

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖZ-DENETİMLİ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI İÇİN GERİ
BESLEME KONTROLÜ TABANLI KAYNAK YÖNETİM MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike YILDIZ AKTAŞ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nilgün FESCİOĞLU ÜNVER

TEMMUZ 2020

TEZ BİLDİRİMİ

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

Melike YILDIZ AKTAŞ



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÖZ-DENETİMLİ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI İÇİN GERİ BESLEME
KONTROLÜ TABANLI KAYNAK YÖNETİM MODELİ

Melike Yıldız Aktaş

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

Danışman: Doç. Dr. Nilgün Fescioğlu Ünver

Tarih: Temmuz 2020

Günümüzde çevre kirliliğini azaltmak için ulaşım alanında atılan adımlardan biri elektrikli araç kullanımının artırılması ve alt yapısının düzenlenmesidir. Ancak elektrikli araçların tam şarj süresi hızlı şarj istasyonlarında dahi 30 dakikayı bulmaktadır. Uzun şarj sürelerinin istasyonlardaki kuyruk uzunluğunu ve araçların bekleme süresini artırması beklenmektedir. Araçların belli bir kısmının bekleme süresini azaltmak için ekspres şarj istasyonları oluşturulabilir. Bu çalışmanın amacı geri besleme kontrolü tabanlı ekspres şarj istasyonu yönetim modeli oluşturmaktır. Literatürde istasyon içerisinde daha verimli hizmet verebilmek adına hızlı şarj ihtiyacını öne çıkaran çalışmalar bulunmaktadır. Kuyruk uzunluğunu dikkate alarak araçların şarjını kısıtlayan, araçlar arası önceliğin belirlenerek depolamanın kontrol edildiği, araçların bazı özelliklere göre sıralandığı ve kuyruk modelinin çözüldüğü, iki

farklı önceliğe sahip olan araçlara şarj hizmeti verilirken hizmet kesme uygulamasının yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır.

Bu çalışmada, elektrikli şarj istasyonuna gelen araçlar yüksek ve düşük öncelikli olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Çalışmanın amacı, bu sınıfların ortalama bekleme sürelerinin oranını belirli bir seviyede tutmaktır. Hedeflenen bekleme süresi oranını istasyon belirler ve ilan eder. Belirlenen hedefi tutturmak için yüksek ve düşük öncelikli araçlara ayrılan kaynak sayısı gerçek zamanda dinamik olarak değiştirilmektedir. Bu değişiklik için geri beslemeli bir kontrol yöntemi olan oransal integral (proportional integral – PI) tabanlı bir kaynak kontrol mekanizması geliştirilmiştir.

Bu çalışma ile elektrikli araç şarj istasyonu alanında ilk kez yüksek ve düşük öncelikli araçların sahip olduğu şarj noktası sayısını dinamik olarak değiştiren bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemin tek istasyondaki performansı çeşitli şartlar altında incelenmiş ve çok sayıda istasyonun bulunduğu rekabetçi bir ortamdaki performansı da gözlenmiştir. Performans analizleri geliştirilen simülasyon modeli ile yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde geliştirilen yöntemin hedeflenen bekleme oranını gerçekleştirmekte ve beklenmedik çevresel etkiler karşısında hızlı bir şekilde toparlanabildiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Öz-denetim, Geri besleme kontrolü, Elektrikli araç, Ekspres şarj.

ABSTRACT

Master of Science

RESOURCE MANAGEMENT MODEL WITH FEEDBACK CONTROL FOR SELF-
CONTROLLED ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS

Melike Yıldız Aktaş

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

Supervisor: Assoc. Prof. Nilgün Fescioğlu Ünver

Date: July 2020

Today, one of the steps taken in the field of transportation to reduce environmental pollution is to increase the use of electric vehicles and to regulate its infrastructure. However, the full charge time of electric vehicles takes up to 30 minutes, even at fast charging stations. Long charging times are expected to increase the queue length at the stations and the waiting time of the vehicles. Express charging stations can reduce the waiting time of a certain part of the vehicles. The aim of this study is to create an express charge station management model based on feedback control.

There are studies in the literature that emphasize the need for fast charging in order to provide more efficient service within the station. There are studies that restrict the charge of the vehicles by taking into account the length of queue, the priority between the vehicles is determined and the storage is controlled, the vehicles are sorted

according to the "Remaining Time" features and the queue model is solved, and the service is interrupted while charging is provided to the vehicles with two different priorities.

In this study, the vehicles coming to the electric charging station are divided into two classes with high and low priority. The aim of the study is to keep the ratio of average waiting times of these classes at a certain level. The station determines and announces the targeted waiting time rate. The number of resources allocated to high and low priority vehicles to meet the target set is dynamically changed in real time. For this change, a proportional integral (PI) based source control mechanism, a feedback control method, has been developed.

With this study, for the first time in the field of electric vehicle charging station, the method that dynamically changed the number of charging points owned by high and low priority vehicles was developed. The performance of this developed method in a single station was examined under various conditions and its performance in a competitive environment with multiple stations was also examined. Performance analysis was done with the developed simulation model. When the results are examined, it is observed that the developed method achieves the targeted waiting rate and can recover quickly against unexpected environmental effects.

Keywords: Self-control, Feedback control, Electrical vehicle, Express charge.

TEŞEKKÜR

Eğitim süresi boyunca burs imkanı sağladığı için TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Doç. Dr. Nilgün FESCIOĞLU ÜNVER'e, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve Elektrik Elektronik Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Coşku KASNAKOĞLU'na, jüri üyelerine, destekleriyle her zaman yanımda olan eşim Yasin Furkan AKTAŞ'a, aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Bu çalışma 217M121 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
1 GİRİŞ	1
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Elektrikli Araçları Şarj İstasyonları Arasında Yönlendirerek İstasyonlar Arası Talep Dağılımını Düzenleyen Çalışmalar	6
2.2 Şarj İstasyonlarının Konumlandırılması ve Boyutlandırılması Konusundaki Çalışmalar.....	8
2.3 Şarj İstasyonlarındaki Elektrik Akıllı Şebeke Aracılığı ile Yönetilmesi ve Maliyet Minimizasyon Çalışmaları	10
2.4 Şarj İstasyonlarında Öncelikli Şarj Alanında Yapılan Çalışmalar	11
2.5 Diğer Alanlarda Sunucu Sayısını Dinamik Olarak Değiştiren veya Kontrol Teorisini Kullanan Çalışmalar	13
3 EKSPRES ŞARJ İSTASYONU YÖNETİM MODELİ	17
3.1 Ekspres Şarj İstasyonu Yerleşim, İşleyişi ve Performans Kriterleri	17
3.1.1 Ekspres şarj istasyonu yerleşim ve işleyişi	17
3.1.2 Ekspres şarj istasyonu performans kriterleri	19
3.2 Kapalı Çevrim Kontrol Metodu	20
3.2.1 Kapalı çevrim kontrol metodunun işleyişi	21
3.2.2 PI kontrol algoritması.....	25
3.2.3 Kontrolör tasarımı	25
3.3 Açık Çevrim Kontrol Metodu	27
3.4 Sabit Sunucu	27
4 SİMÜLASYON MODELİ	29
5 SİSTEM TANIMLAMA YÖNTEMİ İLE KONTROL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	33
5.1 Sistem Tanımlama.....	33
5.1.1 Örneklem zamanı (Sampling Time – Ts) belirleme.....	33
5.1.2 Deney tasarımı	36
5.1.3 Sistemin matematiksel modelinin oluşturulması	39
5.2 Kontrol Parametrelerinin Belirlenmesi	40
5.3 Sonlanmış Bekleme ile Kontrol (SBK) Metodu	40
5.3.1 Sistem tanımlama	40

5.3.2	Kontrolör tasarımı	43
5.3.3	Simülasyon modeli	44
5.3.4	Performans analizi	44
5.4	Devam Eden Bekleme ile Kontrol (DBK) Metodu	48
5.4.1	Sistem tanımlama	49
5.4.2	Kontrolör tasarımı	51
5.4.3	Simülasyon modeli	52
5.4.4	Performans analizi	52
6	YÜZEY TEPKİ METODU İLE KONTROL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ.....	67
6.1	Yöntem	67
6.1.1	Yüzey tepki metodu	67
6.1.2	Genetik algoritma ile tasarım optimizasyonu	68
6.2	YTM ve GA ile Kontrol Parametrelerinin Belirlenmesi	69
6.2.1	Örnekleme zamanının (T_s) 1.5 olduğu sistemde uygulama	72
6.3	Sistem Simülasyonu	86
6.4	Performans Analizi	86
6.4.1	Farklı araç sınıfı oranlarının sistem performansına etkisi	86
6.4.2	Gerçek zamanlı performans	90
6.4.3	Doluluk oranına duyarlılık	94
6.4.4	Ani değişikliklere karşı tepki süresi	96
7	TEK İSTASYONDA PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI.....	99
7.1	Farklı Doluluk Oranlarında Performans Karşılaştırması	99
7.2	Gerçek Zamanlı Performans Analizi	107
7.3	Ani Değişikliklere Karşı Tepki Süresi	113
7.4	Analiz Özeti	118
8	ÇOKLU İSTASYONDA PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI.....	119
8.1	Çoklu İstasyon Simülasyon Modeli	119
8.2	Karar Değişiminin Yapılamadığı Çoklu İstasyon Modellerinde Performans Karşılaştırması	121
8.2.1	Kapalı çevrim istasyonların bulunduğu çoklu istasyon modeli	121
8.2.2	Açık çevrim istasyonların bulunduğu çoklu istasyon modeli	127
8.3	Müşteri Karar Değişim Modeli	132
8.4	Karar Değişiminin Yapılabildiği Çoklu İstasyon Modelinde Performans Analizi	134
8.5	Analiz Özeti	138
9	TARTIŞMA VE GELECEK ÇALIŞMALAR.....	141
	KAYNAKLAR.....	145
	EKLER.....	149
	ÖZGEÇMİŞ.....	162

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3-1: Ekspres şarj istasyonlarında yerleşim modeli.....	18
Şekil 3-2: Kapalı çevrim kontrol metodunun mekanizması.....	21
Şekil 4-1: Arena simülasyon modeli ekran görüntüsü	29
Şekil 4-2: Isınma periyodunun belirlenmesi – araçların dakika cinsinden bekleme süreleri.....	31
Şekil 5-1: Zamana bağlı bekleme farklarının değişimi	34
Şekil 5-2: Örneklem zamanı ve doluluk oranının bekleme farkı üzerindeki etkisi....	35
Şekil 5-3: Kaynak atama değişim oranları	37
Şekil 5-4: Kaynak atama aralığının bekleme farkı üzerindeki etkisi	37
Şekil 5-5: Kaynak oranına göre bekleme fark değişimi.....	38
Şekil 5-6: Tek tekrar ve 30 tekrardan alınan sonuçların karşılaştırılması.....	38
Şekil 5-7: Fark değerinin 30 tekrar için %90 güven aralığı.....	39
Şekil 5-8: SBK modeli için kaynak değişiminin dalgalı 1-13 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin simule edilen çıktı grafikleri	41
Şekil 5-9: SBK modeli için kaynak değişiminin dalgalı 1-13 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin 5 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri	41
Şekil 5-10: SBK modeli için kaynak değişiminin dalgalı 1-13 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin 1 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri	42
Şekil 5-11: SBK modeli için kaynak değişiminin dalgalı 6-8 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin 1 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri	42
Şekil 5-12: SBK modelinde kaynak değişiminin dalgalı 1-13 hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin 1 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri.....	43
Şekil 5-13: SBK metodunda 10 dakikalık zaman aralıklarında gerçekleşen fark.....	47
Şekil 5-14: SBK metodunda 10 dakikalık zaman aralıklarında kontrolör tarafından yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı.....	47
Şekil 5-15: SBK metodunda araçların sınıflara göre ortalama bekleme süreleri.....	48
Şekil 5-16: SBK metodunda 20 dakikalık zaman aralıklarında gerçekleşen fark.....	48
Şekil 5-17: DBK modelinde kaynak değişiminin dalgalı 1-13 hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin 1 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri.....	49
Şekil 5-18: DBK metodunda her hedeflenen bekleme oranının kendi model ve parametresi ve farklı araç oranlarında alınan sonuçlar	58
Şekil 5-19: DBK metodunda hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistemde ARMAX(6, 3, 1, 2) modelinin kontrol parametreleri ve farklı araç oranlarında alınan sonuçlar	58

Şekil 5-20: DBK metodunda hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistemde ARX(3, 1, 2) modelinin kontrol parametreleri ve farklı araç oranlarında alınan sonuçlar	59
Şekil 5-21: DBK metodunda hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistemde ARMAX(6, 3, 1, 2) modelinin kontrol parametreleri ve tüm hedeflenen bekleme oranı ve tüm araç oranlarında alınan sonuçlar	59
Şekil 5-22: DBK metodunda 10 dakikalık örneklem zamanında gerçekleşen fark ...	60
Şekil 5-23: DBK metodunda kontrolör tarafından yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı.....	61
Şekil 5-24: DBK metodunda araçların sınıflara göre ortalama bekleme süreleri	61
Şekil 5-25: DBK metodunda 10 dakikalık zaman aralığında gerçekleşen farkın güven aralığı.....	62
Şekil 5-26: DBK metodunda 20 dakikalık örneklem zamanında gerçekleşen fark ...	63
Şekil 5-27: DBK metodunda 20 dakikalık zaman aralığında gerçekleşen farkın güven aralığı.....	63
Şekil 5-28: DBK metodunda 1 koşutrum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı.....	65
Şekil 5-29: DBK metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı	65
Şekil 6-1: Yanıt yüzeyi yöntemi akış şeması	72
Şekil 6-2: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıt1) için varyans analizi tablosu	73
Şekil 6-3: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıt1) için model özeti tablosu.....	74
Şekil 6-4: $T_s = 1.5$ başlangıç deney tasarımı tepki süresi residual grafiği.....	75
Şekil 6-5: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıkıt2) için varyans analizi tablosu	76
Şekil 6-6: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıkıt2) için model özeti tablosu.....	76
Şekil 6-7: $T_s = 1.5$ başlangıç deney tasarımı yüzde sapma residual grafiği	76
Şekil 6-8: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı pareto optimal noktalar	78
Şekil 6-9: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı ve pareto optimal noktalar	80
Şekil 6-10: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının tepki süresi için varyans analizi tablosu.....	82
Şekil 6-11: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının tepki süresi için model özeti tablosu	82
Şekil 6-12: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı tepki süresi residual grafiği.....	83
Şekil 6-13: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının yüzde sapma için varyans analizi tablosu.....	83
Şekil 6-14: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının yüzde sapma için model özeti tablosu	84
Şekil 6-15: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı yüzde sapma residual grafiği	84
Şekil 6-16: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı pareto optimal noktalar	85
Şekil 6-17 : $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı ve pareto optimal noktaların grafik üzerinde gösterilmesi.....	86
Şekil 6-18: Her araç oranı ve her hedeflenen bekleme oranı için yüzde sapma grafiği	88
Şekil 6-19: Her araç oranı ve her hedeflenen bekleme oranı için ortalama fark grafiği	89
Şekil 6-20: Her araç oranı ve her hedeflenen bekleme oranı için gerçekleşen bekleme oranı değeri.....	90

Şekil 6-21: Kapalı çevrim kontrol metodunda 1 koşturum için her bir örneklem zamanında talep edilen sunucu sayısı	90
Şekil 6-22: Kapalı çevrim kontrol metodunda 1 koşturum için her bir örneklem zamanında araçlar arası bekleme farkı	91
Şekil 6-23: 1 koşturum için daha dar bir aralıkta talep edilen sunucu sayısı	92
Şekil 6-24: 1 koşturum için daha dar bir aralıkta araçlar arası bekleme farkı	92
Şekil 6-25: Kapalı çevrim kontrol metodunda her bir örneklem zamanında araçların bekleme süresi	93
Şekil 6-26: 9 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süresi	94
Şekil 6-27: 18 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süresi	94
Şekil 6-28: Örneklem zamanına bağlı olarak araçlar arası bekleme farkı – tek koşturum	96
Şekil 6-29: Örneklem zamanına bağlı olarak araçlar arası bekleme farkının güven aralığı	97
Şekil 6-30: Hedeflenen bekleme oranı değişimine bağlı olarak tepki süresinin değişimi	98
Şekil 7-1: Kapalı çevrim kontrol metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma	100
Şekil 7-2: Açık çevrim kontrol metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma	100
Şekil 7-3: Sabit sunucu 2 metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma grafiği	101
Şekil 7-4: Kapalı çevrim kontrol metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma	102
Şekil 7-5: Açık çevrim kontrol metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma	103
Şekil 7-6: Sabit sunucu 2 metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma grafiği	103
Şekil 7-7: Kapalı çevrim kontrol metodu - %85 doluluk oranında yüzde sapma	105
Şekil 7-8: Açık çevrim kontrol metodu - %85 doluluk oranında yüzde sapma	105
Şekil 7-9: Sabit sunucu 2 metodu - %85 doluluk oranında yüzde sapma grafiği	106
Şekil 7-10: Kapalı çevrim kontrol metodunda yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı	108
Şekil 7-11: Kapalı çevrim kontrol metodunda araçlar arası bekleme farkının değişimi	108
Şekil 7-12: Kapalı çevrim kontrol metodunda 18 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süresi	109
Şekil 7-13: Açık çevrim kontrol metodunda yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı	110
Şekil 7-14: Açık çevrim kontrol metodunda araçlar arası bekleme farkının değişimi	110
Şekil 7-15: Açık çevrim kontrol metodunda 18 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süreleri	111
Şekil 7-16: Sabit sunucu 2 metodunda sunucu sayısının 8-6 olduğu durumda araçlar arası bekleme farkı	112
Şekil 7-17: Sabit sunucu 2 metodunda sunucu sayısının 8-6 olduğu durumda 18 dakikalık zaman diliminde sınıfların bekleme süresi	112
Şekil 7-18: Kapalı çevrim kontrol metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı	114
Şekil 7-19: Kapalı çevrim metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı	114
Şekil 7-20: Açık çevrim kontrol metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı	115
Şekil 7-21: Açık çevrim metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı	116

Şekil 7-22: Sabit 2 metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı (8-6).....	116
Şekil 7-23: Sabit 2 metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı (8-6).....	117
Şekil 7-24: Farklı hedeflenen bekleme oranı değerlerinde tepki süresinin değişimi	117
Şekil 8-1: Çoklu istasyon simülasyon modeli	120
Şekil 8-2: İstasyonların ve araç giriş çıkış noktalarının 20*20 km ² 'lik bir alanda dağılımı.....	120
Şekil Ek1-1: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıtı1) için varyans analizi tablosu	151
Şekil Ek1-2: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıtı 1) için model özeti tablosu.....	151
Şekil Ek1-3: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı tepki süresi residual grafiği	152
Şekil Ek1-4: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıkıtı 2) için varyans analizi tablosu	153
Şekil Ek1-5: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıkıtı 2) için model özeti tablosu.....	153
Şekil Ek1-6: $T_s = 3$ başlangıç deney tasarımı tepki süresi residual grafiği	153
Şekil Ek1-7: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı pareto optimal noktalar.....	154
Şekil Ek1-8: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı ve pareto optimal noktaların grafik üzerinde gösterilmesi.....	156
Şekil Ek1-9: $T_s=3$ için başlangıç deney noktaları ve bir sonraki adımda ilerlemesi hedeflenen bölge	156
Şekil Ek1-10: $T_s=3$ için 6. deney tasarımı noktaları ile tepki süresi için oluşturulan modelin sonuçları	158
Şekil Ek1-11: $T_s=3$ için 6. deney tasarımı noktaları ile tepki süresi için oluşturulan modelin R^2 değeri sonuçları	158
Şekil Ek1-12: $T_s=3$ için 6. deney tasarımı noktaları ile yüzde sapma için oluşturulan modelin sonuçları	158
Şekil Ek1-13: $T_s=3$ için 6. deney tasarımı noktaları ile yüzde sapma için oluşturulan modelin R^2 değeri sonuçları	159
Şekil Ek1-14: $T_s=3$ için 6. deney tasarımı için pareto optimal noktalar.....	159
Şekil Ek1-15: $T_s= 3$ için 6. deney tasarımı ve pareto optimal noktalar	160

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3-1: Yönetim metotlarının karşılaştırılması	20
Çizelge 5-1: SBK modelinde farklı hedeflenen bekleme oranı değerleri için seçilen sistem modelleri.....	43
Çizelge 5-2: SBK modelinde farklı hedeflenen bekleme oranı değerleri için seçilen kontrolör parametreleri	44
Çizelge 5-3: SBK modelinde hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu koşullarda araç oranı değişimi.....	45
Çizelge 5-4: SBK modelinde hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.2 olduğu koşullarda araç oranı değişimi.....	45
Çizelge 5-5: DBK metodunda farklı hedef bekleme oranı değerleri için seçilen sistem modelleri.....	50
Çizelge 5-6: DBK metodunda farklı hedeflenen bekleme oranı değerleri için seçilen kontrolör parametreleri	52
Çizelge 5-7: DBK metodunda her hedeflenen bekleme oranı değerinin kendi model ve parametresi ile alınan sonuçlar.....	54
Çizelge 5-8: DBK metodunda hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistemde ARMAX(6, 3, 1, 2) modelinin kontrol parametreleri ile alınan sonuçlar.....	55
Çizelge 5-9: DBK metodunda hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistemde ARX(3, 1, 2) modelinin kontrol parametreleri ile alınan sonuçlar....	56
Çizelge 5-10: DBK metodunda farklı doluluk oranlarında fark ve gerçekleşen bekleme oranı.....	64
Çizelge 6-1: CCD tasarım matrisi	68
Çizelge 6-2 : $T_s = 1.5$ modelinin ilk deney tasarımı	73
Çizelge 6-3: MATLAB genetik algoritma karakteristikleri.....	77
Çizelge 6-4: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımında pareto optimal noktaların çıktı sonuçları.....	79
Çizelge 6-5: $T_s = 1.5$ için 2. deney tasarımında pareto optimal noktaların çıktı sonuçları.....	81
Çizelge 6-6: $T_s = 1.5$ modelinin 3. deney tasarımı	82
Çizelge 6-7: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımında pareto optimal noktaların çıktı sonuçları.....	87
Çizelge 6-8: Farklı doluluk oranlarında gerçekleşen fark ve bekleme oranı	95
Çizelge 7-1: Sabit sunuculu sistemlerde yüksek öncelikli araçların sahip olduğu sunucu sayısı.....	101

Çizelge 7-2: Sabit sunucu 2 metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma değerleri	101
Çizelge 7-3: Sabit sunucu 2 metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma değerleri	104
Çizelge 7-4: Sabit sunucu 2 metodu - %85 doluluk oranında yüzde sapma değerleri	106
Çizelge 7-5: Yüksek öncelikli araç oranının 0.5 olduğu durumlarda gerçekleşen bekleme oranları	107
Çizelge 7-6: Farklı doluluk oranlarında ortalama fark değerleri (yüksek öncelikli araç oranı = 0.5, hedeflenen bekleme oranı = 1.5)	113
Çizelge 8-1: Kapalı çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların bekleme süreleri	123
Çizelge 8-2: Kapalı çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların istasyonları tercih etme sayısı	124
Çizelge 8-3: Kapalı çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunmadığı durumda araçların bekleme süreleri	125
Çizelge 8-4: Kapalı çevrim çoklu istasyonda günlük bazda mesafe matrisinin olmadığı durumda araçların istasyonları tercih etme sayısı	126
Çizelge 8-5: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların bekleme süreleri	128
Çizelge 8-6: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunduğu durumda araçların sayısı	129
Çizelge 8-7: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunmadığı durumda araçların bekleme süreleri	130
Çizelge 8-8: Açık çevrim çoklu istasyonda mesafe matrisinin bulunmadığı durumda araçların sayısı	131
Çizelge 8-9 : Öncelik değişiminin yapılabildiği kapalı istasyon modelinde bekleme süreleri	134
Çizelge 8-10: Öncelik değişiminin yapılabildiği kapalı istasyon modelinde gerçekleşen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı	135
Çizelge 8-11. Öncelik değişiminin yapılabildiği kapalı istasyon modelinde günlük bazda araç sayıları	136
Çizelge 8-12. Öncelik değişiminin yapılabildiği açık istasyon modelinde bekleme süreleri	137
Çizelge 8-13: Öncelik değişiminin yapılabildiği açık istasyon modelinde gerçekleşen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı	138
Çizelge 8-14. Öncelik değişiminin yapılabildiği açık istasyon modelinde günlük bazda araç sayıları	139
Çizelge Ek1-1: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yanıtları	150
Çizelge Ek1-2: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı - pareto optimal noktaların gerçek çıktı sonuçları	155
Çizelge Ek1-3 : $T_s=3$ için 6. deney tasarımı noktalarının yanıtları	157
Çizelge Ek1-4: $T_s=3$ için 6. deney tasarımı için elde edilen noktaların çıktı sonuçları	161

1 GİRİŞ

Elektrikli arabalar, klasik otomobillerin 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 araçların 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 artmasını, hava kalitesinin artmasını ve sağlık sorunlarının azalmasını sağlar (Weeberb ve diğ., 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 uzunyollar 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 şarj istasyonlarındaki kuyruğu yönetmek için 2 tip müşteri olabileceği düşünülmüştür. Daha hızlı şarj olmak için belirli bir ücret ödeyerek VIP olmayı seçen müşteriler yüksek öncelikli, diğer müşteriler düşük öncelikli araçlar olarak belirlenmiştir.

Ekspres şarj istasyonları ile araç sınıfları arasındaki bekleme oranı belirlenen hedef oranda tutulmak istenmektedir. Bu doğrultuda sunucuların (şarj noktası/pompa) araç sınıflarına dinamik olarak atanması işlemi oransal integral (Proportional Integral – PI) kontrolör kullanılarak yapılmıştır.

Literatürde araçların toplam yolculuk süresini azaltmak için çalışmalar bulunmaktadır. Şarj istasyonlarının yerini ve büyüklüğünü belirleyerek araçlardan alınan yer ve şarj bilgisi gibi bilgilerin toplanarak araçları istasyonlara yönlendiren, istasyon içerisinde kuyruk uzunluğunu belirli seviyede tutarak ve şarj etme sınırı koyarak çeşitli fiyatlandırmalarla talep dağılımını düzenleyen çalışmalar mevcuttur. Literatürde istasyon içerisinde araçları ve kuyrukları düzenleyen çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte elektrikli araç şarj istasyonları için kontrol metodunu kullanarak kaynak ataması yapan tek bir çalışmaya rastlanmıştır. Kakillioğlu (2018) tez çalışmasında kaynakları dinamik olarak atamak için simülasyon ile gelecek durum tahmini yapan bir kontrol mekanizması geliştirmiştir. Kakillioğlu (2018) tez çalışmasında araçların talep ettikleri servis sürelerinin önceden kesin olarak bilindiğini varsaymaktadır. Bu tez çalışmasında ise servis sürelerinin bilinmediği durumda hedeflenen bekleme oranını elde etmek için oransal integral kontrol yöntemini kullanan gerçek zamanlı bir kaynak atama mekanizması geliştirilmiştir.

Geliştirilen modeller Rockwell Automation tarafından üretilmiş olan Arena Simulation 14 paket programında çalıştırılmıştır. Program içerisinde bulunan Visual Basic dili ile gerekli kodlamalar yapılmıştır. Koşullar Intel Core i5-3230M 2.6GHz işlemcili, 4 GB Hafızaya sahip 2 çekirdekli bilgisayarda yapılmıştır. Performans analizlerindeki tüm güven aralığı hesaplarında α (tip I hata olasılığı) değeri 0.10 kabul edilmiştir.

Tezin 2. Bölümünde literatür araştırması sunulmakta, 3. Bölümünde ekspres şarj istasyonu yönetim sistemi, performans kriterleri, bu tez kapsamında geliştirilen kapalı çevrim ve karşılaştırmalarda kullanılan açık çevrim kontrol metodunun (Kakillioğlu, 2018) işleyişi tanımlanarak bu metodların birbirinden ve sabit sunuculu sistemlerden farkları anlatılacaktır. 4. Bölümde simülasyon modeli, 5. Bölümde sistem tanımla yöntemi ile kontrol parametrelerinin belirlenmesi, sonlanmış bekleme ve devam eden bekleme kontrol metodları anlatılacaktır. 6. Bölümde ise yüzey tepki metodu ile kontrol parametrelerinin belirlenmesi ve genetik algoritma ile tasarım optimizasyonu yönteminden ve kontrol parametrelerinin bulunmasından bahsedilecektir.

7. Ve 8. Bölümlerde sırasıyla tekli istasyonda ve çoklu istasyonda performans karşılaştırmaları detaylı bir şekilde açıklanacaktır. 9. Bölümde tartışma ve gelecek çalışmalar anlatılacaktır.





2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

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 bulundurulan 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.

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 kullanılmaması 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 kuyrukları 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 sınıır, teorik alt sınıırın 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 Elektriğin Akıllı Şebeke Aracılığı ile Yönetilmesi ve Maliyet Minimizasyon Çalışmaları

Şarj istasyonlarında akıllı şebeke aracılığıyla elektriğin yönetilmesi ve maliyetlerin azaltılması çalışmaları literatürde sıklıkla rastlanmaktadır. Nezamoddini ve Wang (2016) çalışmasında akıllı şebeke üzerindeki elektriğin 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 paylaşmalarına 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/şarjının boşaltılması amacıyla çok amaçlı bir planlama yöntemi önermektedir. Çalışmada toplam operasyonel maliyetleri ve gaz emisyonlarını 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 alarak 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 geliştirilen 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.

Zenginisi 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 kuyruktaki 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 işlemi 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, öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması ve gri kurt optimizasyon algoritmasının hibrit halidir.

Lu ve diğ. (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 gözetilmesi 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 tez çalışmasının literatürdeki diğer çalışmalardan farkları; 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 yapılmasıdır.





3 EKSPRES ŞARJ İSTASYONU YÖNETİM MODELİ

Ekspres şarj istasyonu yönetim modeli, şarj olmak için istasyonlara gelmiş ve kuyrukta beklemekte olan araçları belirlenen zaman dilimi içerisinde belirlenen kurala göre sıralar. Bu şekilde kısa süre şarj olmak isteyen araçların daha az beklemeleri sağlanır. Geliştirilen yöntem literatürdeki benzer çalışmalardan (Kakillioğlu, 2018), (Peng ve diğ., 2012), (Said ve diğ., 2015), (Kumar ve diğ., 2015), (Eldjalil ve Lyes, 2017) bazı yönleri ile ayrılır. Temel farklar araçların istasyona gelmeden önce kendi durumu ile ilgili herhangi bir bilgi verme gereksiniminin bulunmaması ve kontrol teorisinin kullanılmasıdır.

Bölüm 3.1’de geliştirilen ekspres şarj istasyonu yönetim modellerinin tümü için geçerli olan işleyiş mantığı, modelin işleyişi ve performans kriterleri, Bölüm 3.2’de kapalı çevrim kontrol metodu ayrıntılı olarak, Bölüm 3.3 ve 3.4’te sırasıyla açık çevrim kontrol metodu ve sabit sunucu sistemlerinin işleyişi kısaca anlatılmaktadır.

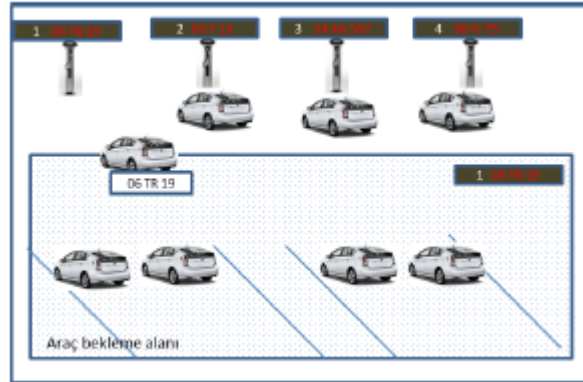
3.1 Ekspres Şarj İstasyonu Yerleşim, İşleyişi ve Performans Kriterleri

3.1.1 Ekspres şarj istasyonu yerleşim ve işleyişi

Çalışma kapsamında şarj istasyonunda bulunan elektrikli araçlardan bir kısmının sistemdeki bekleme sürelerinin daha az olmasını sağlayan ekspres şarj istasyonu yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemlerin performansının ölçülebilmesi için öncelikle tek istasyon, daha sonra çoklu istasyon modelleri simülasyon ortamında oluşturulmuştur. Araçlar şarj istasyonuna gelmeden önce varış zamanları ve şarj olana kadar şarj süreleri ile ilgili herhangi bir bilgiyi istasyon ile paylaşmamaktadır ve çoklu istasyon modellerinde istasyon seçimini dağıtık olarak yapmaktadırlar.

Ekspres şarj yöntemlerinin çalışma prensibinin uygulandığı istasyon modeli Şekil 3-1’de gösterilmiştir. 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 3-1: Ekspres şarj istasyonlarında yerleşim modeli

Bu çalışmada ekspres şarj istasyonlarında uygulanmak üzere geliştirilen yöntem kapalı çevrim kontrol metodudur. Bu metod, farklı araç sınıflarının bekleme süreleri oranını belli bir seviyede tutacak şekilde şarj istasyonunda sunucu atamasını araç sınıflarına dinamik bir şekilde yapmaktadır. Geliştirilen ilk model kuyrukta beklemeyi tamamlamış araçların bekleme sürelerini, ikinci model ise henüz kuyrukta beklemekte olan araçların ortalama bekleme sürelerini kullanmaktadır. Böylelikle istasyon kendi kendini yöneten bir sistem halini almaktadır. Kapalı çevrim kontrol metodunda araç sınıflandırılması ücret ödeyerek VIP olan yüksek öncelikli araçlar ve düşük öncelikli araçlar olarak ikiye ayrılmıştır.

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.

- c. Boş sunucu yoksa gelen aracı bekleme alanına yönlendirir.
- d. 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.
- e. 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.

3.1.2 Ekspres şarj istasyonu performans kriterleri

Ekspres şarj istasyonu yönetim modelinin performansını ölçmek amacıyla dört adet amaç belirlenmiştir. Bu amaçları hesaplamak için kullanılan bazı veriler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

HpBekleme: Yüksek öncelikli araçların bekleme süresi

LpBekleme: Düşük öncelikli araçların bekleme süresi

1. Sınıflar arası bekleme farkı: Performans kriterlerinden ilki olan sınıflar arası bekleme farkının 0 olması beklenmektedir. Bu değer Eşitlik 3.1 ile hesaplanır.

$$\text{Fark} = \text{HpBekleme} * \text{Hedeflenen Bekleme Oranı} - \text{LpBekleme} \quad (3.1)$$

2. İstasyonun önceden belirlemiş olduğu ve araç sınıfları arasındaki bekleme oranının hedeflenen bekleme oranı değerinden yüzde sapma miktarı: Yüzde sapma miktarının mümkün olduğu kadar sıfıra yakın olması gerekmektedir. Bu değer Eşitlik 3.2 ile hesaplanır.

$$\text{Yüzde Sapma Miktarı} = \frac{100 * (\text{HpBekleme} * \text{Hedef Bekleme Oranı} - \text{LpBekleme})}{(\text{HpBekleme} * \text{Hedef Bekleme Oranı})} \quad (3.2)$$

3. Bekleme Oranı: Araçlar arasındaki gerçekleşen bekleme oranının hedeflenen bekleme oranı değerine yakın olması istenmektedir. Bu değer Eşitlik 3.3 ile hesaplanır.

$$\text{Gerçekleşen Bekleme Oranı} = \text{LpBekleme} / \text{HpBekleme} \quad (3.3)$$

4. Tepki Süresi: Sistemin dışardan gelecek bozucu etkiler karşısında tekrar toplanarak 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. Koşurumun 15000. Dakikasında sisteme 20 tane yüksek öncelikli araç aynı anda gönderilir ve sistemin hangi anda kararlı hale geldiği ölçülür. Koşurum toplamda 30000 dakika çalıştırılır.

Bu çalışmada geliştirilen kapalı çevrim kontrol metodu (PI Kontrol), Kakillioğlu (2018) tarafından geliştirilen açık çevrim kontrol metodu ve her iki araç sınıfının da sabit sayıda sunucuya sahip olduğu yönetim metoduyla, bu performans kriterleri açısından karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırılan metotlar arasındaki en önemli fark metotların ihtiyaç duydukları ek bilgiler ve boşalan sunucuyu atayacakları sınıfı belirlerken kullandıkları yöntemdir. Çizelge 3-1’de metotlar ihtiyaç duydukları ek bilgiler açısından karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 3-1: Yönetim metotlarının karşılaştırılması

Yöntem	Geliş Zamanı Bilgisi	Şarj Süresi Bilgisi
Kapalı Çevrim Kontrol Metodu	Evet	Hayır
Açık Çevrim Kontrol Metodu	Evet	Evet
Sabit Sunucu	Hayır	Hayır

Bölüm 3.2’de geliştirilen kapalı çevrim kontrol metodu, Bölüm 3.3 ve 3.4’te karşılaştırmada kullanılan açık çevrim kontrol metodu ve sabit sunuculu şarj metotlarının işleyişiyle ilgili detaylı bilgi sunulmaktadır.

3.2 Kapalı Çevrim Kontrol Metodu

Kapalı çevrim kontrol metodu yüksek ve düşük öncelikli araçların bekleme sürelerinin oranını önceden belirlenmiş olan hedeflenen bekleme oranı değerinde tutmayı amaçlar. Bu doğrultuda her örneklem zamanı içerisinde sunucuların araç sınıflarına atamasını gerçekleştirir.

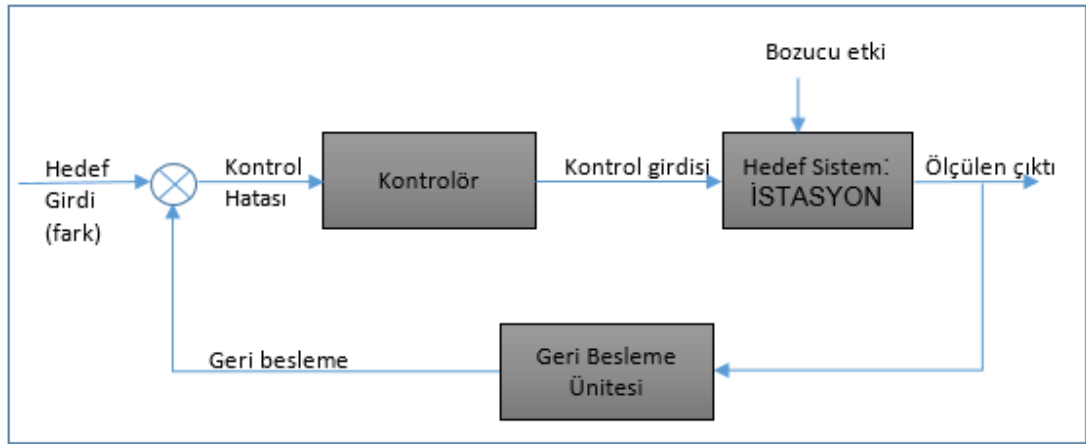
3.2.1 Kapalı çevrim kontrol metodunun işleyişi

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 ödememiş 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 kuyrukta hala 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 3-2’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3-2: Kapalı çevrim kontrol metodunun mekanizması

Şekil 3-2’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 (Boh) seviyesinde tutmayı amaçlamaktadır. Bu hedeften sapmalar 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 3.4 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

$$S_o(k) = S_x(k) / (S_n(k) + S_x(k)) \quad (3.4)$$

- 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 3.5'te gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$fark(k) = B_x(k) * B_{oh} - B_n(k) \quad (3.5)$$

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 3.6 ile hesaplanmaktadır.

$$E(k) = 0 - fark(k) \quad k. \text{ zaman aralığındaki kontrol hatası} \quad (3.6)$$

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 3.7'deki gibi hesaplanır.

$$\text{farkd}(k) = \text{Bxd}(k) * \text{Boh} - \text{Bnd}(k) \quad (3.7)$$

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 3.8 ile hesaplanmaktadır.

$$E(k) = 0 - \text{farkd}(k) \quad (3.8)$$

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 3.9 da gösterildiği gibi, istasyonun sahip olduğu sunucu sayısı (MaksSunucu) ile kontrol çıktısı çarpılarak ve en yakın tam sayıya yuvarlanarak elde edilir.

$$Sx(k) = So(k) * \text{MaxSunucu} \quad (3.9)$$

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.

3.2.2 PI kontrol algoritması

PID kontrolörler, temel kontrol yasaları ile gerekli performansın elde edilememesi durumunda veya daha karmaşık bir kontrol görevi söz konusu olduğunda uygulanır. Bir kontrol sisteminin amacı, belirli bir sistem için istenen yanıtı elde etmektir. Bu amaç doğrultusunda kontrolörün çıktının değerini kullanarak giriş sinyalini belirlediği bir kapalı döngü kontrol sistemi ile geri bildirim kontrolü yapılabilir. Geri bildirim kontrolü, süreçteki değişikliklere rağmen belirlenen değışkeni istenen değere yakın tutmak için kullanılır. (Visioli 2006)

Bu çalışmada kapalı çevrim kontrol metodu olarak PI (Proportional Integral) Kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Sistemin çalıştığı ortamda gürültüler fazla olduğu için bunlara karşı hassas olan türev (D) terimi kontrolcüye dahil edilmemiştir. PI kontrol yönteminde integral kontrolörün (P) etkisi oransal kontrol etkisi (I) ile beraber kullanıldığında daha etkin bir biçimde belirgin olur.

