanlarının 18 dakikalık zaman dilimlerinde alınmış olan ortalamalarını göstermektedir. Yatay eksen örneklem zamanını belirtmektedir.



Şekil 42: Sabit sunucu 2 metodunda sunucu sayısının 8-6 olduğu durumda araçlar arası bekleme farkı



Şekil 43: Sabit sunucu 2 metodunda sunucu sayısının 8-6 olduğu durumda 18 dakikalık zaman diliminde sınıfların bekleme süresi

Sistemde genel olarak düşük öncelikli araçların bekleme süresi yüksek öncelikli araçların bekleme süresinden fazladır, fakat bazı noktalarda yüksek öncelikli araçlar daha fazla bekleme süresine sahip olmuştur.

Genel olarak düşük öncelikli araçların bekleme süresi yüksek öncelikli araçların bekleme süresinden fazladır, fakat bazı noktalarda yine yüksek öncelikli araçlar daha fazla bekleme süresine sahip olmuştur. Herhangi bir kontrol metodu çalışmadığı için bu durum normal olarak karşılanmıştır.

Çizelge 31'de yüksek öncelikli araç oranının 0.5, hedeflenen bekleme oranını 1.5 olduğu sistemde farklı doluluk oranlarında araçların bekleme farkları gösterilmiştir. %95 doluluk oranında kapalı çevrim kontrol metodu hedef girdi değeri olan 0'a en yakın sonuç veren metot olmuştur. Diğer doluluk oranlarında ise açık çevrim kontrol metodu hedef girdiye daha yakın sonuçlar vermiştir.

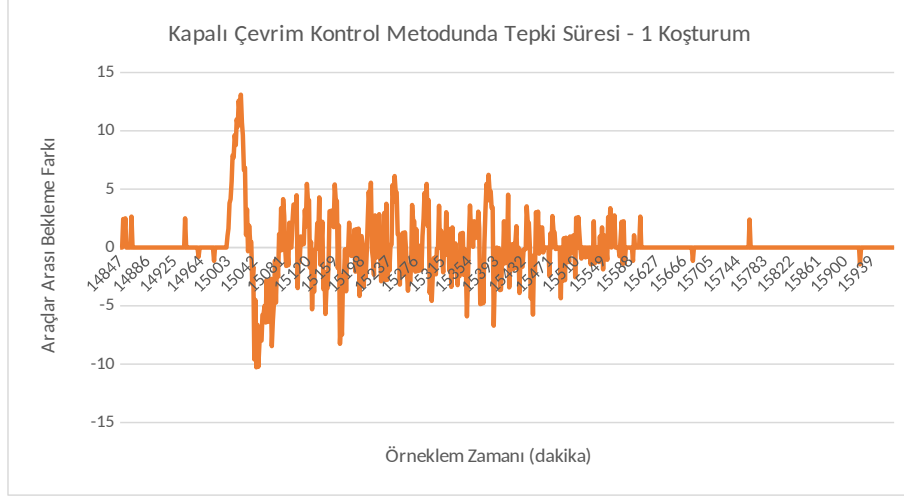
Çizelge 31: Farklı doluluk oranlarında ortalama fark değerleri (yüksek öncelikli araç oranı = 0.5, hedeflenen bekleme oranı = 1.5)

Doluluk Oranı	Metot	Ortalama Fark
0.95	Kapalı Çevrim	-0.28 ± 0.02
	Açık Çevrim	-0.72 ± 0.05
	Sabit Sunucu 2	-9.29 ± 1.0
0.90	Kapalı Çevrim	-0.19 ± 0.01
	Açık Çevrim	-0.17 ± 0.018
	Sabit Sunucu 2	-1.26 ± 0.18
0.85	Kapalı Çevrim	-0.1 ± 0.01
	Açık Çevrim	-0.01 ± 0.01
	Sabit Sunucu 2	-0.1 ± 0.05
0.80	Kapalı Çevrim	0.07 ± 0.009
	Açık Çevrim	0.03 ± 0.006
	Sabit Sunucu 2	0.09 ± 0.03

4.4 Açık Çevrim ve Kapalı Çevrim Modelleri Tepki Süresi Performans Analizi

Bu bölümde kapalı ve açık kontrol metotları ve sabit sunuculu sistemlerin ani değişikliklere karşı tepki süresi karşılaştırılmıştır. Yüksek ve düşük öncelikli araç oranının 0.5 olacak şekilde ayarlandığı, hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olarak belirlendiği, doluluk oranının %95 olduğu ve koşturum süresinin 30000 dakika olduğu sistemlerde deneme yapılmıştır. Öncelikle tek bir koşturumdan alınan veriler gösterilmiş, ardından %90 güven aralığı için 30 koşturumdan elde edilmiş olan grafikler çizilmiştir.

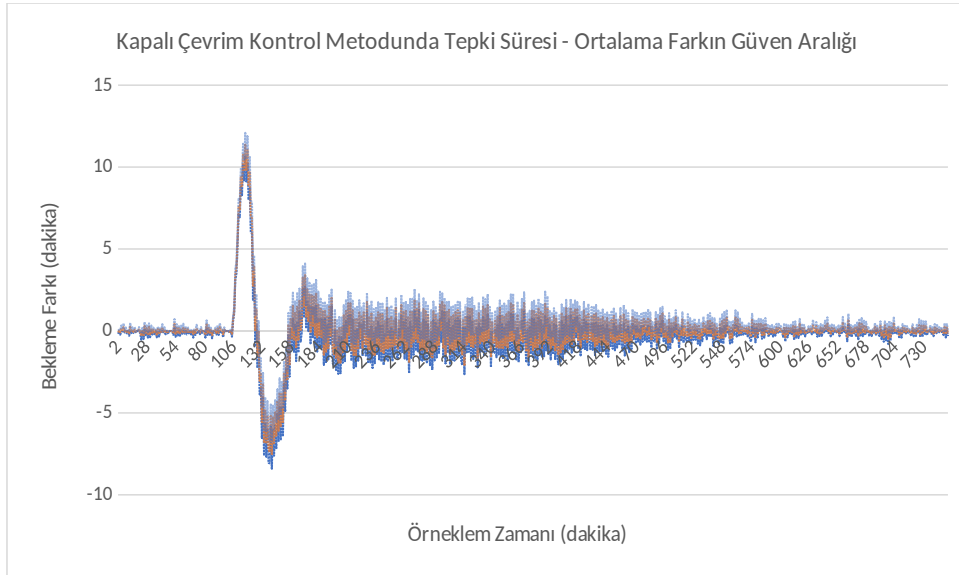
Şekil 44'de kapalı çevrim kontrol metodunda tepki süresinin gözlemlenmesi amacıyla tek bir koşturumdan 14845-15970.5 dakikalara arasındaki verilerin grafiği çizilmiştir. Dikey eksen araçlar arası bekleme farkını, yatay eksen ise örneklem zamanını göstermektedir.



Şekil 44: Kapalı çevrim kontrol metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı

Bu koşturumda sistem 47 örneklem zamanı (70.5 dakika) içerisinde dengeye tekrar ulaşmıştır.

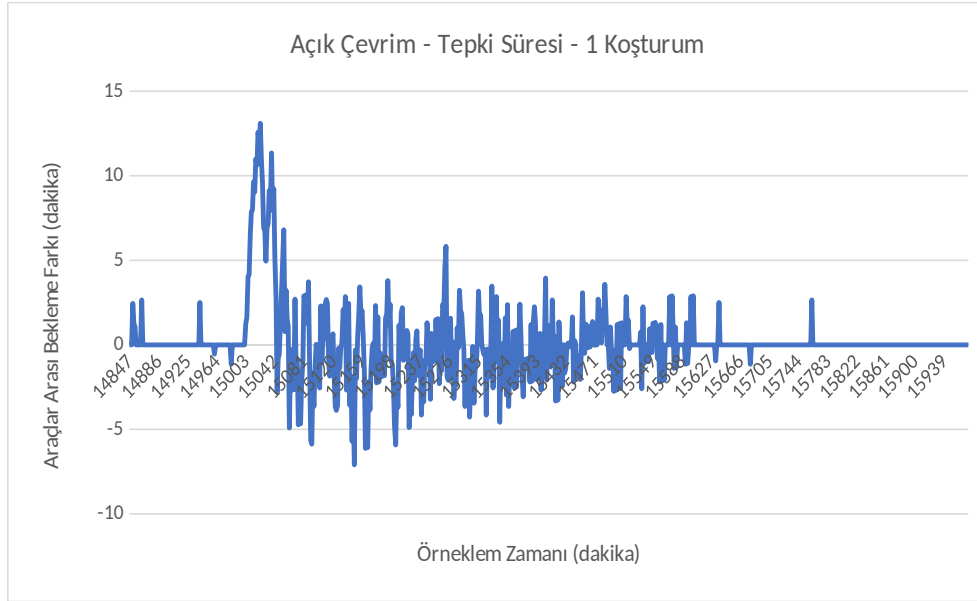
Şekil 45'te kapalı çevrim kontrol metodunda 30 koşturumdan elde edilen güven aralığı için 14845-15970.5 dakikalari arasındaki verilerin grafiği çizilmiştir. Dikey eksen araçlar arası bekleme farkını, yatay eksen ise örneklem zamanını göstermektedir. Mavi çizgiler maksimum ve minimum noktaları gösterirken, turuncu çizgiler ortalama değeri göstermektedir. 30 koşturumda her bir koşturumda elde edilen tepki süreleri ortalaması 48.8 örneklem zaman (73.2 dakika) olarak ölçülmüştür.



Şekil 45: Kapalı çevrim metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı

Şekil 46'te açık çevrim kontrol metodunda tepki süresinin gözlemlenmesi amacıyla tek bir koşturumdan 14845-15970.5 dakikalari arasındaki verilerin grafiği çizilmiştir. Dikey eksen

araçlar arası bekleme farkını, yatay eksen ise örneklem zamanını göstermektedir. Bu koşturumda sistem 37 örneklem zaman (55.5 dakika) içerisinde dengeye tekrar ulaşmıştır.

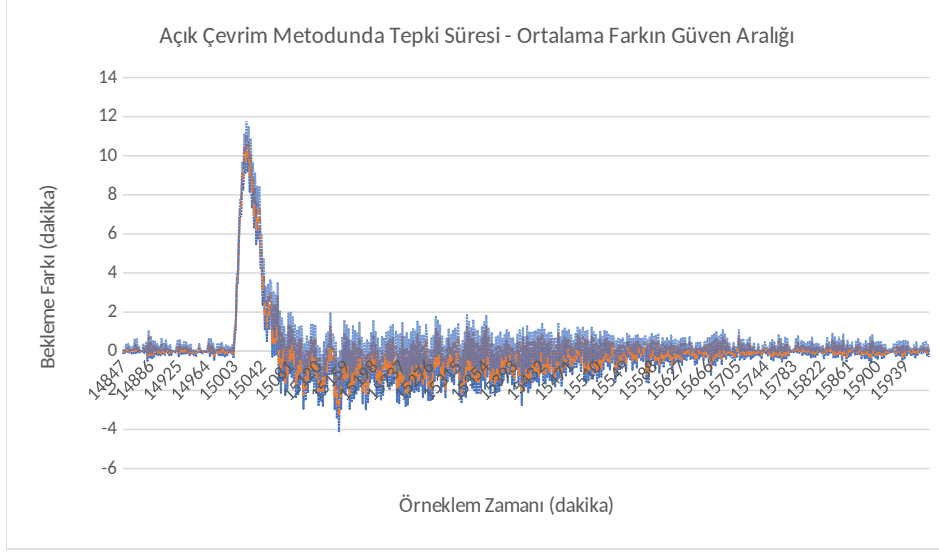


Şekil 46: Açık çevrim kontrol metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı

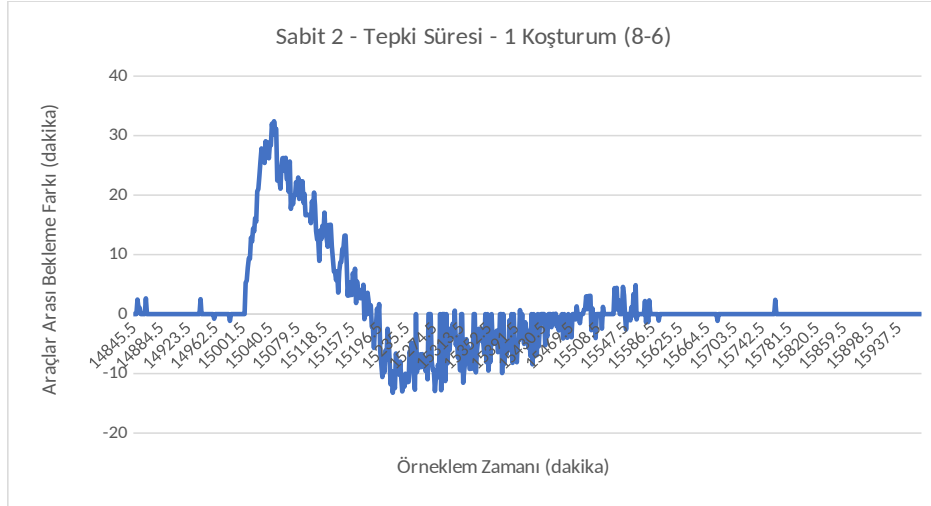
Şekil 47'de açık çevrim kontrol metodunda 30 koşturumdan elde edilen güven aralığı için 14845-15970.5 dakikalari arasındaki verilerin grafiği çizilmiştir. Dikey eksen araçlar arası bekleme farkını, yatay eksen ise örneklem zamanını göstermektedir. Mavi çizgiler maksimum ve minimum noktaları gösterirken, turuncu çizgiler ortalama değeri göstermektedir. 30 koşturumda her bir koşturumda elde edilen tepki süreleri ortalaması 36.8 örneklem zaman (55.2 dakika) olarak ölçülmüştür.

