

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAVŞAKLARDA YAYA SİMÜLASYONU VE
KAVŞAK KAPASİTESİNE OLAN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ: ÇORLU İLÇESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kerem SAVAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan GÜLER

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAVŞAKLARDA YAYA SİMÜLASYONU VE
KAVŞAK KAPASİTESİNE OLAN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ: ÇORLU İLÇESİ ÖRNEĞİ**


YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kerem SAVAŞ

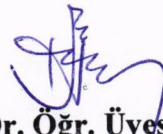
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA

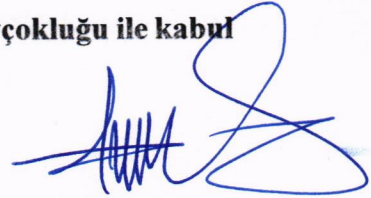
Bu tez ^{25/05/2019} tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



**Doç. Dr.
Hakan GÜLER
Jüri Başkanı**



**Dr. Öğr. Üyesi
İrfan PAMUK
Üye**



**Doç. Dr.
Pelin ALPKÖKİN
Üye**

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAVŞAKLARDA YAYA SİMÜLASYONU VE
KAVŞAK KAPASİTESİNE OLAN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ: ÇORLU İLÇESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kerem SAVAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA

Bu tez.....tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr.
Hakan GÜLER
Jüri Başkanı**

**Dr. Öğr. Üyesi
İrfan PAMUK
Üye**

**Doç. Dr.
Pelin ALPKÖKİN
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Kerem SAVAŞ

27.05.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışmanım Doç. Dr. Hakan GÜLER'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında desteğini esirgemeyen, değerli bilgilerini benimle paylaşan ve araştırmanın olgunlaşmasında fikirleriyle katkılarını sunan Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN'e şükranlarımı sunarım.

Hayat yolculuğumda önemli bir yer tutan yüksek lisans eğitimim süresince üzerimde büyük emek sahibi olan sevgili Annem Sibel SAVAŞ'a ve her durumda sonsuz desteğini esirgemeyen, bilgi ve birikimini bu tezin oluşmasında ve tamamlanmasında benimle paylaşan hayat arkadaşım Dr. Suzan KANTARCI SAVAŞ'a gönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----|
| TEŞEKKÜR | i |
| İÇİNDEKİLER | ii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ | v |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vi |
| TABLolar LİSTESİ | x |
| ÖZET | xi |
| SUMMARY | xii |
| | |
| BÖLÜM 1. | |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2. | |
| EŞDÜZEY KAVŞAK | 3 |
| 2.1. Kol Sayısına Göre Eşdüzey Kavşak | 4 |
| 2.1.1. Üç kollu kavşak | 5 |
| 2.1.2. Dört kollu kavşak | 5 |
| 2.1.3. Çok kollu kavşak | 6 |
| 2.2. Trafik Kontrol Sistemine Göre Eşdüzey Kavşak | 7 |
| 2.2.1. Sinyalize eşdüzey kavşak | 8 |
| 2.2.2. Sinyalize olmayan eşdüzey kavşak | 9 |
| 2.2.3. Dönel kavşak | 10 |
| 2.2.3.1. Sinyalize olmayan dönel kavşak | 10 |
| 2.2.3.2. Sinyalize dönel kavşak | 11 |
| 2.3. Trafik Akım Özellikleri | 12 |
| 2.4. Sinyalize Eşdüzey Kavşak Kontrol Teknikleri | 14 |
| 2.4.1. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi | 14 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4.2. Trafik uyarımlı sinyalizasyon sistemi | 15 |
| 2.5. Sinyalizasyon Devre Süresi Hesaplamaları | 16 |
| 2.6. Sinyalizasyonun Taşıt Gecikme Süresi Üzerindeki Etkisi | 19 |
| 2.7. Taşıt Gecikme Hesabında Kullanılan Yöntemler | 20 |
| 2.7.1. Avusturalya (Akçelik) yöntemi ile gecikme hesabı | 20 |
| 2.7.2. Webster (İngiliz) yöntemi ile gecikme hesabı | 22 |
| 2.7.3. HCM-2000 yöntemi ile gecikme hesabı | 23 |
| | |
| BÖLÜM 3. | |
| YAYA GEÇİTLERİ | 24 |
| 3.1. Eşdüzey Yaya Geçidi Çeşitleri | 24 |
| 3.1.1. Sinyalize eşdüzey yaya geçidi | 25 |
| 3.1.1.1. Otomatik sinyalize yaya geçidi | 25 |
| 3.1.1.2. Pelikan tipi yaya geçidi | 25 |
| 3.1.2. Sinyalize olmayan yaya geçidi | 28 |
| 3.1.2.1. Zebra tipi yaya geçidi | 28 |
| 3.2. Eşdüzey Yaya Geçidi Seçim Kriterleri | 31 |
| 3.3. Üstgeçit ve Altgeçit | 33 |
| | |
| BÖLÜM 4. | |
| TRAFİK SİMÜLASYON TEKNİKLERİ | 36 |
| 4.1. Psiko-Fiziksel Taşıt Takip Modeli | 37 |
| 4.2. PTV VISSIM Yazılımı | 37 |
| 4.2.1. İzleme | 41 |
| 4.2.2. Serbest sürüş | 41 |
| 4.2.3. Yakınlaşma | 42 |
| 4.2.4. Acil rejim | 42 |
| 4.2.5. Taşıt maksimum yavaşlama oranı | 42 |
| 4.3. Sosyal Kuvvet Yöntemi | 42 |
| 4.3.1. Sürüklenme kuvveti | 44 |
| 4.3.2. Diğer yayalarla etkileşim | 45 |
| 4.3.3. Sınırlarla etkileşim | 48 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.4. Çekici olaylar | 48 |
| 4.3.5. Grup etkisi | 49 |
| 4.3.6. Simetrik olmayan değişimler ve bireysellik | 49 |
| | |
| BÖLÜM 5. | |
| OTOMATİK SİNYALİZE YAYA GEÇİDİNDE SİMÜLASYON ÇALIŞMASI | 50 |
| 5.1. Yaya Akımsız, Sinyalize Kavşak Durumu | 51 |
| 5.2. Yaya Geçidinin 0.m’de Olması Durumu | 55 |
| 5.3. Yaya Geçidinin 30.m’de Olması Durumu | 59 |
| 5.4. Yaya Geçidinin 50.m’de Olması Durumu | 63 |
| 5.5. Simülasyon Sonuçlarının Analiz Edilmesi | 67 |
| | |
| BÖLÜM 6. | |
| ÇORLU İLÇESİ UYGULAMASI | 72 |
| 6.1. Çalışma Alanı | 73 |
| 6.2. Mevcut Verilerin Toplanması | 75 |
| 6.2.1. Mevcut durum | 78 |
| 6.2.2. Mevcut durum performans analizi | 81 |
| 6.3. Senaryolar | 82 |
| 6.3.1. Yaya akımsız, sinyalize kavşak durumu | 83 |
| 6.3.2. Senaryo 1. yaya geçidinin 0.m’de olması durumu | 85 |
| 6.3.3. Senaryo 2. yaya geçidinin 30.m’de olması durumu | 90 |
| 6.3.4. Senaryo 3. yaya geçidinin 50.m’de olması durumu | 94 |
| 6.4. Simülasyon Sonuçlarının Analiz Edilmesi | 98 |
| | |
| BÖLÜM 7. | |
| TARTIŞMA VE SONUÇ | 102 |
| | |
| KAYNAKLAR | 105 |
| ÖZGEÇMİŞ | 108 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|--------|--|
| AASHTO | : American Association of State Highway and Transportation Officials |
| AR-GE | : Araştırma-Geliştirme |
| AVM | : Alışveriş Merkezi |
| ÇTSO | : Çorlu Ticaret ve Sanayi Odası |
| HCM | : Highway capacity manual |
| KGM | : Karayolları Genel Müdürlüğü |
| KM | : Kilometre |
| MİN | : Minimum |
| NACTO | : National Association of City Transportation Officials |
| SA | : Saat |
| SN | : Saniye |
| TA | : Taşıt |
| ÜNİ | : Üniversite |
| YA | : Yaya |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Shibuya yaya geçidi | 2 |
| Şekil 2.1. Üç kollu kavşak çeşitleri | 5 |
| Şekil 2.2. Dört kollu kavşak | 6 |
| Şekil 2.3. Çok kollu kavşak | 6 |
| Şekil 2.4. Trafik kontrol sistemine göre kavşaklar | 7 |
| Şekil 2.5. Kavşak tasarım adımları | 8 |
| Şekil 2.6. Sinyalize eşdüzey kavşak | 9 |
| Şekil 2.7. Sinyalize olmayan eşdüzey kavşak | 10 |
| Şekil 2.8. Sinyalize olmayan dönel kavşak | 11 |
| Şekil 2.9. Sinyalize dönel kavşak | 12 |
| Şekil 2.10. Trafik akım oranı-akım hızı ve yoğunluk ilişkisi | 13 |
| Şekil 2.11. Kavşak tipi seçimine ilişkin grafik | 14 |
| Şekil 2.12. Tam trafik uyarımlı sistem | 16 |
| Şekil 2.13. Dört fazlı sistem | 18 |
| Şekil 2.14. Sinyalizasyonun gecikme etkisi | 19 |
| Şekil 2.15. Sinyalize kavşak kolundaki taşıtın zamana bağlı mesafesi | 20 |
| Şekil 3.1. Eşdüzey yaya geçitleri | 24 |
| Şekil 3.2. Otomatik sinyalize yaya geçidi | 25 |
| Şekil 3.3. Pelikan tipi yaya geçidi | 26 |
| Şekil 3.4. Şaşırtmalı pelikan tipi yaya geçidi | 26 |
| Şekil 3.5. Şaşırtmalı pelikan tipi yaya geçidi | 27 |
| Şekil 3.6. Pelikan tipi yaya geçidi detayı | 27 |
| Şekil 3.7. Zebra tipi yaya geçidi | 29 |
| Şekil 3.8. Zebra tipi yaya geçidinin konumlandırılması | 30 |
| Şekil 3.9. Yükseltilmiş zebra tipi yaya geçidi | 30 |
| Şekil 3.10. Yaya geçidi seçim grafiği | 32 |

