

Kısa Zamanlı Trafik Tahmini ile Devre Süresi Optimizasyonu ve Gecikme Analizi

Ravza Nur YİĞİT¹
Soner HALDENBİLEN²

ÖZ

Çalışmada akıllı ulaşım sistemleri için parametrik ve parametrik olmayan tahmin yöntemlerin kısa zamanlı trafik tahmin performansları incelenmiş ve tahmin değerlerinin sinyalizasyon kavşaklarının devre süresine ve performansına olan etkisi araştırılmıştır. Kavşakta gözlemlenen trafik verilerine bağlı olarak gecikme sürelerinin iyileştirilmesi ve kavşak bekleme sürelerinin azaltılarak, kavşak performansı iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma bölgesi olarak Denizli ilinde yer alan Mimar Sinan kavşağı seçilmiştir. Kavşağın yaklaşım kollarında bulunan sensörler yardımıyla elde edilen veriler, 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 tahminleri yapılmıştır. Tahmin sonuçları 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 sonuçları karşılaştırılmıştır. Kısa zamanlı trafik tahmininde YSA yönteminin ARIMA yöntemine göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Trafik hacim tahmini, ARIMA, YSA, Webster.

ABSTRACT

Optimization of Cycle Length with Short Term Traffic Prediction and Delay Analysis

In the study, the effect of parametric and nonparametric methods on short-term traffic prediction and intersection cycle length and performance were investigated. According to the data of the intersection, it is aimed to improve the delay times and reduce the intersection waiting times and improve the intersection performance. The methods were applied, for

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 1 Nisan 2020 günü ulaşmıştır. 11 Aralık 2020 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 30 Kasım 2021 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://doi.org/10.18400/tekderg.713080>

1 Denizli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Denizli - reminoglu11@posta.pau.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0001-5136-702X>

2 Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli - shaldenbilen@pau.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-3612-2726>

example, to the Mimar Sinan intersection of Denizli. The data obtained with the help of sensors located in the approach arms of the intersection are arranged as data sets. Short-term traffic prediction has been made with auto-regressive integrated moving average (ARIMA) and artificial neural networks (ANN) methods. Estimation results the intersection cycle length optimization was made using the Webster method. After calculating the optimum cycle length and green times, the lag values of the Webster delay method and intersection approach arms and the intersection general were compared with the estimated results obtained from both the ARIMA method and the ANN method. In the short-term traffic prediction, the results obtained using the ANN method were found to be more successful than the results obtained with the ARIMA method.

Keywords: Traffic volume estimation, ARIMA, ANN, Webster.

1. GİRİŞ

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. Dünyada ve ülkemizdeki büyük kentlerde 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 [1].

Trafik sıkışıklığını azaltmak, güvenliğini arttırmak, gecikmeleri minimize etmek, yol kapasitelerini verimli kullanmak, taşıtları yönlendirmek, 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 [2]. 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 [3]. 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 hayattaki seyahat süresini ve seçilen rotadaki kararlarını etkileyecektir. Talebin daha iyi dağıtılması ve mevcut kapasitesinin maksimum kullanılması için öngörülen bilgilerin kesinliği ve güvenilirliği çok önemlidir. Kısa zamanlı trafik tahmini, kısa vadeli gelecekte öngörülen trafik koşullarını geçmiş ve güncel trafik bilgileri de göz önüne alarak tahmin etme süreci olarak tanımlanabilir [4].

Çalışma 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 konumu itibarıyla ev ve iş seyahatlerinin yoğun kullanıldığı aks üzerindedir. Diğer taraftan kavşak üzerinde hali hazırda bulunan pinomatik sensörler ile sürekli olarak veri toplanmaktadır. Bu sebeplerle çalışmada Mimar Sinan kavşağı seçilmiştir.

Çalışmanın amacı adaptif kavşak sistemlerinin kısa zamanlı trafik tahmini ile etkin ve verimli bir şekilde yönetimini sağlamaktır. Tahmin metotlarının 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. 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.

2. TAHMİN YÖNTEMLERİ

2.1. 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.

2.2. ARIMA Modeli (Box-Jenkins)

Box-Jenkins yaklaşımı [5] 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.

Bağımlı değişkenlerin kendisinden önceki değerlere bağlı olduğu ve bu değerlerin bir fonksiyonu olarak ifade edilebildiği zaman serisi modeline oto-regresif model (AR) adı verilir. Tahmin edilmek istenen veri kendisinden önce gelen veriler ve hata terimi ile bir grup sabite bağlı olarak değişir. Bu süreç AR(p) olarak gösterilir. 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 MA(q) olarak gösterilir ve model mertebesi belirlenerek ilgili denklemde kaç adet değişken kullanılacağına karar verilir. 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. Başka bir ifadeyle zaman serisi modeli, hem AR hem de MA bileşenleri p ve q'uncu dereceden olmak üzere ARMA(p,q) olarak tanımlanabilir.

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.

ARIMA'nın genel tahmin denklemi ise aşağıdaki gibi gösterilebilir (1);

$$\hat{y}_t = \mu + \Phi_1 \cdot y_{t-1} + \dots + \Phi_p \cdot y_t + \theta_1 \cdot e_{t-1} + \dots + \theta_q \cdot e_{t-q} \quad (1)$$

Burada \hat{y} , iki ölçüm arasındaki fark, t, zaman, μ , sabit bir değer, ϕ , oto-regresif katsayı, y ölçüm değerleri, p, oto regresif terimlerin sayısı, e, hata terimi, θ , model parametresi ve q, gecikme değeridir.

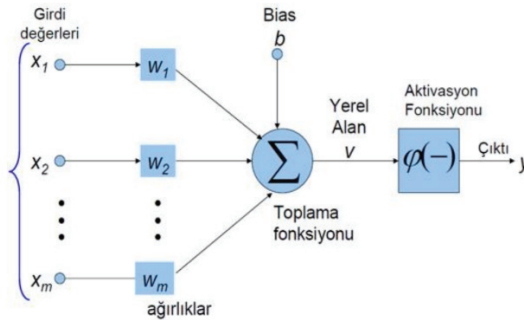
Zaman serileri analizinde doğru sonuçların elde edilebilmesi için incelenen serilerin durağan olması gereklidir. Bir değişkenin durağan olup olmadığını veya durağanlık derecesini belirlemede kullanılan en geçerli yöntem birim kök testidir. Uygulamada en fazla kullanılan birim kök testleri Dickey-Fuller (DF) [6], Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) ve Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) [7] testleridir. Dickey-Fuller testi; serinin birim kök içerdiği (durağan olmadığı) sıfır hipotezinin, birim kök içermediği (durağan olduğu) alternatif hipotezine göre değerlendirmesidir. Bir seri 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 bütünlük olduğunu gösterir.

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) ve Bayesian bilgi kriteridir (BIC) ölçütüdür. 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. Karşılaştırılan birçok model arasından en küçük AIC değerini veren parametre seçilir [8]. BIC ve AIC birbirine benzeyen yöntemlerdir. Bu yöntemde de parametre sayısı kısıtlanır. Böylece en çok olabilirlik fonksiyonun karmaşık bir yapıda olmasının önüne geçilmiş olunur.

2.3. 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. 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 1’de örnek bir yapay sinir ağı modeli gösterilmiştir.



Şekil 1 - YSA örneği

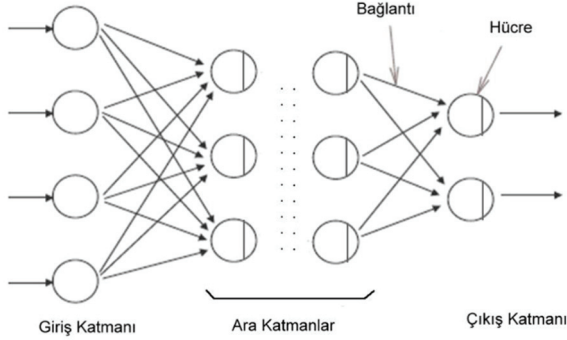
Bir yapay sinir hücresi beş bölümden oluşmaktadır;

- Girdiler nöronlara gelen verilerdir. Girdiler yapay sinir hücresine bir diğer hücreden gelebileceği gibi direkt olarak dış dünyadan da gelebilir. Bu girdilerden gelen veriler biyolojik sinir hücrelerinde olduğu gibi toplanmak üzere nöron çekirdeğine gönderilir.
- Yapay sinir hücresine gelen bilgiler girdiler üzerinden çekirdeğe ulaşmadan önce geldikleri bağlantıların ağırlığıyla çarpılarak çekirdeğe iletilir. Bu sayede girdilerin üretilen çıktı üzerindeki etkisi ayarlanabilmektedir.
- Toplama fonksiyonu bir yapay sinir hücresine ağırlıklarla çarpılarak gelen girdileri toplayarak o hücrenin net girdisini hesaplayan bir fonksiyondur.