Kapalı çevrim ile karşılaştırıldığında açık çevrim kontrol metodu tepki süresi açısından gayet iyi sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi açık çevrim kontrolün sisteme henüz giriş yapmamış araçlardan aldığı bilgi ile gelecek olay listeleme metodu kullanarak daha kontrollü bir sistem oluşturmasıdır.

Şekil 48'da sabit 2 metodunda tepki süresinin gözlemlenmesi amacıyla yüksek ve düşük öncelikli araçların sırayla 8-6 sunucuya sahip olduğu sistemden alınan tek bir koşturumdan 14845-15970.5 dakikalari arasındaki verilerin grafiği çizilmiştir. Dikey eksen araçlar arası bekleme farkını, yatay eksen ise örneklem zamanını göstermektedir. Sistem 108 örneklem zamanda (162 dakika) dengeye ulaşmıştır.



Şekil 47: Açık çevrim metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı



Şekil 48: Sabit 2 metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı (8-6)

Şekil 49'de Sabit 2 metodunda 30 koşturumdan elde edilen güven aralığı için 14845-15970.5 dakikaları arasındaki verilerin grafiği çizilmiştir. Dikey eksen araçlar arası bekleme farkını, yatay eksen ise örnekleme zamanını göstermektedir. Mavi çizgiler maksimum ve minimum noktaları gösterirken, turuncu çizgiler ortalama değeri göstermektedir. 30 koşturumda her bir koşturumda elde edilen tepki süreleri ortalaması 163.26 örnekleme zaman (244.9 dakika) olarak ölçülmüştür.

4.5 Açık Çevrim ve Kapalı Çevrim Modelleri Tek İstasyon Performans Analizi Değerlendirmesi

Bu bölümde tüm metotlar öncelikle %95 ve %90 doluluk oranlarında ve yüksek öncelikli araçların tüm araçlara oranınının 0.3, 0.5 ve 0.7 olduğu durumlarda meydana gelen yüzde sapma verisi açısından incelenmiştir. Kapalı çevrim kontrol metodu hariç diğer metotlarda doluluk oranınının azalması ile birlikte mutlak yüzde sapma değerleri de azalmıştır. Fakat kapalı çevrim kontrol metodunda araç doluluğu arttıkça yüzde sapma değerleri azalmıştır. Bunun sebebi kontrolör parametrelerinin 0.95 doluluk oranı ortamında belirlenmiş olmasıdır. Farklı doluluk oranlarında kullanılmak üzere farklı parametre değerlerinin belirlenmesi mümkündür. Ancak karşılaşılabilecek koşulların çeşitliliği sınırsız olduğu için (farklı varış oranları, farklı sınıf oranları vb.) bu tezde tek bir parametrenin tüm koşullardaki performansının değerlendirilmesi yoluna gidilmiştir.

Metotlar daha sonra gerçek zamanlı veriler üzerinden karşılaştırılmıştır. Açık ve kapalı çevrim kontrol metotlarında elde edilen minimum ve maksimum bekleme değerleri yakın sonuçlar göstermiştir. Sabit sunucu 2 metodu daha yüksek bekleme sürelerine sahiptir.

Metotlar, ani değişikliklere karşı tepki süreleri açısından karşılaştırıldığında açık çevrim kontrol metodu en hızlı şekilde dengeye gelen metot olmuş, kapalı çevrim kontrol metodu ise onu takip etmiştir. Sabit sunucu 2 metodu ise uzun sürse de dengeye gelmeyi başarmıştır.

4.5.1 Açık Çevrim ve Kapalı Çevrim Modelleri Tek İstasyon Welch Güven Aralığı (CI) Testi

Bu bölümde açık ve kapalı çevrim tekli istasyonlar için gerçekleşen bekleme oranları üzerinden ikili karşılaştırma için Welch CI testi yapılmıştır. Çizelge 32'de sonuçlar görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde %95 doluluk oranında tüm bekleme oranlarında iki model arasında istatistiksel olarak belirgin fark bulunmaktadır. Bu seviyede elde edilen bekleme oranlarında Kapalı çevrim hedeflenen oranı Açık çevrimden Çizelge 32'de gösterildiği miktarlarda daha fazla yaklaşabilmiştir. %90 doluluk oranında ise tüm bekleme oranlarında CI lar 0 ı içerdiği için modellerin elde ettiği bekleme oranları arasında fark vardır denilemez. Kapalı çevrim modelinin %95 doluluk oranındaki daha yüksek performansı modelin parametrelerinin bu doluluk oranında belirlenmesinden ileri gelmektedir.

Çizelge 32: Tekli İstasyonda Welch Testi – Gerçekleşen Bekleme Oranları Farkı %95 CI

Bekleme Oranı	%95 Doluluk Oranı	%90 Doluluk Oranı
---------------	-------------------	-------------------

Ref 1.1	[-0.02 -0.002]	[-0.016 0.011]
Ref 1.3	[-0.05 -0.027]	[-0.030 0.005]
Ref 1.5	[-0.086 -0.059]	[-0.041 0.001]
Ref 1.7	[-0.126 -0.093]	[-0.047 0.002]
Ref 1.9	[-0.168 -0.132]	[-0.042 0.014]

4.6 Açık/Kapalı Çevrim Modelleri Çoklu İstasyon Ortamında Performans Analizi

Bu bölümde Açık ve Kapalı çevrim modellerinin çoklu istasyon ortamındaki farklı koşullardaki performansları analiz edilmektedir.

4.6.1 Açık/Kapalı Çevrim Modelleri Çoklu İstasyon Ortamında Performans Analizi

Kapalı Çevrim İstasyonların Bulunduğu Çoklu İstasyon Modeli

Kapalı çevrim istasyonların bulunduğu çoklu istasyon modelinde 1.5 dakikada 1 kez her istasyon o an istasyona yeni bir aracın gelmesi durumunda kaç dakika bekleyeceğini anons etmektedir. Kapalı çevrim istasyonlarda kuyrukta bekleyen araçların servis süresi bilinmediği için anons işlemi yapılırken bu araçların servis süresi 19 dakika varsayılarak bir simülasyon işlemi yapılmıştır. Bu simülasyon işleminde yüksek ve düşük öncelikli araçlara ayrılan pompa sayılarının değişmeyeceği varsayılmıştır. Modelde yer alan FİFO istasyonlarda da kapalı çevrim istasyonlardakine benzer şekilde kuyrukta bekleyen araçların servis süresi 19 olarak varsayılmış ve simülasyon işlemi ona göre yapılmıştır. Bu simülasyon işlemi sonucunda elde edilen ortalama bekleme süreleri, sistem tarafından anons edilmektedir. Şarj olma isteğiyle yola çıkan araçlar, istasyonların ilan ettiği bekleme sürelerini dikkate alarak toplam yolculuk sürelerini en azlayacak istasyonu seçmektedirler.

Çizelge 33'te kapalı çevrim istasyonların bulunduğu çoklu istasyon modelinde %95 doluluk oranı ile çalıştırılmış sistemde her istasyon için tüm araç sınıfları için bekleme süreleri, gerçekleşen bekleme oranları ve istasyona gelen yüksek öncelikli araçların tüm araçlara oranı yer almaktadır.

İstasyon çiftleri için sonuçlar ayrı ayrı incelendiğinde 1. Sınıf araçların kapalı çevrim istasyonlarda FİFO istasyonlarına göre daha az beklediği görülmektedir. 2. Sınıf araçların ise FİFO istasyonlarda kapalı çevrim istasyonlara göre daha az beklediği görülmektedir. Bunun sebebi kapalı çevrim istasyonlarda 2. Sınıf araçların 1. Sınıf araçların 1.5 katı fazla

beklemesinin hedeflenmesidir. FIFO istasyonlarda ise 1. Sınıf ve 2. Sınıf araçlar yaklaşık aynı bekleme süresine sahiptir.

Çizelge 33: Kapalı çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların bekleme süreleri

	Ref: 1.5 / 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Gerçekleşen Bekleme Oranı	Yüksek Öncelikli Araç Oranı
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (KAPALI)	[8.62 8.65]	[16.46 16.55]	1.912	0.51
	İstasyon 2 (FİFO)	[12.63 12.67]	[12.83.12.88]	1.016	0.48
	İstasyon 3 (KAPALI)	[10.50 10.52]	[17.60 17.64]	1.676	0.52
	İstasyon 4 (FİFO)	[13.22 13.24]	[13.36 13.37]	1.010	0.47
	İstasyon 5 (KAPALI)	[15.22 15.24]	[26.33 26.38]	1.731	0.54
	İstasyon 6 (FİFO)	[23.12 23.16]	[22.87 22.92]	0.990	0.48
	İstasyon 7 (KAPALI)	[10.94 10.99]	[20.38 20.52]	1.865	0.52
	İstasyon 8 (FİFO)	[16.56 16.63]	[16.66 16.72]	1.006	0.47

Çizelge 34'te günlük olarak her iki araç sınıfı için istasyonu tercih etme sayıları yer almaktadır.

Bekleme süreleri ile doğrusal bir şekilde 1. Sınıf araçlar kapalı çevrim istasyonları daha çok tercih etmişken 2. Sınıf araçlar FIFO istasyonları daha çok tercih etmiştir. 2. Sınıf araçlar FIFO istasyonları daha çok tercih ettiği için Çizelge 33'te FIFO istasyonlarda 1. Sınıf araçlara göre daha uzun bekleme sürelerine sahip olmuştur.

5. Ve 6. İstasyonlarda diğer istasyonlara nazaran araçlar daha uzun bekleme süresine sahip olmuştur, bunun sebebi bu istasyonların diğer istasyonlara göre daha merkezi bir yerde bulunması ve araçların daha fazla beklemeyi göze alarak yolda geçirecekleri süreyi azaltma isteğidir.

Kapalı çevrim istasyonlarda gerçekleşen ortalama bekleme değerlerinin ortalaması 1.796 olarak hesaplanmıştır. Kapalı çevrim istasyonlardan İstasyon 3 ve 5'te gerçekleşen bekleme oranı hedeflenen bekleme oranına daha yakın sonuç vermiştir. Bunun sebebi bu istasyonlara daha fazla araç gelmesi ve böylece kontrolörün istenen tepki vererek kontrolü daha iyi sağlamasıdır. Tek istasyonun bulunduğu durumlarda da görülmüş olduğu üzere araç yoğunluğu azaldıkça kontrolörün etki gücü azalmaktadır.

Çizelge 34: Kapalı çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların istasyonları tercih etme sayısı

	Ref: 1.5 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Toplam Araçlar
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (KAPALI)	[491.28 493.96]	[463.71 466.22]	[956.07 959.10]
	İstasyon 2 (FİFO)	[448.12 451.30]	[490.06 493.74]	[940.61 942.62]
	İstasyon 3 (KAPALI)	[527.65 530.17]	[485.98 488.36]	[1015.78 1016.38]
	İstasyon 4 (FİFO)	[474.86 477.21]	[528.22 530.73]	[1005.07 1005.95]
	İstasyon 5 (KAPALI)	[553.10 555.84]	[468.35 471.74]	[1024.18 1024.86]
	İstasyon 6 (FİFO)	[481.84 483.44]	[523.20 524.61]	[1006.34 1006.75]
	İstasyon 7 (KAPALI)	[511.34 515.80]	[479.32 482.60]	[993.83 995.23]
	İstasyon 8 (FİFO)	[463.41 465.93]	[512.49 515.75]	[977.95 979.63]

İstasyonlar arası mesafe farkının sonuçları nasıl etkilediğini görmek için mesafe matrisi kaldırılmış ve deneyler tekrar edilmiştir. Çizelge 35'te her istasyon ve her sınıf için araçların bekleme süresi, Çizelge 36'da ise günlük olarak araçların istasyonları tercih etme sayısı gösterilmektedir.