| | |
|--|----|
| Şekil 3.11. Üstgeçit ve altgeçit | 33 |
| Şekil 3.12. Yaya geçitlerinde enerji kaybı karşılaştırması | 35 |
| Şekil 4.1. Psiko-fiziksel taşıt takip modeli | 37 |
| Şekil 4.2. PTV VISSIM yazılımında trafik takip simülasyonu | 38 |
| Şekil 4.3. Eşik değerler | 39 |
| Şekil 4.4. Yaya etki eden kuvvetler | 43 |
| Şekil 4.5. Etkileşim halinde olan iki yaya | 46 |
| Şekil 4.6. Anizotropik yaya davranışı form faktörü | 47 |
| Şekil 5.1. Sinyalize eşdüzey kavşak | 51 |
| Şekil 5.2. Kavşak yaklaşım kollarındaki trafik akım grupları ve yönleri | 52 |
| Şekil 5.3. Yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri (ta/sa) | 53 |
| Şekil 5.4. Yaya geçitsiz durumda optimum devre diyagramı | 53 |
| Şekil 5.5. Yaya geçitsiz durumda fazlar | 54 |
| Şekil 5.6. Yaya geçitsiz durumda simülasyon görüntüleri | 54 |
| Şekil 5.7. 0.m'de olması durumu özellikleri | 56 |
| Şekil 5.8. 0.m'de olması durumu fazları | 57 |
| Şekil 5.9. 0.m'de olması durumu optimum devre diyagramı | 58 |
| Şekil 5.10. 0.m'de olması durumu simülasyon görüntüleri | 58 |
| Şekil 5.11. 30.m'de olması durumu özellikleri | 60 |
| Şekil 5.12. 30.m'de olması durumu fazları | 61 |
| Şekil 5.13. 30.m'de durumu optimum devre diyagramı | 62 |
| Şekil 5.14. 30.m'de durumu simülasyon görüntüleri | 62 |
| Şekil 5.15. 50.m'de olması durumu özellikleri | 64 |
| Şekil 5.16. 50.m'de olması durumu fazları | 65 |
| Şekil 5.17. 50.m'de olması durumu optimum devre diyagramı | 66 |
| Şekil.5.18. 50.m'de olması durumu simülasyon görüntüleri | 66 |
| Şekil 5.19. Performans değerleri | 68 |
| Şekil 5.20. Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı taşıt başı ortalama gecikme süresi grafiği | 69 |
| Şekil 5.21. Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı ortalama yaya yolculuk süresi grafiği | 69 |

| | |
|--|----|
| Şekil 5.22. Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı ortalama taşıt hızı grafiği | 70 |
| Şekil 6.1. Çorlu ortofoto | 73 |
| Şekil 6.2. Armada kavşağı | 74 |
| Şekil 6.3. Armada kavşağı vaziyet planı | 75 |
| Şekil 6.4. Eşdüzey Armada kavşağı | 76 |
| Şekil 6.5. Saatlik trafik hacim değerleri | 77 |
| Şekil 6.6. Mevcut durum | 79 |
| Şekil 6.7. Mevcut durum genel faz planı | 79 |
| Şekil 6.8. Mevcut durum fazları | 80 |
| Şekil 6.9. Mevcut durumda uygulanan devre diyagramı | 80 |
| Şekil 6.10. Simülasyon 2D görüntü | 81 |
| Şekil 6.11. Simülasyon 3D görüntü | 81 |
| Şekil 6.12. Kavşak yaklaşım kollarındaki trafik akım grupları ve yönleri | 83 |
| Şekil 6.13. Yaya geçitsiz durumda optimum devre diyagramı | 83 |
| Şekil 6.14. Yaya geçitsiz durumda fazlar | 84 |
| Şekil 6.15. Yaya geçitsiz durumda.simülasyon görüntüleri | 84 |
| Şekil 6.16. Senaryo 1 durumu özellikleri | 86 |
| Şekil 6.17. Senaryo 1 durumu optimum devre diyagramı | 87 |
| Şekil 6.18. Senaryo 1 durumu fazları | 87 |
| Şekil 6.19. Senaryo 1 durumu taşıt-yaya etkileşim noktaları | 88 |
| Şekil 6.20. Senaryo 1 durumu simülasyon görüntüleri | 89 |
| Şekil 6.21. Senaryo 2 durumu özellikleri | 90 |
| Şekil 6.22. Senaryo 2 durumu devre diyagramı | 91 |
| Şekil 6.23. Senaryo 2 durumu fazları | 92 |
| Şekil 6.24. Senaryo 2 durumu taşıt-yaya etkileşim noktaları | 92 |
| Şekil 6.25. Senaryo 2 durumu simülasyon görüntüleri | 93 |
| Şekil 6.26. Senaryo 3 durumu özellikleri | 94 |
| Şekil 6.27. Senaryo 3 durumu devre diyagramı | 95 |
| Şekil 6.28. Senaryo 3 durumu fazları | 96 |
| Şekil 6.29. Senaryo 3 durumu taşıt-yaya etkileşim noktaları | 96 |
| Şekil 6.30. Senaryo 3 durumu simülasyon görüntüleri | 97 |

| | |
|---|----|
| Şekil 6.31. Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı taşıt başı ortalama gecikme süresi grafiği | 99 |
| Şekil 6.32. Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı ortalama yaya yolculuk süresi grafiği | 99 |
| Şekil 6.33. Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı ortalama taşıt hızı grafiği | 99 |



TABLolar LİSTESİ

| | |
|--|-----|
| Tablo 5.1. Kavşak kollarındaki taşıt hacim değerleri (ta/sa) | 52 |
| Tablo 5.2. Yaklaşım kollarındaki taşıt türlerinin trafik hacmine oranı | 53 |
| Tablo 5.3. Yaya geçitsiz durumda sinyalizе kavşak performans değerleri | 55 |
| Tablo 5.4. 0.m’de olması durumu performans değerleri | 59 |
| Tablo 5.5. 30.m’de olması durumu performans değerleri | 63 |
| Tablo 5.6. 50.m’de olması durumu performans değerleri | 67 |
| Tablo 5.7. 0.m ile 50.m arasındaki performans sonuçları | 68 |
| Tablo 5.8. 0.m ile 50.m arasındaki performans sonuçlarının (%) değişimleri ... | 71 |
| Tablo 6.1. Çorlu Belediyesi kavşak sayım periyotları | 76 |
| Tablo 6.2. Armada kavşağı akşam periyodu saatlik trafik hacim tablosu | 76 |
| Tablo 6.3. Bir saatlik yaya hacim değerleri | 78 |
| Tablo 6.4. Mevcut durum performans değerleri | 81 |
| Tablo 6.5. Yaya akımsız, Armada kavşağı performans değerleri | 85 |
| Tablo 6.6. Senaryo 1 durumu performans değerleri | 89 |
| Tablo 6.7. Senaryo 2 durumu performans değerleri | 94 |
| Tablo 6.8. Senaryo 3 durumu performans değerleri | 98 |
| Tablo 6.9. Armada kavşağı performans sonuçları | 98 |
| Tablo 6.10. Armada kavşağı mevcut durum ve senaryoların (%) değişimleri ... | 100 |

ÖZET

Anahtar kelimeler: Trafik simülasyonu, yaya simülasyonu, yaya geçidi, yaya-taşıt etkileşimi, sinyalize kavşak, kavşak performansı.

Bir İnşaat Mühendisliği tasarımı ve yapısı olan kavşakların ve yaya geçitlerinin, çevre ve ekonomi üzerine önemli katkıları mevcuttur ve trafik şartlarına uygun bir şekilde tasarlanmalıdırlar. Bu amaçla, trafik simülasyon yazılımları, son yıllarda oldukça önem kazanmış ve trafik mühendisleri tarafından, genellikle yaya ve taşıt trafiğinin kendi içinde ve birbirlerine olan etkilerinin incelenmesi için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Günümüzde, uzmanlar tarafından geliştirilmiş birçok mikro trafik simülasyon yazılımları bulunmakta olup, bu yazılımların her biri kendi parametreleriyle kendi yaklaşımlarına sahiplerdir. Bu çalışmanın amacı; Yaya ve taşıt trafiğinin etkileşimli modellenmesini gerçekleştirmektir. Bu amaç doğrultusunda, yaya ve taşıt trafiğinin interaktif modellenmesini gerçekleştirmek için öncelikle kurgulanan şehiriçi dört kollu sinyalize bir kavşakta deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, yaya geçidi konumlarının, kavşak performansına olan etkisini değerlendirmek için Vissim mikro trafik simülasyonu yazılımı kullanılmıştır. Yaya geçidinin sinyalize kavşağa olan mesafesi değiştirilerek, optimize sinyal süreleri belirlenmiş olup kavşağın performansına olan etkisi sayısal olarak elde edilmiştir. Ayrıca, Tekirdağ İli'nin Çorlu İlçesi'nde alışveriş merkezleri ve toplu konut alanlarına komşu bir noktada bulunan, yaya hareketliliğinin ve taşıt trafiğinin yoğun olduğu bir bölgede yer alan eşdüzey Armada kavşağı, gerçek benzetim uygulaması için seçilmiştir. Bu kavşakta yapılan taşıt ve yaya sayımlarına göre yaya geçidi konumlarının değiştirilmesinin kavşağa olan etkileri üzerine Vissim yazılımı kullanılarak analizler yapılmıştır.