3.2.3 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 3.10 da gösterildiği gibidir:

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_i * \left(\frac{1}{s}\right) \quad (3.10)$$

Burada K_p oransal, K_i integral terimin katsayısı olup, s ise Laplace değışkenidir. Kontrolcünün girişı hata e , çıkışı da sistemin girişı u şeklindedir. Bu ifade Ts örnekleme periyodu ile ayrıklaştırılırsa Eşitlik 3.11'deki şekilde ifade elde edilir:

$$C_d(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = K_p + K_i * \frac{T_s}{z - 1} \quad (3.11)$$

Burada z ayrık zaman z-dönüşümü değişkeni olup zamanda bir periyot kaydırmaya denk gelmektedir. Bu ifade kullanılarak sırayla Eşitlik 3.12, Eşitlik 3.13, Eşitlik 3.14, Eşitlik 3.15, Eşitlik 3.16 kullanılarak ayrık zaman (k) alanındaki kontrolcünün giriş (e(k)) - çıkış (u(k)) ilişkisi elde edilebilir:

$$U(z) = K_p * E(z) + K_i * \left(\frac{T_s}{z - 1} \right) * E(z) \quad (3.12)$$

$$U(z) * (z-1) = K_p * E(z) * (z-1) + K_i * T_s * E(z) \quad (3.13)$$

$$U(z) * z - U(z) = K_p * E(z) * z - K_p * E(z) + K_i * T_s * E(z) \quad (3.14)$$

$$U(z) - U(z) * z^{-1} = K_p * E(z) - K_p * E(z) * z^{-1} + K_i * T_s * E(z) * z^{-1} \quad (3.15)$$

$$U(z) = U(z) * z^{-1} + K_p * E(z) - K_p * E(z) * z^{-1} + K_i * T_s * E(z) * z^{-1} \quad (3.16)$$

Buradan ayrık zamana geçiş yapılırsa;

$$u(k) = u(k-1) + K_p * e(k) - K_p * e(k-1) + K_i * T_s * e(k-1) \quad (3.17)$$

ifadesi elde edilir. Eşitlik 3.17'de 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 3.6'dan, DBK metodu için Eşitlik 3.8'den yararlanılmaktadır. PI kontrolör denklemini Eşitlik 3.18'deki şekilde ifade edilebilir.

$$So(k) = So(k-1) + K_p * e(k) - K_p * e(k-1) + K_i * T_s * e(k-1) \quad (3.18)$$

Kontrolörde kullanılacak olan K_p ve K_i parametrelerinin belirlenebilmesi için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan ilki Sistem Tanımlama Yöntemi, ikincisi ise Yüzey Tepki Metodudur. Parametrelerin belirlenebilmesi için veri toplama ve performans karşılaştırması için bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon modelinin detayları Bölüm 4'te anlatılmaktadır. Kontrolör parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan ilk yöntem olan Sistem Tanımlama yönteminin detayları Bölüm 5'te, ikinci yöntem olan Yüzey Tepki Metodunun detayları Bölüm 6'da anlatılmaktadır.

3.3 Açık Çevrim Kontrol Metodu

Açık çevrim kontrol metodu hedef girdi ile sistem çıktısını takip ederek oluşacak hatayı önceden tahmin eder ve bu farkı azaltacak kontrol girdisini hedef sistem olan istasyona gönderir. Bu yöntemde araçlar istasyona geldiklerinde almak istedikleri servis süresini istasyona bildirirler. İstasyon ise araçlar henüz servis almaya başlamadan gelecekteki bekleme sürelerini hesaplayabilir ve böylece sunucu atamasını yapmak için gerçekleşmiş bekleme süreleri yerine henüz gerçekleşmemiş bekleme süreleri göz önünde bulundurulur.

Kapalı çevrim kontrol metodu ile benzer şekilde bir araç istasyona geldiğinde boşta herhangi bir sunucu varsa bu sunucuda şarj olmaya başlar. Eğer boş olan herhangi bir sunucu yoksa kendi sınıfına ait sunucu için kuyrukta beklemeye başlar. Şarj işlemi biten bir araçtan sonra istasyonda bulunan araçlar için gelecek olay listeleme yöntemi kullanılarak istasyonda mevcut olan araçların gerçekleşecek bekleme süresi hesaplanır. İşlem bitip de boş kalan sunucu için her iki sınıfa ait olma durumunda yüksek öncelikli ve düşük öncelikli araçların bekleme süreleri oranlanır ve belirlenen hedef girdiden farkı hesaplanır. Sunucunun hangi sınıfa ait olacağı elde edilen bu değere göre belirlenir. Her bir sunucu için işlemi bittiği an sunucunun yeni sınıfının belirlenmesi için bu hesaplama yapılır (Kakillioğlu 2018).

3.4 Sabit Sunucu

Kapalı çevrim kontrol metodu ile karşılaştırmada kullanılan bir diğer yöntem ise 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 3.19 da 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

HBO = Hedeflenen bekleme oranı

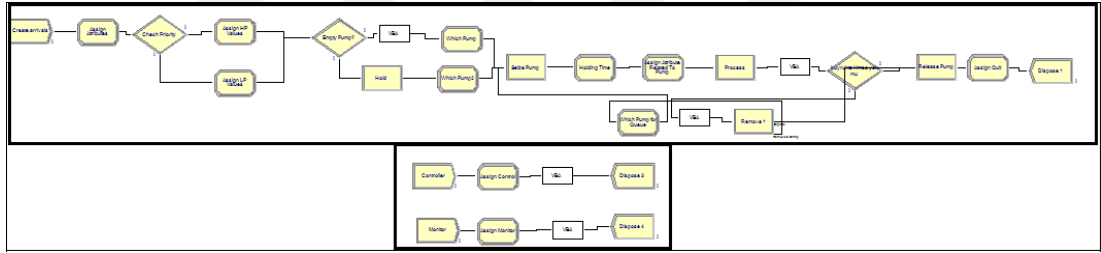
$$\text{Hp Sunucu Sayısı} = \text{Yuvarla} \left(\text{TSS} * \frac{\text{Hp Rate} * \text{HBO}}{(\text{Lp Rate} + \text{Hp Rate} * \text{HBO})} \right) \quad (3.19)$$

Örneğin istasyona gelecek toplam araç sayısının yarısı yüksek öncelikli, yarısı düşük öncelikli araç olacaksa ve hedeflenen bekleme oranı değeri de 1.5 olarak kabul edildiyse istasyondaki 14 sunucudan 8 tanesi yüksek öncelikli araçlara, 6 tanesi düşük öncelikli araçlara tahsis edilir. Sabit sunuculu sistem iki farklı şekilde aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

1. Sabit Sunucu 1: Yüksek öncelikli araçlara ait olan bir sunucu boş olsa bile düşük öncelikli bir araç bu sunucuyu kullanamaz. Aynı şekilde düşük öncelikli araçlara ait olan sunucu da yüksek öncelikli araçlar tarafından kullanılamaz. Araç doluluk oranının %95 olduğu bir sistemde sunucu sayılarının yüksek ve düşük öncelikli araçlara 7-7 şeklinde dağıtıldığı durum haricinde bu model stabil yanıtlar vermemektedir. Bu sebeple analizlerde kullanılmamıştır. Kuyruk modeline göre araçlar ortalamada 26 dakika kuyrukta beklemektedir.
2. Sabit Sunucu 2: Boş olan bir sunucu eğer o an kendi sınıfından bir araç yoksa diğer sınıf tarafından kullanılabilir.

4 SİMÜLASYON MODELİ

Tez kapsamında geliştirilen kontrol metotlarının ve belirlenen parametrelerin test edilebilmesi için ARENA simülasyon programı kullanılarak bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Kontrolör algoritması ARENA ile entegre çalışan VBA programında visual basic dilinde yazılmıştır. Kapalı çevrim kontrol metodu, açık çevrim kontrol metodu ve sabit sunuculu modellerde ortak kullanılan modelin ekran görüntüsü Şekil 4-1’de gösterilmiştir. Modeller üzerinde farklılıklar yapılarak çeşitlilik sağlanmıştır.



Şekil 4-1: Arena simülasyon modeli ekran görüntüsü

Simülasyon modelinde 14 pompa bulunmaktadır. Açık ve kapalı çevrim istasyonlarda başlangıç anında pompaların yarısı yüksek öncelikli araçlara, yarısı düşük öncelikli araçlara aittir. Sisteme gelen araçlar, simülasyon başlamadan önce belirlenen sınıf oranı dâhilinde rastgele yüksek ve düşük öncelikli sınıf olarak ayrılırlar. Araçlar model içerisinde yolda vakit kaybetmeden istasyona girmektedir. Araçlar istasyona girdikleri anda belirlenen dağılım (TRIA(10, 18, 30) dakika) ile işlem süreleri atanır. Araçlar poisson dağılıma uygun şekilde gelmektedir ve araçlar arasındaki süre üsseldir.

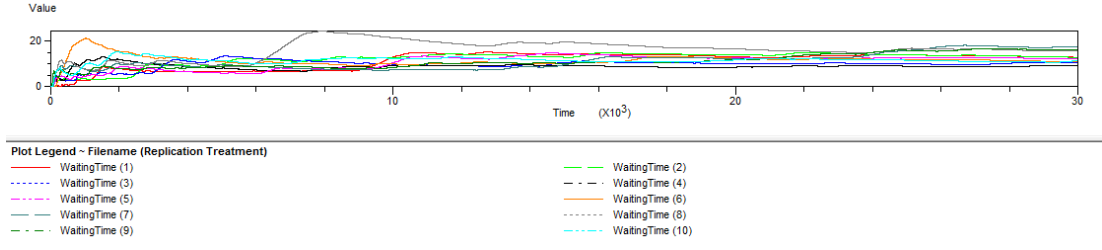
Araçlara istasyon tarafından benzersiz bir numara atanır. Araçların sisteme giriş zamanları ve servise başladıkları andaki sunucuyu tuttukları zaman sistemde kaydedilir. Araç istasyona geldiğinde kuyruklar boşsa ve boşta (bir araca servis vermeyen) herhangi bir sunucu varsa Sabit Sunucu 1 metodu hariç diğer tüm metotlarda araç beklemeden boş olan sunucuda servis almaya başlar.

Sunucuların tamamı dolu ise gelen araç, kendi sınıfına ait kuyrukta 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 4-1’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 “geri besleme ünitesi” görevini yapmaktadır. 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 3.11’i kullanarak bir sonraki örneklem zamanında geçerli olacak sunucu oranını (So(k)) belirler. Eğer belirlenen kaynak oranı 0’dan küçük veya 1’den büyükse, oran olarak minimum ve maksimum limitler olan 0 veya 1 alınır.

Geliştirilen simülasyon modeli için doğrulama aşamasında kapalı çevrim kontrol metodunun simülasyon ortamına doğru geçirilip geçirilmediği kontrol edilmiştir. Bu amaçla her örneklem zamanda kuyrukta bekleyen yüksek ve düşük öncelikli araç sayısı, her bir sınıfın kuyrukta 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. 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 geçerleme aşaması tamamlandıktan sonra simülasyon modelinin ısınma periyodu belirlenmiştir. Isınma periyodunun belirlenmesinde dakika cinsinden araçların sistemde geçirdikleri zaman içerisinde bekleme sürelerinin ortalama değeri kullanılmıştır. Şekil 4-2’de Arena Output Analyzer’dan 30000 dakikalık modelden alınan sonuçlar gösterilmiştir. Yatay eksen dakika cinsinden zamanı gösterirken, dikey eksen araçların bekleme sürelerini göstermektedir. Sistemin kararlı hale gelene kadar geçirdiği süre 3000 dakika olarak belirlenmiş ve bu süre ısınma periyodu olmuştur.



Şekil 4-2: Isınma periyodunun belirlenmesi – araçların dakika cinsinden bekleme süreleri





5 SİSTEM TANIMLAMA YÖNTEMİ İLE KONTROL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

5.1 Sistem Tanımlama

Sistem tanımlama, sistemin girdileri ve çıktıları arasındaki ilişkinin matematiksel olarak ifade edilmesi adımıdır. Bu adımda istasyondaki bekleme süresi hedefinden sapma miktarını ifade eden fark değeri, geçmiş zamanlarda gerçekleşen fark değerleri ve geçmiş zamanların atanmış sunucu oranları (S_o) cinsinden ifade edilecektir.

Sistem tanımlama çalışmalarında sırasıyla örneklem zamanı belirleme, sistem tanımlamada kullanılacak verileri belirleme, model seçimi ve model parametrelerinin belirlenmesi adımları tamamlanmıştır. Sistem tanımlama aşamasında kullanılan veriler geliştirilen simülasyon modelinden toplanmaktadır.

5.1.1 Örneklem zamanı (Sampling Time – T_s) belirleme

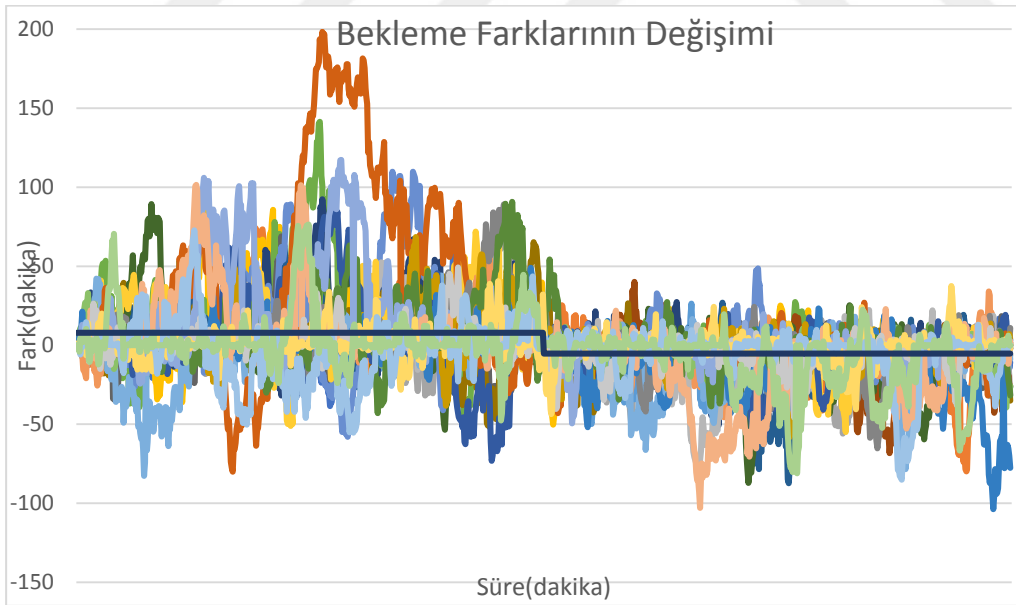
Sistem modellemesi yapılabilmesi için öncelikle sistemden ne sıklıkla örneklem toplanacağı yani örneklem zamanının belirlenmesi gerekmektedir. Sistemin farklı doluluk oranlarında farklı örneklem zamanları daha iyi sonuç verebilir. Bu çalışmada sistem doluluk oranının yüksek olduğu zamanlar yani bekleme sürelerinin artacağı durumlara uygun bir örneklem zamanı tespit edilmektedir. Örneklem zamanının belirlenmesi için aşağıdaki adımlar kullanılmıştır:

1. Sistem denge durumuna ulaşana kadar yani fark değeri belirli bir seviyeye ulaşana kadar simülasyon çalıştırılır.
2. Sistem denge durumuna ulaştıktan sonra sınıf-sunucu atamalarında değişiklik yapılarak sistemin yeni denge seviyesine ulaşması beklenir.
3. Toplanan veri grafiksel olarak incelenerek, sunucu atamasına bir değişiklik yapıldığı andan sistemin ulaşacağı yeni denge olan yeni bekleme farkına ulaştığı ilk dakikalar yükselme zamanı (rise time) olarak işaretlenir.

4. Örneklem zamanı değeri belirlenirken, sistemdeki değışikliğin sonucu ortalama değere yansiyana kadar geçen süre içine en az 10 adet örneklem sığdırılması amaçlanır. Örneklem zamanı Eşitlik 5.1 kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Örneklem zamanı} = \text{Yükselme Zamanı (Rise Time)} / 10 \quad (5.1)$$

Örneklem zamanını belirlemek amacıyla farklı araç varış hızları (λ) ve sonuç olarak farklı doluluk oranları (ρ) (0.7, 0.95) kullanılarak denemeler yapılmıştır. Örnek olarak Şekil 5-1’de hedeflenen bekleme oranı değerin 1.5 olduğu durumda yüksek öncelikli araç sınıfına ait sunucu sayısının 7’den 8’e çıkarılması sonucu hesaplanan fark değeriindeki değışim görülmektedir. Bu deneyde sunucu dağılımının yüksek öncelikli araç sınıfına 7 ve düşük öncelikli araç şarj sınıfına 7 sunucu atanmasıyla 5000 dakika, ardından yüksek öncelikli araç sınıfına 8, düşük öncelikli araç şarj sınıfına ise 6 tane sunucunun atandığı 5000 dakika, toplamda 10000 dakikalık bir simülasyon çalışması yapılmıştır ve bekleme farkı (fark(k)) hesaplanmıştır. Simulasyonun 30 koşturumunda ilk 5000 dakikada ortalama bekleme farkı 7.93 dakika iken, ikinci 5000 dakikada bu fark -5.23 dakika olarak ölçülmüştür. Şekil 5-1’de 30 koşturum için farklı renklerle ifade edilen bekleme farkları gösterilmiştir.

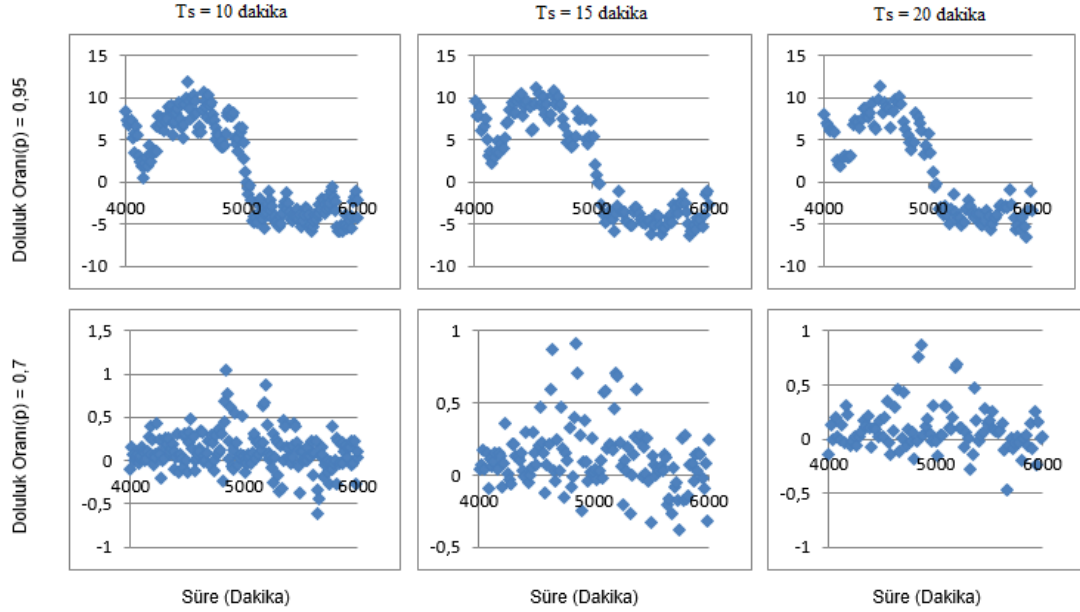


Şekil 5-1: Zamana bağlı bekleme farklarının değışimi

Örneklem zamanı 10 dakika olarak alındığında sistemin ilk 5000 dakikadaki denge noktasına ilk ulaşımı ortalama 19.4 örneklem, ikinci 5000 dakikadaki denge noktasına ulaşımı ise ortalama 14.43 adet örneklem sonra gerçekleşmiştir. Örneklem zamanının

15 dakika olduğu durumda ortalama değere ilk 5000 dakikada 15.4 örneklem sonra ulaşılırken son 5000 dakikada 10.76 örneklemde ulaşılmıştır. Örneklem zamanı değerinin 20 olduğu durumda ise ilk 5000 dakika için 17.03 örneklemde, ikinci 5000 dakika için ise 9.26 örneklemde ortalama değere ulaşılmıştır.

Şekil 5-2'de 10, 15, 20 dakikalık örneklem zamanları (T_s) ile 30 çalıştırmada alınan sonuçların ortalama değerlerinin grafikleri görülmektedir.



Şekil 5-2: Örneklem zamanı ve doluluk oranının bekleme farkı üzerindeki etkisi

Grafikler incelendiğinde örneklem zamanı büyüdükçe incelenebilen veri sayısının azalmakta olduğu ve kaynak atamasındaki değişimin oluşturduğu farkı incelemenin zorlaştığı görülmektedir.

Doluluk oranının 0.7 olduğu sistemde doluluk oranının daha az olmasından dolayı örneklem zamanının 10 olduğu durumda bile yeterli sayıda veri elde etmek ve analiz yapmak güçleşmektedir. Fakat doluluk oranının 0.95 olduğu sistemde örneklem zamanı olarak 10 dakikayı seçmek kaynak atamasının sebep olduğu bekleme farkını gözlemlemek için yeterlidir. Sonuçlar ve sistem incelenerek sistemde örneklem zamanı değeri olarak 10 dakikanın seçilmesine karar verilmiştir.

5.1.2 Deney tasarımı

Sistem modelinin, gerçek sistemin dinamiklerini yeteri kadar iyi yansıtabilmesi için modellemede kullanılan verilerin uygun deney koşullarında toplanması gerekir. Bu bölümde, sistem dinamiklerini en iyi şekilde yansıtacak deney koşulları araştırılmaktadır.

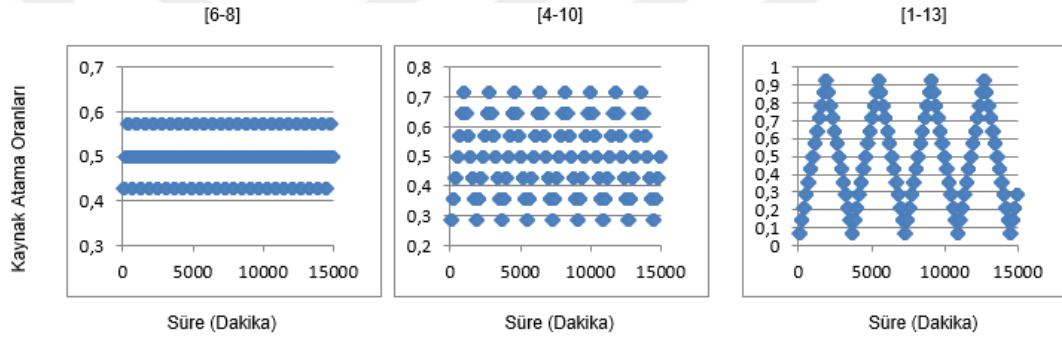
Şekil 5-3 ve Şekil 5-4'te farklı kaynak atamalarının bekleme farkı üzerindeki etkisi incelenmektedir. Ele alınan sistemde sisteme araç geliş oranı (λ) iki tip müşteri için toplam 41 araç/saat, doluluk oranı ise ortalama 0.95'tir. Farklı sınıflara atanan sunucu sayıları Şekil 5-3'te görüldüğü gibi sinüs dalgasına benzer şekilde düzenli artıp maksimum noktasına ulaştıktan sonra düzenli azalarak minimum seviyeye ulaşan bir dalgalanma gösterecek şekilde dinamik olarak değiştirilmektedir. Yapılan üç farklı dalgalı kaynak ataması denemesi 30'ar koşturum ile incelenmiştir. Kaynak atamaları bir sınıfa [min maks] aralığında sunucu düşecek şekilde [6-8], [4-10] ve [1-13] şeklinde yapılmıştır. Her atama 100 dakika boyunca sabit kalmakta ve bu sırada her $T_s=10$ dakikada bir sistem üzerinden örneklem alınmaktadır. Örneğin kaynak atamasının [1-13] dalgalanması şeklinde yapılması durumunda yüksek öncelikli araçlara ayrılan sunucu sayısı 1 ile başlamakta, her 100 dakikada bir 1 adet sunucu artırılarak en fazla 13 sunucuya ulaşmakta, sonra da yine aynı zaman aralığıyla azaltılmaktadır. Bu süreç içerisinde araçlar arası fark değerleri kaydedilmektedir.

Şekil 5-3, farklı kaynak atamaları değişimlerini, Şekil 5-4'te bu kaynak atamaları sonucu her örneklem zamanında da oluşan farkları göstermektedir. Şekil 5-3'te dikey eksen, kaynak atamalarını yüksek öncelikli sınıfa atanan kaynak oranı cinsinden göstermektedir. Örneğin yüksek öncelikli sınıfa 6 sunucu atandığında kaynak atama oranı $6/14=0.48$ olmaktadır. Kaynak atama değişimi aralığı büyüdükçe bekleme farkını gözlemlemek kolaylaşmaktadır. [1-13] dalgalanması kaynak değişimi grafiğinde bekleme farkının da sinüzoidal bir şekilde dalgalandığını görmek daha kolaydır.

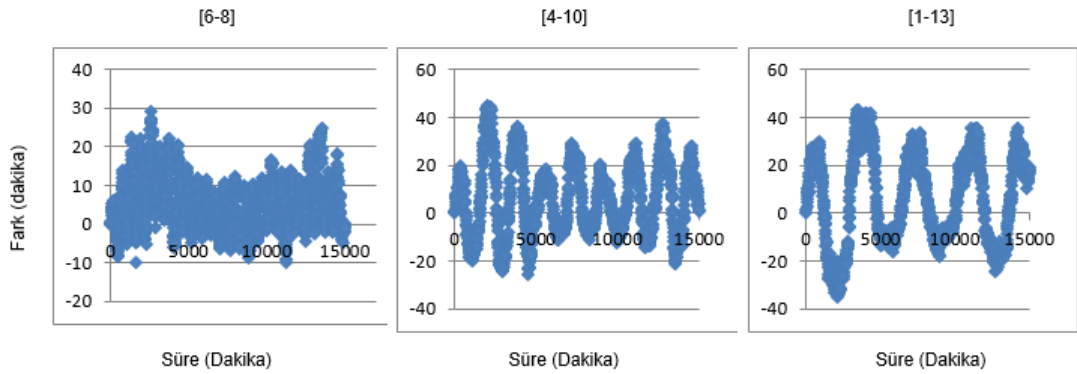
Şekil 5-4 üzerindeki her nokta, 30 tekrarın ortalaması alınarak bulunmaktadır. Sisteme varışların ve servis sürelerinin rasgele olması sebebiyle aslında her kaynak oranı için farklı tekrarlardan birbirinden oldukça farklı değerler alınmaktadır. Bu stokastik etkinin sistem üzerindeki etkilerini açıkça gösterebilmek için tek bir kaynak atama

çevrimi boyunca farklı kaynak atama oranları için 30 tekrardan elde edilen değerler Şekil 5-5'te çizdirilmiştir.

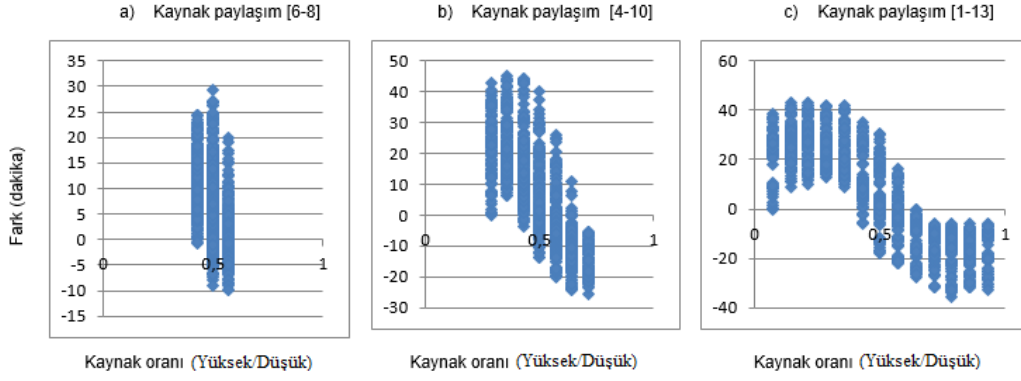
Şekil 5-5'te soldan ilk grafikte [6-8] aralığındaki atama değişiminde her bir atama noktasında 30 farklı tekrardan alınan ortalama fark değerleri görülmektedir. Kaynak atama aralığının dar olduğu [6-8] durumunda kaynak oranının etkisini fark etmek zorken, [4-10] atamasında fark biraz daha net anlaşılabilir, [1-13] atamasında ise farkı analiz etmek daha da kolaylaşmaktadır. Tekrarlar arasında "fark" değerinin varyansı yüksektir ancak değer kaynak paylaşım oranına göre değişen belli bir trendi takip etmektedir. Varyansın fazla olmasının bir sebebi de tüm modellerde var olan stokastik etkidir. Stokastik etki, sistemdeki kullanıcıların gelişlerinin ve servis sürelerinin rassal olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5-3: Kaynak atama değişim oranları

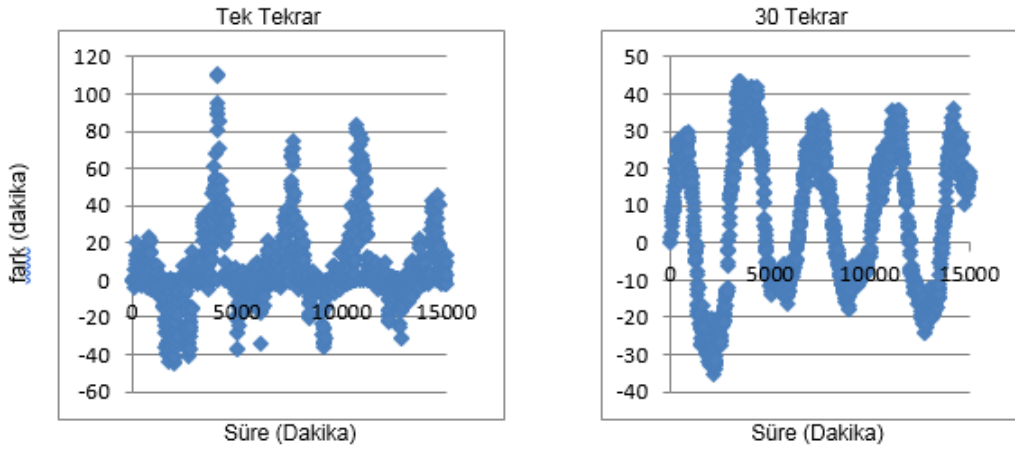


Şekil 5-4: Kaynak atama aralığının bekleme farkı üzerindeki etkisi



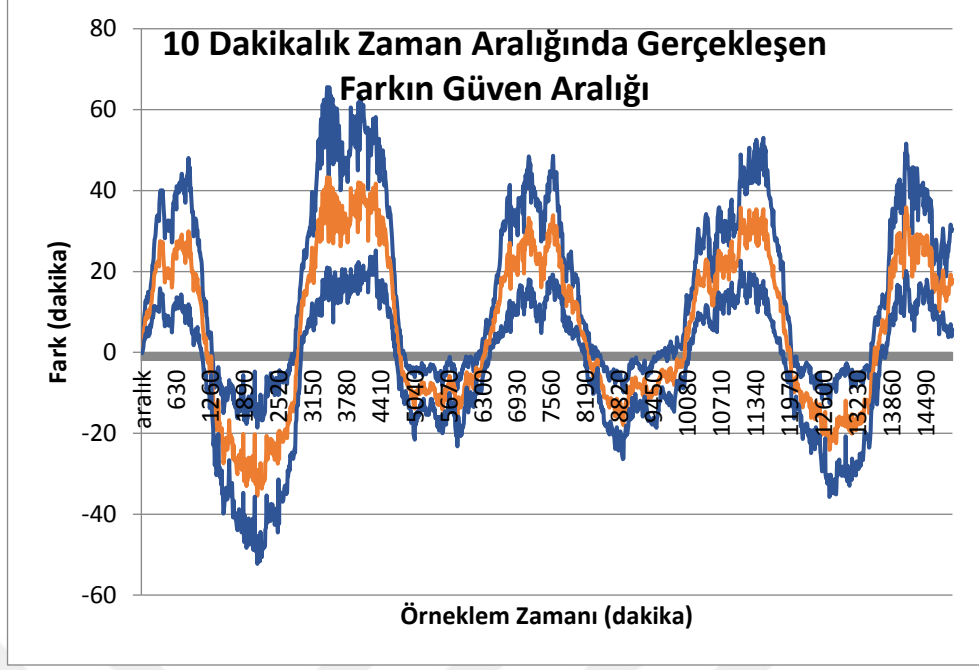
Şekil 5-5: Kaynak oranına göre bekleme fark değişimi

Kaynak atamasının [1-13] dalgalanması şeklinde olduğu model için tek çalıştırma ve 30 çalıştırma ile elde edilen sonuçlar Şekil 5-6'da karşılaştırılmıştır. Sol taraftaki şekilde tek tekrardan elde edilen veriler, sağ taraftaki şekilde ise 30 tekrardan elde edilen ortalama değerler bulunmaktadır. Tekrarların ortalaması alınarak elde edilen grafik dalgalanmayı daha net yansıtabilmektedir.



Şekil 5-6: Tek tekrar ve 30 tekrardan alınan sonuçların karşılaştırılması

Şekil 5-7'de ise kaynak atamasının [1-13] sinüs modelinde fark değerinin 30 tekrar için %90 güven aralığı verilmiştir. Güven aralığının genişliği sistem üzerindeki stokastik etkinin boyutunu yansıtabilmektedir.



Şekil 5-7: Fark değerinin 30 tekrar için %90 güven aralığı

Yapılan incelemelerde sistem dinamiklerini en iyi gösteren modelin [1 13] dalgalanması ile 30 tekrardan alınan ortalama değerler olduğu gözlenmiştir.

5.1.3 Sistemin matematiksel modelinin oluşturulması

Bu bölümde Bölüm 5.1.2’de elde edilen veriler kullanılarak sistemin matematiksel modeli çıkarılmaktadır. Sistem modeli oluşturma aşamasında aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

1. Sistem, belirlenen kaynak dağılım oranı ile 30 tekrar boyunca çalıştırılmış ve her tekrarda tüm örneklem zamanlarında oluşan fark değerleri kayıt altına alınmıştır.
2. Yapılan 30 tekrardan elde edilen veriler, aynı zaman aralıklarının (örneklem zamanlarının) ortalaması alınarak birleştirilmiş ve tüm koşturum süresi için geçerli tek bir ortalama fark verisi elde edilmiştir.
3. Elde edilen ortalama değerlerden oluşan veri setinin, kaynak atama değişiminin ilk periyodunda gerçekleşen bölümü ısınma periyodu olarak belirlenerek silinmiştir.
4. Geride kalan veri, MATLAB “System Identification Toolbox” kullanılarak analiz edilmiş ve farklı sistem modelleri oluşturulmuştur.

5. Modeller MATLAB tarafından verilen simule edilen çıktı, 5 adım ötesi tahmin ve 1 adım ötesi tahmin çıktıları kullanılarak karşılaştırılmıştır.

5.2 Kontrol Parametrelerinin Belirlenmesi

Bölüm 3.2.2 de anlatıldığı gibi kapalı çevrim metodunda kontrolör olarak Eşitlik 5.2 kullanılmaktadır:

$$S_o(k) = S_o(k - 1) + K_p e(k) - K_p e(k - 1) + K_i T_s e(k - 1) \quad (5.2)$$

Kontrolör parametrelerinin oluşturulması için MATLAB yazılımının “PIDTuner Toolbox” ı kullanılmıştır. Bölüm 5.1.3’te anlatılan aşamalarda belirlenen sistem modeli, “PIDTuner Toolbox”ına hedef sistem olarak yüklenmiştir. Ardından yüklenen model için yazılımın otomatik olarak belirlediği $K_p - K_i$ parametreleri kaydedilmiş ve bu parametreler için oluşan birim basamak cevabı (step response) ve kontrolör eforu (step plot) grafikleri incelenmiştir. Bu aşamalarda uygun bulunan parametreler ARENA’da oluşturulan simülasyon modelinde kullanılmak üzere kayıt altına alınmıştır.

Adımlar SBK ve DBK modelleri için aynıdır. SBK modeli kontrol edilen çıktı olarak fark değerini, DBK modeli ise farkd değerini ölçmekte ve kullanılmaktadır.

5.3 Sonlanmış Bekleme ile Kontrol (SBK) Metodu

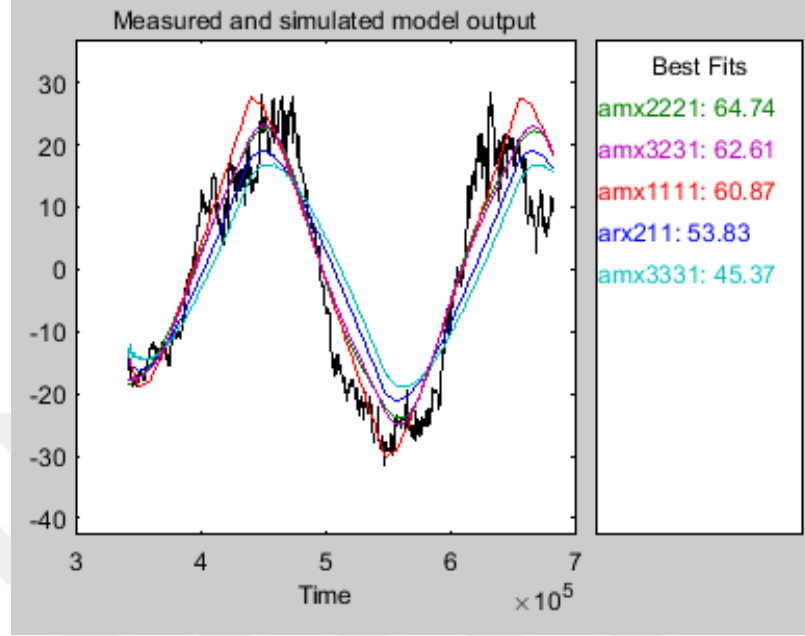
Sonlanmış bekleme ile kontrol metodu (SBK) bekleme aşamasını tamamlayarak kuyruktan ayrılmış ve servis almaya başlamış/tamamlamış olan araçların ortalama bekleme süresi verilerini kullanarak sınıflar arası ortalama bekleme süresi oranını belirlenen seviyede tutmaya çalışan bir metottur.

5.3.1 Sistem tanımlama

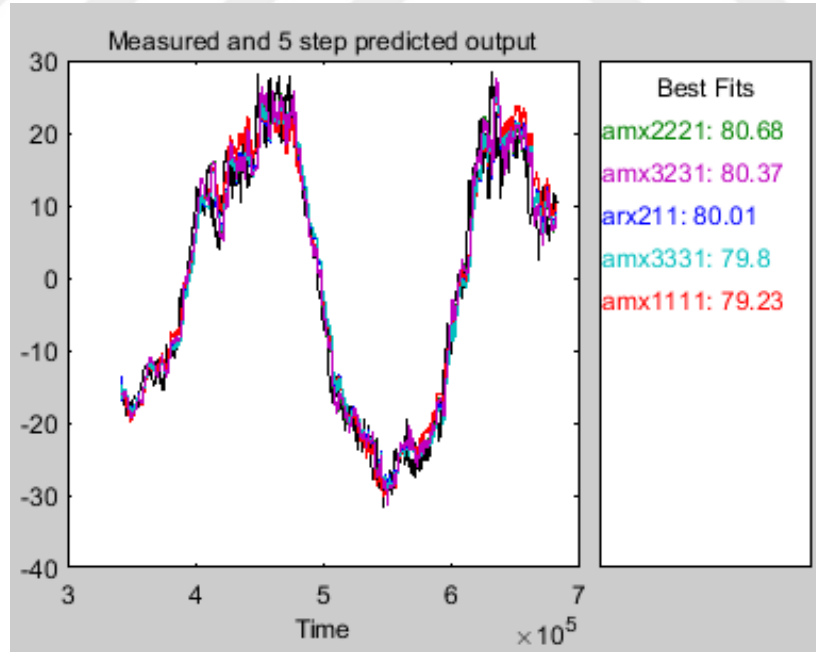
Sistem tanımlama aşaması SBK modeli için fark(k) değeri kullanılarak yapılmaktadır. SBK modeli üzerinden sistem tanımlama aşaması örnek olarak aşağıda anlatılan şekilde yapılmıştır.

Yüksek öncelikli araç sınıfına atanan kaynak sayısının [1 13] aralığında dalgalandığı kaynak atama değişim modelinden elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan farklı

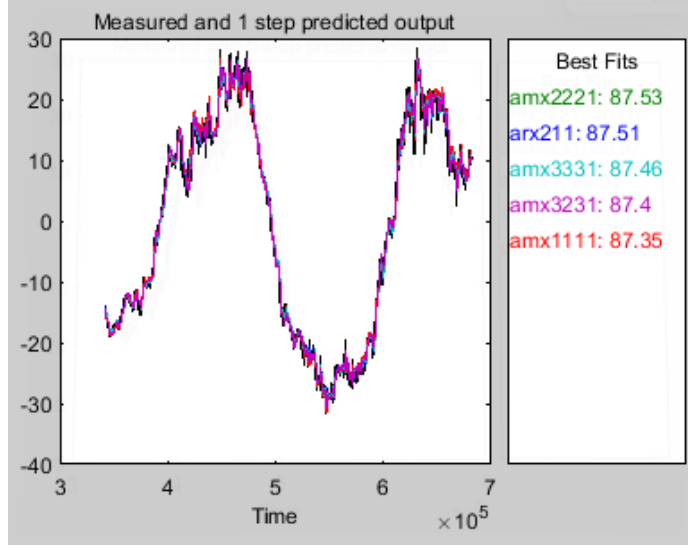
model tiplerinin MATLAB “System Identification Toolbox”’ından alınan simule edilen çıktı grafikleri Şekil 5-8’de, 5 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri Şekil 5-9’da, 1 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri ise Şekil 5-10’da gösterilmiştir.



