



**T.C. İSTANBUL T CARET  
ÜNİVERSİTESİ**

**FEN B LİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKILLI ŐEH RLER VE VERİ ANALİTİĞİ- SİNYALİZE  
KAVŞAKLARIN PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİNDE  
ANALİTİK YÖNTEMLER VE TRAFİK AKIMININ KUYRUK TEORİSİ  
İLE MODELLENMESİ**

**Fatih GÜNEŞ**

**Danışman  
Prof. Dr. Abd l Halim ZAIM**

**İkinci Tez Danışmanı  
Dr. ÖĞr. Üyesi Selim BAYRAKLI**

**DOKTORA TEZİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
İSTANBUL- 2021**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Fatih GÜNEŞ** tarafından hazırlanan " Akıllı Şehirler ve Veri Analitiği- Sinyalize Kavşakların Performans Değerlendirilmesinde Analitik Yöntemler ve Trafik Akımının Kuyruk Teorisi ile Modellenmesi" adlı tez çalışması 07/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

|                   |                                                                        |       |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Danışman</b>   | <b>Prof. Dr. Abdül Halim ZAİM</b><br>İstanbul Ticaret Üniversitesi     | ..... |
| <b>Jüri Üyesi</b> | <b>Prof. Dr. Selim AKYOKUŞ</b><br>İstanbul Medipol Üniversitesi        | ..... |
| <b>Jüri Üyesi</b> | <b>Doç. Dr. Muhammed Ali AYDIN</b><br>İstanbul Üniversitesi            | ..... |
| <b>Jüri Üyesi</b> | <b>Doç. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI</b><br>İstanbul Ticaret Üniversitesi | ..... |
| <b>Jüri Üyesi</b> | <b>Dr. Öğr. Üyesi Metin TURAN</b><br>İstanbul Ticaret Üniversitesi     | ..... |

**Onay Tarihi:** 29.07.2021

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünün 29.07.2021 tarih ve 2021/317 numaralı Yönetim Kurulu Kararının 4. maddesi gereğince, ders yüklerini ve tez yükümlülüğünü yerine getirdiği belirlenen "Fatih GÜNEŞ" adlı öğrencinin mezun olmasına oy birliği ile karar verilmiştir.

**Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK**  
Enstitü Müdürü

## **AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

29.07.2021

**Fatih GÜNEŞ**

# İÇİNDEKİLER

|                                                | Sayfa |
|------------------------------------------------|-------|
| İÇİNDEKİLER.....                               | i     |
| ÖZET .....                                     | iv    |
| ABSTRACT .....                                 | v     |
| TEŞEKKÜR.....                                  | vi    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                          | vii   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                        | ix    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....           | x     |
| 1. GİRİŞ.....                                  | 1     |
| 1.1. Araştırma Sorunu .....                    | 2     |
| 1.2. Araştırmanın Önemi .....                  | 3     |
| 1.3. Araştırmanın Amacı .....                  | 4     |
| 1.4. Araştırma Metodolojisi .....              | 4     |
| 1.5. Tez Organizasyonu .....                   | 4     |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ .....                       | 6     |
| 3. AKILLI ŞEHİRLER.....                        | 11    |
| 3.1. Akıllı Şehirler ve Bileşenleri .....      | 13    |
| 3.1.1. Nesnelerin İnterneti .....              | 13    |
| 3.1.2. Büyük Veri.....                         | 15    |
| 3.1.3. Bulut Bilişim .....                     | 17    |
| 3.2. Akıllı Ulaşım Sistemleri .....            | 20    |
| 3.2.1. Trafik Yönetim Sistemleri .....         | 21    |
| 3.2.2. Dönel Kavşaklar .....                   | 24    |
| 3.2.3. Sinyalizasyon Sistemleri .....          | 25    |
| 3.2.4. Sinyalizasyon Planları.....             | 26    |
| 3.2.4.1. Sabit Süreli .....                    | 26    |
| 3.2.4.2. Yarı Sabit Süreli.....                | 26    |
| 3.2.4.3. Dinamik Sinyal Planı .....            | 27    |
| 3.2.4.4. Adaptif Sinyal Planı.....             | 28    |
| 3.2.5. Sinyalize Kavşaklar .....               | 28    |
| 3.2.5.1. Sinyalize Kavşaklar Tanımları .....   | 28    |
| 3.2.5.2. İzole ve Koordineli .....             | 30    |
| 3.2.6. Sinyalize Kavşak Hesap Yöntemleri ..... | 30    |
| 3.2.6.1. Kavşak Performans Kriterleri .....    | 30    |
| 3.2.6.2. Trafik Akış Verisi .....              | 31    |
| 3.2.6.3. Sinyalize Kavşaklarda Gecikme .....   | 31    |
| 3.2.6.3.1. Webster Modeli .....                | 33    |
| 3.2.6.3.2. Akcelik Modeli.....                 | 33    |
| 3.2.6.3.3. HCM 2000 Modeli .....               | 34    |
| 3.2.7. Araç Tespiti ve Algılayıcılar .....     | 35    |
| 4. ANALİTİK YAKLAŞIMLAR.....                   | 42    |
| 4.1. Makine Öğrenmesi.....                     | 42    |
| 4.2. Zaman Serisi Modelleri .....              | 43    |
| 4.3. Derin Öğrenme .....                       | 44    |
| 4.3.1. Yapay Sinir ağları .....                | 45    |
| 4.3.1.1. Öğrenme Paradigmaları.....            | 48    |
| 4.3.1.2. Sinir Ağlarının Öğrenmesi.....        | 48    |

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.2. Derin Öğrenme Modelleri .....                             | 49  |
| 4.3.2.1. Çok Katmanlı Perceptron .....                           | 49  |
| 4.3.2.2. CNN-(Evrişimsel Sinir Ağı) .....                        | 50  |
| 4.3.2.3. RNN-(Yinelemeli Sinir Ağı) .....                        | 52  |
| 4.3.2.4. LSTM-Uzun/Kısa Sıralı Bellek) .....                     | 53  |
| 4.4. Kuyruk Teorisi .....                                        | 54  |
| 4.4.1. Kuyruk Sistemi Bileşenleri.....                           | 55  |
| 4.4.2. Poisson Dağılımı.....                                     | 57  |
| 4.4.3. Üstel Dağılım.....                                        | 58  |
| 4.4.4. Erlang Dağılımı .....                                     | 60  |
| 4.4.5. Deterministik (Dejenere) Dağılım.....                     | 61  |
| 4.4.6. Uniform (Tekdüze) Dağılım .....                           | 62  |
| 4.4.7. Little Kanunu .....                                       | 63  |
| 4.4.8. Öncelikli Kuyruklar .....                                 | 64  |
| 4.4.9. Zamanlama Algoritmaları.....                              | 64  |
| 4.4.9.1. En kısa iş ilk önce (Shortest-Job-First) .....          | 65  |
| 4.4.9.2. Round Robin (RR) .....                                  | 65  |
| 4.4.9.3. Çok Kuyruklu Zamanlama Algoritması (Multilevel Queue).. | 66  |
| 4.4.9.4. İlk Gelen önce (First-Come, First-Served) .....         | 66  |
| 4.4.9.5. Öncelik Tabanlı (Priority Scheduling) .....             | 66  |
| 4.4.10. M/M/1/∞/∞ Kuyruk Modeli .....                            | 67  |
| 4.4.11. M/M/c/∞/∞ Kuyruk Modeli.....                             | 68  |
| 4.4.12. M/G/1/∞/∞ Kuyruk Modeli .....                            | 69  |
| 4.4.13. G/G/1/∞/∞ Kuyruk Modeli .....                            | 70  |
| 5. TRAFİK SİMÜLASYONU .....                                      | 71  |
| 5.1. Simülasyon Modelleri .....                                  | 72  |
| 5.1.1. Mikroskopik Modelleme .....                               | 72  |
| 5.1.1.1 Araç Takip Modeli .....                                  | 72  |
| 5.1.1.2 Şerit Değiştirme Modeli.....                             | 73  |
| 5.1.1.3 Akımlar arası Boşluk Modeli.....                         | 74  |
| 5.1.2. Makroskopik Modelleme .....                               | 74  |
| 5.1.3. Mezoskopik Modelleme.....                                 | 74  |
| 5.2. Simülasyon Araçları .....                                   | 75  |
| 5.2.1. Vissim .....                                              | 75  |
| 5.2.2. Sidra .....                                               | 76  |
| 5.2.3. Sumo .....                                                | 76  |
| 5.2.4. Syncro.....                                               | 77  |
| 6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....                          | 78  |
| 6.1. Saha Çalışmaları ve Verilerin Toplanması .....              | 78  |
| 6.2. Materyal ve Yöntem.....                                     | 80  |
| 6.2.1. Verilerin Toplanması.....                                 | 82  |
| 6.3. Dağılım ve Kuyruk Analizleri .....                          | 85  |
| 6.4. Dinamik Faz Sıraları Modeli .....                           | 92  |
| 6.5. Sinyal Süreleri Hesap Yöntemi .....                         | 94  |
| 6.6. Trafik Akışı Tahmini .....                                  | 97  |
| 6.7. R Studio .....                                              | 101 |
| 6.8. Vissim Simülasyon Çıktıları .....                           | 103 |
| 7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                        | 105 |
| KAYNAKLAR .....                                                  | 108 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| EKLER.....            | 118 |
| EK A. Kavşaklar ..... | 118 |
| ÖZGEÇMİŞ.....         | 122 |



## ÖZET

### Doktora Tezi

# AKILLI ŞEHİRLER VE VERİ ANALİTİĞİ- SİNYALİZE KAVŞAKLARIN PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİNDE ANALİTİK YÖNTEMLER VE TRAFİK AKIMININ KUYRUK TEORİSİ İLE MODELLENMESİ

Fatih GÜNEŞ

İstanbul Ticaret Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdül Halim ZAIM

İkinci Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Selim BAYRAKLI  
2021, 123 sayfa

Gelişen algılayıcı sistemleri ve altyapı bileşenleri trafik yönetim sistemlerini daha elverişli hale getirmiş ve artan kentleşme karşısında akıllı ulaşım teknolojilerinin kullanımını yaygınlaştırmıştır. Şehir içi trafiğinin en önemli düzenleyicilerinden olan sinyalize kavşaklar, sahadan toplanan veriler sayesinde trafik akışının yönetiminde kritik bir konuma gelmiştir. Yapılan bu çalışmada sinyalize kavşaklarda kullanılan metod ve yöntemler incelenmiştir. Gecikme, doymun akım, sinyal süreleri, sistem doluluk oranı, faz planları gibi öne çıkan tanımlar incelenmiştir. Gittikçe uygulama alanın genişlediğini gördüğümüz derin öğrenme yöntemlerinin trafik problemlerindeki yaklaşımları ele alınmış ve öne çıkan metodlar detaylandırılmıştır. Çalışmanın ana konusu kuyruk teorisi, tüm modelleri ve bileşenleri detaylı olarak anlatılmıştır. Sahadan elde edilen veriler ile araçların geliş, gidiş ve akış karakteristiklerine göre kuyruk modelleri çıkarılmış ve sinyalize bir kavşaktaki bağlı kolların kuyruk uzunlukları, sistemde geçirilen zaman, araç başı servis süreleri, ortalama bekleme süreleri gibi ölçütler hesaplanmıştır. Elde edilen ölçütlere göre kavşak kollarının sırasını ve bu kolların yoğunluğa göre boşaltılmasını sağlayan bir model önerilmiştir. Ayrıca buna bağlı olarak sinyal süreleri hesap yöntemi önerilmiştir. Trafik akımlarının tahmininde derin öğrenme metodlarından LSTM kullanılarak zaman serileri ile tahmini ve gözlem verileri elde edilmiştir. Yapılan iyileştirmeler ile mevcut sistemlerin performansı karşılaştırılarak sonuçları sunulmuştur. Önerilen model ve iyileştirmeler Vissim simülasyon aracı ile gerçekleştirilerek sonuçlardaki etkisi gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı ulaştırma sistemleri, derin öğrenme ile trafik analizi, kuyruk teorisi, sinyalize kavşaklar, trafik akım tahmini.

## **ABSTRACT**

**Ph.D. Thesis**

### **SMART CITIES AND DATA ANALYTICS- ANALYTICAL METHODS FOR THE PERFORMANCE EVALUATION OF SIGNALIZED INTERSECTIONS AND MODELING OF THE TRAFFIC FLOW WITH QUEUEING THEORY**

**Fatih GÜNEŞ**

**İstanbul Commerce University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Computer Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Abdül Halim ZAİM**

**Co-Supervisor: Assist. Prof. Dr. Selim BAYRAKLI  
2021, 123 pages**

In recent years, the use of smart transportation systems has come to the fore more with the increase in urbanization and population density. Developing sensor systems and infrastructure components have also made traffic management systems more convenient. Signalized intersections, one of the most important regulators of urban traffic, have become critical in the management of traffic flow, thanks to data collected from the field. In this study, the methods and techniques used in signalized junctions are examined. Queue theory, which is the main subject of the study, is explained in detail with all models and components. Queueing models were developed according to the arrival, departure and flow characteristics of the vehicles with the data obtained from the field. Accordingly, criteria such as tail lengths of a signalized junction approach arms, time spent in the system, service time per vehicle, and average waiting times were obtained. According to the measures obtained, a model is proposed that provides the order of the junction arms and the discharge of these arms according to the density. In addition, signal duration calculation method is proposed. Estimation of traffic flows was made by using LSTM, one of the deep learning methods, and successful results were obtained. The results were presented by comparing the improvements with the performance of the existing systems. In addition, Sidra, Vissim and Intersect softwares, which are prominent in traffic engineering, were examined and the results were simulated with Vissim. All of the applications and methods were carried out on real field data obtained from the intersections selected from Istanbul and Konya provinces.

**Keywords:** Deep learning, intelligent transportation systems, queueing theory, signalized intersections, traffic flow prediction.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman Hocam Prof. Dr. Abdul Halim ZAIM'e, teşekkürlerimi sunarım. Literatür araştırmalarımnda, dergi ve makale çalışmalarımnda yardımcı olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Selim BAYRAKLI'ya teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarımnda ve tez izlemelerimnde değerli görüşlerine başvurduğum izleme komitesi üyeleri saygıdeğer Doç. Dr. Muhammed Ali AYDIN ve Dr. Öğr. Üyesi Metin TURAN hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmamın özellikle veri, materyal ve saha çalışmaları safhalarında yardımlarını gördüğüm İstanbul Büyükşehir Belediyesi iştiraklerinden İSBAK A.Ş., Ankara Teknopark'ta faaliyet gösteren ISSD Bilişim Elektronik ve Kocaeli'de faaliyet gösteren HIZNET Akıllı Ulaşım Sistemleri firmaları ve yetkililerine şükranlarımı sunarım. Özellikle ISSD firmasından Çağrı YÜZBAŞIOĞLU Bey ve Fulya ÖZSAN Hanıma destekleri için ayrıca teşekkür ederim. Gerekli izinleri sağlayan Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Konya Büyükşehir Belediyesi ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik ve Ulaştırma birimlerine teşekkür ederim. Ayrıca PTV Vissim Simülasyonu aracının kullanımı için gerekli lisansları sağlayan Almanya merkezli PTV Group firmasına da teşekkür ederim. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yetkililerine tüm süreç boyunca göstermiş oldukları yakın ilgi ve alaka için teşekkür ederim.

Son olarak tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan eşime, yeri geldiğinde ilgi ve alakayı esirgediğim oğlum Mehmet Akif ve kızım Meva'ya, desteklerini her zaman arkamda hissettiğim annem, babam ve kız kardeşim Elif'e sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Fatih GÜNEŞ  
İSTANBUL, 2021

## ŞEKİLLER

|                                                                                                                            | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.1. Yıllara göre 1000 kişi başına düşen otomobil sayısı .....                                                       | 1     |
| Şekil 3.2. Akıllı Şehir Mimarisi ve Teknoloji Bileşenleri .....                                                            | 20    |
| Şekil 3.3. Algılayıcılar ile donatılmış bir kavşak planı .....                                                             | 22    |
| Şekil 3.4. Kavşak tasarımında dikkat edilen kısıtlar .....                                                                 | 25    |
| Şekil 3.5. Sinyal Planları Değişimi .....                                                                                  | 28    |
| Şekil 3.6. Örnek Faz Sırası İstanbul Bostancı Tataraga Camisi Kavşağı .....                                                | 30    |
| Şekil 3.7. Sinyal Devre Diyagramı .....                                                                                    | 31    |
| Şekil 3.8. Taşıt Gecikme Diyagramı .....                                                                                   | 34    |
| Şekil 3.9. Asfalt üstü ve altı (intrusive) yerleştirilen algılayıcı sistemleri .....                                       | 40    |
| Şekil 3.10. Yolu uzaktan gören algılayıcı sistemler .....                                                                  | 41    |
| Şekil 3.11. Kavşak üzerinde algılayıcıların yerleşim planı<br>-Kocaeli Kartonsan .....                                     | 44    |
| Şekil 4.1. Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme ilişkisi .....                                                    | 47    |
| Şekil 4.2. İnsan Beyin Hücre Yapısı .....                                                                                  | 48    |
| Şekil 4.3. Sinir Hücresinin Matematiksel Modeli .....                                                                      | 49    |
| Şekil 4.4. Çok Katmanlı Sinir Ağları .....                                                                                 | 53    |
| Şekil 4.5. CNN Genel Mimarisi .....                                                                                        | 54    |
| Şekil 4.6. RNN Döngü Yapısı .....                                                                                          | 55    |
| Şekil 4.7. Kuyruk Sistemi Bileşenleri .....                                                                                | 58    |
| Şekil 4.8. Poisson Eğrisi .....                                                                                            | 61    |
| Şekil 4.9. Üstel Dağılım Grafiği .....                                                                                     | 62    |
| Şekil 4.10. Ortalama değerin 1 ve şekil parametresi k'nın farklı değerleri<br>için Erlang dağılım grafiği .....            | 63    |
| Şekil 4.11. Sürekli Tekdüze Dağılım .....                                                                                  | 65    |
| Şekil 4.12. Kümülatif Uniform Dağılım Grafiği .....                                                                        | 65    |
| Şekil 5.1. Şerit Değiştirme Bölgeleri .....                                                                                | 77    |
| Şekil 6.1. Kamera Algılayıcı Kavşak Görünümü .....                                                                         | 81    |
| Şekil 6.2. Loop ve Wireless Sensörle donatılmış kavşak planı .....                                                         | 82    |
| Şekil 6.3. Konya Merkez Seçilen Kavşakların Genel Görünümü .....                                                           | 83    |
| Şekil 6.4. Kocaeli Gebze ve Başiskele ilçelerinde Loop Döngü Kurulumu<br>(Saha Çalışmalarından) .....                      | 86    |
| Şekil 6.5. Kuyruklarda akımların yaşadığı 1 haftalık ortalama gecikmeler<br>(sn/10) .....                                  | 90    |
| Şekil 6.6. Araç başı sistemde harcanan ortalama sürelerin seyri .....                                                      | 92    |
| Şekil 6.7. Belediye ve İhsaniye fazlarının olasılık dağılımları .....                                                      | 93    |
| Şekil 6.8. Alaaddin ve Maresal fazlarının olasılık dağılımları .....                                                       | 93    |
| Şekil 6.9. Kuyruk Modellerinin Performans Çıktıları .....                                                                  | 95    |
| Şekil 6.10. Dinamik sıralı faz modeli aış diyagramı .....                                                                  | 96    |
| Şekil 6.11. Önerilen faz sıraları modeli M1 ve farklı dinamik çalışma<br>düzenine sahip modellerin karşılaştırılması ..... | 97    |
| Şekil 6.12. Konya Beşyol Kavşağı Yoğunluklarının Karşılaştırmaları .....                                                   | 100   |
| Şekil 6.13. İstanbul Kartal Sanayi Kavşağı Yoğunluklarının Karşılaştırmaları .....                                         | 100   |
| Şekil 6.14. Kahraman yönü geliş oranları tahmin ve gözlenen zaman serileri .....                                           | 103   |
| Şekil 6.15. Ankara yönü geliş oranları tahmin ve gözlenen zaman serileri .....                                             | 104   |

|                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 6.16. Önerilen faz sıraları modeli M1 ve farklı dinamik çalışma düzenine sahip modellerin karşılaştırılması..... | 106 |
| Şekil 6.17. Vissim Simülasyon arayüzü .....                                                                            | 107 |
| Şekil 6.18. Kartal Sanayi Caddesi Simülasyon Görünümü .....                                                            | 107 |
| Şekil 6.19. Konya Nalçacı Kavşağı kuyruk uzunlukları .....                                                             | 107 |
| Şekil A.1. İstanbul Güngören Ali Rıza Gürcan Kavşağı .....                                                             | 124 |
| Şekil A.2. İstanbul Kartal Sanayi Caddesi .....                                                                        | 124 |
| Şekil A.3. İstanbul Bostancı Tataraga Camii .....                                                                      | 125 |
| Şekil A.4. Konya Adalhan Kavşağı .....                                                                                 | 125 |
| Şekil A.5. Konya Ata Petrol Kavşağı .....                                                                              | 125 |
| Şekil A.6. Konya Belediye Kavşağı .....                                                                                | 126 |
| Şekil A.7. Konya Beşyol Kavşağı .....                                                                                  | 126 |
| Şekil A.8. Konya Emniyet Kavşağı .....                                                                                 | 126 |
| Şekil A.9. Konya İhsaniye Kavşağı .....                                                                                | 127 |
| Şekil A.10. Konya Kule Kavşağı .....                                                                                   | 127 |
| Şekil A.11. Konya Nalçacı Kavşağı .....                                                                                | 127 |

## ÇİZELGELER

|                                                                                                       | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 3.1. TÜİK son 5 yıl nüfus artışı verileri (TÜİK) .....                                        | 11    |
| Çizelge 3.2. Kişi başı ortalama atık miktarı .....                                                    | 12    |
| Çizelge 3.3. Kişi başı elektrik tüketim miktarı (kWh).....                                            | 12    |
| Çizelge 3.4. Sensör Tipleri ve Kullanım Alanları.....                                                 | 42    |
| Çizelge 4.1. Kuyruk Modeli Bileşenlerinin Tanımı.....                                                 | 59    |
| Çizelge 4.2. Kuyruk Modelleri Performans Tanımları .....                                              | 70    |
| Çizelge 6.1. Analiz periyodları .....                                                                 | 87    |
| Çizelge 6.2. Veri Seti Örneği (sn ve araç adetleri) .....                                             | 87    |
| Çizelge 6.3. Adalhan Kavşağı Aladdin Fazı Veri Örneği (sn) .....                                      | 88    |
| Çizelge 6.4. M/M/1 modeline göre 1 günlük performans değerleri .....                                  | 90    |
| Çizelge 6.5. Kartal Sahilyolu Kavşağı 10 günlük performans değerleri<br>(süreler sn. cinsinden) ..... | 91    |
| Çizelge 6.6. Ki-Kare test sonuçları.....                                                              | 94    |
| Çizelge 6.7. Faz dağılımlarına göre elde edilen kuyruk modelleri.....                                 | 94    |
| Çizelge 6.8. Gelişler arası ve servis sürelerinin dağılımları.....                                    | 95    |
| Çizelge 6.9. Etkin yeşil süreler hesabı.....                                                          | 99    |
| Çizelge 6.10. Emniyet Kavşağı – Kahraman Gelişler hata değerleri.....                                 | 103   |
| Çizelge 6.11. Emniyet Kavşağı – Ankara Gelişler hata değerleri .....                                  | 117   |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|       |                                           |
|-------|-------------------------------------------|
| AI    | Artificial Intelligence                   |
| AE    | Autoencoder                               |
| AMQP  | Advanced Message Queuing Protocol         |
| ANN   | Artificial Neural Networks                |
| ARIMA | Auto-Regressive Integrated Moving-Average |
| BT    | Bilgi Teknolojileri                       |
| C     | Cycle                                     |
| CNN   | Convolutional Neural Networks             |
| CoAP  | Constrained Application Protocol          |
| CPU   | Central Process Unit                      |
| DNN   | Deep Neural Networks                      |
| D     | Deterministic                             |
| DSL   | Digital Subscriber Line                   |
| EV    | Electric vehicle                          |
| FCFS  | First come first serve                    |
| FFFN  | Feed Forward Neural Network               |
| FIFO  | First in First Out                        |
| G     | General                                   |
| GI    | General Independent                       |
| GPS   | Global Positioning System                 |
| GPU   | Graphics Processing Unit                  |
| GRU   | Gated Recurrent Unit                      |
| HCM   | Highway Capacity Manual                   |
| IoT   | Internet of Things                        |
| IPv4  | Internet Protocol Version 4               |
| IPv6  | Internet Protocol Version 6               |
| IT    | Information Technology                    |
| LIFO  | Last IN First Out                         |
| LSTM  | Long Short-Term Memory                    |
| M     | Markovian                                 |
| MRE   | Mean Relative Error                       |
| MQTT  | Message Queuing Telemetry Transport       |
| NFC   | Near Field Communication                  |
| RELU  | Rectified Linear Unit                     |
| RFID  | Radio Frequency Identification            |
| RMSE  | Root Mean Square Error                    |
| RNN   | Recurrent Neural Network                  |
| RR    | Round Robin                               |
| SIRO  | Service in Random Order                   |
| SJF   | Shortest job first                        |
| SJN   | Shortest Job Next                         |
| SMTP  | Simple Mail Transfer Protocol             |
| TÜİK  | Türkiye İstatistik Kurumu                 |
| TYS   | Trafik Yönetim Sistemi                    |
| Vb    | ve benzeri                                |
| YSA   | Yapay Sinir Ağları                        |
| Wi-Fi | Wireless Fidelity                         |

## 1. GİRİŞ

Kentleşme oranlarının yükselmesi ve araç kullanımının artması birbirini etkileyen birçok sorunun kapısını aralamıştır. Artan bu yoğunluğa karşı şehir yöneticileri ve bu alanda faaliyet gösteren şirketler çözüm üretmeye çalışmakta ve hava kirliliğinden enerji kaybına varan birçok çözüm bekleyen probleme yenilikçi yaklaşımlar geliştirmekte ve kullanmaktadırlar. (İlıcılı vd., 2016).

Gelişmekte olan haberleşme sistemleri, kablosuz ağ teknolojileri, altyapı donanımları ve sensör teknolojileri şehirlerin yönetiminde yenilikçi birçok çalışmanın kapısını aralamıştır (Güneş vd., 2020). Söz konusu yaklaşımların getirdiği değişim hızı, şehirleri de içine alarak bütüncül ve sistematik bir şekilde insanların yaşam ve refah seviyesini yükseltmeye başladı. Teknoloji ve şehir yönetim süreçlerinin iç içe girmesiyle birlikte karşımıza geleneksel kent yönetiminden Akıllı Şehir modeline dönüşmüş bir konsept çıktı. Bu model başta ulaşım olmak üzere sağlık, eğitim, enerji, konaklama, altyapı, tarım, çevre gibi birçok alanda kullanılmaya başlandı.

Akıllı şehir teknolojileri alanında yapılan araştırma ve geliştirmeler kendi içinde birden fazla alana yayılarak gelişmeye devam etmektedir. Daha iyi yaşam standartları ve değer üreten bu teknolojilerin uygulanması ve geliştirilmesi, şehir plancıları, mimarlar, şehir yöneticileri gibi işin uyarlayıcıları tarafından çalışmaya ve tartışmaya devam edilmektedir. Bu aynı zamanda altında yatan teknik bilgi ve birikim sebebiyle üniversitelerin ve araştırma kurumlarının da konusu haline gelmiştir. Bu çalışmanın da ana konusu olan Akıllı Şehirler ve Ulaştırma özelinde birçok geliştirilmeye ve araştırmaya muhtaç potansiyel konular bulunmaktadır.

Akademik ve sektörel anlamda birçok firma ve paydaşın ulaşım teknolojileri alanında inovatif çalışmalarının arttığını söyleyebiliriz. Özellikle taşıt ve yayaların güzergâh planlaması, optimizasyonu, trafik sürelerinin azaltılması, mobilizasyon desteği gibi birçok farklı projelerin uygulandığı görülmektedir.

Ulaştırma bağlamında geliştirilen veya iyileştirilmesi muhtemel uygulamalar ve olası faydalar bu tez çalışmasının temel fikrini oluşturmuştur. Özellikle artan kentleşme ve kırsaldan şehirlere kayan nüfus yoğunluğu sonucu şehirlerin en önemli sorunu haline gelen trafik ve yönetimi tez önerisi aşamasında ön plana çıkmıştır. Bu bağlamda şehir içi trafik yönetiminin temel etkenleri olarak birçok faktör öne çıkmıştır. Yapılan gözlem, görüşme ve literatür taraması gibi araştırmalar sorunun özellikle şehir içi bağlantı yollarının kesişim noktalarında olduğu sonucunu vermiştir. Uzun yıllardır şehir plancılarının bu noktalarda trafiği yönetme amacıyla tasarlayarak uyguladığı en temel altyapı elemanı kavşaklardır (Murat ve Çakıcı, 2017).

Şehir içi trafiği düzenleyici kontrollerin başında gelen sinyalize kavşaklar ve trafik ışıkları özellikle birden fazla yönden gelen bağlantı yollarının kesişiminde kullanılmaktadır. Şehir içi trafiğindeki taşıtlar, yetersiz ve plansız trafik kontrolü sebebiyle sıkışıklığın artmasına sebep olabilmektedirler. Bu sıkışıklık şehir merkezlerinde birçok noktayı aynı anda etkilemektedir. Bu sebeple sinyalize kavşakların çalışma prensibi ve sahip olduğu yazılım ve donanımlar son derece önemlidir.

Şehir merkezlerindeki ön önemli trafik bileşenlerinden olan sinyalize kavşakların çalışma prensipleri ve iyileştirmeleri üzerinde birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Analitik yöntemler ile başlayan ilk çalışmaları bulanık mantık, sezgisel yöntemler gibi algoritmaların uygulanması takip etmiş sonrasında ise algılayıcı destekli trafik yönetim sistemleri kullanılmaya başlanmıştır (Zhou vd., 2010). Son yıllarda ise makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi metodlar ile tahmin çalışmalarının da yaygınlaştığı görülmektedir. (Yisheng vd., 2015).

### **1.1. Araştırma Sorunu**

Algılayıcı teknolojilerindeki gelişmeler akıllı şehir uygulamalarının kullanımının artmasını sağlamıştır (Armağan, 2019). Lazer algılayıcılar, kamera dedektörleri, loop algılayıcılar, kablosuz birçok altyapı elemanı trafik yönetim sistemlerinin en

önemli bileşenleri haline gelmiştir. Bu bağlamda bu çalışmada özellikle kent merkezi sinyalizasyon kavşaklarının incelenmesi, etkinliği ve önerilen yöntemler ile iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan saha çalışmaları ve yetkili birimler ile görüşmeler neticesinde trafik akışının düzenlenmesi adına önemli noktalarda konumlandırılan kavşakların sinyal planlaması, faz sıraları, performans ölçümleri gibi konularda birçok yöntem ve metodolojinin denendiği, uygulandığı ve üzerindeki iyileştirme çalışmalarının devam ettiği görüldü. Bu sorunun etkenleri arasında kavşak konumları, uygulanan yöntem, kullanılan teknolojiler, algılayıcılar gibi birçok faktör bulunmaktadır. Bu etkenler tezin devam eden bölümlerinde açıklanarak detaylandırılmıştır.

## **1.2. Araştırmanın Önemi**

Araştırma, teorik kuramlar ve incelenen teknolojiler itibarıyla hem literatür hem de saha çalışması destekli yapılmış bir tez çalışmasıdır. Kuyruk teorisinin birçok modeli, trafik akımlarının dağılımlarına uygunluğu yönünden araştırılmıştır. Sistem ve kuyruk performansı değerleri elde edilerek bir kavşağın veya bir hattın etkinliğini verebilecek yeterli derecede ölçüt ortaya çıkarılmıştır. Bu değerlerin elde edilebilmesi şehir plancıların, trafik mühendislerinin veya ilgili uzmanların önünü açabilecek niteliktedir. Ayrıca elde edilen çıktılarından önerilen dinamik faz sıraları modeli, etkin yeşil süreler hesabı ve trafik akımının tahmini, yapılan simülasyon ve hesaplamalarda olumlu sonuçlar vermiştir. Yapılan araştırmalar saha, literatür, simülasyon ve kodlama çalışmaları ile kapsamlı bir nitelikte olması sebebiyle ayrıca önemlidir.

## **1.3. Araştırmanın Amacı**

Araştırmanın en önemli amaçlarından birisi kentleşme oranımızın gittikçe arttığı şehirlerimizde önemli bir sorun haline gelen trafik problemine bir çözüm sunabilmektir. Kullanılan gerçek gözlem ve sistem verileri ile sektör uygulayıcılarına alternatif bir yöntemin uygulanabilir olduğu gösterilmeye çalışılmıştır. Verilerin kuyruk teorisi ile matematiksel olarak modellenmesi sağlanmıştır. Literatürden aşina olunan istatistiksel dağılımların trafik akımlarının

dağılım karakteristiklerinde kullanılabilmesi hedeflenmiştir. Uygulanan derin öğrenme yöntemleri ile çok küçük hata farkları ile gerçek modele yakın sonuçların üretilebileceği gösterilerek tahmin algoritmalarının da bu sistemlerde alternatif olarak kullanılabilmesi amaçlanmıştır.

#### **1.4. Araştırma Metodolojisi**

Araştırma metodoloji olarak öncelikle literatür taraması ile başlamıştır. Literatür okuması birkaç farklı yöntem ve model üzerinden yapılmıştır. Öncelikle kuyruk ve olasılık teorisi makaleleri incelenerek matematiksel olarak modellerin yapısı araştırılmıştır. Ardından trafik yoğunluğu, tahmini, analizleri üzerine yapılan araştırmalar göz gezdirilmiştir. Trafik akışının tahmini üzerine yapılan araştırmalar incelenmiştir. Derin öğrenme yöntemlerinin uygulanabilirliği ve başarısı araştırılmıştır. Akıllı şehirler, nesnelerin interneti, büyük veri gibi çalışmalar incelenmiş ve akıllı şehir konseptinin temel kavramları öğrenilmiştir. Sinyalize kavşaklar üzerine geliştirilen ve uygulanan bulanık mantık, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları, kuyruk teorisi gibi birçok çalışma incelenmiştir. Daha sonra temel çalışma alanı sinyalize kavşakların çalışma prensiplerini öğrenebilmek adına belediyeler ve akıllı şehir teknolojileri üreten ve uygulayan şirketler ile temasa geçilmiştir. Belediyeler ve şirketlerden veriler alınarak çalışmanın ana çıktıları üretilmeye başlanmıştır. Arazi çalışmalarında iki farklı altyapıdan hem sensörlü hem de kamera algılayıcılar ile çalışan kavşaklardan veriler toplanmıştır. Elde edilen çıktıların modellenebilmesi adına trafik simülasyon modelleri ve araçları incelenerek uygun simülasyon tekniği ile simülasyon yapılmıştır.

#### **1.5. Tez Organizasyonu**

Tez organizasyon yapısı yedi bölümden oluşmaktadır. İlk giriş bölümünde araştırma sorunu, önemi, amacı ve metodolojisi anlatılmıştır. İkinci bölümde literatürde konu ile ilgili öne çıkan çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölüm akıllı şehirler ve onu takip eden alt birimleri ulaşım sistemleri, sinyalizasyon sistemleri ve kullanılan algılayıcıların yapılarından oluşmaktadır. Dördüncü

bölümde çalışmada kullanılan kuyruk teorisi ve makine öğrenmesi gibi yöntem ve kuramlardan bahsedilmiştir. Beşinci bölümde trafik simülasyonu konusu incelenmiştir. Altıncı bölüm araştırma bulgularında çalışmanın hedeflediği çıktılar, önerilen modeller ve karşılaştırmaları analizleri verilmiştir. Son olarak sonuç ve öneriler ile tez akışı sonlanmıştır. Ayrıca eklerde incelenen kavşak krokileri paylaşılmıştır.



## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde kavşaklardaki sinyalizasyon çalışmalarını kolaylaştırmak üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda yoğun olarak yapay sinir ağları, bulanık mantık denetimleri, olasılık kuramları, optimizasyon yöntemleri ve son dönemde tahmin çalışmalarında makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Trafik mühendisliğindeki ilk çalışmalar, araçların gecikme hesaplaması için önerilen yöntemlerle başlar. Gecikme hesaplamaları için ilk önerilen yöntemler Webster ve Akçelik (Webster, 1958; Akçelik, 1981) tarafından geliştirilmiştir ve sonraki tüm araştırmalar bu iki çalışmanın devamı niteliğinde olmuştur. Bu çalışmadan itibaren, sinyal sürelerinin hesaplanması için performans geliştirme çalışmalarına başlanmıştır.

Bu yöntemlerin devamı niteliğinde literatürde HCM (Highway Capacity Manual) olarak bilinen karayolu el kitabında da gecikme analizlerini farklı yıllarda yayınlanan araştırmalarla genişleten çalışmalar yürütülmüştür (TRB, 1985; TRB, 1994; TRB, 1997; TRB, 2000). Bu çalışmaların devamında, performans iyileştirme ve optimizasyon araştırmaları ağırlıklı olarak optimizasyon yöntemleri, doğrusal programlama, bulanık mantık, karar verme modelleri ve genetik algoritmalar kullanılarak yapıldığı görülmektedir.

Hoyer ve Jumar 1994'te dinamik olarak ele aldıkları faz düzeni ile yaklaşım kollarındaki trafik hacmini yönetmeye çalışmışlardır. Kırmızı ışık sinyal süresine bağlı olarak faz sürelerinin değişimini karşılaştırmalar üzerinden göstermişlerdir (Hoyer ve Jumar, 1994).

Heidemann, 1991'de kuyruk teorisini kullanarak kavşaklarda araçların yaşadığı bekleme sürelerini hesaplamış ve bekleme süresi dağılımlarını incelemiştir (Heidemann, 1991). Roy ve Hlynka ise yine bir başka trafik ışığı problemine kuyruk teorisinin uygulamasını gerçekleştirmiştir. Poisson sürecine uyduğu varsayılarak ve M/M/1 modelini uyguladıkları Ahmadabad şehrindeki bir kavşakta araç akımlarının değerlerini ve poisson olasılık dağılımlarını elde

etmişlerdir (Roy ve Hlynka, 1995). Jiang ve arkadaşları akım değerlerini M/G/1 ile modelleyerek kuyruk uzunluklarını analiz etmiştir (Jiang, 2015).

Tzes ve arkadaşları 1995 yılında bulanık mantık temelli bir yöntem geliştirerek trafik yönetim sistemi tasarlamışlardır. Geliştirdikleri modeli sabit zamanlı çalışma sinyal düzeni ile karşılaştırmışlardır (Tzes vd., 1995).