Çizelge 35: Kapalı çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunmadığı durumda araçların bekleme süreleri

	Ref: 1.5 / 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Gerçekleşen Bekleme Oranı	Yüksek Öncelikli Araç Oranı
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (KAPALI)	[1.708 1.711]	[2.701 2.706]	1.586	0.51
	İstasyon 2 (FİFO)	[1.928 1.930]	[2.027 2.030]	1.052	0.49
	İstasyon 3 (KAPALI)	[1.719 1.722]	[2.722 2.727]	1.586	0.51
	İstasyon 4 (FİFO)	[1.935 1.937]	[2.042 2.044]	1.055	0.49
	İstasyon 5 (KAPALI)	[1.712 1.715]	[2.722 2.727]	1.595	0.51
	İstasyon 6 (FİFO)	[1.924 1.926]	[2.043 2.046]	1.062	0.49
	İstasyon 7 (KAPALI)	[1.706 1.708]	[2.717 2.722]	1.595	0.51
	İstasyon 8 (FİFO)	[1.927 1.928]	[2.034 2.036]	1.056	0.49

Çizelge 36: Kapalı çevrim çoklu istasyonda günlük bazda mesafe matrisinin olmadığı durumda araçların istasyonları tercih etme sayısı

	Ref: 1.5 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Toplam Araçlar
--	----------------------------	------------------	------------------	----------------

Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (KAPALI)	[507.61 509.28]	[481.94 483.58]	[990.65 991.30]
	İstasyon 2 (FİFO)	[482.15 483.54]	[506.60 508.60]	[989.98 990.91]
	İstasyon 3 (KAPALI)	[509.00 510.64]	[480.65 481.64]	[990.46 991.46]
	İstasyon 4 (FİFO)	[480.71 482.31]	[507.46 510.22]	[989.85 990.85]
	İstasyon 5 (KAPALI)	[506.58 509.08]	[481.90 483.97]	[990.32 991.22]
	İstasyon 6 (FİFO)	[480.76 482.21]	[507.73 509.97]	[989.92 990.75]
	İstasyon 7 (KAPALI)	[508.12 509.95]	[481.41 482.71]	[990.63 991.56]
	İstasyon 8 (FİFO)	[480.63 483.15]	[506.98 509.80]	[989.87 990.69]

Mesafe matrisinin olmadığı durumda kapalı çevrim istasyonlarda 1. Sınıf araçlar daha az bekleme süresine sahipken, 2. Sınıf araçlar FİFO istasyonlarda kapalı çevrim istasyonlarına nazaran daha az bekleme süresine sahiptir. Bunun sebebi yukarıda da belirtildiği gibi kapalı çevrim istasyonlarında 1. Sınıf araçların daha az bekleme hedefi olmasıdır.

FİFO istasyonlarında 2. Sınıf araçlar, 1. Sınıf araçlardan bir miktar daha fazla bekleme süresine sahiptir. Bunun sebebi Çizelge 36'da gösterilen ilgili istasyonu tercih etme sayısı ile ilgilidir. 2. Sınıf araçlar daha az bekleyeceklerini tahmin ederek FİFO istasyonlarını tercih etmiştir. Fakat bu yoğunluk daha fazla beklemelerine sebep olmuştur. Mesafe matrisinin kaldırılmasıyla 5. Ve 6. İstasyonlardaki yoğunluk da ortadan kalkmıştır.

Kapalı çevrim istasyonlarda gerçekleşen bekleme oranı ortalama 1.59 olarak ölçülmüştür. Mesafe matrisinin olmaması araçların mesafelere bağlı olarak tercihlerini değiştirmemelerine ve bu sebeple birbirine daha yakın bekleme sürelerine ve istasyonlara gelen araç sayılarının benzer olmasına sebep olmuştur. Ayrıca araçlara ilan edilen bekleme süresi bilgisinin üzerinden uzun zaman geçmediği için araçlar daha doğru kararlar vermiştir.

Açık Çevrim İstasyonların Bulunduğu Çoklu İstasyon Modeli

Açık çevrim istasyonların bulunduğu çoklu istasyon modelinde de kapalı çevrim istasyonların bulunduğu çoklu istasyon modeline benzer şekilde 1.5 dakikada 1 kez her istasyon o an istasyona yeni bir aracın gelmesi durumunda kaç dakika bekleyeceğini anons etmektedir. Kapalı çevrim istasyonlardan farklı olarak açık çevrim istasyonlarda kuyrukta bekleyen araçların servis süresi bilinmektedir. Yeni bir aracın gelmesi durumunda kaç dakika bekleyeceğinin hesaplanması için, kuyrukta beklemekte olan araçların bilinen servis süreleri hesaba katılarak bir simülasyon işlemi yapılmıştır. Bu simülasyon işleminde yüksek ve düşük öncelikli araçlara ayrılan pompa sayılarının değişmeyeceği varsayılmıştır. Modelde yer alan FİFO istasyonlarda da kapalı çevrim istasyonlardakine benzer şekilde kuyrukta bekleyen araçların servis süresi 19 olarak varsayılmış ve simülasyon işlemi ona göre yapılmıştır.

Çizelge 37'de açık çevrim istasyonlarının bulunduğu çoklu istasyon modelinde toplamda %95 doluluk oranı ile çalıştırılmış sistemde her istasyon için tüm araç sınıfları için bekleme süreleri, gerçekleşen bekleme oranları ve yüksek öncelikli araç oranları yer almaktadır.

Çizelge 37: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların bekleme süreleri

	Ref: 1.5 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Gerçekleşen Bekleme Oranı	Yüksek Öncelikli Araç Oranı
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (AÇIK)	[9.15 9.18]	[16.29 16.35]	1.781	0.51
	İstasyon 2 (FİFO)	[12.92 12.96]	[13.30 13.33]	1.029	0.47
	İstasyon 3 (AÇIK)	[10.33 10.35]	[17.92 17.98]	1.736	0.52
	İstasyon 4 (FİFO)	[13.62 13.63]	[13.73 13.75]	1.008	0.47
	İstasyon 5 (AÇIK)	[15.43 15.45]	[27.06 27.11]	1.754	0.55
	İstasyon 6 (FİFO)	[23.06 23.10]	[22.83 22.86]	0.990	0.48
	İstasyon 7 (AÇIK)	[11.49 11.52]	[20.59 20.66]	1.794	0.52
	İstasyon 8 (FİFO)	[17.04 17.08]	[17.24 17.27]	1.012	0.47

İstasyon çiftleri için sonuçlar incelendiğinde kapalı çevrim istasyonlarda olduğu gibi 1. Sınıf araçların açık çevrim istasyonlarda FİFO istasyonlarına göre daha az beklediği görülmektedir. 2. Sınıf araçların ise FİFO istasyonlarda daha az beklediği görülmektedir. Bunun sebebi açık çevrim istasyonlarda 1. Sınıf araçların 2. Sınıf araçların 1.5 katı az beklemesinin hedeflenmesidir. FİFO istasyonlarda ise 1. Sınıf ve 2. Sınıf araçlar yaklaşık aynı bekleme süresine sahiptir.

'de günlük bazda araç sınıflarının istasyonları tercih etme sayıları yer almaktadır.

Çizelge 38: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların sayısı

	Ref: 1.5 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Toplam Araç Sayısı
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (AÇIK)	[484.35 486.95]	[468.37 470.53]	[953.60 956.60]
	İstasyon 2 (FİFO)	[445.51 447.73]	[496.21 499.97]	[943.64 945.78]
	İstasyon 3 (AÇIK)	[530.53]	[482.08]	[1014.35]

		532.45]	484.13]	1014.84]
	İstasyon 4 (FİFO)	[474.76 477.42]	[528.63 531.34]	[1005.84 1006.31]
	İstasyon 5 (AÇIK)	[557.90 561.37]	[461.85 465.16]	[1022.89 1023.39]
	İstasyon 6 (FİFO)	[483.63 485.63]	[522.38 524.81]	[1008.01 1008.45]
	İstasyon 7 (AÇIK)	[512.10 514.59]	[479.46 480.85]	[992.86 994.14]
	İstasyon 8 (FİFO)	[464.23 466.19]	[513.50 515.86]	[979.29 980.49]

Bekleme süreleri ile doğrusal bir şekilde 1. Sınıf araçlar açık çevrim istasyonları, 2. Sınıf araçlar ise FİFO istasyonları daha çok tercih etmiştir. 5. Ve 6. İstasyonlarda diğer istasyonlara nazaran araçlar daha uzun bekleme süresine sahip olmuştur, bunun sebebi bu istasyonların diğer istasyonlara göre daha merkezi bir yerde bulunması ve araçların daha fazla beklemeyi göze alarak yolda geçirecekleri süreyi azaltma isteğidir.

Açık çevrim istasyonlarda gerçekleşen ortalama bekleme oranı 1.77 olarak ölçülmüştür. Kapalı çevrim istasyonlarda olduğu gibi açık çevrim istasyonlarda da yüksek öncelikli araç oranları düşük öncelikli araçlara göre daha fazladır.

Açık çevrim istasyonlarında gerçekleşen bekleme oranı hedeflenen bekleme oranı değerine daha yakın çıkan İstasyon 3 ve 5'te toplam araç sayıları daha fazladır. Doluluk oranının azalması ile hedeflenen bekleme oranına yaklaşmak zorlaşmaktadır. İstasyonlar arası mesafe farkının sonuçlarını nasıl etkilediğini görmek için mesafe matrisi kaldırılmış ve deneyler tekrar edilmiştir. Çizelge 39'da mesafe matrisinin olmaması durumunda her istasyon ve her sınıf için araçların bekleme süresi, gerçekleşen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı, Çizelge 40'ta ise mesafe matrisinin olmaması durumunda araçların istasyonları tercih etme sayısı gösterilmektedir.

Çizelge 39: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunmadığı durumda araçların bekleme süreleri

	Ref: 1.5 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Gerçekleşen Bekleme Oranı	Yüksek Öncelikli Araç Oranı
Servis Süresi	İstasyon 1 (AÇIK)	[1.97 1.98]	[2.668 2.672]	1.353	0.52
	İstasyon 2 (FİFO)	[2.06 2.07]	[2.137 2.140]	1.035	0.49
	İstasyon 3 (AÇIK)	[1.900 1.902]	[2.539 2.542]	1.337	0.51
	İstasyon 4 (FİFO)	[2.00 2.01]	[2.067 2.070]	1.031	0.49

TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 5 (AÇIK)	[1.861 1.864]	[2.48 2.49]	1.337	0.51
	İstasyon 6 (FIFO)	[1.961 1.963]	[2.026 2.028]	1.033	0.49
	İstasyon 7 (AÇIK)	[1.85 1.86]	[2.44 2.45]	1.318	0.51
	İstasyon 8 (FIFO)	[1.932 1.934]	[1.989 1.992]	1.030	0.49

Çizelge 40: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunmadığı durumda araçların sayısı

	Ref: 1.5 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Toplam Araç Sayıları
30) Servis Süresi TRIA(10, 18,	İstasyon 1 (AÇIK)	[514.76 516.94]	[484.79 486.59]	[1001.32 1001.76]
	İstasyon 2 (FIFO)	[489.36 491.64]	[503.87 506.61]	[995.34 996.14]
	İstasyon 3 (AÇIK)	[507.00 508.90]	[484.63 485.77]	[992.68 993.61]
	İstasyon 4 (FIFO)	[484.53 485.84]	[505.06 506.91]	[990.70 991.63]
	İstasyon 5 (AÇIK)	[504.92 506.55]	[484.00 485.56]	[989.91 991.11]
	İstasyon 6 (FIFO)	[481.39 482.63]	[504.71 507.10]	[987.36 988.46]
	İstasyon 7 (AÇIK)	[497.91 500.21]	[484.71 485.76]	[983.63 984.96]
	İstasyon 8 (FIFO)	[475.26 477.35]	[503.50 505.60]	[980.37 981.34]

Çizelge 39'da bekleme süreleri mesafe matrisinin olmadığı durumda mesafe matrisinin bulunduğu duruma benzer şekilde açık çevrim istasyonlarda 1. Sınıf araçların, FIFO istasyonlarda ise 2. Sınıf araçların daha az beklediği şeklindedir.

Çizelge 40'ta 1. sınıf araçlar açık çevrim istasyonları tercih ederken 2. Sınıflar FIFO istasyonları daha fazla tercih etmiştir. Açık çevrim istasyonları ve FIFO istasyonları seçme sayıları istasyon bazında benzerlik göstermiştir. Mesafe matrisinin kaldırılmasıyla 5. Ve 6. İstasyonlardaki yoğunluk da ortadan kalkmıştır.