Şekil 5-8: SBK modeli için kaynak değişiminin dalgalı 1-13 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin simule edilen çıktı grafikleri

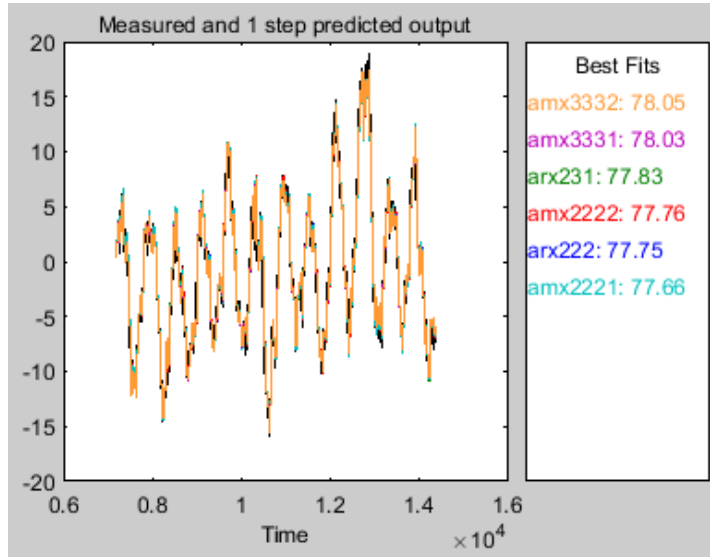


Şekil 5-9: SBK modeli için kaynak değişiminin dalgalı 1-13 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin 5 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri

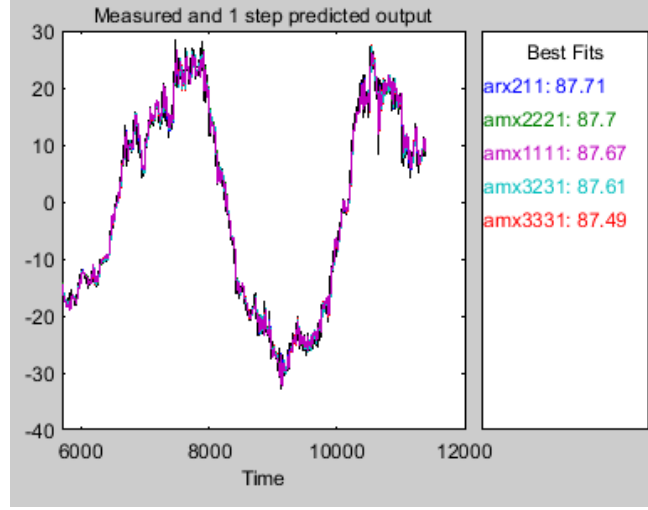


Şekil 5-10: SBK modeli için kaynak değişiminin dalgalı 1-13 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin 1 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri

Şekiller üzerindeki BestFit alanındaki farklı modeller karşısındaki değerler (%fitness ölçümleri) her model için elde edilen Normalized Root Mean Square (NRMSE) değerlerini ifade etmektedir. Şekil 5-11’de ise karşılaştırma amaçlı olmak üzere, kaynak değişim aralığının [6 8] olduğu durumdaki veriler kullanılarak yapılan sistem modelleri ve NRMSE değerleri görülmektedir. Hedeflenen bekleme oranının 1.5 olduğu sistem için sistem modeli belirleme çalışmasının sonuçları ise Şekil 5-12’de görülmektedir. Çizelge 5-1 takip edilmesi istenen hedef değerler için seçilen sistem modellerini ve uyumluluk değerlerini göstermektedir.



Şekil 5-11: SBK modeli için kaynak değişiminin dalgalı 6-8 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin 1 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri



Şekil 5-12: SBK modelinde kaynak değişiminin dalgalı 1-13 hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin 1 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri

Çizelge 5-1: SBK modelinde farklı hedeflenen bekleme oranı değerleri için seçilen sistem modelleri

Hedeflenen Bekleme Oranı	Seçilen Model	Model Ayrıntıları ARMAX model: $A(z)y(t) = B(z)u(t) + C(z)e(t)$	MATLAB 1 Adım Ötesi Tahmin Çıktı Değerleri
1.2	ARMAX (2221)	$A(z) = 1 - 0.03238 z^{-1} - 0.9176 z^{-2}$ $B(z) = -0.3185 z^{-1} - 2.37 z^{-2}$ $C(z) = 1 + 0.6244 z^{-1} - 0.3143 z^{-2}$	88.12
1.5	ARMAX (2221)	$A(z) = 1 - 0.04255 z^{-1} - 0.9084 z^{-2}$ $B(z) = -0.2966 z^{-1} - 2.809 z^{-2}$ $C(z) = 1 + 0.6041 z^{-1} - 0.3243 z^{-2}$	87.7

Belirlenen sistem modelleri kullanılarak Bölüm 5.3.2’de kontrolör tasarımı yapılmıştır.

5.3.2 Kontrolör tasarımı

Bölüm 5.3.1’den alınan veriler ile Bölüm 5.2’de anlatılan adımlar tamamlanarak sistem kontrolörünün $K_p - K_i$ değerleri bulunmuştur. Takip edilmesi istenen her hedeflenen bekleme oranı için sistem tanımlama ve kontrolör tasarımı çalışmaları yapılmaktadır. Kontrolör tasarımı (K_p ve K_i parametre değerlerinin ayarlanması), iki farklı hedeflenen bekleme oranı için tekrarlanmıştır. Çizelge 5-2’de, Çizelge 5-1’de gösterilen sistem modellerinin kontrol için seçilen K_p-K_i parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 5-2: SBK modelinde farklı hedeflenen bekleme oranı değerleri için seçilen kontrolör parametreleri

Hedeflenen Bekleme Oranı	K _p	K _i
1.2	-0.022288	-0.00015352
1.5	-0.019161	-0.00013006

5.3.3 Simülasyon modeli

Sonlanmış bekleme ile kontrol metodunun (SBK) uygulanması için aşağıdaki değişiklikler simülasyon modeline entegre edilmiştir:

1. Monitör modülünün sonlanmış beklemeleri ölçmesi sağlanmıştır.
2. Kontrolör modülünün sistem çıktısı olarak sonlanmış beklemeleri kullanarak hesaplama yapması sağlanmıştır.

SBK modeli hem sistem kontrolünü hem de performans çıktısını tamamlanmış ortalama bekleme sürelerini ele alarak gerçekleştirmektedir. Bölüm 5.3.4’de farklı hedeflenen bekleme oranı değerleri için alınmış sonuçlar sunulmaktadır.

5.3.4 Performans analizi

5.3.4.1 Farklı sınıf oranlarının etkisi

Bu bölümde, sonlanmış bekleme ile kontrol metodunun istasyona gelen farklı sınıflardaki araç sayılarının birbirine oranının sistem tanımlama aşamasında kullanılmış olan 0.5 değerinden sapması durumunda vereceği performans incelenmektedir. Bu bölümde kullanılan sınıf oranı (snf) değeri, yüksek öncelikli araç sınıfına ait araçların toplam araç sayısına oranı ($snf = \frac{\text{Yüksek öncelikli araç sayısı}}{\text{Toplam araç sayısı}}$) ile hesaplanmaktadır.

Tüm sonuçlar 10 koşuturum ve 36000 dakikalık çalıştırma sonunda elde edilmiştir. Çizelge 5-3 ve Çizelge 5-4’te araçların sınıf oranının koşuturum boyunca sabit olduğu sistemin farklı sınıf oranlarındaki performansı gösterilmektedir.

Çizelge 5-3: SBK modelinde hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu koşuturlarda araç oranı değışimi

Doluluk Oranı %95	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Ref : 1.5 / Yüksek Öncelikli Snf: 0.3	Ref : 1.5 / Yüksek Öncelikli Snf: 0.5	Ref : 1.5 / Yüksek Öncelikli Snf: 0.7
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30) dakika	Tüm Araçlar	19.35 ± 0.02	19.35 ± 0.02	19.35 ± 0.02
	Yüksek Öncelikli Araçlar	5.51 ± 0.22	9.72 ± 1.36	15.29 ± 2.48
	Düşük Öncelikli Araçlar	15.63 ± 2.43	15.41 ± 2.63	6.25 ± 0.29
	Gerçekleşen Bekleme Oranı (Bog)	2.83 ± 0.4	1.61 ± 0.26	0.43 ± 0.08

Çizelge 5-4: SBK modelinde hedeflenen bekleme oranı değerin 1.2 olduğu koşuturlarda araç oranı değışimi

Doluluk Oranı %95	Ortalama Bekleme Süreleri(dakika)	Ref : 1.2 / Yüksek Öncelikli Snf: 0.3	Ref : 1.2 / Yüksek Öncelikli Snf: 0.5	Ref : 1.2 / Yüksek Öncelikli Snf: 0.7
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30) dakika	Tüm Araçlar	19.35 ± 0.02	19.35 ± 0.02	19.35 ± 0.02
	Yüksek Öncelikli Araçlar	5.61 ± 0.28	11.46 ± 2.54	15.27 ± 2.49
	Düşük Öncelikli Araçlar	15.56 ± 2.42	13.72 ± 2.87	6.3 ± 0.38
	Gerçekleşen Bekleme Oranı (Bog)	2.77 ± 0.41	1.28 ± 0.32	0.43 ± 0.08

Yapılan koşuturlarda ortalama doluluk oranı %95, pompa sayısı 14, dakikada sisteme giriş yapan araç sayısı 0.69 araç/dakika, araçların servis süresi TRIA(10, 18, 30) dakikadır. Hedeflenen bekleme oranı değerin 1.5 ve sınıf oran (snf) değerin 0.5 olduğu koşuturum için bulunan parametrelerle farklı araç oranlarının da çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar Çizelge 5-3'te, hedeflenen bekleme oranı değerin 1.2 ve sınıf oranının 0.5 olduğu model için bulunan parametrelerle farklı sınıf oranlarının da çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar Çizelge 5-4'te incelenmiştir. Çizelge 5-3 ve Çizelge 5-4'te ikinci satırda tüm araçların bekleme süreleri ortalaması gösterilmişken, sınıfların ayrı ayrı bekleme süreleri ortalamaları yüksek ve düşük

öncelikli araçların bulunduğu satırda ifade etmektedir. Başlık satırında, koşturumda kullanılan hedeflenen bekleme oranı değeri (Boh) tablolarında takip kolaylığı için ref kısaltmasıyla, kullanılan sınıf oran ise snf kısaltmasıyla gösterilmektedir.

Çizelgelerde sınıf oranının 0.5 olduğu koşturumlarda gerçekleşen bekleme oranının hedeflenen bekleme oranına yakın olduğu gözlemlenmektedir. Sınıf oran değeri 0.5'ten uzaklaştıkça gerçekleşen bekleme oranının hedeflenen orandan uzaklaştığı gözlemlenmektedir. Uzaklaşma miktarı kabul edilemeyecek kadar fazla olduğu için SBK modelinin farklı oranlarda araç gelmesi durumunda yetersiz kaldığı kabul edilebilir.

5.3.4.2 SBK metodunun gerçek zamanlı performansının izlenmesi

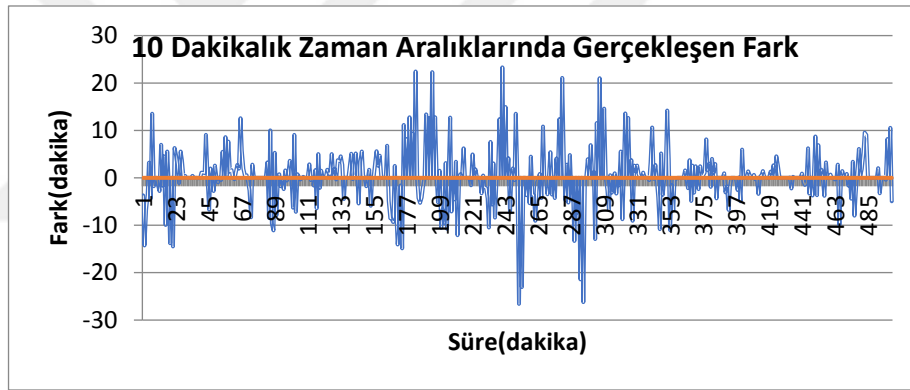
Sınıf oranının (snf) 0.5, hedeflenen bekleme oranı değerinin (ref) 1.5 olduğu durumda SBK metodunun gerçek zamanlı performansının analizini yapabilmek için 36000 dakikalık koşturumda 10 dakikalık aralıklarla gözlem yapılmıştır. Fark değeri, Eşitlik 3.5 kullanılarak hesaplanmaktadır. Farkın pozitif olması yüksek öncelikli araçların istenenden daha çok beklediğini, farkın negatif olması ise düşük öncelikli araçların istenenden daha çok beklediğini göstermektedir.

Şekil 5-13'te dikey eksen gerçekleşen fark değerini gösterirken yatay eksen 10 dakikalık aralıklarla ölçüm yapılan noktaları belirtmektedir. Şekilde tek bir koşturumun 22500 ve 27500 dakikaları arası incelenmiştir. Mavi ve çift çizgi ile gösterilen gerçek zamanlı fark iken, kırmızı ile gösterilen çizgi koşturum boyunca elde edilen ortalama fark değerini göstermektedir.

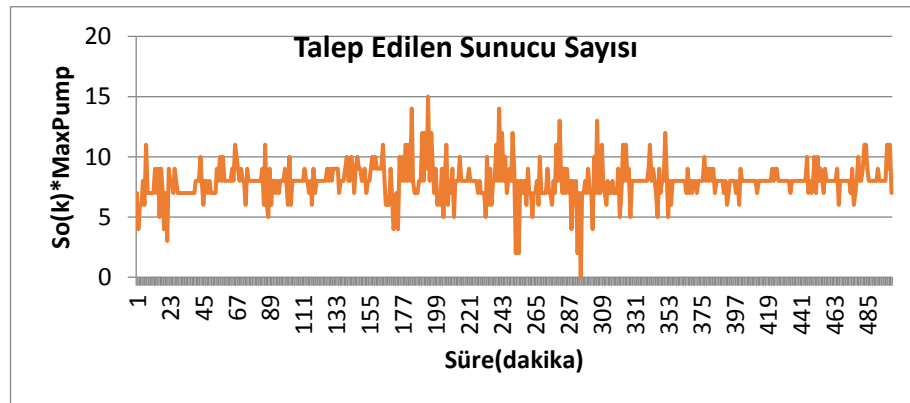
Şekil 5-13'te görüldüğü gibi, ortalama fark değeri 0'a yakın olmasına rağmen 10 dakikalık zaman aralıklarında gerçekleşen fark bazı zaman aralıklarında 0'ın altında kalırken bazı zamanlarda hedeflenenin üstüne çıkmıştır. Şekil 5-15'te ise düşük ve yüksek öncelikli araçların belirlenmiş olan zaman içerisindeki bekleme süreleri görülmektedir. Kesikli çizgi ile belirtilen ortalama bekleme süreleri düşük öncelikli araçlara ait iken, düz çizgi ile belirtilen ortalama bekleme süreleri yüksek öncelikli araçlara aittir. Yüksek öncelikli araçlar ortalama 5.87 dakika beklemiş iken, düşük öncelikli araçlar ortalama 8.75 dakika beklemiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere düşük öncelikli araçlar yüksek öncelikli araçların yaklaşık 1.5 katı kadar fazla beklemiştir. Şekil 5-15'te incelenen süre aralığı sırasında sınıfların ortalama bekleme süreleri 10 ile 20 dakika arasında gerçekleşmiştir. Bu sebeple aynı zaman aralığında

sistemde bulunan araçlar arası bekleme farkının incelenmesi için gerçekleşen bekleme farkı, Şekil 5-13'teki veriler kullanılarak 20 dakikalık aralıklarla tekrar hesaplanmıştır. Şekil 5-16, gerçekleşen farkın 20 dakikalık aralıklarla ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Bu dönem içerisinde istasyonda bulunan araç sahipleri tarafından algılanan farklar da Şekil 5-16'daki gibi olacaktır.

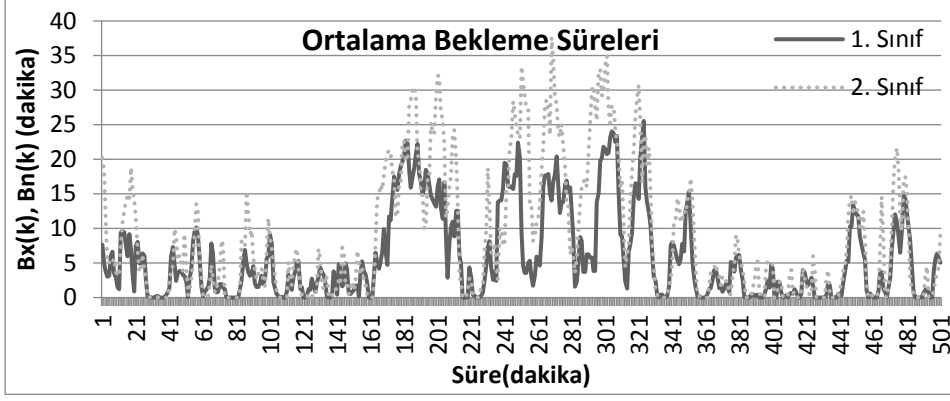
Şekil 5-14'te ise kontrolör tarafından talep edilen $So(k)$ oranı, pompa sayısı (14) ile çarpılarak ($So(k)*MaxPump$) gösterilmektedir. Ele alınan zaman dilimi içerisinde kontrolör Şekil 5-13'teki bilgiler ile paralel kararlar almış; fark pozitif olduğunda yüksek öncelikli araçlara atanan sunucu sayısını artıracak, fark negatif olduğunda ise düşük öncelikli araçlara atanan sunucu sayısını artıracak yönde karar almıştır. Ancak süreç içerisinde kontrolör, en fazla pompa sayısı olan (MaxPump) 14 değerini aşan talepler de yapmaktadır. Bu durum kontrolörün sistemi kontrol etmekte zorlandığını göstermektedir.



Şekil 5-13: SBK metodunda 10 dakikalık zaman aralıklarında gerçekleşen fark

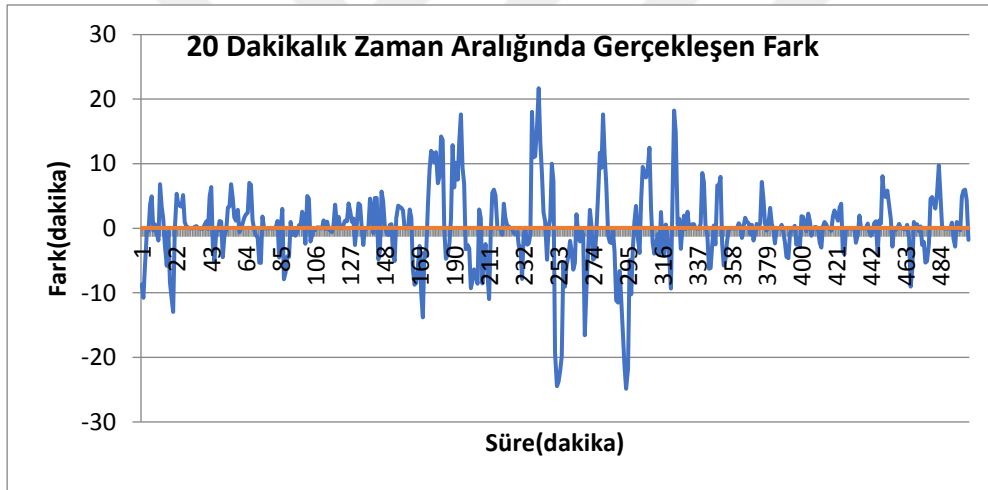


Şekil 5-14: SBK metodunda 10 dakikalık zaman aralıklarında kontrolör tarafından yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı



Şekil 5-15: SBK metodunda araçların sınıflara göre ortalama bekleme süreleri

Uzun zamanlı sonuçlar incelendiğinde sorunun kaynağının bu yüksek oranda stokastik olan, araç gelişlerinin ve servis sürelerinin rasgele olduğu ortamda kontrolörün halen beklemekte olan araçların durumuna bakmadan karar alması olduğu gözlemlenmiş ve bu analizler sonucunda DBK modelinin geliştirilmesine karar verilmiştir.



Şekil 5-16: SBK metodunda 20 dakikalık zaman aralıklarında gerçekleşen fark

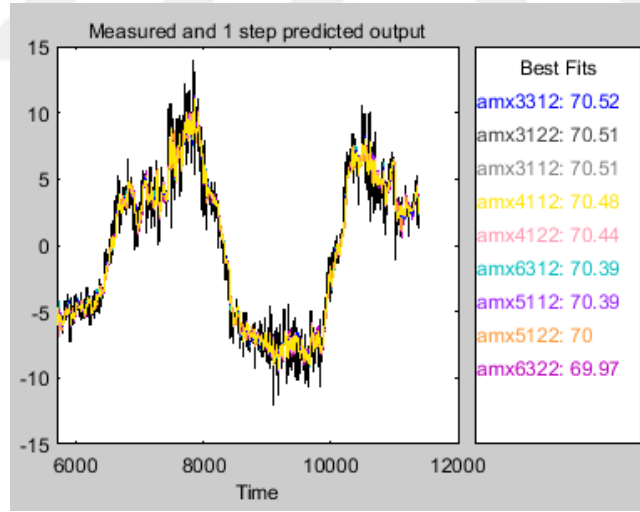
5.4 Devam Eden Bekleme ile Kontrol (DBK) Metodu

Devam eden bekleme ile kontrol (DBK) metodu henüz kuyrukta bulunan – bekleme süreci tamamlanmamış – servis almaya başlamamış araçlar arasındaki ortalama bekleme süresi oranını belirlenen seviyede tutmaya çalışmaktadır. Bu şekilde, SBK modelinden farklı olarak henüz araçların beklemeleri sonlanmadan araçlar arası bekleme oranını kontrol altına almayı hedeflemektedir.

5.4.1 Sistem tanımlama

DBK metodu için yapılan sistem tanımlama çalışmalarının SBK metodunda uygulanan sistem tanımlama çalışmalarından tek farkı, ölçülen çıktı olarak beklemesi sonlanmış araçların ortalama bekleme süreleri yerine henüz kuyrukta olan araçların ortalama bekleme sürelerinin, geri besleme değeri olarak da kuyruktaki araçların ortalama bekleme süreleri kullanılarak hesaplanan farkd (Eşitlik 3.7) değerinin kullanılmasıdır.

Bu aşamada kontrolör tasarımı sırasında kullanılacak olan sistem modelinin tanımlanma adımları gerçekleştirilmiştir. Örnekleme zamanı (T_s) Bölüm 5.1’de belirlendiği şekliyle $T_s = 10$ dakika olarak alınmıştır. Benzer şekilde kaynak değişiminin 1-13 kaynak dağılımı arasında değiştiği dalgali kaynak değişim deneyinden elde edilen verilerin en yüksek fit dereceli modelleri elde ettiğinin gözlemlenmesi üzerine sistem modelleme bu kaynak değişim modeli kullanılmıştır. Sistem tanımlama Bölüm 5.1’de anlatılan adımlar ile tamamlanmıştır. Bu aşamada hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistem için sistem modeli belirleme çalışmasının sonuçları Şekil 5-17’de görülmektedir.



Şekil 5-17: DBK modelinde kaynak değişiminin dalgali 1-13 hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistem için belirlenen bazı modellerin 1 adım ötesi tahmin çıktı grafikleri

Takip edilmesi istenen her hedeflenen bekleme oranı için sistem tanımlama çalışmaları tekrar yapılmaktadır. Çizelge 5-5’te farklı hedeflenen bekleme oranı değerleri için seçilen sistem modellerini ve uyumluluk değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5-5: DBK metodunda farklı hedef bekleme oranı değerleri için seçilen sistem modelleri

Hedeflenen Bekleme Oranı	Seçilen Model	Model Ayrıntıları ARMAX model: $A(z) y(t) = B(z)u(t) + C(z) e(t)$	MATLAB one step ahead Fit değeri
1	ARMAX(4,1,1,2)	$A(z) = 1 + 0.5324 z^{-1} - 0.6663 z^{-2} - 0.4944 z^{-3} - 0.1903 z^{-4}$ $B(z) = -2.776 z^{-2}$ $C(z) = 1 + 0.9313 z^{-1}$	70.97
1.1	ARMAX(6,3,2,2)	$A(z) = 1 - 2.107 z^{-1} + 1.202 z^{-2} - 0.002593 z^{-3} + 0.07028 z^{-4} - 0.2532 z^{-5} + 0.09478 z^{-6}$ $B(z) = -5.888 z^{-2} + 11.39 z^{-3} - 5.586 z^{-4}$ $C(z) = 1 - 1.813 z^{-1} + 0.8806 z^{-2}$	71.05
1.2	ARMAX(6,3,2,2)	$A(z) = 1 - 2.11 z^{-1} + 1.21 z^{-2} - 0.01287 z^{-3} + 0.0799 z^{-4} - 0.2586 z^{-5} + 0.09666 z^{-6}$ $B(z) = -6.232 z^{-2} + 12.09 z^{-3} - 5.939 z^{-4}$ $C(z) = 1 - 1.816 z^{-1} + 0.8816 z^{-2}$	70.79
1.3	ARMAX(6,3,2,2)	$A(z) = 1 - 2.113 z^{-1} + 1.216 z^{-2} - 0.02171 z^{-3} + 0.08742 z^{-4} - 0.2623 z^{-5} + 0.09777 z^{-6}$ $B(z) = -6.505 z^{-2} + 12.63 z^{-3} - 6.214 z^{-4}$ $C(z) = 1 - 1.817 z^{-1} + 0.8819 z^{-2}$	70.51
1.4	ARMAX(6,3,2,2)	$A(z) = 1 - 2.005 z^{-1} + 1.152 z^{-2} - 0.04179 z^{-3} + 0.08493 z^{-4} - 0.2218 z^{-5} + 0.04006 z^{-6}$ $B(z) = -4.251 z^{-2} + 6.861 z^{-3} - 2.785 z^{-4}$ $C(z) = 1 - 1.705 z^{-1} + 0.8448 z^{-2}$	70.26
1.5	ARMAX(6,3,1,2)	$A(z) = 1 - 0.9265 z^{-1} - 0.02174 z^{-2} - 0.01224 z^{-3} + 0.1115 z^{-4} - 0.0724 z^{-5} - 0.05537 z^{-6}$ $B(z) = -2.875 z^{-2} - 4.108 z^{-3} + 6.467 z^{-4}$ $C(z) = 1 - 0.5861 z^{-1}$	70.39
1.6	ARMAX(6,3,3,2)	$A(z) = 1 - 0.02492 z^{-1} - 0.02314 z^{-2} + 0.418 z^{-3} - 0.5304 z^{-4} - 0.3889 z^{-5} - 0.218 z^{-6}$ $B(z) = -3.54 z^{-2} + 3.088 z^{-3} - 4.586 z^{-4}$ $C(z) = 1 + 0.3712 z^{-1} + 0.3972 z^{-2} + 0.8989 z^{-3}$	69.39

1.7	ARMAX(6,3,3,2)	$A(z) = 1 - 0.05478 z^{-1} - 0.006619 z^{-2} + 0.4092 z^{-3} - 0.5213 z^{-4} - 0.3862 z^{-5} - 0.2089 z^{-6}$ $B(z) = -3.948 z^{-2} + 3.847 z^{-3} - 5.18 z^{-4}$ $C(z) = 1 + 0.3409 z^{-1} + 0.3999 z^{-2} + 0.8837 z^{-3}$	69.11
1.8	ARMAX(6,3,3,2)	$A(z) = 1 - 0.04003 z^{-1} - 0.01682 z^{-2} + 0.4188 z^{-3} - 0.5281 z^{-4} - 0.3874 z^{-5} - 0.2143 z^{-6}$ $B(z) = -3.95 z^{-2} + 3.837 z^{-3} - 5.422 z^{-4}$ $C(z) = 1 + 0.3566 z^{-1} + 0.3946 z^{-2} + 0.8964 z^{-3}$	68.79
1.9	ARMAX(6,3,4,2)	$A(z) = 1 - 1.911 z^{-1} + 1.962 z^{-2} - 1.771 z^{-3} + 0.8656 z^{-4} + 0.03846 z^{-5} - 0.1709 z^{-6}$ $B(z) = -3.393 z^{-2} - 1.053 z^{-3} + 4.095 z^{-4}$ $C(z) = 1 - 1.584 z^{-1} + 1.688 z^{-2} - 1.584 z^{-3} + 0.7367 z^{-4}$	67.53
2	ARMAX(6,3,4,2)	$A(z) = 1 - 1.927 z^{-1} + 1.987 z^{-2} - 1.79 z^{-3} + 0.8808 z^{-4} + 0.04443 z^{-5} - 0.809 z^{-6}$ $B(z) = -3.364 z^{-2} - 1.112 z^{-3} + 4.117 z^{-4}$ $C(z) = 1 - 1.603 z^{-1} + 1.709 z^{-2} - 1.61 z^{-3} + 0.7588 z^{-4}$	67.38

5.4.2 Kontrolör tasarımı

Bu aşamada Bölüm 5.2’de anlatılan adımlar tamamlanarak yeni sistem kontrolörünün K_p - K_i değerleri bulunmuştur. Takip edilmesi istenen her hedeflenen bekleme oranı değeri için sistem tanımlama ve kontrolör tasarımı çalışmaları yeniden yapılmaktadır. Kontrolör tasarımı, farklı hedeflenen bekleme oranı için tekrarlanmıştır. Çizelge 5-6’da, Çizelge 5-5’te gösterilen sistem modellerini kontrol etmek için seçilen K_p - K_i parametreleri gösterilmektedir.

Devam eden bekleme ile kontrol metodu uygulamasında kullanılan kontrol denklemi Bölüm 3.2’de açıklandığı gibidir.

Çizelge 5-6: DBK metodunda farklı hedeflenen bekleme oranı değerleri için seçilen kontrolör parametreleri

Hedeflenen Bekleme Oranı	K_p	K_i
1	-0.084947	-0.0011724
1.1	-0.00014851	-2.9702e-05
1.2	-0.070756	-0.00066933
1.3	-0.00014681	-2.9362e-05
1.4	-0.033779	-0.00050002
1.5	-0.0061017	-0.00023952
1.6	-0.006193	-0.00018342
1.7	-0.056487	-0.00068586
1.8	-0.019362	-0.0002832
1.9	-0.000014612	-0.0000029224
2	-0.0028974	-0.00057948

5.4.3 Simülasyon modeli

Devam eden bekleme ile kontrol metodu (DBK), sonlanmış bekleme ile kontrol metodunun (SBK) test edildiği simülasyon ortamında test edilmektedir. DBK metodunun uygulanması için aşağıdaki değişiklikler simülasyon modeline entegre edilmiştir:

1. Monitör modülünün sonlanmış beklemelerin yanı sıra devam eden beklemeleri de ölçmesi sağlanmıştır.
2. Kontrolör modülünün sistem çıktısı olarak devam etmekte olan beklemeleri kullanarak hesaplama yapması sağlanmıştır.

DBK metodu, sistem kontrolünü devam etmekte olan beklemeler üzerinden yapmaktadır ancak modelin performans çıktısı olarak SBK modelinin de kullanmakta olduğu gerçekleşen ortalama bekleme süreleri arasındaki fark (fark) ve gerçekleşen bekleme oranı (Bog) değerleri gösterilmektedir. Bölüm 5.4.4'te farklı hedeflenen bekleme oranı için alınmış sonuçlar anlatılmaktadır.

5.4.4 Performans analizi

Bu bölümde, DBK metodu için farklı parametre değerleri kullanılarak duyarlılık analizleri yapılmıştır. Tüm sonuçlar 36000 dakikalık 10 tekrarlık çalıştırma sonunda elde edilmiştir. Bölüm 5.4.4.1'de, farklı sistem tanımlama modelleri sonucu elde edilen kontrol parametrelerinin sistem performansına etkisi incelenmektedir. Bölüm

5.4.4.2’de sisteme gelen farklı sınıflardaki araç sayılarının oranlarının değişmesi durumundaki sistem performansı incelenmektedir.

5.4.4.1 Farklı sistem modellerinin sistem performansına etkisi

Bu bölümde farklı sistem tanımlama çalışmaları sonucu elde edilen kontrol parametrelerinin sistem performansına etkileri incelenmektedir. Bu bölümdeki tüm simülasyon koşuturumlarında yüksek ve düşük öncelikli sınıfların araç sınıf oranı sabittir($snf=0.5$). Sisteme 1 dakikada giriş yapan araç sayısı 0.69 araç/dakika, servis süresi ise TRIA(10, 18 , 30) dakikadır. Öncelikle Çizelge 5-7’de her hedeflenen bekleme oranı değeri için farklı bir sistem tanımlama modeli (Çizelge 5-5 değerleri) ve farklı kontrol parametreleri (Çizelge 5-6 değerleri) belirlenmesi durumunda elde edilecek sistem performansı ölçülmüştür.

Ardından Çizelge 5-8’de tüm hedeflenen bekleme oranları için yapılan simülasyon koşuturumlarında Çizelge 5-5’te hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistem için elde edilen model (ARMAX(6,3,1,2) modeli) ve bu model için elde edilen K_p ve K_i değeri kullanılmıştır. Son olarak Çizelge 5-9’da sistem tanımlama modeli olarak daha basit bir modelin kullanımı denenmiştir. Çizelge 5-9’da yine tüm hedeflenen bekleme oranı değerlerinin simülasyon modellerinde tek bir $K_p - K_i$ çifti kullanılmış olup bu değerler hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistem tanımlama koşuturumlarından elde edilen daha basit bir modelin (ARX312 modeli) değerleridir.

Doluluk oranının %95, pompa sayısının 14 olduğu, sisteme dakika giriş yapan araç sayısı 0.69 araç/dakika, araçların servis sürelerinin TRIA(10, 18, 30) dakika dağılımına uygun koşuturumlar oluşturulmuştur. Çizelge 5-7, Çizelge 5-8, Çizelge 5-9 ‘da ilk satırda tüm araçların bekleme süreleri ortalaması gösterilirken, sınıfların ayrı ayrı bekleme süreleri ortalamaları yüksek ve düşük öncelikli araçların bulunduğu satırda ifade etmektedir. En alt satırda bulunan gerçekleşen bekleme oranı ise koşuturum sonucu elde edilen düşük öncelikli araçların bekleme ortalamasının yüksek öncelikli araçların bekleme ortalamasına oranını (Bog) yani hedeflenen hedeflenen bekleme oranına ne kadar yaklaşıldığını göstermektedir.

Çizelge 5-7, Çizelge 5-8 ve Çizelge 5-9’da farklı sınıflardaki araçların sisteme geliş ihtimalleri eşittir. (sınıf oran = 0.5) Sistem tanımlama çalışmaları da sınıf oranının 0.5 olduğu durumda yapılmıştır. Çizelge 5-7’de her hedeflenen bekleme oranı değeri için ayrı model oluşturulmasına rağmen Çizelge 5-8 ile yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5-7: DBK metodunda her hedeflenen bekleme oranı değerinin kendi model ve parametresi ile alınan sonuçlar

Ortalama Bekleme Süreleri (dakika)	Ref 1	Ref 1.1	Ref 1.2	Ref 1.3	Ref 1.4	Ref 1.5	Ref 1.6	Ref 1.7	Ref 1.8	Ref 1.9	Ref 2
Tüm Araçlar	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19,345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02
1.Sınıf Araçlar	12.44 ± 1.79	11.92 ± 1.64	11.31 ± 1.44	10.86 ± 1.39	10.28 ± 1.41	9.91 ± 1.38	9.51 ± 1.32	9.35 ± 1.12	8.76 ± 1.22	8.70 ± 1.19	7.98 ± 1.15
2.Sınıf Araçlar	12.70 ± 1.7	13.25 ± 1.83	13.83 ± 2.05	14.31 ± 2.08	14.87 ± 2.04	15.23 ± 2.09	15.64 ± 2.16	15.79 ± 2.36	16.37 ± 2.25	16.44 ± 2.3	17.15 ± 2.32
Gerçekleşen bekleme oranı (<i>Bog</i>)	1.0246 ± 0.03	1.1113 ± 0.01	1.2197 ± 0.05	1.3141 ± 0.05	1.4467 ± 0.02	1.5382 ± 0.01	1.6453 ± 0.02	1.6799 ± 0.06	1.8693 ± 0.02	1.888 ± 0.03	2.1555 ± 0.03

Çizelge 5-8’de bütün modellerde hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistemden alınan en iyi kontrol parametreleri kullanılmış olup gerçekleşen bekleme oranı sonuçları hedeflenen bekleme oranına yakın sonuçlardır. Fakat Çizelge 5-9’da basit bir model kullanıldığı için özellikle hedeflenen bekleme oranı değeri artırıldığında sistem yeterli cevabı veremeyip gerçekleşen bekleme oranı değeri olması gereken değerin altında kalmıştır. Bu bölümde her hedeflenen bekleme oranı değeri için ayrı bir model oluşturmanın gerekli olmadığı, ortalama bir hedeflenen bekleme oranı için ayarlanmış tek bir parametre seti ile de farklı hedeflenen bekleme oranı değerlerinde iyi sonuçlar alınabileceği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5-8: DBK metodunda hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistemde ARMAX(6, 3, 1, 2) modelinin kontrol parametreleri ile alınan sonuçlar

Ortalama Bekleme Süreleri (dakika)	Ref 1	Ref 1.1	Ref 1.2	Ref 1.3	Ref 1.4	Ref 1.5	Ref 1.6	Ref 1.7	Ref 1.8	Ref 1.9	Ref 2
Tüm Araçlar	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02
1. Sınıf Araçlar	12.59 ± 1.73	11.93 ± 1.64	11.35 ± 1.85	10.84 ± 1.5	10.34 ± 1.44	9.91 ± 1.38	9.51 ± 1.32	9.13 ± 1.28	8.79 ± 1.22	8.44 ± 1.17	8.14 ± 1.14
2. Sınıf Araçlar	12.57 ± 1.98	13.22 ± 1.82	13.8 ± 1.89	14.29 ± 1.97	14.79 ± 2.02	15.23 ± 2.09	15.63 ± 2.14	16 ± 2.18	16.36 ± 2.25	16.7 ± 2.3	16.98 ± 2.33
Gerçekleşen bekleme oranı (Bog)	0.999 ± 0.01	1.11418 ± 0.01	1.215 ± 0.01	1.318 ± 0.01	1.43 ± 0.01	1.538 ± 0.01	1.644 ± 0.02	1.755 ± 0.02	1.863 ± 0.02	1.98 ± 0.03	2.09 ± 0.03

Çizelge 5-9: DBK metodunda hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistemde ARX(3, 1, 2) modelinin kontrol parametreleri ile alınan sonuçlar

Ortalama Bekleme Süreleri (dakika)	Ref 1	Ref 1.1	Ref 1.2	Ref 1.3	Ref 1.4	Ref 1.5	Ref 1.6	Ref 1.7	Ref 1.8	Ref 1.9	Ref 2
Tüm Araçlar	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02	19.345 ± 0.02
1. Sınıf Araçlar	12.46 ± 1.71	11.87 ± 1.67	11.21 ± 1.48	10.85 ± 1.45	10.57 ± 1.35	9.99 ± 1.15	9.64 ± 1.12	9.52 ± 1.08	9.19 ± 1.05	8.92 ± 0.96	8.8 ± 0.89
2. Sınıf Araçlar	12.69 ± 1.75	13.28 ± 1.8	13.93 ± 2	14.3 ± 2.02	14.59 ± 2.13	15.16 ± 2.31	15.5 ± 2.34	15.64 ± 2.4	15.95 ± 2.45	16.20 ± 2.53	16.36 ± 2.62
Gerçekleşen bekleme oranı	1.018 ± 0.02	1.120 ± 0.03	1.239 ± 0.04	1.316 ± 0.04	1.376 ± 0.05	1.506 ± 0.07	1.596 ± 0.07	1.632 ± 0.08	1.723 ± 0.09	1.801 ± 0.11	1.84 ± 0.13

5.4.4.2 Farklı araç sınıfı oranlarının sistem performansına etkisi

Bölüm 5.4.4.1’de tamamlanan çalışmalarda, iki sınıftaki araçların toplam araç sayısına oranı eşit olup oran 0.5’tir. Bu bölümde, Bölüm 5.4.4.1’de kullanılan kontrol parametrelerinin, sisteme gelen araç oranlarında bir değişiklik olması durumunda nasıl performans gösterecekleri test edilmektedir.

Şekil 5-18’de farklı hedeflenen bekleme oranı değerleri için bulunan farklı kontrol parametreleri, Şekil 5-19’da hedeflenen bekleme oranı 1.5 için tanımlanan ARMAX(6,3,1,2) modeli ile elde edilen kontrol parametreleri ve Şekil 5-20’de hedeflenen bekleme oranı 1.5 için tanımlanan görece basit ARX(3,1,2) modeli ile elde edilen kontrol parametreleri, farklı araç sınıf oranları için yapılmış olan koştuurumlarda gerçekleşen bekleme hedefinden sapma yüzdelerini göstermektedir. Gerçekleşen bekleme hedefinden sapma yüzdesi Eşitlik 5.3’te gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır. Örneğin Şekil 5-18’de yüksek öncelikli araç oranının 0.5 olduğu noktadaki değerler Çizelge 5-7’de gösterilen değerler kullanılarak hesaplanmaktadır. Benzer şekilde Şekil 5-19 ve Şekil 5-20’de araç oranlarının 0.5 olduğu noktalarındaki değerler de Çizelge 5-8 ve Çizelge 5-9’da gösterilen değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer araç sınıf oran noktaları için yeni koştuurumlar yapılmıştır. Şekil 5-18, Şekil 5-19 ve Şekil 5-20’deki her bir nokta, hedeflenen bekleme oranı ve sınıf oran ile yapılan 10 tekrardan elde edilen sapma yüzdelerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

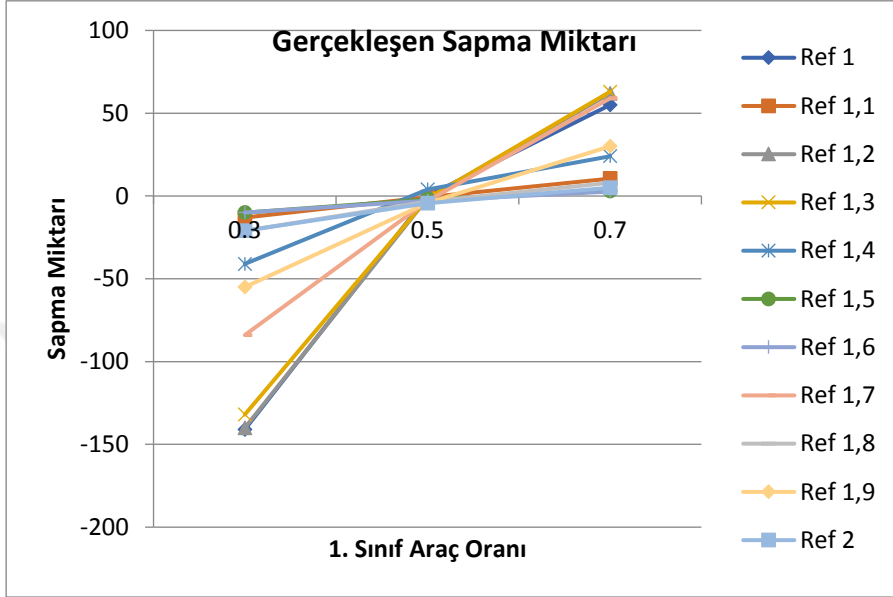
$$\text{Bekleme Hedefinden Sapma Yüzdesi} = 100 * ((Bx*Boh - Bn)/(Bx*Boh)) \quad (5.3)$$

Şekil 5-18, Şekil 5-19 ve Şekil 5-20’de yüzdeler sapmanın pozitif olması yüksek öncelikli araçların hedeflenenden fazla ve düşük öncelikli araçların hedeflenenden az beklediğini, negatif olması ise yüksek öncelikli araçların hedeflenenden az, düşük öncelikli araçların ise hedeflenenden fazla beklediğini göstermektedir.