Nittymaki ise geliştirdiği denetim algoritması ile benzetim teknikleri uygulayarak ortalama gecikme ve duruş oranları gibi performans kriterlerini elde etmiştir (Niittymaki, 1999).

Soh ve arkadaşları M/M/1 kuyruk modeliyle çok kollu kavşak üzerindeki akımları çalışmışlardır (Soh vd., 2009). Zuylen ve Viti ise kuyruk uzunluğunun olasılık dağılımı için Markov zincir modelini kullanarak gecikme problemlerini hesaplamaya çalışmışlardır (Zuylen ve Viti, 2006).

Lippi ve arkadaşları trafik akışının karşılaştırması ve analizinde zaman serileri analizi uygulamışlardır (Lippi vd., 2013). Ma ve arkadaşları çalışmalarında karayollarında meydana gelebilecek trafik sıkışıklığını tahmin etmek ve büyük ölçekli ulaşım ağlarını analiz etmek için derin öğrenme tabanlı model önermişlerdir (Ma vd., 2015). Başka bir araştırmada trafik akışı paternlerini tanımlamak için KNN algoritması kullanılmıştır (Habtemichael ve Çetin, 2016). Polson ve Sokolov çalışmalarında, derin öğrenme yöntemlerini kullanarak kısa dönemli trafik akış yoğunluğunu tahmin etmeye çalışmışlardır (Polson ve Sokolov, 2017). Bir başka çalışmada ise farklı dönemler arasındaki trafik verileri arasındaki korelasyon araştırılmış ve trafik akışını tahmin etmek için regresyon analizi kullanılarak model önerilmiştir (Pun vd., 2019).

Ülkemizde sinyalize kavşaklar adına yapılmış, farklı yöntemlerin uygulandığı oldukça değerli çalışmalar çıkarılmıştır.

Zeren (1998) çalışmasında, araçların geliş aralıklarını poisson dağılım modeline uydurarak araçların geliş olasılıklarını, gelme ihtimalini hesaplamıştır. Elde ettiği değerler üzerinden kavşak kapasitelerinin verimliliğini incelemiştir.

Şazi Murat (2001) bu alandaki araştırmalara en fazla referans gösterilen çalışmaları ile bilinmektedir. İlk olarak 2001 yılında yayınladığı doktora tez çalışmasında bulanık mantık yöntemiyle trafik sinyal denetleyicisi modeli önermiştir. Ardından hazırladığı birçok çalışmada sinyal ve faz düzeni, araç gecikmeleri, yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar gibi birçok yöntem ve modeli sinyalizasyon kavşak ölçümlerinde kullanmıştır (Murat, 2001; Murat ve Gedizlioğlu, 2002; Murat ve Baskan, 2006; Murat ve Çakıcı, 2017).

Öztürk (2004) tez çalışmasında iki farklı yoldan gelen araç verilerinin analiz edilmesiyle yoğunlukları tespit edilerek, mikrodenetleyiciler vasıtasıyla sürücülerin yönlendirmesi yapılmıştır.

Başkan (2004) tez çalışmasında izole sinyalizasyon kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerini yapay sinir ağları ile modellemeye çalışmıştır. Arazi gözlemlerinde elde ettiği gecikme verilerini yapay sinir ağları ile modellemiştir. Elde ettiği hata değerleri ile karşılaştırmalı analizler yapmıştır.

Sönmez (2005), video kamera ile trafik gözlem verilerine dayanan ve taşıtların yol boyunca ve zaman içerisinde değişimini gösteren matematiksel bir model geliştirmiştir,

Erdem (2007) yaptığı çalışmada, trafik sinyalizasyon yönetimini bulanık mantık yöntemi yardımıyla gerçekleştirmiştir. Bu çalışma, önceden belirlenemeyen araç yoğunluklarının gerçek zamanlı olarak denetlenmesine yöneliktir.

Çetinkaya (2008), ışıklı kavşaklarda değişik hesaplama yöntemlerinin karşılaştırması başlığı ile hazırladığı tez çalışmasında Webster, Avustralya ve HCM yöntemleri ile elde ettiği gecikme değerlerini karşılaştırmıştır. Yaptığı ölçümleri Sidra Intersection programı aracılığı ile simule etmiştir.

Dağüstü (2010), tezinde trafik yönetiminde kavşak trafiğinin kontrolü için bir sinyal zamanlama modeli üzerinde çalışmıştır. Sinyalize kavşaklarda zamanlama problemi için Webster metodunu kullanarak devre sürelerini hesaplamıştır. Hesaplanan süreleri Vissim trafik simülasyonunda analiz ederek karşılaştırmıştır.

Çalışkanelli (2010), tez çalışmasında sinyalizasyon sistemlerinden ayrılan araçların takip aralıklarını incelemiştir. Takip aralıklarının dağılım modeli olarak Cowan M3 dağılımına uygunluğunu araştırmıştır. Elde ettiği sonuçlar üzerinden doymun akımları hesaplamıştır.

Akmaz (2012), tez çalışmasında Konya ilindeki sinyalize kavşakların bilgisayar programları ile incelemesini gerçekleştirmiştir. Sinyalizasyon hesabında Avustralya modeli olarak bir diğer ismiyle Akcelik metodu olarak da isimlendirilen yöntemi kullanmıştır. Sidra ile gerçekleştirdiği analizlerde yöntem olarak hem Avustralya hem de HCM metodunu uygulayarak kıyaslamalar yapmıştır. Kamera sayımları ile elde ettiği verileri Sidra'da girdi olarak kullanarak devre süreleri, yeşil süreleri, faz süreleri gibi zaman değerlerini hesaplamıştır.

Çakıcı (2014), tez çalışmasında sinyalize kavşakların tasarım esaslarını araştırmıştır. Sinyalize kavşakların yapıları, depolama alanı gereksinimlerini, sinyal sistemleri tasarımlarını ve farklı faz geçişlerinin durumlarını incelemiş ve değerlendirmiştir.

Babicheva (2015), çalışmasında kuyruk modelleri ile sinyal sürelerini optimize etmeye çalışmış, olumlu sonuçlarını paylaşmıştır. Matematiksel olarak akımları modellemiştir.

Özdağ (2019), tez çalışmasında derin öğrenme tekniklerini kullanarak anayol trafik akımlarının analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmasında kullandığı RNN, LSTM, GRU gibi derin öğrenme yöntemleri ile trafik akımını tahmin etmeye

alışmıştır. Elde ettiği Ortalama Karesel Hata (MSE) ve Mutlak Ortalama Hata (MAE) değerleri ile ilgili tekniklerin başarısını ölçmüştür.

Tümen (2019), tezinde akıllı ulaşım sistemleri için karayolu tipi, kavşak ve virajların derin öğrenme yöntemleri ile belirlenmesi konusunda çalışmıştır. Karayollarında bulunan kavşaklar, yaya geçitleri, virajlar gibi altyapı bileşenlerinin elde edilen kamera görüntülerini derin öğrenme teknikleri ile inceleyerek, görüntü işleme modeli geliştirmiştir. Farklı tanıma algoritmaları ile ulaşım sistemleri birimlerinin tanımlamasını yapmıştır.

Alçelik (2010), yaptığı tez çalışmasında İstanbul Ümraniye ilçesindeki dönel ve sinyalize kavşakları kapasite yönünden incelemiştir. Syncro simülasyon yazılımı ile kavşakların karşılaştırmasını yapmıştır.

### 3. AKILLI ŞEHİRLER

Akıllı şehirler, büyüyen şehirlerin zorluklarına yönelik sürdürülebilir kalkınma uygulamalarını geliştirmek, uygulamak ve teşvik etmek için ağırlıklı olarak Bilgi ve İletişim Teknolojilerinden faydalanan bir sistemler bütünüdür. Akıllı şehirler sadece daha iyi toplum hizmeti ve hükümet verimliliğini teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda artan kamu güvenliği ve iş başarısı potansiyeli de sağlar (Bakanlık, 2019). Bugün, dünya genelinde insanların %54'ü şehirlerde yaşıyor, bu oran 2051 yılına kadar %66'ya ulaşması öngörülmektedir. Toplam nüfus artışıyla birlikte, kentleşmenin önümüzdeki otuz yıl içerisinde şehirlere 2,5 milyar insan daha eklenerek 6,3 milyar insana ulaşması beklenmektedir (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2012; Bakanlık, 2020).

Ülkemiz için TÜİK' ten alınan veriler bu bilgiyi doğrular niteliktedir. Çizelge 3.1'de son 5 yıl içerisinde özellikle sanayi ve sosyal yapısıyla öne çıkan şehirlerimizden seçilen beş ilin nüfus artışı, Çizelge 3.2'de bu şehirlerdeki kişi başı ortalama atık miktarları, Çizelge 3.3'te ise kişi başı ortalama elektrik tüketim miktarları görülmektedir. Ayrıca Şekil 3.1'de bu şehirlerimizdeki son 10 yılın 1000 kişi başına düşen otomobil sayılarındaki değişim görülmektedir. Bu veriler bize artan kentleşmenin elektrik tüketimi, kişi başı atık miktarı ve araç sayıları gibi verileri doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Şehirlerimizin kaynakları bu hızlı genişlemeye ayak uydurabilmesi, çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için şehir sakinlerinin doğru tüketim ve kullanım alışkanlıklarının oluşması, yöneticilerin ise doğru planlama ve stratejiler ile bu alışkanlıkları desteklemeleri gerekmektedir.

Çizelge 3.1. TÜİK son 5 yıl nüfus artışı verileri (TÜİK, 2020)

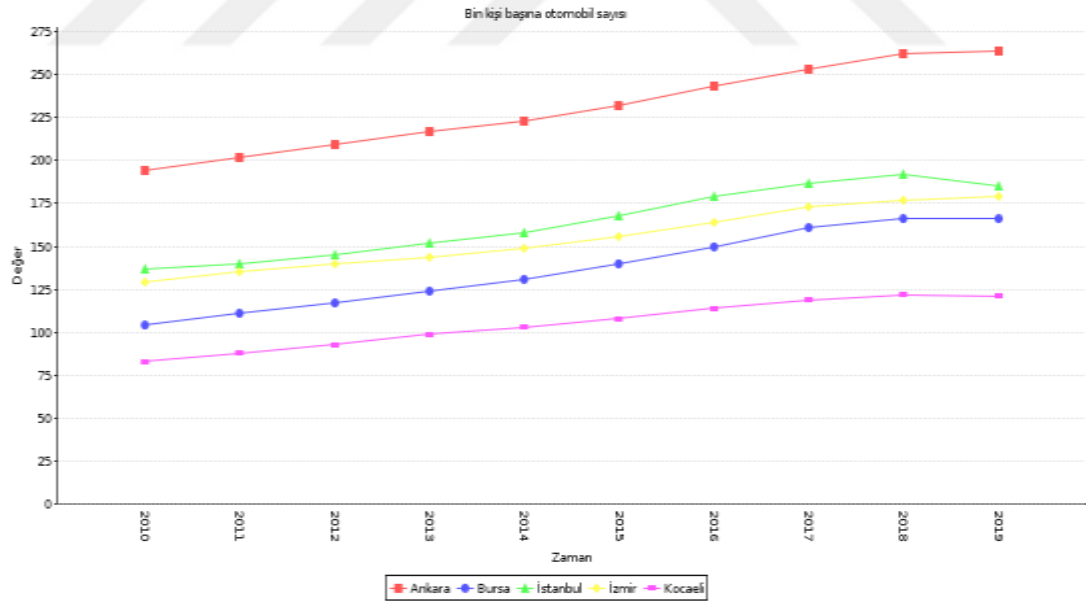
| Yıllar | Bölgelerin Aldığı Göç Bilgileri |        |          |         |         |
|--------|---------------------------------|--------|----------|---------|---------|
|        | Ankara                          | Bursa  | İstanbul | İzmir   | Kocaeli |
| 2015   | 204.048                         | 84.253 | 453.407  | 126.238 | 87.158  |
| 2016   | 177.166                         | 84.458 | 369.582  | 122.668 | 85.602  |
| 2017   | 188.100                         | 86.119 | 416.587  | 127.394 | 87.796  |
| 2018   | 184.382                         | 80.940 | 385.482  | 130.092 | 80.457  |
| 2019   | 211.744                         | 85.596 | 498.676  | 128.370 | 82.977  |

Çizelge 3.2. Kişi başı ortalama atık miktarı (Tüik, 2020)

| Yıllar | Kişi Başı Ortalama Belediye Atık Miktarı (Kg/Kişi-Gün) |       |          |       |         |
|--------|--------------------------------------------------------|-------|----------|-------|---------|
|        | Ankara                                                 | Bursa | İstanbul | İzmir | Kocaeli |
| 2010   | 1.18                                                   | 0.99  | 1.2      | 1.26  | 0.97    |
| 2012   | 1.06                                                   | 0.96  | 1.13     | 1.2   | 1.01    |
| 2014   | 1.1                                                    | 1     | 1.16     | 1.12  | 0.91    |
| 2016   | 1.14                                                   | 1.11  | 1.3      | 1.32  | 1       |
| 2018   | 1.18                                                   | 1.08  | 1.28     | 1.36  | 1.02    |

Çizelge 3.3. Kişi başı elektrik tüketim miktarı (kWh) (Tüik, 2020)

| Yıllar | Kişi başına toplam elektrik tüketimi (kWh) |       |          |       |         |
|--------|--------------------------------------------|-------|----------|-------|---------|
|        | Ankara                                     | Bursa | İstanbul | İzmir | Kocaeli |
| 2014   | 2.131                                      | 3.455 | 2.432    | 4.351 | 7.159   |
| 2015   | 2.175                                      | 3.733 | 2.440    | 4.290 | 7.287   |
| 2016   | 2.183                                      | 3.726 | 2.442    | 4.556 | 7.507   |
| 2017   | 2.484                                      | 4.106 | 2.609    | 4.658 | 7.263   |
| 2018   | 2.746                                      | 4.246 | 2.683    | 4.856 | 7.414   |



Şekil 3.1. Yıllara göre 1000 kişi başına düşen otomobil sayısı (TÜİK, 2020)

### **3.1. Akıllı Şehirler ve Bileşenleri**

Enerjiden ulaşım, çevre yönetiminden sağlık sistemlerine kadar birçok faaliyet alanını içinde barındıran Akıllı Şehirler, gelişen teknoloji birimleri ile faaliyet alanlarını ve uygulamalarını hızla geliştirmekte ve yaygınlaştırmaktadır. Artan dijitalleşme ve globalleşme insanların hayat standartlarını ister istemez yükseltmekte ve şehir yönetimlerinden talep edilen kaliteli hizmetin seviyesini yükseltmektedir (Bakanlık, 2019).

Şehir yönetimleri ise artan bu talebe karşılık verebilmek için teknolojinin getirdiği yenilikçi yaklaşımları kullanmak zorundadırlar. Akıllı şehir bileşenlerinin büyük bir kısmı Bilgi Teknolojileri sistemlerindeki gelişmelere göre pozisyon almaktadırlar (Çelikyay, 2013). Bu alanda kullanılan kablosuz teknolojiler, bulut tabanlı sistemler, veri toplayan algılayıcılar ve makinelerin oluşturduğu ağlar gibi sistemlerde çıkan her yeni gelişme doğrudan Akıllı Şehir uygulamalarını etkilemektedir. Akıllı şehir konseptinin en önemli sağlayıcısı ve altyapı bileşenleri büyük ölçüde kablosuz teknolojiler ve buna bağlı algılayıcılardır (Baloğlu, 2019). Burada bu bileşenlerin en önemli kapsayıcı teknolojisi Nesnelerin İnterneti kavramı ortaya çıkmaktadır.

#### **3.1.1. Nesnelerin İnterneti**

Nesnelerin interneti olarak adlandırılan IoT sistemlerinin akıllı şehir uygulamaları açısından önemi oldukça kritiktir. Nesnelerin İnterneti, günlük hayatta kullanılan cihazların ve nesnelerin belirli protokollerle birbirleriyle iletişimi olarak tanımlanır. IoT sistemindeki her cihazın merkezinde yer alan en kritik birim sensörlerdir ve aslında herhangi bir objeyi yetenekli kılan da bu algılayıcılardır. İletişim kurabilen araçlardan trafik ışıklarına, akıllı evlerden sokak lambalarına kadar, hemen hemen her cihazda verinin işlem merkezine gitmesine aracılık eden sensörler bulunur. Bu iletişim, Nesnelerin İnterneti sistemini mümkün kılan şeydir. Farklı protokoller ile donatılmış algılayıcılara sahip cihazlardan oluşan bu iletişim ağlarına akıllı ağlar denir (Bresciani, 2018).

Nesnelerden oluşturulan ağlar, çok geniş bir alandaki kullanıcılara sunulabilir. Bunlar arasında ev aletleri, hayvancılıkta kullanılabilen çipler, sıcaklık sensörleri, afet önleme sistemleri, akıllı saatler, araba bilgisayarları, askeri izleme sistemleri ve erken uyarı sistemleri gibi birçok cihaz bulunmaktadır (Güneş vd., 2018). Nesnelerin İnterneti kavramını ayrıcalıklı kılan en önemli faktörlerden biri, veriyi insan faktörü olmadan kendi aralarında iletmektir.

Nesnelerin internetindeki bir obje, insan vücudunun fizyolojik verilerini ölçmek için bir cihaz veya herhangi bir aracın önündeki araçla mesafeyi korumak için atanmış sensör olabilir. Özetle, IP adresi ile tanımlanabilen veya bir ağ üzerinden bilgi iletebilen herhangi bir doğal veya yapay nesne olabilir. Ayrıca, herhangi bir cihazı IoT kavramı altında değerlendirebilmek için bu nesnenin mutlaka internete bağlı olması zorunda değildir. Ancak nesnelerin kendi aralarında iletişimi için bir IP adresine sahip olması gerekir. IPv4'ten IPv6'ya geçiş ile IP adreslenebilir nesnelerin sayısı hızla arttı ve tüm nesnelerin birbirine bağlanabilmesi ve Nesnelerin İnterneti dünyasının oluşturulmasının önü açıldı. Tek tek adreslenebilen ve RFID, sensör, yakın alan iletişimi (NFC), GPS gibi farklı aygıtları taşıyan nesneler hem kendi aralarında iletişim kurabilir hem de var olan bir ağa dinamik olarak bağlanarak bilgi toplama, taşıma veya aktarma gibi görevleri gerçekleştirebilir duruma geldi (Hammi vd. 2017).

Kablosuz algılayıcılardaki gelişmeler ve beraberinde nesnelerin interneti uygulamalarının artması akıllı şehir alanındaki çalışmaların hızlı bir şekilde yaygınlaşmasına katkı sağladığı söylenebilir. Cihazların uzaktan izlenmesi, yönetilmesi ve kontrol edilebilmesi, gerçek zamanlı büyük veri akışlarının elde edilebilmesini ve buna bağlı olarak işlem yapılabilir yeni bilgilerin oluşturulabilmesini mümkün kıldı. IoT, akıllı şehir hizmetlerini uygulamak için analiz edilmesi ve işlenmesi gereken büyük veri kümeleri üretir. Kent IT altyapısının bir parçası olan büyük veri platformları, IoT' den toplanan verileri sıralamak, analiz etmek ve işlemek durumundadır.

### 3.1.2. Büyük Veri

Akıllı şehirler tanım ve işlevi gereği büyük ölçüde veri üreten sistemlerdir. Büyük veri ve analitiği, şehir yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır ve birçok karar mekanizmasında artık veriden sorumlu uzmanlar çalıştırılmaktadır. Büyük veri analizi ve akıllı şehir çözümlerinin birleşimi, şehirlerin birçok kritik konularının yönetimi ve planlamasında bütüncül bir fayda sağlamaktadır. Veri bilimi, makine öğrenimi, yapay zekâ (AI) ve veri görselleştirmedeki gelişmeler, şehir yöneticilerine ve liderlere bu veri akışlarını anlamaya yardımcı olacak araçlar sağlamaktadır. Aynı zamanda, şehirler geleneksel tüm paydaşlara ve potansiyel çözüm sağlayıcılarına veri entegrasyonu ve paylaşımı için yeni platformlar geliştirmektedir. Bu nedenle, büyük verilerin sunduğu faydalar birçok akıllı şehir stratejisinin önemli bir unsurudur (Hasem, 2016).

Verinin kullanımı özelinde şehir yöneticileri ve sakinlerine sağlayabileceği katkılar şu şekilde özetlenebilir (Kumar, 2014);

- Hizmet Verimi: Trafik ve ulaşım modellerinin tahmini ve analizi, tıkanıklığı azaltabilir ve toplu taşıma hizmetlerinin verimliliğini artırabilir.
- Kamu güvenliği, sosyal bakım ve diğer temel hizmetler için şehir kaynakları, güncel analizler kullanılarak daha etkin bir şekilde yönetilebilir.
- Varlık Yönetimi: Veri analizi ile, şehirlerin çok çeşitli şehir altyapı elemanlarının daha iyi izlenmesi, yönetilmesi, riskleri ve maliyetleri azaltmak için tahmini bakım veya kestirimci bakım yöntemlerin kullanılması sağlanabilir.
- Enerji Verimi: Tahmin analizleri ile tüketim miktarları tahmin edilebilir ve uzun vadeli sağlıklı stratejik planlar oluşturulabilir.
- İnovasyon: Açık veri platformlarına vatandaş katılımını artırabilir ve geliştiriciler ve diğer hizmet sağlayıcılar arasında inovasyon ve yenilik biçimlerini teşvik edebilir.

Akıllı bir şehrin temel özellikleri arasında yüksek derecede bilgi teknolojisi entegrasyonu ve bilgi kaynaklarının doğru yönetilmesi yer alır. Toplanan verilerin doğru işlenmesi ve analizinin yapılması durumunda bu alanda şehir yönetimi açısından büyük bir potansiyel olduğu rahatlıkla söylenebilir. Fakat farklı kaynaklardan farklı özellikli sistemlerden toplanan verilerin işlenmesi ve doğruluğu ile ilgili de dikkat edilmesi gereken noktalar bulunmaktadır. Özellikle şehir yönetimi için büyük veri ve veri analizini kullanma ile ilişkili öne çıkan dört zorluk vardır (Matthews, 2019).

- Erişilebilirlik: Erişilebilir, gerçek zamanlı ve güvenilir veri erişimi olmadan akıllı şehir bileşenleri yüksek başarı elde edemeyebilir. Bilgilerin nasıl toplandığı, temizlendiği ve paylaşıldığı sistematik veri akışı için çok önemlidir.
- Veri Entegrasyonu ve Doğruluk: Akıllı şehirler güvenilir ve doğru verilere bağlıdır. Verilerin doğru ve manipülasyondan arındırılmış olmasını sağlamak için doğru politikalar geliştirilmelidir. Akıllı şehir vizyonu, birden fazla kuruluştan, çeşitli ortamlardan ve çok çeşitli akıllı cihazlardan gelen verileri entegre etme vaadini yerine getirir. Fakat veri entegrasyonu sektörel anlamda BT dünyasında bile hala en zor problemlerden birisidir.
- Gizlilik: Toplanan, depolanan ve analiz edilen verilerin büyük bir kısmı mülkiyet hakkı olan kişisel verilerden oluşmaktadır. Bu anlamda bu verilerin gizliliği ve korunması şehir yöneticileri açısından oldukça kritiktir.
- Sorgulanabilirlik: Sistem yöneticileri eylemlerinden sorumlu olmalıdır. Hassas sistemlerle etkileşimlerin kayıtlarının tutulması, loglarının alınması ve bütünlüğünün sağlanması önemlidir.

Bu temel güvenlik hedeflerine ulaşabilmek adına, verilerin yalnızca yetkili taraflarla paylaşılmasını sağlamak için güçlü kimlik doğrulama ve kimlik yönetimi çözümlerinin ekosisteme entegre edilmesi gerekir.

### 3.1.3. Bulut Bilişim

Günümüzde akıllı şehir teknolojileri ulaşım, enerji, ekonomik, sosyal kalkınma, trafik, çevre, sağlık vb olmak üzere her kentsel altyapıda gereklidir. Birden fazla kaynaktan toplanan verilerin yönetilmesi ve işlenmesi donanım altyapısı açısından oldukça zahmetli bir iştir. Bu bağlamda Nesnelerin İnterneti konseptine bağlı olarak Bulut Bilişim modeli karşımıza çıkmaktadır. Nesnelerin İnterneti (IoT) ile Bulut bilişimi birlikte kullanan şehir altyapılarının daha iyi sonuçlar aldıkları bilinmektedir. Başka bir deyişle, Bulut'un entegrasyonu olmadan, kamu güvenliğini artırabilecek, verimli enerji tüketimini teşvik edebilecek, uyumlu bir toplum geliştirebilecek ve atık yönetiminden tıkanıklığa kadar her şeyi takip edebilecek akıllı şehirleri görselleştirmek oldukça zordur.

Bulut tabanlı IoT uygulamaları, belediyelerin, işletmelerin ve vatandaşların yaşam kalitesini artıran daha iyi kararlar almasına yardımcı olmak için verileri gerçek zamanlı olarak alan, analiz eden ve yöneten karar destek sistemleri haline gelmiş durumda (Köseoğlu ve Demirci, 2018). Bulut bilişimin dijitalleşen şehir süreçlerini yönetmede en temel sağladığı faydalar şu şekilde özetlenebilir;

- Verilerin etkinliği ve yönetimi; Veri madenciliği, akıllı şehirlerin gelişmesi için gereken en temel unsurlardan biridir. Akıllı bir kentin ortaya çıkması için, verilerin toplu akışını işlemek, sentezlemek, analiz etmek ve yönetmek çok önemlidir. Bu tür değişikliklerin tutarlı ve verimli bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak için bulut bilişim gereklidir. Cloud Computing'teki gelişmeler bu alandaki ihtiyaçları karşılar duruma gelmiştir.
- Sürdürülebilirlik; Akıllı şehirlerin operasyonlarında sürdürülebilirlik son derece önemlidir ve bunu sağlayıcı bileşenlerinden başında Bulut Bilişim gelmektedir. Akıllı şehirler açısından çoklu kaynak yönetimi zor bir konudur. Bulut bilişim bu zorluğun üstesinden gelmek ve şehirlere sürdürülebilir bir altyapı sağlamak için omurga görevi görür. Bulut tabanlı teknolojilerdeki gelişmeler, internetin çok çeşitli uygulamaları ve hizmetleri sunma kapasitesini büyük ölçüde artırıyor. Akıllı şehir

uygulamalarını Buluta kaydırmak, vatandaşlar için hayatı daha akıllı ve kolay hale getirirken bilginin kullanılma şeklini de geliştirmektedir. Ayrıca, bu tür akıllı şehirlerde faaliyet gösteren işletmeler ve paydaşlar bile sürdürülebilir modelin bir parçası haline gelmektedirler.

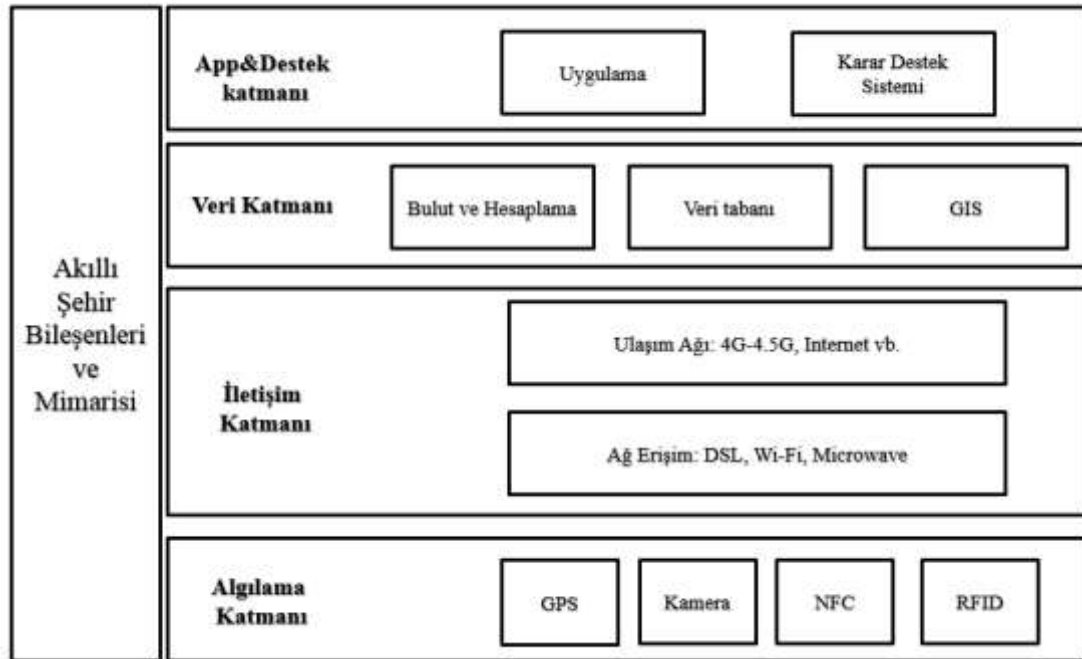
- Ekonomik fayda; Akıllı şehirleri desteklemek için geliştirilen yenilikçi teknolojiler büyük ölçüde finansal olarak güçlü bir ekosistemin oluşmasına bağlıdır. Bu ekosistem şehirler ve işletmeler arasındaki karşılıklı iş birliği ile büyük kazançlar sağlayabilir. Bulut bilişim imkanlarıyla erişilebilir hale gelen veri setleri birçok şirketin gelişmesine fırsat tanıyabilir, paydaşları ortak hedefte birleştirebilir.
- Maliyet; Şehirler operasyonel maliyetleri düşüremezse, akıllı bir şehir geliştirme fikri daha fazla maliyete sebep olabilir. Akıllı şehirler oluşturmak için şehirlerdeki operasyonel maliyetlerin azaltılması ve vatandaşlara gelişmiş hizmetlerin sunulması önemlidir. Bulut tabanlı uygulamalar ve hizmetler, daha iyi hizmet sunarken belediyeler ve vatandaşlar için maliyetleri azaltma kapasitesine de sahiptir (Formasino, 2015).

Şehir sakinleri akıllı şehir ekosistemleriyle, akıllı telefonları ve mobil cihazları, bağlı otomobilleri ve evleri kullanarak çeşitli şekillerde etkileşime girebilmektedirler. Akıllı şehir mimarları veya şehir yöneticileri cihazları ve verileri bir şehrin fiziksel altyapısı ve hizmetleriyle eşleştirerek maliyetleri azaltabilmekte ve sürdürülebilirliği artırmaktadırlar. Belediyeler, IoT ve bulutun yardımıyla enerji dağıtımını iyileştirebilir, çöp toplama işlemini kolaylaştırabilir, trafik sıkışıklığını azaltabilir ve hatta hava kalitesini artırabilir. Bu nedenle Akıllı şehir teknolojileri, ekonomik kalkınma için yeni yollar sağlarken, vatandaşların sağlığını ve refahını iyileştirme gücüne de sahiptir. Akıllı şehir uygulamaları için verilebilecek ve günümüzde de kullanılmakta olan bazı örneklerle aşağıdaki maddeler verilebilir. Şekil 3.2’de akıllı şehir mimarisinin bileşenleri verilmiştir.

- Trafik; Gerçek zamanlı trafiğe yanıt verebilmek için farklı algılayıcılar aracılığıyla toplanan araç verilerinin trafik yoğunluğunun azaltılmasında kullanılması

- Yol Güvenliği; Yol koşullarını izleyerek ve uyararak güvenliği sağlayan ve kazaları önleyen bir araç kontrol sistemi.
- Ulaşım; Birbirine bağlı sistemler ile park sayaçları, elektrikli araç (EV) şarj platformları ve sürücülerle mümkün olan en yakın nokta için doğrudan iletişim kurabilen araçlar
- Çevre; Otomatik olarak atık yönetimi şirketlerine veri gönderen ve önceden planlanmış bir programa göre gerektiğinde rota çizebilen akıllı atık toplama araçları
- Enerji; Enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabilen, anlık koşullara göre ayarlanabilen şehir aydınlatma sistemleri
- Güvenlik; Kamu güvenliğini artırmak için şehir yöneticilerinin, potansiyel suç bölgelerini belirlemesi ve suçların olmasını önlemek için gerçek zamanlı suç haritalama, anlık ateşli silah tespiti gibi yöntemleri kullanması
- Sağlık; kronik hastalıkların takibi, bölgesel artışların tespiti, hasta izleme ve anlık müdahale

Şekil 3.2’de akıllı şehirler ve sistemlerinin genel bir mimarisi görülmektedir.



Şekil 3.2. Akıllı Şehir Mimarisi ve Teknoloji Katmanları (Saadeh vd., 2018)

- Algılama Katmanı; Şehri akıllı yapan en temel katmandır ve akıllı teknolojiler kullanılarak bağlanmış binlerce sensör ağından oluşur. ZigBee, Bluetooth, Wifi gibi gelişmiş protokollerin yanı sıra Loop detector gibi daha basit sensörler de kullanılmaktadır. Ortamdan veri toplar ve verileri Internet üzerinden bulut sunucusuna ileten diğer bağlı cihazlara aktarırlar.
- İletişim Katmanı; Kablosuz veya kablolu iletişim araçlar ile gelişmiş protokol standartları sayesinde kaynak yönetimi, işlemci kontrolü, veri transferi gibi onlarca işlemin yürütüldüğü katmandır.
- Veri Katmanı; Uç bileşenlerde veya bir bulut sunucuda verilerin işlenmesi ve kapasite yönetiminin yapıldığı bölümdür. Aynı zamanda olay yönetimi ve karar mekanizmasının işletildiği katmandır. Veriler üzerinde herhangi bir ön işleme gerekiyorsa algılayıcıların yeteneklerine göre doğrudan ya kendi içlerinde ya da aktarılan merkezi işlemci algılayıcılarda yapılabilmektedir. İşlenen veriler daha sonra düzenli olarak uzak bir sunucuya gönderilir.
- Uygulama Katmanı; Uygulama katmanı veri organizasyonu ve sunumundan sorumludur. Sistemlerin, kullanıcılar veya saha ile doğrudan temasının sağlandığı bölümdür. Uygulama katmanlarında http veya ftp protokollerine ek olarak MQTT, AMQP ve CoAP gibi gelişmiş standartlarda kullanılmaktadır (Saadeh vd. 2018).

### 3.2. Akıllı Ulaşım Sistemleri

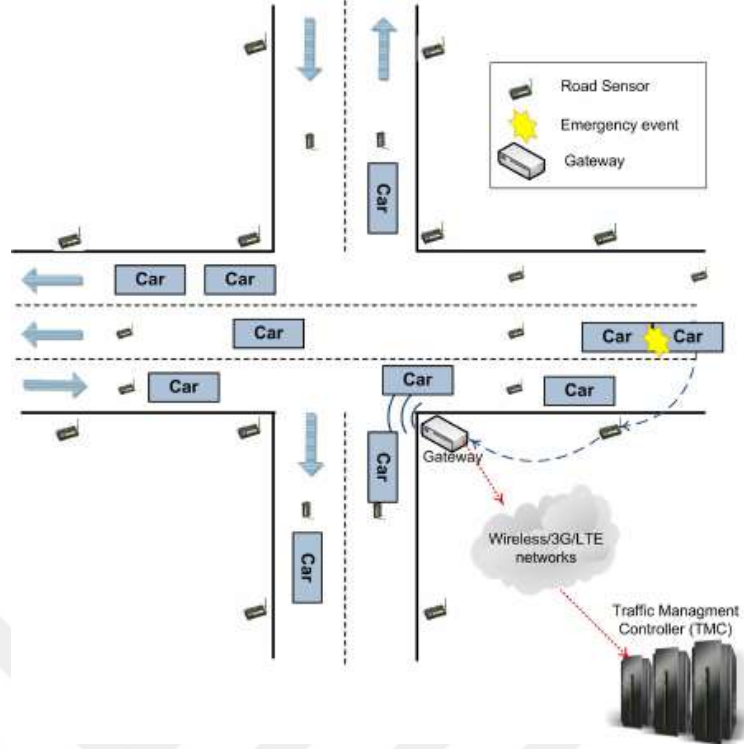
Ulaşım sistemleri doğrudan hem halkın hayat kalitesini iyileştirebilen hem de sektörel anlamda sanayi faaliyetlerini etkileyebilen toplumsal ve yaşamsal standartlar açısından temel bir faaliyettir. Gelişen altyapı ve teknoloji bileşenleri ulaşımında yaşanan zaman kayıplarının azalması, alternatif birimlerin oluşması, trafik kazalarının düşmesi, yakıt tüketiminin uygun kullanımı gibi birçok faktörü olumlu yönde etkilemektedir. Bu bağlamda öne çıkan Akıllı Ulaşım Sistemleri şehirlerin teknolojik ve altyapı olarak en çok yatırım yaptığı alanlardan birisidir (İlıcılı vd. 2016).

Endüstriyel açıdan ulaştırma, lojistik, üretim, depolama, bakım ve dağıtımın yanı sıra ekonominin doğru işleyişine doğrudan etkisi olan bir faaliyet alanıdır. Akıllı ulaşım sistemleri ulaştırma bağlamında şehir yönetimini ilgilendiren birden fazla faaliyet alanında kullanılabilir. Bu sistemler genellikle trafik sıkışıklığını çözmek için önemli bir araç olarak kabul edilir ve donanım ve yazılım alanındaki gelişmelerin ışığında şehir plancılarının, trafik mühendislerinin ve idarecilerin trafik yönetiminde önemsedikleri konuların başında gelmektedir (Tektaş vd., 2016). Bunlardan başlıca bazı başlıklar aşağıdaki şekildedir.

### **3.2.1. Trafik Yönetim Sistemleri**

Trafik akışlarını yönetebilmenin ve kontrol edebilmenin temel unsuru karayolu durumunun koşullarının algılanması ve izlenmesine bağlıdır. Akıllı şehirlerin, kentsel alanlarda trafiği izlemeye, kontrol etmeye, optimize etmeye ve işletmeye yardımcı olan gelişmiş trafik yönetim sistemleri olmadan akıllı olarak tanımlanması oldukça zordur. Gelişmiş trafik yönetim sistemi, trafik ihlali raporlaması, olay tespiti, araç sayaçları, sinyal süreleri takibi, kavşak kontrolü ve sınıflandırıcılar gibi sistemleri kapsar. Tüm bu akış, veri aktarım yetkilileri ve tüketicilerinin şehrin ulaşım koşulları ve kullanılabilirliği hakkında gerçek zamanlı güncellemeler almasına olanak tanıyan bir Trafik Yönetim Merkezi'ne canlı veri akışı sağlar.

