

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KISA ZAMANLI TRAFİK TAHMİNİ İLE DEVRE SÜRESİ  
OPTİMİZASYONU VE GECİKME ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**RAVZA NUR YİĞİT**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2019**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KISA ZAMANLI TRAFİK TAHMİNİ İLE DEVRE SÜRESİ  
OPTİMİZASYONU VE GECİKME ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**RAVZA NUR YİĞİT**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Ravza Nur YİĞİT** tarafından hazırlanan “**Kısa Zamanlı Trafik Tahmini İle Devre Süresi Optimizasyonu ve Gecikme Analizi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 20.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN

Üye  
Prof. Dr. Halim CEYLAN

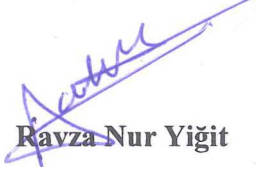
Üye  
Prof. Dr. Serhan TANYEL

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.06/2019 tarih ve 26.12 ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

  
**Ravza Nur Yiğit**

## ÖZET

**KISA ZAMANLI TRAFİK TAHMİNİ İLE DEVRE SÜRESİ  
OPTİMİZASYONU VE GECİKME ANALİZİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
RAVZA NUR YİĞİT  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SONER HALDENBİLEN)**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2019**

Çalışmada parametrik ve parametrik olmayan yöntemlerin kısa zamanlı trafik tahmini ile kavşak devre süresine ve performansına olan etkisi araştırılmıştır. Yöntemler örnek olarak Denizli ilinin Mimar Sinan kavşağına uygulanmıştır. Kavşağın verilerine göre gecikme sürelerinin iyileştirmesi ve kavşak bekleme sürelerinin azaltılarak, kavşak performans iyileştirmesi amaçlanmıştır. Veri setleri 2018 yılı ağustos ayının hafta içi 3 gün 08:00-20:00 arası sayımlarından oluşturulmuştur. Kavşağın yaklaşım kollarında bulunan sensörler yardımıyla elde edilen veriler 5, 10 ve 15'er dakikalık veri setleri olarak düzenlenmiştir. Oto-regresif entegre hareketli ortalama (Auto-Regressive Integrated Moving Average-ARIMA) ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemleri ile kısa zamanlı trafik tahmini yapılmıştır. Tahmin sonuçlarının ortalama mutlak yüzde hata (Mean Absolute Percentage Error-MAPE) ve hata kareler ortalamasının karekökü (Root Mean Square Error-RMSE) performans kriterleri karşılaştırılarak en iyi tahmin yöntemi analiz edilmiştir. Tahmin sonuçları saatlik trafik hacmine dönüştürülmüş ve Webster yöntemi kullanılarak kavşak devre süresi optimizasyonu yapılmıştır. Optimum devre süresi ve yeşil süreleri hesaplandıktan sonra Webster gecikme metodu ile kavşak yaklaşım kollarının ve kavşak genelinin gecikme değerleri hem ARIMA yönteminden elde edilen hem de YSA yönteminden elde edilen tahmin sonuçlarına göre karşılaştırılması sunulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELER: Trafik hacim tahmini, ARIMA, YSA, Webster**

## **ABSTRACT**

### **OPTIMIZATION OF CYCLE LENGTH WITH SHORT TIME TRAFFIC PREDICTION AND DELAY ANALYSIS**

**MSC THESIS**

**RAVZA NUR YİĞİT**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**CIVIL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROF, SONER HALDENBİLEN)**

**DENİZLİ, JUNE 2019**

In this study, the effect of parametric and non-parametric methods on short-term traffic prediction and intersection cycle length and performance was investigated. The methods were applied to the Mimar Sinan intersection of Denizli province as an example. According to the intersection data, it is aimed to improve the delay times and to improve the intersection performance by reducing the waiting times of the intersection. The data sets were composed of 3 days weekdays between 08: 00-20: 00 of August 2018. The data obtained with the help of sensors located in the approaches of the intersection are arranged as data sets of 5, 10 and 15 minutes each. Auto-regressive integrated moving average (ARIMA) and artificial neural network (ANN) methods are used to estimate short-term traffic. The best estimation method was analyzed by comparing the mean absolute percent error (MAPE) and the square root mean square error (RMSE) of the estimation results. Estimation results were converted to hourly traffic volume and intersection cycle length optimization was performed using Webster method. After calculating the optimum cycle time and green times, the delay values of the intersection directions and the intersection overall with the Webster delay method are presented according to the estimation results obtained from both ARIMA and ANN methods.

**KEYWORDS:**Traffic volume prediction, ARIMA, ANN, Webster

# İÇİNDEKİLER

Sayfa 1

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
TABLO LİSTESİ .....	viii
SEMBOL LİSTESİ .....	ix
ÖNSÖZ.....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Giriş .....	1
1.2 Problem Tanımı .....	2
1.3 Amaç .....	2
1.4 Kapsam .....	3
<b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>5</b>
2.1 Giriş .....	5
2.2 Literatür Taraması .....	5
<b>3. TAHMİNLEME YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>11</b>
3.1 Giriş .....	11
3.2 ARIMA Modeli (Box-Jenkins) .....	11
3.2.1 Oto-Regresif Model (AR) .....	11
3.2.2 Hareketli Ortalamalar (MA) .....	12
3.2.3 Oto-Regresif Hareketli Ortalamalar Modeli (ARMA) .....	13
3.2.4 Oto-Regresif Entegre Hareketli Ortalamalar Yöntemi (ARIMA) .....	13
3.3 Yapay Sinir Ağları.....	18
3.3.1 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı .....	20
3.3.1.1 Biyolojik Sinir Hücrelerinin Yapısı .....	20
3.3.1.2 Yapay Sinir Hücrelerinin Yapısı .....	21
3.3.2 Yapay Sinir Ağı Modeli.....	23
3.4 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	25
3.4.1 İleri Beslemeli Ağlar .....	25
3.4.2 Geri Beslemeli Sinir Ağı Yapısı .....	26
3.4.3 Danışmanlı Öğrenme .....	27
3.4.4 Danışmansız Öğrenme .....	27
3.4.5 Destekleyici Öğrenme.....	28
3.4.6 Tek Katmanlı Ağlar .....	28
3.4.7 Çok Katmanlı Ağ Modeli .....	29
3.5 Yapay Sinir Ağlarının Eğitimi ve Testi.....	30
<b>4. SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME VE KAPASİTE HESAPLARI</b>	<b>31</b>
4.1 Giriş .....	31
4.2 Webster (İngiliz Yöntemi).....	31
4.2.1 Doygun Akım .....	31
4.2.2 Taşıt Kompozisyonu .....	33
4.2.3 Hacim/Kapasite Oranı.....	33

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa 2**

4.2.4	Optimum Devre Süresi .....	34
4.2.5	Gecikme Hesabı .....	35
<b>5.</b>	<b>ARAŞTIRMA VE BULGULAR .....</b>	<b>36</b>
5.1	Giriş .....	36
5.2	Trafik Etüdü ve Ağ Tasarımı .....	37
5.3	Doygun Akım Hesabı .....	43
5.4	Mevcut Durum Analizi .....	44
5.5	Kısa Zamanlı Trafik Tahminleri .....	59
5.5.1	ARIMA Metodu .....	59
5.5.2	YSA Metodu .....	69
5.6	Tahmin sonuçları .....	78
5.7	Kavşak Gecikme İyileşmesi .....	80
5.8	Sonuçlar .....	87
<b>6.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>94</b>
6.1	Sonuçlar .....	94
6.2	Öneriler .....	97
<b>7.</b>	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>98</b>
<b>8.</b>	<b>EKLER .....</b>	<b>102</b>
EK A	Gerçek Zamanlı Saatlik Trafik Hacimleri .....	102
EK B	ARIMA Modeli İle Elde Edilmiş Tahmin Sonuçları .....	108
EK C	YSA Modeli İle Elde Edilmiş Tahmin Sonuçları .....	113
EK D	ARIMA ve YSA Modeline Göre Yapılmış Devre Süresi Optimizasyon Sonuçları .....	118
<b>9.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>123</b>



# ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa 1

Şekil 3.1: Biyolojik sinir hücresi.....	20
Şekil 3.2: YSA örneği .....	21
Şekil 3.3: Örnek toplama fonksiyonları .....	22
Şekil 3.4: Aktivasyon fonksiyonu .....	23
Şekil 3.5: Yapay sinir ağının katmanları.....	24
Şekil 3.6: İleri beslemeli ağ yapısı .....	25
Şekil 3.7: İleri beslemeli örnek sinir ağı yapısı.....	26
Şekil 3.8: Geri beslemeli örnek sinir ağı (Saygılı, 2008).....	27
Şekil 3.9: Tek katmanlı ağ modeli .....	28
Şekil 3.10: Çok katmanlı ağ yapısı .....	29
Şekil 4.11: Kavşak yaklaşım kolundaki taşıtların yeşil ışık boyunca hareketi .....	32
Şekil 5.12: Kısa zamanlı trafik tahmin döngüsü .....	37
Şekil 5.13: Mimar Sinan Kavşağı uydu görünümü.....	39
Şekil 5.14: Mimar Sinan Kavşağı kroki planı.....	39
Şekil 5.15: Mimar Sinan Kavşağı sinyal grupları ve faz planı .....	39
Şekil 5.16: Mimar Sinan kavşağı zirve saat sinyal planı .....	40
Şekil 5.17: Mimar Sinan kavşağı zirve dışı saat sinyal planı.....	40
Şekil 5.18: 1. gün trafik hacim değerleri (5 dk aralık ile).....	41
Şekil 5.19: 2. gün trafik hacim değerleri (5 dk aralık ile).....	42
Şekil 5.20: 3. gün trafik hacim değerleri (5 dk aralık ile).....	43
Şekil 5.21: Mimar Sinan Kavşağı doymun akım değerleri .....	44
Şekil 5.22: Mimar Sinan kavşağı 1. gün saatlik trafik hacimleri (5 dk.) (tş/saat)..	45
Şekil 5.23: Mimar Sinan kavşağı 2. gün saatlik trafik hacimleri (5 dk.) (tş/saat)..	46
Şekil 5.24: Mimar Sinan kavşağı 3. gün saatlik trafik hacimleri (5 dk.) (tş/saat)..	47
Şekil 5.25: Mimar Sinan kavşağı 1. gün saatlik trafik hacimleri (10 dk.) (tş/saat)	48
Şekil 5.26: Mimar Sinan kavşağı 2. gün saatlik trafik hacimleri (10 dk.) (tş/saat)	49
Şekil 5.27: Mimar Sinan kavşağı 3. gün saatlik trafik hacimleri (10 dk.) (tş/saat)	50
Şekil 5.28: Mimar Sinan kavşağı 1. gün saatlik trafik hacimleri (15 dk.) (tş/saat)	51
Şekil 5.29: Mimar Sinan kavşağı 2. gün saatlik trafik hacimleri (15 dk.) (tş/saat)	52
Şekil 5.30: Mimar Sinan kavşağı 3. gün saatlik trafik hacimleri (15 dk.) (tş/saat)	53
Şekil 5.31: 1. gün saatlik trafik hacimlerine göre mevcut gecikme analiz sonuçları (5 dk.) .....	54
Şekil 5.32: 1. gün saatlik trafik hacimlerine göre mevcut gecikme analiz sonuçları (10 dk.) .....	54
Şekil 5.33: 1. gün saatlik trafik hacimlerine göre mevcut gecikme analiz sonuçları (15 dk.) .....	55
Şekil 5.34: 2. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (5 dk.)	55
Şekil 5.35: 2. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (10 dk.) .....	56
Şekil 5.36: 2. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (15 dk.).....	56
Şekil 5.37: 3. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (5 dk.) .....	57

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa 2

Şekil 5.38: 3. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (10 dk.)	57
Şekil 5.39: 3. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (15 dk.)	58
Şekil 5.40: Bayramyeri geliş kolunun otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerleri	61
Şekil 5.41: Candoğan geliş kolunun otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerleri	61
Şekil 5.42: Çaybaşı geliş kolunun otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerleri	62
Şekil 5.43: Lozan geliş kolunun otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerleri	62
Şekil 5.44: 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini	63
Şekil 5.45: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini	64
Şekil 5.46: 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini	64
Şekil 5.47: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini	64
Şekil 5.48: 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini	65
Şekil 5.49: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini	65
Şekil 5.50: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini	65
Şekil 5.51: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini	66
Şekil 5.52: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini	66
Şekil 5.53: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini	66
Şekil 5.54: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini	67
Şekil 5.55: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini	67
Şekil 5.56: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini	67
Şekil 5.57: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini	68
Şekil 5.58: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini	68
Şekil 5.59: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini	68
Şekil 5.60: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini	69
Şekil 5.61: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini	69
Şekil 5.62: Modelde kullanılan yapay sinir ağı algoritması	70
Şekil 5.63: Bayramyeri ve Candoğan geliş kollarının 5 dakikalık verilerinin eğitim, doğrulama, test ve bütün aşamaların ortalama uygunlukları	71
Şekil 5.64: Çaybaşı ve Lozan geliş kollarının 5 dakikalık verilerinin eğitim, doğrulama, test ve bütün aşamalarının ortalama uygunlukları	71
Şekil 5.65: 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini	72
Şekil 5.66: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini	72
Şekil 5.67: 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini	72

## ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa 2**

Şekil 5.68: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini .....	73
Şekil 5.69: 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 15 Dk. YSA tahmini.....	73
Şekil 5.70: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 15 dakikalık YSA tahmini .....	73
Şekil 5.71: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini	74
Şekil 5.72: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini .....	74
Şekil 5.73: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 10 Dk. YSA tahmini.....	74
Şekil 5.74: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini .....	75
Şekil 5.75: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 15 Dk. YSA tahmini.....	75
Şekil 5.76: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 15 dakikalık YSA tahmini .....	75
Şekil 5.77: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 5 Dk. YSA tahmini.....	76
Şekil 5.78: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini .....	76
Şekil 5.79: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 10 Dk.YSA tahmini.....	76
Şekil 5.80: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini .....	77
Şekil 5.81: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 15 Dk.YSA tahmini.....	77
Şekil 5.82: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 15 dakikalık YSA tahmini .....	77
Şekil 5.83: 1. güne ait 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt) .....	81
Şekil 5.84: 1. güne ait 10 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt) .....	82
Şekil 5.85: 1. güne ait 15 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt) .....	83
Şekil 5.86: 2. güne ait 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt) .....	83
Şekil 5.87: 2. güne ait 10 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt) .....	84
Şekil 5.88: 2. güne ait 15 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt) .....	85
Şekil 5.89: 3. güne ait 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt) .....	85
Şekil 5.90: 3. güne ait 10 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt) .....	86
Şekil 5.91: 3. güne ait 15 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt) .....	87
Şekil 5.92: 1. gün 5 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri .....	88
Şekil 5.93: 1. gün 10 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri .....	89
Şekil 5.94: 1. gün 15 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri .....	89
Şekil 5.95: 2. gün 5 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri .....	90
Şekil 5.96: 2. gün 10 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri .....	91
Şekil 5.97: 2. gün 15 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri .....	91
Şekil 5.98: 3. gün 5 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri .....	92
Şekil 5.99: 3. gün 10 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri .....	93
Şekil 5.100: 3. gün 15 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri .....	93

# TABLO LİSTESİ

**Sayfa 1**

Tablo 4.1: Taşıt türlerine göre birim otomobil değerleri (Scraggs, 1964).....	33
Tablo 5.2: 1. gün trafik hacim değerleri.....	40
Tablo 5.3: 2. gün trafik hacim değerleri.....	41
Tablo 5.4: 3. gün trafik hacim değerleri.....	42
Tablo 5.5: Mimar Sinan Kavşağı doymun akım değerleri (otomobil/saat/şerit)....	43
Tablo 5.6: Mimar Sinan Kavşağı 1. gün saatlik trafik hacim değerleri (5 dk.) (tş/saat) .....	45
Tablo 5.7: Mimar Sinan Kavşağı 2. gün saatlik trafik hacim değerleri (5 dk.) (tş/saat) .....	46
Tablo 5.8: Mimar Sinan Kavşağı 3. gün saatlik trafik hacim değerleri (5 dk.) (tş/saat) .....	47
Tablo 5.9: Mimar Sinan kavşağı 1. gün saatlik trafik hacim değerleri (10 dk.) (tş/saat) .....	48
Tablo 5.10: Mimar Sinan kavşağı 2. gün saatlik trafik hacim değerleri (10 dk.) (tş/saat) .....	49
Tablo 5.11: Mimar Sinan Kavşağı 3. gün saatlik trafik hacim değerleri (10 dk.) (tş/saat) .....	50
Tablo 5.12: Mimar Sinan Kavşağı 1. gün saatlik trafik hacim değerleri (15 dk.) (tş/saat) .....	51
Tablo 5.13: Mimar Sinan Kavşağı 2. gün saatlik trafik hacim değerleri (15 dk.) (tş/saat) .....	52
Tablo 5.14: Mimar Sinan Kavşağı 3. gün saatlik trafik hacim değerleri (15 dk.) (tş/saat) .....	53
Tablo 5.15: Kavşak mevcut durum ortalama gecikme analiz değerleri (sn/tşt)....	58
Tablo 5.16: 1. gün için yaklaşım kollarının birim kök analiz sonuçları .....	59
Tablo 5.17: 2. gün için yaklaşım kollarının birim kök analiz sonuçları .....	60
Tablo 5.18: Kavşak yaklaşım kollarının p,d,q değerleri .....	63
Tablo 5.19: 1. gün ARIMA ve YSA modellerinin hata değerlerinin karşılaştırması.....	79
Tablo 5.20: 2. gün ARIMA ve YSA modellerinin hata değerlerinin karşılaştırması.....	79
Tablo 5.21: 3. gün ARIMA ve YSA modellerinin hata değerlerinin karşılaştırması.....	80
Tablo 6.22: 3 gün için ARIMA ve YSA modellerinin RMSE hata değerlerinin karşılaştırması.....	95
Tablo 6.23: 3 gün için ARIMA ve YSA modellerinin 5 dakikalık trafik hacimlerine göre gecikme iyileşme oranları (%) .....	95
Tablo 6.24: 3 gün için ARIMA ve YSA modellerinin 10 dakikalık trafik hacimlerine göre gecikme iyileşme oranları (%) .....	96
Tablo 6.25: 3 gün için ARIMA ve YSA modellerinin 15 dakikalık trafik hacimlerine göre gecikme iyileşme oranları (%) .....	96

## SEMBOL LİSTESİ

<b>t</b>	:	Zaman
<b><math>\delta</math></b>	:	Sabit bir değer
<b>p</b>	:	Gecikme değeri
<b>y</b>	:	Gözlem değerleri
<b><math>\phi</math></b>	:	Oto-regresif katsayılar
<b><math>\varepsilon</math></b>	:	Hata terimi
<b><math>\mu</math></b>	:	Sabit bir değer
<b><math>\theta</math></b>	:	Model parametresi
<b>q</b>	:	Gecikme değeri
<b>p</b>	:	Oto-regresif terimlerin sayısı
<b>d</b>	:	Durağanlık için ihtiyaç duyulan mevsimsel olmayan farkların sayısı
<b>q</b>	:	Öngörü denklemindeki gecikmeli tahmin hatalarının sayısı
<b>t</b>	:	Zaman
<b>y</b>	:	Ölçüleri
<b><math>\mu</math></b>	:	Sabit bir değer
<b><math>\phi</math></b>	:	Oto-regresif katsayıları
<b>e</b>	:	Hata terimi
<b><math>\hat{y}_t</math></b>	:	İki ölçüm arasındaki farkı
<b><math>r_t</math></b>	:	Modelin rastsal yürüyüş
<b><math>\zeta_t</math></b>	:	Deterministik trendi
<b><math>\varepsilon_t</math></b>	:	Durağan hataları
<b><math>u_t</math></b>	:	Rastsal terimin bir gecikmeli değeri ile kendisi arasındaki hata
<b>L</b>	:	Olabilirlik fonksiyonunu
<b>K</b>	:	Ölçümlerin varyansı
<b>S<sub>1</sub></b>	:	Doygun akım oranı (otomobil/saat/şerit)
<b>d<sub>n</sub></b>	:	Banket kenarı şeritlerde 1, banket kenarı olmayan şeritlerde 0 değeri
<b>d<sub>g</sub></b>	:	Yokuş yukarı çıkış şeritlerinde 1, yokuş aşağı şeritlerde 0 değeri
<b>G</b>	:	Yol dikey eğimi
<b>W</b>	:	Şerit genişlikleri
<b>F</b>	:	Şeritte dönüş yapan taşıtların oranları
<b>R</b>	:	Şeritlerin dönüş yarı çapları

## ÖNSÖZ

Bu çalışmayı, titizlikle yöneten, bilgi ve tecrübesinden faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN'e

Tez çalışması süresince bilgi ve fikirleri ile destekleyen çok kıymetli hocam Prof. Dr. Halim CEYLAN'a

Tüm yaşamım boyunca maddi ve manevi yönden desteklerini hiç esirgemeyen ve sürekli beni teşvik eden değerli eşim Halil İbrahim YİĞİT'e,

Ömrüm boyunca dualarını esirgemeyen çok değerli, annem İlknur EMİNOĞLU'na, babam Erkan EMİNOĞLU'na ve Gülnur TAKTAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Giriş

Günümüzde artan nüfus ve şehirleşmeyle birlikte, araç sahiplik sayısının artışı trafikte problemlere neden olmaktadır. Trafikte oluşan sıkışıklık, kaza, kuyruklanma vb. sorunlar sonucu oluşan gecikmeler yaşam standartlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Dünya da ve ülkemizde ki büyük kentler de trafik sıkışıklığı daha yüksek seviyelerde yaşanmaktadır. Kaynakların sınırlı olması ve talebin sürekli olarak artması trafiğin kesişim noktaları olan kavşaklarda bekleme sürelerini de arttırmaktadır. Ortaya çıkan problemlerin çözümlenebilmesi amacıyla yapılan üstyapı ve altyapı çalışmaları ise trafiği hafifletmek adına yetersiz kalmaktadır. Bekleme sürelerinin artması psikolojik ve ekonomik olarak insanları etkilediği gibi fiziksel olarak bütün dünyayı etkilemektedir. Hava kirliliği ve küresel ısınma hem dünya sağlığı için hem de halk sağlığı için ciddi tehditler oluşturmaktadır (Kunzli ve diğ., 2000).

Trafik sıkışıklığını azaltmak, güvenliğini arttırmak, gecikmeleri minimize etmek, yol kapasitelerini verimli kullanmak, taşıtları yönlendirmek, trafik içindeki taşıt hareket kabiliyetini arttırmak, seyahat süresini asgari seviyeye indirmek için teknolojik gelişmelerden faydalanılmaya başlanmıştır. Güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir ulaştırma sistemi için günümüzdeki bilimsel gelişmeler sayesinde üretilen teknolojilerin farklı alanlarda kullanımı, genel olarak Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) olarak tanımlanmaktadır (Tufan, 2014). AUS tanımlamada geniş bir kapsamı ifade etmektedir. Dolayısıyla AUS içinde Trafik Yönetim Sistemi (TYS) ve Yolcu Bilgilendirme Sistemi (YBS) gibi akıllı uygulamalarda yer almaktadır.

AUS için önemli bileşenlerden biri kısa zamanlı trafik tahminidir. Kısa zamanlı trafik tahmini, beklenen trafik koşullarının, geçmiş ve mevcut verilerle, yakın gelecek tahminleme süreci olarak tanımlanabilir (Vlahogianni ve diğ., 2014). Son on yılda, öncelikle kısa vadeli ufuklardaki (genellikle 5 ila 15 dakika) trafik

koşullarını tahmin etmek için geliştirilen trafik tahmin yöntemlerinde bir artış olmuştur. Öngörülen trafik koşulları bilgilerinin yayılması, temel olarak günlük hayatta ki seyahat süresini ve seçilen rotadaki kararlarını etkileyecektir. Talebin daha iyi dağıtılması ve mevcut kapasitesinin maksimum kullanılması için öngörülen bilgilerin kesinliği ve güvenilirliği çok önemlidir. Tahminlemenin AUS'ne entegre edilmesi, beklenen veya beklenmeyen sıkışıklıkların trafik kontrol ve yönetimi ile kapasitelerin en verimli şekilde kullanarak en hızlı şekilde öngörmeyi sağlayacaktır.

## **1.2 Problem Tanımı**

Kısa zamanlı trafik tahmini, eldeki verilere dayanarak gelecekteki trafik akımı ve seyahat süresi gibi değişkenlerin değerini tahmin etmeye odaklanır. Kısa zamanlı trafik tahmini, kısa vadeli gelecekte öngörülen trafik koşullarını geçmiş ve güncel trafik bilgileri de göz önüne alarak tahmin etme süreci olarak tanımlanabilir (Vlahogianni ve diğ., 2004). Geçmiş zamanda elde edilen bilgilerle birlikte gerçek zamanlı veriler genellikle gelecekteki trafik değerlerinin tahmini için temel oluşturur.

Tez çalışması kapsamında Denizli'nin ana arterlerinden biri olan Saltak Caddesi üzerindeki Mimar Sinan kavşağının kapasitesinin etkin ve verimli kullanılabilmesi, bekleme sürelerinin azaltılması için kısa zamanlı trafik tahmini ile devre süresi optimizasyonu yapılmıştır. Kavşak mevcut durumda sabit devre süresiyle çalışmakta olup sistemin adaptif hale dönüştürülmesinde baz alınacak trafik tahmin yöntemleri belirlenmiştir.

## **1.3 Amaç**

Çalışmanın amacı adaptif kavşak sistemlerinin kısa zamanlı trafik tahmini ile etkin ve verimli bir şekilde yönetimini sağlamaktır. Literatüre bakıldığında kısa zamanlı trafik tahmini için yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Tahmin metodlarının doğrulukları kavşağın geometrik özelliklerine, sürücü davranışlarına vb. parametrelere göre değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple çalışma, kavşak yaklaşım kollarındaki hacimlerin parametrik ve parametrik olmayan yöntemler yardımıyla kısa zamanlı tahmin yaparak sonuçların karşılaştırılmasını ve hesaplanan tahmin



sonuçlarına göre devre süresini optimize ederek kavşak gecikme performansını iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

Bir trafik tahmin yönteminin doğruluğu, oluşturulan model sonucu elde edilen veri kümelerinin özellikleri ile gözlemlenen verilerin özellikleri arasındaki tutarlılığa bağlıdır. Trafik koşulları ise seyahat süresi ve trafik akım hacmi gibi trafik değişkenleriyle önemli bir ilişkiye sahiptir. Bu nedenle mevcut trafik ağlarının ve mevcut trafik tesislerinin optimize şekilde çalışması için trafik koşullarının bilinmesi gerekmektedir. Trafik koşullarını etkileyen başlıca 2 faktör ise, mevcut trafik ve yol tesis ve altyapısının karşılayacağı kapasitedir. Mevcut trafik, geçmiş verilere bakılarak doğruya yakın şekilde tahmin edildiği takdirde kapasiteye bağlı olarak yapılacak olan dinamik trafik kontrolü, trafik koşullarının optimizasyonu için kullanılabilir. Çalışmada kısa zamanlı trafik tahmini parametrik yöntemlerden oto-regresif entegre hareketli ortalama (ARIMA), parametrik olmayan yöntemlerden yapay sinir ağları (YSA) yöntemi kullanılarak çıkan sonuçların karşılaştırılması ve kavşak devre süresi optimizasyonu ile gecikme performans analizi yer alacaktır.

Çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünü izleyen ikinci bölümde önceki çalışmalar, üçüncü bölümde tahmin yöntemleri genel olarak anlatılmış, tez çalışmasında kullanılan ARIMA ve YSA yöntemleri ise detaylı olarak açıklanmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise sinyalize kavşaklarda gecikme hesapları anlatılmış, dünyada yaygın olarak kullanılan Webster gecikme modeli açıklanmıştır. Çalışmanın beşinci bölümünde araştırma ve bulgular açıklanmış, bu bölümde modelleme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmanın altıncı bölümünde ise sonuçlar sunulmuştur.

#### **1.4 Kapsam**

Kısa zamanlı trafik tahmininin de birçok tahmin metodu araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Bu çalışmada parametrik yöntemlerden biri olan ARIMA metodu ile kavşağın her bir yaklaşım kolu için farklı p,d,q değerleri ile tahminler yapılmış, tahmin sonuçlarının MAPE ve RMSE değerleri incelenerek en uygun p,d,q değeri seçilmiştir. Diğer taraftan parametrik olmayan yöntemler biri olan sinir ağları metodunun eksojen girdilere sahip doğrusal olmayan oto-regresif ağ

(NARX) araç kutusu ile de kısa zamanlı trafik tahminleri yapılmıştır. Son olarak her iki yöntemle yapılan optimum tahmin sonuçları ile Webster gecikme metodu kullanılarak kavşak gecikmelerindeki iyileşmeler analiz edilmiştir. Bu sayede izole sabit devre süreli olarak çalışan ışıklı bir kavşağın tam adaptif sisteme çevrildiğinde ARIMA ve YSA yöntemleri ile yapılan tahmin sonuçlarının kavşakta meydana getirdiği iyileşmeler analiz edilmiştir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1 Giriş

Tahmin, gelecekte meydana gelebilecek olay veya durumların nicel veya nitel gözlemlere dayanarak önceden öngörülebilmesidir. Kısa zamanlı tahmin ise yakın gelecekteki olay veya durumların öngörülebilmesidir. Kısa zamanlı tahmininde yakın zaman kavramı maksimum 1 saate kadar olan ufku kapsamaktadır. Geçmiş yıllarda yapılan tahmin yöntemleri 3 ana kategoriye ayrılabilir; istatistiksel metotlar, yapay zeka tabanlı metotlar ve hibrit tahmin metotlarıdır. İstatistiksel metotlarda, tarihsel ortalama algoritmalar ve tarihsel verilere daha fazla ağırlık veren üssel düzeltme yöntemi gibi elle hesaplanabilen metotlar bulunmaktadır. İstatistiksel yöntemlerden biri olan ARIMA da yakın geçmişte gözlemlenen trafik değişkenlerini kullanarak kısa zamanlı trafik tahmini için yaygın şekilde kullanılmıştır. Yapay zekâ tabanlı yöntemlerde ise kısa zamanlı trafik tahmin araştırması bağlamında en çok ilgi çeken iki yöntem olan, YSA ve Bulanık Mantık yöntemleridir. Yapay zekâ tabanlı yöntemler sezgisel formülasyonlar üretebilen model tanıma ve kaotik sistemler prensiplerine dayanmaktadır. Her yöntemde olduğu gibi bu yöntemlerin dezavantajları göz önüne alındığında, önerilen alternatif bir yaklaşım olarak, daha etkili bir ağ oluşturmak için çeşitli yöntemler birleştirilerek oluşturulan yöntemlere hibrit veya melez yöntemi denilmektedir.

### 2.2 Literatür Taraması

İstatistiksel yöntemlerden biri olan üssel düzeltme yönteminde bir sonraki zaman aralığını tahminlemek için, geçmiş dönem verilerine eskidikçe azalan ağırlıklar verilir. Bu yöntemde karar verilmesi gereken nokta  $\alpha$  düzeltme sabitinin değerini belirlemektir. Düzeltme sabitinin ( $\alpha$ ) değeri arttıkça son verilere verilen ağırlık artar;  $\alpha$  düzeltme sabitin değeri azalırsa son verilere verilen ağırlık azalır. Çalışmada sadece üssel düzeltme yöntemi kullanılarak yapılan kısa zamanlı trafik tahmininde, diğer kullanılan geleneksel tahminleme yöntemlerine göre daha düşük

MAPE (Ortalama Mutlak Yüzde Hata) çıkartarak başarılı bir performans göstermiştir. Fakat üssel düzeltme yöntemi Bulanık mantık ile hibrit bir yöntem oluşturduğu takdirde hesaplanan MAPE değerlerinin arttığı ve ARIMA ve yapay sinir ağları ile oluşturulan diğer hibrit yöntemlerden daha başarısız bir performans sergilediği görülmüştür (Li ve diğ., 2011).

Tan ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışmada parametrik ve parametrik olmayan yöntemlerden oluşan çalışma da hareketli ortalama (MA), üssel düzeltme (ES), otoregressive MA (ARIMA) ve sinir ağı (NN) modellerine dayalı kısa zamanlı trafik akımı tahmini için veri toplama (DA) yaklaşımı önerilmiştir. Veri toplama yaklaşımı, zaman serilerinden bilgi toplar. MA, ES ve ARIMA modelleri, belirlenen zaman serisinin tahminlerini vermek için seçilmiştir. Seçilen modellerden elde edilen tahminler ise sinir ağları metodunun temellerini oluşturmaktadır. Oluşturulan bu modeller veri toplama noktalarından elde edilen gerçek zamanlı elde edilen trafik akım verilerine uygulanmıştır. ES, MA, ARIMA, NN ve DA modellerinin tahmin performansını analiz ederek DA modelinin diğer modellerden daha doğru sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir.

Kumar ve Vanajakshi (2015) tarafından yapılan çalışmada çoğu çalışma da olduğu gibi büyük bir veri tabanının aksine sınırlı girdi verilerini kullanarak trafik akışının kısa vadeli tahmini için mevsimsel ARIMA (SARIMA) modelini kullanarak bir tahmin şeması sunulmuştur. Yöntem için yalnızca 3 günlük veriden yararlanılmıştır. Yapılan tahminlerin MAPE değerleri 4-10 arasında bulunmuş ve AUS'ne uygun olduğu saptanmıştır.

Voort ve diğ. (1996) tarafından yapılan çalışmada kısa zamanlı trafik tahmini için ARIMA y1 Kohonen haritalama yöntemiyle birleştirilmiş bir yaklaşım sunulmuştur. Model de verilerin sınıflandırılması için öncelikle Kohonen haritalama yöntemi kullanılmıştır. Her sınıf ise kendisiyle ilişkilendirilmiş, özel olarak ayarlanmış bir ARIMA modeline sahiptir.

Kısa zamanlı trafik tahmini için yapay sinir ağları, güçlü bir haritalama modelidir. Smith ve diğ. (1994) yaptıkları çalışmada haritalama modellerinden biri olan geri yayımlı yapay sinir ağları yöntemini ve kümeleme modellerinden biri olan parametrik olmayan en yakın komşu (nearest neighbor) yönteminin

karşılaştırmışlardır. Model tanımada, en yakın komşu algoritması, sınıflandırma ve regresyon için kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir. En yakın komşular da temelde yeni noktaya en yakın noktalar aranır. Bilinmeyen yeni noktanın en yakın komşularının miktarı da  $k$  ile temsil edilir. Seçilen kümeleme yönteminde en yakın komşuların merkeze olan uzaklığını için Öklid uzaklık kriteri kullanılmıştır. Sahada iki farklı noktadan elde edilen veriler üzerinde bu yöntemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Virginia Trafik Yönetim Sisteminden elde edilen verilerin iki aylık bölümü sinir ağını eğitmek için ve en yakın komşu yönteminde formları belirlemek için, bir aylık bir bölümü ise test amaçlı kullanılmıştır. Belirlenen ilk ölçüm noktasından alınan verilerle yapılan analizlerde hata oranlarının %7-%9 arası değişmesi her iki yönteminde iyi bir performans sergilediğini göstermektedir. Fakat en yakın komşu yönteminin, sinir ağlarına göre daha az hata ürettiği gözlemlenmiştir. En yakın komşu yöntemi kullanıldığında verilerin %5,9'unda, %20'den fazla hata ürettiği gözlemlenmişken, bu oran sinir ağları yönteminde %11,9'dur. İkinci ölçüm noktasında ise sinir ağı yöntemi oldukça başarısız bir performans sergilemiş olmasına rağmen en yakın komşu yöntemi iyi bir performans göstermiştir. Yapılan çalışmada en yakın komşu yönteminin ilk ve ikinci ölçüm yerindeki hata değerlerinin birbirine yakın çıkması, sonuçların daha kesin ve daha uyumlu olduğunu kanıtlamıştır.

Jiang ve diğ. (2014) yapmış oldukları çalışmada geleneksel sinir ağını önemli ölçüde ilerletmek ve trafik akışını tahmin edebilmek amacı ile, trafik akışının dinamiklerini yakalamak ve örüntü tanıma için farklı bir yaklaşım olarak dalgacık sinir ağı modeli kurmuşlardır. Geliştirilen model uzun zamanlı ve kısa zamanlı tahminleme yapabilmektedir. Model de saatlik trafik hacmi, modelin doğrulanması için kullanılmış olup, yapılabilecek bazı değişikliklerle kısa zamanlı trafik tahmin uygulamalarında kullanılabileceği öngörülmüştür.

Ishak ve diğ. (2003) yapmış oldukları çalışmada dinamik sinir ağlarında kısa vadeli trafik tahmin performansını optimize etmek için farklı bir yaklaşım sunmaktadır. Dinamik sinir ağlarıyla yapılan çalışmada 5 ile 20 dakikalık ufuklarda loop detektörlerinden elde edilen verilerle kısa zamanlı trafik tahmini uygulaması yapılmıştır. Sinir ağlarının performans karşılaştırılması için üç farklı topolojisi kullanılmıştır; Jordan/Elman metodu, kısmen tekrarlayan ağlar ve zaman gecikmeli

ileri beslemeli ağlar. Tahmin performans sonuçları ise iki tür hata ile ölçülmüştür: ortalama mutlak bağıl hata ve ortalama karekök hatası. Topolojilerden elde edilen performanslar farklı tahmin ufuklarında başarılı ve tutarlı sonuçlar elde etmiş ve çoğu durumda kayda değer performans sergilemişlerdir.

Dia (2001) tarafından yapılan çalışmada nesneye dayalı sinir ağları yöntemini kullanarak 15 dakikalık hız tahmini ile yollardaki seyahat sürelerini hesaplayarak dinamik, gerçek zamanlı bir tahminleme yöntemi oluşturmaya çalışmıştır. Hız tahminlemesi üzerinden dinamik bir yöntem oluşturması sayesinde AUS de sürücülerin alternatif güzergah seçimi, trafik sıkışıklıklarının azaltılıp trafiğin homojen dağıtılması dolayısıyla trafik yükünün hafifletilmesi hedeflenmiştir. Dinamik tahminleme için uygun görülen dört sinir ağı modeli uygulanmıştır. Bunlar çok katmanlı algılayıcı ağlar, tekrarlayan ağlar, gecikmeli (time-lag) tekrarlayan ağlar ve hibrit ağlardır. Hibrit ağ, Temel Bileşen Analizi ağ modeli ve gecikmeli tekrarlayan ağ modeli birleştirilerek oluşturulmuş bir modeldir. Modeller sahadan elde edilen 5000 data setinin %60'ı ile eğitimini tamamladıktan sonra model veri setinin %10'luk kısmını oluşturan çapraz geçerlilik setiyle (cross-validation) test edilir ve tahmin hataları bulunur. Hesaplanan hatalara göre tahminleme için incelenecek olan yöntemin en az hata çıkartan gecikmeli (time-lag) tekrarlayan ağ modeli olması uygun görülmüştür.

Guo ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada zamana göre trafik durumlarında ki değişkenlik üzerine tahmin yapıldığı gibi trafikte oluşan anormal durumlar içinde araştırma yapılmıştır. Çalışmada normal ve anormal durumlar için oluşturulan Model 1, Model 2 ve Model 3 ile uyumlu tekrarlayan sinir ağları, zaman-geciktirmesi sinir ağları ve k-en yakın komşu yöntemleri kullanılarak sonuç karşılaştırılması incelenmiştir. Model 2 de, Model 1 de kullanılan değişkenlerin yanı sıra tarihi zaman serilerinden de yararlanılmıştır. Model 3'ü oluşturmak içinse Model 2'ye hata geri bildirim mekanizması eklenmiştir. Yöntemlerin performansları karşılaştırılırken ise ortalama yüzdellik hata (MPE), ortalama mutlak yüzdellik hata (MAPE) ve karesel ortalama hata (RMSE) değerleri göz önüne alınmıştır. Ayrıca çalışmada kalibre edilen modelin örneklem içi doğruluğu ve örneklem dışı bir doğruluğun tahmin kesinliği ölçülmüştür. Çalışmada iki durum için iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryolar için kullanılacak olan veriler Londra'nın merkezinde iki

farklı akstan alınmıştır. İlk senaryoda normal trafik koşullarında üç aylık (haziran, temmuz, ağustos) bir veri seti eğitim seti ve test seti olarak ikiye ayrılacak şekilde kullanılmıştır. İkinci senaryoda anormal trafik koşullarında ise modelin eğitimi için veriler mayıs ayından alınmıştır.

- Senaryo 1

Normal koşullar altında, geçmiş zaman verilerinin kullanılması Model 2'nin Model 1'e göre daha başarılı olmasını sağlamıştır. Fakat geri bildirim mekanizması Model 3'ün performansında Tekrarlayan Sinir Ağlarında ve Zaman-Geciktirmesi Sinir Ağlarında gelişme göstermemiştir.

- Senaryo 2

Bu senaryoda üç model de beklenmeyen bir olay üzerinde test edilmiştir. Sonuçlara göre Model 2, Model 1'e göre daha kötü bir performans göstermiştir. Çünkü anormal koşullarda geçmiş zaman verilerine ağırlık vermek tahminleme doğruluğunu negatif yönde etkilemektedir. Model 3 ise eklenen hata geri bildirim mekanizması ile Model 1 ve 2'ye göre daha başarılıdır. En yakın komşu yöntemi diğer sinir ağları yöntemlerine göre daha doğru sonuçlar vermiştir.

Xie ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada Gauss süreci (GP) yönteminin kısa zamanlı trafik tahmini üzerine bir araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan Gauss Süreci, parametrik bir yöntem olan ARIMA ve parametrik olmayan destek vektör makinesi (SVM) gibi farklı metotlarla karşılaştırılarak performans analizi gözlemlenmiştir. Tahminlemede de 2 farklı tahmin yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır: Bir adım sonrasını tahmin edebilme ve iki adım sonrasını tahmin edebilme. 3 model için de 4 loop detektörü kullanılarak sahadan elde edilen 15 dakikalık araç sayımı şeklindeki 28 günlük datanın ilk 21 günü eğitim ve doğrulama, geri kalan 7 günlük data ise tahminleme amacıyla kullanılmıştır. 4 farklı loop detektöründen elde edilen 4 data seti ayrı ayrı yöntemlerle denenmiş ve çıkan sonuçlar ortalama mutlak yüzdeler hata (MAPE) ve ortalama karesel hata (RMSE) değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplamaların sonucunda GP ve SVM yöntemlerinin yüzdeler ve karesel hataların her iki tahminlemede de ARIMA ya göre daha küçük çıkmış, sonuç olarak daha başarılı olduğu görülmüştür. GP ve SVM in

performans analizleri karşılaştırıldığı zaman ise iki yöntemin hata sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. İki yöntem de formülasyon ve algoritma bakımından birbirinden farklı olsa da sonuçlar oldukça benzer çıkmıştır.

Akım, seyahat süresi, kuyruk uzunluğu, hız ve yoğunluk gibi farklı trafik değişkenleri arasında kısa zamanlı trafik akımı ve hız tahminleri, trafik tıkanıklığının azaltılması ve AUS de performans iyileştirmesi için büyük bir önem arz etmektedir. Literatür taraması sonucunda birçok araştırmacının kısa zamanlı trafik tahmini incelenmiştir. Araştırmacılar trafik tahmininin ulaşım ağlarında gecikmeleri düşürdüğünü ve ağ genelinde performans iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Gelecek bölümde ARIMA ve YSA için detaylı bilgiler verilmiştir.



## **3. TAHMİNLEME YÖNTEMLERİ**

### **3.1 Giriş**

Tahmin yöntemleri temelde 3 kategoride incelenmektedir. Bunlar istatistiksel metotlar, yapay zeka tabanlı metotlar ve hibrit tahmin metotlarıdır. İstatistiksel metotlar; üssel düzeltme, ARIMA, lineer regresyon ve kalman filtreleme vb. şekilde kendi içerisinde ayrılmaktadır. Yapay zeka tabanlı metotlar; bulanık mantık, YSA ve k-en yakın komşu (k-NN) vb. şekilde tanımlanabilir. Hibrit metotlar ise seçilen iki farklı tahmin yönteminin birleşiminden oluşmaktadır.

Önceki çalışmalarda ARIMA yönteminin, belirli koşullar altında diğer parametrik tahmin yöntemlerine göre daha doğru sonuç verdiği belirlenmiştir. Aynı şekilde parametrik olmayan yöntemlerden YSA yönteminin de kısa zamanlı tahminlerde başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sebeple kavşak performansındaki iyileştirmelerin karşılaştırılabilmesi için ARIMA yöntemi, parametrik olmayan yöntemlerden biri olan YSA yöntemiyle karşılaştırılmıştır.

### **3.2 ARIMA Modeli (Box-Jenkins)**

Box-Jenkins yaklaşımı (Box ve Jenkins, 1970) olarak da bilinen Oto-Regresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) zaman serisi modeli, zaman serisi analizinde en sık kullanılan istatistiksel modellerden biridir. ARIMA modeli, zaman serilerinin geçmiş değerlerine (oto-regresif terimler) veya geçmiş tahmin hatalarına (hareketli ortalama terimleri) gerileyen doğrusal tahmin edicilerdir.

#### **3.2.1 Oto-Regresif Model (AR)**

Bağımlı değişkenlerin kendisinden önceki değerlere bağlı olduğu ve bu değerlerin bir fonksiyonu olarak ifade edilebildiği zaman serisi modeline oto-regresif

model (AR) adı verilir. Oto-regresif süreç genel olarak aşağıdaki bağıntı ile temsil edilir (3.1);

$$y_t = \delta + \phi_1 * y_{t-1} + \phi_2 * y_{t-2} + \dots + \phi_p * y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

Burada;

$t$ : Zamanı;

$\delta$ : Sabit bir değeri;

$p$ : Gecikme değerini;

$y$ : Gözlem değerlerini;

$\phi$ : Oto-regresif katsayıları;

$\varepsilon$ : Hata terimidir.

Denklemden anlaşılacağı üzere tahmin edilmek istenen veri kendisinden önce gelen veriler ve hata terimi ile bir grup sabite bağlı olarak değişir. Bu süreç AR(p) olarak gösterilir.

### 3.2.2 Hareketli Ortalamalar (MA)

Bağımlı değişkenlerin kendisinden önceki değerlerin hatalarına bağlı olduğu ve ağırlıklı hataların bir fonksiyonu olarak ifade edilebildiği zaman serisi modeline hareketli ortalamalar modeli (MA) adı verilir. Hareketli ortalamalar modeli genel olarak aşağıdaki formül ile temsil edilir (3.2);

$$y_t = \mu + \varepsilon_t + \theta_1 * \varepsilon_{t-1} + \theta_2 * \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q * \varepsilon_{t-q} \quad (3.2)$$

Burada;

$\mu$ : Sabit bir değeri,

$\theta$ : Model parametrelerini,

$q$ : Gecikme değerini

Hareketli ortalamalar modeli MA(q) olarak gösterilir ve model mertebesi belirlenerek ilgili denklemde kaç adet değişken kullanılacağına karar verilir.

### 3.2.3 Oto-Regresif Hareketli Ortalamalar Modeli (ARMA)

Eğer bir zaman serisi hem oto-regresif hem de hareketli ortalamalar modellerinin özelliklerini taşıyorsa, bu zaman serisi için tahmin edilmek istenen değer iki modelin de özelliklerini içeren bir formülle hesaplanır. İki süreci bir araya getiren bu modele oto-regresif hareketli ortalamalar modeli (ARMA) adı verilir. Bu model ARMA(p,q) olarak gösterilir ve genel olarak aşağıda verilen formül ile ifade edilir (3.3);

$$y_t = \delta + \phi_1 * y_{t-1} + \phi_2 * y_{t-2} + \dots + \phi_p * y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 * \varepsilon_{t-1} + \theta_2 * \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q * \varepsilon_{t-q} \quad (3.3)$$

Başka bir ifadeyle zaman serisi modeli, hem AR hem de MA bileşenleri p ve q'uncu dereceden olmak üzere ARMA(p,q) olarak tanımlanabilir.

### 3.2.4 Oto-Regresif Entegre Hareketli Ortalamalar Yöntemi (ARIMA)

Bazı zaman serilerinin ortalamaları sabit değildir. Bu gibi zaman serilerine durağan olmayan zaman serileri denir. Durağan olmayan zaman serilerinde belirli bir aralıktaki ölçümlerin ortalama değerleri serinin geri kalanından farklıdır. Bu zaman serilerinde bu farklılığı ortadan kaldırmak ve seriyi durağan hale getirmek amacıyla serinin farkı alınır. Süreç durağan hale geldikten sonra ARMA modeli ile veri tahmini yapmak için uygun hale gelir. Bu model ARIMA(p,d,q) olarak gösterilir. Box-Jenkins yaklaşımında oto-regresif hareketli ortalama ARMA(p,q) sürecine entegrasyon (d) sürecinin eklenmesiyle oto-regresif entegre hareketli ortalama ARIMA(p,d,q) süreci geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Durağan ARMA sürecinin korelogram davranışlarından farklı düzeylerde entegrasyona başvurarak durağan olmayan süreçlerin durağan hale getirilmesi önerilmiştir. Gerekirse, seri geçici veya mevsimsel olarak durağan hale getirilir. Daha sonra bu bilgiyi tahminleme için temel olarak mevcut gözlemle birlikte kullanır. Rastgele yürüyüş ve rastgele trend modelleri, oto-regresif modeller ve üstel düzeltme modelleri, ARIMA modellerinin özel durumlarıdır.

ARIMA'nın genel tahmin denklemi ise aşağıdaki gibi gösterilebilir (3.4);

$$\hat{y}_t = \mu + \phi_1 * y_{t-1} + \dots + \phi_p * y_t + \theta_1 * e_{t-1} + \dots + \theta_q * e_{t-q} \quad (3.4)$$

Fark alma işlemine seri durağan hale gelene kadar devam edilir (3.5);

$$\hat{y}_t = y_t - y_{t-1} \quad (3.5)$$

ARIMA modellerinin avantajı, iyi tahmin edilmiş bir teorik altyapıya sahip olmaları ve girdi verileri durağan olduğunda uygulamalarının hesaplama açısından verimli olmasıdır. Ancak, ARIMA'nın bir dezavantajı, optimum model yapısını belirlemenin zorluğudur.