Açık çevrim istasyonlarda gerçekleşen bekleme oranı değeri ortalama 1.34 olarak ölçülmüştür. Mesafe matrisinin kaldırılması ile birlikte araçların hangi istasyonu seçeceği yalnızca anons edilen bekleme süresine ve araçların servis süresine göre yapılmıştır. Bu sebeple istasyonlar arası bekleme farkları benzerlik göstermiştir. Mesafelerin kaldırılması bekleme sürelerinin de büyük oranda düşmesine sebep olmaktadır. Bunun sebebi araçların mesafe olmadığına gerçek zamanlı bilgiyle hareket edebilmeleridir. Mesafelerin uzun olduğu durumda aracın içinde bulunduğu ortamın belirsizliği artmakta, aracın istasyon seçimini yapması ile seçtiği istasyona ulaşması arasında geçen sürede önüne geçen araçlar sebebiyle tahmin ettiği bekleme süresinden çok daha uzun sürelerde beklemek zorunda kalabilmektedir. Mesafe matrisi ortadan kalktığında sistem paralel sunuculara sahip tek bir sistem gibi davranmakta ve bekleme süreleri de azalmaktadır.

Açık/Kapalı Çevrim Çoklu İstasyonlar İçin Welch Güven Aralığı (CI) Testi

Açık ve kapalı çevrim çoklu istasyonların karşılaştırılması için Welch güven aralığı testi uygulanmıştır. Test istasyon bazında gerçekleşen bekleme oranları hesaba katılarak yapılmıştır. Çizelge 41'de çoklu istasyonlar için 20*20 mesafe matrisi ve %95 doluluk oranı koşulunda gerçekleşen bekleme oranları arası farkın Welch CI testi sonuçları verilmiştir. İstasyon 1-3-5 ve 7 de Açık ve Kapalı çevrim modellerinin gerçekleştirdiği bekleme oranları, İstasyon 2-4-6-8 de ise aynı bölgede bir Açık/Kapalı çevrim bulunması halinde FIFO istasyonlarda gerçekleşen fark gösterilmektedir. İstasyon 1-3-5 ve 7 deki farklar incelendiğinde farkların istatistiksel olarak belirgin olduğu görülmektedir. İstasyon 1 ve 7 de Açık çevrim istasyonlarının ve İstasyon 3 ve 4 de kapalı çevrim istasyonlarının hedef bekleme oranına daha fazla yaklaştıkları Çizelge 37'de ve Çizelge 33 de görülmektedir. Çizelge 41 ile bu farkların istatistiksel olarak belirgin olduğu ortaya çıkmaktadır. Tercih eden araç sayısının yüksek olduğu istasyonlarda kapalı çevrim modeli, düşük olduğu istasyonlarda açık çevrim modeli daha başarılı performans gösterebilmektedir. FIFO istasyonlar arasında beklendiği gibi belirgin bir fark bulunmamaktadır.

Çizelge 41: Çoklu istasyonlarda Welch CI testi ile Gerçekleşen Bekleme Oranları Farkı %95 CI

	Gerçekleşen Bekleme Oranları Farkı
İstasyon 1	[0.115 0.146]
İstasyon 2	[-0.022 -0.004]
İstasyon 3	[-0.074 -0.045]
İstasyon 4	[-0.006 0.01]
İstasyon 5	[-0.042 -0.004]
İstasyon 6	[-0.007 0.007]
İstasyon 7	[0.054 0.089]
İstasyon 8	[-0.016 0.002]

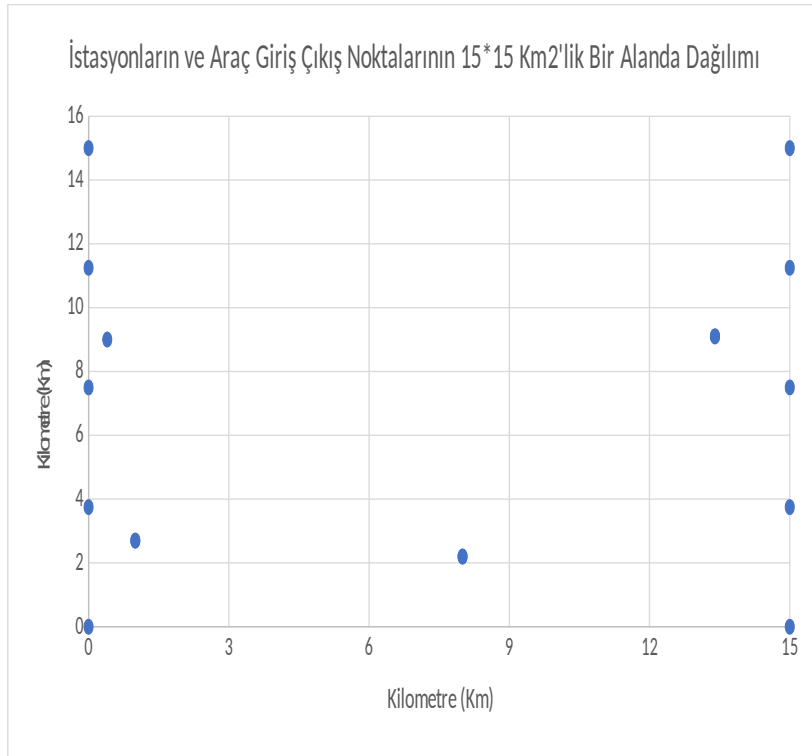
Açık/Kapalı Çevrim ve Sabit Sunuculu Çoklu İstasyon Karşılaştırma Özeti

Açık/Kapalı çevrim ve FIFO istasyonlar gelen araç sayısı açısından karşılaştırıldıklarında toplamda Açık/Kapalı çevrim istasyonlarının toplam araç sayısı olarak daha çok tercih edildiği

görülmektedir. Kontrol metodu kullanan istasyonların 1.sınıf araçlar tarafından daha fazla tercih edilmesi de bu istasyonların karlılığını artıracak bir özelliktir. Sonuçlar incelendiğinde açık/kapalı çevrim metodunun rekabetçi ortamda istasyonlara avantaj getireceği görülmektedir.

4.6.2 Çoklu İstasyon Ortamında Coğrafi Büyüklük Duyarlılık ve Performans Analizi

Bu bölümde istasyonların konumunun 15*15 km² lik bir alanda dağıtık şekilde belirlendiği ve her konumda 1 adet kapalı veya açık çevrim metodu ile çalışan istasyon, 1 adet de FIFO yöntemi ile çalışan istasyon olması planlanmıştır. Böylece FIFO ile kapalı/açık çevrim metodunu karşılaştırmak hedeflenmiştir. Ayrıca Bölüm 4.6.1'de verilen 20*20 km²'lik alanda dağıtık şekilde konumlandırılan istasyonların sonuçları ile karşılaştırma yapılacaktır. İstasyon 1, 3, 5 ve 7 kapalı veya açık çevrim kontrol metodu ile çalışırken, İstasyon 2, 4, 6 ve 8 FIFO ile çalışmaktadır. İstasyonların konumu Şekil 51'da gösterilmiştir.



Şekil 51: İstasyonların ve araç giriş çıkış noktalarının 15*15 km²'lik bir alanda dağılımı

Modelde araçların varışlar arası geçen süre hem sol taraftan hem de sağ taraftan sisteme giriş yapılan noktalarda simetriktir. Ortalama varış hızı dış noktalardan iç noktalara doğru artmaktadır. %95 doluluk oranı araçlar arası varış süreleri üssel dağılıma uygun olarak

ortalama Nokta A/D 1-5 için 2.55 dakika, Nokta A/D 2-3 1.8 dakika, Nokta A/D 3 için ise 1.17 dakika şeklinde ayarlanmıştır. Araçların hızları UNIF(40,60) km/s şeklindedir.

Çizelge 42'de kapalı çevrim istasyonların bulunduğu çoklu istasyon modelinde %95 doluluk oranı ile çalıştırılmış sistemde her istasyon için tüm araç sınıfları için bekleme süreleri, gerçekleşen bekleme oranları ve istasyona gelen yüksek öncelikli araçların tüm araçlara oranı yer almaktadır.

İstasyon çiftleri için sonuçlar ayrı ayrı incelendiğinde 20*20 km²'lik deneyde olduğu gibi 15*15km²'lik deneyde de 1. Sınıf araçların kapalı çevrim istasyonlarda FİFO istasyonlarına göre daha az beklediği görülmektedir. 2. Sınıf araçların ise FİFO istasyonlarda kapalı çevrim istasyonlara göre daha az beklediği görülmektedir. Bunun sebebi kapalı çevrim istasyonlarda 2. Sınıf araçların 1. Sınıf araçların 1.5 katı fazla beklemesinin hedeflenmesidir. FİFO istasyonlarda ise 1. Sınıf ve 2. Sınıf araçlar yaklaşık aynı bekleme süresine sahiptir.

Çizelge 42: 15*15 m² lik alanda kapalı çevrim çoklu istasyonda araçların bekleme süreleri

	Ref: 1.5 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Gerçekleşen Bekleme Oranı	Yüksek Öncelikli Araç Oranı
TRIA(10, 18, 30)Servis Süresi	İstasyon 1 (KAPALI)	[3.35 3.36]	[5.31 5.33]	1.587	0.50
	İstasyon 2 (FİFO)	[3.80 3.81]	[3.965 3.973]	1.045	0.47
	İstasyon 3 (KAPALI)	[7.859 7.864]	[12.00 12.02]	1.528	0.53
	İstasyon 4 (FİFO)	[8.888 8.894]	[8.89 8.90]	1.001	0.48
	İstasyon 5 (KAPALI)	[6.44 6.45]	[9.66 9.67]	1.499	0.53
	İstasyon 6 (FİFO)	[6.89 6.90]	[6.958 6.964]	1.010	0.47
	İstasyon 7 (KAPALI)	[8.64 8.65]	[16.47 16.49]	1.908	0.53
	İstasyon 8 (FİFO)	[13.85 13.87]	[13.91 13.93]	1.004	0.48

Çizelge 43'te günlük olarak her iki araç sınıfı için istasyonu tercih etme sayıları yer almaktadır.

Bekleme süreleri ile doğrusal bir şekilde 1. Sınıf araçlar kapalı çevrim istasyonları daha çok tercih etmişken 2. Sınıf araçlar FİFO istasyonları daha çok tercih etmiştir. 2. Sınıf araçlar FİFO istasyonları daha çok tercih ettiği için Çizelge 42'de FİFO istasyonlarda 1. Sınıf araçlara göre daha uzun bekleme sürelerine sahip olmuştur.

20*20 km²lik deneye göre araçların bekleme süreleri azalmıştır. Bunun sebebi alanın küçülmesi ile birlikte anons edilen bekleme sürelerinin üzerinden uzun zaman geçmemesidir. 15*15 km²'lik deneyde kapalı çevrim istasyonlarda gerçekleşen ortalama bekleme değerlerinin ortalaması 1.63 olarak hesaplanmıştır. Daha büyük sisteme göre hedefe daha yakın bir sonuç elde edilmiştir.

Çizelge 43: 15*15 m² lik alanda Kapalı çevrim çoklu istasyonda araçların istasyonları tercih etme sayısı

	Ref: 1.5 / 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Toplam Araçlar
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (KAPALI)	[464.01 467.67]	[464.56 466.55]	[929.77 933.02]
	İstasyon 2 (FİFO)	[437.14 440.20]	[486.22 488.89]	[923.50 928.95]
	İstasyon 3 (KAPALI)	[549.86 554.27]	[479.22 482.58]	[1032.82 1033.12]
	İstasyon 4 (FİFO)	[488.17 490.25]	[538.13 540.12]	[1028.12 1028.56]
	İstasyon 5 (KAPALI)	[540.64 543.34]	[481.90 484.42]	[1024.97 1025.33]
	İstasyon 6 (FİFO)	[477.63 479.04]	[540.51 542.35]	[1019.59 1019.95]
	İstasyon 7 (KAPALI)	[526.94 528.87]	[459.69 461.38]	[987.91 988.96]
	İstasyon 8 (FİFO)	[467.54 469.81]	[502.96 505.68]	[972.54 973.46]

Çizelge 44'te açık çevrim istasyonların bulunduğu çoklu istasyon modelinde %95 doluluk oranı ile çalıştırılmış sistemde her istasyon için tüm araç sınıfları için bekleme süreleri, gerçekleşen bekleme oranları ve istasyona gelen yüksek öncelikli araçların tüm araçlara oranı yer almaktadır.