- Aktivasyon fonksiyonu hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonu olarak “Sigmoid fonksiyonu” kullanılır.
- Aktivasyon fonksiyonundan çıkan değer hücrenin çıktı değeri olmaktadır. Bu değer ister yapay sinir ağının çıktısı olarak dış dünyaya verilir isterse tekrardan ağın içinde kullanılabilir.

2.3.1. Yapay Sinir Ağı Modeli

Yapay sinir ağları üç ana katmanda incelenir; Bunlar dış dünyadan gelen bilgilerin ağa 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. Ara katman sayısı ağdan ağa değişebilir. Birden fazla ara katman olan ağlarda ara katmanların kendi aralarındaki hücre sayıları da farklı olabilir. Şekil 2’de yapay sinir ağının katmanları gösterilmiştir.



Şekil 2 - Yapay sinir ağının katmanları

2.4. Yapay Sinir Ağlarının Eğitimi ve Testi

YSA’larında nöronların bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine “ağın eğitilmesi” denir. Ağlar kendilerine örnekler gösterildikçe bu ağırlık değerlerini değiştirirler [9]. YSA kurulumu aşamasında örnek veri seti, ağın 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 ağın performansını etkileyecektir. 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 çıktıları üretecek ağırlık değerlerini bulmaktır. Doğru ağırlık değerlerine ulaşan ağ, örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilir duruma gelmiştir ve ağ öğrenmesini tamamlamıştır.

3. SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME VE KAPASİTE HESAPLARI

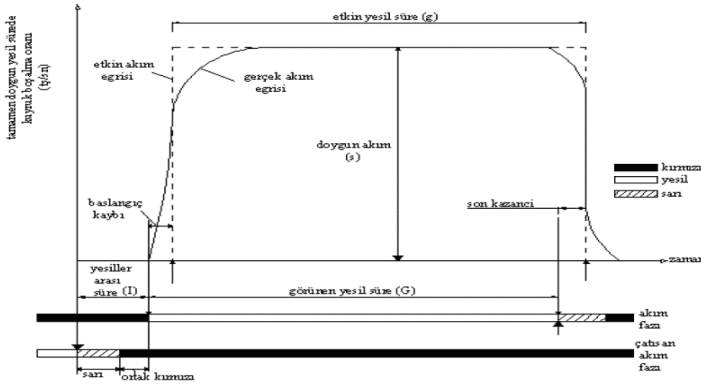
3.1. Giriş

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.

3.2. Webster (İngiliz Yöntemi)

3.2.1. Doygun Akım

Doygun 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. Doygun akımın belirlenmesinde birçok araştırmacı farklı yaklaşımlar ve matematiksel modeller geliştirmiştir. Pursula ve Niittymäki [10] yapmış oldukları çalışmada doygun akım değerlerinin 1800-2475 otomobil/saat/şerit aralığında değişebildiğini belirlemişlerdir. Şekil 3'te yeşil süre boyunca taşıtların kavşağı girişi ve doygun akıma ulaşma durumu gösterilmiştir [11].



Şekil 3 - Kavşak yaklaşım kolundaki taşıtların yeşil ışık boyunca hareketi

Şekil 3'te 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. Doygun takip aralığına bağlı olarak doygun akım değeri denklem (2) ile hesaplanır.

$$S = 3600/h_n \quad (2)$$

Burada h_n , yaklaşım kolunun hacim/kapasite oranını göstermektedir.

Kavşağın geometrik özellikleri göz ardı edilmiştir. Bilindiği gibi şerit sayıları, yol eğimi, sürücü davranışları gibi etkenler doygun akım değerlerine etkisi olmaktadır. Kimber ve diğ.

[12] yapmış oldukları çalışmada doygun akım değerinin hesaplanmasında geometrik faktörleri de dahil etmişlerdir. Bu çalışmada geometrik etkiler altında doygun akım değerini denklem (3) ve (4) ile hesaplamışlardır.

$$S_1 = (S_0 - 140 \cdot d_n) / (1 + 1,5 \cdot \frac{f}{r}) \quad (3)$$

$$S_0 = 2080 - 42 \cdot d_g \cdot G + 100 \cdot (w - 3,25) \quad (4)$$

Burada S, doygun akım oranı, 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 oranı ve r, şeritlerin dönüş yarıçaplarıdır.

3.2.2. 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 [13]. Kavşaklar trafik hacimleri ve taşıt türü dağılımları belirlendikten sonra, hesaplamalarda kullanılmak üzere birim otomobile çevrilirler. Tablo 1'de farklı türdeki araçların birim otomobil değerleri verilmiştir.

Tablo 1 - Taşıt türlerine göre birim otomobil değerleri [14]

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

3.2.3. Hacim/Kapasite Oranı

Sinyalize kavşaklarda kapasite doygun akıma (s_i) bağlıdır. Kavşağın herhangi bir yaklaşım kolundaki trafik hacmi(v), doygun akıma bölünmesiyle hacim/kapasite oranı belirlenir. Kavşaklarda hacim/kapasite oranı denklem (5) ile hesaplanır.

$$X_i = (v/c) = (v_i / (s_i \cdot \frac{g_i}{c})) \quad (5)$$

Burada X_i , yaklaşım kolunun hacim/kapasite oranını, v_i , trafik hacmini (ta/sa), C_i , kapasiteyi (ta/sa), S_i , doygun akım değerini, g_i , etkin yeşil süreyi ve c , devre süresini göstermektedir.

Etkin yeşil süre ise denklem (6) ile hesaplanır.

$$g = G - l \quad (6)$$

Burada G , görünen yeşil süre, l , kayıp süredir. Webster yöntemine göre kavşağın kapasitesi, devre içindeki kayıp sürelerin toplamına (L) bağlıdır.

3.2.4. 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. Devrenin geri kalanı yararlı süre olarak adlandırılmaktadır. Bu yararlı süre fazlar arasında paylaşılmaktadır. Bu paylaşımda her fazın ağırlıklı akım hacminin, doygun akımına olan oranı alınarak hesaplanır. Webster yönteminde bu oran doygunluk derecesini belirtmektedir. Doygunluk derecesi “ y ” ile gösterilirse, kavşaktan en iyi gecikmeyi dağılayacak optimum devre süresi denklem (7) ile hesaplanır.

$$D_0 = \phi \cdot L + \frac{5}{1 - Y} \quad (7)$$

Burada D_0 , optimum devre süresi, L , bir devredeki toplam kayıp süre, Y , her faz için akımların doygun derecelerinin toplamı ve ϕ , 1,2-1,8 arasında değişen kat sayıdır.

3.2.5. Gecikme Hesabı

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 (8) yardımı ile hesaplanır.

$$w = \left(\frac{D \cdot (1-\lambda)^2}{2 \cdot (1-\lambda \cdot x)} \right) + \left(\frac{x^2}{2 \cdot q \cdot (1-x)} \right) - (0,65 \cdot \left(\frac{D}{q^2} \right)^{\frac{1}{8}} \cdot x^{(2+5 \cdot \lambda)}) \quad (8)$$

Burada, w , bir kavşak kolundaki taşıt başına ortalama gecikme (sn), λ , 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 ($x = q / \lambda \cdot s$), q , trafik hacmi (b.o/sa) ve s , doygun akımdır.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. Giriş

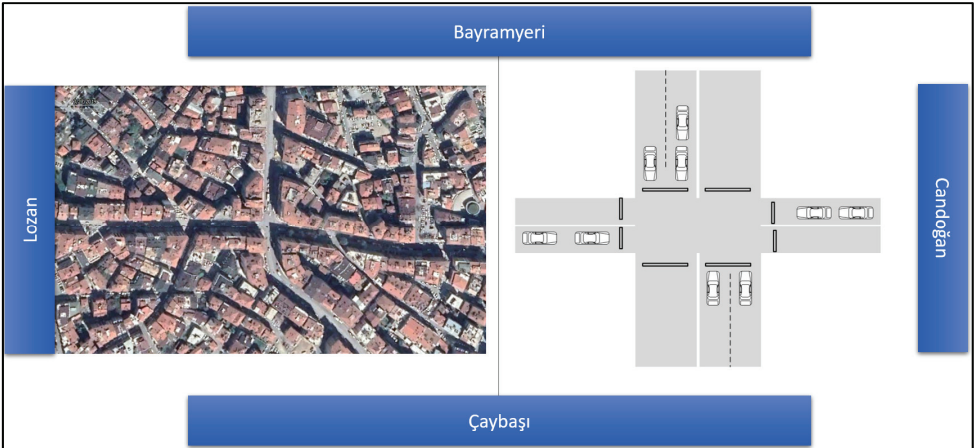
Örnek uygulama alanı olarak Mimar Sinan kavşağı seçilmiştir. Bu çalışma, parametrik olmayan yöntemlerden biri olan yapay sinir ağları (YSA) ve parametrik yöntemlerden biri olan ARIMA yöntemlerini kullanılarak yapılan kısa zamanlı trafik tahmini sonucunda, Webster yöntemiyle devre süresi optimizasyonu ve gecikme performans analizi sunmaktadır. Loop detektörlerden elde edilen taşıt sayısı tahmin ufkunun performansına etkisini ölçmek amacıyla 5, 10 ve 15 dakikalık veri setlerine ayrılmıştır.