Kısa zamanlı trafik tahmini uygulamasında, ARIMA modelleri doğrusal olarak önceki trafik gözlemlerine dayanır ve geçmiş trafik modellerini yakalar. Bu nedenle gelecekteki değerleri tahmin etmek için şu anda tanımlanmış trafik verilerini kullanırlar. ARIMA modelinin genellikle sabit trafik tahmini için kullanıldığı göz önüne alındığında, bir trafik olayı veya kaza meydana geldiğinde öngörmeyi zorlaştırır. Bu nedenle, ARIMA tabanlı tahmin modellerinin doğruluğu, anormal trafik koşulları değişkenlik gösterebilir.

Zaman serileri analizinde doğru sonuçların elde edilebilmesi için incelenen serilerin durağan olması gereklidir. Bir değişkenin durağan olup olmadığını veya durağanlık derecesini belirlemede kullanılan en geçerli yöntem birim kök testidir. Birim kök testleri serilerin durağanlığını araştırmada son derece önemli bir konuma sahiptir. Zaman serileri analizinde doğru sonuçların elde edilebilmesi için incelenen serilerin durağan olması gereklidir. Birim kök testleri serilerin durağanlığını araştırmada son derece önemli bir konuma sahiptir. Uygulamada en fazla kullanılan birim kök testleri Dickey-Fuller (DF) (Dickey ve Fuller, 1979), Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) ve Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) (Kwiatkowski ve diğ., 1992) testleridir.

Dickey-Fuller testi; serinin birim kök içerdiği (durağan olmadığı) sıfır hipotezinin, birim kök içermediği (durağan olduğu) alternatif hipotezine göre değerlendirmesidir. Testin ilk çıktığı dönemden günümüze kadar çeşitli alanlarda yeterli gelmediği ve bundan dolayı eksikliklerin kapatılması için oluşturulan yardımcı yöntemler ortaya çıkmıştır. Dickey-Fuller testi genel anlamda şu şekilde ifade edilebilir (3.6);

$$y_t = \rho * y_{t-1} + u_t \quad (3.6)$$

Formül (3.6)'da verilen oto-regresif süreçte,  $u_t$  sıfır ortalama ve  $\sigma^2$  varyanslı, bağımsız normal rastsal değişkenlerin bir dizisidir. Dickey-Fuller testi için uygulanması gereken aşamalar şu şekilde gerçekleşir. (3.7), (3.8), (3.9)'da verilmiştir.

$$\Delta y_t = (\rho - 1) * y_{t-1} + u_t \quad (3.7)$$

$$\delta = (\rho - 1) \quad (3.8)$$

$$\Delta y_t = \delta * y_{t-1} + u_t \quad (3.9)$$

Bundan sonraki adımlarda (3.9) denklemindeki  $\delta$  katsayısı dikkate alınarak hipotezler kurulur. Daha önce olduğunda değişkenin durağan olmadığını iddia ettiğimize göre, bu değeri (3.8) eşitliğinde yerine yazdığımızda artık eşitliği bize serinin durağan olmadığını söyleyen  $H_0$  hipotezini kurmamıza yardımcı olacaktır. Hipotezler şu şekilde kurulur;

$$H_0 : \delta \geq 0 \quad \text{Birim kök vardır / veri durağan değildir.}$$

$$H_1 : \delta < 0 \quad \text{Birim kök yoktur / veri durağandır.}$$

Ancak Dickey-Fuller testi sadece (3.9) denklemindeki gibi test edilmez. Bazen bu denklemler bir sabit terim ve buna ek olarak zamansal bir eğilimi gösteren bir eğilim katsayısı da içerebilirler. Bu gösterimleri de sırasıyla aşağıdaki gibi yazabiliriz;

$$\Delta y_t = \beta_1 + \delta * y_{t-1} + u_t \quad (3.10)$$

$$\Delta y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta * y_{t-1} + u_t \quad (3.11)$$

Yukarıdaki iki regresyonda sabit terimi ifade ederken, (3.11) eğilim katsayısını göstermektedir. Hipotez, daha önce gösterildiği gibi, eşitliğini sınamaktan geçer. Bu hipotezi sınamak için Student-t dağılımları yeterli değildir. Dickey-Fuller testinde, t-değeri olarak bilinen istatistik, yerini  $\tau$  istatistiğine bırakır. Tau-istatistiği kritik değerleri yukarıda belirtilen üç tür Dickey-Fuller testine göre ve .01, .05 ve .10 anlamlılık seviyelerine göre ayrı ayrı belirlenmiştir.

Bir seri eğer yukarıda sayılan tüm test yöntemlerinden başarıyla geçemiyor ve hala birim kök içeriyorsa, serinin bir önceki dönemden farkını alarak hareket etmek uygulanacak ilk çözümdür, belki bu durumda seri, durağanlık gösterebilir. Birincil farklar üzerinden hareket etmek zorunda kalınır. Eğer birincil farklar halen durağan değilse ikincil veya üçüncül farklarını alarak, serinin durağanlık taşıyan bir türevi elde edilene kadar işlem sürdürülür. Bu noktada serinin kaçınıcı mertebeden entegre olduğunu gösteren  $I(d)$  gösterimi, serinin karakteristiğini anlamada oldukça bize yardımcı olacaktır. Örneğin hiç farkları alınmadan durağanlık gösteren herhangi bir  $y$  serisi  $I(0)$ , birincil farkları durağanlık gösteren serisi  $I(1)$  olarak gösterilir ve parantez içindeki değeri bize serinin kaçınıcı mertebeden bütünleşik olduğunu gösterir.

Dickey-Fuller bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerini, bağımsız değişken olarak modele dahil eden yeni bir test geliştirmiştir. Bu test Genişletilmiş Dickey-Fuller testidir. Burada Dickey-Fuller modeli, hata terimlerinin ardışık bağımlı olmasını engelleyecek kadar bağımlı değişkenin birincil farklarının bir veya birden fazla gecikmeli değerinin dahil edilmesiyle genişletilir (3.12);

$$\Delta y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta * y_{t-1} + \alpha_i + u_t \quad (3.12)$$

KPSS testinde amaç gözlenen serideki deterministik trendi arındırarak serinin durağan olmasını sağlamaktır. Bu testte kurulan birim kök hipotezi Dickey-Fuller testinde kurulan hipotezlerden farklıdır. Sıfır hipotezi serinin durağan olduğunu ve birim kök içermediğini, buna karşın alternatif hipotez ise seride birim kök olduğunu ve durağan olmadığını göstermektedir. Boş hipotezdeki durağanlık trend durağanlıktır. Çünkü seriler trendden arındırılmışlardır. KPSS testinin hipotezleri aşağıdaki gibidir;

$$H_0 : \sigma_u^2=0 \quad \text{Birim kök yoktur / veri durağandır.}$$

$$H_1 : \sigma_u^2 \neq 0 \quad \text{Birim kök vardır / veri durağan değildir.}$$

KPSS modeli şu şekilde ifade edilir;

$$y_t = \zeta t + r_t + \varepsilon_t \quad (3.13)$$

$$r_t = r_{t-1} + u_t \quad (3.14)$$

Denklemden, KPSS testi için özel varsayımların kurulduğu bir hata terimi bulunur, buna göre bu hata terimi ardışık bağımlı olmayan ve eş-varyans ilkelerine sahip eşitliktir. İşte bu hata teriminin varyansının sifıra eşit olması,  $r_t$ 'nin durağan olmasını sağlayan koşulu yerine getirmektedir.

Modeli belirleme aşamasında tahmin edilen otokorelasyon (ACF) ve kısmi otokorelasyon (PACF) fonksiyonlarına dayanarak örneklem verileri için deneme niteliğinde bir ARIMA modeli belirlenir. Seri durağansa veya durağanlaştırıldığında otokorelasyonlar incelenir. Bir MA(q) sürecine ilişkin otokorelasyonlar  $k > q$  için  $\rho_k = 0$ 'dır veya gecikme q'dan sonra anlamlı otokorelasyonlar yoktur. Kısmi otokorelasyonlar bir süre daha anlamlı olmaya devam ederler. Bir AR(p) sürecine ilişkin kısmi otokorelasyonlar  $k > p$  için  $\phi_{kk} = 0$ 'dır veya gecikme p'den sonra anlamlı kısmi otokorelasyon yoktur. Otokorelasyonlar bir süre daha anlamlı olmaya devam eder.

Bir ARIMA modelinin belirlenmesi, mertbe ve değişkenlerin belirlenmesini içermektedir. Bunların belirlenmesinde bilgi kriterlerinden faydalanılmaktadır. En çok başvurulan yöntemlerden biri Akaike bilgi kriteri (AIC) ölçütüdür. AIC şu formülle ifade edilir (3.15);

$$AIC = 2 * k - 2 * \ln L \quad (3.15)$$

Zaman serisi analizlerinde olabilirlik fonksiyonun tanımı karmaşık yapıda olduğundan AIC yöntemi model kurulurken seçilecek değişken sayısını kısıtlamayı hedefler. Bu sebeple ile farklı sayıda parametreye sahip farklı modeller karşılaştırılır. Bu sebeple ile farklı sayıda parametreye sahip farklı modeller karşılaştırılır. Karşılaştırılan birçok model arasından denklem (3.15)'te en küçük AIC değerini veren parametre seçilir (Akaike, 1974).

Yaygın olarak kullanılan bilgi kriterlerinden biri de Bayesian bilgi kriteridir (BIC). BIC ve AIC birbirine benzeyen yöntemlerdir. Bu yöntemde de parametre sayısı kısıtlanır. Böylece en çok olabilirlik fonksiyonun karmaşık bir yapıda olmasının önüne geçilmiş olunur. BIC formül (3.16) ile gösterilir;

$$BIC = 2 * \ln N * k - 2 * \ln L \quad (3.16)$$

Burada "n" gözlem sayısını ifade etmektedir.

### 3.3 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beynindeki nöron olarak isimlendirilen birçok sinir hücresinden oluşan biyolojik sinir ağlarının çalışma mekanizmasından esinlenerek geliştirilmiş, beynin temel özelliklerini modellemeye çalışarak verileri işleyecek şekilde tasarlanan sistemlerdir. Bu mekanizma birbiri ile etkileşimli sinir hücrelerinden oluşmaktadır. Hücreler arasındaki bilgi akışı bağlantı değerleri ve ilişkilerle gösterilmektedir. Sistemin öğrenme yeteneği ve zeki davranışı, bağlantı değerlerinin kullanılmasıyla sağlanır. Yapay sinir ağlarının en büyük özelliği, kendisine sunulan girdi parametreleri ile kendi kendini eğiterek genelleme yapmak, bu genellenenin ardından da sunulan girdi parametrelerine karşılık çıktı parametresi oluşturmaktır.

Yapay sinir ağları, insan beyninin öğrenme sürecine benzer bir biçimde, biyolojik nöron hücresinin yapısı ve öğrenme karakteristiklerinden esinlenerek geliştirilmiş, birlikte işleyen çok sayıda işlem elemanından oluşan bir bilgisayar işleme ve hesaplama sistemi olarak tanımlanabilir. Yapay sinir ağları, biyolojik sinir sistemini taklit etmeye çalışan, insanlardaki sinir hücrelerinin basit bir model benzetimini yapan; öğrenme, öğrendiklerini hafızasında saklama ve genelleme yapabilme gibi insani özellikleri taklit edebilen bir sistemdir. Paralel çalışma özellikleri sayesinde çok kısa zamanda sonuçlar üretebilmekte, dolayısıyla gerçek zamanlı problemlerin çözümünde oldukça faydalı sonuçlar ortaya koymaktadırlar (Haykin, 1999).

Yapay sinir ağlarıyla ilk hesaplama modelleri McCulloch ve Pitts(1943), tarafından yayınlanan makaleleriyle başlamıştır. Bu alanda yapılan ilk çalışmalar beyin hücrelerinin işlevlerinin ve birbirleri ile haberleşme şekillerinin ortaya çıkarılmasını amaçlamaktaydı. 1949 yılında psikolog Donald Hebb tarafından, Hebb öğrenme kuralı olarak adlandırılan ve günümüzde de çoğu öğrenme kuralının esasını oluşturan ağırlık değerleriyle öğrenme kuralını geliştirmiştir.1963 yılında basit modellerin ilk eksiklikleri fark edilmiş, başarılı sonuçların elde edilmesi 1970 ve 1980'leri bulmuş, termodinamikteki teorik yapıların doğrusal olmayan ağların geliştirilmesinde kullanılmasına kadar gecikmiştir. 1985 yılı ise yapay sinir ağlarının yaygın olarak tanınmaya başladığı ve yoğun araştırmaların başladığı yıldır (Gürbüz, 2008).



Yapay sinir ağları, insan beyni gibi öğrenme yolu ile yeni bilgiler üretebilme yetenekleri herhangi bir yardım almadan gerçekleştirebilir. Bu yönü ile insan doğasına oldukça benzer yapıdadır. YSA'nın genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir.

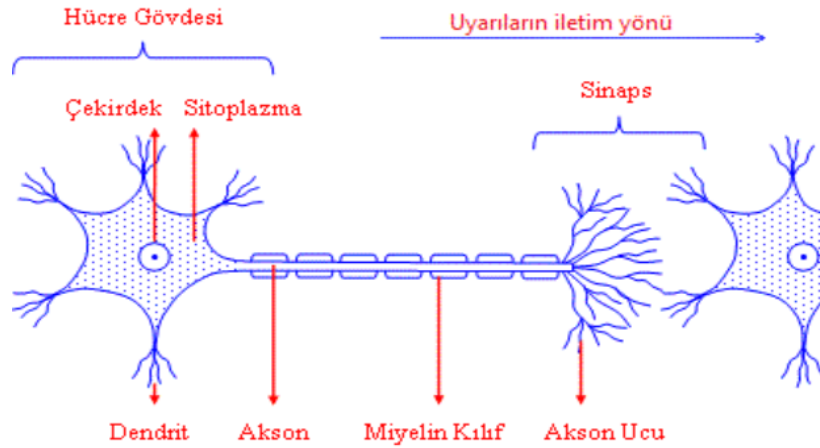
- Öğrenme işlemlerini örneklerle gerçekleştirirler. Geleneksel bilgi işleme yöntemlerinden farklıdır.
- Bilgiler ağı oluşturan nöronlar dahil ağın tamamında saklanır.
- YSA eğitildikten sonra veriler eksik veya belirsiz bilgi içerse dahi, çıktı üretebilirler. Burada performans kaybı eksik bilginin önemine bağlıdır.
- Yapay nöronların ve aktivasyon fonksiyonlarının doğrusal olmaması, YSA'nında doğrusal olmaması sonucunu doğurmaktadır. Bu durum doğrusal olmayan problemlerin çözümü için idealdir.
- Kendisine sunulan eğitim girdileri ile bağlantılardaki ağırlıklar oluşturularak ağ eğitilir ve eğitim setinde olmayan girdilere karşı bilgi sahibi olarak genelleme yapabilme kabiliyeti oluşturulur.
- YSA bir ya da birden fazla hücrenin bozulması çıktı üretmesini engellemez. Bu özellik, ağları hata toleransına sahip kılar. Eğer ağda eksik bilgi ya da nöronlardan kaynaklı bir bozulma söz konusu olursa ağ, zaman içerisinde yavaş ve göreceli bir bozulmaya uğrar. Ağ problemin ortaya çıktığı anda hemen bozulmaz.

### 3.3.1 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

#### 3.3.1.1 Biyolojik Sinir Hücrelerinin Yapısı

Bir insanın beyinde yaklaşık olarak 10 milyar sinir hücresi ve bu nöronların birbirleriyle yaptığı bağlantı sayısının ise 60 trilyon olduğu tahmin edilmektedir. Bu sinirler girdi bilgilerini duyu organlarından alırlar. Daha sonra alıcı (taşıyıcı) sinirler bu sinyalleri işleyip bir sonraki sinire aktararak sinyalin merkezi sinir sistemine kadar ulaşmasını sağlar. Merkezi sinir sistemi bu sinyalleri alıp yorumladıktan sonra tepki sinyallerini üretir. Bu sinyaller de tepkilerin oluşacağı organlara tepki sinirleri vasıtasıyla iletilir. Bu sayede duyu organlarından gelen bilgilere karşı tepki organlarına uygun işaretler sinir sistemi vasıtasıyla yollanır. Yapay sinir ağları biyolojik sinir ağlarının modellenmesi olduğu için, öncelikle biyolojik sinir sisteminin yapısına bakmak gerekir.

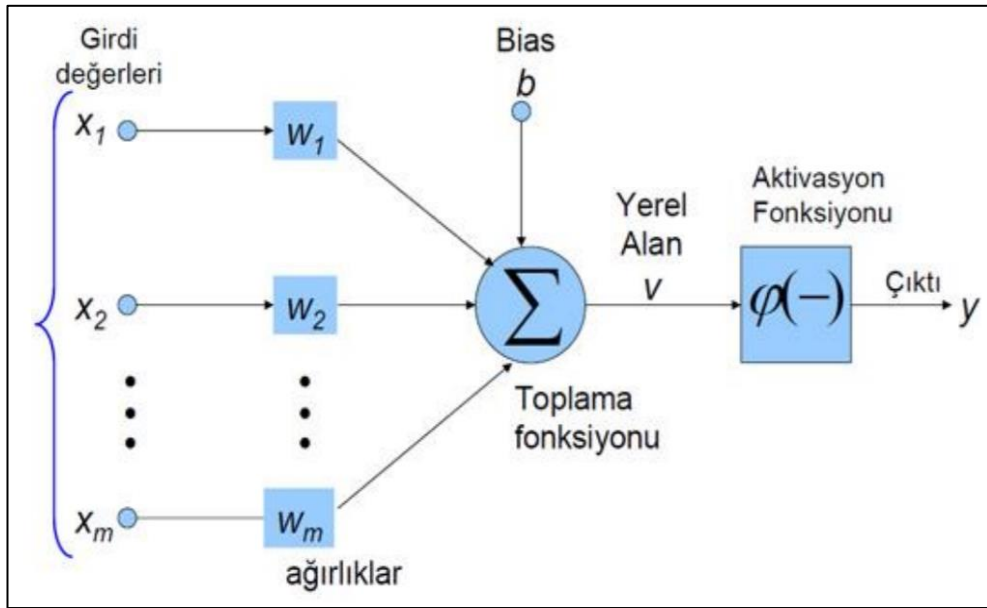
Biyolojik sinir sisteminin temel yapı taşı olan nöronların yapısı dört ana bölümden oluşmaktadır; dendrit, akson, çekirdek ve bağlantılar. Dendritlerin sinir hücresinin ucunda bulunan ve ağaç kökü görünümüne sahip bir yapıya sahiptir. Dendritlerin görevi bağlı olduğu diğer nöronlardan veya duyu organlarından gelen sinyalleri çekirdeğe iletmektir. Çekirdek dendrit tarafından gelen sinyalleri bir araya toplayarak ve aksona iletir. Toplanan bu sinyaller akson tarafından işlenerek nöronun diğer ucunda bulunan bağlantılara gönderilir. Bağlantılar ise yeni üretilen sinyalleri diğer nöronlara iletir. Şekil 3.1’de biyolojik sinir hücresinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Biyolojik sinir hücresi

### 3.3.1.2 Yapay Sinir Hücrelerinin Yapısı

Yapay sinir hücreleri de biyolojik sinir hücrelerine benzer yapıdadır. Yapay nöronlar da aralarında bağ kurarak yapay sinir ağlarını oluştururlar. Aynı biyolojik nöronlarda olduğu gibi yapay nöronların da giriş sinyallerini aldıkları, bu sinyalleri toplayıp işledikleri ve çıktılarını ilettikleri bölümleri bulunmaktadır. Şekil 3.2’de örnek bir yapay sinir ağı modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.2: YSA örneği

Bir yapay sinir hücresi beş bölümden oluşmaktadır;

**Girdiler:** Girdiler nöronlara gelen verilerdir. Girdiler yapay sinir hücresine bir diğer hücreden gelebileceği gibi direk olarak dış dünyadan da gelebilir. Bu girdilerden gelen veriler biyolojik sinir hücrelerinde olduğu gibi toplanmak üzere nöron çekirdeğine gönderilir.

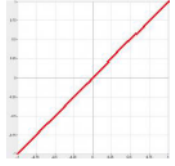
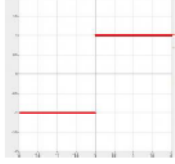

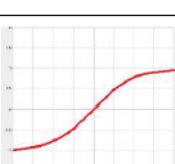
**Ağırlıklar:** Yapay sinir hücresine gelen bilgiler girdiler üzerinden çekirdeğe ulaşmadan önce geldikleri bağlantıların ağırlığıyla çarpılarak çekirdeğe iletilir. Bu sayede girdilerin üretilecek çıktı üzerindeki etkisi ayarlanabilmektedir. Bu ağırlıkların değerleri pozitif, negatif veya sıfır olabilir. Ağırlığı sıfır olan girdilerin çıktı üzerinde herhangi bir etkisi olmamaktadır.

**Toplama Fonksiyonu (Birleştirme Fonksiyonu);** Toplama fonksiyonu bir yapay sinir hücresine ağırlıklarla çarpılarak gelen girdileri toplayarak o hücrenin net girdisini hesaplayan bir fonksiyondur. Bazı durumlarda gelen girdilerin değeri dikkate alınırken bazı durumlarda ise gelen girdilerin sayısı önemli olabilmektedir. Bir problem için en uygun toplama fonksiyonu belirlenirken geliştirilmiş bir yöntem yoktur. Genellikle deneme yanılma yoluyla toplama fonksiyonu belirlenmektedir. Bazen her hücrenin toplama fonksiyonunun aynı olması gerekmez. Bu konulara karar vermek tasarımcıya aittir. Şekil 3.3'te örnek toplama fonksiyonu verilmiştir.

Toplam $Net = \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve bulunan değerler birbirleriyle toplanarak Net girdi hesaplanır.
Çarpım $Net = \prod_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve daha sonra bulunan değerler birbirleriyle çarpılarak Net Girdi Hesaplanır.
Maksimum $Net = \text{Max}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en büyüğü Net girdi olarak kabul edilir.
Minimum $Net = \text{Min}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en küçüğü Net girdi olarak kabul edilir.
Çoğunluk $Net = \sum_{i=1}^N \text{Sgn}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden girdilerle ağırlıklar çarpıldıktan sonra pozitif ile negatif olanların sayısı bulunur. Büyük olan sayı hücrenin net girdisi olarak kabul edilir.
Kümülatif Toplam $Net = \text{Net}(\text{eski}) + \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır. Daha önce hücreye gelen bilgilere yeni hesaplanan girdi değerleri eklenerek hücrenin net girdisi hesaplanır.

Şekil 3.3: Örnek toplama fonksiyonları

**Aktivasyon Fonksiyonu;** Bu fonksiyon hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyon seçilir. Yapay sinir ağlarının bir özelliği olan “doğrusal olmama” aktivasyon fonksiyonlarının doğrusal olmama özelliğinden gelmektedir. Aktivasyon fonksiyonu seçilirken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise fonksiyonun türevinin kolay hesaplanabilir olmasıdır. Geri beslemeli ağlarda aktivasyon fonksiyonunun türevi de kullanıldığı için hesaplamaların yavaşlamaması için türevi kolay hesaplanır bir fonksiyon seçilir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonu olarak “Sigmoid fonksiyonu” kullanılır. (bkz. Şekil 3.4)

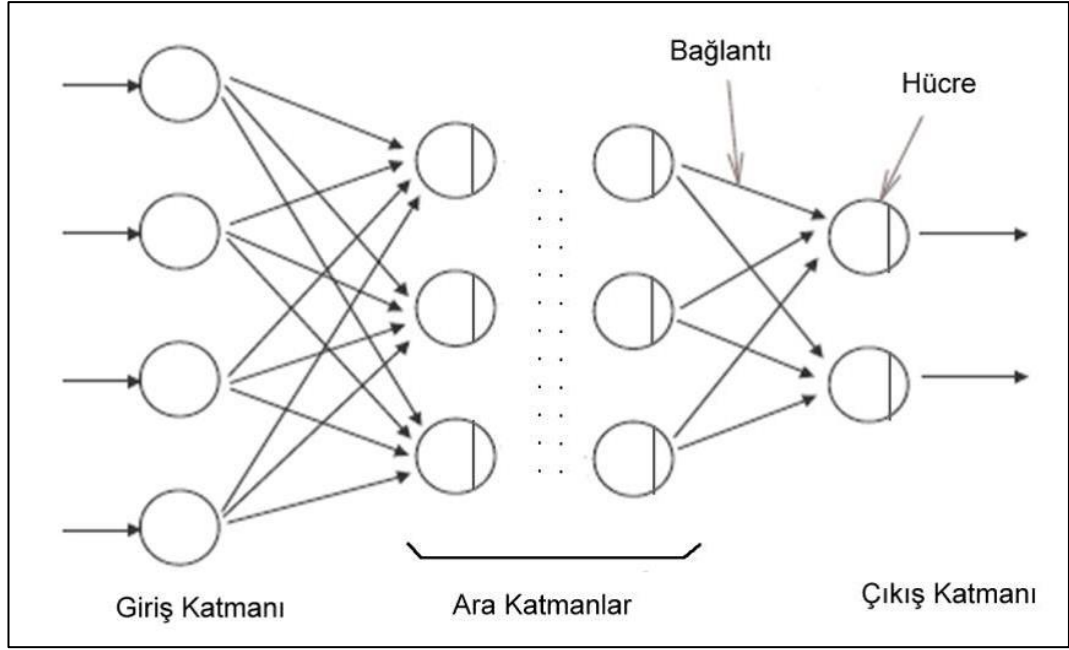
Doğrusal (Lineer) Aktivasyon Fonksiyonu		$F(\text{NET})=A * \text{NET}$ (A sabit bir sayı)	Doğrusal problemler çözmek amacıyla aktivasyon fonksiyonu doğrusal bir fonksiyon olarak seçilebilir. Toplama fonksiyonundan çıkan sonuç, belli bir katsayı ile çarpılarak hücrenin çıktısı olarak hesaplanır.
Adım (Step) Aktivasyon Fonksiyonu		$F(\text{Net})= \begin{cases} 1 & \text{if Net} > \text{Eşik Değer} \\ 0 & \text{if Net} \leq \text{Eşik Değer} \end{cases}$	Gelen Net girdinin belirlenen bir eşik değerinin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerini alır.
Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu		$F(\text{Net})= \frac{1}{1+e^{-\text{Net}}}$	Sigmoid aktivasyon fonksiyonu sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur. Doğrusal olmayışı dolayısıyla yapay sinir ağı uygulamalarında en sık kullanılan fonksiyondur. Bu fonksiyon girdi değerlerinin her biri için 0 ile 1 arasında bir değer üretir.
Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu		$F(\text{Net})= \frac{e^{\text{Net}} + e^{-\text{Net}}}{e^{\text{Net}} - e^{-\text{Net}}}$	Tanjant hiperbolik fonksiyonu, sigmoid fonksiyonuna benzer bir fonksiyondur. Sigmoid fonksiyonunda çıkış değerleri 0 ile 1 arasında değişirken hiperbolik tanjant fonksiyonunun çıkış değerleri -1 ile 1 arasında değişmektedir.
Eşik Değer Fonksiyonu		$F(\text{Net})= \begin{cases} 0 & \text{if Net} \leq 0 \\ \text{Net} & \text{if } 0 < \text{Net} < 1 \\ 1 & \text{if Net} \geq 1 \end{cases}$	Gelen bilgilerin 0 dan küçük-eşit olduğunda 0 çıktısı, 1 den büyük-eşit olduğunda 1 çıktısı, 0 ile 1 arasında olduğunda ise yine kendisini veren çıktılar üretilebilir.
Sinüs Aktivasyon Fonksiyonu		$F(\text{Net}) = \text{Sin}(\text{Net})$	Öğrenilmesi düşünülen olayların sinüs fonksiyonuna uygun dağılım gösterdiği durumlarda kullanılır.

Şekil 3.4: Aktivasyon fonksiyonu

**Cıktı:** Aktivasyon fonksiyonundan çıkan değer hücrenin çıktı değeridir. Bu değer ister yapay sinir ağının çıktısı olarak dış dünyaya verilir isterse tekrardan ağın içinde kullanılabilir. Her hücrenin birden fazla girdisi olmasına rağmen bir tek çıktısı olmaktadır. Bu çıktı istenilen sayıda hücreye bağlanabilir.

### 3.3.2 Yapay Sinir Ağı Modeli

Yapay sinir ağları yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla oluşan yapılardır. Yapay sinir ağları üç ana katmanda incelenir; Bunlar dış dünyadan gelen bilgilerin ağı girdiği ilk katman olan girdi katmanı, dış dünyaya çıktıların aktarıldığı ve bilgilerin işlendiği çıktı katmanı ve ağda girdi ile çıktı katmanında bulunmayan diğer nöronların oluşturulduğu ve yine bilginin işlendiği ara ya da gizli olarak adlandırılan katmandır. Şekil 3.5'te yapay sinir ağının katmanları gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Yapay sinir ağının katmanları

**Giriş Katmanı;** Yapay sinir ağına dış dünyadan girdilerin geldiği katmandır. Bu katmanda dış dünyadan gelecek giriş sayısı kadar hücrenin bulunmasına rağmen genelde girdiler herhangi bir işleme uğramadan alt katmanlara iletilmektedir.

**Ara (Gizli) Katman(lar);** Giriş katmanından çıkan bilgiler bu katmana gelir. Ara katman sayısı ağdan ağa değişebilir. Bazı yapay sinir ağlarında ara katman bulunmadığı gibi bazı yapay sinir ağlarında ise birden fazla ara katman bulunmaktadır. Ara katmanlardaki nöron sayıları giriş ve çıkış sayısından bağımsızdır. Birden fazla ara katman olan ağlarda ara katmanların kendi aralarındaki hücre sayıları da farklı olabilir. Ara katmanların ve bu katmanlardaki nöronların sayısının artması hesaplama karmaşıklığını ve süresini arttırmasına rağmen yapay sinir ağının daha karmaşık problemlerin çözümünde de kullanılabilmesini sağlar.

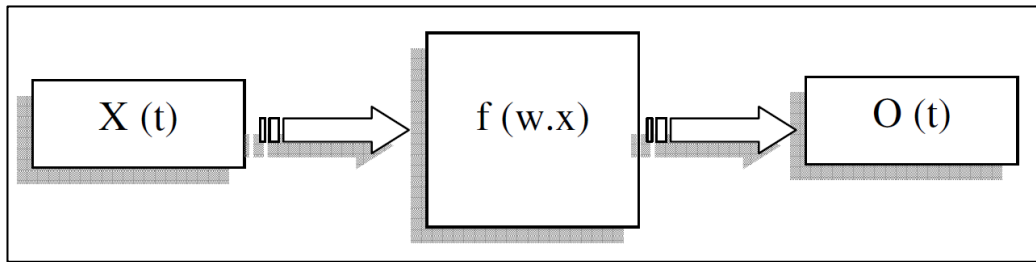
**Çıkış Katmanı;** Ara katmanlardan gelen bilgileri işleyerek ağın çıktılarını üreten katmandır. Bu katmanda üretilen çıktılar dış dünyaya gönderilir. Geri beslemeli ağlarda bu katmanda üretilen çıktı kullanılarak ağın yeni ağırlık değerleri hesaplanır.

### 3.4 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları işleyiş olarak benzer olmalarına rağmen herhangi bir tasarım ve işleyiş standardı bulunmamaktadır. Nöron dizilimlerine, nöronların ağırlıklarının düzenleme için yapılan hesaplamaların türüne ve zamanına göre yapay sinir ağlarını üç ayrı sınıfa ayırarak inceleyebiliriz. Bunlar ağı bağlantı yönlerine göre ileri beslemeli ve geri beslemeli, ağı öğrenme durumuna göre danışmanlı öğrenme, danışmansız öğrenme ve destekleyici öğrenme ve ağı oluşturan katman sayısına göre tek katmanlı ağlar ve çok katmanlı ağlardır.

#### 3.4.1 İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli sinir ağları tek yönlü sinyal akışı için izin verir. Ayrıca, ileri beslemeli sinir ağları çoğu katmanlar halinde organize edilmektedir. Katmanlara ayrılarak şekillendirilen sinir hücrelerinin belirli bir katmandaki çıkışları, takip eden katmana ağırlıkları sayesinde girdi olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan ara (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, ara ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu yapı ile ileri beslemeli ağlar, doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. İleri beslemeli 3 katmanlı yapay sinir ağının, orta katmanında yeterli sayıda hücre olmak kaydıyla, herhangi bir sürekli fonksiyonu istenilen doğrulukta yaklaştırabileceği gösterilmiştir.

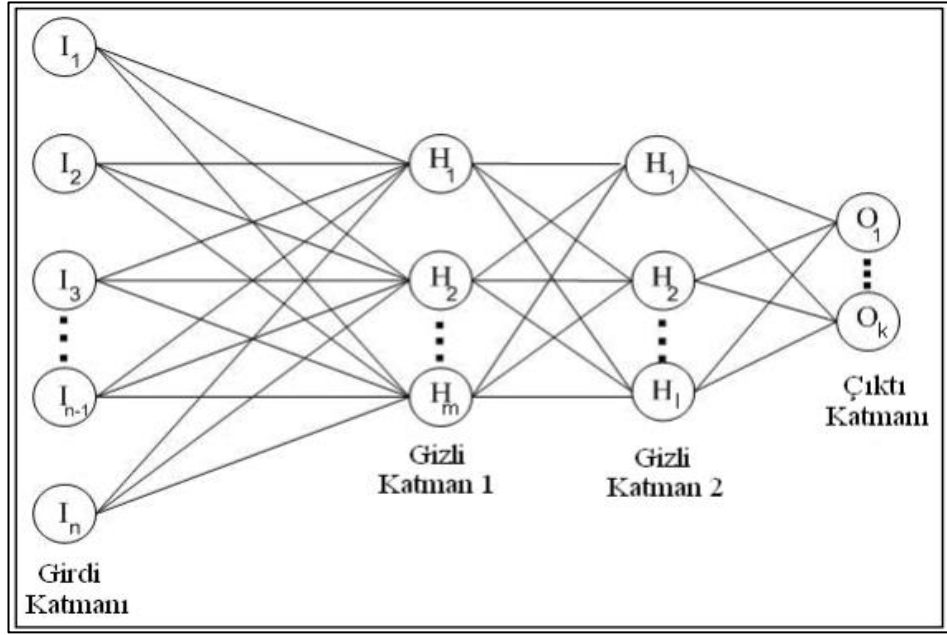


Şekil 3.6: İleri beslemeli ağ yapısı

Şekil 3.6’da blok olarak ifade edilen ve oldukça yaygın kullanım alanı bulunan çok katmanlı algılayıcı sinir ağı (MLP); bir giriş, bir ya da birden çok gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Her katmanında, bir veya daha fazla işlemci eleman bulunabilir. Çok katmanlı algılayıcı sinir ağından çıkan herhangi bir nöron çıktısı şu şekilde formüle edilebilir;

$$y_k = f(\sum_k w_k x) \quad (3.17)$$

İleri beslemeli sinir ağından veriler üzerinde işlem yapılmaksızın bir sonraki katmana yönlendirilir. Gizli katmanlardaki eleman sayısı, çalışılan probleme bağlı olarak araştırmacı tarafından belirlenir. Gizli katmandaki ara katman ve işlemci eleman sayısı iteratif yöntemler ile belirlenir. Şekil 3.7’de birden fazla girişi olan, bir gizli katmanı ve iki ara katmanı bulunan, iki adet çıkışa sahip ileri beslemeli çok katmanlı bir yapay sinir ağı modeli gösterilmiştir.

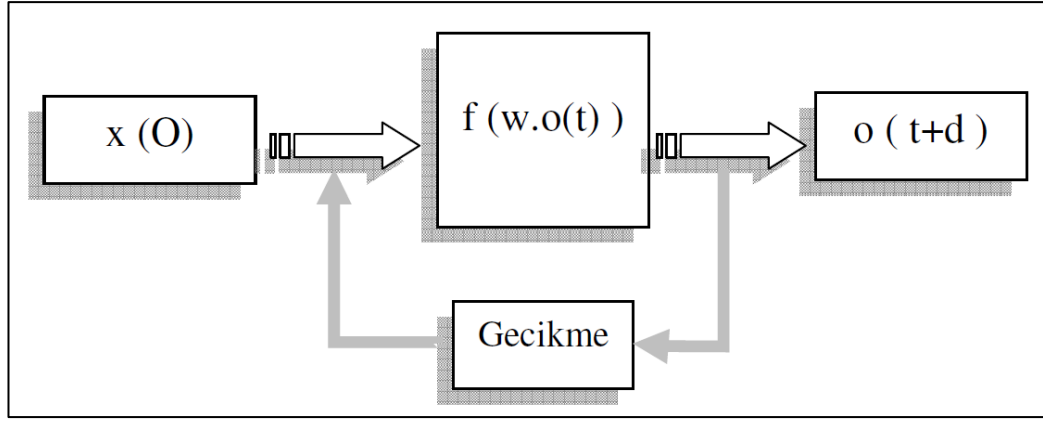


Şekil 3.7: İleri beslemeli örnek sinir ağı yapısı

### 3.4.2 Geri Beslemeli Sinir Ağı Yapısı

Geri beslemeli YSA’ da, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücelere giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Bu sayede ağda hem ileri hem geri yönde besleme yapılır. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli YSA yapıları elde edilebilir. Aşağıda bulunan Şekil 3.8’de çıkışlarından giriş katmanına geri beslemeli bir YSA yapısı görülmektedir.





Şekil 3.8: Geri beslemeli örnek sinir ağı (Saygılı, 2008)

### 3.4.3 Danışmanlı Öğrenme

Danışmanlı öğrenme sırasında ağı verilen girdi değerleri için çıktı değerleri de verilir. Ağ verilen girdiler için istenen çıktıları oluşturabilmek için kendi ağırlıklarını günceller. Ağı çıktıları ile beklenen çıktılar arasındaki hata hesaplanarak ağı yeni ağırlıkları bu hata payına göre düzenlenir. Hata payı hesaplanırken ağı bütün çıktıları ile beklenen çıktıları arasındaki fark hesaplanır ve bu farka göre her nörona düşen hata payı bulunur. Daha sonra her nöron kendine gelen ağırlıkları günceller. Widrow ve Hoff, (1960) tarafından geliştirilen “*Delta Kuralı*” öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir.

### 3.4.4 Danışmansız Öğrenme

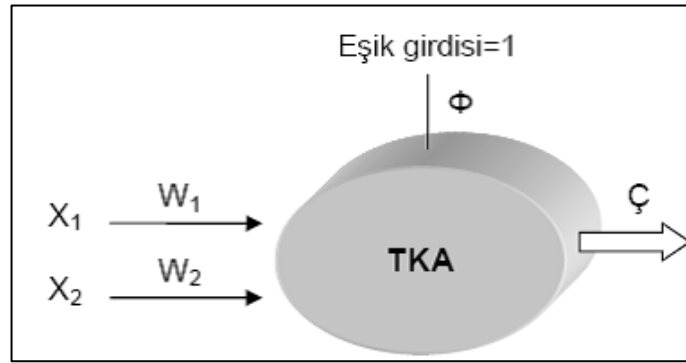
Danışmansız öğrenmede ağı öğrenme sırasında sadece örnek girdiler verilmektedir. Herhangi bir beklenen çıktı bilgisi verilmez. Girişte verilen bilgilere göre ağ her bir örneği kendi arasında sınıflandıracak şekilde kendi kurallarını oluşturur. Ağ bağlantı ağırlıklarını aynı özellikte olan dokuları ayırabilecek şekilde düzenleyerek öğrenme işlemini tamamlar. Grossberg (2013) tarafından geliştirilen ART (Adaptive Resonance Theory) öğrenme kuralı danışmansız öğrenmeye örnek olarak verilebilir.

### 3.4.5 Destekleyici Öğrenme

Destekleyici öğrenme öğrenme yaklaşımında ağın her iterasyonu sonucunda elde ettiği sonucun olumlu veya olumsuz olup olmadığına dair bir bilgi verilir. Ağ bu bilgilere göre kendini yeniden düzenler. Bu sayede ağ herhangi bir girdi dizisiyle hem öğrenerek hem de sonuç çıkararak işlemeye devam eder.

### 3.4.6 Tek Katmanlı Ağlar

Sadece girdi katmanı ile çıktı katmanı bulunan, ara (gizli) katmanı bulunmayan yapay sinir ağı modelidir. Katmanların bir veya daha fazla nöronu bulunabilmektedir. Şekil 3.9’da basit bir tek katmanlı algılayıcı modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Tek katmanlı ağ modeli

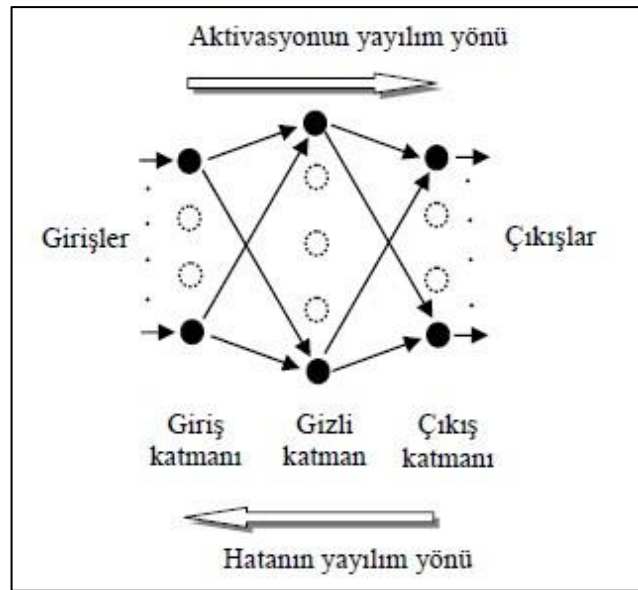
Bir ya da daha fazla girdi değeri ağa verilir, girdi katmanı nöronları ile çıktı katmanı nöronu arasında bulunan ağırlıklar hesaplanır ve çıktı katmanında aktivasyon fonksiyonu ile işlemden geçirilen bilgi tek bir çıktı olarak ağdan dış uzaya ya da başka bir nörona girdi olarak bırakılır. Burada aktivasyon fonksiyonu çıktı fonksiyonu için seçilir ve doğrusal fonksiyondur. Ağda çıktı değerinin sıfırdan farklı olması için eşik değeri +1 olarak seçilir. Ağın çıktısı denklem (3.18)’de gösterildiği gibi ağırlıklandırılmış girdi değerlerinin eşik değeri ile toplanması sonucu elde edilir.

$$\zeta = f(\sum_{i=1}^m w_i * x_i + \Phi) \quad (3.18)$$

Burada  $x_i: i=1,2,\dots,n$  ile ağın girdileri;  $w_i: i=1,2,\dots,n$  girdilere karşılık gelen ağırlık değerleri;  $\Phi$ : eşik değeri göstermektedir.

### 3.4.7 Çok Katmanlı Ağ Modeli

Çok katmanlı ağlar (ÇKA), nöronların aynı düzlemde ve paralel olarak bir araya geldiği katmanlardan, girdi değerlerinin bulunduğu giriş katmanı, bilginin işlendiği ara katman ya da katmanlar ile yine bilginin işlendiği çıkış katmanından oluşmaktadır. Ara katmanlar ile bu katmanda belirlenmiş doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları, ağa doğrusal olmayan bir yapı kazandırmaktadır. Ayrıca çok katmanlı yapay sinir ağı yapısına uygun geliştirilen ve ağın öğrenmesini ve ağda oluşturulan çıktıya ait hatanın en aza indirgenmesini sağlayan geri yayılım algoritması ile başarılı bir öğrenme algoritması oluşturulmuştur. Çok katmanlı ağlarda da eğitim aşamasında hem girdi hem çıktı verileri verildiğinden danışmanlı öğrenme sağlanır. Şekil 3.10'da çok katmanlı ağların yapısına örnek gösterilmektedir.



Şekil 3.10: Çok katmanlı ağ yapısı

Geri yayılım algoritması, yapay sinir ağları tarihindeki en önemli gelişmelerden birisi olmuştur. Bu algoritma, sürekli, türevi alınabilir aktivasyon fonksiyonuna sahip nöronlardan meydana gelen çok katmanlı algılayıcılarda uygulanabilmektedir. Geriye yayılım algoritması, dereceli azaltma veya eğim inişi (gradient descent) yaklaşımıyla ağırlıkları ayarlayarak toplam hatayı minimize etmektedir (Zhang, 2004).

Geri yayılım algoritması, verilen eğitim seti için en uygun çözümü üretecek ağırlıkları bulmayı sağlar. Geri yayılım algoritması iki aşamadan oluşur:

- İleri doğru hesaplama,
- Geriye doğru hesaplama.

İleri doğru hesaplama aşaması, ağıın çıktısını hesaplama aşamasıdır. Geri doğru hesaplama aşamasında ise çıkışlarda oluşan hatalardan yola çıkılarak, modeldeki ağırlıkların yeniden düzenlenmesi aşamasıdır. Bu algoritma ağa sunulan eğitim seti için en uygun ağırlık değerlerini bulmayı sağlar. Eğitim inişine dayanarak ağırlıklar düzenlenir.

### **3.5 Yapay Sinir Ağlarının Eğitimi ve Testi**

YSA'larında nöronların bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine “ağın eğitilmesi” denir. Başlangıçta bu değerler rastgele atanır. Ağlar kendilerine örnekler gösterildikçe bu ağırlık değerlerini değiştirirler (Öztemel, 2012).

YSA kurulumu aşamasında örnek veri seti, ağıın eğitim ve test işlemleri için iki veri setine ayrılır. Verileri ayırma işleminde genel bir kural yoktur. Ancak veri tipi, veri miktarı ve problem veri setini ayırma işleminde önemli etkenlerdir. Eğitim ve test veri setinin seçimindeki hatalar ağıın performansını etkileyecektir. Literatürde eğitim ve test setlerinin belirlenmesine yönelik az da olsa bir öneri bulunmaktadır. Ayrılan verilerden eğitim örnekleri yapay sinir ağı modelini geliştirmek için kullanılırken, test örnekleri ise geliştirilen modelin tahmin yeteneğinin değerlendirilmesinde kullanılır.

Öğrenme sürecinde, başlangıçta ağırlıklar rastgele atanır ve seçilen öğrenme algoritmasına göre örnekler ağa gösterildikçe ağırlık değerleri güncellenir. Amaç, ağa gösterilen örnekler için doğru çıktılar üretecek ağırlık değerlerini bulmaktır. Doğru ağırlık değerlerine ulaşan ağ, örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilir duruma gelmiştir ve ağ öğrenmesini tamamlamıştır.

## **4. SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME VE KAPASİTE HESAPLARI**

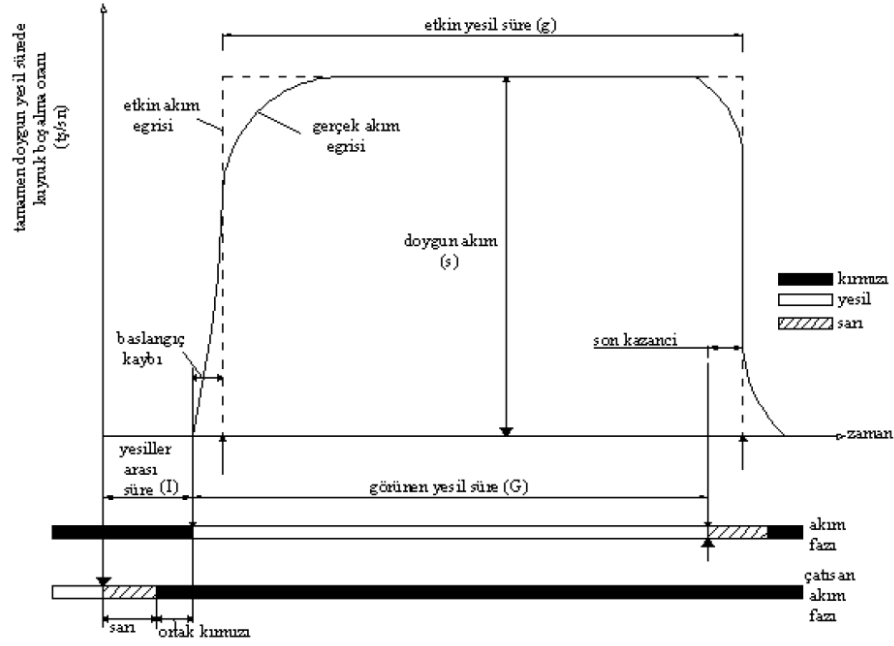
### **4.1 Giriş**

Sinyalize kavşaklarda gecikme hesaplarında en çok kullanılan üç yöntem Webster (İngiliz), Yolların Kapasitesi El Kitabı (HCM) ve Dr. Rahmi Akçelik'e ait olan Avustralya yöntemidir. Bu çalışmada gecikme hesapları için dünyada yaygın olarak kullanılan Webster yöntemi seçilmiştir.

### **4.2 Webster (İngiliz Yöntemi)**

#### **4.2.1 Doymun Akım**

Doymun akım, bir sinyalize kavşakta ışığı yeşile dönmesi ile geçişine izin verilen maksimum taşıt sayısıdır. Başka bir deyişle kavşak yaklaşım kolunda sürekli taşıt bulunması ve ışığın sürekli yeşil yanması durumu olarak açıklanabilir. Doymun akımın belirlenmesinde birçok araştırmacı farklı yaklaşımlar ve matematiksel modeller geliştirmiştir. Pursula ve Niittymäki (1996) yapmış oldukları çalışmada doymun akım değerlerinin 1800-2475 otomobil/saat/şerit aralığında değişebildiğini belirlemişlerdir. Şekil 4.11'de yeşil süre boyunca taşıtların kavşağı girişi ve doymun akıma ulaşma durumu gösterilmiştir (Akçelik, 1993).