İstasyon çiftleri için sonuçlar ayrı ayrı incelendiğinde 20*20 km²'lik deneyde olduğu gibi 15*15km²'lik deneyde de 1. Sınıf araçların kapalı çevrim istasyonlarda FİFO istasyonlarına göre daha az beklediği görülmektedir. 2. Sınıf araçların ise FİFO istasyonlarda kapalı çevrim istasyonlara göre daha az beklediği görülmektedir. Bunun sebebi açık çevrim istasyonlarda 2. Sınıf araçların 1. Sınıf araçların 1.5 katı fazla beklemesinin hedeflenmesidir. FİFO istasyonlarda ise 1. Sınıf ve 2. Sınıf araçlar yaklaşık aynı bekleme süresine sahiptir.

Çizelge 44: 15*15 m² lik alanda açık çevrim çoklu istasyonda araçların bekleme süreleri

	Ref: 1.5 / 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Gerçekleşen Bekleme Oranı	Yüksek Öncelikli Araç Oranı
Servis	İstasyon 1 (AÇIK)	[3.888 3.393]	[5.34 5.35]	1.576	0.50
	İstasyon 2 (FİFO)	[3.94 3.95]	[4.128 4.134]	1.048	0.47

Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 3 (AÇIK)	[7.429 7.434]	[12.14 12.15]	1.635	0.54
	İstasyon 4 (FİFO)	[8.959 8.963]	[8.97 8.98]	1.002	0.47
	İstasyon 5 (AÇIK)	[6.13 6.14]	[9.76 9.77]	1.591	0.53
	İstasyon 6 (FİFO)	[7.006 7.011]	[7.04 7.05]	1.006	0.47
	İstasyon 7 (AÇIK)	[9.12 9.13]	[16.31 16.34]	1.790	0.53
	İstasyon 8 (FİFO)	[13.92 13.95]	[13.98 14.00]	1.004	0.48

Çizelge 45'te günlük olarak her iki araç sınıfı için istasyonu tercih etme sayıları yer almaktadır.

Bekleme süreleri ile doğrusal bir şekilde 1. Sınıf araçlar açık çevrim istasyonları daha çok tercih etmişken 2. Sınıf araçlar FİFO istasyonları daha çok tercih etmiştir. 2. Sınıf araçlar FİFO istasyonları daha çok tercih ettiği için Çizelge 44'te FİFO istasyonlarda 1. Sınıf araçlara göre daha uzun bekleme sürelerine sahip olmuştur.

20*20 km2'lik deneye göre araçların bekleme süreleri azalmıştır. Bunun sebebi alanın küçülmesi ile birlikte anons edilen bekleme sürelerinin üzerinden uzun zaman geçmemesidir. 15*15 km2'lik deneyde kapalı çevrim istasyonlarda gerçekleşen ortalama bekleme değerlerinin ortalaması 1.65 olarak hesaplanmıştır. Daha büyük sisteme göre hedefe daha yakın bir sonuç elde edilmiştir.

Çizelge 45: 15*15 m² lik alanda açık çevrim çoklu istasyonda araçların istasyonları tercih etme sayısı

	Ref: 1.5 / 1. Sınıf : 0.5	1. Sınıf Araçlar	2. Sınıf Araçlar	Toplam Araçlar
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (AÇIK)	[461.81 464.82]	[469.37 471.18]	[931.25 935.93]
	İstasyon 2 (FİFO)	[439.72 442.18]	[486.11 489.10]	[927.06 930.05]
	İstasyon 3 (AÇIK)	[555.57 557.22]	[474.37 476.13]	[1031.52 1031.77]
	İstasyon 4 (FİFO)	[486.28 487.83]	[539.92 542.10]	[1027.85 1028.28]
	İstasyon 5 (AÇIK)	[540.24 542.55]	[481.61 484.07]	[1024.04 1024.44]
	İstasyon 6 (FİFO)	[477.93 479.39]	[539.81 541.93]	[1019.28 1019.77]
	İstasyon 7 (AÇIK)	[523.40 526.06]	[460.42 462.22]	[985.64 986.46]
	İstasyon 8 (FİFO)	[469.16 470.89]	[502.33 504.27]	[972.83 973.83]

Mesafe azaldıkça istasyonların ilan ettikleri bekleme süresi bilgileri geçerliliğini yitirmeden değerlendirilebilmekte ve araçların istasyonlar arası dağılımı bekleme sürelerini azaltacak

şekilde yapılabilmektedir. Böylece gerçekleşen bekleme sürelerinin mesafe azaldıkça azaldığı gözlemlenmektedir. Hem açık hem de kapalı çevrim istasyonların coğrafi dağılıma göre performansının incelenmesi sonucunda aynı durum gözlemlenmiştir.

4.7 Açık/Kapalı Çevrim Modelleri Çoklu İstasyon Ortamında Müşteri Karar Değişim Modeli Performans Analizi

Araç öncelik sınıflarının talep ettikleri servis süresine göre kısa ise yüksek öncelikli, uzun ise düşük öncelikli olarak belirlendiği bir sistemde araç sahipleri, asıl ihtiyaçları uzun şarj olmasına rağmen kısa süre şarj olmanın süre avantajından yararlanmak için karar değiştirerek kısa şarj olarak yüksek öncelikli müşteri olmayı tercih edebilirler. Bölüm 4.7.1 de bu durum için kullanılan karar değişim modeli, Bölüm 4.7.2 de ise bu durumdaki çoklu istasyon performans analizi sonuçları bulunmaktadır.

4.7.1 Müşteri Karar Değişim Modeli

Araçların önceliklerinin belirlenmesinde servis süresinin etkili olduğu bu modelde şarj süresi 19 dakika ve altında olan araçlar yüksek öncelikli, servis süresi 19'dan fazla olanlar düşük öncelikli araç olarak sınıflandırılır. Şarj süresi 19'dan yüksek olan düşük öncelikli araçlar servis sürelerini 19'a düşürmeyi göze alarak yüksek öncelikli araç sınıfına dahil olabilir ve daha hızlı şarj olabilecekleri ekspres servis veren başka bir istasyon seçebilirler veya kendi servis sürelerine bağlı kalarak daha uzun süre şarj olup biraz daha uzun bekleme süresine sahip olmayı göze alabilirler.

Aracın öncelik tipini değiştirme kararını etkileyen faktör 2 tanedir: şarj olmak istediği süre ve şarj harici toplam süredir. Bunun yanı sıra araç sahibinin kişisel durumu ve özellikleri de bu kararı etkilemektedir. Örneğin araç sahibinin uzun yola gideceği için uzun şarja kesinlikle ihtiyacı olması ya da o anda acelesinin olmasından dolayı bekleme süresinin önem taşıması gibi. Bu tür bilinmez faktörlerin etkisi de göz önüne alındığında müşterilerin öncelik tiplerini düşük öncelikli araç tipinden yüksek öncelikli araç tipine çevirme ihtimalinin belirlenmesi için ikili ayrık logit seçim modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu model seçim olasılıkları için formülün kapalı bir form alması ve kolayca yorumlanabilir olmasından dolayı en kolay ve yaygın kullanılan seçim modelidir. (Train 2003)

Bu modelin genel işleyişi aşağıdaki gibidir.

Bir i seçiminin n numaralı kişiye getireceği fayda "Fayda_{ni}" olarak ifade edilebilir. Eşitlik 30'de fayda bilinen parametrelere bağlı deterministik bölümü V , belirsiz bölümü ise Epsilon ile adlandırılırsa;

$$\text{Fayda}_{ni} = V_{ni} + \text{Epsilon}_{ni}$$

Eşitlik 30

şeklinde tanımlanır. (Train 2003)

Faydanın deterministik bölümü olan V'ye farklı parametreler farklı katsayılarla etki ederler. Eşitlik 31'de X ler parametreleri ve Betalar katsayıları ifade etmektedir. (Train 2003)

$$V_{ni} = \text{Beta1} * X_{1ni} + \text{Beta2} * X_{2in} + \dots + \text{BetaK} * X_{Kni}$$

Eşitlik 31

Alternatifler arası seçim ihtimali ikili ayrık seçim modelinde Eşitlik 32'teki gibi hesaplanmaktadır. P_{n1} , n. aracın 1. alternatifi seçim ihtimalini, V_{n1} ve V_{n2} de n. aracın sırasıyla alternatif 1 ve 2'den elde edeceği faydaların deterministik bölümlerini ifade etmektedir.

$$P_{n1} = 1 / (1 + \exp (V_{n2} - V_{n1}))$$

Eşitlik 32

Çoklu istasyon modelinde denklemlerdeki girdiler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

X_{1n1} = Araç düşük öncelikli olarak kalmayı istediği takdirde olacağı şarj miktarı

X_{2n1} = Araç düşük öncelikli olarak kalmayı istediği takdirde şarj harici süre

X_{1n2} = Araç yüksek öncelikli olmayı istediği takdirde olacağı şarj miktarı

X_{2n2} = Araç yüksek öncelikli olmayı istediği takdirde şarj harici süre

Logit modeli denklemlerinde kullanılan Beta1 ve Beta2 değerlerinin belirlenmesi için literatürde sıklıkla Maksimum Olabilirlik Tahmincisi yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada elimizde bu yöntemle değerlendirebileceğimiz seçim verisi olmadığı için aracın şarj süresindeki kazancının, şarj harici geçirilen süreye oranla 2 kat değerli olduğu düşünülmüştür. Yani bir araç 1 dakikalık şarj süresi için 2 dakika şarj harici geçireceği süreden feragat edebilir. Bu durumda Beta1 ve Beta2 değerleri 2 ve -1 olarak tanımlanmıştır. Model farklı parametre değerleriyle kullanıma uygundur.

Çıktılar ise öncelik değişirse 1, değişmezse 0 olur.

Modelde V1 araç düşük öncelikli olarak kalmayı isterse elde edeceği deterministik faydayı, V2 araç yüksek öncelikli olmayı isterse elde edeceği deterministik faydayı ifade eder. Bu iki değer Eşitlik 31'deki formülasyon ile hesaplandıktan sonra Eşitlik 32'teki formülasyon ile aracın öncelik değişimi ihtimali(P_{n1}) hesaplanır. Bu değer 0-1 arasında düzgün dağılım ile rastgele değer(R) ile karşılaştırılır ve $R \leq P_{n1}$ ise öncelik değişikliği yapabilmek için çıktı sonucu 1 olur, $R > P_{n1}$ ise öncelik değişikliği yapılmayacak demektir ve çıktı 0 olur. Hesaplamalardan gelen çıktı sonucu 1 ise aracın öncelik özelliği yüksek öncelikli araç olarak,

servis süresi ise 19 olarak değiştirilir. Çıktı sonucu 0 ise aracın herhangi bir özelliği değişmez.

Kısa şarj ihtiyacına sahip olan yüksek öncelikli bir aracın uzun şarj olmak için gerekli batarya boşluğuna sahip olmadığı için öncelik değişimi yapmadığı varsayılmıştır. Ayrıca bir araç eğer FIFO olan bir istasyona gidecekse önceliğini değiştirmedeği düşünülmüştür.

4.7.2 Müşteri Karar Değişim Modeli Performans Analizi

Doluluk oranının %95 olduğu sistem üzerinde öncelik değişiminin yapılabildiği modeller incelenmiştir. Çizelge 46'da öncelik değişimin yapıldığı çoklu istasyon modelindeki istasyonlardaki ortalama bekleme süreleri, Çizelge 47'de gerçekleşen bekleme oranları, yüksek öncelikli araç oranları ve Çizelge 48'de günlük bazda istasyonlara gelen araç sayıları gösterilmiştir.