SIMULATION OF PEDESTRIAN AT INTERSECTIONS AND INVESTIGATION OF ITS EFFECT ONTO THE CAPACITY OF INTERSECTION: A CASE STUDY OF CORLU DISTRICT

SUMMARY

Keywords: Traffic simulation, pedestrian simulation, pedestrian crosswalk, pedestrian-vehicle interaction, signalized intersection, intersection performance.

The intersections and pedestrian crosswalks, which are civil engineering structures with their plans and design, has a great importance on the environment and economy and they must be designed accordance to the traffic conditions. For this purpose; the micro traffic simulation programs have gained importance in the recent years and have commonly been used by the traffic engineers in order to examine the effects of pedestrian and vehicle traffic effects individually and between each other. Nowadays, there are many types of micro traffic simulation programs developed by the experts and each of them has its own approach with their own parameters. The aim of this study is to perform an interactive modeling of pedestrian and vehicle traffics. For this purpose, an experimental study was performed for a four leg signalized intersection to model pedestrian and vehicle traffics. In this study, Vissim micro traffic simulation program was used to evaluate the effects of the pedestrian crosswalks location on the intersection performance. By changing the distance of the pedestrian crosswalks to the signalized intersection, optimized signal times had been determined, and the effect of distance on the performance of the intersection was handled numerically. In addition, the Armada intersection, located in a region adjacent to the shopping centers and mass housing areas in the Çorlu District of Tekirdağ Province, has been selected for the real simulation application. The effects of changing the pedestrian crossing positions to the intersection were examined by using Vissim software, according to the vehicle and pedestrian counts performed at this intersection.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüz şehirlerinde hızla artan nüfusla orantılı olarak karşılaşılan ulaşım sorunlarının başında, yaya ve taşıt kesişimlerinin en yoğun olduğu bölgeler olan eşdüzey kavşaklar gelmektedir. Özellikle ülkemizde yerel yönetimlerin sorumluluğunda bulunan kentiçi ulaşım altyapısı ve tasarımı çalışmalarında taşıt trafiğine odaklanılarak, yaya trafiğinin göz ardı edilen bir unsur olduğu yadsınamaz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Hala ulaşım ağı üzerinde yapılan tasarım ve trafik düzenlemeleri için uygulanan geometri ve sinyalizasyon çalışmalarında, yaya kullanım alanlarının (yaya geçidi, yaya kaldırımı, vb.) gelişigüzel ve standartlara uygun olarak yapılmadığına çokça şahit olmaktadır. Oysaki şehiriçi ulaşım akslarındaki gecikmelerin % 70'den fazlası ve trafik kazalarının % 60'a yakını kavşaklarda meydana gelmektedir (Yayla, 2004).

Son yıllarda artan ulaşım talebi ve buna bağlı olarak artan sıkışıklıklar ile ilgili trafik modelleme teknikleri, karmaşık trafik akımlarının bulunduğu yol ağlarının çözümlenmesinde ve analiz edilmesinde kullanılmaktadır. Trafik modelleme teknikleri, trafiğin düzenlenmesi ile ilgili geniş bir alanda kullanılmakta ve trafik simülasyonu yapmaya da imkan sağlamaktadır. Trafik yeniden düzenlenmesi ve analiz edilmesi, yol ağlarının planlaması, gelecekteki trafik tahminleri ve trafik kontrol stratejileri (tasarım, test ve değerlendirme) gibi alanlarda trafik modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Trafik modellemede amaç, trafiğin süreç dinamiklerini ve diğer değişkenlerini anlamaktır. Süreç dinamiklerinin anlaşılması durumunda oluşması beklenen durum matematiksel olarak ifade edilebilir ve sürecin değerlendirmesi yapılabilir (Duderstadt ve Martin, 1979; Helbing ve Molnar, 1995).

Bu çerçevede, sürekli olarak geliştirilen matematiksel modeller ve bilgisayar teknolojileri sayesinde yaya ve taşıt gecikmelerinin en çok yaşandığı kavşaklarda

yayaların trafik üzerine olan etkilerini gerçeğe yakın bir şekilde tahmin etmek mümkündür (Bönisch ve Kretz, 2009). Trafik mühendisleri ve plancıların taşıt ve yaya yükünü karşılayacak şekilde uygun kavşak tasarımlarını sağlaması gerekmektedir. Simülasyon tekniklerine ve veri toplama araçlarına sahip olan uzmanlar kavşak tasarım çalışmalarını kolay bir şekilde yapabilirler. Değişebilen trafik koşullarının değerlendirmesini irdelleyebilirler. Böylece kavşak bölgesinde bulunan yaya geçitlerinin konumlarını, kavşağa olan mesafelerine göre kavşak performansına etkilerini kolayca saptanabilir.

Bu çalışmanın amacı, yaya ve taşıt trafiğinin sinyalize kavşaklardaki etkileşimli modellenmesini gerçekleştirmektir. Çalışma alanı olarak tasarlanan dört kollu sinyalize bir kavşakta yaya geçidinin konumu değiştirilerek, kavşak performansına olan etkileri analiz edilmiş ve ayrıca kurgusal çalışmanın sonuçları ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Son olarak deneysel çalışmadan çıkan sonuçlar çerçevesinde, Çorlu İlçesi'nde seçilen eşdüzey bir kavşakta benzer bir uygulamalı çalışma yapılarak çıkan sonuçlar analiz edilmiştir.



Şekil 1.1. Shibuya yaya geçidi, Tokyo, Japonya (Gettyimages, 2017).

BÖLÜM 2. EŞDÜZEY KAVŞAK

Farklı yönlerden gelen iki veya daha fazla trafik akımının birleştiği, ayrıldığı, örüldüğü ve kesiştiği noktalara kavşak denilmektedir. Şehiriçi karayolu ulaşım akslarında yayaların, bisiklet sürücülerinin ve taşıt sürücülerinin en çok etkileşim içinde buldukları noktalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle yoğun yaya hareketliliğinin ve şehiriçi hareketli nüfusun bulunduğu kent merkezi gibi noktalarda kent estetiği ve ekonomik sebepler açısından katlı kavşak yapılması istenmeyen bir durumdur. Modern şehircilik anlayışında kamusal alan olarak nitelendirilen yolların öncelikli olarak taşıt sürücülerinin konfor ve hareket parametlerini dikkate almaktansa yayaların ve bisiklet sürücülerinin ön planda değerlendirildiği görülmektedir.

Karayolu üzerinde taşıtlarla etkileşim içerisinde bulunan bisiklet sürücüleri ve yayaların karşılaştığı en büyük sorun ise; çoğu zaman güvenlik gerekçesiyle yaşanan olumsuzluklar olmaktadır. Tasarım sorunlarından kaynaklı oluşan gecikmeler gün geçtikçe kalabalıklaşan şehirlerimizde ulaşım planlama uzmanlarının çözüm amaçlı yoğunlaştıkları bölgeler olması açısından dikkat çekmektedir. Bu yüzden, kavşaklarda karşılaşılabilecek olumsuzlukların önüne geçebilmek için, tasarlanan kavşakların standartlara uygun olarak projelendirilmesi ve sahada eksiksiz bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

Kavşak tasarımının, imar planları yapılırken, önceden göz önünde bulundurulması, uygulamaların daha sağlıklı bir trafik akışı arz talep dengesinin tutturulmasına imkan sağlamasına yardımcı olur. Uygulamanın en iyi şekilde yapılabilmesi için uygun tasarıma sahip kavşaklar tasarlanmalı ve uygulanmalıdır. Ancak, imar planlarının ulaşım talepleri düşünülmeden yapılması, önceden karşılaşılabilecek olası durumların tanımlanmasını gerekli hale getirmektedir.

Bu doğrultuda, özellikle imar planlarından kaynaklı şehiriçi ulaşım planlama çalışmalarında tatbik edilecek kavşakların tasarımında karşılaşılabilecek olumsuzlukların yaratacağı sorunların yaşanmaması için tasarım aşamasında uzmanların dikkat etmesi gereken hususlar şunlardır;

- Kavşağın ulaşım ağı içerisindeki konumu,
- Kavşağa bağlanan yaklaşım kollarının trafik hacimleri ve tip özellikleri,
- Sürücü ve yaya davranışları,
- Fiziki durum ve çevresel koşullar,
- Trafik akım yönleri ve taşıt kompozisyonu,
- Trafiğin zamana bağlı değişimi,
- Kavşak etki alanında bulunan çekim noktaları,
- Kavşakta daha önce meydana gelmiş kaza sayıları ve kaza oluş şekilleri olarak tanımlanabilmektedir.

Yukarıda bahsedilen kriterlere ek olarak ayrıca;

- Kavşak birleşme noktalarında trafik akımlarının kesişme açılarının dik olmasından kaçınmak,
- Taşıt sürücülerini ani hareketlerden kaçındıracak düzenlemelere dikkat etmek,
- Tasarlanması olası alternatiflerinde özenli bir şekilde değerlendirmesi, gerekmektedir (Umar ve Yayla, 1992).

Günümüz trafik mühendisliği açısından eşdüzey ve katlı olmak üzere iki ana kategoriye ayrılan kavşak tasarımları, alt bileşen olarak kol sayısına ve kontrol tipine göre ayrıca kategorilendirilmektedir.