Şekil 4.11: Kavşak yaklaşım kolundaki taşıtların yeşil ışık boyunca hareketi

Şekil 4.11’de görüleceği kavşaklarda etkin süreler ve kayıp süreler meydana gelmektedir. Kavşak yaklaşım kolunda yeşil ışık yandığı andan itibaren taşıtların hareketine başlamasına kadar geçen sürede başlangıç kaybı meydana gelmektedir. Ayrıca devre süresi içerisinde fazların geçişleri sırasında yeşiller arası süre ve koruma süreleri de kayıp süreler eklenmektedir. Bu sebeple kavşak kapasiteleri etkin yeşil süre ve kayıp süreleri ile bağlantılıdır. Doymuş takip aralığına bağlı olarak doymuş akım değeri denklem (4.19) ile hesaplanır.

$$S = 3600/h_n \quad (4.19)$$

Burada kavşakların geometrik özellikleri göz ardı edilmiştir. Bilindiği gibi şerit sayıları, yol eğimi, sürücü davranışları gibi etkenler doymuş akım değerlerine etkisi olmaktadır. Kimber ve diğ.(1986) yapmış oldukları çalışmada doymuş akım değerinin hesaplanmasında geometrik faktörleri de dahil etmişlerdir. Bu çalışmada geometrik etkiler altında doymuş akım değerini denklem (4.20) ve (4.21) ile hesaplamışlardır.

$$S_1 = (S_0 - 140 * d_n)/(1 + 1,5 * f/r) \quad (4.20)$$

$$S_0 = 2080 - 42 * d_g * G + 100(w - 3,25) \quad (4.21)$$

Burada;

$S_I$ =Doygun akım oranı (otomobil/saat/şerit);

$d_n$ = Banket kenarı şeritlerde 1, banket kenarı olmayan şeritlerde 0 değeri;

$d_g$ = Yokuş yukarı çıkış şeritlerinde 1, yokuş aşağı şeritlerde 0 değeri;

$G$ = Yol dikey eğimi;

$w$  = Şerit genişlikleri;

$f$ =Şeritte dönüş yapan taşıtların oranları;

$r$  = şeritlerin dönüş yarıçaplarıdır.

#### 4.2.2 Taşıt Kompozisyonu

Kavşaklarda gecikmeyi etkileyen önemli faktörlerden biri de ağır taşıt sayılarıdır. Motorlu taşıtları, hafif taşıtlar ve ağır taşıtlar olmak üzere iki genel sınıfta toplamak mümkündür. Tek dingilli araçlardan oluşan hafif taşıtlar, otomobil, minibüs ve kamyonet ile daha küçük yapıdaki araçları temsil eder. Otobüs ve kamyon gibi büyük taşıtlar ise, ağır taşıtlar sınıfına girer. Bu taşıtların arka taraflarında birden fazla dingil olabileceği gibi bu dingillerin her iki ucunda iki tekerlek bulunur (Yayla, 2002). Kavşaklar trafik hacimleri ve taşıt türü dağılımları belirlendikten sonra, hesaplamalarda kullanılmak üzere birim otomobile çevrilirler Tablo 4.1’de farklı türdeki araçların birim otomobil değerleri verilmiştir.

**Tablo 4.1:** Taşıt türlerine göre birim otomobil değerleri (Scraggs, 1964)

Taşıt Türü	Birim Oto Değeri
Otomobil	1
Ticari	1,5
Ağır taşıt	2,3
Otobüs	2

#### 4.2.3 Hacim/Kapasite Oranı

Sinyalize kavşaklarda kapasite doymun akıma ( $s_i$ ) bağlıdır. Kavşağın herhangi bir yaklaşım kolundaki trafik hacmi( $v$ ), doymun akıma bölünmesiyle hacim/kapasite oranı belirlenir. Kavşaklarda hacim/kapasite oranı denklem (4.22) ile hesaplanır.

$$X_i = \left(\frac{v}{c}\right) \quad (4.22)$$

Burada;

$X_i$ =Yaklaşım kolunun hacim/kapasite oranı;

$v_i$ =Trafik hacmi (taşıt/saat);

$S_i$ =Doygun akım değeri;

Etkin yeşil süre ise denklem (4.23) ile hesaplanır.

$$g = G - l \quad (4.23)$$

Burada;

$G$ =Görünen yeşil süre;

$l$ =Kayıp süredir.

Webster yöntemine göre kavşağın kapasitesi, devre içindeki kayıp sürelerin toplamına ( $L$ ) bağlıdır. Toplam kayıp süre denklem (4.24) ile hesaplanır.

$$L = \sum(I - a) + \sum l \quad (4.24)$$

Burada;

$I$ =Yeşiller arası süre

$a$ =Sarı ışık süresi

$l$ =Bir fazdaki kayıp süre

#### 4.2.4 Optimum Devre Süresi

Webster yöntemine göre bir fazdaki toplam kayıp süre, yeşiller arası süreden sarı ışık süresinin farkı alınarak bir fazdaki kayıp sürenin toplanması ile elde edilir. Bir fazdaki kayıp süre ( $l$ ), başlangıç kaybı ve fazın sarı süresinin ikinci yarısının toplamıdır. Bir devredeki tüm fazlardaki kayıp sürelerin toplamı, denklem (4.24)'te tanımlanan " $L$ " ile verilmektedir. Devrenin geri kalanı yararlı süre olarak adlandırılmaktadır. Bu yararlı süre fazlar arasında paylaşılmaktadır. Bu paylaşımında her fazın ağırlıklı akım hacminin, doymun akımına olan oranı alınarak hesaplanır. Webster yönteminde bu oran doymunluk derecesini belirtmektedir. Doymunluk derecesi " $y$ " ile gösterilirse, kavşaktan en iyi gecikmeyi dağılayacak optimum devre süresi denklem (4.25) ile hesaplanır.



$$D_o = \frac{\phi * L + 5}{1 - Y} \quad (4.25)$$

Burada;

$D_o$ =Optimum devre süresi

$L$ =Bir devredeki toplam kayıp süre

$Y$ =Her faz için akımların doygun derecelerinin toplamı

$\phi$ =1,2-1,8 arasında değişen kat sayı

#### 4.2.5 Gecikme Hesabı

Işıklı kavşaklarda taşıtların maruz kaldığı gecikme, tasarım ve değerlendirme aşamasında kavşak performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir ölçüttür. Işıklı bir kavşaktaki toplam gecikme bir taşıtın denetimli bir kavşakta beklemeden kavşağı boşalttığı süre ile kavşağa gelerek beklediği süre (durma gecikmesine maruz kaldığı süre) arasındaki zaman farkı olarak tanımlanmaktadır. Webster (İngiliz) yöntemine göre sabit zamanlı sinyalizasyonda bir akım için ortalama gecikme değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Doygunluk derecesi; bir kavşak kolundan geçen akımın o kavşaktan geçebilecek maksimum akıma oranıdır ve denklem (4.26) yardımı ile hesaplanır.

$$w = \left( \frac{D * (1 - \lambda)^2}{2 * (1 - \lambda * x)} \right) + \left( \frac{x^2}{2 * q * (1 - x)} \right) - \left( 0,65 * \left( \frac{D}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} * x^{(2 + 5 * \lambda)} \right) \quad (4.26)$$

Burada,

$w$ : Bir kavşak kolundaki taşıt başına ortalama gecikme (sn);

$\lambda$ : Yeşil süre oranı ( $\lambda = g/D$ );

$g$ : yeşil süre;

$D$ : Devre süresi;

$x$ : Doygunluk derecesi; bir kavşak kolundan geçen akımın o kavşaktan geçebilecek maksimum akıma oranıdır ( $x = q / \lambda * s$ );

$q$ : Trafik hacmi (b.o/sa);

$s$ : Doygun akımdır.

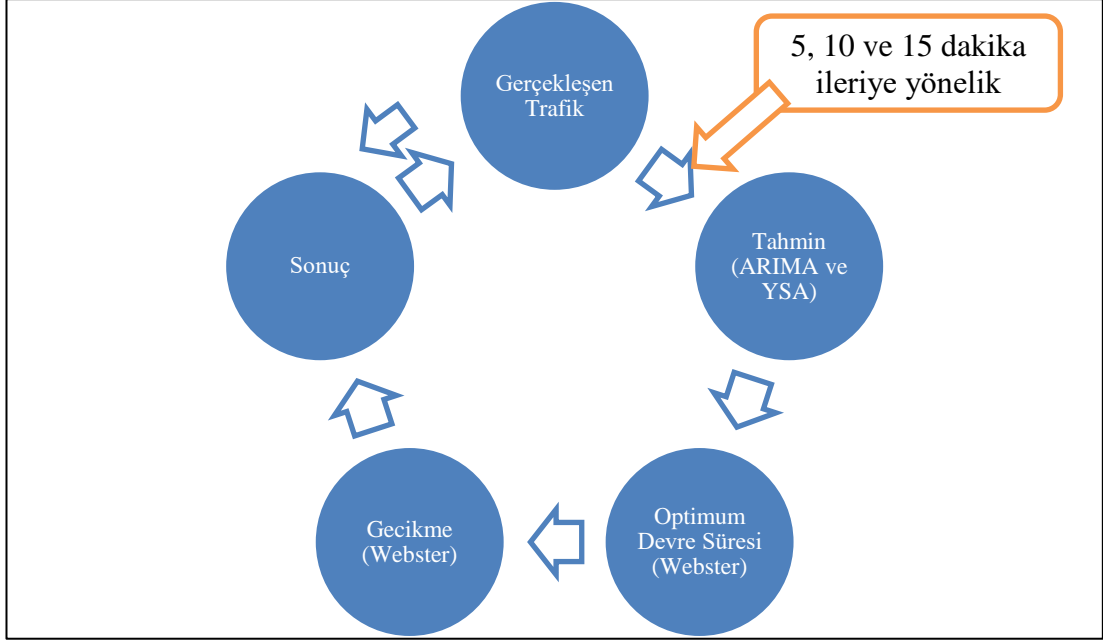
## 5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

### 5.1 Giriş

Tez çalışmasında örnek uygulama alanı olarak Mimar Sinan kavşağı seçilmiştir. Bu bölümde sırasıyla;

- Ağ tasarımı ve trafik etütleri;
- Doygum akım;
- Mevcut durum analizi;
- Kısa zamanlı trafik tahminleri;
- ARIMA ile tahmin;
- YSA ile tahmin;
- Tahmin sonuçlarının karşılaştırılması;
- Sinyal optimizasyonu çalışmaları yapılmıştır.

Bu alıőma, parametrik olmayan yöntemlerden biri olan yapay sinir ağları (YSA) ve parametrik yöntemlerden biri olan ARIMA yöntemlerini kullanarak yapılan kısa zamanlı trafik tahmini sonucunda, Webster yöntemiyle devre süresi optimizasyonu ve gecikme performans analizi sunmaktadır. Loop detektörlerden elde edilen taőtıt sayısı tahmin ufkunun performansa etkisini ölçmek amacıyla 5, 10 ve 15 dakikalık sınıflara ayrılmıştır. Şekil 5.12'de kısa zamanlı trafik tahmin döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 5.12: Kısa zamanlı trafik tahmin döngüsü

## 5.2 Trafik Etüdü ve Ağ Tasarımı

Trafik etütleri, karayolları ulaşım ağında taşıt ve yol karakteristiklerini belirlenmesine yönelik yapılmaktadır. Trafiğin temel bileşenlerinden olan otomobiller, yayalar, ağır taşıtlar, motosikletler vb. motorlu ve motorsuz elemanlar trafik kompozisyonunu oluştururlar. Trafik sayımlarının yapılmasında yol üzeri ve yol kenarı olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Hava basınçlı hortumlu, piezo elektrik algılayıcı, endüksiyon halkası dedektörlü, manyetik algılayıcı sistemler yol üzeri sistemlere örnek olarak verilebilir. Yol kenarı sistemler de mikrodalga radar, aktif-pasif kızılötesi, ultrasonik ve lazer algılayıcı sistemler ile elle sayım olarak sıralanabilir. Ancak gelişen kamera ve bilgisayar teknolojisi ile birlikte bütün bu sistemlere kameralardan alınan video kayıtlarının görüntü işleme ve makine öğrenme teknikleri kullanılarak sayısallaştırılması ilave edilebilir (Karagöz ve Akalın, 2017).

Trafik sayımları genelde hafta içi günlerde gerçekleştirilir. Sayım süreleri 1 – 24 saat kadar yapılabilir, genelde 8, 12, 24 saatlik olarak yapılır. Yaya sayımlarını için 1 – 6 saat kadar yapmak uygundur. Taşıt ve yayalarının hareketlerinin doğru gözlemlenmesi ve optimum maliyetlerin sağlanabilmesi için sayımlar zirve ve zirve

dışı saatleri kapsayacak şekilde gerçekleştirilmelidir. Saha kararlaştırılan sayım türlerine göre değişmekle birlikte, gerçekleştirilen trafik sayımları daha sonra bilgisayar ortamında işlenerek, formatları düzenlenir (Kutlu, Trafik Tekniği, 1993). Saha etütleri sonucunda; kavşak vaziyet planı, trafik hacimleri, faz planları ve sinyal süreleri bilgileri olmak üzere genel olarak üç grupta etütler yapılmıştır.

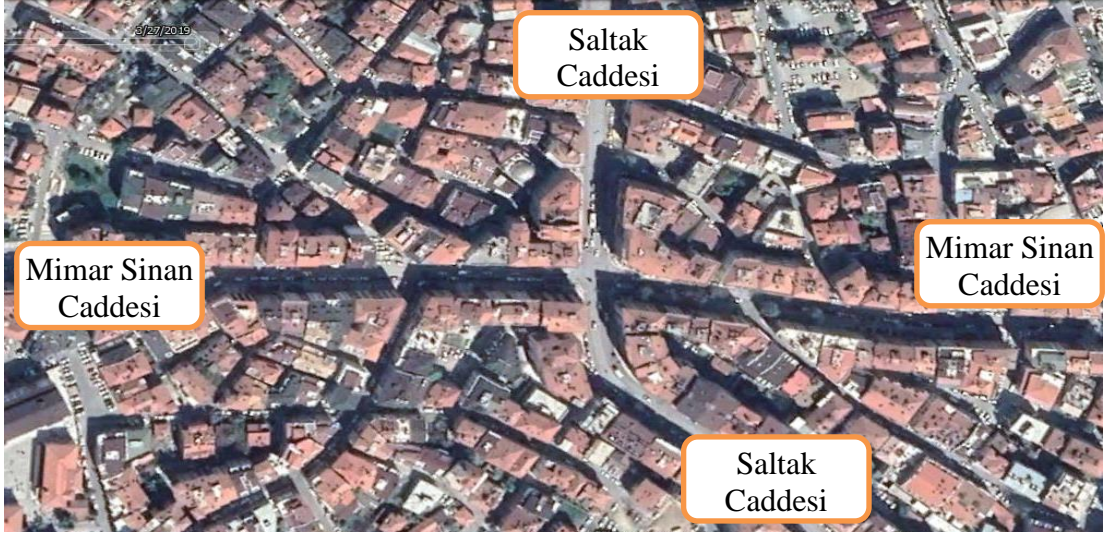
**Kavşak geometrik durumu;** Kavşağın yaklaşım kolu genişlikleri, şerit genişlikleri, şerit sayıları, orta refüj genişlikleri, sağa veya sola dönüşlerde yaklaşım kolu ceplerinin varlığı, yaklaşım kolu sayısı, dönüş yasakları, yaklaşım ve çıkış yollarının eğimleri, dönüş şeridi veya park şeridi gibi kısa şeritler, kavşak yakınındaki park, otobüs durakları, tramvay vb. ile ilgili bilgiler elde edilmelidir.

**Trafik hacimleri;** Trafik sayımları kavşağın tüm yaklaşım kollarından gelen araçlar sayıları, taşıtların kompozisyonu, ağır taşıt oranları, kuyruklanma durumu gibi bilgiler belirlenir.

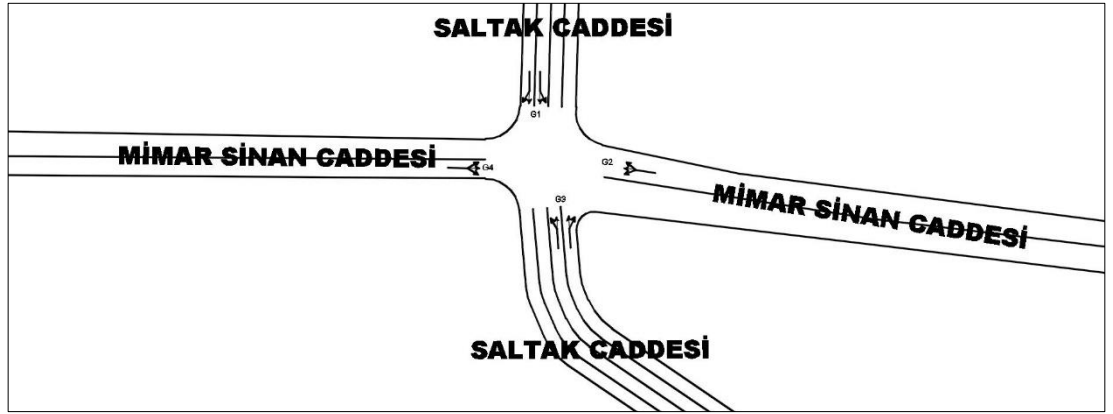
**Sinyal planları;** Kavşakların faz planları, devre diyagramları, yeşil süreler, yeşiller arası (intergreen) süreler, devre süreleri gibi bilgiler belirlenir.

Çalışmada, trafik etütleri kavşağın zirve ve zirve dışı saatlerini kapsayacak şekilde 06.08.2018 - 08.08.2018 tarihleri arasında hafta içi 3 gün boyunca yapılmıştır. Trafik etütleri ve kavşağın sinyal plan bilgileri, Denizli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Trafik Kontrol Merkezi (TKM) tarafından sağlanmıştır. Sayımlar kavşağın yaklaşım kollarında bulunan loop sensörleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kavşağın faz planları çıkarılmış, mevcut durumdaki sinyal süreleri ve şerit sayıları ile yaklaşım kolu genişlikleri gibi geometrik özellikleri de belirlenmiştir. Elde trafik sayım değerleri kısa zamanlı trafik tahmini için 5, 10 ve 15'er dakikalık periyotlara bölünmüştür.

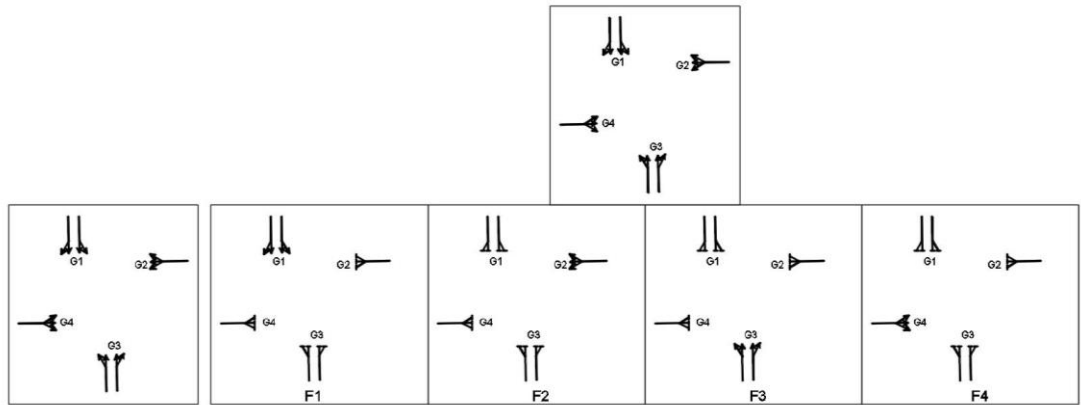
Çalışma kapsamında; Saltak Caddesi üzerinde bulunan Mimar Sinan kavşağında hafta içi günlerde 12 saatlik trafik etütleri yapılmıştır. Mimar Sinan kavşağı, Bayramyeri Meydanı ve Denizli Lisesini birbirine bağlayan Saltak Caddesi ve Mimar Sinan Caddesi kesişiminde bulunmaktadır. Kavşak izole olarak çalışmaktadır. Mimar Sinan kavşağının konumu Şekil 5.13'te, kavşağın kroki planı Şekil 5.14'te, sinyal grupları ve faz planı ise Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5.13: Mimar Sinan Kavşağı uydu görünümü

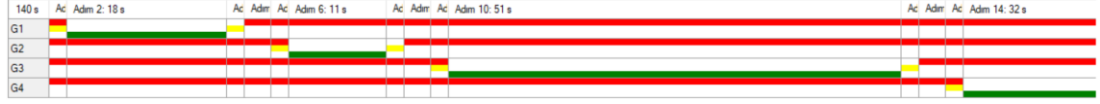


Şekil 5.14: Mimar Sinan Kavşağı kroki planı

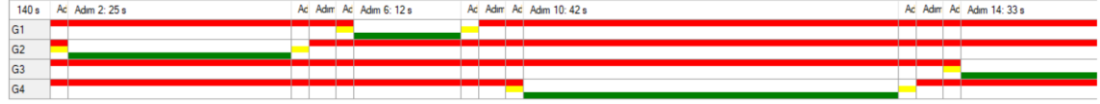


Şekil 5.15: Mimar Sinan Kavşağı sinyal grupları ve faz planı

Kavşağın sabah zirve saat ve zirve dışı saat sinyal programları Şekil 5.16 ve Şekil 5.17 'de verilmiştir.



Şekil 5.16: Mimar Sinan kavşağı zirve saat sinyal planı



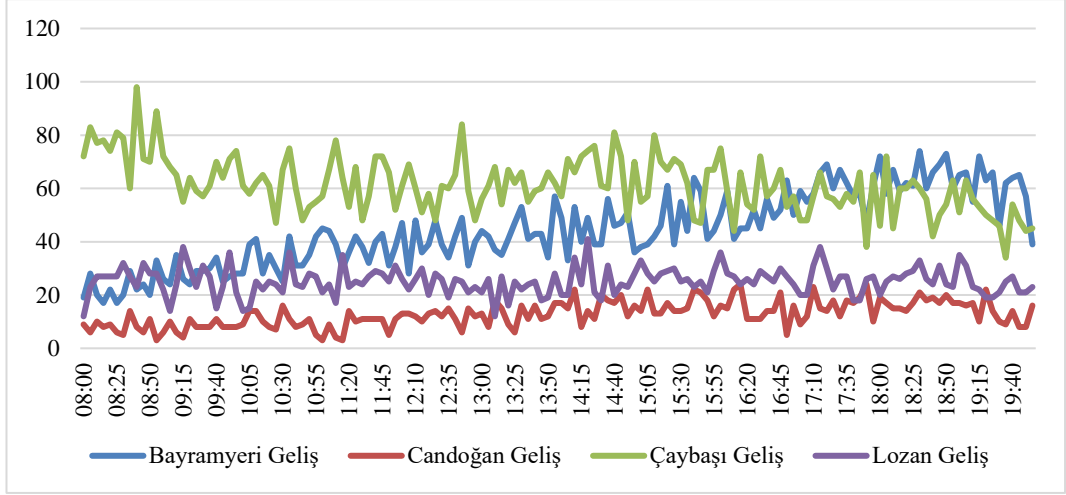
Şekil 5.17: Mimar Sinan kavşağı zirve dışı saat sinyal planı

Mimar Sinan kavşağının yaklaşım kolu isimleri Şekil 5.13'te verilmiştir. Trafik sayımların bu isimlendirmeler baz alınarak gösterilmiştir. Tablo 5.2'de 1. günün trafik hacim değerleri 5 dakikalık periyotlar halinde gösterilmiştir.

Tablo 5.2: 1. gün trafik hacim değerleri

ZAMAN	TRAFİK HACMİ				
	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN	TOPLAM
07:55:00	21	5	74	15	115
08:00:00	23	5	74	17	119
08:05:00	30	6	71	32	139
08:10:00	25	8	72	23	128
08:15:00	12	10	81	25	128
08:20:00	16	11	80	33	140
08:25:00	20	5	70	16	111
08:30:00	16	8	84	26	134
08:35:00	15	6	91	31	143
08:40:00	26	4	88	23	141
08:45:00	21	8	75	37	141
08:50:00	18	10	76	28	132
08:55:00	31	10	67	27	135
09:00:00	35	7	79	26	147
09:05:00	29	10	75	31	145
09:10:00	30	6	80	27	143
09:15:00	41	12	64	25	142
09:20:00	37	7	67	19	130
09:25:00	14	8	67	24	113
09:30:00	33	9	48	28	118
09:35:00	20	2	55	23	100
09:40:00	30	8	57	22	117
09:45:00	23	11	56	26	116
09:50:00	47	14	79	39	179
09:55:00	44	13	70	31	158
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

Sayımlar sabah 07:55:00 ile 19:55:00 arasında gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.2'de 1. gün sayımlarının 09:55'e kadar olan kısmı gösterilmiştir. Diğer günlerin trafik sayımları da Tablo 5.2'ye benzer şekilde 07:55-19:55 saatlerini kapsamaktadır. Şekil 5.18'de tüm gün sayım sonuçları verilmiştir.

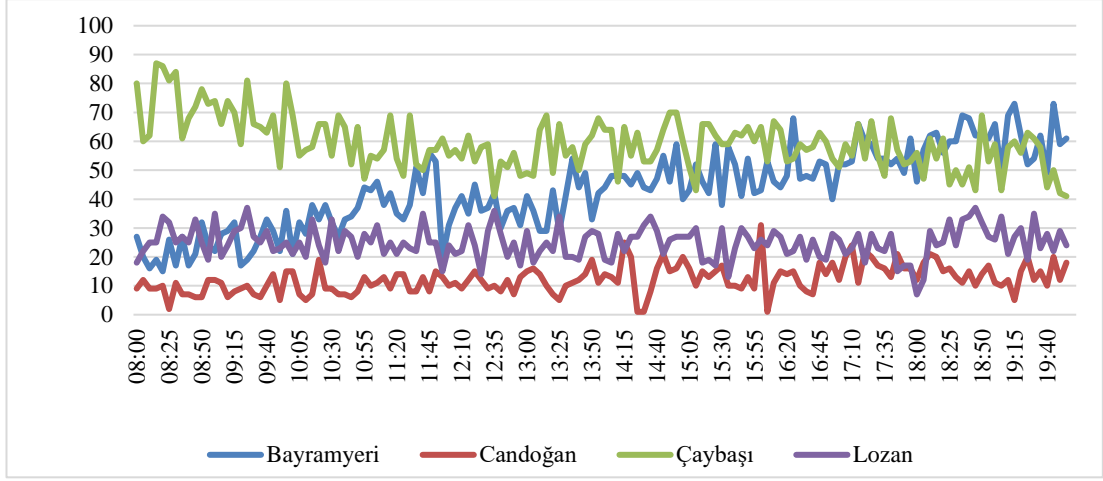


Şekil 5.18: 1. gün trafik hacim değerleri (5 dk aralık ile)

Tablo 5.3'te 2. günün sabah saatleri için trafik hacim değerleri verilmiştir. Trafik sayımları sabah 07:55 ile akşam 19:55 arasında yapılmıştır. Tüm gün sayımları ise Şekil 5.19'da verilmiştir.

Tablo 5.3: 2. gün trafik hacim değerleri

ZAMAN	TRAFİK HACMİ			
	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN
08:00:00	27	9	80	18
08:05:00	20	12	60	22
08:10:00	16	9	62	25
08:15:00	19	9	87	25
08:20:00	15	10	86	34
08:25:00	26	2	81	32
08:30:00	17	11	84	25
08:35:00	27	7	61	27
08:40:00	17	7	68	25
08:45:00	21	6	72	33
08:50:00	32	6	78	25
08:55:00	24	12	73	19
09:00:00	22	12	74	35
09:05:00	28	11	66	20
09:10:00	29	6	74	24
09:15:00	32	8	70	29
09:20:00	17	9	59	30
09:25:00	19	10	81	37
09:30:00	22	7	66	27
09:35:00	27	6	65	25
09:40:00	33	10	63	29
09:45:00	29	14	69	22
09:50:00	22	5	51	23
09:55:00	36	15	80	25
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.



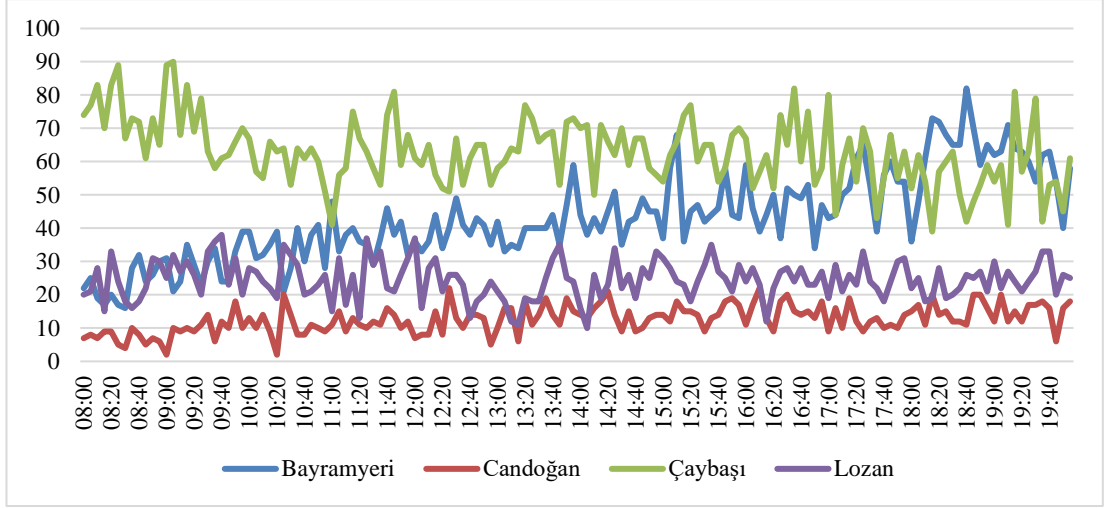
Şekil 5.19: 2. gün trafik hacim değerleri (5 dk aralık ile)

Tablo 5.4'te 3.günün sabah saatleri için trafik hacim değerleri verilmiştir. Trafik sayımları sabah 07:55 ile akşam 19:55 arasında yapılmıştır. Tüm gün sayımları ise Şekil 5.20'de verilmiştir.

Tablo 5.4: 3. gün trafik hacim değerleri

ZAMAN	TRAFİK HACMİ			
	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN
08:00:00	22	7	74	20
08:05:00	25	8	77	21
08:10:00	19	7	83	28
08:15:00	17	9	70	15
08:20:00	20	9	83	33
08:25:00	17	5	89	24
08:30:00	16	4	67	18
08:35:00	28	10	73	16
08:40:00	32	8	72	18
08:45:00	24	5	61	22
08:50:00	26	7	73	31
08:55:00	30	6	65	30
09:00:00	31	2	89	25
09:05:00	21	10	90	32
09:10:00	24	9	68	27
09:15:00	35	10	83	30
09:20:00	29	9	69	26
09:25:00	23	11	79	20
09:30:00	30	14	63	33
09:35:00	34	6	58	36
09:40:00	24	12	61	38
09:45:00	24	10	62	23
09:50:00	33	18	66	31
09:55:00	39	10	70	20
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.





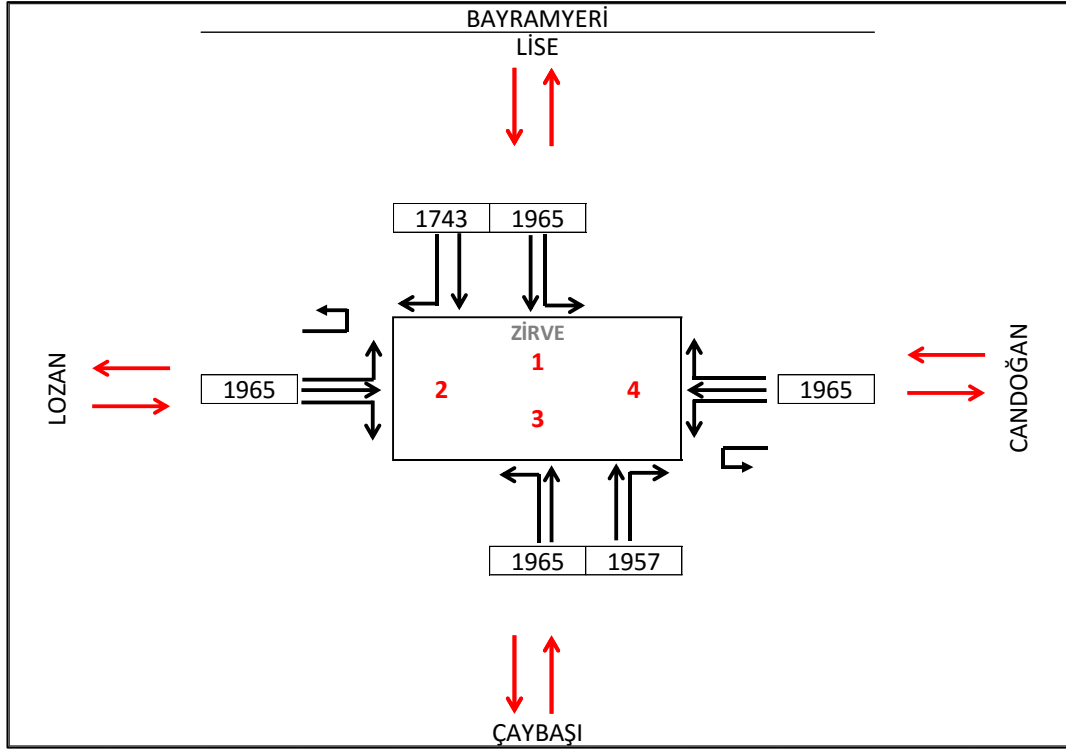
Şekil 5.20: 3. gün trafik hacim değerleri (5 dk aralık ile)

### 5.3 Doygun Akım Hesabı

Çalışma kapsamında Mimar Sinan kavşağının geometrik özellikleri gözlemlenmiştir. Daha sonra elde edilen verilen ofis ortamında analiz edilmiş, Microsoft Excel programını kullanarak formül 4.20 ve 4.21’de verilen denklemler yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda eğim %4 olarak alınmıştır. Böylece trafik etütleri bölümünde açıklanan kavşağın geometrik özellikleri baz alınarak Tablo 5.5’te doymuş akım değerleri hesap adımları, Şekil 5.21’de ise şerit başına doymuş akım sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.5: Mimar Sinan Kavşağı doymuş akım değerleri (otomobil/saat/şerit)

SAĞ DÖNÜŞ		DÜZ GİDİŞ		SOLA DÖNÜŞ	
dn	1	dn	1	dn	1
dg	1	dg	1	dg	1
G	0	G	0	G	5
w	3,5	w	3,5	w	3,5
f	5,70%	f	0,00%	f	10,27%
r	20	r	20	r	20
So	2105	So	2105	So	1895
S1	1957	S1	1965	S1	1742



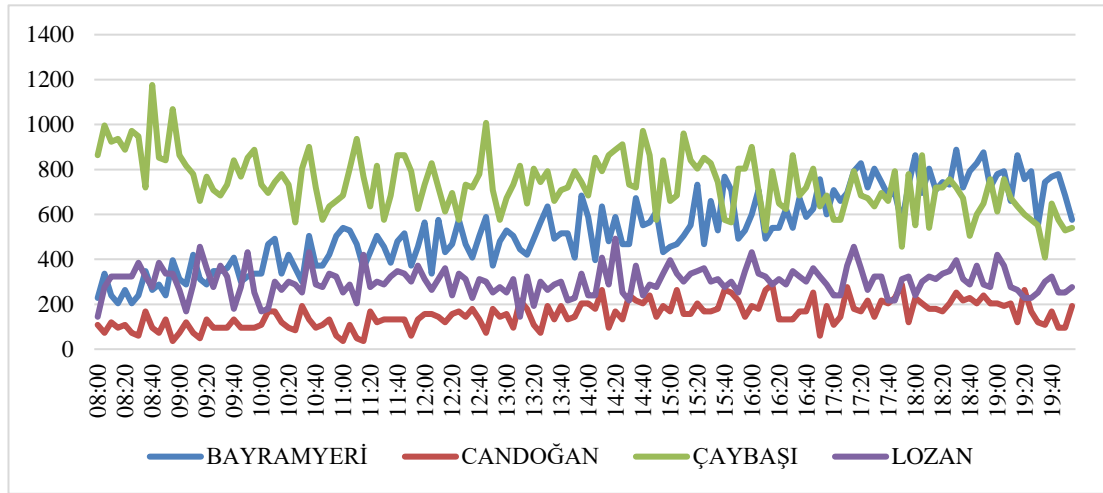
Şekil 5.21: Mimar Sinan Kavşağı doymun akım değerleri

#### 5.4 Mevcut Durum Analizi

Mimar Sinan Kavşağı mevcut durumda sabit devre süresi ile oynamaktadır. Kavşağın faz ve sinyal planlar trafik etütleri bölümünde gösterilmiştir. Çalışmada kavşak gecikmeleri Webster yöntemi ile hesaplanmıştır. Denklem 4.26'da verilen gecikme hesapları saatlik trafik hacimleri üzerinden gerçekleştiğinden 5'er dakikalık periyotlar ile yapılan sayımlar 12, 10'ar dakikalık periyotlar ile yapılan sayımlar 6 ve 15'er dakikalık periyotlar ile yapılan sayımlar 4 ile saatlik trafik hacim değerlerine çevrilmiştir. Daha önce de sayımlar 3 gün için gerçekleştiğinden, gecikme değerleri de aynı günler için hesaplanmıştır. Aşağıdaki tablolar ve şekiller de günlere göre 5'er, 10'ar ve 15'er dakikalık sayımların sırasıyla 12, 6 ve 4 ile genişletilmiş saatlik trafik hacimleri ve grafikleri gösterilmiştir. Genişletilmiş saatlik trafik hacimleri 3 gün için 5, 10 ve 15 dakikalık veri setleri halinde EK A'da detaylı olarak verilmiştir. Tablo 5.6 ve Şekil 5.22'de 1. günün 5 dakikalık trafik hacimleri gösterilmektedir.

**Tablo 5.6:** Mimar Sinan Kavşağı 1. gün saatlik trafik hacim değerleri (5 dk.) (tş/saat)

Zaman\Yön	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN
08:00:00	228	108	864	144
08:05:00	336	72	895	179
08:10:00	324	86	934	244
08:15:00	309	86	908	204
08:20:00	287	92	921	235
08:25:00	257	101	928	261
08:30:00	240	60	948	384
08:35:00	241	91	927	309
08:40:00	267	105	898	296
08:45:00	250	96	914	300
08:50:00	267	100	933	303
08:55:00	278	103	922	312
09:00:00	312	72	864	264
09:05:00	307	87	918	298
09:10:00	345	85	915	290
09:15:00	328	86	921	298
09:20:00	331	83	906	303
09:25:00	344	82	883	310
09:30:00	348	96	684	372
09:35:00	354	88	810	327
09:40:00	366	92	800	301
09:45:00	358	89	808	311
09:50:00	366	92	804	303
09:55:00	369	95	797	309
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

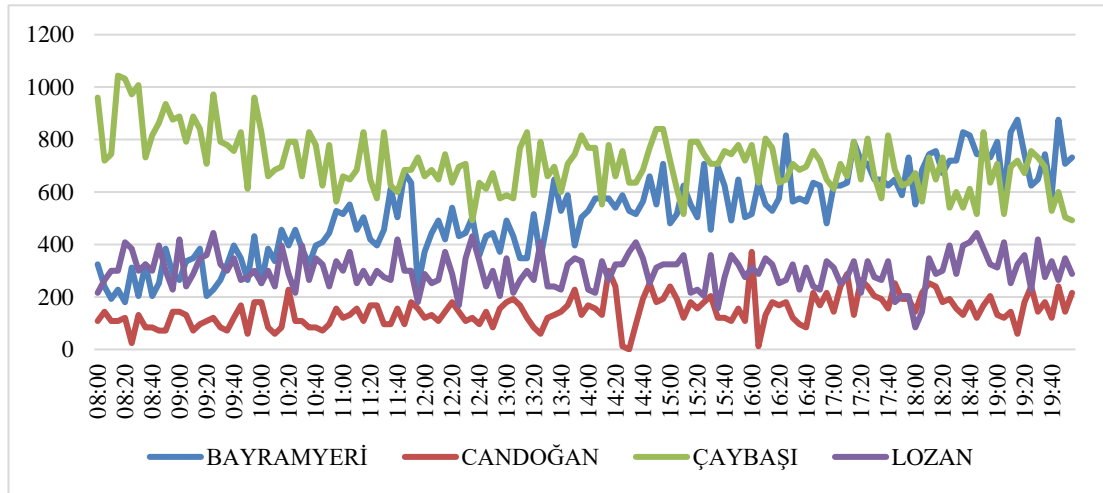


**Şekil 5.22:** Mimar Sinan kavşağı 1. gün saatlik trafik hacimleri (5 dk.) (tş/saat)

Tablo 5.7 ve Şekil 5.23'te 2. günün 5 dakikalık periyot aralıkları ile hesaplanan saatlik trafik hacimleri gösterilmektedir.

**Tablo 5.7:** Mimar Sinan Kavşağı 2. gün saatlik trafik hacim değerleri (5 dk.) (tş/saat)

Zaman\Yön	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN
08:00:00	324	108	960	216
08:05:00	240	144	720	264
08:10:00	192	108	744	300
08:15:00	228	108	1044	300
08:20:00	180	120	1032	408
08:25:00	312	24	972	384
08:30:00	204	132	1008	300
08:35:00	324	84	732	324
08:40:00	204	84	816	300
08:45:00	252	72	864	396
08:50:00	384	72	936	300
08:55:00	288	144	876	228
09:00:00	264	144	888	420
09:05:00	336	132	792	240
09:10:00	348	72	888	288
09:15:00	384	96	840	348
09:20:00	204	108	708	360
09:25:00	228	120	972	444
09:30:00	264	84	792	324
09:35:00	324	72	780	300
09:40:00	396	120	756	348
09:45:00	348	168	828	264
09:50:00	264	60	612	276
09:55:00	432	180	960	300
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

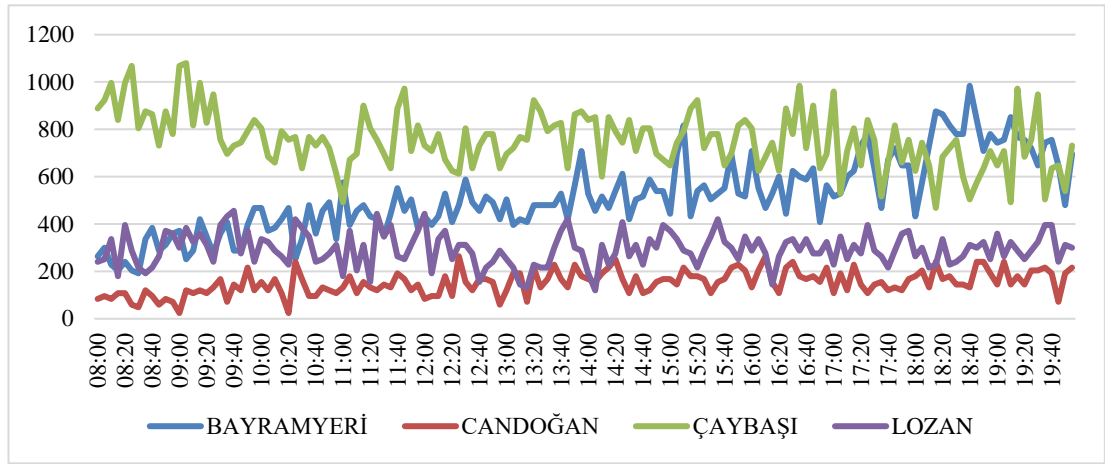


**Şekil 5.23:** Mimar Sinan kavşağı 2. gün saatlik trafik hacimleri (5 dk.) (tş/saat)

Tablo 5.8 ve Şekil 5.24’te 3. günün 5 dakikalık periyot aralıkları ile hesaplanan saatlik trafik hacimleri gösterilmektedir.

**Tablo 5.8:** Mimar Sinan Kavşağı 3. gün saatlik trafik hacim değerleri (5 dk.) (tş/saat)

Zaman\Yön	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN
08:00:00	264	84	888	240
08:05:00	300	96	924	252
08:10:00	228	84	996	336
08:15:00	204	108	840	180
08:20:00	240	108	996	396
08:25:00	204	60	1068	288
08:30:00	192	48	804	216
08:35:00	336	120	876	192
08:40:00	384	96	864	216
08:45:00	288	60	732	264
08:50:00	312	84	876	372
08:55:00	360	72	780	360
09:00:00	372	24	1068	300
09:05:00	252	120	1080	384
09:10:00	288	108	816	324
09:15:00	420	120	996	360
09:20:00	348	108	828	312
09:25:00	276	132	948	240
09:30:00	360	168	756	396
09:35:00	408	72	696	432
09:40:00	288	144	732	456
09:45:00	288	120	744	276
09:50:00	396	216	792	372
09:55:00	468	120	840	240
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

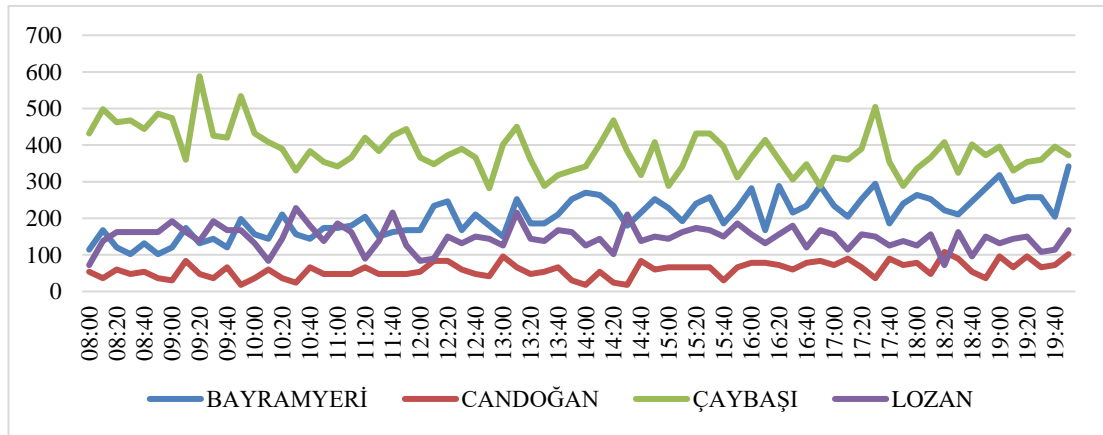


**Şekil 5.24:** Mimar Sinan kavşağı 3. gün saatlik trafik hacimleri (5 dk.) (tş/saat)

Tablo 5.9 ve Şekil 5.25'te 1. günün 10 dakikalık periyot aralıkları ile hesaplanan saatlik trafik hacimleri gösterilmektedir.

**Tablo 5.9:** Mimar Sinan kavşağı 1. gün saatlik trafik hacim değerleri (10 dk.) (tş/saat)

Zaman\Yön	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN
08:00:00	114	54	432	72
08:10:00	168	36	498	138
08:20:00	120	60	462	162
08:30:00	102	48	468	162
08:40:00	132	54	444	162
08:50:00	102	36	486	162
09:00:00	120	30	474	192
09:10:00	174	84	360	162
09:20:00	132	48	588	138
09:30:00	144	36	426	192
09:40:00	120	66	420	168
09:50:00	198	18	534	168
10:00:00	156	36	432	132
10:10:00	144	60	408	84
10:20:00	210	36	390	144
10:30:00	156	24	330	228
10:40:00	144	66	384	180
10:50:00	174	48	354	138
11:00:00	174	48	342	186
11:10:00	180	48	366	162
11:20:00	204	66	420	90
11:30:00	150	48	384	138
11:40:00	162	48	426	216
11:50:00	168	48	444	126
12:00:00	168	54	366	84
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

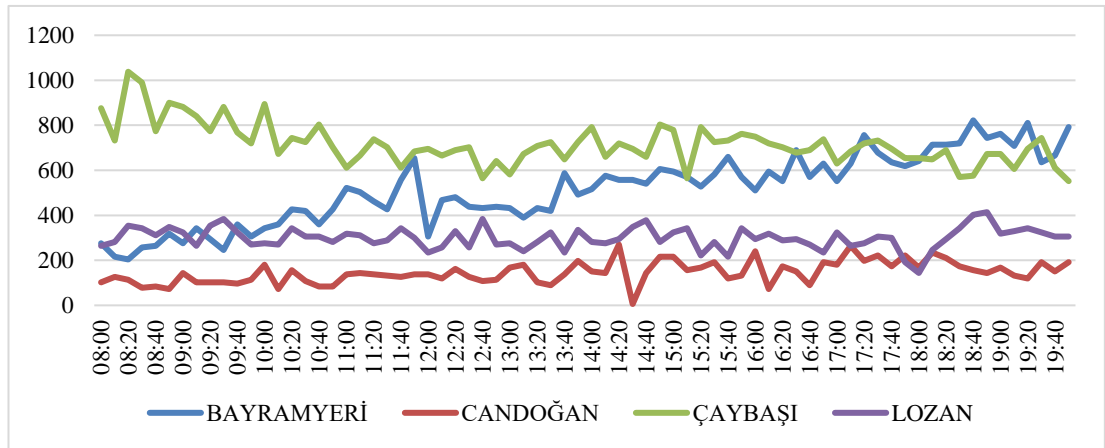


**Şekil 5.25:** Mimar Sinan kavşağı 1. gün saatlik trafik hacimleri (10 dk.) (tş/saat)

Tablo 5.10 ve Şekil 5.26’da 2. günün 10 dakikalık periyot aralıkları ile hesaplanan saatlik trafik hacimleri gösterilmektedir.