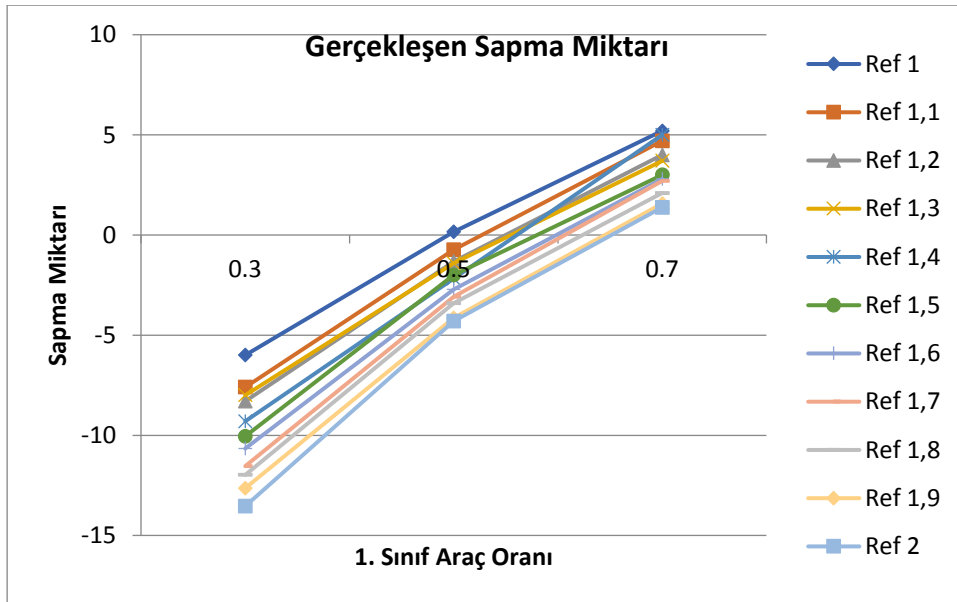
Tüm denemelerde iki sınıfın oranlarının eşit olduğu durumda sistem hedeflenen bekleme oranını yakın olarak tutturabilmektedir. Ancak oran 0.5 ten uzaklaştığında, gerçekleşen bekleme süreleri oranı sayıca az olan tarafın lehine olacak şekilde değişmektedir.

Şekil 5-18’de her hedeflenen bekleme oranı için ayrı model oluşturulmasına rağmen farklı araç sınıf oranlarda gerçekleşen sapma miktarı %140 a kadar yükselmektedir.

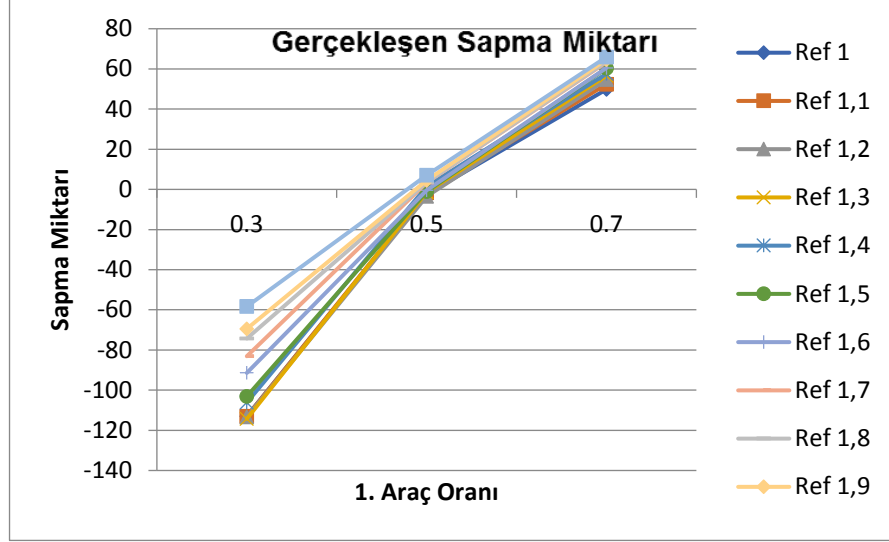
Şekil 5-19’da tüm hedeflenen bekleme oranlarında aynı Kp-Ki değerleri kullanılmış olmasına rağmen Şekil 5-18’e göre daha iyi performans göstermiş ve yüzdelik sapma miktarı %15 i aşmamıştır. Şekil 5-20 ise Çizelge 5-9’daki sonuçlarla paralel olarak en fazla sapmanın olduğu şekildedir.



Şekil 5-18: DBK metodunda her hedeflenen bekleme oranının kendi model ve parametresi ve farklı araç oranlarında alınan sonuçlar

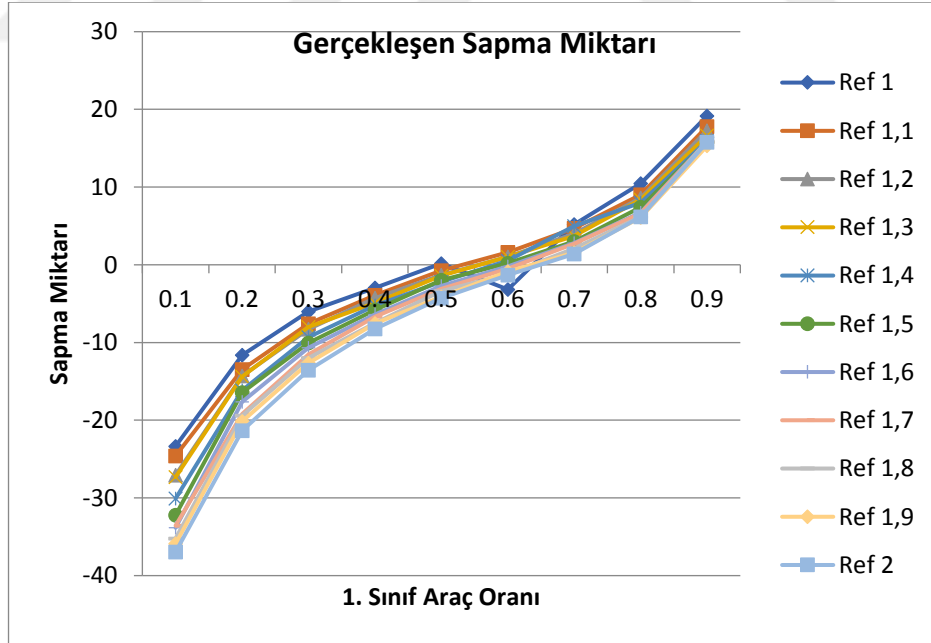


Şekil 5-19: DBK metodunda hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistemde ARMAX(6, 3, 1, 2) modelinin kontrol parametreleri ve farklı araç oranlarında alınan sonuçlar



Şekil 5-20: DBK metodunda hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistemde ARX(3, 1, 2) modelinin kontrol parametreleri ve farklı araç oranlarında alınan sonuçlar

Şekil 5-19'da üç farklı sınıf oran değeri kullanılmış, elde edilen sonuçların başarısı üzerine modelin diğer sınıf oran noktalarındaki performansı da ölçülmüş ve Şekil 5-21'de detaylı olarak gösterilmiştir. İlgili modelin koşturum sonuçlarında tüm hedeflenen bekleme oranı ve araç oranları için sapma miktarı %40'i aşmamıştır.



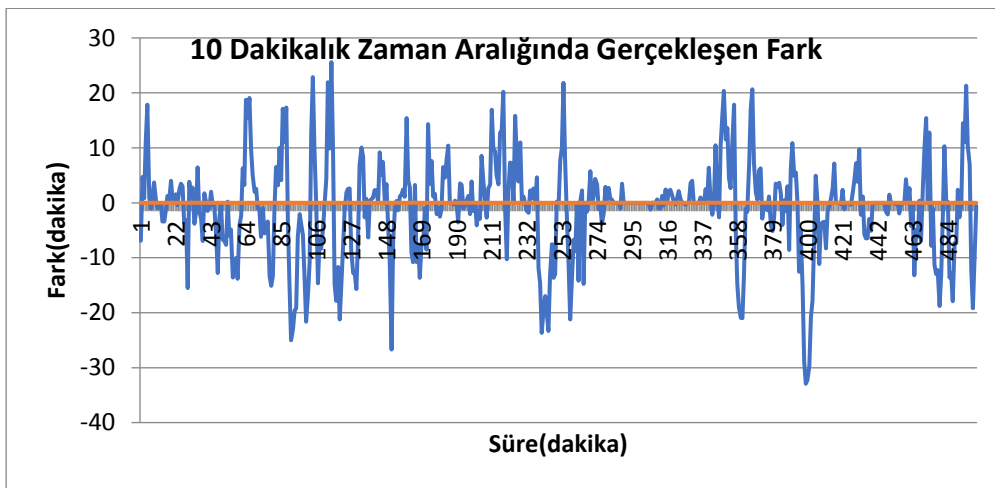
Şekil 5-21: DBK metodunda hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistemde ARMAX(6, 3, 1, 2) modelinin kontrol parametreleri ve tüm hedeflenen bekleme oranı ve tüm araç oranlarında alınan sonuçlar

5.4.4.3 DBK metodunun gerçek zamanlı performansının izlenmesi

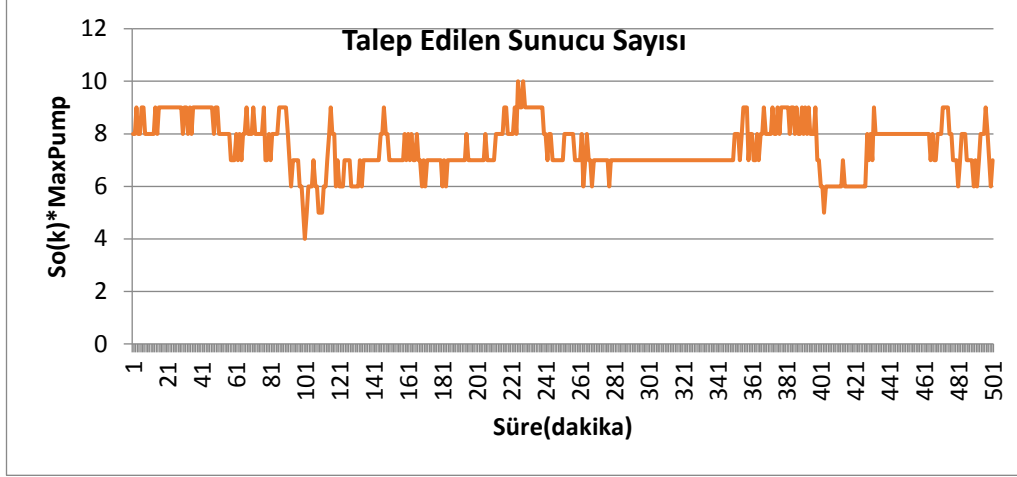
Bu bölümde DBK metodunun örnek bir simülasyon koşturumunun örnek bir zaman aralığındaki gerçek zamanlı performansı incelenmektedir. Bu bölümde kontrol parametresi olarak, performansı Şekil 5-21’de detaylıca incelenmiş olan ARMAX(6, 3, 1, 2) sistem modeli için belirlenen K_p ve K_i değerleri kullanılmıştır. Bir koşturumun seçilen zaman aralığında (22500 ve 27500 dakikalığı arasında) oluşan ortalama bekleme süreleri, gerçekleşen fark ve bu fark karşısında kontrolörün yüksek öncelikli araç sınıfı için talep ettiği sunucu sayıları sırasıyla Şekil 5-22, Şekil 5-23 ve Şekil 5-24’te gösterilmektedir. Şekillerde yatay eksen 10 dakikalık aralıklarla ölçüm yapılan noktaları belirtmektedir.

Şekil 5-22’de görüldüğü gibi 10 dakikalık zaman aralıklarında gerçekleşen fark bazı zaman aralıklarında 0’ın altında kalırken bazı aralıklarda 0’ın üstüne çıkmıştır. Seçilen zaman aralığında gerçekleşen ortalama fark ise -0.888 dakikadır.

Şekil 5-23’te kontrolör tarafından talep edilen yüksek öncelikli araçlara atanacak pompa sayısı gösterilmiştir. Ele alınan zaman dilimi içerisinde kontrolör Şekil 5-22’deki bilgiler ile paralel kararlar almış ve oluşan farkı azaltacak yönde kararlar vermiştir. Bu süreç içerisinde kontrolör yüksek öncelikli araçların sahip olması gereken pompa sayısını hiçbir zaman 14 pompanın üstünde veya 0 pompanın altında hesaplamamıştır.

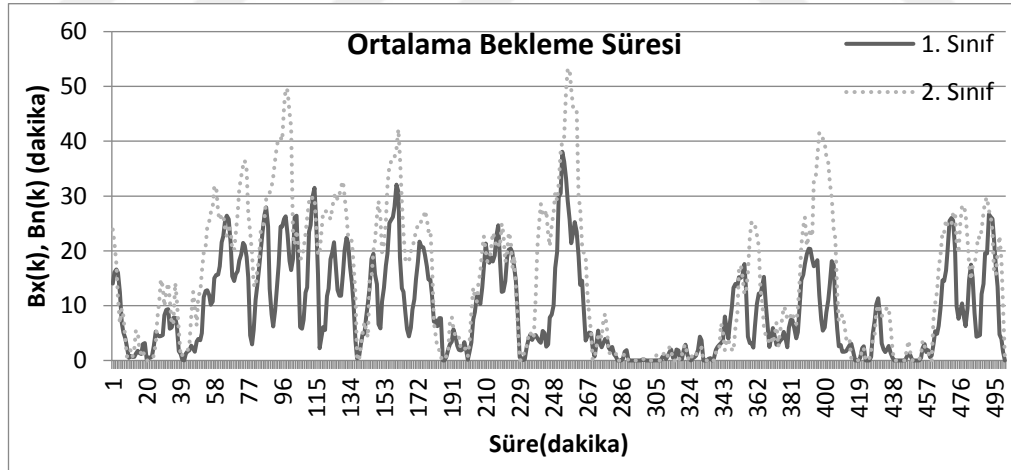


Şekil 5-22: DBK metodunda 10 dakikalık örneklem zamanında gerçekleşen fark



Şekil 5-23: DBK metodunda kontrolör tarafından yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı

Şekil 5-24'te ise seçilmiş olan zaman dilimi içerisinde yüksek ve düşük öncelikli araçların ortalama bekleme süreleri verilmiş olup, kesikli çizgi düşük öncelikli araçların, düz çizgi ise yüksek öncelikli araçların bekleme sürelerini göstermektedir. Yüksek öncelikli araçlar ortalamada 9.205 dakika beklerken, düşük öncelikli araçlar 14.697 dakika beklemiştir. Grafikten de görülebileceği gibi iki sınıfın bekleme süreleri oranı hedeflenen bekleme oranı olan 1.5'a yakın bir değerdir.



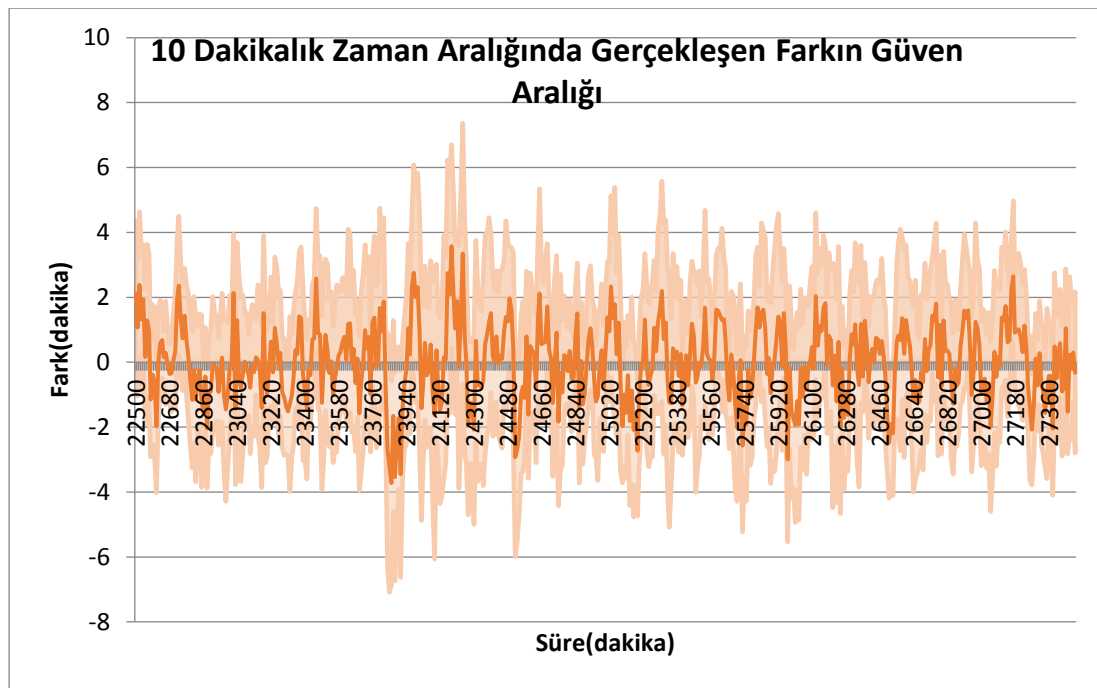
Şekil 5-24: DBK metodunda araçların sınıflara göre ortalama bekleme süreleri

Şekil 5-24'te 263. veri noktasında görüldüğü gibi yüksek öncelikli araçlar için bekleme süresi 13.82 dakika, düşük öncelikli araçlar için 27.8 dakikadır. Bu noktada oluşan fark değeri Şekil 5-22'de görüldüğü gibi -14.20 dakikadır. Şekil 5-23'te 263. Veri noktasında yüksek öncelikli araçlar için 6 adet sunucu istenildiği, bu dakikanın sonunda ise gerçekleşen fark değeri sebebiyle istenen sunucu sayısının artırılarak 7 olmuştur

Artan sunucu sayısı sayesinde sistem dengesini tekrar bulmakta ve fark değeri 265. Veri noktasında 2.24 dakikaya çıkmaktadır.

Şekil 5-24'te incelenen süre aralığı sırasında sınıfların ortalama bekleme sürelerinin 10 ile 20 dakika arasında olduğu gözlemlenmektedir. Bu sebeple aynı zaman aralığında sistemde bulunan araçlar arası bekleme farkının incelenmesi için gerçekleşen bekleme farkı, Şekil 5-22'deki veriler kullanılarak 20 dakikalık aralıklarla tekrar hesaplanmıştır.

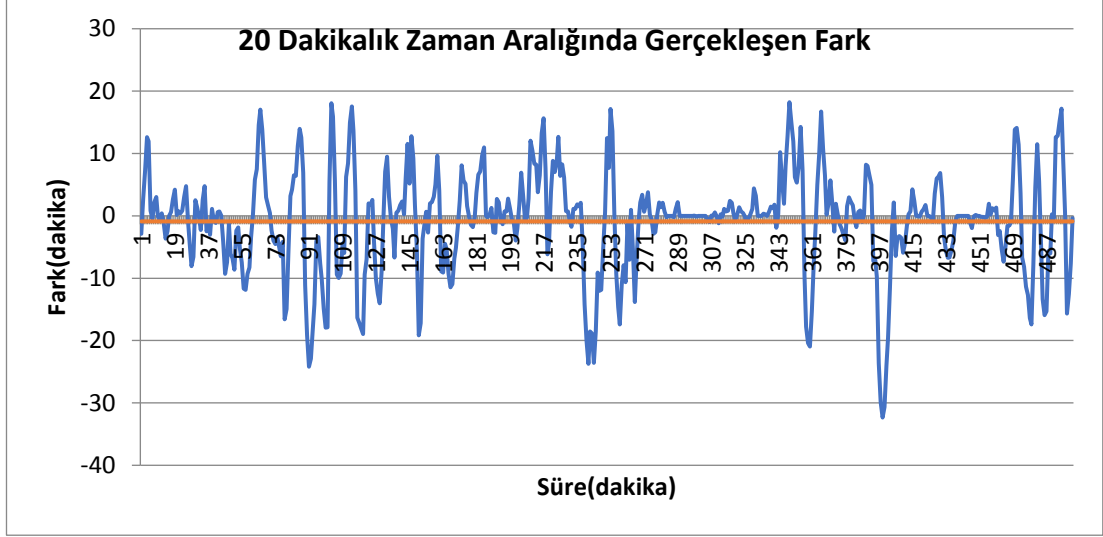
Şekil 5-25'te 10 dakikalık zaman aralığında gerçekleşen farkın 22500 ve 27500 dakikaları arasında ve 30 koşturum için güven aralığı gösterilmiştir.



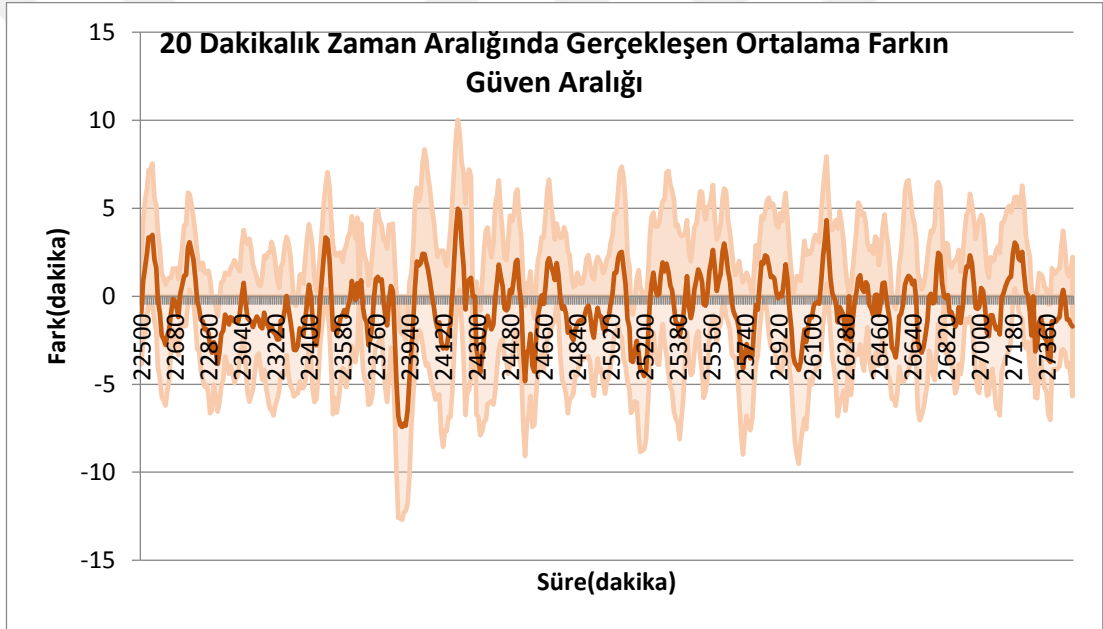
Şekil 5-25: DBK metodunda 10 dakikalık zaman aralığında gerçekleşen farkın güven aralığı

Şekil 5-26 gerçekleşen farkın 20 dakikalık aralıklarla ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Şekil 5-26 ve Şekil 5-22 karşılaştırıldığında Şekil 5-26'nın daha geniş zaman aralığını kapsamaması sebebiyle gerçekleşen farkların daha düşük gözlemlenmektedir. Araç sahipleri tarafından algılanan farklar da Şekil 5-26'daki gibi olacaktır.

Şekil 5-27'de 20 dakikalık zaman aralığında gerçekleşen farkın 22500 ve 27500 dakikaları arasında ve 30 koşturum için güven aralığı gösterilmiştir.



Şekil 5-26: DBK metodunda 20 dakikalık örneklem zamanında gerçekleşen fark



Şekil 5-27: DBK metodunda 20 dakikalık zaman aralığında gerçekleşen farkın güven aralığı

5.4.4.4 DBK metodunun istasyon doluluk oranına duyarlılığı

Çizelge 5-10'da farklı doluluk oranlarının sistemin performansına etkisi incelenmektedir. Bu bölümde farklı doluluk oranlarının incelenebilmesi için araçlar istasyona farklı varış hızlarıyla gönderilmektedir. Araçların servis süresi önceki bölümlerde olduğu gibi TRIA(10, 18, 30) dakikadır. Bu bölümdeki koştuurumlarda hedeflenen bekleme oranı değeri 1.5 olup, araçların oranı 0.5 ve kontrol parametresi olarak Bölüm 5.4.4.1'de belirtilen ARMX6312 modelinin kontrol parametreleri kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar 10 tekrarın ortalamasıdır.

Çizelge 5-10'da görüldüğü gibi doluluk oranının daha fazla olduğu sistemlerde hedeflenen bekleme oranı değerine daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Doluluk oranı azaldıkça kuyrukta bekleyen kişi sayısı azalmakta ve tek bir sunucunun dahi atandığı sınıfın değişiminin etkisi daha büyük olmaktadır. Dolayısıyla sistem hedefi istenen detay derecesinde tutturmakta zorlanmaktadır. Doluluk oranının daha düşük olduğu sistemlerde koşuturlar boyunca elde edilen maksimum ve minimum fark değerleri daha küçüktür. Bunun da sebebi doluluk oranının azalmasıyla birlikte kuyruktaki bekleme sürelerinin düşmesidir.

Çizelge 5-10: DBK metodunda farklı doluluk oranlarında fark ve gerçekleşen bekleme oranı

Doluluk Oranı	Fark	Min Fark	Maks Fark	Gerçekleşen Bekleme Oranı
%95	0.3618 ± 0.0048	-49.06	39.66	1.538 ± 0.01
%93	0.0114 ± 0.0039	-38.51	25.39	1.549 ± 0.02
%90	0.006 ± 0.005	-34.487	32.075	1.558 ± 0.04
%87	0.0048 ± 0.0034	-24.99	28.8	1.563 ± 0.04
%85	0.0107 ± 0.0032	-22.18	22.97	1.551 ± 0.06
%82	0.0106 ± 0.0034	-16.98	17.93	1.554 ± 0.05

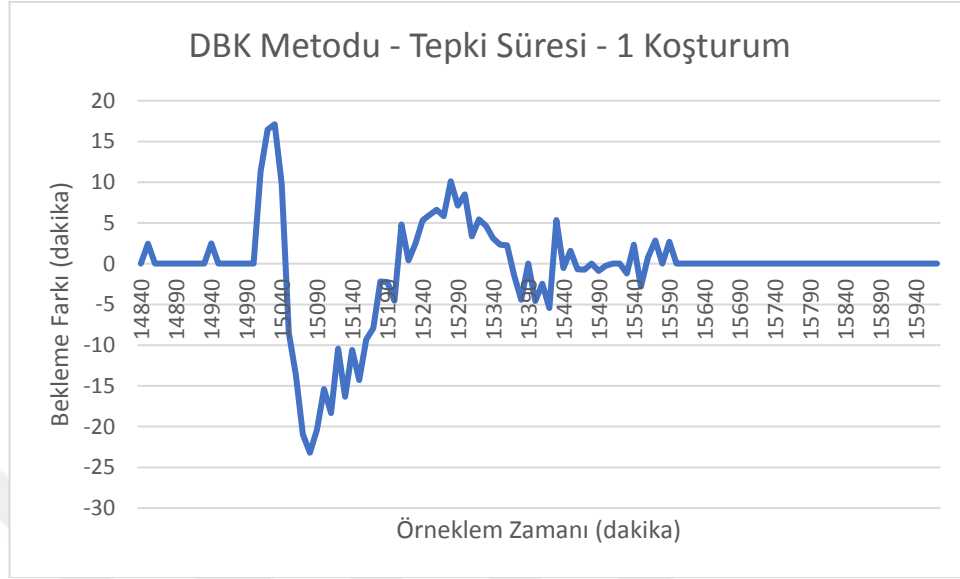
5.4.4.5 DBK metodunun tepki süresinin ölçümü

Bölüm 3.1.2'de bahsedilen Tepki Süresi hesaplanırken yüksek öncelikli araç oranının 0.5, hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5, doluluk oranının 0.95 olduğu, araçların sabit hızlarla sisteme giriş yaptığı bir simülasyon kullanılmıştır. 30000 dakikalık bir modelde 15000 dakikada sisteme 20 adet yüksek öncelikli araç gönderilmiş ve sistemin dengeye kaç dakikada geleceği $T_s=10$ dakikalık örneklem zamanı içinde ölçülmüştür.

Şekil 5-28'de yüksek öncelikli araç oranının 0.5, hedeflenen bekleme oranı değerinin ise 1.5 olduğu sistem için yapılan koşuturlardan 1 tanesi örnek olarak alınmıştır. Grafik üzerinde 14840 – 15970 dakikalığı arası fark gösterilmiştir.

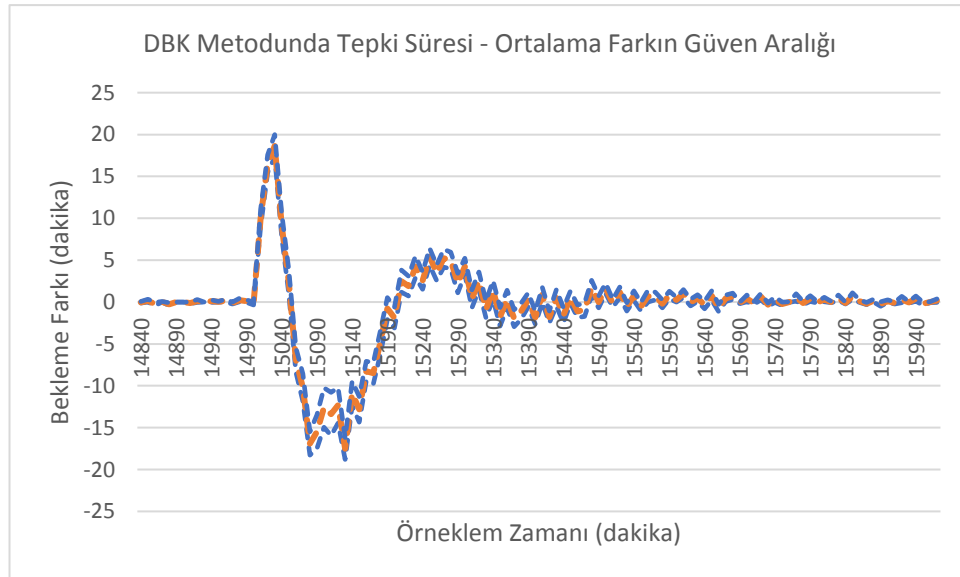
Şekil 5-29'da ise yüksek öncelikli araç oranının 0.5, hedeflenen bekleme oranı değerinin ise 1.5 olduğu sistem için yapılan 30 koşuturundan alınan verilerle güven aralığı gösterilmiştir. Grafik üzerinde 14840 – 15970 dakikalığı arası fark gösterilmiştir.

30 koşturumda elde edilen tepki süresi değerleri ortalaması 17.8örneklem zamanıdır (178 dakika). Yani DBK metodunda sistemin dengeye ulaşması yaklaşık 3 saat sürmektedir.



Şekil 5-28: DBK metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı

Şekil 5-28'deki koşturumun tepki süresi 17 örneklem zamanı (170 dakika) olarak ölçülmüştür.



Şekil 5-29: DBK metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı



6 YÜZEY TEPKİ METODU İLE KONTROL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Kontrolör parametrelerinin bulunması için kullanılan bir diğer yöntem Yüzey Tepki Metodudur. Bölüm 6.1’de yüzey tepki metodunun yöntemi, Bölüm 6.2’de yüzey tepki metodu ve genetik algoritma ile kontrolör parametrelerinin çalışmadaki probleme nasıl entegre edildiği, Bölüm 6.3 ve Bölüm 6.4’te ise sırayla simülasyon modeli ve performans ölçümlerinden bahsedilecektir.

6.1 Yöntem

Yüzey tepki metodu ile kontrol parametrelerinin bulunması 2 aşamada gerçekleşmiştir. İlk adım Bölüm 6.1.1’de anlatılan yüzey tepki metodu ile yüzey tepki fonksiyonlarının geliştirilme adımları, ikinci adım ise geliştirilen yüzey tepki fonksiyonları kullanılarak Bölüm 6.1.2’de bahsedildiği üzere genetik algoritma aracılığıyla tasarım optimizasyonudur.

6.1.1 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 ve diğ., 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 ve diğ., 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 6-1’de gösterilen matrise ve Eşitlik 6.1 ve Eşitlik 6.2’ye uygun şekilde yapılmıştır.

Çizelge 6-1: 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

$$x_1 = \frac{2*(K_p - \bar{K}_p)}{\Delta K_p} \quad (6.1)$$

$$x_2 = \frac{2*(K_i - \bar{K}_i)}{\Delta K_i} \quad (6.2)$$

Eşitlik 6.3’te ikinci dereceden regresyon modellerinin genel gösterimi bulunmaktadır.

$$y = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_k * x_k + \beta_{11} * x_1^2 + \dots + \beta_{kk} * x_k^2 + \beta_{12} * x_1 * x_2 + \beta_{13} * x_1 * x_3 + \dots + \beta_{k-1,k} * x_{k-1} * x_k + \varepsilon \quad (6.3)$$

(Myers, Montgomery ve Anderson-Cook 2015)

Eşitlik 6.3’te β parametre iken ε sistem hatasıdır.

6.1.2 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 seçimden 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) kullanmaktadır. 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.

6.2 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 oranının 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

- K_p 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 (H_p Bekleme * Hedeflenen Bekleme Oranı - L_p Bekleme) merkez nokta için belirlenir ve Eşitlik 6.4 ile K_p parametresi bulunur. Örneğin 1 adet pompanın diğer sınıfa geçmesini sağlayacak farkın 4 dakika olduğu bir durumda Eşitlik 6.4 kullanıldığında K_p parametresi -0.01786 çıkmaktadır.

$$K_p = -(1/(\text{Toplam Sunucu Sayısı} * \text{Fark})) \quad (6.4)$$

- K_i parametresinin hesaplanması

K_i parametresi, K_p parametresine bağılı olarak hesaplanır.

Bölüm 5.4.2'de yüksek öncelikli araç oranının 0.5, hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu sistem için seçilen ve diğer hedeflenen bekleme oranı ve araç oranlarında iyi sonuç elde edilen K_p - K_i parametre çiftinin (-0.0061017, -0.00023952) aralarındaki oran dikkate alınarak başlangıç K_i parametresi başlangıç K_p parametresinin 0.04 ile çarpılarak elde edilmiştir.

Adım 2: Belirlenen K_p ve K_i değerleri ile bir CCD deney tasarım matrisi düzenlenmesi:

K_p ve K_i parametreleri için merkez noktanın belirlenmesinin ardından delta seçilerek tasarım matrisindeki diğer noktalar Çizelge 6-1'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 koşurumdan elde edilen ortalama değerleri kaydedilir.

Adım 4: Deney noktalarının yanıtları kullanılarak yüzey denklemi oluşturulması:

Yüzey denklemi oluşturmak için Minitab 19 programı kullanılmıştır. Öncelikle programa K_p , K_i , 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 hiçbiri, başka bir objektif fonksiyon değerini daha da kötüleştirmeden geliştirilemiyorsa bu çözüm pareto optimaldir(Miettinen, 1998).

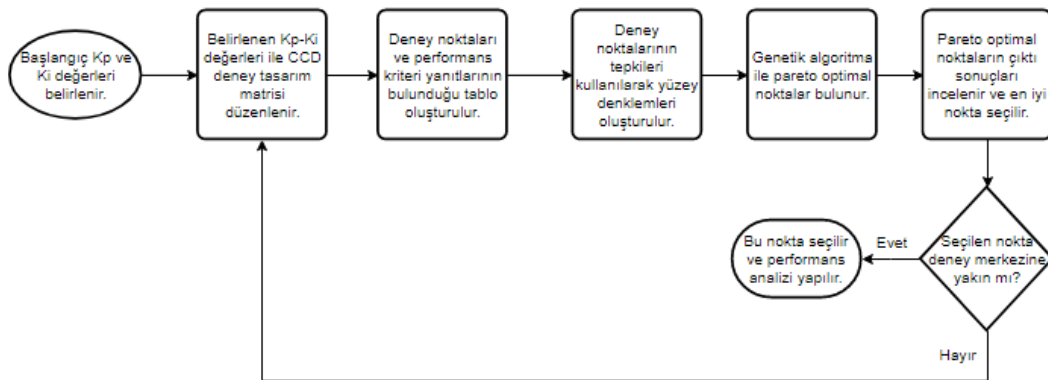
Minitab programından Tepki süresi ve Yüzey sapma değerleri için birer model olmak üzere toplam iki adet ikinci derece regresyon modeli elde edildikten sonra bu modeller üzerinde optimal noktaların aranması için Genetik Algoritma Metasezgisel yöntemi

kullanılmaktadır. Bu bölüm için MATLAB programının “Optimization” paketi içerisinde bulunan “Multiobjective Genetic Algorithm” aracı kullanılmıştır ve regresyon denklemleri kullanılarak pareto optimal K_p , K_i 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 K_p - K_i 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 dönlür. Seçilen nokta tasarım alanının merkezine yakınsa bu nokta seçilerek farklı koşullardaki performansı incelenir.

Gerçekleştirilen adımlar Şekil 6-1’de akış şeması ile gösterilmektedir.



Şekil 6-1: Yanıt yüzeyi yöntemi akış şeması

6.2.1 Örneklem zamanının (T_s) 1.5 olduğu sistemde uygulama

Çalışmanın bu bölümünde $T_s = 1.5$ dakikalık örneklem zamanı kullanılmaktadır. Uygulamaların ilk adımında kullanılan başlangıç K_p ve K_i parametreleri $T_s = 3$ dakika örneklem süreli deneyden elde edilmiştir. $T_s = 3$ dakika örneklem süresiyle yapılan deneyin detayları Ek 1’de açıklanmaktadır.

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 6-2’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 6-2 : $T_s = 1.5$ modelinin ilk deney tasarımı

	K_p	K_i	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 6-2 ve Şekil 6-3’de 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
K _p	1	81.176	81.176	19.63	0.021
K _i	1	156.487	156.487	37.85	0.009
Square	2	2.041	1.021	0.25	0.796
K _p *K _p	1	1.311	1.311	0.32	0.613
K _i *K _i	1	1.926	1.926	0.47	0.544
2-Way Interaction	1	52.056	52.056	12.59	0.038
K _p *K _i	1	52.056	52.056	12.59	0.038
Error	3	12.403	4.134		
Total	8	304.164			

Şekil 6-2: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıtı1) için varyans analizi tablosu

Bu çalışmada önem derecesi (level of significance) olarak $\alpha = 0.05$ değeri kabul edilmiştir. Şekil 6-2’de verilen ANOVA değerleri incelendiğinde doğrusal parametreler olan K_p ve K_i için p değerinin 0.05 den düşük olduğu görülmektedir.

Model Summary

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

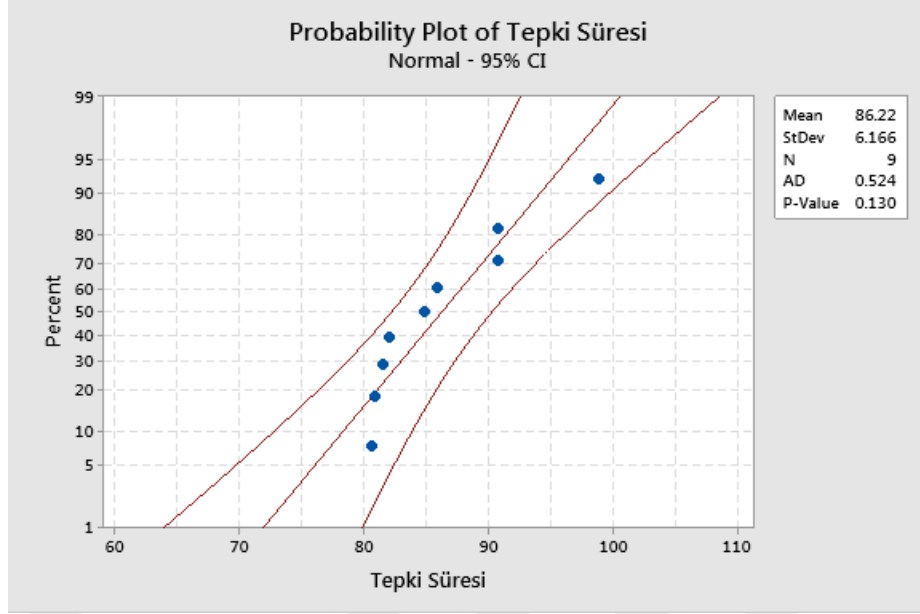
Şekil 6-3: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıtı1) için model özeti tablosu

P değerinin kabul edilen önem derecesi olan 0.05 den küçük olması K_p ve K_i parametrelerinin Tepki Süresi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca $K_p * K_i$ 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 6-3'te verilen Model özeti tablosunda R^2 değerinin %95.92, düzeltilmiş R^2 (R^2 adjusted) değerinin %89.13 olduğu görülmektedir. 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 6-4'te verilmektedir.