Çizelge 46: Öncelik değişiminin yapılabildiği kapalı istasyon modelinde bekleme süreleri

	Ref: 1.5 / 1. Sınıf : 0.5	Yüksek Öncelikli Araçlar	Düşük Öncelikli Araçlar	Düşük Öncelikli Sınıftan Yüksek Öncelikli Sınıfa Geçenler
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (KAPALI)	[8.37 8.38]	[15.14 15.19]	[9.53 9.56]
	İstasyon 2 (FİFO)	[12.14 12.18]	[12.20 12.24]	
	İstasyon 3 (KAPALI)	[10.34 10.35]	[17.04 17.08]	[11.71 11.75]
	İstasyon 4 (FİFO)	[12.94 12.95]	[13.02 13.04]	
	İstasyon 5 (KAPALI)	[16.03 16.06]	[25.45 25.51]	[18.64 18.72]
	İstasyon 6 (FİFO)	[22.69 22.72]	[22.49 22.52]	
	İstasyon 7 (KAPALI)	[10.73 10.76]	[18.86 18.94]	[12.21 12.30]
	İstasyon 8 (FİFO)	[16.19 16.25]	[16.11 16.17]	

Çizelge 47: Öncelik değişiminin yapılabildiği kapalı istasyon modelinde gerçekleşen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı

	Ref: 1.5 / 1. Sınıf : 0.5	Gerçekleşen Bekleme Oranı	Yüksek Öncelikli Araç Oranı

TRIA(10, 18, 30) Servis Süresi	İstasyon 1 (KAPALI)	1.790	0.55
	İstasyon 2 (FİFO)	1.005	0.48
	İstasyon 3 (KAPALI)	1.628	0.57
	İstasyon 4 (FİFO)	1.007	0.48
	İstasyon 5 (KAPALI)	1.555	0.59
	İstasyon 6 (FİFO)	0.992	0.48
	İstasyon 7 (KAPALI)	1.739	0.56
	İstasyon 8 (FİFO)	0.995	0.48

Çizelge 48: Öncelik değişiminin yapılabildiği kapalı istasyon modelinde günlük bazda araç sayıları

Ref: 1.5 1. Sınıf : 0.5	Yüksek Öncelikli Araçlar	Düşük Öncelikli Araçlar	Düşük Öncelikliden Yüksek Öncelikli Sınıfa Geçenler	Toplam Araç Sayıları	
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (KAPALI)	[485.49 489.81]	[429.18 430.97]	[43.93 44.41]	[960.72 963.07]
	İstasyon 2 (FİFO)	[449.09 451.37]	[480.26 482.43]		[930.66 932.49]
	İstasyon 3 (KAPALI)	[522.17 526.21]	[443.76 446.44]	[55.63 56.22]	[1024.84 1025.60]
	İstasyon 4 (FİFO)	[479.33 482.13]	[514.70 516.68]		[996.14 996.71]
	İstasyon 5 (KAPALI)	[528.65 531.13]	[428.20 429.96]	[80.10 81.53]	[1039.42 1040.15]
	İstasyon 6 (FİFO)	[481.29 484.01]	[515.70 516.89]		[998.61 999.28]
	İstasyon 7 (KAPALI)	[506.30 510.16]	[442.26 444.66]	[47.74 48.72]	[999.02 1000.82]
	İstasyon 8 (FİFO)	[464.57 467.73]	[501.63 503.30]		[967.81 969.42]

Öncelik değişiminin yapılabildiği çoklu istasyon modelinde kapalı çevrim istasyonlarında gerçekleşen bekleme oranı 1.68 çıkmıştır. İstasyon 3 ve 5'te gerçekleşen bekleme oranı hedeflenen bekleme oranına daha yakın sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi o istasyonlara daha fazla araç gelerek doluluk oranının artmasıdır. Doluluk oranının azalması ile birlikte kontrolörün sistemi düzenlemesi zorlaşmaktadır.

30 koşturumda ortalama düşük öncelikli araçların yaklaşık yüzde 6'sı önceliğini değiştirmeye karar vermiş ve önceliğini değiştiren kişilerin %20 si 1. İstasyona, % 24 ü 3. İstasyona, % 35 i 5. İstasyona ve % 21 i 7. İstasyona gitmeye karar vermiştir. 5. İstasyon diğer istasyonlara nazaran daha yakın mesafede bulunduğu için araçlar daha fazla beklemeyi göze alarak yolda geçirecekleri mesafeyi azaltmıştır.

Çizelge 49'da doluluk oranının %95 olduğu, öncelik değişiminin yapılabildiği ve açık çevrim istasyonların bulunduğu modeldeki araçların bekleme süreleri, Hata: Başvuru kaynağı bulunamadı'de gerçekleşen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı Hata: Başvuru

kaynağı bulunamadı'de istasyonlara gelen araç sayıları gösterilmiştir. Ayrıca düşük öncelikli sınıftan yüksek öncelikli sınıfa geçen araçların bilgileri de yer almaktadır.

Çizelge 49: Öncelik değişiminin yapılabildiği açık istasyon modelinde bekleme süreleri

	Ref: 1.5 / 1. Sınıf : 0.5	Yüksek Öncelikli Araçlar	Düşük Öncelikli Araçlar	Düşük Öncelikli Sınıftan Yüksek Öncelikli Sınıfa Geçenler
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (AÇIK)	[9.13 9.16]	[14.99 15.04]	[9.46 9.54]
	İstasyon 2 (FİFO)	[12.45 12.49]	[12.50 12.54]	
	İstasyon 3 (AÇIK)	[10.50 10.51]	[17.01 17.04]	[11.14 11.18]
	İstasyon 4 (FİFO)	[13.20 13.22]	[13.33 13.35]	
	İstasyon 5 (AÇIK)	[16.35 16.37]	[25.60 25.64]	[17.49 17.57]
	İstasyon 6 (FİFO)	[22.90 22.93]	[22.74 22.77]	
	İstasyon 7 (AÇIK)	[11.52 11.54]	[19.00 19.07]	[12.33 12.39]
	İstasyon 8 (FİFO)	[16.37 16.41]	[16.46 16.49]	

Çizelge 50: Öncelik değişiminin yapılabildiği açık istasyon modelinde gerçekleşen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı

	Ref: 1.5 / 1. Sınıf : 0.5	Gerçekleşen Bekleme Oranı	Yüksek Öncelikli Araç Oranı
TRIA(10, 18, 30)Servis Süresi	İstasyon 1 (AÇIK)	1.638	0.54
	İstasyon 2 (FİFO)	1.004	0.48
	İstasyon 3 (AÇIK)	1.612	0.56
	İstasyon 4 (FİFO)	1.010	0.48
	İstasyon 5 (AÇIK)	1.552	0.59
	İstasyon 6 (FİFO)	0.993	0.49
	İstasyon 7 (AÇIK)	1.641	0.55
	İstasyon 8 (FİFO)	1.005	0.48

Çizelge 51: Öncelik değişiminin yapılabildiği açık istasyon modelinde günlük bazda araç sayıları

	Ref: 1.5 / 1. Sınıf : 0.5	Yüksek Öncelikli Araçlar	Düşük Öncelikli Araçlar	Düşük Öncelikliden Yüksek Öncelikli Sınıfa Geçenler	Toplam Araç Sayıları
Servis	İstasyon 1 (AÇIK)	[478.55 481.36]	[435.55 437.09]	[40.97 41.53]	[956.32 958.73]
	İstasyon 2 (FİFO)	[450.68 453.65]	[481.58 483.61]		[933.96 935.56]

Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 3 (AÇIK)	[519.24 522.22]	[448.07 449.59]	[52.37 52.97]	[1021.86 1022.60]
	İstasyon 4 (FIFO)	[479.55 482.58]	[516.11 517.58]		[997.63 998.20]
	İstasyon 5 (AÇIK)	[532.41 537.35]	[421.87 425.61]	[80.07 82.28]	[1039.37 1040.21]
	İstasyon 6 (FIFO)	[486.02 488.90]	[513.04 514.42]		[1000.93 1001.45]
	İstasyon 7 (AÇIK)	[503.49 507.15]	[444.45 447.10]	[46.70 47.72]	[997.33 999.28]
	İstasyon 8 (FIFO)	[466.97 469.45]	[501.93 503.20]		[970.10 971.45]

Öncelik değişiminin yapılabildiği modelde açık çevrim istasyonlarında yüksek öncelikli ve düşük öncelikli araçlar arasındaki bekleme süresinde gerçekleşen bekleme oranı 1.61 çıkmıştır. İstasyon 3 ve 5'te gerçekleşen bekleme oranı hedeflenen bekleme oranına daha yakın sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi o istasyonlara daha fazla araç gelmesi ve doluluk oranının artmasıdır. Doluluk oranının azalması ile birlikte kontrolörün sistemi düzenlemesi zorlaşmaktadır.

30 koşurumda ortalamada düşük öncelikli araçların yaklaşık yüzde 5.5 i önceliğini değiştirmeye karar vermiş ve önceliğini değiştiren kişilerin % 18.5 i 1. İstasyona, % 23.7 si 3. İstasyona, % 36.5 i 5. İstasyona ve % 21.2 si 7. İstasyona gitmeye karar vermiştir.

Kapalı ve açık çevrim istasyonların bulunduğu modellerde araçları bekleme süreleri ve düşük öncelikli araçlardan yüksek öncelikli araç sınıfına geçen kişi sayıları benzerlik göstermiştir. Aynı şekilde tercih ettikleri istasyonlar da benzerlik göstermiştir. Araçlar yolda geçirecekleri süreyi azaltmak isteyerek daha merkezi konumda olan istasyon 5 i daha çok tercih etmiştir.

Öncelik değişiminin yapılamadığı modellere göre öncelik değişiminin yapılabildiği bu modelde gerçekleşen bekleme oranı 1.5'a daha yakın çıkmıştır. Simulasyon sonuçları, öncelik değişiminin tercih edilme oranının seviyesini göstermektedir. Ancak bu seviyeler, logit tercih modelindeki parametrelerin değişimi ile değişiklik gösterebilir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektrikli araç sayısının hızla arttığı günümüzde, elektrikli araç hızlı şarj istasyonlarına olan ihtiyaç da büyümektedir. Elektrikli araç şarj süresinin hızlı şarj istasyonlarında dahi 30 dakikayı bulması istasyonlardaki araç kuyruğu uzunluğunu ve ortalama bekleme sürelerini artırabilmektedir. Bu problemin çözümü için literatürde bulunan çalışmalar sıklıkla elektrikli şarj istasyonu sayısı ve lokasyonu belirleme, araçları daha az bekleyecekleri istasyonlara yönlendirme, ve istasyonlardaki şarj işlemini rezervasyonla çizelgeleme üzerinedir. İstasyonlarda öncelikli şarj alanında yapılan çalışmalar kısıtlı sayıdadır. Bu çalışma ile istasyonlarda öncelikli şarj alanında kullanılmak üzere üç farklı yönetim modeli geliştirilmiştir. Yönetim modellerinin performansları simülasyon ortamında farklı koşullarda test edilmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen ilk yöntemle istasyonlardaki araç kuyruğu gerçek zamanda dinamik olarak yeniden sıralanmaktadır. Bu sıralama yönteminde araç sahiplerinin belirteceği bir termin süresi kullanılmadığı için daha objektif bir sıralama yapılabilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde yöntem sayesinde hem kısa süreli şarj olmak isteyenlere öncelik sağlanmakta hem de uzun süreli şarj olmak isteyenlerin sınırsız bir süre beklemelerinin önüne geçilmektedir.

Geliştirilen ikinci ve üçüncü yöntemlerle istasyona gelen araçlar yüksek ve düşük öncelikli olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Sınıf ayrımı farklı fiyatlandırma stratejileri ve satın alınan öncelik kartları ile yapılabileceği gibi, talep edilen şarj süresinin uzunluğuna göre de yapılabilmektedir. Bu iki yöntem de araç sınıflarına ayrılan sunucu sayısını, farklı sınıflardaki araçların ortalama bekleme sürelerinin birbirine oranını sabit tutacak şekilde dinamik olarak değiştirmektedir. Bu gruptaki ilk yöntem olan açık çevrim yöntemi, alacağı kararların etkisini simülasyon yöntemi ile tahmin ederek sınıflara atanan sunucu sayısını gerçek zamanda kontrol etmektedir. İkinci yöntem olan kapalı çevrim modeli ise oransal integral kontrol yöntemini kullanarak sunucu atamasını yapmaktadır.

Modellerin performansı simülasyon ortamında incelendiğinde her iki modelin de bekleme süreleri oranı hedeflerini belirli doluluk ve araç oranına ulaşılması durumunda başarılı bir şekilde takip edebildiği görülmektedir. İstasyon doluluk oranlarında düşme, bekleme sürelerini azalttığı ve bazı durumlarda beklemeyi tamamen ortadan kaldırdığı için düşük doluluk oranlarında bekleme oranlarının kontrolü mümkün olamamaktadır. Kapalı çevrim modeli, parametrelerinin belirlendiği doluluk oranı olan %95 doluluk oranında en iyi performansı göstermektedir. Açık çevrim modeli ise tepki süresi açısından kapalı çevrime göre daha hızlıdır ama yüzde sapma performans kriteri açısından %95 doluluk oranı

seviyesinde kapalı çevrim modeline göre daha düşük performans sergilemektedir. Çoklu rekabetçi ortamdaki performanslar gözlemlendiğinde, tek tek istasyonların doluluk oranları farklılık göstermekte ve ideal oranda çalışan istasyonlarda istenen hedefe daha yakın bekleme oranları elde edilebilmektedir. Çıkış-hedef noktası ve istasyonlar arası mesafeler azaldıkça araçların daha taze/geçerli bilgiyle istasyon seçimi yapabildikleri, böylelikle bekleme sürelerinin azaldığı gözlemlenmektedir. Açık/kapalı çevrim modellerinin hedeflenen bekleme oranına yaklaşma miktarının istasyon doluluk ve araç sınıf oranının belirli olduğu tekli istasyon ortamında daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kapalı çevrim modelinin farklı sınıf ve doluluk oranlarındaki başarı seviyelerini artırmak için farklı durumlar için farklı parametrelerin belirlenmesi ve kontrolörün, doluluk oranına göre parametre değiştiren adaptif bir kontrolör haline getirilmesi de mümkündür.