**Tablo 5.10:** Mimar Sinan kavşağı 2. gün saatlik trafik hacim değerleri (10 dk.) (tş/saat)

Zaman\Yön	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN
08:00:00	276	102	876	264
08:10:00	216	126	732	282
08:20:00	204	114	1038	354
08:30:00	258	78	990	342
08:40:00	264	84	774	312
08:50:00	318	72	900	348
09:00:00	276	144	882	324
09:10:00	342	102	840	264
09:20:00	294	102	774	354
09:30:00	246	102	882	384
09:40:00	360	96	768	324
09:50:00	306	114	720	270
10:00:00	342	180	894	276
10:10:00	360	72	672	270
10:20:00	426	156	744	342
10:30:00	420	108	726	306
10:40:00	360	84	804	306
10:50:00	426	84	702	282
11:00:00	522	138	612	318
11:10:00	504	144	666	312
11:20:00	462	138	738	276
11:30:00	426	132	702	288
11:40:00	558	126	612	342
11:50:00	654	138	684	300
12:00:00	306	138	696	234
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

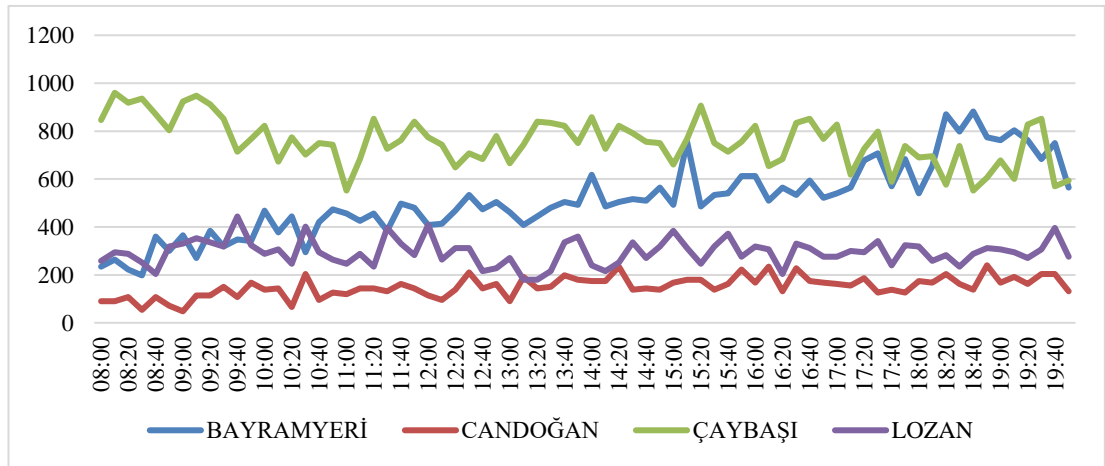


**Şekil 5.26:** Mimar Sinan kavşağı 2. gün saatlik trafik hacimleri (10 dk.) (tş/saat)

Tablo 5.11 ve Şekil 5.27’de 3. günün 10 dakikalık periyot aralıkları ile hesaplanan saatlik trafik hacimleri gösterilmektedir.

**Tablo 5.11:** Mimar Sinan Kavşağı 3. gün saatlik trafik hacim değerleri (10 dk.) (tş/saat)

Zaman\Yön	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN
08:00:00	234	90	846	258
08:10:00	264	90	960	294
08:20:00	222	108	918	288
08:30:00	198	54	936	252
08:40:00	360	108	870	204
08:50:00	300	72	804	318
09:00:00	366	48	924	330
09:10:00	270	114	948	354
09:20:00	384	114	912	336
09:30:00	318	150	852	318
09:40:00	348	108	714	444
09:50:00	342	168	768	324
10:00:00	468	138	822	288
10:10:00	378	144	672	306
10:20:00	444	66	774	246
10:30:00	294	204	702	402
10:40:00	420	96	750	294
10:50:00	474	126	744	264
11:00:00	456	120	552	246
11:10:00	426	144	684	288
11:20:00	456	144	852	234
11:30:00	384	132	726	396
11:40:00	498	162	762	330
11:50:00	480	144	840	282
12:00:00	408	114	774	408
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.



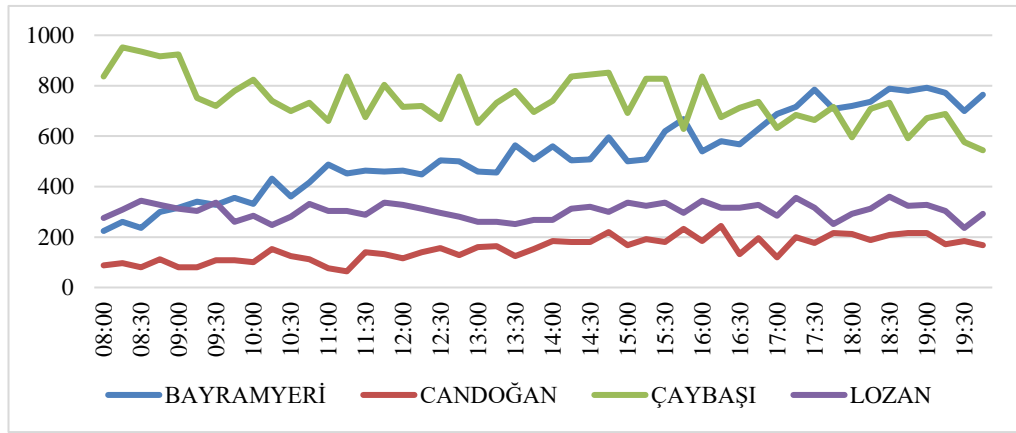
**Şekil 5.27:** Mimar Sinan kavşağı 3. gün saatlik trafik hacimleri (10 dk.) (tş/saat)

Tablo 5.12 ve Şekil 5.28’de 1. günün 15 dakikalık periyot aralıkları ile hesaplanan saatlik trafik hacimleri gösterilmektedir.



**Tablo 5.12:** Mimar Sinan Kavşağı 1. gün saatlik trafik hacim değerleri (15 dk.) (tş/saat)

Zaman\Yön	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN
08:00:00	224	88	836	276
08:15:00	260	96	952	308
08:30:00	236	80	936	344
08:45:00	300	112	916	328
09:00:00	316	80	924	312
09:15:00	340	80	752	304
09:30:00	328	108	720	336
09:45:00	356	108	780	260
10:00:00	332	100	824	284
10:15:00	432	152	740	248
10:30:00	360	124	700	280
10:45:00	416	112	732	332
11:00:00	488	76	660	304
11:15:00	452	64	836	304
11:30:00	464	140	676	288
11:45:00	460	132	804	336
12:00:00	464	116	716	328
12:15:00	448	140	720	312
12:30:00	504	156	668	296
12:45:00	500	128	836	280
13:00:00	460	160	652	260
13:15:00	456	164	732	260
13:30:00	564	124	780	252
13:45:00	508	152	696	268
14:00:00	560	184	740	268
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

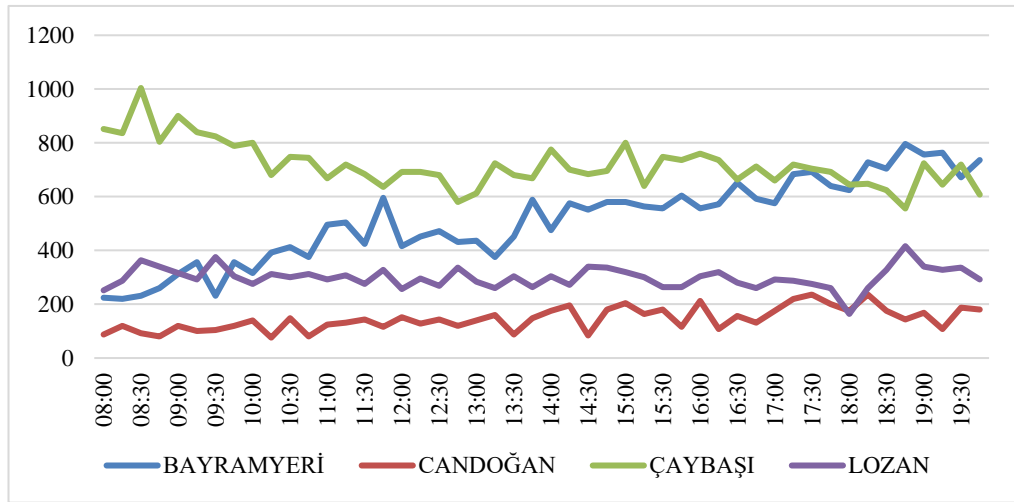


**Şekil 5.28:** Mimar Sinan kavşağı 1. gün saatlik trafik hacimleri (15 dk.) (tş/saat)

Tablo 5.13 ve Şekil 5.29’da 2. günün 15 dakikalık periyot aralıkları ile hesaplanan saatlik trafik hacimleri gösterilmektedir.

**Tablo 5.13:** Mimar Sinan Kavşağı 2. gün saatlik trafik hacim değerleri (15 dk.) (tş/saat)

Zaman\Yön	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN
08:00:00	224	88	852	252
08:15:00	220	120	836	288
08:30:00	232	92	1004	364
08:45:00	260	80	804	340
09:00:00	312	120	900	316
09:15:00	356	100	840	292
09:30:00	232	104	824	376
09:45:00	356	120	788	304
10:00:00	316	140	800	276
10:15:00	392	76	680	312
10:30:00	412	148	748	300
10:45:00	376	80	744	312
11:00:00	496	124	668	292
11:15:00	504	132	720	308
11:30:00	424	144	684	276
11:45:00	596	116	636	328
12:00:00	416	152	692	256
12:15:00	452	128	692	296
12:30:00	472	144	680	268
12:45:00	432	120	580	336
13:00:00	436	140	612	284
13:15:00	376	160	724	260
13:30:00	452	88	680	304
13:45:00	588	148	668	264
14:00:00	476	176	776	304
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

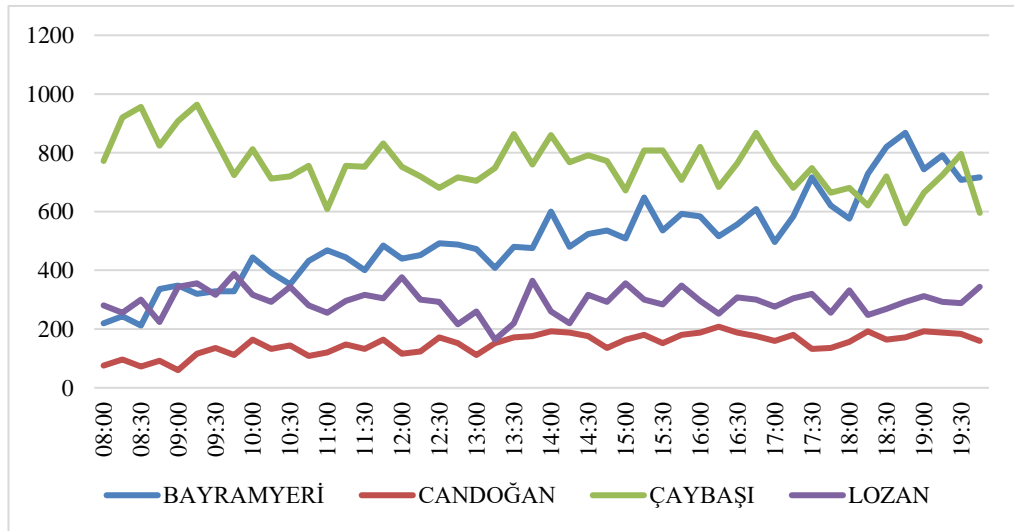


**Şekil 5.29:** Mimar Sinan kavşağı 2. gün saatlik trafik hacimleri (15 dk.) (tş/saat)

Tablo 5.14 ve Şekil 5.30’da 3. günün 15 dakikalık periyot aralıkları ile hesaplanan saatlik trafik hacimleri gösterilmektedir.

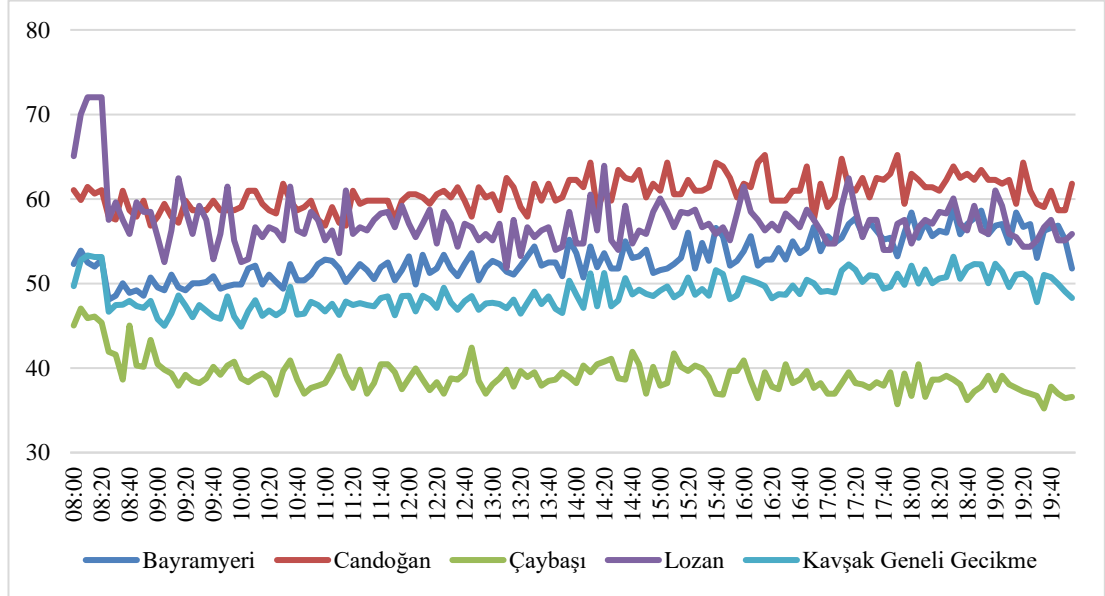
**Tablo 5.14:** Mimar Sinan Kavşağı 3. gün saatlik trafik hacim değerleri (15 dk.) (tş/saat)

Zaman\Yön	BAYRAMYERİ	CANDOĞAN	ÇAYBAŞI	LOZAN
08:00:00	220	76	772	280
08:15:00	244	96	920	256
08:30:00	212	72	956	300
08:45:00	336	92	824	224
09:00:00	348	60	908	344
09:15:00	320	116	964	356
09:30:00	328	136	844	316
09:45:00	328	112	724	388
10:00:00	444	164	812	316
10:15:00	392	132	712	292
10:30:00	352	144	720	344
10:45:00	432	108	756	280
11:00:00	468	120	608	256
11:15:00	444	148	756	296
11:30:00	400	132	752	316
11:45:00	484	164	832	304
12:00:00	440	116	752	376
12:15:00	452	124	720	300
12:30:00	492	172	680	292
12:45:00	488	152	716	216
13:00:00	472	112	704	260
13:15:00	408	152	748	164
13:30:00	480	172	864	220
13:45:00	476	176	760	364
14:00:00	600	192	860	260
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

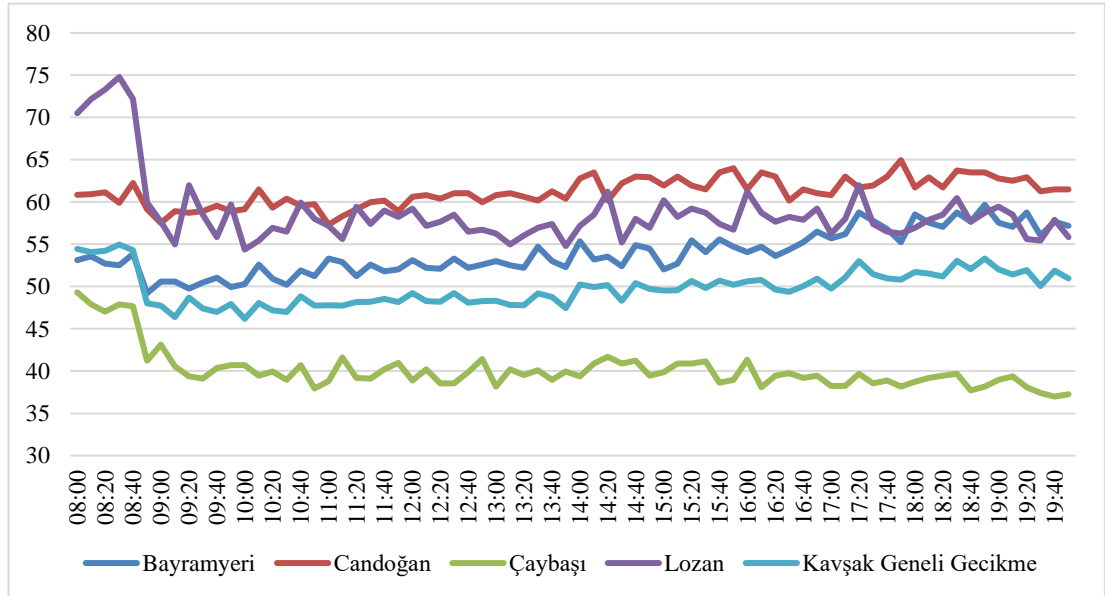


**Şekil 5.30:** Mimar Sinan kavşağı 3. gün saatlik trafik hacimleri (15 dk.) (tş/saat)

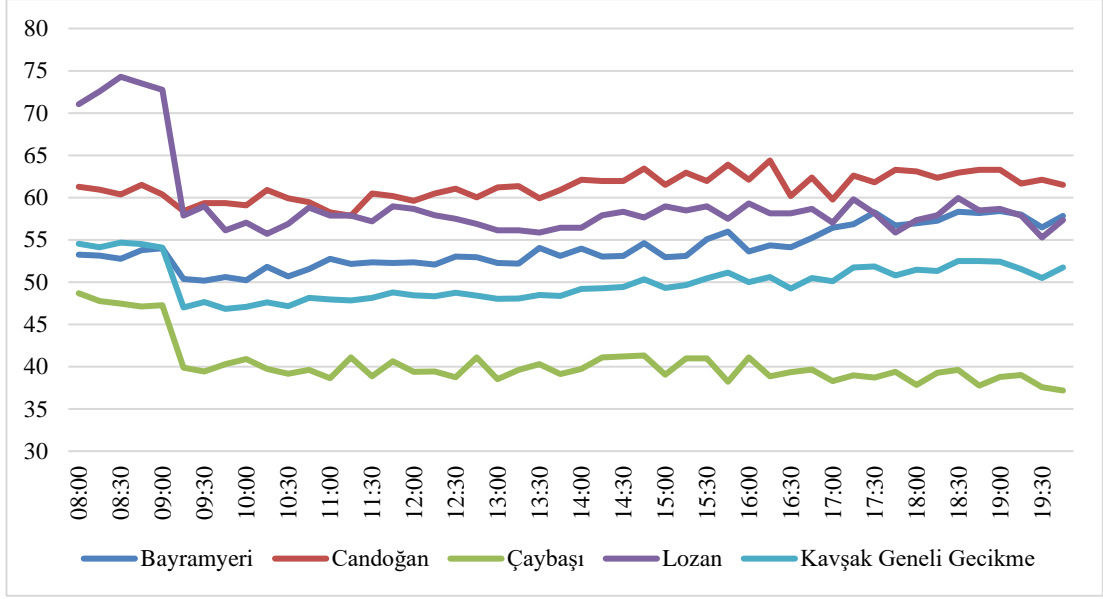
1. gün trafik hacim değerleri ile doymun akım hesabında açıklanan kapasite değerleri baz alınarak kavşak geneli ve kavşak yaklaşım kollarındaki taşıt gecikmeleri Şekil 5.31 – Şekil 5.33'te gösterilmiştir. Lozan ve Candoğan geliş kolları tek şerit olması ve devre süresi nedeniyle yan kolların gecikme değerleri Bayramyeri ve Çaybaşı kollarına göre yüksek çıkmaktadır.



Şekil 5.31: 1. gün saatlik trafik hacimlerine göre mevcut gecikme analiz sonuçları (5 dk.)

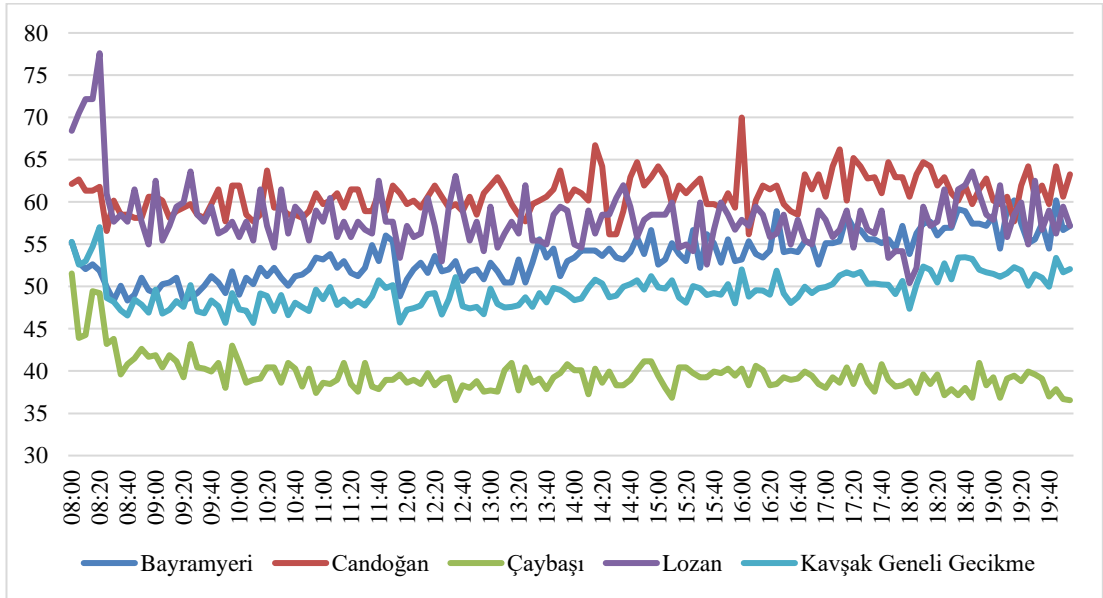


Şekil 5.32: 1. gün saatlik trafik hacimlerine göre mevcut gecikme analiz sonuçları (10 dk.)

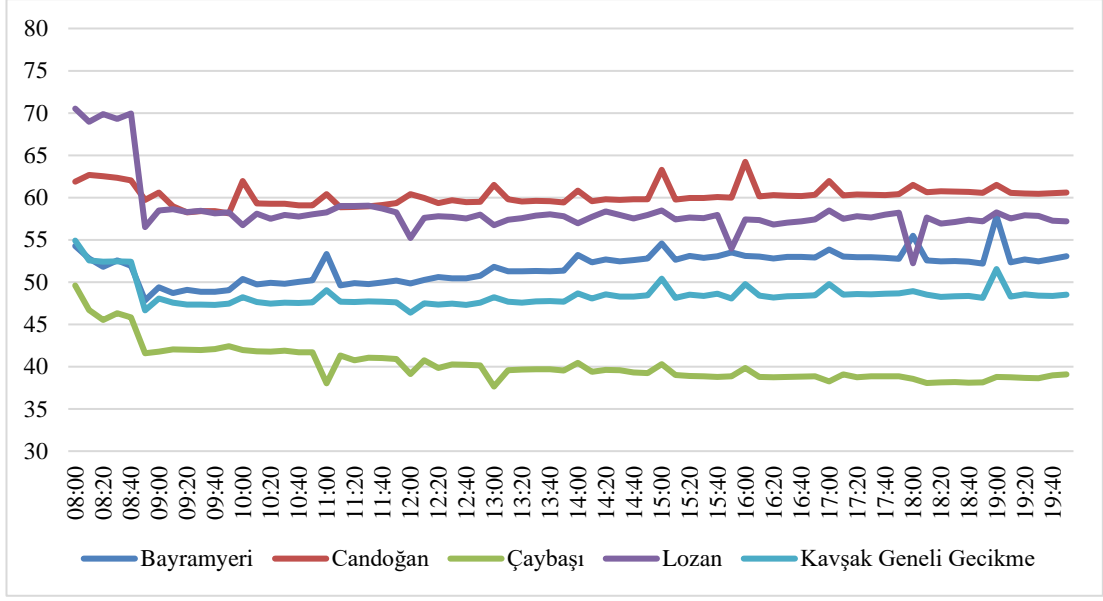


Şekil 5.33: 1. gün saatlik trafik hacimlerine göre mevcut gecikme analiz sonuçları (15 dk.)

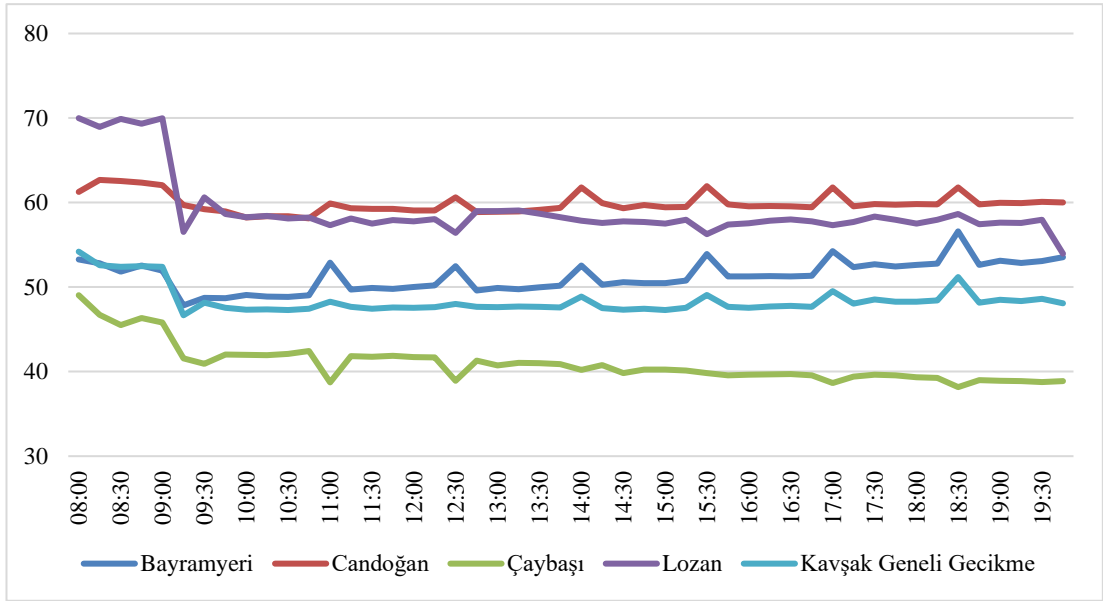
2. gün trafik hacim değerleri ile doygun akım hesabında açıklanan kapasite değerleri baz alınarak kavşak geneli kavşak geneli ve yaklaşım kollarındaki taşıt gecikmeleri Şekil 5.34 – Şekil 5.36’da gösterilmiştir. Lozan ve Candoğan geliş kolları tek şerit olması ve devre süresi nedeniyle yan kolların gecikme değerleri Bayramyeri ve Çaybaşı kollarına göre yüksek çıkmaktadır.



Şekil 5.34: 2. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (5 dk.)

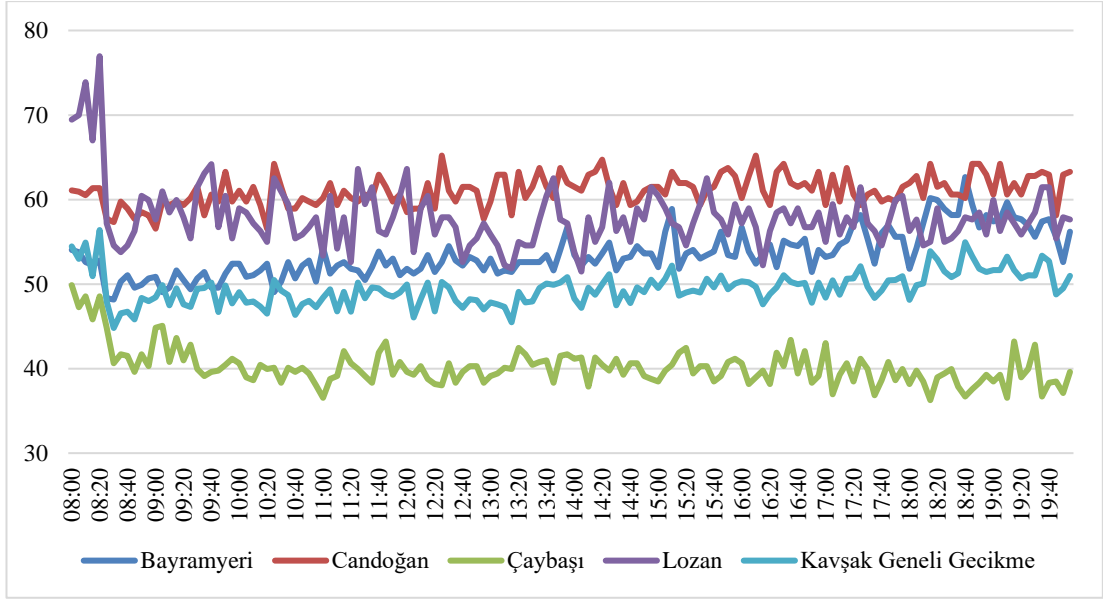


Şekil 5.35: 2. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (10 dk.)

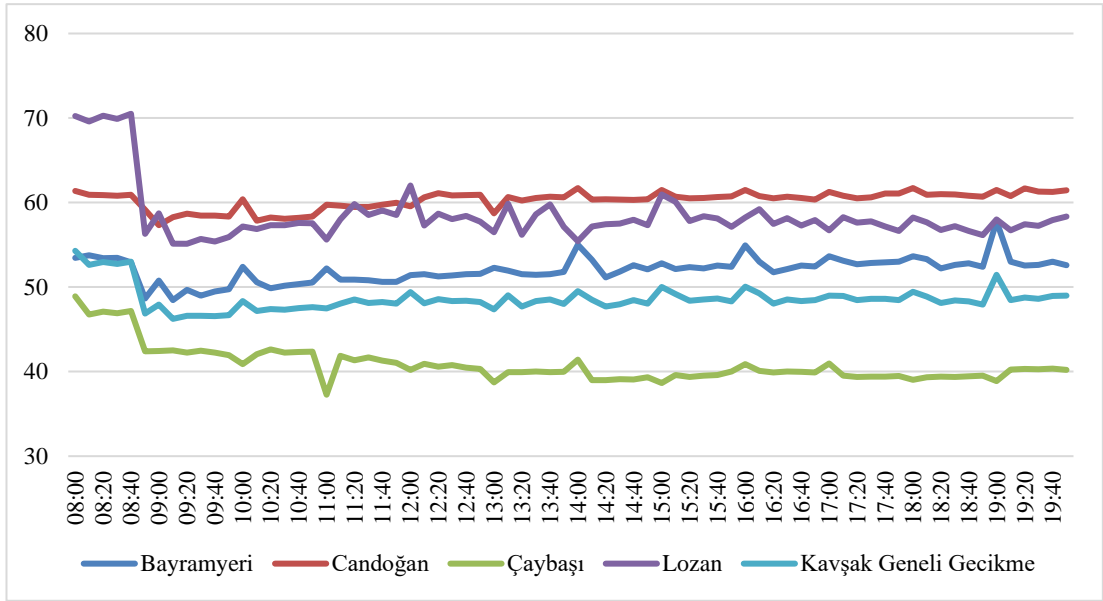


Şekil 5.36: 2. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (15 dk.)

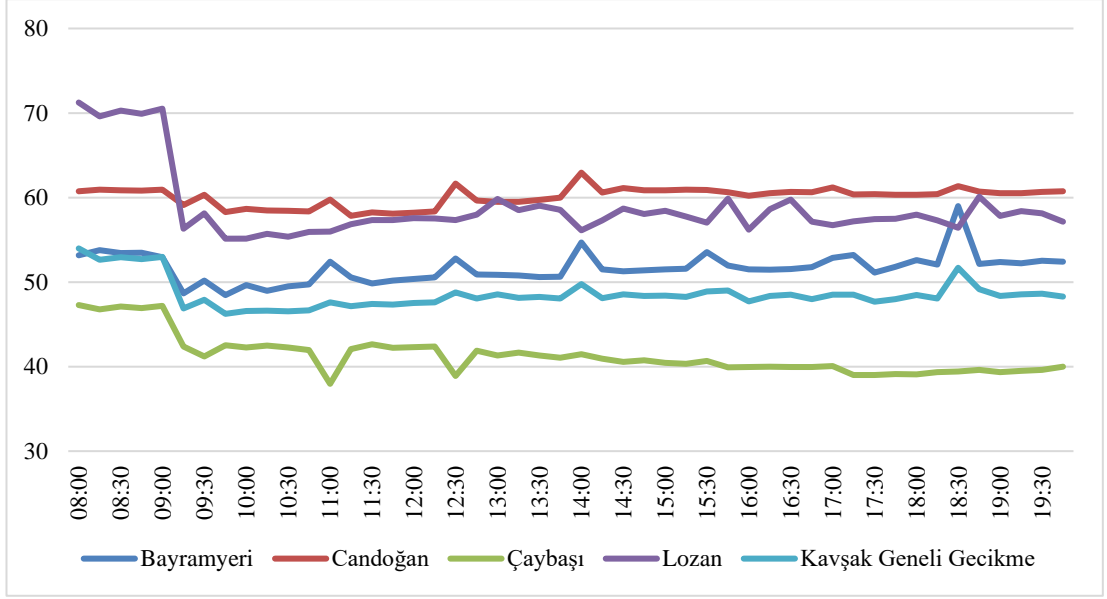
3. gün trafik hacim değerleri ile doymun akım hesabında açıklanan kapasite değerleri baz alınarak kavşak geneli kavşak geneli ve yaklaşım kollarındaki taşıt gecikmeleri Şekil 5.37 – Şekil 5.39’da gösterilmiştir. Lozan ve Candoğan geliş kolları tek şerit olması ve devre süresi nedeniyle yan kolların gecikme değerleri Bayramyeri ve Çaybaşı kollarına göre yüksek çıkmaktadır.



Şekil 5.37: 3. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (5 dk.)



Şekil 5.38: 3. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (10 dk.)



Şekil 5.39: 3. gün trafik hacim değerlerine göre gecikme analiz sonuçları (15 dk.)

Kavşakta görüldüğü üzere her gün için Bayramyeri ve Çaybaşı geliş kolları, Lozan ve Candoğan kollarına göre daha fazla araç hacmi gelmektedir. Kavşak geneli mevcut durum değerlerine bakılarak yapılan ortalama kavşak gecikme değerleri Tablo 5.15’te gösterilmektedir.

Tablo 5.15: Kavşak mevcut durum ortalama gecikme analiz değerleri (sn/taşıt)

Gün	Periyot	Sabah Zirve	Zirve Dışı	Akşam Zirve
1. gün	5 dk.	49,4	49	51,6
	10 dk.	51	48,8	51,7
	15 dk.	52,3	48,8	51,5
2. gün	5 dk.	49,6	48,8	51,2
	10 dk.	51	48,8	51,5
	15 dk.	51,2	47,6	48,6
3. gün	5 dk.	49,3	48,8	51
	10 dk.	49,9	48,3	48,7
	15 dk.	51,4	47,9	48,6

Kavşak yaklaşım kollarının her gün için 5, 10 ve 15 dakikalık veri setleri baz alınarak yapılan gecikme analizlerine bakıldığında ise Lozan ve Candoğan kollarının gecikme değerleri, Bayramyeri ve Çaybaşı kollarının gecikme değerlerine göre daha fazla hesaplanmaktadır. Bunun temel sebepleri kavşağın ana akım yaklaşım kollarına yeşil sürelerin daha fazla verilmesi ve yan kolların (Lozan ve Candoğan) tek şeritli olmasıdır. Gelecek bölümde veri setleri baz alınarak yapılan kısa zamanlı trafik tahminleri ve tahmin sonuçlarının karşılaştırılması gösterilmiştir.



## 5.5 Kısa Zamanlı Trafik Tahminleri

### 5.5.1 ARIMA Metodu

Box-Jenkins yaklaşımı olarak da bilinen ARIMA zaman serisi modeli, zaman serisi analizinde en sık kullanılan tahmin yöntemlerinden birisidir.

ARIMA modelinin belirlenebilmesi için öncelikle zaman serilerinin durağan olup olmadığı kontrol edilmiştir. Yaklaşım kollarından elde edilen 5, 10 ve 15 dakikalık verilere birim kök testi uygulanarak durağanlık belirlenmiştir. Birim kök testi ile durağanlık analizi için KPSS testi ve Dickey-Fuller testi kullanılmıştır. KPSS testinde, sıfır hipotezi verilerin durağan olduğu ve sıfır hipotezinin yanlış olduğuna dair kanıtlar araştırılmıştır. KPSS testinde hesaplanan p değeri alfa (0,05) değerinden küçük olması durumunda zaman serisi alternatif hipotez kabul edilir, seri durağan değildir. P değerinin büyük olması durumunda sıfır hipotezi kabul edilir, seri durağandır. Dickey-Fuller testinde ise sıfır hipotezi zaman serisinin durağan olmadığını ve alternatif hipotezi zaman serisinin durağan olduğunu göstermektedir. Hesaplanan p değerinin belirlenen alfa (0,05) anlamlılık seviyesinden büyük olması sıfır hipotezi kabul edilir, serinin durağan değildir. Küçük olması durumunda alternatif hipotez kabul edilir, seri durağandır. Yapılan birim kök testi analizi sonucu kavşak yaklaşım kollarından elde edilen verilerin durağan olmadığı gözlemlenmiştir. Tablo 5.16 – Tablo 5.17’de yaklaşım kollarının her gün için Dickey-Fuller ve KPSS testlerinin p değerleri verilmiş ve p değerlerine göre durağanlıkları belirlenmiştir.

**Tablo 5.16:** 1. gün için yaklaşım kollarının birim kök analiz sonuçları

	Dickey-Fuller (p değeri)	KPSS (p değeri)	Durağanlık
Bayramyeri 5 dk.	0,174	< 0,0001	Durağan değil.
Bayramyeri 10 dk.	0,289	< 0,0001	Durağan değil.
Bayramyeri 15 dk.	0,219	< 0,0001	Durağan değil.
Candoğan 5 dk.	0,185	< 0,0001	Durağan değil.
Candoğan 10 dk.	0,390	< 0,0001	Durağan değil.
Candoğan 15 dk.	0,394	< 0,0001	Durağan değil.
Çaybaşı 5 dk.	0,124	< 0,0001	Durağan değil.
Çaybaşı 10dk.	0,221	< 0,0001	Durağan değil.
Çaybaşı 15 dk.	0,260	< 0,0001	Durağan değil.

<b>Lozan 5 dk.</b>	0,156	< 0,0001	Durağan değil.
<b>Lozan 10 dk.</b>	0,183	< 0,0001	Durağan değil.
<b>Lozan 15 dk.</b>	0,193	< 0,0001	Durağan değil.

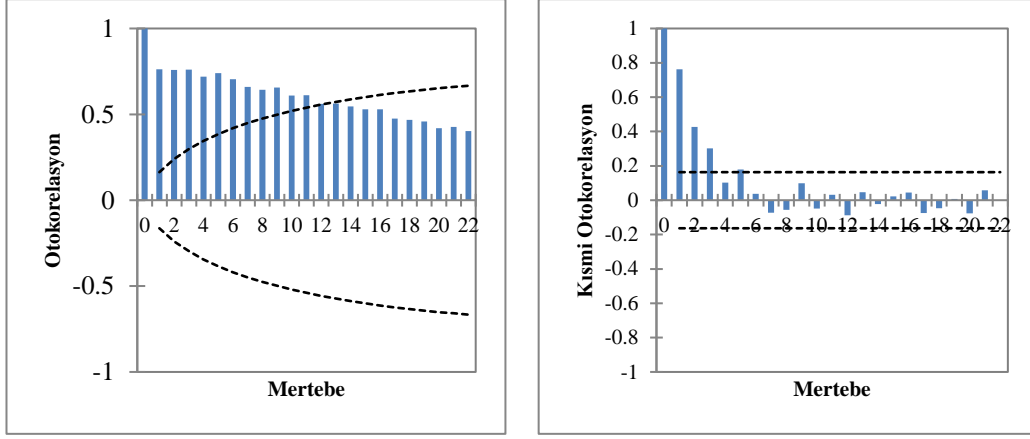
**Tablo 5.17:** 2. gün için yaklaşım kollarının birim kök analiz sonuçları

	Dickey-Fuller (p değeri)	KPSS (p değeri)	Durağanlık
<b>Bayramyeri 5 dk.</b>	0,119	< 0,0001	Durağan değil.
<b>Bayramyeri 10 dk.</b>	0,256	< 0,0001	Durağan değil.
<b>Bayramyeri 15 dk.</b>	0,118	< 0,0001	Durağan değil.
<b>Candoğan 5 dk.</b>	0,002	< 0,0001	Durağan değil.
<b>Candoğan 10 dk.</b>	0,350	< 0,0001	Durağan değil.
<b>Candoğan 15 dk.</b>	0,162	< 0,0001	Durağan değil.
<b>Çaybaşı 5dk.</b>	0,115	< 0,0001	Durağan değil.
<b>Çaybaşı 10dk.</b>	0,291	< 0,0001	Durağan değil.
<b>Çaybaşı 15dk.</b>	0,466	< 0,0001	Durağan değil.
<b>Lozan 5dk.</b>	0,005	0,453	Durağan.
<b>Lozan 10dk.</b>	0,018	0,484	Durağan.
<b>Lozan 15dk.</b>	0,123	< 0,0001	Durağan değil.

Tablo 5.16 ve Tablo 5.17’de görüldüğü gibi yaklaşım kollarının birim kök analiz testlerinde genel olarak durağan olmadığı gözlenmiştir. Bu sebepten dolayı serilerin durağanlığa ulaşabilmesi için d değeri kullanılacaktır.

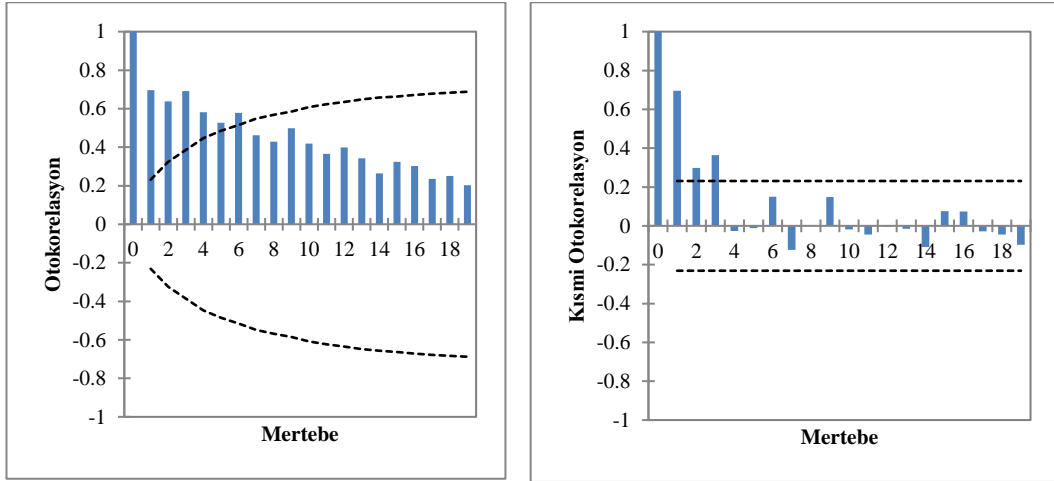
Modeli belirleme aşamasında tahmin edilen otokorelasyon (ACF) ve kısmi otokorelasyon (PACF) fonksiyonlarına dayanarak örneklem verileri için deneme niteliğinde bir ARIMA modeli belirlenir. Her bir yaklaşım kolu için ACF ve PACF grafikleri incelenerek model belirlenmesi yapılmıştır.

Bayramyeri geliş kolunun otokorelasyon grafiğinde gecikme sayısına bağlı olarak ağır bir düşüş sergilediğini ve mevsimsellik içermediğini, kısmi otokorelasyon grafiğinde ise seriye ait kısmi otokorelasyon değerleri, 3. gecikmeden sonra hızlı bir düşüşle güven aralığı içerisinde kaldığı görülmüştür. (bkz. Şekil 5.40)



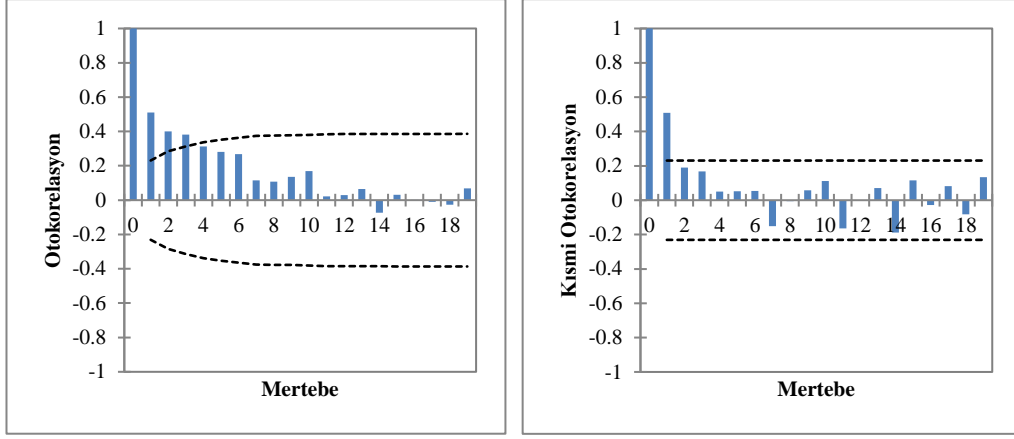
**Şekil 5.40:** Bayramyeri geliş kolunun otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerleri

Candoğan geliş kolunun otokorelasyon grafiğinde gecikme sayısına bağlı olarak ağır bir düşüş sergilediğini ve mevsimsellik içermediğini, kısmi otokorelasyon grafiğinde ise seriyeye ait kısmi otokorelasyon değerleri, 3. gecikmeden sonra hızlı bir düşüşle güven aralığı içerisinde kaldığı görülmüştür. (bkz. Şekil 5.41)



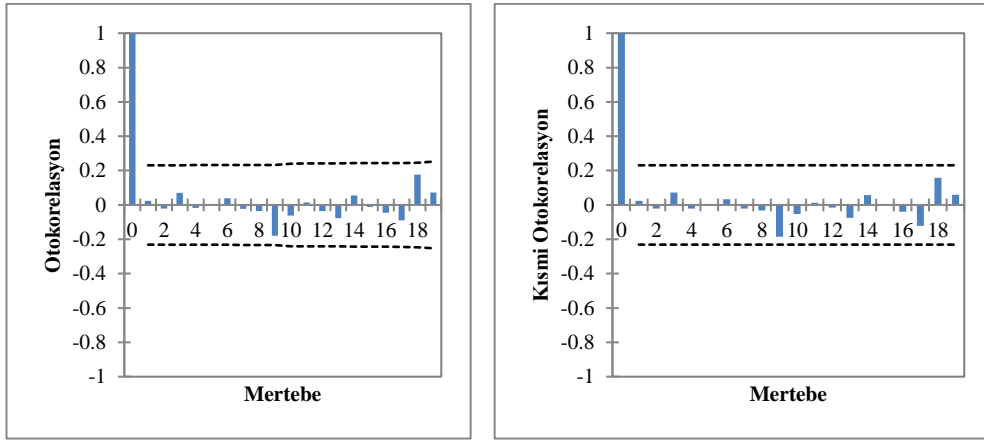
**Şekil 5.41:** Candoğan geliş kolunun otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerleri

Çaybaşı geliş kolunun otokorelasyon grafiğinde gecikme sayısına bağlı olarak ağır bir düşüş sergilediğini ve mevsimsellik içermediğini, kısmi otokorelasyon grafiğinde ise, 1. gecikmeden sonra hızlı bir düşüşle güven aralığı içerisinde kaldığı görülmüştür. (bkz. Şekil 5.42)



Şekil 5.42: Çaybaşı geliş kolunun otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerleri

Lozan geliş kolunun otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafiğinde gecikme değerleri güven aralığı içerisinde görülmektedir. (bkz. Şekil 5.43)



Şekil 5.43: Lozan geliş kolunun otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerleri

Teorik çerçevesi sunulan yöntem dahilinde zaman serisi verileri için, en uygun ARIMA modelleri belirlenmeye çalışılmış ve tahmin modelinin parametreleri hesaplanmıştır. Uygun modelin belirlenmesi birçok modelin denenmesini gerektirmektedir. Modelin belirlenmesi aşamasında ACF ve PACF grafiklerinden de faydalanılmış, her bir yaklaşım kolu için farklı ARIMA modeli hesaplanmıştır. Modeller arasında kıyaslama yapılabilmesi için (RMSE), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve Akaike kriterlerine (AIC) bakılmıştır. Bayramyeri, Candoğan ve Çaybaşı geliş kollarının zaman serilerinde kısmi otokorelasyon 3. gecikmeden sonra sifıra yaklaştığından ve verilerin otokorelasyon grafiğinde ağır bir düşüş izlendiğinden durağanlık olmadığı için AR(3) ve MA(3) modelinin uygun olduğu düşünülmüştür.