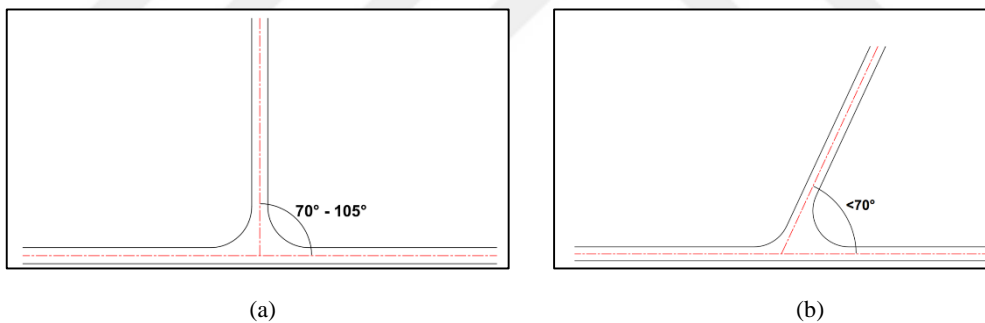
2.1. Kol Sayısına Göre Eşdüzey Kavşak

Eşdüzey kavşaklar, iki veya daha fazla trafik akımının aynı düzeylerde kesişerek ortaklaşa olarak oluşturdukları alanlardır. Bu alanı kullanan taşıtlar kol sayısına göre;

- Üç kollu kavşak (T ve Y tipi kavşaklar),
- Dört kollu kavşak,
- Çok kollu kavşak olmak üzere geometrik olarak üç ana grupta değerlendirilmektedir.

2.1.1. Üç kollu kavşak

Üç yaklaşım kolunun aynı düzlem üzerinde kesişimiyle oluşan yol ağına üç kollu eşdüzey kavşak denir (Şekil 2.1.). Kavşak yaklaşım kolları dik (90°) olabileceği gibi 70° ile 105° arasında kalan bir açı ile kesişiyorsa bu tip kavşaklara T kavşaklar olarak tanımlanmaktadır. T tipi kavşaklar şehiriçi iki şerit bölünmüş (2×2) yollarda uygulanacağı gibi mücavir alanlardaki düşük hacimli 2×1 yollarda da uygulanabilmektedir. Eğer yaklaşım kollarından biri ana yol aksına 70° 'den küçük ya da 105° 'den büyük bir açıyla bağlanıyor ise bu tip kavşaklar Y tipi kavşaklar olarak adlandırılır (Alçelik, 2010).



Şekil 2.1. Üç kollü kavşak çeşitleri, (a) T tipi kavşak, (b) Y tipi kavşak (Yayla, 2004).

2.1.2. Dört kollü kavşak

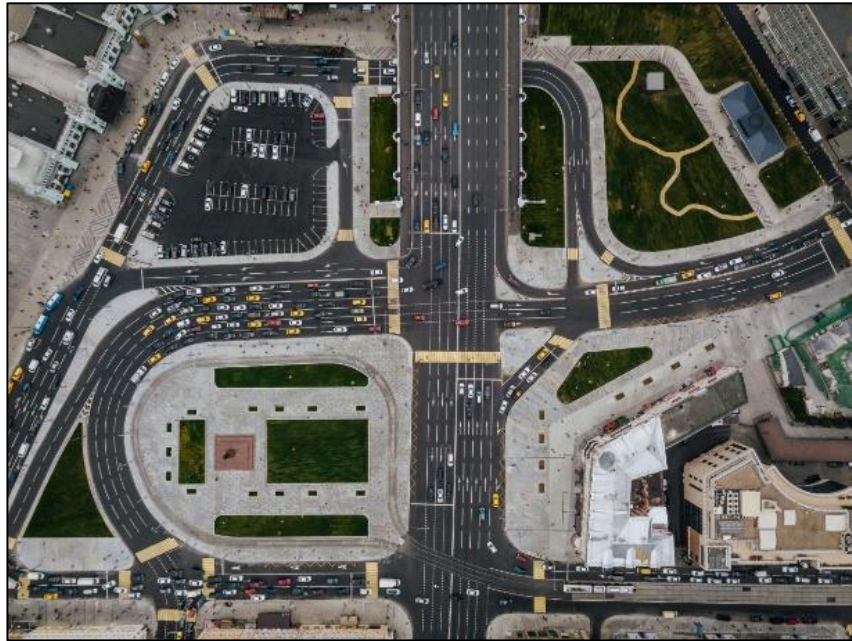
Dört yaklaşım kolunun aynı düzlem üzerinde kesişerek oluşturduğu yol ağına dört kollü eşdüzey kavşak denir (Şekil 2.2.). Kavşak yaklaşım kollarından ikisi kesişim noktasına 70° 'den büyük ve 105° 'den küçük açı ile bağlanıyorsa dört kollü dik eşdüzey kavşak olarak adlandırılır. Eğer bu kesişim açıları 70° 'den küçük ve 105° 'den büyük ise dört kollü yatık eşdüzey kavşak olarak sınıflandırılmaktadır (İnançlı, 2012).



Şekil 2.2. Dört kollu kavşak.

2.1.3. Çok kollu kavşak

Trafik hacminin az olduğu ve imar planları açısından uygulanma mecburiyeti olan noktada beş ve daha fazla yaklaşım kolunun aynı düzlemde kesişmesi sonucu oluşan alanlar çok kollu eşdüzey kavşaklar (Şekil 2.3.) olarak adlandırılır (Alçelik, 2010).



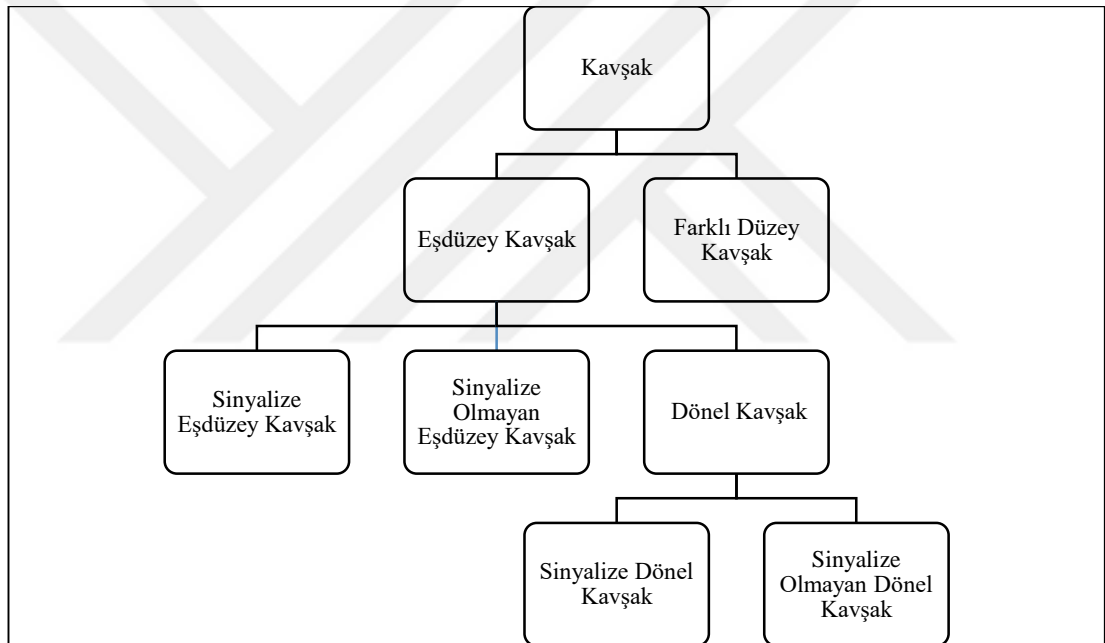
Şekil 2.3. Çok kollu kavşak, Tverskaya Zastava meydanı, Moskova, Rusya (Wikipedia, 2018).

2.2. Trafik Kontrol Sistemine Göre Eşdüzey Kavşak

Trafik kontrol sistemine göre kavşaklar temelde üç gruba göre;

- Sinyalize eşdüzey kavşak,
- Sinyalize olmayan eşdüzey kavşak,
- Dönel kavşak olarak değerlendirilmektedir.

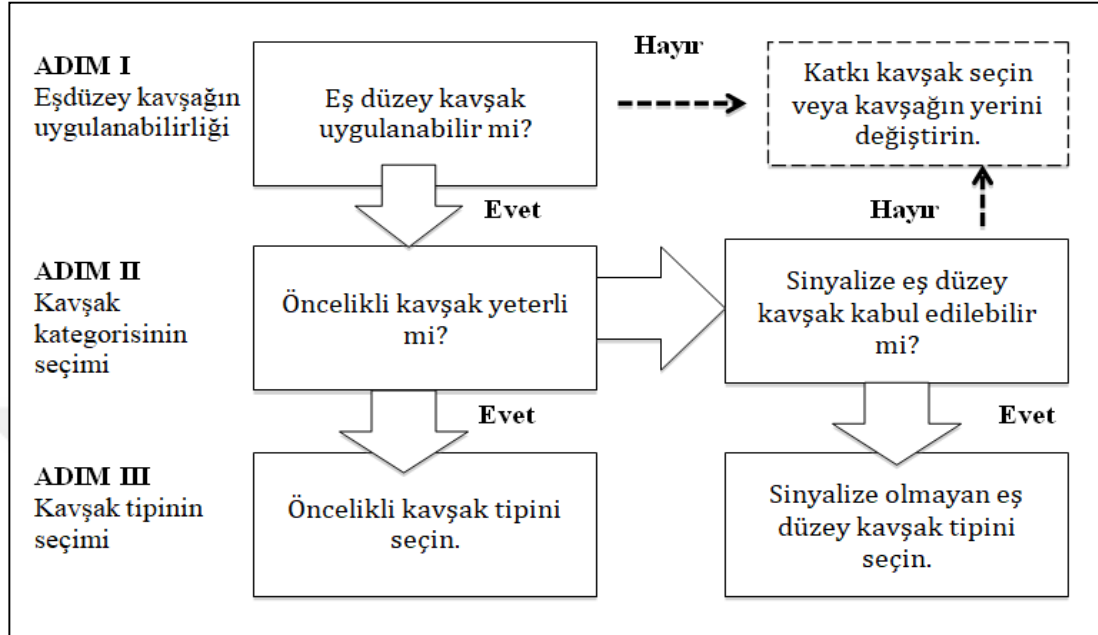
Not: Dönel kavşakta kendi içinde; sinyalize ve sinyalize olmayan dönel kavşak olmak üzere iki alt gruba ayrılır (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Trafik kontrol sistemine göre kavşaklar.