Bu çalışma ile literatüre yapılan katkılar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Dinamik kuyruk sıralama modeli ile bilgisayar bilimlerinde CPU çizelgeleme alanında hali hazırda kullanılmakta olan yüksek yanıt süresi oranı sıralama modeli ilk kez elektrikli şarj istasyonunda araç sıralama için kullanılmıştır.
- Açık çevrim modeli ile literatürde ilk kez simülasyon modelini tahmin amaçlı kullanarak sunucu sayısını dinamik olarak değiştiren bir kaynak kontrol metodu geliştirilmiştir. Bu özgün değer, bilgisayar bilimleri alanı başta olmak üzere başka alanlara da katkı edecek niteliktedir.
- Kapalı çevrim modeli ile elektrikli araç şarj literatüründe ilk kez oransal integral kontrolör tabanlı bir kaynak yöneticisi kullanılmıştır.
- Kapalı çevrim modeli ile bilgisayar bilimleri alanından farklı olarak sonlanmış yerine devam eden beklemeler kullanılarak kaynak kontrolü yapılmıştır. Bu özgün değer, bilgisayar bilimleri alanına da katkı edecek niteliktedir.
- Çoklu ortam karşılaştırmaları ile ilk kez öncelik tabanlı yöntemlerin çok istasyonlu rekabet ortamındaki performansları gözlemlenmiştir.

Bu proje ile elektrikli araç şarj istasyonlarında uygulanmak üzere ekspres şarj istasyonu yönetim modelleri geliştirilmiştir. Önerilen yöntemlerin uygulanma aşamasında kullanılacak fiyatlandırma stratejileri proje kapsamında ele alınmamıştır. Gelecek çalışmalarda uygulama için uygun fiyatlandırma stratejilerinin belirlenmesi de ele alınabilir. Bu projede geliştirilen yöntemler başta üretim ve bilgisayar bilimlerinde sunucu çizelgeleme olmak üzere birçok farklı sektör ve alanda kullanılabilir niteliktedir. Gelecek çalışmalarda özellikle üretim alanındaki uygulamaların üzerinde durulması, AGV yönlendirme ve makine

çizelgeleme konularında Industry 4.0 altyapısı ile uyumlu çalışacak gerçek zamanlı kaynak kontrol algoritmaları geliştirilmesi planlanmaktadır.

Bu proje kapsamında yayınlanmış ve değerlendirme/yazım aşamasındaki yayınlar aşağıda listelenmektedir:

- İki yüksek lisans tezi (yayınlanmış durumda):
 - o Emre Anıl KAKİLLİOĞLU, 2018, Yüksek Lisans Tezi, “Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Seçimi ve Ekspres Şarj İstasyonları için Adaptif Kaynak Atama Metodları Geliştirilmesi”, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
 - o Melike YILDIZ AKTAŞ, 2020, Yüksek Lisans Tezi, “Öz-Denetimli Elektrikli Şarj İstasyonları için Geri Besleme Kontrolü Tabanlı Kaynak Yönetim Modeli”, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
- İki uluslararası konferans yayın özeti ve sunumu (yayınlanmış durumda):
 - o Fescioglu-Unver N., Kakillioglu E. A., "Dynamic Queue Reordering Model for Electric Vehicle Express Charge Stations", 30th European Conference on Operational Research, 23-26 June 2019, Dublin (Abstract)
 - o Yıldız M., Fescioglu-Unver N., "Self-controlling electric vehicle charging stations using feedback control", 30th European Conference on Operational Research, 23-26 June 2019, Dublin (Abstract)
- Bir ulusal konferansta yayın özeti ve sunumu (yayınlanmış durumda)
 - o Kakillioglu E. A., Fescioglu-Unver N., "Electric Vehicle Express Charge Station Management through Self-controlling Resource Allocation", Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi, 12-14 June 2019, Ankara (Abstract)
- Bir uluslararası SCI-index li makale (gönderildi değerlendirilme aşamasında) (makalenin değerlendirme aşamasındaki versiyonu sisteme ek dosya olarak yüklenmiştir)
 - o Kakillioglu E. A., Yıldız Aktaş M., Fescioglu-Unver N., "Self-Controlling Resource Management Model for Electric Vehicle Charge Stations with Priority Service", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (gönderildi)
- Bir uluslararası SCI-index li makale (yazım aşamasında)
 - o Fescioglu-Unver N., Yıldız Aktaş M., Kasnakoğlu C., "Self Controlling Delay Management Model with Feedback Control for Electric Vehicle Charging

Stations”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (yazım aşamasında)

KAYNAKÇA

- Abdelzaher, T. F., Shin, K. G., Bhatti, N., 2002, "Performance Guarantees For Web Server End-Systems: A Control-Theoretical Approach", *IEEE Transactions On Parallel And Distributed Systems*, 13(1), 80-96
- Abdelzaher, T., Diao, Y., Hellerstein, J. L., Lu, C., Zhu, X., 2008, "Introduction to Control Theory And Its Application to Computing Systems", *Performance Modeling and Engineering*, 185-215
- Akbari, H., Femando, X., 2016, "Futuristic Model of Electric Vehicle Charging Queues", *3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*
- Ammous, M., Belakaria, S., Sorour, S., Abdel-Rahim, A., 2019, "Joint Delay And Cost Optimization Of In-Route Charging For On-Demand Electric Vehicles", *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 5(1), 149-164
- Anil, A., Azeem, S., Panicker, B., Saifudeen, V. K., 2020, "Electric vehicle charging assistive system using internet of electric vehicles", *AIP Conference Proceedings*
- Bayram, I. S., Michailidis, G., Papapanagiotou, I., Devetsikiotis, M., 2016, "Decentralized control of electric vehicles in a network of fast charging stations", *2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2785-2790
- Bi, X., Tang, W. K. S., 2019, "Logistical Planning for Electric Vehicles Under Time-Dependent Stochastic Traffic", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(10)
- Cao, Y., Wang, T., Kaiwartya, O., Min, G., Ahmad, N., Abdullah, A. H., 2016, "An Ev Charging Management System Concerning Drivers' Trip Duration And Mobility Uncertainty", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48(4), 596-607
- Cao, Y., Yang, S., Min, G., Zhang, X., Song, H., Kaiwartya, O., Aslam, N., 2017, "A Cost-Efficient Communication Framework for Battery-Switch-Based Electric Vehicle Charging", *IEEE Communications Magazine*, 55(5), 162-169
- Chan, C. W., Huang, M., Sarhangian, V., 2019, New York: Columbia Business School
- Chen, J., Huang, X., Tian, S., Cao, Y., Huang, B., Luo, X., Yu, W., 2019, "Electric Vehicle Charging Schedule Considering User's Charging Selection From Economics", *IET Generation, Transmission & Distribution*, 13(15), 3388-3396
- Chen, X., Lin, J., Lin, B., Xiang, T., Zhang, Y., Huang, G., 2018, "*Self-learning and self-adaptive resource allocation for cloud-based software services*", *Concurrency and Computation Practice and Experience*
- Chung, H. M., Li, W. T., Yuen, C., Crespi, Noël, 2018, "Electric Vehicle Charge Scheduling Mechanism to Maximize Cost Efficiency and User Convenience", *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(3), 3020-3030
- De Weerd, M. M., Gerding, E. H., Stein, S., Robu, V., 2013, "Intention-Aware Routing To Minimise Delays At Electric Vehicle Charging", *Twenty-Third International Joint Conference on Artificial*
- Desaulniers, G., Errico, F., Irnich, S., Schneider, M., 2016, "Exact Algorithms for Electric Vehicle-Routing Problems with Time Windows", *Operations Research*, 64(6), 1388-1405
- Di Giorgio, A., Liberati, F., German`a, R., Presciuttini, M., Celsi, L. R., Priscoli, F. D., 2016, "On the Control of Energy Storage Systems for Electric Vehicles Fast Charging in Service Areas", *24th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*
- Diao, Y., Hellerstein, J. L., Parek, S., Griffith, R., Kaiser, G., Phung, D., 2005, "A Control Theory Foundation for Self-Managing Computing Systems", *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, 23(12), 2213-2222.
- Eldjalil, C. D. A., Lyes, K., 2017, "Optimal priority-queueing for EV charging-discharging service based on cloud computing", *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. Paris, France

- Ge, S., Feng, L., Liu, H., 2011, "The Planning of Electric Vehicle Charging Station Based on Grid Partition Method", *International Conference on Electrical and Control Engineering*, 2726-2730
- Gharbaoui, M., Valcarenghi, L., Brunoi, R., Martin, B., 2012, "An Advanced Smart Management System For Electric Vehicle", 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference, 1-8
- Global Electric Vehicle Outlook*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> (Son Erişim Tarihi: 04 09, 2020)
- Guo, C., Yang, J., Yang, L., 2018, "Planning of Electric Vehicle Charging Infrastructure for Urban Areas with Tight Land Supply", *Energies*, 11(9), 2314
- 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
- Gusrialdi, A., Qu, Z., Simaan, M.A., 2017, "Distributed Scheduling and Cooperative Control for Charging of Electric Vehicles at Highway Service Stations", *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 18(10), 2713-2727
- Hasanien, H. M., Abd-Rabou, A. S., Sakr, S. M., 2010, "Design Optimization of Transverse Flux Linear Motor for Weight Reduction and Performance Improvement Using Response Surface Methodology and Genetic Algorithms", *IEEE Transactions On Energy Conversion*, 25(3), 598-605
- Hasanien, H. M., Muyeen, S. M., 2012, "Design Optimization of Controller Parameters Used in Variable Speed Wind Energy Conversion System by Genetic Algorithms", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*
- Hosseini, M., MirHassani. S. A., 2015, "Selecting optimal location for electric recharging stations with queue", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(7), 2271-2280
- Hosseini, S., Sarder, M. D., 2019, "Development of a Bayesian network model for optimal site selection of electric vehicle charging station", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 105 (2019), 110-122.
- Hu, N., La Porta, T., Bartolini, N., 2015, "Self-Adaptive Resource Allocation for Event Monitoring with Uncertainty in Sensor Networks", *IEEE 12th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*
- Huang, D., He, B., Miao, C., 2014, "A survey of resource management in multi-tier web applications", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3), 1574-1590
- Jia, L., Hu, Z., Song, Y., Luo, Z., 2012, "Optimal siting and sizing of electric vehicle charging stations", *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*. Greenville, SC, USA
- Jiang, H. P., Chen, W. M., 2018, "Self-adaptive resource allocation for energy-aware virtual machine placement in dynamic computing cloud.» *Journal of Network and Computer Applications*, 120(2018), 119-129
- Kakillioğlu, E. A., 2018, "Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Seçimi Ve Ekspres Şarj İstasyonları İçin Adaptif Kaynak Atama Metodları Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi
- Kang, Q., Wang, J. B., Zhou, M. C., Ammari, A. C., 2016, "Centralized Charging Strategy and Scheduling Algorithm for Electric Vehicles Under a Battery Swapping Scenario", *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 17(3), 659-669
- Karaşan, A., Kaya, İ., Erdoğan, M., 2018, "Location Selection Of Electric Vehicles Charging Stations By Using A Fuzzy MCDM Method: A Case Study İn Turkey", *Neural Computing and Applications*, 32, 4553–4574
- Keskin, M., Çatay, B., 2018, "A matheuristic method for the electric vehicle routing problem with time windows and fast chargers", *Computers & Operations Research*, 100, 172-188
- Kramer, O., 2017, *Genetic Algorithm Essentials*
- Kumar, K. N., Tseng. K., 2016. "Efficiency Evaluation Of Coordinated Charging Methods Used For Charging Electric Vehicles", 2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT-Asia), 270-275