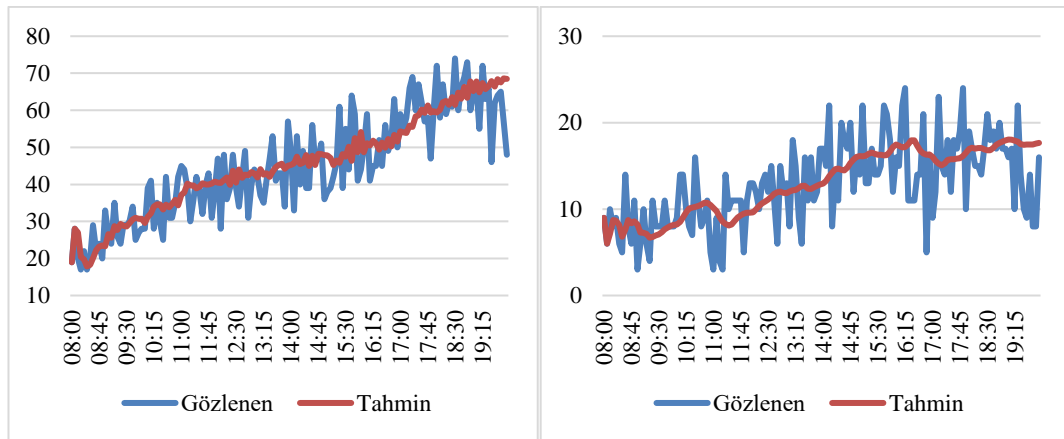
Lozan geliş kolu için kısmi korelasyonu güven aralığı arasında kaldığından MA(1), AR(3) değerleri uygun görülmüştür. (bkz. Tablo 5.18)

**Tablo 5.18:** Kavşak yaklaşım kollarının p,d,q değerleri

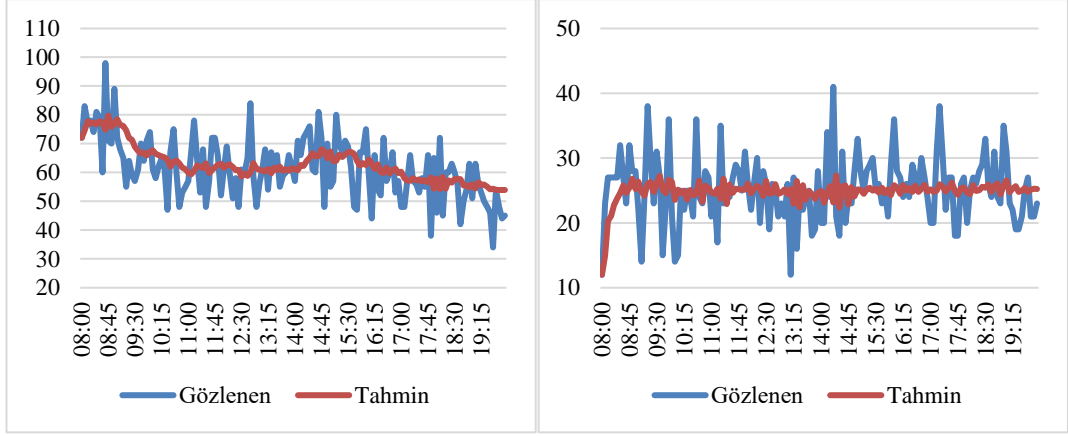
	ARIMA (p,d,q)
Bayramyeri 5 dk.	(3,2,3)
Bayramyeri 10 dk.	(3,2,3)
Bayramyeri 15 dk.	(3,2,3)
Candoğan 5 dk.	(3,2,3)
Candoğan 10 dk.	(3,2,3)
Candoğan 15 dk.	(3,2,3)
Çaybaşı 5dk.	(3,1,3)
Çaybaşı 10dk.	(3,1,3)
Çaybaşı 15dk.	(3,1,3)
Lozan 5dk.	(3,1,1)
Lozan 10dk.	(3,1,1)
Lozan 15dk.	(3,1,1)

Otokorelasyon grafikleri ve denemeler sonucu elde edilen ARIMA modellerine göre tahmin sonuçları 1. gün, 2. gün ve 3. gün için geliş kollarına göre değerleri EK B'de verilmiştir. ARIMA tahminleme modeli için XLSTAT programından faydalanılmıştır.

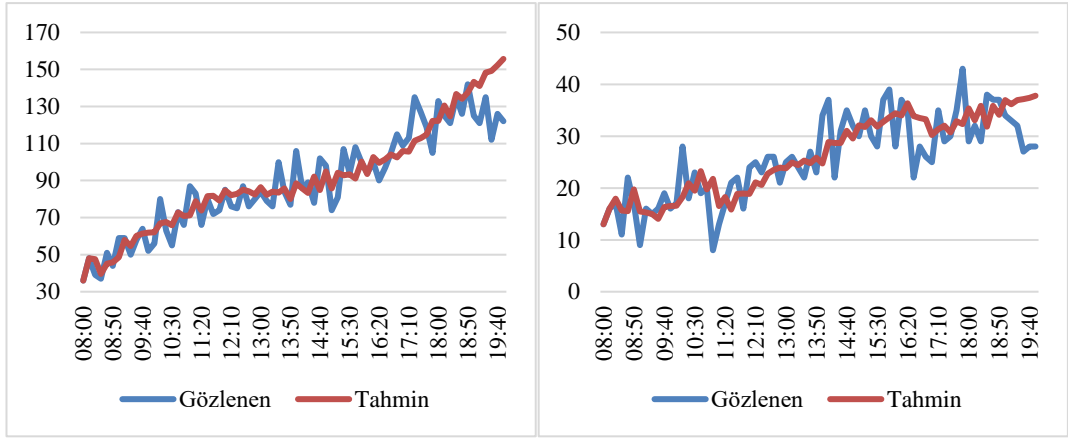
ARIMA modelinin 1. gün 5, 10 ve 15'er dakikalık veri setlerinin tahmin sonuçları her bir yaklaşım kolu için hesaplanarak Şekil 5.44 – Şekil 5.49 arasında gösterilmiştir.



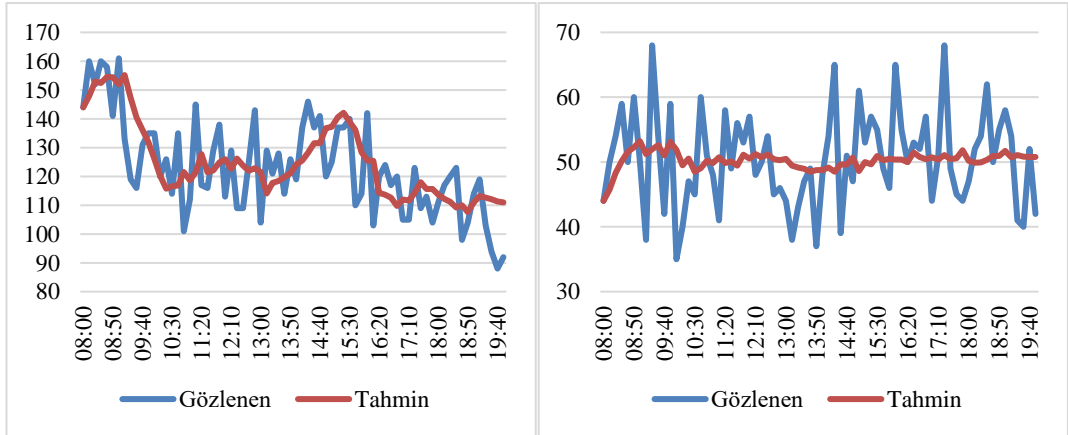
**Şekil 5.44:** 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini



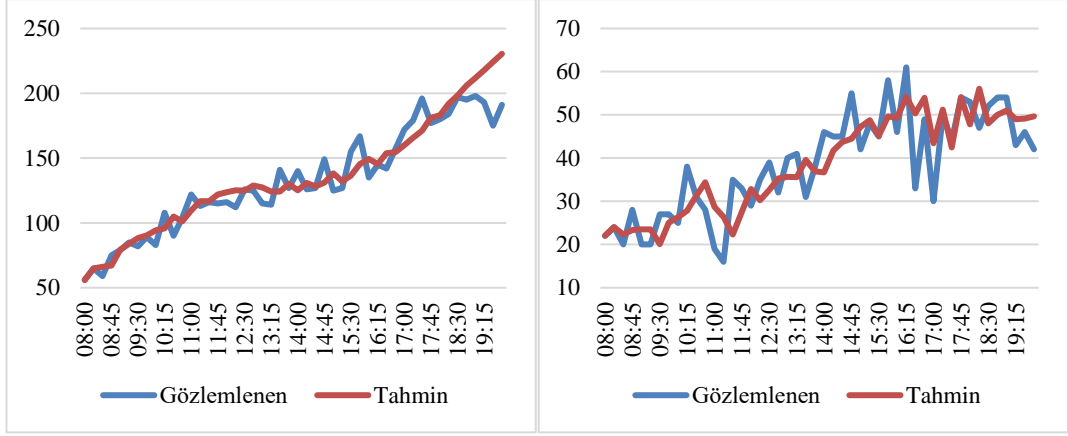
Şekil 5.45: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini



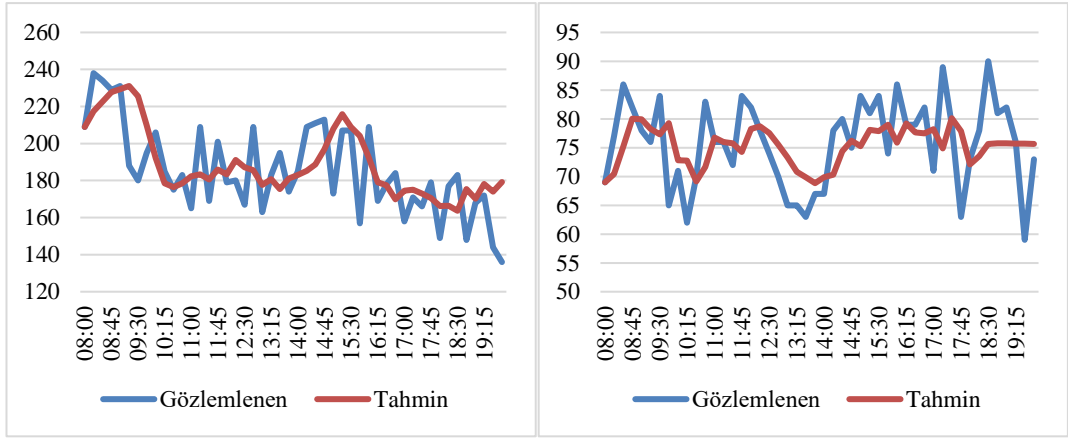
Şekil 5.46: 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini



Şekil 5.47: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini

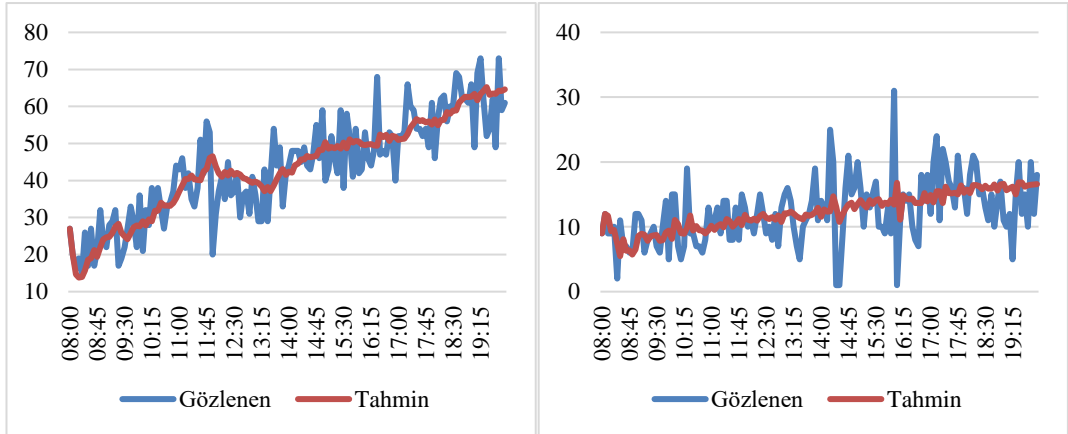


Şekil 5.48: 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini

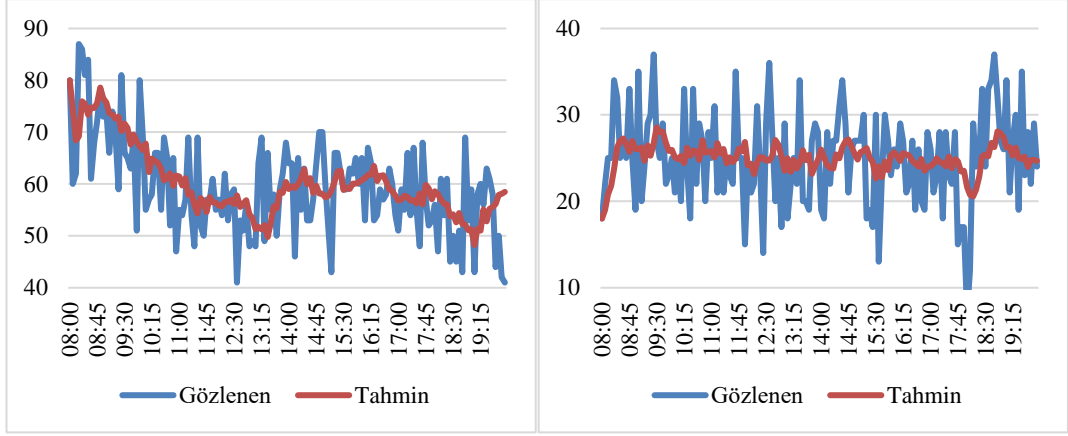


Şekil 5.49: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini

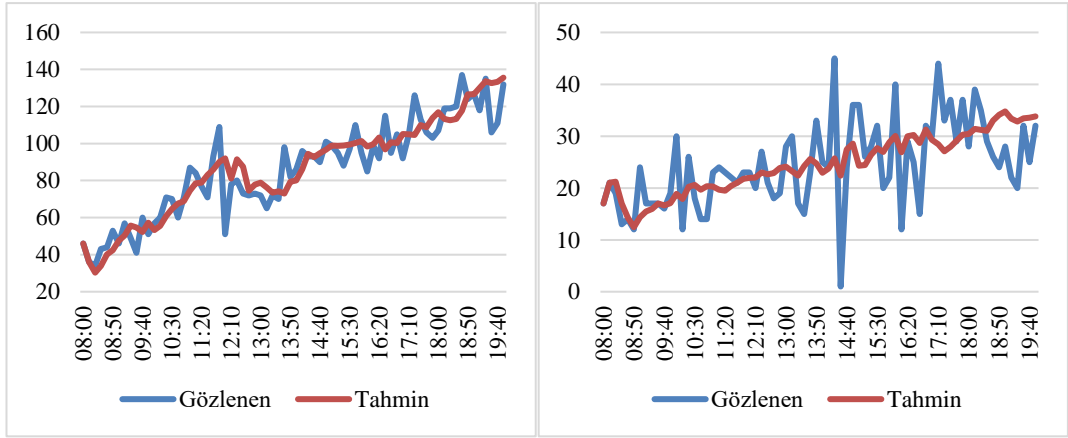
ARIMA modelinin 2. gün 5, 10 ve 15'er dakikalık veri setlerinin tahmin sonuçları her bir yaklaşım kolu için hesaplanarak Şekil 5.50 – Şekil 5.55 arasında gösterilmiştir.



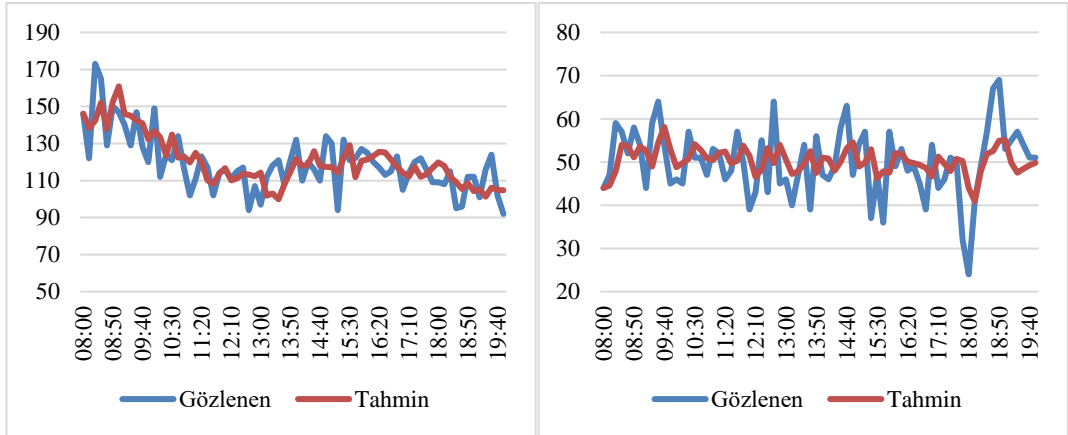
Şekil 5.50: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini



Şekil 5.51: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini

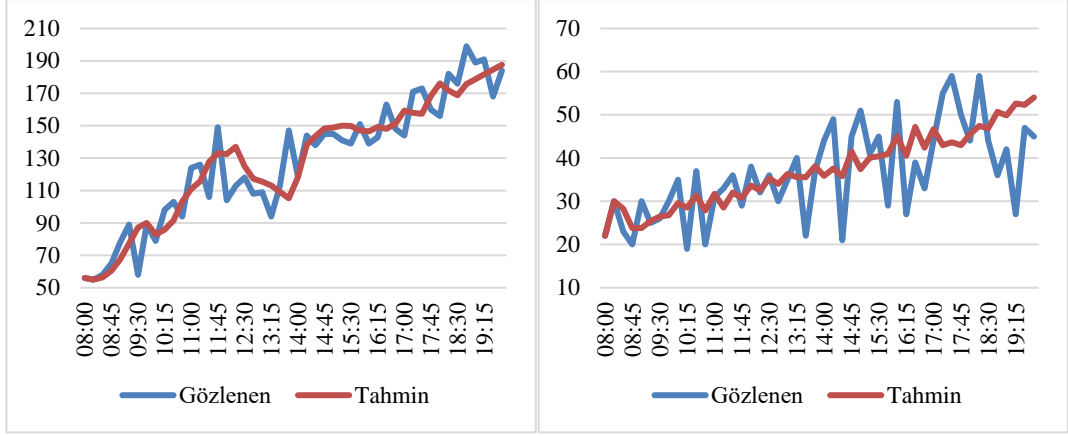


Şekil 5.52: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini

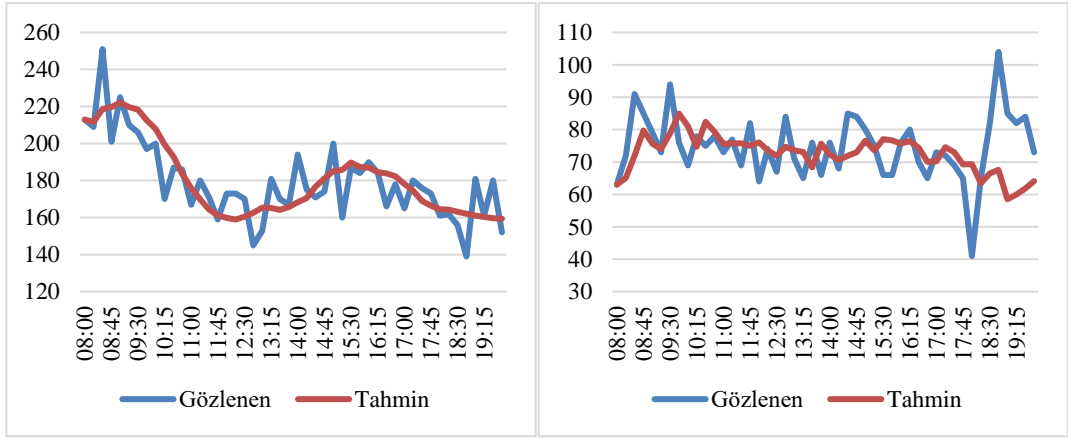


Şekil 5.53: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini



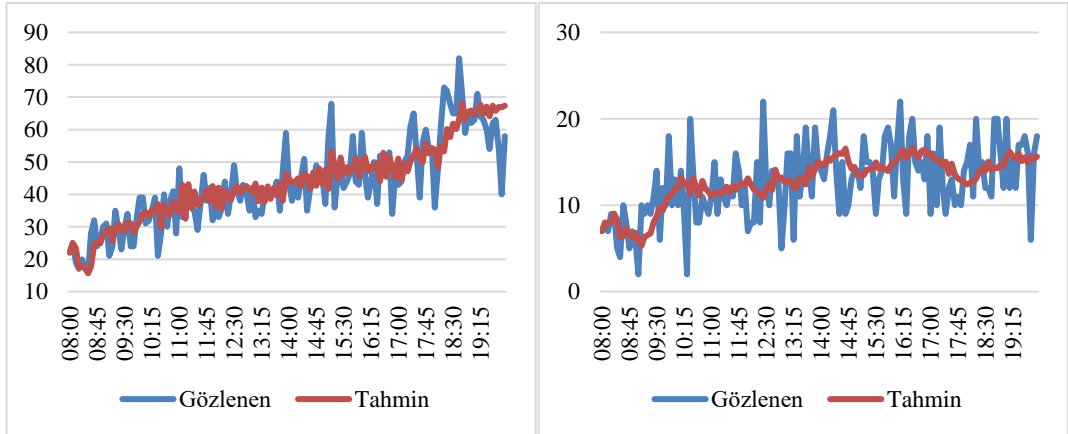


Şekil 5.54: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini

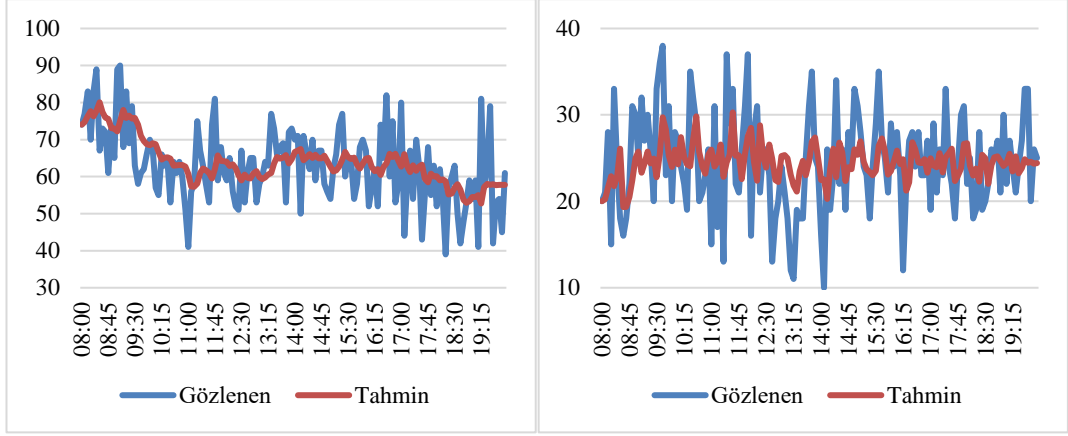


Şekil 5.55: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini

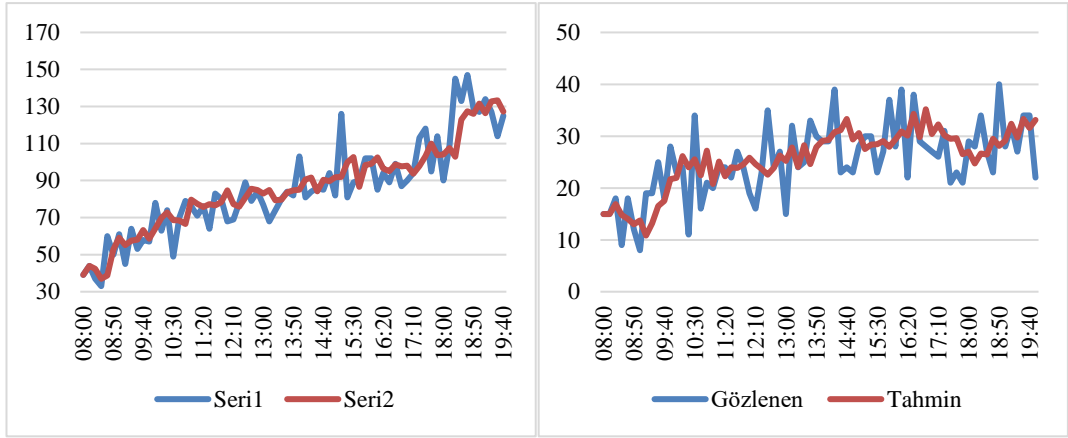
ARIMA modelinin 3. gün 5, 10 ve 15'er dakikalık veri setlerinin tahmin sonuçları her bir yaklaşım kolu için hesaplanarak Şekil 5.56 – Şekil 5.61 arasında gösterilmiştir.



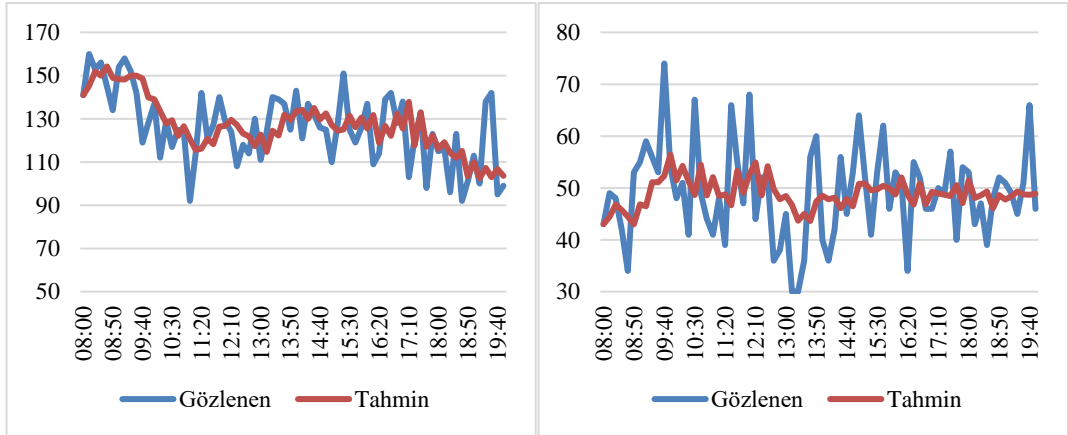
Şekil 5.56: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini



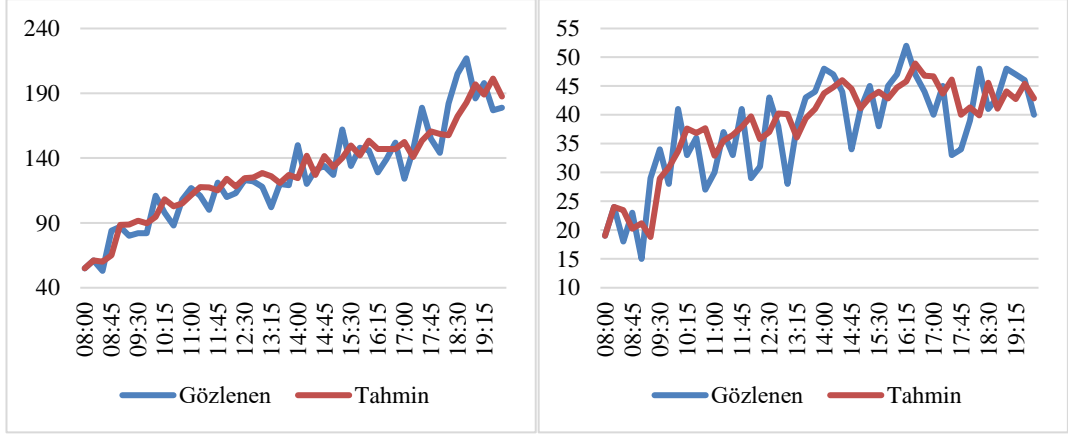
Şekil 5.57: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini



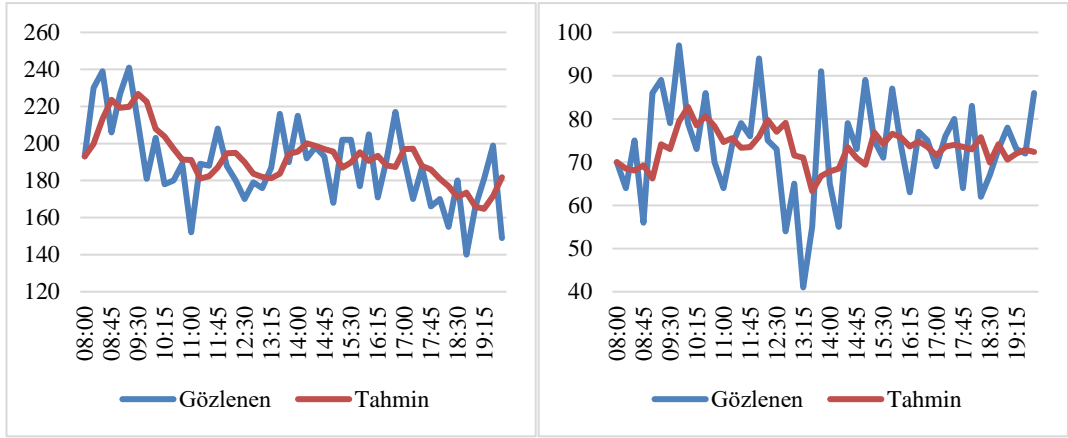
Şekil 5.58: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini



Şekil 5.59: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini



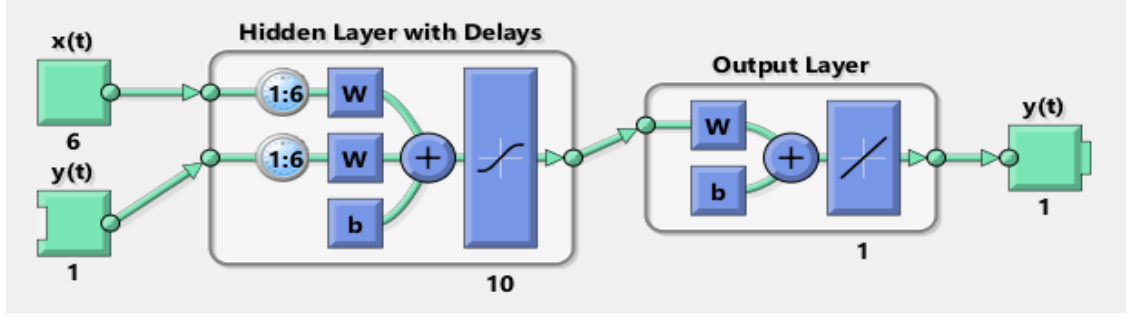
Şekil 5.60: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini



Şekil 5.61: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini

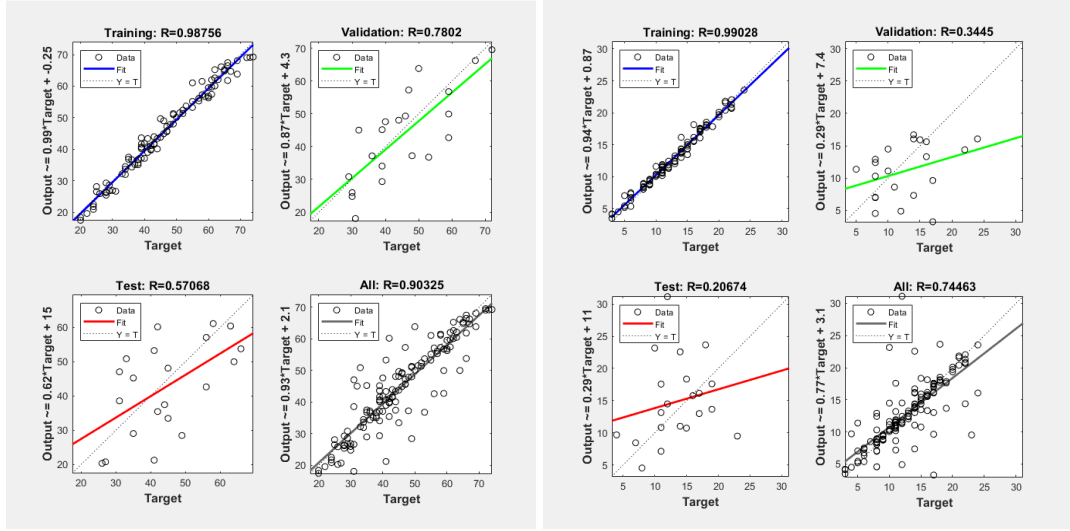
### 5.5.2 YSA Metodu

Bu bölümde yaklaşım kollarında bulunan loop sensörlerinden elde edilen veriler yapay sinir ağları metoduna göre modellenecektir. Verilerin analizi için MATLAB programının NTSTOOL isimli araç takımından faydalanılmıştır. Şekil 5.62'de modelde kullanılan yapay sinir ağları algoritması gösterilmiştir.

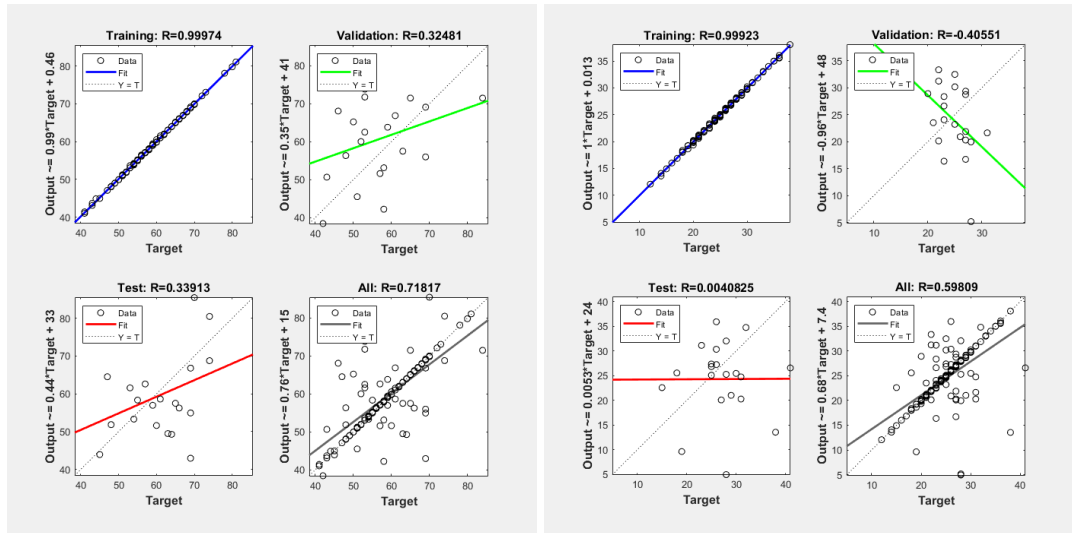


Şekil 5.62: Modelde kullanılan yapay sinir ağı algoritması

Veri setleri için lineer olmayan oto-regresif harici girdi (NARX) algoritması uygun görülmüştür. Veri setleri %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test olacak şekilde ayrılmıştır. Veri seti Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması ile eğitilmiştir. Optimizasyon algoritmaları arasında sıkça tercih edilen Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritmasının seçilmesinin nedeni; kısa dönemli veya orta dönemli veri setlerinde hızlı, kararlı ve tutarlı bir sonuca ulaşılmasına yardımcı olmasından kaynaklanmaktadır. Uygulama esnasında kurgulanan ağın gizli katman sayısı kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Çalışmada uygulanan gizli katman sayısı, bu katmanlardaki nöron sayısı ve kullanılan aktivasyon fonksiyonu da deneme yanılma ile bulunmaktadır. Yapılan denemeler sonrasında gizli katman sayısının 10, gecikme sayısının 6 olarak alınmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Az sayıda gizli katman seçilmesi durumunda ağdaki genelleme yeteneğinin yükseldiği görülmektedir. Çok sayıda nöron seçilmesi durumunda ise ağın eğitim yeteneğinde artma gözlenmektedir. Bununla birlikte ağa çok sayıda gizli katman eklenmesi, hesaplama sayısının artmasına neden olmaktadır. (bkz. Şekil 5.63 – Şekil 5.64)



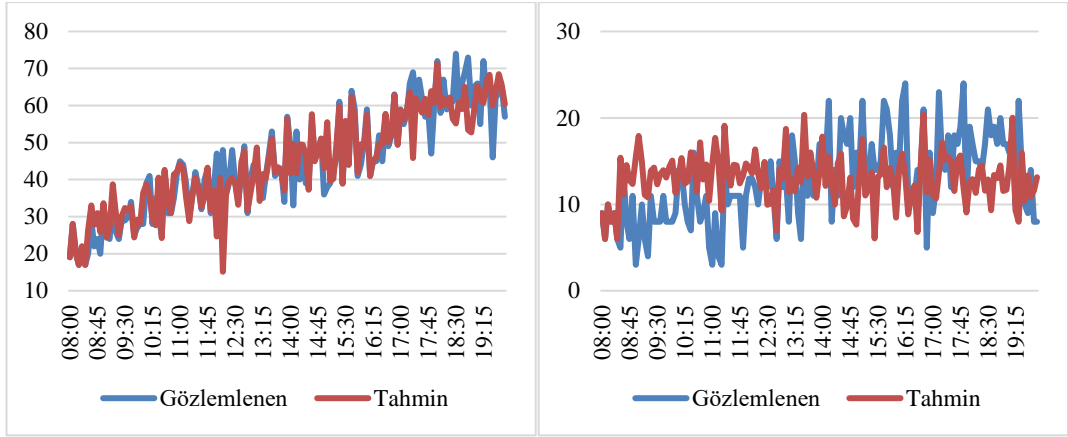
Şekil 5.63: Bayramyeri ve Candoğan geliş kollarının 5 dakikalık verilerinin eğitim, doğrulama, test ve bütün aşamaların ortalama uygunlukları



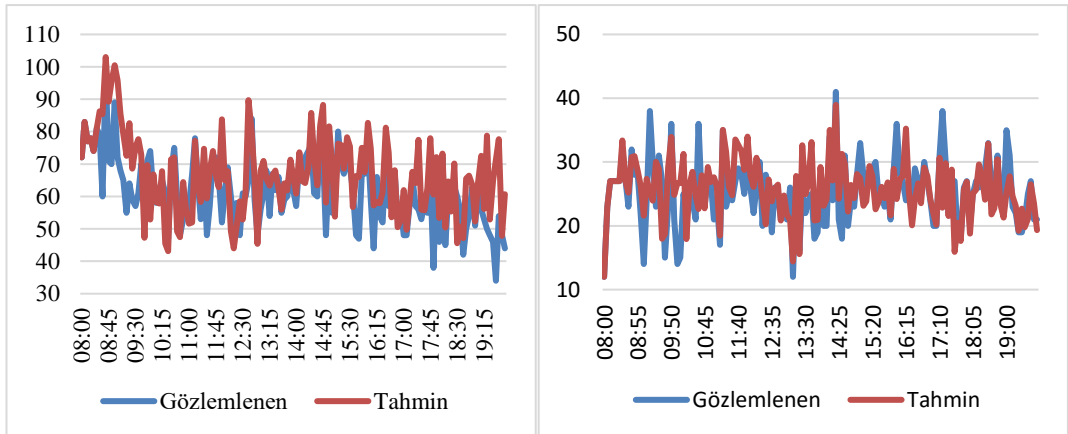
Şekil 5.64: Çaybaşı ve Lozan geliş kollarının 5 dakikalık verilerinin eğitim, doğrulama, test ve bütün aşamalarının ortalama uygunlukları

Şekil 5.63 ve Şekil 5.64'te 1. gün kavşak yaklaşım kollarının 5 dakikalık eğitim, doğrulama, test ve bütün aşamaların ortalama uygunluk aşamalarında verilerin modele uyum grafiği görülmektedir. Verilerin uyum çizgisine yakınsaması modelin doğruluğunu artırmaktadır. Her veri seti için aynı eğitimler gerçekleştirilip, regresyon analizlerinin uyum grafikleri incelenmiştir. YSA ile kısa zamanlı trafik tahmin sonuçlarının yaklaşım kolu bazlı gösterimi detaylı olarak EK C'de verilmiştir.

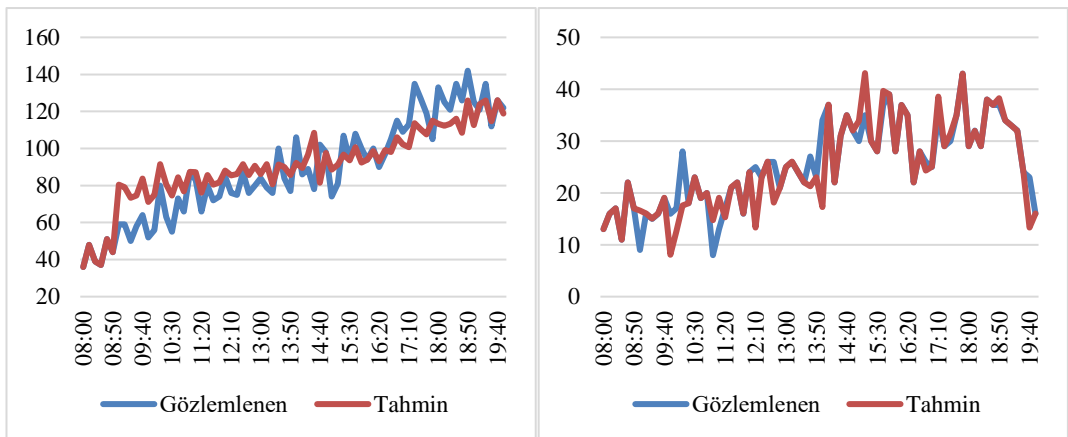
YSA modelinin 1. gün 5, 10 ve 15'er dakikalık veri setlerinin tahmin sonuçları her bir yaklaşım kolu için hesaplanarak Şekil 5.65 – Şekil 5.70 arasında gösterilmiştir.



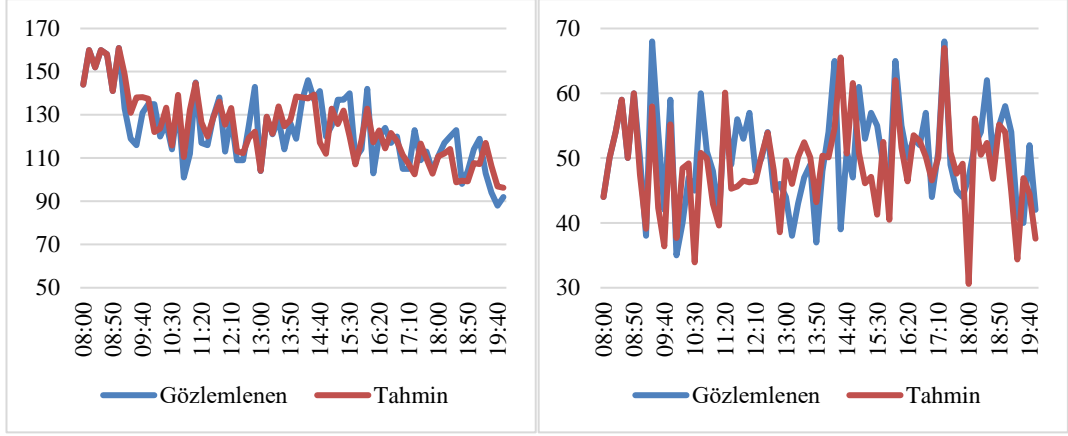
Şekil 5.65: 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini



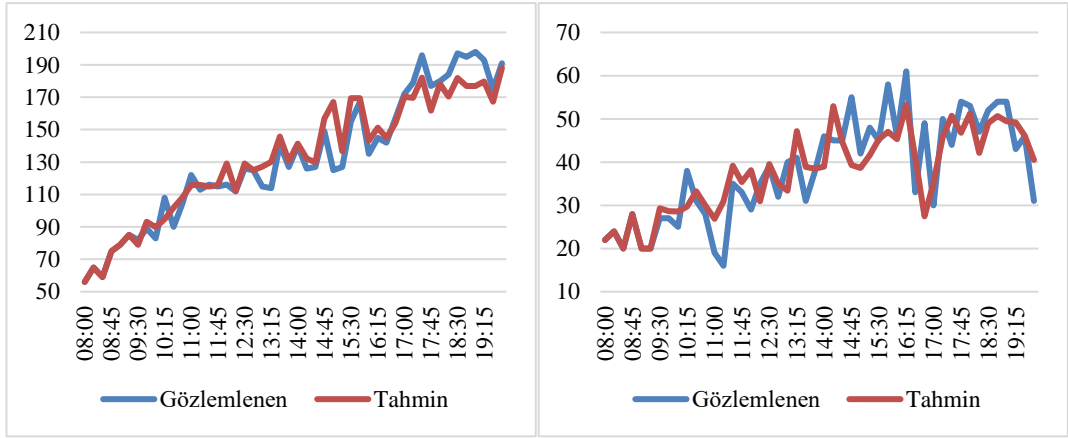
Şekil 5.66: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini



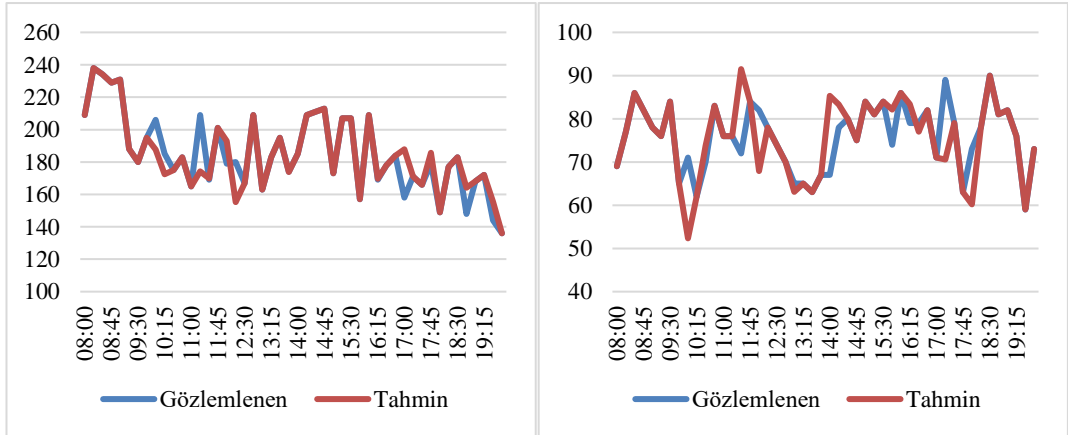
Şekil 5.67: 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini



Şekil 5.68: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini

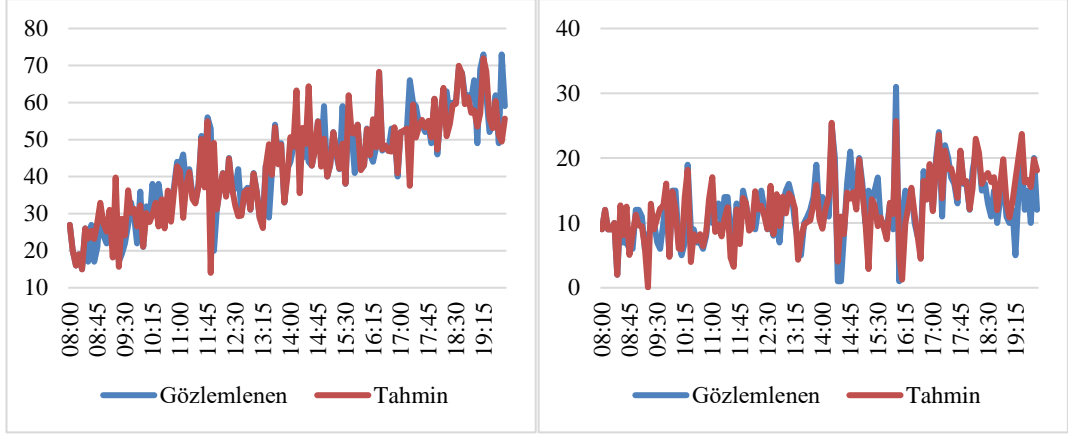


Şekil 5.69: 1. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 15 dakikalık YSA tahmini

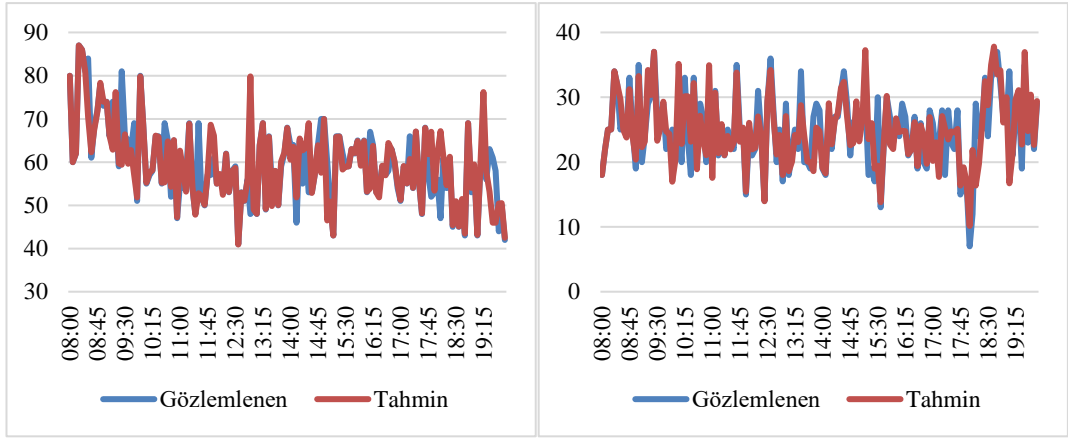


Şekil 5.70: 1. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 15 dakikalık YSA tahmini

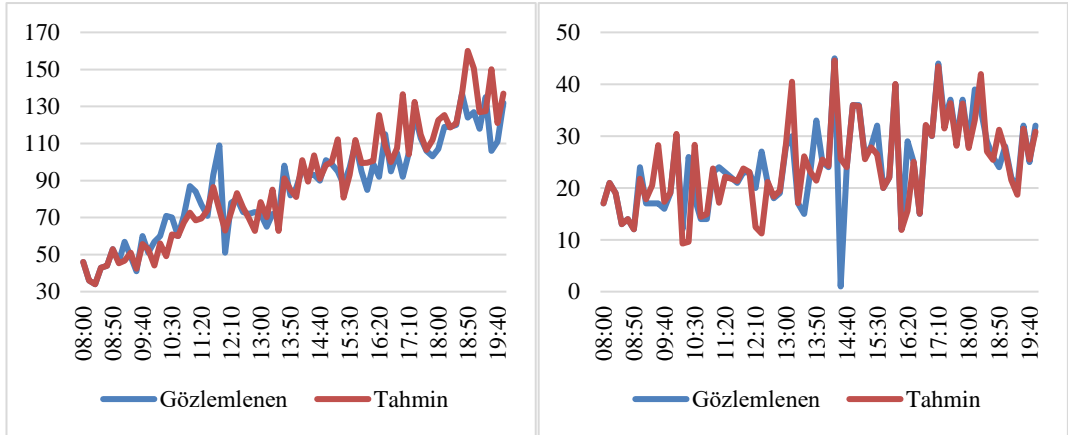
YSA modelinin 2. gün 5, 10 ve 15'er dakikalık veri setlerinin tahmin sonuçları her bir yaklaşım kolu için hesaplanarak Şekil 5.71 – Şekil 5.76 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.71: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini

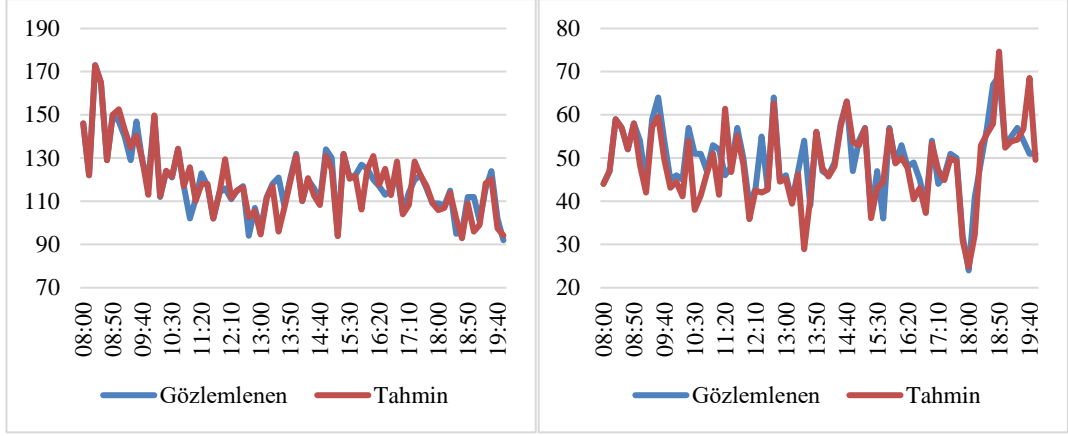


Şekil 5.72: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini

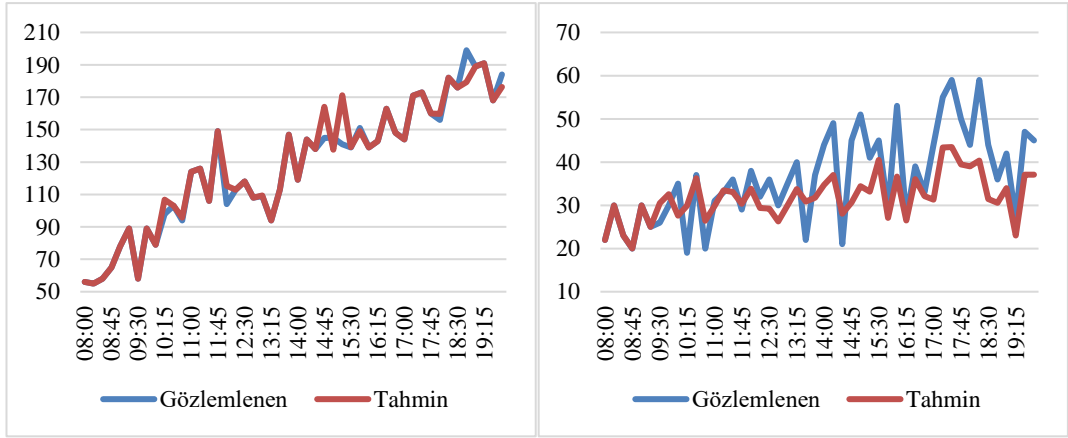


Şekil 5.73: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini

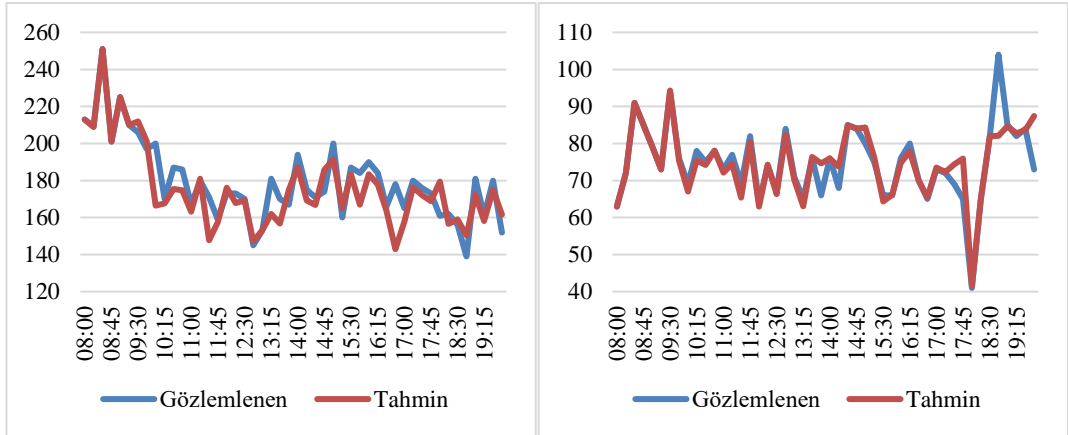




Şekil 5.74: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini

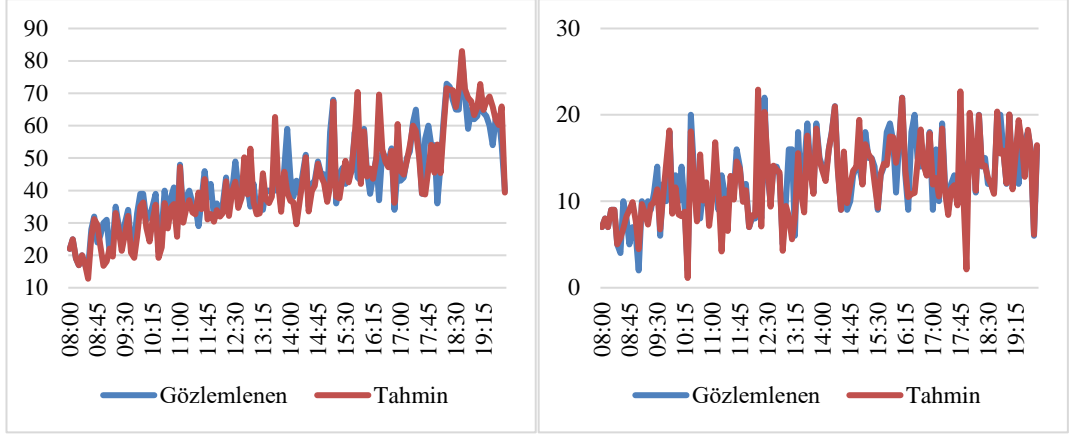


Şekil 5.75: 2. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 15 dakikalık YSA tahmini

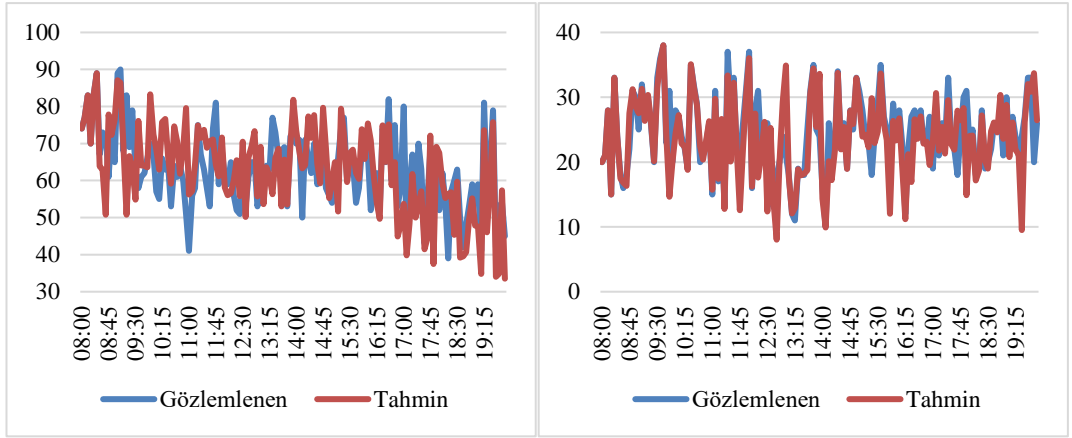


Şekil 5.76: 2. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 15 dakikalık YSA tahmini

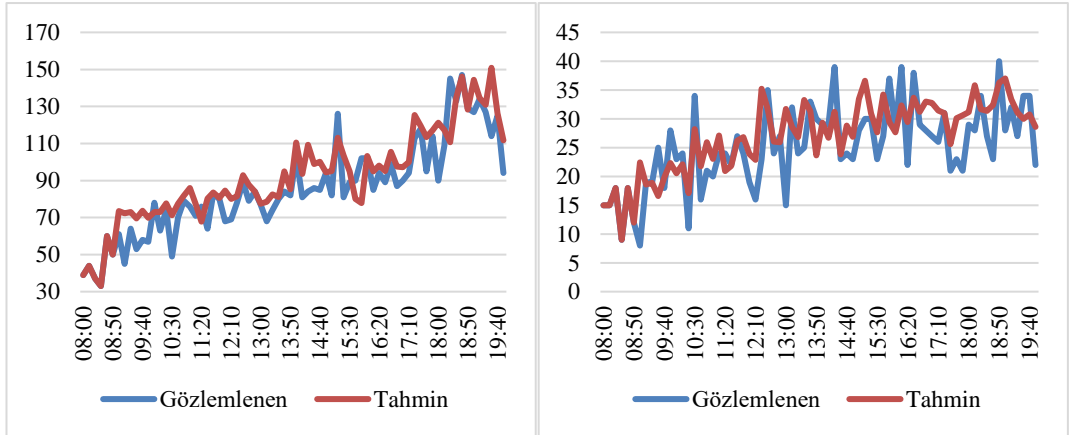
YSA modelinin 3. gün 5, 10 ve 15'er dakikalık veri setlerinin tahmin sonuçları her bir yaklaşım kolu için hesaplanarak Şekil 5.77 – Şekil 5.82 arasında gösterilmiştir.



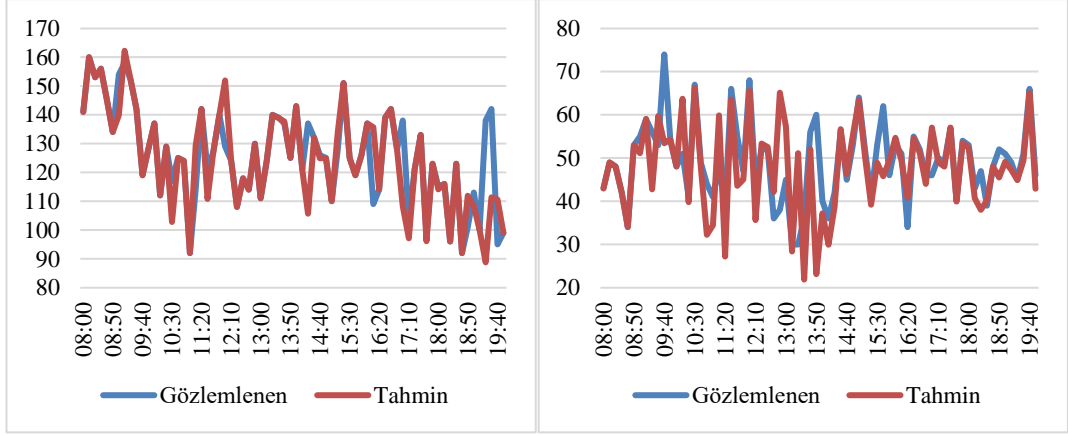
Şekil 5.77: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini



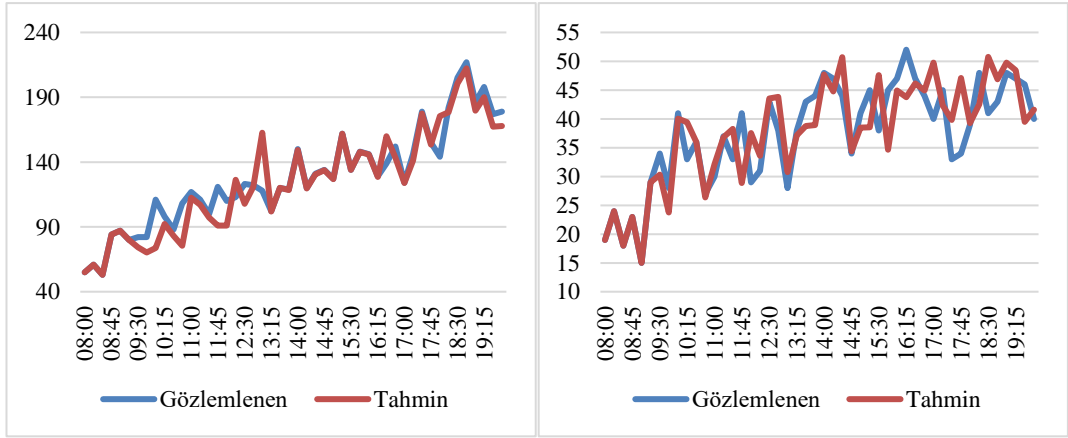
Şekil 5.78: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini



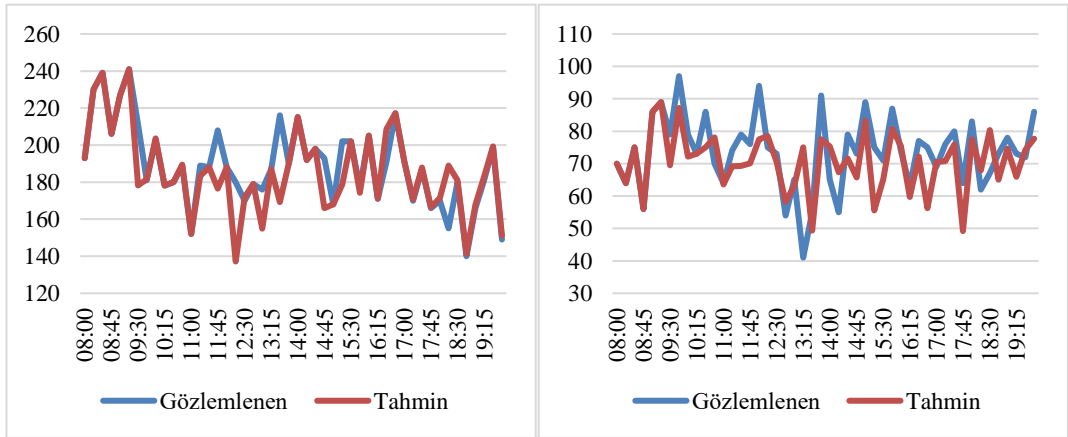
Şekil 5.79: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini



Şekil 5.80: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini



Şekil 5.81: 3. gün Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 15 dakikalık YSA tahmini



Şekil 5.82: 3. gün Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 15 dakikalık YSA tahmini

## 5.6 Tahmin sonuçları

YSA ve ARIMA modellerinin tahmin sonuçlarını karşılaştırmak için MAPE ve RMSE hata değerleri üzerinde karşılaştırma yapılacaktır. Mutlak ortalama yüzde hata (MAPE) denklemi (5.27) ve hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) denklemi (5.28)'de verilmiştir;

$$MAPE = \frac{1}{p} * (\sum_j [(t_j - o_j)/t_j]) * 100 \quad (5.27)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{p} * \sum_j [(|t_j - o_j|)^2]} \quad (5.28)$$

Denklemlerde yer alan “t” gerçek zamanlı veri, “o” tahmin verisi, “p” ise toplam veri sayısını ifade etmektedir.

ARIMA ve YSA yöntemleriyle yapılan kısa zamanlı trafik tahminlerinde, ARIMA modelinin seriyi geç yakaladığı ve serinin tepkilerine geç cevap verdiği gözlenmektedir. Bu nedenle kısa zamanlı tahmin aşamalarında hata düzeyleri gerçekleşen değerler ile fark çıkarmaktadır. Bununla birlikte YSA ile yapılan modele bakıldığında, modelin seriyi yakalamak için sert hareketleri gözlenmekte ve serinin yapmış olduğu kısa vadeli hareketleri uzun vadeli hareketlermiş gibi hesaplamaya çalışmaktadır. Bu nedenle gerçekleşen değerler ile YSA modeli arasında da fark gözlemlenmiştir.

Tablo 5.19’da 1. gün için ARIMA ve YSA modellerinin hata karşılaştırma değerleri gösterilmektedir. Tablo 5.19’da 5 dakikalık veri setinde YSA ve ARIMA yönteminin hata oranları birbirlerine göre bir üstünlük göstermez iken, 10 ve 15 dakikalık veri setlerinde YSA hata oranlarının ARIMA hata oranlarına daha başarılı olduğu görülmektedir.<

**Tablo 5.19:** 1. gün ARIMA ve YSA modellerinin hata değerlerinin karşılaştırması

	ARIMA	ARIMA	YSA	YSA
	MAPE (%)	RMSE	MAPE (%)	RMSE
Bayramyeri Geliş (5 dk)	41	6	9	7
Candoğan Geliş (5 dk)	30	4	43	5
Çaybaşı Geliş (5 dk)	12	9	15	12
Lozan Geliş (5 dk)	17	5	13	5
Bayramyeri Geliş (10 dk)	8	9	13	12
Candoğan Geliş (10 dk)	17	5	9	4
Çaybaşı Geliş (10 dk)	8	12	6	10
Lozan Geliş (10 dk)	11	7	11	7
Bayramyeri Geliş (15 dk)	7	11	6	11
Candoğan Geliş (15 dk)	16	7	15	7
Çaybaşı Geliş (15 dk)	8	19	2	10
Lozan Geliş (15 dk)	11	7	4	7

Tablo 5.20’de 2. gün için ARIMA ve YSA modellerinin hata karşılaştırma değerleri gösterilmektedir. Tablo 5.20’de 5 dakikalık veri setinde YSA’nın MAPE değerleri ARIMA’nın MAPE değerlerine göre daha düşük bir performans sergilerken RMSE değerleri gözle görülür bir farklılık sergilememektedir. Genel olarak bakıldığında ise veri setlerinin MAPE hata oranlarında YSA, ARIMA’ya başarılı bir performans sergilemektedir. RMSE değerlerinde ise ARIMA ve YSA değerleri arasında büyük bir fark gözlemlenmemektedir.

**Tablo 5.20:** 2. gün ARIMA ve YSA modellerinin hata değerlerinin karşılaştırması

	ARIMA	ARIMA	YSA	YSA
	MAPE (%)	RMSE	MAPE (%)	RMSE
Bayramyeri Geliş (5 dk)	14	7	10	7
Candoğan Geliş (5 dk)	49	4	32	3
Çaybaşı Geliş (5 dk)	10	7	5	6
Lozan Geliş (5 dk)	20	5	10	4
Bayramyeri Geliş (10 dk)	10	10	10	13
Candoğan Geliş (10 dk)	53	7	48	6
Çaybaşı Geliş (10 dk)	8	11	3	7
Lozan Geliş (10 dk)	13	8	7	6
Bayramyeri Geliş (15 dk)	10	14	2	7
Candoğan Geliş (15 dk)	18	8	18	9
Çaybaşı Geliş (15 dk)	5	13	5	11
Lozan Geliş (15 dk)	9	9	3	5

Tablo 5.21’de 3. gün için ARIMA ve YSA modellerinin hata karşılaştırma değerleri gösterilmektedir. Tablo 5.21’de genel olarak veri setlerinin hata oranlarında gözle görülür bir fark görünmemektedir. Fakat YSA hata oranları 5 dakikalık sonuçların hepsinde olmasa da 10 ve 15’er dakikalık sonuçlarda ARIMA’ya göre daha başarılıdır.

**Tablo 5.21:** 3. gün ARIMA ve YSA modellerinin hata değerlerinin karşılaştırması

	ARIMA	ARIMA	YSA	YSA
	MAPE (%)	RMSE	MAPE (%)	RMSE
Bayramyeri Geliş (5 dk)	13	7	11	7
Candoğan Geliş (5 dk)	30	4	15	2
Çaybaşı Geliş (5 dk)	12	9	12	9
Lozan Geliş (5 dk)	20	6	10	4
Bayramyeri Geliş (10 dk)	10	12	13	13
Candoğan Geliş (10 dk)	21	6	21	5
Çaybaşı Geliş (10 dk)	8	13	4	10
Lozan Geliş (10 dk)	15	9	12	8
Bayramyeri Geliş (15 dk)	9	15	7	14
Candoğan Geliş (15 dk)	13	6	11	5
Çaybaşı Geliş (15 dk)	9	19	4	14
Lozan Geliş (15 dk)	13	11	11	9

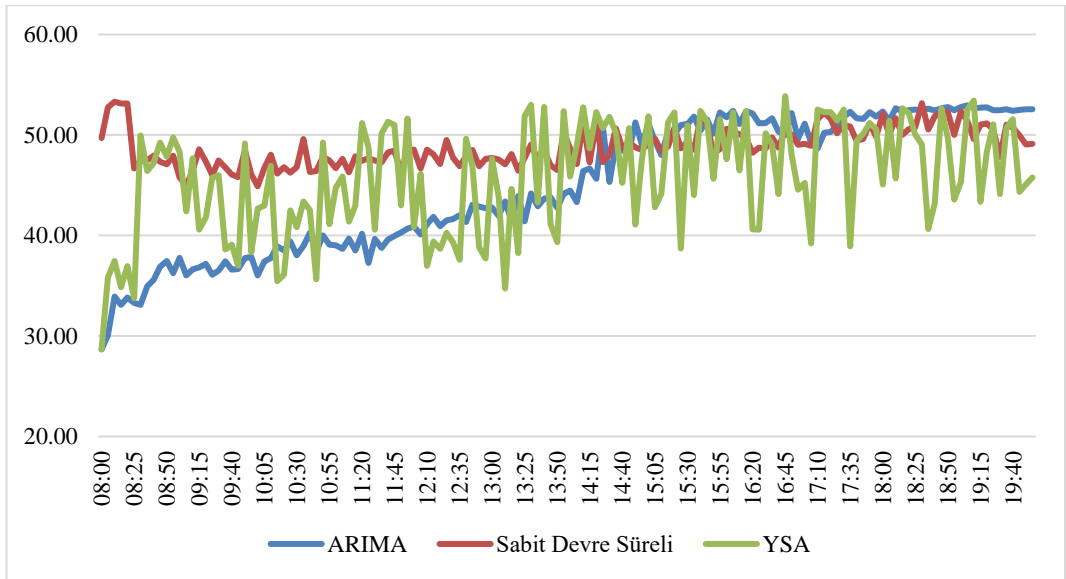
ARIMA ve YSA yöntemleri ile yapılan kısa zamanlı trafik tahmin sonuçlarının hata değerlerine bakılarak bir sonraki bölümde gecikme iyileşme analizleri değerlendirilmiştir.

## 5.7 Kavşak Gecikme İyileşmesi

Kavşakların sinyal sürelerinin optimizasyonu için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada devre süresi optimizasyonu Webster ve Cobbe (1966) tarafından bulunan Denklem (4.26) kullanılmıştır. Optimize edilmiş devre süreleri EK D’de verilmiştir. YSA ve ARIMA yöntemleriyle yapılan kısa zamanlı trafik tahminleri kol bazlı ve kavşak geneli taşıt gecikme değerleri çıkartılmıştır. Optimizasyon çalışmasında 5, 10 ve 15’er dakikalık tahminler saatlik hacimlere dönüştürülerek optimum devre ve yeşil süreleri hesaplanmıştır. Böylece kavşağın izole sistemden adaptif sisteme dönüştürülmesi durumunda YSA ve ARIMA modellerinde sağlanan kavşak geneli taşıt gecikme değerleri hesaplanmıştır. Kavşaktaki gecikme iyileşmesi için 7 adımlı optimizasyon tekniği uygulanmıştır.

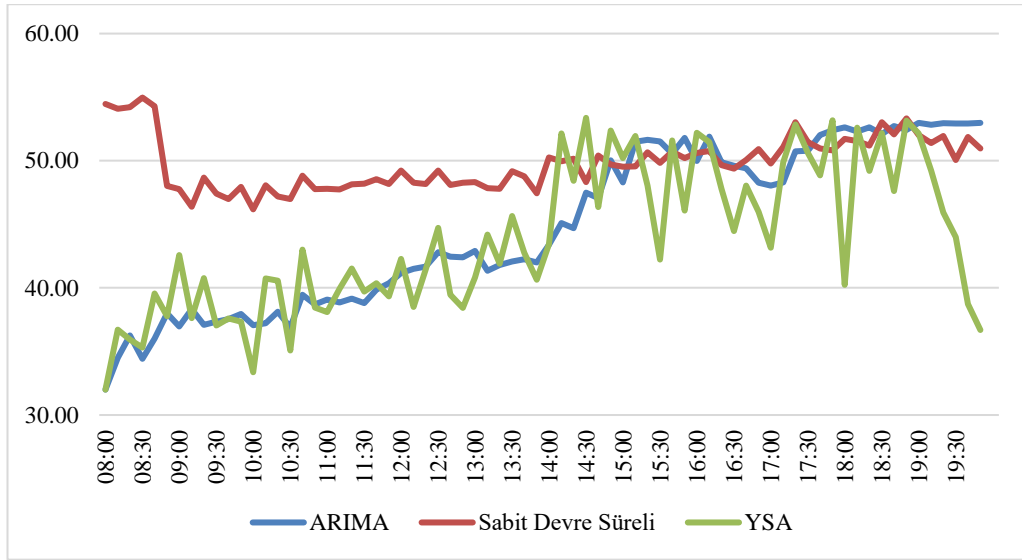
- Tahminleme sonucu elde edilen trafik hacimlerinin (5, 10 ve 15 dakikalık) saatlik trafik hacmine dönüştürülmesi ve toplam saatlik hacmin bulunması
- Şerit sayılarının ve doygun akım değerlerinin belirlenmesi
- Hacim/Kapasite oranlarının bulunması
- Faz sayısı ve kayıp sürelerin belirlenmesi
- Webster yöntemi ile optimum devre süresinin belirlenmesi
- Yaklaşım kollarına göre yeşil süresinin dağıtılması
- Webster yöntemi ile kol bazlı ve kavşak geneli gecikme analizi

1. güne ait 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 5.83'te verilmiştir. Sabah zirve saatlerden gün içi saatlere kadar ARIMA model tahminleri daha iyi bir sonuç gösterirken, YSA 5 dakikalık tahmin analizlerinden elde edilen gecikme değerleri kararsızlık göstermektedir. Fakat akşam saatleri ve akşam zirve saatleri için trafik yoğunluğunun her bir yaklaşım kolu içi artması, yan kolların (Lozan ve Candoğan geliş) tek şerit olmasından dolayı tahmin değerlerinden elde edilen gecikme sonuçları mevcut gecikme değerlerine yaklaşmıştır.



Şekil 5.83: 1. güne ait 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt)

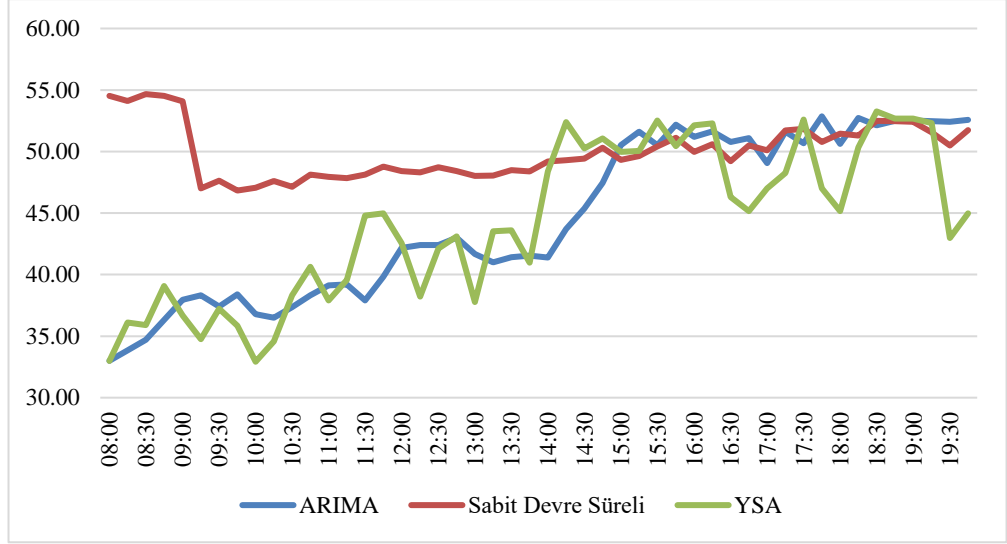
1. güne ait 10 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 5.84'te verilmiştir. Sabah zirve saatlerden gün içi saatlere kadar ARIMA model tahminleri daha iyi bir sonuç gösterirken, YSA 5 dakikalık tahmin analizlerine göre daha iyi bir sonuç sergilemektedir. Fakat akşam zirve saatlerinde YSA tahminlerine göre hesaplanan gecikme değerleri daha başarılı olduğundan sabah zirve saatlerinde ki gibi bir iyileşme gözlemlenmektedir. Ancak ARIMA tahminlerinden elde edilen gecikme değerleri mevcut ile aynı seviyelerde görülmektedir.



Şekil 5.84: 1. güne ait 10 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme (sn/taşıt)

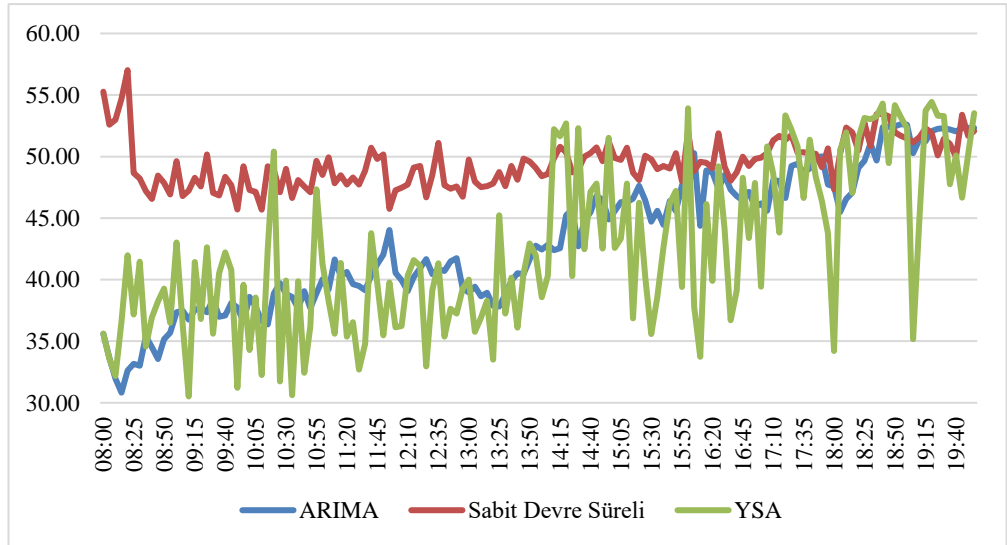
1. güne ait 15 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 5.85'te verilmiştir. Sabah zirve saatlerden gün içi saatlere kadar ARIMA model tahminleri daha iyi bir sonuç gösterirken, YSA 5 dakikalık tahmin analizlerine göre daha iyi bir sonuç sergilemektedir. Fakat akşam zirve saatlerinde YSA tahminlerine göre hesaplanan gecikme değerleri daha başarılı olduğundan sabah zirve saatlerinde ki gibi bir iyileşme gözlemlenmektedir. Ancak ARIMA tahminlerinden elde edilen gecikme değerleri mevcut ile aynı seviyelerde görülmektedir.





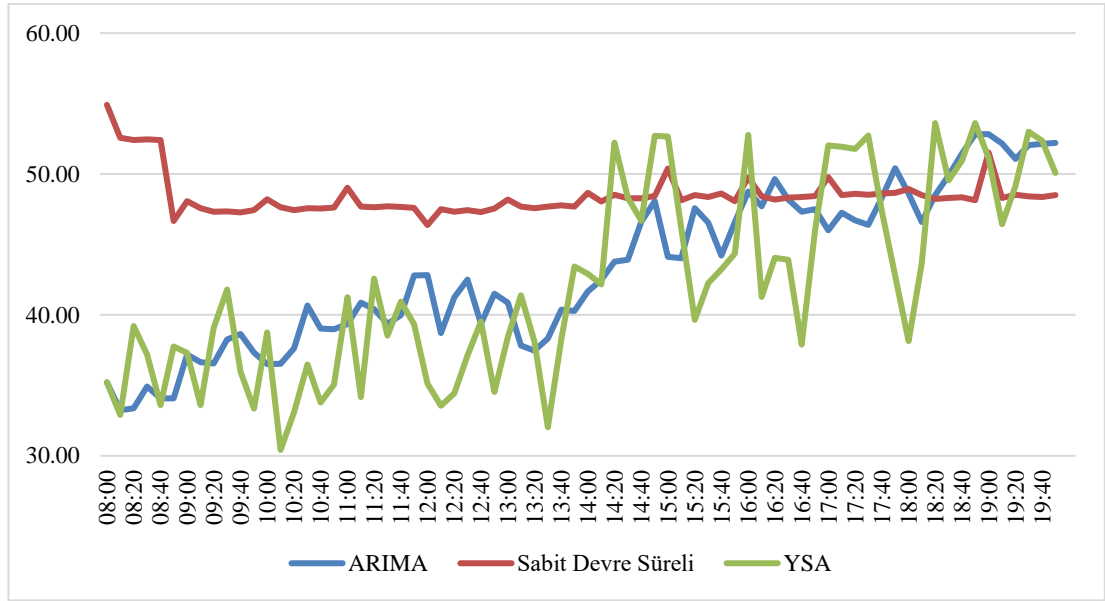
**Şekil 5.85:** 1. güne ait 15 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt)

2. güne ait 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 5.86'da verilmiştir. Sabah zirve saat ve öğlenden sonraki saatlere kadar YSA ve ARIMA mevcut duruma göre başarılı performanslar göstermektedir. Sabah zirve saatlerden gün içi saatlere kadar ARIMA model tahminleri daha iyi bir sonuç gösterirken, YSA 5 dakikalık tahmin analizlerinden elde edilen gecikme değerleri kararsızlık göstermektedir. Fakat akşam saatleri ve akşam zirve saatleri için trafik yoğunluğunun her bir yaklaşım kolu içi artması, yan kolların (Lozan ve Candoğan geliş) tek şerit olmasından dolayı tahmin değerlerinden elde edilen gecikme sonuçları mevcut gecikme değerlerine yaklaşmıştır.



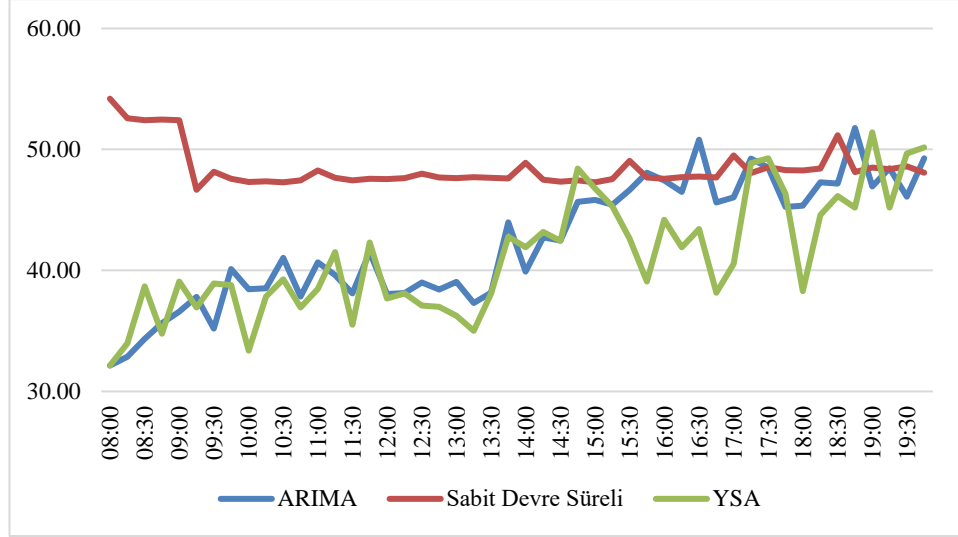
**Şekil 5.86:** 2. güne ait 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme (sn/taşıt)

2. güne ait 10 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 5.87’de verilmiştir. Sabah zirve saatlerden gün içi saatlere kadar hem ARIMA hem YSA mevcut duruma göre başarılı performanslar sergilemektedir. Fakat akşam zirve saatlerinde ARIMA ve YSA tahminlerine göre hesaplanan gecikme değerleri mevcut durumun gecikme değerlerine yakın performanslar sergilemektedir.



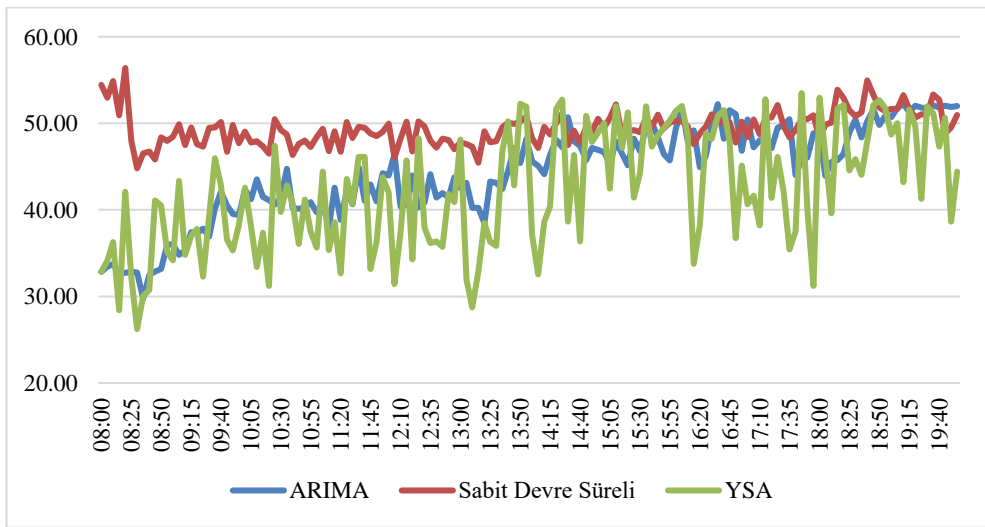
Şekil 5.87: 2. güne ait 10 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme (sn/taşıt)

2. güne ait 15 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 5.88’de verilmiştir. Sabah zirve saatlerden gün içi saatlere kadar hem ARIMA hem YSA mevcut duruma göre başarılı performanslar sergilemektedir. Fakat akşam zirve saatlerinde YSA tahminlerine göre hesaplanan gecikme değerleri daha başarılı olduğundan sabah zirve saatlerinde ki gibi bir iyileşme gözlemlenmektedir. Ancak akşam saatleri ve akşam zirve saatlerinde ARIMA tahminlerinden elde edilen gecikme değerleri mevcut ile aynı seviyelerde görülmektedir.



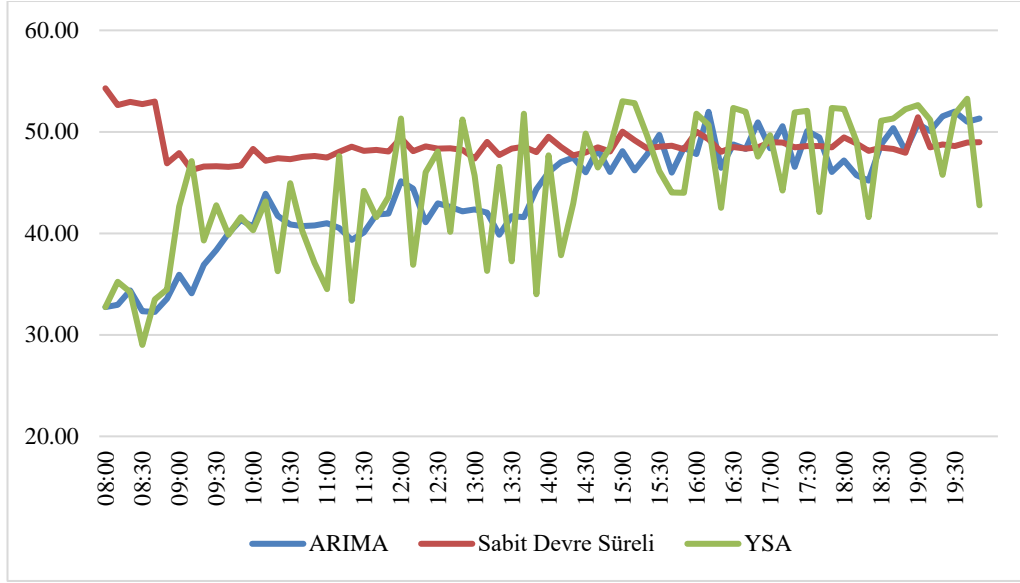
Şekil 5.88: 2. güne ait 15 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme (sn/taşıt)

3. güne ait 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 5.89’da verilmiştir. Sabah zirve saatlerden gün içi saatlere kadar ARIMA model tahminleri daha iyi bir sonuç gösterirken, YSA 5 dakikalık tahmin analizlerinden elde edilen gecikme değerleri genel olarak kararsızlık göstermekte ve ARIMA’ya göre daha başarısız bir performans sergilemektedir. Fakat akşam saatleri ve akşam zirve saatleri için trafik yoğunluğunun her bir yaklaşım kolu içi artması, yan kolların (Lozan ve Candoğan geliş) tek şerit olmasından dolayı tahmin değerlerinden elde edilen gecikme sonuçları mevcut gecikme değerlerine yaklaşmıştır.



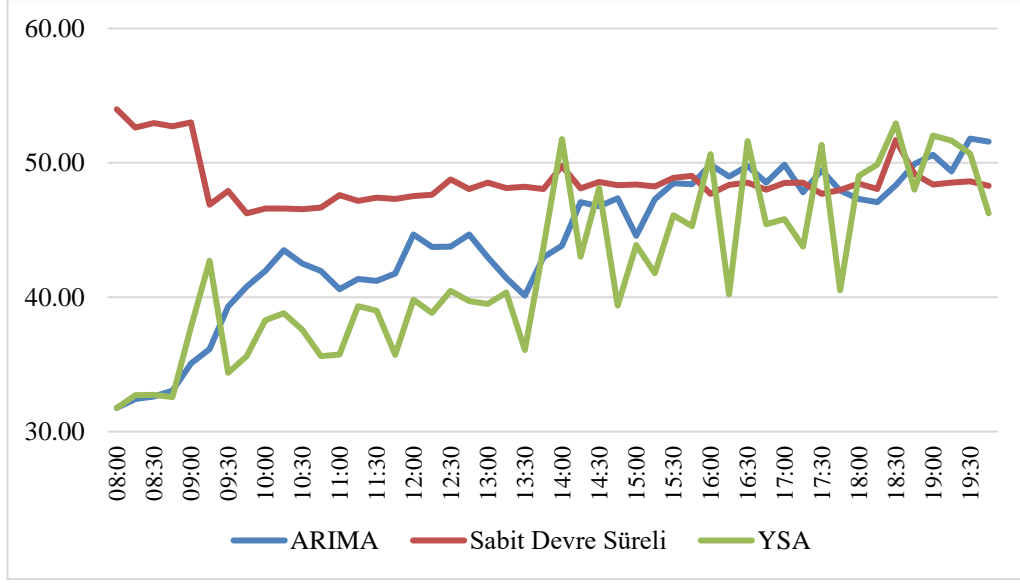
Şekil 5.89: 3. güne ait 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme (sn/taşıt)

3. güne ait 10 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 5.90’da verilmiştir. Sabah zirve saatlerden gün içi saatlere kadar YSA modelinden elde edilen gecikme değerleri ARIMA’ya göre daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Fakat akşam saatleri ve akşam zirve saatleri için trafik yoğunluğunun her bir yaklaşım kolu içi artması, yan kolların (Lozan ve Candoğan geliş) tek şerit olmasından dolayı tahmin değerlerinden elde edilen gecikme sonuçları mevcut gecikme değerlerine yaklaşmıştır.



Şekil 5.90: 3. güne ait 10 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme (sn/taşıt)

3. güne ait 15 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 5.91’de verilmiştir. Sabah zirve saatlerden gün içi saatlere kadar hem ARIMA hem YSA mevcut duruma göre başarılı performanslar sergilemektedir. Fakat akşam zirve saatlerinde YSA tahminlerine göre hesaplanan gecikme değerleri daha başarılı olduğundan sabah zirve saatlerinde ki gibi bir iyileşme gözlemlenmektedir. Ancak akşam saatleri ve akşam zirve saatlerinde ARIMA tahminlerinden elde edilen gecikme değerleri mevcut ile aynı seviyelerde görülmektedir.



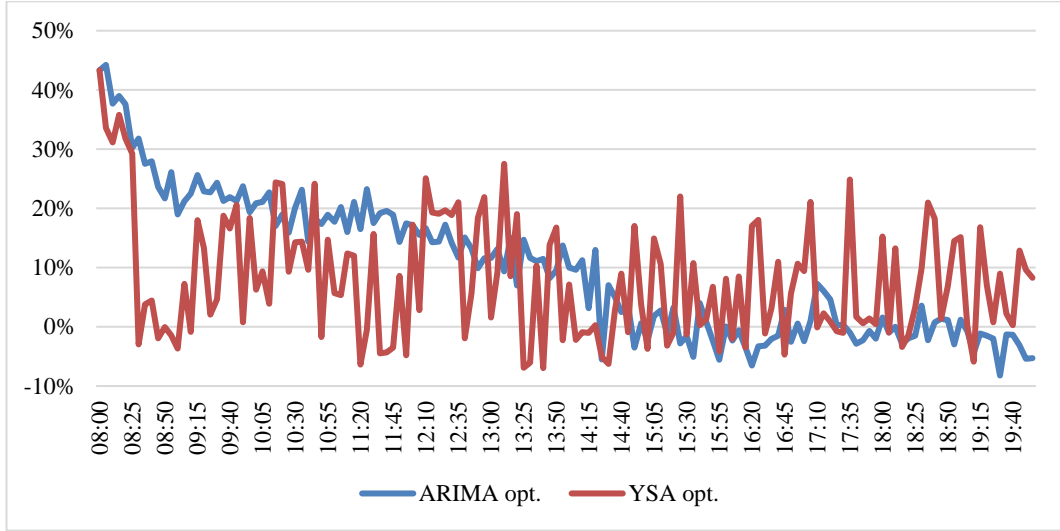
**Şekil 5.91:** 3. güne ait 15 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt)

## 5.8 Sonuçlar

Bu çalışmada Mimar Sinan kavşağının 06.08.2019 – 08.08.2018 tarihlerinde 08:00-20:00 saatleri arasındaki 5, 10 ve 15'er dakikalık araç sayımları ARIMA ve YSA yöntemleri ile kısa zamanlı tahmin edilmiş, Webster yöntemi ile devre süresi optimizasyonu yapılmış ve Webster gecikme yöntemi ile gecikme performans analizi gözlemlenmiştir.

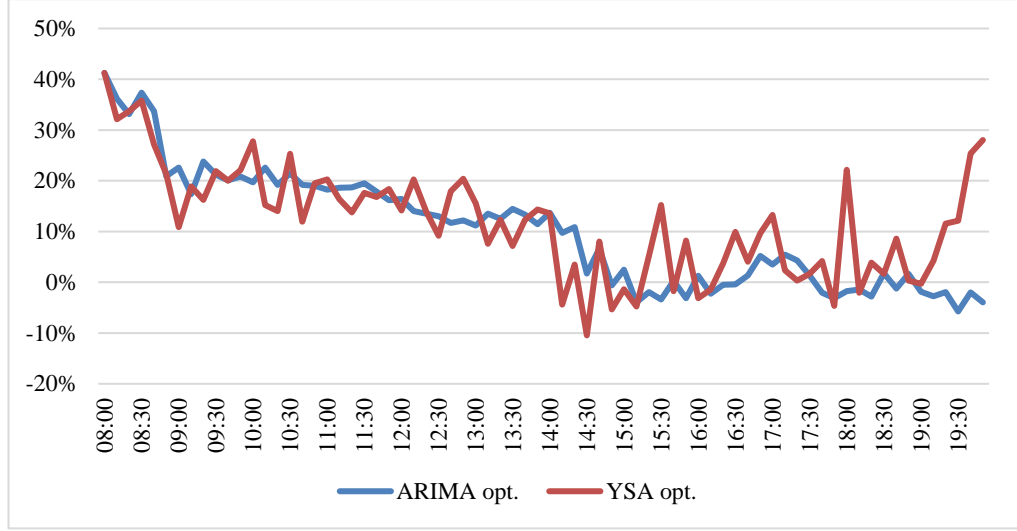
Tahminleme sonuçlarında günlere göre veri setlerinin başarılı olma durumu göz önünde bulundurularak 1. gün 5 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 5.92'de gösterilmektedir. 1. gün 5 dakikalık tahminleme sonuçları doğrultusunda sabah zirve saatleri ARIMA yönteminin gecikme iyileştirmeleri %20 ile %40 arasında iken, YSA modellenmiş gecikme iyileştirmelerinde başarısız sonuçlar göstermektedir. Saat 12:00-13:00 arasında ARIMA ve YSA %10-%25 arası iyileştirme sergilemektedir. Fakat 1. günün 5 dakikalık veri seti için ARIMA yöntemi YSA'ya göre daha kararlı bir sonuçlar sergilemektedir. Fakat saat 14:00 sonrası ve akşam zirve saatlerinde ARIMA %5'ten fazla iyileşme sergilemez iken, YSA %6 kötüleşme ile %25 iyileşme arasında performans sergilemektedir. 1. gün 5 dakikalık veri setinde sabah zirve ve öğleden önce saatlerde ARIMA ve YSA da başarılı iyileştirme oranları görünürken, öğleden sonra zirve saat dışında ve

akşam zirve saatlerindeki gecikme yüzdelerinin düşmesinin nedeni akşam saatlerinde trafik yoğunluğu arttığından, modellerin tahminleme sonuçları olumsuz etkilenmektedir, dolayısıyla gecikme iyileştirme yüzdelerinde düşüşler gözlenmektedir.