Bu nedenle kavşaklarda yaşanan gecikme ve trafik sıkışıklığını azaltmak için yapılacak sinyalizasyon iyileştirme çalışmalarıyla elde edilecek başarı büyük oranda ulaşım sistemindeki iyileşmeye direkt olarak etki etmiş olacağı bilinmektedir (Akdoğan, 2002). Bu kapsamda kavşak tasarım aşamasında uzmanlar tarafından yapılacak çalışmalarda kavşağın yapılacağı alanın arazi yapısı ve kavşağı kullanacak trafik hacimlerinin karar verme noktasında; inşaat maliyetleri, kaza maliyetleri, çevre

maliyetleri ve seyir süresi maliyetleri göz önünde bulundurularak doğru analizi sonucu Şekil 2.5.'teki tasarım adımlarından yararlanılarak tespit edilebilir (KGM, 2000).

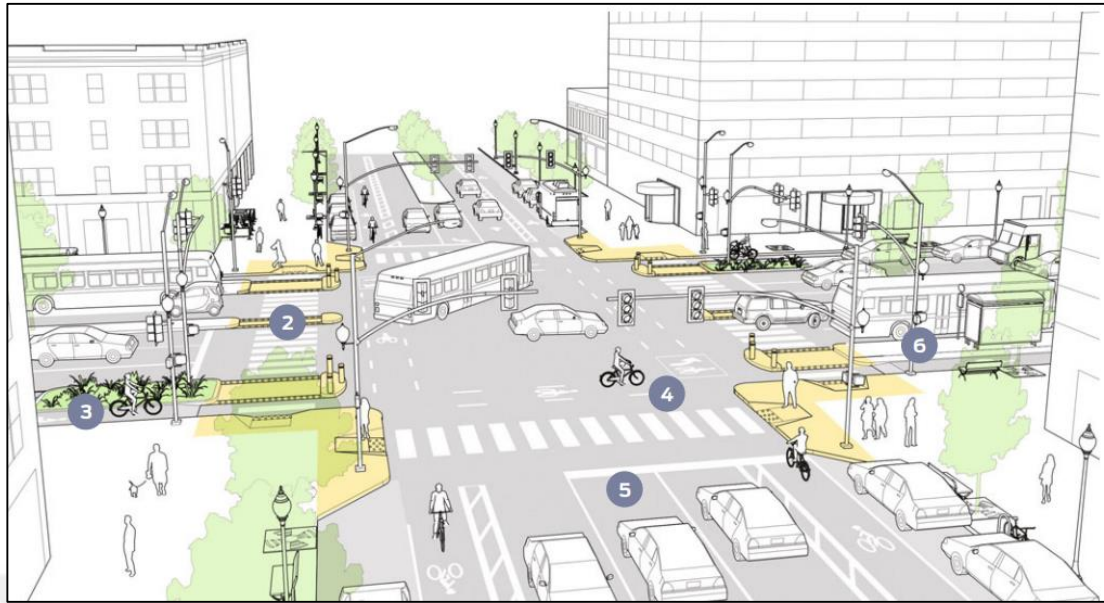


Şekil 2.5. Kavşak tasarım adımları (KGM, 2000).

2.2.1. Sinyalize eşdüzey kavşak

Eşdüzey kavşak tasarımlarındaki sinyalizasyon sistemleri, öncelikli olarak yaya ve taşıt trafik hacimlerinin yoğun olduğu eşdüzey kavşaklarda yaya ve trafik akımlarını düzenli ve güvenli bir şekilde işletilmesine imkan sağlamaktadır. Böylece kavşak kapasitesini güvenli bir şekilde optimum seviyede kullanılmasına sebep olmaktadır (Şekil 2.6.).

Eşdüzey kavşak tasarımında sinyalizasyon uygulanması ile amaçlanan kavşaklardaki taşıt ve yaya akımlarının hareketlerini düzenli bir şekilde kontrol etmektir. Böylece eşdüzey kavşakta taşıt ve yaya etkileşimi sonucu meydana gelebilecek kaza sayısını ve kavşak tıkanıklığı gibi benzeri olumsuzlukları ortadan kaldırmaktır. Ayrıca şehiriçi karayolu ağlarında savunmasız yol kullanıcıları olarak hareket eden yayaların ve bisiklet sürücülerinin daha güvenli bir şekilde sistem içinde hareketlerini sağlamalarına imkan vermektedir (Çakıcı, 2014).



Şekil 2.6. Sinyalize eşdüzey kavşak (Nacto, 2013).

Çakıcı (2014) tarafından yapılan çalışmada eşdüzey kavşaklarda sinyalizasyon uygulamasının yararları olduğu kadar yaşanabilecek olumsuzluklar aşağıda sıralanmaktadır;

- Sinyalizasyon sistemi ilk yatırım maliyeti,
- Sinyalizasyon sistemi işletme, bakım – onarım maliyeti
- Ana yaklaşım kolu üzerindeki yüksek taşıt hacminden kaynaklı yakıt maliyeti
- Gecikmelerden kaynaklı düşük konfor seviyesi
- Gecikme ve sıkışıklardan kaynaklı yüksek karbon emisyon değerleridir.

2.2.2. Sinyalize olmayan eşdüzey kavşak

Sinyalize olmayan eşdüzey kavşak uygulamaları genellikle kavşak ana yaklaşım kollarındaki trafik hacminin tali yaklaşım kollarındaki trafik hacmine göre düşük olması durumundaki karayolu kesişimlerinin bulunduğu alanda teşkil edilmektedir (Şekil 2.7.). Bu tip kavşaklarda trafik düzeni düşey ve yatay trafik işaretlemeleri ile yol üstü kasisleri vasıtasıyla taşıt sürücüsü ve yayaların görsel görüş ve şahsi insiyatiflerine göre işletilmektedir (Gözler, 2015). AASHTO'ya göre, sinyalize olmayan eşdüzey kavşaklar aynı trafik akım yönünde duran ve yavaş hareket eden

taşıtlar ile yüksek hızla seyahat eden taşıtlar arasında hız farkının çok olmasından kaynaklı sinyalizasyon kavşaklardan daha tehlikeli olduğu belirtilmektedir (Tuncuk ve Karasahin, 2005).



Şekil 2.7. Sinyalizasyon olmayan eşdüzey kavşak, Zürih, İsviçre, 2013 (Wikipedia).

2.2.3. Dönel kavşak

Dönel kavşak kendi içerisinde sinyalizasyon ve sinyalizasyon olmayan olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.3.1. Sinyalizasyon olmayan dönel kavşak

Özellikle şehir içi ulaşım ağları üstünde imar planlarının imkan verdiği noktalarda tasarlanan geometrik ada etrafında taşıt sürücülerin geçiş önceliği kuralları çerçevesinde düzenli bir trafik akışını sağlamaları sonucu trafik tıkanıklığının ve bekleme sürelerinin önlenmesi çerçevesinde oluşturulan kavşak tasarımları olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.8.). Kavşak yaklaşım kollarının kavşak giriş noktalarına

yerleştirilen sinyalize olmayan yaya geçitlerini kullanacak yayalara öncelik sağlanması açısından yatay ve düşey trafik işaretleriyle yavaşlatılan taşıt sürücüleri sayesinde yaya hareketliliği sağlanabilmektedir (Erol, 2018).



Şekil 2.8. Sinyalize olmayan dönel kavşak (Gettyimages, 2017).

2.2.3.2. Sinyalize dönel kavşak

Sinyalize dönel kavşaklar genellikle ülkemizde uygulanan ve trafik kurallarına imtina etmekte olan taşıt sürücüleri ve yoğun yaya hareketliliği olan şehiriçi karayollarında dönel kavşaklarla sinyalize eşdüzey kavşakların bir karması olarak uygulanmaktadır (Şekil 2.9.).

Kavşak yaklaşım kollarının kavşak giriş noktalarına yerleştirilen sinyalizasyon sistemleri ile sağlanan tam güvenlik sayesinde hem yaya akışının devamlılığı sağlanmış olmakta hem de kavşak içerisinde hareket eden taşıtlar ile kavşağa girecek olan taşıtların kesişimlerini önleyerek kavşak içindeki sirkülasyonu sağlamaya ve olası

kaza riskinin azaltılmasına imkan sağlamaktadır. Ayrıca kavşak ortasındaki geometrik ada çevresine yerleştirilen sinyalizasyon sistemi ile kavşak içerisindeki büyük kavşak kapasitesi kullanılarak uygulanacak sinyal fazlarının süreleri uzatılarak kavşak içindeki taşıt hacmini rahatça boşaltabilmektedir (Çakıcı, 2014).