Şekil 6-4'te mavi noktaların grafik içerisindeki doğrusal çizgilere olan yakınlığı tahmin edilen değerlerin simülasyon sonuçları ile uyumunu gösterir (Neşeli vd., 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 6.5'deki gibidir.



Şekil 6-4: Ts = 1.5 başlangıç deney tasarımı tepki süresi residual grafiği

$$\text{Tepki Süresi} = 292.7 + 7349 * K_p + 120276 * K_i + 26850 K_p * K_p + 13020000 * K_i * K_i + 2886000 * K_p * K_i \quad (6.5)$$

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 6-5 ve Şekil 6-6'da gösterilmiştir.

Şekil 6-5'te verilen ANOVA değerleri incelendiğinde tepki süresinde olduğu gibi doğrusal parametreler olan K_p ve K_i için p değerinin yine 0.05'ten düşük olduğu görülmektedir. Bu durum K_p ve K_i parametrelerinin Yüzde Sapma üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. İkili etkileşim $K_p * K_i$ ve karesel etkileşimlerden $K_p * K_p$ için de p-değerleri 0.05'ten küçüktür.

Şekil 6-6'da verilen Model özeti tablosunda R^2 değerinin %99.87, düzeltilmiş R^2 (R^2 adjusted) değerinin %99.64 olduğu gözükmemektedir ve modelin veriyle uyumu yüksektir.

Modelin performansının analizi için incelenen Residual grafiği Şekil 6-7'de verilmektedir.

Analysis of Variance

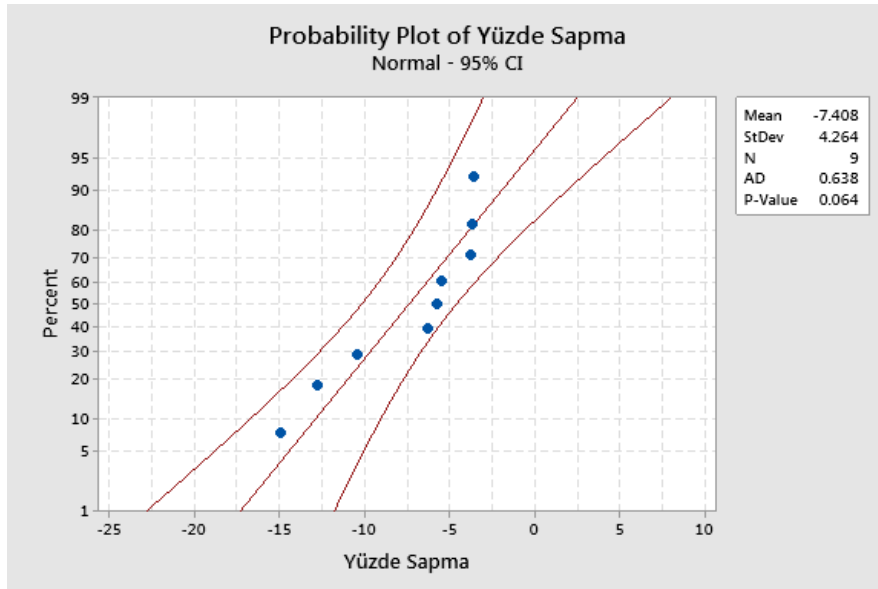
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	145.288	29.058	446.79	0.000
Linear	2	128.697	64.348	989.42	0.000
Kp	1	127.231	127.231	1956.30	0.000
Ki	1	1.466	1.466	22.54	0.018
Square	2	15.075	7.537	115.89	0.001
Kp*Kp	1	9.470	9.470	145.62	0.001
Ki*Ki	1	0.017	0.017	0.27	0.640
2-Way Interaction	1	1.516	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 6-5: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıktı2) için varyans analizi tablosu

Model Summary

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

Şekil 6-6: $T_s = 1.5$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıktı2) için model özeti tablosu



Şekil 6-7: $T_s = 1.5$ başlangıç deney tasarımı yüzde sapma residual grafiği

Şekil 6-7’de 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 6.6’daki gibidir.

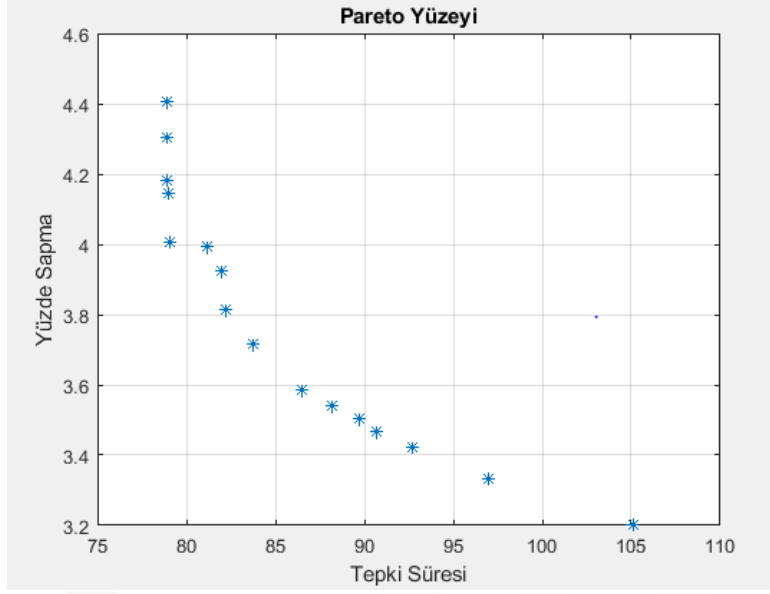
$$\text{Yüzde Sapma} = -5.0 - 743 * K_p + 1945 * K_i - 72172 * K_p * K_p - 1240602 * K_i * K_i + 492560 * K_p * K_i \quad (6.6)$$

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 6-3’te verilmiştir.

MATLAB programından elde edilen pareto optimal noktaların grafiği Şekil 6-8’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 6-3: 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 6-8: $T_s= 1.5$ için başlangıç deney tasarımında pareto optimal noktalar

Pareto optimal noktaların gerçek çıktı değerlerinin bulunması için simülasyon modeli kullanılarak 50 koşutrum yapılmıştır. Pareto olarak belirlenen K_p - K_i noktaları için simülasyondan elde edilen değerler ve regresyon denklemlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 6-4 'te gösterilmektedir. Simülasyon sonuçlarının regresyon denkleminde elde edilen sonuçlarla uyumu regresyon modelinin sonuç yüzeyini iyi bir şekilde temsil edebildiğini göstermektedir.

Şekil 6 9'da $T_s= 1.5$ için başlangıç deney tasarımı ve pareto optimal noktalar grafik üzerinde gösterilmiştir.

Adım 6: Şekil 6-9 incelendiğinde pareto noktaların deney tasarım alanının kenarında kaldığı gözlemlenmektedir. Pareto noktaların 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 6-5'te gösterilmektedir.

Toplamda 3 deney tasarımı yapılmış ve nihai K_p - K_i çiftine ulaşılmıştır.

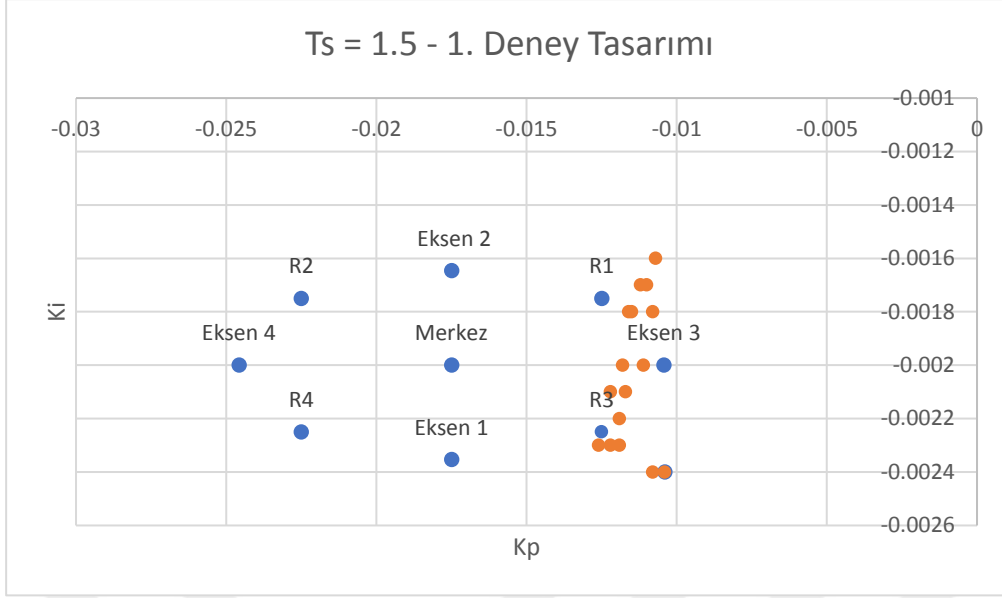
3. deney tasarımı için takip edilen adımlar aşağıdaki gibidir.

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

Adım 2: Çizelge 6-1'deki denklemlere göre deney noktaları bulunmuştur.

Çizelge 6-4: 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 6-9: Ts= 1.5 için başlangıç deney tasarımı ve pareto optimal noktalar

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

Adım 4: Deney noktalarının tepki değerleri kullanılarak yüzey denklemleri Minitab19 programı ile bulunmuştur. Tepki Süresi için Varyans Analizi ve Model Özeti tabloları Şekil 6-10 ve Şekil 6-11'de gösterilmiştir.

Şekil 6-10'da verilen ANOVA değerleri incelendiğinde doğrusal parametreler olan K_p ve K_i için p değerinin 0.05'ten düşük olduğu görülmektedir. Bu durum K_p ve K_i parametrelerinin Tepki Süresi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Karesel etkileşimlerden $K_i * K_i$ ve $K_p * K_p$ için de p-değeri 0.05'ten küçüktür.

Şekil 6-11'de verilen Model özeti tablosunda R^2 değerinin %99.12, düzeltilmiş R^2 (R^2 adjusted) değerinin %97.64 olduğu görülmektedir ve modelin veriyle uyumunun yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Modelin performansının analizi için incelenen grafik Şekil 6-12'de verilmektedir.

Çizelge 6-5: 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

Çizelge 6-6: $T_s = 1.5$ 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

Analysis of Variance

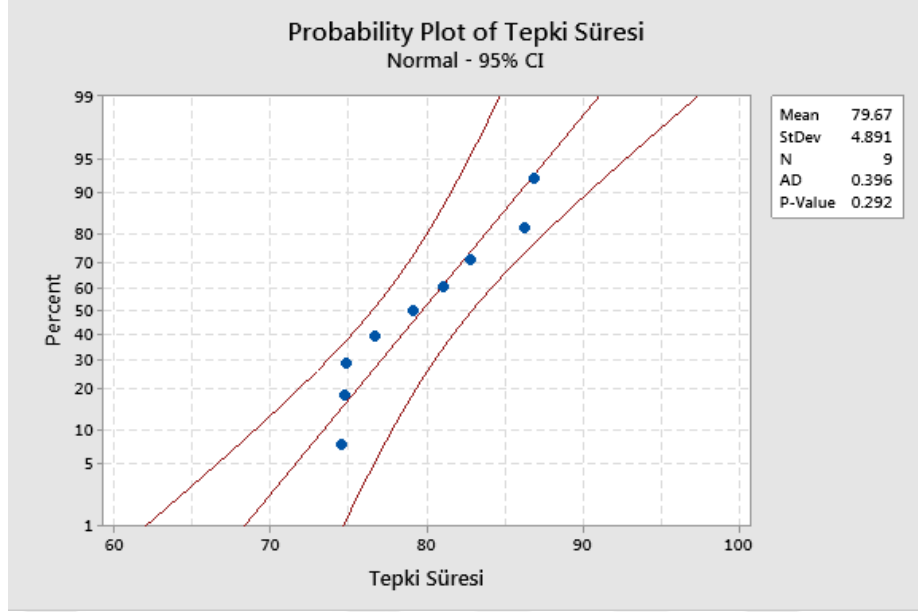
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	189.676	37.935	67.28	0.003
Linear	2	145.261	72.631	128.82	0.001
Kp	1	134.964	134.964	239.38	0.001
Ki	1	10.297	10.297	18.26	0.024
Square	2	29.669	14.835	26.31	0.013
Kp*Kp	1	22.190	22.190	39.36	0.008
Ki*Ki	1	26.084	26.084	46.26	0.006
2-Way Interaction	1	14.746	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 6-10: $T_s = 1.5$ 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 6-11: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının tepki süresi için model özeti tablosu



Şekil 6-12: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı tepki süresi residual grafiği

Şekil 6-12’de 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 6.7’deki gibidir.

$$\begin{aligned} \text{Tepki Süresi} = & 494.6 + 7776 * K_p + 274252 * K_i + 110475 * K_p * K_p \\ & + 47910000 * K_i * K_i + 1536000 * K_p * K_i \end{aligned} \quad (6.7)$$

Yüzde sapma için Varyans Analizi ve Model Özeti tabloları Şekil 6-13 ve Şekil 6-14’te 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
K_p	1	5.4431	5.44306	543.56	0.000
K_i	1	0.0026	0.00260	0.26	0.646
Square	2	5.9802	2.99010	298.60	0.000
$K_p * K_p$	1	3.6815	3.68153	367.65	0.000
$K_i * K_i$	1	0.0027	0.00265	0.26	0.642
2-Way Interaction	1	0.1657	0.16572	16.55	0.027
$K_p * K_i$	1	0.1657	0.16572	16.55	0.027
Error	3	0.0300	0.01001		
Total	8	11.6216			

Şekil 6-13: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının yüzde sapma için varyans analizi tablosu

Model Summary

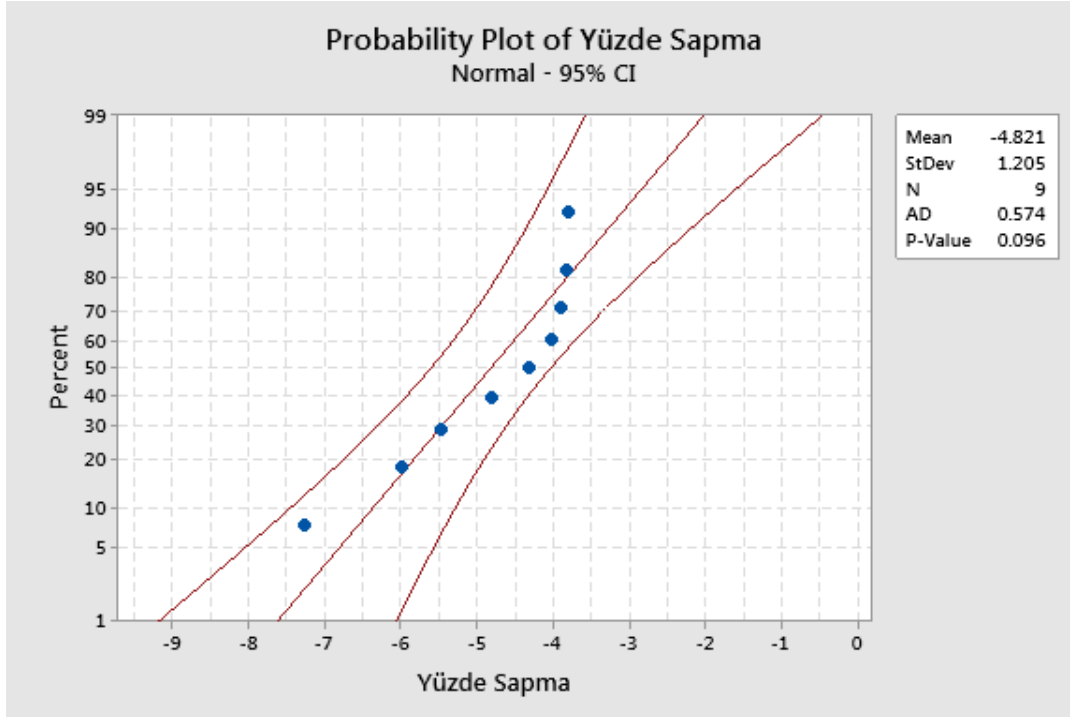
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.100069	99.74%	99.31%	*

Şekil 6-14: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı noktalarının yüzde sapma için model özeti tablosu

Şekil 6-13'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 6-14'te verilen Model özeti tablosunda R^2 değerinin %99.74, düzeltilmiş R^2 (R^2 adjusted) değerinin %99.31 olduğu görülmektedir ve modelin veriyle uyumunun yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Modelin performansının analizi için incelenen grafik Şekil 6-15'te verilmektedir.

Şekil 6-15'te 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 6.8'deki gibidir.



Şekil 6-15: $T_s = 1.5$ için 3. deney tasarımı yüzde sapma residual grafiği

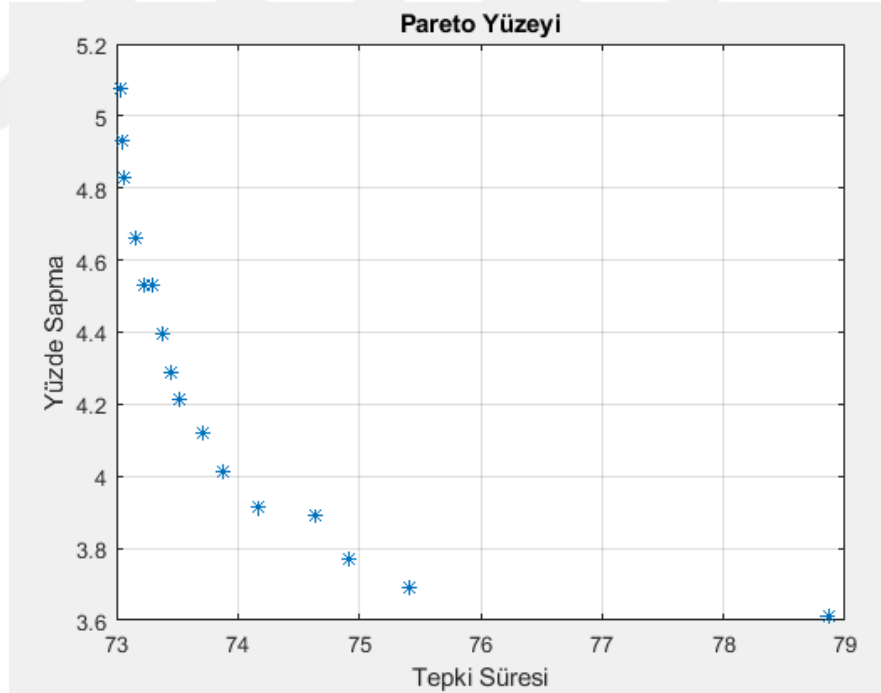
$$\begin{aligned} \text{Yüzde Sapma} = & -7.44 - 618 * K_p - 401 * K_i - 44998 * K_p * K_p - 482916 \\ & * K_i * K_i + 162836 * K_p * K_i \end{aligned} \quad (6.8)$$

Adım 5: “Multiobjective Genetic Algorithm” aracı ve regresyon denklemleri kullanılarak elde edilen pareto optimal noktaların Matlab programından alınmış grafiği Şekil 6-16’da gösterildiği gibidir.

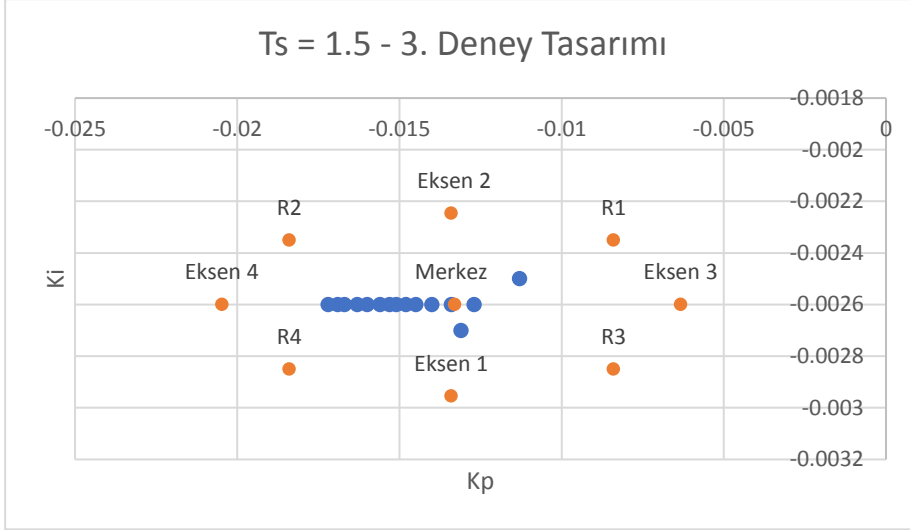
Pareto optimal noktaların simülasyon kullanılarak 50 çalıştırma sonucu gerçek çıktı değerleri ve regresyon sonuçları elde edilmiştir. Bu değerler Çizelge 6-7’de gösterilmektedir.

Adım 6: 3. deney tasarımı sonucunda pareto optimal noktalar Şekil 6-17’de gösterildiği gibidir. Noktaların merkez nokta etrafında konumlandığı görülmektedir.

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



Şekil 6-16: $T_s= 1.5$ için 3. deney tasarımında pareto optimal noktalar



Şekil 6-17 : Ts = 1.5 için 3. deney tasarımı ve pareto optimal noktaların grafik üzerinde gösterilmesi

6.3 Sistem Simülasyonu

Yüzey tepki metodu uygulanması aşamasında simülasyon modelinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır ve simülasyon modeli Bölüm 4’te anlatıldığı gibidir.

6.4 Performans Analizi

Tüm performans testlerinde araçların servis süresi TRIA(10, 18, 30) dağılımına uygun şekildedir. Modeller 30 koşturum ve her bir koşturum 30000 dakika olacak şekilde çalıştırılmıştır ve 3000 dakikası ısınma periyodu olarak belirlenmiştir.

Elde edilen K_p - K_i çifti ile 4 farklı performans analizi yapılmıştır.

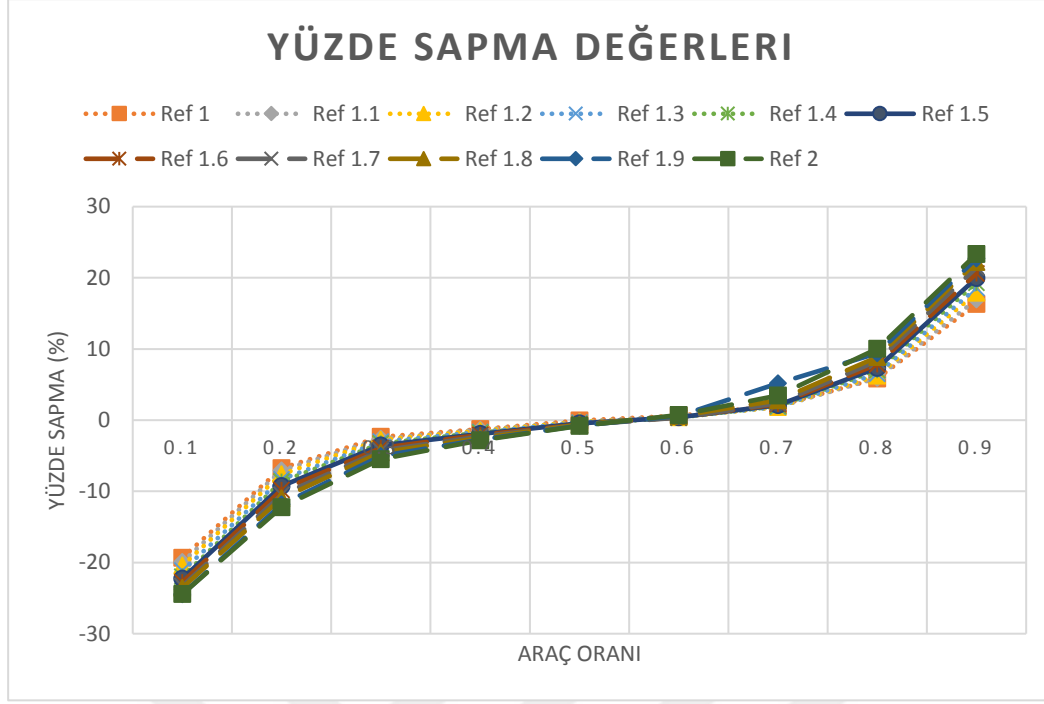
6.4.1 Farklı araç sınıfı oranlarının sistem performansına etkisi

Bu performans ölçütünde %95 doluluk oranı ile yüksek ve düşük öncelikli araçların sistemdeki oranları ve hedeflenen bekleme oranı değerleri değiştirilmiş ve her bir değişiklikte kontrolörün etkisi analiz edilmiştir. Yüzde sapma değerleri Eşitlik 3.2’ye göre hesaplanmıştır.

Şekil 6-18’de yatay eksen yüksek öncelikli araç oranını, dikey eksen ise yüzde sapma değerlerini göstermektedir.

Çizelge 6-7: 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



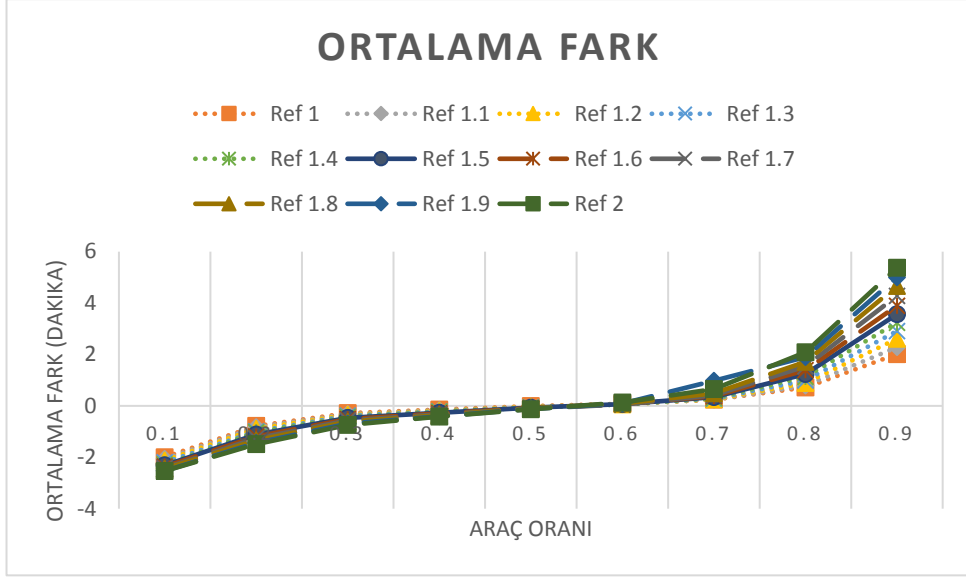
Şekil 6-18: Her araç oranı ve her hedeflenen bekleme oranı için yüzde sapma grafiği

Yüksek öncelikli araç oranının 0.5'ten fazla olduğu noktalarda yüzdelik sapmanın pozitif olması yüksek öncelikli araçların hedeflenenden fazla ve düşük öncelikli araçların hedeflenenden az beklediğini, yüksek öncelikli araç oranının 0.5'ten az olduğu noktalarda ise yüzde sapmanın negatif olması ise yüksek öncelikli araçların hedeflenenden az, düşük öncelikli araçların ise hedeflenenden fazla beklediğini göstermektedir.

Tüm hedeflenen bekleme oranlarında yüksek ve düşük öncelikli araç oranlarının eşit (0.5-0.5) olduğu durumda sistem, hedeflenen bekleme oranını yakın olarak tutturabilmektedir. Ancak oran 0.5 ten uzaklaştığında gerçekleşen bekleme süreleri oranı sayıca az olan tarafın lehine olacak şekilde değişmektedir.

Yüzdelik sapma miktarı, yüksek öncelikli araç oranının 0.9, düşük öncelikli araç oranının 0.1 olduğu durumda % 25'i, oranın 0.1 olduğu durumda ise %-25 i aşmamıştır.

Her araç oranı ve her hedeflenen bekleme oranı değeri için ulaşılan ortalama fark değerleri ise Şekil 6-19'da gösterildiği gibidir.



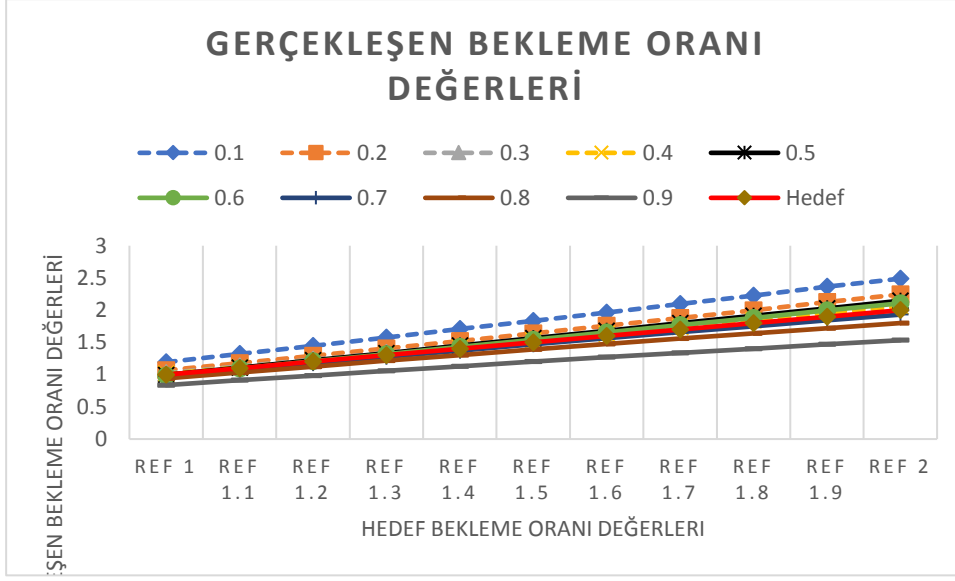
Şekil 6-19: Her araç oranı ve her hedeflenen bekleme oranı için ortalama fark grafiği

Şekil 6-19'da yatay eksen yüksek öncelikli araç oranını gösterirken, dikey eksen araçlar arası ortalama farkı göstermektedir. Ortalama farkın pozitif olması yüksek öncelikli araçların hedeflenenden fazla ve düşük öncelikli araçların hedeflenenden az beklediğini, ortalama farkın negatif olması ise yüksek öncelikli araçların hedeflenenden az, düşük öncelikli araçların ise hedeflenenden fazla beklediğini göstermektedir.

Araç oranlarının 0.5 olduğu durumlarda ortalama fark değeri sıfıra çok yakın iken oran farkı arttıkça bekleme farkı da sıfırdan uzaklaşmaktadır.

Şekil 6-20'de her araç oranı ve hedef bekleme süreleri oranı koşulunda gerçekleşen ortalama bekleme süreleri oranı görülmektedir. Dikey eksen gerçekleşen, yatay eksen hedeflenen bekleme süresi oranını göstermektedir. Şekil üzerindeki her çizgi farklı bir yüksek öncelikli araç oranını temsil etmektedir. Takip kolaylığı açısından hedeflenen bekleme süresi oranı değeri ayrıca grafik üzerinde de kırmızı renk ile gösterilmiştir.

Şekil 6-20'de araç oranlarının 0.5 olduğu durumlarda hedeflenen bekleme oranı değeri ile gerçekleşen bekleme oranı birbirine oldukça yakındır. Yüksek öncelikli araç oranının fazla, düşük öncelikli araç oranının az olduğu durumlarda gerçekleşen bekleme oranı, hedeflenen bekleme oranının altında çıkmıştır. Bunun sebebi bekleme süresinin dolayısıyla ortalama farkın yüksek çıkmasıdır. Yüksek öncelikli araç oranının az, düşük öncelikli araç oranının fazla olduğu durumlarda ise gerçekleşen bekleme oranı, hedeflenen bekleme oranının üzerinde çıkmıştır.

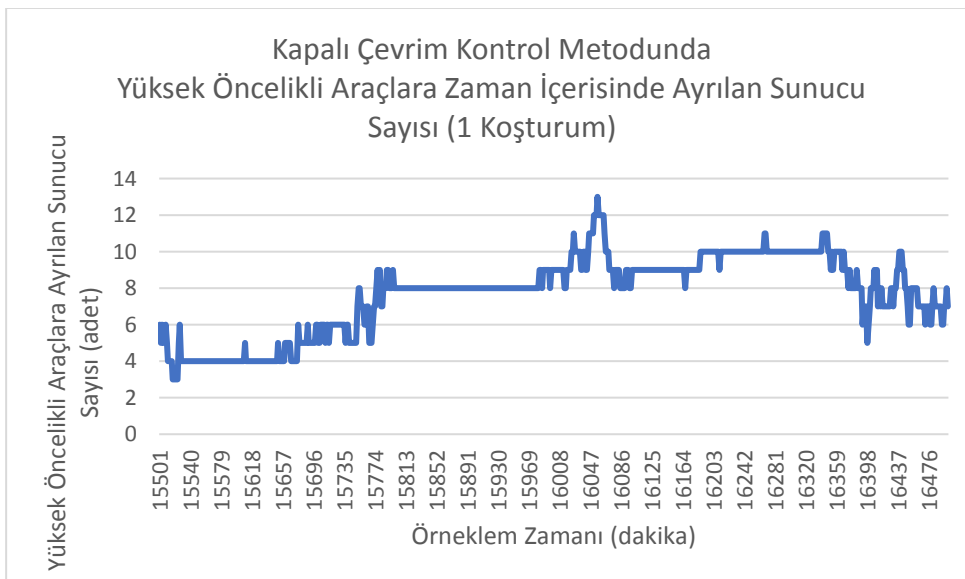


Şekil 6-20: Her araç oranı ve her hedeflenen bekleme oranı için gerçekleşen bekleme oranı değeri

6.4.2 Gerçek zamanlı performans

Bu performans kriterinde araç doluluk oranının %95 olduğu sistem içerisinde zaman içerisinde gerçekleşen araçlar arası bekleme farkı ve talep edilen sunucu sayısı gösterilmektedir.

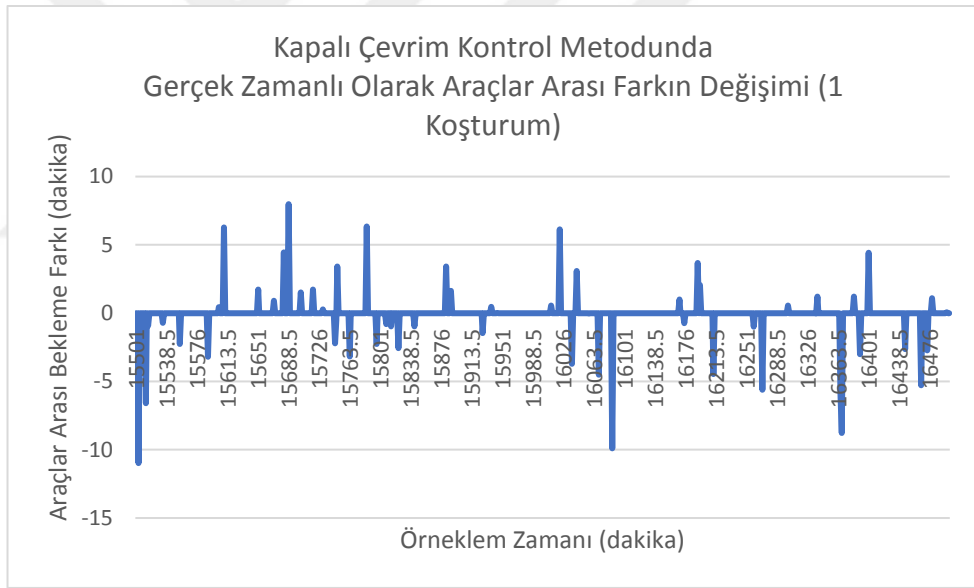
Şekil 6-21’de dikey eksen yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısını gösterirken yatay eksen 15501-16500 dakikaları arasında 1.5 dakikalık aralıklarla örneklem zamanını göstermektedir. Ortalama sunucu sayısı 7.68 olarak ölçülmüştür.



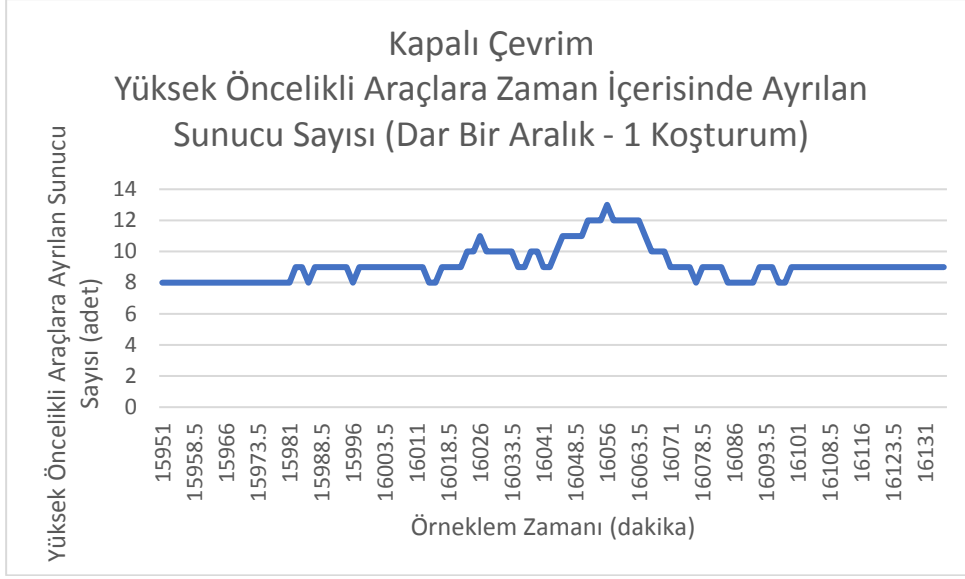
Şekil 6-21: Kapalı çevrim kontrol metodunda 1 koşturum için her bir örneklem zamanında talep edilen sunucu sayısı

Şekil 6-22’de dikey eksen kuyrukta beklemeleri bitmiş olan ve servis almaya başlayan araçların bekleme süreleri kullanılarak hesaplanan fark değerini, yatay eksen 15501-16500 dakikaları arasındaki örneklem zamanını göstermektedir. Şekilde tek bir koşuturum için fark değerleri incelenmiştir. Ortalama fark 0’a yakındır, fakat gerçekleşen fark bazı zaman aralıklarında 0’ın altında kalırken bazı zaman aralıklarında hedeflenenin üstüne çıkmıştır. Belirtilen zaman aralığında araçlar arası bekleme farkı 8 değerini geçmezken, -12 değerinin altına da düşmemiştir.

Şekil 6-23 ve Şekil 6-24, Şekil 6-21 ve Şekil 6-22’deki grafiklerin daha dar bir zaman aralığı olan 15951-16135.5 dakikaları arasında talep edilen sunucu sayısı ve gerçekleşen fark değerini göstermektedir. Şekil 6-23’te yatay eksen örneklem zamanını, dikey eksen ise yüksek öncelikli araçlara ayrılan sunucu sayısını göstermektedir. Belirtilen zaman aralığında yüksek öncelikli araçlara en fazla 13, en az 8 sunucu ayrılmıştır.

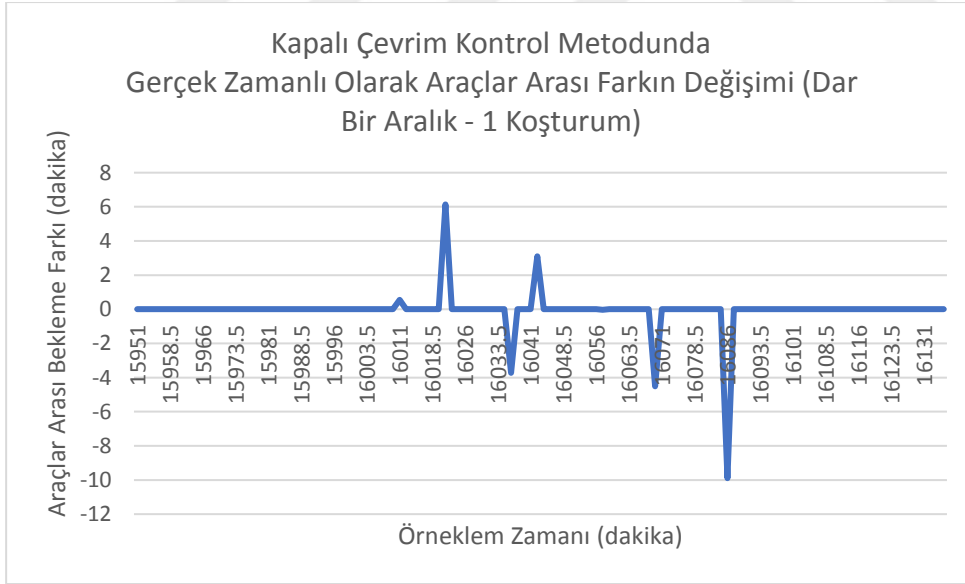


Şekil 6-22: Kapalı çevrim kontrol metodunda 1 koşuturum için her bir örneklem zamanında araçlar arası bekleme farkı



Şekil 6-23: 1 koşturum için daha dar bir aralıkta talep edilen sunucu sayısı

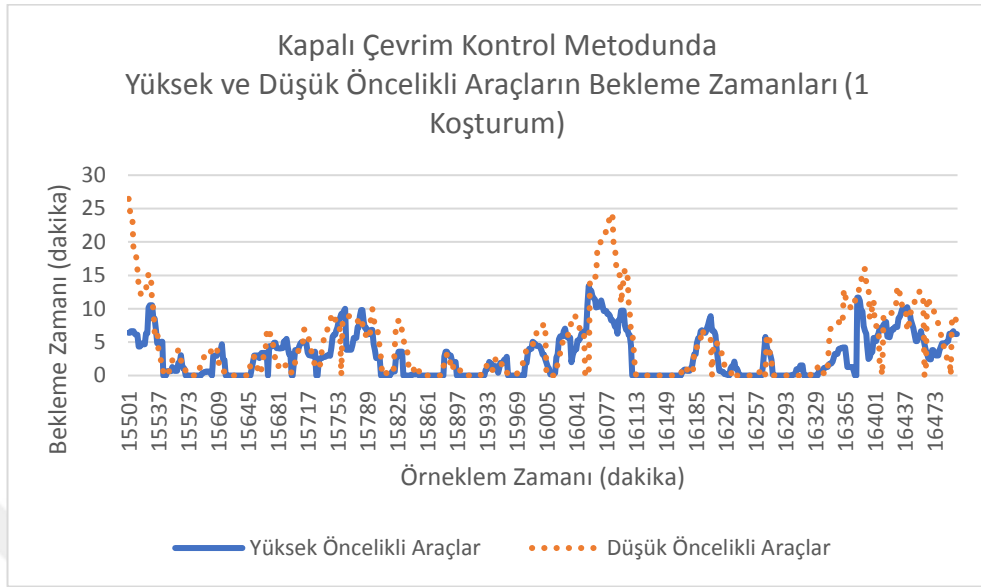
Şekil 6-24'te yatay eksen örneklem zamanını, dikey eksen ise araçlar arası bekleme farkını göstermektedir. Sunucu sayısı ve fark değerlerinin gösterildiği grafiklerde araçlar arası bekleme farkının arttığı noktalarda sunucu sayısının da arttığı, fark değerinin azaldığı noktalarda ise sunucu sayısının da azaldığı görülmektedir.