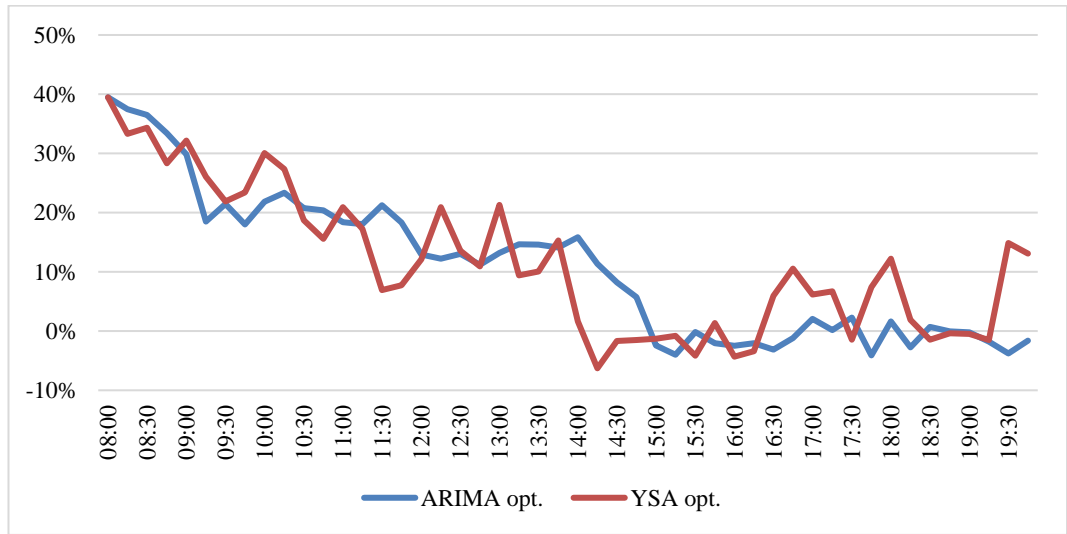
Şekil 5.92: 1. gün 5 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

1. gün 10 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 5.93'te gösterilmektedir. 1. gün 10 dakikalık tahminleme sonuçları doğrultusunda sabah ve öğlen saatleri için ARIMA yönteminin gecikme iyileştirmeleri %12 ile %41 arasında iken, YSA modeli gecikme iyileştirmeleri %14 ile %41 arasında performans sergilemektedir. Öğlenden sonra ve akşam saatlerinde ise ARIMA modeli kötüleşme sergilemektedir. YSA modeli ise %10 kötüleşme ile %25 iyileşme arasında performans sergilemektedir. Fakat YSA'nın 1. gün 10 dakikalık veri setindeki tahminleme sonuçları ARIMA'ya göre daha başarılı olduğundan gecikme iyileştirmeleri saat 19:00 sonrasında başarılı sonuçlar göstermektedir.



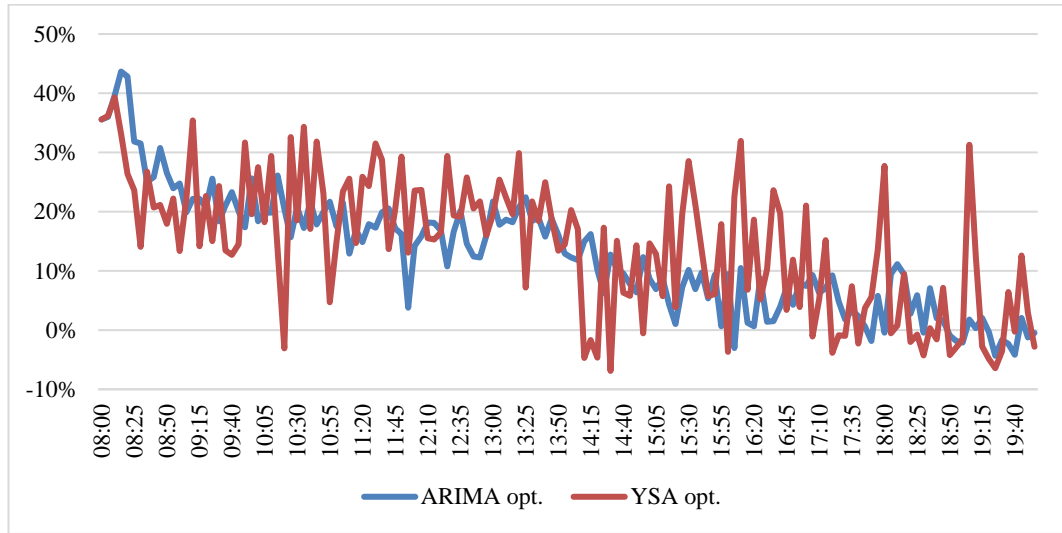
Şekil 5.93: 1. gün 10 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

1. gün 15 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 5.94'te gösterilmektedir. 1. gün 15 dakikalık tahminleme sonuçları doğrultusunda sabah zirve saatleri ve öğlen saatleri için ARIMA modeli gecikme iyileştirmeleri %11 ile %35 arasında iken, YSA modeli gecikme iyileştirmeleri %10 ile %33 arasında performans sergilemektedir. Akşam zirve saatleri için YSA modeli %10 kötüleşme ile %25 iyileşme arasında performans sergilemektedir. Her iki modelin akşam zirve saatlerine doğru iyileşme oranlarında düşüş görülmesinin sebebi ise kavşak yoğunluğunun artması ve yan kolların (Lozan ve Candoğan caddeleri) tek şerit olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat YSA tahmin sonuçlarının başarılı olmasından dolayı gecikme iyileşmeleri akşam zirve saatler de başarılı sonuçlar göstermektedir.



Şekil 5.94: 1. gün 15 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

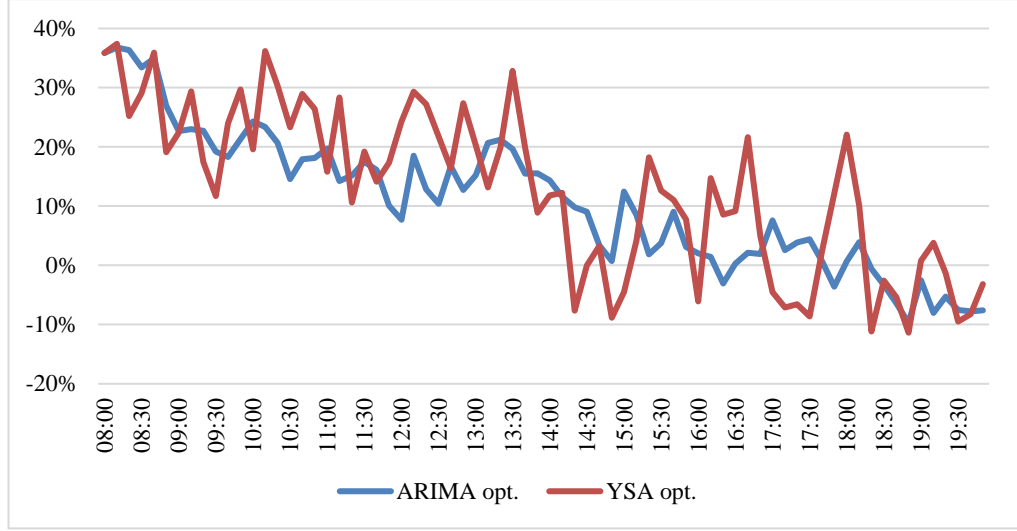
2. gün 5 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 5.95'te gösterilmektedir. 2. gün 5 dakikalık tahminleme sonuçları doğrultusunda sabah zirve saatleri ve saat 14:00'a kadar kavşak geneli gecikmelerinde ARIMA %10-%35 arası bir performans, YSA ise %12-%33 arası bir performans sergilemektedir. 08:00-14:00 saatleri arasında her iki model de ortalama olarak %20'lik bir iyileşme gözlenmektedir. Akşam zirve saatlerinde ARIMA da %4 kötüleşme ile %7 iyileşme arasında bir performans, YSA da ise %5 kötüleşme ile %30 iyileşme performansları gözlemlenmektedir. 2. gün 5 dakikalık ARIMA ve YSA tahmin sonuçlarında YSA tahminleme hataları ARIMA'ya göre daha düşük çıkmasından dolayı YSA 2. gün 5 dakikalık gecikme iyileştirmesinde daha iyi sonuç göstermektedir.



Şekil 5.95: 2. gün 5 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

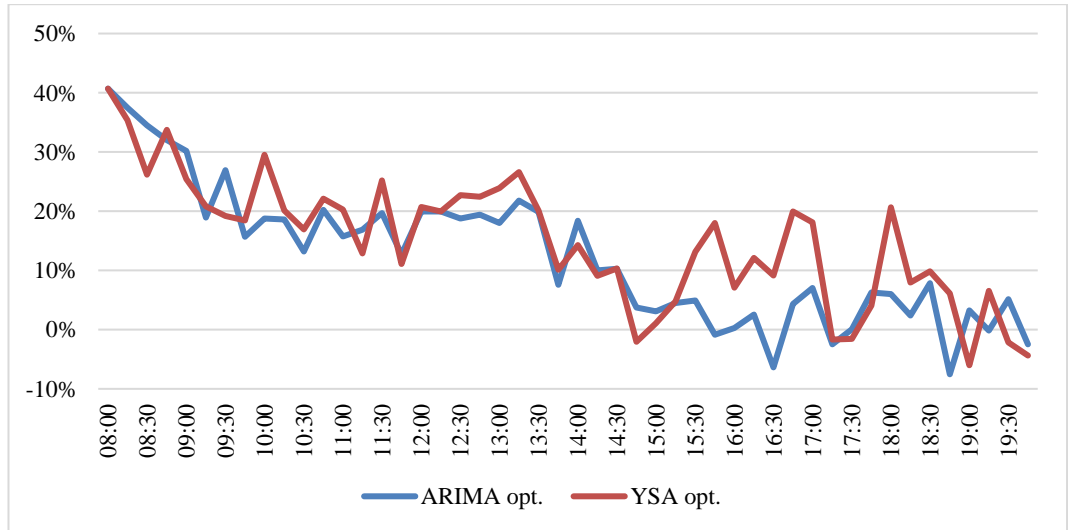
2. gün 10 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 5.96'da gösterilmektedir. 2. gün 10 dakikalık tahminleme sonuçları doğrultusunda sabah zirve saatleri ve saat 14:00'a kadar kavşak geneli gecikmelerinde ARIMA %8-%35 arası bir performans, YSA ise %9-%34 arası bir performans sergilemektedir. 08:00-14:00 saatleri arasında her iki model de ortalama olarak %20-%22 arası bir iyileşme gözlenmektedir. Akşam zirve saatlerinde ARIMA da %10 kötüleşme ile %8 iyileşme arasında bir performans, YSA da ise %12 kötüleşme ile %22 iyileşme performansları gözlemlenmektedir.





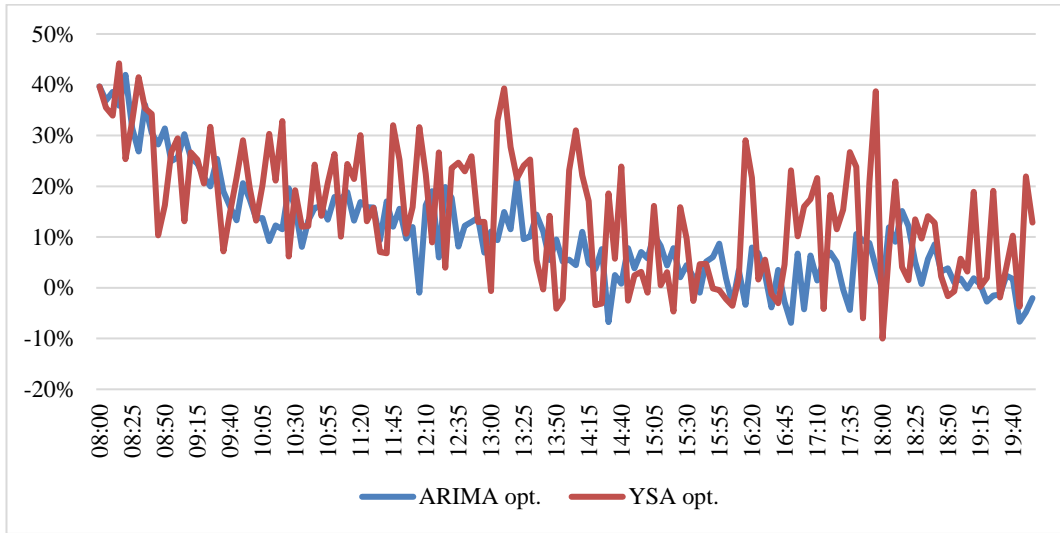
Şekil 5.96: 2. gün 10 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

2. gün 15 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 5.97’de gösterilmektedir. 2. gün 15 dakikalık tahminleme sonuçları doğrultusunda sabah zirve saatleri ve saat 14:30’a kadar kavşak geneli gecikmelerinde ARIMA %8-%40 arası bir performans, YSA ise %9-%41 arası bir performans sergilemektedir. 08:00-14:30 saatleri arasında her iki model de ortalama olarak %21’lik arası bir iyileşme gözlenmektedir. Akşam zirve saatlerinde ARIMA da %8 kötüleşme ile %8 iyileşme arasında bir performans, YSA da ise %6 kötüleşme ile %22 iyileşme performansları gözlemlenmektedir.



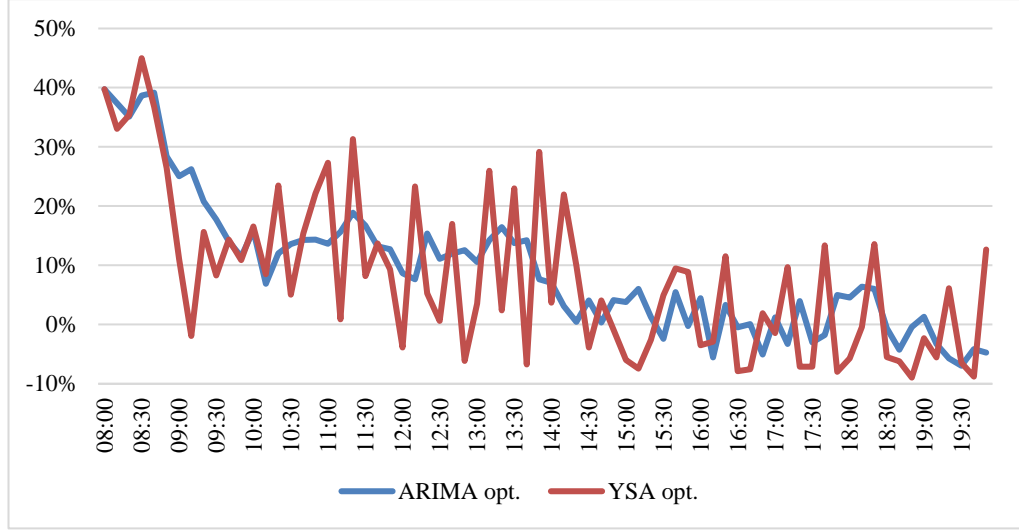
Şekil 5.97: 2. gün 15 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

3. gün 5 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 5.98’de gösterilmektedir. 3. gün 5 dakikalık tahminleme sonuçları doğrultusunda sabah zirve saatleri ve saat 14:00’a kadar kavşak geneli gecikmelerinde ARIMA %5-%38 arası bir gecikme iyileşme performansı, YSA ise %12-%33 arası bir gecikme iyileşme performansı sergilemektedir. 08:00-14:00 saatleri arasında kavşak genelinde ARIMA yöntemi için ortalama %17 iyileşme, YSA da ise %21 iyileşme gözlenmiştir. Akşam zirve saatlerinde ise ARIMA %7 kötüleşme ile %12 iyileşme gösterirken, YSA %8 kötüleşme ile %34 iyileşme göstermektedir. MAPE ve RMSE değerlerinde de 3. gün 5 dakikalık veri setinde YSA’nın daha az hata oranı çıkardığı görülmektedir. (bkz. Tablo 5.20)



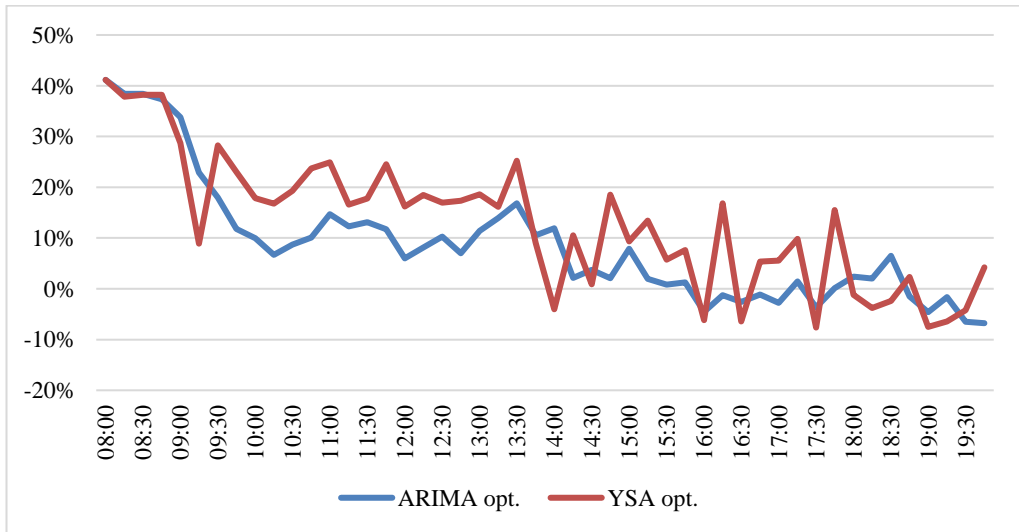
Şekil 5.98: 3. gün 5 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

3. gün 10 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 5.99’da gösterilmektedir. 3. gün 10 dakikalık tahminleme sonuçları doğrultusunda sabah zirve saatleri ve saat 14:00’a kadar kavşak geneli gecikmelerinde ARIMA %7-%35 arası bir gecikme iyileşme performansı, YSA ise %6 kötüleşme ile %35 iyileşme gözlemlenmektedir. ARIMA daha kararlı bir grafik çizerken YSA da daha kararsız sonuçlar görülmektedir. 08:00-14:00 saatleri arasında kavşak genelinde ARIMA yöntemi için ortalama %14 iyileşme, YSA da ise %12 iyileşme gözlenmiştir. Akşam zirve saatlerinde ise ARIMA %7 kötüleşme ile %6 iyileşme gösterirken, YSA %10 kötüleşme ile %13 iyileşme göstermektedir.



Şekil 5.99: 3. gün 10 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

3. gün 15 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 5.100'de gösterilmektedir. 3. gün 15 dakikalık tahminleme sonuçları doğrultusunda sabah zirve saatleri ve saat 14:00'a kadar kavşak geneli gecikmelerinde ARIMA %7-%37 arası bir gecikme iyileşme performansı, YSA ise %9-%38 arası bir gecikme iyileşme performansı sergilemektedir. 08:00-14:00 saatleri arasında kavşak genelinde ARIMA yöntemi için ortalama %17 iyileşme, YSA da ise %23 iyileşme gözlenmiştir. Akşam zirve saatlerinde ise ARIMA %7 kötüleşme ile %2 iyileşme gösterirken, YSA %8 kötüleşme ile %16 iyileşme göstermektedir. MAPE ve RMSE değerlerinde de 3. gün 15 dakikalık veri setinde YSA'nın daha az hata oranı çıkardığı görülmektedir. (bkz. Tablo 5.20)



Şekil 5.100: 3. gün 15 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar

Bu bölümde tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ve öneriler açıklanmıştır. Tez çalışması 6 ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünden sonraki 2. bölümde kısa zamanlı trafik tahminlemesiyle ilgili önceki çalışmalar incelenmiştir. 3. bölümde tahmin yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiş olup devamında kullanılan modeller açıklanmıştır. 4. bölümde kavşaklarda gecikme ve kapasite hesapları ayrıca Webster optimum devre süresi ve gecikme analizinden bahsedilmiştir. 5. bölümde ise araştırma ve bulgular kapsamında Mimar Sinan kavşağının genel özellikleri açıklanmıştır. Mevcut trafik verileri ile Webster yöntemi kullanılarak gecikme analizi yapılmıştır. Ayrıca YSA ve ARIMA modelleri kullanılarak elde edilen tahmin sonuçları ile optimum devre süreleri hesaplanarak bu devre süreleri üzerinden gecikme analizleri hesaplanmıştır. Veri setleri hafta içi 3 günlük 08:00-20:00 saatleri arasındaki verilerden oluşmaktadır. Sonuç olarak gecikme analiz sonuçları uygulanan kısa zamanlı trafik tahmin yöntemlerine göre karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada Denizli ili Mimar Sinan kavşağı için kısa zamanlı trafik tahmini ile devre süresi optimizasyonu ve gecikme iyileştirmeleri hakkında ARIMA ve YSA modelleri sunmuştur. Bu modellerin pratik uygulamasında gerçek zamanlı verilere ve kentsel ağlardan gelen trafik akışı gibi tarihsel trafik verileri gerekmektedir. Bu trafik verilerinin bir veri tabanında depolanması gerekmektedir. Pratik uygulama için birkaç hafta, tercihen bir sezon boyunca geçmiş verilere ihtiyaç vardır. Geçmiş veriler, önerilen yöntemlerin uygulanabilmesi ve yeni bir veri tabanı oluşturmak için birkaç hafta boyunca toplanmalıdır. Çalışmadan çıkarılan sonuçlar şu şekildedir;

- Kısa zamanlı trafik tahmini modellerinden genellikle YSA modeli, ARIMA modeline göre daha duyarlı sonuçlar elde etmektedir. YSA modeli tek başına analiz edildiği zaman ise tahmin sonuçlarının hata değerlerine göre 10 ve 15 dakikalık verilerde daha başarılı sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir. (bkz. Tablo 6.22)

**Tablo 6.22:** 3 gün için ARIMA ve YSA modellerinin RMSE hata değerlerinin karşılaştırması

	1. gün		2. gün		3. gün	
	ARIMA	YSA	ARIMA	YSA	ARIMA	YSA
Bayramyeri Geliş (5 dk)	6	7	7	7	7	7
Candoğan Geliş (5 dk)	4	5	4	3	4	2
Çaybaşı Geliş (5 dk)	9	12	7	6	9	9
Lozan Geliş (5 dk)	5	5	5	4	6	4
Bayramyeri Geliş (10 dk)	9	12	10	13	12	13
Candoğan Geliş (10 dk)	5	4	7	6	6	5
Çaybaşı Geliş (10 dk)	12	10	11	7	13	10
Lozan Geliş (10 dk)	7	7	8	6	9	8
Bayramyeri Geliş (15 dk)	11	11	14	7	15	14
Candoğan Geliş (15 dk)	7	7	8	9	6	5
Çaybaşı Geliş (15 dk)	19	10	13	11	19	14
Lozan Geliş (15 dk)	7	7	9	5	11	9

- Kavşağın mevcut ve tahmin sonuçlarının gecikmeleri hesaplanırken dünyada yaygın olarak kullanılan Webster yöntemi seçilmiştir. Mevcut durumda kavşak sabit devre süresi ile oynatıldığı için herhangi bir optimizasyon yapılmamıştır. Tahmin sonuçları ile gecikme hesapları yapılırken 5, 10 ve 15'er dakikalık periyotlar ile alınan trafik verileri saatlik hacimlere dönüştürülerek gecikme hesapları yapılmıştır.

**Tablo 6.23:** 3 gün için ARIMA ve YSA modellerinin 5 dakikalık trafik hacimlerine göre gecikme iyileşme oranları (%)

	1. gün		2. gün		3. gün	
	ARIMA	YSA	ARIMA	YSA	ARIMA	YSA
08:00-09:00	33	17	33	26	34	31
09:00-10:00	22	10	22	20	22	22
10:00-11:00	19	13	20	21	14	19
11:00-12:00	18	3	16	22	15	19
12:00-13:00	14	16	15	21	12	19
13:00-14:00	11	7	18	20	11	15
14:00-15:00	5	2	11	6	4	12
15:00-16:00	-1	4	7	14	5	4
16:00-17:00	-2	6	4	13	1	7
17:00-18:00	1	5	5	5	4	17
18:00-19:00	0	8	4	2	6	6
19:00-20:00	-3	6	-1	4	-1	8

**Tablo 6.24:** 3 gün için ARIMA ve YSA modellerinin 10 dakikalık trafik hacimlerine göre gecikme iyileşme oranları (%)

	1. gün		2. gün		3. gün	
	ARIMA	YSA	ARIMA	YSA	ARIMA	YSA
08:00-09:00	34	32	34	30	36	36
09:00-10:00	21	18	21	22	19	10
10:00-11:00	20	19	20	27	13	15
11:00-12:00	18	17	15	18	15	15
12:00-13:00	13	16	13	24	11	6
13:00-14:00	13	12	18	19	13	13
14:00-15:00	7	1	8	2	3	6
15:00-16:00	-2	3	6	8	2	1
16:00-17:00	1	4	1	9	-1	-1
17:00-18:00	2	3	3	-2	0	0
18:00-19:00	-1	6	-3	0	2	-2
19:00-20:00	-3	13	-6	-3	-4	-1

**Tablo 6.25:** 3 gün için ARIMA ve YSA modellerinin 15 dakikalık trafik hacimlerine göre gecikme iyileşme oranları (%)

	1. gün		2. gün		3. gün	
	ARIMA	YSA	ARIMA	YSA	ARIMA	YSA
08:00-09:00	37	34	36	34	39	39
09:00-10:00	22	26	23	21	22	22
10:00-11:00	22	23	18	22	9	19
11:00-12:00	19	13	16	17	13	21
12:00-13:00	12	14	20	21	8	17
13:00-14:00	14	14	17	20	13	17
14:00-15:00	10	-2	1	8	5	6
15:00-16:00	-2	-1	3	9	3	9
16:00-17:00	-2	2	0	12	-2	2
17:00-18:00	0	5	3	5	-1	6
18:00-19:00	0	3	2	11	2	-1
19:00-20:00	-2	6	1	-1	-5	-3

- YSA ve ARIMA modellerinden elde edilen tahmin verileriyle yapılan devre süresi optimizasyonu ve gecikme analizlerinde Tablo 6.23, Tablo 6.24 ve 6.25'e bakıldığında sabah zirve saatlerinde her iki modelde de iyileşmeler gözlemlenirken, akşam zirve saatlerinde artan trafik yoğunluğu ve özellikle ana arterde trafik hacminin artması ve yan kolların tek şerit olması gecikme iyileşmelerinin düşük çıkmasına hatta kötüleşmesine neden olmaktadır.

- Zirve dışı saatler ve akşam zirve saatlerinde YSA yönteminden elde edilen sonuçların gecikme iyileşme oranları, ARIMA yöntemine göre daha başarılı çıkmıştır. Sabah zirve saatleri için ARIMA ve YSA birbirlerine yakın sonuçlar çıkarmaktadırlar.

- ARIMA ve YSA yöntemlerinin tahmin sonuçları ve sonuçlardan elde edilen gecikme iyileştirme analizleri incelendiğinde YSA yönteminin ARIMA'ya göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

## 6.2 neriler

Yapılan alışmada ARIMA ve YSA yöntemleri ile kısa zamanlı trafik tahmini yapılmıştır. Her iki modelin kapsamı genişletilerek daha gelişmiş modeller kurulabilir. ARIMA yöntemi için daha fazla deneme yapılarak p,d,q değerleri için daha iyi sonuç verecek modeller oluşturulabilir. Ayrıca ARIMA'nın literatürde denenmiş farklı varyasyonları (SARIMA, ARIMAX vb.) veri seti üzerinde denenerek farklı sonuçlar elde edilebilir. YSA için girdi parametreleri, girdi sayıları, katman sayıları, nöron sayıları değiştirilerek farklı modeller kurulabilir ve farklı sonuçlar elde edilebilir.

## 7. KAYNAKLAR

Akaike, H., "A New Look at the Statistical Model Identification", *IEEE Transactions On Automatic Control*, AC-19, No. 6, 716-723, (1974).

Akçelik, R., "Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis", *Australian Road Research Board, Research Report*, (1993).

Box, G.E.P., Jenkins, G.M., "Time Series Analysis: Forecasting and Control". San Francisco, (1970).

Smith, B.L., Demetsky, M.J., "Short-term Traffic Flow Prediction Models-A Comparison Of Neural Network And Non-parametric Regression Approaches", *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Humans, Information and Technology*, 2, 1706-1709. (1994).

Scraggs D.A., "Determination Of Passenger Car Equivalent Of Goods Vehicle In Single Lane Flow At Traffic Signals", *Crowthorne: Road Research Laboratory Report LN/573IDAS*, (1964).

Dia, H., "An Object-oriented Neural Network Approach To Short-term Traffic Forecasting", *European Journal of Operational Research* , 131, 253-261, (2001).

Dickey, D. Fuller, W., "Distribution Of The Estimators For Autoregressive Time Series With A Unit Root", *Journal of the American Statistical Association*, 427-431, (1979).

Guo, F., Polak, J. W., Krishnan, R., "Comparison Of Modelling Approaches For Short Term Traffic Prediction Under Normal And Abnormal Conditions", *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, 1208-1214, (2010).

Grossberg, S., "Adaptive Resonance Theory: How A Brain Learns To Consciously Attend, Learn And Recognize A Changing World", *Neural Network: The Official Journal Of The International Neural Network Society*, 37, 1-47, (2013).

Gürbüz, T., "Yapay Sinir Ağları Yaklaşımıyla Türkiye'deki Ulaştırma Talebinin Tahmini", Yüksek Lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı*, Kırıkkale, (2008).

Haykin, S., "Neural Networks: A Comprehensive Foundation (Second Edition)", New Jersey: Prentice-Hall, (1999).



Ishak, S., Kotha, P., Alecsandru, C., "Optimization of Dynamic Neural Networks Performance for Short-term Traffic Prediction", *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 45-56, (2003).

Jiang, X., Adeli, H. "Dynamic Wavelet Neural Network Model for Traffic Flow Forecasting", *Journal of Transportation Engineering*, 771-779, (2014).

Karagöz, Ö., Akalın, K. B., "Kentiçi Trafik Sayımlarında Düşük Maliyetli Kameraların Performansının Araştırılması", TRANSIST 2017: İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, (2017).

Kimber, R.M., McDonald, M., Hounsell, N.B., "The Prediction Of Saturation Flows For Road Junctions Controlled By Traffic Signals", *Transport and Road Research Laboratory Research Report*, 67, (1986).

Kutlu, K., "*Trafik Tekniği*", İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası. (1993).

Li, C., Anavatti, S., Ray, T., "Short-Term Traffic Flow Prediction Using Different Techniques", *IECON 2011 - 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2423-2428, (2011).

Tan, M.C., Wong, S.C., Xu, J.M., Guan, Z.R., Zhang, P., "An Aggregation Approach to Short-Term Traffic Flow Prediction", *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 60-69, (2009).

Mcculloch, W. S., Pitts, W., "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 115-133, (1943).

Kunzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Horak Jr., F., Puybonnieux-Textier, V., Quenel, P., Schneider, J., Seethaler, R., Vergnaud, J.C., Sommer, H., "Public-Health Impact Of Outdoor And Traffic-Related Air Pollution: A European Assessment", *The Lancet*, 795-801, (2000).

Öztemel, E., "*Yapay Sinir Ağları*", İstanbul: Papatya Yayıncılık, (2012).

Pursula, M., Niittymäki, J., "Saturation Flows At Signal-Group-Controlled Traffic Signals", *Transportation Research Record*, 1572, 233-970, (1996).

Kumar, S.V., Vanajakshi, L., "Short-term traffic flow prediction using seasonal ARIMA model with limited input data", *European Transport Research Review*, (2015).

Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., Shin, Y., "Testing for the Null of Stationarity Against the Alternative of a Unit Root", *Journal of Econometrics*, 54, 159-178, (1992).

Saygılı, Y. S., "İstatistiksel Yöntemlerle Yapay Sinir Ağları Uygulamalarının Karşılaştırılması: Milli Savunma Bakanlığı Bütçesinin Öngörülmesi",

Yüksek Lisans, *Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Harekat Araştırması Anabilim Dalı*, Ankara, (2008).

Tufan, H. "Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları Ve Türkiye İçin Bir Aus Mimarisi Önerisi", Ankara: T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, (2014).

Vlahogianni, E.I., Golia, J.C., Karlaftis, M.G., "Short-term traffic forecasting: Overview of objectives and methods", *Transport reviews*, 533-557, (2004).

Vlahogianni, E.I., Karlaftis, M.G., Goliias, J.C., "Short term traffic forecasting: Where we are and where we're going", *Transportation Research Part C*, 3-19, (2014).

Voort, M. V. D., Dougherty, M., Watson, S., "Combining Kohonen Maps With ARIMA Time Series Models To Forecast Traffic Flow", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 307-318, (1996).

Webster, F. V., Cobbe, B. M. "Traffic Signal", *Road Research Technical Road Research Laboratory*, 56,(1966).

Widrow, B., Hoff, M., "Adaptive Switching Circuits", *IRE WESCON Convention Record*, 96-104, (1960).

Yayla, N., "*Karayolu Mühendisliği*", Birsen Yayınevi, 211, (2002).

Xie, Y.C., Zhao, K.G., "Gaussian Processes for Short-Term Traffic Volume Forecasting", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2165, 69-78. (2010).

Zhang, T., "Solving Large Scale Linear Prediction Problems Using Stochastic Gradient Descent Algorithms", *ICML '04 Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning*, 919-926, (2004).

# **EKLER**

## 8. EKLER

### EK A Gerçek Zamanlı Saatlik Trafik Hacimleri

Tablo A.1: Gerçek zamanlı 5 dakikalık verilerden elde edilmiş saatlik trafik hacimleri

5 DK.	06.08.2018				07.08.2018				08.08.2018			
	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.
08:00	228	108	864	144	324	108	960	216	264	84	888	240
08:05	336	72	996	276	240	144	720	264	300	96	924	252
08:10	240	120	924	324	192	108	744	300	228	84	996	336
08:15	204	96	936	324	228	108	1044	300	204	108	840	180
08:20	264	108	888	324	180	120	1032	408	240	108	996	396
08:25	204	72	972	324	312	24	972	384	204	60	1068	288
08:30	240	60	948	384	204	132	1008	300	192	48	804	216
08:35	348	168	720	324	324	84	732	324	336	120	876	192
08:40	264	96	1176	276	204	84	816	300	384	96	864	216
08:45	288	72	852	384	252	72	864	396	288	60	732	264
08:50	240	132	840	336	384	72	936	300	312	84	876	372
08:55	396	36	1068	336	288	144	876	228	360	72	780	360
09:00	312	72	864	264	264	144	888	420	372	24	1068	300
09:05	288	120	816	168	336	132	792	240	252	120	1080	384
09:10	420	72	780	288	348	72	888	288	288	108	816	324
09:15	312	48	660	456	384	96	840	348	420	120	996	360
09:20	288	132	768	360	204	108	708	360	348	108	828	312
09:25	348	96	708	276	228	120	972	444	276	132	948	240
09:30	348	96	684	372	264	84	792	324	360	168	756	396
09:35	360	96	732	324	324	72	780	300	408	72	696	432
09:40	408	132	840	180	396	120	756	348	288	144	732	456
09:45	300	96	768	276	348	168	828	264	288	120	744	276
09:50	324	96	852	432	264	60	612	276	396	216	792	372
09:55	336	96	888	252	432	180	960	300	468	120	840	240
10:00	336	108	732	168	252	180	828	252	468	156	804	336
10:05	468	168	696	180	384	84	660	300	372	120	684	324
10:10	492	168	744	300	336	60	684	240	384	168	660	288
10:15	336	120	780	264	456	84	696	396	420	108	792	264
10:20	420	96	732	300	396	228	792	288	468	24	756	228
10:25	360	84	564	288	456	108	792	216	252	240	768	420
10:30	300	192	804	252	384	108	660	396	336	168	636	384
10:35	504	132	900	432	324	84	828	264	480	96	768	348
10:40	372	96	720	288	396	84	780	348	360	96	732	240
10:45	372	108	576	276	408	72	624	324	456	132	768	252
10:50	420	132	636	336	444	96	780	240	492	120	720	276
10:55	504	60	660	324	528	156	564	336	336	108	612	312
11:00	540	36	684	252	516	120	660	300	576	132	492	180
11:05	528	108	804	288	552	132	648	372	396	180	672	372
11:10	468	48	936	204	456	156	684	252	456	108	696	204
11:15	360	36	768	420	504	108	828	300	480	156	900	312
11:20	432	168	636	276	420	168	648	252	432	132	804	156
11:25	504	120	816	300	396	168	576	300	420	120	756	444
11:30	456	132	576	288	456	96	828	276	348	144	696	348

11:35	384	132	684	324	612	96	624	264	444	132	636	396
11:40	480	132	864	348	504	156	600	420	552	192	888	264
11:45	516	132	864	336	672	96	684	300	456	168	972	252
11:50	372	60	792	300	636	180	684	300	504	120	708	312
11:55	456	132	624	372	240	156	732	180	384	144	816	372
12:00	564	156	732	312	372	120	660	288	432	84	732	444
12:05	336	156	828	264	444	132	684	252	396	96	708	192
12:10	576	144	720	312	492	108	648	264	432	96	780	336
12:15	432	120	612	360	420	144	744	372	528	180	672	372
12:20	468	156	696	240	540	180	636	288	408	96	624	252
12:25	576	168	576	336	432	144	696	168	480	264	612	312
12:30	468	144	732	312	444	108	708	348	588	156	804	312
12:35	408	180	720	228	504	120	492	432	492	120	636	276
12:40	504	132	780	312	360	96	636	336	456	168	732	156
12:45	588	72	1008	300	432	144	612	240	516	168	780	216
12:50	372	180	708	252	444	84	672	300	492	156	780	240
12:55	480	144	576	276	372	156	576	204	420	60	636	288
13:00	528	156	672	252	492	180	588	348	504	120	696	252
13:05	504	96	732	312	432	192	576	216	396	192	720	216
13:10	444	216	816	144	348	168	768	264	420	192	768	144
13:15	420	180	648	324	348	120	828	300	408	72	756	132
13:20	492	108	804	192	516	84	588	264	480	216	924	228
13:25	564	72	744	300	348	60	792	408	480	132	876	216
13:30	636	192	792	264	492	120	660	240	480	168	792	216
13:35	492	132	660	288	648	132	696	240	480	228	816	300
13:40	516	192	708	300	528	144	600	228	528	168	828	372
13:45	516	132	720	216	588	168	708	324	420	132	636	420
13:50	408	144	792	228	396	228	744	348	564	228	864	300
13:55	684	204	744	336	504	132	816	336	708	180	876	288
14:00	588	204	684	240	528	168	768	228	528	168	840	192
14:05	396	180	852	240	576	156	768	216	456	156	852	120
14:10	636	264	792	408	576	132	552	336	516	192	600	312
14:15	480	96	864	288	576	300	780	264	468	216	852	228
14:20	588	168	888	492	540	240	660	324	540	252	792	276
14:25	468	132	912	252	588	12	756	324	612	168	744	408
14:30	468	240	732	216	528	12	636	372	420	108	840	264
14:35	672	216	720	372	516	96	636	408	504	180	708	312
14:40	552	204	972	240	564	192	684	348	516	108	804	228
14:45	564	240	864	288	660	252	768	252	588	120	804	336
14:50	612	144	576	276	552	180	840	312	540	156	696	300
14:55	432	192	840	336	708	192	840	324	540	168	672	396
15:00	456	168	660	396	480	240	720	324	444	168	648	372
15:05	468	264	684	336	516	192	612	324	696	144	744	336
15:10	504	156	960	300	624	120	516	360	816	216	792	288
15:15	552	156	840	336	552	180	792	216	432	180	888	276
15:20	732	204	804	348	504	156	792	228	540	180	924	216
15:25	468	168	852	360	708	180	744	204	564	168	720	288
15:30	660	168	828	300	456	204	708	360	504	108	780	348
15:35	528	180	744	312	696	120	708	156	528	156	780	420
15:40	768	264	576	276	624	120	756	276	552	168	648	324
15:45	708	252	564	300	492	108	744	360	696	216	696	300
15:50	492	216	804	252	648	156	780	324	528	228	816	252
15:55	528	144	804	348	504	108	720	276	516	204	840	348
16:00	600	192	900	432	516	372	780	312	708	132	804	288
16:05	708	180	708	336	636	12	636	288	552	204	624	336
16:10	492	264	528	324	552	132	804	348	468	264	684	276
16:15	540	288	792	288	528	180	768	324	528	156	744	144
16:20	540	132	648	312	576	168	636	252	600	108	624	264
16:25	624	132	624	288	816	180	648	264	444	216	888	324

16:30	540	132	864	348	564	120	708	324	624	240	780	336
16:35	672	168	684	324	576	96	684	228	600	180	984	288
16:40	588	168	720	300	564	84	696	312	588	168	720	336
16:45	624	252	804	360	636	216	756	240	636	180	900	276
16:50	756	60	636	324	624	168	720	228	408	156	636	276
16:55	600	192	684	288	480	216	648	336	564	216	696	324
17:00	708	108	576	240	624	144	612	312	516	108	960	228
17:05	660	144	576	240	624	240	708	252	528	192	528	348
17:10	696	276	684	372	636	288	660	276	600	120	708	252
17:15	792	180	792	456	792	132	792	336	624	228	804	312
17:20	828	168	684	360	720	264	648	216	732	144	648	276
17:25	720	216	672	264	708	240	804	336	780	108	840	396
17:30	804	144	636	324	648	204	660	276	636	144	756	288
17:35	744	216	696	324	648	192	576	264	468	156	516	264
17:40	684	204	660	216	624	156	816	336	672	120	660	216
17:45	696	228	792	216	648	252	684	180	720	132	816	288
17:50	564	288	456	312	588	192	624	204	648	120	660	360
17:55	732	120	780	324	732	192	636	204	648	168	756	372
18:00	864	228	552	240	552	144	672	84	432	180	624	264
18:05	696	204	864	300	684	216	564	144	576	204	744	300
18:10	804	180	540	324	744	252	732	348	732	132	648	216
18:15	708	180	720	312	756	240	648	288	876	240	468	228
18:20	744	168	720	336	672	180	732	300	864	168	684	336
18:25	732	204	756	348	720	192	540	396	816	180	720	228
18:30	888	252	720	396	720	156	600	288	780	144	756	240
18:35	720	216	672	312	828	132	540	396	780	144	600	264
18:40	792	228	504	288	816	180	612	408	984	132	504	312
18:45	828	204	600	372	744	120	516	444	840	240	576	300
18:50	876	240	648	288	744	168	828	384	708	240	636	324
18:55	720	204	756	276	732	204	636	324	780	192	708	252
19:00	780	204	612	420	792	132	708	312	744	144	648	360
19:05	792	192	756	372	588	120	516	408	756	240	708	264
19:10	660	204	672	276	828	144	696	252	852	144	492	324
19:15	864	120	636	264	876	60	720	324	768	180	972	288
19:20	756	264	600	228	744	180	672	360	756	144	684	252
19:25	792	168	576	228	624	240	756	228	720	204	756	288
19:30	552	120	552	252	648	144	732	420	648	204	948	324
19:35	744	108	408	300	744	180	696	276	744	216	504	396
19:40	768	168	648	324	588	120	528	336	756	192	636	396
19:45	780	96	576	252	876	240	600	264	648	72	648	240
19:50	684	96	528	252	708	144	504	348	480	192	540	312
19:55	576	192	540	276	732	216	492	288	696	216	732	300

Tablo A.2: Gerçek zamanlı 10 dakikalık verilerden elde edilmiş saatlik trafik hacimleri

10 DK.	06.08.2018				07.08.2018				08.08.2018			
	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.
08:00	216	78	864	264	276	102	876	264	234	90	846	258
08:10	288	96	960	300	240	144	893	228	300	96	896	243
08:20	234	102	912	324	176	140	821	250	280	94	916	259
08:30	222	66	960	354	225	135	871	237	283	93	905	250
08:40	306	132	948	300	184	127	840	251	248	96	920	264
08:50	264	102	846	360	169	119	869	271	226	102	920	265
09:00	354	54	966	300	276	144	882	324	366	48	924	330
09:10	354	96	798	228	228	97	897	327	212	77	929	232
09:20	300	90	714	408	255	76	896	319	294	89	912	232
09:30	348	96	696	324	241	80	893	323	248	82	927	248
09:40	384	114	786	252	239	80	902	316	283	82	913	239
09:50	312	96	810	354	253	72	923	318	300	79	893	255
10:00	336	102	810	210	342	180	894	276	468	138	822	288
10:10	480	168	720	240	297	107	884	315	354	64	900	280
10:20	378	108	756	282	311	105	881	296	307	76	937	292
10:30	330	138	684	270	304	105	888	305	329	71	911	292
10:40	438	114	810	360	318	100	877	311	340	75	916	298
10:50	396	120	606	306	331	100	875	306	353	79	919	297
11:00	522	48	672	288	522	138	612	318	456	120	552	246
11:10	498	78	870	246	290	94	850	336	375	117	888	306
11:20	396	102	702	348	309	95	812	337	373	112	852	357
11:30	480	126	696	294	301	97	833	338	368	112	874	325
11:40	432	132	774	336	315	102	831	329	357	120	851	338
11:50	444	96	828	318	328	109	822	319	357	126	833	325
12:00	510	144	678	342	306	138	696	234	408	114	774	408
12:10	456	150	774	288	334	125	813	298	414	144	825	291
12:20	450	138	654	300	355	108	748	303	399	158	800	329
12:30	522	156	654	324	347	118	778	301	405	151	813	314
12:40	456	156	750	270	347	111	777	297	414	151	793	308
12:50	480	126	858	276	366	113	770	306	417	153	784	302
13:00	504	150	624	264	432	168	582	276	462	90	666	270
13:10	474	156	774	228	399	121	729	309	441	145	756	358
13:20	456	144	726	258	399	114	735	298	414	133	756	309
13:30	600	132	768	282	401	116	737	304	411	142	761	327
13:40	504	162	684	294	399	115	738	314	415	146	757	308
13:50	462	138	756	222	403	111	728	311	430	145	758	288
14:00	636	204	714	288	516	150	792	282	618	174	858	240
14:10	516	222	822	324	464	114	716	301	516	137	688	288
14:20	534	132	876	390	485	121	734	321	390	138	688	295
14:30	468	186	822	234	471	119	729	313	432	137	696	296
14:40	612	210	846	306	481	122	711	310	479	136	692	306
14:50	588	192	720	282	490	121	705	312	449	138	712	292
15:00	444	180	750	366	594	216	780	324	492	168	660	384
15:10	486	210	822	318	481	120	688	294	452	146	732	364
15:20	642	180	822	342	510	126	680	299	466	141	714	303
15:30	564	168	840	330	495	125	677	298	456	142	725	322
15:40	648	222	660	294	507	129	669	305	476	146	733	316
15:50	600	234	684	276	534	127	678	309	469	148	760	287
16:00	564	168	852	390	510	240	750	294	612	168	822	318
16:10	600	222	618	330	504	131	671	292	505	148	768	342
16:20	540	210	720	300	492	135	668	278	428	142	755	295
16:30	582	132	744	318	502	133	671	285	452	147	762	316
16:40	630	168	702	312	502	132	674	289	477	142	760	291
16:50	690	156	720	342	499	136	677	294	471	137	753	312

17:00	654	150	630	264	552	180	630	324	540	162	828	276
17:10	678	210	630	306	504	134	693	296	509	150	727	319
17:20	810	174	738	408	499	138	667	303	485	141	716	299
17:30	762	180	654	294	501	137	676	300	495	144	718	303
17:40	714	210	678	270	495	135	676	313	499	157	717	288
17:50	630	258	624	264	489	138	677	318	504	157	722	274
18:00	798	174	666	282	642	168	654	144	540	174	690	318
18:10	750	192	702	312	477	145	616	300	521	153	712	300
18:20	726	174	720	324	471	148	621	281	456	155	717	277
18:30	810	228	738	372	473	146	624	287	482	154	716	289
18:40	756	222	588	300	468	146	617	293	494	149	720	274
18:50	852	222	624	330	455	143	621	288	468	146	727	261
19:00	750	204	684	348	762	168	672	318	762	168	678	306
19:10	726	198	714	324	465	143	669	297	504	149	779	276
19:20	810	192	618	246	484	140	663	305	477	173	782	295
19:30	672	162	564	240	471	140	658	304	482	163	781	290
19:40	756	168	528	312	490	142	684	290	503	162	785	305
19:50	732	168	552	252	506	144	693	289	479	167	775	320



Tablo A.3: Gerçek zamanlı 15 dakikalık verilerden elde edilmiş saatlik trafik hacimleri

15 DK.	06.08.2018				07.08.2018				08.08.2018			
	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.
08:00	224	88	836	276	224	88	852	252	220	76	772	280
08:15	260	96	952	308	240	144	893	228	300	96	896	243
08:30	236	80	936	344	176	140	821	250	280	94	916	259
08:45	300	112	916	328	225	135	871	237	283	93	905	250
09:00	316	80	924	312	184	127	840	251	248	96	920	264
09:15	340	80	752	304	169	119	869	271	226	102	920	265
09:30	328	108	720	336	232	104	824	376	328	136	844	316
09:45	356	108	780	260	228	97	897	327	212	77	929	232
10:00	332	100	824	284	255	76	896	319	294	89	912	232
10:15	432	152	740	248	241	80	893	323	248	82	927	248
10:30	360	124	700	280	239	80	902	316	283	82	913	239
10:45	416	112	732	332	253	72	923	318	300	79	893	255
11:00	488	76	660	304	496	124	668	292	468	120	608	256
11:15	452	64	836	304	297	107	884	315	354	64	900	280
11:30	464	140	676	288	311	105	881	296	307	76	937	292
11:45	460	132	804	336	304	105	888	305	329	71	911	292
12:00	464	116	716	328	318	100	877	311	340	75	916	298
12:15	448	140	720	312	331	100	875	306	353	79	919	297
12:30	504	156	668	296	472	144	680	268	492	172	680	292
12:45	500	128	836	280	290	94	850	336	375	117	888	306
13:00	460	160	652	260	309	95	812	337	373	112	852	357
13:15	456	164	732	260	301	97	833	338	368	112	874	325
13:30	564	124	780	252	315	102	831	329	357	120	851	338
13:45	508	152	696	268	328	109	822	319	357	126	833	325
14:00	560	184	740	268	476	176	776	304	600	192	860	260
14:15	504	180	836	312	334	125	813	298	414	144	825	291
14:30	508	180	844	320	355	108	748	303	399	158	800	329
14:45	596	220	852	300	347	118	778	301	405	151	813	314
15:00	500	168	692	336	347	111	777	297	414	151	793	308
15:15	508	192	828	324	366	113	770	306	417	153	784	302
15:30	620	180	828	336	556	180	748	264	536	152	808	284
15:45	668	232	628	296	399	121	729	309	441	145	756	358
16:00	540	184	836	344	399	114	735	298	414	133	756	309
16:15	580	244	676	316	401	116	737	304	411	142	761	327
16:30	568	132	712	316	399	115	738	314	415	146	757	308
16:45	628	196	736	328	403	111	728	311	430	145	758	288
17:00	688	120	632	284	576	176	660	292	496	160	764	276
17:15	716	200	684	356	464	114	716	301	516	137	688	288
17:30	784	176	664	316	485	121	734	321	390	138	688	295
17:45	708	216	716	252	471	119	729	313	432	137	696	296
18:00	720	212	596	292	481	122	711	310	479	136	692	306
18:15	736	188	708	312	490	121	705	312	449	138	712	292
18:30	788	208	732	360	704	176	624	328	820	164	720	268
18:45	780	216	592	324	481	120	688	294	452	146	732	364
19:00	792	216	672	328	510	126	680	299	466	141	714	303
19:15	772	172	688	304	495	125	677	298	456	142	725	322
19:30	700	184	576	236	507	129	669	305	476	146	733	316
19:45	764	168	544	292	534	127	678	309	469	148	760	287

## EK B ARIMA Modeli İle Elde Edilmiş Tahmin Sonuçları

Tablo B.1: ARIMA modeli ile yapılmış 5 dakikalık tahmin sonuçları (taşıt/5 dk.)