Şekil 2.9. Sinyalize dönel kavşak, Jakarta, Endonezya, 2009 (Wikipedia, 2018).

2.3. Trafik Akım Özellikleri

Bir karayolu üzerindeki teşkil edilecek kavşak tasarımını tespit etmek için öncelikle yol üzerindeki belirli trafik değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Tespit edilecek bu değerlerin ise öncelikle kavramsal olarak çok iyi anlaşılması yoksa kavşak seçim ve işletilmesi noktalarında yanlış seçimler yapılması durumunda kalınabileceği bilinmelidir.

Ulaştırma uzmanları tarafından bir karayolu üzerinde belirli bir noktadan bir saatlik bir zaman periyodunda geçen taşıt sayısına trafik hacmi (Q) denir. Eğer bu zaman dilimi bir saatten daha küçük bir zaman periyodunda yapılır ise bulunan bu değer akım oranı olarak ifade edilir. Trafik hacmi ve akım oranının birimi taşıt/saat olmuş olur.

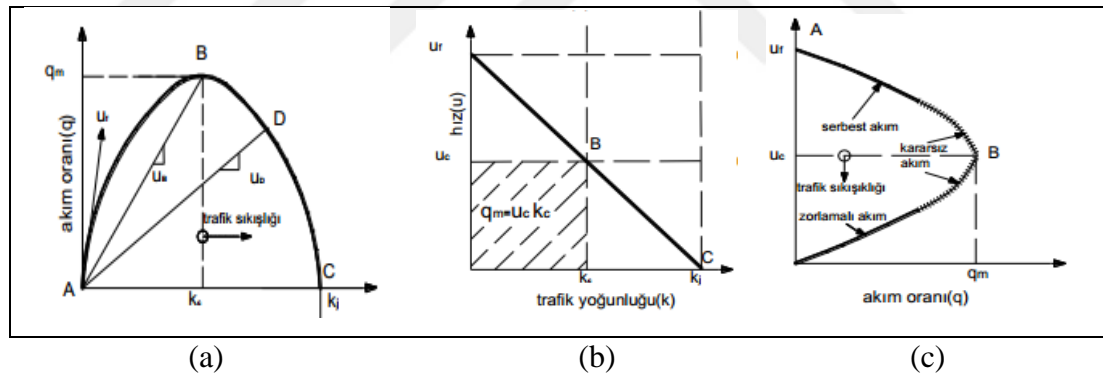
Ayrıca yolun birim uzunluğunda herhangi bir zaman diliminde bulunan toplam taşıt sayısına ise trafik yoğunluğu (k) denir ve birimi ta/km'dir (Yayla 2004).

Akım oranı ve trafik yoğunluğu ile ilişki olarak yol üstünde bulunan trafik akımının hızı (u) ise Denklem 2.1 yardımıyla bulunmaktadır (Yayla 2004).

$$q = u \times k \quad (2.1)$$

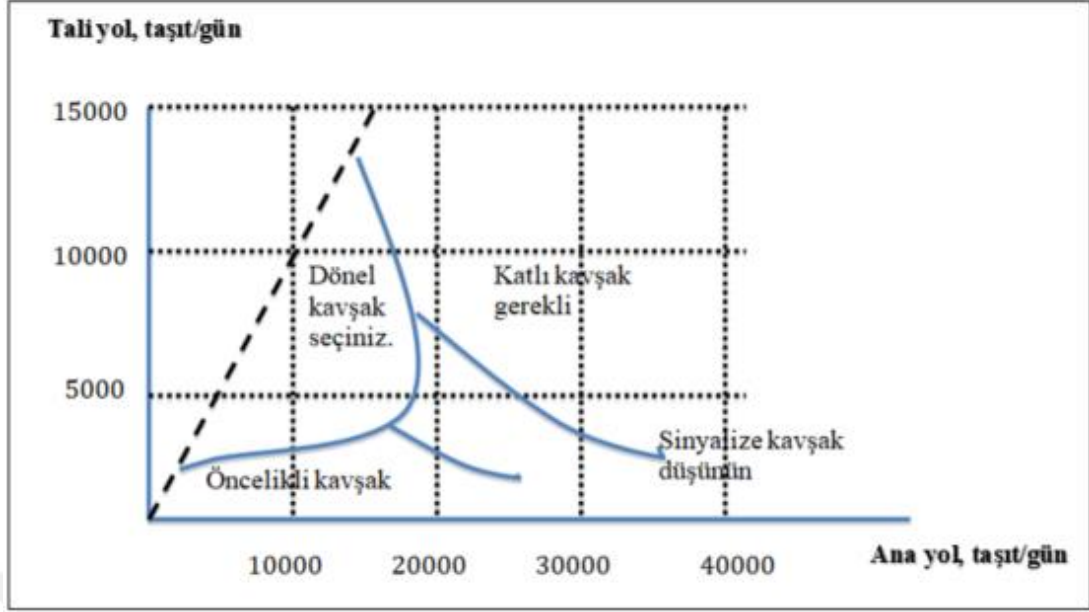
Birimi ise km/sa'tir.

Kısaca Şekil 2.10.(b)'de görüleceği üzere bir yoldaki trafik yoğunluğu arttıkça hız azalmakta, akım oranı arttıkça yoğunluk belirli bir düzeye kadar arttığı, trafik sıkışıklığı başladığı (B) noktadan sonra taşıtların birbiriyle etkileşimleri artmaya başlayacağından hacim artmaya devam ederken yoğunluk düşmeye başlamaktadır (Şekil 2.10. (a)) (Yayla, 2004).



Şekil 2.10. Trafik akım oranı-akım hızı ve yoğunluk ilişkisi (Yayla, 2004).

Sonuç olarak bir karayolu üzerindeki trafik akım değerlerinin tespit edilmesinden sonra ilk yatırım maliyeti yüksek olan ulaşım yatırımları için kavşak tipinin belirlenmesinde KGM (2000) tarafından yaptırılan Trafik Güvenliği Projesi kapsamında Şekil 2.11.'deki grafikten yararlanabileceği öngörülmüştür.



Şekil 2.11. Kavşak tipi seçimine ilişkin grafik (KGM, 2000).

2.4. Sinyalize Eşdüzey Kavşak Kontrol Teknikleri

Sinyalize eşdüzey kavşak yapılmasına karar verilen kavşaklar için kullanılan kontrol teknikleri;

- Sabit zamanlı,
- Trafik uyarımlı sinyalizasyon sistemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Akbaş, 2001).

2.4.1. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi

Sabit devre süreli sinyalizasyon sistemlerinde, kavşağa farklı yönlerden giren taşıt ve yaya hacmine göre hesaplanan trafik akım oranlarının doyumluğuna uygun olarak önceden hazırlanmış yeşil ışık sürelerine uygun sabit devre sürelerinin uygulandığı sistemlerdir. Günün değişik saatlerinde trafik akımındaki değişiklikler göz önünde bulundurularak gün içerisinde farklı birkaç program uygulanarak, trafik akımlarının en uyumlu şekilde düzenlenmesi sağlanabilmektedir. Şehir içi bir eşdüzey kavşağın sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi ile çalıştırılabilmesi için bir saatlik toplam trafik

hacminin minimum 750 ta/sa olması ayrıca kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin büyük farklılıklar göstermemesi gerekmektedir (Özdirim, 1994).

2.4.2. Trafik uyarımlı sinyalizasyon sistemi

Trafik uyarımlı sinyalizasyon sistemlerinde yaklaşım kollarına uygulanan yeşil ışık süreleri sahadan anlık olarak trafik akım değerlerini tespit etmeye yarayan dedektörler vasıtasıyla sahadan toplanarak trafik talep ve yoğunluklarına göre düzenlenmektedir. Böylece trafik yoğunluğunun gün içerisinde değişiklik gösterdiği yaklaşım kollarının kesişimlerinin oluşturduğu eşdüzey kavşaklarda gecikme sürelerinin minimize edilmesine imkan sağladığından kullanılmaktadırlar.

Trafik uyarımlı sinyalizasyon sistemleri;

- Tam–trafik uyarımlı sistem,
- Yarı–trafik uyarımlı sistem olmak üzere iki ana grupta değerlendirilmektedir (Ayfer, 1977).

Tam trafik uyarımlı sistemlerde Şekil 2.12.'de gösterildiği gibi tüm kavşak yaklaşım kolları üzerinde bulunan dedektörlerin tümünden devamlı olarak alınan trafik değerlerine uygun yeşil ışık, sıra ve süreleri kavşak kollarındaki trafik değerlerine göre otomatik olarak ayarlanması sonucu değişiklik gösterebildiği; gerçek zamanlı ve gecikmeleri her durumda minimize edilebilen en uygun sistemlerdir (Ayfer, 1977).

Yarı trafik uyarımlı sistemler ise önceden belirlenmiş kavşak yaklaşım kollarına yerleştirilmiş detektörler ile yeşil ışık yakılacak kavşak kolları belirlenen sistemlerdir. Genellikle ana yol olarak belirlenen kavşak kolu üzerindeki trafik akımına devamlı yeşil ışık verilirken, ikincil yol olarak belirlenen kollardan geçiş talebi uyarısı alınmadıkça ana yol kabul edilen kavşak kol ışık sürelerinde herhangi bir değişiklik yapılmayarak yoğun trafik akımının geçişine olanak sağlamaktadırlar. Bu tip sistemler genelde; Ana yol trafiğinin, tali yol trafiğine göre yaklaşım hızlarının % 85 'nin

arasında 30 km/sa veya daha fazla fark olması durumunda uygulanması daha ekonomik olmaktadır.



Şekil 2.12. Tam trafik uyarımlı sistem.