4.2. Trafik Etüdü ve Ağ Tasarımı

Trafik etütleri, karayolları ulaşım ağında taşıt ve yol karakteristiklerini belirlenmesine yönelik yapılmaktadır. Trafığın temel bileşenlerinden olan otomobiller, yayalar, ağır taşıtlar, motosikletler vb. motorlu ve motorsuz elemanlar trafik kompozisyonunu oluştururlar.

Saha etütleri sonucunda; kavşak vaziyet planı, trafik hacimleri, faz planları ve sinyal süreleri bilgileri olmak üzere genel olarak üç grupta etütler yapılmıştır.

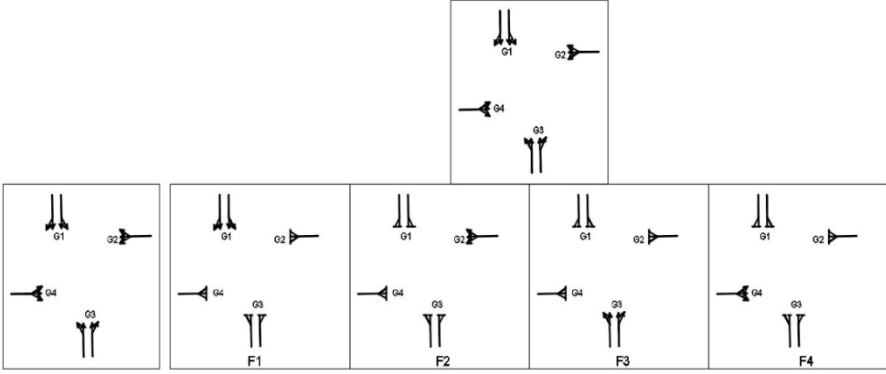
- Kavşağın yaklaşım kolu genişlikleri, şerit genişlikleri, şerit sayıları, orta refüj genişlikleri, sağa veya sola dönüşlerde yaklaşım kolu ceplerinin varlığı, yaklaşım kolu sayısı, dönüş yasakları, yaklaşım ve çıkış yollarının eğimleri, dönüş şeridi veya park şeridi gibi kısa şeritler vb. ile ilgili bilgiler elde edilmelidir.
- Trafik sayımları kavşağın tüm yaklaşım kollarından gelen araçlar sayıları, taşıtların kompozisyonu, ağır taşıt oranları, kuyruklanma durumu gibi bilgiler belirlenir.
- Kavşakların faz planları, devre diyagramları, yeşil süreler, yeşiller arası (intergreen) süreler, devre süreleri gibi bilgiler belirlenir.



Şekil 4 - Mimar Sinan Kavşağı yaklaşım kolları

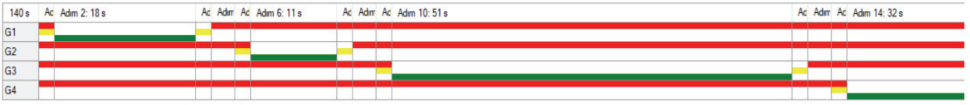
Çalışmada, trafik etütleri kavşağın zirve ve zirve dışı saatlerini kapsayacak şekilde bir günlük yapılmıştır. Trafik etütleri ve kavşağın sinyal plan bilgileri, Denizli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Trafik Kontrol Merkezi (TKM) tarafından sağlanmıştır. Sayımlar kavşağın yaklaşım kollarında bulunan loop sensörleri aracılığı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kavşağın faz planları çıkarılmış, mevcut durumdaki sinyal süreleri ve şerit sayıları ile yaklaşım kolu genişlikleri gibi geometrik özellikleri de belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında; Saltak Caddesi üzerinde bulunan Mimar Sinan kavşağında hafta içi bir gün 12 saatlik trafik etüdü 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 ve yaklaşım kolları Şekil 4’te, sinyal grupları ve faz planı ise Şekil 5’te verilmiştir.

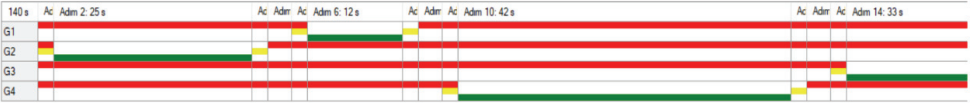


Şekil 5 - Mimar Sinan Kavşağı sinyal grupları ve faz planı

Kavşağın sabah zirve saat ve zirve dışı saat sinyal programları Şekil 6 ve Şekil 7 ‘de verilmiştir.



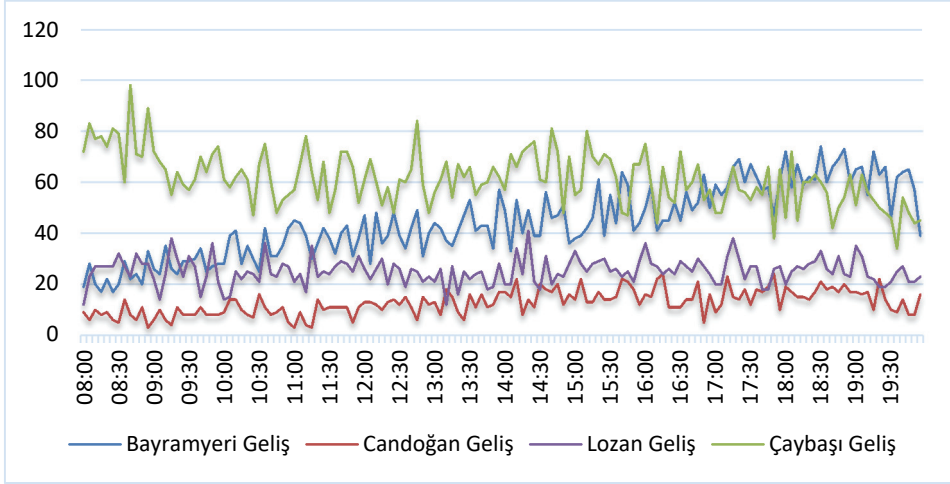
Şekil 6 - Mimar Sinan kavşağı zirve saat sinyal planı



Şekil 7 - Mimar Sinan kavşağı zirve dışı saat sinyal planı

Şekil 8 ve Tablo 2’de günlük trafik hacim değerleri 5 dakikalık periyotlar halinde gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Bayramyeri geliş ve Çaybaşı geliş kollarının trafik hacmi Lozan ve Candoğan geliş kollarına göre daha fazladır.

Kısa Zamanlı Trafik Tahmini ile Devre Süresi Optimizasyonu ve Gecikme Analizi



Şekil 8 - Günlük trafik hacim değerleri (5 dk aralık ile)

Tablo 2 - Günlük trafik hacim değerleri (5 dk aralık ile)

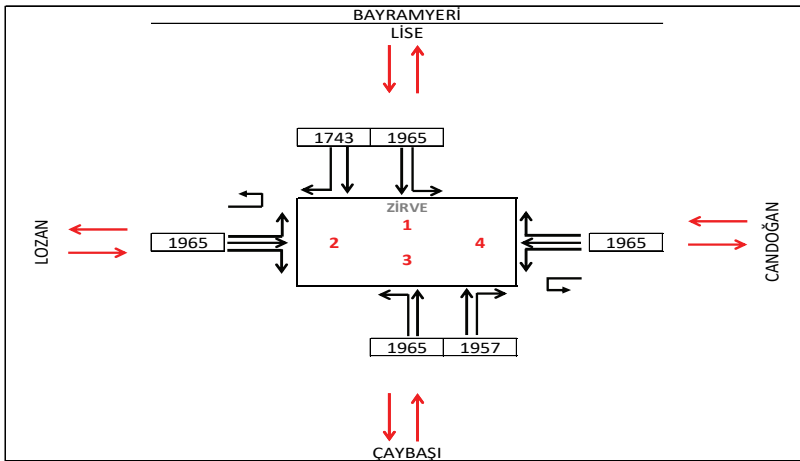
| Saat | Bayramyeri | Candoğan | Çaybaşı | Lozan | Toplam |
|----------|------------|----------|---------|-------|--------|
| 08:00:00 | 19 | 9 | 72 | 12 | 112 |
| 08:05:00 | 28 | 6 | 83 | 23 | 140 |
| 08:10:00 | 20 | 10 | 77 | 27 | 134 |
| 08:15:00 | 17 | 8 | 78 | 27 | 130 |
| 08:20:00 | 22 | 9 | 74 | 27 | 132 |
| 08:25:00 | 17 | 6 | 81 | 27 | 131 |
| 08:30:00 | 20 | 5 | 79 | 32 | 136 |
| 08:35:00 | 29 | 14 | 60 | 27 | 130 |
| 08:40:00 | 22 | 8 | 98 | 23 | 151 |
| 08:45:00 | 24 | 6 | 71 | 32 | 133 |
| 08:50:00 | 20 | 11 | 70 | 28 | 129 |
| 08:55:00 | 33 | 3 | 89 | 28 | 153 |
| 09:00:00 | 26 | 6 | 72 | 22 | 126 |
| . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . |
| 19:00:00 | 65 | 17 | 51 | 35 | 168 |
| 19:05:00 | 66 | 16 | 63 | 31 | 176 |
| 19:10:00 | 55 | 17 | 56 | 23 | 151 |
| 19:15:00 | 72 | 10 | 53 | 22 | 157 |
| 19:20:00 | 63 | 22 | 50 | 19 | 154 |
| 19:25:00 | 66 | 14 | 48 | 19 | 147 |
| 19:30:00 | 46 | 10 | 46 | 21 | 123 |
| 19:35:00 | 62 | 9 | 34 | 25 | 130 |
| 19:40:00 | 64 | 14 | 54 | 27 | 159 |
| 19:45:00 | 65 | 8 | 48 | 21 | 142 |
| 19:50:00 | 57 | 8 | 44 | 21 | 130 |
| 19:55:00 | 48 | 16 | 45 | 23 | 132 |

4.3. Doymun Akım Hesabı

Çalışma kapsamında Mimar Sinan kavşağının geometrik özellikleri gözlemlenmiştir. Daha sonra elde edilen verilen ofis ortamında analiz edilmiş, Microsoft Excel programını kullanarak denklem 3 ve 4'te verilen denklemler yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda eğim %4 olarak alınmıştır. Böylece trafik etütleri bölümünde açıklanan kavşağın geometrik özellikleri baz alınarak Tablo 3'te doymun akım değerleri hesap adımları, Şekil 9'da ise şerit başına doymun akım sonuçları verilmiştir.

Tablo 3 - Mimar Sinan Kavşağı doymun 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 |



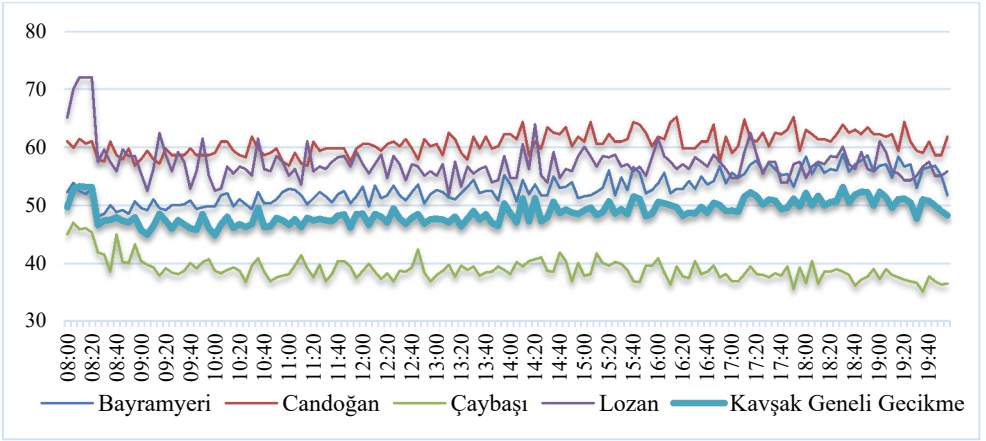
Şekil 9 - Mimar Sinan Kavşağı doymun akım değerleri

4.4. Mevcut Durum Analizi

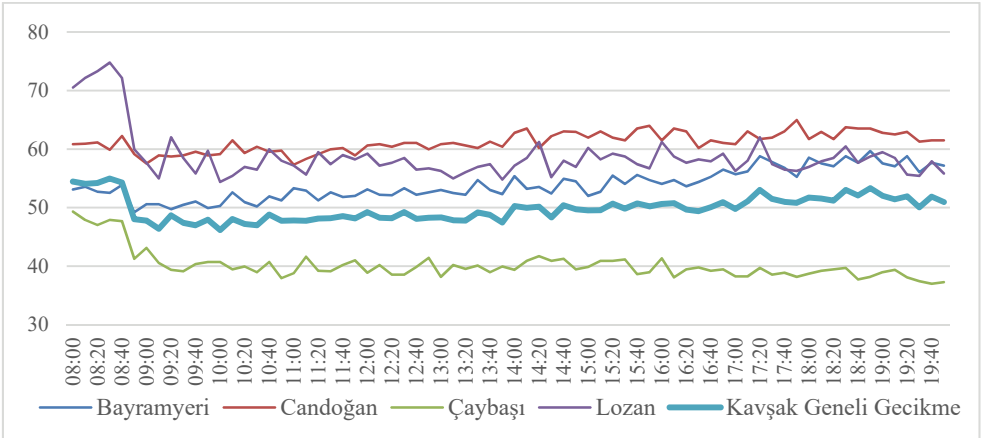
Çalışmada kavşak gecikmeleri Webster yöntemi ile hesaplanmıştır. Denklem 8'de verilen gecikme hesapları saatlik trafik hacimleri üzerinden gerçekleştirildiğinden 5'er dakikalık

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. Trafik hacim değerleri ile doymun akım hesabında açıklanan kapasite değerleri baz alınarak kavşak geneli ve kavşak yaklaşım kollarındaki taşıt gecikmeleri Şekil 10 – Şekil 12'de gösterilmiştir. Lozan ve Candoğan geliş kolları tek şerit olması ve devre süresi nedeniyle yan kolların gecikme değerleri Bayramyeri ve Çaybaşı kollarına göre yüksek çıkmaktadır.

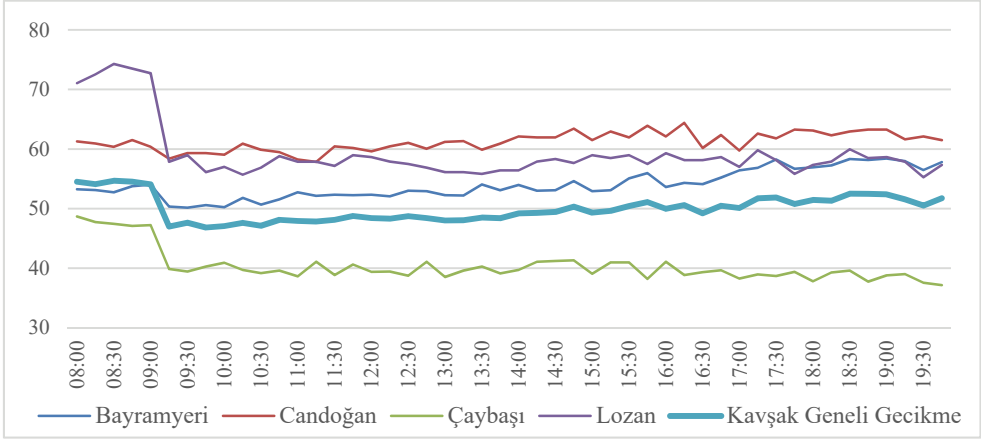
Kavşakta görüldüğü üzere Bayramyeri ve Çaybaşı geliş kolları, Lozan ve Candoğan kollarına göre daha fazla araç hacmi gelmektedir. Kavşak geneli mevcut durum değerlerine bakılarak yapılan ortalama kavşak gecikme değerleri Tablo 4'te gösterilmektedir.



Şekil 10 - Saatlik trafik hacimlerine göre mevcut gecikme analiz sonuçları (5 dk.)



Şekil 11 - Saatlik trafik hacimlerine göre mevcut gecikme analiz sonuçları (10 dk.)



Şekil 12 - Saatlik trafik hacimlerine göre mevcut gecikme analiz sonuçları (15 dk.)

Tablo 4 - Kavşak mevcut durum ortalama gecikme analiz değerleri (sn/taşıt)

| Periyot | Sabah Zirve | Zirve Dışı | Akşam Zirve |
|---------|-------------|------------|-------------|
| 5 dk. | 49,4 | 49 | 51,6 |
| 10 dk. | 51 | 48,8 | 51,7 |
| 15 dk. | 52,3 | 48,8 | 51,5 |

Kavşak yaklaşım kollarının 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.

4.5. Kısa Zamanlı Trafik Tahminleri

4.5.1. ARIMA Metodu

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'te yaklaşım kollarının Dickey-Fuller ve KPSS testlerinin p değerleri verilmiş ve p değerlerine göre durağanlıkları belirlenmiştir.

Tablo 5 - 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. |
| Lozan 5 dk. | 0,156 | < 0,0001 | Durağan değil. |
| Lozan 10 dk. | 0,183 | < 0,0001 | Durağan değil. |
| Lozan 15 dk. | 0,193 | < 0,0001 | Durağan değil. |

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. Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerlerine göre belirlenen p,d,q değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

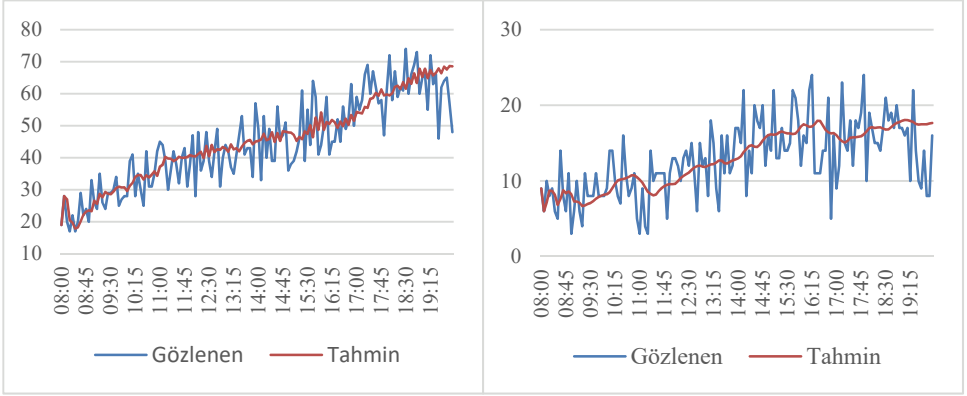
Tablo 6 - Kavşak yaklaşım kollarının p,d,q değerleri

| | 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) |

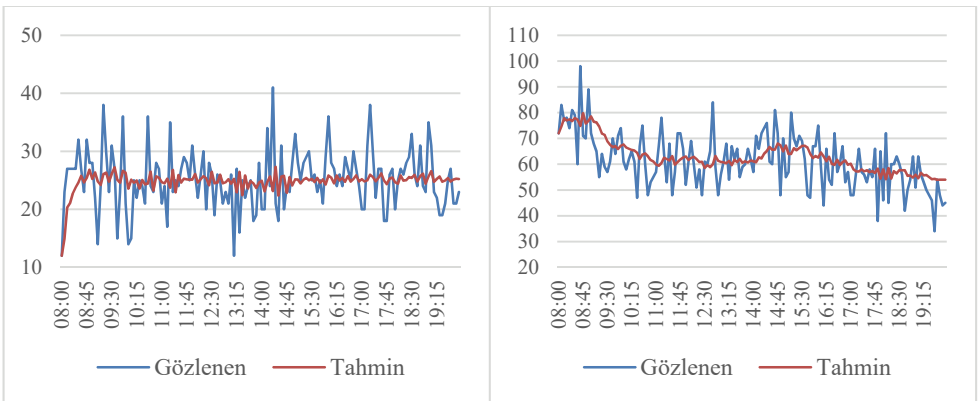
Tablo 6 - Kavşak yaklaşım kollarının p,d,q değerleri (devamı)

| | ARIMA (p,d,q) |
|------------------------|---------------|
| 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) |

ARIMA modelinin 5, 10 ve 15'er dakikalık veri setlerinin tahmin sonuçları her bir yaklaşım kolu için hesaplanarak Şekil 13 – Şekil 18 arasında gösterilmiştir.

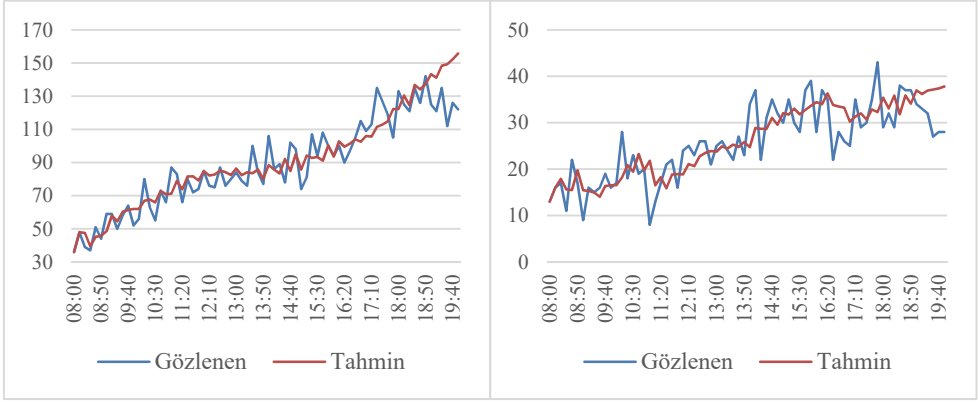


Şekil 13 - Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini

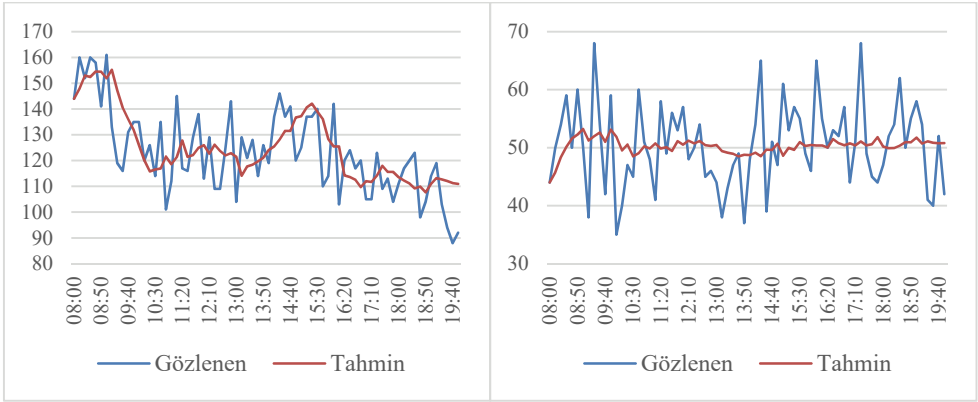


Şekil 14 - Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini

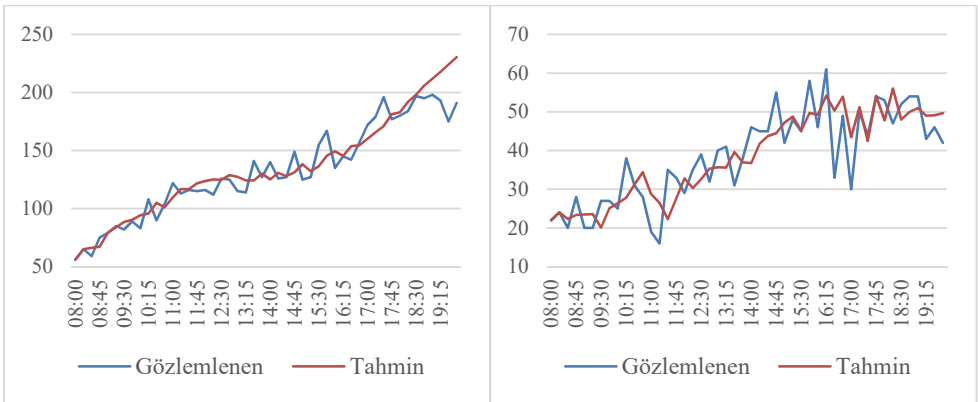
Kısa Zamanlı Trafik Tahmini ile Devre Süresi Optimizasyonu ve Gecikme Analizi



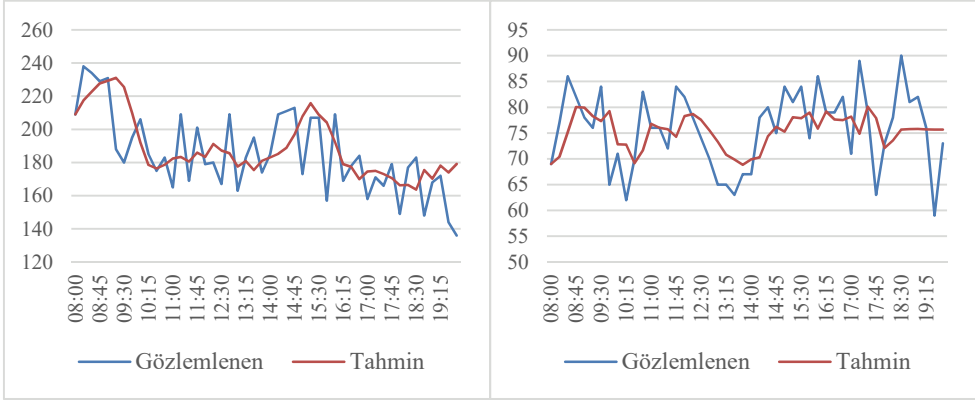
Şekil 15 - Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini



Şekil 16 - Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 10 dakikalık veri tahmini



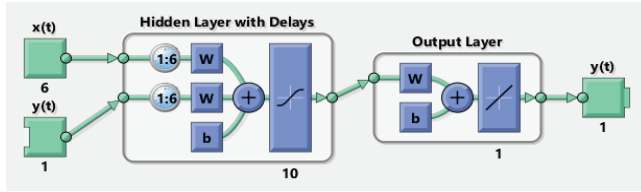
Şekil 17 - Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini



Şekil 18 - Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 15 dakikalık veri tahmini

4.5.2. YSA Metodu

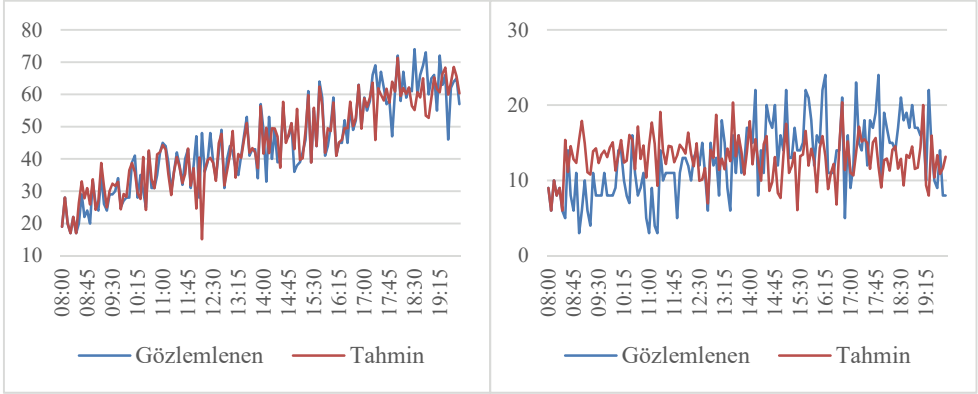
Verilerin analizi için MATLAB programının NTSTOOL isimli araç takımından faydalanılmıştır. Şekil 19'da modelde kullanılan yapay sinir ağı algoritması gösterilmiştir.



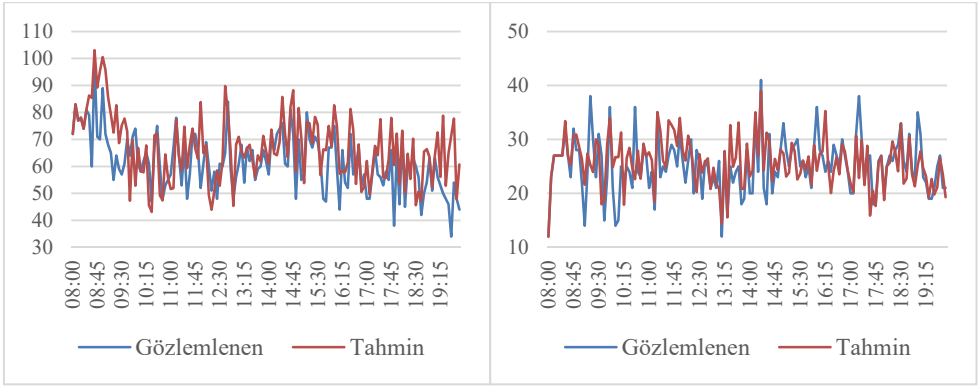
Şekil 19 - Modelde kullanılan yapay sinir ağı algoritması

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 ağır 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 ağır eğitim yeteneğinde artma gözlenmektedir. Bununla birlikte ağa çok sayıda gizli katman eklenmesi, hesaplama sayısının artmasına neden olmaktadır. Her veri seti için aynı eğitimler gerçekleştirilip, regresyon analizlerinin uyum grafikleri incelenmiştir. YSA modelinin veri setlerinin tahmin sonuçları her bir yaklaşım kolu için hesaplanarak Şekil 20 – Şekil 25 arasında gösterilmiştir.

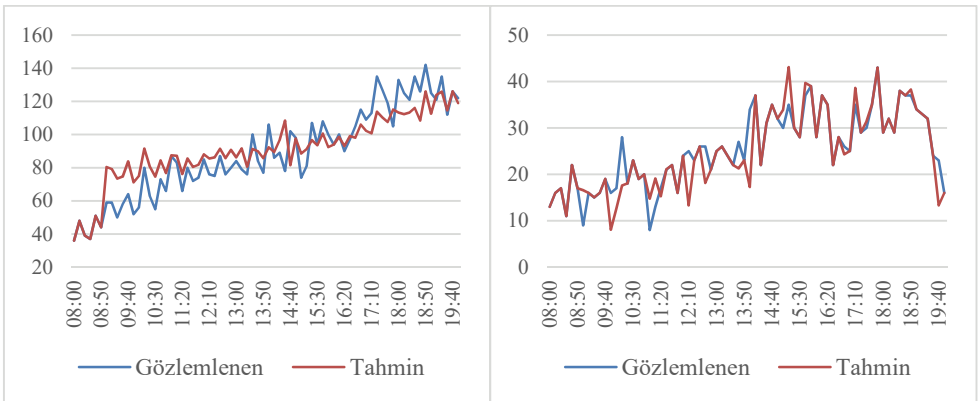
Kısa Zamanlı Trafik Tahmini ile Devre Süresi Optimizasyonu ve Gecikme Analizi



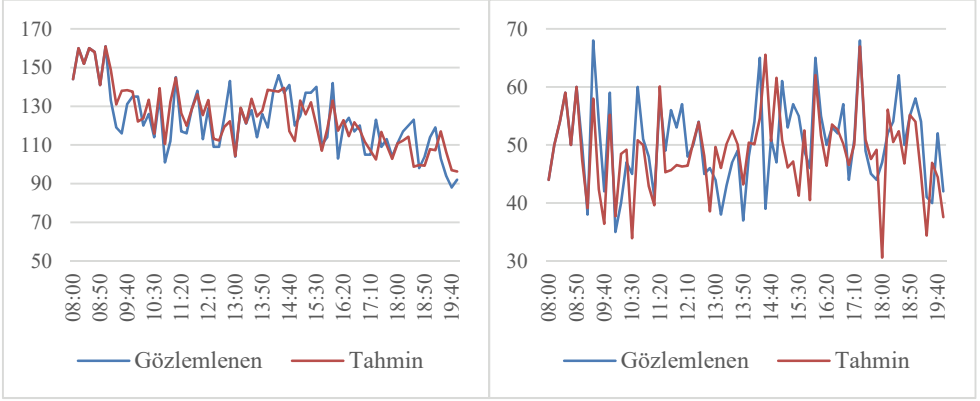
Şekil 20 - Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini



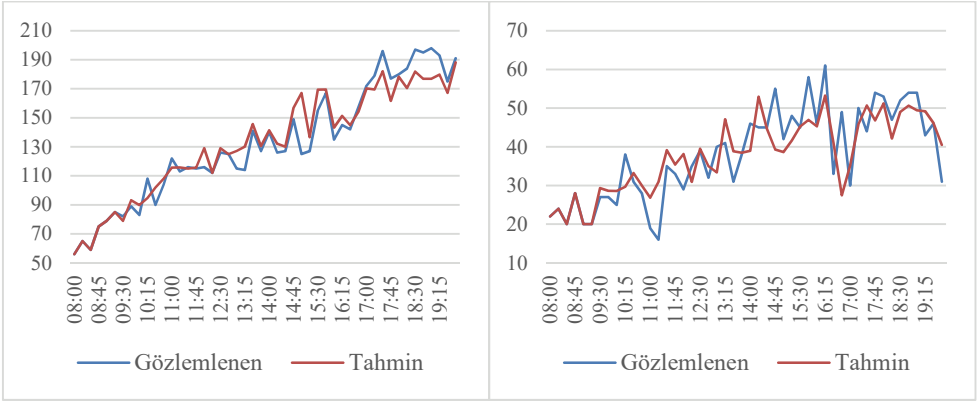
Şekil 21 - Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini



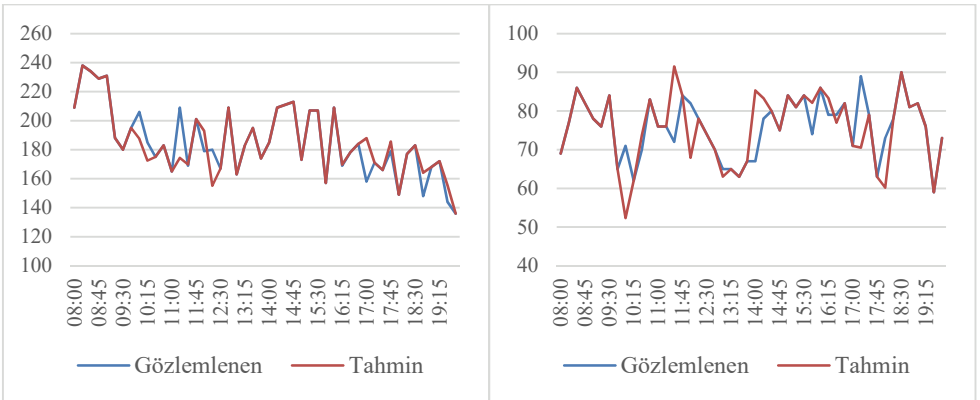
Şekil 22 - Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini



Şekil 23 - Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 10 dakikalık YSA tahmini



Şekil 24 - Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 15 dakikalık YSA tahmini



Şekil 25 - Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 15 dakikalık YSA tahmini

4.6. Tahmin Sonuçları

YSA ve ARIMA modellerinin tahmin sonuçlarını karşılaştırmak için MAPE ve RMSE hata değerleri üzerinde karşılaştırma yapılacaktır. Mutlak ortalama yüzde hata (MAPE) denklemi (9) ve hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) denklemi (10)'da verilmiştir;

$$MAPE = \frac{1}{p} \cdot (\sum_j [(t_j - o_j)/t_j]) \cdot 100 \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{p} \cdot \sum_j [(t_j - o_j)^2]} \quad (10)$$

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 7’de ARIMA ve YSA modellerinin hata karşılaştırma değerleri gösterilmektedir. Tablo 6’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 7 - ARIMA ve YSA modellerinin hata değerlerinin karşılaştırması

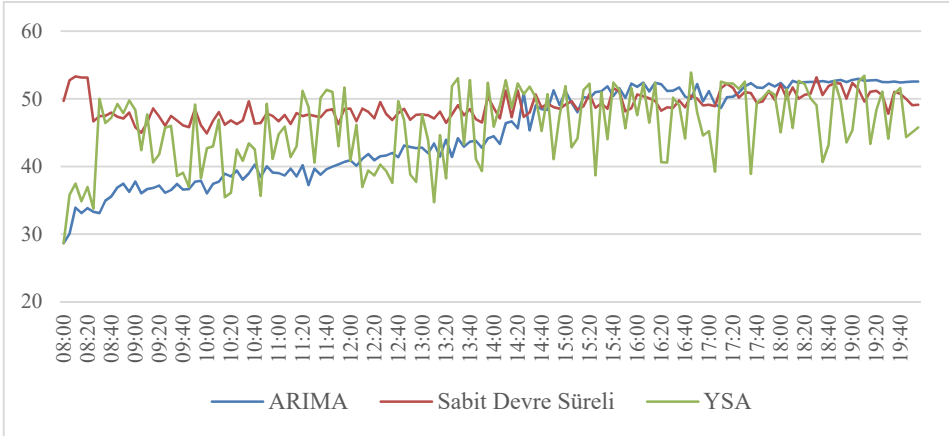
| | ARIMA | ARIMA | YSA | YSA |
|---------------------------------|----------|-------|----------|------|
| | MAPE (%) | RMSE | MAPE (%) | RMSE |
| Bayramyeri Geliş (5 dk) | 41 | 6 | 9 | 7 |
| Candoğan Geliş (5 dk) | 30 | 4 | 43 | 5 |
| Çaybaşı Geliş (5 dk) | 12 | 9 | 15 | 12 |
| Lozan Geliş (5 dk) | 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 |

4.7. Kavşak Gecikme İyileşmesi

Kavşakların sinyal sürelerinin optimizasyonu için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada devre süresi optimizasyonu Webster ve Cobbe [15] tarafından bulunan denklem (8) kullanılmıştır. 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.

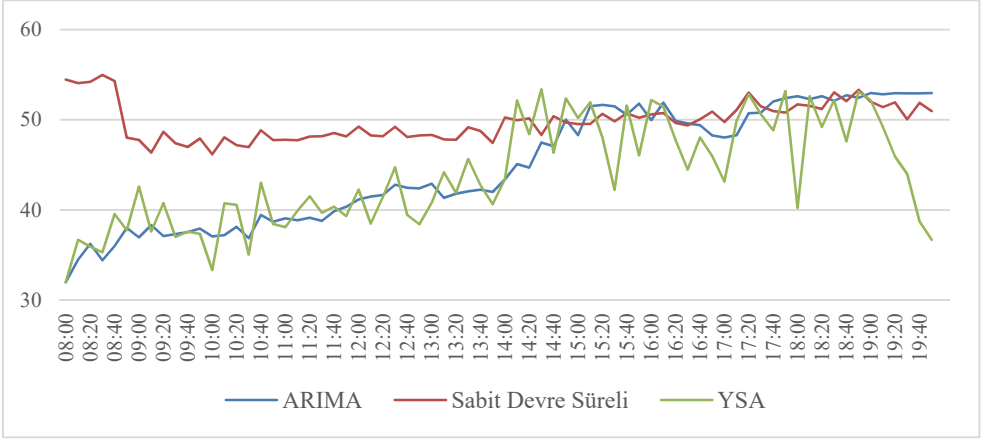
- Tahminleme sonucu elde edilen trafik hacimlerinin (5, 10 ve 15 dakikalık) saatlik trafik hacmine dönüştürülmesi
- Şerit sayılarının ve doymun akım değerlerinin belirlenmesi
- Hacim/Kapasite oranlarının bulunması
- Faz sayısı ve kayıp sürelerin belirlenmesi
- Webster yöntemi ile optimum devre süresinin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

5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 26'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 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 yaklaşıdır.



Şekil 26 - 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt)

10 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 27’de 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 saatlerindeki gibi bir iyileşme gözlemlenmektedir. Ancak ARIMA tahminlerinden elde edilen gecikme değerleri mevcut ile aynı seviyelerde görülmektedir.



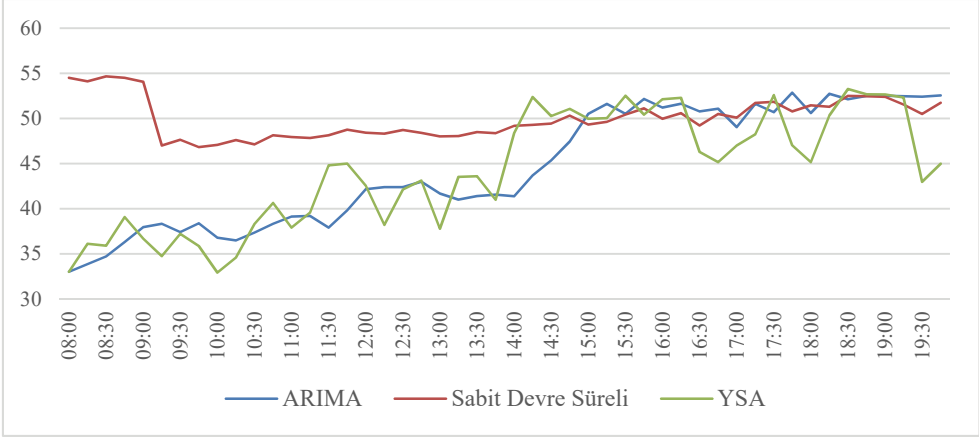
Şekil 27 - 10 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşıt)

15 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 28’de 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 saatlerindeki gibi bir iyileşme gözlemlenmektedir. Ancak ARIMA tahminlerinden elde edilen gecikme değerleri mevcut ile aynı seviyelerde görülmektedir.

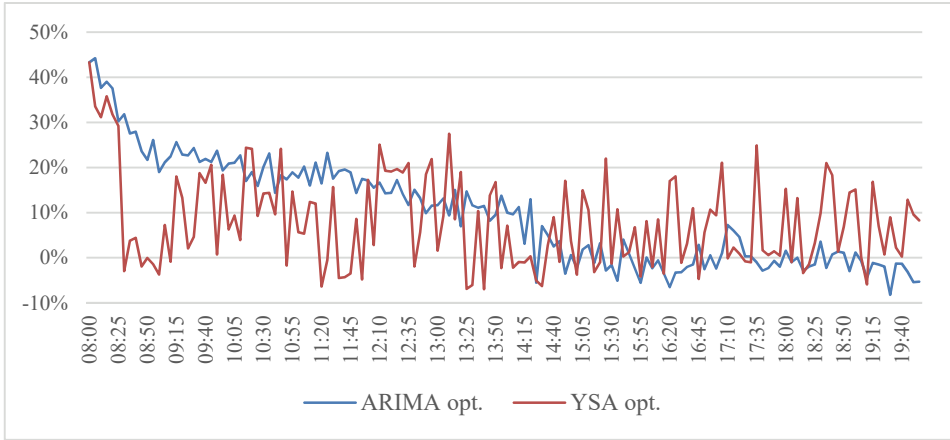
Sonuç olarak çalışmada Mimar Sinan kavşağının bir günlük 08:00-20:00 saatleri arasındaki 5, 10 ve 15’er dakikalık araç sayımları ARIMA ve YSA yöntemleri ile kısa zamanlı tahmin edilmiş, Webster yöntemi ile devre süresi optimizasyonu yapılmış ve Webster gecikme yöntemi ile gecikme performans analizi gözlemlenmiştir.

Tahmin sonuçlarında günlere göre veri setlerinin başarılı olma durumu göz önünde bulundurularak 5 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 29’da gösterilmektedir. 5 dakikalık tahmin 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 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. 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 tahmin sonuçları olumsuz etkilenmektedir, dolayısıyla gecikme iyileştirme yüzdelerinde düşüşler gözlenmektedir.



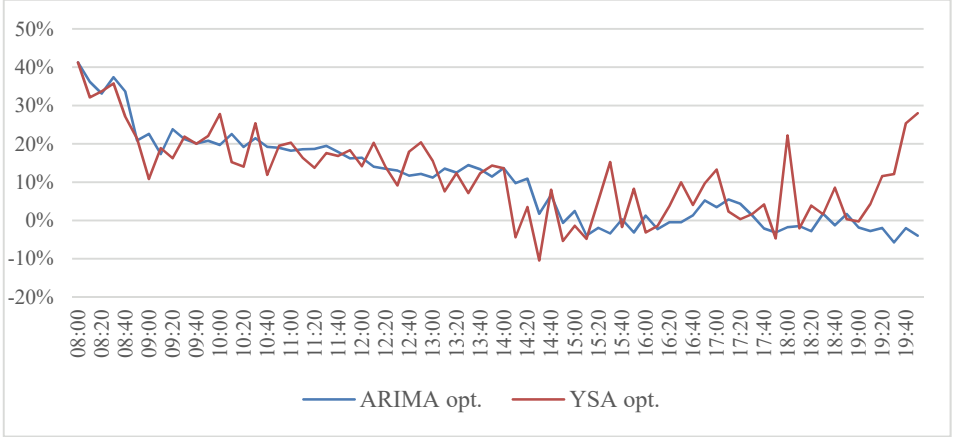
Şekil 28 - 15 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri (sn/taşı)



Şekil 29 - 5 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

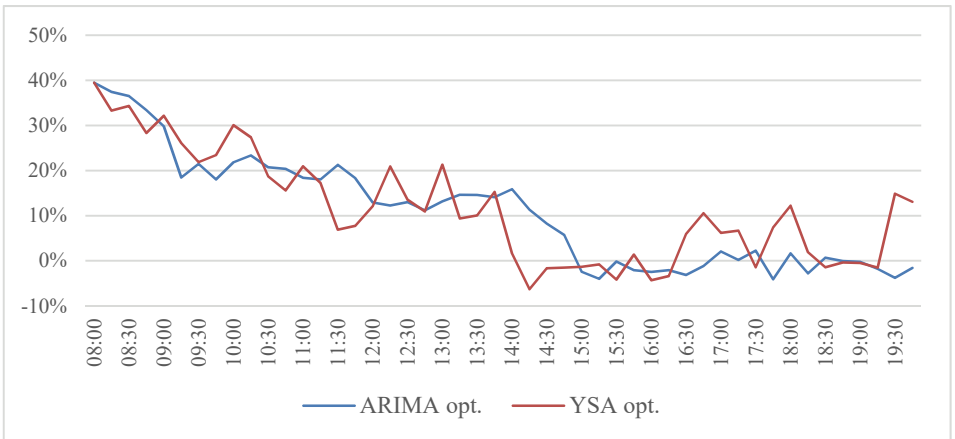
10 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 30'da gösterilmektedir. 10 dakikalık tahminleme sonuçları doğrultusunda sabah ve öğlen saatleri için ARIMA yönteminin gecikme iyileştirmeleri %12 ile %41 arasında iken, YSA modellenmiş gecikme iyileştirmeleri %14 ile %41 arasında performans sergilemektedir. Öğleden sonra ve akşam saatlerinde ise ARIMA modeli kötüleşme sergilemektedir. YSA modeli ise %10 kötüleşme

ile %25 iyileşme arasında performans sergilemektedir. Fakat YSA'nın 10 dakikalık veri setindeki tahminleme sonuçları ARIMA'ya göre daha başarılı olduğundan gecikme iyileşmeleri saat 19:00 sonrasında başarılı sonuçlar göstermektedir.



Şekil 30 - 10 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

15 dakikalık veri seti için yapılan gecikme iyileştirmeleri Şekil 31'de gösterilmektedir. 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 saatleri de başarılı sonuçlar göstermektedir.



Şekil 31 - 15 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada uygulama bölgesi olarak seçilen Denizli ili Mimar Sinan kavşağında akıllı ulaşım sistemleri kapsamında değişken devre süreli çalıştırılabilecek sinyalizasyon sistem parametrelerinin belirlenmesi amacı ile kısa zamanlı trafik tahmin algoritmalarının performansları test edilmiştir. Bu amaçla seçilen ARIMA ve YSA modellerinin tahmin performansları tahmin edilen trafik değerlerine bağlı olarak hesaplanan optimize devre süresi ve gecikme sürelerindeki iyileşmeler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. 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 analiz edildiği zaman ise tahmin sonuçlarının hata değerlerine göre 10 ve 15 dakikalık verilerde daha başarılı sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir (Bkz. Tablo 8).

Tablo 8 - ARIMA ve YSA modellerinin RMSE hata değerlerinin karşılaştırması

| | ARIMA | YSA |
|---------------------------------|-------|-----|
| Bayramyeri Geliş (5 dk) | 6 | 7 |
| Candoğan Geliş (5 dk) | 4 | 5 |
| Çaybaşı Geliş (5 dk) | 9 | 12 |
| Lozan Geliş (5 dk) | 5 | 5 |
| Bayramyeri Geliş (10 dk) | 9 | 12 |
| Candoğan Geliş (10 dk) | 5 | 4 |
| Çaybaşı Geliş (10 dk) | 12 | 10 |
| Lozan Geliş (10 dk) | 7 | 7 |
| Bayramyeri Geliş (15 dk) | 11 | 11 |
| Candoğan Geliş (15 dk) | 7 | 7 |
| Çaybaşı Geliş (15 dk) | 19 | 10 |
| Lozan Geliş (15 dk) | 7 | 7 |

- 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. (bkz Tablo 9)

Tablo 9 - ARIMA ve YSA modellerinin 5, 10 ve 15'er dakikalık trafik hacimlerine göre gecikme iyileşme oranları (%)

| | 5 dk. | | 10 dk. | | 15 dk. | |
|--------------------|-------|-----|--------|-----|--------|-----|
| | ARIMA | YSA | ARIMA | YSA | ARIMA | YSA |
| 08:00-09:00 | 33 | 17 | 34 | 32 | 37 | 34 |
| 09:00-10:00 | 22 | 10 | 21 | 18 | 22 | 26 |
| 10:00-11:00 | 19 | 13 | 20 | 19 | 22 | 23 |
| 11:00-12:00 | 18 | 3 | 18 | 17 | 19 | 13 |
| 12:00-13:00 | 14 | 16 | 13 | 16 | 12 | 14 |
| 13:00-14:00 | 11 | 7 | 13 | 12 | 14 | 14 |
| 14:00-15:00 | 5 | 2 | 7 | 1 | 10 | -2 |
| 15:00-16:00 | -1 | 4 | -2 | 3 | -2 | -1 |
| 16:00-17:00 | -2 | 6 | 1 | 4 | -2 | 2 |
| 17:00-18:00 | 1 | 5 | 2 | 3 | 0 | 5 |
| 18:00-19:00 | 0 | 8 | -1 | 6 | 0 | 3 |
| 19:00-20:00 | -3 | 6 | -3 | 13 | -2 | 6 |

- YSA ve ARIMA modellerinden elde edilen tahmin verileriyle yapılan devre süresi optimizasyonu ve gecikme analizlerinde 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.

Kaynaklar

- [1] Kunzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Horak Jr., F., Puybonnieux-Texier, 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).
- [2] Tufan, H. "Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları Ve Türkiye İçin Bir Aus Mimarisi Önerisi", Ankara: T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, (2014).
- [3] Vlahogianni, E.I., Karlaftis, M.G., Golias, J.C., "Short term traffic forecasting: Where we are and where we're going", *Transportation Research Part C*, 3-19, (2014).
- [4] Vlahogianni, E.I., Golia, J.C., Karlaftis, M.G., "Short-term traffic forecasting: Overview of objectives and methods", *Transport reviews*, 533-557, (2004).
- [5] Box, G.E.P., Jenkins, G.M., "Time Series Analysis: Forecasting and Control". San Francisco, (1970).
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] Akaike, H., "A New Look at the Statistical Model Identification", *IEEE Transactions On Automatic Control*, AC-19, No. 6, 716-723, (1974).
- [9] Öztemel, E., "Yapay Sınır Ağları", İstanbul: Papatya Yayıncılık, (2012).
- [10] Pursula, M., Niittymäki, J., "Saturation Flows At Signal-Group-Controlled Traffic Signals", *Transportation Research Record*, 1572, 233-970, (1996).
- [11] Akçelik, R., "Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis", *Australian Road Research Board*, Research Report, (1993).
- [12] 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).
- [13] Yayla, N., "Karayolu Mühendisliği", Birsen Yayınevi, 211, (2002).
- [14] 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).
- [15] Webster, F. V., Cobbe, B. M. "Traffic Signal", *Road Research Technical Road Research Laboratory*, 56,(1966).