Trafik kontrol merkezleri veya yönetim sistemleri akıllı şehir taşımacılığı için kontrol odası niteliğindedir ve trafik durumu, tıkanıklık, hız, kaza, akış ve yoğunluk gibi verilere müdahale edilmesine imkân tanır. Özetlemek gerekirse bu sistemler şehirlerin trafik akışını gerektiği gibi ayarlamasını sağlayan kontrol izleme sistemleridir. Mevcut talebe yanıt verme, trafik sıkışıklığını azaltmak ve güvenliği artırmak gibi tüm trafik sistemini düzenleyebilme yeteneğine sahiptir. Trafik Yönetim Merkezine bağlı yaygın olarak kullanılan farklı teknolojiler bulunmaktadır (Kostakos vd. 2013). Bunlar yol işaretleri, araç sayaçları, trafik ışıkları vb. gibi kontrol ve altyapı birimleri olabilirler. Şekil 3.3'te sensör ve araçların resmedildiği bir kavşak planı görülmektedir.



Şekil 3.3 Algılayıcılar ile donatılmış bir kavşak planı (Brahmi vd., 2014)

Trafik Yönetim Sistemi tarafından kontrol edilebilecek ve izlenebilecek anahtar sistemler (Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı, 2016):

- Dinamik yol işaretleri: Taşıtları kazalara, trafik sıkışıklığına, anlık hava değişimlerine ve trafik koşullarına ilişkin diğer bilgilere karşı uyararak için yollarda kullanılan elektronik işaretlerdir. TYS tarafından kontrol edildiğinde, dinamik mesaj işaretleri trafiği yeniden yönlendirebilir, seyahat hızını sınırlayabilir, kazaları azaltabilir ve araçların mevcut otoparkları bulmasına yardımcı olabilir.
- Araç sayaçları: TYS, araç sayaçları aracılığıyla otoyola erişime izin verilen araçların akışını kontrol etmeye ve yönetmeye yardımcı olur. Yol üzerindeki trafik sinyallerinin izlenmesi, otoyol tıkanıklığının gerçek zamanlı optimizasyonunu sağlar.
- Trafik ışıkları: Şehir içi trafiğini düzenlemede en etkili ve en eski bileşenler trafik ışıklarıdır. TYS sistemleri trafik ışıkları ile trafiği izleyebilir ve trafik ışıklarına ve kavşaklara yaklaştıkça araç varış düzenlerini tahmin etmek

ve trafik ışığı sinyallerini buna göre ayarlamak için toplanan verileri kullanabilir.

- Karayolu Hava Durumu Bilgi Sistemi: Hava durumu sistemlerinden akan verilerin toplandığı ve yol koşullarına göre bildirimlerin yapıldığı merkezi bir veri tabanıdır. Yol hava sistemleri, yol sensörleri, meteorolojik sensörler, güneş ve radyasyon sensörleri ve dijital kameralardan gibi sistemlerden veri toplar. Merkezi hava durumu bilgi sistemi, bu verileri bakım maliyetlerinden tasarruf etmeye, kirliliği azaltmaya ve daha güvenli yollar oluşturmaya yardımcı olan hava durumu analizlerine dönüştürmeye yardımcı olur.
- Otoyol tavsiye radyosu: Lisanslı AM radyo istasyonları tarafından toplanan trafik bilgileri trafik yönetim sistemine aktararak anlık yol durumlarını sürücülere ulaştırmaktadır. Resmi makamlar veya ulaştırma birimleri, havaalanları, tren istasyonları veya yol inşaatları hakkında bilgileri toplayarak sürücüleri tehlikelere karşı uyarır. Bu veriler, radyo istasyonları aracılığıyla sistematik olarak toplanarak trafik yönetim sistemine entegre edilmektedir.

Yollardan sensörler veya kamera algılayıcılar ile toplanan araç sayısı, hava durumu, yoğunluk verisi, anlık gelişmeler gibi birçok parametre trafiğin yönetiminin dinamik olarak yapılmasının önünü açmaktadır. Burada yöneticilerin özellikle ilgilendiği kısım gerçek zamanlı verilere erişebilmek ve bu veriyi karar destek sistemlerinde kullanabilmek. Akıllı ulaşımın her alanındaki teknikler ilerledikçe, trafik akışı koşullarını gerçek zamanlı olarak yönetebilmek ve dinamik trafik ataması yapabilmek mümkün hale gelmiştir.

Akıllı ulaşım sistemlerinin temel amacı, tüm dünyada yaygın bir sorun olan trafik yoğunluğunun etkisini azaltmaktır. Muazzam miktarda veri toplayan bu sistemler çok sayıda trafik sensörünü içerebilir. Trafik akışı verilerinin altında etkin trafik yönetim sistemi için önemli bilgiler bulunmaktadır. Akıllı ulaştırma bileşenleri bütüncül olarak, trafiği gerçek zamanlı izleme, trafiğin video görüntülerini analiz etme ve trafiği etkin bir şekilde yönetme gibi çeşitli operasyonel rollere de sahiptir. Bu rollerden bazıları şu şekilde özetlenebilir;

- Anlık kaza riskini algılama: Gelişmiş trafik yönetim sistemleri, sürücülerin davranışlarını kamera görüntüleri ile analiz edebilir, anlık uyarılar verebilir, güvenlik önlemlerini harekete geçirebilir.
- Anlık bilgilendirme: Gelişmiş trafik yönetim sistemleri ve yollara yerleştirilmiş sensörler yardımıyla, sürücüler yol emniyet ve güvenlik durumlarını, tehlike oluşturabilecek koşulları öğrenebilir
- Yetkililer tarafından derhal müdahale: Gelişmiş trafik yönetim sistemleri tarafından desteklenen akıllı ulaşım yönetim merkezi, polis ve acil durum ekipleri gibi yetkililere olaylara müdahale süresini kısaltabilmeleri için gereken bilgilere erişimlerini sağlayabilir.
- Şeffaflık: Gelişmiş trafik yönetim sistemlerinden elde edilen veriler günlük ulaşım operasyonlarında verimliliği artırabilir, hareketlilik rotalarını optimize edebilir ve yeni trafik uygulamalarının geliştirilmesine yardımcı olabilir.
- Video analizi: Anlık alınan video kamera görüntüleri ile araç cinsi, yolcu ve sürücü davranışları, yol kapasite gibi durumlar analiz edilerek yol koşullarının iyileştirilmesi yapılabilir (Xiong vd., 2012)

### **3.2.2. Dönel Kavşaklar**

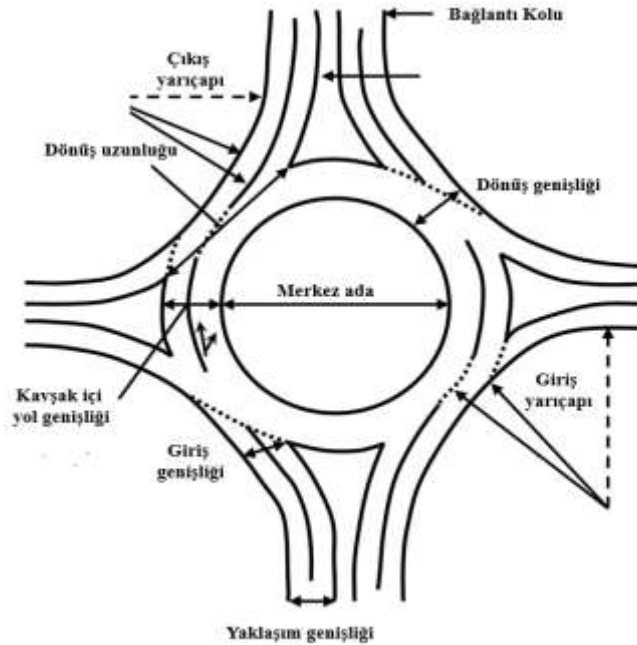
Dönel kavşaklar, şehir merkezi veya karayollarında birden fazla bağlantı yolunun kesişim noktasında konumlandırılmaktadır. Şehir planlarında trafiğin düzenleyicisi olarak kullanılan bu bileşenler birden fazla trafik akımının ortak olarak kullandıkları alanlardır. Trafik akımlarının kesişim noktası olması sebebiyle yanlış konumlandırılan kavşaklar trafik yoğunluğunun artmasına da sebep olabilir. Bu hassasiyeti sebebiyle hem trafik yoğunluğunun artmaması hem de trafik kazalarının önüne geçebilmek için iyi tasarlanması ve konumlandırılan bölgenin iyi bir şekilde planlanmasının yapılmasını gerektirir (Çalışkanelli, 2010).

Dönel kavşaklar eşdüzey (hemzemin) veya katlı kavşaklar olarak farklı yapı tiplerine sahip olabilirler. Bağlantı birimlerinin aynı seviyede olduğu kavşaklar

eşdüzey farklı seviyeden bağlantı kollarına sahip kavşaklar ise katlı kavşaklar olarak tanımlanmaktadır. Dönel kavşakların sistematik bir şekilde düzenleyici rolüne sahip olabilmesi için sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır (Çetinkaya, 2018).

### 3.2.3. Sinyalizasyon Sistemleri

Trafik sinyalleri, karayolu kullanıcılarının her yaklaşıma ve harekete geçiş yolu atayarak seyahatlerini ilerletmeleri için gösterge sağlayan, elektrikle çalışan trafik kontrol cihazlarıdır. Kavşak içi ve bağlantı bölümlerinde konumlandırılan sinyalizasyon sistemleri güvenlik ve hareket kabiliyetinin en önemli sağlayıcılarıdır. Trafik sinyalizasyon sistemleri, yol kullanıcılarının taleplerine göre güvenli ve verimli bir şekilde geçiş izni verecek şekilde tasarlanmaktadır. Bir kavşak tasarımında ve sinyalizasyon sisteminin kurulumunda dikkat edilen temel parametreler Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Kavşak tasarımında dikkat edilen kısıtlar (Arlington, 2020)

### **3.2.4. Sinyalizasyon Planları**

Sinyalize kavşaklardaki trafik sinyal sürelerinin yönetimi, sahip olduğu plana göre farklılık gösterebilmektedirler. Kavşaklarda konumlandırılan kontrol cihazları aracılığıyla koordine edilen trafik ışıkları altyapı teknolojilerinin kabiliyeti ölçüsünde farklı operasyon planlarına sahip olabilmektedir. (Harb vd., 2019)

Sinyalize kavşaklarda trafik sinyallerinin çalışma prensipleri şu şekilde özetlenebilir;

- Önceden planlanmış sabit sinyal süreleri
- Yarı-sabit planlı süreler
- Tamamen trafiğe duyarlı süreler
- Adaptif sinyal yönetimi

#### **3.2.4.1. Sabit Süreli**

Önceden zamanlanmış sinyalize sistemler, sabit çevrim uzunlukları ve yeşil süreler ile çalışır ve devreler arası geçişleri sabit bir sırayla uygular. Bu şekilde çalışan sinyaller, günün farklı dönemleri için farklı döngü, ayrılma ve ofset değerlerine sahip birden fazla zamanlama planı içerebilir. Önceden zamanlı kontrol planları, trafik hacimlerinin ve modellerinin günlük veya haftalık bazda göreceli olarak tutarlı olduğu kavşaklarda ideal olarak uygundur (Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı, 2016).

#### **3.2.4.2. Yarı Sabit Süreli**

Yarı sabit süreli veya trafiğe duyarlı sinyal planları yarı sabit veya tamamen değişken modda çalıştırılabilir. Bu kavşağın taşıdığı dedektörlerin yeteneği ve trafik planlayıcıların tercihiyle ilgili olarak değişebilir. Yarı sabit süreli sinyal planları günlük çok fazla değişkenlik göstermeyen belli saatlerinde sabit diğer zaman dilimlerinde trafiğe duyarlı olarak çalışabilir. Kavşak yönetim

sistemlerinde genellikle tercih edilen plan olması sebebiyle kullanımı oldukça yaygındır.

#### 3.2.4.3. Dinamik Sinyal Planları

Tam duyarlı trafik sinyal planları ise detektörler ile donatılmış bağlantı yollarından alınan araç sayısı, yoğunluğu, taşıt cinsleri, yoğun zaman periyodları gibi farklı parametreleri dikkate alarak anlık planlama yapabilen bir prensibe sahiptir. Her devre sonunda veya belli bir eşikten (threshold) sonra veya önce planlama yapabilecek şekilde kurgulanabilirler. Bu şekilde çalışan sistemler sabit devre süresi içinde yeşil, kırmızı ve koruma süreleri ile oynayarak yoğun kolun boşaltılmasını sağlamaya çalışırlar. Şekil 3.5'te sinyal geçişlerini gösteren değişim planı görülmektedir.



Şekil 3.5. Sinyal Planları Değişimi (ISSD, 2020)

#### 3.2.4.4. Adaptif Sinyal Planları

Adaptif sinyal yönetimi aslında tam duyarlı sinyal planları grubunda da değerlendirilmektedir. Adaptif yönetim tek bir farktan dolayı kimi sınıflandırmalara göre ayrıca açıklanmaktadır. Bu yönetimde sinyal süreleri optimizasyonun yanı sıra bağlı kollara da yoğunluklarına göre öncelik verilmesi söz konusudur. Kavşak yaklaşım kollarındaki kuyruk uzunlukları ve taşıt durma, kalkma süreleri gibi değerler dikkate alınarak geçiş üstünlüğü tanınmaktadır. Adaptif kontrol, yeşil zamanları tüm trafik hareketlerine eşit olarak dağıtabilir, seyahat süresi güvenilirliğini artırabilir ve bir trafik sinyali zamanlama planının etkinliğini uzatabilir. Sistemin bu plan grubunda sağlıklı çalışabilmesi için kavşak

bağlantı kollarından verilerin anlık veya belli aralıklar ile alınabilmesi ve kavşak geometrisinin bu prensibe uyması gerekmektedir (Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı, 2016; Caliskanelli, 2010; Dağüstü, 2010).

### **3.2.5. Sinyalize Kavşaklar**

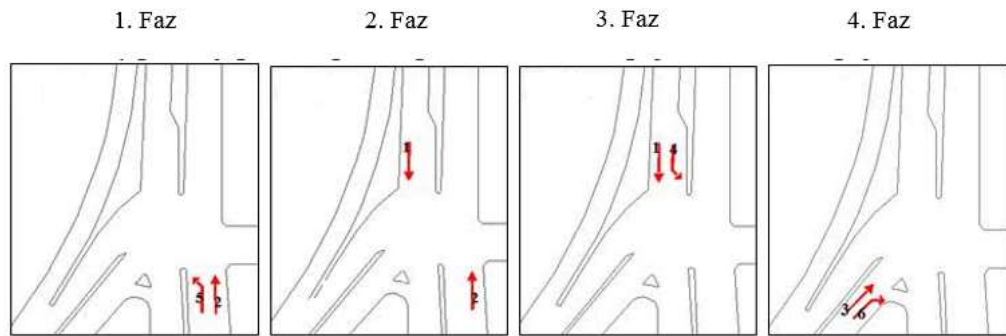
Şehir içi trafiğinin düzenleyici bileşenlerinin başında gelen sinyalize kavşaklar iyi tasarlanması ve uygun sinyal planları ile çalışması durumunda araç akımının düzenlenmesinden trafik kazalarının azaltılmasına kadar birçok yönden olumlu etkisi bulunmaktadır (Özen, 2020). Tasarım ve çalışma prensibi ayarlanırken çevre faktörlerinden bağlı yakın kavşaklara varana kadar birçok etken birlikte değerlendirilmektedir. Trafik mühendisleri ve şehir plancıları gibi farklı uzmanların bir araya gelerek planladıkları bu bağlantı noktaları çok iyi optimize edilmesi durumunda da yoğunluğun artmasına sebep olabilmektedir (Caliskanelli, 2010). Bu sebeple birden fazla kısıtın birlikte değerlendirilmesi gereken bir problem olduğu ortaya çıkmaktadır (Ilıcalı vd., 2016). Uygulayıcılar tarafından yeni trafik sinyallerinin kurulumu planlanırken karayolu/kavşak geometrisi, görüş mesafesi, sürücü beklentisi ve yakındaki bir kavşağın veya trafik ışığının konumları da dikkate alınmaktadır (Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı, 2016).

#### **3.2.5.1. Sinyalize Kavşak Tanımları**

Sinyalize kavşak yönetiminde önemli bazı tanımlar bulunmaktadır (Çakıcı, 2014). Bu bileşenlerin açıklamaları kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilir;

- Devre; Kavşak geçiş haklarının tüm yönler tarafından kullanılması sonucunda ortaya çıkan süre devre süresi olarak açıklanmaktadır.
- Faz; Kavşakta belli bir yöne tanınan ilk yeşil süre ile bir sonraki akıma tanınan yeşil süre arasındaki zaman farkı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.6'da örnek bir faz sırası verilmiştir.

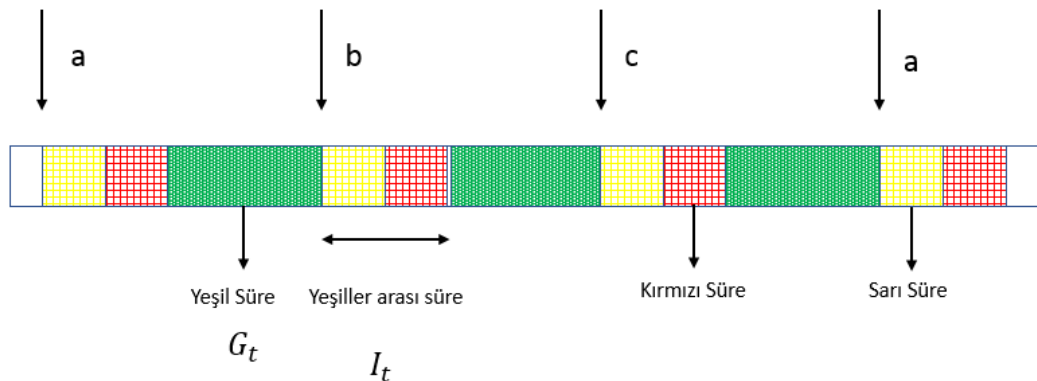
- Yeşil ve Kırmızı Süre; Yeşil süre geçiş hakkı elde eden yönün hareket halinde kullandığı zaman dilimi, kırmızı süre ise bir fazda geçiş hakkının olmadığı durumlarda geçen süredir.
- Koruma süresi; Koruma süresi veya yeşiller arası süre bir devre süresi içerisindeki yeşil sürenin haricinde kalan süre olarak açıklanmaktadır. Güvenlik amaçlı kavşak kollarının geçiş hakkı elde ettikleri anın öncesinde yaşadıkları zaman kaybıdır.



Şekil 3.6. Örnek Faz Sırası İstanbul Bostancı Tataraga Camisi Kavşağı

Yeşil süre ve yeşiller arası sürenin toplamı devre süresini vermektedir. Şekil 3.7'de buna ilişkin devre diyagramı görülmektedir. Bir devre süresi kavşak çalışma prensibine göre sabit ya da değişken olabilir. Günün zirve saatlerinde çoğu uygulamalarda devre süresi yeşil süreden dolayı artmaktadır.

$$C = \sum G_t + I_t \quad (3.1)$$



Şekil 3.7. Sinyal Devre düzeni

### **3.2.5.2. İzole ve Koordineli Kavşaklar**

Sinyalize Kavşaklar yakın bölgelerinde konumlanan farklı kavşaklar ile iletişimde olup olmamasına göre de gruplandırılmaktadır. İzole kavşaklar tek başına değerlendirilen, çevre birimleri ile herhangi bir temasının olmadığı sistemlerdir. Koordineli kavşaklar ise birbirine yakın birden fazla kavşağın iletişim kurarak birbirlerinin sinyal sürelerini etkilediği durumlar için tanımlanmaktadır (Başkan, 2014). Yeşil dalga olarak adlandırılan sistemler koordineli kavşaklar grubunda değerlendirilmektedir. Bir aracın bir kavşaktan girerek o anki yol trafik koşullarına bağlı olarak hızlı bir şekilde birbirine bağlı kavşak grubundan geçmesi koordineli kavşaklar ile mümkündür.

### **3.2.6. Sinyalize Kavşak Hesap Yöntemleri**

Sinyalize kavşakların performansının veya yeterliliğinin tek bir değere bağlı olarak değerlendirilmesi oldukça zordur. Genel bir anlayış veya literatürde bu anlamda ilk çalışmalar araç gecikmeleri, kavşak kapasitesi, sistem doluluk oranları veya kuyruk uzunlukları gibi ölçütler üzerinde yapılmıştır (Bullock, 2008).

#### **3.2.6.1. Sinyalize Kavşak Performans Kriterleri**

Kavşak performansının değerlendirilebilmesi adına bazı veri setlerine ihtiyaç vardır. Bu veri setleri sistemin sahip olduğu yeteneklere göre farklılık gösterebilir. Fakat temel olarak toplanabilecek veri grupları ve bu verilerin çıktıları genelde aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Karayolları El Kitabı, 2005).

- Kavşak içi ve yaklaşım kollarındaki taşıt sayıları
- Taşıt cinsleri (otomobil, taşıt, kamyonet vb.)
- Toplu taşıma duraklarının konumları
- Yaya ve bisiklet sayıları
- Fiziksel yol özellikleri (Şerit Sayısı, yaklaşım dereceleri vb.)
- Bir kavşağın bir taşıta verdiği hizmet süresi

- Ortalama taşıt gecikmeleri
- Yoğun saat dilimlerindeki saha gözlemleri
- Yaklaşım yapan taşıtların geliş hızları
- Kollar üzerinde bekleme süreleri
- Yakın bölgelerdeki farklı kavşakların değerleri

### 3.2.6.2. Trafik Akış Verisi

Trafik Akışı, sürücülerin veya araçların iki nokta arasındaki hareketi ve birbirleri ile etkileşimlerinin sonucu ortaya çıkan veridir. Bu veri için özellikle insan faktörünün içerisinde olmasından dolayı kesin bir sonuca varmak oldukça zordur. Fakat kavşak sistemi veya karayolları etrafından toplanan verilerden bu değer yaklaşık olarak hesaplanabilir. Trafik akış verisi, kavşak bağlantı kollarından birim zamanda geçen araç sayısı olarak tanımlanmaktadır. Kavşak performans ölçümünde kullanılacak en önemli ölçüttür. Analiz için kullanılan akış hızı verileri (yani analiz süresi başına araç sayısı) dönüş hareketlerini, giriş akış hızını, dolaşım akış hızını ve yaklaşma kapasitesini içerebilir.

Trafik akış hızı veya oranı doğrudan nokta ölçümleri yoluyla toplanır ve tanım gereği belli bir zaman periyodu içinde değerlendirilmesi gerekir (Habtemichael, 2016). Yol uzunluğunun tek bir anlık görüntüsünden tahmin edilemezler. Geçen araç sayısı  $N$  ve geçen süre  $T$  olmak üzere akış oranı  $q$  şu şekilde hesaplanır:

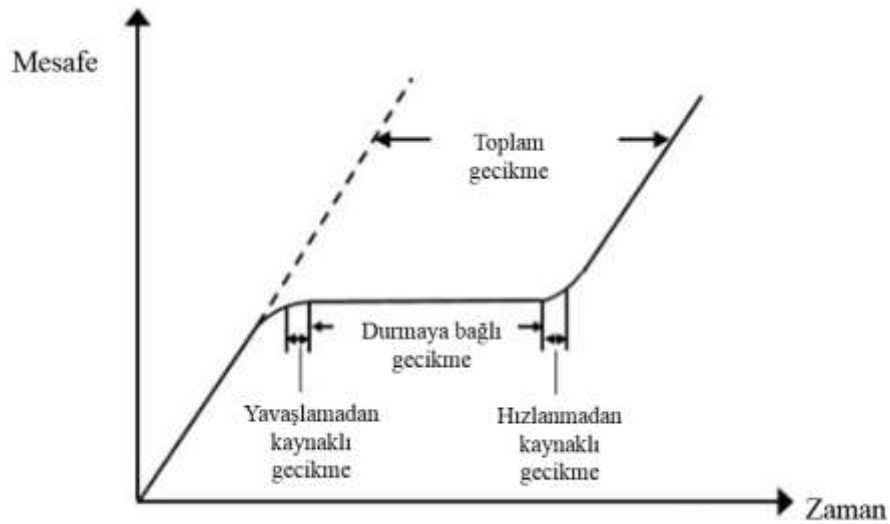
$$q = \frac{N}{T} \quad (3.2)$$

### 3.2.6.4. Sinyalize Kavşaklarda Gecikme

Araç veya yaya gecikmeleri trafik planlamacılarının ve araştırmacıların üzerinde durduğu en önemli parametrelerdendir. Doğru tahmininin son derece kritik olduğu bu değer sinyalize kavşaklarda ve bağlı yollarda planlı çizimlerden sinyal sürelerinin atamasına kadar birçok çıktının girdisi olmaktadır. Sinyalize kavşaklarda bir taşıtın yaşadığı gecikme hizmet veren kavşak sisteminin

yeterliliği hakkında fikir verebilir. Gecikme değeri taşıtların yaşadığı zaman kaybından veya simülasyon araçları kullanılarak kavşak kullanım yoğunluklarından elde edilebilmektedir. Simülasyon ile ilgili bölümde detaylı bahsedileceği için şimdilik bu konu sonraki bölümlere bırakılmıştır (Dion vd., 2004).

Gecikme en basit haliyle sinyalizasyon sistemi kullanan bir taşıtın kavşağı kullanırken yaşadığı zaman kaybı olarak tanımlanmaktadır. Bu kayıp literatürde taşıtın hareketine göre farklı kayıp hallerine ayrılabilir. Aracın kavşağa yaklaşırken, duruş halinde veya ivmelenmesi durumunda geçirdiği zamanı gecikmenin farklı durumları olarak gösterilebilmektedir. Aşağıdaki şekil 3.8’de bu gecikmelerin zamana bağlı değişimleri görülmektedir.



Şekil 3.8. Taşıt Gecikme Diyagramı (Murat ve Cakici, 2017)

Kavşak sistemleri üzerine yapılan çalışmaların ilk temelleri İngiliz yöntemi olarak bilinen Webster ve Avustralya yöntemi olarak da bilinen Akçelik çalışmaları ile atılmıştır (Akgungor, 1999).

### 3.2.6.4.1. Webster Modeli

Webster 1958’de geliştirdiği bu yöntemde geliş ve gidiş dağılımlarını varsayımlar ile poisson ve sabit olarak tanımlayarak belli bir kuyruk modeli ile göstermiştir (Webster, 1958). Tanımladığı bu gecikme modelinde servis sürelerini sabit olarak göstermesi sonrası birçok çalışmanın da gelişimine fırsat tanımiştır, zira gerçek hayatta servis sürelerinin her zaman sabit olamayacağı ve trafik akımının doygunluğa ulaşması durumunda sistemin gecikmeleri ynetemeyeceği üzerinden yola çıkarak model takip eden araştırmalarda geliştirilmiştir. Aşağıdaki denklem 3.3’ te bu gecikme denklemi verilmiştir;

$$d = \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65\left(\frac{c}{q^2}\right)^{1/3} x^{(2+5x)} \quad (3.3)$$

Tanımdaki ifadeler ise;

$\lambda$  = yeşil oranı,

$x$  = doygunluk oranı

$q$  = Akım oranı

$c$  = Devre

$d$  = ortalama gecikme

### 3.2.6.4.2. Akçelik Modeli

Avustralya karayolları el kitabında önerilen bu model Avustralya yöntemi veya Akcelik gecikme modeli olarak da tanımlanmaktadır (Akcelik, 1988). Kavşak bağlantı yollarından elde edilen araç sayıları, kollara tanınan yeşil süre ve trafik akım yoğunluğu gibi değerler dikkate alınarak bir gecikme modeli geliştirilmiştir. Denklem 3.5’ te bu formülasyon verilmiştir (Güneş vd., 2020);

$$OD = \begin{cases} \left(\frac{T}{4}\right) \{(x-1) + [(x-1)^2 + 12(x-x_0)/cT]^{1/2}\} & \text{eğer } x > x_0 \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.4)$$

$$x = \frac{v}{c} \text{ ve } x_0 = 0.67 + sg/600 \quad (3.5)$$

Denklemde 'ki ifadeler;

$OD$  = ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt adedi),

$T$  = Periyod

$s$  = doygun akım (araç/saniye)

$c$  = kapasite (araç/saat)

$g$  = etkin yeşil süre

$v$  = akım oranı

$x_0$  = doygunluk derecesi

Gecikme denklemi;

$$W = \frac{q \cdot D \cdot (1-u)^2}{2 \cdot (1-y)} + OD \cdot x \quad (3.6)$$

Denklemde 'ki ifadeler (Güneş vd., 2020);

$OD$  = ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt adedi),

$W$  = Gecikme

$D$  = Devre

$q$  = Akım oranı (taşıt/sn)

$s$  = doygun akım (araç/saniye)

$g$  = etkin yeşil süre

$u$  =  $g/D$

$y$  =  $q/s$

#### 3.2.6.4.3. HCM 2000 Modeli

HCM 2000 modeli 1985 yılında geliştirilen ilk versiyonları üzerine yapılan iyileştirmeler sonucunda elde edilmiştir. Kavşak içi yoğunluk, kapasite ve gecikme değerlerini bir araya getirerek yıllar içerisinde güncel hali yayınlanmaya devam edilmiştir.

1985 yılında yapılan ilk çalışmanın devamında modelin temel yapısı üzerine çeşitli geliştirmeler yapılarak 1994, 1997 ve 2000 modelleri önerilmiştir (HCM, 1994; 1997; 2000). Yapılan güncellemeler soyunucunda model (HCM 2000) aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (3.7)$$

$$d_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{c(1-\frac{g}{c})^2}{\min(1, X)(\frac{g}{c})} \right) \quad (3.8)$$

$$d_2 = 900T \left[ (X - 1) + ((x - 1)^2 + \frac{8klX}{cT})^{\frac{1}{2}} \right] \quad (3.9)$$

Denklemdaki ifadeler (Güneş vd., 2020);

$d_1$  = uniform gecikme bileşeni

$c$  = Devre süresi

$g$  = yeşil süre

$x$  = doygunluk oranı

$d_2$  = artımlı gecikme bileşeni

$T$  = Analiz periyodu

$k$  = artımlı gecikme sabiti (sabit zamanlı sistemleri için 0,5)

$l$  = ölçüm düzeltme faktörü

$c$  = şerit kapasitesi

$d_3$  = önceki devreden kalma kuyruktan dolayı oluşan gecikme bileşeni

PF = Sinyal düzeltme faktörü (Progression Factor)

### 3.2.7. Araç Tespiti ve Algılayıcılar

Sensörler akıllı ulaşım sistemleri için hayati öneme sahip bileşenlerdir. Kullanımları trafik güvenliği, trafik kontrolü ve sürücü yardımı için çok çeşitli uygulamaların geliştirilmesini sağlar. Sensörler, geçmiş ve mevcut ulaşım sistemlerinin karşılaştığı sorunların bazılarını hafifletmek için mevcut ulaşım sistemleriyle entegre edilebilen veri toplama mekanizmasını (yol koşulları, trafik koşulları, araç koşulları gibi) sağlar. Analitik ve istatistiksel tekniklerin kullanımı

sayesinde ulaşım sistemleri ile entegre sensörlerin gerçek potansiyeli ortaya çıkar. Bu entegrasyon, mevcut ve gelecekteki ulaşım sistemlerinin güvenlik ve trafik kontrolünü iyileştirmeyi amaçlayan çok çeşitli yeni nesil akıllı uygulamaların geliştirilmesini genişletecek umut verici bir araştırma alanıdır (Ibanez vd., 2018).

Trafik yönetimi organizasyonları, akıllı ulaşım sistemlerinin hareketliliğin nasıl geliştirileceği konusunda zorluklarla karşı karşıya olduğunun farkındadır. Bu nedenle, fiziksel altyapıda ve hesaplama vizyonuna dayalı araçlar ve mobil algılama birimleri ve sistemleri içinde sürekli olarak akıllı sensörler kullanıyorlar. Bununla birlikte, sensörler kendi başlarına hareketlilik sorununu çözemezler. Taşıma sistemlerini iyileştirmek eksiksiz bir entegrasyon gerektirmesinin yanında farklı kaynakların ürettiği bilgileri yakalamak ve gerçek zamanlı paylaşabilmek için veri analizi, otomatik operasyon araçları, karar verme araçları, sosyal ve mobil ağlar gibi diğer teknolojilerin ve cihazların da kullanımına ihtiyaç vardır (Klein, 2001).

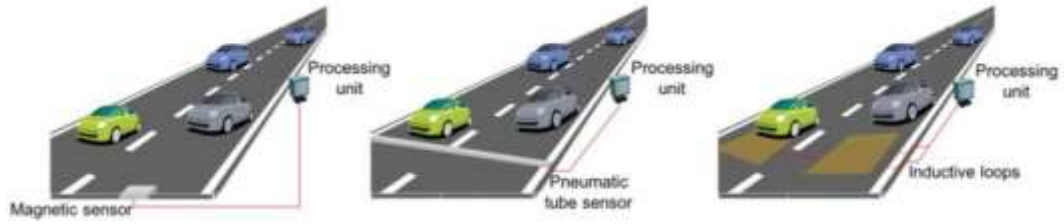
Sinyalize kavşaklarda sistem yönetiminin sağlıklı yapılabilmesi için sahadan akan veriler ile desteklenmesi son derece önemlidir. Bu anlamda kavşak içi veya bağlantı yollarında dedektörler (veya sensörler) yerleştirilerek sinyal kontrolü ve planlaması, belirli bir konumdaki motorlu taşıtların, yayaların, bisikletlerin hareketlerine veya yoğunluk oranlarına göre yapılması mümkün hale gelmektedir. Sinyal kontrolörü daha sonra bu bilgiyi yeşil zaman miktarını tahsis etme, zamanlama planlarını seçme ve sinyal fazlarını belirleme gibi işlevlerini yerine getirmek için kullanabilir.

Sinyalize kavşaklarda kavşak geometrisi, konumu ve kapasitesi gibi faktörlerin etkisiyle farklı algılayıcılardan faydalanılabilmektedir. Kullanılan algılayıcı sistemler yol üstü/asfalt altı (intrusive) veya yol kenarı (non-intrusive) konumlandırılmalarına göre iki ana grupta sınıflandırılmaktadırlar. Yol kenarı/üzeri sistemler kamera, radar, lazer, kızılötesi veya ultrasonik gibi algılayıcılar kullanırken yol üzeri/asfalt altı ise havalı hortumlu (pneumatic rode

tubes), manyetik döngüler (loop detectors) ve piezoelektrik gibi algılayıcılardan faydalanmaktadır (Karayolları El Kitabı, 2005).

Asfalt üstü konumlandırılan algılayıcılar asfalt altı veya kaldırım düzeyinde yerleştirilirler. Yüksek hassasiyete sahiptirler, geniş bir alanda uygulanmaları mümkündür ancak aynı zamanda kurulum zahmeti, bakım ve onarım maliyetleri oldukça yüksektir. Temel olarak asfalt üstü sensörler üç farklı şekilde olabilmektedir. Şekil 3.9’da gösterildiği gibi;

- İşlem ünitelerine kablolu veya kablosuz olarak bağlanan pasif manyetik sensörler
- İşlem ünitelerine kablolu veya kablosuz bağlanan pnömomatik havalı tüpler
- Asfalt altı gömülebilen tel bobinlerden oluşan ve araç geçişinde manyetik alan oluşturarak sayım yapabilen endüktif döngüler



Şekil 3.9. Asfalt üstü ve altı (intrusive) yerleştirilen algılayıcı sistemleri (Ibanez vd., 2018)

Yol üzeri algılayıcılar ise Şekil 3.10’da gösterildiği gibi yolu uzaktan gören farklı yerlere monte edilir ve bir aracın geçişini, hızını, cinsini ve şerit kapasitesi gibi diğer parametreleri algılayabilir. Asfalt üstü konumlandırılan algılayıcılara göre daha maliyetli ve çevre koşullarından etkilenebilen sistemlerdir. Yol üzeri uzak konumlandırılan sensörler ağırlıklı olarak bir trafik ışığında kuyruk tespiti, trafik koşulları, yolun hava koşulları ve yol şeritlerinin yoğunluğu gibi seçilen bir konum hakkında bilgi sağlayan uygulamalar geliştirmek için kullanılırlar. Bazı sensörler bir direğe monte edilir ve belirli bir kapsama alanını izlemek için kullanılır. Bazıları ise, doğrudan izleme alanı olan köprü geçişlerine monte edilir.



Şekil 3.10. Yolu uzaktan gören algılayıcı sistemler (Ibanez vd., 2018)

Yol üzeri sensörler asfalt üstü algılayıcıların yapabildiklerinin birçoğunu daha kolaylıkla yapabilen sistemlerdir. Fakat bununla birlikte kar, yağmur, sis gibi hava durumlarından daha fazla etkilenmektedirler. Trafik koşullarının değerlendirilmesinde verilerin doğru akışı son derece önemlidir. Bu da büyük oranda doğru algılayıcı doğru konumda kullanılmasını gerektirmektedir.

Sensörlerin kullanımında bir diğer önemli husus yol güvenliğidir. Yol üzeri konumlandırılan sensörler asfalt altı yerleştirilen sensörlere göre sürücülerin daha fazla dikkatini çekmektedir. Bu durum sürücülerin fark ettikleri anda ani reaksiyonlar göstermelerine, ani yavaşlama veya şerit değişikliği gibi hareketler yapmalarına sebep olabilmektedir. Zorluk sadece bu sensörlerin konumlandırılması veya kullanımı değil aynı zamanda trafik akışının güvenliği de burada son derece önemlidir. Çizelge 3.4’te sensör tipleri ve kullanım alanları özetlenmiştir.