Şekil 6-24: 1 koşturum için daha dar bir aralıkta araçlar arası bekleme farkı

Şekil 6-25'te her bir 1.5 dakikalık örneklem zaman içerisinde düşük ve yüksek öncelikli araçların 15501-16500 dakikaları arasındaki ortalama bekleme süreleri ayrı ayrı gösterilmektedir. Yatay eksen örneklem zamanı, dikey eksen ise yüksek ve düşük öncelikli araçların bekleme zamanlarını göstermektedir.

Kesikli çizgi ile belirtilen ortalama bekleme süreleri düşük öncelikli araçlara ait iken, düz çizgi ile belirtilen ortalama bekleme süreleri yüksek öncelikli araçlara aittir.



Şekil 6-25: Kapalı çevrim kontrol metodunda her bir örneklem zamanında araçların bekleme süresi

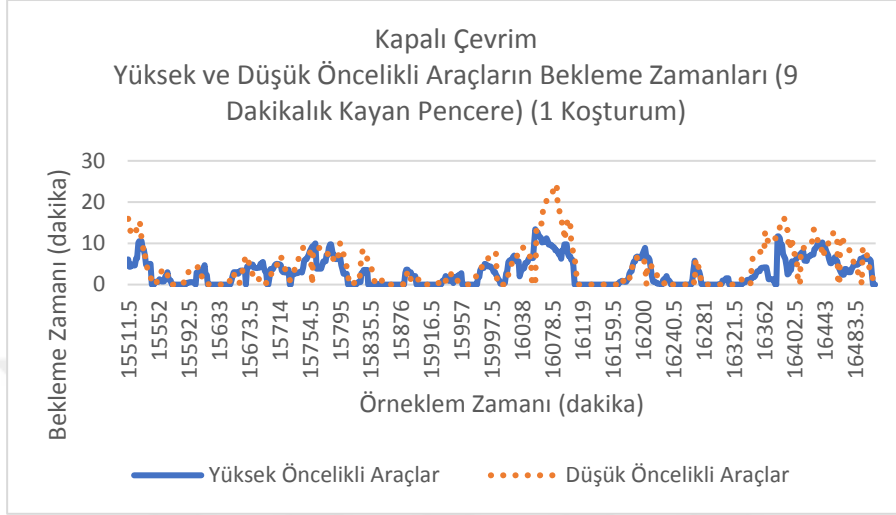
Yüksek öncelikli araçlar belirlenen zaman aralığı içerisinde ortalamada 3.08 dakika beklemiş iken, düşük öncelikli araçlar ortalama 4.57 dakika beklemiştir. Bu zaman aralığında araçların bekleme oranları 1.48 olarak ölçülmüştür ve hedeflenen bekleme oranı değeri olan 1.5 değerine oldukça yakın bir sonuç vermiştir.

Şekil 6-26'da 15501-16500 dakikalari arasındaki zaman aralığında 6 adet 1.5 dakikalik toplamda 9 dakikalik zaman dilimi için kayan pencere metodu ile yüksek ve düşük öncelikli araçlardan servis almaya başlamış olan araçların kuyrukta bekleme süreleri gösterilmektedir. Şekilde yatay eksen örneklem zamanı, dikey eksen ise her iki araç sınıfı için bekleme zamanlarını göstermektedir.

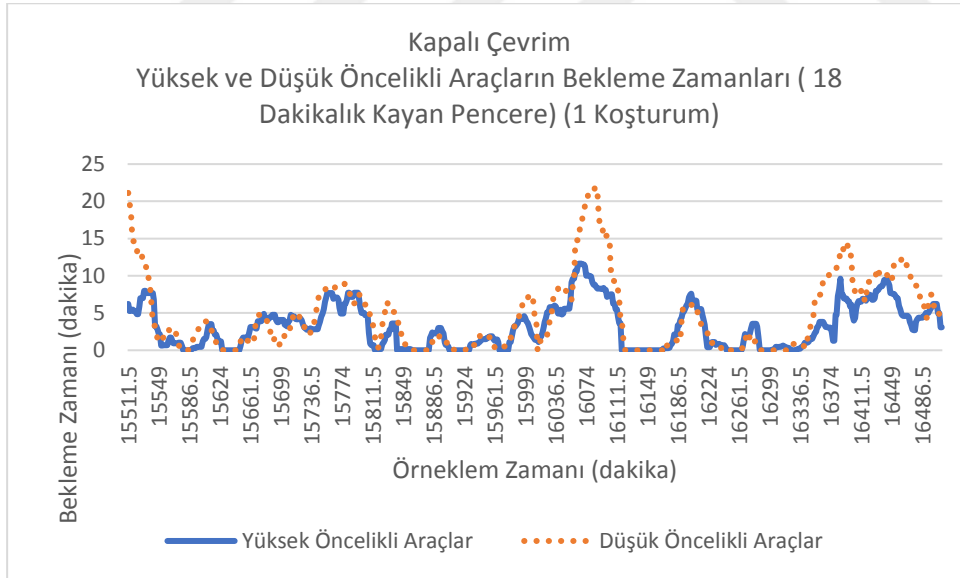
Şekil 6-27'de ise 15501-16500 dakikalari arasındaki zaman aralığında 12 adet 1.5 dakikalik yani toplamda 18 dakikalik zaman dilimi için kayan pencere metodu ile zaman içerisinde yüksek ve düşük öncelikli araçların bekleme süreleri gösterilmektedir. Şekilde yatay eksen örneklem zamanı, dikey eksen ise her iki araç sınıfı için bekleme zamanlarını göstermektedir.

Şekil 6-26 ve Şekil 6-27'de birçok noktada düşük öncelikli araçlar yüksek öncelikli araçların 1.5 katı bekleme süresine sahip olurken bazı noktalarda yüksek öncelikli araçlar düşük öncelikli araçlardan daha fazla bekleme süresine sahiptir.

Bunun sebebi araçların gelişlerinin rassal dağılıma sahip olmalarıdır. Şekil 6-26'da belirtilen zaman aralığı içerisinde araçların bekleme oranları 1.43 iken, Şekil 6-27'de araçların bekleme oranı 1.45 tir. Bu değerler hedeflenen bekleme oranı değeri olan 1.5'a oldukça yakındır.



Şekil 6-26: 9 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süresi



Şekil 6-27: 18 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süresi

6.4.3 Doluluk oranına duyarlılık

Bu performans kriterinde hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5, yüksek öncelikli araç oranının 0.5 olduğu sistemdeki araç doluluk oranının etkisi göz önünde bulundurulmuştur ve sistemin tepkisi ölçülmüştür. 1 dakikada sisteme giren araç sayısı

%95 doluluk oranında 0.69 araç/dakika, %90 doluluk oranında 0.65 araç/dakika, %85 doluluk oranında 0.615 araç/dakika, %80 doluluk oranında ise 0.58 araç/dakika şeklindedir.

Çizelge 6-8'de farklı doluluk oranlarının sistemin performansına etkisi incelenmektedir. Farklı doluluk oranlarının incelenebilmesi için araçlar istasyona farklı varış hızlarıyla gönderilmektedir. Araçların servis süresi önceki bölümlerde olduğu gibi TRIA(10, 18, 30) dakikadır. Bu bölümdeki koştuurumlarda hedeflenen bekleme oranı değeri 1.5, yüksek öncelikli ve düşük öncelikli araçların oranı 0.5'tir. Elde edilen sonuçlar 30 tekrarın ortalamasıdır. Ortalama fark değeri hesaplanırken yüksek öncelikli araçların bekleme süresi ile hedeflenen bekleme oranı çarpılmış ve bu değerden düşük öncelikli araçların ortalama bekleme süresi çıkarılmıştır. Minimum fark değeri bulunurken 30 koştuurumun her bir koştuurumunda minimum fark değerleri bulunmuş ve bu minimum farklar arasından da minimum olan alınmıştır. Maksimum fark değeri bulunurken de benzer yol izlenmiştir.

Çizelge 6-8: Farklı doluluk oranlarında gerçekleşen fark ve bekleme oranı

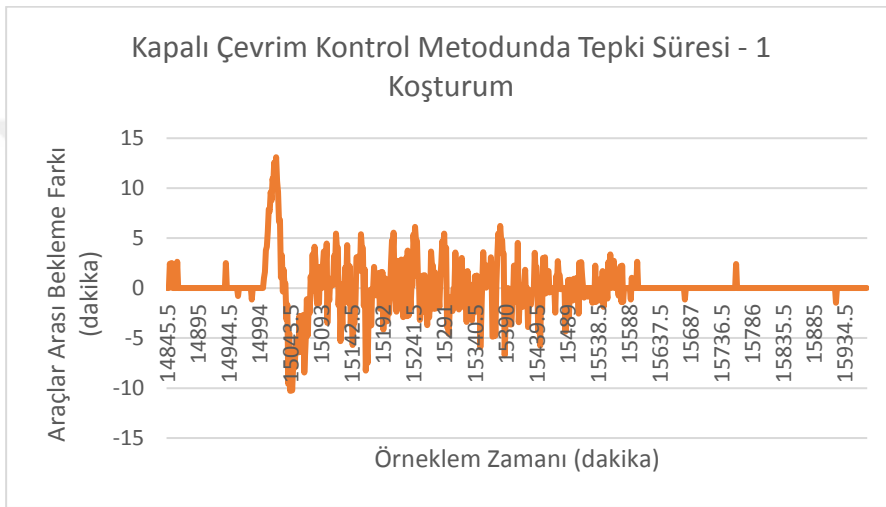
Doluluk Oranı	Ortalama Fark	Min Fark	Maks Fark	Gerçekleşen Bekleme Oranı
%95	-0.0680 ± 0.076	-33.26	28.41	1.51 ± 0.008
%90	-0.1408 ± 0.050	-27.43	26.95	1.54 ± 0.014
%85	-0.0980 ± 0.026	-23.41	21.15	1.55 ± 0.014
%80	-0.0770 ± 0.021	-19.43	22.53	1.57 ± 0.019

Çizelge 6-8'de görüldüğü gibi doluluk oranının daha fazla olduğu sistemlerde hedeflenen bekleme oranı değerine daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Doluluk oranı azaldıkça kuyrukta bekleyen kişi sayısı azalmakta ve kontrolörün istenen dengeyi kurması zorlaşmaktadır. Bu sebeple sistem, hedeflenen bekleme oranı değerinin tam olarak gerçekleştirememektedir. Doluluk oranının daha düşük olduğu sistemlerde koştuurumlar boyunca elde edilen maksimum ve minimum fark değerleri daha küçüktür. Bunun sebebi ise doluluk oranının azalmasıyla birlikte kuyruktaki bekleme sürelerinin düşmesidir.

6.4.4 Ani değişikliklere karşı tepki süresi

Bölüm 3.1.2’de bahsedilen Tepki Süresi için 30000 dakikalık bir koşturumda 15000. Dakikada 20 adet yüksek öncelikli araç aynı anda sisteme dahil edilmiştir ve sistemin dengeye kaç örneklem zamanda geleceği ölçülmüştür.

Şekil 6-28’de yüksek öncelikli araç oranının 0.5, hedeflenen bekleme oranı değerinin ise 1.5 olduğu sistem için yapılan koşturumlardan 1 tanesi örnek olarak alınmıştır. Grafik üzerinde 14845.5 – 15970.5 dakikalari arası fark gösterilmiştir.



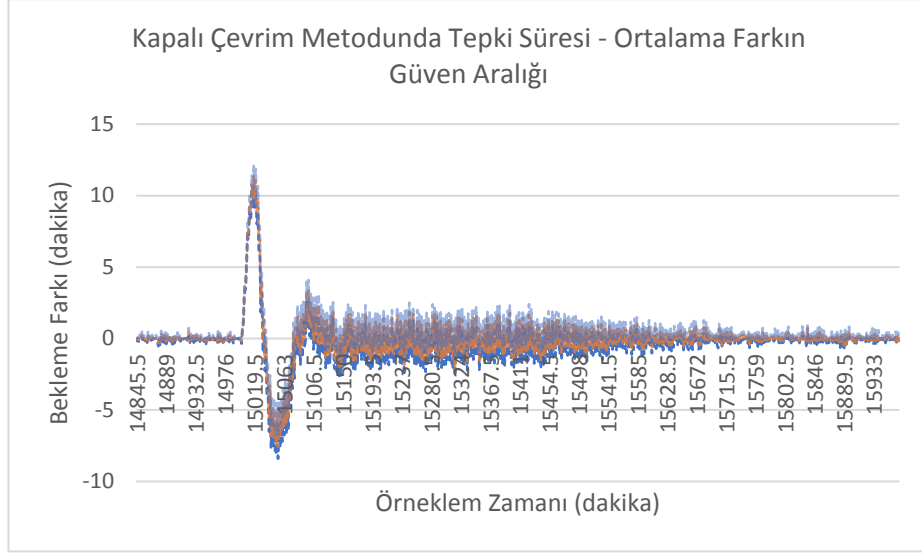
Şekil 6-28: Örneklem zamanına bağlı olarak araçlar arası bekleme farkı – tek koşturum

Şekil 6-28’de sistem 47 örneklem zamanda (70.5 dakika) dengeye ulaşmıştır.

Şekil 6-29’da ise yüksek öncelikli araç oranının 0.5, hedeflenen bekleme oranı değerinin ise 1.5 olduğu sistem için yapılan 30 koşturumdan alınan verilerle güven aralığı gösterilmiştir. Grafik üzerinde 14845.5 – 15970.5 dakikalari arası fark gösterilmiştir.

Şekil 6-29’da sistemin 30 koşturumda tepki süresi yani dengeye ulaşma süresi ortalamada 48.8 örneklem zaman (73.2 dakika) olarak ölçülmüştür.

Tepki süresi ayrıca yüksek öncelikli araç oranının 0.5 olduğu sistemler için tüm hedeflenen bekleme oranı değerlerinde ölçülmüştür. Araç oranının 0.5 olduğu sistemde hedeflenen bekleme oranı değerleri değiştirilerek 30 koşturumdan alınan tepki sürelerinin ortalamaları Şekil 6-30’da gösterilmiştir. Tepki süresi kuyrukta bekleyen araçların bekleme süreleri arasındaki fark değeri üzerinden hesaplanmıştır.

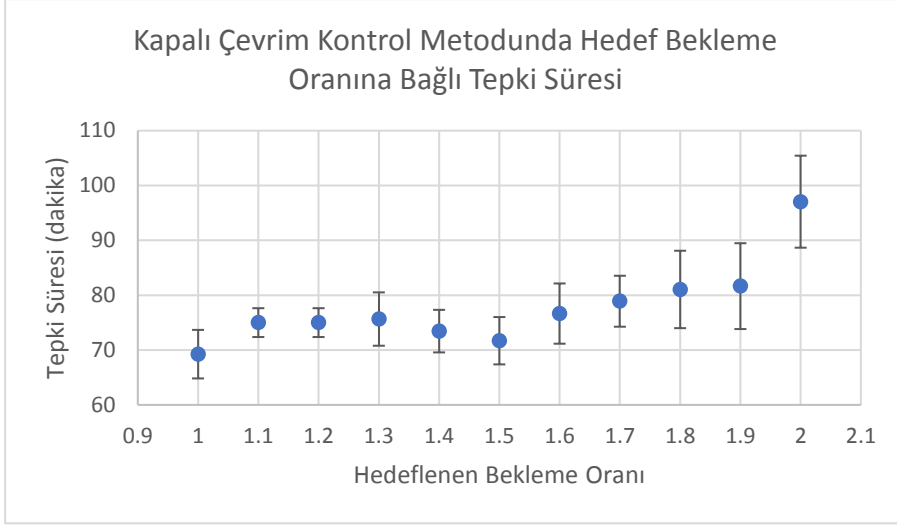


Şekil 6-29: Örneklem zamanına bağlı olarak araçlar arası bekleme farkının güven aralığı

Hedeflenen bekleme oranı değeri arttıkça tepki süresi ortalama artmaktadır fakat hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.4 ve 1.5 olduğu durumlarda tepki süresinde azalma meydana gelmiştir. Hedeflenen bekleme oranı değerinin 2 olduğu durumda ise tepki süresinde ani bir artma görülmektedir.

Yüzey Tepki Metodu(YTM) ile Devam Eden Bekleme ile Kontrol(DBK) yöntemleri gerçekleşen yüzde sapma değerleri açısından karşılaştırıldığında DBK metodunda yüzde sapma değeri 20 ile -40 arasında değişirken, YTM metodunda 25 ile -25 arasında değişmektedir. Pozitif sapma açısından DBK metodu daha iyi sonuçlar vermişken, negatif sapma değerlerinde YTM metodu daha iyi sonuçlar göstermiştir.

Her iki metot tepki süresi açısından karşılaştırıldığında ise 30 koşturumun ortalamasında DBK metodu 130.73 örneklem zamanda dengeye ulaşırken, YTM metodu 48.8 örneklem zamanda dengeye ulaşmaktadır. YTM metodu DBK metoduna göre neredeyse 3 kat daha kısa zamanda dengeye ulaşmıştır. Bütün bu karşılaştırmalar değerlendirildiğinde Bölüm 7 ve 8'de YTM metodunda elde edilen $K_p - K_i$ parametresi kullanılmıştır.



Şekil 6-30: Hedeflenen bekleme oranı değişimine bağlı olarak tepki süresinin değişimi

7 TEK İSTASYONDA PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI

Yüzey Tepki Metodu(YTM) yönteminde belirlenen parametrelerin farklı hedeflenen bekleme oranı ve araç oranlarındaki performansı Bölüm 6'da anlatılmıştır. Bu bölümde, 6. bölümde anlatılan model ile ayrıntıları Bölüm 3.3'te bahsedilen Açık Çevrim Kontrol Metodu ve Bölüm 3.4'te açıklanan Sabit Sunucu-2 metodu ile karşılaştırması yapılmıştır. Modeller 30 koşturum ve tüm Koşturumlar 30000 dakika olup 3000 dakikası ısınma periyodu olarak belirlenmiştir.

7.1 Farklı Doluluk Oranlarında Performans Karşılaştırması

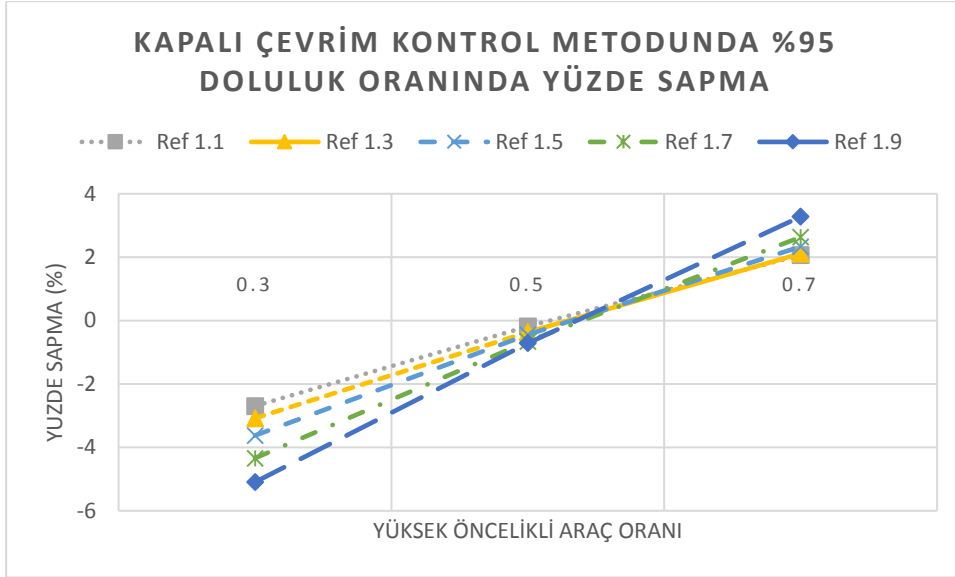
Şekil 7-1, Şekil 7-2, Şekil 7-3'te sırasıyla kapalı çevrim, açık çevrim ve sabit sunucu 2 metotları için %95 doluluk oranında yüksek öncelikli araçların tüm araçlara oranının 0.3, 0.5 ve 0.7 olduğu, hedeflenen bekleme oranı değerinin ise 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 ve 1.9 olduğu sistemlerde yüzde sapma grafikleri gösterilmiştir. %95 doluluk oranında araçların geliş oranları 0.69 dakika, %90 doluluk oranında 0.65, %85 doluluk oranında ise 0.615 dakika şeklindedir. Yüzde sapma değerleri 3. Bölümde ayrıntısı açıklanan Eşitlik 7.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yüzde Sapma Miktarı} = \frac{100 * (\text{HpBekleme} * \text{Referans Girdi} - \text{LpBekleme})}{(\text{HpBekleme} * \text{Referans Girdi})} \quad (7.1)$$

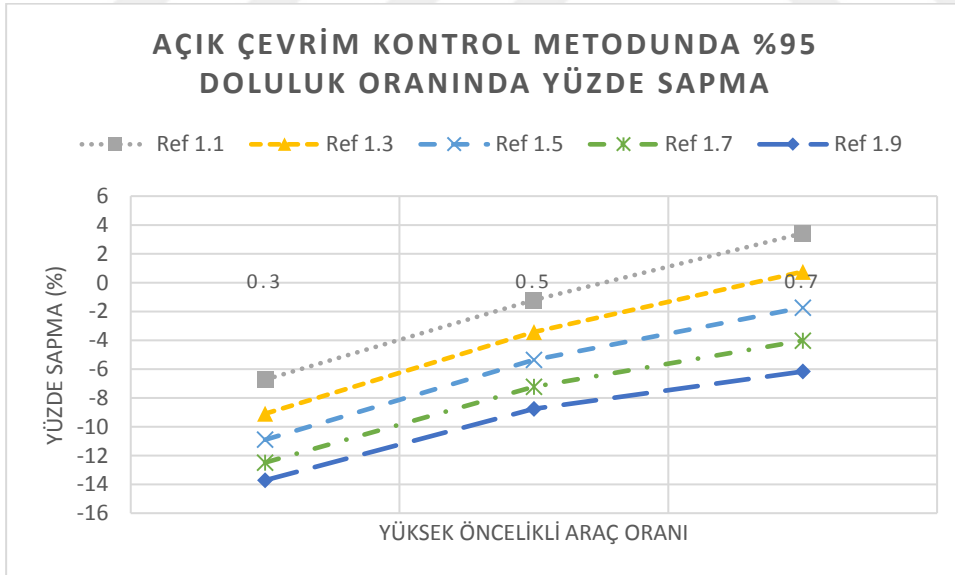
Şekil 7-1'de kapalı çevrim kontrol metodunda %95 doluluk oranında araç oranına ve hedeflenen bekleme oranı değerine bağlı olarak değişen yüzde sapma değerleri dikey ekseninde gösterilmiştir. Yatay eksen yüksek öncelikli araç oranını göstermektedir.

Şekil 7-2'de açık çevrim kontrol metodunda %95 doluluk oranında araç oranına ve hedeflenen bekleme oranı değerine bağlı olarak yüzde sapma değerlerindeki değişim dikey ekseninde gösterilmiştir.

Sabit sunuculu sistemlerde araçlara ayrılan sunucu sayısı hesaplanırken Eşitlik 3.19 kullanılmıştır. Çizelge 7-1’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.



Şekil 7-1: Kapalı çevrim kontrol metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma

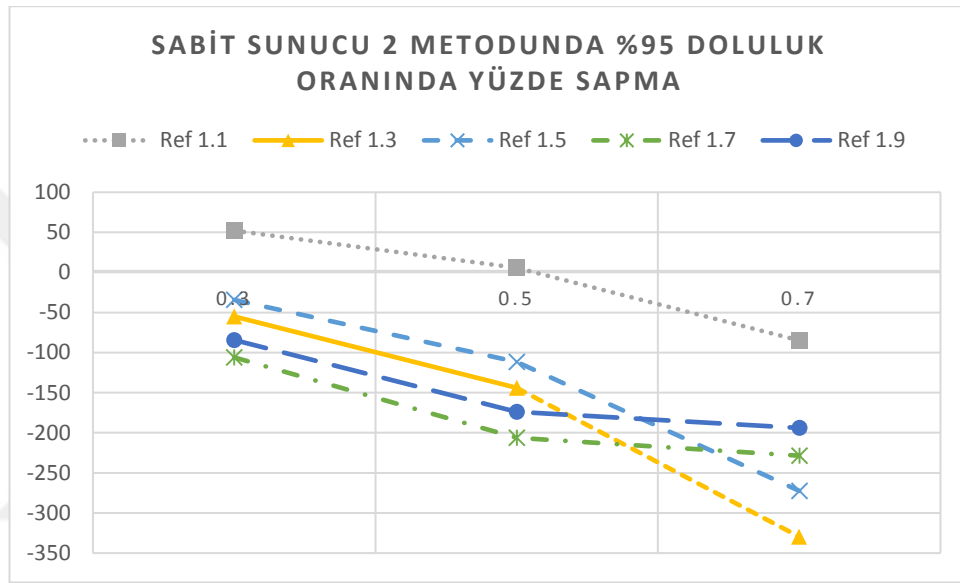


Şekil 7-2: Açık çevrim kontrol metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma

Şekil 7-3’te 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.

Çizelge 7-1: 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 7-3: Sabit sunucu 2 metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma grafiği

Şekil 7-3'te grafiği çizilmiş olan değerlerin verileri Çizelge 7-2'te gösterilmiştir.

Çizelge 7-2: Sabit sunucu 2 metodu - %95 doluluk oranında yüzde sapma değerleri

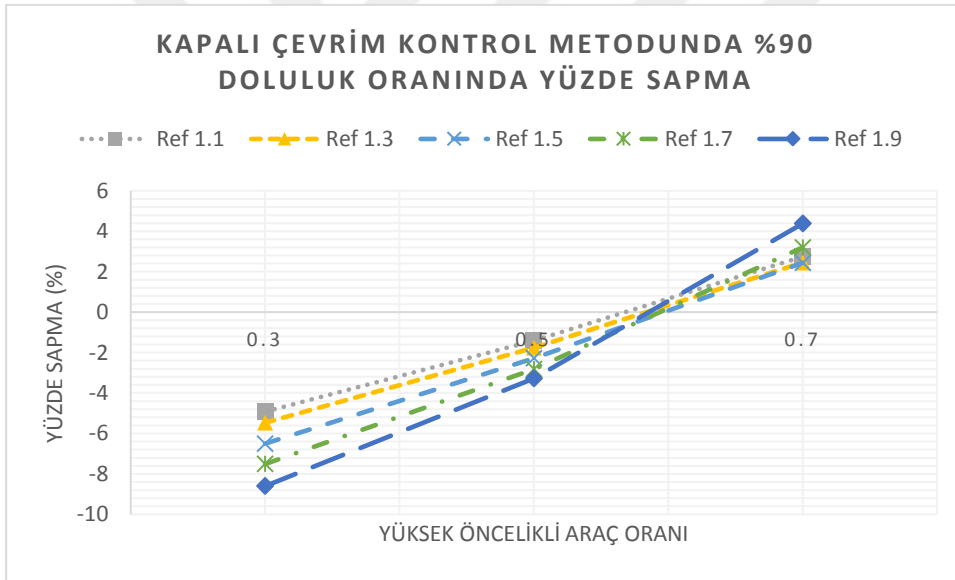
Hedeflenen Bekleme Oranı / Yüksek Öncelikli Araç Oranı	0.3	0.5	0.7
1.1	52.09099	5.710336	-84.8303
1.3	-54.9211	-144.031	-329.598
1.5	-34.2649	-111.493	-272.318
1.7	-105.961	-206.166	-228.516
1.9	-84.2808	-173.938	-193.935

%95 doluluk oranında tüm metotlar karşılaştırıldığında Şekil 7-1'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 7-2’de 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 7-3’te 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 7-4, Şekil 7-5 ve Şekil 7-6’da 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.

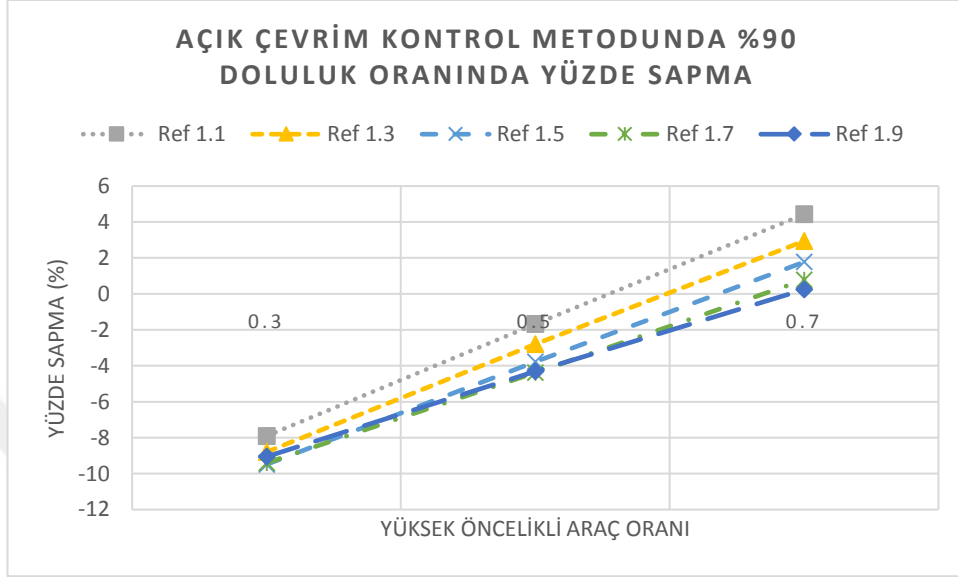


Şekil 7-4: Kapalı çevrim kontrol metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma

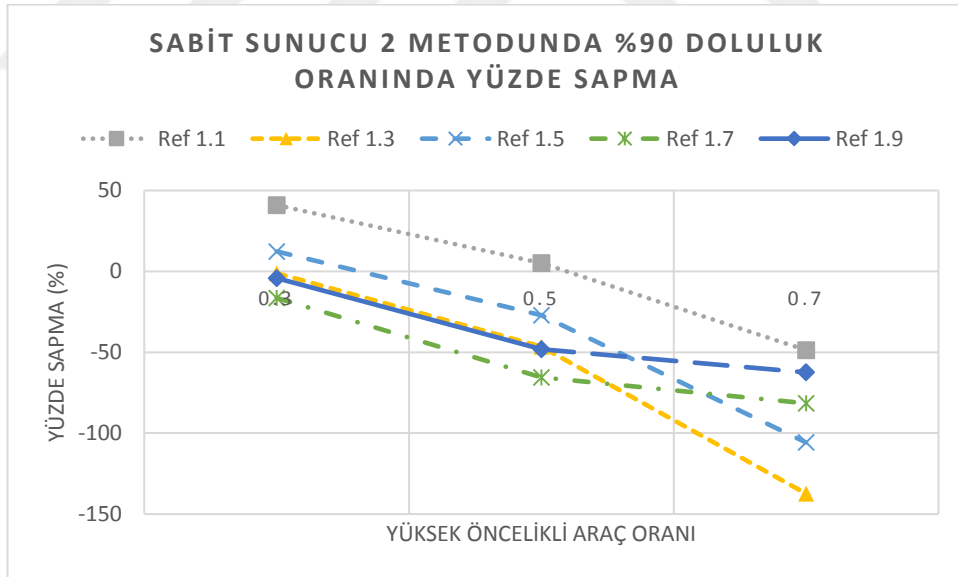
Şekil 7-4’te kapalı çevrim kontrol metodunda %90 doluluk oranında araç oranına ve hedeflenen bekleme oranı değerine bağlı olarak yüzde sapma değerlerindeki değişim dikey ekseninde, yüksek öncelikli araç oranı ise yatay ekseninde gösterilmiştir.

Şekil 7-5’te 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 7-6’da 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.



Şekil 7-5: Açık çevrim kontrol metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma



Şekil 7-6: Sabit sunucu 2 metodu - %90 doluluk oranında yüzde sapma grafiği

Çizelge 7-3’te ise Şekil 7-6’de grafik olarak gösterilmiş olan veriler bulunmaktadır.

Çizelge 7-3: 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	12.34544	-27.0109	-105.752
1.7	-16.411	-65.5445	-81.5455
1.9	-4.15722	-48.1187	-62.4355

%90 doluluk oranında tüm metotlarda gerçekleşen yüzde sapma değerleri karşılaştırıldığında Şekil 7-4'te 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 7-5'te 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.

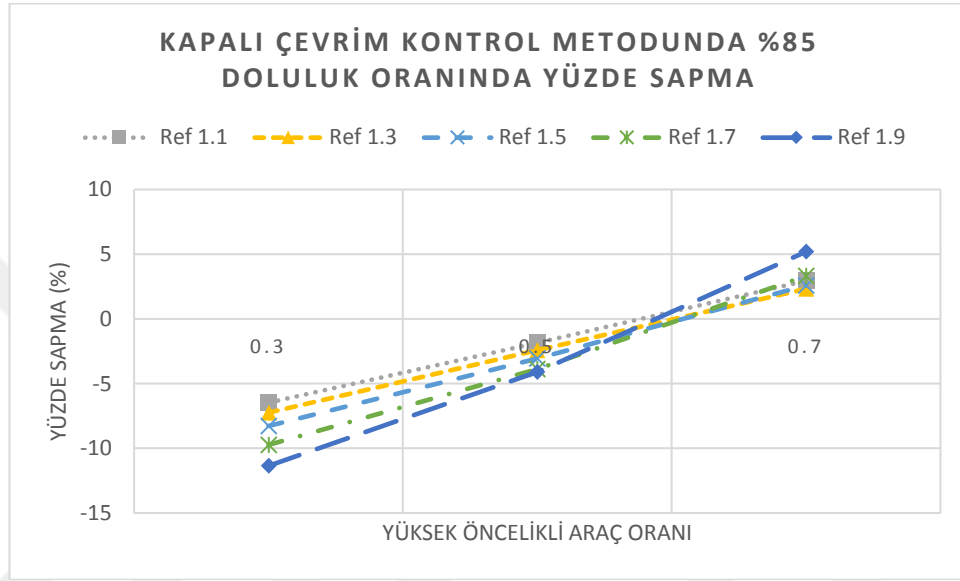
Şekil 7-6'da sabit sunucu 2 metodunda yüzde sapma değerleri %95 doluluk oranına nazaran daha azdır.

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.

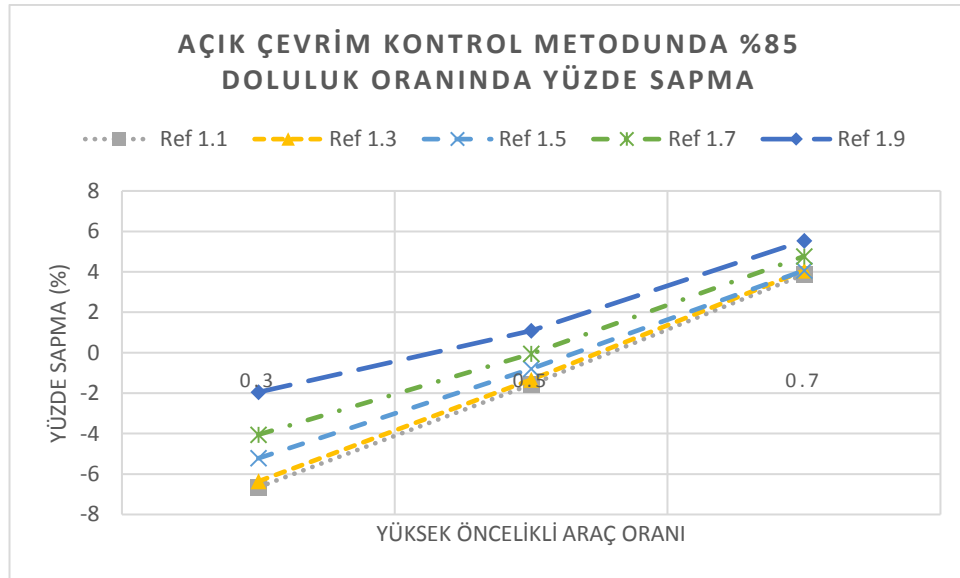
Şekil 7-7, Şekil 7-8 ve Şekil 7-9 sırasıyla kapalı çevrim, açık çevrim ve sabit sunucu 2 metotları için %85 doluluk oranında yüksek öncelikli araçların tüm araçlara oranının 0.3, 0.5 ve 0.7 olduğu, hedeflenen bekleme oranı değerinin ise 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 ve 1.9 olduğu sistemlerde yüzde sapma grafikleri gösterilmiştir.

Şekil 7-7’de kapalı çevrim kontrol metodunda %85 doluluk oranında araç oranına ve hedeflenen bekleme oranı değerine bağlı olarak yüzde sapma değerlerindeki değişim dikey eksende, yüksek öncelikli araç oranı ise yatay eksende gösterilmiştir.

Şekil 7-8’de açık çevrim kontrol metodunda %85 doluluk oranında araç oranına ve hedeflenen bekleme oranı değerine bağlı olarak yüzde sapma değerlerindeki değişim dikey eksende, yüksek öncelikli araç oranı ise yatay eksende gösterilmiştir.



Şekil 7-7: Kapalı çevrim kontrol metodu - %85 doluluk oranında yüzde sapma

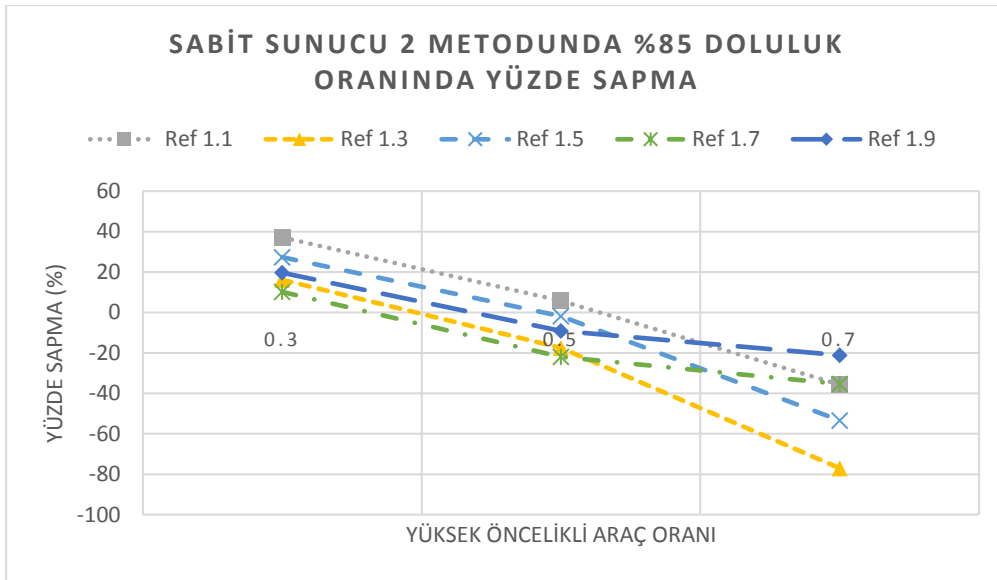


Şekil 7-8: Açık çevrim kontrol metodu - %85 doluluk oranında yüzde sapma

Şekil 7-9’da dikey ekseninde sabit 2 metodunda %85 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 7-4’te ise Şekil 7-9’da grafik olarak gösterilmiş olan veriler bulunmaktadır.

Kapalı çevrim kontrol metodunda araç doluluk oranı azaldıkça yüzde sapma miktarları artmaktadır. Bu durum yeterli araç sayısına ulaşmadığında kontrolörün gerekli tepki veremediğini göstermektedir. Çünkü kapalı çevrim kontrol metodunda elde edilen Kp-Ki çiftleri doluluk oranının %95 olduğu sistemde elde edilmiştir.



Şekil 7-9: Sabit sunucu 2 metodu - %85 doluluk oranında yüzde sapma grafiği

Çizelge 7-4: Sabit sunucu 2 metodu - %85 doluluk oranında yüzde sapma değerleri

Hedeflenen Bekleme Oranı / Yüksek Öncelikli Araç Oranı	0.3	0.5	0.7
1.1	37.12669	5.744715	-35.7186
1.3	16.1387	-17.5564	-77.006
1.5	27.32021	-1.88222	-53.4052
1.7	10.16865	-21.9017	-35.3576
1.9	19.62458	-9.06998	-21.1094

Açık çevrim kontrol metodunda ise araç doluluk oranı ile yüzde sapma miktarı doğru orantılı şekilde değiştirmektedir. %95, %90 ve %85 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, %85 doluluk oranında nispeten düşük sapma değerleri ile karşılaşmaktayız.