5 DK.	06.08.2018				07.08.2018				08.08.2018			
	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.
08:00	19	9	72	12	27	9	80	18	22	7	74	20
08:05	28	6	75	15	20	12	74	19	25	8	75	20
08:10	27	7	78	20	15	12	68	21	23	8	76	22
08:15	20	9	77	21	14	9	69	22	17	8	78	23
08:20	20	9	77	23	14	10	76	24	18	9	76	22
08:25	18	8	77	24	16	7	75	26	17	8	78	23
08:30	18	7	78	25	19	5	73	27	16	6	80	26
08:35	20	8	77	26	19	8	75	27	18	6	77	19
08:40	22	9	75	25	21	6	75	27	25	7	76	19
08:45	23	8	80	25	19	6	76	26	25	7	76	20
08:50	24	9	76	27	22	6	79	27	25	6	73	22
08:55	23	8	77	25	24	7	77	26	28	7	73	25
09:00	27	7	79	26	25	9	76	26	29	6	72	26
09:05	26	7	76	25	25	9	74	26	30	5	75	23
09:10	29	7	76	24	26	9	73	25	26	6	78	24
09:15	28	7	75	26	28	8	73	26	30	7	76	26
09:20	29	7	72	26	28	9	73	25	31	7	76	24
09:25	29	7	71	25	26	9	70	27	29	8	76	25
09:30	29	7	69	26	25	9	72	29	29	9	76	23
09:35	29	7	68	27	24	8	71	28	31	10	74	25
09:40	31	8	67	25	26	8	68	28	31	9	71	30
09:45	31	8	67	25	27	9	70	27	28	10	70	28
09:50	31	8	66	27	28	9	68	26	30	11	69	25
09:55	31	8	67	26	28	8	67	26	32	11	69	24
10:00	30	8	68	24	29	11	67	25	34	12	69	26
10:05	31	8	67	25	28	10	68	25	35	12	69	24
10:10	32	9	66	25	30	9	62	25	33	13	67	27
10:15	34	10	66	25	29	9	65	24	35	13	65	25
10:20	35	10	65	24	32	10	64	26	35	13	65	24
10:25	35	10	64	25	32	12	64	25	37	11	65	24
10:30	33	10	62	24	34	9	63	26	30	13	65	27
10:35	35	10	64	24	33	10	61	26	37	12	63	30
10:40	34	11	64	27	33	9	61	25	34	11	63	26
10:45	35	11	63	23	33	9	62	27	34	13	63	24
10:50	36	11	62	26	34	9	60	26	38	12	63	23
10:55	34	10	61	25	35	9	62	26	36	12	63	25
11:00	37	10	60	25	37	10	61	26	34	11	61	26
11:05	38	10	59	24	39	10	60	25	43	11	57	24
11:10	40	9	60	25	40	10	61	27	32	12	57	25
11:15	40	9	63	24	40	10	58	26	43	11	58	27
11:20	40	8	62	27	41	10	58	26	36	12	61	23
11:25	39	8	61	23	40	11	56	24	41	12	62	25
11:30	39	8	63	26	40	11	54	25	37	11	62	25
11:35	40	9	60	25	40	10	57	25	38	12	61	30
11:40	40	9	61	25	42	11	57	25	39	12	60	25
11:45	40	9	62	25	43	11	55	26	41	12	62	25
11:50	40	9	63	25	46	10	58	26	38	13	66	23
11:55	41	10	63	25	47	12	57	27	43	12	64	25
12:00	40	10	62	26	44	11	56	24	36	13	64	28
12:05	40	10	62	25	42	11	56	24	42	12	64	29
12:10	41	10	63	25	41	11	56	23	36	12	63	25
12:15	42	10	62	26	42	11	57	24	41	12	63	22

12:20	40	11	61	25	41	12	57	25	39	11	62	29
12:25	44	11	61	24	43	12	57	25	38	11	60	25
12:30	40	11	59	26	42	11	56	25	41	12	59	24
12:35	44	11	60	25	42	11	58	25	42	12	61	27
12:40	42	12	59	25	42	11	56	25	40	12	60	25
12:45	43	12	60	26	41	11	56	27	42	14	59	22
12:50	42	12	63	24	40	12	57	27	43	13	61	22
12:55	43	12	61	25	40	11	54	25	42	13	61	25
13:00	43	12	61	25	39	12	53	24	41	13	60	25
13:05	42	12	61	24	40	12	51	25	43	13	59	25
13:10	44	12	60	25	39	12	52	23	38	13	60	23
13:15	43	12	61	23	38	12	51	25	42	12	61	22
13:20	43	12	60	26	37	12	52	24	38	12	61	21
13:25	42	13	62	22	38	11	50	24	42	13	64	23
13:30	43	13	61	26	37	11	52	26	39	13	65	25
13:35	45	12	62	24	39	12	56	25	42	12	65	23
13:40	45	12	61	25	40	12	55	25	40	14	65	25
13:45	46	13	61	24	42	12	59	23	43	13	66	27
13:50	44	13	61	24	43	12	58	24	38	14	64	27
13:55	45	13	61	25	42	13	60	25	46	15	65	25
14:00	45	13	61	25	42	12	59	26	45	15	67	22
14:05	46	13	61	23	42	13	60	25	44	15	67	23
14:10	48	14	63	25	44	12	59	24	44	15	67	20
14:15	45	14	62	26	45	12	60	24	45	15	64	24
14:20	46	15	64	23	46	15	61	24	43	16	65	26
14:25	48	15	65	27	46	13	63	25	46	16	66	23
14:30	45	15	67	22	47	11	60	25	46	16	65	27
14:35	48	14	66	26	46	12	61	26	42	16	66	26
14:40	45	15	66	26	46	13	58	27	47	17	65	22
14:45	48	15	68	23	47	13	60	27	43	15	65	24
14:50	48	16	67	26	48	14	58	26	48	14	66	24
14:55	48	16	65	24	48	13	58	26	43	14	64	26
15:00	48	16	67	25	50	14	57	25	48	13	63	25
15:05	47	16	64	25	49	14	58	26	42	14	61	27
15:10	45	16	64	24	49	13	59	26	53	13	62	25
15:15	46	16	66	25	49	13	60	26	49	14	63	24
15:20	46	17	65	25	49	14	62	25	45	14	65	23
15:25	48	16	66	25	49	14	63	25	51	14	67	23
15:30	47	16	67	25	50	14	59	23	46	15	65	24
15:35	50	16	67	25	49	14	59	24	48	14	65	26
15:40	46	16	66	25	51	13	59	23	47	14	65	27
15:45	53	16	64	25	50	14	60	25	48	14	63	26
15:50	49	17	62	25	51	14	60	24	51	14	62	23
15:55	54	17	63	24	50	14	60	25	46	15	64	24
16:00	49	17	63	26	50	13	61	26	50	15	65	25
16:05	51	17	65	25	50	17	61	25	52	15	65	26
16:10	51	17	63	24	50	11	62	25	47	16	63	24
16:15	52	17	61	26	50	15	62	26	49	16	61	25
16:20	51	18	63	25	49	14	64	25	48	15	62	21
16:25	49	18	60	25	49	14	61	25	50	16	60	22
16:30	51	18	60	25	52	14	62	25	44	17	63	27
16:35	50	17	62	26	52	14	62	24	53	16	64	26
16:40	52	17	60	25	52	14	61	24	45	15	66	25
16:45	50	16	61	25	51	14	59	25	52	16	65	24
16:50	53	16	61	26	52	15	59	24	49	16	66	25
16:55	52	16	60	25	52	14	58	24	45	16	64	23
17:00	54	16	60	25	51	15	57	24	51	16	63	25
17:05	54	16	58	25	51	14	57	24	44	15	66	24
17:10	54	15	57	25	51	15	58	25	50	15	63	24

17:15	56	15	57	26	52	15	57	25	47	15	61	26
17:20	56	15	58	26	54	14	57	24	50	15	63	23
17:25	58	16	57	25	55	16	57	24	52	15	62	25
17:30	59	16	58	25	57	15	56	25	54	14	63	26
17:35	60	16	57	26	56	15	58	24	51	15	63	26
17:40	59	16	57	25	56	15	56	25	50	14	59	22
17:45	61	16	57	24	56	15	60	25	56	13	58	23
17:50	59	16	58	25	56	16	59	23	53	13	61	24
17:55	60	17	54	25	55	15	57	24	54	13	60	27
18:00	59	17	58	25	56	16	59	22	54	12	60	27
18:05	60	17	54	24	55	15	58	21	48	13	59	24
18:10	62	17	58	26	56	16	57	21	55	13	59	23
18:15	62	17	54	25	56	16	56	21	53	13	59	24
18:20	61	17	57	25	59	16	56	23	60	14	55	22
18:25	64	17	56	26	58	16	54	25	58	14	55	25
18:30	62	17	58	25	59	16	54	25	62	14	57	25
18:35	65	17	58	26	59	16	53	25	60	15	58	22
18:40	63	17	58	25	61	16	54	27	63	14	57	24
18:45	66	17	55	26	62	17	52	26	68	14	54	25
18:50	63	18	56	26	63	16	52	28	63	14	53	25
18:55	68	18	55	24	63	17	51	28	65	15	53	25
19:00	65	18	56	26	63	17	51	27	66	15	54	24
19:05	68	18	55	27	63	16	48	26	65	16	54	24
19:10	65	18	57	25	62	16	51	26	66	16	55	26
19:15	67	18	56	25	63	16	51	25	68	16	53	23
19:20	66	18	56	26	64	15	55	26	65	15	57	25
19:25	66	18	55	25	65	17	53	25	67	16	58	23
19:30	68	17	54	25	63	17	55	25	64	15	58	24
19:35	66	17	54	25	63	16	56	25	67	16	58	25
19:40	68	17	54	25	63	16	56	24	66	15	58	24
19:45	68	17	54	25	64	16	58	25	67	16	58	25
19:50	69	18	54	25	64	17	58	25	67	15	58	24
19:55	69	18	54	25	65	17	58	25	67	16	58	24

Tablo B.2: ARIMA modeli ile yapılmış 10 dakikalık tahmin sonuçları (taşıt/10 dk.)

10 DK.	06.08.2018				07.08.2018				08.08.2018			
	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.
08:00	36	13	144	44	46	17	146	44	39	15	141	43
08:10	48	16	148	46	36	21	138	45	44	15	145	44
08:20	48	18	153	48	30	21	142	48	42	17	152	47
08:30	40	16	152	50	34	17	152	54	37	15	150	46
08:40	45	16	155	52	40	14	138	54	39	14	154	44
08:50	46	20	154	52	42	12	153	51	53	13	149	43
09:00	49	15	152	53	48	14	161	54	59	14	148	47
09:10	58	15	155	51	50	15	146	53	55	11	148	46
09:20	55	15	147	52	56	16	145	49	58	13	150	51
09:30	60	14	140	53	55	17	142	55	58	17	150	51
09:40	61	16	136	51	52	17	141	58	63	18	149	52
09:50	62	17	132	53	57	17	132	53	59	22	140	56
10:00	62	17	126	52	53	19	137	49	64	22	139	51
10:10	67	18	120	50	55	18	133	50	70	26	134	54
10:20	68	21	116	51	61	20	123	51	73	24	128	51
10:30	66	19	117	48	65	21	135	54	69	26	129	49
10:40	73	23	117	49	68	20	122	53	68	22	122	54
10:50	71	20	122	50	69	20	123	51	67	27	127	49
11:00	71	22	119	50	75	20	120	50	80	21	121	52
11:10	79	17	121	51	78	20	125	52	77	25	116	48
11:20	74	18	128	50	79	19	120	52	76	22	116	49

11:30	82	16	121	50	83	20	110	50	77	24	121	47
11:40	82	19	122	49	86	21	108	50	77	24	118	53
11:50	79	19	125	51	90	22	114	54	78	25	126	49
12:00	85	19	126	51	92	22	117	51	85	26	127	53
12:10	82	21	123	51	81	22	110	47	77	25	130	55
12:20	83	21	126	51	92	23	111	48	76	24	127	49
12:30	85	23	124	51	88	23	114	53	81	23	123	54
12:40	84	23	122	50	74	23	113	50	86	24	122	50
12:50	82	24	123	50	78	24	112	54	85	26	117	48
13:00	86	24	122	50	79	24	114	51	83	25	123	48
13:10	82	25	114	49	76	23	102	47	85	28	115	47
13:20	84	24	118	49	73	22	103	48	79	24	124	44
13:30	83	25	118	49	74	24	100	50	80	28	122	45
13:40	86	25	120	49	73	26	108	53	84	25	132	44
13:50	80	26	121	49	79	25	115	47	85	28	129	47
14:00	88	25	124	49	80	23	122	51	85	29	134	48
14:10	86	29	126	49	86	24	118	51	91	29	134	48
14:20	83	29	128	49	94	26	119	48	92	31	130	48
14:30	92	29	132	50	93	22	126	50	84	31	135	46
14:40	85	31	132	50	95	27	118	53	91	33	130	48
14:50	95	30	137	51	97	29	117	55	90	29	132	46
15:00	86	32	137	49	99	24	117	49	92	31	127	51
15:10	94	32	141	50	99	24	114	50	92	27	125	51
15:20	93	33	142	50	99	26	122	53	100	28	125	50
15:30	93	32	139	51	99	28	129	46	103	28	131	50
15:40	91	33	136	50	100	27	112	48	87	29	126	50
15:50	100	34	128	50	101	29	121	48	98	28	131	50
16:00	94	34	125	50	98	30	121	52	99	29	125	49
16:10	103	34	125	50	100	27	123	52	102	31	132	52
16:20	100	36	114	50	103	30	126	50	96	30	119	49
16:30	101	34	114	51	97	30	125	50	95	34	127	47
16:40	104	33	113	51	101	29	121	49	99	30	122	51
16:50	103	33	110	50	100	31	117	49	98	35	132	47
17:00	106	30	112	51	105	29	114	47	98	30	126	49
17:10	106	31	112	50	105	28	112	51	94	32	138	49
17:20	112	32	114	51	105	27	117	50	98	30	118	49
17:30	113	31	118	50	110	28	112	48	103	29	133	48
17:40	115	33	116	51	109	29	113	51	110	30	117	51
17:50	122	32	116	52	114	30	117	50	104	27	122	47
18:00	122	35	114	50	117	30	120	44	104	27	116	51
18:10	130	33	112	50	113	31	118	41	107	25	119	48
18:20	125	36	111	50	113	31	112	48	103	27	114	49
18:30	137	32	109	50	113	31	109	52	123	26	112	49
18:40	134	36	110	51	118	33	105	53	127	29	115	46
18:50	137	34	108	51	127	34	109	55	126	28	103	49
19:00	143	37	111	52	127	35	104	55	132	29	110	48
19:10	141	36	113	51	130	33	105	50	126	32	102	48
19:20	148	37	113	51	134	33	101	48	133	30	107	49
19:30	149	37	112	51	133	33	106	48	133	33	103	49
19:40	152	37	111	51	133	34	105	49	127	32	107	49
19:50	156	38	111	51	136	34	105	50	128	33	104	49

Tablo B.3: ARIMA modeli ile yapılmış 15 dakikalık tahmin sonuçları (taşıt/15 dk.)

15 DK.	06.08.2018				07.08.2018				08.08.2018			
	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.
08:00	56	22	209	69	56	22	213	63	55	19	193	70
08:15	65	24	217	70	55	30	212	65	61	24	200	68
08:30	66	22	223	75	58	28	219	72	60	23	213	68
08:45	67	23	228	80	65	24	220	80	65	20	224	69
09:00	79	23	229	80	78	24	222	76	88	21	219	66
09:15	84	24	231	78	89	25	220	74	89	19	220	74
09:30	88	20	226	77	58	26	218	79	92	29	227	73
09:45	90	25	210	79	89	27	213	85	90	31	223	79
10:00	94	26	192	73	79	30	208	81	95	34	208	83
10:15	96	28	179	73	98	29	199	75	108	38	204	78
10:30	105	31	176	69	103	31	193	82	103	37	197	81
10:45	101	34	179	72	94	28	183	79	105	38	191	78
11:00	110	29	182	77	124	32	176	76	111	33	191	75
11:15	117	26	183	76	126	29	170	76	118	36	181	75
11:30	117	22	181	76	106	32	164	76	117	37	182	73
11:45	122	28	186	74	149	31	161	75	115	38	187	73
12:00	124	33	183	78	104	34	160	76	124	40	195	76
12:15	125	30	191	79	113	33	159	74	118	36	195	80
12:30	125	33	187	78	118	35	161	72	125	37	190	77
12:45	129	35	186	76	108	34	163	75	125	40	184	79
13:00	127	36	178	73	109	36	165	74	129	40	182	72
13:15	124	36	181	71	94	36	165	73	126	36	181	71
13:30	124	40	175	70	113	36	164	68	121	39	184	63
13:45	130	37	181	69	147	38	166	76	127	41	195	67
14:00	125	37	183	70	119	36	168	72	125	44	196	68
14:15	131	42	185	70	144	38	171	71	142	45	200	68
14:30	128	44	189	74	138	36	177	72	127	46	199	73
14:45	131	44	197	76	145	41	181	73	142	45	197	71
15:00	138	47	208	75	145	37	185	77	133	41	196	69
15:15	132	49	216	78	141	40	186	74	140	43	187	77
15:30	137	45	209	78	139	40	190	77	150	44	190	74
15:45	146	50	204	79	151	41	187	77	142	43	195	77
16:00	149	49	192	76	139	45	187	76	153	45	191	76
16:15	145	54	179	79	143	41	185	76	147	46	193	74
16:30	154	50	177	78	163	47	184	74	147	49	188	75
16:45	155	54	170	77	148	42	182	70	147	47	187	74
17:00	160	43	175	78	144	47	178	70	152	47	197	72
17:15	166	51	175	75	171	43	175	75	141	44	197	74
17:30	171	42	173	80	173	44	169	73	154	46	188	74
17:45	181	54	171	78	160	43	166	69	161	40	186	74
18:00	183	48	166	72	156	46	165	69	159	41	181	73
18:15	192	56	166	74	182	47	164	63	158	40	177	76
18:30	198	48	164	76	176	47	163	67	172	46	171	70
18:45	206	50	175	76	199	51	162	68	183	41	174	74
19:00	212	51	170	76	189	50	161	59	197	44	166	71
19:15	218	49	178	76	191	53	160	60	189	43	165	72
19:30	224	49	174	76	168	52	160	62	201	45	172	73
19:45	230	50	179	76	184	54	159	64	188	43	182	72

## EK C YSA Modeli İle Elde Edilmiş Tahmin Sonuçları

Tablo C.1: YSA modeli ile yapılmış 5 dakikalık tahmin sonuçları (taşıt/5 dk.)

5 DK.	06.08.2018				07.08.2018				08.08.2018			
	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.
08:00	19	9	72	12	27	9	80	18	22	7	74	20
08:05	28	6	83	23	20	12	60	22	25	8	77	21
08:10	20	10	77	27	16	9	62	25	19	7	83	28
08:15	17	8	78	27	19	9	87	25	17	9	70	15
08:20	22	9	74	27	15	10	86	34	20	9	83	33
08:25	17	6	81	27	26	2	81	32	17	5	89	24
08:30	26	15	86	33	23	13	70	30	13	6	64	17
08:35	33	11	85	27	25	8	62	25	26	7	63	17
08:40	28	15	103	25	23	13	67	24	31	8	51	16
08:45	31	13	89	31	28	5	72	31	29	9	78	28
08:50	26	12	95	31	33	8	78	24	23	10	72	31
08:55	34	15	101	29	27	11	74	20	17	8	77	28
09:00	24	18	96	26	25	10	74	33	18	4	87	28
09:05	27	15	85	22	31	10	66	22	22	10	86	31
09:10	39	11	79	27	18	6	63	23	20	9	70	26
09:15	31	11	73	25	40	0	76	34	33	7	51	30
09:20	25	14	83	24	16	13	60	30	28	10	67	26
09:25	30	14	69	30	29	9	59	37	21	10	64	20
09:30	32	12	75	29	24	11	66	23	26	11	55	31
09:35	32	13	78	18	36	12	60	25	32	7	76	35
09:40	33	14	73	19	30	13	63	29	21	11	64	38
09:45	24	13	47	29	31	16	57	25	19	14	64	24
09:50	29	14	70	34	27	5	52	24	26	18	64	15
09:55	28	15	53	25	32	15	80	17	35	9	83	20
10:00	36	11	67	27	21	12	69	20	36	12	73	24
10:05	39	13	58	27	30	6	55	35	29	8	68	27
10:10	36	15	58	31	28	6	58	23	24	8	63	23
10:15	29	12	68	18	30	14	58	30	31	9	76	22
10:20	28	13	46	26	33	18	66	30	36	1	77	19
10:25	41	16	43	28	27	4	66	23	19	18	66	35
10:30	24	15	71	25	34	8	55	32	23	13	59	32
10:35	43	11	72	23	26	7	55	19	36	8	75	29
10:40	34	17	49	28	36	8	65	27	28	15	71	22
10:45	31	13	47	23	28	6	54	23	35	10	62	20
10:50	41	15	64	29	36	9	65	21	36	12	69	23
10:55	42	10	56	27	43	14	47	35	26	7	80	26
11:00	44	15	52	28	41	17	63	18	47	10	56	16
11:05	43	18	52	26	29	9	58	31	30	17	57	30
11:10	35	15	77	18	37	10	53	21	34	11	64	17
11:15	29	9	64	35	41	8	69	26	37	4	75	27
11:20	36	19	58	32	34	11	54	21	33	10	71	13
11:25	41	14	75	26	33	12	48	24	33	7	74	33
11:30	38	12	59	25	38	5	53	22	39	13	69	20
11:35	33	15	68	34	50	3	52	23	34	10	71	32
11:40	35	14	74	33	37	12	50	34	44	15	71	22
11:45	43	12	67	32	55	7	57	23	31	14	64	13
11:50	32	13	63	29	14	14	69	25	33	10	61	22
11:55	37	15	84	34	49	13	66	15	30	11	72	30
12:00	25	14	65	28	31	9	55	26	34	7	58	36
12:05	40	14	68	26	37	9	57	22	32	8	56	16
12:10	15	16	49	31	41	15	52	22	33	8	57	27
12:15	36	14	44	28	35	12	62	27	43	23	60	18

12:20	40	12	51	24	45	13	53	24	32	7	65	21
12:25	40	15	58	20	37	11	58	14	40	20	56	26
12:30	39	10	53	27	32	9	59	29	43	15	70	12
12:35	33	10	62	24	29	16	41	34	35	9	50	25
12:40	45	12	90	26	30	8	53	27	38	14	66	14
12:45	48	7	80	26	36	14	51	21	50	14	69	8
12:50	32	14	66	21	36	10	56	24	39	13	73	20
12:55	36	13	45	25	31	14	80	18	53	4	56	29
13:00	41	19	68	22	41	11	49	27	36	9	69	35
13:05	49	11	71	21	36	15	48	19	33	8	54	18
13:10	34	13	65	14	29	14	64	20	33	6	64	12
13:15	41	11	63	28	26	12	69	24	45	8	61	13
13:20	40	14	67	16	43	4	49	23	37	16	56	19
13:25	46	13	68	33	49	8	66	29	36	11	66	18
13:30	51	20	62	25	40	10	50	24	38	9	69	18
13:35	42	13	56	27	53	10	58	20	63	18	53	19
13:40	43	16	64	33	43	10	50	20	42	14	66	31
13:45	42	14	62	21	49	13	60	19	33	11	54	34
13:50	37	11	71	21	33	16	62	25	46	18	70	25
13:55	56	14	66	29	40	11	68	25	40	15	82	34
14:00	42	18	61	23	51	9	61	19	37	14	74	14
14:05	50	12	74	24	48	12	64	18	36	12	68	10
14:10	42	15	65	35	63	14	52	29	30	16	63	20
14:15	49	13	64	27	36	25	65	23	37	18	64	17
14:20	49	10	69	39	53	17	63	26	43	21	77	22
14:25	47	15	86	24	49	4	63	28	50	14	72	34
14:30	37	16	72	31	64	11	69	31	34	9	78	22
14:35	58	9	63	30	43	8	53	32	40	16	65	25
14:40	45	10	82	22	47	15	57	27	41	10	59	19
14:45	48	13	88	26	55	14	64	23	48	12	80	28
14:50	51	8	58	24	43	15	58	23	44	14	69	26
14:55	43	8	82	28	50	12	70	29	42	14	55	33
15:00	55	13	70	27	40	20	46	23	37	19	60	29
15:05	40	18	54	23	43	15	51	27	41	12	65	24
15:10	40	11	76	24	52	10	43	37	67	17	52	24
15:15	49	12	76	29	47	3	66	24	38	15	79	22
15:20	60	14	69	28	42	14	66	26	38	15	73	30
15:25	39	6	78	23	49	13	58	19	44	12	60	23
15:30	56	13	75	24	38	10	59	19	49	9	68	25
15:35	44	13	57	26	62	11	59	14	43	13	68	34
15:40	62	17	66	24	52	9	63	23	46	14	62	26
15:45	57	12	66	27	52	7	62	30	57	14	61	23
15:50	42	14	75	22	54	13	65	23	70	17	74	12
15:55	50	13	68	29	42	11	59	22	42	17	66	26
16:00	49	8	83	24	43	26	65	27	58	14	75	23
16:05	57	14	75	27	53	5	53	25	44	17	71	27
16:10	41	16	57	28	46	1	54	25	47	22	62	19
16:15	45	13	58	35	55	10	64	25	44	14	54	11
16:20	46	9	58	25	48	12	53	21	50	11	50	21
16:25	50	11	61	20	68	15	52	22	70	11	75	17
16:30	50	12	81	24	47	11	59	26	53	11	65	27
16:35	58	7	74	27	48	8	57	19	49	14	75	24
16:40	50	15	54	24	47	4	64	26	47	18	59	27
16:45	53	20	68	29	47	16	63	24	52	14	65	23
16:50	63	11	51	28	53	14	60	20	36	13	45	23
16:55	49	15	52	24	41	19	55	27	61	18	48	20
17:00	59	11	62	22	52	12	51	20	46	12	54	23
17:05	56	11	50	20	52	19	59	23	45	13	40	31
17:10	59	14	58	31	53	24	55	18	49	11	48	22



17:15	64	17	68	23	38	14	61	27	54	18	62	25
17:20	46	15	64	30	59	21	54	25	60	11	50	21
17:25	62	15	77	22	51	18	67	23	58	8	54	30
17:30	60	15	56	29	54	18	55	25	50	11	57	23
17:35	58	12	56	16	55	17	48	25	39	12	41	22
17:40	62	15	63	20	53	14	68	25	39	10	45	28
17:45	57	16	78	18	55	21	62	16	47	23	72	26
17:50	64	12	61	26	51	16	67	19	54	10	37	28
17:55	61	9	72	27	61	16	53	17	46	2	69	15
18:00	71	13	53	19	47	12	62	10	54	20	68	24
18:05	60	13	73	25	56	15	67	22	45	16	59	24
18:10	62	11	50	26	64	23	61	16	59	11	55	17
18:15	60	14	65	30	51	21	55	20	72	20	56	19
18:20	62	15	55	28	54	16	61	25	71	14	57	27
18:25	56	12	70	24	59	17	45	32	71	14	45	20
18:30	55	13	46	33	60	18	51	29	66	13	60	19
18:35	61	9	51	22	70	16	45	35	71	12	39	25
18:40	59	13	47	23	68	17	51	38	83	11	40	26
18:45	65	13	65	30	60	12	43	33	71	20	41	25
18:50	53	15	66	23	61	16	69	34	69	16	49	30
18:55	53	12	64	21	57	20	54	26	67	16	55	24
19:00	59	12	52	25	58	13	59	30	63	12	48	29
19:05	65	14	64	28	53	11	43	17	66	20	48	21
19:10	62	20	73	25	57	13	58	21	73	11	35	26
19:15	61	9	56	23	72	17	76	30	65	15	74	22
19:20	66	8	79	19	68	20	58	31	67	19	46	21
19:25	68	16	53	23	56	24	53	23	69	17	58	10
19:30	60	10	65	20	53	16	46	37	66	13	76	26
19:35	64	13	71	21	60	17	46	25	62	18	34	32
19:40	68	11	78	27	51	16	50	30	60	16	35	31
19:45	66	12	48	23	49	20	50	23	66	6	57	34
19:50	60	13	61	19	56	18	43	29	39	16	34	26
19:55	36	15	79	23	59	20	58	27	56	16	46	23

Tablo C.2: YSA modeli ile yapılmış 10 dakikalık tahmin sonuçları (taşıt/10 dk.)

10 DK.	06.08.2018				07.08.2018				08.08.2018			
	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.
08:00	36	13	144	44	46	17	146	44	39	15	141	43
08:10	48	16	160	50	36	21	122	47	44	15	160	49
08:20	39	17	152	54	34	19	173	59	37	18	153	48
08:30	37	11	160	59	43	13	165	57	33	9	156	42
08:40	51	22	158	50	44	14	129	52	60	18	145	34
08:50	44	17	141	60	53	12	150	58	50	12	134	53
09:00	80	17	161	47	45	22	153	48	73	22	140	51
09:10	79	16	149	39	47	18	143	42	72	19	162	59
09:20	73	15	131	58	51	20	135	57	73	19	152	43
09:30	75	16	138	42	42	28	140	60	70	17	142	60
09:40	84	19	138	36	56	17	129	50	74	20	119	53
09:50	71	8	138	55	53	19	113	43	70	22	128	54
10:00	75	13	122	38	44	30	150	44	73	21	137	48
10:10	92	18	124	48	56	9	112	41	73	22	112	64
10:20	81	18	133	49	49	10	124	54	78	17	129	40
10:30	75	23	116	34	61	28	121	38	71	28	103	66
10:40	84	19	139	51	60	14	134	41	78	22	125	48
10:50	77	20	111	50	67	15	117	46	82	26	124	32
11:00	87	15	132	43	73	24	126	51	86	23	92	34
11:10	87	19	145	40	69	17	110	42	77	27	129	60
11:20	76	15	126	60	70	22	118	61	68	21	142	27

11:30	86	21	120	45	74	22	118	47	80	22	111	64
11:40	80	22	129	46	87	21	102	55	84	26	127	44
11:50	82	16	136	47	74	24	114	49	81	27	140	45
12:00	88	24	125	46	63	23	130	36	85	24	152	66
12:10	86	13	133	46	73	12	112	43	80	23	124	36
12:20	86	23	113	50	83	11	115	42	82	35	108	53
12:30	91	26	112	54	75	21	116	43	93	32	118	53
12:40	86	18	119	48	70	18	103	63	88	26	114	42
12:50	91	21	122	39	63	19	105	45	84	26	130	65
13:00	86	25	104	50	78	28	95	45	78	32	111	57
13:10	92	26	129	46	70	40	112	39	78	29	124	28
13:20	81	24	121	50	85	17	117	46	82	27	140	51
13:30	91	22	134	52	63	26	96	29	81	33	139	22
13:40	90	21	125	50	91	23	107	41	95	31	138	52
13:50	86	23	128	43	85	21	119	56	85	24	125	23
14:00	92	17	139	50	81	25	131	48	110	29	143	37
14:10	89	37	138	50	101	24	110	46	94	27	121	30
14:20	97	22	138	55	89	45	121	48	109	31	106	39
14:30	108	31	139	66	104	26	113	57	99	24	132	57
14:40	82	35	117	51	91	24	108	63	100	29	125	46
14:50	98	32	112	62	98	36	131	54	94	27	125	55
15:00	89	34	133	51	100	36	125	53	95	33	110	63
15:10	91	43	126	46	112	26	94	57	113	37	134	50
15:20	97	30	132	47	81	28	132	36	104	31	151	39
15:30	94	28	120	41	93	26	120	43	95	28	125	49
15:40	101	40	107	52	112	20	122	44	80	34	119	46
15:50	92	39	118	40	99	22	106	57	78	29	126	49
16:00	94	28	133	62	100	40	125	49	103	28	137	55
16:10	99	37	117	52	101	12	131	50	95	32	136	49
16:20	93	35	123	46	125	16	118	48	98	29	114	41
16:30	99	22	115	54	109	25	125	40	95	34	139	55
16:40	98	28	122	53	100	15	113	43	105	31	142	51
16:50	106	24	118	50	107	32	128	37	98	33	128	44
17:00	102	25	111	47	137	30	104	53	97	33	108	57
17:10	101	39	107	50	104	43	108	47	100	31	97	49
17:20	114	29	102	67	132	31	128	45	125	31	121	48
17:30	110	31	117	51	115	36	122	50	119	26	133	57
17:40	108	35	110	48	107	28	117	49	113	30	96	40
17:50	115	43	103	49	112	36	109	31	117	31	123	53
18:00	113	29	111	31	123	28	106	25	121	31	114	52
18:10	112	32	112	56	125	33	107	32	117	36	116	41
18:20	113	29	114	51	119	42	114	53	111	32	96	38
18:30	116	38	99	52	121	27	102	56	135	31	123	40
18:40	108	37	100	47	137	25	93	58	146	32	92	48
18:50	126	38	99	55	160	31	109	75	128	36	112	45
19:00	113	34	108	54	151	27	96	52	144	37	108	49
19:10	124	33	107	45	127	22	99	54	135	33	100	47
19:20	126	32	117	34	127	19	118	54	131	31	89	45
19:30	115	24	106	47	150	31	120	57	151	30	111	49
19:40	126	13	97	44	121	25	98	69	126	31	111	65
19:50	119	16	96	38	137	31	94	50	112	29	99	43

Tablo C.3: YSA modeli ile yapılmış 15 dakikalık tahmin sonuçları (taşıt/15 dk.)

15 DK.	06.08.2018				07.08.2018				08.08.2018			
	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.	BAY.	CAN.	ÇAY.	LOZ.
08:00	56	22	209	69	56	22	213	63	55	19	193	70
08:15	65	24	238	77	55	30	209	72	61	24	230	64
08:30	59	20	234	86	58	23	251	91	53	18	239	75

08:45	75	28	229	82	65	20	201	85	84	23	206	56
09:00	79	20	231	78	78	30	225	79	87	15	227	86
09:15	85	20	188	76	89	25	210	73	80	29	241	89
09:30	79	29	180	84	58	30	212	94	74	30	178	70
09:45	93	29	195	65	89	33	201	75	70	24	182	87
10:00	90	29	188	52	79	28	166	67	74	40	204	72
10:15	95	30	173	62	107	30	168	75	92	39	178	73
10:30	102	33	175	74	103	36	175	74	83	36	180	75
10:45	108	30	183	83	96	26	175	78	75	26	189	78
11:00	116	27	165	76	124	30	163	72	112	32	152	64
11:15	116	31	174	76	126	33	181	75	107	37	183	69
11:30	115	39	170	91	106	33	148	65	97	38	188	69
11:45	116	35	201	84	149	30	157	80	91	29	177	70
12:00	129	38	193	68	115	34	176	63	91	38	188	77
12:15	112	31	155	78	113	29	168	74	126	34	137	79
12:30	129	40	167	74	118	29	169	66	108	44	172	70
12:45	125	35	209	70	108	26	147	82	121	44	179	58
13:00	127	33	163	63	109	30	153	70	163	31	155	63
13:15	130	47	183	65	94	34	162	63	102	37	187	75
13:30	146	39	195	63	113	31	157	76	120	39	169	49
13:45	131	38	174	67	147	32	175	75	119	39	190	78
14:00	141	39	185	85	119	35	187	76	149	48	215	75
14:15	132	53	209	83	144	37	169	74	120	45	192	67
14:30	130	45	211	80	138	28	167	85	131	51	198	72
14:45	157	39	213	75	164	31	186	84	134	34	166	66
15:00	167	39	173	84	138	34	191	84	127	38	168	83
15:15	137	42	207	81	171	33	165	76	162	39	179	56
15:30	169	45	207	84	139	41	183	64	134	48	202	65
15:45	169	47	157	82	149	27	167	66	148	35	174	81
16:00	143	45	209	86	139	37	183	75	146	45	205	76
16:15	151	53	170	83	143	26	178	78	129	44	171	60
16:30	145	41	178	77	163	36	164	70	160	46	209	72
16:45	154	27	184	82	148	32	143	65	143	45	217	56
17:00	170	35	188	71	144	31	158	73	124	50	191	70
17:15	170	46	171	71	171	43	176	72	141	42	171	71
17:30	182	51	166	79	173	43	172	74	177	40	188	76
17:45	162	47	186	63	160	39	169	76	154	47	167	49
18:00	178	51	149	60	160	39	179	42	175	39	171	78
18:15	170	42	177	78	182	40	157	65	179	43	189	68
18:30	182	49	183	90	176	31	159	82	201	51	181	80
18:45	177	51	164	81	179	31	150	82	212	47	141	65
19:00	177	49	168	82	189	34	172	85	180	50	168	75
19:15	180	49	172	76	191	23	158	83	190	48	183	66
19:30	167	46	155	59	168	37	175	84	167	39	199	74
19:45	188	41	136	73	176	37	162	87	168	42	151	78

## EK D ARIMA ve YSA Modeline Göre Yapılmış Devre Süresi Optimizasyon Sonuçları

Tablo D.1: ARIMA ve YSA modeline göre yapılmış 5 dakikalık verilere göre elde edilmiş optimizasyon sonuçları (sn.)

ZAMAN	ARIMA			YSA		
	1. gün	2.gün	3.gün	1. gün	2.gün	3.gün
08:00:00	84	101	94	84	101	94
08:05:00	91	98	98	108	93	101
08:10:00	101	93	100	109	92	110
08:15:00	99	91	99	104	112	85
08:20:00	101	98	98	107	127	125
08:25:00	100	100	99	104	113	104
08:30:00	100	99	101	140	116	80
08:35:00	104	104	92	134	96	86
08:40:00	104	102	97	140	103	84
08:45:00	109	100	97	140	110	118
08:50:00	109	105	97	140	113	115
08:55:00	106	105	104	140	104	105
09:00:00	110	108	104	140	122	108
09:05:00	105	108	102	123	101	129
09:10:00	106	105	104	134	88	100
09:15:00	107	107	108	114	122	100
09:20:00	106	108	108	121	102	105
09:25:00	103	106	109	125	118	91
09:30:00	104	109	106	128	100	106
09:35:00	105	106	113	110	109	131
09:40:00	103	105	118	109	115	120
09:45:00	103	107	113	98	108	101
09:50:00	105	106	110	135	86	97
09:55:00	106	103	109	101	113	113
10:00:00	101	107	117	117	97	118
10:05:00	104	105	114	115	107	107
10:10:00	105	101	119	125	90	94
10:15:00	107	101	113	99	114	107
10:20:00	106	107	112	95	135	95
10:25:00	108	108	111	111	92	130
10:30:00	104	106	113	114	108	109
10:35:00	107	105	121	120	85	121
10:40:00	110	103	109	111	110	113
10:45:00	105	107	109	94	89	99
10:50:00	109	103	109	132	101	113
10:55:00	106	106	111	111	125	110
11:00:00	106	109	108	118	111	98
11:05:00	105	107	109	120	105	118
11:10:00	108	113	102	117	96	98
11:15:00	106	109	114	119	115	112
11:20:00	110	110	105	135	95	95
11:25:00	103	106	114	134	96	124
11:30:00	109	106	110	109	90	112
11:35:00	106	106	121	136	97	128
11:40:00	108	109	111	140	117	126
11:45:00	109	110	116	138	110	93
11:50:00	110	113	112	116	101	99
11:55:00	111	118	120	140	110	122
12:00:00	111	109	119	112	98	116

12:05:00	110	107	126	125	98	87
12:10:00	112	105	110	100	106	102
12:15:00	114	108	111	103	113	122
12:20:00	111	110	119	103	109	97
12:25:00	113	112	109	108	91	127
12:30:00	112	108	110	105	107	107
12:35:00	113	110	119	103	109	97
12:40:00	111	109	112	140	96	101
12:45:00	116	111	112	134	99	103
12:50:00	116	112	112	106	100	116
12:55:00	115	105	118	99	113	113
13:00:00	115	104	114	129	106	133
13:05:00	113	105	116	122	94	87
13:10:00	117	103	108	97	101	84
13:15:00	112	103	109	121	107	93
13:20:00	118	101	104	106	92	103
13:25:00	112	100	117	140	125	101
13:30:00	119	103	117	140	99	101
13:35:00	116	107	115	115	110	126
13:40:00	118	108	120	140	97	136
13:45:00	118	109	128	111	110	115
13:50:00	115	112	122	110	115	140
13:55:00	119	115	130	140	116	140
14:00:00	120	114	124	122	107	105
14:05:00	117	115	122	136	111	93
14:10:00	125	114	120	140	140	105
14:15:00	125	115	125	132	137	109
14:20:00	123	121	129	140	140	140
14:25:00	137	123	128	140	113	140
14:30:00	123	116	136	140	140	111
14:35:00	132	121	129	138	115	124
14:40:00	131	122	128	129	125	99
14:45:00	131	125	123	140	130	140
14:50:00	138	124	128	112	113	130
14:55:00	132	120	126	136	140	130
15:00:00	138	122	126	140	111	132
15:05:00	133	124	122	113	114	116
15:10:00	129	124	129	124	129	140
15:15:00	135	125	125	140	105	132
15:20:00	134	128	122	140	125	140
15:25:00	137	125	131	112	109	112
15:30:00	138	120	126	140	97	122
15:35:00	140	122	134	117	109	140
15:40:00	136	120	135	140	117	127
15:45:00	139	125	130	140	127	131
15:50:00	134	123	125	127	129	140
15:55:00	140	128	123	140	107	135
16:00:00	138	127	133	136	140	140
16:05:00	140	134	140	140	105	140
16:10:00	137	121	128	123	95	130
16:15:00	140	131	131	140	127	92
16:20:00	139	131	121	110	107	103
16:25:00	136	127	124	111	134	140
16:30:00	136	131	133	140	119	132
16:35:00	138	128	140	138	101	140
16:40:00	134	126	130	117	110	136
16:45:00	133	125	139	140	129	130
16:50:00	140	126	137	130	118	96
16:55:00	132	123	126	118	126	121

17:00:00	137	123	135	124	106	109
17:05:00	132	122	128	107	135	110
17:10:00	130	128	129	140	129	102
17:15:00	134	128	128	140	117	140
17:20:00	135	125	127	140	140	113
17:25:00	137	132	133	140	140	126
17:30:00	139	132	135	140	135	114
17:35:00	140	131	136	107	123	93
17:40:00	139	131	119	135	140	99
17:45:00	139	134	124	140	130	140
17:50:00	140	134	125	140	126	107
17:55:00	139	128	132	140	119	93
18:00:00	140	128	131	125	96	140
18:05:00	137	123	118	140	138	123
18:10:00	140	125	123	124	140	109
18:15:00	140	126	123	140	124	140
18:20:00	140	132	126	140	138	140
18:25:00	140	133	131	138	140	123
18:30:00	140	136	136	131	140	127
18:35:00	140	133	131	112	140	122
18:40:00	140	140	136	116	140	136
18:45:00	140	140	140	140	133	140
18:50:00	140	140	134	135	140	140
18:55:00	140	140	138	119	140	140
19:00:00	140	140	138	122	140	132
19:05:00	140	135	140	140	95	134
19:10:00	140	138	140	140	122	120
19:15:00	140	137	139	119	140	140
19:20:00	140	140	140	140	140	134
19:25:00	140	140	140	139	140	117
19:30:00	140	140	140	123	140	140
19:35:00	140	140	140	140	127	136
19:40:00	140	140	140	140	132	126
19:45:00	140	140	140	121	122	140
19:50:00	140	140	140	124	132	100
19:55:00	140	140	140	128	140	118

Tablo D.2: ARIMA ve YSA modeline göre yapılmış 10 dakikalık verilere göre elde edilmiş optimizasyon sonuçları (sn.)

ZAMAN	ARIMA			YSA		
	1. gün	2.gün	3.gün	1. gün	2.gün	3.gün
08:00:00	92	99	93	92	99	93
08:10:00	100	96	97	108	92	105
08:20:00	106	97	101	106	119	101
08:30:00	102	104	97	107	112	91
08:40:00	106	99	97	114	96	97
08:50:00	110	101	99	108	110	99
09:00:00	108	110	104	122	108	118
09:10:00	111	105	100	108	97	134
09:20:00	107	105	107	113	109	112
09:30:00	106	108	110	104	117	120
09:40:00	105	110	114	106	100	108
09:50:00	106	104	115	107	91	113
10:00:00	103	103	113	93	110	112
10:10:00	102	102	120	112	85	116
10:20:00	103	103	113	112	94	101
10:30:00	100	112	111	95	99	119

10:40:00	106	106	110	119	96	109
10:50:00	105	106	110	103	96	102
11:00:00	106	107	111	106	112	92
11:10:00	106	111	109	112	93	129
11:20:00	108	110	106	114	115	96
11:30:00	106	106	108	108	104	118
11:40:00	109	107	113	110	109	113
11:50:00	110	115	114	110	105	120
12:00:00	113	115	122	115	97	140
12:10:00	113	104	120	108	92	101
12:20:00	114	111	112	111	95	121
12:30:00	116	114	116	119	101	128
12:40:00	115	106	115	107	106	108
12:50:00	114	111	113	105	93	138
13:00:00	116	109	114	108	101	121
13:10:00	111	100	112	120	109	99
13:20:00	112	100	108	113	104	127
13:30:00	113	101	112	125	85	105
13:40:00	114	107	114	116	103	140
13:50:00	113	108	120	111	117	95
14:00:00	117	113	125	121	117	132
14:10:00	121	114	127	140	113	104
14:20:00	121	118	128	133	138	115
14:30:00	128	119	125	140	129	135
14:40:00	127	125	130	123	125	125
14:50:00	136	128	125	139	140	130
15:00:00	131	119	129	135	140	140
15:10:00	140	118	124	138	123	140
15:20:00	140	128	129	130	109	138
15:30:00	139	126	135	114	114	124
15:40:00	136	118	124	136	119	117
15:50:00	139	125	131	122	119	118
16:00:00	133	130	129	140	140	140
16:10:00	139	128	140	136	115	137
16:20:00	132	134	124	127	122	114
16:30:00	132	129	131	120	120	140
16:40:00	131	127	129	129	104	140
16:50:00	128	127	137	124	125	128
17:00:00	128	123	130	116	140	131
17:10:00	129	126	137	131	137	117
17:20:00	135	126	124	140	140	140
17:30:00	136	125	136	135	140	140
17:40:00	139	129	133	130	127	113
17:50:00	140	135	124	140	115	140
18:00:00	140	131	127	110	106	140
18:10:00	140	126	124	140	119	132
18:20:00	140	130	121	132	140	111
18:30:00	140	133	132	138	133	140
18:40:00	140	137	137	126	139	140
18:50:00	140	140	130	140	140	140
19:00:00	140	140	138	138	140	140
19:10:00	140	140	134	132	126	138
19:20:00	140	138	140	126	135	124
19:30:00	140	140	140	119	140	140
19:40:00	140	140	137	108	140	140
19:50:00	140	140	138	102	136	114

Tablo D.3: ARIMA ve YSA modeline göre yapılmış 15 dakikalık verilere göre elde edilmiş optimizasyon sonuçları (sn.)

ZAMAN	ARIMA			YSA		
	1. gün	2.gün	3.gün	1. gün	2.gün	3.gün
08:00:00	93	92	89	93	92	89
08:15:00	99	95	93	107	98	98
08:30:00	102	100	95	107	117	100
08:45:00	106	104	98	113	100	94
09:00:00	110	106	101	107	112	110
09:15:00	111	108	104	97	104	123
09:30:00	108	102	112	102	111	94
09:45:00	108	113	115	100	107	99
10:00:00	102	108	116	92	91	106
10:15:00	100	107	119	94	102	104
10:30:00	101	112	116	103	106	102
10:45:00	104	104	114	110	101	99
11:00:00	107	110	111	102	103	95
11:15:00	107	107	112	107	112	106
11:30:00	104	102	111	120	94	106
11:45:00	109	112	113	123	114	97
12:00:00	114	102	121	116	102	108
12:15:00	116	102	119	102	103	103
12:30:00	115	104	118	112	100	108
12:45:00	116	103	120	119	99	107
13:00:00	112	104	116	101	97	107
13:15:00	111	100	112	117	94	109
13:30:00	111	102	108	119	102	97
13:45:00	112	118	117	110	116	118
14:00:00	112	107	119	130	114	140
14:15:00	118	115	128	140	116	116
14:30:00	122	114	126	137	115	129
14:45:00	128	123	128	140	132	106
15:00:00	137	124	121	134	127	117
15:15:00	140	122	127	136	123	114
15:30:00	137	126	131	140	115	125
15:45:00	140	130	131	134	106	122
16:00:00	137	127	134	140	119	137
16:15:00	137	125	132	138	114	108
16:30:00	135	136	133	124	117	140
16:45:00	135	123	130	123	102	126
17:00:00	131	123	135	128	109	123
17:15:00	138	132	129	129	132	117
17:30:00	136	130	133	140	133	139
17:45:00	140	121	130	127	124	109
18:00:00	136	121	127	121	106	132
18:15:00	140	128	127	135	121	136
18:30:00	140	127	130	140	125	140
18:45:00	140	140	135	140	123	131
19:00:00	140	127	137	140	140	139
19:15:00	140	131	134	140	125	140
19:30:00	140	123	140	115	134	138
19:45:00	140	132	140	121	135	123



## 9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ravza Nur YİĞİT  
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara – 24.11.1992  
Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi  
Elektronik posta : reminoglu1111@gmail.com  
İletişim Adresi : 507 512 85 61