Çizelge 3.4. Sensör Tipleri ve Kullanım Alanları (Ibanez vd., 2018)

| Sınıf                                            | Algılayıcı tipi      | Kullanım alanı                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Asfalt üstü, altı veya kaldırım üstü (Intrusive) | Pnömatik yol tüpleri | Araç sayısını, araç sınıflandırmasını ve araç sayısının takibi                                                                                        |
|                                                  | Endüktif Döngüler    | Aracın hareketini, mevcudiyetini, kavşak doluluğunu algılamak için kullanılır. Üretilen sinyaller yol kenarındaki kavşak kontrol cihazına kaydedilir. |
|                                                  | Manyetik Sensörler   | Taşıtın varlığının tespiti, duran ve hareket eden araçların tanımı                                                                                    |
|                                                  | Peizoelektrik        |                                                                                                                                                       |

|                                                           |                           |                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           |                           | Araçların sınıflandırılması, araç sayımı, aracın ağırlık ve hızının ölçülmesi                                                                                               |
| Yol üzeri veya uzak konumlu algılayıcılar (non-intrusive) | Kamera                    | Araçların birkaç şeritte algılanması ve araçların uzunluklarına göre sınıflandırılması ve her sınıf için araç varlığının, akış hızının, doluluk oranının ve hızının tespiti |
|                                                           | Radar Sensör              | Araç hacmi ve hız ölçümü, aracın hareket yönünün tespiti ve trafik ışıklarının yönetimi                                                                                     |
|                                                           | Kızılötesi                | Hız ölçümü, araç uzunluğu, hacim ve şerit doluluğunun algılanması                                                                                                           |
|                                                           | Ulstrasonic               | Araç sayısını, aracın varlığını ve doluluk oranını izleme                                                                                                                   |
|                                                           | Akustik Sensörler         | Aracın geçişini, mevcudiyetini ve hızını ölçmek için uygulamaların geliştirilmesinde kullanılır                                                                             |
|                                                           | Yol durumu algılayıcıları | Yolun ıslaklığı, sıcaklığı, donma seviyesi, havanın sis oranı gibi yolun yüzey bilgilerinin algılanması                                                                     |
|                                                           | RFID                      | Çoğunlukla araçların geçiş ücretlerinin alınması ile ilgili kullanılır (Gişeler, köprüler vb.)                                                                              |

Türkiye’de İstanbul ve Konya illerinde akıllı kavşak sistemlerinde yapılan saha çalışmalarında ağırlıklı olarak kamera ve loop döngülerin kullanıldığı görülmüştür. Her iki sistemin de kendileri arasında avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Döngü dedektörlerinin ve trafik kameralarının avantajlarının/dezavantajlarının aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Asyatrafik, 2020).

Loop Detektörlerin Avantajları ve Dezavantajları;

Avantajları;

- Sayım değerlerinde yüksek doğruluk,
- Araç sınıflandırma yeteneği.
- Belli aralıklar ile konumlandırılan döngüler aracılığıyla bağlantı yollarındaki kuyruk uzunluklarının tespiti
- Ucuz olması

#### Dezavantajları;

- Montaj sırasında asfalt kesme ihtiyacı,
- Asfaltın kesilmesi nedeniyle yol deformasyonu,
- Asfaltın sıcaklık veya farklı hava koşullarında bozulması sebebiyle veya deprem gibi durumlarda hareket etmesi sonucu açığa kablolarda hasar ve arıza.

#### Kameraların Avantajları ve Dezavantajları;

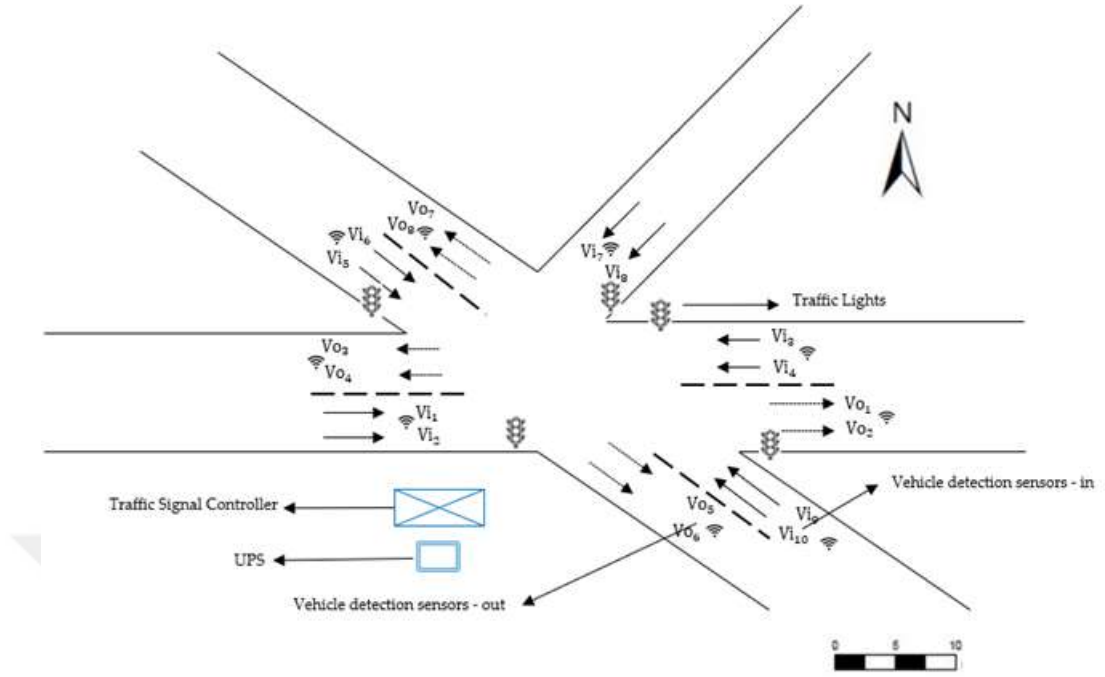
##### Avantajları;

- Montaj sırasında yola / zemine müdahale edilmemesi,
- İnşaat ve Onarım faaliyetleri gibi yollarda yapılan çalışmalardan etkilenmemek
- Bağlantı yollarında ve kavşak içinde şeritlerin işgaliye oranlarının tespiti
- Araç cinsi, sağa veya sola dönüş verilerinin algılanabilmesi
- İleri teknoloji kameralar ile algılanan verilerin algılayıcı biriminde işlenebilmesi
- Görüntü veya video analiz yöntemlerinin uygulanabilmesi

##### Dezavantajları;

- Maliyetli olması
- Kötü hava koşullarında performansının düşmesi
- Sabit ve sağlam bir bağlantı biriminin ihtiyacı (direk, kule vb.)
- GSM, internet vb. gibi iletişim altyapısına daha fazla ihtiyaç duyması, herhangi bir kesintide doğrudan etkilenmesi
- Kuyruk uzunluklarının algılanmasının zor olması,
- Görüş mesafesinin algılanabilmesi için doğru konumlandırma ihtiyacı

Şekil 3.11’de algılayıcıların kurulumu öncesi gerçekleştirilen kavşak planı görülmektedir.



Şekil 3.11. Kavşak üzerinde algılayıcıların yerleşim planı- Kocaeli Kartonsan

## 4. ANALİTİK YAKLAŞIMLAR

Bu başlık altında trafik analizinde tez kapsamında araştırılan ve modelin geliştirilmesi sürecinde faydalanılan yöntem ve yaklaşımlardan bahsedilmiştir.

### 4.1. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, işlediği verilerden öğrenmek için algoritma katmanlarını kullanan bir tür yapay zekâ olarak açıklanmaktadır. Yapay zekâ, insan zekasını simule etmek için daha çekici bir terim olsa da makine öğrenimi, bir makinenin nasıl bilgi edindiği ve nasıl kullanılması gerektiğine ve zaman içinde nasıl daha iyi olabileceğine ilişkin kuralları anladığıyla daha fazla ilgilenir (Russel ve Norvig, 2009). Başarılı makine öğrenmesi modelleri genellikle verinin çok fazla işlendiği alanlara uygulama da daha fazla tercih edilmekte ve buna bağlı olarak eğitilmiş veri setinden başarılı karar destek mekanizmaları oluşturulmaktadır. İnsanlar, algoritmaların yapabileceği gibi sürekli veri akışlarını işlemek için iyi bir donanıma sahip değildir, fakat kalıplaşmış hareketleri öğrenmiş bir algoritma ile destekli karar alıcı sistemler bu akışı işlemek için oldukça elverişlidir.

Makine öğrenmesi teknikleri, yararlı trafik modelini oluşturmada ve büyük miktardaki ulaşım verisini analiz etmede oldukça elverişlidir. Son yıllarda geliştirilen veri madenciliği teknikleri ile iyi bir veri setinden son derece anlamlı ve faydalı sonuçlar çıkarmak mümkündür. Güçlü ve esnek veri analizi yeteneği ile makine öğrenmesi teknikleri karar verme sistemlerinde büyük ölçüde kullanılmıştır.

Makine öğrenmesi tekniklerinin birçok alanda olduğu gibi ulaştırma sistemlerinde de kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada özellikle yol durumu üzerindeki tahmin ve analiz yöntemlerinin detayları üzerinde durulmuştur. Bu yöntemlerin sonucunda her araştırmanın hedefi geçmiş ve güncel verileri işleyerek analiz etmek ve yol ağındaki trafik akış durumunu tahmin edebilen bir model ortaya çıkarmaktır. Dinamik trafik modellerini geliştirmek için genellikle

kümeleme ve sınıflandırma analizi gibi veri madenciliği teknikleri uygulanmakta olduğu görülmektedir (Chhabra, 2018).

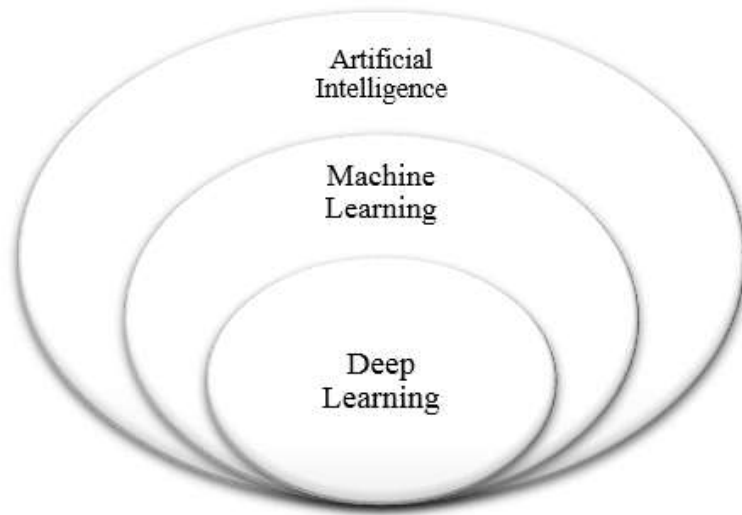
#### **4.2. Zaman Serisi Modelleri**

Zaman serileri, belli bir zaman diliminde ardışık olarak gözlemlenen verilerin dizisidir (James, 1994). Zaman serileri genel olarak istatistik temelli yöntemler grubuna girse de makine öğrenmesi ve derin öğrenme temelli tahmin uygulamalarında da kullanılmaktadır (Alpaydın, 2004). Zaman serilerinde gözlemler zamana bağlı değişkenlik göstermekte ve buradaki temel amaç geçmiş serilerin geleceğe yönelik bir öngöründe bulunabilmesinin sağlanmasıdır. Zaman içerisindeki değişimlerin seyrine, trendine veya bulunduğu döneme göre rastsallık, dönemsellik ve doğrusallık gibi farklı detaylarda incelenmesi mümkündür (Lee vd., 1999). Sıralı olarak belli bir periyotta birçok verinin gözlemlendiği trafik verileri için zaman serisi modelleri (time series models) oldukça kullanışlı yöntemlerin başında gelmektedir.

Literatürde zaman serilerinin tahmininde birçok modelin uygulandığı görülmektedir. Bu modellerin başında ARIMA modelleri olarak bilinen ve zaman serileri aralarında doğrusal bir ilişkinin olduğunu varsayarak uygulanan yöntemler gelmektedir. ARIMA modelleri, teorik olarak, farklılaşma ve loglama gibi dönüşümlerle durağanlaştırılabilen bir zaman serisini tahmin etmek için en genel model sınıfıdır. Bu bağlamda Box-Jenkins metodu uygun bir ARIMA zaman serisi modeli geliştirmek ve modeli öngörmede kullanmak için genel bir metodoloji sunmaktadır (Levin ve Tsao, 1980)). Fakat trafik akışının doğası gereği lineer bir seyir pek mümkün görünmeyebilir. Bu yüzden uygulanacak senaryoya bağlı olarak zaman serilerinin tahmininde doğrusal olmayan yöntemler de kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi teknikler bu bağlamda doğrusal olmayan zaman serilerinin tahmininde öne çıkan yöntemler olduğu belirtilmektedir (Joshi ve Hadi, 2015). Zaman serilerinin tahmininde RNN ve LSTM gibi teknikler de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 4.3. Derin Öğrenme

Pratik anlamda derin öğrenme, makine öğreniminin bir alt kümesidir. Ve teknik olarak, derin öğrenme makine öğrenmesi ile benzer işlevler görmektedir. Bu nedenle terimler bazen farklı olsa da bir şekilde birbirinin yerine kullanılmaktadır, ancak yetenekleri yönünde birbirlerinden ayrılmaktadır. Ulaştırma problemlerinden ekonomik modellere, otomasyondan görüntü işlemeye kadar birçok alanda derin öğrenme yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Derin öğrenme alanındaki gelişmelerin temelini oluşturan Yapay Sinir Ağları, GPU'ların donanımsal olarak daha etkin kullanılmaya başlamasıyla beraber derin ağlar olarak adlandırılan yöntemlere dönüşümünü başlatmıştır. Derin öğrenme en temelde kullanmaya başladığı geri yayılım algoritmaları ile birlikte geriye dönük her katmandaki veri özelliklerini keşfederek görüntü işlemeyen, otomasyon çalışmalarına, tıp uygulamalarından doğal dil işlemeye ve telekomünikasyon araştırmalarına kadar birçok yapay zekâ araştırmalarının gelişmesine fayda sağlamıştır (Chollet, 2017). Bu çalışmada, özellikle trafik yoğunluğu tahmininde öne çıkan derin öğrenme algoritmaları ve tercih edilen kütüphaneleri incelenerek öne çıkan yöntemler kıyaslanmıştır. Şekil 4.1'de Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenmenin ilişkisi verilmiştir.

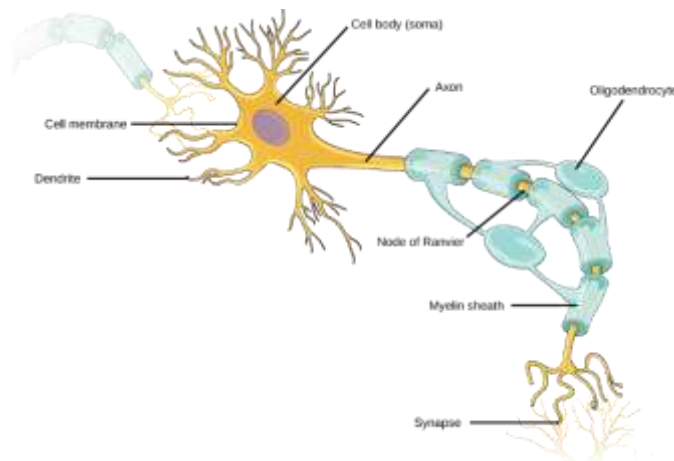


Şekil 4.1. Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme ilişkisi (Chollet, 2017)

#### 4.3.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları yapay zekâ araştırmalarının temeli olarak kabul edilmektedir. Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilen yapay sinir ağları (YSA), tahmin modellerinin analizinde kullanılan en önemli tekniklerden birisi olmuştur. Yapay Sinir ağları, biyolojik olarak insan beyninin sinir hücrelerinden esinlenerek geliştirilen bilgi işleme birimleri veya ağlarıdır (Ergezer vd. 2003). Bir başka tanıma göre toplanan bilgilere göre bazı genellemelerden yola çıkarak bu örneklerin süreci hakkında tahmin yapabilen bilgi işleme yapılarıdır (Öztemel, 2006). Yapay sinir ağlarının en önemli avantajı, fonksiyonel yapısı tam olarak belirlenemeyen veri setlerinin geçmişine bakarak birçok farklı analitik modelin çıkarımını başarılı bir şekilde yapabilmesidir (Donaldson ve Kamstra, 1996).

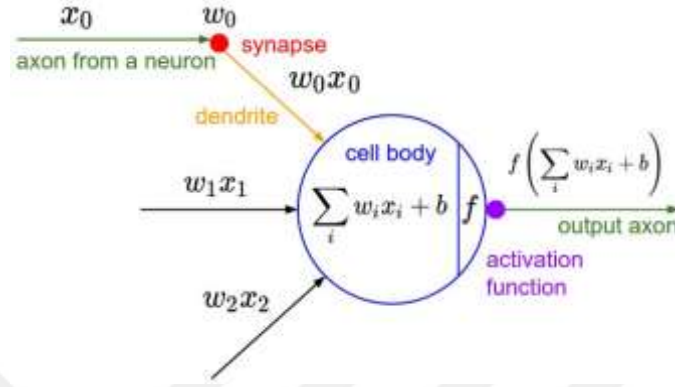
Derin öğrenmenin en temel tekniklerinden olan yapay sinir ağları ile mevcut bir veri setini eğiterek çok başarılı tahmin modelleri geliştirebilmek mümkündür. İnsan beyninin sinir hücrelerinden ilham alan bu bilgi işleme paradigması, belirli bir sorunu çözmek için birlikte çalışan çok sayıda birbiriyle bağlantılı işleme elemanlarından yani (nöronlar) oluşur (Öztemel, 2006). Şekil 4.2'de insan beyninin hücre yapısı verilmiştir.



Şekil 4.2. İnsan Beyin Hücre Yapısı (Course Notes Stanford, 2018)

Biyolojik Nöronlar (sinir hücreleri olarak da adlandırılır) veya basit tanımıyla nöronlar, dentritler yoluyla dış dünyadan girdi alarak gelen veriyi işler ve

aksonlar aracılığıyla çıktı verirler. Aşağıdaki şema biyolojik bir nöronu temsil eden genel YSA modelini temsil etmektedir. Şekil 4.3'te sinir hücresinin matematiksel modeli verilmiştir.



Şekil 4.3. Sinir Hücresinin Matematiksel Modeli (Course Notes Stanford, 2018)

Tek katmanlı bir sinir ağına sahip ve tek bir çıktı veren yapay sinir ağıları Perceptron olarak da adlandırılırlar. Perceptronlar gözetimli öğrenme algoritmaları içerisinde değerlendirilerek lineer bir fonksiyon ile tanımlanır ve ikili sınıflandırıcı olarak kullanılırlar.

$$f(x) = \begin{cases} 1, & w \cdot x + b > 0 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.1)$$

Matematiksel modeli verilen yukarıdaki sinir hücresindeki  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$  değerleri tek bir gözlem için ağıya farklı ve bağımsız girişleri temsil eder. Bu girişlerin her biri bir bağlantı ağırlığı veya sinaps ile çarpılır. Ağırlıklar  $w_0, w_1, w_2, \dots, w_n$  olarak temsil edilir ve bu ağırlıklar belirli bir düğümün gücünü gösterir. Bu modele göre, veri giriş katmanından giriş verileri alındıktan sonra yapay sinir ağı, başlangıç ağırlık değerlerine göre bir çıktı üretir. Ve bu çıktıların doğruluğuna göre uygun ağırlık değerleri elde edilene kadar işlemler tekrarlanır (Fausett, 1996). En iyi çıkış skorunun bulunabilmesi için  $w$  ve  $b$  parametreleri hesaplanır. Bu değerler nihai olarak oluşacak modelin tahmin başarısını etkileyen veriler olacaktır. Perceptron fonksiyonundaki giriş adetleri  $m$  olmak üzere çıkış değerinin genel tanımı şu şekildedir;

$$\sum_{i=1}^m w_i x_i \quad (4.2)$$

Belirli bir düğüm, girdilerinin ağırlıklı toplamını alır ve bunu bir etkinleştirme işlevinden geçirir. Ortaya çıkan sonuç düğümün çıktısıdır ve aynı zamanda bir sonraki katmandaki başka bir düğümün de girişidir. Sinyal soldan sağa akar ve son çıktı tüm düğümler için bu prosedürün uygulanmasıyla hesaplanır. Bu derin sinir ağını eğitmek, tüm kenarlarla ilişkili ağırlıkları öğrenmek anlamına gelir. Belirli bir düğümün denklemi aşağıdaki şekildedir. Çıkışlar 1 veya 0 olarak tanımlanır ya da kullanılan aktivasyon fonksiyonuna göre 1 veya -1 olarak da gösterilebilir.

Birçok farklı aktivasyon fonksiyonu vardır  $\Phi(x)$ . En çok kullanılanlardan bazıları ikili, doğrusal, hiperbolik tanjant ( $\tanh$ ) ve sigmoiddir. Denklem 13'te verilen sigmoid fonksiyonu tüm  $\mathbb{R}$  için  $\{y \in \mathbb{R}: 0 < y < 1\}$  koşuluna sahiptir.

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (4.3)$$

Denklem 14'te verilen diğer bir aktivasyon fonksiyonu  $\tanh$  ise  $\{y \in \mathbb{R}: -1 < y < 1\}$  özelliğine sahiptir.

$$\tanh(x) = \frac{1-e^{-2x}}{1+e^{-2x}} \quad (4.4)$$

Perceptronlar tek katmanlı ve çok katmanlı algılayıcılar (single layer or multi layer) olarak ikiye ayrılırlar. Tek katmanlı algılayıcılar yukarıda bahsedildiği gibi doğrusal fonksiyona sahip sınıflandırıcılardır. Çok katmanlı veya ileri beslemeli sinir ağları ise iki veya ikiden fazla katmana sahip olup tek katmanlı perceptronlara göre daha fazla işlem gücüne ihtiyaç duyarlar.

#### 4.3.1.1. Öğrenme Paradigmaları

Makine öğrenmesi tekniklerinin iki ana öğrenme metodolojisi bulunmaktadır. Gözetimli ve gözetimsiz öğrenme (Supervised & Unsupervised) olarak tanımlanan bu iki yöntemden gözetimli öğrenme etiketlenmiş verileri kullanarak temsili bir öğrenme yolu izler. Önceden tanımlanmış veri setlerine göre bir çıktı oluşturmasını bekleriz ve sonuç olarak eğitilmiş veri seti ile gerçek veriler üzerinden kıyaslama yapılarak oluşan hatalar minimize edilmeye çalışılır (Schmidhuber, 2015). Gözetimli öğrenmeye verilebilecek tekniklerden bazıları sınıflandırma, regresyon, destek vektör makineleridir. Gözetimsiz öğrenmede ise hedef çıktıların ne olacağı önceden sisteme tanımlanmaz ve modelin bir şablon oluşturması beklenir. Bu yöntemde kullanılacak algoritmalar, mevcut veriyi belli gruplara ayırarak yeni gelen veriyi oluşturmuş olduğu kümelere uzaklığına bakarak atamasını gerçekleştirir. Kümeleme algoritmaları gözetimsiz öğrenme için verilebilecek örneklerin başında gelmektedir.

#### 4.3.1.2. Sinir Ağlarının Öğrenmesi

Genel olarak sinir ağlarını eğitirken iki adım uygulanır. İlk adım, eğitim verilerinin ağa aktarıldığı ve çıktıya bağlı olarak bir hata tahmininin hesaplandığı ileri besleme tekniğidir. İkinci adım ise hesaplanan hata değerlerinin geriye doğru ağdaki ağırlık değerlerinin iyileştirilmesinde kullanılmasıdır. Hata hesabı kareler yöntemi (square error) ile hesaplanarak iteratif bir şekilde lokal minimum elde edilmeye çalışılır. Gözlenen ve tahmin edilen  $n$  adet  $Y_i$  ve  $\hat{Y}_i$  değerlerinin beklenen hata değerinin hesaplanması için aşağıdaki denklemden faydalanılmaktadır. Buradaki amaç beklenen ve çıktı değerlerinin arasındaki farkı minimuma indirmektir (Bishop, 1994).

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (4.5)$$

Geriye doğru beslemede birçok algoritma bulunmaktadır. Bu algoritmaların geneli hata fonksiyonunun minimize edilmesiyle yani lokal minimuma yakınsama ile ilgilenirler. Geriye doğru besleme tekniğinin hata optimizasyonunda en çok

kullanılan tekniklerinin başında Gradyan düşüş (Gradient descent) algoritması gelmektedir. Bu algoritma, hata değerinin optimizasyonunu sağlayabilmek adına lokal minimuma yakınsamada birinci türevi kullanır. Daha sonra, bulunan bu hata seti, eğitim setinde daha iyi performans göstermesi için ağıdaki ağırlıkları değiştirmek için geriye doğru geçişte kullanılır. Gradyan algoritmalarının iterasyonda kullanılacak veri büyüklüğüne göre Batch gradian düşüş, Stokastik gradyan düşüş ve Stokastik mini-batch gradian düşüş gibi farklı versiyonları vardır. Batch gradyan düşüşte verilerin sisteme tek seferde toplu olarak girilmesi söz konusu iken stokastik gradyan düşüşte her iterasyonda rastgele seçilen tek bir örnek girilmektedir. Stokastik Mini-batch gradyan düşüşte ise ağı tek örnekle beslemek yerine her yinelemede N rastgele öge ekleyerek devam edilir. Her iterasyonda tek bir ürün girmek daha fazla efor gerektirirken rastgele seçilen toplu beslemelerde paralelleştirilen işlemciler sayesinde daha hızlı bir eğitim gerçekleştirilir (Williams, 1989).

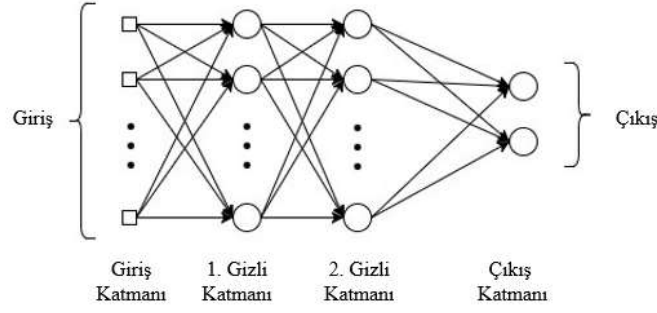
#### **4.3.2. Derin Öğrenme Modelleri**

Derin öğrenme modellerinin klasik yapay sinir ağlarından çok fazla farklılığı olmasa da ayrıldığı temel noktalar şu şekildedir (Akbas, 2018);

- Veri setlerinin büyümesi ve işlem güçlerinin artması
- Doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonlarının kullanımı
- Kullanılan yeni ilkleme (initialization) yöntemleri
- Düzenleştirme (regularization) yöntemleri

##### **4.3.2.1. Çok Katmanlı Perceptronlar**

Çok katmanlı perceptronlar yapısında tek katmanlı ağlara göre birden fazla gizli katman bulunduran ağlardır. Analiz edilecek senaryoya göre, gizli katmanların istendiği ölçüde artırabildiği ağ modelidir. Giriş katmanından giren bir veri takip eden ara katmandaki her nöron ile eşleşerek ilerler. Son katman gelen veriyi işleyerek sistemin çıkışını verir ve elde edilen çıkış sayısı son katmandaki eleman sayısına bağlıdır. Şekil 4.4'te çok katmanlı sinir ağının yapısı verilmiştir.

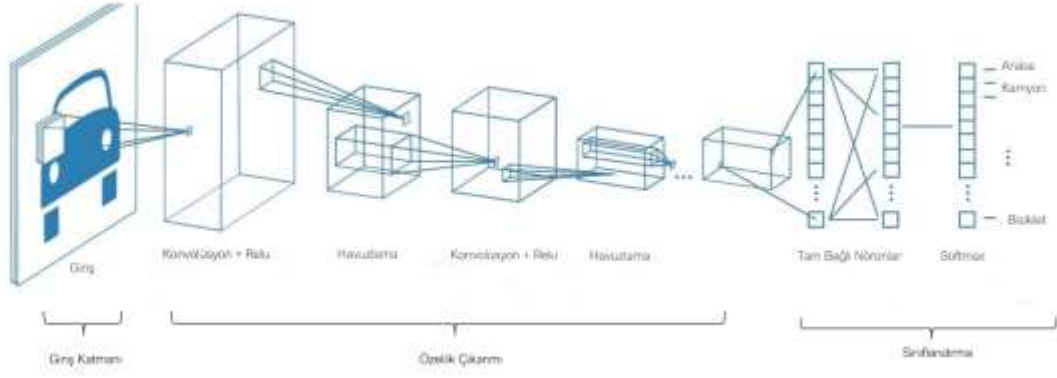


Şekil 4.4. Çok Katmanlı Sinir Ağları

Giriş veri setinin büyüklüğünün  $m$ , çıkışların  $o$  ile gösterildiği  $f(.): R^m \rightarrow R^o$  öğrenme fonksiyonuna sahip çok katmanlı perceptronlar denetimli öğrenme algoritmalarıdır ve genellikle belli bir grubun sınıflandırılmasında veya bir değer tahmininde kullanılmaktadırlar. İleri Beslemeli ağlar çok katmanlı perceptronlar grubundandır.

#### 4.3.2.2. CNN (Evrişimsel Sinir Ağı)

Çok katmanlı perceptronların özel bir türü olan CNN algoritmaları ise sinir ağları içerisinde özellikle görsel sınıflandırma, yüz tanıma, görüntü ve nesne çıkarımı gibi problemlerde oldukça sık başvurulan yöntemlerdendir. CNN görüntü sınıflandırıcıları, içeri aldıkları görüntüyü önce işler, sonra sınıflandırır ve daha sonra belirli kategorilere ayırır. Girdi katmanından verilen bir görüntüyü tüm gizli katmanlardan geçirerek bir çıktı elde eder, bu değer bağlı olabileceği sınıfa ait belirleyici puanı belirtir. CNN algoritmaları yapısal açıdan çok katmanlı algılayıcılara uyarlar. Belirli bir görsel seti girişte tanımlanırken sahip olduğu piksel dizisine göre boyutlandırılarak (yükseklikxgenişlikxboyut) içeri alınır. Teknik olarak CNN modelleri eğitim ve test için her giriş görselini sınıflandırabilmek için bir dizi tam bağlı konvolüsyonel katmanlardan geçirir. Bu akış sırasıyla giriş, filtreleme (Kernal), havuzlama ve Softmax fonksiyonunun uygulanması ile elde edilecek 0 ile 1 arasında stokastik bir değer bulunmasıyla sonuçlanır (Saha, 2020). Genel akış şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5. CNN Genel Mimarisi (Saha, 2020)

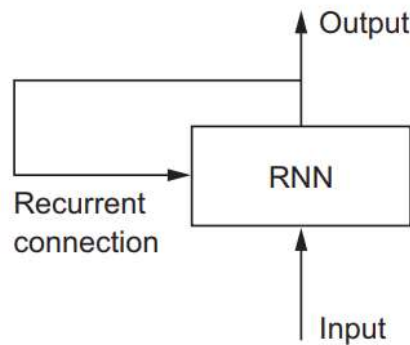
### CNN Katmanları ve Tanımları;

- Giriş katmanları, CNN modelinin eğitim ve test işlemlerini gerçekleştirebilmesi için verinin içeri alındığı katmandır.
- Özellik çıkartma, gelen verinin belirli bir özelliğe indirgendiği ve işlenmeye hazır hale getirildiği aşamadır. Özellik çıkarımı katmanı evrişim, relu ve havuzlama işlemlerini içeren genel bir katman olarak da tanımlanmaktadır.
- Evrişim (Konvolüsyon) katmanları (Kernel), CNN mimarisinin en önemli aşamasıdır. Konvolüsyon işleminin amacı, kenarlar gibi üst düzey veya düşük seviyeli özellikleri giriş görüntüsünden çıkarmaktır. Bu katmandaki parametreler giriş verisinin boyutu ölçüsünde uzanan bir dizi filtreler (kernels) içermekte ve bu filtre görüntü üzerinde uygulanmaktadır.
- ReLu aşaması, ReLu evrişim katmanında sonra uygulanan non-lineer bir aktivasyon fonksiyonunun uygulanması evresidir. Gelen verinin negatif değerlerini sıfıra dönüştürmek için kullanılır.
- Havuzlama katmanları, Havuzlama katmanları, evrişim aşamaları arasında boyutsal anlamda verinin azaltılmasını veya en iyi temsil eden verilerin alınarak özetlenmesi aşamasıdır.
- Sınıflandırma Katmanı, Bu katman çıktı olarak verinin sahip olduğu skoru üreterek bağlı olduğu grubu belirleyen kısımdır. Genellikle sınıflandırma değerinin bulunmasında aktivasyon bileşeni olarak softmax fonksiyonu

kullanılmaktadır. Bu katmanda bulunan tüm düğümler, önceki bölümlerdeki her düğüm ile tam bağlantılıdır.

#### 4.3.2.3. RNN-Recurrent Neural Network (Yinelemeli Sinir Ağı)

Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN'ler), sıralı verileri işlemek için kullanılan bir sinir ağı topolojisidir. Özellikle doğal dil işleme ve metin madenciliği alanlarında sıklıkla başvurulmuş tekniklerin başında gelmektedir. RNN'in bu alanda öne çıkmasının temel özelliği sıralı bir veri setinin modellenilebilmesinde kullanılabilmesidir. Diğer sinir ağları modelleri gelen verinin sırasını hafızasında tutmazken RNN modelleri bu sırayı takip ederek buna göre çıktı üretebilmektedir. Doğal dil işleme gibi alanlarda metinlerin anlamlı bir sırasının olması gerektiğinden RNN modelleri bu alanda oldukça kullanışlıdır (William ve Zipser, 1989). Yinelemeli sinir ağları gelen veri dizisini hafızasında saklarken (state ya da durum olarak adlandırılır) devam ederek gelen sekans dizilerini de buna göre birer birer işler. RNN sinir ağı yapısındaki tekrarlayan kavramı, geçerli bir zaman adımıdaki bir çıktının bir sonraki zaman adımına girdi olarak işlenmesi anlamına gelmektedir. Model dizinin her bir adımında, model sadece mevcut girişi değil, önceki elemanlar hakkında hatırladıklarını da dikkate alarak devam eder. Şekil 4.6'da RNN döngü yapısı verilmiştir.



Şekil 4.6. RNN Döngü Yapısı (Guru99, 2020)

Belleğin bilgiyi bu şekilde tutabilmesi, ağı bir dizideki uzun vadeli bağımlılıkları öğrenmesini sağlar; bu da bir cümledeki bir sonraki kelime, bir duygu

sınıflandırması veya bir sonraki sıcaklık ölçümü olsun, bir tahmin yaparken tüm içeriği dikkate alabileceği anlamına gelir.

#### **4.3.2.4. LSTM- Long Short-Term Memory (Uzun/Kısa Sıralı Bellek)**

Yinelemeli sinir ağlarının en önemli katmanı bellek hücreleridir. Burada en öne çıkan hücre modeli sekans işlenirken gradyan formatındaki bilginin hücre durumunu koruyan LSTM modelidir. LSTM algoritması yinelemeli sinir ağlarının (RNN) bir alt türü olarak tanımlanmaktadır (Hochreiter, 1991). LSTM işlemin her bir adımında geçerli sözcüğü, taşınmayı ve hücre durumunu dikkate alarak bir sonraki adıma taşınmasını sağlar.

Uzun kısa süreli bellek (LSTM) ağları ilk olarak 1997'de Hochreiter ve Schmidhuber (1997) tarafından uygulanarak birçok farklı alanda başarılı sonuçları elde edildi. Model, gözlem dizilerinden özellikler çıkarmayı ve özelliklerin farklı durumlar ile nasıl eşleşebileceğini öğrenme yeteneğine sahiptir. LSTM binlerce, hatta milyonlarca ayrık zaman adımından önce meydana gelen olayların bilgilerini gerektiren durumları öğrenebilir (Schmidhuber, 2015). Model, zaman serisi verilerinin temsili bir şeklini öğrenebilir ve ideal olarak veri kümesinin bir sürümüne uyan modellerle karşılaştırılabilir performans elde edebilir. Probleme özgü LSTM benzeri topolojiler geliştirilebilir. LSTM, önemli olaylar arasında uzun gecikmeler olsa bile çalışarak, düşük ve yüksek frekanslı bileşenleri karıştıran sinyalleri işleyebilir (Bayer vd., 2009). LSTM algoritmalarının kullanım alanları şu şekilde özetlenebilir;

- Bir makalenin konusunu veya bir kitabın yazarını tanımlamak gibi belge ve zaman serileri sınıflandırması
- İki belgenin veya iki hisse senedi biletinin ne kadar yakından ilişkili olduğunu tahmin etme gibi zaman çizelgeleri karşılaştırmaları
- Tweetlerin veya film incelemelerinin duygularını olumlu veya olumsuz olarak sınıflandırma gibi duygu analizi

- Son hava durumu verileri göz önüne alındığında, belirli bir konumdaki gelecekteki hava durumunu veya belli bir zaman dilimindeki trafik akışının tahmini

#### 4.4. Kuyruk Teorisi

Kuyruklanma veya bekleme olayı günlük yaşamda birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Bekleme süresinin uzaması ciddi maliyetlere sebep olabilmektedir. Bu alanda yapılabilecek herhangi bir iyileştirme veya yatırım yaparak etkisini azaltabilmek durum analizi gerektirir. Bu nedenle bu durumları analiz etmek için modellere ve tekniklere ihtiyaç vardır. Kuyruk teorisi veya bekleme hattı modelleri sistemsal olarak veya hayatın normal akışında gerçekleşen bekleme olaylarının matematiksel olarak incelenmesine imkân tanımaktadır.

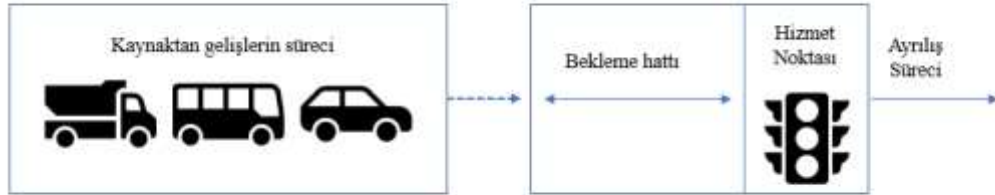
Bu alandaki ilk çalışmanın temeli 1909 yılında Erlang tarafından “The Theory of Probabilities and Telephone Conversations” isimli başlıkla yayınlanan makaleye dayanmaktadır (Winston, 1991). Erlang bu çalışmasında bir telefon santralinde bekleme olayının önüne geçmek için sistemde kaç telefon devresinin olması gerektiği üzerinde çalışmıştır. Kuyruk modelleri, bekleme hatlarının tasarım ve kapasite açısından verimliliğini tüm analitik yaklaşımlar ile incelemektedir. Bu modeller kuyruk uzunlukları, geliş oranları, servis doluluğu, sistem kapasitesi ve sistemde geçirilen zaman gibi performans ölçülerinin ortaya çıkarılmasında fayda sağlamaktadır. Kullanım olarak çağrı merkezleri, üretim hatları, haberleşme teknolojileri, ağ analizleri, gişe veya market kuyrukları ve trafik mühendisliği gibi alanlarda kuyruk modellerine sıklıkla rastlanılmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasının önerilen model aşamasında ve sinyalize kavşakların performansının çıkarılmasında bu teoriden faydalanılmıştır. Kuyruk modelleri, sisteme gelen araçların geliş kalıpları, kalkış karakteristikleri ve hizmet disiplini gibi bazı tespit ve varsayımlarla oluşturulur. Bu çalışmada önce bazı varsayımlarla bir kuyruk modeli oluşturulmuş, daha sonra verilerin geliş ve gidiş dağılımları incelenerek elde edilen sonuçlara göre yeni bir kuyruk modeli belirlenmiştir. Sinyalize kavşaktan toplanan verilerin dağılımına göre model

yenilenmiş ve kuyruk performansı elde edilmiştir. Kuyruk modelleri, bekleme hattında gerçekleşen kuyruğu modellemek için bazı disiplinlere sahiptir.