Trafik uyarımlı sistemlerin iki ana başlık haricinde, düşük yoğunluklu ve yaya hacimli pelikan tip yaya geçitlerinde yaya uyarımlı ve belirli bir yol aksı üzerinde ardışık olarak bulunan birbirine etkileşimi yüksek olan yakın kavşaklar için ise koordine sistemler olarak uygulandığı durumlar da olabilmektedir.

2.5. Sinyalizasyon Devre Süresi Hesaplamaları

Sinyalize bir kavşakta bir periyodun tüm kavşak yaklaşım kollarındaki sinyal sistemlerini tamamlaması durumundaki toplam süreye devre süresi (C) denir. Devre süresi Denklem 2.2 yardımıyla elde edilir. Bu sürenin hesaplanmasında öncelikle;

- Trafik akımları için ayrılan yeşil ışık süreleri toplamı,
- Kayıp zamanının hesaplanması gerekmektedir (Ayfer, 1977).

$$C = \sum_{i=1}^n G_i + t_s \quad (2.2)$$

Burada;

C: Devre süresi,

n: Faz süresi,

G_i : i fazını kontrol eden akımın yeşil ışık süresi,

t_s : Kayıp zamanı ifade etmektedir.

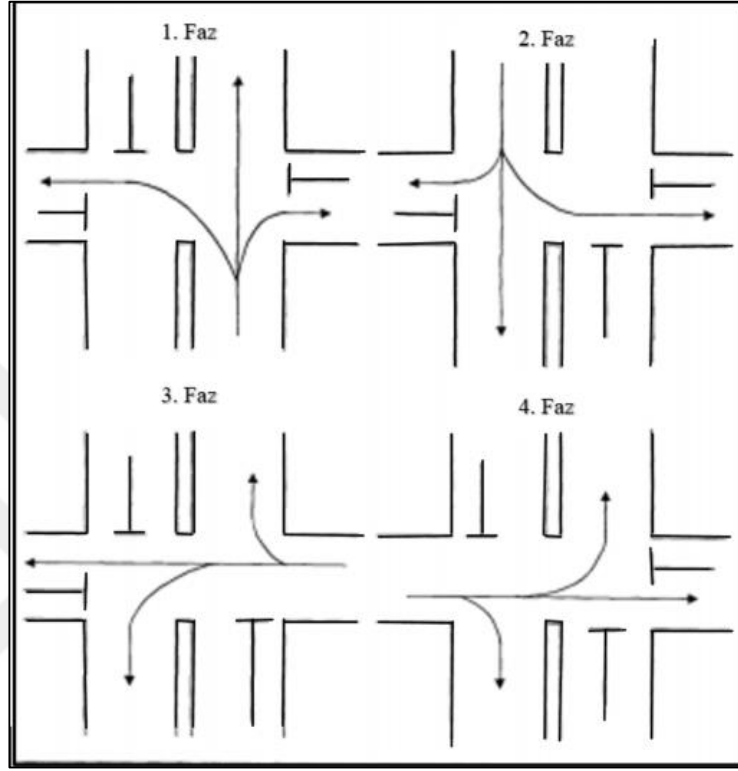
Pratik durumunda 30 sn'ye den daha kısa bir devre süresinin trafik yoğunluğu açısından yeterli olması durumunda eşdüzey bir kavşağın sinyalize olarak düzenlenmesine ihtiyaç yoktur. Taşıtların oluşturduğu değişkenlerden olan tepki süresi, ivme ve hızlanma kriterleri dikkate alındığında taşıtlara uygulanacak yeşil ışık minimum 8 sn, yayalara uygulanacak yaya ışık minimum 6 sn olmalıdır.

Ayrıca sinyalize kavşaklarda trafik yoğunluğu her ne olursa olsun 120 sn'den uzun devre süresi bulunması durumunda kuyruklanmalara ve nihayetinde de trafik yoğunluğuna sebebiyet vermektedir. Devre süresi hesaplanacak sinyalize kavşaklarda çok özellikli bir durum bulunmaması durumunda devre süreleri 135-140 sn ile sınırlandırılması uygun kabul edilmektedir (Özdirim, 1994).

Elde edilen devre süreleri, trafik akımı içerisinde belirli zaman aralıklarında belirli sinyal gruplarının birlikte veya ayrı ayrı çalıştıkları faz gruplarından oluşmaktadır. Seçilecek faz grupları, kavşak kollarındaki trafik hacmine, kavşak geometrisine, kavşak yaklaşım kolu sayısına, kavşakta dönüş yapan taşıtları akım sayısına ve kavşakta kesişen akımların tümüyle alakalıdır (Öztürk ve ark., 2008).

Genellikle kavşaklarda iki veya dört fazlı sistemler kullanılmakla birlikte özellikli ve çok kollu kavşaklarda faz sayıları arttırılabileceği de unutulmamalıdır. Yalnız faz sayılarının arttırılması her bir faz için öncesinde ve sonrasında konulacak koruma süreleri ve sarı ışık sürelerinin artacağı bilinmelidir.

Böylece kayıp zaman (t_s) olarak değerlendirilen koruma ve sarı ışık süreleri artacağından devre süreleri, buna bağlı olarak yoğunluk artış gösterecektir. Şekil 2.13.'te örnek faz diyagramı yer almaktadır.



Şekil 2.13. Dört fazlı sistem (Özdirim, 1994).

Bir devre süresi içindeki toplam kayıp süreler, koruma süreleri ve her yöne kırmızı sürelerin toplamı olarak Denklem 2.3 yardımıyla elde edilir (Ayfer, 1997).

$$\Delta_t = \sum_{i=1}^n Y_i + \sum_{i=1}^n t_{K_i} + \sum t_R \quad (2.3)$$

Burada;

Δ_t : Toplam kayıp süre (sn),

n : Faz sayısı,

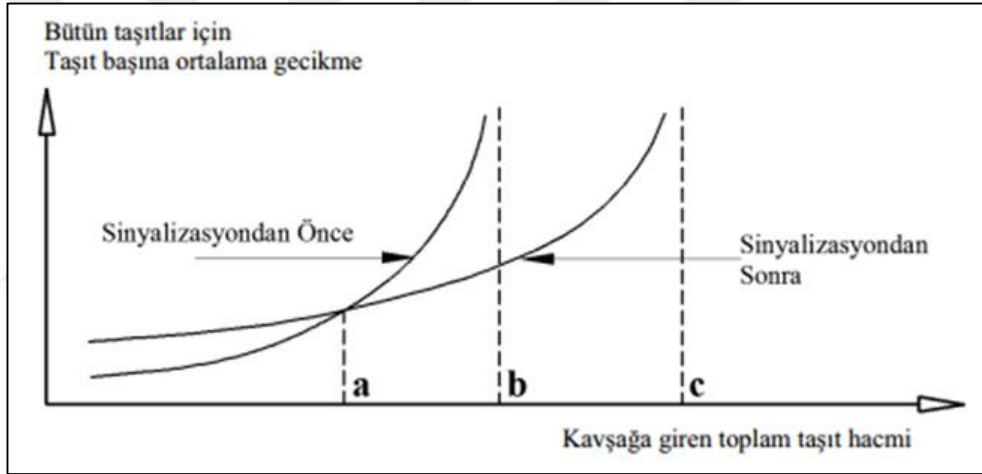
Y_i : i fazındaki akım yönü için verilen sarı süre (sn)

t_{K_i} : i fazı ile bir önceki faz arasındaki koruma süresi (sn)

$\sum t_R$: Her yöne kırmızı sürelerin toplamı (sn)'dir.

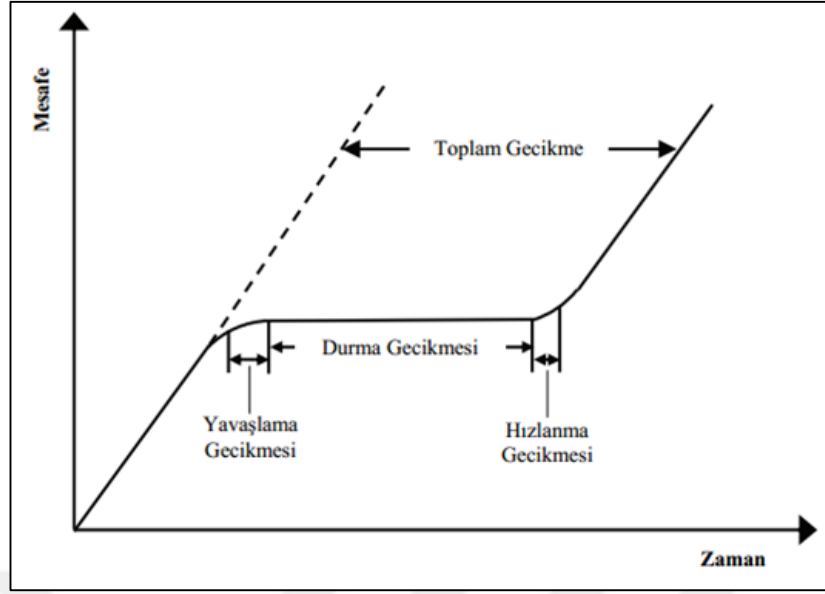
2.6. Sinyalizasyonun Taşıt Gecikme Süresi Üzerindeki Etkisi

Sinyalizasyon sistemiyle kontrol edilen bir kavşak kapasitesi aynı geometride sinyalizasyon olmayan bir kavşağın kapasitesinden daha yüksektir. Fakat trafik akımı belirli bir Şekil 2.14.'teki b seviyesine ulaşmadığı durumda sinyalizasyon sistemi kavşak genelinde gereksiz gecikmelere neden olabilmektedir. Fakat sinyal sistemli bir kavşaktaki kavşağın normal kapasitesine (b noktası) ulaşan taşıt hacmi sinyalizasyon olmayan bir kavşaktaki gecikme hızından daha yavaş oranda artış göstermektedir. Ayrıca Şekil 2.14.'te a noktası sinyal sisteminin pozitif yönde etki etmeye başladığı toplam taşıt hacmi değerini, c noktası ise sinyalizasyon kavşağın toplam kapasitesini göstermektedir (Ayfer, 1997).