Çizelge 7-5'te yüksek öncelikli araç oranının 0.5 olduğu modellerde gerçekleşen bekleme oranı değerleri gösterilmiştir. Değerler incelendiğinde %95 ve %90 doluluk oranında kapalı çevrim kontrol metodu tüm hedeflenen bekleme oranlarında hedefe en yakın sonuç veren metot olmuştur. Doluluk oranının %85 olduğu durumlarda ise açık çevrim kontrol metodu ile hedefe daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 7-5: Yüksek öncelikli araç oranının 0.5 olduğu durumlarda gerçekleşen bekleme oranları

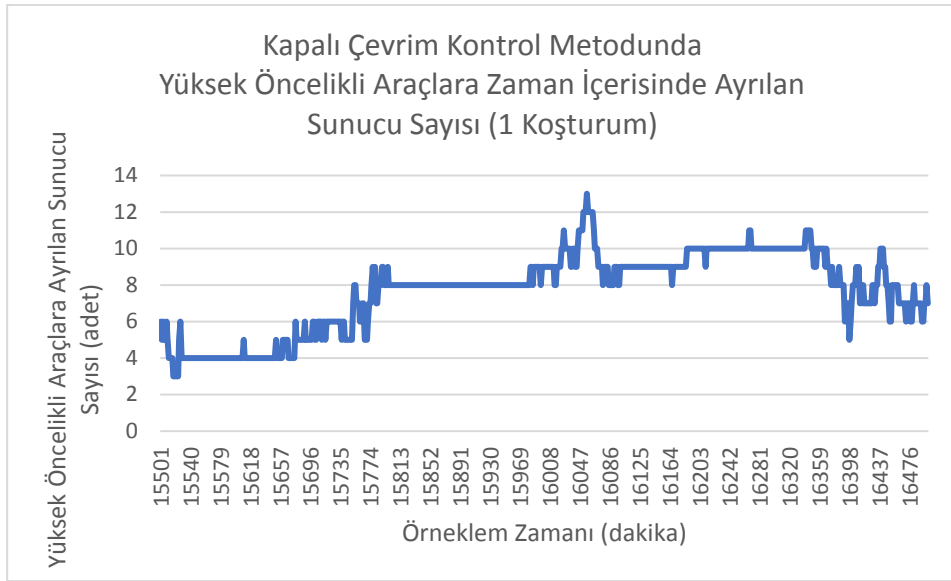
Hedeflenen Bekleme Oranı	Yüksek Öncelikli Araç Oranı = 0.5	85%	90%	95%
1.1	Kapalı Çevrim	1.12	1.115	1.102
	Açık Çevrim	1.117	1.118	1.113
	Sabit Sunucu-2	1.037	1.043	1.037
1.3	Kapalı Çevrim	1.332	1.323	1.305
	Açık Çevrim	1.317	1.336	1.344
	Sabit Sunucu-2	1.528	1.905	3.172
1.5	Kapalı Çevrim	1.546	1.534	1.507
	Açık Çevrim	1.512	1.557	1.58
	Sabit Sunucu-2	1.528	1.905	3.172
1.7	Kapalı Çevrim	1.766	1.748	1.712
	Açık Çevrim	1.701	1.774	1.823
	Sabit Sunucu-2	2.072	2.814	5.205
1.9	Kapalı Çevrim	1.978	1.962	1.914
	Açık Çevrim	1.879	1.982	2.066
	Sabit Sunucu-2	2.072	2.814	5.205

7.2 Gerçek Zamanlı Performans Analizi

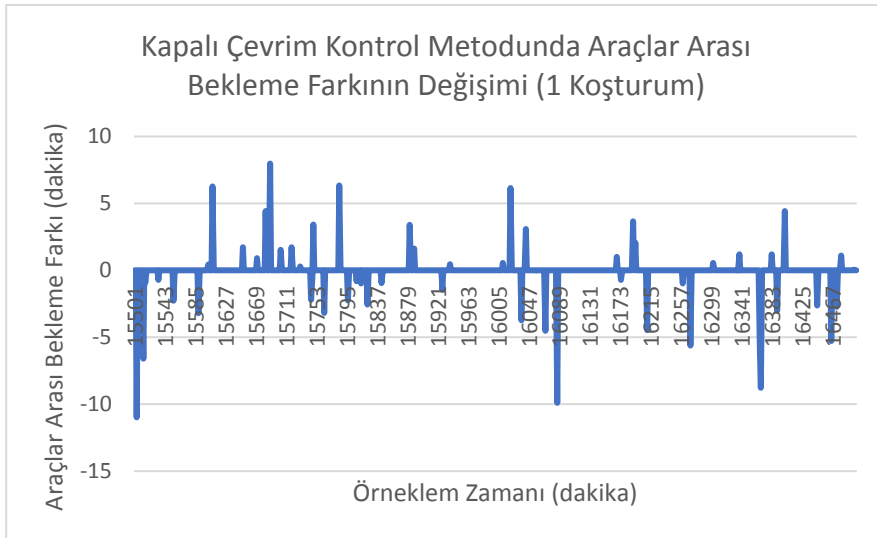
Bu performans kriterinde tüm kontrol metotları için araç doluluk oranının %95, hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5, yüksek öncelikli araç oranının 0.5 olduğu koşuturum uzunluğunun 30000 dakika olduğu sistemler içerisinde 15501-16500 dakikaları arasındaki zaman içerisinde araçlar arası bekleme farkı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

Şekil 7-10’da kapalı çevrim kontrol metodu ile yapılan koşturumda yüksek öncelikli araçların belirtilen zaman aralığı içerisinde talep ettiği sunucu sayısının değişimi dikey eksende gösterilmektedir. Yatay eksen ise örneklem zamanını göstermektedir. Koşturum süresince yüksek öncelikli araçlar maksimum 13, minimum 3 sunucuya sahip olmuştur.

Şekil 7-11’de kapalı çevrim kontrol metodunda dikey eksen yüksek ve düşük öncelikli araçlar arasındaki bekleme farkını gösterirken, yatay eksek örneklem zamanı göstermektedir.

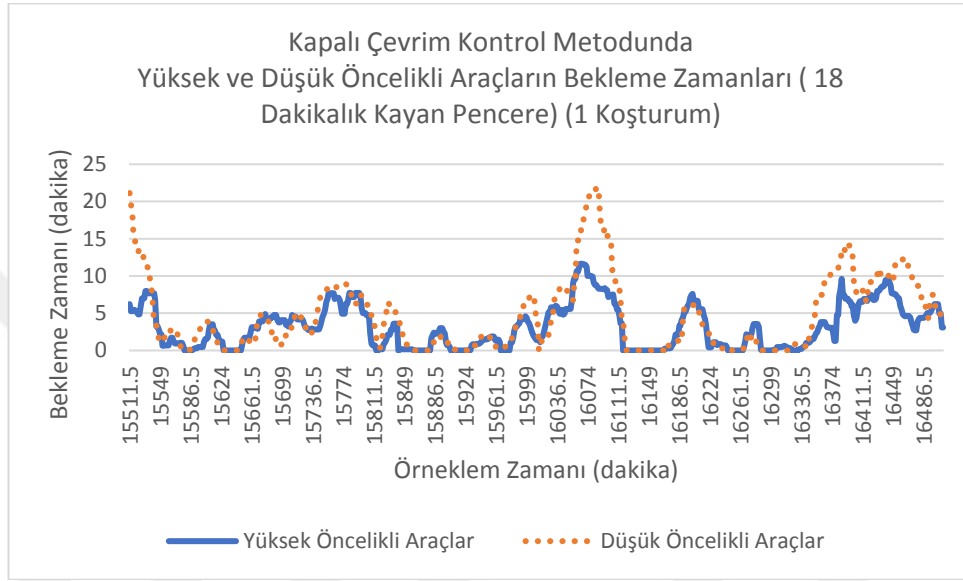


Şekil 7-10: Kapalı çevrim kontrol metodunda yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı



Şekil 7-11: 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 7-12’de 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. 6. Bölümde olduğu gibi bu bölümde de kayan pencere metodu kullanılmıştır.



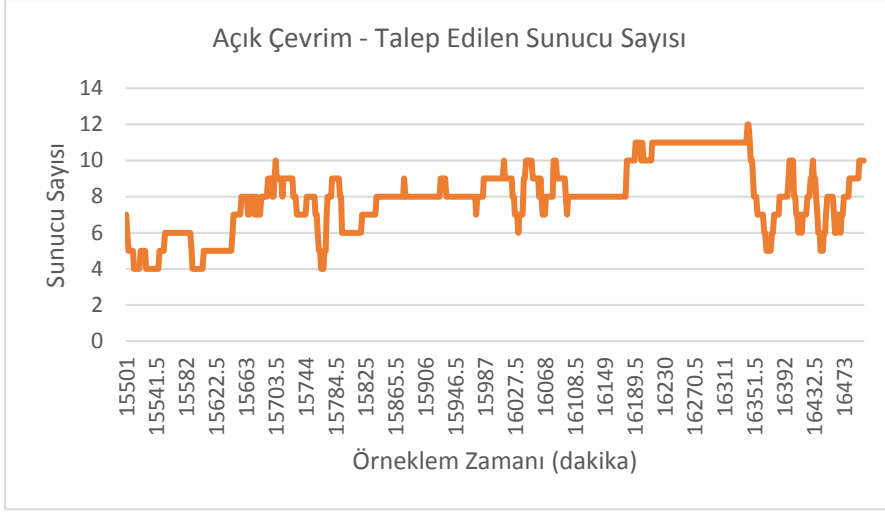
Şekil 7-12: Kapalı çevrim kontrol metodunda 18 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süresi

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.

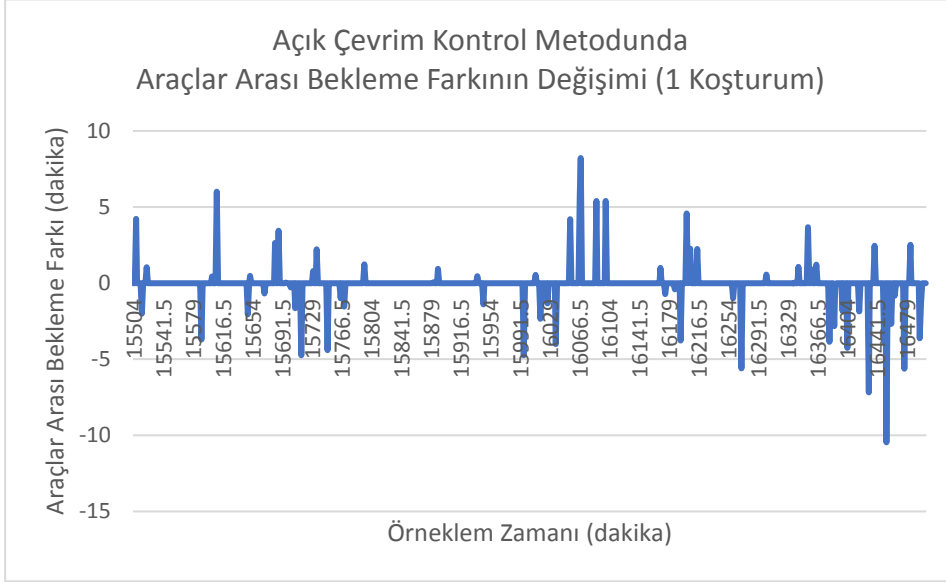
Şekil 7-13’te açık çevrim kontrol metodu ile yapılan koşturumda yüksek öncelikli araçların belirtilen zaman aralığı içerisinde talep ettiği sunucu sayısının değişimi dikey eksenle gösterilmektedir. Yatay eksen ise örneklem zamanını göstermektedir.

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

Şekil 7-14’te açık çevrim kontrol metodunda dikey eksen yüksek ve düşük öncelikli araçlar arasındaki bekleme farkını gösterirken, yatay eksen örneklem zamanını göstermektedir.



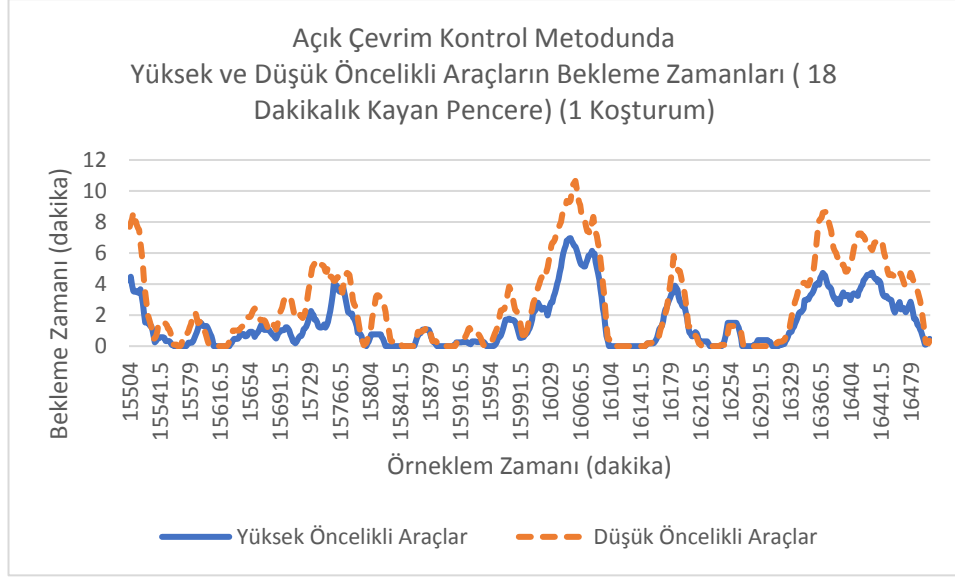
Şekil 7-13: Açık çevrim kontrol metodunda yüksek öncelikli araçlar için talep edilen sunucu sayısı



Şekil 7-14: 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 7-15'te 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 7-15: Açık çevrim kontrol metodunda 18 dakikalık zaman diliminde araçların bekleme süreleri

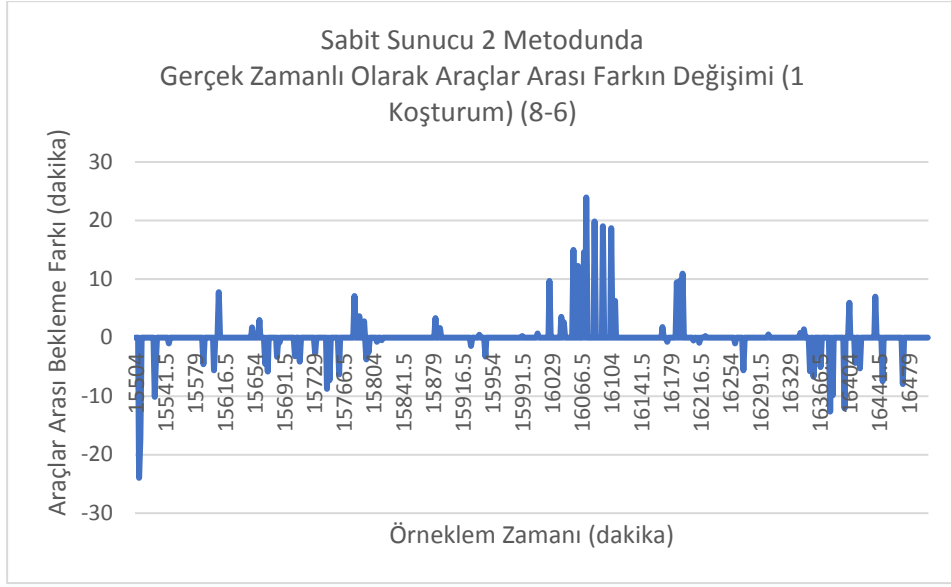
Şekilde yüksek öncelikli ve düşük öncelikli araçlar bekleme zamanları birbirleri ile eş zamanlı olarak artıp azalmaktadır. Bekleme oranları ise hedeflenen bekleme oranı değeri olan 1.5'a yakındır.

Sabit sunuculu sistemlerde hedeflenen bekleme oranı değerinin 1.5, araç oranının 0.5 olduğu durumlarda Eşitlik 3.19 kullanıldığında yüksek öncelikli araçların sahip olması gereken sunucu sayısı 8 olarak bulunmuştur.

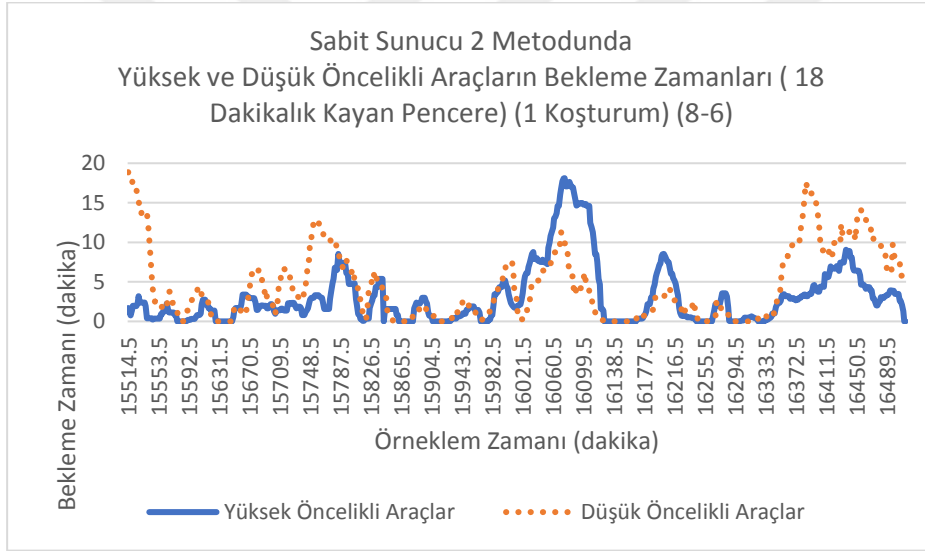
Şekil 7-16'da sabit 2 metodu ile sunucu sayısının yüksek ve düşük öncelikli araçların sahip olduğu sunucu sayısının sırayla 8-6 şeklinde dağıtıldığı sistemde araçlar arasındaki bekleme farkı dikey eksende gösterilmiştir. Yatay eksen örneklem zamanını göstermektedir.

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 7-17'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 7-16: Sabit sunucu 2 metodunda sunucu sayısının 8-6 olduğu durumda araçlar arası bekleme farkı



Şekil 7-17: 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 7-6'da 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.

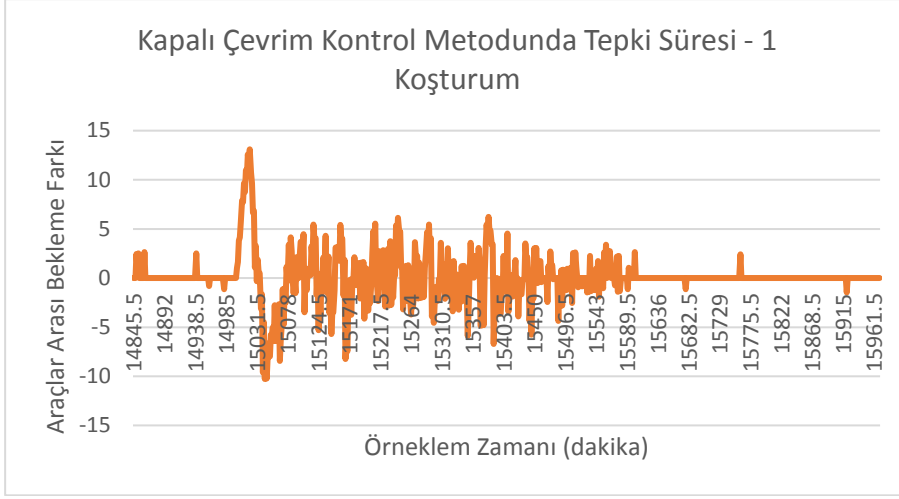
Çizelge 7-6: Farklı doluluk oranlarında ortalama fark değerleri (yüksek öncelikli araç oranı = 0.5, hedeflenen bekleme oranı = 1.5)

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

7.3 Ani Değişikliklere Karşı Tepki Süresi

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.

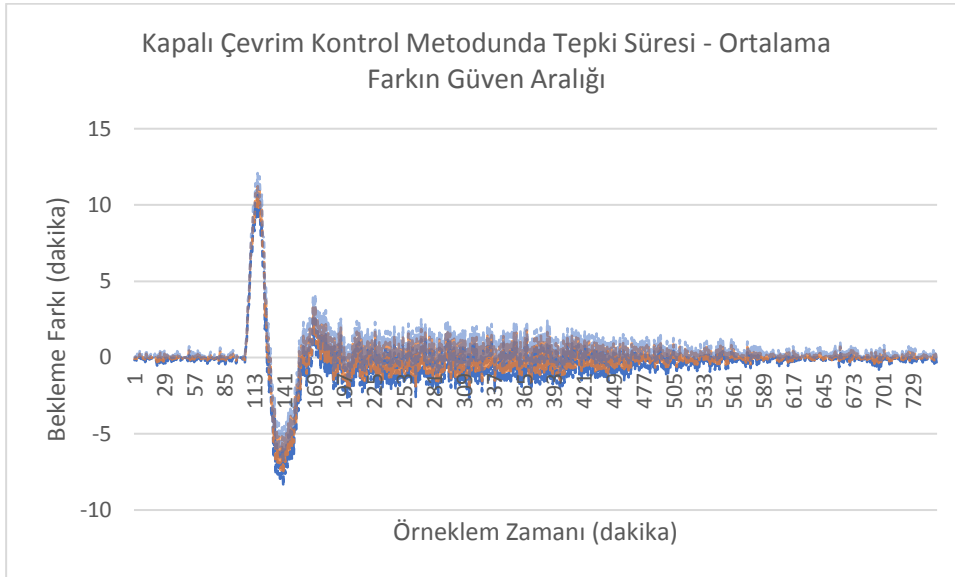
Şekil 7-18'de kapalı çevrim kontrol metodunda tepki süresinin gözlemlenmesi amacıyla tek bir koşturumdan 14845-15970.5 dakikaları arasındaki verilerin grafiği çizilmiştir. Dikey eksen araçlar arası bekleme farkını, yatay eksen ise örneklem zamanını göstermektedir.



Şekil 7-18: Kapalı çevrim kontrol metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı

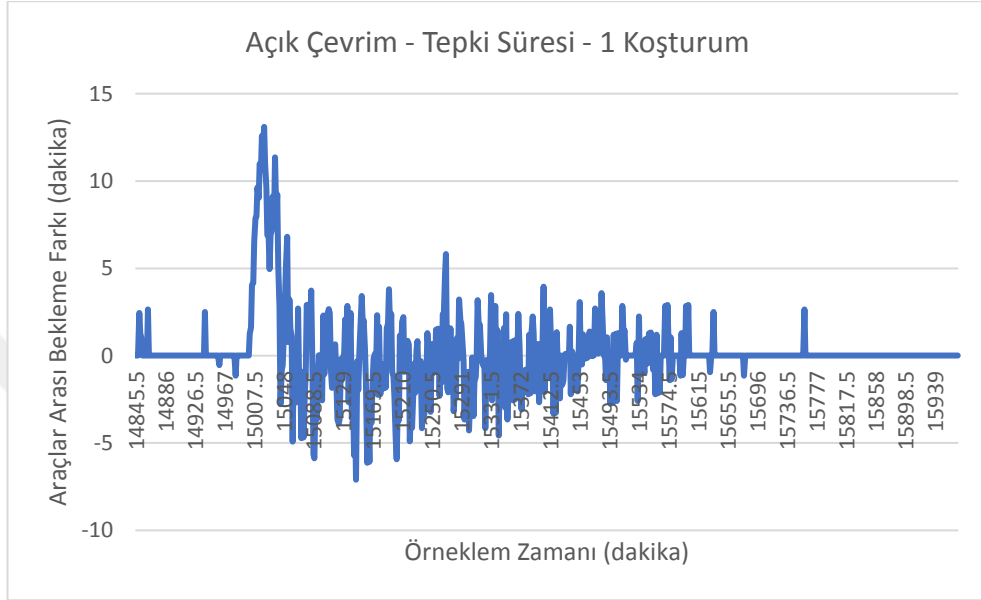
Bu koşturumda sistem 47 örneklem zamanı (70.5 dakika) içerisinde dengeye tekrar ulaşmıştır.

Şekil 7-19’da kapalı çevrim kontrol metodunda 30 koşturumdan elde edilen güven aralığı için 14845-15970.5 dakikalarda 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 7-19: Kapalı çevrim kontrol metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı

Şekil 7-20’de açık çevrim kontrol metodunda tepki süresinin gözlemlenmesi amacıyla tek bir koşturumdan 14845-15970.5 dakikaları 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.



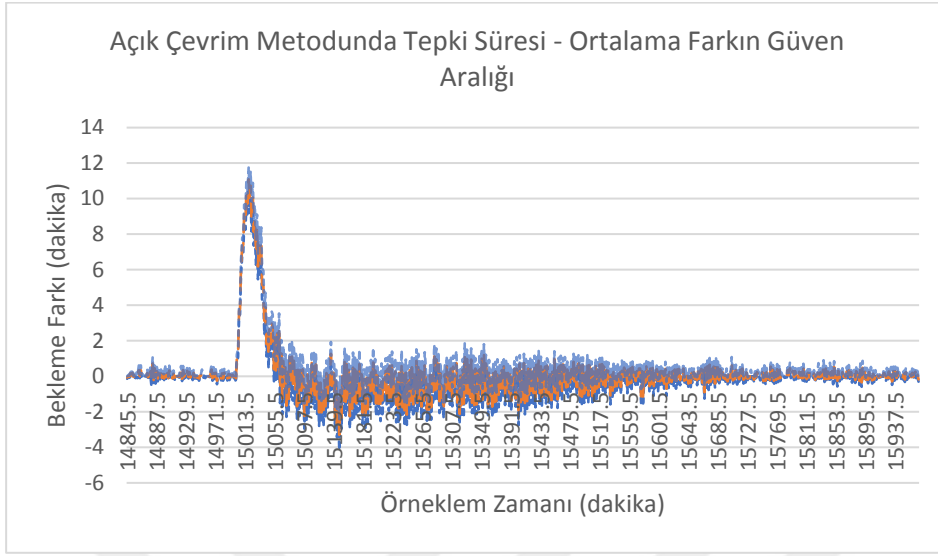
Şekil 7-20: Açık çevrim kontrol metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı

Şekil 7-21’de açık çevrim kontrol 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 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.

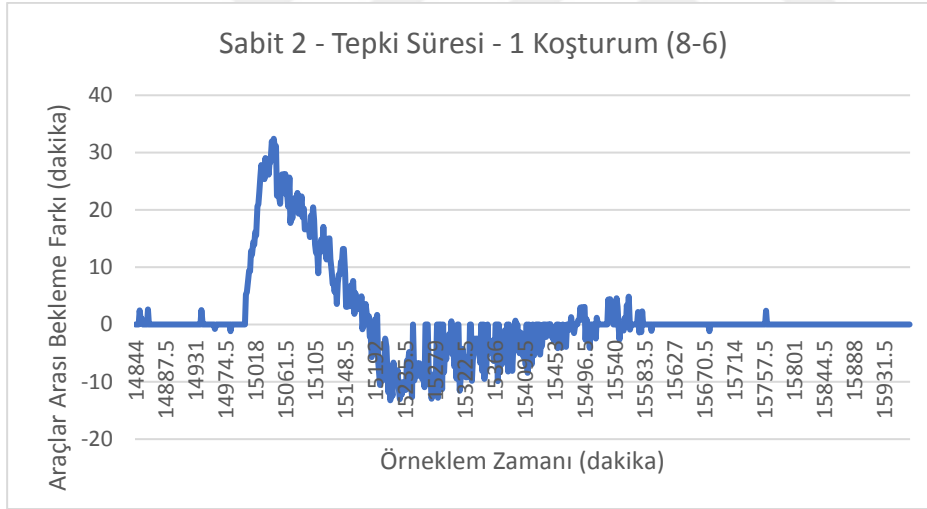
Kapalı çevrim ile karşılaştırıldığında açık çevrim kontrol metodu tepki süresi açısından gayet iyi sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi açık çevrim kontrolün sisteme henüz giriş yapmamış araçlardan aldığı bilgi ile gelecek olay listeleme metodu kullanarak daha kontrollü bir sistem oluşturmasıdır.

Şekil 7-22’de 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 dakikaları arasındaki verilerin grafiği çizilmiştir.

Dikey eksen araçlar arası bekleme farkını, yatay eksen ise örneklem zamanını göstermektedir. Sistem 108 örneklem zamanda (162 dakika) dengeye ulaşmıştır.

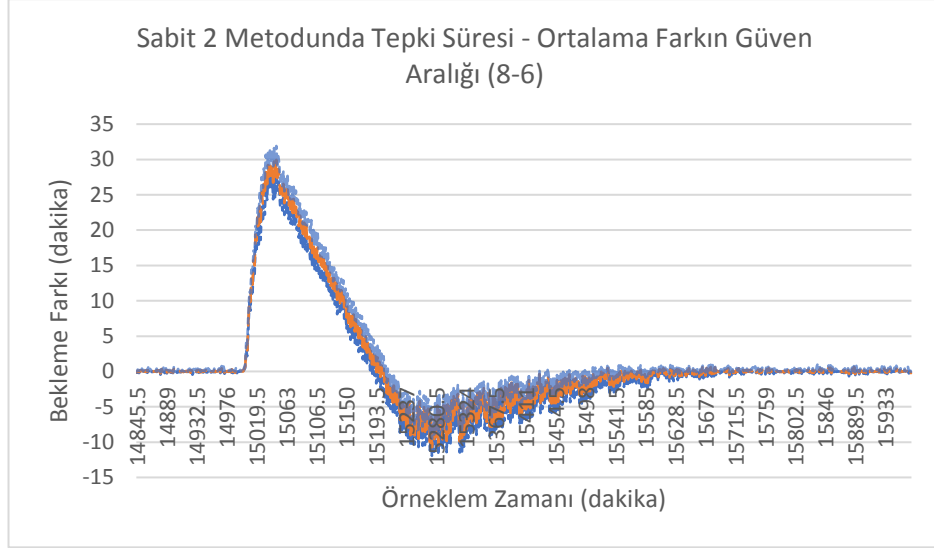


Şekil 7-21: Açık çevrim metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı



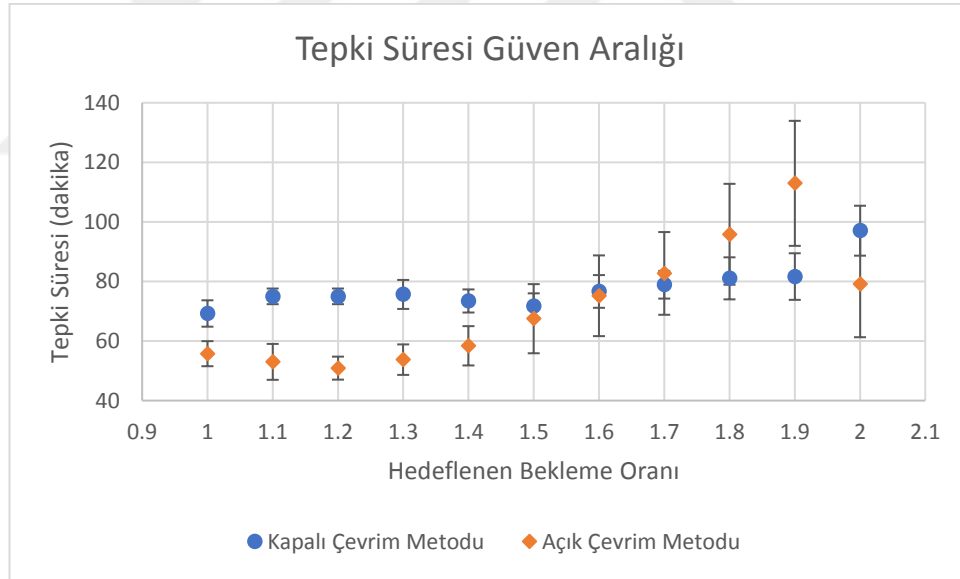
Şekil 7-22: Sabit 2 metodunda 1 koşturum için tepki süresi ölçümünde araçlar arası bekleme farkı (8-6)

Şekil 7-23'te Sabit 2 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 163.26 örneklem zaman (244.9 dakika) olarak ölçülmüştür.



Şekil 7-23: Sabit 2 metodunda tepki süresi ölçümünde ortalama farkın güven aralığı (8-6)

Şekil 7-24'te kapalı ve açık çevrim kontrol metodlarında farklı hedef bekleme oranlarında gerçekleşen tepki süreleri ve tepki sürelerinin güven aralıkları verilmiştir.



Şekil 7-24: Farklı hedeflenen bekleme oranı değerlerinde tepki süresinin değişimi

Grafik incelendiğinde hedeflenen bekleme oranının 1.5'in altında olduğu durumlarda açık çevrim kontrol metodu daha kısa sürelerde dengeye ulaşırken, hedeflenen bekleme oranının 1.5, 1.6 ve 1.7 olduğu durumlarda iki metot birbirine yakın sonuçlar vermiştir.

7.4 Analiz Özeti

Bu bölümde tüm metotlar öncelikle %95, %90 ve %85 doluluk oranlarında ve yüksek öncelikli araçların tüm araçlara oranının 0.3, 0.5 ve 0.7 olduğu durumlarda meydana gelen yüzde sapma verisi açısından incelenmiştir. Kapalı çevrim kontrol metodu hariç diğer metotlarda doluluk oranının 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 biraz 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.

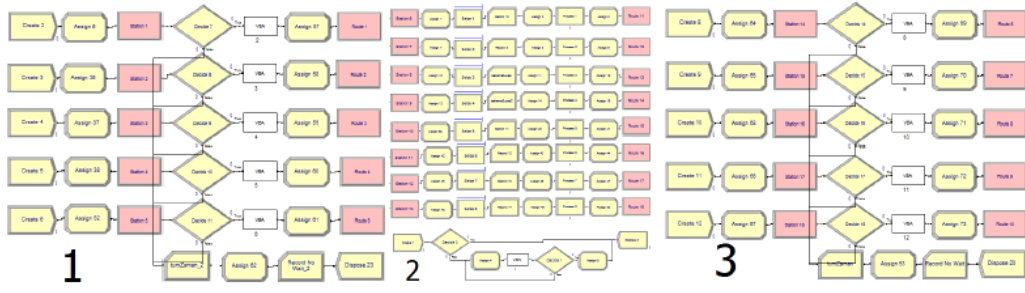
8 ÇOKLU İSTASYONDA PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI

Bu bölümde kapalı çevrim kontrol metodunun ve açık çevrim kontrol metodunun çoklu istasyonlarda çalıştırılması ile elde edilmiş sonuçlar açıklanmıştır.

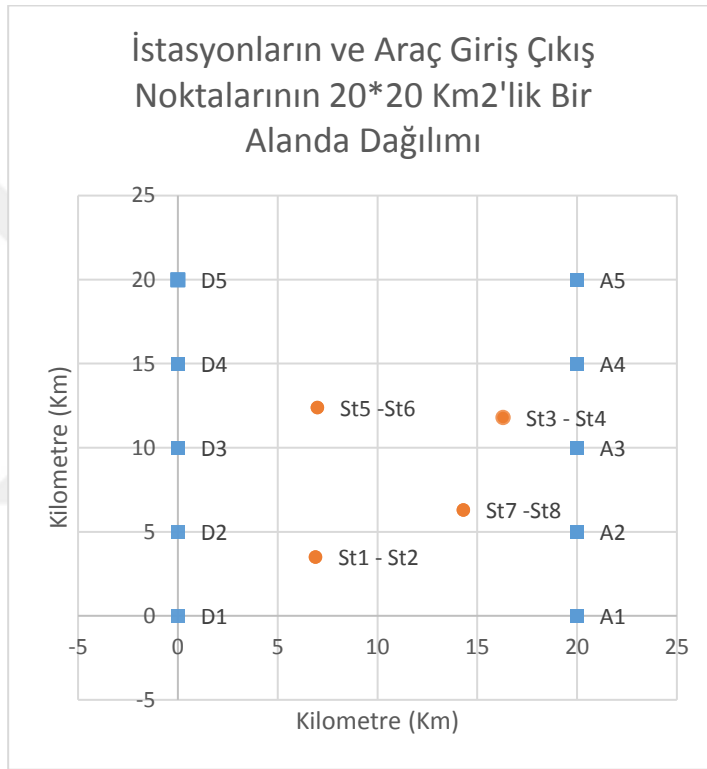
8.1 Çoklu İstasyon Simülasyon Modeli

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. Her 1.5 dakikada bir kez kapalı çevrim istasyonların kontrolörleri ayrı ayrı çalışmakta ve bir sonraki adımda pompa oranının nasıl olması gerektiğine karar vermektedir. Simülasyon modeli Şekil 8-1'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.

İstasyonların konumu 20*20 km² lik bir alanda dağınık 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 8-2'de gösterilmiştir.



Şekil 8-1: Çoklu istasyon simülasyon modeli



Şekil 8-2: İstasyonların ve araç giriş çıkış noktalarının 20*20 km2'lik bir alanda dağılımı

Koşturum 33000 dakika çalıştırılmış ve veriler alınırken ilk 3000 dakikası ısınma periyodu olarak istatistiklere katılmıştır. Her model 30 koşturumda çalıştırılmıştır. 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.

Tek istasyon modelinde YTM metodunda seçilmiş olan en iyi K_p - K_i çifti ile çoklu istasyon denemesi yapılmıştır. Yüksek öncelikli araç oranının 0.5 ve hedef bekleme oranı değerinin 1.5 olduğu bir sistem üzerinde çalışılmıştır.

8.2 Karar Değişiminin Yapılamadığı Çoklu İstasyon Modellerinde Performans Karşılaştırması

Bu bölümde çoklu istasyon için performans karşılaştırması yapılmaktadır.

8.2.1 Kapalı çevrim istasyonların bulunduğu çoklu istasyon 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 olarak kabul edilerek hayali bir simülasyon işlemi yapılmıştır. Bu simülasyon işleminde yüksek ve düşük öncelikli araçlara ayrılan pompa sayılarının değişmeyeceği varsayılmıştır. Modelde yer alan FIFO istasyonlarda da kapalı çevrim istasyonlardakine benzer şekilde kuyrukta bekleyen araçların servis süresi 19 olarak varsayılmış ve hayali simülasyon işlemi ona göre yapılmıştır.

Çizelge 8-1 '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 1. Sınıf araçların kapalı çevrim istasyonlarda FIFO istasyonlarına göre daha az beklediği görülmektedir. 2. Sınıf araçların ise FIFO 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 8-2 'de 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 8-1 'de FİFO 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.

İstasyonlar arası mesafe farkının sonuçları nasıl etkilediğini görmek için mesafe matrisi kaldırılmış ve deneyler tekrar edilmiştir. Çizelge 8-3 'te her istasyon ve her sınıf için araçların bekleme süresi, Çizelge 8-4 'te ise günlük olarak araçların istasyonları tercih etme sayısı gösterilmektedir.

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 8-4 'te 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.

Çizelge 8-1: 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 8-2: 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]

Çizelge 8-3: 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

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.

Çizelge 8-4: 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]

8.2.2 Açık çevrim istasyonların bulunduğu çoklu istasyon 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. Bilinen servis süreleri hesaba katılarak hayali bir simülasyon işlemi yapılmıştır. Bu simülasyon işleminde yüksek ve düşük öncelikli araçlara ayrılan pompa sayılarının değişmeyeceği varsayılmıştır. Modelde yer alan FIFO istasyonlarda da kapalı çevrim istasyonlardakine benzer şekilde kuyrukta bekleyen araçların servis süresi 19 olarak varsayılmış ve hayali simülasyon işlemi ona göre yapılmıştır.

Çizelge 8-5'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 yüksek öncelikli araç oranları yer almaktadır. İstasyon çiftleri için sonuçlar incelendiğinde kapalı çevrim istasyonlarda olduğu gibi 1. Sınıf araçların açık çevrim istasyonlarda FIFO istasyonlarına göre daha az beklediği görülmektedir. 2. Sınıf araçların ise FIFO istasyonlarda daha az beklediği görülmektedir. Bunun sebebi açık çevrim istasyonlarda 1. Sınıf araçların 2. Sınıf araçların 1.5 katı az beklemesinin hedeflenmesidir. FIFO istasyonlarda ise 1. Sınıf ve 2. Sınıf araçlar yaklaşık aynı bekleme süresine sahiptir.

Çizelge 8-6'da günlük bazda araç sınıflarının istasyonları tercih etme sayıları yer almaktadır.

Bekleme süreleri ile doğrusal bir şekilde 1. Sınıf araçlar açık çevrim istasyonları, 2. Sınıf araçlar ise FIFO 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.

Çizelge 8-5: 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

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 8-7'de mesafe matrisinin olmaması durumunda her istasyon ve her sınıf için araçların bekleme süresi, gerçekleşen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı, Çizelge 8-8'de ise mesafe matrisinin olmaması durumunda araçların istasyonları tercih etme sayısı gösterilmektedir.

Çizelge 8-6: 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)	[530.53 532.45]	[482.08 484.13]	[1014.35 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]

Çizelge 8-7’de bekleme süreleri mesafe matrisinin olmadığı durumda mesafe matrisinin bulunduğu duruma benzer şekilde açık çevrim istasyonlarda 1. Sınıf araçların, FİFO istasyonlarda ise 2. Sınıf araçların daha az beklediği şeklindedir.

Çizelge 8-8’de 1. sınıf araçlar açık çevrim istasyonları tercih ederken 2. Sınıflar FİFO istasyonları daha fazla tercih etmiştir. Açık çevrim istasyonları ve FİFO istasyonları seçme sayıları istasyon bazında benzerlik göstermiştir. Mesafe matrisinin kaldırılmasıyla 5. Ve 6. İstasyonlardaki yoğunluk da ortadan kalkmıştır..

Çizelge 8-7: 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 TRIA(10, 18, 30)	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
	İstasyon 5 (AÇIK)	[1.861 1.864]	[2.48 2.49]	1.337	0.51
	İstasyon 6 (FİFO)	[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 (FİFO)	[1.932 1.934]	[1.989 1.992]	1.030	0.49

Açık çevrim istasyonlarda gerçekleşen bekleme oranı değeri ortalamada 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.