- Kumar, K. N., Sivaneasan, B., So, P. L., 2015, "Impact of Priority Criteria on Electric Vehicle Charge Scheduling", *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 1(3), 200-210
- Liu, B., Xie, Q., Modiano, E., 2019, "Reinforcement Learning for Optimal Control of Queueing Systems", *57th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*
- Logenthiran, T., Srinivasan, D., 2011, "Multi-Agent System for Managing a Power Distribution System with Plug-in Hybrid Electrical Vehicles in Smart Grid", *2011 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, India*
- Lu, C., Lu, Y., Abdelzaher, T. F., Stankovic, J. A., 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), 1014-1027
- Lu, F., Hua, G., 2015, "A Location-Sizing Model For Electric Vehicle Charging Station Deployment Based On Queueing Theory", *2015 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences*
- Malik, F. H., Lehtonen, M., 2017, "Minimization of Queueing Time of Electric Vehicles at a Fast Charging Station", *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*
- Miettinen, K. M., 1998, *Nonlinear Multiobjective Optimization*, USA
- Moradipari, A., Alizadeh, M., 2019, "Pricing And Routing Mechanisms For Differentiated Services In An Electric Vehicle Public Charging Station Network", *IEEE Transactions on Smart Grid* 11(2), 1489-1499
- Mousavi, S., Mosavi, A., Várkonyi-Kóczy, A. R., Fazekas, G., 2017, "Dynamic Resource Allocation in Cloud", *Acta Polytechnica Hungarica*, 14(4), 83-104
- Mukherjee, J. C., Gupta, A., 2015, "A Review of Charge Scheduling of Electric Vehicles in Smart Grid", *IEEE Systems Journal*, 9(4), 1541-1553
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, C. M., 2015, *Response Surface Methodology*. Wiley
- Neşeli, S., Asiltürk, İ., Yıldız, S., Sağlam, H., 2012, "Tornalama İşleminde Cevap Yüzey Metodu İle Kesme Kuvvetlerinin Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Modellenmesi", *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Ankara*. 442-455
- Nezamoddini, N., Wang, Y., 2016, "Risk Management And Participation Planning Of Electric Vehicles In Smart Grids For Demand Response", *Energy*, 116 (2016), 836-850
- Niu, L., Zhang, P., Wang, X., 2018, "Hierarchical Power Control Strategy On Small-Scale Electric Vehicle Fast Charging Station", *Journal Of Cleaner Production*, 199, 1043-1049
- Parekh, S., Gandhi, N., Hellerstein, J., Tilbury, D., Jayram, T., Bigus, J., 2002, "Using Control Theory To Achieve Service Level Objectives In Performance Management", *2001 IEEE/IFIP International Symposium on Integrated Network Management Proceedings Integrated Network Management VII. Integrated Management Strategies for the New Millennium (Cat. No.01EX470)*. Seattle, WA, USA
- Peng, H., Jinkuan, W., Yinghua, H., 2012, "Dynamic-Priority-Based Real-Time Charging Management for Plug-in", *Proceedings of the 31st Chinese Control Conference*.
- Qin, H., Zhan, 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
- Sadeghi-Barzani, P., Rajabi-Ghahnavieh, A., Kazemi-Karegar, H., "Optimal Fast Charging Station Placing And Sizing", *Applied Energy*, 125(2014), 289-299
- Said, D., Mouftah, H. T., 2019, "A Novel Electric Vehicles Charging/Discharging Management Protocol Based On Queueing Model", *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 5(1), 100-111
- Said, D., Cherkaoui, S., Khoukh, L., 2015, "Multi-Priority Queueing For Electric Vehicles Charging At Public Supply Stations With Price Variation", *Wireless Communications And Mobile Computing*, 15, 1049-1065

- Schneider, M., Stenger, A., Goeke, D., 2014, "The Electric Vehicle-Routing Problem with Time Windows and Recharging Stations", *Transportation Science*, 48(4), 500-520
- Stankovic, J. A., Lu, C., Son, S. H., Tao, G., 1999, "The case for feedback control real-time scheduling", *Proceedings of 11th Euromicro Conference on Real-Time Systems. Euromicro RTS'99*, 11-20
- Su, S., Li, H., Gao, D. W., 2017, "Optimal Planning of Charging for Plug-In Electric Vehicles Focusing on Users' Benefits", *Energies*, 10(7), 952
- Sun, B., Sun, X., Tsang, D. H. K., Whitt, W., 2019, "Optimal battery purchasing and charging strategy at electric vehicle battery swap stations", *European Journal of Operational Research*, 279(2), 524-539
- Sun, Y., Chen, Z., Li, Z., Tian, W., 2019, "EV Charging Schedule in Coupled Constrained Networks of Transportation and Power System", *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(5), 4706 - 4716
- Tan, J., Wang, L., 2017, "Real-Time Charging Navigation of Electric Vehicles to Fast Charging Stations: A Hierarchical Game Approach", *IEEE Transactions On Smart Grid*, 8(2), 846-856
- Tian, Z., Jung, T., Wang, Y., Zhang, F., Tu, L., Xu, C., 2016, "Real-time charging station recommendation system for electric-vehicle", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(11), 3098-3109
- Train, K. E., 2003, "Discrete Choice Methods with Simulation.» *Discrete Choice Methods with Simulation*", 342
- Vardakas, J. S., 2014, "Electric Vehicles Charging Management in Communication Controlled Fast Charging Stations", *IEEE 19th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, 115-119
- Vazifeh, M. M., Zhang, H., Santi, P., Ratti, C., 2019, "Optimizing The Deployment Of Electric Vehicle Charging Stations Using Pervasive Mobility Data", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121 (2019), 75-91
- Weeberb, J. R., Moataz, M., Christopher, D. H., Altaf, A., Mark, F., 2018, "How Clean Are Electric Vehicles? Evidence-Based Review Of The Effects Of Electric Mobility On Air Pollutants, Greenhouse Gas Emissions And Human Health", *Atmospheric Environment*, 185(2018), 64-77
- Xiao, D., An, S., Cai, H., Wang, J., Cai, H., 2020, "An optimization model for electric vehicle charging infrastructure planning considering queuing behavior with finite queue length", *Journal of Energy Storage*, 29, 101317
- Xiong, Y., Gan, J., An, B., Miao, C., Bazzan, A. L. C., 2017, "Optimal Electric Vehicle Fast Charging Station Placement Based on Game Theoretical Framework", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(8), 2493–2504
- Xu, Y., Pan, F., Tong, L., 2016, "Dynamic scheduling for charging electric vehicles: A priority rule", *IEEE Transactions on Automatic Control*, 61(12), 4094-4099
- Yang, Q., Sun, S., Deng, S., Zhao, Q., Zhou, M. C., 2019, "Optimal Sizing of PEV Fast Charging Stations With Markovian Demand Characterization", *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(4), 4457-4466
- Yao, L., Lim, W. H., Tsai, T. S., 2017, "A Real-Time Charging Scheme for Demand Response in Electric Vehicle Parking Station", *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(1), 52-62
- Yıldız Aktas, M., 2020, "Öz-Denetimli Elektrikli Araç Şarj İstasyonları İçin Geri Besleme Kontrolü Tabanlı Kaynak Yönetim Modeli", Yüksek Lisans Tezi
- You, P. C., Yang, Z., Chow, M. Y., Sun, Y., 2016, "Optimal Cooperative Charging Strategy for a Smart Charging Station of Electric Vehicles", *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(4), 2946 - 2956
- Yu, L., Jiang, T., Zou, Y., Sun, Z., 2016, "Joint Energy Management Strategy for Geo-Distributed Data Centers and Electric Vehicles in Smart Grid Environment", *IEEE Transactions On Smart Grid*, 7(5), 2378-2392

- Yudovina, E., Michailidis, G., 2015, "Socially Optimal Charging Strategies for Electric Vehicles", *IEEE Transactions On Automatic Control*, 60(3), 837-842
- Zakariazadeh, A., Jadid, S., Siano, P., 2014, "Multi-Objective Scheduling Of Electric Vehicles In Smart Distribution System", *Energy Conversion and Management*, 79(2014), 43-53
- Zengin, I., Vardakas, J. S., Zorba, N., Verikoukis, C. V., 2016, "Analysis And Quality Of Service Evaluation Of A Fast Charging Station For Electric Vehicles", *Energy*, 112(2016), 669-678
- Zhang, T., Chen, W., Han, Z., Cao, Z., 2014, "Charging Scheduling of Electric Vehicles With Local Renewable Energy Under Uncertain Electric Vehicle Arrival and Grid Power Price", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63(6), 2600-2612
- Zhang, X., Peng, L., Cao, Y., Liu, S., Zhou, H., Huang, K., 2020, "Towards Holistic Charging Management For Urban Electric Taxi Via A Hybrid Deployment Of Battery Charging And Swap Stations", *Renewable Energy*, 155, 703-716
- Zhang, Y., You, P., Cai, L., 2018, "Optimal Charging Scheduling By Pricing For Ev Charging Station With Dual Charging Modes", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(9), 3386-3396
- Zhu, J., Li, Y., Yang, J., Li, X., Zeng, S., Chen, Y., 2017, "Planning Of Electric Vehicle Charging Station Based On Queuing Theory", *The Journal of Engineering* 2017, 13, 1867-1871
- Zorlu *Energy Solutions*. <https://zes.net/elektrikli-arac-dunyasi.html> (son erişim tarihi: 09.04.2020)

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Dr. Öğr. Üyesi NİLGÜN FESCİOĞLU-ÜNVER
Proje No:	217M121
Proje Başlığı:	Elektrikli Araç Şarj İstasyonları İçin Ekspres Şarj Noktası Yönetim Metodları Geliştirilmesi
Proje Türü:	3001 - Başlangıç AR-GE
Proje Süresi:	24
Araştırmacılar:	COŞKU KASNAKOĞLU
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ Ü. MÜHENDİSLİK F. ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/03/2018 - 01/07/2020
Onaylanan Bütçe:	100000.0
Harcanan Bütçe:	89993.78
Öz:	<p>Electric Vehicles Initiative - EVI üyesi 16 ülke, yollarında 2030 yılında toplam 100 milyon elektrikli araç bulunmasını hedeflemektedir. Elektrikli araç bataryalarının dolumu için gerekli süre hızlı şarj istasyonlarında 30 dakikaya yakındır. Şarj süresinin uzunluğu, istasyonlarda oluşan kuyruk uzunluğunu ve araçların beklemeleri gereken süreyi de artırmaktadır. Bilgi ve iletişim teknolojilerini ulaşım alanına entegre eden Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) desteği ile bu süre azaltılabilir. Bu sürenin, araçların bir bölümü için daha da kısaltılabilmesi, ekspres şarj istasyonlarının oluşturulmasıyla mümkün olabilir. Bu projenin amacı, ekspres elektrikli şarj istasyonlarında uygulanmak üzere kaynak yönetim metodları geliştirmektir.</p> <p>Bu proje ile hızlı şarj istasyonlarında öncelikli şarj alanında kullanılmak üzere üç farklı yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen birinci yöntemle istasyonda şarj için bekleyen araçlar kuyruğunun araçların ihtiyaçlarına göre dinamik olarak sıralanması sağlanmıştır. Bu metotta CPU çizelgeleme alanında kullanılan yanıt süresi oranına göre sıralama (HRRN) kuyruk çizelgeleme modelinden faydalanılmıştır. Geliştirilen diğer iki ekspres şarj noktası yönetim modeli ise kontrol teorisi yöntemini kullanmaktadır. Kontrol teorisi temelli yöntemler, 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 (self-controlling) bir yapıya ulaşması sağlanmaktadır. Kontrol teorisi temelli ilk yöntem, farklı sınıflara yapacağı sunucu atamalarının bekleme oranına etkisini bir simülasyon modeli kullanarak tahmin etmekte ve kararını tahmin sonuçlarını kullanarak vermektedir. Kontrol tabanlı ikinci yöntem ise hedeflenen bekleme süreleri oranını sağlayacak sunucu dağılımına bir geri beslemeli kontrol metodu olan Orantısız İntegral Kontrol Metodu (Proportional İntegral Control) ile karar vermektedir.</p> <p>Geliştirilen metodların performansları simülasyon ortamında farklı koşullar altında test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Dinamik kuyruk sıralama metodunu araçların bekleme sürelerini beklenen şekilde değiştirmekte, kontrol teorisi tabanlı yöntemler de hedeflenen bekleme süreleri oranını başarıyla tutmaktadır. Bu proje ile akıllı ulaşım sistemleri çerçevesinde elektrikli araç ekspres şarj istasyonları için kendi kendini kontrol eden kaynak yönetim modelleri geliştirilmiştir.</p>
Anahtar Kelimeler:	Elektrikli araç, Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), Ekspres şarj
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır

Proje Yapılan Yayınlar:	<p>1- Self-controlling electric vehicle charging stations using feedback control (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>2- Dynamic Queue Reordering Model for Electric Vehicle Express Charge Stations (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>3- Electric Vehicle Express Charge Station Management through Self-controlling Resource Allocation (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>4- Electric Vehicle Express Charge Station Management through Self-controlling Resource Allocation (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>5- ÖZ-DENETİMLİ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI İÇİN GERİ BESLEME KONTROLÜ TABANLI KAYNAK YÖNETİM MODELİ (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi),</p> <p>6- ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU SEÇİMİ VE EKSPRES ŞARJ İSTASYONLARI İÇİN ADAPTİF KAYNAK ATAMA METODLARI GELİŞTİRİLMESİ (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi),</p>
-------------------------	--

TÜBİTAK