#### 4.4.1. Kuyruk Sistemi Bileşenleri

Kuyruk teorisindeki bekleme olayının oluşmasına sebep olabilecek veya bu durumu iyi yönetebilecek ana aktörler müşteriler ve hizmet sağlayıcılardır. Herhangi bir trafik akışında, araç bir kaynaktan çıkar ve servis noktasına geldiğinde doluluk oranına göre servis almaya veya sırada beklemeye başlar. Bu bağlamda, kuyruk teorisi modelleri, müşteri bekleme süresi ile hizmet sisteminin boşa kalma süresi arasındaki en iyi durumu bulmak için kullanılır. Kuyruk modellerinde gelişler, bekleme hattı ve servis mekanizması gibi üç temel bileşen vardır. Bu bileşenler kendi içlerinde kuyruk modelinin tanımlanmasına göre farklı karakteristiklere sahip olabilirler. Şekil 4.7’de bekleme hattı bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Kuyruk Sistemi Bileşenleri (Güneş vd., 2020)

Kuyruk modellerinin sahip olduğu karakteristikler şu şekilde özetlenebilir;

- Birimlerin sisteme geliş süreçleri: Herhangi bir servis noktasına gelen müşterilerin veya araçların geliş dağılımlarının ve gelişler arası sürelerin ifade edildiği bölümdür.
- Birimlerin hizmet alma süreci: Bekleme hattındaki müşterilerin hizmet alma sürecini ve servis noktasındaki hizmet alan müşterilerin servis sürelerinin dağılımını ifade etmektedir. Servis hizmet sürelerinin dağılımı karakteristiğine göre farklı modeller ile gösterilebilmektedir.

- Servis disiplini: Müşterilerin sistemde hizmet noktalarındaki aldıkları servisin disiplin yapısını açıklamaktadır. En bilinen yöntemler sırasıyla FIFO (ilk giren ilk çıkar), LIFO (Son gelen ilk çıkar), Rastgele sıralı, Öncelikli sıralı ve son olarak da eşit oranda işlemci gücünün paylaştırılması prensipleri kullanılmaktadır.
- Kanal Sayısı: Hizmet noktasındaki kanal, servis noktası veya sunucu sayısını ifade etmektedir.

Literatürde Kendall ve Lee notasyonu olarak bilinen tanımlamada (Kendall ve Lee, 1953; 1966) geliş, gidiş dağılımları, hizmet kanallarının sayısı, servis disiplini ve hizmet alabilecek maksimum birim sayısı bileşenleri belirli bir karakteristikte ifade edilmiş daha sonra bu gösterime H.A. Taha tarafından gelişlerin kaynağı da eklenerek aşağıdaki gösterim biçimi önerilmiştir (Taha, 1968). Çizelge 4.1’de kuyruk modellerinin bileşenleri verilmiştir.

$(a|b|c):(d|e|f)$

Çizelge 4.1. Kuyruk Modeli Bileşenlerinin Tanımı

| Sembol | Tanım                                             |
|--------|---------------------------------------------------|
| $a$    | Gelişlerin veya gelişler arası sürelerin dağılımı |
| $b$    | Servis zamanlarının dağılımı                      |
| $c$    | Servis kanal sayısı                               |
| $d$    | Servis disiplini (FIFO, LIFO, or SIRO)            |
| $e$    | Sisteme gelen kaynağın kapasitesi                 |
| $f$    | Hizmet alacak birimlerin kaynağının boyutu        |

Geliş ve gidiş dağılımları, seyrettiği olasılık dağılım türüne göre farklı karakteristiklerde ifade edilebilmektedirler. Kuyruk modellerinin ağırlıklı olarak ifade edildiği dağılımlar ve notasyonları şu şekildedir (Anokye vd. 2013; Kleinrock, 1975);

- Markoviyen: Geliş veya gidişlerin, Poisson dağılımına uyduğu ifade edilir. Ayrıca varışlar arası veya hizmet süreleri arasında üstel dağılım olduğu kabul edilir ve  $M$  ile gösterilir.  $M$  ile Markov veya hafızasızlık (Memoryless) anlamı ifade edilir, bu belli bir durumun önceki gerçekleşen durumdan bağımsız olarak stokastik bir şekilde gerçekleştiği anlamına gelir.
- Erlang: Varışlar arası zamanı veya servis sürelerinin Erlang dağılımına sahip olduğu anlamına gelir ve  $E_k$  ile gösterilir.
- Deterministik: Varışlar arası zamanın veya hizmet sürelerinin deterministik olduğunu açıklar. Zamanın sabit oranlarla değiştiğini ve stokastik bir duruma sahip olmadığını gösterir ve  $D$  ile gösterilir.
- Genel: Varış zamanının veya hizmet sürelerinin genel veya keyfi bir dağılımının olduğunu belirtir.  $G$  ile gösterilir. Varışlar ve hizmet sürelerinin arasındaki bağımsızlığı ifade edebilmek adına bazı gösterimlerde  $GI$  (General Independent) ile de gösterilebilmektedir.

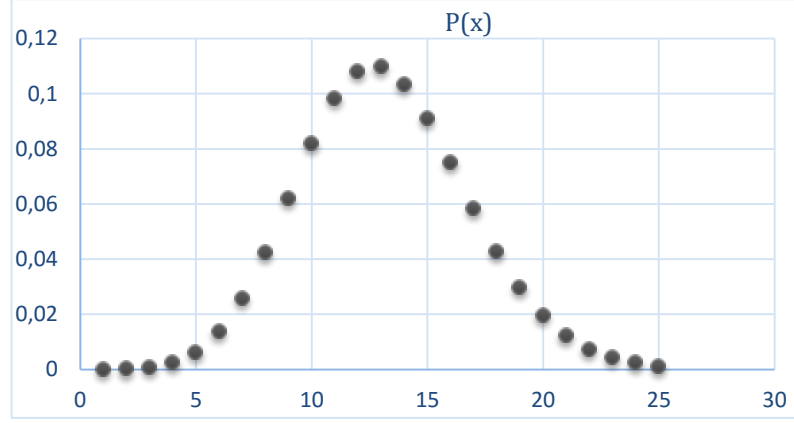
#### 4.4.2. Poisson Dağılımı

Belirli bir alanda rastgele dağıtılan veya zaman içinde rastgele gözlemlenen olayların olasılıklarının hesaplanmasını sağlayan bir modeldir.  $X(t)$ ,  $(0, t]$  zaman aralığında meydana gelen sonuçların sayısı (bir olayın meydana gelmesi) ve meydana gelen olayların ortalama sayısı  $\lambda$  ifade edilirse, Poisson modeline göre, o aralıktaki  $k$  oluşum olasılığı şu şekilde ifade edilir:

$$P(X(t) = k) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \quad (4.6)$$

- $k$  olasılığı araştırılan olay sayısı.
- Ayrık zaman aralıklarında meydana gelen olay sayısı ve süreç bağımsızdır.
- Gerçekleşen olaylar arasındaki gelişler arası süre birbirinden bağımsızdır ve  $1/\lambda$  ortalamalı üstel dağılıma sahiptir.

Şekil 4.8'de poisson eğrisinin dağılım grafiği görülmektedir.



Şekil 4.8. Poisson Eğrisi

Kuyruk sistemlerinde farklı bir analiz yapılmadığı sürece genel karakteristik gösterimi açısından kuyruk sistemine gelişlerin rastgele olduğu kabul edilir ve dağılım olarak Poisson ve Üstel dağılım olduğu kabul edilir (Ross, 1978).

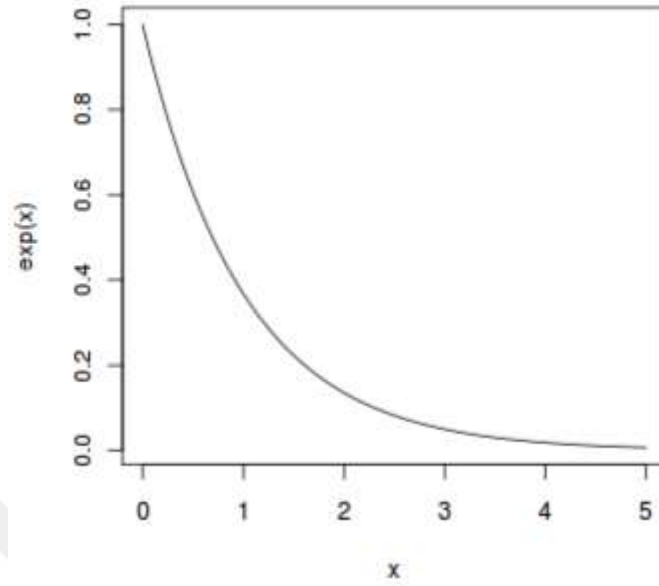
#### 4.4.3. Üstel Dağılım

Yukarıda Poisson süreciyle ilgili tanımlamalarda belirtildiği gibi, gelişlerin poisson sürecine uyduğu dağılımlarda varışlar arası süreler üstel dağılımı takip eder. Üstel dağılım ile Poisson süreci arasında bir ilişki söz konusu olup üstel dağılım poisson sürecinin doğal bir sonucu olarak kabul edilir (Erginel, 2020). Üstel dağılımın hafızasızlık özelliği, kuyruk analizinde avantaj sağlar. Bu, bir kuyruk sistemi için bir müşteri bekleme süresinin (t birim zaman) olasılığının, bir öncekinin ne kadar beklediğine bağlı olmadığı anlamına gelir.

Üstel dağılım, sabit bir ortalama değişim hızında meydana gelen bağımsız olaylar arasındaki zaman aralığını modellerken kullanılır (Yılmaz, 2020). Şekil 4.9’da üstel dağılım grafiği verilmiştir. Bağımsız olarak gerçekleşen olaylar dizisinde bir sonraki olayın gerçekleşebilmesi için geçen ortalama bekleme süresi  $\mu$  ile ifade edilirse üstel dağılım seyreden olasılık yoğunluk fonksiyonu şu şekildedir;

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 0 \\ \frac{1}{\mu} e^{-x/\mu}, & \text{eğer } x \geq 0 \end{cases} \quad (4.7)$$

Şekil 4.9'da üstel dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 4.9. Üstel Dağılım Grafiği ( $\mu = 1$ ) (NIST/SEMATECH, 2020)

Diğer bir gösterim modeli olarak  $\lambda$  parametresi ile  $\lambda > 0$  ve  $x \geq 0$  olmak üzere üstel dağılım  $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$  olarak da ifade edilmektedir.  $f(x)$  'in 0 ve x arasında integralini almamız durumunda üstel dağılımın kümülatif fonksiyonuna (4.8) erişilmektedir.

$$\begin{aligned} f(x) &= \int_0^x \lambda e^{-\lambda x} dx = \lambda \int_0^x e^{-\lambda x} dx \\ &= \lambda \frac{e^{-\lambda x}}{-\lambda} = -e^{-\lambda x} \\ &= -e^{-\lambda x} - (-e^0) \\ f(x) &= 1 - e^{-\lambda x} \end{aligned} \tag{4.8}$$

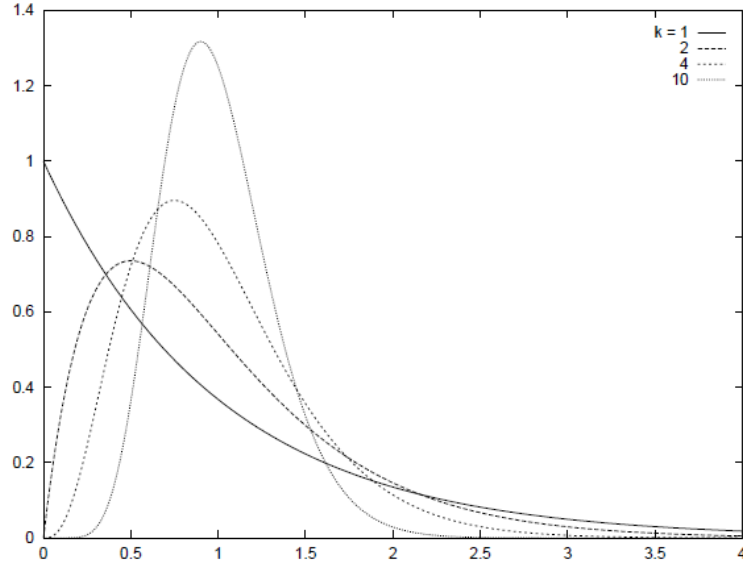
#### 4.4.4. Erlang Dağılımı

Erlang tarafından önerilen, Erlang veya Gamma dağılımı olarak da bilinen bu dağılım modeli  $k$  ( $k=1, 2, \dots$ ) parametresi ile ifade edilen bir değere göre seyreden bir karakteristiğe sahiptir. Üstel ve sabit servis zaman dağılım modelleri Erlang dağılımının özel bir türü olarak tanımlanmaktadır. Şekil parametresi olarak adlandırılan  $k$  değerinin  $k=1$  olduğu durumlarda dağılım üstel dağılıma sahip olmaktadır. Genel notasyonda  $E_k$  ile gösterilmektedir. Erlang dağılım modelinin olasılık dağılım fonksiyonu  $x$  ve  $\lambda \geq 0$  olması durumunda (4.9) daki gibi ifade edilmektedir (Adan ve Resing, 2001).

$$f(x; k, \lambda) = \frac{\lambda^k x^{k-1} e^{-\lambda x}}{(k-1)!} \quad (4.9)$$

Alternatif bir gösterimde ise  $\lambda$  parametresi yerine  $\mu$  ölçüm parametresi kullanılması durumunda ve  $x$  ve  $\mu \geq 0$  olmak üzere genel fonksiyon (4.10) deki gibi ifade edilmektedir. Şekil 4.10'da Erlang dağılım grafiği verilmiştir.

$$f(x; k, \lambda) = \frac{x^{k-1} e^{-x/\mu}}{\mu^k (k-1)!} \quad (4.10)$$



Şekil 4.10. Ortalama değerin 1 ve şekil parametresi  $k$ 'nın farklı değerleri için Erlang dağılım grafiği (Adan ve Resing, 2001)

#### 4.4.5. Deterministik (Dejenere) Dağılım

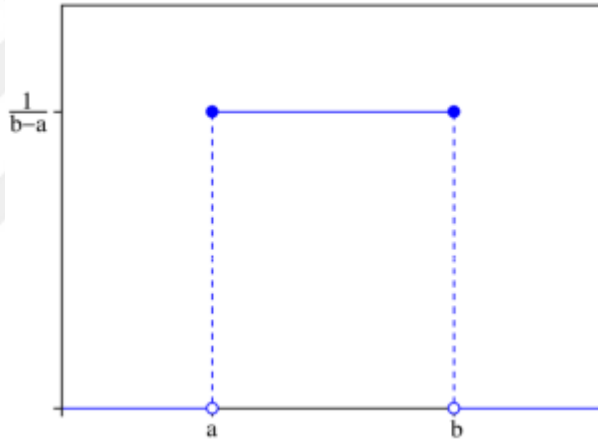
Deterministik dağılımda gelişler arası veya servisler arası sürelerin sabit bir aralıkta gerçekleştiği ve olaylar arası ilişkilerin bağımsız olmadığı dağılım modelidir. Bir olay gerçekleştikten sonra bir sonraki olayın gerçekleşme anı kesin olarak bilinir ve gerçekleşen olaylar arasında güçlü bir korelasyon olması sebebiyle varyans sıfırdır. Aslında burada olasılık yaklaşımıyla incelenmesi durumunda belli bir dağıtım modelinin olmadığı söylenebilir. Olayların gerçekleşme durumları belli bir değerde,  $k_0$  noktasında ifade edilir (Humblett, 1982). Olasılık kütle fonksiyonu bu nokta ve üzerinde 1, farklı noktalarda 0'a eşittir.

Tek değişkenli dejenere dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonu:

$$F_{k_0}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x \geq k_0 \\ 0, & \text{eğer } x < k_0 \end{cases} \quad (4.11)$$

#### 4.4.6. Uniform (Tekdüze) Dağılım

Gerçekleşen olayların belirli bir düzen içerisinde seyretmesi durumudur. Kesikli veya sürekli dağılım olarak iki farklı türe sahip olabilir. Bir olay serisinin  $a$  ve  $b$  aralığında tekdüze bir dağılıma sahip olması olayların eşit dağılımda olması anlamına gelmektedir ve gösterimi  $U(a, b)$  şeklinde ifade edilmektedir.  $A$  ve  $B$  sınır aralığında gerçekleşen olayların ortalaması  $\mu = \frac{a+b}{2}$  olarak tanımlanmaktadır. Alternatif gösterim biçimi olarak  $U(a, \mu)$  notasyonu da kullanılmaktadır zira alt sınır  $a$  ve ortalama  $\mu$  bilinmesi durumunda üst sınır  $b = 2\mu - a$  olarak hesaplanabilir. Şekil 4.11’de tekdüze dağılım grafiği şekil 4.12’de ise kümülatif toplam grafiği verilmiştir.



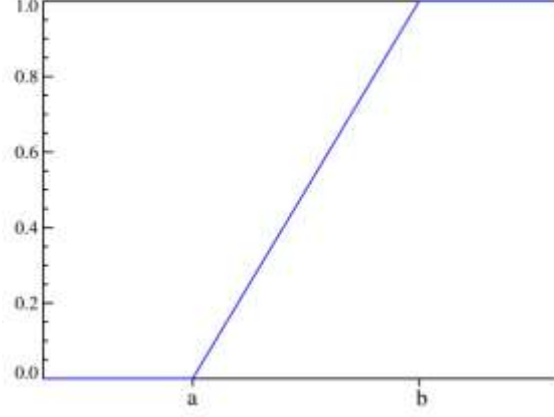
Şekil 4.11. Sürekli Tekdüze Dağılım (Dekking, 2005)

$(a, b)$  minimum ve maksimum aralığında gerçekleşen olaylar için sürekli uniform dağılım fonksiyonu şu şekildedir;

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & \text{eğer } a < x < b \\ 0, & \text{eğer } x < a \text{ veya } x > b \end{cases} \quad (4.12)$$

Kümülatif dağılım için geçerli fonksiyon ise şu şekildedir;

$$F(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x > b \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{eğer } a < x < b \\ 0, & \text{eğer } x < a \end{cases} \quad (4.13)$$



Şekil 4.12. Kümülatif Uniform Dağılım Grafiği

#### 4.4.7. Little Kanunu

Kuyruk modellerinin detaylarına girmeden önce Little yasasından bahsetmek gerekmektedir. Zira Little kanunu kuyruk teorisi modellerinin uygulanmasında önemli bir ilişki sunmaktadır (Gross, 2008). Sistemdeki ortalama müşteri sayısı ( $L_s$ ), sistemde harcanan ortalama süre ( $W_s$ ) ve birim zamanda gelen araçların ortalaması  $\lambda$  için açıklanan aşağıdaki eşitlik (4.14) harcanan zaman ve sayısal anlamda sistem büyüklüğü ilişkisini kurabilmek adına oldukça önemlidir.

$$L_s = \lambda W_s \quad (4.14)$$

Burada önemli olan durum sisteme gelişlerin sistem servis oranından büyük olmaması yani sistemin kararlı durumda olmasını dikkate almayı gerektirmektedir. Aynı formülasyon kuyruktaki geçen zaman ve araç sayısı arasındaki ilişki için de kullanılabilir.

$$L_q = \lambda W_q \quad (4.15)$$

#### **4.4.8. Öncelikli Kuyruklar**

Öncelikli kuyruklar (priority queues), terim anlamıyla gündelik yaşamda karşılaştığımız bekleme problemlerine bazı öncelikler atayarak çözüm sunmaktadır. Burada kullanılan bir servis disiplini ya da bir zamanlama algoritması olabilir fakat temel hedef en hızlı ve verimli bir şekilde sistemi boşaltmaktır.

Trafik akımları sürekli akan bir veri seti oluşturması sebebiyle kuyruklanma veya bekleme hattı oluşturma yönünden oldukça elverişli değerlerdir. Burada farklı hesaplama yöntemleri ile elde edilmesi muhtemel yoğunluk, kuyruk uzunluğu gibi bazı performans değerleri kullanılarak bir kavşak kolunun önceliği olabilir (Ioannou, 2007). Örneğin bir sinyal denetleyici kritik eşik değerine gelen bir kola öncelik tanıyarak boşaltabilir. Öncelikli kuyrukların kullandıkları bazı zamanlama yöntemleri vardır. Bu yöntemlere 4.4.9 başlığı altında kısaca değinilmiştir.

#### **4.4.9. Zamanlama Problemi**

Kavşak tasarımında en önemli hususlardan birisi trafik kontrol cihazı aracılığıyla sinyal planlamasının verimli kullanılmasıdır. Eğer kavşak dinamik bir yapıda çalışabilecek şekilde tasarlandı ise sinyal denetleyici üzerinden bazı zamanlama yöntemleri kullanılarak kavşak çalışma düzeni iyileştirilebilir. Her koldan elde edilecek yoğunluk veya doluluk oranlarına göre belli bir sıralama ya da zamanlama algoritması ile işlemler kuyruk oluşmasına müsaade etmeden alınabilir.

Birden fazla işlemin belli bir sırayla yönetilmesinde kullanılan algoritmalar genel anlamda kesintili ve kesintisiz olarak sınıflandırılmaktadır. Buradaki temel fark bir sistemin aldığı işi bitirene kadar herhangi bir müdahale görmeden işlemi bitirmesi veya bitirmeden kesintiye uğraması (Silberschatz, 2010).

İşletim sistemlerinde veya ilişkili alanlarda proses zamanlama ile ilgili kullanılan, anlatılan, öne çıkan bazı algoritmalar vardır. Bunlar farklı çalışma prensipleri ile uygun senaryoya göre uyarlanabilir yöntemlerdir.

#### **4.4.9.1. En kısa iş ilk önce (SJF)**

Çalışma prensibi olarak kesintisiz bir algoritma olan SJF, öncelik olarak en kısa işi bitirmeye odaklanır. Eldeki en kısa veya basit işi tamamlayıp bir sonraki kısa işe zaman harcamayı hedefler. En kısa olan işlere öncelik atanarak sırayla devam edilir. Burada temel sıkıntı eğer devamlı sisteme akan işler bir önceki işten kısa olması durumunda sistemde kısır bir döngü veya uzun işin hiç bitmemesi gibi durum ortaya çıkabilir.

Bir kavşak koluna gelen akım oranları arasına bir dengesizlik olması durumunda, örneğin üç kolun oranı sürekli dördüncü kolun değerinden kısa veya küçük gelmesi halinde en yoğun kolun hiç işlem görmeme ihtimali vardır. Dolayısıyla bu model kısa işleri hızlı bir şekilde tamamlayabilir fakat yoğun kolları da aynı anda daha da yoğun olmasına sebep olabilir (Silberschatz, 2010).

#### **4.4.9.2. Round Robin (RR)**

Süreçleri adil bir şekilde yönetebilmek adına her işe bir zaman aralığı tanıyan Round Robin algoritması, belirlediği zamanda bitmeyen işlemi keserek bir sonrakilerin fazla beklemelerine engel olmayı hedefler. Bu çalışma prensibine göre işlem gören bir kol işi bitmese bile belirlenen kısıttan dolayı işlemi sonlanabilir.

Bu sayede hizmet veren bir sistemde kıtlık (Starvation) olma ihtimali kalmaz. Çünkü hiçbir zaman bir işlemin CPU'yu alıp diğer işlemlere sıra gelmesini engellemesi mümkün olmaz (Silberschatz, 2010).

#### **4.4.9.3. Çok Kuyruklu Zamanlama Algoritması (Multilevel Queue)**

Çok kuyruklu zamanlama yöntemi aslında Round Rubin ile birlikte çalışan bir prensibe sahiptir. Kuyrukta sıralanan işlemler belli parametrelere göre öncelik değerlerine sahip olur. Atanan önceliklere göre sırayla işlem görürler. Eğer herhangi bir iş belli bir zaman kısıtında (quantum time) tamamlanmazsa öncelik değeri 2. önceliğe sahip kuyruğa geçer. Bu şekilde kuyrukta bekleyen sıraların hepsi işlem görene kadar süreç devam eder. Süre aşılması durumunda işlemi bitirmesinden dolayı kesintili yöntemler grubuna girer (Silberschatz, 2010).

#### **4.4.9.4. İlk Gelen önce**

İlk gelenin ilk önceliğe sahip olduğu bu algoritma günlük hayatta yaşadığımız sırada bekleme prensibinin aynısıdır. Kuyruğa ilk giren ilk hizmet alır. Hizmet alan kişi işlemi bitene kadar beklenir, herhangi bir kesintiye uğramadan devam eder. Dolayısıyla bu yöntem kesintili olmayan bir yapıya sahiptir.

#### **4.4.9.5. Öncelik Tabanlı (Priority Scheduling)**

Öncelik tabanlı zamanlama algoritmasında en temel mantık işlem görmeye gelen birimlere sahip olduğu öncelik değerine göre hizmet verilmektedir.

Özellikle gerçek zamanlı sistemlerde bazı süreçlerin belirlenen bir zaman diliminde tamamlanması gereklidir. Süreçlerin ne zaman planlandığından, başlaması veya bitişinden ziyade hizmet kapasitesinin aşılmadan bitirilmesi hedeflenir. Bu planlamada önemli olan maksimum servis süresinde proseslerin işletimini tamamlamaktır (Yang vd., 2002)

Bu çalışmanın zamanlama ile ilgili önerilen modelin yapısında öncelik tabanlı yöntem önerilmiştir. Hesaplanan kritik akım değerlerine göre öncelik değerleri oluşturularak kolların çalışma sırasının belirlenmesi ve dinamik olarak çalışabilmesi amaçlanmıştır. Böylece kuyruk kollarındaki yoğunluk verisi kritik değeri aşmadan fazların yönetimi önerilmiştir.

#### 4.4.10. M/M/1/∞/∞ Kuyruk Modeli

Kuyruk teorisi yaklaşımlarının en temel ve genel kullanıma sahip modeli M/M/1 yapısıdır. Bu kuyruk yapısında gelişlerin rastgele gelen bir seyirde poisson dağılımına, servis sürelerin ise üstel dağılıma uyduğu kabul edilmektedir. Bu kuyruk disiplini tek servis kanalı olmasının yanında müşteri gelişlerinin sonsuz, sistem kapasitesinin ise sınırsız olduğu varsayılmaktadır.

Kuyruk modelleri bize belirli bir bekleme hattının matematiksel olarak incelenmesi fırsatı sunarken incelenen sistem hakkında bazı performans değerlerini de elde etme imkânı da vermektedir. Sistem doluluk oranı, kuyruk uzunluğu, ortalama birim sayısı, kuyrukta veya sistemde harcanan zaman gibi değerler bu ölçütlerden bazılarıdır. M/M/1 kuyruk modelleri için performans ölçüm tanımları ve formülasyonları aşağıdaki gibidir (Yılmaz, 2019; Kleinrock, 1975).

Çizelge 4.2. Kuyruk Modelleri Performans Tanımları

| Sembol       | Tanımlar                                                                         |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $\lambda$    | Geliş oranı, birim zamandaki araç geliş sayıları                                 |
| $\mu$        | Servis oranı, birim zamandaki servis hızı veya sistemden hizmet alanların sayısı |
| $\rho$       | Yoğunluk veya meşguliyet oranı (akış oranı)                                      |
| $L_q$        | Kuyruktaki ortalama birim veya müşteri sayısı (birim zamanda)                    |
| $L$          | Sistemdeki ortalama birim veya müşteri sayısı (birim zaman)                      |
| $W_q$        | Kuyrukta harcanan ortalama zaman                                                 |
| $W_s$        | Sistemde harcanan ortalama zaman                                                 |
| $P_0$        | Sistemde müşteri olmama veya sistemin boş olması olasılığı                       |
| $P_n$        | Sistemde n müşteri olması olasılığı                                              |
| $P(W_s > t)$ | Sistemde t süresinden daha fazla zaman harcama ihtimali                          |

|              |                                                         |
|--------------|---------------------------------------------------------|
| $P(W_q > t)$ | Kuyrukta t süresinden daha fazla zaman harcama ihtimali |
|--------------|---------------------------------------------------------|

Çizelge 4.2’de açıklanan tanımların M/M/1 modeline formülasyonları sırasıyla aşağıdaki şekildedir;

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (4.16)$$

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (4.17)$$

$$L = L_q + (\lambda/\mu) \quad (4.18)$$

Yukarıda 4.4.7. bölümde bahsedilen Little yasasının sunmuş olduğu özellikten faydalanarak kararlı bir kuyruk yapısında, sistemde veya kuyrukta harcanan zaman ile ortalama müşteri sayısı arasındaki ilişki aşağıdaki formülasyonlar ile tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2019; Kleinrock, 1975).

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho^2}{(1-\rho)\lambda} = \frac{\rho}{(\mu-\lambda)} = \frac{\lambda}{(\mu-\lambda)\mu} \quad (4.19)$$

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{\rho}{(1-\rho)\lambda} = \frac{1}{\mu-\lambda} \quad (4.20)$$

$$P_n = \rho^n P_0 \text{ veya } P_n = \rho^n (1 - \rho) \quad (4.21)$$

$$P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu} \quad (4.22)$$

#### 4.4.11. M/M/c/∞/∞ Kuyruk Modeli

Bu model için de aynı şekilde gelişlerin  $\lambda$  parametresi ile Poisson dağılımına servis sürelerinin ise  $\mu$  parametresi ile üstel dağılıma uyduğu varsayılmaktadır. Fakat bu kuyruk disiplininde birden fazla hizmet veren kanal söz konusudur. Eğer bu sistemde c kanal sayısından daha az bir iş olması durumunda sistem boşta kalacaktır fakat c’den daha fazla iş olması durumunda kanallarda sıralanan

veya kuyruk hattı oluşmasına sebep olabilecek işler olacaktır. Kanal sayısının çoklu olduğu bu kuyruk disiplinde formülasyonlar aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır (Yılmaz, 2019; Kleinrock, 1975).

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} \quad (4.23)$$

$$P_0 = \left[ \sum_{i=0}^{c-1} \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^i}{i!} + \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^c}{c!(1-\rho)} \right]^{-1} \quad (4.24)$$

$$n \leq c \text{ ise } P_n = P_0 \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^n}{n!} \quad (4.25)$$

$$n > c \text{ ise } P_n = P_0 \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^n}{c!c^{n-c}} \quad (4.26)$$

$$L_q = P_0 \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^c \rho}{c!(1-\rho)^2} \quad (4.27)$$

#### 4.4.12. M/G/1/∞/∞ Kuyruk Modeli

Bu kuyruk yapısında gelişler arası sürelerin  $1/\lambda$  ortalaması ile üstel dağılım fakat servis sürelerinin  $1/\mu$  ortalama ve  $\sigma^2$  varyansı ile herhangi bir dağılımı (Genel Dağılım veya keyfi dağılım) takip ettiği kabul edilmektedir. M/M/1 modelinde olduğu gibi trafik yoğunluğunun  $\rho < 1$  olması koşuluyla sistemin boş kalma durumu  $P_0 = 1 - \rho$  formülü ile hesaplanmaktadır. M/G/1 modelinde kuyrukta oluşan ortalama araç veya müşteri sayısının hesabında Pollazcek – Khintichine yöntemi olarak bilinen formülden faydalanılmaktadır (Adan ve Resing, 2001).

$$L_q = \frac{\lambda^2 \sigma^2 + \rho^2}{2(1-\rho)} \quad (4.28)$$

$$L = L_{service}(\rho) + L_q \quad (4.29)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\lambda(\sigma^2 + \frac{1}{\mu^2})}{2(1-\rho)} \quad (4.30)$$

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda(\sigma^2 + \frac{1}{\mu^2})}{2(1-\rho)} \quad (4.31)$$

#### 4.4.13. G/G/1/∞/∞ Kuyruk Modeli

G/G/1 modelinde ise gelişlerin ve servis dağılımlarının bilinen bir ortalama ve varyans değeri ile genel veya keyfi bir dağılımı takip ettiği varsayılmaktadır. G/G/1 modellerini net olarak açıklayan formülasyonlar bulunmamakta fakat literatürde konuyla ilgili bazı yaklaşımlar önerilmiştir. Marchall tarafından önerilen ve yaklaşım olarak en çok bilinen aşağıdaki tanımlamalarda  $\sigma_a^2$  gelişler arası sürelerin varyansını ifade ederken  $\sigma_s^2$  ise servis sürelerinin varyansını belirtmektedir (Konheim, 1975).

$$C_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{(1/\lambda)^2} \quad (4.32)$$

$$C_s^2 = \frac{\sigma_s^2}{(1/\mu)^2} \quad (4.33)$$

$$L_q \approx \frac{p^2(1+C_s^2)(C_a^2+p^2C_s^2)}{2(1-p)(1+p^2C_s^2)} \quad (4.34)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (4.35)$$

$$W = W_q + 1/\mu \quad (4.36)$$

## 5. TRAFİK SİMÜLASYONU

Trafik veya ulaşım sistemlerinin simülasyonu, ulaşım sistemlerinin planlanmasına, tasarlanmasına ve işletilmesine daha iyi yardımcı olmak için bilgisayar yazılımının uygulanması yoluyla ulaşım altyapılarının (Otoyollar, arter yolları, kavşaklar, şehir merkezi sistemleri vb.) matematiksel olarak modellenmesi ve gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktadır. Belirli bir yolun trafiğinin planlanmasında veya bir kavşağın düzgün tasarlanmasında trafik modellemesi kilit bir role sahiptir. Araç trafiğinin gerçekleştirilmesi veya simüle edilmesi konusuna her ne kadar şehir planlamacıları, trafik mühendisleri veya şehir yöneticileri gibi uzmanlar tarafından ilgi duyulsa da birçok parametreyi barındıran bu olay zincirlerinin modellenmesi oldukça karmaşık bir sorundur (Yılmaz, 2006; Ocakdan, 2010).

Temel olarak simülasyon modelleri trafik sorunlarının çözümünde üç ana çıktıya odaklanır. Birinci çıktı, kavşak veya şehir merkezlerindeki yoğunluğu verebilecek en önemli kriterlerden trafik akış verisidir. Bu veri, belirli yolların tıkanıklığının nasıl azaltılabileceği konusunda fikir verebilir. İkinci önemli çıktı ulaşım sistemlerinin veya bileşenlerinin geometrik düzeninin ne kadar doğru tasarlandığı ile ilgilidir (Yılmaz, 2006; Ocakdan, 2010).

Tasarımı yapılan bir sistemin bileşenlerinin gerçek hayatta uygulanmasından önce simüle edilerek doğru konumlandırılması, büyük öneme sahiptir. Bununla ilgili alınabilecek bir çıktı sistem modellemesi açısından oldukça kritiktir. Son olarak üçüncü çıktı ise simülasyon modellerinin oluşan tıkanıklığın maliyetini ölçmede veya araçların trafikte harcadığı sürelerin tespitinde sağladığı tahmini bilgidir. Bu veri özellikle sistemin iyileştirilmesinde veya performansının değerlendirilmesinde kullanılabilecek oldukça önemli bir bilgidir. Bu çıktı sayesinde şehir planlamacısı veya trafik mühendisi herhangi bir yatırım ya da ekstra zaman kaybı yaşamadan istediği modeli uygulayabilir, sonuçlarını karşılaştırabilir. Bu başlık altında trafik simülasyonu araçlarının bazıları, özellikle tez çalışmamız kapsamında kavşak simülasyonu konusunda öne çıkan modeller özetlenecektir.

## **5.1. Simülasyon Modelleri**

Literatürde, gerçek trafik akışının veya verisinin modellenenebilmesi amacıyla çeşitli trafik simülasyon modelleri bulunmuş ve önerilmiştir. Genel bir sınıflandırmada trafik simülasyon modelleri uygulama alanlarına göre mikroskopik modelleme, makroskopik modelleme ve mezoskopik modelleme olmak üzere üçe ayrılmıştır.

### **5.1.1. Mikroskopik Modelleme**

Mikroskopik modellemede araba, kamyon, otobüs veya benzeri araçların trafik akış karakteristikleri incelenmektedir. Yol üzerindeki her taşıtın hareketi ve davranışı detaylı olarak ele alınmaktadır. Mikroskopik modellemede akış, yoğunluk, hız, seyahat, gecikme süresi, kuyruk uzunlukları, duruşlar, kirlilik, yakıt tüketimi ve anlık dalgalanmalar gibi veri parametrelerinin toplanması mümkündür (Benekohal, 1991).

Mikroskopik bir trafik akışı modeli, sürücü-sürücü ve sürücü-yol etkileşimlerini modelleyerek trafik akışını analiz etmeye çalışır. Ayrıca sürücünün bir trafik akışında herhangi bir engel ile karşılaşması durumunda sergileyeceği davranışı modellemeyi amaçlar. Mikroskopik modelleme yöntemlerinin özellikleri, taşıtların takip aralıkları, şerit değiştirme sıklıkları ve akışlar arası boşluklar dikkate alınarak farklı başlıklara ayrılmaktadır.

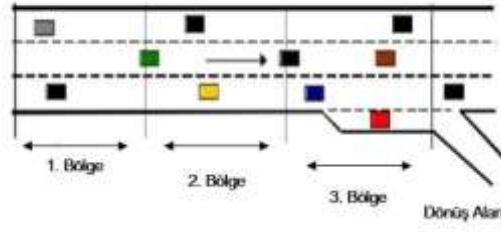
#### **5.1.1.1. Araç Takip Modeli**

Araç takip modelleri bir aracın kesintisiz bir şekilde başka bir aracı nasıl takip ettiğini açıklar. Bu alanda bir sürücünün, öndeki aracın görel konumlarındaki değişikliklere nasıl tepki verdiğini tanımlayan çeşitli modeller formüle edilmiştir. Araç takip modelleri Newton'un hareket kanunlarına benzer denklemler ile ifade edilmektedir. Bu yöntemlerden en öne çıkanları Pipes, Forbes, General Motor ve Optimum Hız modelleridir.