Çizelge 8-8: 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
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	İstasyon 1 (AÇIK)	[514.76 516.94]	[484.79 486.59]	[1001.32 1001.76]
	İstasyon 2 (FİFO)	[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 (FİFO)	[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 (FİFO)	[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 (FİFO)	[475.26 477.35]	[503.50 505.60]	[980.37 981.34]

8.3 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 olacakları 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 8.1'de fayda bilinen parametrelere bağlı deterministik bölümü V , belirsiz bölümü ise Epsilon ile adlandırılırsa;

$$\text{Fayda}_{ni} = V_{ni} + \text{Epsilon}_{ni} \quad (8.1)$$

şeklinde tanımlanır. (Train 2003)

Faydanın deterministik bölümü olan V 'ye farklı parametreler farklı katsayılarla etki ederler. Eşitlik 8.2'de X ler parametreleri ve Betalar katsayıları ifade etmektedir. (Train 2003)

$$V_{ni} = \text{Beta1} * X_{1ni} + \text{Beta2} * X_{2in} + \dots + \text{BetaK} * X_{Kni} \quad (8.2)$$

Alternatifler arası seçim ihtimali ikili ayırık seçim modelinde Eşitlik 8.3'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.

$$P_{n1} = 1 / (1 + \exp (V_{n2} - V_{n1})) \quad (8.3)$$

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 V_1 araç düşük öncelikli olarak kalmayı isterse elde edeceği deterministik faydayı, V_2 araç yüksek öncelikli olmayı isterse elde edeceği deterministik faydayı ifade eder. Bu iki değer Eşitlik 8.2'deki formülasyon ile hesaplandıktan sonra Eşitlik 8.3'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 bataryaya sahip olmadığı için öncelik değişimi yapmadığı varsayılmıştır. Ayrıca bir araç eğer FIFO olan bir istasyona gidecekse önceliğini değiştirmedeği düşünülmüştür.

8.4 Karar Değişiminin Yapılabildiği Çoklu İstasyon Modelinde Performans Analizi

Doluluk oranının %95 olduğu sistem üzerinde öncelik değişiminin yapılabildiği modeller incelenmiştir. Çizelge 8-9’da öncelik değişimin yapıldığı çoklu istasyon modelindeki istasyonlardaki ortalama bekleme süreleri, Çizelge 8-10’da gerçekleşen bekleme oranları, yüksek öncelikli araç oranları ve Çizelge 8-11 ‘de günlük bazda istasyonlara gelen araç sayıları gösterilmiştir.

Çizelge 8-9 : 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 8-10: 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
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	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

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 koşurumda 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 8-12'de doluluk oranının %95 olduğu ve açık çevrim istasyonların bulunduğu öncelik değişiminin yapılabildiği ve açık çevrim istasyonların bulunduğu modeldeki araçların bekleme süresi, Çizelge 8-13'te gerçekleşen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı ve Çizelge 8-14'te istasyonlara gelen araç sayıları gösterilmiştir. Ayrıca düşük öncelikli sınıftan yüksek öncelikli sınıfa geçen araçların bilgileri de yer almaktadır.

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

gelerek doluluk oranının artmasıdır. Doluluk oranının azalması ile birlikte kontrolörün sistemi düzenlemesi zorlaşmaktadır.

Çizelge 8-11. 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]

30 koşurunda 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

Çizelge 8-12. 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]	

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.

Çizelge 8-13: Öncelik değişiminin yapılabildiği açık istasyon modelinde gerçekteşen bekleme oranı ve yüksek öncelikli araç oranı

	Ref: 1.5 / 1. Sınıf : 0.5	Gerçekteşen Bekleme Oranı	Yüksek Öncelikli Araç Oranı
Servis Süresi TRIA(10, 18, 30)	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

8.5 Analiz Özeti

Öncelik değişiminin yapılabildiği ve yapılmadığı modeller arasında bekleme süreleri açısından büyük farklar görünmemektedir. Karar değişiminin yapılabildiği modeller hedeflenen bekleme oranı değerine daha yakın sonuçlar vermektedir. Yüksek öncelikli araçlar kontrol metotlarının kullanıldığı istasyonları daha çok tercih ederken düşük öncelikli araçlar FİFO istasyonları daha çok tercih etmiştir. Bunun sebebi FİFO istasyonlarda diğer araçlarla benzer bekleme sürelerine sahip olurken kontrol metotlarının uygulandığı istasyonlarda belirlenen bekleme oranına göre daha fazla beklemelerinin gerekmesidir. Araçlar merkezi istasyonları tercih ederek yolda geçirecekleri süreden kazanç sağlayarak istasyon içerisinde bir miktar daha fazla beklemeyi göze almaktadır.

Çizelge 8-14. 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 Süresi TRIA(10, 18, 30)	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]
	İstasyon 3 (AÇIK)	[519.24 522.22]	[448.07 449.59]	[52.37 52.97]	[1021.86 1022.60]
	İstasyon 4 (FİFO)	[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 (FİFO)	[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 (FİFO)	[466.97 469.45]	[501.93 503.20]		[970.10 971.45]



9 TARTIŞMA VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Elektrikli araçların uzun ve kısa vadeli faydalarının yanında kullanımı sırasında ortaya çıkan bazı sorunlar olabilmektedir. Bunlardan en önemlisi şarj sürelerinin uzunluğudur. Şarj sürelerinin uzun olması araçların şarj istasyonlarındaki bekleme sürelerini artırmaktadır. Literatürde araçların bekleme sürelerini azaltmaya yönelik istasyonlar arası araç talebinin düzenlenmesi, istasyonların uygun konumlara, uygun boyutlarda yerleştirilmesi gibi çalışmalar bulunmaktadır. İstasyonlar bekleme süresini azaltmak için ücret karşılığında VIP müşteri olarak yüksek öncelikli araç olmayı tercih etmiş veya düşük öncelikli araç olarak kalmayı kabul etmiş araçlar arasında sunucu sayılarını dengeli bir şekilde dinamik olarak değiştirebilir. Böylece araçların tamamı için olmasa bile bir kısmı için bekleme süresi azaltılabilir.

Bu çalışmada kapalı çevrim kontrol metodu ile sunucuların araç sınıflarına dinamik olarak atanarak araç sınıfları arasındaki bekleme oranını belirlenen seviyede tutmak ve böylece bir kısım araçlar için bekleme süresini azaltmak hedeflenmiştir. Çalışmada kontrol metodu için gerekli olan parametreleri belirlemek amacıyla çeşitli yöntemler denenmiş ve bu yöntemler arasından en verimli olan seçilerek geliştirilen modelin performansı tek istasyonlu ortamda test edilmiştir. Modelin rekabetçi bir çoklu istasyon ortamındaki performansı da test edilmiştir. Çalışma Arena simülasyon programında Visual Basic dilinde kodlanmıştır ve elde edilen kontrol parametreleri simülasyon programına entegre edilmiştir.

Çalışmada kontrol parametrelerini belirlerken kullanılan ilk yöntem sistem tanımlama metodudur. Sistem tanımlama metodu için Matlab programında "System Identification" aracı kullanılmıştır. Sistem tanımlama modelinde öncelikle sunucuyu tutmuş olan yani servis almaya başlamış olan araçların sonlanmış olan bekleme süreleri kullanılarak kontrol metodu (SBK) uygulanmıştır.

Bu metotta belirlenen kontrol parametresi yüksek öncelikli araç oranı değiştirilerek farklı ortamlarda denendiğinde gerçekleşen bekleme oranının hedeflenen bekleme oranı değerinden oldukça uzakta olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple sistem tanımlama metodu kuyrukta halen beklemekte olan araçların bekleme süreleri kullanılarak yeni bir metot (DBK) uygulanmıştır. Bu metot farklı araç oranında yeterli bekleme oranına sahip olmuştur fakat anlık tepkilere karşı sistemin ne kadar sürede dengeye ulaşacağını ölçmek amacıyla izlenen performans kriteri olan Tepki Süresi konusunda yavaş kalmıştır.

Kontrol parametresi belirlerken kullanılan ikinci yöntem ise yüzey tepki metodudur. Bu yöntem için ise Minitab ve Matlab programının "Genetic Algorithm" aracı birlikte kullanılmıştır. Genetik algoritma ile daha iyi kontrol parametresi elde etmek kolaylaşmıştır. Bu yöntemde kullanılan iki kriterden biri Tepki Süresi, diğeri de yüksek öncelikli araç oranının 0.3 olduğu durumda düşük öncelikli araçlar için hedeflenen bekleme süresinden yüzdelik sapma miktarıdır. Her iki değeri de mutlak olarak küçültecek kontrol parametresi elde etmek amacıyla yüzey tepki metodu kullanılmış, öncelikle başlangıç deney tasarımı oluşturularak buradan elde edilen simülasyon sonuçları ile yeni deneyler tasarlanarak daha iyi sonuçlar verecek kontrol parametreleri elde edilmiştir. Bu yöntemle elde edilen kontrol parametreleri belirlenen tüm performans kriterlerinde iyi sonuçlar vermiştir. Bu sebeple açık çevrim kontrol metodu ve sabit sunuculu sistemler ile karşılaştırma ve çoklu istasyon karşılaştırmaları bu kontrol parametreleri ile elde edilen sonuçlar üzerinden yapılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde, istasyon doluluk oranının %95 olduğu durumda kapalı çevrim metodunun yüzde sapma kriteri açısından performansı açık çevrim metodunun performansından daha iyidir. Kapalı çevrim metodunun en iyi performansı yüksek doluluk oranlarında göstermesinin sebebi, kontrolör parametrelerinin %95 doluluk oranında gerçekleştirilen deneylerle belirlenmiş olmasıdır. Doluluk oranı azaldığında ve %85 olduğu durumlarda açık çevrim metodu daha iyi performans göstermektedir. Açık çevrim metodu daha fazla veri ile hareket ettiği için (bilinen servis süreleri) kapalı çevrim metodundan iyi bir performans elde edebilmektedir. Her iki metot da sabit sunuculu sistemlere göre dinamik yapıda oldukları için her performans kriterinde büyük farklarla daha iyi sonuçlar vermiştir.

Çoklu istasyon yöntemlerinde hem açık çevrim hem de kapalı çevrim kontrol metodu ile çalışan istasyonlarda yüksek öncelikli araçlar düşük öncelikli araçlara göre daha az

bekleme süresine sahip olurken, FIFO istasyonlarda düşük öncelikli araçlar bazen yüksek bazen düşük bekleme süresine sahip olmuştur. Kontrol metodu ile çalışan istasyonlara nazaran ise FIFO istasyonlarda düşük öncelikli araçlar daha az bekleme süresine sahiptir. Karar değişim modellerinde diğer çoklu istasyon modellerine göre hedeflenen bekleme oranı değerine daha yaklaşık sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçta; bu çalışma literatürde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında birtakım özgün değerlere sahiptir. Bunlar elektrikli araç şarj istasyonlarında sunucu sayısının dinamik olarak değiştirilmesi amacıyla kapalı çevrim kontrol metodunun ilk kez kullanılması, araçların şarj istasyonunda servis almaya başlamadan herhangi bir bilgiyi paylaşmalarının gerekmemesidir.

Bu alanda yapılacak gelecek çalışmalarında kontrol parametreleri belirlenirken farklı meta sezgisel yöntemler kullanılabilir, ikiden fazla araç sınıfı için deneyler yapılabilir, farklı performans kriterleri denenebilir.



KAYNAKLAR

- 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)*
- Anil, A., Azeem, S., Panicker, B., Saifudeen, V. K.,** (2020). Electric Vehicle Charging Assistive System Using Internet Of Electric Vehicles, *AIP Conference Proceedings*
- Chan, C. W., Huang, M., Sarhangian, V.,** (2019). New York: Columbia Business School
- 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*
- 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-queuing 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
- Get Green Now.** (alındığı tarih: 08.04.2020), <https://get-green-now.com/why-are-electric-cars-important/>
- Global Electric Vehicle Outlook.** (alındığı tarih: 09.04.2020) <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>

- Gören, A.,** *Dokuz Eylül Üniversitesi.* (alındığı tarih: 15.04.2020)
<http://kisi.deu.edu.tr/aytac.goren/MAK3026/h5.pdf>
- 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, 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, 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*
- 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
- Kramer, O.,** (2017). *Genetic Algorithm Essentials*
- 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 Queuing Theory, *2015 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences*
- Malik, F. H., Lehtonen, M.,** (2017). Minimization of Queuing 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
- 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 İn Smart Grids For Demand Response, *Energy*, 116(2016), 836-850
- 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*, 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.,** (2014). Optimal Fast Charging Station Placing And Sizing, *Applied Energy*, 125(2014), 289-299
- Said, D., Cherkaoui, S., Khoukh, L.,** (2015). Multi-Priority Queuing For Electric Vehicles Charging At Public Supply Stations With Price Variation, *Wireless Communications And Mobile Computing*, 15, 1049-1065

- 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
- 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, 75-91
- Visioli, A.,** (2016). *Practical PID Control*
- 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
- 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
- Zorlu Energy Solutions,** (alındığı tarih: 09.04.2020). <https://zes.net/elektrikli-arac-dunyasi.html>

EKLER

Ek 1: Örnekleme zamanının 3 olduğu bir sistemde yüzey tepki metodunun adımları



EK 1

Örnekleme zamanının 3 olduğu bir sistemde yüzey tepki metodunun adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Araçlar arası fark değerinin 5 dakika olduğu varsayıldığında Eşitlik 6.5 kullanılarak düşük seviyedeki K_p değeri -0.014, fark değeri 2.5 dakika olarak varsayıldığında ise yüksek seviyedeki K_p değeri -0.028 olarak bulunmuştur. K_i değerleri ise deneysel olarak K_p değerlerinin 0.04 ü olarak alınmıştır. Bu verilerden yola çıkarak merkez nokta ise (-0.021, -0.00084) olarak bulunmuştur.

Adım 2: CCD'nin tasarlanması:

Yüksek ve düşük seviye parametreler elde edildikten sonra tasarım matrisindeki diğer noktalar Çizelge 6-1'e göre hesaplanmıştır.

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

Yanıtları elde edebilmek için her nokta için 50'şer koşuturum yapılmıştır. Deney noktalarının yanıt değerleri Çizelge Ek1-1'de gösterilmiştir.

Çizelge Ek1-1: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yanıtları

	K_p	K_i	Tepki Süresi (dk)	Yüzde Sapma (%)
R1	-0.028	-0.00112	86.34	-20.3494
R2	-0.014	-0.00112	96.18	-5.11881
R3	-0.028	-0.00056	94.92	-33.5436
R4	-0.014	-0.00056	127.74	-5.11881
Eksen 1	-0.021	-0.00044402	147.36	-14.1006
Eksen 2	-0.021	-0.00123598	90.6	-8.57489
Eksen 3	-0.030899495	-0.00084	83.82	-34.1778
Eksen 4	-0.011100505	-0.00084	108.66	-4.90578
Center	-0.021	-0.00084	104.4	-10.1488

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 Ek1-1 ve Şekil Ek1-2'de gösterilmiştir.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	3217.87	643.57	6.70	0.074
Linear	2	2568.74	1284.37	13.37	0.032
Kp	1	756.39	756.39	7.87	0.068
Ki	1	1812.34	1812.34	18.87	0.023
Square	2	517.11	258.56	2.69	0.214
Kp*Kp	1	93.15	93.15	0.97	0.397
Ki*Ki	1	94.89	94.89	0.99	0.394
2-Way Interaction	1	132.02	132.02	1.37	0.326
Kp*Ki	1	132.02	132.02	1.37	0.326
Error	3	288.16	96.05		
Total	8	3506.02			

Şekil Ek1-1: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıtı1) için varyans analizi tablosu

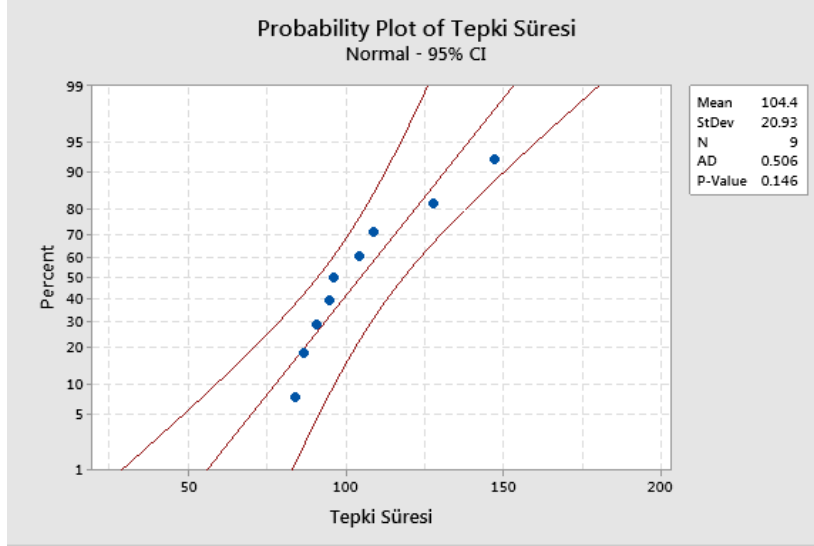
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
9.80064	91.78%	78.08%	*

Şekil Ek1-2: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının tepki süresi (çıkıtı 1) için model özeti tablosu

Bu çalışmada önem derecesi (level of significance) olarak $\alpha = 0.05$ değeri kabul edilmiştir. Şekil Ek1-1’de verilen ANOVA değerleri incelendiğinde doğrusal parametrelerden biri olan K_i için p değerinin 0.05 den düşük olduğu görülmektedir. P değerinin kabul edilen önem derecesi olan 0.05 den küçük olması K_i parametresinin Tepki Süresi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Şekil Ek1-2’de verilen Model özeti tablosunda R^2 değerinin %91.78, düzeltilmiş R^2 (R^2 adjusted) değerinin %78.08 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 değerinin %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 Ek 1-3’te verilmektedir.



Şekil Ek1-3: Ts = 3 için başlangıç deney tasarımı tepki süresi residual grafiği
 Şekilde mavi noktaların grafik içerisindeki doğrusal çizgilere olan yakınlığı tahmin edilen değerlerin simülasyon sonuçları ile uyumunu gösterir. Grafiğin tahmin tutarlılığı %91.78'dir. Regresyon modeli ile elde edilen tahmin değerlerinin simülasyon değerlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Tepki süresi için elde edilen yüzey tepki denklemi Eşitlik Ek1.1'de gösterilmiştir.

$$\text{Tepki Süresi} = 230.9 - 999 * K_p + 237692 * K_i - 115485 * K_p * K_p + 72847577 * K_i * K_i + 2931122 * K_p * K_i \quad (\text{Ek1.1})$$

Yüzde Sapma için Minitab programından elde edilen sonuçlar ise Şekil Ek1-4 ve Şekil Ek1-5'te gösterildiği gibidir.

Şekil Ek 1-4'te ANOVA değerleri incelendiğinde doğrusal parametreler olan Kp ve Ki için p değerinin 0.05'ten düşük olduğu görülmektedir. Bu durum Kp ve Ki parametrelerinin Yüzde Sapma üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Şekil Ek 1-5'te verilen Model özeti tablosunda R2 değerinin %98.73, düzeltilmiş R2 (R2 adjusted) değerinin %96.61 olduğu görülmektedir ve modelin veriyle uyumunun yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Modelin performansının analizi için incelenen Residual grafiği Şekil Ek 1-6'da verilmektedir.

Analysis of Variance

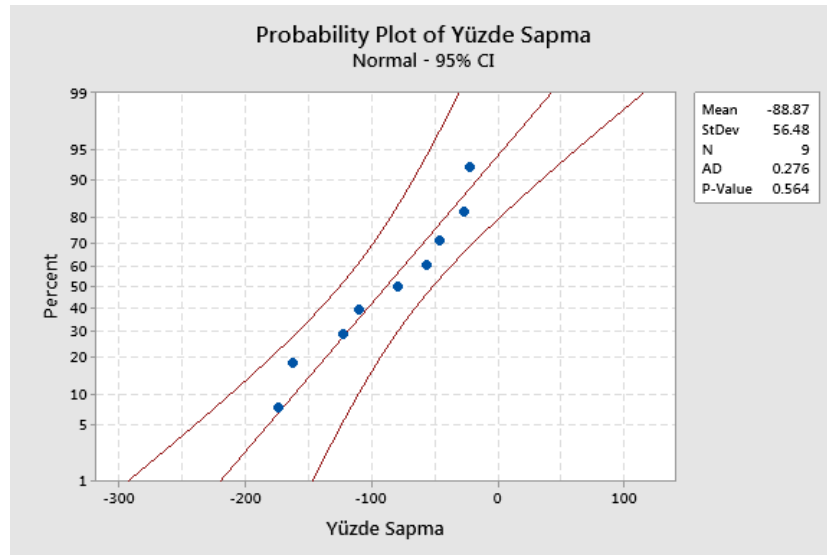
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	0.005882	0.001176	46.66	0.005
Linear	2	0.001029	0.000514	20.40	0.018
Kp	1	0.000625	0.000625	24.80	0.016
Ki	1	0.000403	0.000403	16.00	0.028
Square	2	0.004027	0.002014	79.86	0.003
Kp*Kp	1	0.002306	0.002306	91.47	0.002
Ki*Ki	1	0.000002	0.000002	0.08	0.793
2-Way Interaction	1	0.000827	0.000827	32.78	0.011
Kp*Ki	1	0.000827	0.000827	32.78	0.011
Error	3	0.000076	0.000025		
Total	8	0.005958			

Şekil Ek1-4: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıktı 2) için varyans analizi tablosu

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0050213	98.73%	96.61%	*

Şekil Ek1-5: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı noktalarının yüzde sapma (çıktı 2) için model özeti tablosu



Şekil Ek1-6: $T_s = 3$ başlangıç deney tasarımı tepki süresi residual grafiği

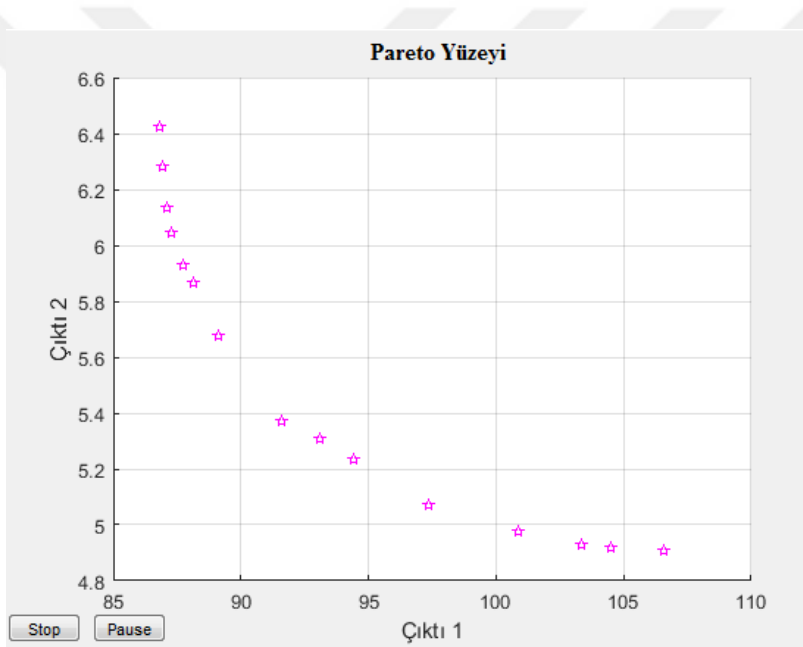
Şekilde mavi noktaların grafik içerisindeki doğrusal çizgilere olan yakınlığı tahmin edilen değerlerin simülasyon sonuçları ile uyumunu gösterir.

Grafiğin tahmin tutarlılığı %95.92'dir. Yüzde sapma değeri için regresyon denklemi Eşitlik Ek1.2'deki gibidir.

Yüzde sapma değeri için elde edilen yüzey tepki denklemi Eşitlik Ek1.2'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Yüzde Sapma} = & -0.1556 - 16.71 * K_p + 197.5 * K_i - 574.6 * K_p * K_p \\ & + 10762 * K_i * K_i + 7334 * K_p * K_i \end{aligned} \quad (\text{Ek1.2})$$

Adım 5: Minitab programından her bir çıktı değeri için modeller elde edildikten sonra MATLAB programında 16 adet pareto optimal K_p , K_i parametre çifti elde edilmiştir. Bu pareto optimal noktaların Matlab programından alınmış grafiği Şekil Ek1-7'de gösterildiği gibidir.



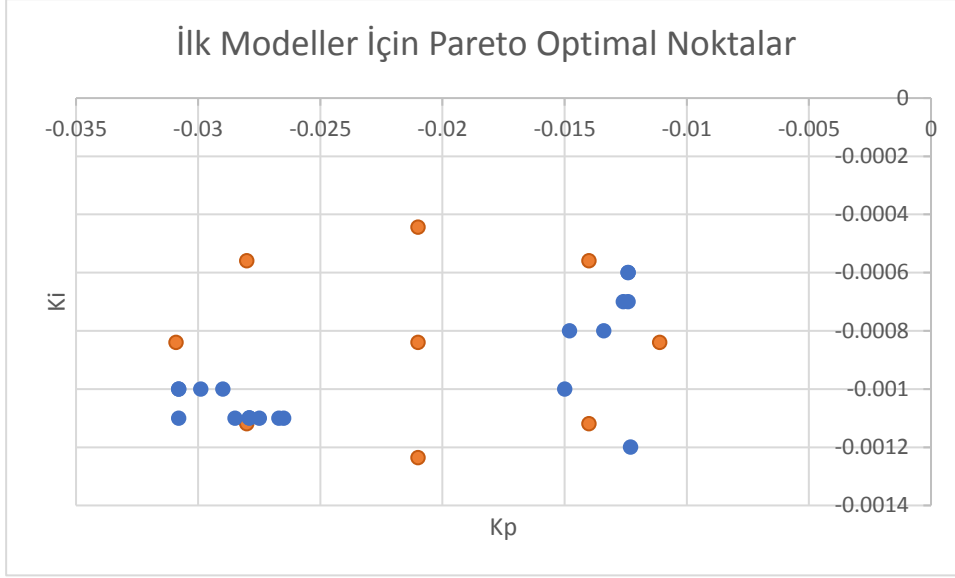
Şekil Ek1-7: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı pareto optimal noktalar

Pareto optimal noktaların simülasyon kullanılarak gerçek çıktı değerleri 50 çalıştırma yapılarak bulunmuştur. Bu değerler ve regresyon denklemlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge Ek1-2'de gösterilmektedir.

Şekil Ek1-8'de bordo renk ile gösterilen noktalar başlangıçta Merkezi Kompozit Tasarımı yöntemi ile bulunmuş olan noktaları, mavi renk ile gösterilen noktalar ise pareto optimal noktaları göstermektedir.

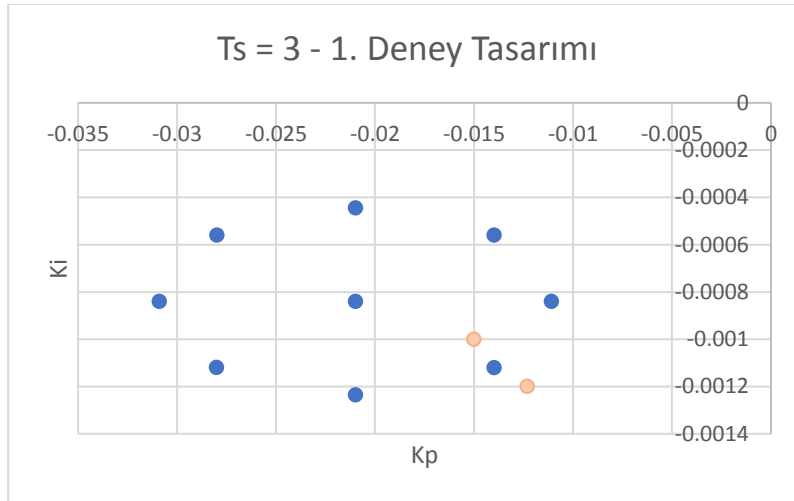
Çizelge Ek1-2: Ts = 3 için başlangıç deney tasarımı - pareto optimal noktaların gerçek çıktı sonuçları

Noktalar	Kp	Ki	Tepki Süresi (dk) (Simülasyon)	Yüzde Sapma (%) (Simülasyon)	Tepki Süresi (dk) (Regresyon)	Yüzde Sapma (%) (Regresyon)
1	-0.0265	-0.0011	89.199	-17.1017	88.40	-17.259
2	-0.0308	-0.001	72.6	-29.8722	77.549	-30.60
3	-0.0299	-0.001	84.399	-26.9095	80.321	-27.81
4	-0.0124	-0.0006	121.101	-4.63103	130.948	-3.69
5	-0.0123	-0.0012	96.999	-4.93078	88.649	-7.51
6	-0.0275	-0.0011	85.5	-19.3536	86.388	-19.53
7	-0.0148	-0.0008	108.699	-5.18155	111.56	-4.48
8	-0.0308	-0.0011	78.201	-27.7671	78.106	-28.414
9	-0.029	-0.001	87.099	-24.2764	82.906	-25.19
10	-0.0285	-0.0011	78.801	-21.6619	84.144	-21.99
11	-0.0134	-0.0008	105.9	-4.99864	111.44	-4.165
12	-0.015	-0.001	98.4	-5.30463	99.023	-4.923
13	-0.0124	-0.0007	114.999	-4.7619	120.28	-3.842
14	-0.0279	-0.0011	84.9	-19.9706	85.51	-20.49
15	-0.0126	-0.0007	112.401	-4.96967	120.32	-3.857
16	-0.0267	-0.0011	89.301	-17.4235	88.017	-17.70



Şekil Ek1-8: $T_s = 3$ için başlangıç deney tasarımı ve pareto optimal noktaların grafik üzerinde gösterilmesi

Adım 6: Pareto optimal noktaların çıktı sonuçlarını incelerken ilk deney için tepki süresi değerinin 100'den düşük ve yüzde sapma değerinin -10'dan büyük olduğu değerler daha iyi noktalar olarak belirlenmiş ve bu noktalar üzerinden inceleme devam etmiştir. Bu kriterler dikkate alındığında Çizelge Ek1-1'de K_p ve K_i değerleri verilen 5. Ve 12. Noktadaki parametrelerin çıktı değerleri diğerlerine göre daha iyidir. Bu iki nokta (pembe ile işaretli) ve deney tasarımı noktalarını (mavi ile işaretli) Şekil Ek1-9'da gösterilmiştir.



Şekil Ek1-9: $T_s=3$ için başlangıç deney noktaları ve bir sonraki adımda ilerlemesi hedeflenen bölge

Şekil Ek1-9 incelendiğinde (-0.014, -0.00112) noktasına doğru ilerlenildiğinde ikinci deney için daha iyi noktalar bulunabileceği öngörüsü ile merkez nokta 5. Pareto nokta olan (-0.0123, -0.0012) olarak belirlenmiştir.

Adım 7: İlk adımda 5. Nokta olarak isimlendirilen (-0.0123, -0.0012) noktası merkezi kompozit tasarım metoduna göre merkez alınarak tüm adımlar tekrarlanmıştır. Bu adımlar toplam 6 kez deney tasarımı yapacak şekilde devam etmiştir.

6. deney tasarımı için adımlar aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Pozitif ve negatif noktalar, 5. Deney tasarımında seçilmiş olan merkez nokta baz alınarak bulunmuştur.

Adım 2-3: Deney noktaları ve bu noktaların yanıtları Çizelge Ek1-3'te gösterilmiştir.

Çizelge Ek1-3 : Ts=3 için 6. deney tasarımı noktalarının yanıtları

	Kp	Ki	Tepki Süresi (dk)	Yüzde Sapma (%)
R1	-0.0125	-0.00175	100.14	-5.53908
R2	-0.0225	-0.00175	84	-8.69653
R3	-0.0125	-0.00225	85.8	-5.89634
R4	-0.0225	-0.00225	76.86	-7.88479
Eksen 1	-0.0175	-0.00235	82.62	-6.20432
Eksen 2	-0.0175	-0.00165	87.48	-5.92293
Eksen 3	-0.01043	-0.002	95.58	-6.00182
Eksen 4	-0.02457	-0.002	80.7	-9.70082
Center	-0.0175	-0.002	83.64	-6.09669

Adım 4: Deney noktalarının tepkilerini kullanarak yüzey denklemi Minitab 19 programı ile oluşturulmuştur. Tepki Süresi (Çıktı1) için sırasıyla Varyans Analizi Tablosu ve Model Özeti Tablosu Şekil Ek1-10 ve Ek1-11'de gösterildiği gibidir.

Şekil Ek1-10'da p değerleri incelendiğinde Kp ve Ki parametrelerinin tepki süresi sonucunu etkileme gücünün yüksek olduğu görülmektedir. Diğer parametrelerin ise tepki süresi sonucunu daha az etkilediği sonucuna ulaşılabılır. Şekil Ek1-11 incelendiğinde ise model, sonuçları %82 oranında doğru tahmin etmektedir.

Tepki süresi için elde edilen yüzey tepki denklemi Eşitlik Ek1.3'te gösterilmiştir.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	396.957	79.391	8.29	0.056
Linear	2	366.409	183.205	19.13	0.020
Kp	1	265.922	265.922	27.77	0.013
Ki	1	100.487	100.487	10.49	0.048
Square	2	17.588	8.794	0.92	0.489
Kp*Kp	1	15.073	15.073	1.57	0.298
Ki*Ki	1	1.556	1.556	0.16	0.714
2-Way Interaction	1	12.960	12.960	1.35	0.329
Kp*Ki	1	12.960	12.960	1.35	0.329
Error	3	28.729	9.576		
Total	8	425.686			

Şekil Ek1-10: Ts=3 için 6. deney tasarımı noktaları ile tepki süresi için oluşturulan modelin sonuçları

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.09456	93.25%	82.00%	*

Şekil Ek1-11: Ts=3 için 6. deney tasarımı noktaları ile tepki süresi için oluşturulan modelin R² değeri sonuçları

$$\text{Tepki Süresi} = 257 + 7220 * K_p + 86177 * K_i + 91050 * K_p * K_p + 11700000 * K_i * K_i + 1440000 * K_p * K_i \quad (\text{Ek1.3})$$

Yüzde sapma (Çıktı2) için sonuçlar Şekil Ek1-12 ve Ek1-13'te gösterildiği gibidir.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	17.6932	3.5386	110.46	0.001
Linear	2	13.4608	6.7304	210.10	0.001
Kp	1	13.4605	13.4605	420.19	0.000
Ki	1	0.0004	0.0004	0.01	0.918
Square	2	3.8907	1.9454	60.73	0.004
Kp*Kp	1	2.2991	2.2991	71.77	0.003
Ki*Ki	1	0.0001	0.0001	0.00	0.966
2-Way Interaction	1	0.3416	0.3416	10.66	0.047
Kp*Ki	1	0.3416	0.3416	10.66	0.047
Error	3	0.0961	0.0320		
Total	8	17.7893			

Şekil Ek1-12: Ts=3 için 6. deney tasarımı noktaları ile yüzde sapma için oluşturulan modelin sonuçları

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.178982	99.46%	98.56%	*

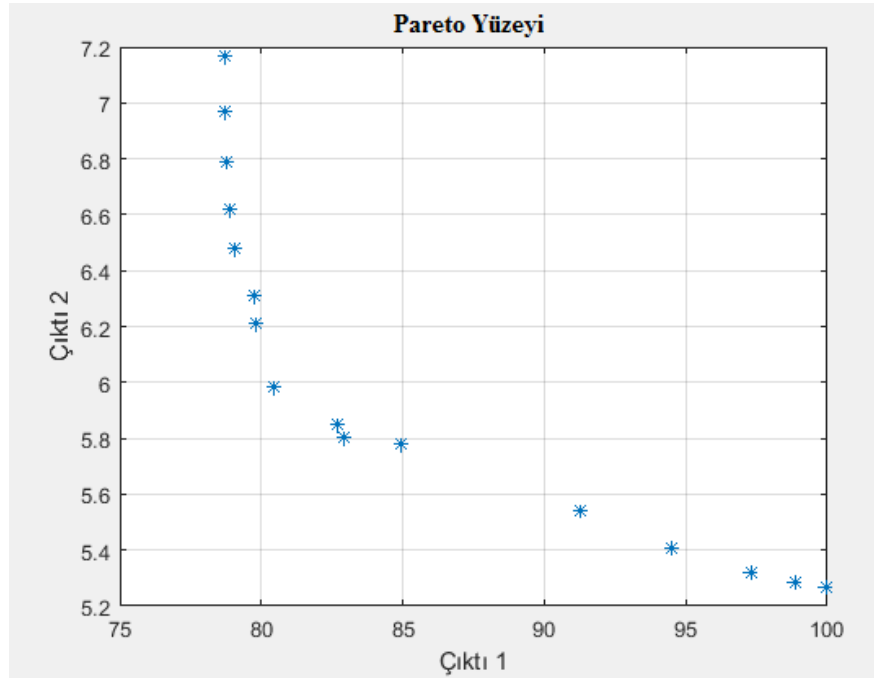
Şekil Ek1-13: Ts=3 için 6. deney tasarımı noktaları ile yüzde sapma için oluşturulan modelin R² değeri sonuçları

Şekil Ek1-12'de p değerleri incelendiğinde K_i ve K_i * K_i parametreleri harici tüm parametreler yüzde sapma sonucunu etkileme gücünün yüksek olduğu görülmektedir. Şekil Ek1-13 incelendiğinde ise model, sonuçları %98.56 oranında doğru tahmin etmektedir.

Yüzde sapma için elde edilen yüzey tepki denklemi Eşitlik Ek1.4'de gösterilmiştir.

$$\text{Yüzde Sapma} = -4.01 - 518 * K_p + 4374 * K_i - 35560 * K_p * K_p + 77671 * K_i * K_i + 233801 * K_p * K_i \quad (\text{Ek1.4})$$

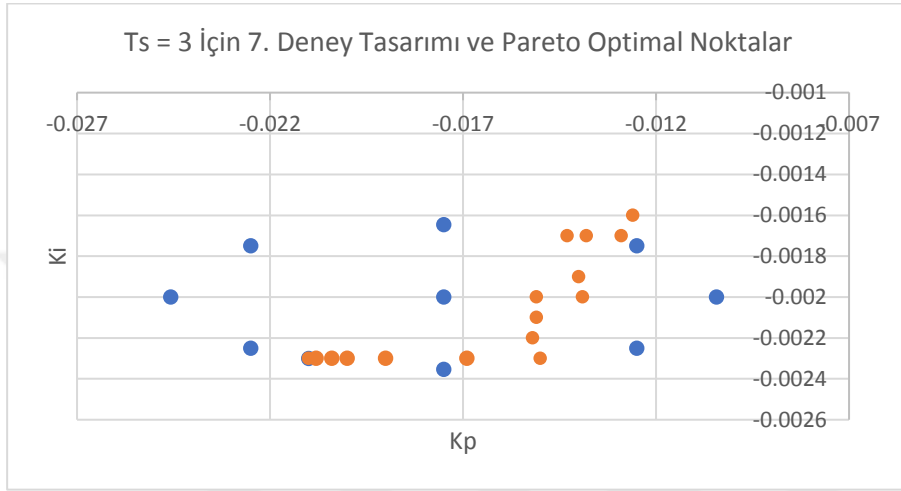
Adım 5: Minitab programından her bir çıktı değeri için modeller elde edildikten sonra MATLAB programında regresyon denklemleri kullanılarak 16 adet pareto optimal K_p, K_i parametre çifti elde edilmiştir. Bu pareto optimal noktaların Matlab programından alınmış grafiği Şekil Ek1-14'te gösterildiği gibidir.



Şekil Ek1-14: Ts=3 için 6. deney tasarımı için pareto optimal noktalar

Pareto optimal noktaların simülasyon kullanılarak gerçek çıktı değerleri bulunmuştur. Bu değerler Çizelge Ek1-3'te gösterilmektedir.

Adım 6: Çıktı sonuçları ve Şekil Ek1-15 incelendiğinde pareto optimal noktaların deney tasarımı noktaları arasında dağıldığı görüldüğü için daha fazla deney tasarımı yapılmamış ve $T_s = 3$ için en iyi K_p - K_i parametre çifti $(-0.0169, -0.0023)$ olarak seçilmiştir.



Şekil Ek1-15: $T_s=3$ için 6. deney tasarımı ve pareto optimal noktalar

Çizelge Ek1-4: Ts=3 için 6. deney tasarımı için elde edilen noktaların çıktı sonuçları

Noktalar	Kp	Ki	Tepki Süresi (dk) (Simülasyon)	Yüzde Sapma (%) (Simülasyon)	Tepki Süresi (dk) (Regresyon)	Yüzde Sapma (%) (Regresyon)
1	-0.021	-0.0023	78.801	-7.257	78.77	-7.171
2	-0.0126	-0.0016	94.599	-5.421	101.58	-5.215
3	-0.0204	-0.0023	74.7	-6.908	78.85	-6.92
4	-0.02	-0.0023	74.7	-6.842	78.95	-6.768
5	-0.0138	-0.0017	90	-5.336	95.798	-5.36
6	-0.0152	-0.0022	84.3	-5.796	83.48	-5.78
7	-0.015	-0.0023	84.699	-5.92	82.55	-5.82
8	-0.0129	-0.0017	89.499	-5.30	97.905	-5.329
9	-0.0143	-0.0017	92.001	-7.257	94.69	-5.40
10	-0.014	-0.0019	89.4	-5.546	90.57	-5.539
11	-0.0151	-0.0021	82.899	-5.345	85.026	-5.725
12	-0.0139	-0.002	87.6	-5.64	88.712	-5.618
13	-0.019	-0.0023	74.4	-6.495	79.303	-6.437
14	-0.0151	-0.002	84.201	-5.787	86.67	-5.67
15	-0.0169	-0.0023	77.301	-6.124	80.645	-5.974
16	-0.0208	-0.0023	77.499	-7.055	78.791	-7.085



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Melike Yıldız Aktaş
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Tarihi ve Yeri : 25.08.1995 / Ağrı
E-posta : melikeyildiz95 @ gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2020, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2020	TOBB ETÜ	Tam Burslu Yüksek Lisans Öğrencisi
2018	Ersan Galvaniz Aş.	Üretim Planlama Stajyer Mühendisi
2017	Merih Asansör Aş.	İnsan Kaynakları Stajyer Mühendis
2016	Merih Asansör Aş.	Üretim Planlama Stajyer Mühendisi

YABANCI DİL:

İngilizce

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Yildiz, M., Fescioglu-Unver, N., “Self-controlling electric vehicle charging stations using feedback control”, 30th European Conference on Operational Research, 23-26 Haziran 2019, Dublin

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER: