

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ KULLANILARAK SİNYALİZE KAVŞAKLARDA
GECİKME MODELLERİ

Ersin KORKMAZ

OCAK 2016

Aileme



ÖZET

YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ KULLANILARAK SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME MODELLERİ

KORKMAZ, Ersin

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

OCAK 2016, 107 sayfa

Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Modelleri isimli yüksek lisans tezinde; Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ve Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının (YAKA) ulaştırma mühendisliği problemlerinden birisi olan gecikme hesabı üzerinde uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Corsim simülasyon programı üzerinde dört kollu bir kavşak oluşturulup, bu kavşağa ait farklı trafik durumları için 750 adet gecikme değerleri elde edilerek girdi parametre değerleri bulunmuştur. Gecikme üzerinde en çok etkili olan parametrelerden devre süresi (C), yeşil süre (g), hacim (v), doygunluk akımı (s) ve periyod (T) bu çalışmada kullanılmıştır. Dört farklı formda (doğrusal, yarı kuadratik, kuadratik ve kuvvet) gecikme modeli ortaya konup, bu modellerin optimizasyonu DGA ve YAKA'ya göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen modellerin performansları analitik yöntemlerden Highway Capacity Manual (HCM) ve Avustralya modelleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları grafiksel olarak bulgular ve değerlendirme bölümünde detaylı olarak verilmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Gecikme, Diferansiyel Gelişim Algoritması, HCM,
Yapay Arı Koloni Algoritması,

ABSTRACT

DELAY MODELS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES AT SIGNALIZED INTERSECTIONS

KORKMAZ, Ersin

Kırıkkale University

Graduate School of Natural And Applied Sciences

Department of Civil Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

January 2016, 107 pages

In this study, named as Delay Models Using Artificial Intelligence Techniques at Signalized Intersections; an application of Differential Evolution Algorithm (DEA) and Artificial Bee Colony Algorithm (ABCA) on delay estimation which is one of the transportation problems was performed. For this purpose, a four-leg intersection was created on Corsim simulation program and 750 delay values for different traffic situations on this intersection were obtained as input parameters. The most influential parameters on delay which are the cycle time (C), the green time (g), volume (v), saturation flow (s) and period (T) were used in this study. Four different forms for delay models (linear, semi quadratic, quadratic and power) were proposed and the optimization of these models were performed according to DEA and ABC. The performances of proposed models were compared with HCM and Australian analytical models. Comparison results are graphically presented in the findings and evaluation section. Results were interpreted also.

Keywords: Delay, Differential Evolution Algorithm, HCM,
Artificial Bee Colony Algorithm

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi hazırlarken yaptığım araştırmalar ve deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi, tecrübe ve görüşlerinden yararlandığım değerli danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR' e, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Doç Dr. Bahriye AKAY ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Erdem DOĞAN' a, tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm Hüseyin AYDİLEK, Alemdar ONGUN, Volkan ATEŞ ve Özer SEVİM' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

SAYFA

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. BÖLÜM	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Problem	1
1.3. Amaç	2
2. BÖLÜM	5
2.1. Literatür	5
2.2. Kavşaklar	10
2.2.1. Kavşak Türleri.....	11
2.2.2. Eş düzey Kavşaklar	12
2.2.2.1. Denetimsiz Eş Düzey Kavşaklar.....	12
2.2.2.2. Denetimli Eş Düzey Kavşaklar	13
2.2.3. Katlı Kavşaklar	14
2.3. Sinyalizasyon.....	14
2.3.1. İzole Sinyalize Sistemler	16
2.3.1.1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon.....	16
2.3.1.2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon	17
2.3.1.3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon.....	18
2.3.1.4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon	18
2.3.2. Koordine Sinyalize Sistemler	18
2.3.3. Sinyalizasyon Temel Kavramları.....	19
2.4. Gecikme.....	21
2.4.1. Üniform Gecikme.....	24
2.4.2. Rastgele Gecikme.....	26
2.4.3. Doygun Üstü Akımdan Kaynaklı Sürekli Gecikme	27
3. ANALİTİK YÖNTEMLER	29
3.1. Yolların Kapasite Kullanımı (Highway Capacity Manual HCM)	29

3.2.	Avustralya Gecikme Modeli	34
3.3.	Analitik Yöntemlere Sayısal Örnek.....	37
3.3.1.	HCM Gecikme Modeli Hesabı	37
3.3.2.	Avustralya Gecikme Modeli Hesabı.....	39
4.	YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ	41
4.1.	Diferansiyel Gelişim Algoritması.....	41
4.1.1.	Başlangıç Popülasyonu.....	43
4.1.2.	Mutasyon.....	44
4.1.3.	Çaprazlama.....	46
4.1.4.	Seçim.....	48
4.2.	Yapay Arı Kolonisi Algoritması.....	50
4.2.1.	Arıların Doğası	50
4.2.2.	Arıların Yiyecek Arama Davranışı	52
4.2.3.	Yapay Arı Koloni Algoritması	56
5.	METADOLOJİ.....	60
5.1.	Corsim Simülasyon Programı.....	60
5.2.	Modellerin Geliştirilmesi	64
6.	BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	73
7.	SONUÇLAR.....	101
	KAYNAKLAR.....	103

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>SAYFA</u>
2.1. Koordinat Dönüşümü	7
2.2. Garrett Morgan Trafik Lambası Çizimi	15
2.3. Faz Diyagramı.....	20
2.4. Devre Süresi Diyagramı	21
2.5. Gecikme Diyagramı.....	22
2.6. Kuyruk Diyagramı ve bekleme süresi.....	23
2.7. Üniform gecikme diyagramı	24
2.8. Rastgele Gecikme Diyagramı.....	26
2.9. Aşırı Doygun Akım Diyagramı.....	27
4.1. Temel Adımlar	41
4.2. DGA Diyagramı.....	49
4.3. Arı Görev Dağılımı.....	52
4.4. Yön Tayin ve Gösterimi	54
4.5. Yiyecek Arama Davranışı	55
5.1. Kavşak Geometrisi.....	61
5.2. Trafıvu Simülasyon.....	63
6.1. HCM modeli için R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	74
6.2. Avustralya modeli için R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	74
6.3. Doğrusal model için R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	75
6.4. Yarı kuadratik model için R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	75
6.5. Kuadratik model için R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	76
6.6. Kuvvet model için R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	76
6.7. Doğrusal model için R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	77
6.8. Yarı kuadratik model için R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	77
6.9. Kuadratik model için R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	78
6.10. Kuvvet model için R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	78
6.11. 15 dakika için HCM modeli R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	80
6.12. 15 dakika için Avustralya modeli R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	81
6.13. 30 dakika için HCM modeli R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	81

6.14. 30 dakika için Avustralya modeli R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	82
6.15. 60 dakika için HCM modeli R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	82
6.16. 60 dakika için Avustralya modeli R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	83
6.17. 15 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	83
6.18. 15 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	84
6.19. 15 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	84
6.20. 15 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	85
6.21. 30 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	85
6.22. 30 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	86
6.23. 30 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	86
6.24. 30 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	87
6.25. 60 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	87
6.26. 60 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	88
6.27. 60 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	88
6.28. 60 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	89
6.29. 15 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	89
6.30. 15 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	90
6.31. 15 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	90
6.32. 15 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	91
6.33. 30 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	91
6.34. 30 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	92
6.35. 30 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	92
6.36. 30 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	93
6.37. 60 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	93
6.38. 60 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test	94
6.39. 60 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	94
6.40. 60 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: a eğitim, b test.....	95
6.41. Yüzsdesel Farklar Dağılımı	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
3.1. Hizmet Düzeyi	33
3.2. Örnek Gecikme Değerleri.....	40
5.1. Diferansiyel gelişim algoritması kontrol parametreleri	66
5.2. Yapay arı koloni algoritması kontrol parametreleri.....	66
5.3. Diferansiyel gelişim algoritması optimizasyonuna göre 15 dak. için katsayılar.	69
5.4. Yapay arı koloni algoritması optimizasyonuna göre 15 dakika için katsayılar ...	69
5.5. Diferansiyel gelişim algoritması optimizasyonuna göre 30 dak. için katsayılar .	70
5.6. Yapay arı koloni algoritması optimizasyonuna göre 30 dakika için katsayılar ...	70
5.7. Diferansiyel gelişim algoritması optimizasyonuna göre 60 dak. için katsayılar .	71
5.8. Yapay arı koloni algoritması optimizasyonuna göre 60 dakika için katsayılar ...	71
6.1. Analitik modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri	79
6.2. DGA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri.....	79
6.3. YAKA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri.....	79
6.4. 15 dakika için modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri	95
6.5. 30 dakika için modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri	95
6.6. 60 dakika için modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri	96
6.7. 15 dakika için DGA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri...	96
6.8. 30 dakika için DGA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri...	96
6.9. 60 dakika için DGA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri...	97
6.10. 15 dakika için YAKA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri	97
6.11. 30 dakika için YAKA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri	97
6.12. 60 dakika için YAKA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri	98
6.13. Rastgele seçilen 40 farklı durumun gecikme değerleri	99

SİMGELER DİZİNİ

d	Gecikme
C	Devre Süresi
g	Etkin Yeşil Süre
c	Kapasite
v	Hacim
T	Periyot
x	Doygunluk Derecesi
q	Akım
λ	Yeşiller Oranı
k	Gecikme Parametresi
I	Ölçüm Düzeltme Faktörü
y	Akımlar Oranı
N_0	Kuyruk Uzunluğu
x_0	Kuyruğun 0 olduğu doyunluk Derecesi
h_s	Ortalama Kuyruk Deşarjı Aralığı

KISALTMALAR DİZİNİ

HCM	Otoyol kapasite kullanımı (Highway Capacity Manual)
DGA	Diferansiyel Gelişim Algoritması
HAA	Harmoni Arama Algoritması
YAKA	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
HCS	Otoyol kapasite yazılımı (Highway Capacity Software)
ANFIS	Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System)
ACO	Karınca Algoritması (Ant Colony Algorithm)
GA	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
OKHK	Ortalama Karesel Hataların Karakökü
OMH	Ortalama Mutlak Hatalar

1. BÖLÜM

1.1. Giriş

Ulaştırma, bir noktadan diğer bir noktaya canlı ve cansız varlıkların belli amaçlar doğrultusunda yer değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda Türkiye’de ekonomik refah seviyesinin artışına paralel olarak artan taşıt sahipliği, ulaşım talebinde de bir artışı neden olmaktadır. Bu artış ise tıkanıklık ve gecikmelere neden olmaktadır. Gecikme, günlük hayatı etkileyen en önemli ulaşım problemlerinden birisi olarak değerlendirilmektedir [1]. Ayrıca gecikmenin, kavşaktaki servis seviyesinin belirlenmesinde durma sayısı, hız, doygunluk derecesi gibi etki eden parametrelerden birisi olduğundan ve ayrıca kayıp zaman, yakıt tüketimi ve sürücülerin trafik içindeki hoşnutsuzluk seviyelerini barındırmasından dolayı ulaştırma mühendisliğinde önemli bir araştırma konusudur.

Gecikmenin en az hata ile elde edilebilmesiyle kavşak kapasitesi kullanımı ve kontrolünün de optimum seviyeye ulaştırılabileceği mümkün olabilmektedir. Böylece kavşak yönetiminde mevcut kontrol sistemlerinin işleyişi izlenebilir, gerekli talepler doğrultusunda revizyonu yapılabilir.

Trafik akımlarının düzensiz olması ve gecikmeye etki eden diğer faktörlerden dolayı, gecikmenin tahmini oldukça zordur. Genel olarak arazi ölçümleri, simülasyonlar ve analitik metotların kullanılması ile tahmin edilebilmektedir. Özellikle analitik metotlar başta olmak üzere, simülasyonlar gecikme tahmininde en uygun ve pratik yöntemlerdir. Çeşitli trafik durumları için farklı varsayımlar kullanan birçok yöntem ve buna bağlı simülasyonlar ortaya konulmuş olup yeni çalışmalarla gecikmenin daha doğru bir şekilde tahmininin yapılması amaçlanmaktadır.

1.2. Problem

Gecikme tahmininin, daha önceki çalışmaların da göstermiş olduğu gibi, doğrusal olmayan ve çok boyuta sahip olan bir yapısı olduğu bilinmektedir. Gecikme ifadesi, temelde üniform ve üniform olmayan rastgele geliş ve kuyruklardan oluşan

gecikmelerden meydana gelmektedir. Ayrıca gecikmeyi etkileyen birçok parametre vardır ki bunlar sürücü davranışları ve psikolojileri, trafik hacmi, kontrol çeşidi ve süreleri, araç hareketleri, periyot, devre süresi, doyunluk vb. gibi parametrelerdir.

Genellikle gecikme hesabında en etkili ve doğru yöntem araziden ölçüm alınarak yapılandır. Fakat bunun karmaşık olması, maliyetinin fazlalığı ve zamana ihtiyaç duyulmasından dolayı pratik olmamaktadır. Ayrıca sinyal sisteminin dizayn aşamasında olması durumunda da uygulanabilir bir yöntem değildir. Bu nedenle, analitik yöntemler ve simülasyonlar gecikme tahmininde daha tercih edilebilir olmaktadır.

Simülasyonlar ve analitik metotlar kabul edilebilir sonuçlar verseler de arazi ölçümü kadar hassas sonuçlar verememesi ve ayrıca trafiğin doğal yapısı olan rassallığından dolayı gecikmeyi tam olarak formüle edememekte ve eksiklikleri bulunmaktadır. Ayrıca gecikmeyi etkileyen parametre sayısının fazla olması da tahminini güçleştiren bir diğer etkidir. Literatürde farklı yöntemler kullanılarak geliştirilen gecikme modelleri bulunmaktadır. Ancak geliştirilen birçok modelin eksiklikleri bulunmaktadır.

Son yıllarda analitik yöntem ve simülasyonların eksiklerinin ortadan kaldırılması ve yeni yaklaşımların da ortaya konulması adına farklı metotlar gecikme analizi konusuna dahil edilmiş olup özellikle yapay zeka yöntemlerinin bu konuya entegre edilerek avantajlı çözümleri ile çok boyutlu gecikme hesabına farklı çözümler getirilmeye çalışılmaktadır. Bu sürecin devamlılık arz etmesi ve gelişmenin sınırsız olmasından dolayı her geçen gün farklı yaklaşım ve yeniliklerin bu alana uygulanmalarının devamı kaçınılmaz bir gerçektir. Böylece yeni yöntemlerin uygulanmasıyla da gecikme analizi konusu günden güne gelişen bir hal almaktadır.

1.3. Amaç

Bu tezin amacı, diferansiyel gelişim algoritması (DGA) ve yapay arı kolonisi algoritması (YAKA) gibi yapay zekâ tekniklerini kullanarak sinyalleme kavşaklardaki gecikmeleri doğru olarak tahmin eden modeller geliştirmektedir. Özellikle analitik metotlarla ve simülasyonlarla yapılan gecikme hesabında, farklı bir yaklaşım ve uygun parametre

seçimlerine dayanan bir model ortaya konmaya çalışılıp bunun diğer yöntemler karşısındaki performansı da değerlendirme kriterinde göz önüne alınmaya çalışılmıştır.

Gecikme temel anlamda bir kavşaktaki sinyalizasyona bağlı olarak araçların yavaşlaması, durması ve hızlanmasındaki geçen sürenin toplamıdır. Gecikmenin hesaplanmasında devre süresi, etkin yeşil ışık süresi, faz sayısı vs gibi sinyalizasyon parametreleri kadar etkili olan kavşak geometrisi, sürücü davranışları ve reaksiyonları, araçların sınıfları gibi birçok etken söz konusudur. Parametrelerin çok olması ve bunların farklı oranlarda gecikme üzerinde etkili olmasından dolayı, yöntem kadar hangi parametrelerin daha etkin ve kaçınılmaz olduğunun da bilinmesi önemli bir husustur. Bu doğrultuda önceki çalışmalar göz önüne alındığında hacim, yeşil ışık süresi, devre süresi ve doygunluk akımı gecikme üzerinde etkili parametrelerdir [2] .

Gecikmenin en doğru şekilde elde edilmesi olan arazi üzerinde ölçüm alınarak yapılması maliyetli olması ve zaman gerektirdiği için modeller geliştirilirken Corsim Simülasyon programından yararlanılmıştır. Ayrıca simülasyon programının kullanılmasının bir nedeni de her parametre değerinin araziden alınmasının mümkün olmaması, bazı parametre değerlerinin sabit tutulmasının gerekliliği ve daha fazla trafik şartlarını içerisine alan geniş bir veri setinin kullanılmasının amaçlanmasıdır.

Böylece Corsim simülasyon programı yardımı ile birçok farklı trafik durumları oluşturulmuş ve buna göre elde edilen gecikme değerleri bu çalışmada referans olarak alınmıştır. Analitik modeller olan Highway Capacity Manual (HCM) ve Avustralya (Akçelik) gecikme modelleri ile geliştirilen gecikme modelleri karşılaştırılarak yapılan çalışmanın tutarlılığı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Önerilen modellerin daha doğru sonuçlar verebilmesi ve genel bir yöntem olması için mümkün olduğunca farklı trafik durumu ele alınmıştır. Böylece gecikme üzerinde etkili olan parametreler kullanılarak doygun altı ve doygun üstü trafik şartlarında da geçerli olabilecek modeller, yeni yaklaşımlar kullanılarak geliştirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında 2. bölümde kısaca kavşak, sinyalizasyon sistemleri ve gecikme ile literatüre değinilmiştir. 3. bölümde analitik yöntemlerden HCM ve Avustralya (Akçelik) yöntemi, 4. bölümde diferansiyel gelişim ile yapay arı kolonisi

algoritmasından bahsedilip, 5. bölümde Corsim simülasyonu üzerinde oluşturulan kavşak ile yapay zeka algoritmalarına dayalı gecikme modelleri geliştirilmiş olup 6. bölümde bulgular ve değerlendirmeler yer almaktadır. Ayrıca sonuç bölümünde bütün yöntemlerin karşılaştırılması yapıp bunun yanında önerilere de yer verilmiştir.



2. BÖLÜM

2.1. Literatür

20. yüzyılın başlarında sinyalize kavşakların İngiltere’de kullanılmaya başlanması, taşıt ve yaya akımlarında çakışmaların oluşması birçok araştırmacının kavşak kontrolü üzerinde araştırmalara yönelmesine neden olmuştur. Birçok araştırmacı geliştirdikleri gecikme modelleri ile kavşak performanslarını değerlendirmişler ve kavşakların optimum seviyede işletilmesine katkı sağlamışlardır.

Literatürde bilinen en eski gecikme modeli Wardop’un gecikme ifadesidir. Bu modelde kavşağa düzenli bir gelişin olduğu varsayılmaktadır. Ortaya konan matematiksel ifade, kırmızı ışık süresi (r), doyumluk akımı (s), devre süresi (C) ve akım oranına (y) bağlı bir ifade olarak denklem 2.1’de verilmektedir [3].

$$d = \frac{(r - \frac{1}{2s})^2}{2C(1-y)} \quad (2.1)$$

1958 yılında Webster [4] tarafından ortaya konan gecikme modelinde araç gelişlerinin poisson dağılımına, araçların kavşaktan ayrılışlarının ise üniform dağılıma uygun olduğu varsayılmaktadır. Stokastik bir model olan bu modelde gecikme ifadesi 3 kısımdan meydana gelmektedir. İlk terim düzenli araç gelişlerinden kaynaklı üniform gecikmeyi, ikinci terim düzensiz araç gelişlerinden ortaya çıkan rastgele gecikmeyi ve son olarak üçüncü terimde bir düzeltme terimi olarak kullanılmaktadır.

$$d = \frac{(1-\lambda)^2 C}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65 \left(\frac{C}{q^2}\right)^{1/3} x^{(2+5x)} \quad (2.2)$$

Bu denklemde:

$$\lambda = \text{Yeşil oranı } \left(\frac{g}{C}\right),$$

q = Akım,

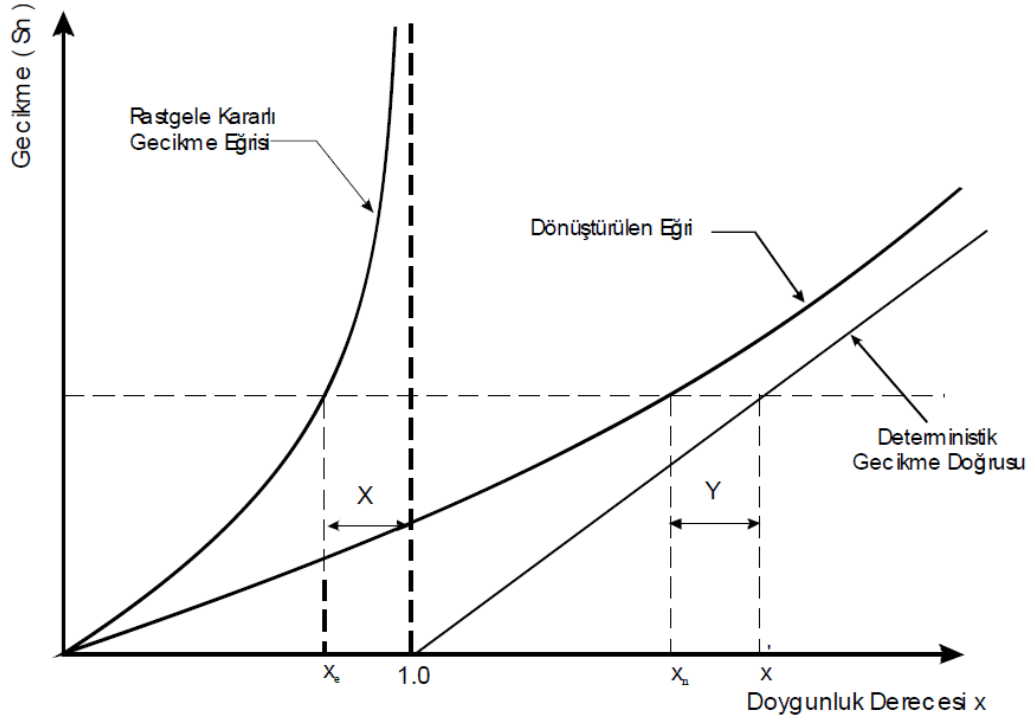
$x = \text{Doygunluk derecesidir.}$

Webster modeli doyunluk derecesinin 1'den küçük olduğu durumlarda etkili çalışmakta ve akımın kapasiteye yaklaştığı durumda bu modelin etkinliği ortadan kalkmakta ve de sonsuza giden bir gecikme tahmini yapmaktadır. Doygunluk derecesi 1'den büyük olduğu durumlarda ise kullanılamamaktadır. Doygunluk derecesi 1'den büyük olan akımlarda deterministik gecikme modelleri kullanılmakta olup bu yaklaşımda akımın devamlı kapasiteyi aştığı düşünöldüğü için bu modele sürekli aşırı akım modeli de denilmektedir. Fakat gerçek hayatta akımın rastgelelikten ayrılmayan bir yapısı olduğu gerçeği bu yaklaşımda ihmal edilmiş olması en büyük dezavantajdır.

Doygunluk derecesinin 1'den büyük olması kuyruk oluşmasına neden olmaktadır. Kimber ve Hollis [5] taşıt aralıklarını kuyruk hesaplarına katarak gecikme için önemli olan bir parametreye çalışmalarında yer vermişler ve bu kuyruk hesabından yararlanarak gecikmenin hesaplanmasına çalışmışlardır. Ayrıca koordinat dönüşüm tekniğini kullanarak stokastik ile deterministik gecikme modellerindeki eksiklerini kapatacak zamana bağlı gecikme modellerinin oluşmasını sağlamışlardır.

1981 yılında Rahmi Akçelik tarafından ortaya konan gecikme modeli literatürde Avustralya gecikme modeli olarak da bilinmektedir. Bu modelde Akçelik [6] gecikme hesabında yavaşlama ve hızlanmadan dolayı olan zaman kayıpları ile kuyruk uzunluğunun gecikme üzerindeki etkisinin de göz önüne alınması gerektiğini belirtmiş ve de kuyruk uzunluğunun hesaplanması için bir formöl tanımlamıştır.

1985 yılında Amerikan karayolları tarafından yayınlanan Otoyol kapasite kullanımı (HCM) koordinat dönüşüm sistemini kullanarak zamana bağlı olarak gecikme hesabını yapmıştır [7]. Koordinat sisteminin kullanılması doyun altı ve üstü durumlarda gecikmenin daha doğru hesaplanmasını ve doyunluk derecesi 1 için stokastik ve deterministik modellerde oluşan süreksizlik durumunun da ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.1. Koordinat Dönüşümü [8]

Şekil 2.1. Koordinat Dönüşümünde görüldüğü üzere koordinat dönüşümü rastgele gecikme eğrisine uygulanarak deterministik eğrisine yaklaştırılmakta ve doyunluk derecesi doyun altı ve üstü durumlarda gecikme hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

1988 yılında Akçelik yapmış olduğu çalışmada HCM modelinin kalibrasyonunu sağlayarak yeni bir model oluşturmuş ve bu modeli mevcut gecikme modelleri ile karşılaştırmıştır [9]. Doygunluk derecesi 1'den küçük olan durumlarda kalibre edilen model mevcut modele çok yakın sonuçlar verirken, doyunluk derecesi 1'den büyük olan durumlarda alınan sonuçların grafiği deterministik modellerin eğrisine yakın olduğu görülmüştür.

1989 yılında Burrow kalibre edilmiş HCM modeli üzerinde çalışarak gecikme hesabında pik saatleri ile normal saatlerde farklılık gösteren akım ve kapasite gibi faktörlerin hesaba katılması gerektiğini çalışmasında göstermiştir [10]. 1994 ve 1997 yıllarında HCM (1985) modelinin güncellenmesi yapılarak gecikmenin ve hizmet seviyesinin daha doğru tahmini sağlanmıştır [11, 12] .

1998 yılında Powell HCM (1997) modeli üzerindeki çalışmasında bazı düzeltme faktörlerini önererek gecikme kavramında yapılan değişikliklerden söz etmiştir [13]. Powell özellikle hizmet seviyesi tanımında daha kararlı ve işlenebilirlik açısından toplam gecikme ile ilişkili olmasından dolayı kontrol gecikmesi olarak tanımlamıştır. Çalışmasında belirtilen düzeltme faktörleri serbest akım hızı ve kuyrukta bekleyen ortalama araç sayısı olmakla birlikte doymun altı trafik durumları ve kuyruktaki araç sayısının 25 ya da daha az olmasından dolayı çalışmanın sınırlı olmasına rağmen başarılı sonuçlar vermiştir.

2002 yılında Dion ve arkadaşlarının yapmış olduğu doymun altı ve doymun üstü gecikme tahmin modellerin karşılaştırılması çalışmasında stokastik ve deterministik modellerden, Webster, Avustralya, Kanada, 1994 ve 1997 HCM modelleri ile kuyruk ve şok dalgası modelleriyle beraber mikroskobik trafik simülasyonu sonuçları karşılaştırılmıştır [14]. Sonuçlar göstermiştir ki; düşük trafik taleplerinde benzer davranışlar olmakla beraber taleplerin doymun üstüne ulaştığında benzerlikler birbirinden ayrılmaktadır.

Zamana bağlı gecikme modellerinden HCM analitik modeli zaman içinde güncellenerek, 1997 HCM modelinin üzerine 2000 ve 2010 HCM versiyonları kullanıma daha etkin ve kararlı sonuçlar verir şekilde sunulmuştur [15, 16].

2008 yılında Hadiuzzaman yapmış olduğu tezinde, regresyon kullanarak önerdiği gecikme modelini Akçelik, HCM 2000, Reilly gecikme modeli, Webster ve gözlem sonuçlarıyla karşılaştırmış, ortaya koyduğu sonuçlarda teorik gecikme modellerinin gözlem sonuçlarına göre özellikle doymunluk derecesi 1'den büyük olan durumlarda yüksek tahmin ettiği ve regresyonla ortaya konan modelin gözleme daha yakın sonuçlar verdiği dikkat çekmiştir [17]. Özellikle doymun üstü durumlarda teorik metotlar için gecikme hesabında %70 seviyesine kadar düşürülme yapılmasını önermiştir.

2011 yılında Abeer K. Jameel [18] yapmış olduğu çalışmada HCM ve Akçelik gecikme modellerinin simülasyonu olan Highway Capacity Software (HCS) ve SIDRA Intersection4 kullanarak gecikme hesaplamış ve iki kavşak üzerinden gözlemler sonucu elde ettiği sonuçlarla karşılaştırmalar yapmıştır. SIDRA simülasyon programından elde edilen gecikme değerleri gözlem sonuçlarına yakın değerler verdiğini ifade etmiştir.

Analitik modellerden stokastik ve zamana bağılı gecikme modelleri, doayun altı akımlarda birbirine yakın sonuçlar verirken akımın doayunluğa yaklaştığı ve geçtiğı trafik durumlarında tahminlerinde belirgin farklılıklar oluşmaktadır. Bu bağlamda birçok araştırmacı analitik yöntemlerdeki eksikleri gidermek ve daha doğru sonuçlar elde edebilmek için yapay zekâ uygulamaları, Global Possitioning Systems (GPS) gibi farklı yaklaşımlar kullanarak gecikme konusunu analitik yöntemlerden ayrı şekilde ele almışlardır.

2001 yılında Qıao ve arkadaşlarının yapmış olduğu Bulanık Mantığa dayalı gecikme tahmini modelinin sonuçlarını mevcut modellerle karşılaştırmışlar, simülasyon ve arazi çalışmalarıyla da modelin tutarlılığını test etmişlerdir. Akım oranı, yeşil ışık süresi ve devre süresi gibi etkili girdi parametrelerinin tercih edilmesi ve uygulanan yöntemin de trafik kontrolü ve çevresel etkilerdeki değişmelere adaptasyon sağlayabilmesinden dolayı olumlu sonuçlar vermiştir [19]. Özellikle test sonuçlarına bakıldığında ortalama karesel hata bakımından % 2 gibi bir hata payına sahip olması yapay zekâ uygulamalarından birisi olan bulanık mantığın gecikmeye uygulanmasında olumlu etkilere sahip olduğunu göstermiştir.

2001 yılında Haşiloğlu ve Gökdağ yaptıkları çalışmada bir başka yapay zeka uygulaması olan Adaptive Neuro Fuzzy Inference Sistem (ANFIS) kullanmışlar ve bu yöntem ile oluşturdukları modelin sonuçlarını da Trabzon'dan seçilen bir kavşaktaki gözlem, HCM ve simülasyon programı ile karşılaştırmışlardır [20]. Karşılaştırma neticesinde gözlemden ortalama gecikme 12.25 sn iken simülasyon 12.94 sn, ortaya konan model 13.10 sn ve HCM 13.85 sn olarak bulunmuştur. ANFIS'in gecikmede kullanılması analitik yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Haşiloğlu ve arkadaşlarının 2014 yılında yaptığı bir diğer çalışmada ortaya koydukları modeli Erzurum'un Yakutiye ve Gez bölgelerindeki kavşakta gerçekleştirdikleri gözlem sonuçları ile Webster, HCM, regresyon ve sinyal simülasyon modeli ile karşılaştırmışlardır. Ortaya konan modelin gözlem sonuçlarına yakın gecikme değerleri verdiği görülmüştür [21].

2004 yılında Başkan yapmış olduğu yüksek lisans tezinde arazideki gözlemleri sonucunda elde ettiği verileri kullanarak ortaya koyduğu yapay sinir ağlarına dayalı modelinde sonuçları ölçüm sonucunda elde ettiği gecikme değerleri ile karşılaştırmış ve % 12 civarında bir hata ile modelin uygun sonuçlar verdiğini göstermiştir [22].

2006 yılında Murat bulanık mantık ve yapay sinir ağlarına dayalı gecikme modellerinin sonuçlarını HCM ve Avustralya gecikme modelleri ile karşılaştırmış ve ortaya konan sonuçların oldukça umut verici olduğu görülmüştür [23]. Özellikle yapay sinir ağlarına dayalı model en iyi sonucu vermiş ve bağıl hata miktarının doygun altı akım durumlarda %7 ve doygun üstü akım durumlarda %5 olduğu görülmüştür.

2011 yılında Başkan ve Haldenbilen yapay zekâ uygulamalarından birisi olan Karınca Kolonisi Algoritmasını (KKA) devre süresi optimizasyonuna uygulamıştır [24]. Bu çalışmayla trafik mühendisliğindeki birçok probleme analitik yöntemlerden farklı olarak yaklaşımlar kullanılarak çözümler üretilmesine teşebbüs edilmiş ve üzerinde çalışılan devre süresi optimizasyonu ile en uygun trafik sinyalizasyonunu yaparak gecikmenin de olumlu şekilde optimize edilmesine olanak sağlanmıştır.

2013 yılında Başkan ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir çalışmada Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının (YAKA) ve Harmoni Arama Algoritmasının (HAA) trafik sinyal süresi optimizasyonuna uygulamaları sonucu harmoni arama algoritmasına dayalı metodun etkili ve daha basit şekilde optimizasyon sonuçları verdiği görülmüştür. Ayrıca yapay arı koloni algoritması metodunda karşılaştırma yapılan genetik algoritma (GA) ve tepe tırmanma algoritmasına göre %2.4-%2.7 oranında iyileşme sağladığı görülmüştür [25] [26].

2013 yılında Ceylan trafik sıkışıklığını minimize etmek için diferansiyel gelişim algoritması kullanarak bir model geliştirmiş ve bunu trafik sinyal optimizasyonu üzerine uygulayarak efektif sinyalizasyon sağlamak ve sıkışıklık ile bunun sonucu olan gecikmenin minimum olması için çalışmıştır [27]. Ortaya koyduğu modelin sonuçlarını genetik algoritması ve harmoni arama algoritmasına dayalı olarak ortaya konan modellerin sonuçlarıyla karşılaştırmış, toplam ağ performans endeksi bakımından daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermiştir.

2.2. Kavşaklar

Kavşak, farklı yön ve doğrultudaki yolların birbiri ile kesiştiği, farklı yönlerden gelen trafik akımlarının emniyetle birbirlerinin istikametinden geçmesi ya da yön değiştirmesi

için önceden belirlenmiş olan kurallara göre zamandaki ya da mekandaki sıra doğrultusunda ortaklaşa kullanılan kısımdır.

Kavşaklar kendi aralarında kullanım şekline göre 2'ye ayrılır. Aynı kotta olup farklı trafik akımlarına göre zamana bağlı olarak geçiş sıralaması olan kavşak türlerine eş düzey (hemzemin) kavşak ismi verilir. Eğer kavşak kullanımı farklı akımlarla farklı mekanlarda gerçekleşiyorsa buna da katlı kavşak denir. Böylece katlı kavşaklarla aynı anda farklı akımların geçişine olanak sağlanır [1].

Eş düzey kavşakların zamana bağlı olarak geçiş vermesinden dolayı trafik akımındaki kesintinin en fazla görüldüğü yer bu kavşaklardır. Bu durum trafikteki araçlara gecikme olarak yansımaktadır. Gecikme değerinin minimum seviyede olması istenen ve üzerinde çalışılan bir konu olup bunun için kavşak analizinin de etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bir kavşaktaki giren ve çıkan trafik akımlarının optimum seviyede olabilmesinde, o kavşağın geometrik özellikleri, çevresel koşulları, trafik akımlarındaki sürücü davranışları vb. gibi birçok parametre etkilidir.

Kavşaklarda gecikmeyi etkileyen birçok parametre var iken bunlardan en önemlisi ve etkin olanı kavşakları kontrol etmek için kullanılan sinyalizasyon sistemidir. Doğru bir sinyalizasyon sistemi kullanmak olumlu sonuçlar verip gecikmeyi azaltırken, yanlış çözümlenmeler ve uygun olmayan faz sistemi kullanmak gibi problemler gecikme üzerinde olumsuz etkiler göstermektedir. Bu bağlamda, gecikmenin doğru hesaplanması ve en aza indirilmesi kapasite, faz düzeni, devre süresi vb. gibi kavşak ve sinyalizasyon sisteminin karakteristik özelliğine bağlılığının kaçınılmaz bir gerçek olduğunu göstermektedir.

2.2.1. Kavşak Türleri

Kavşaklarda meydana gelen gecikme sorununun optimum şekilde çözüme kavuşturulması kavşakların türlerinin ve özelliklerinin doğru şekilde bilinmesine dayanmaktadır. Eş düzey kavşak türünde gecikmeye maruz kalma fazlasıyla söz konusu olduğundan bu tür kavşakların detaylı olarak incelenmesine önem verilmektedir.

2.2.2. Eş düzey Kavşaklar

Eş düzey kavşaklar trafik mühendisliğinde, emniyetli bir ulaşım ve trafik düzeni açısından önemli bir yere sahiptir. Bir yolun kapasitesinin tespitinde en spesifik nokta eş düzey kavşaklar olup bu kapasite durumu gecikme ve tıkanıklık üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu noktada kapasite kadar önemli bir husus olan trafik güvenliği konusu da eş düzey kavşaklarda önem teşkil eder. Genellikle kapasitenin güvenlikle zıt bir ilişki içinde olması göz önüne alındığında bu kavşaklarda yeterli optimizasyon ve kontrolün sağlanması ile en verimli kavşak işletimi üzerinde çalışılan bir konu olmaya devam etmektedir. Fakat bu kavşak türü hala trafik güvenliği konusunda tehlike arz etmeye devam etmektedir. Özellikle kavşak tasarım ve sinyalizasyon hataları kavşak kazalarında ön plana çıkmaktadır [28]. Güvenlik düzeyinin düşük olması ve kazaların %50'sinden fazlasının kavşaklarda meydana gelmesi de bunu doğrulayan bir göstergedir [29, 30].

Eş düzey Kavşaklar kendi arasında kontrol şekline göre denetimsiz ve denetimli olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.2.1. Denetimsiz Eş düzey Kavşaklar

Denetimsiz kavşak, herhangi bir sinyalizasyon sistemi olmadan sadece işaret levhaları kullanılarak ya da hiç kullanılmadan trafik akımının devamlılığının sağlandığı kavşak türüdür. Herhangi bir sinyalizasyon olmadığından dolayı bu kavşak türünde genellikle ana yol ve tali yol olmak üzere iki kavram mevcuttur. Böylece meydana gelebilecek kazaları aza indirmek için ana yoldan gelen taşıtların geçiş üstünlüğü bulunmakta ve tali yoldan gelen sürücülerin buna riayet ederek ana akımın içine dâhil olması bu doğrultuda gerçekleşmektedir. Birçok denetimsiz yolda tali yola konulan “YOL VER” ve “DUR” levhaları ile de kazaların azaltılması ve geçiş üstünlüğünün belirtilmesi sağlanır [31]. Ayrıca denetimsiz kavşaklarda anayol ve tali yol dışında trafik akımlarının birbirine yakın olduğu kavşaklarda sağdan gelen sürücünün geçiş üstünlüğü ilkesi uygulanmakta ve bu sürücülerin sorumluluğunda olan bir durumdur.

2.2.2.2. Denetimli Eş Düzey Kavşaklar

Herhangi bir sinyalizasyon sistemi ya da trafik polisi tarafından kontrol edilen böylece denetimsiz kavşaklara göre güvenliği ve kapasitesi arttırılmış olan kavşak türüdür. Dönel kavşak ve sinyalize kavşak olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

Dönel kavşaklar, taşıt trafiğinin dairesel biçimde hareket etmesini ve isteklerine göre çeşitli doğrultularda dağılmalarına olanak sağlayan bir kavşak türüdür. Bu kavşaklar trafiğin devamlı olarak güvenli şekilde dolanımına ve ayırımına izin vermekte, ayrıca düşük trafik hızlarından dolayı da kazaları azaltmaktadır. Trafik kapasitesine bağlı olarak merkezinde bulunan yuvarlak adanın haricinde adasız ya da sadece merkezi boya ile belirlenmiş dönel kavşaklarda mevcuttur [1].

Sinyalize kavşaklar, ışıklı lambalardaki renklere göre geçişin sağlandığı ve trafik akımlarındaki düzeni sağlayarak yolun kapasite ve güvenlik düzeyinin daha yukarılara çıkmasına olanak sağlayan kavşak türüdür. Sinyalize kavşaklarla hem yayaların hem de taşıtların belirli bir düzen içinde hareket etmeleri sağlanarak kaza oranlarının düşmesinde önemli ölçüde katkılar sağlamaktadır. Ayrıca sinyalizasyon sistemi taşıtların hızını düşürerek özellikle taşıt ve yayaların karıştığı kazalarda ölüm riskini azaltmakta, çoğunlukla denetimsiz kavşaklarda meydana gelen taşıtların karşılıklı çarpışma ya da yandan çarpma ihtimallerini düşürmektedir [29].

Sinyalizasyon sisteminin temel amaçlarından birisi olan güvenliğin arttırılması kadar, kavşak içerisinde bulunan taşıt ve yayalar için gecikmenin minimum olması ile trafik akımına dâhil olabilmesi için yeterli süreye sahip olması da diğer amaçlarından [32].

Sinyalize kavşakların avantajlarının yanında yetersiz devre süresi, uygun olmayan faz kullanımı ve kavşak geometrisinin yeterince analiz edilmemesi gibi sorunlara bağlı olarak meydana gelen olumsuz etkileri de mevcuttur. Bu durum gecikmenin artmasına sebep olmakla beraber, sürücülerin davranışlarında ve reaksiyonlarda değişikliklere sebep olarak kazaların da artmasına neden olabilmektedir.

2.2.3. Katlı Kavşaklar

Yoğun iki ana trafik akımının bulunduğu kesişen yollarda, trafik akımının kesintisiz olarak sağlanmasına ve hızın mümkün olduğunca düşürülmeden devam edilmesine olanak veren yön değiştirmelerin yer aldığı farklı kotlarda bulunan kavşak türüdür. Bu kavşak türünde yüksek kapasite sağlanımı, araçlara ilişkin sorunların azalımı ile güvenliğin artırılması ön planda olup trafik akım hızında değişme olmadan trafik hareketlerini mümkün kılacak şekilde tasarım söz konusudur. Hemzemin geçitlerde olduğu gibi katlı kavşakların kullanımının da avantaj ve dezavantajları mevcut olup doğru kavşak tasarımı ile pahalı bir maliyete sahip olmasına rağmen yüksek kapasiteli, gecikmelerin ve kazaların fazla olduğu yollarda önemli bir çözüm teşkil etmektedir [33].

2.3. Sinyalizasyon

Sinyalizasyon temelde hemzemin kavşakların güvenliğini ve kapasitesi arttırmak, kazaların ve gecikmenin düşmesine olanak sağlamak için belli bir düzen dâhilinde çalışan ve trafiği düzenleyen ışıklı sistemlerdir. Trafikte kullanılan sinyalizasyon sistemleri, trenlerin hareketleri kontrol etmek için kullanılan sistemlere dayanmaktadır. Demiryollarında kullanılan kontrol sistemlerinde 1800'lü yılların başında beyaz renkli ışık geç olarak, kırmızı renkli ışık dur ve yeşil uyarı anlamında kullanılırken günümüzde trafikte yeşil geç, sarı harekete hazırlık ve kırmızı dur olarak kullanılmaktadır.

Işıklı kontrol sisteminin karayolu trafiğine entegrasyonu 1868 yılında dönemin ulaşım sistemi olan at arabalarının kavşak içinde yoğunluk ve tıkanıklığını düzenlemek için kullanılmasına dayanmaktadır. Kırmızı ve yeşil ışıklı ilk sinyalizasyon tesisi 1914 yılında A.B.D. Cleveland'da kurulmuş, 1920 yılında Detroit'te sarı ışıklar da kullanılmıştır. 1924 yılından sonra Avrupa ülkelerinde de kullanılmaya başlayan ışıklı sinyaller özellikle 1950 yılından sonra büyük gelişme göstermiştir [32].

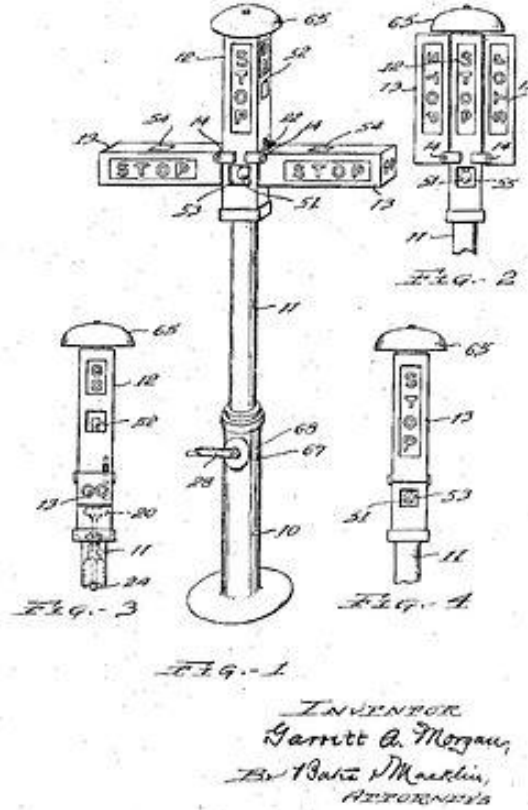
Garrett Augustus Morgan tarafından patenti alınmış olan ve günümüzde kullanılan trafik lambaları etkin bir şekilde işlevselliğini sürdürmekte ve yeni teknoloji ve taleplere bağlı olarak gelişmeye devam etmektedir.

Nov. 20, 1923.

G. A. MORGAN
TRAFFIC SIGNAL,
Filed Feb. 27, 1922

1,475,024

2 Sheets-Sheet 1



Şekil 2.2. Garrett Morgan Trafik Lambası Çizimi [34]

Sinyalizasyon sisteminde temel ilkelerin güvenliğin ve kapasite kullanımının artması, gecikmelerin azalarak trafik akımının iyileşmesi ve konforun artması, yakıt tüketiminin azalması sonucu ekonomiklik sağlaması ve tıkanıklığın azalmasından dolayı durma süresinde iyileşmeler sayesinde gürültü, emisyon gibi çevresel etkilerin minimum sınırlara çekilmesi vb. avantajlar olduğu göz önüne alındığında kavşağın sinyalizasyon sistemi için azami kriterleri sağlaması gerekmektedir. Özellikle denetimsiz eş düzey kavşaklarda meydana gelen tali yoldan anayola girmek isteyen taşıtların gerekli boşlukları bulamaması, trafik işaretlerine yeterince uyulmayıp güvenliğin zayıflaması, gereksiz durma, sıkışıklık, tıkanıklık gibi kavşağın ekonomikliğine etki eden ve gecikmeyi meydana getiren trafik akımındaki düzensizlikler, yayaların kaza maruziyet risklerinin fazla olması ve kavşak kapasitesindeki yetersizlik gibi problemler sinyalizasyonu gerekli kılan önemli etmenlerdendir. Ancak rastgele yapılan sistemler mevcut işleyen sisteme olumsuz etkiler oluşturmakta ve özellikle gecikme değeri

üzerinde artış eğilimine yol açmaktadır. Ayrıca bu durum sürücü davranışlarında saldırganlık ve kuralları çiğneme eğilimi kazaların artışına ve de kavşağın performansında düşüşe sebep olmaktadır.

Sinyalizasyon sistemi temelde iki çalışma prensibine sahip olup bunlar kendi içlerinde izole ve koordineli sistemler olmak üzere ayrılırlar. İzole sistemlerin bağımsız olması ve sadece bir kavşakta meydana gelen trafik hareketlerini içermesinden dolayı sistemin çalışmasını takip etmek ve optimizasyonu gerçekleştirmek daha pratik olup basit ve doğru şekilde sonuç alınabilmesine imkân sağlamaktadır.

2.3.1. İzole Sinyalize Sistemler

Birçok kavşakta kullanımının oldukça yaygın olduğu bir sistem olan bu sinyalizasyon türünde temel çalışma prensibi, sinyalizasyonun uygulanmış olduğu kavşağın kavşağa giren ve çıkan kolları üzerinde bulunan diğer kavşaklarda mevcut olan sinyalizasyon sistemlerinden bağımsız olarak çalışmasına dayanmaktadır. Diğer bir deyişle her kavşağın kendi içerisinde çalışması ve devre süre, yeşil süre, faz gibi sinyalizasyon sisteminin operasyonel bileşenlerinin birbirinden bağımsız ve etkileşimi olmaksızın sistem içinde olmasıdır. Bu sistem türü kendi içinde sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar dört başlık altında olup sabit zamanlı, trafik uyarımalı, yaya uyarımalı, el ile kumandalı sinyalizasyon sistemidir.

2.3.1.1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon

Kavşağa giren kollardaki taşıt ve yaya akımlarına göre belli oranlar dâhilinde geçiş ve duruş süreleri belirlenerek programlanmış olan kavşak işletim sistemidir. Bu sistemde devre süresi, kırmızı ve yeşil süreler, faz düzeni gibi sinyalizasyonun çalışma parametreleri kolların üzerinde bulunan trafik yüküyle ilişkili olarak belirlenmesinden dolayı ilgili kavşağın trafik yükünün mümkün mertebe çok ve dikkatli sayımlar doğrultusunda belirlenmesi sistemin performansı açısından önemli bir yere sahiptir.

Bu sistemin sabit zamanlı olarak çalışmasının kavşaktaki performansını olumsuz olarak etkileyen bir etmen olduğu mevcut sistemlerin incelenmesinde kendini göstermektedir.

Bu durumun en büyük nedeni ise trafik akımlarının sürekli olmayıp gün içerisinde farklı zaman dilimlerinde değişiklik göstermesi ve özellikle sabah, akşam gibi zirve saatlerinde pik noktasına ulaşmasıdır. Mevsim özellikleri, kavşağın bulunduğu bölgenin fiziki yapısına bağlı olarak sinyalizasyonun kurulumu aşamasında projede belirlenen trafik akımlarından farklılık göstermesi gibi etkenler de performansı etkilemekte ve özellikle gecikmenin artmasına neden olmaktadır.

Bu sistemin dezavantajına ve gecikmenin beklenenden yüksek olmasına neden olan durumların ortadan kaldırılması, kavşağın sürekli kontrol altında tutulup izlenmesi ve raporlanması sonucunda mevcut fiziksel durumlara ve gün içindeki değişen trafik akımlarına göre farklı zamanlama programlarının oluşturulmasıyla sağlanabilmektedir.

2.3.1.2. Trafik Uyarımalı Sinyalizasyon

Sabit zamanlı sistemin aksine taşıtların geçiş hakkı sırası ve süreleri kolların üzerinde bulunan trafik yüküne ve taleplerine bağlı olarak değişkenlik gösteren bir çalışma prensibine sahiptir. Bu sistemde alıcıların kullanılması ile kollarda bulunan trafik akımının yoğunluğu belirlenmekte ve sistemin devre süreleri buna göre tayin edilmektedir.

Alıcılardan gelen uyarıların sistem içerisinde değerlendirilmesine göre kendi içinde iki kısma ayrılan trafik uyarımalı sinyalizasyon, yarı trafik uyarımalı ve tam trafik uyarımalı olarak adlandırılır.

Yarı trafik uyarımalı sistemlerde, kavşak kollarından trafik akımının devamlı ve yoğun olduğu anayol niteliğindeki kola sürekli yeşil ışık yakarak trafik hareketliliğinin durmasının ve gecikme oluşmasının önüne geçilmesi, tali yol niteliğindeki düşük akımlı yoldan gelen talep doğrultusunda bu kola geçiş hakkı vermesiyle sistemin düzgün işleyişi temel çalışma prensibidir [35].

Tam trafik uyarımalı sistemlerde ise bütün kollarda bulunan alıcılardan gelen trafik yoğunluklarına göre geçiş hakkı sıra ve süresinin değiştirilmesi prensibi söz konusudur. Kavşak üzerinde bulunan mevcut taleplerin anlık olarak algılanması ve buna göre

sinyalizasyondaki geçiş srelerin otomatik olarak tayin edilmesi gecikmenin minimum değerlerde olmasını sağlayan bir etkidir [35].

2.3.1.3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon

Sinyalizasyon sisteminin görevinin trafikteki taşıtların güvenliğini ve düzenini sağlamak olduğu kadar ulaşımın bir diğer aktörü olan yayalar içinde geçerli olmasıdır. Kavşaklarda bulunan ya da kavşaklardan uzakta bulunan yaya geçitlerinde, yayaların talepleri doğrultusunda yayalara güvenli geçiş hakkı sağlamak maksadıyla kullanılan sistemlerdir.

Sabit zamanlı ve trafik uyarmalı sistemlere entegrasyonu ile kullanılabilen bu sistemde yayadan gelen talep doğrultusunda yayaya geçiş hakkı verip diğer durumlarda anayola devamlı yeşil işık yakarak zaman kayıplarını ve gecikmeleri azaltması neticesinde hem taşıt hem de yayalar için güvenlik ve kullanıcıların memnuniyetinde etkili olabilmektedir.

2.3.1.4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon

Çalışma mantığının trafik ve yaya uyarmalı sistemlere benzediği bu sistem sabit zamanlı gibi programlanmış olan bir sinyalizasyonda dışarıdan gözlemler sonucunda taleplere göre manuel olarak bir kumanda yardımıyla sinyallerin değiştirilmesi prensibinde çalışmasını gerçekleştirmektedir.

2.3.2. Koordine Sinyalize Sistemler

Trafik yoğunluğunun fazla olduğu ana arter üzerindeki kavşakların meydana getirdiği duruş-kalkıştan dolayı oluşan trafik akımındaki düzensizlik ve tıkanıklığa istinaden meydana gelen gecikmenin azaltılması bağlamında, sinyalizasyon sistemlerinin birbiriyle koordineli olarak çalışmasına ve tali yollardan gelen taleplerin doğrultusunda yeterli geçişe izin vererek maksimum sayıda taşıtın durmadan geçirilmesine dayanan bir sistemdir.

Koordine sistemlerin ana amaçlarından bir diğeri de birbirine yakın olan ve yoğun akımların bulunduğu kavşaklarda biriken taşıt kuyruklarının diğeri kavşak alanına taşmasının engellenmesidir. Bu bağlamda koordine sistemlerin ana arterler üzerinde uygulanmasının yanı sıra diğeri yönlerden gelen taleplerin de fazlalığı sonucu bütün kollara uygulanmasıyla minimum gecikme sağlanabilmektedir.

Koordine sistemler kendi içinde çalışma prensibine göre senkronize, alternatif, progresif ve arazi trafik kontrolü sistemleri olarak dört çeşide ayrılmaktadır.

2.3.3. Sinyalizasyon Temel Kavramları

Faz: Kavşaktaki kollarda bulunan akımlardan en az birinin geçiş hakkı alması ve bitiminde de geçiş hakkının sona ermesi olarak tanımlanır.

Devre süresi (C): Kavşakta bulunun bütün fazların geçiş haklarını alması için geçen toplam süredir.

Aralık: Bütün sinyal ışıklarının sabit kaldığı zaman periyodudur.

Aralık değişimi (Y): Sarı ve hepsine kırmızı aralığı içeren süredir.

Kayıp zaman: Kavşakta hiçbir hareket tarafından kullanılmayıp etkisizce geçen süredir.

Etkili yeşil süre (g): Geçiş hakkı olan faza geçiş hakkı sürecinde harekete izin verilen süredir.

Yeşil oranı (g/C): Etkili yeşil sürenin devre süresine oranıdır.

Yeşiller arası süre (I): Geçiş hakkı olan fazdaki yeşil sürenin bitip takip eden fazdaki yeşil sürenin başlangıcı arasındaki geçen süreye denir. Yeşiller arası süre faz sisteminin ayarlanmasına bağlı olarak farklı değerler alabilir.

Kırmızı süre (r): Fazdaki araçların durmasını kapsayan süredir.

Sarı süre (a): Kırmızı ile yeşil arasındaki harekete hazırlık için olan süredir.

Doygun akım (s): Yeşil süre boyunca kavşaktan geçen maksimum araç sayısını içeren akım değeridir. Bu akım değeri tek şeritteki 1 saatlik sürede geçen araç sayısı ile ifade edilir.

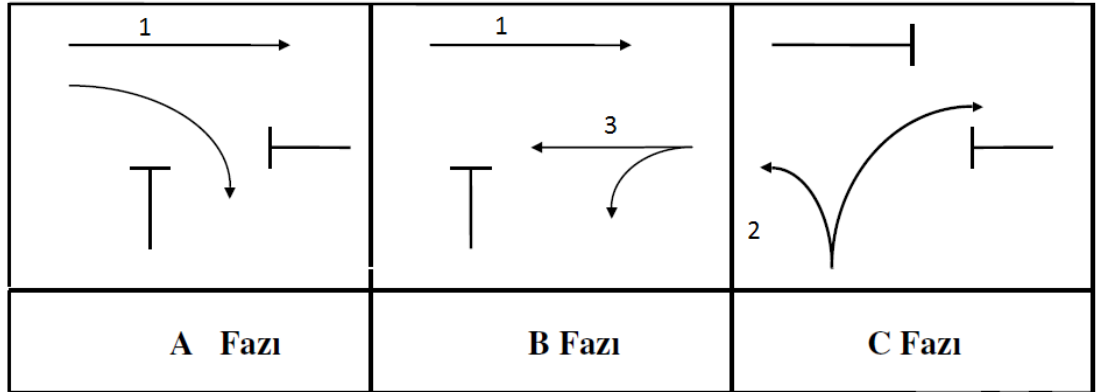
Analiz periyodu (T): Kavşaktaki gecikmenin tahmin edildiği süredir. Saat cinsinden ifade edilmektedir.

Sabit zamanlı kontrol: Devre süresi, faz düzeni, yeşil süre, değişim aralıkları sabit ve belirli olan kontrol çeşididir.

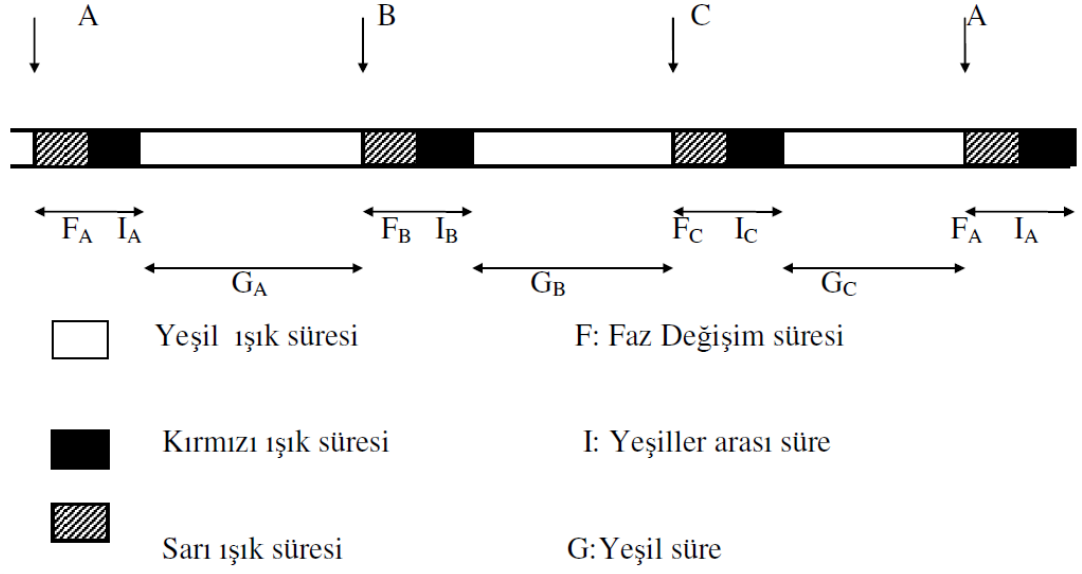
Yarı zamanlı kontrol: Ana yoldaki faza her zaman yeşil yakıp, tali yoldan talep geldiğinde bu fazı aktif hale getirip geçiş hakkı veren bir kontrol çeşididir.

Tam zamanlı kontrol: Bütün fazlardaki taleplerin doğrultusunda geçiş hakkının ve devre süresi, yeşil süre, değişim aralıkları taleplere göre belirlenen kontroldür.

Faz Düzeni: Kavşakta mevcut olan birden fazla akımın hangi düzende ve sıra ile geçeceğini gösteren faz diyagramıdır. Bir akımın birden fazla fazda geçme durumu var ise bu da tekrarlı akımlar olarak belirtilir.



Şekil 2.3. Faz Diyagramı [36]



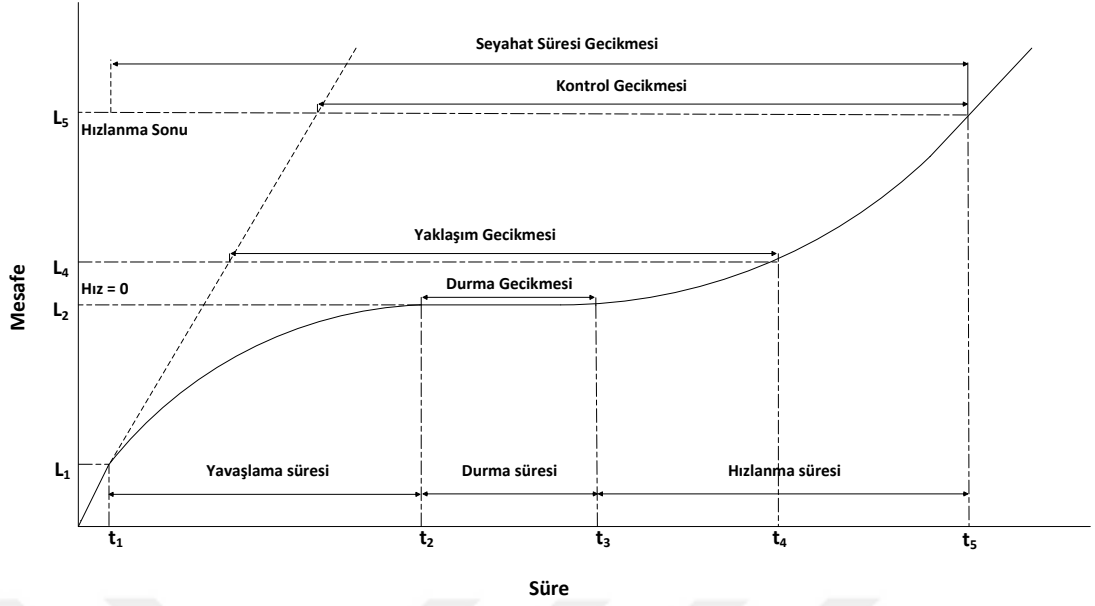
Şekil 2.4. Devre Süresi Diyagramı [36]

Şekil 2.3. Faz Diyagramı ile verilen 3 fazlı kavşak sinyalizasyonunun devre süresi diyagramı Şekil 2.3.'de gösterilmiş ve sinyalizasyondaki bütün süreler detaylı olarak ifade edilmiştir. Şekil 2.4. ile 3 faza ait devre süresi diyagramı gösterilmiştir.

2.4. Gecikme

Gecikme, trafik akımı içinde olan bir taşıtın kendinden kaynaklı olmayan nedenlerden dolayı kaybettiği zaman olarak tanımlanır. Bir diğer deyişle gecikme, taşıtın kavşaktaki sinyalizasyondan etkilenmeden geçtiği seyahat süresi ile etkilenerek geçtiği seyahat süresi arasındaki fark olarak da tanımlanabilir.

Gecikmenin bir kavşağa ait hizmet seviyesinin belirlenmesinde kullanılması, sinyalizasyon sistemine bağlı olarak sürücü hoşnutsuzluklarını tanımlaması gibi çok boyutlu bir yapıya sahip olmasından dolayı literatürde yaygın bir çalışma alanına sahip olmuştur. Gecikmenin kendi içinde farklı tür ve tanımlamaları mevcut olup bunlar durma gecikmesi, yaklaşım gecikmesi, seyahat süresi gecikmesi, kontrol gecikmesi, kuyruk gecikmesi olarak ayrılır. Şekil 2.5 ile gecikmenin diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Gecikme Diyagramı

Durma gecikmesi, bir aracın kavşak boyunca geçmesi sırasında sinyalizasyon sisteminden kaynaklı, var ise kuyruk içindeki ya da sinyal ışığının önünde bulunan dur çizgisindeki durduğu süredir. Bir başka ifade ile durma gecikmesi, aracın hızının tamamen sıfır olmasıyla başlayıp tekrar hızlanmaya başlaması arasındaki geçen zamandır.

Yaklaşım gecikmesi, durma gecikmesine ilave olarak yaklaşım hızından tamamen durana kadarki yavaşlama süresi ile istenen hıza tekrar ulaşıncaya kadar ki hızlanmada kaybedilen süreyi kapsayan bir gecikme süresidir. Literatürde yaklaşım gecikmesi toplam gecikme olarak da adlandırılır.

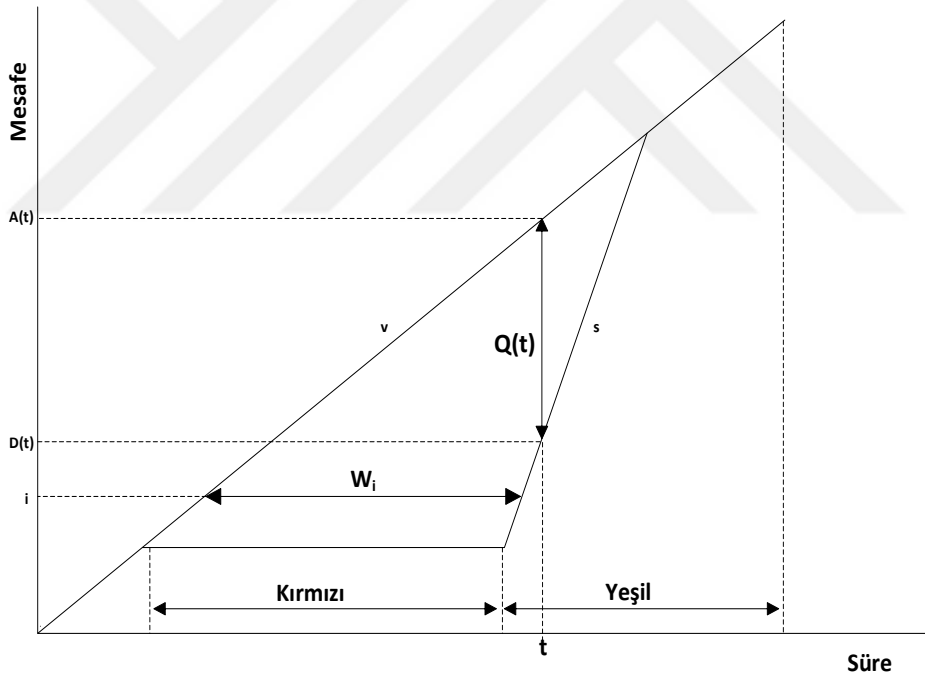
Seyahat süresi gecikmesi, sürücülerin umduğu seyahat süresi ile mevcut seyahat süresi arasındaki zaman farkıdır. Fakat istenen seyahat süresini belirlemek sürücülerin tercih ettikleri yolların farklı olması ve seyahat sürelerinin değişiklik göstermesinden dolayı zor olduğu için bu gecikme kavramı nadiren kullanılır.

Kuyruk gecikmesi, bir aracın kavşaktaki kuyruğa katılmasından dur çizgisini geçene kadar boşalma olarak kuyruktan çıkana kadarki süreyi kapsayan gecikmedir. Kuyruk gecikmesindeki zaman olarak bilinen bu gecikmede araçlar dur çizgisine ulaşana kadar

birden fazla durabilirler. Genellikle yaklaşım gecikmesinden düşük, durma gecikmesinden fazladır.

Kontrol gecikmesi ise trafik ışıkları ya da işaretlerinden kaynaklanan ve literatürde yaygın bir kullanım alanına sahip olan gecikmedir. Bu gecikme yaklaşık olarak kuyruk gecikmesine hızlanma ve yavaşlamadan kaynaklı kaybedilen sürenin eklenmesiyle elde edilen gecikme değeridir. Yani kontrol gecikmesi, yavaşlama, durma, kuyruktaki hareket ve hızlanmadan kaynaklı kayıp zamanların toplamına eşittir.

Gecikmenin tahmini ve hesaplanması analitik modellere ve bunun dışında farklı çözüm yöntemleri ile gelişen yapay zekâ tekniklerinin uygulanmasına dayanmaktadır. Matematiksel modellerde, sinyalize kavşaklardaki kuyruk modelleri ve diyagramlarından yararlanılmaktadır.



Şekil 2.6. Kuyruk diyagramı ve bekleme süresi

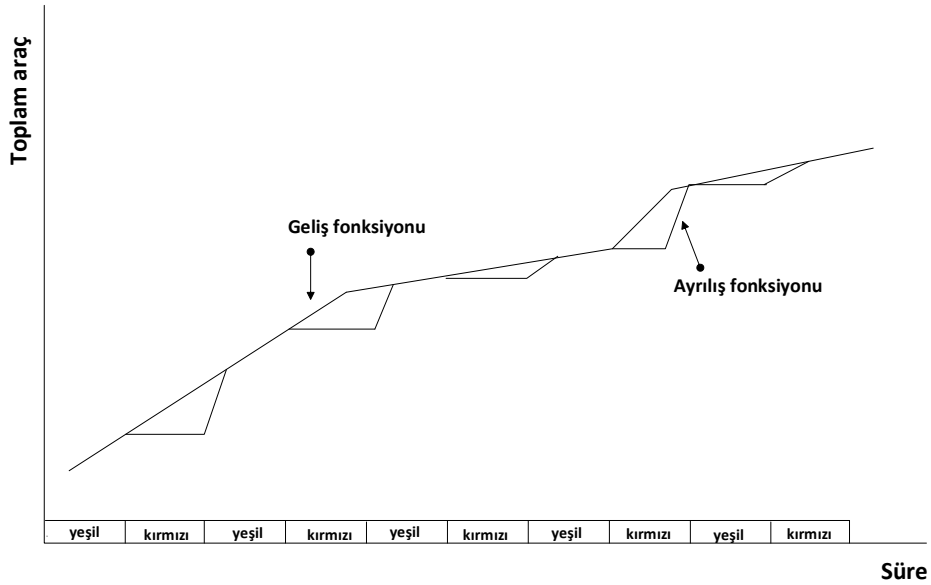
Şekil 2.6. Kuyruk diyagramı ve bekleme süresinde araçların geliş ve ayrılış süreleri gösterilmektedir. $A(t)$ t süresinde tüm gelişleri ifade ederken, $D(t)$ toplam ayrılışları ifade etmektedir. Böylece gelişler ile ayrılışlar arasındaki fark t zamanı için kuyruktaki

araç sayısını ifade etmektedir. Bir aracın gelişi ile gidişi arasındaki zaman farkı ise gecikmeyi ifade etmektedir. Bu durumda arada kalan alan toplam gecikmeyi ifade etmektedir.

Analitik ifadede gecikmenin 3 tane temel bileşeni bulunmaktadır. Bunlar uniform gecikme, rastgele gecikme ve doygun akımdan kaynaklanan sürekli gecikmelerdir. Uniform gecikmeler trafik akışının kavşaktaki sinyalizasyondan kaynaklı kesilmesi sonucu olurken, rastgele gecikmeler araç gelişlerindeki dalgalanmalardan meydana gelmektedir. Rastgele gecikmeler hem doygun altı akımlarda hem de doygun üstü akımlarda görülebilmektedir. Doygun akımdan kaynaklanan sürekli gecikmeleri ise geliş akımının kavşağın kapasitesinden fazla olması ve böylece devre süresi içerisinde araçların yeşil ışık süresinde tamamen boşaltılamamasından kaynaklı gecikmedir.

2.4.1. Üniorm Gecikme

Üniorm gecikme doygun altı ve doygun üstü durumlarda ortaya çıkan ve taşıt geliş aralıklarının sabit olduğu bir gecikme türüdür. Hiçbir aracın bir yeşil faz süresinden daha fazla beklemeye maruz kalmadan her yeşil fazda geliş ile gidiş fonksiyonları arasında bir tutarlılık olduğu durumdur.



Şekil 2.7. Üniorm gecikme diyagramı

Şekil 2.7. Üniorm gecikme diyagramında gösterildiği gibi gecikme değeri geliş ile gidiş arasındaki kalan üçgen bölgenin alanı olup toplam gecikme değeri bu bütün bölgelerdeki değerlerin toplamına eşittir.

Araçların kavşaktan gidiş akımları belli durumlara göre 0 ile doymun akım arasında değışiklik göstermektedir [37]. Bu durumlar;

- Kırmızı ışık aralığında 0,
- Kuyruk olduğu durumdaki yeşil fazdaki doymun akım,
- Kuyruk yokken ki yeşil fazda geliş akımına eşit,

şeklinde değışen kavşak ayrılış akımları bulunmaktadır.

Uniform gecikmenin matematiksel ifadesi doymun altı durumlar için ($x < 1.0$) aşağıda gösterildiği şekilde gösterilmektedir.

$$d_u = \frac{(1-\lambda)^2 C}{2(1-\lambda x)} \quad (x < 1.0) \quad (2.3)$$

Burada;

d_u = Üniorm gecikme,

C = Devre süresi,

λ = Yeşil oranı (g/C),

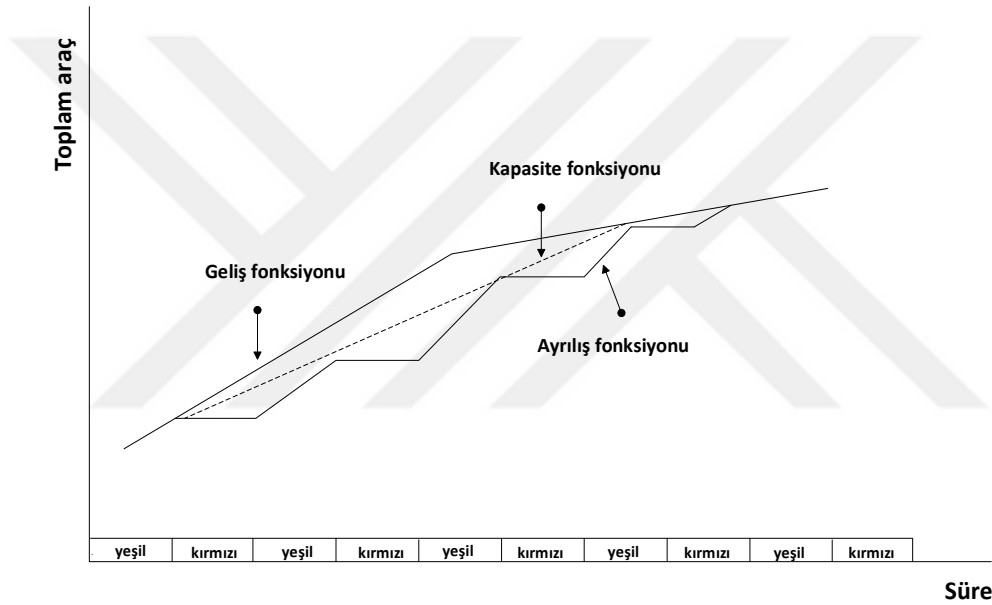
x = Doymunluk derecesini ifade etmektedir.

Doymun üstü akım durumlarında üniorm gecikmenin matematiksel ifadesi denklem 2.4'de verilmektedir.

$$d_u = 0.5(C - g) \quad (x > 1.0) \quad (2.4)$$

2.4.2. Rastgele Gecikme

Üniform gecikmede araçların sabit bir geliş oranında ve her birinin birbirini aynı aralıkla takip ettiği varsayılarak tanımlanmakta iken rastgele gecikme trafiğin doğal yapısından kaynaklı rassallığı ifade eden bir gecikmedir. İzole bir sinyalizasyon kavşağında akımlar gerçek hayatta üniformdan ziyade rastgele bir dağılım göstermektedir ve bu durum genellikle bazı sinyallerdeki araç geliş akımlarının aşırı olmasından ve düzensiz aralık göstermesinden kaynaklanmaktadır. Rastgele gecikme durumu hem doygun altı hem de doygun üstü akımlarda görülebilmektedir.



Şekil 2.8. Rastgele Gecikme Diyagramı

Şekil 2.8. Rastgele Gecikme Diyagramında görüldüğü gibi araçların geliş ve ayrılış fonksiyonlarında kavşağın kapasitesinin üstünde bir geliş akımı ve kapasitenin altında bir ayrılış akımı mevcuttur. Bu durum kavşağın bir kuyruk oluşmasına ve kavşağı doygunluğa götürmeye sebep olmakta böylece araçlar geçmek için ikinci bir yeşil aralığını beklemek zorunda kalmaktadır. Rastgele gecikmenin doygun üstü akımlarının yanı sıra doygun altı akımlarda da olabildiği Şekil 2.7'den anlaşılmaktadır. Ayrılış fonksiyonu geliş fonksiyonunu yakalamakta ve kuyruk oluşmamakta böylece geliş akımındaki bütün araçlar aynı yeşil aralığında kavşaktan servis alabilmektedir. Geliş akımlarındaki rastgeleliğin etkisi toplam gelişlerin kapasiteden çok düşük olduğu

göstermektedir. Doygun üstü akımdan kaynaklı sürekli gecikmenin matematiksel ifadesi denklem 2.5’de verilmiştir.

$$d_{co} = 0.5T(x - 1) \quad (2.5)$$

d_{co} = devamlı aşırı akım gecikmesi,

T = Analiz periyodu,

x = doygunluk derecesi



3. ANALİTİK YÖNTEMLER

3.1. Yolların Kapasite Kullanımı (Highway Capacity Manual HCM) Gecikme Modeli

Zamana bağı gecikme modellerinden birisi olan bu yaklaşım esasında kavşakların kapasitelerini analiz etmekte ve bunun sonucunda hizmet düzeyini belirlemektedir. Bir kavşaktaki hizmet düzeyinin belirlenmesindeki en önemli gösterge kavşaklarda oluşan gecikmelerdir. Analitik olarak gecikme hesabının yapılabilmesi için bazı kavramların detaylı bir şekilde bilinmesi gerekir.

Bir kavşakta analiz yapabilmek için HCM'nin çalışma temelini oluşturan donelerin; kapasite, akım, sinyalizasyon özellikleri, kavşağın geometrik ve trafik özellikleri gibi girdi parametrelerinin detaylı şekilde bilinmesi sonucu analitik yöntemden gecikme değeri alınabilmektedir.

Kapasite kavşakta meydana gelen önemli bir parametredir. Temel olarak kapasiteyi ideal şartlar altında yolun belli bir kesitinden ya da şeridinden 1 saatlik süre zarfında geçebilen maksimum araç sayısı olarak ifade edebiliriz [16]. Bir kavşağın kapasitesinin doğru şekilde belirlenmesi kavşak analizi, sinyalizasyon optimizasyonu ve gecikme hesabında etkilidir. Bu doğrultuda kapasiteyi belirlemedeki parametreleri incelediğimizde yeşil süre, doymun akım ve devre süresi kapasite hesabında önem teşkil eder. Kapasitenin analitik ifadesi;

$$c = s(g/C) \quad (3.1)$$

c = Kapasite (araç/saat),

s = Doymun akım (araç/saat),

g = Yeşil süre (sn),

C = Devre süresi (sn),

Kavşakta mevcut sinyalizasyona bağlı olarak belirlenen yeşil süre ve devre süresinin oransal olarak kapasite üzerindeki etkisi önemli bir parametre olup yeşil süre oranı temsili olarak kavşağın sunabildiği arzı şeklinde ifade edilebilir. Kapasite üzerinde etkili olan bir diğer parametrede doygun akımdır ki, şerit başına 1900 birim aracın bir saatlik periyotta geçtiği kabul edilmektedir [16]. Fakat bu değer kavşaktan geçen araçların geçişlerini olumsuz etkileyen ve gecikmeye neden olan birçok etkenden dolayı sağlanabilmesi nerdeyse imkânsızdır. Bu açıdan doygun akım üzerindeki detaylı çalışmalar sonucu temel doygun akım düzeltme katsayıları vasıtasıyla düzeltilmiş doygun akıma dönüşmüştür. Bunlar şerit genişliği, şerit sayısı, eğim, park ve otobüs durakları gibi trafik akımı üzerinde etkili olan durumlardan kaynaklı düzeltme katsayılarıdır.

HCM formülasyonunda bir diğer önemli parametre akımın doygunluk derecesidir. Bunun ifadesi;

$$x = q/c \quad (3.2)$$

q = Akım değeri,

c = Kapasite

Akımlar oranı ifadesi;

$$y = q/s \quad (3.3)$$

Doygunluk derecesinin farklı şekilde ifadesi olup akımlar oranı ve yeşil süre oranı cinsinden ifade edilebilir. Bu ifade;

$$x = q / c = qC / sg = y / \lambda \quad (3.4)$$

λ = Yeşil süre oranı (g / C),

y = Akımlar oranı (q / s) dir.

Doygunluk derecesinin 1'den büyük ve küçük olması gecikme hesabında etkili olup doygun altı ve doygun üstü akımlardaki farklı trafik şartlarının olması bu etkinin önemini vurgulamaktadır. Zamana bağlı gecikme modellerinden olan HCM'nin buradaki efektif olan kısmı, doygunluk derecesinin 1'den küçük durumlardaki gecikme hesabında stokastik yaklaşım sonuçları ile, 1'den büyük olan durumlarda gecikme hesabında deterministik yaklaşım sonuçlarına tutarlı olarak performans göstermesidir.

Doygunluk derecesinin bir diğer önemi ise kritik akım kavramının belirlenmesidir. Belirlenen faz düzeninde, devre süresi boyunca birbirini takip eden faz akımlarındaki taşıtların, fazdaki yeşil süre zarfında kavşağı terk ettiği göz önüne alındığında, akımların ihtiyaç duyduğu yeşil süreler doygunluk derecelerine göre tayin edilir. Bu doğrultuda, yeşil süreye en fazla ihtiyaç duyan en yüksek doygunluk derecesindeki akım kritik akım olarak belirlenmektedir.

Girdi parametrelerinin belirlenmesi ve HCM gecikme hesabındaki gerekli ifadelerin bilinmesinden sonra kavşaktaki taşıt başına düşen gecikmeyi hesaplamak 3 farklı durumdan oluşan gecikme değerlerinin toplanması demektir. Bu gecikme ifadesi;

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (3.5)$$

d = Taşıt başına gecikme,

d_1 = Üniiform gecikme,

d_2 = Artan (eklenik) gecikme,

d_3 = Başlangıç kuyruk gecikmesi,

PF = İlerleme faktörü

Bu gecikme ifadesindeki d_1 üniform gecikmesi, araçların kavşağa üniform olarak geldiği, başlangıç kuyruklanmasının oluşmadığı gecikme değeridir. Bu gecikmenin hesabı;

$$d_1 = 0.5 \frac{C(1-\lambda)^2}{1 - [\min(1, x)\lambda]} \quad (3.6)$$

d_1 = üniform gecikme (sn/araç),

C = Devre süresi (sn),

x = Doygunluk derecesi,

λ = Yeşil süre oranı

Denklem 3.5’de verilen gecikme ifadesinde d_1 gecikmesinde ilerleme faktörü olarak ifade edilen bir düzeltme katsayısı bulunmaktadır. İlerleme faktörü, koordineli sinyalizasyon sistemlerinde kavşakların birbirini etkilemesinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Kavşaklara gelen araçların gelişlerinin kırmızı ya da yeşil sürede olması ilerleme faktörünün değerini değiştirmekte ve kavşağın tam kapasite ile çalışıp çalışmamasına neden olmaktadır. Yeşil sürede gelişlerin oranının fazla olması durumunda ilerleme faktörü düşük olup gecikme değeri düşük çıkarken, kırmızı sürede geliş oranlarının fazla olması durumunda gecikmeler artacaktır. Tez çalışmasında izole bir kavşak tasarımı tercih edildiği için ilerleme faktörünün etkisinden bağımsız olduğundan dolayı 1 olarak tercih edilmiştir.

Bir diğer gecikme olan d_2 gecikmesi kavşağa araçların rastgele gelişleri ve kuyruk oluşumundan dolayı meydana gelen gecikmedir. Bu gecikmenin ifadesi;

$$d_2 = 900T[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8kIx}{cT}}] \quad (3.7)$$

d_2 = Aşırı akım gecikme,

T = Analiz periyodu (Saat),

x = Doygunluk derecesi,

c = Kapasite (araç/saat),

k = Gecikme parametresi,

I = ölçüm düzeltme faktörü

Başlangıç kuyruk gecikmesi d_3 analiz başlamadan önce kavşakta bulunan kuyruğun taşıtlar üzerinde oluşturduğu gecikmedir. Analiz başlangıcında kuyruk oluşumu yok ise bu değer 0 olarak alınır. Genellikle HCM gecikme hesabında başlangıç durumunda kuyruk olmadığı varsayılarak yapıldığı için d_3 gecikme değeri ihmal edilir.

Gecikme değerinin bulunması kavşağın performansını yansıtırken bunun farklı bir ifadesi olan hizmet düzeyi seviyesi (HDS) şeklinde tayin edilmesi de söz konusudur. Belli gecikme değerleri aralığında farklı hizmet düzeyi seviyeleri mevcut olup Çizelge 3.1. ile verilmiştir.

Çizelge 3.1. Hizmet Düzeyi

Hizmet Düzeyi HDS	Araç Başına Gecikme Değeri
A	...<10
B	10<...<20
C	20<...<35
D	35<...<55
E	55<...<80
F	80<...

3.2. Avustralya Gecikme Modeli

Akçelik tarafından 1981 yılında ortaya konan bu model, koordinat dönüşüm tekniği uygulanarak yapılmış bir yaklaşımdır. Bu yöntemde HCM gibi kavşak analizinde kullanılmakta, kavşağın kapasite ve gecikme yönünden analizlerini yapabilmektedir.

Bu yöntemdeki en belirgin fark analitik yöntemlere göre farklı bir bakış açısı ile yaklaşması sonucu faz ilişkisine dayalı metot yerine, akım ilişkisine dayanan bir yaklaşım sunmasıdır. Bu yöntem akıma dayalı olduğu için kavşaktaki her bir akım kendi başına dikkate alınmakta ve de her akımın akım oranı ve doygunluk derecesi hesaplanmaktadır. Böylece doygunluk derecelerine göre kritik akımlar hesaplanıp, bu akımların devre süresi ve yeşil sürelerin tayininde kullanılması sonucu kapasite, gecikme gibi istenen değerlerin elde edilmesine olanak sağlar.

HCM modelinde olduğu gibi Avustralya modelinde de kullanılan bazı kavramlar vardır. Yeşil süre oranı, akımlar oranı kapasite gibi kavramlar diğer yöntemlerde olduğu gibi burada da kullanılmakta olup bunların matematiksel ifadeleri 3.1 HCM bölümünde belirtildiği gibidir. Bu modelde daha önce tanımlanmış olan doygunluk derecesi x ifadesinden farklı olarak kullanılan bir başka doygunluk ifadesi x_0 mevcut olup bu ifade kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu doygunluk derecesini ifade etmektedir.

Avustralya modeline göre kavşak analizi yapıldığında, gecikme kavşağın temel performans ölçütüdür. Gecikme dışında yakıt tüketimi, doygunluk, kapasite ve kuyruk uzunluğu gibi ikincil performans ölçütleri olup özellik kuyruk uzunluğu önemli bir parametredir. Doymuş üstü akımlarda hem gecikmeyi etkileyen hem de kavşağın özellikle kuyruk depolama yetersizliğinde ölçüt göstergesi olduğu için Avustralya modelinde kuyruk hesaplanmasına çalışılmıştır.

Kuyruk uzunluğunun ifadesi;

$$N_0 = \begin{cases} x > x_0, \rightarrow \left(\frac{c*T}{4}\right) * \left(z + \sqrt{z^2 + \frac{12*(x-x_0)}{c*T}}\right) \\ x \leq x_0 \rightarrow 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

N_0 = Kuyruk uzunluğu (m),

c = Kapasite (araç/saat),

T = Periyot (saat),

x = Doygunluk derecesi,

$z = x-1$ olup doygun altı akımlarda negatif değerdir,

x_0 = Kuyruğun 0 olduğu doygunluk derecesidir.

x_0 doygunluk derecesi ifadesi;

$$x_0 = 0,67 + (s * g/600) \quad (3.9)$$

x_0 = Kuyruğun 0 olduğu doygunluk derecesi,

s = Doygun akım (araç/saat),

g = Etkin yeşil süre (sn).

Bu yöntemde de Analiz Periyodunun kuyruk uzunluğu hesabında saat üzerinden değerlendirildiği ve $x \leq x_0$ durumunda kuyruk uzunluğu oluşmadığı unutulmamalıdır.

Avustralya modelinde sabit zamanlı izole bir sinyalize kavşak için gecikme hesabı;

$$d = \frac{q * C(1-\lambda)^2}{2(1-\gamma)} + N_0 * x \quad (3.10)$$

d = Gecikme değeri (sn/araç),

q = Akım (araç/saat),

C = Devre süresi (sn),

Y = Akımlar oranı,

λ = Yeşil süre oranı,

x = Doygunluk derecesi,

N_0 = Kuyruk uzunluğu (m).

Bu gecikme formülasyonu Akçelik tarafından 1981 yılında ortaya sunulmuş olup daha sonra 1988 yılında yapmış olduğu geliştirilmiş gecikme modeli çalışmasında gecikme ifadesini doygun altı ve doygun üstü durumlar için ayrı olarak vermiştir [9]. Ayrıca geliştirilmiş gecikme modeli ile birçok zamana bağlı gecikme modellerini aynı ifade de ortaya koyabilmiştir.

Bu ifadeler $x < 1$ için;

$$d = \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-y)} + 900T \left[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{12(x-x_0)}{cT}} \right] \quad (3.11)$$

$x > 1$ için;

$$d = \frac{c}{2} (1 - \lambda) + 900T \left[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{12(x-x_0)}{cT}} \right] \quad (3.12)$$

d = Gecikme değeri,

q = Akım (araç/saat),

C = Devre süresi (sn),

y = Akımlar oranı,

λ = Yeşil süre oranı,

x = Doygunluk derecesi,

c = Kapasite (araç/saat),

T = Analiz periyot (saat),

x_0 = Kuyruğun 0 olduğu doygunluk derecesidir.

3.3. Analitik Yöntemlere Sayısal Örnek

Yukarıda verilmiş olan gecikme modellerinin daha net anlaşılabilmesi ve birbiri ile ne ölçüde tutarlı olduğunu analiz etmek için doygun altı ve doygun üstü durumlar için birer örnek ile modellerin sonuçları ortaya koyulmuştur.

İzole ve sabit zamanlı bir kavşakta 1 saatlik periyotta tek şerit üzerinde olan gecikmenin analitik olarak hesaplanmasında 1800 araç/sa doygunluk akımı, 90 sn devre süresi, her yol için 800 araç/sa trafik hacmi ve 0,35 ile 0,5 yeşil oranının olduğu veriler kullanılmıştır.

3.3.1. HCM Gecikme Modeli Hesabı

Denklem 3.1'e göre kapasite;

$$c = 1800 * 0,35 \quad (3.13)$$

$$c = 630 \text{ araç/sa}$$

Denklem 3.2'e göre doygunluk derecesi;

$$x = 800/630 \quad (3.14)$$

$$x = 1,27$$

Denklem 3.5 ile belirtilen HCM gecikme hesabında ilerleme faktörü PF değeri izole kavşak olduğu için 1'dir. d_1 , d_2 ve d_3 gecikme değerleri verilen formüllere göre hesaplanmış ve başlangıç kuyruk gecikmesi olmadığı için d_3 gecikme değeri 0 olarak alınmıştır.

Denklem 3.6'e göre d_1 gecikme değeri;

$$d_1 = 0.5 \frac{90*(1-0,35)^2}{1-[\min(1, 1,27)*0,35]} \quad (3.15)$$

$$d_1 = 29,25 \text{ sn}$$

Denklem 3.7'a göre d_2 gecikme değeri;

$$d_2 = 900 * 1[(1,27 - 1) + \sqrt{(1,27 - 1)^2 + \frac{8*0,5*1*1,27}{630*1}}] \quad (3.16)$$

$$d_2 = 498,807 \text{ sn}$$

Gecikme faktörü k ve ölçüm düzeltme faktörü I sırasıyla 0,5 ve 1 olarak alınmıştır. K değeri sinyalizasyon kavşaklarında 0,5 ve I değeri izole kavşaklarda 1 olarak alınır [22].

Denklem 3.4'de belirtilen gecikme ifadesine göre toplam gecikme değeri;

$$d = 29,25 * 1 + 498,807 + 0 \quad (3.17)$$

$$d = 528,057 \text{ sn}$$

Doygun üstü akıma göre HCM ile gecikme hesaplanmış ve doygun altı akım için ise gecikme aşağıda gösterilmiştir.

Denklem 3.1'e göre kapasite;

$$c = 1800 * 0,50 \quad (3.18)$$

$$c = 900 \text{ araç/sa}$$

Denklem 3.2'e göre doygunluk derecesi;

$$x = 800/900 \quad (3.19)$$

$$x = 0,89$$

Denklem 3.6'e göre d_1 gecikme değeri;

$$d_1 = 0,5 \frac{90*(1-0,50)^2}{1-[\min(1, 0,89)*0,50]} \quad (3.20)$$

$$d_1 = 20,25 \text{ sn}$$

Denklem 3.7'a göre d_2 gecikme değeri;

$$d_2 = 900 * 1[(0,89 - 1) + \sqrt{(0,89 - 1)^2 + \frac{8*0,5*1*0,89}{900*1}}] \quad (3.21)$$

$$d_2 = 14,981 \text{ sn}$$

Denklem 3.5’de belirtilen gecikme ifadesine göre toplam gecikme değeri;

$$d = 20,25 * 1 + 14,981 + 0 \quad (3.22)$$

$$d = 35,141 \text{ sn}$$

3.3.2. Avustralya Gecikme Modeli Hesabı

Avustralya modelinde gecikme hesabı için öncelikle HCM’de kullanılmayan parametrelerden akımlar oranı y ve x_0 doygunluk derecesinin belirlenmesi gerekir. Doygun üstü akım durumu için kavşak kapasitesi 630 araç/sa olarak bulunmuş olup aynı değer bu modelde de geçerlidir ve doygunluk derecesi $x = 1,27$ değeri de kullanılmaktadır.

Denklem 3.3’e göre akımlar oranı değeri;

$$y = 800/1800 \quad (3.23)$$

$$y = 0,44$$

Denklem 3.9’a göre x_0 doygun akım değeri;

$$x_0 = 0,67 + ((1800/3600) * (31,5/600)) \quad (3.24)$$

$$x_0 = 0,70$$

Denklem 3.24’de doygunluk akımının saniye cinsinden değeri kullanılmış olup gerekli olan yeşil süre g verilmiş olan yeşil oranına göre hesaplanmıştır.

Denklem 3.12’de verilen doygun üstü akımlar için gecikme hesabına göre;

$$d = \frac{90}{2} (1 - 0,35) + 900 * 1 \left[(1,27 - 1) + \sqrt{(1,27 - 1)^2 + \frac{12(1,27-0,70)}{630*1}} \right] \quad (3.25)$$

$$d = 537,520 \text{ sn}$$

Doygun üstü akım durumu için kavşak kapasitesi 900 araç/sa olarak bulunmuş olup aynı değer bu modelde de geçerlidir. Aynı zamanda HCM'de bulunmuş olan doygunluk derecesi $x = 0,89$ değeri de kullanılmaktadır.

Doygun altı durumda denklem 3.9'a göre x_0 doygun akım değeri;

$$x_0 = 0,67 + ((1800/3600) * (45/600)) \quad (3.26)$$

$$x_0 = 0,71$$

Denklem 3.11'de verilen doygun üstü akımlar için gecikme hesabına göre;

$$d = \frac{90(1-0,5)^2}{2(1-0,44)} + 900 * 1 \left[(0,89 - 1) + \sqrt{(0,89 - 1)^2 + \frac{12(0,89-0,71)}{900*1}} \right] \quad (3.27)$$

$$d = 29,61 \text{ sn}$$

Çizelge 3.2'de görüldüğü gibi doygun altı ve doygun üstü akım durumlarında HCM ve Avustralya gecikme modelleri birbirinden farklı sonuçlar verirken bu değerler arasında belirgin bir fark yoktur. Değerlerden görüldüğü gibi doygun altı akımda Avustralya modeli daha düşük değer hesaplarken, doygun üstü akım durumunda bu değer tam tersi şekilde olmaktadır.

Çizelge 3.2. Örnek Gecikme Değerleri

	HCM	Avustralya
Doygun Altı Durum	35.141	26.610
Doygun Üstü Durum	528.057	537.520

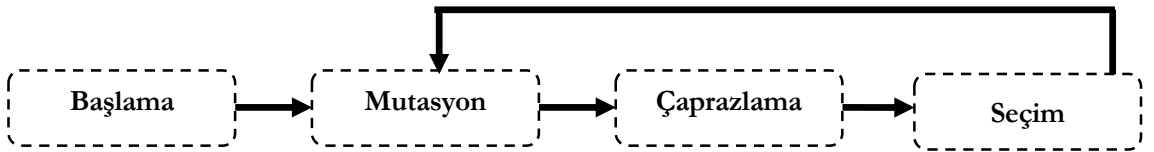
4. YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ

4.1. Diferansiyel Gelişim Algoritması

Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) doğanın ilkelerine dayalı olarak gerçek değerli ve sürekli verilerin olduğu problemlerin çözümünü sağlayabilen bir algoritmadır. Storn ve Price [38] tarafından 1995 yılında ortaya konan bu algoritma popülasyon tabanlı olup Genetik Algoritmaya (GA) yakın bir çalışma prensibinde sahip sezgisel yaklaşımdır.

Bu algoritmanın asıl misyonu arama uzayında tanımlı ve gerçek değerli tasarım parametrelerini içeren lineer olmayan ve türevlenemeyen fonksiyonların optimum parametre değerlerini aramaktır. Bu doğrultuda aynı anda uzaydaki birçok çözüm kümesinde arama yapabilmekte ve iterasyonlar süresince operatörler yardımıyla problemin çözümünü sağlayabilmektedir. Böylece DGA çok boyutlu ve birden fazla yerel minimum noktası barındıran problemlerde de uygun sonuçlar verebilmektedir.

Temel anlamda GA'ya dayanan bir algoritma olan ve 4 temel adımdan oluşan bir yapıya sahiptir. Bir başka deyişle DGA'da basit aritmetik operatörler GA'daki geleneksel operatörlerle kombine edilmiştir. Bu temel adımlar başlangıç, mutasyon, çaprazlama ve seçim olarak GA'da olduğu gibidir. Şekil 4-1'de DGA temel adımları gösterilmiştir.



Şekil 4-1 Temel Adımlar

Fakat mevcut bazı işlemsel farklılıklar bu algoritmayı GA'dan ayırmaktadır. Bu farklılıklar özellikle gerçek değerli değişkenlerin kullanılmasında ve mutasyon işleminde görülmektedir. Mutasyon işleminde, GA'da rastgele değişimler ortaya çıkarken DGA'da aritmetik birleştirildiğindeki kromozomlar arasındaki farklar kullanılır. Bu farklar uygun bir adım boyutu için önemli bir göstergedir. Çünkü, algoritma olarak optimum değişimlere doğru atılacak adım boyutu belirlenmesi önemli

olup mutasyon operatörünün adaptif olmasından dolayı da algoritmanın performansını geliştirmekte ve güçlü yapmaktadır. Bu sayede popülasyon üyeleri arasındaki varyans arttığında ya da azaldığında DGA'daki adım boyutu da buna göre değişmektedir [39]. Ayrıca tüm operatörler bütün popülasyona uygulanmayıp rastgele seçilen kromozomlarda bu işlemler gerçekleştirilmektedir.

DGA'daki temel farkı oluşturan fikir ağırlıklı fark vektörü ile baz vektörün kombinasyonu sonucu deneme vektörü yaratma tekniğidir. Sözü geçen baz vektörü rastgele seçilmiş bir kromozom iken, fark vektörü yine rastgele seçilen iki vektörün farkıyla elde edilen bir vektördür [38]. Burada dikkat edilmesi gereken husus erken yakınsamadan kaçınmak için popülasyondaki yeterli çeşitliliğin olması gerektiğidir.

DGA'nın diğer sezgisel yöntemlere göre diğer bir üstünlüğü de çok az parametre ile kontrol edilebilip az satır ile kodlanabilmesidir. Bu sayede gerçek değerli optimizasyon problemlerine daha uygun olabilmektedir. DGA'nın en basit formunda sadece 3 tane parametre vardır ki bunlar mutasyon katsayısı F , çaprazlama katsayısı CR ve popülasyon büyüklüğüdür NP 'dir [38].

Optimizasyon yöntemlerindeki genel mantık olan amaç fonksiyonunun minimize ya da maksimize edilmesi DGA içinde geçerli olup probleme göre var olan bütün kısıtlara göre en iyi çözümü araştırmak ortak noktadır. Amaç fonksiyonu DGA terminolojisinde maliyet fonksiyonu olarak da isimlendirilebilir ve sürekli değişkenlerin yanı sıra kesikli ya da bunların kombinasyonuna göre de farklı şekillerde olabilir. Böylece amaç fonksiyonunun her bir değeri uygunluk fonksiyonu olarak belirlenip bunlar da alternatif çözüm olarak ortaya çıkan her bir kromozomun değerini temsil eder. Fakat DGA'daki en büyük dezavantaj algoritmanın kısıtlara göre çalışmıyor olmasıdır. Bu bağlamda problemin içinde barındırdığı kısıtların amaç fonksiyonuna entegre edilmesi gerekmektedir. Ceza katsayılarının kullanılması ile uygun çözüm alanından uzaklaşmaların önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

4.1.1. Başlangıç Popülasyonu

Herhangi bir sezgisel arama yönteminin en önemli kısmı başlangıç popülasyonunu oluşturmaktır. Çünkü doğru bir şekilde bu oluşturulduğunda en iyi sonuç bulunabilir ve hızlı bir şekilde yakınsama olabilmektedir. Böylece en iyi çözümü bulmak için gereken hesaplama süresi popülasyonun kalitesi ile doğru orantılıdır. Probleme ait değişken sayısı (D) her bir kromozomun boyutunu belirlerken, popülasyondaki kromozom sayısı kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Fakat popülasyon sayısı NP 3'den daha az olamaz. Fark vektörü ve baz vektörün elde edilebilmesi için en az 3 farklı kromozoma ihtiyaç vardır.

Optimum popülasyon hakkında önceden bir bilgi yok ise genellikle başlangıç popülasyonu her bir parametrenin belirlenen alt ve üst sınırları dahilinde rastgele olarak elde edilir [40]. Bunun matematiksel eşitliği;

$$X_{j,i}^{(0)} = X_j^{min} + rand_j(0,1) \cdot (X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (4.1)$$

Buradaki X_j^{max} and X_j^{min} her bir parametrenin alt ve üst sınırı olup $i = 1 \dots NP$ (Popülasyonun sayısı) ve $j = 1 \dots D$ (parametre sayısı)'dir.

Eğer optimum popülasyon biliniyorsa bu bilgiyi kullanmak önemlidir. Böylece optimum noktanın komşuluğunda başlangıç popülasyonu oluşturulabilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, başlangıç popülasyonun yakınsaklığının optimum noktanın başlangıç popülasyonunun dışında konumlanmadığını garanti edecek kadar geniş olmalıdır. Böylece yakınsaklık geniş olduğu sürece etkin arama içinde yeterli varyans yaratılmış olur [38]. Bu durum altında başlangıç popülasyonu oluşturulurken Üiform ya da Gauss dağılımı kullanılır. Eğer optimum nokta kesin olarak biliniyorsa Gauss dağılımı kullanmak daha hızlı aramaları sağlar. Fakat yerel minimum noktasına erken yakınsama olasılığı fazlalaşmaktadır. Bu yüzden uniform dağılım kullanımı daha fazla önerilmektedir [40].

4.1.2. Mutasyon

Mutasyon kromozomdaki genler üzerinde yapılmış olan bazı değişikliklerdir. Böylece alternatif bir çözüm olan kromozom değerleri uzayda hareket ederek farklı bir noktada çözümü temsil etmiş olur. Mutasyon yapıldığında iki şeye dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar mutasyonun yönü ve değişik miktardır. DGA'da bunlar fark vektörüne ve özellikle fark vektörününü oluşturan vektörlere bağlıdır. Böylece popülasyon boyutundaki ya da fark vektörleri oluşturmak için kullanılan vektör sayısındaki artış daha fazla alternatif mutasyon yönünü sağlamaktadır.

Mutasyon işleminde genellikle bir ya da iki tane fark vektörü kullanılır. Price'e göre iki tane fark vektörü kullanmak uygun mutasyon katsayısını bulmayı kolaylaştırır. Eğer bir tane fark vektörü kullanılacaksa bunun matematiksel ifadesi;

$$X_i^{(G)} = X_a^{(G)} + F(X_b^{(G)} - X_c^{(G)}) \quad (4.2)$$

$$i = 1 \dots NP$$

Burada $X_i^{(G)}$ mutant vektörü, $X_a^{(G)}$ baz vektör, G nesil numarası ve F mutasyon katsayısıdır. $X_b^{(G)}$ ve $X_c^{(G)}$ fark vektörünün oluşturmak için kullanılan rastgele seçilmiş vektörlerdir.

Mutasyon işleminde DGA birçok farklı strateji sunmaktadır ve bunun ifade şekli /x/y/z'dir. Burada x mutant vektörü oluşturmak için kullanılan baz vektörü, y mutasyon işleminde kullanılan fark vektörünün sayısını ve z de çaprazlama işleminde kullanılan çaprazlama şemasını ifade eder. X ile ifade edilen baz vektörü seçerken kullanılan yöntemler "rand, best, rand to best, current ve current to best and current to rand" olarak kullanılmaktadır.

Rand işlemi ile baz vektörünün seçimi rastgele olarak yapılmaktadır. Böylece her kromozomun eşit oranda seçilme oranı mevcuttur. Bu yöntemdeki problem sadece rastgele seçişe dayandığı için aynı kromozomun birden fazla seçilme ihtimali vardır. Bu durumda en iyi seçim yaklaşımı, kromozomun çoklu seçildiği evrensel stokastik örneklemedir. Kromozomun seçildiğini gösteren permutasyon seçiminde her bir

kromozom seçildiğinde sırası karıştırılır ve böylece baz vektör yeni sıraya göre seçilmiş olur [40]. Bir diğer yöntem olan best'te en iyi kromozom baz vektör olarak mutasyonda kullanılabilir. Böylece yakınsama oranı artmış olmakla birlikte erken yakınsama durumuna da olanak sağlayabilir. Rand to best yöntemi ise daha önce açıklanan rand ve best işlemlerinin kombinasyonu olup ne popülasyon kromozomların rastgele seçimi ne de en iyi kromozomdur. Current yönteminde ise durum daha farklı olup eğer baz vektör ile hedef vektör aynı ise arama izole olur. Yani, her kromozom genetik değişime uğramadan kendi sahip olduğu özellikleri icra eder. Bu durum eğer amaç fonksiyonunun çoklu global optimaya sahip olduğu biliniyorsa avantaj sağlayabilmektedir. Böylece birçok optimum nokta bulma olasılığı artmış olur kromozomlar bağımsız olarak optimum için arama yaptığında. "Current to best" ve "current to rand" yönteminde baz vektör rand to best yönteminde açıklandığı gibi iki kromozom arasında yer almaktadır. "Current to best" olan kısımda baz vektör hedef ile en iyi kromozom arasında yer alırken, current to rand olan kısımda baz vektör rastgele ile hedef vektörün kombinasyonu olarak ortaya çıkmaktadır.

Mutasyon işleminde birçok yöntem olmasına rağmen literatürde en çok tercih edilen 4 yöntem mevcut olup bunların matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$\text{DE/rand/1/bin} : V_{i,g} = X_{r0,g} + F(X_{r1,g} - X_{r2,g}) \quad (4.3)$$

$$\text{DE/best/1/bin} : V_{i,g} = X_{best,g} + F(X_{r1,g} - X_{r2,g}) \quad (4.4)$$

$$\text{DE/best/2/bin} : V_{i,g} = X_{best,g} + F(X_{r1,g} - X_{r2,g} + X_{r3,g} - X_{r4,g}) \quad (4.5)$$

$$V_{i,g} = X_{i,g} + F(X_{best,g} - X_{i,g}) + F(X_{r1,g} - X_{r2,g}) \quad (4.6)$$

DE/current-to-best/1/bin

Bu denklemlerde $V_{i,g}$ mutasyon sonucu oluşturulan mutant vektörü olup $X_i^{(G)}$ ile aynıdır. $X_{best,g}$ popülasyondaki en iyi kromozomu ve $X_{r0,g}$ rastgele seçilmiş kromozomu ifade eder.

4.1.3. Çaprazlama

Mutasyon işleminden sonra DGA'da çaprazlama işlemi yapılır. Bu işlemde mutasyon sonucu elde edilen mutant vektörü ile hedef vektörün kombinasyonu sonucu deneme vektörü oluşturulur. Bu işlem sırasında üç farklı çaprazlama metodundan birisi ile çaprazlama katsayısı kullanılır. Kullanılan katsayı ve metodun oluşturulan deneme vektörünün ne kadar mutant ve hedef vektörüne yakın olacağı üzerinde etkisi mevcuttur. Eğer deneme vektörü mutant vektörüne yakınsa daha büyük adım boyutu uygulanır ve algoritma daha hızlı çalışır. Çaprazlamada kullanılan metotlar iki terimli (Binomial), üstel (exponential), aritmetiktir [41].

İkili çaprazlama metodunda deneme vektörünü oluşturan vektörler çaprazlama oranı ile mutant vektöründen ve hedef vektörden seçilir. Her bir vektörün seçimi birbirinden bağımsızdır. Bundaki amaç deneme vektörünün hedef vektörün tekrarı olmasını engellemek ve deneme vektörünü oluşturan vektörlerden birinin mutant vektöründen olmasına zorlamaktır. Bu şartlar altında yapılan çaprazlama metodunun ifadesi;

$$X_i^{(G)} = \begin{cases} X_i^{(G)} & \text{if } rand_j(0,1) \leq C_r \text{ or } j = jrnbr(i) \\ X_i^{(G)} & \text{if } rand_j(0,1) > C_r \text{ or } j \neq jrnbr(i) \end{cases} \quad (4.7)$$

Burada $X_i^{(G)}$ deneme vektörü olup $rand_j$ üniform dağılıma göre 0 ile 1 arasında değişir. $rnbr(i)$ 1 ile D arasında değişir. Böylece mutant vektöründen alınan parametrenin olasılığı (p_m) çaprazlama oranına eşit olmadığı için vektörlerden birisi mutant vektöründen alınmaya zorlanmış olur. Buradaki olasılık popülasyonun boyutuna bağlıdır. Olasılık ifadesi;

$$p_m = CR \left(1 - \frac{1}{D}\right) + \frac{1}{D} \quad (4.8)$$

Mutant vektöründen alınabileceği beklenen parametre sayısı olasılık oranı ile popülasyondaki kromozom sayısının çarpına eşittir [41]. Bunun ifadesi;

$$E(L) = NP * p_m \quad (4.9)$$

Üstel metotta ise çaprazlama bir ya da iki noktadaki çaprazlama operatörüne benzer ve bu genetik algorithmada kullanılan çaprazlama ile aynıdır. Bir noktadaki çaprazlama iki yeni yavru üretmeye hazır olan kromozom segmentlerinin ilerisinde ki rastgele bir nokta seçilmesi ve bu kromozamların birbirine yakın olması durumunda aynı yavrunun ortaya çıkmasıyla sonuçlanmaktadır. Eğer kromozomlar birbirinden uzak ise bu durumda iki farklı nokta seçilmesi ile çaprazlama gerçekleşir. Böylece vektörlerden birisi mutant vektöründen diğeri de hedef vektöründen alınmaya zorlanmış olur [38]. Üstel çaprazlamanın ifadesi;

$$X_i''^{(G)} = \begin{cases} X_i'^{(G)} & \text{if } j = (n)_D, (n+1)_D \dots (n+L-1)_D \\ X_i^{(G)} & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.10)$$

Burada n 1 ile D arasındaki rastgele tamsayı, $(n)_D$ ifadesi n/D bölümünün kalanıdır.

Aritmetik çaprazlama ise hedef vektör ve mutant vektörün aritmetik olarak kombinasyonu sonucu olmaktadır ve Denklem 4.11 ile ifade edilmektedir.

$$X_i''^{(G)} = (1 - q)X_i^{(G)} + qX_i'^{(G)} \quad (4.11)$$

Burada q değeri mutant vektör ile hedef vektörü arasındaki dengeyi düzenleyen ağırlık katsayısıdır. Bu çaprazlama yöntemi hem DGA hem de GA da aynı şekilde kullanılmaktadır.

Üç farklı çaprazlama metodu yukarıda açıklanmış olup bunlara göre nasıl yeni jenerasyonun oluşturulacağına değinilmiştir. Yapılan çalışmalarda ikili sayı ve üstel metotlarının daha fazla kullanıldığı görülmektedir.

4.1.4. Seçim

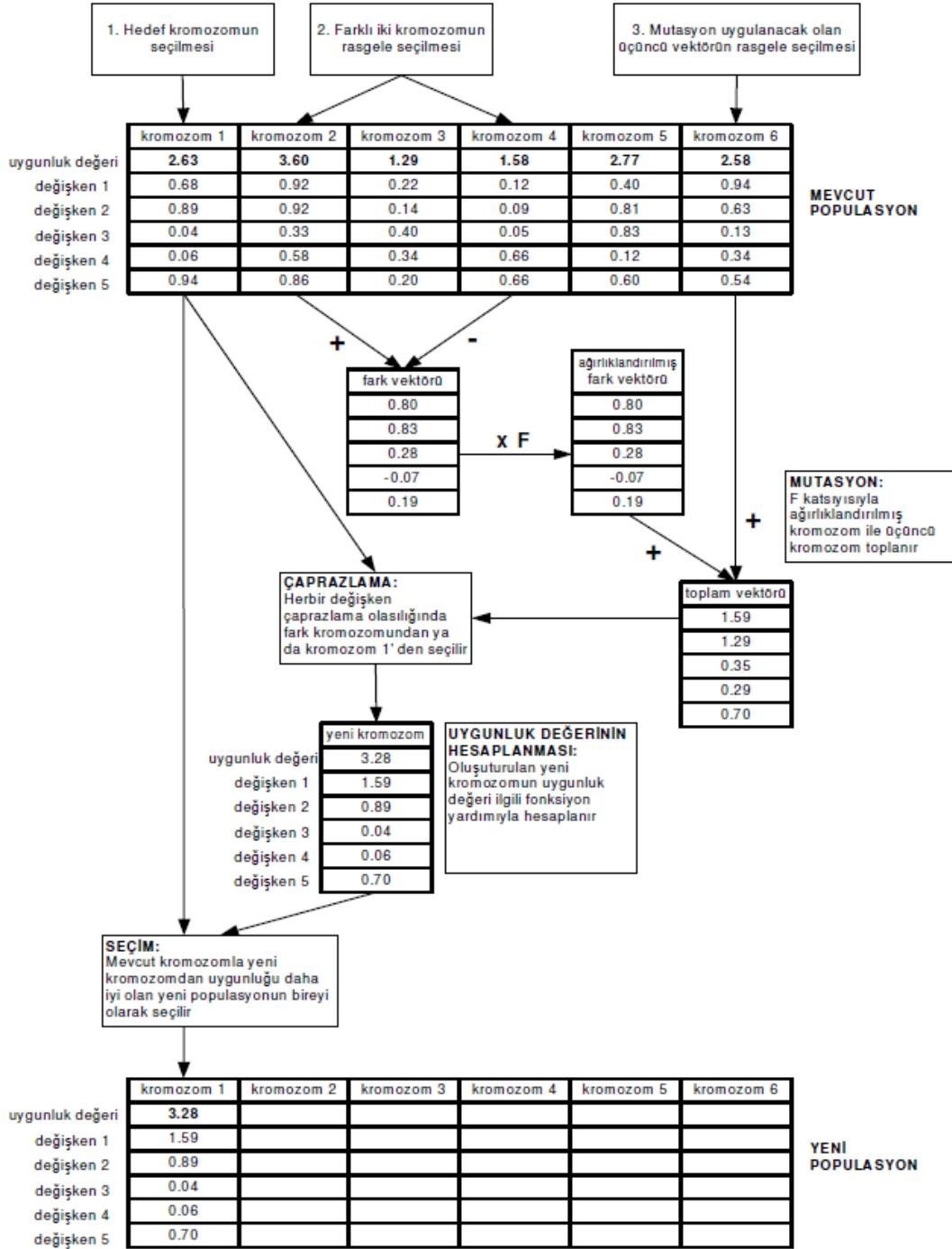
DGA'nın son işlemi olan seçim operatöründe yeni jenerasyonun oluşturulması gerçekleşir. DGA'da bu olay iki adaylı bir turnuva olarak da adlandırılabilir. Uygunluk fonksiyonunu minimize edecek şekilde deneme vektörü ile hedef vektörü arasında en iyi seçimi yaparak yeni jenerasyonu oluşturmaktır. Eğer deneme vektörü daha iyi bir değere sahip ise yeni jenerasyona aktarılır, bunun tersi bir durum söz konusu olduğunda mevcut jenerasyon işlevini sürdürmeye devam eder. Bunun ifadesi;

$$X_i^{(G+1)} = \begin{cases} X_i''^{(G)} & \text{if } f(X_i''^{(G)}) \leq f(X_i^{(G)}), i = 1 \dots Np \\ X_i^{(G)} & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.12)$$

DGA'da bütün işlemlerin gerçekleşmesi belirlenen iterasyon içerisinde tekrar etmektedir. Bu algoritmanın basit olmasını sağlayan unsurlardan başında çok az parametre ile kontrol edilebiliyor olması gelmektedir. Bu yüzden bu parametrelerin doğru şekilde tanımlanması ve optimum değerlerinin bilinmesi önemlidir. Bu değerlerin probleme göre değişim göstermesi ve farklı değerler alması muhtemel olup belli bir sınır içerisinde değişkenlik göstermesi optimumluğu sağlayan unsurdur. Böylece yapılan çalışmalar ışığında literatürde kabul görmüş parametrelerin optimum çalışma aralıkları bulunmaktadır.

Mallipeddi ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma sonucunda DGA'nın parametreleri olan NP, CR ve F için optimum aralık ortaya koymuşlardır. Popülasyon boyutu için 4D ile 10D arasında, çaprazlama oranı için 0,9 ile 1 arasında ve mutasyon katsayısı için 0,4 ile 0,95 arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir [42].

DGA'nın yukarıda anlatılan operatörlerinin daha iyi anlaşılması için sayısal bir örnek ile bu algoritmanın akış diyagramının gösterimi yapılmıştır. Bu diyagramın basit ve anlaşılabilir olması için 5 farklı değişkenin toplamını içeren bir fonksiyon kullanılmış ve bunların değerleri her bir kromozomu oluşturup algoritmanın operatörlerinin bu fonksiyon üzerinde uygulanmasının gösterimi yapılmıştır. Bu diyagram Şekil 4.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.2. DGA Diyagramı [43]

Yeni popülasyonda üretilen çözümlerin kalitesi amaç fonksiyonuna ürettikleri uygunluk değeriyle ölçülmektedir.

4.2. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAKA) sezgisel optimizasyonlardan birisi olan sürü zekâsı temelli bir algoritmadır. Bu algoritmada da amaç sezgisel optimizasyonda olduğu gibi optimum noktaya yakınsamayı yapabilmektir. Bu yakınsamanın yapılabilmesinde yola çıkılan nokta sürü zekâsına sahip olarak yaşayan arı, karınca, balık gibi sosyal bir topluluk üyesi olan canlıların doğa içerisindeki davranışlarının örnek alınmasıdır. Sürü zekâsındaki her bir bireyin birbirinden bağımsız olarak sadece aralarındaki kurallara göre organize olabilme özelliği bu yaklaşımın ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

YAKA bal arılarının kendine özgü davranışlarının incelenmesi ve yiyecek bulmadaki arama ve bilgi paylaşımı ile işlerini kendi aralarında dinamik olarak dağıtabilmesi sonucu çevresel değişimlere yönelik uygun çözümler üretebilmesinin optimizasyon problemleri için uygulanmaya çalışılması sonucu ortaya çıkmıştır. Özellikle arıların iş bölümü yapabilme, kendi içlerinde organize olarak bilgi paylaşımları sonucu işlevlerini yerine getirmeleriyle sistemi etkileyip eş zamanlı işlerin gerçekleşmesini sağlamaları, sezgisel kavrama gibi özellikleri bunu algoritmayı avantajlı yapmaktadır.

4.2.1. Arıların Doğası

Bal arıları merkezi bir yönetim olmadan, kendilerinin içgüdüsel olarak görev paylaşımını aralarındaki düzene göre yaparak koloni halinde yaşayan canlılardır. Koloni içerisindeki her arının misyonu birbirinden farklı olup bunlar belirlidir. Böylece eş zamanlı olarak denge içinde yapılması gereken yiyecek arama, getirilme, depolanma, kovan inşa, temizlik ve koruma gibi işlerin yapılması düzen dahilinde olmaktadır. Bir kovan içerisinde bulunan arılar kendi içinde yaptıkları göreve göre 3 sınıfa ayrılırlar ve her sınıftaki arı kendi görevleri dışına çıkmazlar. Arılarda diğer canlılar gibi erkek ve dişi olarak cinsiyetine göre sınıflandırılmakta olup görevlerine göre kraliçe, erkek ve dişi olarak ayrılmaktadır [44].

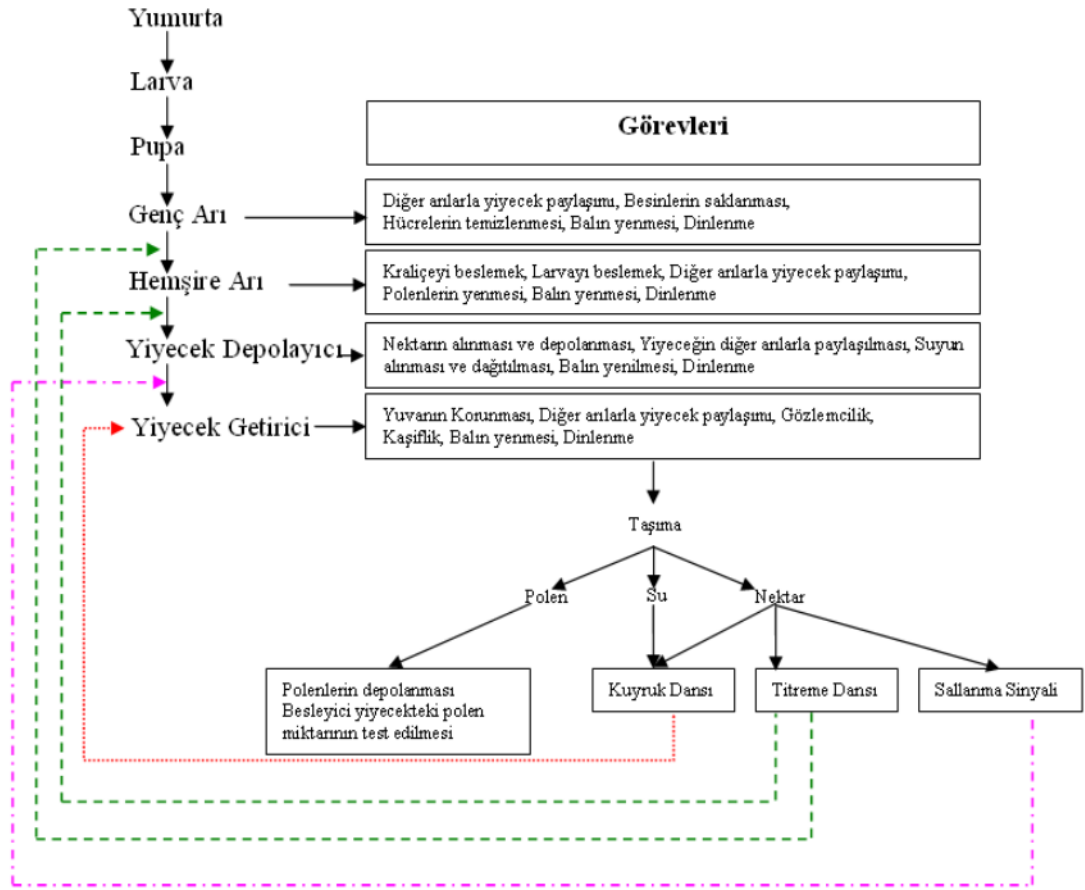
Kraliçe Arı: Kraliçe arının temel misyonu kovan içerisinde popülasyonun devamlılığın ve bütünlüğünün sağlanmasıdır. Her kovan içerisinde bir tane kraliçe arı olup diğer dişi arılara göre daha gelişmiştir. Sadece kraliçe arının üreme yetisi

olup onun dışındaki dişi arıların erkeklerle çiftleşmesi mümkün değildir. Kraliçe arının üreme dışında, kovadaki sistemin işleyişini sağlayan kimyasal maddelerin salgılanmasında da misyonu vardır. Böylece salgıladığı bu madde diğer arılar tarafından da algılanıp bu koku etrafında toplanan kovadaki tüm arıların bütünlüğü sağlanmış olur. Bu sayede her kovan bir arı ailesini temsil eder ve diğer kraliçe arı ile kolonileri algılanabilir. Kraliçe arı gelişimini tamamladıktan sonra çiftleşme uçuşunu gerçekleştirir ve spermalarının kraliçenin kesesinde toplanması sonucu üreme fonksiyonu yerine getirilmiş olur.

Erkek Arılar: Erkek arılar dişi arılardan iri olup bunların iğne ve besin toplama organları mevcut değildir. Bu arıların misyonu kraliçe arı ile çiftleşip yumurtlama misyonunun yerine getirilmesini sağlamaktır. Erkek arılar döllenmemiş yumurtalardan meydana gelip 6 ay kadar yaşam ömürleri mevcuttur. Kraliçe arının döllenmesi sonucu misyonunu tamamlayan erkek arılar ölmektedir.

İşçi Arılar: Kovadaki arıların büyük çoğunluğunu oluşturan ve kendi aralarında iş paylaşımı yaparak sistemin devamlılığı sağlayan arılardır. İşçi arılar döllenmiş yumurtalardan meydana gelen ve üreme yetisi mevcut olmayan dişi arılardır. Kovan içindeki ve dışındaki birçok işin yapılması işçi arıların sorumluluğundadır.

Bir arı kolonisinde düzenin devamlılığı, yapılması gereken işlere göre yeterli sayıda arının mevcudiyetine bağlıdır. Arıların görev paylaşımları kraliçe arının yumurta olarak bırakmasıyla başlar. Yumurtanın zaman içinde gelişimi larva ve pupa evresiyle devam eder. Bu gelişim süresinde beslenme arının görevini etkilemektedir ve hemşire arılar tarafından verilen arı sütünün süresine bağlı olarak arının misyonu belirlenir. Diğer bir deyişle döllenmiş yumurtalardan sadece dişi arılar oluştuğu için verilen arı sütünün zamanına göre kraliçe arı ya da işçi arı olma durumu belirlenir. Beslenme sonucu ortaya çıkan genç arılar kovan içinde hemşire arılarla birlikte beslenme, bal polen elde edilmesi gibi görevleri ifşa eder. Arıların görev paylaşımının şematik gösterimi Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Arı Görev Dağılımı [44]

4.2.2. Arıların Yiyecek Arama Davranışı

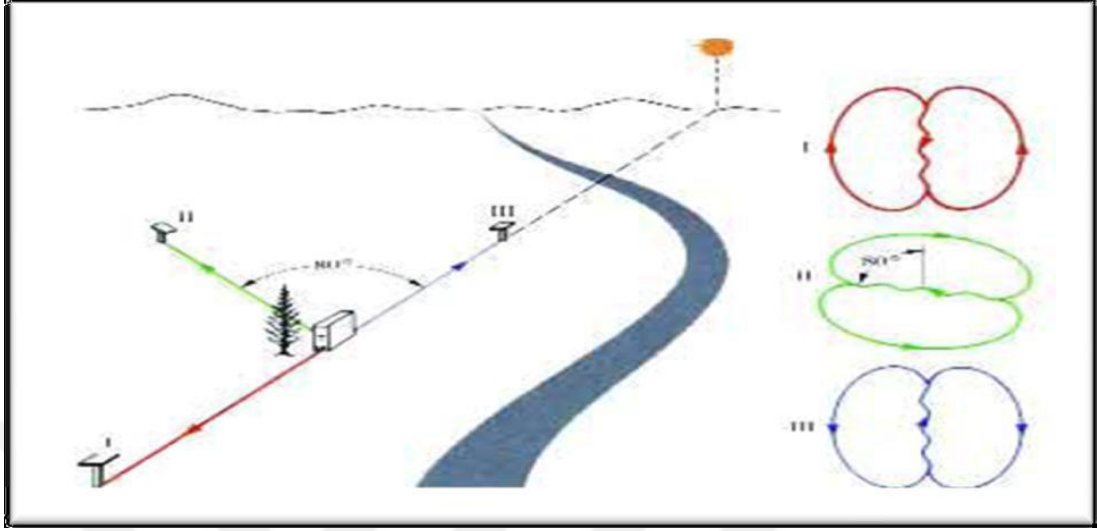
Arıların polen, nektar ve su gibi koloninin devamlığını sağlayacak temel gereksinim kaynakları aramak ve bunları kovanlara getirmek temel faaliyetleridir. Bu faaliyetler arının kovandan ayrılıp rastgele araştırmaya başlamasıyla ortaya çıkar. Bu süreç bulunan kaynaktaki yiyecek miktarının azalması sonucu arıların yeni kaynakları rastgele araması ya da diğer arılar ile etkileşimleri sonucu aldıkları bilgilere göre zengin kaynaklara yönlennmeleriyle devam eder.

2000 yılında Tereshko tarafından reaktif difüzyon denklemine göre önerdiği yiyecek arama modelinde 3 temel bileşenden bahsetmektedir. Bunlar yiyecek kaynakları, görevli ve görevsiz işçi arılardır [45].

Yiyecek kaynağının değeri, çeşidi, yuvaya olan mesafesi, nektarın kalitesi ve miktarı, çıkarılma kolaylığı gibi birçok etken bakımından önem arz eden bir faktördür. İşçi arıların keşfedilen kaynaktan kovana yiyecekleri getirmesi ve ziyaret ettikleri kaynakların yer ve kalitesi hakkındaki bilgileri diğer arılara iletmek olarak görevleri bulunmaktadır. Bu açıdan bu görevleri yerine getiren arılara görevli işçi arılar denmektedir. Diğer bir önemli bileşen olan görevsiz arılar ise nektarını toplayacakları yiyecek arayışı içinde olan gruptur. Bu arılar kendi içinde iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi içsel bir dürtüye ya da dışsal bir etmene bağlı olarak rastgele şekilde kaynak arayışında olan kâşif arılardır. İkincisi ise kovanda bekleyip diğer arılarla iletişim içinde olan ve görevli arıların verdiği bilgileri takip ederek kaynağa yönelen gözcü arılardır [46].

Arı kolonisinde görevli arılar tarafından kaynaklar hakkındaki bilginin diğer arılara iletilmesi önemli bir husustur. Bu noktada bir kovan kendi içerisinde parçalara ayrılır ve dans alanı olarak bilinen parça bilgi iletişiminin gerçekleştiği önemli yerdir. İşçi arıların getirdikleri polen ve nektarı boşalttıktan sonra kovanın içinde dans alanına gelir. Bu bölgenin arıların yoğunluk olarak fazla olduğu kısım olduğundan bilgi aktarımı için izleyici bulma şansları en yüksek olan yerdir. Böylece bulunan kaliteli kaynakların yapılan dans ile bilgisi aktarılması sonucu gözcü arılar da bu kaynaklara yönelmiş olacaktır. Arıların kör olmasından dolayı dans sırasında birbirlerine antenleri ile dokunarak kaynağın tadı, kokusu, yön ve uzaklığı gibi bilgileri alırlar. Arıların yaptığı dansın çeşitliği taşınan bilgiye göre değişmektedir. En önemli unsur nektarın tatlılığıdır. Uzaklık, nektarın çıkarılma kolaylığı, kıvam, hava koşulları ve vb. etkenler dansın cinsini etkileyen unsurlardandır. 3 farklı dans türü mevcut olup bunlar dairesel, kuyruk ve titreme danslarıdır. Dairesel ve kuyruk dansları görevli olmayan arıların kaynağa yönelmesinde etkilidir. Daire dansı kovana yakın kaynakların bilgisinin verilmesinde kullanılır ve bu yakınlık 50 ile 100 metre arasında olduğu için yön ve uzaklık bilgisi aktarılmaz. 100 metre ile 10 km arasındaki değişen uzaklıklardaki kaynakların bilgisi kuyruk dansı kullanılır ve dans 8 rakamına benzeyen figürleri içerir. Bu dans ile görevsiz arılara verilen temel bilgi kaynağın yönü ve uzaklığıdır. Burada dikkat çeken kısım arıların güneşten faydalanarak kaynakların yön bilgisini tayin edebilmesi önemli detayı oluşturmaktadır. Böylece doğru bir şekilde kaynağın yönü belirtilmiş olur. Ayrıca enerji tüketimlerine göre de mesafe tayini yapabilmekte olup taşıdıkları yiyeceğin ağırlığına

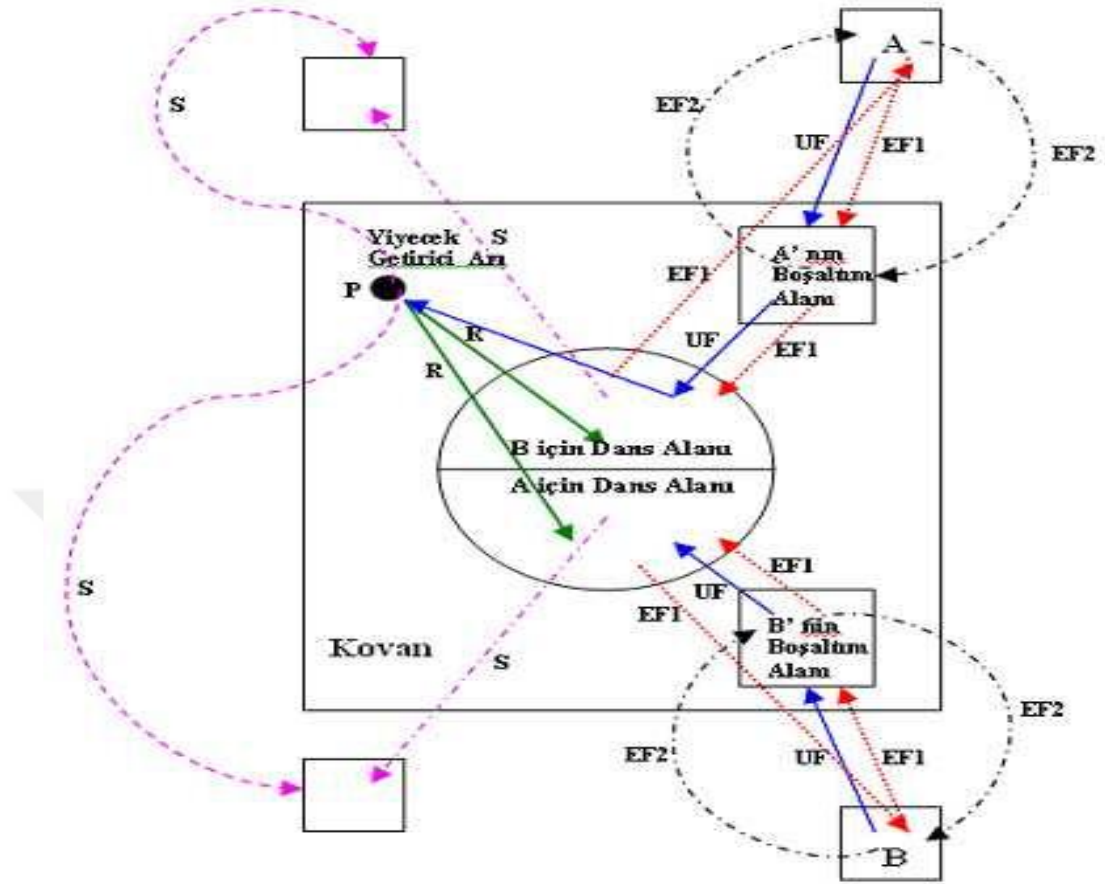
göre farklı yüksekliklerde uçarak enerji tüketim dengesini de sağlamış olurlar. Yön tayininin şekilsel gösterimi belirtilmiştir.



Şekil 4.4. Yön Tayin ve Gösterimi [47]

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi arıların dans yönü ve şekli yiyecek kaynağının yönü hakkında detaylı bilgiyi verebilmektedir. Bu dansın tekrarlanma sayısı kaynağın uzaklığı hakkında bilgi vermektedir. Bu tekrar 15 saniyede bir olarak yapılmaktadır ve kaynağın uzaklığı ile tekrar sayısı arasında ters bir ilişki vardır. Daha az tekrarlanma sayısı daha uzak mesafedeki kaynakları ifade etmektedir. Titreme dansı ise diğer danslara göre farklı bir amaç ve şekilde yapılmaktadır. Bu dans arıların petek üzerinde düzensiz olarak ayaklarını titretip farklı yönlerde hareket ettirmesiyle yapılır. Bu dansın misyon, kovan kapasitesi ile yiyecek getirme arasındaki dengeyi kurmaktır. Bu durum zengin bir kaynak bulunduğu anda arının kapasitenin üstünde nektar getirmesi sonucu nektarı işleme görevine geçmek istediğini iletmesinde meydana gelir [46].

Görevli arıların yükünü getirip bıraktıktan sonra dans alanında bilgi paylaşmıyor olması ise mevcut kaynağın verimsiz olduğunu göstermektedir ve diğer arıları bu bölgeye yönlendirmemektedir. Danslar yiyecek kaynaklarının yerinin bildirilmesi kadar gerek olduğunda da su ihtiyacının da karşılanması için kullanılabilir [47]. Arıların kaynak arama davranışının daha net anlaşılabilmesi için şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Yiyecek Arama Davranışı [46]

Şekil 4.5’de A ve B keşfedilmiş kaynakları ifade etmekte ve görevi belirsiz işçi arılar tarafından yeni kaynak arayışları devam etmektedir. Görevi belirsiz arı iki durum içerisinde olabilir. Birincisi bu arı kâşif arı olabilmektedir ve içgüdüsel ya da dış etkenlere bağlı olarak yiyecek arama faaliyetini gösterebilmektedir. Şekil üzerinde s ile gösterilen hareket kâşif arılarının davranışdır. İkinci durumda ise R ile gösterilen gözcü arıların hareketidir. Görevli arıların yiyecek getirmesinden sonra danslar ile bilgi paylaşmasını izleyen gözcü arıların kaynağa yönelimini ifade etmektedir.

Kaynaktan yiyecek toplayan bir işçi arının kovana geldikten sonra 3 farklı seçeneği mevcuttur. Birincisinde işçi arı kaynağın verimsiz olduğunu düşünerek kaynağı terk edebilir ve görevsiz işçi olabilir. Bu durum şekilde UF ile ifade edilmiştir. İkinci durumda kaynağın bilgisini diğer gözcü arılarla dans vasıtasıyla paylaşabilir ve bu arıları

da kaynağa yönlendirebilir. Böylece kaynağın daha fazla kullanılması sağlanmış olur. Şekilde EF 1 ile gösterilen durumdur. Son seçenekte ise kaynak bilgisini diğer arılarla paylaşmayı kendisi tekrar bu kaynağa dönebilir. EF 2 ile ifade edilen durumdur.

Arıların yiyecek aramadaki temel nokta kendi kendilerini organize edebilmelerine dayandığı için bu organize olabilme durumu bazı özelliklere dayanmaktadır. Bu özellikler 4'e ayrılır. Pozitif geri beslemede kaynağın nektar miktarı önemli bir etkidir. Bu miktarın artışı ile kaynağa yönelen arı sayısında doğru orantı vardır. Negatif geri besleme durumunda ise tam tersi bir durum söz konusu olup, nektar miktarı tükenen kaynakta terk edilme durumu söz konusudur. Arıların salınım yapabilme özelliği ile kâşif arılar arama yapabilmek için rastgele olarak gezebilmektedir. En son özellik ise çoklu etkileşim olayıdır. Böylece arılar hafızalarını aldıkları bilgileri diğer arılar ile paylaşabilmektedir [46].

4.2.3. Yapay Arı Koloni Algoritması

2005 yılında Karaboğa'nın arılara özgü yiyecek arama özelliklerini modellemesi sonucu yapay arı koloni algoritmasını ortaya koymuştur. Karaboğa algoritmasının geliştirilmesinde daha basit olmasını sağlamak için bazı kabuller yapmıştır. Çözüm uzayında bulunan her bir kaynağın tek arı tarafından yapılıyor olduğunu ve de popülasyonda bulunan işçi arısı kadar gözcü arılarında olduğunu kabullerinde belirtmiştir [46]. Böylece her bir kaynak problemin çözümünü ve kaynakta bulunan yiyecek miktarı da çözümün uygunluğunu ifade etmektedir. Bu sayede amaç fonksiyonunda belirtilen problem için en az ya da en fazla değeri veren nokta en fazla nektarın olduğu kaynaktır. Algoritmanın da çalışma mantığı arıların doğada yiyecek aramasına uygun şekilde olmaktadır. Algoritmanın başlangıcında kâşif arılar tarafından yiyecek kaynağı araştırılır ve sonrasında bu kaynaktan nektar toplanmaya başlar. Böyle işçi arılara dönüşen kâşif arılar tarafından hem bulunan kaynak kullanılır hem de diğer gözcü arılara kaynak bilgisi paylaşılır. Gözcü arılarında zengin kaynaklara yönelmesiyle çözüm noktasına yakınsama meydana gelirken tükenen kaynaklardaki işçi arıların kâşif arıya dönüşmesiyle de yeni çözüm noktaları araştırılır. Bu durum bir döngü süresinde optimum nokta bulununcaya kadar devam eder.

Algoritmanın düzgün bir şekilde çalışabilmesi başlangıç kaynağının doğru şekilde oluşturulmasıyla mümkündür. Bu açıdan tüm arama uzayını içeren şekilde çözümlere karşılık gelen kaynakların rastgele olarak belirlenmesi temel husustur. Her bir çözüm noktası aranan parametrenin değerine karşılık geldiği için YAKA'da başlangıç kaynakları her parametrenin alt ve üst sınırları içerisinde rastgele olarak oluşturulur. Bu kaynak oluşturmanın matematiksel ifadesi;

$${}^0x_j = \min x_j + rand(0,1)(\max x_j - \min x_j) \quad (4.13)$$

Verilen denklemde 0x_j üretilen kaynağı ifade ederken $i = 1, \dots, SN$ ve $j = 1, \dots, D$ arasında değişir. SN algoritmanın belirlenen kaynak sayısını ve D değişken sayısını ifade etmektedir. $\max x_j$ ve $\min x_j$ parametrelerin alt ve üst sınırlarını ifade etmektedir. Algoritmanın başlangıcı kadar durması da önemlidir. Bu açıdan algoritmanın durdurma kriteri maksimum iterasyon sayısı ya da bir hata değeri olarak belirlenmektedir. Yiyecek kaynakların yerinin belirlenmesinden sonra algoritmanın devam etmesi arıların bu kaynaklara gönderilmesiyle olmaktadır.

Belirlenen kaynak sayısı kadar işçi arısı sayısı olması bu algoritmanın kabullerinden birisidir. Rastgele oluşturulan ilk kaynaklara gönderilen arıların çalıştığı kaynağın komşuluğunda yeni kaynak arayışları vardır. Böylece komşuluktaki kaynakları değerlendirir bu kaynak iyi ise bunu hafızasına alır. Bu komşuluk durumuna göre kaynak araştırmasının benzetim ifadesi;

$$v_{ij} = x_{ij} + \Phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (4.14)$$

Burada x_{ij} mevcut yiyecek kaynağı, v_{ij} mevcut kaynağın komşuluğunda aranan yeni kaynak olup, $\Phi_{ij} [-1 \ 1]$ arasında rastgele değişen bir sayıdır. $i = 1, \dots, SN$ ve $j = 1, \dots, D$ arasında değişir. x_{kj} rastgele seçilen komşu çözümünü ifade etmektedir. Bu eşitlikte görüldüğü gibi x_{ij} ve x_{kj} arasındaki farkın azalması bulunun komşuluktaki yeni kaynağın birbirine yakın olmasını sağlamakta ve böylece optimum çözüme gidecektir. Bu komşuluk çözümünde komşuluk kaynağını ifade eden v_{ij} için sınırlar mevcut olup

bu sınırların ihlal edilmesi durumunda tekrar bu sınırlara ötelenmektedir. Bu sınır durumların ifadesi;

$$v_{ij} = \begin{cases} x_j^{min} , & v_{ij} < x_j^{min} \\ v_{ij} , & x_j^{min} \leq v_{ij} \leq x_j^{max} \\ x_j^{max} , & v_{ij} > x_j^{max} \end{cases} \quad (4.15)$$

Denklem 4.15’de verilen sınırlar dâhilinde yeni kaynakların bulunması sonucunda, yeni kaynakların kalitesinin hesaplanması söz konusudur. Bunun için uygunluk fonksiyonu dahilinde bu kalite bulunup her kaynağa uygunluk değeri atanmaktadır. Bu uygunluk fonksiyonun ifadesi;

$$fitness_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i) & , f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & , f_i < 0 \end{cases} \quad (4.16)$$

Buradaki f_i değeri komşuluk kaynağı olan v_{ij} ’in maliyet değeridir. Mevcut kaynak ile bulunan yeni kaynak arasındaki seçimde kaynakların uygunluk değerine göre açgözlü seçim işlemi yapılarak gerçekleştirilir. Eğer bulunan yeni kaynak mevcut kaynaktan daha fazla nektara sahipse bu kaynak eskisinin yerine hafızaya alınır. Aksi durum olduğunda mevcut kaynak kullanılmaya devam eder.

İşçi arılar mevcut kaynağı kullanarak topladıkları nektarları kovana getirmesinden sonra, kaynak bilgisini diğer gözcü arılarla aktarmaktadırlar. Burada işçi arıların verdiği bilgilere göre gözcü arının seçeceği kaynak verilen bilgiler içerisinde en yüksek uygunluk değerine yani nektar miktarına sahip olan kaynak olacaktır. Bu durum arı algoritmasında çoklu etkileşim sonucu seçim yapıldığını göstermektedir. Olasılıksal olarak seçim işlemi uygunluk değerine göre yapıldığı için bunun seçim yöntemleri kendi içerisinde rulet tekerleği, stokastik örnekleme, turnuva vb şekilde olmaktadır. YAKA’nın kullandığı seçim işlemi rulet tekerleğine göre olup, tekerlek içerisindeki her bir bölgenin paylaşımı uygunluk değerine orantılı olarak olmaktadır. Diğer bir deyişle, her bir kaynağın uygunluk değerinin diğer kaynakların toplam uygunluk değerine göre oranına bakılarak seçilme olasılığı belirlenmektedir. Her bir kaynağın uygunluk fonksiyonun ifadesi;

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{j=1}^{SN} fitness_j} \quad (4.17)$$

Buradaki $fitness_i$ i. kaynağın uygunluk değerini, p_i bu kaynağın seçilme olasılığını göstermektedir. Denklem 4.1'den de anlaşılacağı gibi bir kaynağın uygunluk değerinin artması durumunda bu kaynağa olan talepte artacak, böylece bu kaynağa yönelen gözcü arı sayısı da artış gösterecektir.

Arıların mevcut kaynakları kullanmaları ve kaynak arama faaliyetlerine devam etmeleri süreçlerini belirtilen uygunluk değeri ve kaynak arama ifadelerine göre yerine getirip bu işlemleri tamamladıktan sonra YAKA'da olan çözüm geliştirememeye kontrol edilir. Böylece arıların kullandığı kaynağın nektarının bitmesi durumunda çözüm geliştirememeye sayacının belli bir değerin üzerinde olarak bu kaynağın terk edilmesi gerektiğini ifade eder. Bu durumda görevli işçi arılar bu kaynağı terk ederek kâşif arı olarak yeni kaynaklar aramaya başlarlar.

YAKA çalışma esnasında 4 temel seçim işlemine bağlı olarak işlevini sürdürmektedir. Bir kaynağın uygunluk değerine göre seçilme olasılığını ortaya koyan ve denklem 4.17 ile verilen küresel seçim işlemi optimum noktaya çözümü yaklaştıran bir seçim kriteridir. Bölgesel olasılık seçim işlemi olarak denklem 4.14 ile verilmiş olan ifade kaynağın araştırılarak türünü belirlemeye ve kaynağa karar verilmeye olanak sağlayan seçim durumudur. Mevcut ile yeni bulunan kaynaklar arasında karar vermeye sağlayan aç gözlü seçim işlemi bir diğer algoritmanın önemli çalışma kriterlerinden birisidir. Son olarak denklem 4.13 ile verilen ve algoritmanın rastgele kaynaklarını seçmesine ve başlangıcına olanak sağlayan seçim işlemidir. Bu 4 temel seçim işlemine göre bunların bir arada çalışması sonucu YAKA arama uzayında hem bölgesel hem de küresel olarak arama yapması sayesinde etkin bir şekilde çözüme ulaşabilmektedir. Bu sayede esnek, birçok probleme nümerik ve ayırık gibi uyarlanabilir, olmasını sağlamaktadır. Az parametre ile kontrol edilmesi ve sürü zekâsının davranışını optimizasyonda en iyi şekilde simule edebilmesi bu algoritmanın önemli yanlarını ortaya koymaktadır.

5. METADOLOJİ

5.1. Corsim Simülasyon Programı

Bu tezde, sinyalize bir kavşaktaki gecikme değerinin diferansiyel gelişim algoritması ve yapay arı koloni algoritması yardımıyla hesaplanması için gecikmeyi etkileyen bağımsız değişkenlerin ve bu bağımsız değişkenlerin oluşturduğu farklı trafik durumları için gecikme değerlerinin elde edilmesi önemli bir husustur. Bu noktada gecikmenin en doğru şekilde elde edilmesinin arazi üzerinde ölçüm olarak yapılması olduğu bilinmesine rağmen bunun maliyetli olması, zaman gerektirmesi ve farklı trafik durumlarının simülasyon ortamında daha kolay oluşturulması ve bu esnada bazı Parametrelerin sabit tutulabilmesinden dolayı bu çalışmada CORSİM simülasyon programından yararlanılmıştır.

CORSİM; sinyal sistemleri, karayolu sistemleri, otopan sistemleri ve bunların kombinasyonu için mikroskobik bir trafik simülasyon paket programıdır. İki farklı mikroskobik simülasyon modelinden oluşan CORSİM kendi içerisinde NETSIM ve FREESIM olarak ikiye ayrılır. NETSIM şehir içindeki kentsel yolların trafik durumları ile ilişkili iken, FREESIM karayolu ve otopanlardaki trafik durumu ile ilgili analizler yapmaktadır. Mikroskobik simülasyonların araçların hareketlerini modellemesi sonucu geometrik durumların etkisi, sinyal kontrol durumları, sürücü davranışları gibi farklı etkilerin sonuçlarını ortaya koyabilmektedir. Böylece istenen şekilde kavşak ve yol geometrisi oluşturularak farklı trafik ve kontrol durumlarına göre gecikme, yakıt tüketimi, emisyon, vb gibi bir çok çıktı parametresi elde edilebilmeye olanak sağlamaktadır. Ayrıca CORSİM programının TRANSYT-7F ile kombinasyonu olması ile oluşturulan kavşağın optimizasyonu gerçekleştirilebilir. TRANSYT-7F bir makroskobik simülasyon modülü olup devre süresi, faz düzeni, trafik uyarmalı kontrol sistemlerinin çalıştırılması gibi optimizasyonları genetik algoritma kullanarak gerçekleştirebilmektedir.

CORSİM programı ile bu çalışmada için dört kollu sinyalize bir kavşak oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kavşak tek şeritli olup sabit zamanlı sinyalizasyon kullanılmıştır. Özellikle kavşağın tek şeritli olması seçilmiş ve böylece taşıtların kavşağa giriş ve

belirlenmiştir. Yeşil oranı için seçilen 0,35 ile 0,6 arasındaki değerler HCM’de verilmiş olan gecikme ile yeşiller arasındaki ilişkiden yola çıkılarak belirlenmiştir. Ayrıca her bir yolun serbest akış hızı 50 km/s olarak seçilmiş, kayıp zamanı 2 saniye ve ortalama taşıt boşalma aralıkları doyunluk akımının değerine göre 2 ile 2,4 arasında değişmektedir. Bu çalışmada doyunluk akımı olarak 1500 araç/saat, 1650 araç/saat ve 1800 araç/saat doyunluk akım değerleri kullanıldığı için ortalama kuyruk boşalma aralıkları 2,4 2,2 ve 2 olarak simülasyonda kullanılmıştır. HCM’de de tanımlandığı gibi doyunluk akımının ifadesi [15];

$$s = 3600/h_s \quad (5.1)$$

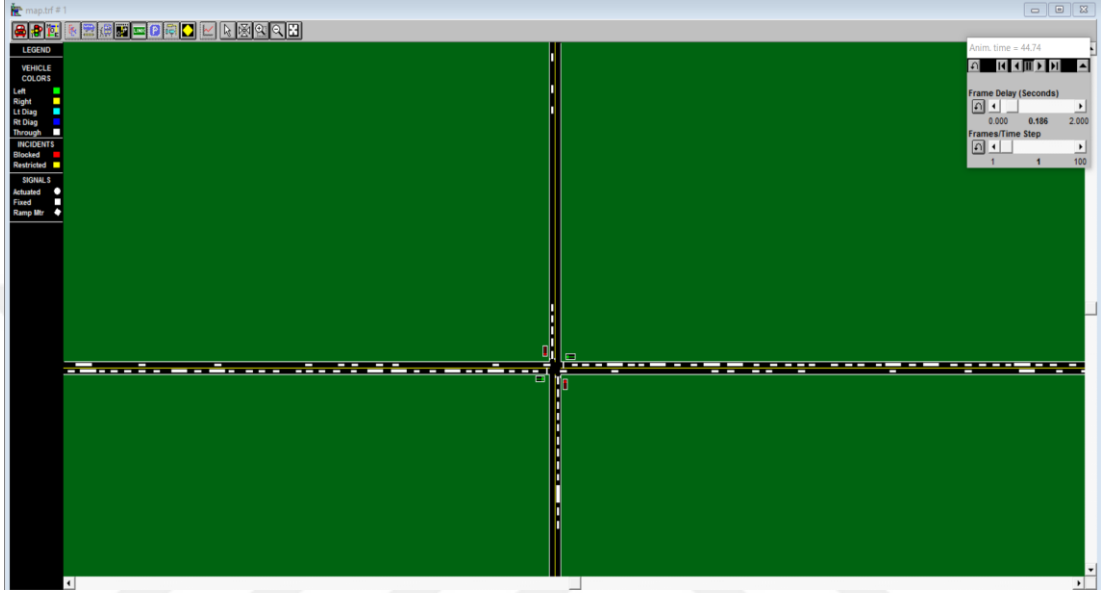
s = doyunluk akımı,

h_s = ortalama kuyruk boşalma aralığı

olmasından dolayı simülasyonda farklı doyunluk akımlarını elde etmek için belirtilen ortalama boşalma süreleri kullanılmıştır.

Gecikme parametrelerinden bir diğeri olan hacim değerleri anayolda 600 ile 1400 araç/saat, tali yolda 300 ile 800 araç/saat arasında değişmektedir. Tercih edilen bu hacim değerleri doyunluk derecelerine göre seçilmiştir. Farklı trafik durumları için kullanılan doyunluk dereceleri 0,6 ile 1,4 arasındaki değişmektedir. Bu değerler HCM’de ortaya konan gecikme ile doyunluk derecesi ilişkisi göz önüne alınarak belirlenmiştir. Kullanılan hacim değerleri ise istenen farklı doyunluk derecelerini elde etmek için kavşaktaki kolların kapasitelerine göre belirlenmiştir. Tali yoldaki doyunluk derecesi 0,7 de sabit olarak tutulmuş olup burada meydana gelecek tıkanıklık ve kuyruklanmanın anayoldaki gecikme üzerine etkisi ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca simülasyon üzerinde araç türlerinin gecikme üzerindeki etkisi de dahil edilmiştir. Bu bağlamda, her bir farklı trafik durumu için hacim değerlerine göre %75 otomobil, %15 kamyon ve %10 diğeri araç türleri kullanılmıştır. Önemli parametrelerden birisi olan periyot süresinde 15,30 ve 60 dakika zamanları seçilmiştir. Bu değerlerin kullanılmasına HCM’deki gecikme ile periyot süresi ilişki grafiği incelenerek karar verilmiş olup 60 dakikadan sonra periyodun gecikme üzerindeki etkisi daha az oranda olduğu için 60 dakikaya kadar olan süreler tercih edilmiştir.

Corsim programının yol ağlarını oluşturmak için kullanılan TRAFED bölümünde geometrisi oluşturulan kavşak, her bir farklı durumu için parametre değerleri girilmek suretiyle corsimin ağ simülasyon modeli olan TRAF-NETSIM ile simule edilmiştir. TRAFU simülasyonu olarak adlandırılan simülasyon görüntüsü şekil 5.2 ile gösterilmiştir.



şekil 5.2. Trafvu Simülasyon

Simulasyon sonuçlarına göre elde edilen gecikme değerlerinin daha tutarlı ve hassas olabilmesi için her bir trafik durumu için 10 kez farklı atama numaraları kullanılarak program çalıştırılmıştır. Böylece simülasyon modülü her bir farklı atama numarası ile sürücü ve araç karakteristiklerinin değişmesini simülasyonlarda kullanarak gecikme değerleri üzerindeki etkileri göz ardı edilmemiş olmaktadır. Burada dikkat edilen bir diğer nokta ise seçilen her farklı atama numarasının bütün trafik durumları için uygulanmasını sağlayarak, trafik durumlarını oluşturan parametrelerinin sonucu ortaya çıkan gecikme değerlerini aynı şartlar altında elde edebilmektir. Gerçekleştirilen 10 farklı simülasyon sonucu elde edilmiş olan gecikme değerlerinin ortalaması alınarak her bir durum için kavşağa ait gecikme değerleri bulunmuştur. Böylece gecikme üzerinde etkili olan parametrelerin kullanımının yanı sıra gecikme üzerinde önemli etkisi olan sürücü davranış farklılıkları da bu çalışmaya dâhil edilerek gecikme üzerindeki etkisi yansıtılmaya çalışılmıştır.

5.2. Modellerin Geliştirilmesi

Gecikme tahmin modellerinin geliştirilmesinde diferansiyel gelişim algoritması ve yapay arı algoritması olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bu iki optimizasyon yönteminin kendilerine özgü avantajları kullanılarak ortaya konan modellerin optimize edilmesi sağlanmıştır. Böylece her iki yaklaşımda da hedeflenen amaç en uygun modele ulaşabilmek ve en az hataya sahip olmaktır. Bu doğrultuda iki yaklaşımında amaç fonksiyonunun hataların karelerinin toplamını minimize edecek şekilde olması temel noktadır. Böylece amaç fonksiyonunun matematiksel ifadesi;

$$\text{Min } F(x) = \sum_{n=1}^m (D_{\text{simülasyon}} - D_{\text{tahmin}})^2 \quad (5.2)$$

olmaktadır. Burada $D_{\text{simülasyon}}$ corsim simülasyondan elde edilen gecikme değerleri olup, D_{tahmin} ortaya konan modellerin tahmin sonuçlarını ifade etmektedir, m değeri veri sayısını göstermektedir.

Modellerin formları ortaya konurken literatürde mevcut olan doğrusal, yarı kuadratik, kuadratik ve kuvvet formları tercih edilerek dört farklı gecikme tahmin modeli ortaya konulmuştur. Ortaya konan bu modellerin optimizasyon ve çözümlenmesi de her iki yaklaşıma göre yapıp, farklı katsayıları içeren denklem formları oluşturulmuştur. Bu denklem formlarının ifadesi aşağıda verilmiştir.

Doğrusal form;

$$D_L = w_1X_1 + w_2X_2 + w_3X_3 + w_4 \quad (5.3)$$

Yarı kuadratik form;

$$D_{YK} = w_1X_1 + w_2X_2 + w_3X_3 + w_4\sqrt{X_1X_2} + w_5\sqrt{X_1X_3} + w_6\sqrt{X_2X_3} + w_7X_1X_2 + w_8X_1X_3 + w_9X_2X_3 + w_{10} \quad (5.4)$$

Kuadratik form;

$$D_K = w_1 X_1^2 + w_2 X_2^2 + w_3 X_3^2 + w_4 X_1 X_2 + w_5 X_1 X_3 + w_6 X_2 X_3 + w_7 \quad (5.5)$$

Kuvvet formu;

$$D_{KUV} = w_1 X_1^{w_2} X_2^{w_3} X_3^{w_4} \quad (5.6)$$

Buradaki X_1 , X_2 ve X_3 sırasıyla g/C oranı, analiz periyod (T) ve doyumluk derecesi (x) değeridir. W_i değerleri denklemlerle ilgili katsayı değerleridir.

Bu modellerdeki önemli nokta denklem formlarında kullanılan bağımsız değişken sayısıdır. Bu tez çalışmasında gecikmeyi etkileyen beş farklı parametrenin, (hacim, doyumluk akımı, periyod, devre süresi ve yeşil süre), oluşturduğu farklı trafik durumlarına göre gecikme analizi yapılmakta olup bu parametrelerin her birinin denklem içerisinde kullanılması pratiklik ve denklemin basitliği ile çelişki göstermektedir. Bu doğrultuda bu parametrelerin kendi içinde dönüşümleri sonucu oran şeklinde kullanılması tercih edilmiştir. Böylece devre süresi ve yeşil sürenin ayrı ayrı girdi parametresi olarak kullanılması yerine bu iki parametrenin oranlarından elde edilen yeşil oranı (g/C) bir girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. Aynı şekilde hacim ve doyumluk akımının etkisinin de ayrı ayrı denklem içinde kullanılması yerine tek bir parametre olarak tercih edilmiştir. Doyumluk akımının kavşağın kapasitesinde etkili olmasından dolayı farklı olarak seçilen doyumluk akımlarına (x) göre farklı kapasite değerleri elde edilmektedir. Bu kapasite değerlerinin hacim ile birlikte kullanılması ve bunların oranından elde edilen doyumluk derecesi değeri modelin bir diğer bağımsız değişkeni olarak denklem formlarında yer almaktadır. Böylece doyumluk akımı ve hacimin etkisi tek bir değişken olarak kullanılabilir. Son değişken olarak analiz periyot süresi gecikmede etkili olan ve bir bağımsız girdi değişkenidir. Üç değişkene bağlı olarak oluşturulan modeller farklı trafik durumlarına göre gecikme tahmini yapmak üzere oluşturulmuştur.

750 farklı trafik durumu oluşturulup, her bir durumun gecikme değerinin Corsim ile elde edilmesi sonucu modellerde kullanılacak veriler elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler kendi içerisinde rastgele olarak eğitim ve test verisi olarak ayrılmıştır. Bu veri setlerinin oranı sırasıyla %80 ve %20 olarak alınmıştır. Böylece modellerin katsayılarını bulmak

için eğitim veri setlerindeki bağımsız değişkenler, (g/C , T ve x) değerleri ile bunlara karşılık bağımlı değişken olan gecikme değerleri kullanılarak her bir modelin katsayıları diferansiyel gelişim algoritmasına ve yapay arı koloni algoritmasına göre ayrı ayrı elde edilmiştir.

Katsayı tahmininde kullanılan her bir yaklaşım, operatör işlemlerini gerçekleştirebilmesi ve optimum çözümü yakalayabilmesi için kontrol parametre değerlerine ihtiyaç duyar. Diferansiyel gelişim algoritmasında kullanılan parametre değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Diferansiyel gelişim algoritması kontrol parametreleri

Popülasyon Boyutu (N_p)	30
Çaprazlama oranı (CR)	0.90
Mutasyon katsayısı (F)	0.95
Mutasyon stratejisi	DE/best/1/exp
Max. İterasyon sayısı	400

Diferansiyel gelişim algoritmasında kullanılan bu değerler Mallipeddi ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma sonucu belirlenen optimum aralıklarda seçilmiştir [42]. Farklı parametre değerleri kullanılarak yapılan çözümler sonucunda anlaşılmıştır ki, bulunan katsayılarda bir fark olmamakta sadece algoritmanın optimum çözüme yaklaşmasındaki sürecinde bir farklılık olmaktadır.

Yapay arı koloni algoritmasında kullanılan kontrol parametreleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Yapay arı koloni algoritması kontrol parametreleri

Kolonideki işçi ve gözcü arı sayısı(N_p)	50
Yiyecek kaynağı sayısı	$N_p/2$
Terkedilmiş kaynak sayısı limiti	100
Max. İterasyon sayısı	1000

Eğitim verilerine göre ortaya konan modellerin katsayı değerleri diferansiyel gelişim algoritması ve yapay arı koloni algoritması için bulunmuştur. Bu algoritmaların optimizasyonu sonucu modellerin matematiksel ifadeleri elde edilmiştir.

Diferansiyel gelişim algoritmasına göre optimize edilerek oluşturulan modellerin ifadesi aşağıdaki gibidir.

Doğrusal form için;

$$D_L = 31,623X_1 + 555,574X_2 + 3,912X_3 - 554,143 \quad (5.7)$$

Yarı kuadratik form için;

$$\begin{aligned} D_{YK} = & 504,886X_1 + 1081,820X_2 - 9,926X_3 - \\ & 2868,737\sqrt{X_1X_2} + 396,434\sqrt{X_1X_3} - \\ & 261,382\sqrt{X_2X_3} + 775,411X_1X_2 - \\ & 24,386X_1X_3 + 23,326X_2X_3 + 276,933 \end{aligned} \quad (5.8)$$

Kuadratik form için;

$$\begin{aligned} D_K = & 984,084X_1^2 + 248,026X_2^2 - 0,052X_3^2 - \\ & 652,695X_1X_2 - 6,508X_1X_3 + 10,408X_2X_3 - \\ & 209,042 \end{aligned} \quad (5.9)$$

Kuvvet formu için;

$$D_{KUV} = 10,201X_1^{-0,096}X_2^{3,306}X_3^{0,698} \quad (5.10)$$

Yapay arı koloni algoritmasına göre optimize edilerek oluşturulan modellerin ifadesi aşağıdaki gibidir.

Doğrusal form için;

$$D_L = -222,227X_1 + 3,700X_2 + 503,333X_3 - 362,100 \quad (5.11)$$

Yarı kuadratik form için;

$$\begin{aligned}
D_{YK} = & 10,960X_1 - 2,549X_2 + 135,530X_3 - \\
& 20,666\sqrt{X_1X_2} - 16,698\sqrt{X_1X_3} - \\
& 2,594\sqrt{X_2X_3} - 4,851X_1X_2 + 146,194X_1X_3 + \\
& 9,222X_2X_3 - 125,358
\end{aligned} \tag{5.12}$$

Kuadratik form için;

$$\begin{aligned}
D_K = & 129,600X_1^2 - 0,007X_2^2 + 142,677X_3^2 - \\
& 5,892X_1X_2 + 18,547X_1X_3 + 6,939X_2X_3 - \\
& 168,976
\end{aligned} \tag{5.13}$$

Kuvvet formu için;

$$D_{KUV} = 9,510X_1^{0,129}X_2^{0,774}X_3^{3,165} \tag{5.14}$$

Geliştirilen bu modellerde kullanılan parametrelerden periyot süresinin kendi içerisinde 15, 30 ve 60 dakika olarak gruplandırılmış olması ve gecikme tahminlerinde ya da arazi gözlemlerinde sabit bir periyot süresinin alınması göz önüne alındığında, modellerde bu parametrenin bağımsız değişken olarak kullanılması yerine her bir grup içinde modellerin ortaya konması daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Böylece gruplandırılmış olan periyot değerleri için yeşil oranı(g/C), doyumluk derecesi (x) ve doyum akımı(s) bağlı olarak modellerin geliştirilmesi yapılmış ve bunların optimizasyonu iki farklı yöntem aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Aynı model formlarında 1500 araç/saat, 1650 araç/saat ve 1800 araç/saat doyumluk akımlarına, 0,35-0,60 g/C oranlarına ve 0,6-1,4 doyumluk derecelerine göre farklı trafik durumlarının 15, 30 ve 60 dakika periyot grupları için oluşturulan modelleri ortaya konmuştur. Buradaki modellerde X₁, X₂ ve X₃ sırasıyla g/C oranı, s ve x değerini ifade etmektedir.

15 dakikalık periyotta 4 farklı form için diferansiyel gelişim ve yapay arı koloni algoritmasına göre optimizasyon sonucu elde edilen modellerin katsayı değerleri Çizelge 5.3 ve 5.4'de ifade edildiği gibi elde edilmiştir.

Çizelge 5.3. Diferansiyel gelişim algoritması optimizasyonuna göre 15 dakika için katsayılar

Katsayılar	Diferansiyel Gelişim Algoritması			
	<i>Doğrusal</i>	<i>Yarı kuadratik</i>	<i>Kuadratik</i>	<i>Kuvvet</i>
w1	45,802	171,397	133,080	1,970
w2	0,049	0,212	0,00005	0,110
w3	313,380	726,826	222,283	0,506
w4	-322,681	14,157	-0,046	3,186
w5	-	-1223,691	-26,692	-
w6	-	-43,693	-0,091	-
w7	-	-0,220	-113,601	-
w8	-	632,343	-	-
w9	-	0,337	-	-
w10	-	450,722	-	-

Çizelge 5.4. Yapay arı koloni algoritması optimizasyonuna göre 15 dakika için katsayılar

Katsayılar	Yapay Arı Koloni Algoritması			
	<i>Doğrusal</i>	<i>Yarı kuadratik</i>	<i>Kuadratik</i>	<i>Kuvvet</i>
w1	-105,304	-55,308	-195,495	0,864
w2	0,013	-0,058	-0,00006	0,103
w3	285,819	9,090	123,348	0,617
w4	-156,519	-0,227	0,180	3,167
w5	-	6,464	21,164	-
w6	-	0,558	0,021	-
w7	-	-0,046	-27,585	-
w8	-	102,910	-	-
w9	-	0,127	-	-
w10	-	-30,788	-	-

30 dakikalık periyotta 4 farklı form için diferansiyel gelişim ve yapay arı koloni algoritmasına göre optimizasyon sonucu elde edilen modellerin katsayı değerleri Çizelge 5.5 ve 5.6’da ifade edildiği gibi elde edilmiştir.

Çizelge 5.5. Diferansiyel gelişim algoritması optimizasyonuna göre 30 dakika için katsayılar

Katsayılar	Diferansiyel Gelişim Algoritması			
	<i>Doğrusal</i>	<i>Yarı kuadratik</i>	<i>Kuadratik</i>	<i>Kuvvet</i>
w1	33,654	477,656	406,481	30,493
w2	0,028	1,195	0,00005	-0,092
w3	510,153	1532,816	376,003	0,171
w4	-433,115	-51,392	-0,060	3,309
w5	-	2455,492	-276,285	-
w6	-	-129,900	-0,093	-
w7	-	0,205	-161,261	-
w8	-	-1076,921	-	-
w9	-	0,761	-	-
w10	-	487,751	-	-

Çizelge 5.6. Yapay arı koloni algoritması optimizasyonuna göre 30 dakika için katsayılar

Katsayılar	Yapay Arı Koloni Algoritması			
	<i>Doğrusal</i>	<i>Yarı kuadratik</i>	<i>Kuadratik</i>	<i>Kuvvet</i>
w1	-58,810	-57,105	-571,760	3,203
w2	-0,027	-0,182	0,00016	-0,117
w3	469,800	97,943	507,700	0,473
w4	-252,030	-1,718	0,077	3,303
w5	-	-7,697	130,249	-
w6	-	0,756	-0,441	-
w7	-	0,073	-94,993	-
w8	-	27,529	-	-
w9	-	0,227	-	-
w10	-	-50,020	-	-

60 dakikalık periyotta 4 farklı form için diferansiyel gelişim ve yapay arı koloni algoritmasına göre optimizasyon sonucu elde edilen modellerin katsayı değerleri Çizelge 5.7 ve 5.8’de ifade edildiği gibi elde edilmiştir.

Çizelge 5.7. Diferansiyel gelişim algoritması optimizasyonuna göre 60 dakika için katsayılar

Katsayılar	Diferansiyel Gelişim Algoritması			
	<i>Doğrusal</i>	<i>Yarı kuadratik</i>	<i>Kuadratik</i>	<i>Kuvvet</i>
w1	33,840	1815,451	774,689	103,249
w2	0,024	1,398	0,00005	-0,146
w3	865,661	2821,800	586,112	0,067
w4	-696,903	16,385	-0,104	3,335
w5	-	708,033	-560,195	-
w6	-	-129,167	-0,063	-
w7	-	-0,984	-260,471	-
w8	-	-1114,453	-	-
w9	-	0,585	-	-
w10	-	-1141,460	-	-

Çizelge 5.8. Yapay arı koloni algoritması optimizasyonuna göre 60 dakika için katsayılar

Katsayılar	Yapay Arı Koloni Algoritması			
	<i>Doğrusal</i>	<i>Yarı kuadratik</i>	<i>Kuadratik</i>	<i>Kuvvet</i>
w1	-157,355	-160,922	-394,033	1,785
w2	-0,107	-0,415	0,0001	0,202
w3	808,380	145,067	61,587	0,606
w4	-319,871	-1,027	0,002	3,414
w5	-	-1,564	110,413	-
w6	-	2,337	0,356	-
w7	-	0,174	-67,996	-
w8	-	20,298	-	-
w9	-	0,381	-	-
w10	-	2,167	-	-

Her bir periyot için 250 farklı trafik durumu oluşturulup, her bir durumun gecikme değerinin cormis ile elde edilmesi sonucu modellerde kullanılacak veriler oluşturulmuş olmaktadır. Elde edilen bu veriler kendi içerisinde rastgele olarak eğitim ve test verisi olarak ayrılmıştır. Bu veri setlerinin oranı sırasıyla %75 ve %25 olarak alınmıştır.

Bulunan bütün modellerin istatistiksel değerlendirme sonuçları bir sonraki bölümde detaylı olarak verilmiş olup performans karşılaştırmaları yapılmıştır.



6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmanın doğruluğunu ortaya koyabilmek için modellerin bulguları karşılaştırılmış ve performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirme de ortalama karesel hataların karekökü (OKHK), ortalama mutlak hatalar (OMH) ve belirleme katsayısı R^2 performans ölçüt kriterleri olarak seçilmiştir. Performans ölçüm kriterleri olarak kullanılan yöntemlerin matematiksel ifadeleri aşağıda verilmektedir.

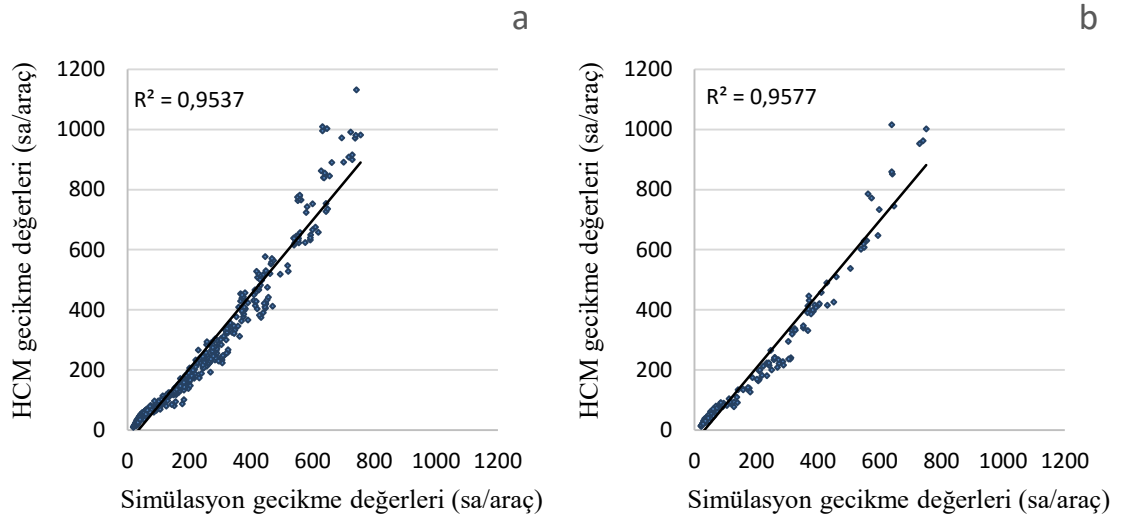
$$OKHK = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m \sqrt{(D_{simülasyon} - D_{tahmin})^2} \quad (6.1)$$

$$OMH = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m |(D_{simülasyon} - D_{tahmin})| \quad (6.2)$$

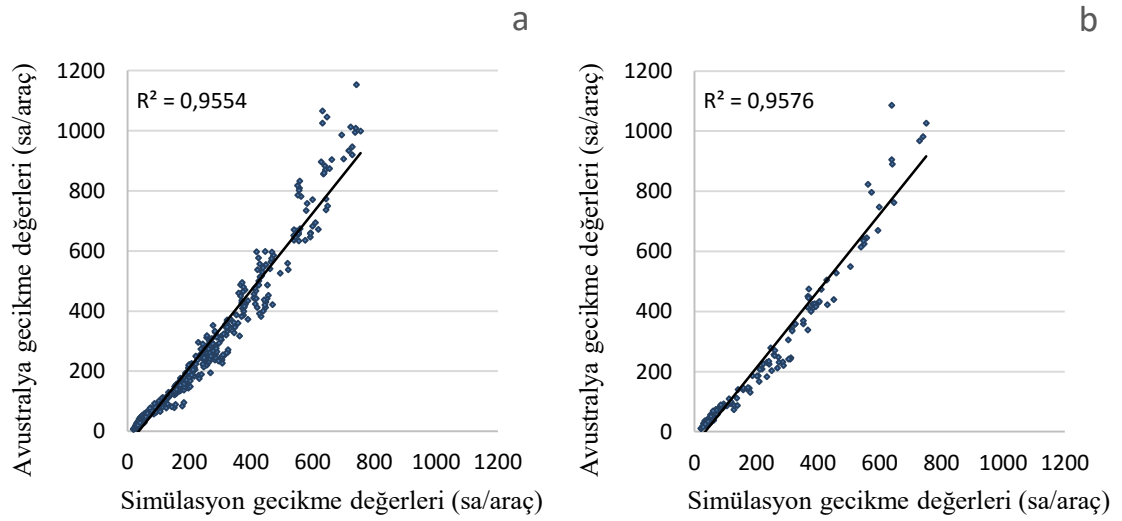
$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^m (D_{simülasyon} - D_{tahmin})^2}{\sum_{i=1}^m (D_{simülasyon} - D_{ortalama})^2} \right] \quad (6.3)$$

Ortaya konan 4 farklı formdaki modelin performans değerlendirmesi literatürde geçerliliği kabul görmüş analitik modellerden HCM ve Avustralya modellerinin sonuçlarıyla karşılaştırılarak yapılmıştır. Ayrıca gruplandırılmış periyot değerleri için oluşturulan modellerin yüzdesel hatalar farkına göre ortaya konan genel model formlarıyla karşılaştırılarak sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler mevcut verilerin eğitim ve test verilerine göre gerçekleştirilmiştir.

Analitik modellerin sonuçları ve simülasyon sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 6.1 ve 6.2'de eğitim ve test verisi olarak verilmiştir.



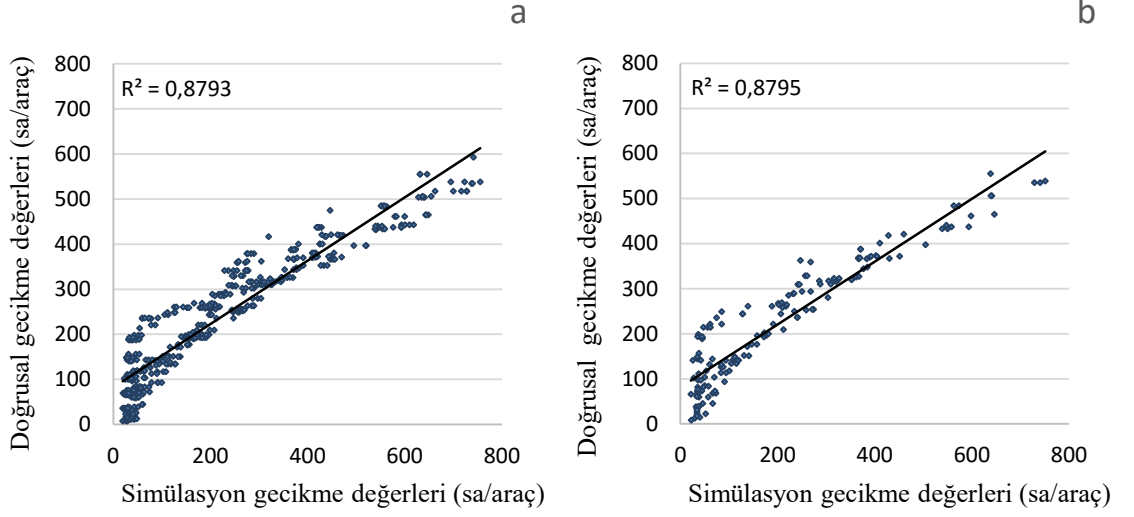
Şekil 6.1. HCM modeli için R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



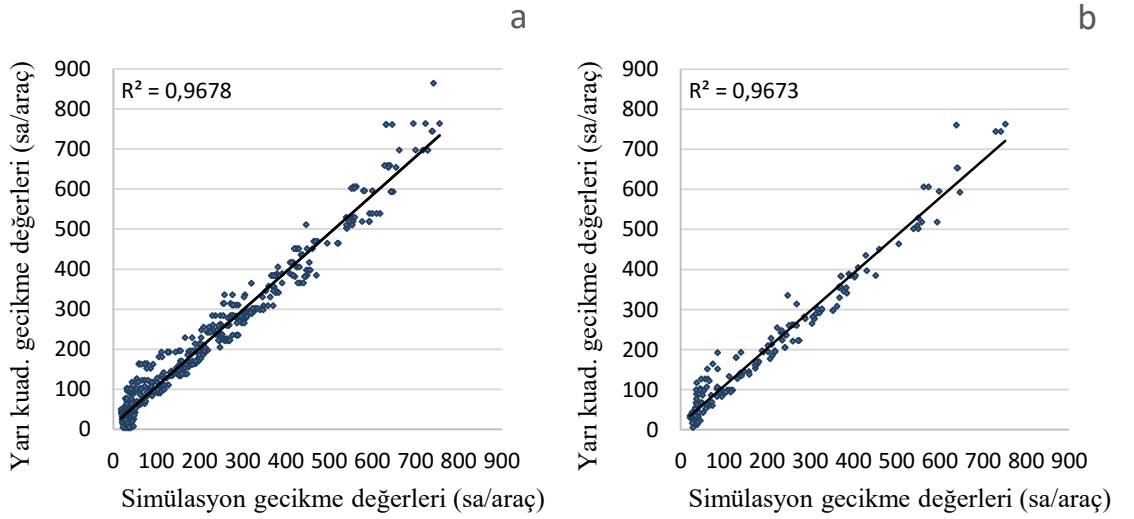
Şekil 6.2. Avustralya modeli için R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

Diferansiyel gelişim algoritması ve yapay arı algoritmasına göre bulunan modellerin tahmin sonuçları ile simülasyon sonuçlarının dağılım grafikleri gösterilmiştir.

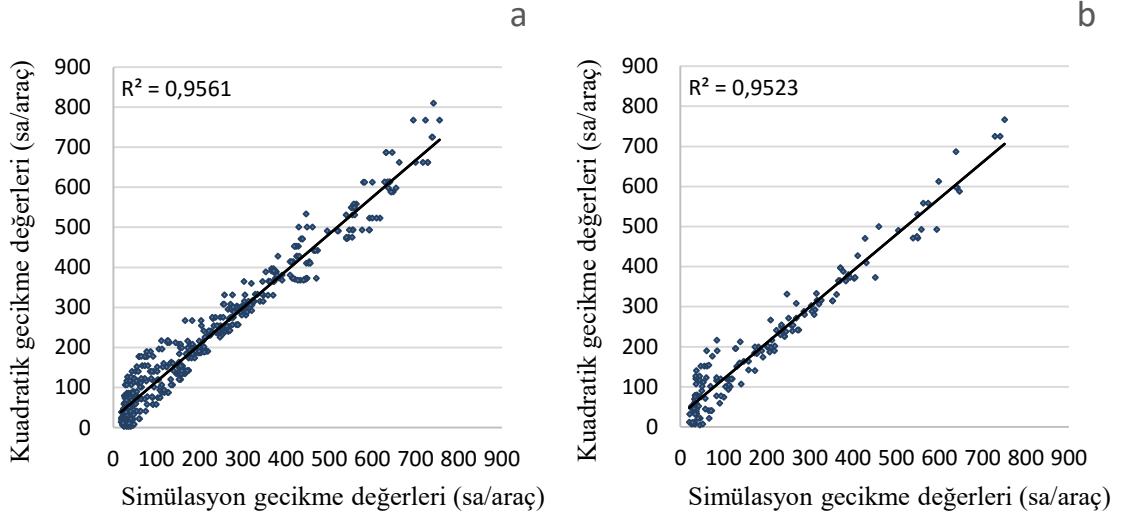
Diferansiyel gelişim algoritmasına göre bulunan modellerin dağılım grafikleri Şekil 6.3, 6.4, 6.5 ve 6.6 ile verilmiştir.



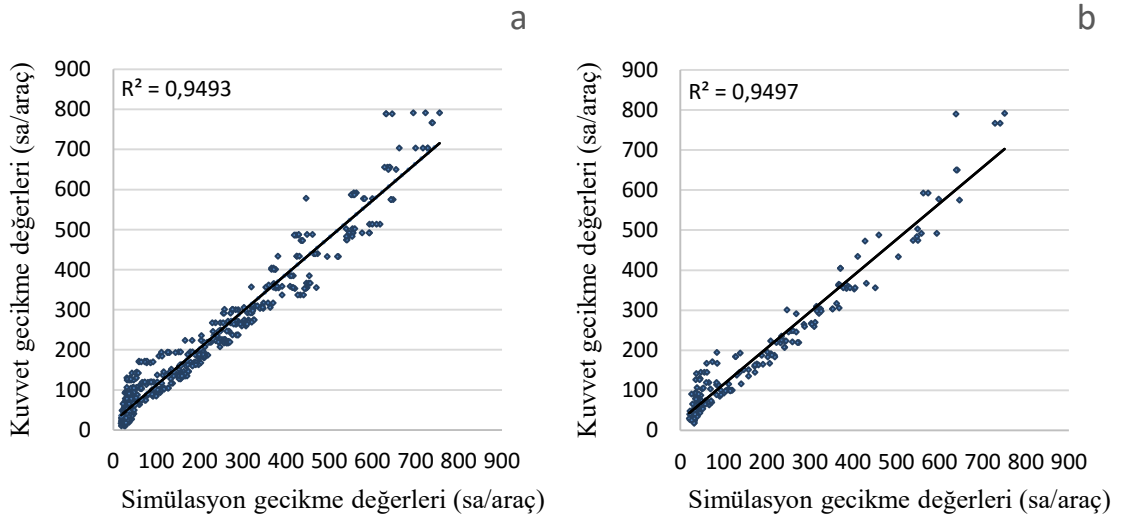
Şekil 6.3. Doğrusal model için R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



Şekil 6.4. Yarı kuadratik model için R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

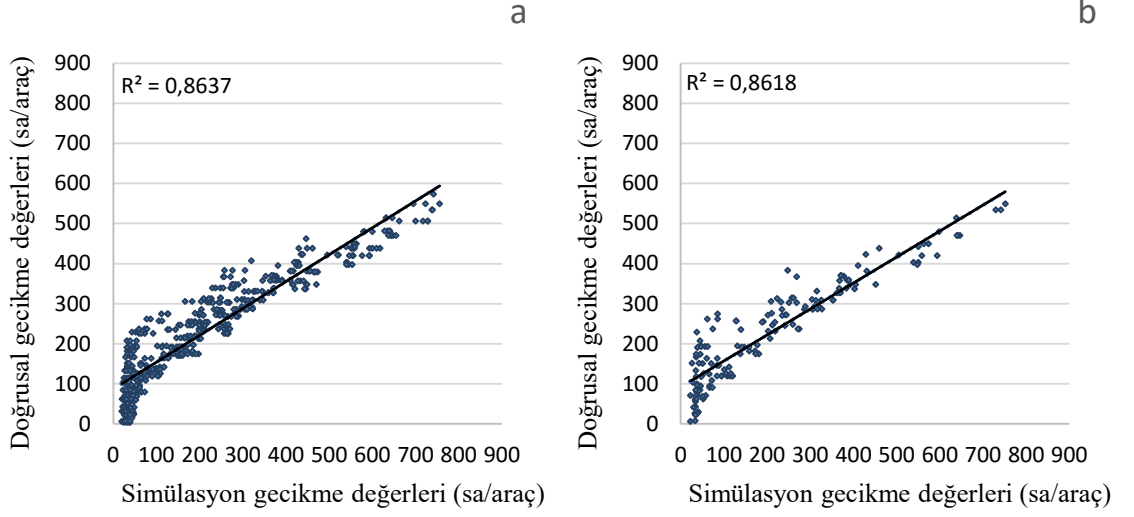


Şekil 6.5. Kuadratik model için R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

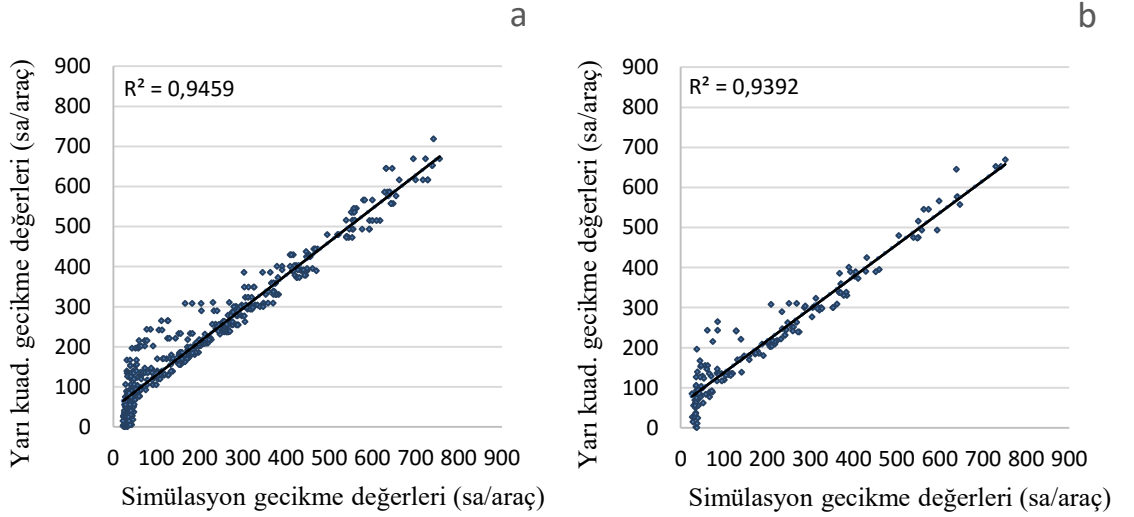


Şekil 6.6. Kuvvet model için R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

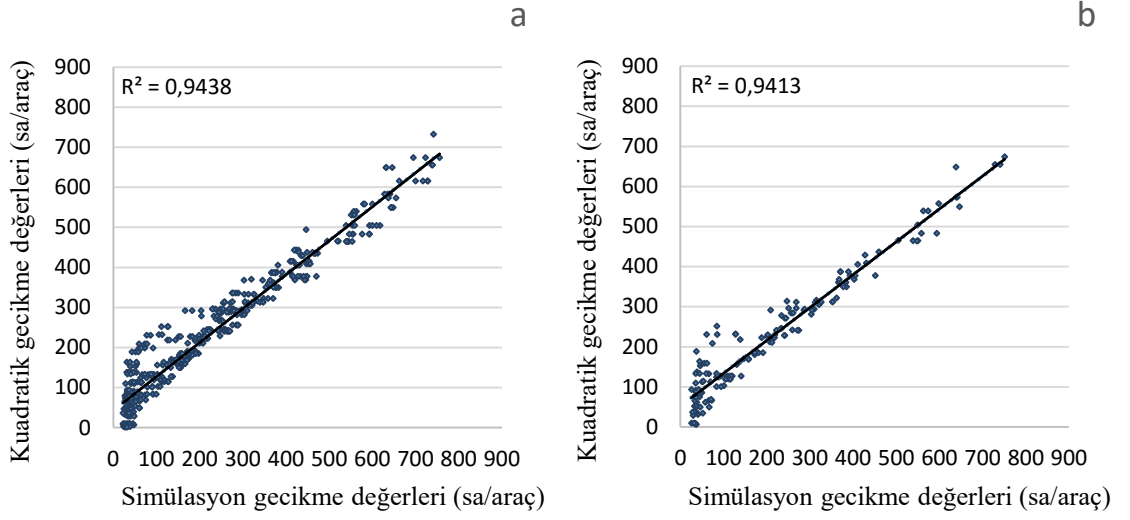
Yapay arı koloni algoritmasına göre bulunan modellerin dağılım grafikleri Şekil 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10 ile verilmiştir.



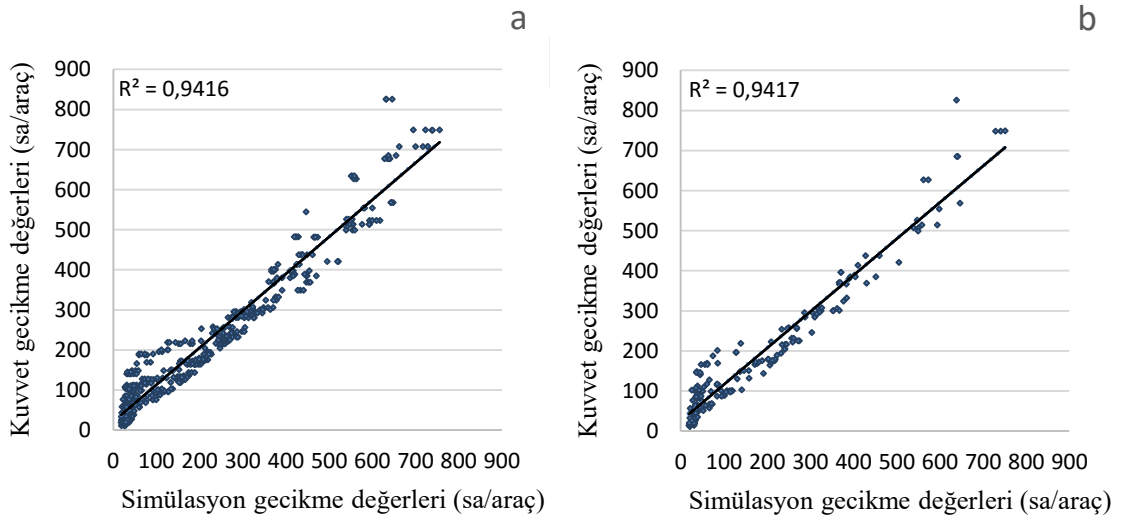
Şekil 6.7. Doğrusal model için R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



Şekil 6.8. Yarı kuadratik model için R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



Şekil 6.9. Kuadratik model için R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



Şekil 6.10. Kuvvet model için R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

HCM ve Avustralya modellerinin OMH ve OKHK sonuçları Çizelge 6.1 ile verilmiştir. Dört farklı formdaki modelin diferansiyel gelişim ve yapay arı algoritmalarına göre bulgularının OMH ve OKHK sonuçları Çizelge 6.1, 6.2 ve 6.3 ile verilmiştir.

Çizelge 6.1. Analitik modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

	HCM			Avustralya		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	32,403	62,504	95,37	36,534	70,524	95,54
Test	30,334	59,845	95,77	33,757	68,191	95,76

Çizelge 6.2. DGA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

	Doğrusal			Yarı kuadratik		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	61,866	79,215	87,93	26,017	34,350	96,78
Test	56,877	75,829	87,95	25,515	34,470	96,73
	Kuadratik			Kuvvet		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	31,990	41,530	95,61	31,219	41,998	94,16
Test	32,743	43,325	95,23	31,889	42,066	94,17

Çizelge 6.3. YAKA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

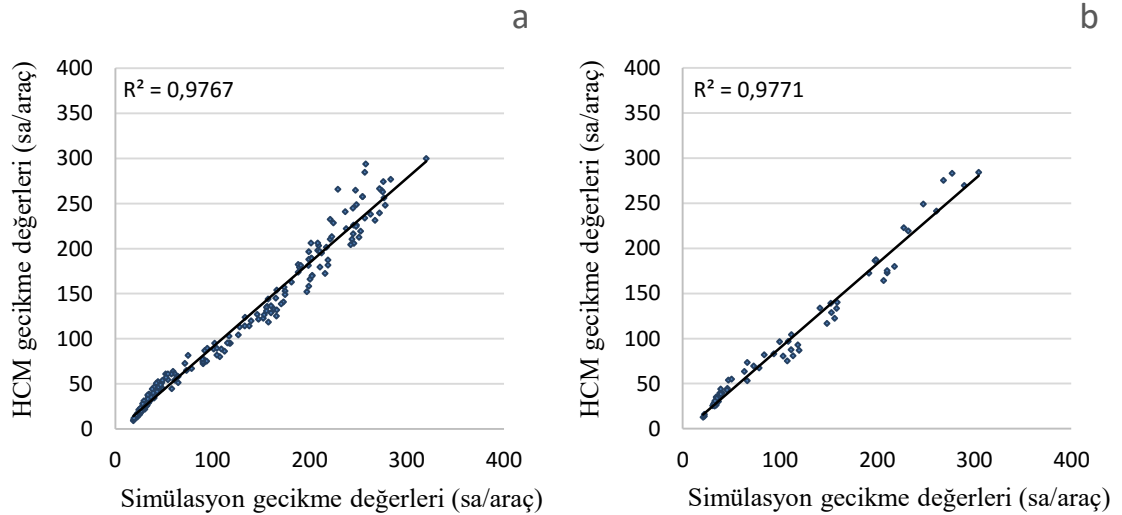
	Doğrusal			Yarı kuadratik		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	64,233	82,052	86,37	39,579	53,336	94,59
Test	65,146	84,513	86,18	43,659	57,127	93,92
	Kuadratik			Kuvvet		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	38,471	50,773	94,38	33,685	44,975	94,93
Test	39,723	53,438	94,13	33,235	45,324	94,97

Modellerin sonuçları karşılaştırıldığında, diferansiyel gelişim algoritmasının sonuçlarının yapay arı koloni algoritmasına göre daha iyi olduğu görülmüştür. Ortaya konan dört model formunda da OMH ve OKHK sonuçlarında diferansiyel gelişim daha iyi bir optimizasyon yaptığını ortaya koymuştur. Böylece diferansiyel gelişim algoritması ile optimize edilen modellerin simülasyon değerlerine daha yakın sonuçlar verdiği Çizelge 6.2 ve 6.3 karşılaştırmasından anlaşılmaktadır. İki farklı yaklaşıma göre

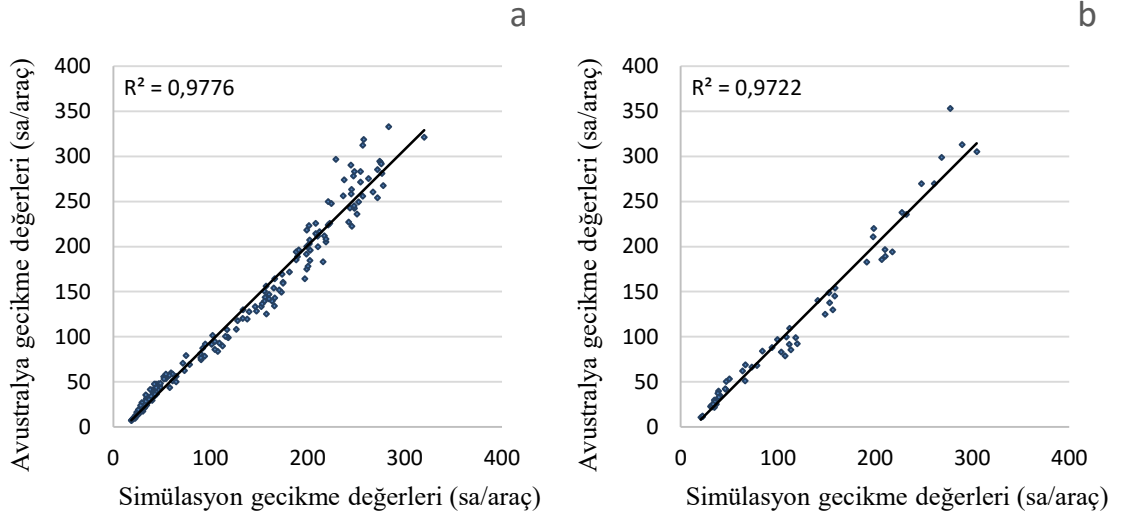
ortaya modellerden diferansiyel gelişim algoritmasına dayalı modeller daha iyi sonuçlar verirken, bunların analitik modellerle karşılaştırılmasında görülmüştür ki doğrusal formdaki model en kötü sonucu vermiştir. Diğer üç formdaki modeller analitik modellerden daha iyi sonuçlar vermiş ve özellikle OMH ve OKHK bakımından üstün bir performans göstermişlerdir. Yarı kuadratik formdaki model en iyi sonuçları elde ederek eğitim ve test verileri için en yüksek R^2 değerini ortaya koymuştur. Geliştirilen üç farklı formdaki modellerin analitik yöntemlere alternatif olarak gecikme hesabında kullanılabileceği ortaya konan model bulguları ile gösterilmiştir. Özellikle pratiklik bakımından ele alındığında, yarı kuadratik model en iyi sonucu vermesine rağmen kuvvet ve kuadratik modellerin daha uygun olduğu formlarından anlaşılmaktadır. Böylece yapılan bu çalışma üç parametreye bağlı olarak kuvvet ve kuadratik modeller kullanılarak %95 doğrulukta gecikme tahmini yapmayı mümkün kılmaktadır.

Diferansiyel gelişim algoritması ve yapay arı koloni algoritmasına göre bulunan gruplandırılmış periyotlar için modellerin ve analitik modellerin tahmin sonuçları ile simülasyon sonuçlarının dağılım grafikleri gösterilmiştir.

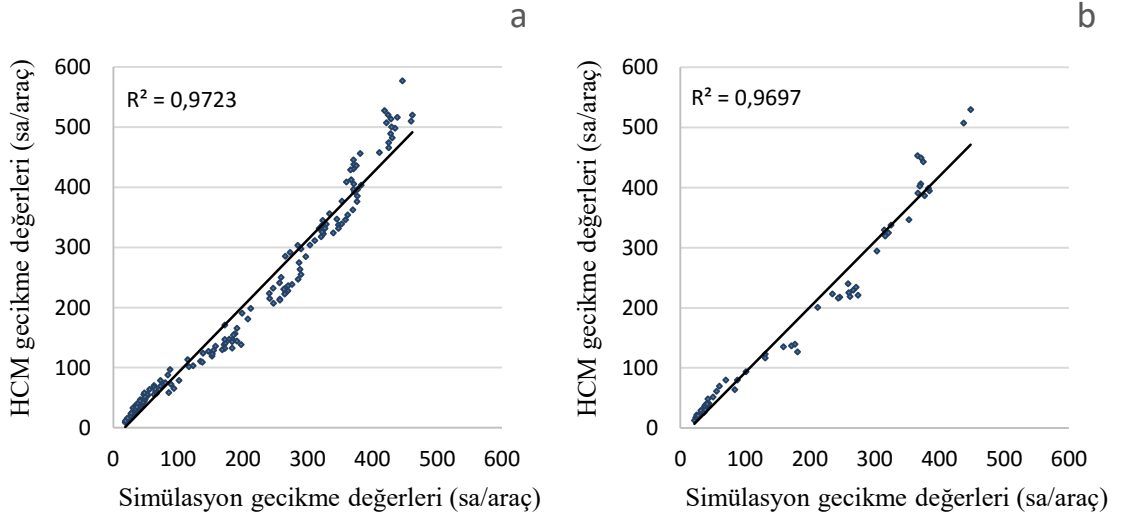
Periyot gruplandırılmalarına göre analitik yöntemlerle elde edilen gecikme sonuçlarının simülasyon sonuçlarına göre dağılım grafikleri Şekil 6.11-16'da verilmiştir.



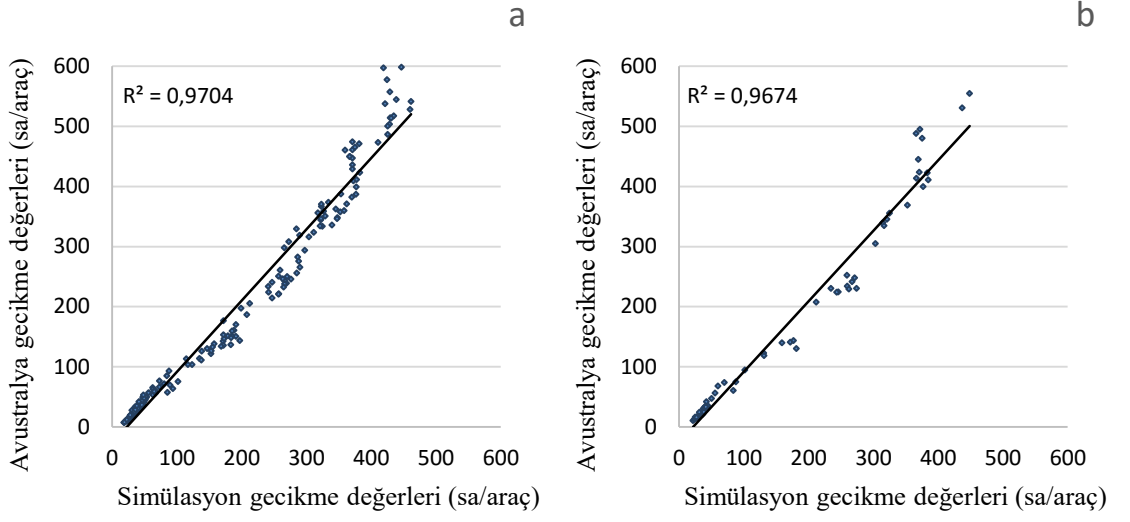
Şekil 6.11. 15 dakika için HCM modeli R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



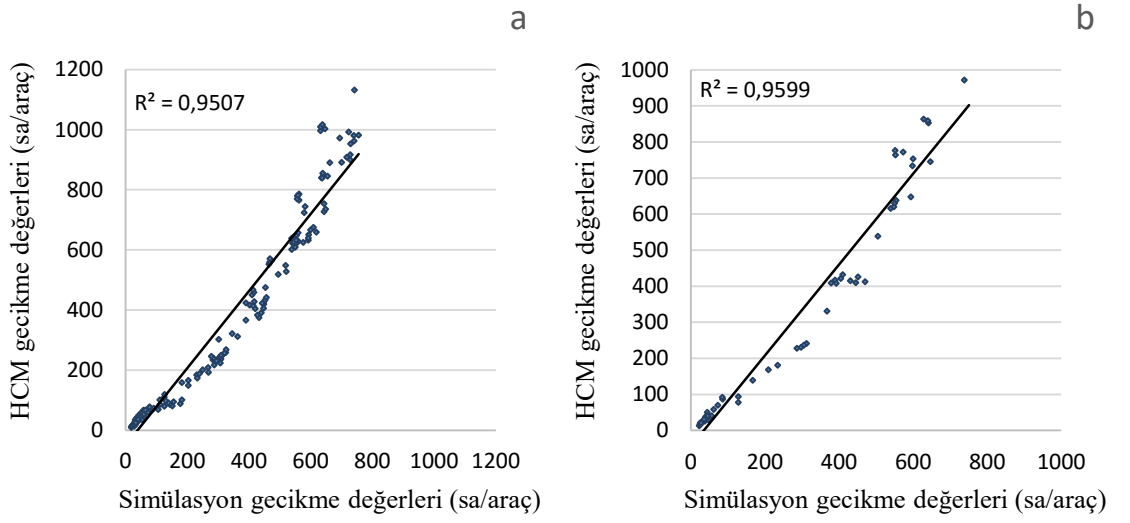
Şekil 6.12. 15 dakika için Avustralya modeli R^2 ve dağılım: a eğitim, b test



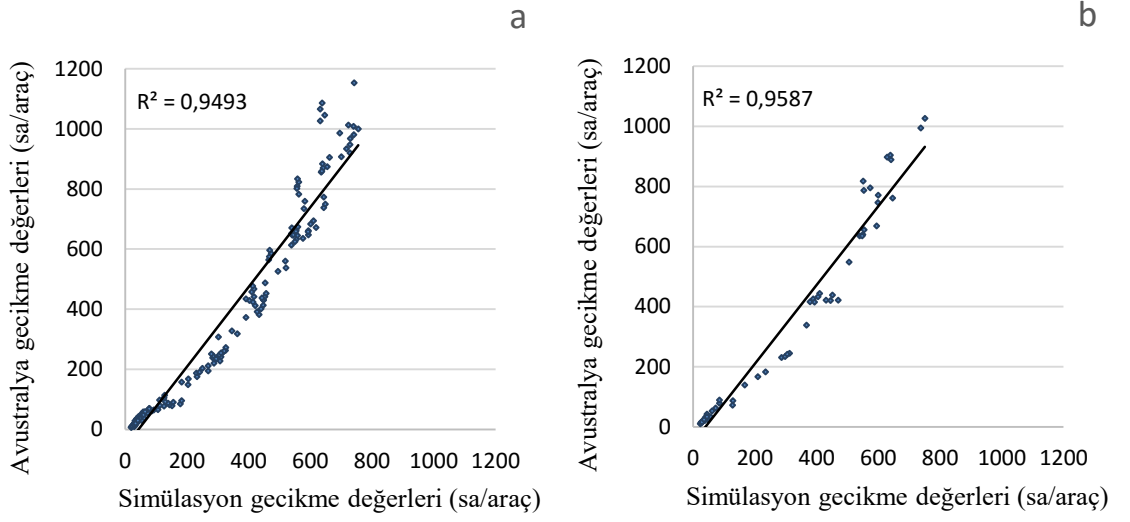
Şekil 6.13. 30 dakika için HCM modeli R^2 ve dağılım: a eğitim, b test



Şekil 6.14. 30 dakika için Avustralya modeli R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

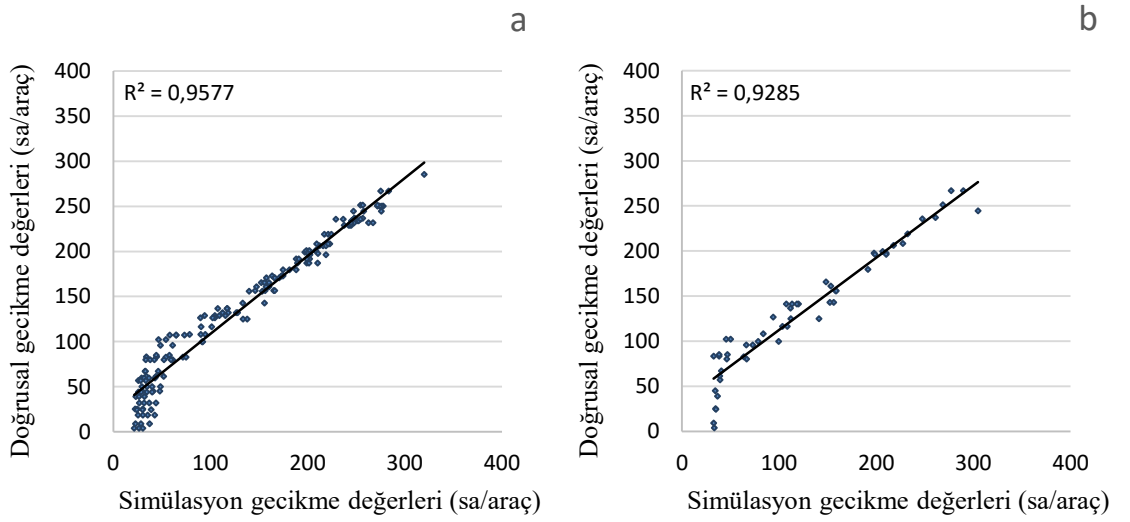


Şekil 6.15. 60 dakika için HCM modeli R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

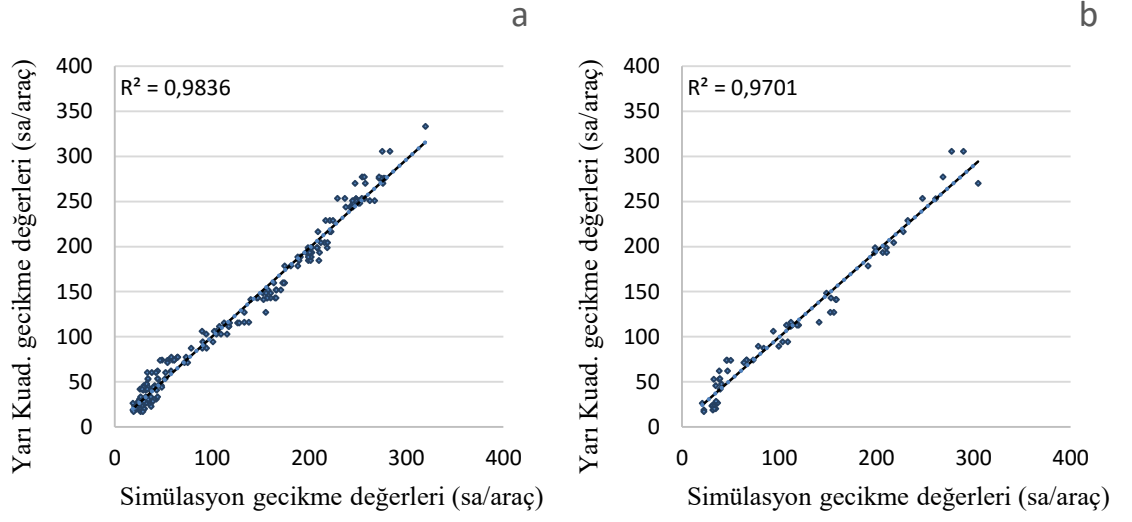


Şekil 6.16. 60 dakika için Avustralya modeli R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

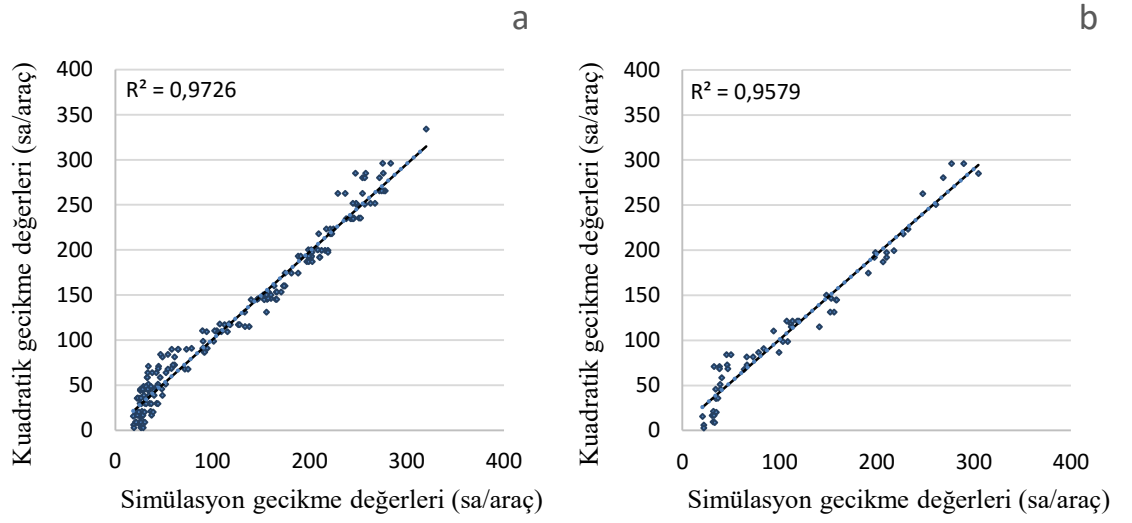
Diferansiyel gelişim algoritmasına göre bulunan periyot grupları için modellerin dağılım grafikleri Şekil 6.17-28 ile verilmiştir.



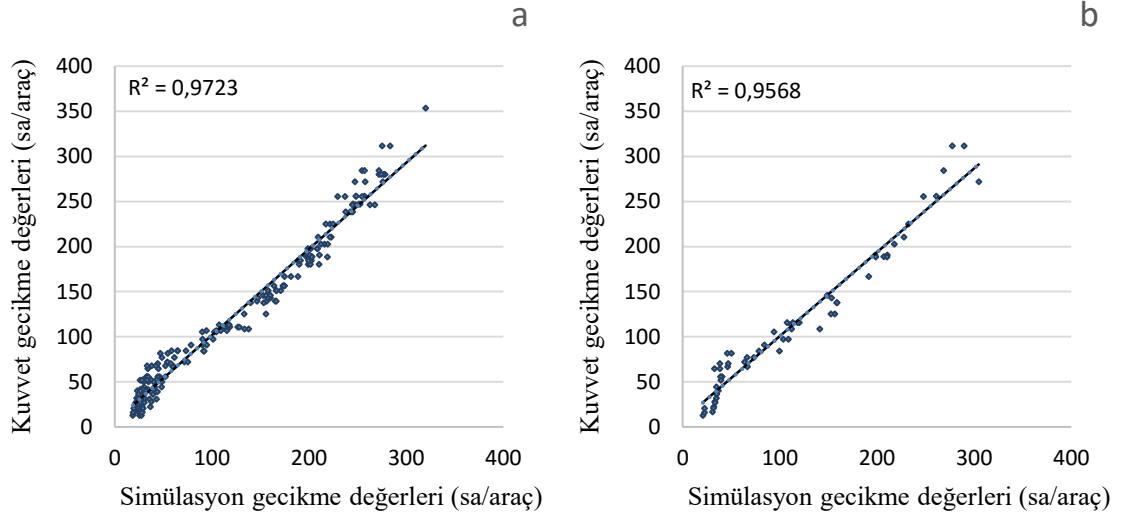
Şekil 6.17. 15 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



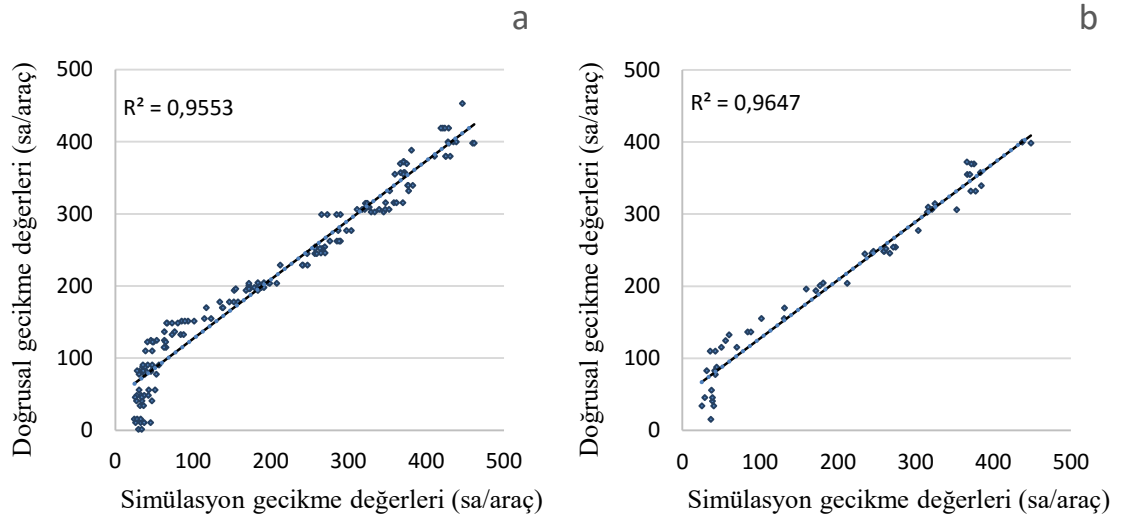
Şekil 6.18. 15 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



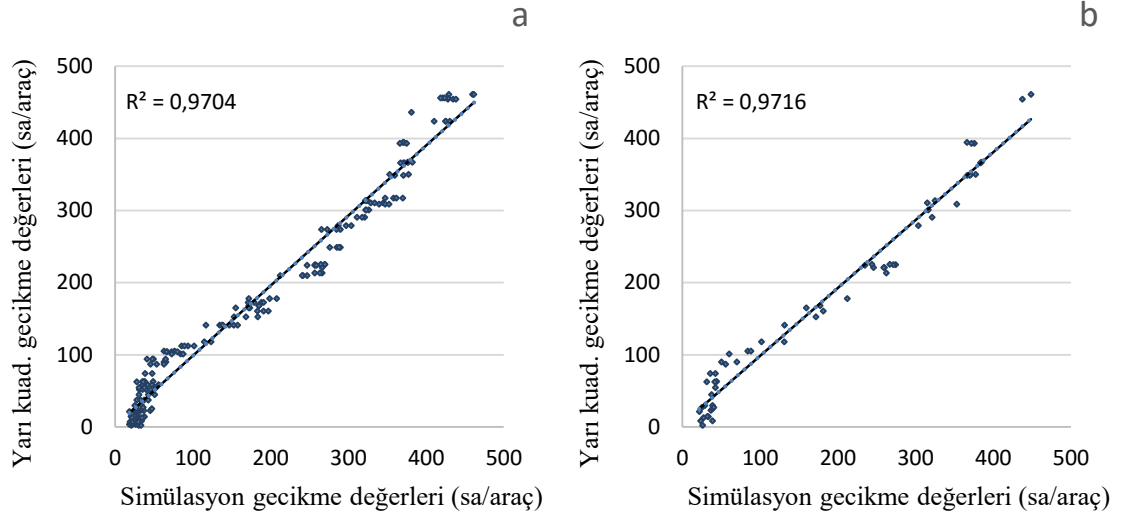
Şekil 6.19. 15 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



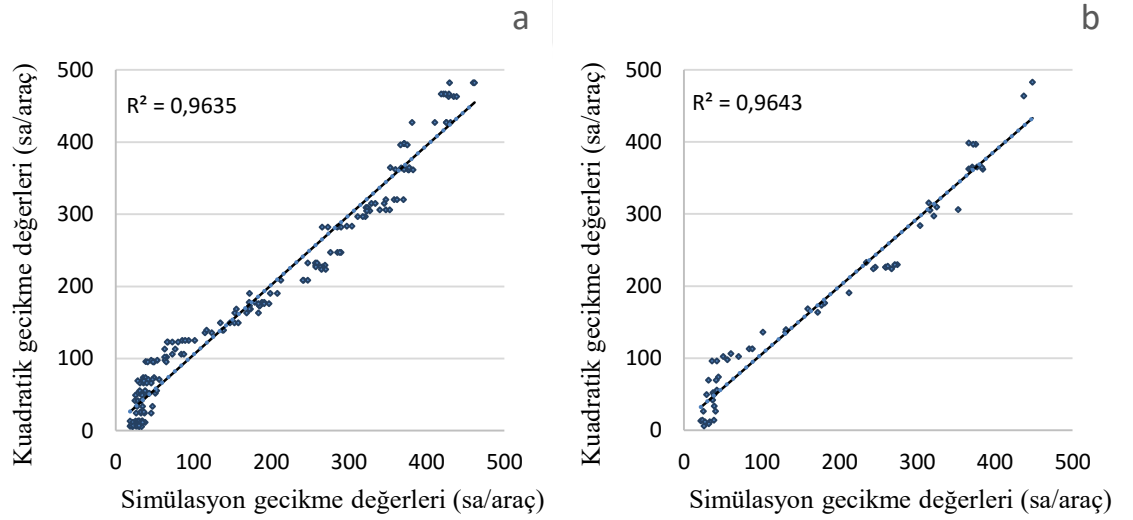
Şekil 6.20. 15 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



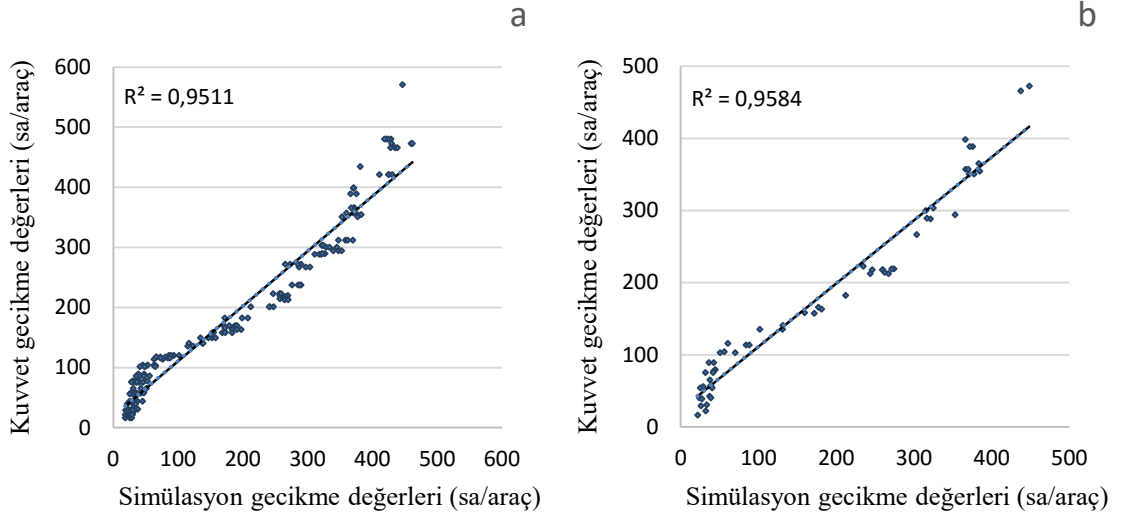
Şekil 6.21. 30 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



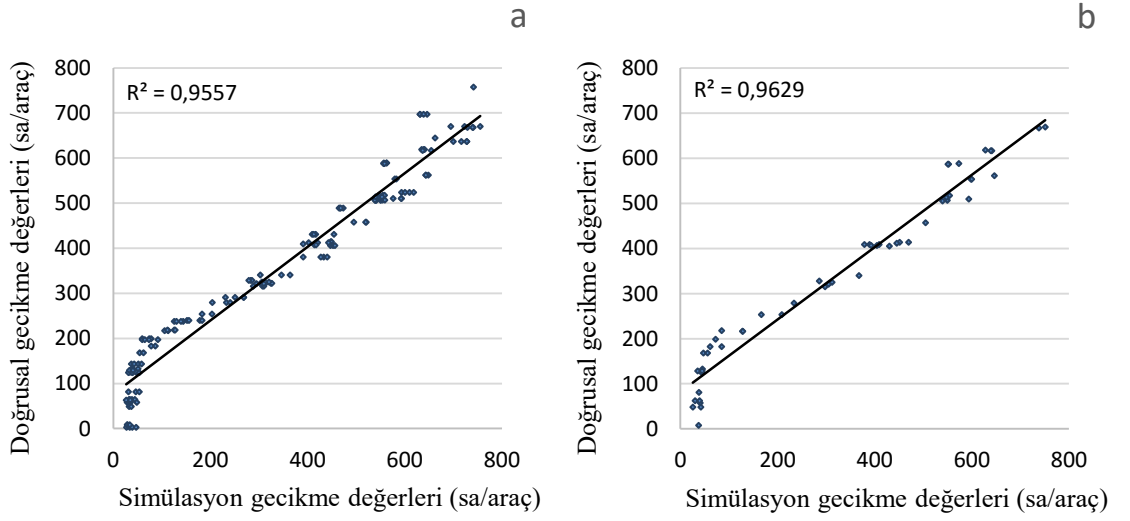
Şekil 6.22. 30 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



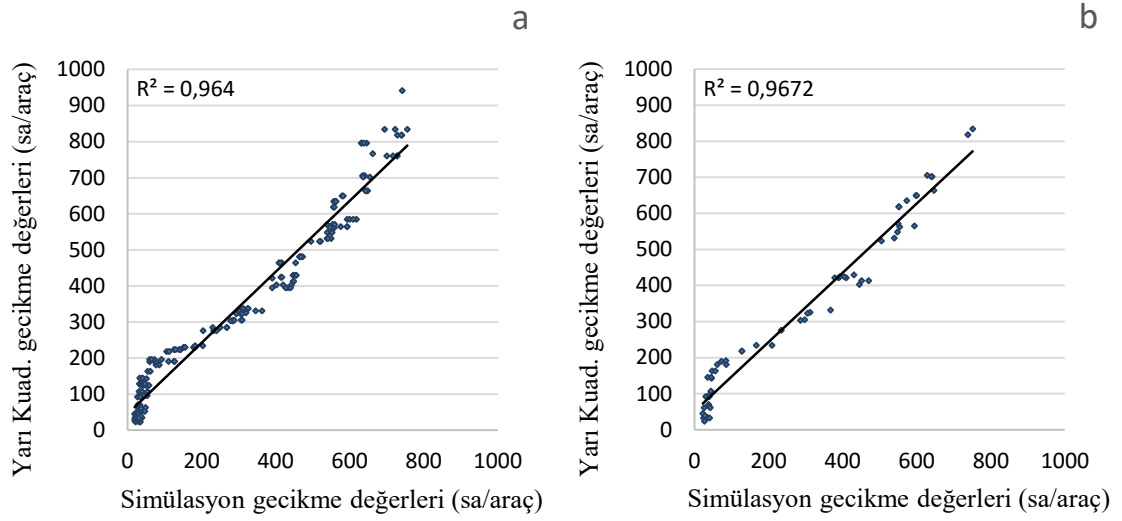
Şekil 6.23. 30 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



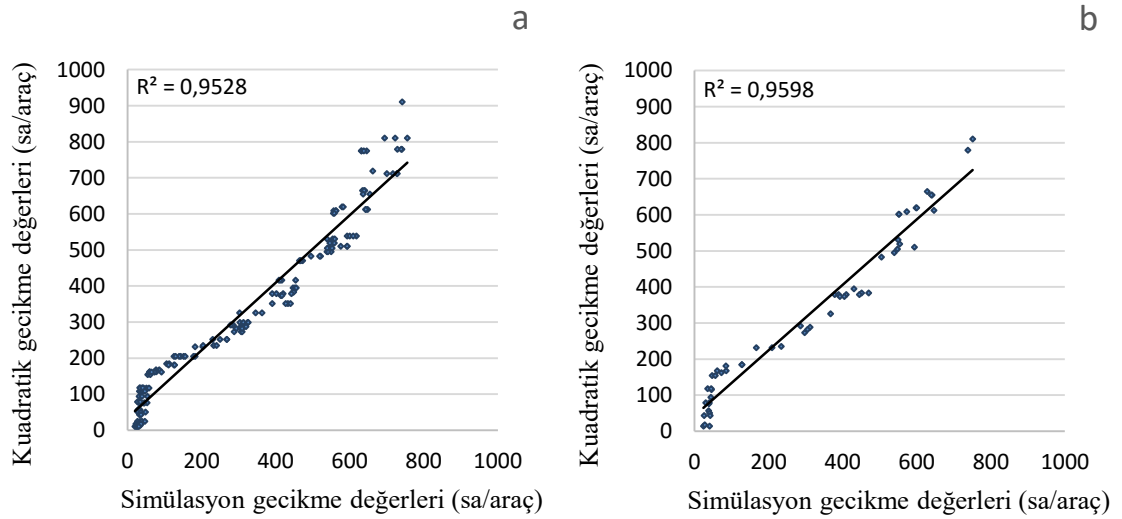
Şekil 6.24. 30 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



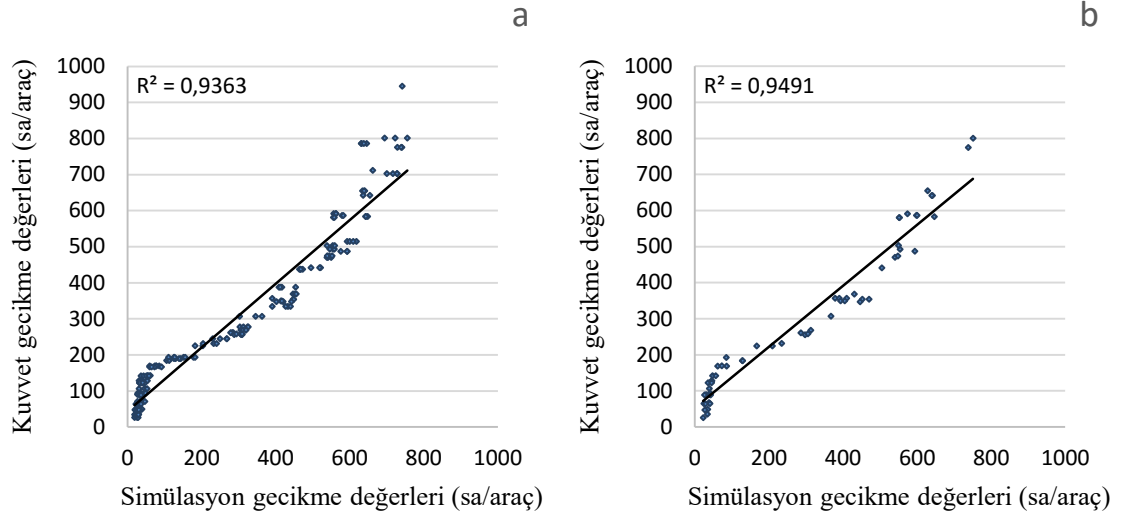
Şekil 6.25. 60 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



Şekil 6.26. 60 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

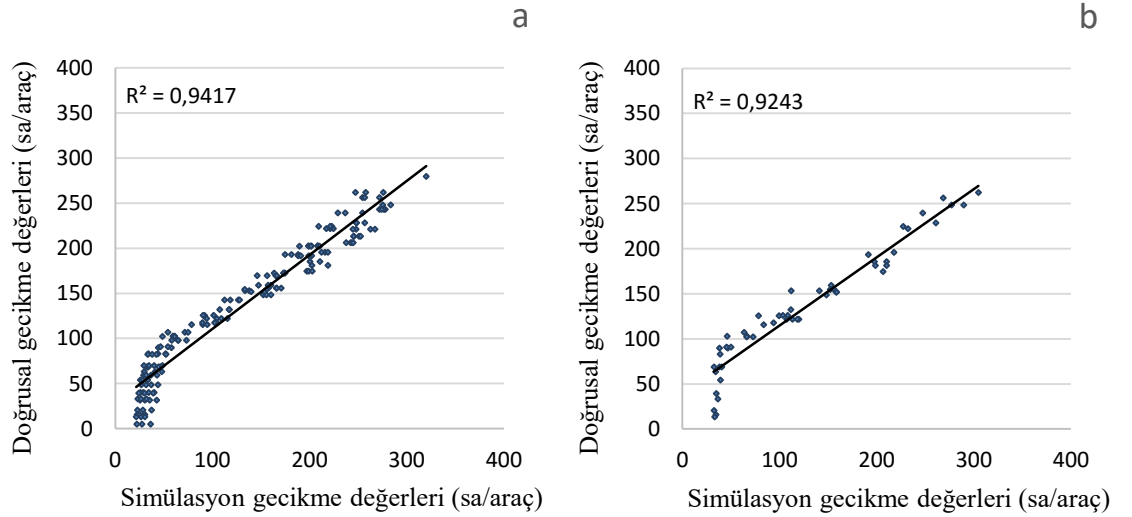


Şekil 6.27. 60 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

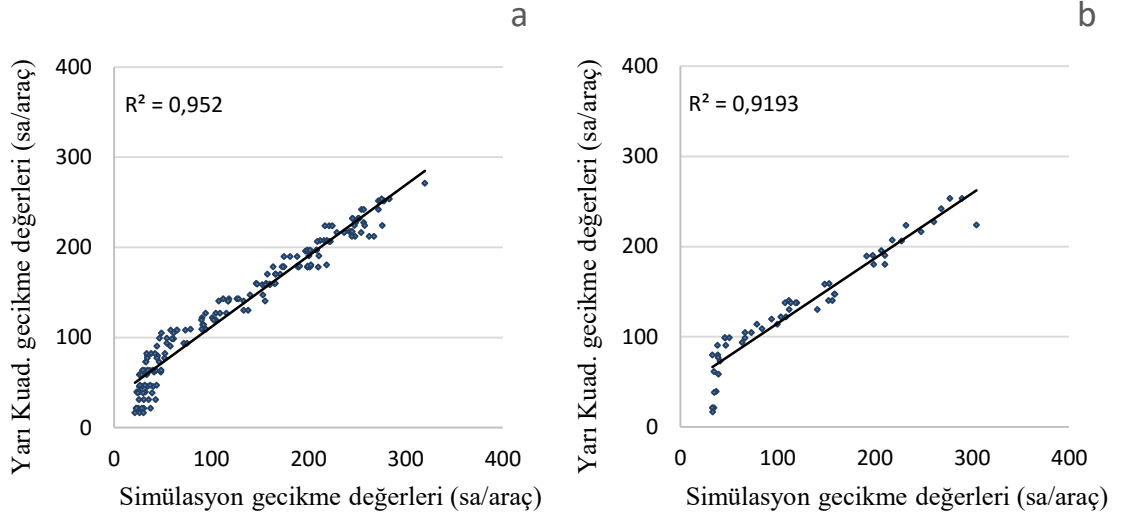


Şekil 6.28. 60 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

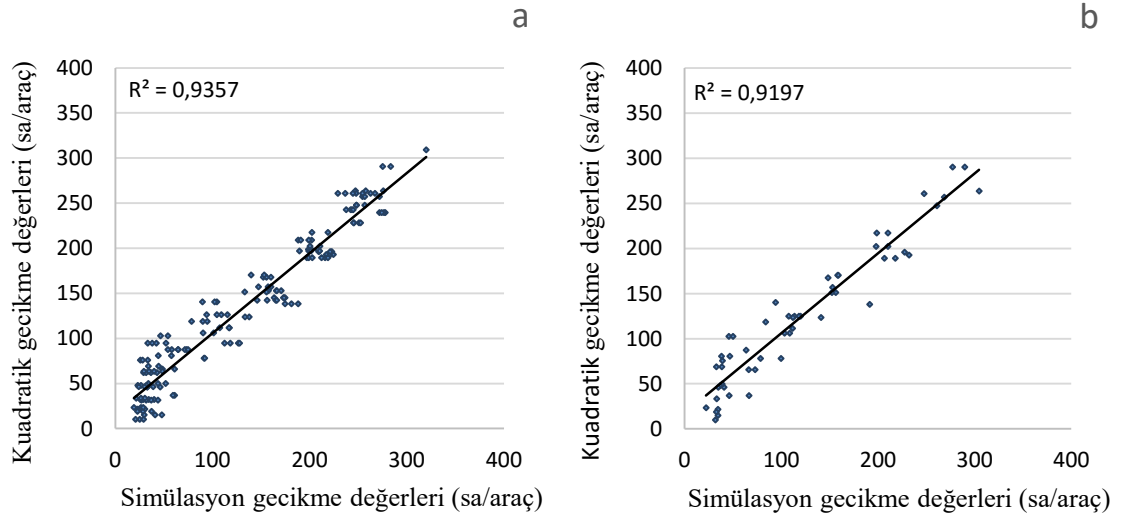
Yapay arı koloni algoritmasına göre bulunan periyot grupları için modellerin dağılım grafikleri Şekil 6.29-40 ile verilmiştir.



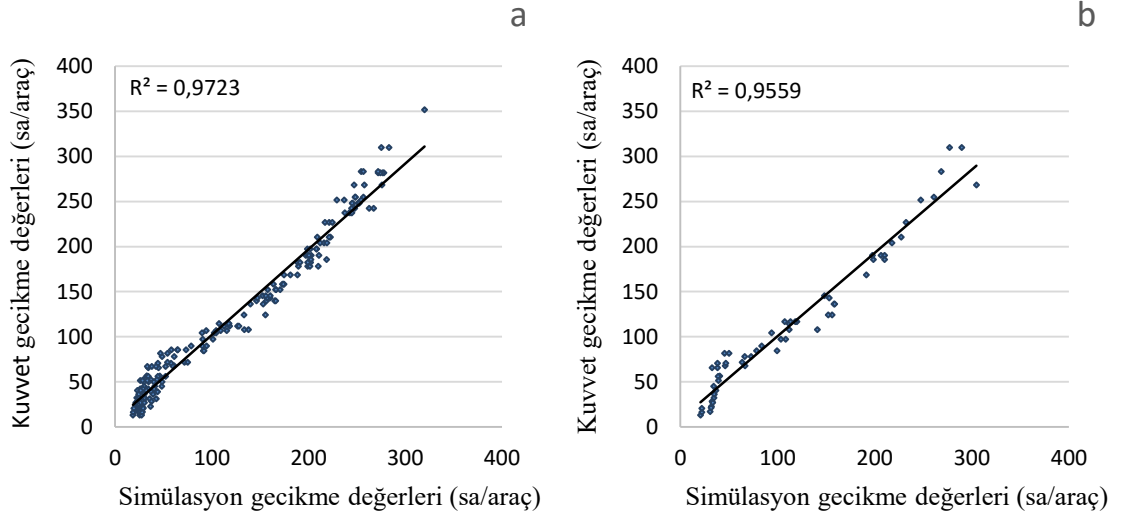
Şekil 6.29. 15 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



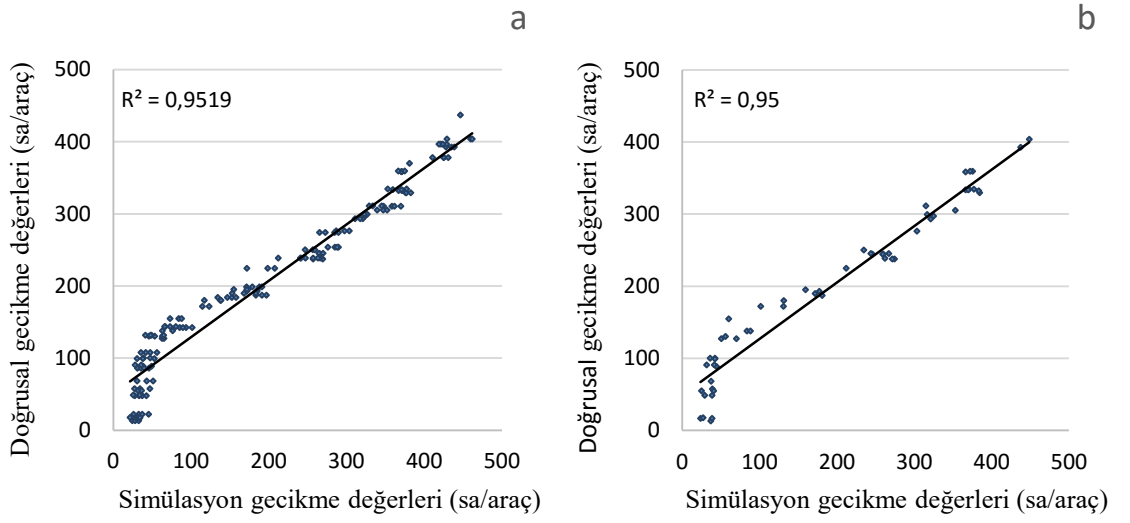
Şekil 6.30. 15 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



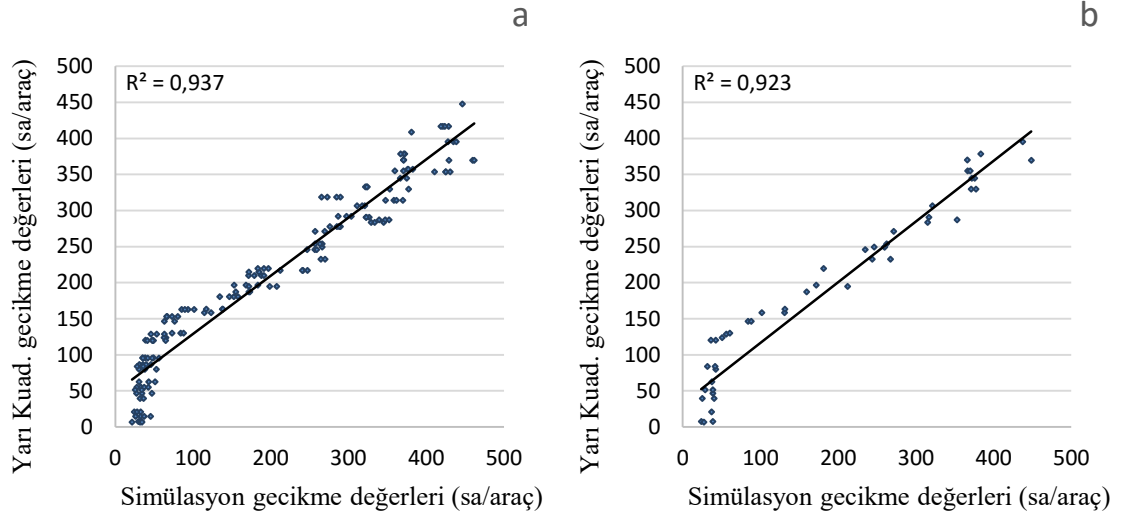
Şekil 6.31. 15 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



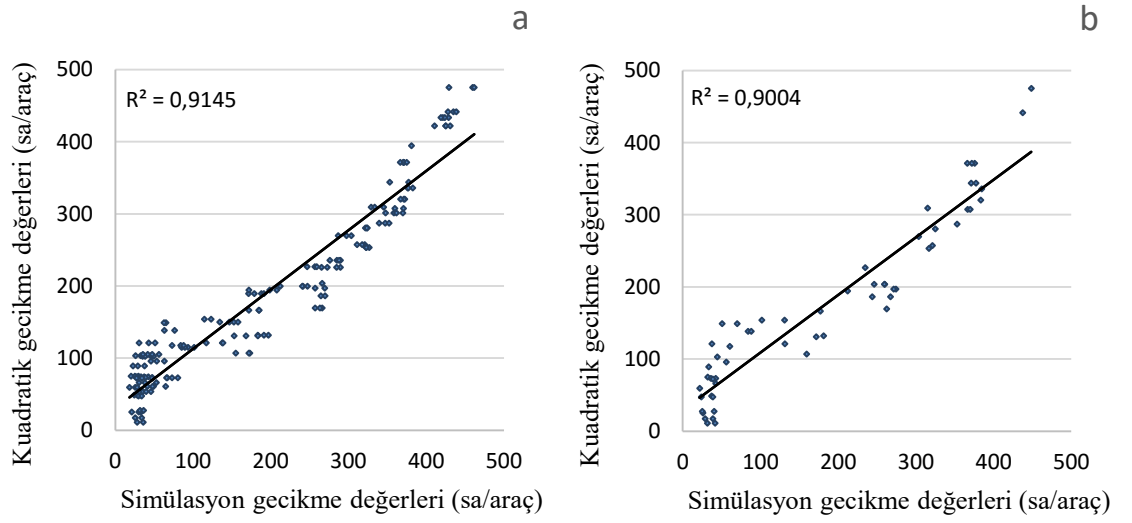
Şekil 6.32. 15 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



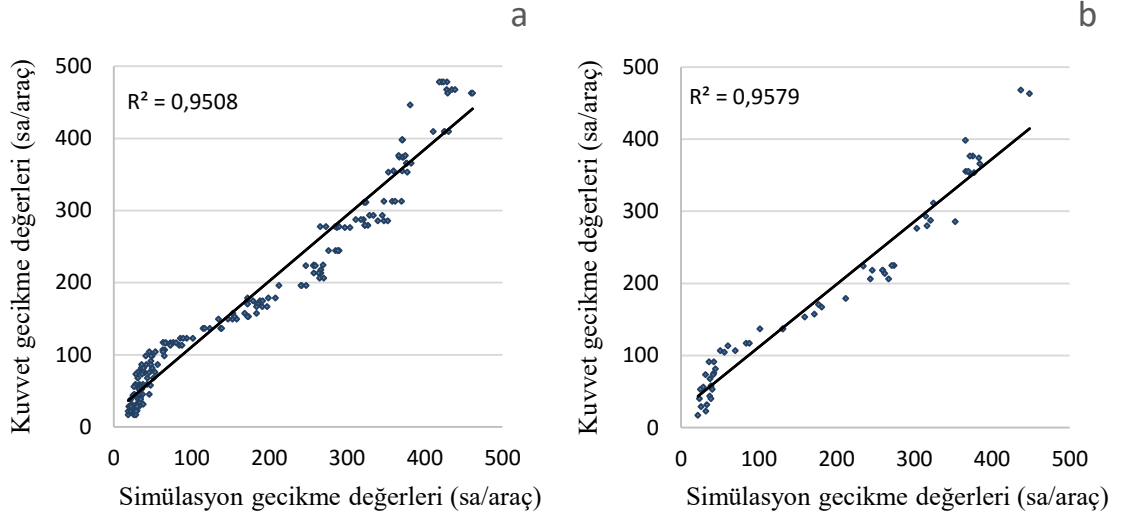
Şekil 6.33. 30 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



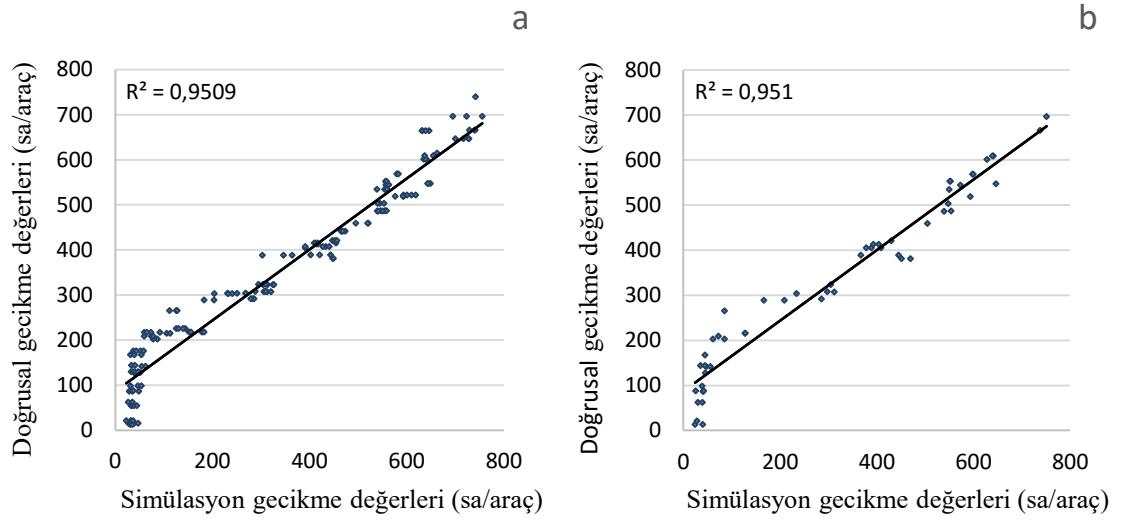
Şekil 6.34. 30 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



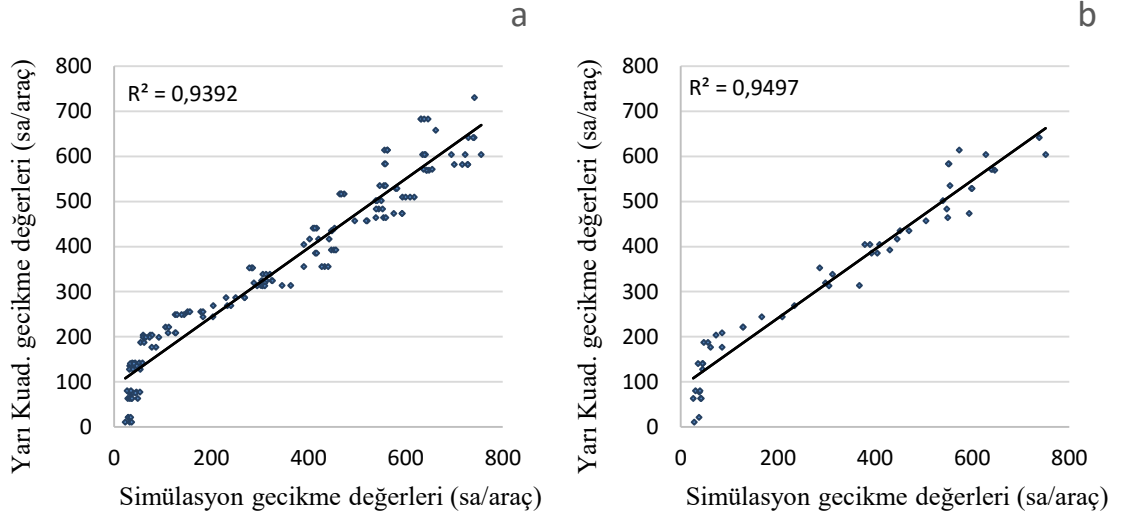
Şekil 6.35. 30 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



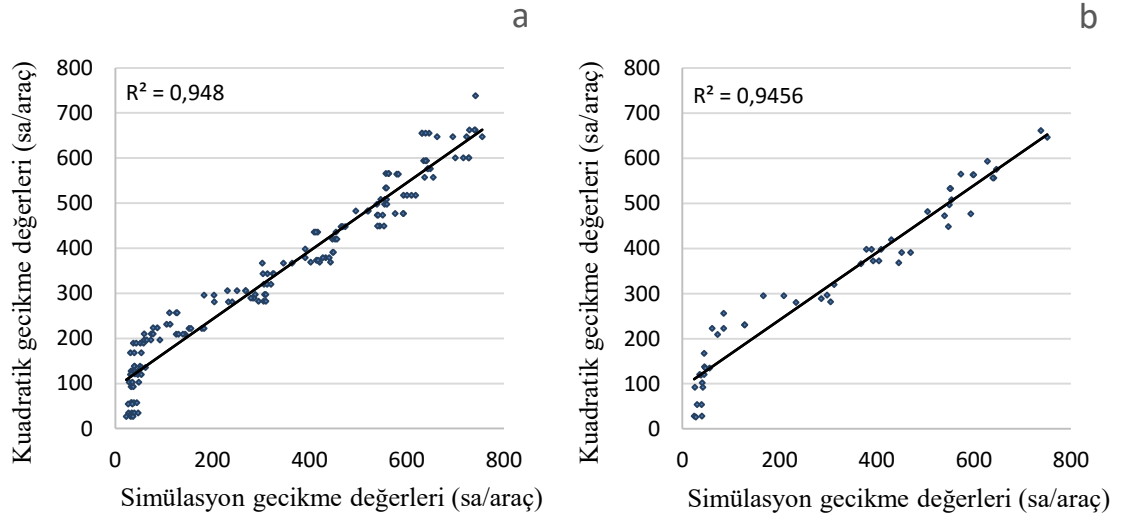
Şekil 6.36. 30 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



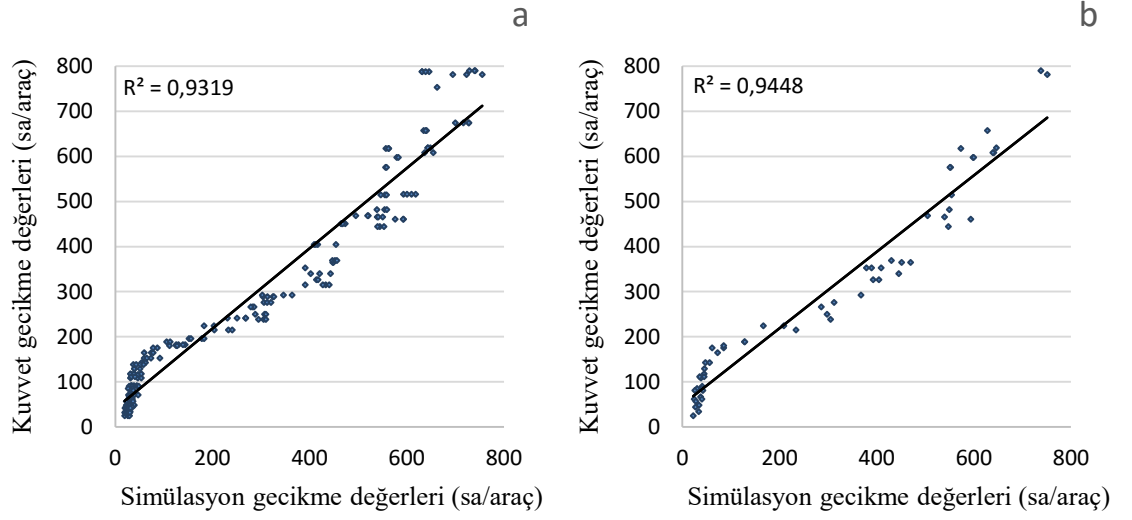
Şekil 6.37. 60 dakika için Doğrusal model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



Şekil 6.38. 60 dakika için Yarı kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



Şekil 6.39. 60 dakika için Kuadratik model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test



Şekil 6.40. 60 dakika için Kuvvet model R^2 ve dağılım: **a** eğitim, **b** test

Periyot gruplandırılmalarına göre analitik yöntemlerle elde edilen gecikme sonuçlarından HCM ve Avustralya modelleri için OMH ve OKHK sonuçları Çizelge 6.1– 6.3 ile verilmiştir. Dört farklı formdaki modelin diferansiyel gelişim ve yapay arı algoritmalarına göre bulgularının OMH ve OKHK sonuçları Çizelge 6.4 – 6.12 ile verilmiştir.

Çizelge 6.4. 15 dakika için modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

	HCM			Avustralya		
	OMH	OKHK	R^2	OMH	OKHK	R^2
Eğitim	13,367	17,527	97,67	11,978	15,933	97,76
Test	12,836	17,664	97,71	12,336	17,006	97,22

Çizelge 6.5. 30 dakika için modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

	HCM			Avustralya		
	OMH	OKHK	R^2	OMH	OKHK	R^2
Eğitim	20,767	30,726	97,23	26,024	40,196	97,04
Test	20,087	29,579	96,97	25,697	38,968	96,74

Çizelge 6.6. 60 dakika için modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

	HCM			Avustralya		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	63,208	104,043	95,07	70,931	115,976	94,93
Test	58,058	92,759	95,99	66,385	105,389	95,87

Çizelge 6.7. 15 dakika için DGA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

	Doğrusal			Yarı kuadratik		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	18,302	23,117	95,77	8,878	11,230	98,36
Test	22,879	27,552	92,85	11,752	14,293	97,01
	Kuadratik			Kuvvet		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	11,916	14,508	97,26	11,763	14,695	97,23
Test	14,109	16,81	95,79	13,857	17,141	95,68

Çizelge 6.8. 30 dakika için DGA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

	Doğrusal			Yarı kuadratik		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	34,139	41,861	95,53	20,483	24,906	97,04
Test	31,306	38,924	96,47	21,609	24,749	97,16
	Kuadratik			Kuvvet		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	22,934	27,521	96,35	26,612	32,383	95,11
Test	22,345	26,675	96,43	26,566	30,871	95,84

Çizelge 6.9. 60 dakika için DGA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

	Doğrusal			Yarı kuadratik		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	59,206	71,148	95,57	46,629	61,750	96,40
Test	54,985	67,603	96,29	46,898	58,592	96,72
	Kuadratik			Kuvvet		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	42,891	52,828	95,28	53,771	63,793	93,64
Test	41,519	49,983	95,98	51,763	60,074	94,91

Çizelge 6.10. 15 dakika için YAKA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

	Doğrusal			Yarı kuadratik		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	21,719	26,292	94,17	21,717	26,220	95,20
Test	24,698	29,339	92,43	26,324	30,632	91,93
	Kuadratik			Kuvvet		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	19,272	23,722	93,57	11,868	14,736	97,23
Test	19,012	24,450	91,97	14,009	17,414	95,59

Çizelge 6.11. 30 dakika için YAKA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

	Doğrusal			Yarı kuadratik		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	36,913	43,403	95,19	37,114	44,988	93,70
Test	36,073	42,616	95	34,216	42,455	92,30
	Kuadratik			Kuvvet		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	36,451	43,847	91,45	26,196	32,517	95,08
Test	39,715	47,124	90,04	26,244	31,277	95,79

Çizelge 6.12. 60 dakika için YAKA'ya göre modellerin eğitim ve test datası için istatistikleri

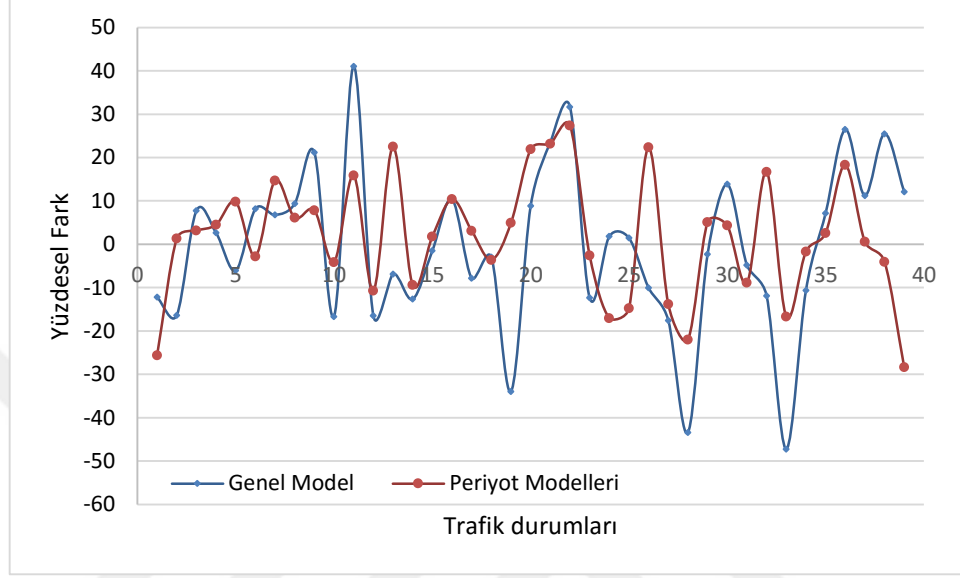
	Doğrusal			Yarı kuadratik		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	60,138	74,614	95,09	65,734	77,395	93,92
Test	58,795	73,822	95,10	61,605	74,184	94,97
	Kuadratik			Kuvvet		
	OMH	OKHK	R ²	OMH	OKHK	R ²
Eğitim	63,640	77,465	94,80	54,125	65,095	93,14
Test	62,835	78,104	94,56	52,769	61,230	94,48

Gruplandırılmış periyotlar için istatistiksel karşılaştırmalar yapıldığında, 15 dakikalık periyotta DGA'nın YAKA'dan daha üstün performans sergilediği görülmüştür. Dört farklı formda ortaya konan modellerde, analitik modellere göre, daha iyi OMH ve OKHK sonuçları elde edilmiştir. Analitik yöntemlerle karşılaştırıldığında doğrusal model en kötü sonucu verirken diğer modeller daha iyi sonuçlar vermiştir. DGA'ya göre optimize edilen modellerde yarı kuadratik model en iyi sonucu vermiş, OHM, OKHK ve R² bakımından sonuçlar göstermiştir ki istenen değere en yakın sonuçları veren modeldir. YAKA'ya göre optimize edilen modellerde ise kuvvet formu HCM analitik yaklaşımından daha iyi performans ortaya koyabilmiştir. 30 dakikalık periyot için DGA optimizasyon modellerinden yarı kuadratik ve kuadratik modeller analitik modellerden daha iyi sonuç vermiş ve özellikle yarı kuadratik model OHM, OKHK ve R² değerleri bakımından en iyi çözümü ortaya koymuştur. YAKA optimize modelleri ise DGA modelleri ve analitik modellerin gerisinde bir performans sergilemiştir. 60 dakikalık periyot sonuçlarına baktığımızda, DGA ve YAKA'ya göre optimize edilen modeller analitik modellerden özellikle OHM ve OKHK bakımından daha iyi sonuçlar vermişlerdir. DGA'nın performans üstünlüğü 60 dakikalık periyotta da görülmektedir. Dört farklı model içinde DGA YAKA'dan daha iyi optimizasyon gerçekleştirerek istenene daha yakın değerler elde edebilmiş ve daha az hata oranlarına sahip olabilmıştır. Periyotlar için yapılan çalışmada sonuçlar göstermiştir ki DGA ile optimize edilen modellerden yarı kuadratik formdaki model diğer modellerden ve analitik yöntemlerden daha az hata ile gecikme değerleri ortaya koyabilmiştir.

Çizelge 6.13. Rastgele seçilen 40 farklı durumun gecikme değerleri

PERİYOT	DOYGUNLUK AKIMI	g/C ORANI	DOYGUNLUK DERECESESİ	GEÇİKME	GENEL MODEL	PERİYOT MODELLERİ
15	1800	0,45	0,99	48,52	60,71	74,12
15	1800	0,60	0,56	27,49	43,86	26,19
15	1800	0,40	1,11	118,33	110,58	115,17
15	1800	0,60	0,74	24,84	22,19	20,33
15	1800	0,35	1,27	188,41	194,49	178,61
15	1800	0,55	1,41	245,30	237,13	248,09
30	1800	0,50	0,67	28,95	22,19	14,23
30	1800	0,40	0,83	51,08	41,72	44,97
30	1800	0,35	1,27	286,78	265,60	278,97
30	1800	0,55	0,81	32,98	49,65	37,12
30	1800	0,40	1,39	382,62	341,55	366,76
30	1800	0,55	1,01	101,61	118,08	112,31
60	1800	0,45	1,23	409,60	416,45	387,10
60	1800	0,55	1,01	183,14	195,80	192,51
15	1650	0,35	1,04	91,27	92,76	89,50
15	1650	0,55	0,66	29,07	18,72	18,70
15	1650	0,40	1,21	146,22	154,04	143,09
15	1650	0,60	0,81	23,16	26,15	26,75
15	1650	0,35	1,39	221,33	255,33	216,41
30	1650	0,45	0,81	47,33	38,51	25,42
30	1650	0,40	1,21	247,02	223,51	223,87
30	1650	0,35	1,39	377,52	345,82	350,10
30	1650	0,40	0,91	56,08	68,43	58,65
30	1650	0,40	1,52	437,38	435,56	454,45
60	1650	0,45	0,81	48,70	47,26	63,48
60	1650	0,50	1,21	378,83	388,89	356,48
60	1650	0,50	1,45	640,97	658,52	654,79
60	1650	0,60	1,41	558,38	601,80	580,42
15	1500	0,60	0,67	22,25	24,53	17,13
15	1500	0,45	0,89	48,47	34,62	44,13
15	1500	0,50	1,07	78,60	83,42	87,48
15	1500	0,40	1,33	201,40	213,28	184,74
15	1500	0,45	1,48	236,87	284,11	253,54
30	1500	0,45	0,89	52,78	63,42	54,48
30	1500	0,45	1,19	212,34	205,20	209,74
30	1500	0,40	1,33	329,10	302,63	310,80
30	1500	0,35	1,52	461,70	450,48	461,14
60	1500	0,45	1,19	390,83	365,33	394,88
60	1500	0,60	1,11	294,63	282,55	323,01

Rastgele seçilen trafik durumları için gruplandırılmış periyot modelleri ile genel model formunun karşılaştırılması yapılarak performansları değerlendirilmiştir. Elde edilen gecikme değerleri Çizelge 6.13. ile verilmiştir. Ayrıca yüzdesel hataların dağılım grafiği Şekil 6.41 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.41. Yüzdesel Farklar Dağılımı

Farklı trafik durumlarını oluşturan periyot, doyumluk akımı, g/c oranı ve doyumluk derecesine göre rastgele seçilmiş 40 farklı durumun ortaya konan genel ve gruplandırılmış periyotlara göre modellerden en iyi sonucu veren yarı kuadratik forma göre elde edilen gecikme değerleri karşılaştırıldığında, gruplara göre elde edilen modellerin daha yakın değerler elde ettiği görülmüştür. Ayrıca yüzdesel hatalar dağılıma göre de bu durum bariz şekilde daha düşük farklar olarak görülmektedir. Böylece gecikme hesabında periyot gruplarına göre modelleri kullanmak daha doğru ve hassas sonuçlar elde edebilmeyi sağlamıştır.

7. SONUÇLAR

Gecikme tahmini için geliştirilen dört farklı formdaki doğrusal, yarı kuadratik, kuadratik ve kuvvet modellerinin iki farklı yöntem kullanılarak optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tercih edilen bu farklı iki optimizasyon yöntemi diferansiyel gelişim algoritması ve yapay arı kolonisi algoritmalarıdır. Bu algoritmalara göre optimize edilen modellerin sonuçları simülasyondan alınan gecikme değerlerine ve analitik yöntemlerle elde edilen değerlere göre karşılaştırılarak performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. 750 farklı trafik durumu kullanılarak ortaya konan modellerde diferansiyel gelişim algoritması, yapay arı kolonisi algoritmasından daha etkili olmuştur. Modellerin değerlendirilmesinde bütün formlar için DGA'ya göre optimize edilen modeller YAKA'ya göre optimize edilen modellerden daha az hataya sahip sonuçlar vermiştir. Özellikle DGA ile optimize edilen yarı kuadratik formundaki model hem diğer formlardan hem de analitik modellerden OHM, OKHK ve R^2 bakımından daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur. Bu sonuçlar sırasıyla eğitim ve test verileri için 26,017 OHM değeri, 34,350 OKHK, 96,78 R^2 , 25,515 OHM değeri, 34,470 OKHK ve 96,73 R^2 olarak elde edilmiştir. Hem DGA hem de YAKA'ya göre optimize edilen doğrusal formdaki model ise en kötü sonuçları göstererek analitik yöntemlerden de daha fazla hata oranına sahip gecikme değerleri elde etmiştir. Kuadratik ve kuvvet modelleri ise analitik yöntemlerden daha iyi performans göstermiştir. YAKA modellerinden kuvvet formundaki model diğer üç formdan ve analitik modellerden daha üstün performans göstermiş fakat DGA yarı kuadratik formdan geri kalmıştır. Bu sonuçlar göstermektedir ki, yarı kuadratik modelle elde edilen gecikme değerleri istenen değere en yakındır.

Bu çalışmanın diğer bir kısmında bağımsız değişken olarak kullanılan periyotların kendi içerisinde gruplandırılmış olmasından dolayı, her grup için aynı model formlarını kullanarak modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller DGA ve YAKA'ya göre optimize edilerek bulunmuştur. Her gruba ait modellerin performans değerlendirilmesi birbirleriyle ve analitik modellerle karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Üç farklı grup içinde DGA modellerinin sonuçları YAKA modellerinin sonuçlardan daha iyidir. DGA'ya göre optimize edilen modellerden doğrusal modeller en kötü sonuçları verirken diğer formlar analitik modellerden daha iyi sonuçlar vermiştir. Özellikle de yarı

kuadratik model en iyi sonucu vermiştir. YAKA modellerinde kuvvet formu analitik modellerden daha iyi sonuçlar verirken, diğer model formları daha kötü sonuçlar vermiştir. Ayrıca DGA'ya göre optimize edilen genel gecikme modellerinden yarı kuadratik model sonuçları ile periyotlara göre ortaya konan ve en iyi sonucu veren DGA yarı kuadratik modelinin karşılaştırılması yapılmış ve yüzdesel hatalar dağılımı verilmiştir. Aynı trafik durumları için periyotlara göre ortaya konan gecikme modelinin sonuçları genel modelin ürettiği sonuçlardan daha iyi sonuçlar üretmiştir. Yüzdesel hatalar dağılımında daha düşük hata oranları göstererek istenen değere yakın sonuçlar elde edildiği anlaşılmıştır.

Yapılan bu çalışma ile sezgisel optimizasyon yöntemlerinin ulaştırma mühendisliği problemlerinden kavşaklarda ki gecikme hesabında uygulanması sağlanarak mevcut modellerle karşılaştırılması sonucu performansları ortaya konulmuştur. Farklı yaklaşımların ve model formlarının gecikme hesabında etkin şekilde kullanılıp daha kolay ve pratik ulaşılabilir parametre değerleriyle gecikmenin hesaplanabilmesinin mümkün olduğu sonuçlarla ortaya konulmuştur.

Kullanılan algoritmalarından YAKA algoritmasının geliştirmekte olan bir algoritma olması ve farklı parametre eklemeleriyle yeni versiyonların geliştirilmesi ile daha az hataya sahip modellerin üretilebilmesinin mümkün olacağı düşünülmektedir. Ayrıca karınca algoritması, parçacık sürü optimizasyonu, ateş böceği, kurt algoritması vb. gibi farklı yaklaşımların da gecikme hesabına uygulanmasının mümkün olacağı tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yayla N., Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.
- [2] Akgüngör A., Yıldız O., Demirel, A., A Sensitivity Analysis of the HCM 2000 Delay Model with the Factorial Design Method, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences. 30(4): 259-267, 2006.
- [3] Allops, R.E., Delay at a Fixed Time Traffic Signal-I: Theoretical Analysis, Transportation Science. 6(3): 260-285, 1972.
- [4] Wester, F.V., Traffic Signal Settings, Road Research Laboratory Technical. 39, 1958.
- [5] Kimber, R., Hollis, E., Traffic queues and delays at road junctions, TRRL Laboratory Report 909, 1979.
- [6] Akçelik, R., Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis Research Report 123, Australian Road Research Board, 1981.
- [7] F. H. Administration, Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 209, 1985.
- [8] Akgüngör, A.P., Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Tahmininin Matematiksel Modellenmesi I: Farklı Çözümleme Süreleri İçin Zamana Bağlı Yeni Bir Gecikme Modeli, Teknoloji. 7(3): 369-379, 2004.
- [9] Akçelik, R., The highway capacity manual delay formula for signalized intersections, ITE Journal. 3(58): 23-27, 1988.
- [10] Burrow, I., A Note on Traffic Delay Formulas, ITE Journal, 29-32, 1989.

- [11] F. H. Administration, Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 209, 1994.
- [12] F. H. Administration, Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 209, 1997.
- [13] Powell, J. L., Field Measurement of Signalized Intersection Delay for 1997 Update of the Highway Capacity Manual, Transportation Research Record, 98: 1416, 1998.
- [14] Dion, F., Rakha H., Kang, Y.S., Comparison of delay estimates at under-saturated and over-saturated pre-timed signalized intersections, Transportation Research Part B. 38: 1-24, 2004.
- [15] F. H. Administration, Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 209, 2000.
- [16] F. H. Administration, Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 209, 2010.
- [17] Hadiuzzaman, M., Development of Saturation Flow, Bangladesh. Msc Thesis. Bangladesh University of Engineering And Technology, Bangladesh, 2008.
- [18] Jameel, A.K., Estimating Delay Time At Palestine Street Intersections In Baghdad City Using Hcm And Sidra Models, Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences. 4(1), 2011.
- [19] Qiao, F., Yi, P., YANG, H., Devarakonda, S., Fuzzy Logic Based Intersection Delay Estimation, Mathematical and Computer Modelling. 36: 1425-1434, 2002.
- [20] Gökdağ, M., Haşiloğlu, A., Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Yapay Bulanık Sinir Ağı ile Tahmin Edilmesi”, İMO Teknik Dergi, 2001.

- [21] Haşıloğlu, A., Gökdağ, M., Karsli, N., Comparison an artificial intelligence-based model and other models: signalized intersection delay estimates, *International Journal of Engineering and Innovative Technology*. 4(3), 2014.
- [22] Başkan, Ö., İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıit Gecikmelerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2004.
- [23] Murat, Y.Ş., Comparison of fuzzy logic and artificial neural networks approaches in vehicle delay modeling, *Transportation Research Part C*, 316-334, 2006.
- [24] Başkan, Ö., Haldenbilen, S., Ant Colony Optimization Approach for Optimizing Traffic Signal Timings, *Ant Colony Optimization - Methods and Applications*, 205-220, 2011.
- [25] Dell'Orco, M., Başkan. Ö., Marinelli, M., A Harmony Search Algorithm approach for optimizing traffic signal timings, *PROMET - Traffic and Transportation*. 25(4): 349-358, 2013.
- [26] Dell'Orco, M., Başkan. Ö., Marinelli, M., Artificial Bee Colony-Based Algorithm for Optimising Traffic Signal Timings, *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 223: 327-337, 2013.
- [27] Ceylan, H., Optimal Design of Signal Controlled Road Networks Using Differential Evolution Optimization Algorithm, *Mathematical Problems in Engineering*, 2013.
- [28] Tuncuk, M., Karaşahin, M., Şehir İçi Eş Düzey Kavşak Geometrilerinin Ve Kazalara Etkilerinin İncelenmesi, İMO.
- [29] Gedizlioğlu, E., Trafik Yönetimi Ders Notları, İstanbul, 2007.
- [30] Karayolları Trafik Kaza İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu, 2004.

- [31] T. T. Ş. Müdürlüğü, Trafik İşaretleri El kitabı I, 2004.
- [32] Uysal, Y., Kavşak ve Kavşaklarda Sinyalizasyon, Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, 2001.
- [33] Çubuk, M.K., Köprülü Kavşak Tiplerinin Avantaj Ve Dezavantajları, II Ulaşım ve Trafik Kongresi, Ankara, 1999.
- [34] Wikipedia, the free encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Garrett_Morgan. [Erişildi: Ağustos 2015].
- [35] Murat, Y.Ş., Kentsel Ulaşım Çerçevesinde Sinyalize Kavşak Etütleri, II. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu, Adana, 1999.
- [36] Murat, Y.Ş., Trafik Mühendisliği Ders Notları, Denizli.
- [37] Hurdle, V., Signalized Intersection Delay Models - A Primer for the Uninitiated, Transportation Research Record 971:. 96-105, 1984.
- [38] Storn, R., Price, K., Differential Evolution - A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces, International Computer Science Institute, University of California, Technical Report TR-95-012, 1995.
- [39] Bergey, P., Ragsdale, C., Modified differential evolution: a greedy random strategy for genetic recombination, Omega. 33: 255-265, 2005.
- [40] Price, K.v., Storn, R.M., Lampinen, J.A., Differential evolution: a practical approach to global optimization, Springer, 538, 2005.
- [41] Zaharie, D., Influence od crossover on the behavior of Differential Evolution Algorithms, Applied Soft Computing. 9: 1126-1138, 2009.

- [42] Mallipeddi, R., Suganthan, P., Pan, Q., Tasgetiren, M., Differential Evolution Algorithm with ensemble of parameters and mutation strategies, Applied Soft Computing, 11: 1679-1696, 2011.
- [43] Diferansiyel Gelişim Algoritması, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 9: 85-99, 2006.
- [44] Akay, B., Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Performans Analizi. Doktora Tezi. Erciyes Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2009.
- [45] Tereshko, V., Reaction-Diffusion Model of a Honey Bee Colony's Foraging Behaviour, 6th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature, London, 2000.
- [46] Karaboğa, D., Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Nobel, İstanbul, 2014.
- [47] Yahya, H., Bal Arısı Mucizesi, Araştırma Yayıncılık, İstanbul: 2006.
- [48] Kara, M., Düşük Hızlı Darbe Sonrası Yama ile Tamir Edilmiş Filaman Sarım CTP Boruların İç Basınç Altındaki Hasar Davranışı. Doktora Tezi. Konya, 2012.
- [49] Akgüngör A., Yıldız O., Demirel, A., A Sensitivity Analysis of the HCM 2000 Delay Model with the Factorial Design Method, Turkish J. Eng. Env. Sci. 30: 259-267, 2006.