- Pipe Modeli; Bu modelin temel varsayımı, "Başka bir aracı güvenli bir mesafeden takip etmek için en iyi kural, seyahat ettiğiniz saatte her on mil hızda en azından aracınız ile öndeki araç arasında bir arabanın uzunluğu kadar mesafe bırakmaktır". Pipe'ın modeline göre minimum güvenli mesafe aralığı aracın hızı ile doğru orantılı olarak artması gerekmektedir.
- Forbes Modeli; Forbes modelinde ise aracın fren reaksiyon süresi hesaplanarak öndeki araç ile aradaki mesafeye göre alınan zaman boşluğu bu reaksiyon süresine eşit veya daha büyük olması önerilmektedir.
- General Motor Modeli; Bu model diğer modellere göre oldukça yaygın olan bir yöntemdir. Bunun sebebi bu modelin sahadan alınan veriler ile uyumunun daha fazla olması ve uygulamada başarılı olmuş bir matematiksel model ile desteklenmesidir. Model iki varsayım üzerine kurulmaktadır, bunlar aracın hızı ile mesafenin aynı oranda olması ve aradaki güvenli mesafenin korunması. Newton'un hareket yasalarını baz alan bu modelde belli aralıklar ile aracın konumu, hızı ve ivmesi güncellenmektedir.
- Optimum Hız Modeli; Bu modelin konseptine göre, her sürücünün bir önceki araca olan mesafe ve araçlar arasındaki hız farkına bağlı olarak optimum bir hız önerilmektedir (Toledo, 2005).

#### 5.1.1.2. Şerit Değiştirme Modeli

Mikroskopik modellerde verilen süre içinde sürücülerin şerit değiştirme davranışları tahminsel olarak modellenmektedir. Bu davranışlar zorunlu veya isteğe bağlı olarak iki kategoride incelenmektedir. İncelenen modelde yol farklı bölgelere ayrılarak bu bölgelerdeki hız, mesafe ve şerit değiştirme gibi davranışların olması gereken en iyi durumları tanımlanmaktadır. Şekil 5.1'de trafik akımında şerit değiştirme alanları resmedilmiştir.



Şekil 5.1. Şerit Değişirme Bölgeleri

#### 5.1.1.3. Akımlar Arası Boşluk Modeli

Bu modelleme, kavşak içi veya kavşak bağlantı yollarındaki akımlar arası aralıkların belirlenmesi için kullanılmaktadır. Model oluşturulurken hızlanma oranı, istenen hız ve varsayılan hız gibi parametreler kriter olarak değerlendirilmektedir. Aracın istenen azami derecede hızlanması, maksimum yol verme süresi, en iyi görüş mesafesi gibi durumlar için gerekli güven aralığı elde edilmektedir (Barcelo, 2005).

#### 5.1.2. Makroskopik Modelleme

Makroskopik modelleme kavşakları daha bir üst seviye katmanda incelemeyi amaçlar. Burada özellikle trafik akışının en genel karakteristikleri hız, yoğunluk ve hacim değerleri belirli zaman dilimleri aralıklarında modellenmektedir. Bu modelde araçların her birinin davranışının incelenmesinden ziyade genel olarak yol durumu veya kavşak kapasite analizleri gibi işlemler yapılabilmektedir.

#### 5.1.3. Mezoskopik Modelleme

Mezoskopik modeller, mikroskopik modelleme ile makroskopik modellemenin bir kombinasyonudur ve analiz edilen ulaştırma elemanlarını küçük gruplar halinde inceler. Araç gruplarının modellemesinde dikkate alınan metrikler bir araç kuyruğundaki taşıt sayısı, kuyruğun toplu hareket hızı ve bu hızın dağılımıdır. İzole bir kavşakta en önemli performans ölçütü araçların geliş kalıplarından dolayı meydana gelen kuyruk uzunluğudur. Mezoskopik

modelleme ile kavşak kollarındaki araç kuyrukların toplu davranışları analiz edilerek en uygun yeşil ve kırmızı sürelerin elde edilmesi amaçlanır (Chiu, 2010).

## **5.2. Simülasyon Araçları**

Simülasyon araçları trafikte yapılan geliştirmelerin uygulanabilmesi adına önemli imkanlar sunmaktadır. Bu alanda öne çıkan önemli simülasyon araçlarından Vissim, Sidra, Syncro gibi yazılımlar sahada oldukça fazla kullanılmaktadır.

### **5.2.1. Vissim**

Vissim simülasyon yazılımı, bir sinyalizasyon kavşağının kontrolünde aranan uygun yöntemin değerlendirilmesinde kullanılan en etkili araçlardan birisidir. VISSIM, her araçta, saniyeden daha hassas zaman skalalarında ayrıntılı durum değişkeni bilgisi alma yeteneğine sahip, tam özellikli bir mikroskopik simülasyon modeli olarak tanımlanmaktadır. Karmaşık kavşak tasarımlarında kullanılabilecek, belirli yol ağlarına öncelik tanımlanabilecek kurallar oluşturabilme imkânı vardır. En önemli avantajı diğer simülasyon araçlarından daha detaylı analiz ve modelleme yapabilme kabiliyetinin olmasıdır. Taşıt konumuna ve davranışına özgü detaylı olarak modellenmesine izin vermektedir. Vissimin bir başka avantajı ise Nema olarak adlandırılan kontrol arayüzü sayesinde geliştirilen analitik bir yöntemin veya algoritmanın gerçek bir saha uygulaması üzerinde uyarlanabilmesi ve değerlendirilebilmesidir (Fellendorf, 2010).

Bir kavşağın performansının ölçülebilmesi için Vissimin sağladığı en önemli çıktılar ortalama araç gecikmeleri, seyahat süreleri ve kuyruk uzunlukları değerleridir. Bu değerlere göre kavşak çalışma prensipleri, sinyal süreleri, kol öncelikleri gibi değerler optimize ederek mevcut durumun iyileştirilebilmesi mümkündür.

### 5.2.2. Sidra

Literatürde trafik mühendisliği araştırmalarının birçoğunda referans kabul edilen Rahmi Akçelik'in çalışmaları öncülüğünde kurulan Sidra, her türlü kavşak ve sinyal kontrolü modellemesini şerit bazlı simüle etme yeteneğine sahip mikro ölçekli bir trafik analiz aracıdır. Sinyalize veya sinyalize olmayan dönel kavşaklarda kullanılabilen Sidra birden fazla modeli karşılaştırma imkânı sağlamaktadır. Farklı araç sınıflarına ait hafif araçlar, ağır vasıtalar, otobüsler, bisiklet veya yayalar gibi ulaşım bileşenlerinin hareket davranışlarının modellemesine izin verir. Bu davranışlara göre farklı şeritlere, şerit bölümlerine ve sinyal fazlarına öncelikler tanımlanabilir. Şerit bazlı kapasite ve performans değerlendirmesini detay bazda ele alan Sidra, kullanılmayan şeritleri, yoğun akıma sahip şeritleri veya kırmızı süresinde en hızlı tıkanan şerit tespiti gibi davranışları modelleyebilmektedir. Kavşaklar ve ağlar bu yöntem kullanılarak ayrıntılı olarak modellenenebilir ve sinyal zamanlamaları yaklaşıma dayalı ve şerit grubu tabanlı yöntemlere göre belirlenebilir.

Vissim ve Sidra, araç takip modelleri, sinyal süreleri, simülasyon yetenekleri ve çıkış verileri gibi birçok farklı özelliklerine ve yeteneklerine göre birbirlerine üstünlük kurabilmektedirler. Literatürde buna ilişkin birçok çalışma bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan mikro simülasyon yazılımlarından biri olan VISSIM, çeşitli senaryolarda trafik operasyonlarını simüle edebilir. Sidra ise ağırlıklı olarak sinyalize kavşakların analizi ile kavşak içi dönel kavşakların analizinde de kullanılmaktadır. Her ikisi de sinyalize kavşakta farklı trafik kontrol stratejisinin neden olduğu etkileri analiz edebilir ve kentsel trafik ağının tıkanıklığını gidermek için destekleyici karar sistemi sağlayabilir (Tianzi vd., 2010).

### 5.2.3. Sumo

SUMO simülasyon aracı Alman Uzay Ajansı tarafından geliştirilmiş, son sürümleri ile birlikte mikro ölçekli modelleme imkânı tanıyan açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Şehir merkezindeki ulaşım bileşenlerini modellemesinin yanı sıra

geniş çevre yolları ve bağlantı yollarının tasarımında da kullanılmaktadır. Trafik akışı tahmini, sinyal süreleri değerlendirilmesi ve rota seçimi gibi analizleri, gerçek sahada kullanılmadan önce uygulama ve analiz edebilme imkânı tanımaktadır (Behrisch vd., 2011).

SUMO kullanıcılarının en büyük avantajı açık kaynak kodlu bir yazılım kullanmalarıdır. Geliştiriciler, Python dili desteği ile geliştirilmiş olan bir metodu uygulayabilme, kurallar belirleme veya kaynak kodunda istenen senaryoya göre değişiklik yapabilme yeteneğine sahiptir.

#### **5.2.4. Syncro**

Syncro trafik akımının analizini ve optimizasyonunu sağlayabilen makroskopik bir simülasyon aracıdır. Paket program içerisinde barındırdığı SimTraffic isimli araç ile de mikro ölçekli analiz yapabilme yeteneğine sahiptir. Özellikle mikro ölçekte sinyalli veya sinyalsiz kavşak durumlarını detaylı olarak inceleyebilen SimTraffic ile farklı kavşak koşullarını baz alarak karşılaştırma imkânı bulunmaktadır. Sinyal optimizasyonunda farklı etkenlere ağırlıklandırma fırsatı sunarken kullanıcılara farklı senaryolarda sistem performansını değerlendirebilmelerine izin verir. Yazılımın kullanımı diğer simülasyon araçlarına göre oldukça kolay olduğundan, kullanıcıları için kısa sürede modelleme imkânı tanır. Basit ve kullanıcı dostu ara yüzü sebebiyle kullanımı oldukça yaygındır (Zenina ve Merkurjevs, 2009).

## 6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında saha araştırmaları ilk olarak İstanbul ve Kocaeli illerinden seçilen kavşaklar üzerinde yapıldı. Daha sonra Konya ilinden seçilen kavşaklar ile bu kapsam genişletildi.

### 6.1. Saha Çalışmaları ve Verilerin Toplanması

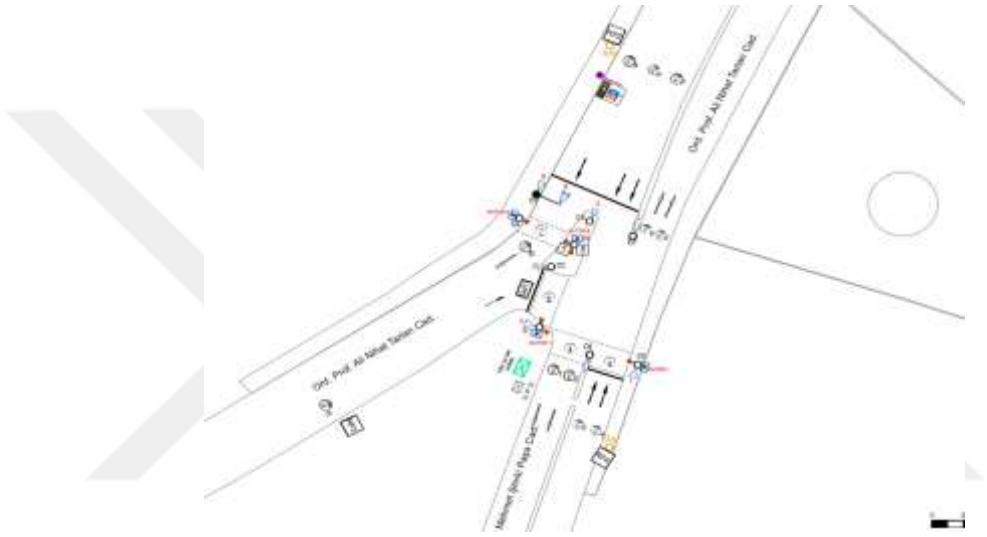
Saha çalışmalarında seçilen illerden Konya ilindeki kavşakların çalışma prensibi diğerlerine göre kullanılan algılayıcılardan dolayı farklılık göstermektedir. İstanbul ve Kocaeli’de ağırlıklı olarak Loop Detektörler ve Kablosuz algılayıcılar kullanılırken Konya’da sistemler kamera algılayıcılar ile çalışmaktadır. Buradaki temel fark asfalt üstü veya altı konumlandırılan sensörler kavşak bağlantı kollarında belli mesafeler ile konumlandırılırken kameralar kavşak merkez adaya yakın bir konumda kavşak bitiş noktasından geçen araçları algılayacak şekilde konumlandırılmaktadır. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de sırasıyla kamera ve loop algılayıcılar ile donatılmış kavşak tasarımları görülmektedir.



Şekil 6.1. Kamera Algılayıcı Kavşak Görünümü

Algılayıcı sistemlerdeki bu temel fark, analizlerde performans değerlerinin farklı yöntemler ile hesaplanmasını gerektirdi. Örneğin loop algılayıcılar ile kavşak yaklaşım kollarındaki kuyruk uzunlukları daha doğru hesaplanabilirken kamera

algılayıcılarda bu durum biraz daha karmaşık bir yöntemle hesaplanabildi. Fakat bu durum kavşaklarda araç algılayıcı olarak kamera kullanılması gerektiğinin bir ölçüsü değildir. Bölüm 3.2.7’de bahsedildiği gibi genel anlamda her iki sistemin de birbirlerine göre artıları ve eksileri olabildiği için kullanılacak sistemin tercihi tamamen uygulayıcıların ve şehir yöneticilerinin öncelik gösterdiği parametrelere göre değişkenlik gösterebilmektedir. Şekil 6.2’de loop döngü ve kablosuz algılayıcılar ile donatılmış bir kavşak planı görülmektedir.



Şekil 6.2. Loop ve Wireless Sensörle donatılmış kavşak planı

Deneyisel çalışma ve analizlerde İstanbul, Kocaeli ve Konya’da aşağıdaki kavşaklar seçilerek değerlendirilmiştir. Fakat tez kapsamında sonuçların tamamı yerine belli kavşaklar üzerinde elde edilen değerler paylaşılmıştır.

- İstanbul – Güngören Ali Rıza Gürcan, Bostancı Tataraga ve Kartal Sanayi Caddesi
- Kocaeli – Başiskele Yeniköy, Gebze Atatürk Caddesi ve Merkez Kartonsan
- Konya – Adalhan, Beşyol, Belediye, Kule, Nalçacı, Ata Petrol, Emniyet ve İhsaniye

İstanbul ve Kocaeli’de seçilen kavşaklar izole yani farklı herhangi bir kavşak ile irtibatı veya etkisi olmayan kavşaklardan seçilirken Konya’da her iki durumu da

kapsayan kavşaklar incelenmiştir. Buradaki temel amaç özellikle yakın iki kavşak arasındaki bağlantı yollarının arasındaki ilişkiyi görebilmektir. Konya’da seçilen kavşakların genel görünümü Şekil 6.3’te verilmiştir.



Şekil 6.3. Konya Merkez Seçilen Kavşakların Genel Görünümü

Detaylı kavşak krokileri Ekler de verilmiştir.

## 6.2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada analitik yönden bize bir veri setinin dağılım karakteristiklerini bulmamız halinde bir bekleme hattının modellenmesine imkân tanıyan kuyruk teorisinin sinyalizasyon kavşaklarda uyarlanabilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen kuyruk karakteristiklerine göre kavşağın her bir kolu için en uygun kuyruk modeli çıkarılmıştır. Kuyruk teorisi bölümünde bahsedildiği üzere bu modeller bize bir bekleme hattının performansını ölçebilmek adına oldukça önemli bazı değerler üretmektedir. Kuyruk uzunlukları, ortalama araç bekleme süreleri, doluluk oranları, boş kalma olasılıkları, geliş ve çıkış oranları gibi elde edilen çıktılar bir sistemin genel hizmet kalitesini karşılaştırabilmek adına önemli

parametrelerdir. Kuyruk modelleri ve performans çıktıları bölüm 6.3'te paylaşılmıştır.

Bir kuyruğun ne kadar hızlı sürede boşaltılabildiği aslında o hattın hizmet noktasının servis kalitesine bağlıdır. Birden fazla yolun kesişim noktası olan kavşaklarda 2 farklı sistemi hizmet veren olarak düşünebiliriz. Birincisi kavşağa gelen kolların hizmet aldıkları hattın bitiş çizgisi yani her kolda yerleşik sinyalizasyon noktası diğeri ise sistemin tümüne gelen gelişleri çıkış noktasına taşıyan kavşağın kendisi. Her ne kadar bu 2 sistemin hizmet seviyesini ölçebilmek matematiksel yöntemler ile mümkün olsa da gerçek saha koşullarından elde edilen verilerden bunu bulabilmek doğru konumlandırılmış ve sağlıklı veri verebilen algılayıcılara bağlıdır.

Kavşak çalışma prensiplerinde değinildiği üzere sinyalizasyon kavşakları bir devre süresini hizmet verdiği kollara, akımlara veya fazlara bölerek belirli sıralar ile sistemi araçlara kullandırmaktadır. Zamanlama algoritmaları bölümünde bahsedildiği üzere işlemcilerin ellerindeki işleri bitirebilmeleri için kullandıkları farklı zamanlama yöntemleri bulunmaktadır. Kavşağın genel hizmet seviyesini ölçebilmek adına kullanılan kuyruk modellerine ek olarak elde edilen kuyruk hattı yoğunlukları kullanılarak sistemin doluluk oranına ulaşmaması adına öncelikli kuyruk modelleri ile sıralı faz modeli önerilmiştir. Çalışmada sıralı faz modeli için önerilen zamanlama modeli ise öncelik tabanlı (Priority Scheduling) algoritmasıdır. Öncelikli kuyruklarda temel prensip, işlerin bitiş ve bekleme sürelerinden ziyade belirlenen maksimum servis sürelerini aşmadan elde edilen proseslerin bitirilmesidir. Kuyruk modellerinin vermiş olduğu çıktılar sayesinde elde edilen yoğunluk verileri ile öncelik değerleri oluşturularak kolların çalışma sırasının belirlenmesi ve sinyal sürelerinin atamalarının gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu model ve sinyal süreleri hesap yöntemi önerisi bölüm 6.4 ve 6.5'te açıklanmıştır.

Çalışmanın bir diğer konu başlığı ise toplanan verilerden yola çıkarak elde edilen taşıt akım değerlerinin eğitim seti olarak kullanılması ve derin öğrenme metodolojisi ile tahmininin yapılabilmesidir. Trafik akışı üretilen verilerden

dolayı tahmin çalışmalarında kullanılmak üzere oldukça elverişlidir. Yapılan çalışmada gözlenen ve tahmin edilen veriler arasındaki hata değerleri elde edilerek sonuçları paylaşılmıştır. Yapılan uygulama sonucu Derin öğrenme yöntemleri bölümünde bahsedilen modellerden RNN, LSTM ve CNN sonuçları elde edilmiştir. Bölüm 6.6. 'da sonuçları paylaşılmıştır.

Çalışmanın istatistik değerleri, dağılım grafikleri, test sonuçlarının elde edilmesinde ve derin öğrenme yöntemlerinin uygulanmasında son yıllarda istatistik, makine öğrenmesi ve derin öğrenme araştırmalarında kullanımı oldukça yaygınlaşan açık kaynak yazılım idesi R Studio kullanılmıştır. Bölüm 6.7.'de kullanılan R Studio ve paketlerine değinilmiştir. Ayrıca tez çalışmasının birçok safhasında verilerin düzenlenmesi, ayıklanması, analiz aşamasına hazır hale getirilmesi ve grafiklerin elde edilmesinde Microsoft Excel'den de faydalanılmıştır.

Simülasyon aşamasında 2 aşamalı bir yöntem izlenmiştir. Trafik simülasyonu hem veri analizi hem de görselleştirmeyi içeren bir yapıya sahiptir. Uygulanan yöntemlerden elde edilen akış hızları, araç sayıları, devre süreleri, yeşil süreler gibi parametre değerlerine göre Vissim Simülasyon aracına girdiler sağlanmıştır. Yukarıda bahsedildiği gibi analizler R 'da yapılarak çıktılar elde edilmiş ve bu değerler ile incelenen kavşak üzerinde hareketli simülasyon gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Vissim'in de kendi içinde barındırdığı özellikler sayesinde elde edilen kuyruk uzunlukları çalışma neticesinde analitik yöntemler ile elde edilen kuyruk uzunlukları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar bölüm 6.8'de paylaşılmıştır.

### **6.2.1. Verilerin Toplanması**

Tez çalışmasının en önemli girdilerinden olan verilerin elde edilmesi aşaması üç farklı ilde gerçekleştirilmiştir. Kocaeli ilinde yapılan saha çalışmalarında ağırlıklı olarak altyapı ve kavşak yapılarının çalışma prensipleri gözlemlenmiştir. Kavşak sisteminin önemli yapı taşları olan sinyalizasyon sisteminin kurulumundan trafik kontrol cihazları ile iletişime varana kadar birçok aşaması yerinde incelenmiştir. Algılayıcıların çalışma prensipleri ve konumlandırılmaları için uygun koşulların

nasıl belirlendiği gibi hususlar trafik mühendisleri ve Belediye ulaştırma birimleri ile yapılan birebir temaslarda görüşülmüştür. Şekil 6.4'te saha çalışmaları kapsamında yapılan incelemede Kocaeli Gebze ve Başiskele'de kavşak ve ana yol üzerinde Loop Döngülerin kurulumu görülmektedir.



Şekil 6.4. Kocaeli Gebze ve Başiskele ilçelerinde Loop Döngü Kurulumu (Saha Çalışmalarından)

İstanbul ilinde yapılan çalışmalarda 3 ve 4 kollu olmak üzere 3 kavşak incelenmiştir. Bu kavşakların hem sabit hem de dinamik çalışan sinyal düzenine sahip olması seçiminde etkili olmuştur. Toplanan veriler 1'er günlük ve 10'ar günlük aralıklarda 3'er saatlik ve 1'er saatlik zaman dilimlerinde analiz edilmiştir. Derin öğrenme yöntemlerinde kullanılan veri setleri 6 aylık ve 1 senelik zaman dilimlerinde dikkate alınmıştır. İstatistiki dağılımların elde edilmesinde ise 15'er dakikalık ve her devre sonrası oluşan değerler kullanılmıştır. Çizelge 6.1'de akımlara göre dikkate alınan zaman aralıkları görülmektedir. Toplanan veriler modelleme aşamasında kullanılabilmesi için bazı hesaplamalardan geçirildi. Örneğin Kartal Sanayi Caddesi kavşağının veri setinden bir kısmı paylaşılan Çizelge 6.2'de, kavşağa yaklaşan araçların giriş sensörlerinden alınan değerler kırmızı ile çıkış sensörlerinden alınan değerler yeşil olarak gösterilmektedir. Burada hangi araç hangi tarafa döndü bilgisi fazların sırasından algılanmaktadır. Bu veri setinden hangi fazda kaç adet araç

kavşağı kullanmış bilgisi veya birim zamanda gelen araçların akış oranı gibi ölçütler giriş-çıkış sensörlerinin farkları üzerinden hesaplanmıştır. Örnek olarak verilen bu veri seti asfalt altı yerleştirilen kablosuz algılayıcılar ve loop döngülerden elde edilmiştir.

Çizelge 6.1. Analiz periyodları

| Akım    | Zaman periyodu | Akım          | Zaman periyodu | Zaman periyodu | Zaman periyodu |
|---------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 1. Akım | 07:00 - 10:00  | 1.,2.,3. Akım | 07:00 - 09:00  | 07:00 - 08:00  | 16:00 - 17:00  |
| 2. Akım | 07:00 - 10:00  | 1.,2.,3. Akım | 09:00 - 11:00  | 08:00 - 09:00  | 17:00 - 18:00  |
| 3. Akım | 07:00 - 10:00  | 1.,2.,3. Akım | 11:00 - 13:00  | 09:00 - 10:00  | 18:00 - 19:00  |
| 1. Akım | 10:00 - 14:00  | 1.,2.,3. Akım | 13:00 - 15:00  | 10:00 - 11:00  | 19:00 - 20:00  |
| 2. Akım | 10:00 - 14:00  | 1.,2.,3. Akım | 15:00 - 17:00  | 11:00 - 12:00  | 20:00 - 21:00  |
| 3. Akım | 10:00 - 14:00  | 1.,2.,3. Akım | 17:00 - 19:00  | 12:00 - 13:00  | 21:00 - 22:00  |
| 1. Akım | 16:00 - 20:00  | 1.,2.,3. Akım | 19:00 - 21:00  | 13:00 - 14:00  | 22:00 - 23:00  |
| 2. Akım | 16:00 - 20:00  | 1.,2.,3. Akım | 21:00 - 23:00  | 14:00 - 15:00  | 23:00 - 24:00  |
| 3. Akım | 16:00 - 20:00  | 1.,2.,3. Akım | 23:00 - 00:00  | 15:00 - 16:00  | 24:00 - 01:00  |

Çizelge 6.2. Veri Seti Örneği (sn ve araç adetleri)

| PhaseIX | Time     | PhaseTime | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 | V7 | V8 | V9 | V10 | V11 | V12 | V13 | V14 |
|---------|----------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1       | 00:00:02 | 130       | 3  | 4  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 2       | 00:00:15 | 160       | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 4  | 1  | 4  | 2   | 0   | 1   | 1   | 0   |
| 3       | 00:00:31 | 131       | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 0   | 6   | 5   | 0   |
| 4       | 00:00:44 | 139       | 3  | 3  | 1  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0   | 0   | 5   | 5   | 0   |
| 4       | 00:01:01 | 50        | 1  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 2   | 1   | 0   |
| 1       | 00:01:06 | 130       | 1  | 4  | 1  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 2   | 0   |
| 2       | 00:01:19 | 220       | 1  | 9  | 1  | 1  | 0  | 0  | 3  | 2  | 2  | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 3       | 00:01:41 | 131       | 3  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 3  | 1  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   |
| 4       | 00:01:54 | 79        | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 2  | 2  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 4       | 00:02:05 | 50        | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0   | 0   | 4   | 2   | 0   |
| 1       | 00:02:10 | 130       | 4  | 5  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 2  | 0  | 0   | 0   | 4   | 4   | 0   |
| 2       | 00:02:23 | 190       | 8  | 4  | 1  | 1  | 0  | 0  | 2  | 2  | 0  | 1   | 0   | 7   | 3   | 2   |
| 3       | 00:02:42 | 131       | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 2  | 1  | 0  | 2   | 0   | 1   | 0   | 1   |

|   |          |     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 00:02:55 | 79  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 00:03:06 | 50  | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 00:03:11 | 130 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 00:03:24 | 191 | 7 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 6 | 2 | 0 | 1 | 0 | 6 | 3 | 0 |
| 3 | 00:03:43 | 130 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 4 | 3 | 0 |

Çizelge 6.3'te verilen diğer bir veri setinde ise kamera algılayıcı ile donatılmış bir kavşaktan alınan örnek veri grubu görülmektedir. Bu sistemden 2 farklı veri seti alınarak hesaplamalar yapılmış ve Çizelge 6.3'teki kırmızı ile belirtilen devre, dakika, koruma süreleri ve geçişler arası zaman farkları gibi değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler oluşturulan kuyruk modelleri için girdi olmuştur.

Çizelge 6.3. Adalhan Kavşağı Aladdin Fazı Veri Örneği (sn)

| Date                | Phase Diff. | Minute | Cycle Time | Green Time | Red and Yellow Time | Direction (Number Of Vehicles) | Total Vehicle Count | Min - Avg - Max |
|---------------------|-------------|--------|------------|------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------|
| 01/01/2020 06:59:13 | 419,2<br>2  | 1,23   | 74         | 16         | 58                  | Alaaddin Geliş (8)             | 8                   | 12-15-25        |
| 01/01/2020 07:00:27 | 420,4<br>5  | 1,15   | 69         | 12         | 57                  | Alaaddin Geliş (4)             | 4                   | 12-25-35        |
| 01/01/2020 07:01:36 | 421,6<br>0  | 1,23   | 74         | 12         | 62                  | Alaaddin Geliş (2)             | 2                   | 12-25-35        |
| 01/01/2020 07:02:50 | 422,8<br>3  | 1,37   | 82         | 22         | 60                  | Alaaddin Geliş (2)             | 2                   | 12-25-35        |
| 01/01/2020 07:04:12 | 424,2<br>0  | 1,38   | 83         | 15         | 68                  | Alaaddin Geliş (5)             | 5                   | 12-25-35        |
| 01/01/2020 07:05:35 | 425,5<br>8  | 1,45   | 87         | 13         | 74                  | Alaaddin Geliş (4)             | 4                   | 12-25-35        |
| 01/01/2020 07:07:02 | 427,0<br>3  | 1,28   | 77         | 12         | 65                  | Alaaddin Geliş (0)             | 0                   | 12-25-35        |
| 01/01/2020 07:08:19 | 428,3<br>2  | 1,23   | 74         | 15         | 59                  | Alaaddin Geliş (1)             | 1                   | 12-25-35        |
| 01/01/2020 07:09:33 | 429,5<br>5  | 1,22   | 73         | 12         | 61                  | Alaaddin Geliş (2)             | 2                   | 12-25-35        |
| 01/01/2020 07:10:46 | 430,7<br>7  | 1,18   | 71         | 13         | 58                  | Alaaddin Geliş (4)             | 4                   | 12-25-35        |
| 01/01/2020 07:11:57 | 431,9<br>5  | 1,18   | 71         | 12         | 59                  | Alaaddin Geliş (2)             | 2                   | 12-25-35        |
| 01/01/2020 07:13:08 | 433,1<br>3  | 1,15   | 69         | 12         | 57                  | Alaaddin Geliş (1)             | 1                   | 12-25-35        |
| 01/01/2020 07:14:17 | 434,2<br>8  | 1,20   | 72         | 14         | 58                  | Alaaddin Geliş (2)             | 2                   | 12-25-35        |

|                         |            |      |    |    |    |                       |   |              |
|-------------------------|------------|------|----|----|----|-----------------------|---|--------------|
| 01/01/202<br>0 07:15:29 | 435,4<br>8 | 1,33 | 80 | 13 | 67 | Alaaddin<br>Geliş (4) | 4 | 12-25-<br>35 |
| 01/01/202<br>0 07:16:49 | 436,8<br>2 | 1,15 | 69 | 13 | 56 | Alaaddin<br>Geliş (0) | 0 | 12-25-<br>35 |
| 01/01/202<br>0 07:17:58 | 437,9<br>7 | 1,17 | 70 | 12 | 58 | Alaaddin<br>Geliş (2) | 2 | 12-25-<br>35 |
| 01/01/202<br>0 07:19:08 | 439,1<br>3 | 1,42 | 85 | 14 | 71 | Alaaddin<br>Geliş (3) | 3 | 12-25-<br>35 |

### 6.3. Dağılım ve Kuyruk Analizleri

Kavşakların kapasite ve hizmet seviyelerinin ölçülmesinde araç gecikmeleri ve kuyruk uzunlukları önemli parametrelerdir. 4 kollu bir kavşakta farklı noktalardan gelen bir aracın her 4 yöne de geçiş yapma ihtimali vardır. Kavşağa giren bir araç için toplam geçen süre örneğin 1. akımdan gelen bir aracın bu kola girdiği andan itibaren bu kavşağı terk ettiği ana kadar geçirdiği süredir.

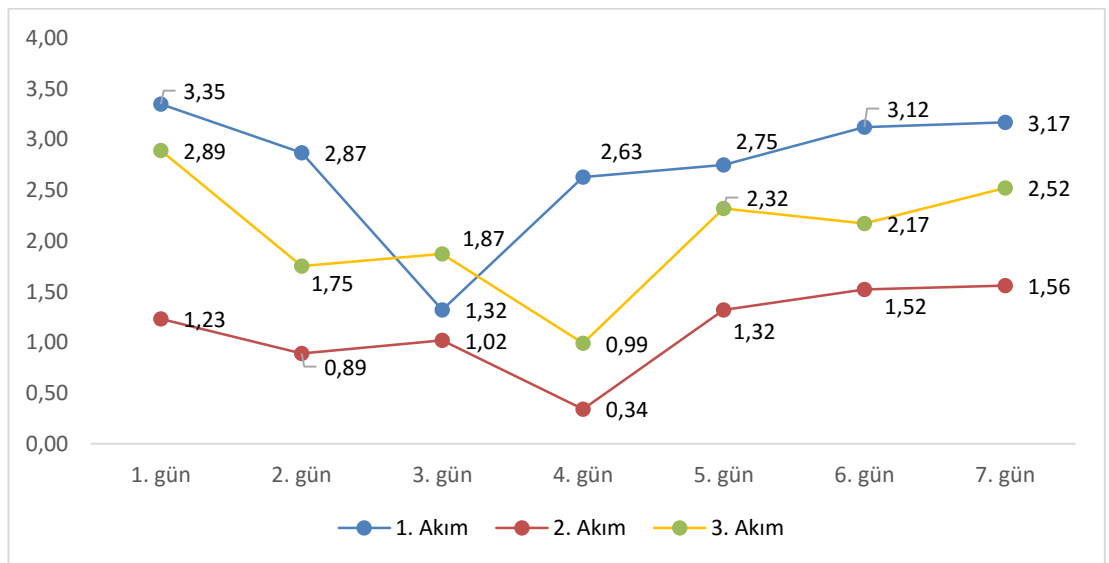
Bir aracın herhangi bir koldan bu sisteme giriş yaptığı zamana  $t_0$  denirse aynı aracın kavşağı terk ettiği andaki durumu  $t_1$  dir. Aracın yaşadığı zaman kaybı ise  $\Delta_t = t_1 - t_0$  olarak hesaplanır. Bu değer aynı zamanda bir aracın bu kavşak sistemini ne kadar sürede terk edebildiğini diğer bir deyişle kavşağın ne kadar optimum çalıştığını zaman cinsinden veren bir ölçüdür. Elde edilen verilerde aracın kavşağa girişi ve çıkışını anlık olarak kayıt altında tutan bir veri bulunmamaktadır. Yerleştirilen kamera algılayıcıların veya asfalt altı sensörlerin bir aracın tüm hareketlerini takip etme yeteneği olmadığı için sadece kavşak bağlantı kollarındaki giriş ve çıkışları hesaplanabilmektedir. Fakat yeşil süre hesap yöntemi ve öncelik tabanlı faz sıraları modellerini gerçekleyebilmek adına kullanılan Vissim Simulasyon aracında araçlara ID vererek sistemde geçirdiği zamanı hesaplamak mümkündür.

Kavşak bağlantı kuyruklarında gerçekleştirilen kuyruk analizleri öncelikle en temel kuyruk modeli M/M/1 sonuçlarına göre hesaplanmıştır. Çizelge 6.4’de elde edilen sonuçlar verilmiştir. Daha sonra bu kavşaklardaki akımların dağılım karakteristikleri çıkarılarak elde edilen istatistik dağılımına göre bağlantı kolları için yeni kuyruk modelleri verilmiştir. Varsayılan modele ve eldeki verilerin modelleri karşılaştırmalı bir şekilde hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen İstanbul Güngören Ali Rıza Gürcan kavşağında 3 farklı zaman periyodu incelenmiştir. M/M/1 Modeline göre akımların kuyruklarda yaşadıkları gecikmeler Şekil 6.5'te görülmektedir. Zaman birimleri grafiksel olarak daha sade bir görünüm elde edebilmek amacıyla saniyenin 1/10'u şeklinde alınmıştır.

Çizelge 6.4. M/M/1 modeline göre 1 günlük performans değerleri

| Akım    | Zaman periyodu | Geliş Oranı | Hizmet Oranı | Yoğunluk | Sistemdeki araç sayısı | Sistemde geçirilen ortalama zaman | Kuyruқта geçirilen ortalama zaman |
|---------|----------------|-------------|--------------|----------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Akım | 07-10          | 7,23        | 7,42         | 0,97     | 38,05                  | 5,26                              | 5,13                              |
| 2. Akım | 07-10          | 7,03        | 8,21         | 0,86     | 5,96                   | 0,85                              | 0,73                              |
| 3. Akım | 07-10          | 6,89        | 8,56         | 0,80     | 4,13                   | 0,60                              | 0,48                              |
| 1. Akım | 10-14          | 6,32        | 7,02         | 0,90     | 9,03                   | 1,43                              | 1,29                              |
| 2. Akım | 10-14          | 6,27        | 9,23         | 0,68     | 2,12                   | 0,34                              | 0,23                              |
| 3. Akım | 10-14          | 6,15        | 12,32        | 0,50     | 1,00                   | 0,16                              | 0,08                              |
| 1. Akım | 16-20          | 7,52        | 8,15         | 0,92     | 11,94                  | 1,59                              | 1,46                              |
| 2. Akım | 16-20          | 7,45        | 14,23        | 0,52     | 1,10                   | 0,15                              | 0,08                              |
| 3. Akım | 16-20          | 7,03        | 7,42         | 0,95     | 18,03                  | 2,56                              | 2,43                              |



Şekil 6.5. Kuyruklarda akımların yaşadığı 1 haftalık ortalama gecikmeler (sn/10)

Çizelge 6.4 incelendiğinde ilgili kavşağın performansının kimi saat dilimlerinde yetersiz kaldığı veya akımların özellikle sabah saat dilimlerinde yoğun bir trafik aldığı ve genel anlamda 1. Akımın araçlara yaşattığı gecikme değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Kartal Sahilyolu kavşağında yapılan yine aynı çalışmada bu sefer akımlardan ziyade fazların performansı incelenmiştir. Çizelge 6.5'te 10 günlük periyotta yapılan değerlendirmede elde edilen sonuçlar görülmektedir.

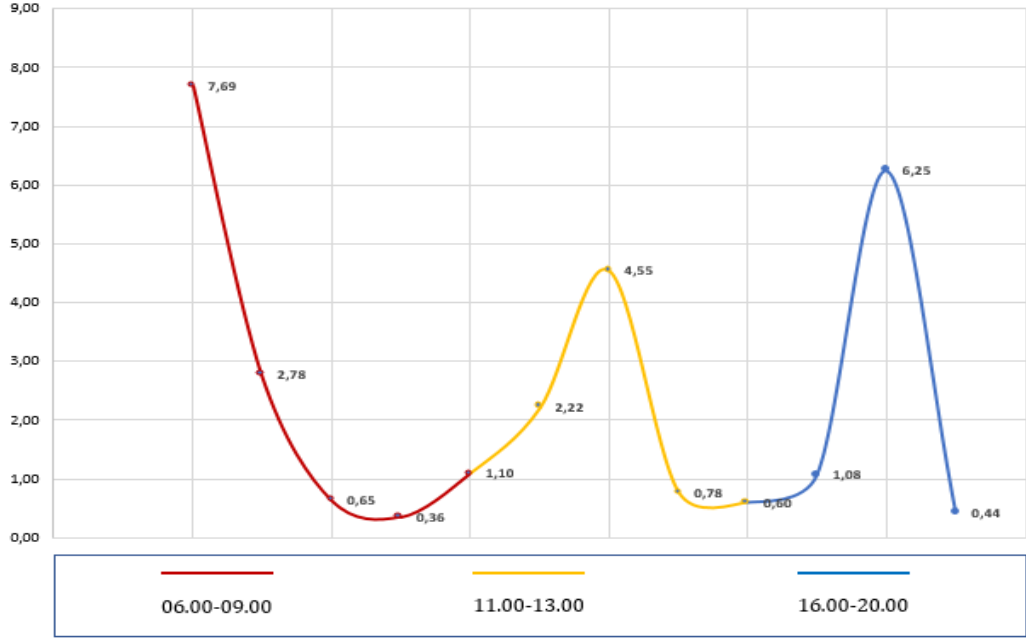
Çizelge 6.5. Kartal Sahilyolu Kavşağı 10 günlük performans değerleri (süreler sn. cinsinden)

| Akım   | Zaman periyodu | Geliş Oranı | Hizmet Oranı | Yoğunluk | Sistemdeki araç sayısı | Sistemde geçirilen ortalama zaman | Kuyrukta geçirilen ortalama zaman |
|--------|----------------|-------------|--------------|----------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Faz | 06-09          | 5,32        | 5,45         | 0,98     | 40,92                  | 7,69                              | 7,51                              |
| 2. Faz | 06-09          | 2,29        | 2,65         | 0,86     | 6,36                   | 2,78                              | 2,40                              |
| 3. Faz | 06-09          | 2,98        | 4,52         | 0,66     | 1,94                   | 0,65                              | 0,43                              |
| 4. Faz | 06-09          | 3,52        | 6,3          | 0,56     | 1,27                   | 0,36                              | 0,20                              |
| 1. Faz | 11-13          | 4,72        | 5,63         | 0,84     | 5,19                   | 1,10                              | 0,92                              |
| 2. Faz | 11-13          | 0,75        | 1,2          | 0,63     | 1,67                   | 2,22                              | 1,39                              |
| 3. Faz | 11-13          | 2,74        | 2,96         | 0,93     | 12,45                  | 4,55                              | 4,21                              |
| 4. Faz | 11-13          | 4,23        | 5,52         | 0,77     | 3,28                   | 0,78                              | 0,59                              |
| 1. Faz | 16-20          | 8,69        | 10,35        | 0,84     | 5,23                   | 0,60                              | 0,51                              |
| 2. Faz | 16-20          | 1,17        | 2,1          | 0,56     | 1,26                   | 1,08                              | 0,60                              |
| 3. Faz | 16-20          | 3,52        | 3,68         | 0,96     | 22,00                  | 6,25                              | 5,98                              |
| 4. Faz | 16-20          | 4,56        | 6,85         | 0,67     | 1,99                   | 0,44                              | 0,29                              |

Fazların hareket yönleri şu şekildedir;

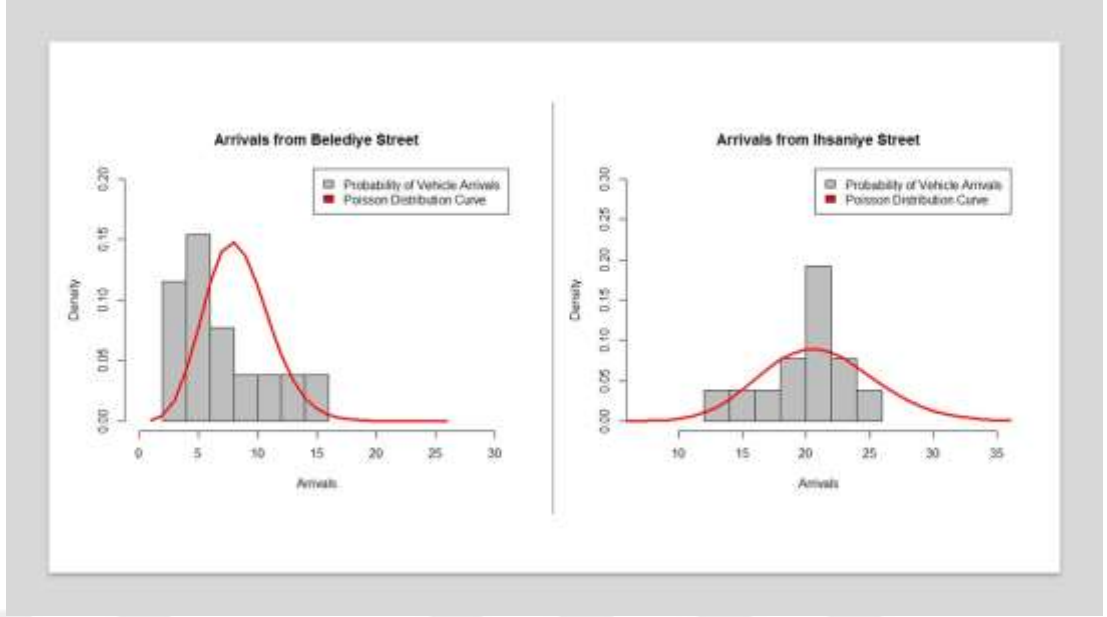
- 1. Faz; Sahilyolu- D100 yönünden sola dönüşün olduğu faz
- 2. Faz; Anayolların birlikte gittiği faz
- 3. Faz; D100 -Sahilyolu yönünden sola dönüşün olduğu faz
- 4. Faz; Spor Caddesinden çıkışın olduğu faz

Şekil 6.6'daki grafikte sırasıyla fazlardan elde edilen ortalama araç sürelerinin günün 3 ayrı zaman dilimindeki seyri görülmektedir. Ayrı saat dilimlerindeki her fazın gösterdiği dalgalanma, fazların çalışma prensiplerinin iyileştirmeye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Örneğin 16-20 saat aralıklarında 1. Fazda araçların harcadığı ortalama süre 6 sn. iken 3. Fazda 62.5 saniyeye kadar çıkmaktadır. Dinamik olarak yönetim sağlanan bir kavşak sisteminde bu kadar dalgalanma olması beklenmez.

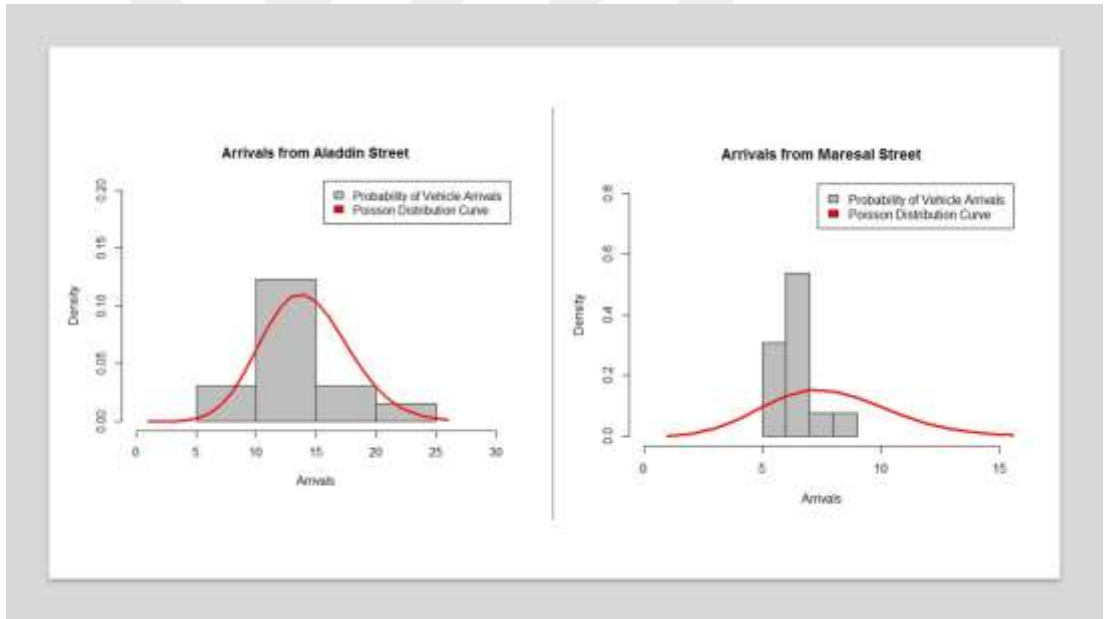


Şekil 6.6. Araç başı sistemde harcanan ortalama sürelerin seyri

Kuyruk modellerinde varsayılan şekilde araçların geliş veya servis sürelerinin dağılımının her zaman M/M/1 modeline uyması zordur. Kuyruk modelleri bölümünde bahsedildiği üzere veriler, dağılımlarının karakteristiklerine göre farklı modellerle ifade edilebilmektedir. Konya’da seçilen Adalhan kavşağında öncelikle kuyruk modellerinin yukarıdaki uygulamalarda olduğu gibi poisson gelişler ve üstel servis sürelerine sahip olduğu varsayılmıştır. Daha sonra gözlem verilerinin istatistiki dağılım model, Ki-Kare ve Kolmogorov-Smirnov testleri aracılığıyla p-değerleri elde edilerek uygun dağılımları çıkarılmıştır. Öncelikle araçların geliş dağılımlarının frekansları elde edilmiştir. Daha sonra Poisson eğrisi bu histogramların üzerine oturtulmuştur. Adalhan kavşağı farklı yönlerden 4 akımın beslediği bir kavşaktır. Kavşağın fazları sırasıyla Belediye, Mareşal Yaya, İhsaniye ve Alaaddin caddelerinden gelen akımlardır. Tezin eklerinde kavşağın yapısı verilmiştir. Şekil 6.7 ve 6.8 ‘de bu olasılık dağılımlarının R aracı ile elde edilmiş dağılım grafikleri verilmiştir.



Şekil 6.7. Belediye ve İhsaniye fazlarının olasılık dağılımları



Şekil 6.8. Alaaddin ve Maresal fazlarının olasılık dağılımları

Ki-Kare testi için gelişlerin poisson servis sürelerinin ise üstel dağılıma uygun dağıldığı varsayılmıştır. %95 güven aralığında hipotezler şu şekilde kurulmuştur.

$H_{0=p} > \alpha \Rightarrow$  Gelişler ve Servis süreleri beklenen dağılıma uygundur

$H_{1=p} < \alpha \Rightarrow$  Gelişler ve Servis süreleri beklenen dağılımdan farklı bir dağılıma sahiptir

Dağılım testi sonucu elde edilen  $p$  kritik değeri  $\alpha = 0.05$  değerinden yüksek elde edilen değerler için ilgili akımın dağılıma uyduğu aksi durumda uymadığı sonucuna varılmıştır. Ki-Kare testi R'ın *vcd* kütüphanesindeki *goodfit* (goodness-of-fit tests), *dpois*, *dexp* fonksiyonları kullanılarak hesaplanmıştır. İlgili kodlar eklerde verilmiştir. Elde edilen test sonuçlarına göre  $p$  değerleri çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Ki-Kare test sonuçları

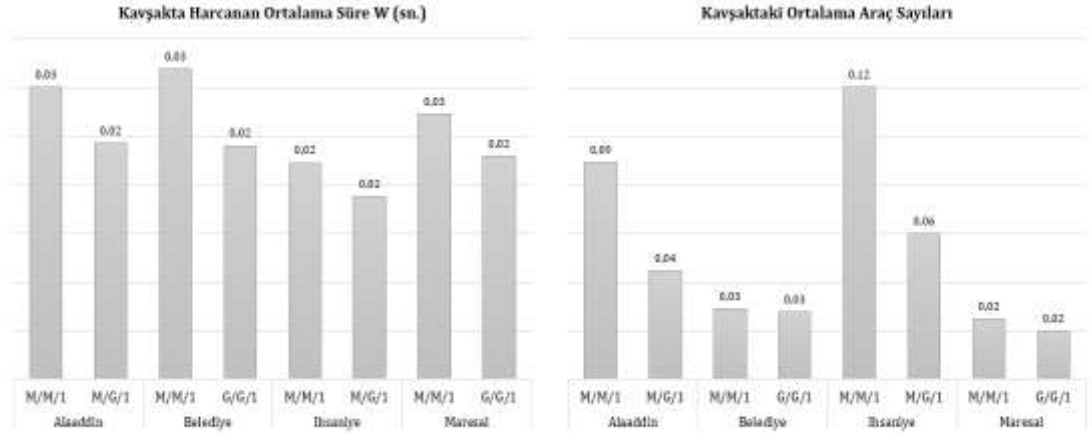
| $X^2_{test}$           | Faz isimleri ve kritik $p$ değerleri |          |          |         |
|------------------------|--------------------------------------|----------|----------|---------|
|                        | Alaaddin                             | Belediye | Ihsaniye | Maresal |
| $p$ - Gelişler         | 0.28                                 | 0.01     | 0.88     | 0.02    |
| $p$ - Service Süreleri | 0.01                                 | 0.01     | 0.02     | 0.01    |

Test çıktılarına göre beklenen dağılıma uymayan akımların uygun kuyruk modelleri aşağıda verilmiştir. Bu çalışma için poisson ve üstel dağılıma uymayan akımların genel (general) veya keyfi (arbitrary) bir dağılıma sahip olduğu varsayılmıştır.

Çizelge 6.7. Faz dağılımlarına göre elde edilen kuyruk modelleri

| Akım            | Kuyruk Modeli                                |
|-----------------|----------------------------------------------|
| <i>Alaaddin</i> | M/G/1 Poisson Arrival, General Service Times |
| <i>Belediye</i> | G/G/1 General Arrivals and Service Times     |
| <i>Ihsaniye</i> | M/G/1 Poisson Arrival, General Service Times |
| <i>Maresal</i>  | G/G/1 General Arrivals and Service Times     |

Çizelge 6.7'de elde edilen yeni modellere göre kuyruk modellerinin sunmuş olduğu performans değerleri ile varsayılan M/M/1 modeline göre elde edilmiş çıktıların kıyaslaması Şekil 6.9'da grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 6.9. Kuyruk Modellerinin Performans Çıktıları

Ayrıca seçilen 8 kavşaktan 22 akımın verisinin istatistiki olarak dağılımları incelenmiştir. Araçların gelişlerarası süreleri ve hizmet sürelerinin dağılımları normal, gamma, üstel dağılıma uygunlukları araştırılmıştır. Seçilen veri setinin periyodunun 3 aylık olması ve örneklem büyüklüğü yüksek olan verilerde daha uygun görülmesi sebebiyle K. Smirnov testi uygulanmıştır. Test sonucu elde edilen dağılımlar çizelge 6.8’de verilmiştir. 3 dağılıma da uymayan veriler genel bir dağılıma sahip olduğu varsayılmıştır.

Çizelge 6.8. Gelişler arası ve servis sürelerinin dağılımları

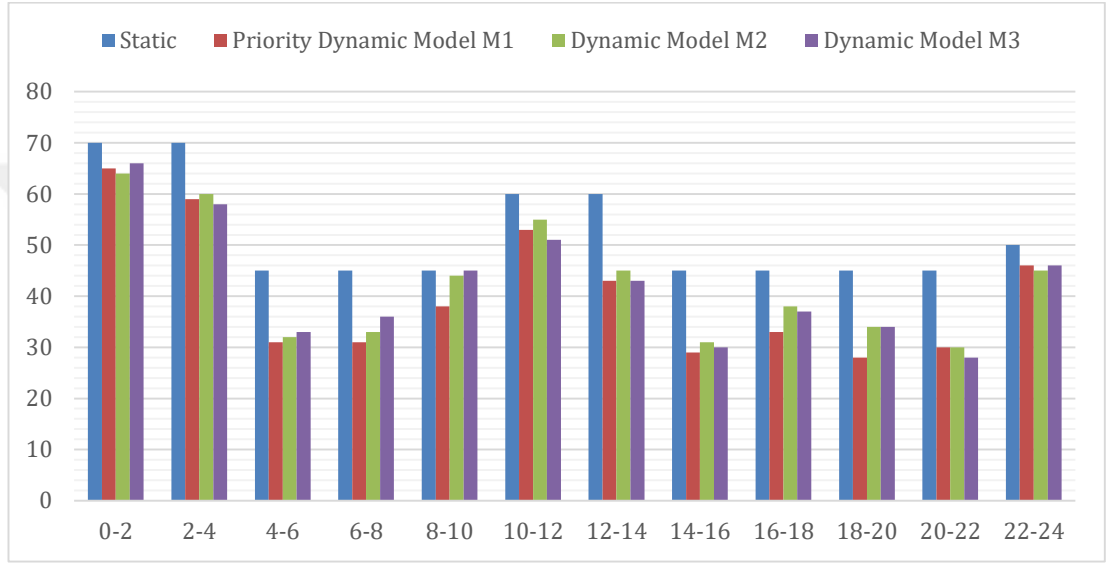
| Kolmogorov Testi            | Dağılımlar |       |       |       |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|
|                             | Normal     | Üstel | Gamma | Genel |
| $p$ - Gelişlerarası süreler | 3          | 7     | 4     | 8     |
| $p$ - Servis Süreleri       | 7          | 6     | 0     | 9     |

#### 6.4. Dinamik Faz Sıraları Modeli

Kuyruk performansları incelenen kavşaklarda yoğunluk verileri, geçirilen süreler, araç sayıları, kuyruk uzunlukları gibi değerler elde edilmiştir. Kuyruk teorisinin incelendiği durumlarda genellikle yoğunluk verisinin  $p < 1$  olduğu durumlar araştırılmaktadır. Servis oranlarının ( $\mu$ ) araçların geliş oranlarından ( $\lambda$ ) küçük olduğu durumlarda ilgili bekleme hattının kuyruk oluşturması



Önerilen M1 Modeli ile mevcut dinamik sistemlerden M2 ve M3 modelleri kıyaslandığında 2 ser saatlik dilimlerde gecikme verileri ortaya çıkarılmıştır. İstanbul ilinden ve Konya illerinden seçilen 3 kavşağın tüm kollarında yaşanan gecikmeler değerlendirilmiştir. Mavi sütunlar fazların static çalışması durumunu diğerleri ise dinamik kavşak modellerinin ölçülerini vermektedir. Şekil 6.11’de elde edilen sonuçlar sütun grafiği ile verilmiştir.



Şekil 6.11. Önerilen faz sıraları modeli M1 ve farklı dinamik çalışma düzenine sahip modellerin karşılaştırılması

### 6.5. Sinyal Süreleri Hesap Yöntemi

Sinyalize kavşaklarda kullanılan sinyal çalışma modları kavşakların performansını etkileyen en önemli parametrelerdir. Bölüm 3.2.4’te bahsedildiği gibi sinyal modelleri sabit, yarı sabit veya tam uyarmalı denilen dinamik çalışma modlarına sahip olabilir. Bu modlar kavşakların veriminde ve trafiği yönetmesinde son derece önemlidir. Model çalışması için seçilen kavşaklar altyapı olarak veri üretebilen kavşaklardır. Dolayısıyla fazlar arası veya akımlar arası süreler, devre süresi, doymuş akım veya yoğun akım, kırmızı, yeşil ve koruma süreleri gibi değerler yeni bir model önerebilmek için oldukça yeterlidir.

Kavşak bağlantı kollarındaki kuyruk oluşmasını veya kuyruk uzunluklarının boşalmasını etkileyen yeşil süreler kritiktir. Yapılan analizler ve elde edilen çıktılar sonucu bu çalışmada etkin yeşil süreleri için bir hesap yöntemi önerilmiştir. Önerilen sinyal süreleri hesap yöntemi ile kavşak bağlantı kollarından alınan araç sayıları üzerinden hesaplanan kritik akım değerlerini kullanarak etkin yeşil süreleri hesaplamak ve yoğun kollara daha fazla süre verilmesi amaçlanmıştır. Dolayısıyla kolların yoğun olduğu zaman dilimlerinde oransal olarak daha fazla yeşil süre kullanmaları ve Şekil 6.6'da ortaya çıkan dengesiz bekleme sürelerinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

Hesap yönteminde ana girdi olarak bölüm 6.4'te önerilen dinamik faz sıraları modelindeki hesaplanan kritik akım değeri ve kavşağın her devre döngüsü sonu oluşturduğu süre alınmıştır.

Birim zamanda gelen araç sayısı;

$$Q_{kl} = \frac{Araç_n * 60}{N_t} \quad (6.1)$$

Birim zamanda trafik lambası noktasından geçem araç sayısı;

$$Q_{sl} = \frac{Araç_s * 60}{S_t} \quad (6.2)$$

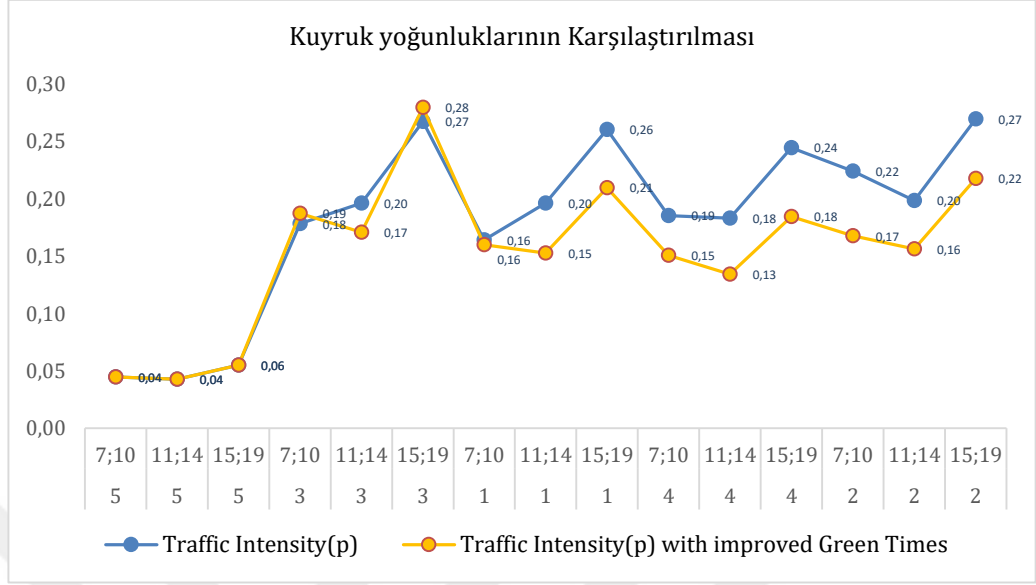
Bu değerlerin doygun kritik akıma oranını bularak her dört kola oransal olarak yeşil sürelerin dağıtılması amaçlanmıştır. Çizelge 6.9'da yöntemin akışı verilmiştir. Yoğunluk verisi her devre sonu kritik akım ile kıyaslanması gerekebilir fakat kritik akım değerinin her devre sonunda değerlendirilmesi yerine sistemin performansını etkilememesi adına dinamik faz sıraları modelinde olduğu gibi gün sonu elde edilen doygun akım değerleri sıralanarak en yüksek değer ile kıyaslanabilir veya gün içi pik saatlerin değerlerine göre bir sıralama yapılarak bir önceki kritik değerden küçükse yeni kritik değer olarak atanabilir.

Çizelge 6.9. Etkin Yeşil sürelerin hesabı

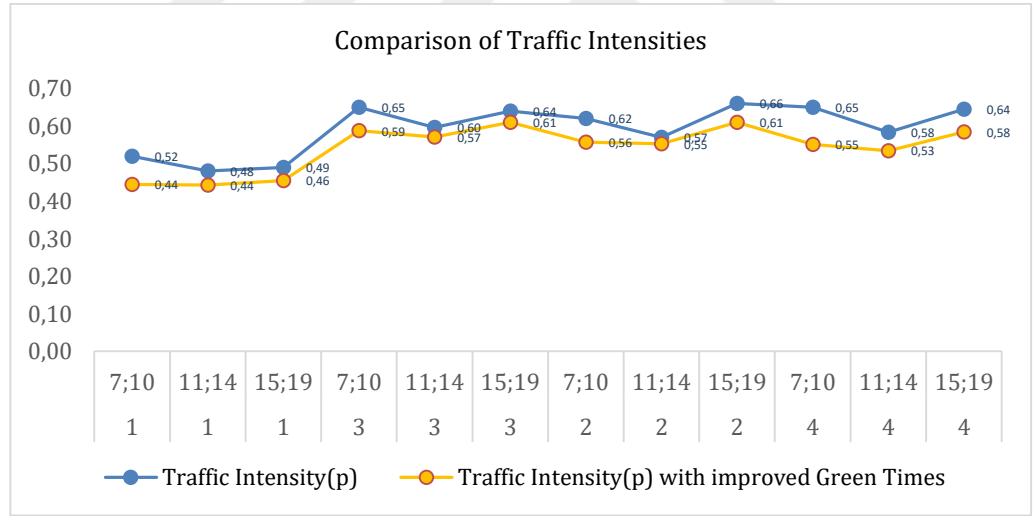
| Etkin Yeşil Süre Hesabı hesaplanması                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Girdi: $\lambda, \mu, \rho, C$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Çıktı: $G_i^k, G_e$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>İşlem Adımları.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kavşağın her yaklaşım kolu için birim zamanda gelen araç sayısını bul, Geliş Oranı - <math>Q_{kl}</math></li> <li>1. Kavşağın her yaklaşım kolu için birim zamanda hizmet gören araç sayısını bul, Hizmet Oranı - <math>Q_{sl}</math></li> <li>3. Trafik Yoğunluğunu hesapla <math>p = Q_{kl}/Q_{sl}</math></li> <li>4. Her i fazı için yoğunluk değerini hesapla <math>\varphi_i</math></li> <li>5. Her devre sonu elde edilen maksimum <math>\varphi_i</math> değerini kritik akım değeri olarak ata <math>\phi</math></li> <li>6. Devre süresini bul, <math>C</math></li> <li>7. Devre süresi, yoğunluk değerini ve kritik değeri kullanarak her faz için yeşil süreyi hesapla (k). <math display="block">G_i^k = \frac{C}{\sum_{i=1}^k \frac{p_i}{\varphi_i}}, G_i = G_i^k * p_i</math> </li> <li>8. Etkin Yeşil Süreyi Hesapla <math display="block">T_l - \text{Kayıp Zaman}, Y_t - \text{Sarı Süre}</math> <math display="block">G_e = G_i + T_l - Y_t</math> </li> <li>9. Her devre sonunda kritik oranı tekrar bul ve önceki kritik değer ile karşılaştır<br/>If (<math>\varphi_{ij} &gt; \varphi_i</math>) go to step 4 else step 6</li> <li>10. Her faz için etkin yeşil süreyi bul</li> <li>11. Bitir</li> </ol> |

Önerilen hesap yöntemi Konya Beşyol kavşağında ve İstanbul Kartal Sahilyolu kavşağında test edilmiştir. Şekil 6.12’de Konya Beşyol kavşağının kollarının

yoğunlukları kıyaslanmıştır. Şekil 6.13'te ise İstanbul Kartal kavşağının sonuçları önerilen modelin uygulanması sonrası verilmiştir.



Şekil 6.12. Konya Beşyol Kavşağı Yoğunlukların Karşılaştırmaları



Şekil 6.13. İstanbul Kartal Kavşağı Trafik Yoğunlukları Karşılaştırmaları

## 6.6. Trafik Akış Tahmini

Günümüzde araçların hızları, akış oranları, akış şekilleri, servis zamanları gibi trafik verilerinin tahmini oldukça başarılı bir şekilde yapılabilmektedir. Saha çalışmalarından elde edilen verileri gözlem verisi ve eğitim seti olarak kullanabilmek adına öncelikle veriler eşit zaman dilimlerine ayrılmıştır. 1 aylık veri setleri önce 5'er dakikalık periyodlara daha sonra 10'ar ve 30'ar dakikalık

zaman dilimlerinde değerlendirilmiştir. Kavşakların sinyal ve faz denetiminde en beklenmedik ve istenmeyen olay araç akış oranlarındaki ani artışlardır. Bu sebeple uygulamak istenilen tahmin tekniği ile araçların birim zamandaki geliş oranları öngörülmeye çalışılmıştır.

Zaman serileri yöntemi belli zaman aralıklarında alınan trafik verilerinin değişimini göstermek için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Bu verilerden yola çıkarak gidişatın tahmini yapılabilen ve serilerin zaman içindeki değişimi izlenebilmektedir. Yapısal olarak çok sayıda sıralı veri içeren trafik verilerinin yapılan gözlemleri bir zaman dizisi şeklinde gösterilebilmesi zaman serisi analizini trafik akışı tahmini için değerli bir araç kılmaktadır.

Zaman serilerinin tahmininde ise derin öğrenme teknikleri uygulanmaktadır. Serileri sıralı olarak ifade edebilen zaman serileri tahmininde RNN' in bir alt özel yapısı olan LSTM uygun teknik olarak öne çıkmaktadır.

Modelin tahmin hataları üç farklı hata fonksiyonuyla elde edilmiştir. Elde edilen değerler karşılaştırmalı olarak çizelgelerde verilmiştir. Denklemden 36'daki ortalama mutlak hata fonksiyonu (MAE) ile elde edilen hata değeri gözlem ve tahmini değerlerin arasındaki mesafeyi, ölçüyü ifade eder. Denklem 37'deki Kök ortalama kare hata RMSE'de modeller arasındaki anlamlılık veya tahmin eğrisi etrafındaki verilerin ne kadar yoğun olduğu elde edilir. RMSE değerinin sıfıra yakın olması modelin başarısını gösterir. Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) denkleminde (38) ise öngörü hataları yüzde olarak ifade edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, gözlem verilerinde sıfır değerine sahip bir giriş verisinin olmaması gereklidir. Zira bu durumda fonksiyon bir çıktı üretemez. Başarılı bir modelde aşağıdaki değerler ile elde edilecek verilerin küçük olması beklenir.

$$MAE(y, y') = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - y'_i|}{y_i} \quad (6.3)$$

$$RMSE(y, y') = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{n}} \quad (6.4)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - y'_i}{y_i} \right| \quad (6.5)$$

Hareketliliğin oldukça yüksek olduğu Emniyet kavşağında yapılan incelemede Kahraman ve Ankara Gelişlerinin akış oranlarının LSTM tekniği ile tahmin analizi gerçekleştirilmiştir. Ortam olarak RStudio kullanılmıştır. Verilerin eğitim ve test verisi olarak kullanılabilmesi için `train_matrix` ve `test_matrix` olarak matris dönüşümleri gerçekleştirilmiştir. R'ın deep learning için sunmuş olduğu aşağıda verilen başlıca kütüphaneler `train` ve `model` için kullanılmıştır.

```
library(tidyverse) # importing, cleaning, visualising
library(tidytext) # working with text
library(keras) # deep learning with keras
library(data.table) # fast csv reading
```

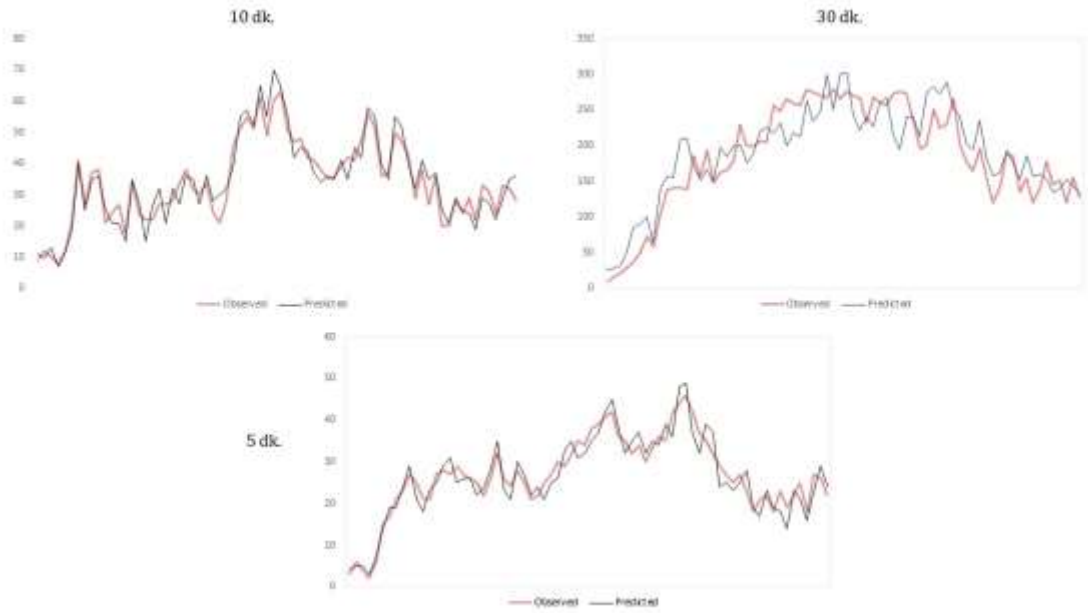
Çizelge 6.9'da zaman aralıkları, periyod uzunluğu ve hata değerlerinin karşılıkları verilmiştir. Şekil 6.14'te pilot olarak seçilen Konya Emniyet kavşağının Kahraman Caddesi üzerinden gelen gelişlerin sonuçları görülmektedir. Şekil 6.15'te ise aynı kavşağın Ankara Caddesi üzerinden gelişleri görülmektedir.

Çizelge 6.10 ve 6.11'de ki hata değerlerine göz attığımızda 5'er ve 10'ar dakikalık zaman aralıklarında elde edilen değerler oldukça makul ve başarılı olduğu görülmektedir. Fakat 30'ar dakikalık aralıklarda modelin eğitilmesi sonucu ortaya çıkan değerler kısa zaman aralıklarına göre hata değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Burada zaman aralığı arttıkça veri setinin büyüklüğünün düşmesi etkili olmuştur. Dolayısıyla zaman aralıkları kısaltıldıkça modelin başarı oranının artacağı söylenebilir.

Çizelge 6.10. Emniyet Kavşağı – Kahraman Gelişler hata değerleri

| Zaman Aralıkları | Periyod | MAE   | RMSE  | MAPE  |
|------------------|---------|-------|-------|-------|
| 5 dk             | 1 Ay    | 2,65  | 2,98  | 11,27 |
| 10 dk            | 1 Ay    | 3,57  | 4,13  | 11,92 |
| 30 dk            | 1 Ay    | 25,51 | 31,23 | 20,50 |

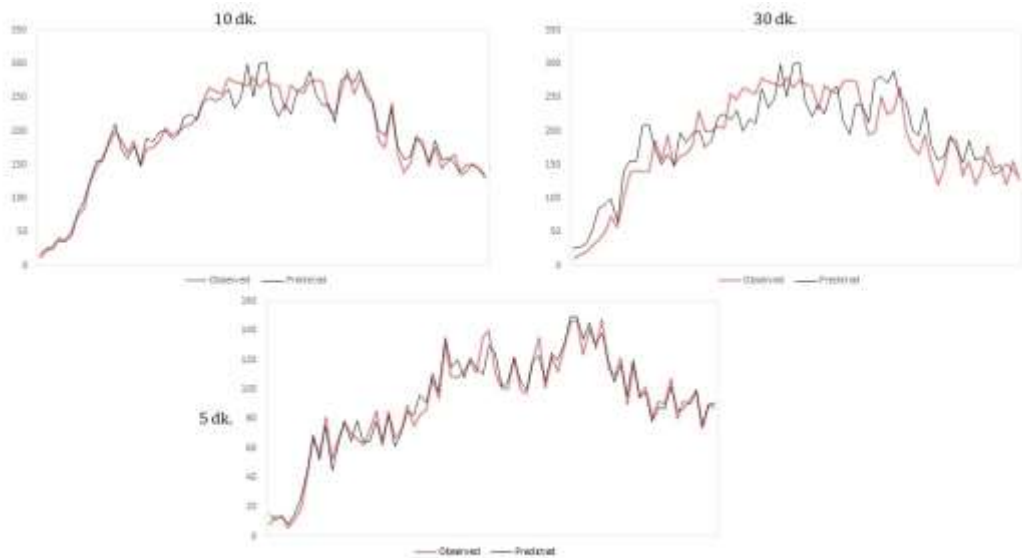
Şekil 6.14 ve 6.15'te ise zaman serileri analizi ile elde edilen tahmini ve gözlenen değerlerin eğrileri verilmiştir.



Şekil 6.14. Kahraman yönü geliş oranları tahmin ve gözlenen zaman serileri

Çizelge 6.11. Emniyet Kavşağı- Ankara yönü geliş hata değerleri

| Zaman Aralıkları | Periyod | MAE   | RMSE  | MAPE  |
|------------------|---------|-------|-------|-------|
| 5 dk             | 30 Gün  | 5,31  | 7,27  | 8,22  |
| 10 dk            | 30 Gün  | 12,11 | 15,76 | 16,68 |
| 30 dk            | 30 Gün  | 27,82 | 33,11 | 22,16 |



Şekil 6.15. Ankara Yönü Geliş Oranları tahmin ve gözlenen zaman serileri

## 6.7. R Studio

R açık kaynak kodlu istatistik ve makine öğrenmesi yöntemlerine yönelik geniş bir kütüphanesi olan yetenekli bir veri analizi aracıdır. Veri analizi için ihtiyaç duyulan birçok yöntem ve metodu R üzerinde gerçekleştirmek mümkün. Arkasında çok geniş bir geniş bir geliştirme topluluğu olan R, Python ile birlikte bu alanda tercih edilen önemli 2 dil olma özelliği taşıyor.

R bünyesinde barındırdığı kütüphaneleri ücretsiz bir şekilde kullanıma sunarken bu kütüphanelerin sunduğu fonksiyonları da özelleştirerek kullanıcılara birçok ileri analitik yöntemleri geliştirme imkânı vermektedir.

R Studio, R dilinin uygulamada kullanılabilmesi ve R fonksiyonları ile daha kolay etkileşim sağlayabilmek adına geliştirilmiş bir ortamdır. Oldukça kullanışlı bir araç R Studio her geliştirme idesindeki komut penceresi, konsol, kütüphaneler gibi arayüzlere sahiptir. Bu çalışmanın özellikle istatistik ve derin öğrenme yöntemlerinin uygulanmasında R Studio kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan R bünyesinde kütüphaneler ve fonksiyonlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

*dplyr* – Veri manipülasyonun yapıldığı en temel kütüphanelerden biridir. Veri kümelerini özetleme, yeniden düzenleme ve birleştirme için gerekli kısayollar.

*dplyr*, hızlı veri işleme için pakete gitmemizdir.

*Keras* – derin öğrenmede model geliştirmede kullanılan bir kütüphanedir

*fread* – eğitim ve test verilerinin tanımlanması ve içeri alınmasında kullanılır.

*tidyr* - Veri kümelerinizin düzeninin değiştirilebildiği ve değiştirme araçları. Verilerinizi düzenli biçime dönüştürmek için toplama ve yayma işlevlerini kullanın, R düzeni en çok hoşlanır.

*tseries* – zamana göre sıralı seyreden veri kümelerinin zaman serilerini oluşturmada önemli bir pakettir.

*ggplot2* – Veri grafiklerinin yapılabilmesi için kullanılan bir kütüphanedir.

*vcd* – verilerin istatistik dağılımlarının ve testlerinin yapılması için gerekli kütüphanedir.

*zoo* - R'deki zaman serisi nesnelerini kaydetmek için gerekli formatı sağlar.

*xts* - Zaman serisi veri kümelerini işlemek için gerekli araçları sağlar.

*forecast* – ARIMA benzeri modelleri kullanarak tahmin modelleri geliştirmek için kullanılır.

*data.table* – Veri kümelerini çok hızlı bir şekilde düzenlemenin alternatif bir yolunu sağlar.

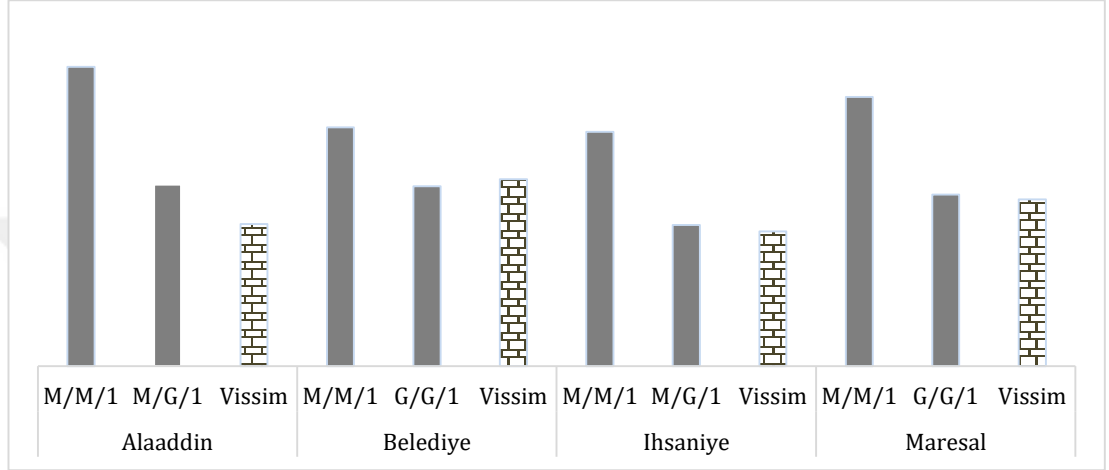
Bunların haricinde ayrıca *var*, *barplot*, *hist*, *lines*, *plot*, *dpois*, *chisqr.test*, *prob.exp*, *readr* gibi metodlar çalışma kapsamında en çok başvurulan fonksiyonlar olmuştur.

## 6.8. Vissim Simülasyon Çıktıları

Vissim daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere trafik simülasyonu ve analizi için çok yetenekli bir araçtır. Araç gecikmeleri, sinyal süreleri hesabı, kuyruk uzunlukları, sistem performansı gibi değerleri elde etme imkânı tanımaktadır. Çalışmanın genelinde Sumo ve Vissim araçları üzerinde simülasyon uygulanmaya çalışılmıştır. Fakat Sumo'nun görsel yeteneğinin zayıf olması ve özellikle araç gecikmeleri için bir aracın kavşak içi hareketlerinin takibinde zayıf kalması Vissim ile devam edilmesinde etkili olmuştur.

Vissim'in çalışma süresi boyunca en büyük faydası kavşak görüntülerinin birebir uyarlanması ve hesaplanan girdilerin test edilmesini sağlaması olmuştur.

Özellikle araçların kuyruk çalışmalarında elde edilen modeller ile elde edilen gecikme verileri Vissim çıktıları ile de karşılaştırılmıştır. Araçların ortalama kuyrukta yaşadıkları gecikmeler Vissim üzerinde girdileri sağlanarak sonuçları elde edilmiştir. Şekil 6.16'da görüldüğü üzere dağılım karakteristiklerine göre oluşan gecikme değerleri ile Vissim sonuçlarının başta varsayılan modele nispeten daha yakın görünmektedir.



Şekil 6.16. Araç başı ortalama gecikmelerin kuyruk modelleri ile Vissim sonuçlarının karşılaştırılması

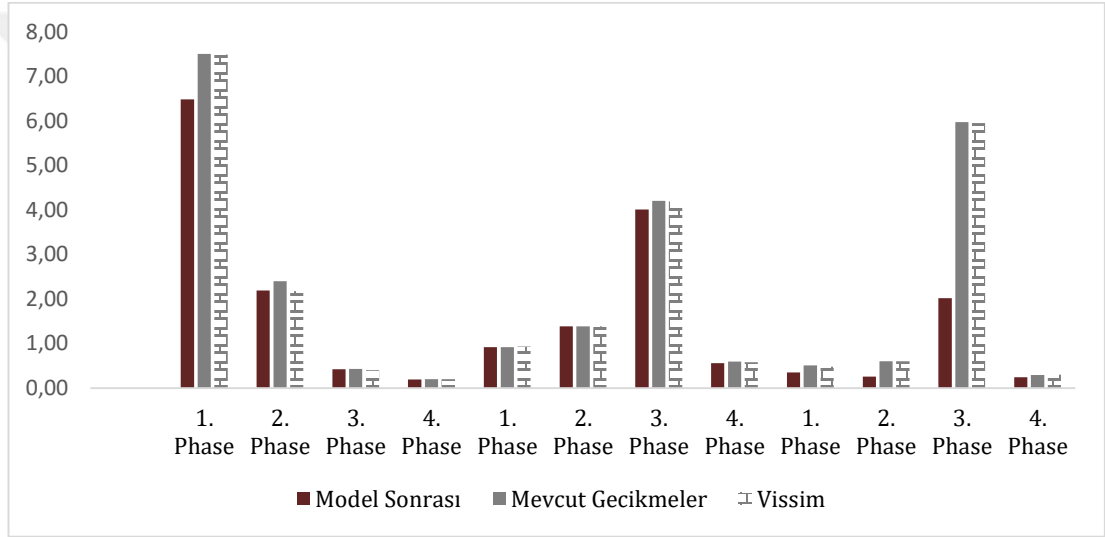
Şekil 6.17 ve 6.18'de Vissim aracı ile yapılan simülasyon çalışmasından ekran görüntüsü paylaşılmıştır. Şekil 6.19'da ise uygulanan model, mevcut gecikmeler ve vissim sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.17. Vissim simülasyon arayüzü



Şekil 6.18. Kartal Sanayi Caddesi Kavşak Simülasyon Görünümü



Şekil 6.19. Konya Nalçacı Kavşağı kuyruk uzunlukları

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Artan teknoloji kullanımı ve ilgili alandaki tüm gelişmeler şehirlerin yönetim yaklaşımlarını büyük ölçüde değiştirmektedir. Şehir sakinlerinin hayat standartlarını doğrudan etkileyen bu yaklaşımların önemi gittikçe artmaktadır. Teknoloji ve kentlerin yönetim sistemlerini bir araya getiren Akıllı Şehir kavramı doğru konumlandırılan sistemleri ile birçok alanı iyileştirme potansiyeline sahiptir. Kaynakların etkin kullanımının sağlanması, çevreye verilen zararın ölçülebilmesi, sağlık sistemlerinin iyileştirilebilmesi, yakıt tüketimi ve zaman kaybının azaltılması, hızlı ve verimli hizmet seçeneklerinin oluşturulabilmesi,

emniyet ve güvenlik önlemlerinin sağlanabilmesi gibi örnekler sağlanan faydalardan bazılarıdır.

Yapılan bu çalışmada akıllı ulaşım sistemleri kapsamında problem tanımı yapılan trafik yönetiminin en önemli sistemlerinden sinyalize kavşakların performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Trafiğin düzeni ve akışının sağlanmasında önemli bir rolü olan bu yapıların kullanılan farklı yöntem ve tekniklerden dolayı alternatifli sistemlerdir. Bu sistemlerin çalışma prensiplerinin belirlenmesi, sahip olduğu rol göz önünde bulundurulduğunda son derece dikkatli ve planlı bir çalışma gerektirmektedir.

Yapılan bu çalışmada bekleme ve kuyruklanma olaylarının en fazla karşılaşıldığı sinyalize kavşaklar matematiksel olarak incelenmiştir. Bu konuda bekleme hattı problemleri araştırmalarında kullanılan kuyruk teorisi yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan arazi çalışmaları neticesinde seçilen örnek kavşaklar üzerinde belli varsayımlar ile kavşak bağlantı kollarının kuyruk modelleri çıkarılmıştır. Özellikle geliş ve ayrılış karakteristiklerinin Poisson dağılımı olarak tanımlayan M/M/1 modeli tüm kavşak sistemlerinde farklı zaman dilimleri ve periyodlarında incelenmiştir. Modelin sunmuş olduğu analitik yöntemler aracılığıyla akım yoğunlukları, kuyrukta kaybedilen zaman, araç bazlı kuyruk uzunluğu, sistemde geçirilen zaman gibi bir kavşağın analizi için gerekli olabilecek performans ölçütleri elde edilmiştir.

Gerçek hayatta trafik akışını her zaman belli bir varsayımlarla ifade etmek zordur. Dolayısıyla akım karakteristikleri, dağılımları incelenmelidir. Buna yönelik seçilen örnek veri setlerinin istatistik dağılımları çıkarılarak sahip oldukları dağılımlara göre yeni kuyruk modelleri elde edilmiştir.

Modellerin sunmuş olduğu analitik yöntemler ile elde edilen performans değerlerinden yola çıkarak bazı kavşaklarda yoğunluğun fazla olduğu ve kavşak veriminin iyileştirmeye ihtiyaç duyduğu ortaya çıkarıldı. Veya günün belli zaman dilimlerinde bazı akımların yoğun olduğu ve buna yönelik bir iyileştirme, zaman, yakıt, enerji gibi konularda tasarruf sağlayabileceği görüldü.

Elde edilen sonuçlardan yola çıkarak kavşak faz sıralarının dinamik olarak yönetilmesine imkân tanıyan dinamik faz sıraları modeli önerilmiştir. Bu model temel anlamda kavşak kollarının yoğunluk verilerini dikkate alarak bu kollara fazların değişiminde öncelik atayarak kuyruklanma olmasının önüne geçmeyi hedeflemektedir. Model dört adet kavşakta eski ve yeni çalışma prensiplerine göre test edilmiştir. Static ve dinamik çalışan modeller ile kıyaslandığında bölüm 6.4 'te görüleceği üzere özellikle günün zirve yaptığı saatlerde oluşan yoğunluğun ve beklemlerin daha düşük seyretmiştir. Aynı şekilde bölüm 6.5'te sinyal süreleri hesap yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemle göre yine elde edilen performans değerleri üzerinden bir çıktı üretip buna göre sinyal zamanlarını oransal olarak dağıtılması hedeflenmiştir. Olumlu sonuçları bölüm 6.5'te paylaşılmıştır.

Trafik problemlerinde, toplanan veri miktarını ve kablosuz algılayıcıların kullanımını göz önünde bulundurduğumuzda artık başarılı tahminler yapmanın da önü açıldı. Bu amaçla elde edilen veriler üzerinden sisteme gelen akış oranlarının tahmini yapıldı. Derin öğrenme metodolojisi ile yapılan inceleme ve model sonuçlarına göre anlamlı çıktılar üretildi. LSTM derin öğrenme tekniği destekli zaman serileri ile trafik akımının gözlenen ve tahmin edilen değerleri bulundu. Gelişler arası zaman aralıklarının daha kısa olduğu 5'er dakikalık zaman dilimlerinde, veri kümesinin de daha geniş olması sebebiyle diğer zaman sürelerine göre daha başarılı sonuçlar alınmıştır. Üretilen verilerin boyutunu düşündüğümüzde tahmin algoritmaları ile çalışan kavşakların artık başarılı olacağı öngörülebilir.

Trafik simülasyonu, üzerinde çalışılan trafik probleminin deney ve benzetimi için son derece önemlidir. Bu çalışmanın diğer çıktılarından birisi de elde edilen çıktıları gerçek kavşaklar üzerinde uygulamak olmuştur. Bu bağlamda kuyruk modelleri ile elde edilen performans değerleri saha verileri kullanılarak Vissim tarafından da üretilmesi sağlanmıştır. Ayrıca önerilen modelin sahadan elde edilen veriler ışığında Vissim'e aktarımı gerçekleştirilerek simule edilmiştir.

Saha çalışmaları esnasında karşılaşılan bir diğer husus ise kullanılacak algılayıcıların konumu ve tipinin seçimidir. Kavşak kollarının uzunluklarını doğru elde edebilmek ve buna göre iyileştirme yapabilmek adına kavşaklarda kavşak içi kamera, kollarda ise belli aralıklarda sensör yerleştirmenin önemli olduğu görüldü. Çalışma esnasında her iki altyapı da incelendiğinden birinin yapabildiğini diğerinin yapamadığı veya tam tersi bir durumun olduğu görüldü.

Vehicle to vehicle (V2V) veya Vehicle to Infrastructure (V2I) olarak artık oldukça sık kullanılmakta olan yeni nesil ulaşım veya iletişim teknolojilerinin trafiği azaltıcı önlemler arasında değerlendirilmesi mümkündür. Kavşakların artık yetenekli sensör altyapıları ile daha donanımlı hale gelmesiyle birlikte taşıtlar ile haberleşebilir veya bağlı kavşaklar arasında bir koordinasyon gerçekleştirilebilir. Ayrıca sadece araç sayısı veya yoğunluk değerlerinin haricinde artık çok daha net anlık yoğunluk verisi sağlayabilen harita uygulamalarının verileri de kavşak kontrol cihazları ile entegre edilebilir, kavşak yönetiminin daha elverişli olması sağlanabilir.

Sonuç olarak trafik problemlerinde kullanılan yöntem ve tekniklerin üzerinde dikkatle durulması durumunda şehir içi trafik sorunlarında çözüm sağlanacaktır. Kavşaklarda üzerinde durulması gereken önemli hususlardan birisi kavşakların tasarımı ve kullanılan altyapı teknolojileridir. Artan teknoloji ve artık çok da maliyetli olmayan sensör altyapısının tüm şehirlerde kullanılması önemlidir.

## **KAYNAKLAR**

Akcelik, R., 1980. Time – Dependent Expressions for Delay, Stop rate and Queue Length at Traffic Signals. Australian Road Research Board, Internal Report AIR, 367-1.

Akcelik, R., 1981. Traffic Signals: Capacity and Time Analysis. Australian Road Research Board, Research Report ARR No.123, Nunawading, Australia.

Akcelik, R., 1988. The Highway Capacity Manual delay Formula for Signalized Intersections. ITE Journal, 58(3), 23-27.

- Akcelik, R., 1990. Appendix: A Note on the Generalised Delay Model. Compendium of Technical Papers, 60th Annual Meeting of Institute of Transportation Engineers, Orlando Florida, 5-9 Ağustos, 217-219.
- Akgungor, A., Bullen, P., 1999. Analytical Delay Models for Signalized Intersections, Transportation Frontiers for the Next Millennium- 69th Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers Location, Las Vegas, 1-4 Ağustos.
- Akmaz M., 2012. Konya'nın Önemli Kavşaklarının Bilgisayar Programı ile İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92, Konya
- Alçelik N., 2010. Kent içi Sinyalize ve Dönel Kavşakların Kapasite açısından karşılaştırılması Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 319, İstanbul
- Alpaydın, E., 2004. Introduction To Machine Learning. The MIT Press, 659p, Cambridge.
- Anokye, M., Abdul-Aziz, A. R., Annin, K., Oduro, F. T., 2013. Application of queuing theory to vehicular traffic at signalized intersection in Kumasi-Ashanti region., American International Journal of Contemporary Research, 3(7), 23-29, Ghana.
- Armağan, K., 2019. The New Technological Advances in Highway Pavements: A Review, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 1092-1096.
- Asyatrafik, 2020. Loop Dedektörler ile Trafik Kameralarının Farkı Nedir? Erişim Tarihi: 10.05.2020.  
<https://asyatrafik.com/loop-dedektorler-ile-trafik-kameralarinin-farki-nedir/>
- Ayfer, M. Ö., 1977. Trafik sinyalizasyonu. Bayındırlık Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 226, 46-67
- Babicheva, T. S., 2015. The use of queuing theory at research and optimization of traffic on the signal-controlled road intersections., Procedia Computer Science, 55, 469-478.
- Bakanlık Ç.Ş., 2019. Ulusal Akıllı Şehir Stratejileri Eylem Planı. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Erişim Tarihi: 12.05.2020.  
<https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf>
- Bakanlık Ç.Ş., 2020. Akıllı Şehir Beyaz Bülten, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Erişim Tarihi: 20.04.2020.  
[https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/menu/akillisehirler-kitap\\_20190311022214\\_20190313032959.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/menu/akillisehirler-kitap_20190311022214_20190313032959.pdf)

- Baloğlu, A., Karademiroğlu, O., 2019. Akıllı Şehirlerde Kablosuz Haberleşme Teknolojileri ve Doğru Teknoloji Seçimi. İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1 (1), 22-29.
- Barceló, J., Codina, E., Casas, J., Ferrer, J. L., & García, D., 2005. Microscopic traffic simulation: A tool for the design, analysis and evaluation of intelligent transport systems. Journal of intelligent and robotic systems, 41(2-3), 173-203.
- Başkan Ö., 2004. İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 109, Denizli
- Bayer, J., Wierstra, D., Togelius, J., Schmidhuber, J., 2009. Evolving Memory Cell Structures for Sequence Learning (PDF). Artificial Neural Networks – ICANN 2009. Lecture Notes in Computer Science. 5769., Heidelberg Springer. 755–764, Berlin.
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., Krajzewicz, D., 2011. SUMO–simulation of urban mobility: an overview. In Proceedings of SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation. ThinkMind., Barcelona, 23-29 October, 55-60
- Benekohal, R. R. F., 1991. Procedure for validation of microscopic traffic flow simulation models, Transportation Research Board, No. 1320, p. 190-202
- Bishop, C., 1994. Novelty detection and neural network validation, Proceedings of the IEEE Conference on Vision, Image and Signal Processing, 141(4), 217–222.
- Brahmi, I. H., Djahel, S., Magoni, D., Murphy, J., 2014. Messages prioritization in IEEE 802.15. 4 based WSNs for roadside infrastructure. In 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), Vienna, 3-7 November, 1106-1113
- Bullock, D. M., J. R. Sturdevant, and C. M. Day., 2008. Signalized Intersection Performance Measures for Operations Decision-Making, ITE Journal, 78 (8), 20–23.
- Çakıcı Z., 2014. Sinyalize Dönel Kavşakların Tasarım Esaslarının Araştırılması, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 189, Denizli
- Çakıcı, Z., Murat. Y. S., 2015. Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi, 11. Ulaştırma Kongresi, İstanbul, 27-29 Mayıs, 105-116

- Cakici, Z., Murat, Y. S., Aydin, M. M., 2019. An Empirical Model for the Estimation of Fuel Consumption at Signalized Intersections, 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies, Bayburt, 19-21 September, 1000-1010
- Caliskanelli S.P., 2010. Sinyalizasyon Sistemlerinden ayrılan Araçların Takip Aralığı Dağılımının İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 117, İzmir
- Çelikyay, H. H., 2017. İstanbul Perspektifinden Akıllı Şehirlere Bakış: Şehirleri Akıllı Kılan Sadece Teknoloji Mi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 505-512.
- Çelikyay, H. H., 2013. Teknoloji Girdabından Akıllı Şehre Dönüşüm: İstanbul Örneği, 2nd Turkey Graduate Studies Congress Proceedings Book, Bursa, 6-8 Mayıs, 1315-1328
- Çetinkaya G., 2008. Işıklı Kavşaklarda Değişik Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80, İstanbul
- Chhabra A. S., 2018. Road Traffic Prediction Using KNN and Optimized Multilayer Perceptron, in International Journal of Applied Engineering Research, 13(11), 9843-9847.
- Chiu, Y. C., Zhou, L., & Song, H., 2010. Development and calibration of the anisotropic mesoscopic simulation model for uninterrupted flow facilities, Transportation Research Part B: Methodological, 44(1), 152-174.
- Chollet, F., 2017. Deep Learning with Python”, Manning Publications, 1-56, 196-207.
- Dağüstü H.Ş., 2010. Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü için Sinyal Zamanlama Modeli, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123, İstanbul
- Dekking, M., 2005. A modern introduction to probability and statistics: understanding why and how, Springer, London, 60-61.
- Donaldson, R.G., Kamstra, M., 1996. Forecasting combining with neural networks, Journal of Forecasting, 15, 49-61.
- Ergezer, H., Dikmen M.&Özdemir E., 2003. Yapay Sinir Ağları ve Tanıma Sistemleri, Pivolka, 2(6), 14-17.
- Erginel N., 2020. Mühendislikte olasılık Dersi Sürekli Dağılımlar-1, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Erişim Tarihi: 13.03.2020. [http://endustri.eskisehir.edu.tr/nerginel/%C4%B0ST244/icerik/Hafta%208-%20S%C3%BCrekli%20Dag%C4%B1l%C4%B1mlar\\_1.pdf](http://endustri.eskisehir.edu.tr/nerginel/%C4%B0ST244/icerik/Hafta%208-%20S%C3%BCrekli%20Dag%C4%B1l%C4%B1mlar_1.pdf)

- Evans, D., 2011. The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. CISCO white paper, 1, 1-11.
- Fambro, D., N. Rouphail P. Sloup, J. Daniel, and J. Li., 1996. Highway Capacity Manual Revisions of Chapters 9 and 11, Report No. FHWA-RD-96-088, 204pp.
- Fausett, L., 1994. Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications, Prentice Hall. 461p, United States.
- Fellendorf, M., Vortisch, P., 2010. Microscopic traffic flow simulator VISSIM. In Fundamentals of traffic simulation, Springer, pp. 63-93, New York, NY.
- Gross, D., 2008. Fundamentals of queueing theory, John Wiley & Sons, 509p, USA.
- Güneş, F., Bayraklı, S., Zaim, A., 2020. Sinyalize Bir Kavşakta Oluşan Trafik Akımının Kuyruk Teorisi ile Performansının İncelenmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (19), 56-65. DOI: 10.31590/ejosat.711094
- Gunes F., Bayrakli S., Zaim. A.H., 2019. Deep Learning Approaches for Traffic Flow Predictions on Signal-controlled intersections, International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES2019), Alanya, Apr 26-28, 401-407
- Gunes, F., Bayraklı S., Zaim A.H., 2018. Internet of Things (IoT): Wireless sensor networks, used protocols and its applications, 7th International Conference on Advanced Technologies (ICAT18), Antalya, 28 Apr. – 1 May, 716-722
- Guru99, 2020. RNN (Recurrent Neural Network) Tutorial: TensorFlow Example, Erişim tarihi: 1.03.2020. <https://www.guru99.com/rnn-tutorial.html>
- Habtemichael, F. G., Cetin, M., 2016. Short-term traffic flow rate forecasting based on identifying similar traffic patterns, Transportation research Part C: emerging technologies, 66, 61-78.
- Hammi, B., Khatoun, R., Zeadally, S., Fayad, A., Khoukhi, L., 2017. IoT technologies for smart cities, IET Networks, 7(1), 1-13.
- Harb, A, Durdu, A, Terzioğlu, H., 2019. Kavşak Trafik Sinyalizasyon Kontrolü için Bulanık Mantık Yöntemi ile Gerçek Zamanlı Sistemin Tasarımı ve Uygulaması, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 490-497.
- Heidemann, D., 1991. Queue length and waiting time distributions at priority intersections, Transportation Research-B, 25, pp 163-174.
- Hochreiter, S., Schmidhuber, J., 1997. Long Short-Term Memory. Neural Computation, Technische Universitat Munchen, 9 (8), 1735–1780.

- Hochreiter, S., 1991. Untersuchungen zu dynamischen neuronalen Netzen, Technische Universität München, Institut f. Informatik, Diploma thesis, München, 140
- Hoyer, R., Jumar, U., 1994. Fuzzy Control Traffic Control of Traffic Lights, Proc. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1526-1531.
- Humblet, P. A., 1982. Determinism minimizes waiting time in queues, Laboratory for Information and Decision Systems, 1-7, Cambridge
- Ibanez J.G., Zeadally S., Castillo J.C., 2018. Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems, Sensors, 18(4),1212.
- Ioannou, A., Katevenis, M. G., 2007. Pipelined heap (priority queue) management for advanced scheduling in high-speed networks, IEEE/ACM Transactions on Networking, 15(2), 450-461.
- İlhalı, M., Toprak, T., Özen, H., Tapkın, S., Öngel, A., Camkesen, N., Kantarcı, M., 2016. Akıcı-Güvenli Trafik için Akıllı Ulaşım Sistemleri, Erişim Tarihi: 01.03.2020.  
[https://ww4.ticaret.edu.tr/ulastirma/wp-content/uploads/sites/85/2016/05/AKICI-G%  
 c3%9cVENL%  
 c4%b0-  
 TRAF%  
 c4%b0K-%  
 c4%b0%  
 c3%87%  
 c4%b0N-AKILLI-ULA%  
 c5%9eIM-S%  
 c4%b0STEMLER%  
 c4%b0.pdf](https://ww4.ticaret.edu.tr/ulastirma/wp-content/uploads/sites/85/2016/05/AKICI-G%c3%9cVENL%c4%b0-TRAF%c4%b0K-%c4%b0%c3%87%c4%b0N-AKILLI-ULA%c5%9eIM-S%c4%b0STEMLER%c4%b0.pdf)
- ISSD, 2020. ISSD Traffic Management System, Erişim Tarihi: 4.01.2020.  
<https://www.issd.com.tr/en/31233/Solutions>
- Jiang, Y., Zhang, L., Wang, L., 2013. Wireless sensor networks and the internet of things. International Journal of Distributed Sensor Networks, 729
- Jiang T, Liu L, Li J., 2015. Analysis of the queue in multi-phase random environment with disasters, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 430, 857-873.
- Joshi, M., Hadi, T. H., 2015. A review of network traffic analysis and prediction techniques, Networking and Internet Architecture, Cornell University.
- Joshi, M. A., Mishra, D., 2015. Review of traffic density analysis techniques. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 4(7), 209-213.
- Kendall, D. G., 1953. Stochastic Processes Occurring in the Theory of Queues and their Analysis by the Method of the Imbedded Markov Chain, The Annals of Mathematical Statistics, 24 (3), 338-354.
- Kim, J., 1997. A Fuzzy Logic Control Simulator for Adaptive Traffic Management, Proc IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1519-1524.

- Klein, L. A., 2001. Sensor technologies and data requirements for ITS, Artech House, 549p, Norwood.
- Kleinrock, L., 1975. Queueing systems, Volume I: theory, John Wiley & Sons, 417p, New York.
- Konheim, A. G., 1975. An elementary solution of the queueing system G/G/1, SIAM Journal on Computing, 4(4), 540-545.
- Köseoğlu, Ö., Demirci, Y. 2018. Akıllı Şehirler ve Yerel Sorunlarının Çözümünde Yenilikçi Teknolojilerin Kullanımı, Uluslararası Politik Araştırmalar Dergisi, 4(2), 40-57.
- Kostakos, V., Ojala, T., Juntunen, T., 2013. Traffic in the smart city: Exploring the potential of city-wide sensing to augment a traffic control center, IEEE Internet Computing, 1.
- Kumar, A., & Prakash, A., 2014. The role of big data and analytics in smart cities, Int J Sci Res (IJSR), 6(14), 12-23.
- Kumar, D. P., Reddy, T. S., Reddy, A. Y., 2014. Finding Best Time Quantum for Round Robin Scheduling Algorithm to avoid Frequent Context Switch, International Journal of Computer Science and Information Technologies, 5(5), 6750-6754.
- Lee, Alec Miller., 1966. A Problem of Standards of Service (Chapter 15), Applied Queueing Theory, New York: MacMillan. ISBN 0-333-04079-1.
- Lee, S. and Fambro D., 1999. Application of the subset ARIMA Model for Short-Term Freeway Traffic Volume Forecasting. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1678, TRB.
- Levin, M., Tsao, Y., 1980. On Forecasting Freeway Occupancies and Volumes (Abridgment). In Transportation Research Record 773, TRB, National Research Council, D.C., pp. 47-49, Washington.
- Lippi, M., Bertini, P., 2013. Short-term traffic flow forecasting: An experimental comparison of time-series analysis and supervised learning, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 14 (2), 871-882.
- Liu, Y., Lee, K., 2009. Modeling signalized intersection using queueing theory., Department of Electronic and Computer Eng., University of Florida.
- Lv, Y., Duan, Y., Kang, W., Li, Z., Wang, F. Y., 2014. Traffic flow prediction with big data: a deep learning approach., IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16(2), 865-873.

- Ma, X., Yu, H., Wang, Y. and Wang, Y., 2015. Large-scale transportation network congestion evolution prediction using deep learning theory, PLoS ONE 10(3): e0119044.
- Matthews K., 2019. The connection between smart city infrastructure and accessibility, Smart City Hub, Erişim Tarihi: 05.05.2020. <http://smartcityhub.com/collaborative-city/connection-smart-city-infrastructure-accessibility/>
- Murat Y.S., 2001. Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 179, İstanbul
- Murat Y. S., Cakici Z., 2017. Sinyalize Kavşaklarda Durma Gecikmesi ve Kontrol Gecikmesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, 24-26 Mayıs, 12, 13-24.
- Murat, Y. S., Baskan, Ö., 2006. İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi., Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 214-227.
- Murat, Y. S., Gedizlioglu, E., 2002. A new approach for fuzzy traffic signal control, In Proceedings of the 13th Mini-EURO Conference on Artificial Intelligence in Transportation Systems and Science, Volume 131, Issue 2, pp 229-231
- Niittymäki, J., 1999. Using fuzzy logic to control traffic signals at multi-phase intersections, In International Conference on Computational Intelligence (pp. 354-362)., Springer, Berlin, Heidelberg
- Nist/Sematech, 2020. e-Handbook of Statistical Methods, Erişim Tarihi: 2.05.2020. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>
- Ocakdan, S., 2010. Arterlerin Yeniden Yapılandırılmasında Simölasyon Tekniği ile Karar Verme ve Bir Kavşak Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96, İstanbul
- Özdağ M., 2019. Derin Öğrenme Teknikleri Kullanılarak Anayol Trafik Analizi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83, Karabük
- Özen, M., 2020. Kentsel Kavşaklarda Trafik Kazalarının Sıklığını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi., Teknik Dergi, 31 (3).
- Öztemel, E., 2006. Yapay Sinir Ağları, 2. Baskı.İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- Öztürk Demir, N.B., 2006. Akıllı Trafik Sistemleri. Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Faköltesi, Yüksek Lisans Tezi, 34s, Sakarya

- Polson, N.G., Sokolov, V.O., 2017. Deep learning for short-term traffic flow prediction", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 79, 1–17.
- Pun L., Zhao P., Liu X., 2019. A Multiple Regression Approach for Traffic Flow Estimation, in *IEEE Access*, 7, pp. 35998-36009.
- Ross, S. M., 1978. Average delay in queues with non-stationary Poisson arrivals. *Journal of Applied Probability*, Cambridge University Press, 15(3), 602-609.
- Roy, K., Hlynka, M., 1995. Queueing Theory Applied to a Traffic Light Problem. *WMSR #95*, 14 August
- Saadeh, M., Sleit, A., Sabri, K. E., & Almobaideen, W. 2018. Hierarchical architecture and protocol for mobile object authentication in the context of IoT smart cities., *Journal of Network and Computer Applications*, 121, 1-19.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2012. *Cities and Biodiversity Outlook*, Montreal, 64 pages.
- Silberschatz, A., Galvin, Peter B., Gagne, Greg, 2010. *Process Scheduling, Operating System Concepts* (8th ed.), John Wiley & Sons, 982, USA
- Soh. A. C., Khalid M., Marhaban M. H., Yusof R., 2009. Modeling of a multilane-multiple intersection based on queue theory and standard approach techniques, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 17(6), Pages 1081-1105.
- Tektaş, M., Korkmaz, K., Erdal, H., 2016. Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği, *Ekonomik ve Çevresel Faydaları*, *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi* , Özel Sayı, 561-577 .
- Tzes A., McShane and Kim, S., 1995. Expert Fuzzy Logic Traffic Signal Control for Transportation Networks, *Institute of Transportation Engineers 65th Annual Meeting*, Denver USA, 154-158.
- Taha, H. A., 2011. *Operations research: an introduction*, Upper Saddle River, Prentice Hall. 790, NJ, USA, Pearson
- Taha, H. A., 1968. *Operations research: an introduction* (Preliminary ed.), Upper Saddle River, 838, New Jersey
- Tianzi, C., Shaochen, J., & Hongxu, Y., 2013. Comparative study of VISSIM and SIDRA on signalized intersection, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96, 2004-2010.

- Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri şubesi M¼d¼rl¼Đ¼, 2016. Karayolları El Kitabı, Erişim Tarihi: 05.05.2020. <https://www.utikad.org.tr/images/BilgiBankasi/karayollarindaagirtasittarafigininveyuktasimaciligininozellikleriveegilimleri20102014-9696.pdf>
- Transportation Research Board., 1985. Highway Capacity Manual, TRB Special Report 209, National Research Council, Washington D.C.
- Transportation Research Board., 1994. Highway Capacity Manual 1994, TRB, NRC, Washington, DC.
- Transportation Research Board., 1997. Highway Capacity Manual 1997, TRB, NRC, Washington, DC.
- Transportation Research Board., 2000. Highway Capacity Manual 2000, TRB, NRC, Washington, DC.
- T¼ik, 2020. T¼rkiye İstatistik Kurumu, Erişim Tarihi: 10.05.2020. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Road-Motor-Vehicles-December-2020-37410>
- T¼men V., 2019. Akıllı Ulaşım Sistemleri için Karayolu Tipi, Kavşak ve Virajların Derin Öğrenme Yöntemleri ile Belirlenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstit¼s¼, Doktora Tezi, 114, Elazığ
- Xiong, Z., Sheng, H., Rong, W., & Cooper, D. E., 2012. Intelligent transportation systems for smart cities: a progress review, Science China Information Sciences, 55(12), 2908-2914.
- Webster F.V., 1958. Traffic Signal Settings Road Research Technical paper No. 39, Road Research Laboratory, Her Majesty's Stationery Office, Berkshire, England.
- Williams, R. J., & Zipser, D., 1989. A learning algorithm for continually running fully recurrent neural networks, Neural Computation, 1(2), 270-280.
- Yang, X., Vaidya, N. H. 2002. Priority scheduling in wireless ad hoc networks, In Proceedings of the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing (pp. 71-79).
- Yılmaz, E., 2006. Karayolu trafik sim¼lasyonu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstit¼s¼, Doktora Tezi, 154, Trabzon
- Yılmaz M., 2019. Kuyruk Teorisi Ders Notları, Ankara Üniversitesi, Erişim 10.09.2019. [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/18383/mod\\_resource/content/0/430-3Hafta.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/18383/mod_resource/content/0/430-3Hafta.pdf)

Yisheng Lv, Yanjie D., Wenwen K., Zhengxi L., Fei-Yue W., 2015. Traffic Flow Prediction With Big Data: A Deep Learning App, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16(2).

Zeren, N., 1998. Sinyalize Kavşakların Poisson Dağılımı ile Verimliliğin Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75, Isparta.

Zhou, Y. Dey, K.C., Chowdhury, M., Wang, K.C., 2017. Process for evaluating the data transfer performance of wireless traffic sensors for real-time intelligent transportation systems applications., IET Intelligent Transportation System, 11, 18–27.

Zhou B., Cao J., Cao, Zeng X., Wu H., 2010. Adaptive Traffic Light Control in Wireless Sensor Network-Based Intelligent Transportation System, IEEE 72nd Vehicular Technology Conference- Fall, Ottawa, ON, pp. 1-5.

Zuylen H.J., Viti F., 2006. Delay at controlled intersections: the old theory revised, in Proceedings of IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Toronto, 17-20 September, pp.68.

## **EKLER**

### **EK A. Kavşaklar**



Şekil A.1. İstanbul Güngören Ali Rıza Gürcan Kavşağı



Şekil A.2. İstanbul Kartal Sanayi Caddesi



Şekil A.3. İstanbul Bostancı Tataraga Camii



Şekil A.4. Konya Adalhan Kavşağı



Şekil A.5. Konya Ata Petrol Kavşağı



Şekil A.6. Konya Belediye Kavşağı



Şekil A.7. Konya Beşyol Kavşağı



Şekil A.8. Konya Emniyet Kavşağı



Şekil A.9. Konya İhsaniye Kavşağı



Şekil A.10. Konya Kule Kavşağı



Şekil A.11. Konya Nalçacı Kavşağı  
**ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Fatih GÜNEŞ

#### **Eğitim Durumu**

Lisans : Almanya Stuttgart Teknoloji Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi, Matematik Mühendisliği, 2011

Yüksek Lisans : Beykent Üniversitesi,  
Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, 2013

#### **Tez Kapsamında Yapılan Yayınlar**

## **Makale**

### **Uluslararası (Web of Science, SCIE)**

Gunes, F.; Bayrakli, S.; Zaim, A.H. Smart Cities and Data Analytics for Intelligent Transportation Systems: An Analytical Model for Scheduling Phases and Traffic Lights at Signalized Intersections. Appl. Sci. 2021, 11, 6816. <https://doi.org/10.3390/app11156816>

### **Uluslararası**

Gunes, F., Bayraklı S., Zaim A.H., 2020. Evaluation of Signal Times and Comparison with Queueing Models at Signalized Intersections in Urban Area. International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT), ISSN- 2456-2165, PP:- 1311-1317.

### **Ulusal**

Güneş, F, Bayraklı, S , Zaım, A . (2020). Sinyalize Bir Kavşakta Oluşan Trafik Akımının Kuyruk Teorisi ile Performansının İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (19), 56-65. DOI: 10.31590/ejosat.711094, [https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/issue/54511/711094#article\\_cite](https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/issue/54511/711094#article_cite)

### **Uluslararası Sempozyumlar**

Gunes, F., Bayraklı S., Zaim A.H., 2018. Internet of Things (IoT): Wireless sensor networks, used protocols and its applications, 7th International Conference on Advanced Technologies (ICAT18), Antalya

Gunes, F., Bayraklı S., Zaim A.H., 2018. Research of the Traffic Flow on the Signal-controlled Intersections using Queueing Theory, International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES'18), Safranbolu

Gunes, F., 2018. Big Data: Analytical Methods, Application Tools and Techniques, International Conference on Cyber Security and Computer Science (ICONCS 2018), Safranbolu

Gunes, F., Bayraklı S., Zaim A.H., 2019. Deep Learning Approaches for Traffic Flow Predictions, International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES'19), Alanya

F. Gunes, S. Bayrakli and A. H. Zaim, "Flow Characteristics of Traffic Flow at Signalized Intersections and Performance Comparison using Queueing Theory," 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), Istanbul, Turkey, 2020, pp. 1-9, doi: 10.1109/ISMSIT50672.2020.9255044. <https://ezproxy.ticaret.edu.tr:2166/document/9255044>