Şekil 2.14. Sinyalizasyonun gecikme etkisi (Ayfer, 1997).

Gecikme değeri, Şekil 2.15.'te gösterildiği üzere sinyalizasyon eşdüzey kavşakların performans değerlerinin tespitinde öncelikli performans değerlerinden biridir. Bu sebeple gecikme değerini etkileyen unsurlar olarak, kavşağın geometrisi, yatay ve düşey trafik işaretleri, sinyalizasyon, kavşağı kullanan taşıt ve yaya hacimlerinin tamamı gecikmeyi oluşturan değişkenlerdir. Taşıt gecikmesini etkileyen faktörler ise; hızlanma gecikmesi, yavaşlama gecikmesi, ve durma gecikmesi olmak üzere üç parametreden oluşmaktadır (Murat ve ark., 2016).



Şekil 2.15. Sinyalize kavşak kolundaki taşıtın zamana bağlı mesafesi (Murat ve ark., 2016).

2.7. Taşıt Gecikme Hesabında Kullanılan Yöntemler

Taşıt gecikmesinin hesabında yaygın olarak kullanılan yöntemler;

- Avusturya (Akçelik) yöntemi,
- Webster yöntemi,
- HCM 2000 yöntemi olarak sıralanabilir.

2.7.1. Avustralya (Akçelik) yöntemi ile gecikme hesabı

Avustralya yönetimi ile gecikme analizi hesabı yapabilmek için trafik kapasitesi ve zaman gerekleri analiz edilmektedir. Böylece yönteme yeni boyutlar kazandırılarak faz ilişkili metod yöntemi yerine akım ilişkili gecikme analizi hesap edilmeye başlanmıştır. Bu değişiklik sonucu faz kayıp zaman yerine akım kayıp zaman kullanılmaktadır. Bu metod ile akımlar ve fazların temel özellikleri anlatılarak, akım oranı, doygun akım, doygunluk derecesi, etkin yeşil süre ve kayıp süre gibi akım ve kavşak parametreleri tanımlanmıştır (Murat ve Başkan, 2001).

Bu yöntemle göre, bir akım içerisindeki taşıtların ortalama gecikme değerini bulabilmek için ilk olarak bu akım değerinin oluşturduğu kuyruklanma uzunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Bu değer Denklem 2.4 yardımıyla hesaplanmaktadır (Murat ve Başkan, 2001).

$$N_0 = \frac{QT_f}{4} \left(z + \sqrt{z^2 + \frac{12(x+x_0)}{QT_f}} \right) \quad (2.4)$$

Eğer X_0 ise N_0 değeri 0 olmaktadır.

Burada;

N_0 : Taşıtların cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit varsa, tüm şeritlerdeki taşıtların sayısı toplamı),

Q : Taşıtlar/saat cinsinden kapasite,

T_f : Akım süresi, yani saat cinsinden zaman, q değerinin elde edildiği süre,

QT_f : T_f süresi boyunca geçebilecek maksimum taşıtlar sayısı,

X : q/Q doygunluk derecesi,

Z : $x-1$

X_0 : Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doygunluk derecesi Denklem 2.5 ile aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$x_0 = 0.67 + sg/600 \quad (2.5)$$

Burada;

s : Taşıtlar/saniye cinsinden doygun akımı,

g : Etkin yeşil süreyi ifade etmektedir.

Toplam gecikme değeri Denklem 2.6 ile ifade edilir.

$$D = \frac{qc(1-u)^2}{2(1-y)} + N_0x \quad (2.6)$$

Burada,

D: Toplam gecikme,

qc: Her devrede gelen ortalama taşıt sayısı ($q = \text{Taşıt/saniye biriminden akım}$),

c: Saniye biriminden devre süresi,

u: Yeşil zaman oranı ($= g/c$),

y: Akım oranı ($= q/s$).

Ayrıca her bir taşıt sayısı için ortalama gecikme ise Denklem 2.7 ile ifade edilmektedir.

$$d = D/q \quad (2.7)$$

Burada;

D: Toplam gecikmeyi,

q: ta/sa cinsinden akım değerini ifade etmektedir.

2.7.2. Webster (İngiliz) yöntemi ile gecikme hesabı

Sinyalize bir kavşak üzerindeki yaklaşım kolundan geçen trafik hacmi, taşıtlar tarafından kullanılabilen efektif yeşil süre ve tanımlanan yeşil ışık süresi sırasında durma çizgisinden geçen maksimum taşıt oranıyla bağlantılı olarak değişim göstermektedir. Ayarları önceden tanımlanmış bir sinyalizasyon sisteminde, ortalama gecikme sürelerinin hesaplamalarını gerçekleştirmek için farklı trafik akımları, doymun akım değerleri ve sinyal faz planları göz önüne alınarak, herhangi bir tekil yaklaşım kolundaki ortalama gecikme Denklem 2.8 ile ifade edilmiştir.

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65 (C/q^2)^{1/3} x^{2+5\lambda} \quad (2.8)$$

Burada;

d: Her bir koldaki her bir taşıt için ortalama gecikmeyi,

λ : Etkin yeşilin devre süresine oranı

x: Doymunluk derecesini ifade etmektedir.

C : Devre süresi (sn)

Q: Her bir koldaki akım (ta/sa)

Doygunluk akım derecesi, akımın maksimum mümkün akımına oranı olarak tanımlanır ve Denklem 2.9 ile ifade edilir.

$$x = \frac{q}{\lambda S} \quad (2.9)$$

Denklemin son kısmı gecikmenin % 5'i ile % 15'i arasında bir değeri ifade etmektedir.

2.7.3. HCM-2000 yöntemi ile gecikme hesabı

HCM 2000 yöntemi gecikme değerlerinin tespiti için 1985 yılında ortaya çıkan ve sürekli güncellenen bir yöntemdir. HCM 2000'e göre bir şeritteki ortalama gecikme aşağıdaki Denklem 2.10 ile ifade edilir:

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (2.10)$$

Burada,

d: Taşıma başına kontrol gecikmesi (sn/ta)

d_1 : Üniiform varışlar kabulüyle üniiform kontrol gecikmesi (sn/ta)

PF: Üniiform gecikme dizisi düzeltme faktörü (sinyal süreci etkilerini açıklamak için)

d_2 : Rastgele varışların ve doyun akımdaki kuyrukların etkisini açıklamak için eklenen gecikme. Burada gecikme bileşeni analiz periyodunun başlangıcında, şerit grubu için başlangıç kuyruk durumunun olmadığını farz eder.

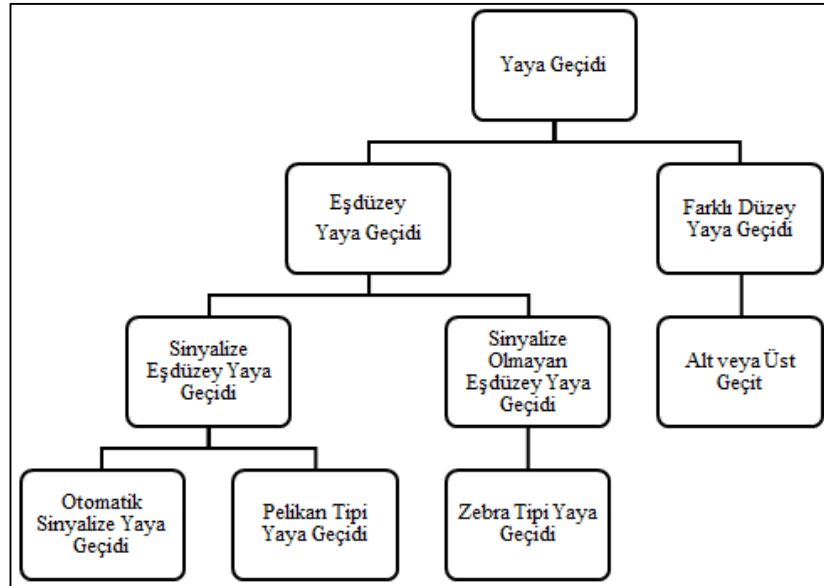
d_3 : Analiz süresi başlangıcındaki başlangıç kuyruğundan dolayı tüm taşıtlara etkileyen gecikme değeridir.

BÖLÜM 3. YAYA GEÇİTLERİ

Son yıllarda artan nüfus oranları ile bağlantılı olarak artan yaya hareketliğinin taşıt trafiği ile etkileşiminin arttığı bir gerçektir. Bu etkileşimde, genellikle yaya geçitlerinin ve yaya kaldırımlarının tasarlanması açısından önem arz etmektedir. Bu kapsamda yaya güvenliği ve trafik sıkışıklığından kaynaklı olarak tasarlanan eşdüzey kavşaklar ve eşdüzey yaya geçitlerinin uygun geometrik standartlarda uygulanması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

3.1. Eşdüzey Yaya Geçidi Çeşitleri

Yaya geçidi, şehiriçi taşıt (karayolu, demiryolu, vb.) güzergahlarında taşıt trafiğine ayrılmış kısmında yayaların bu kısmı güvenli bir şekilde geçebilmelerini sağlamak üzere, trafik işaretleri ile donatılan alanlardır (TS 7635, 1989) (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Eşdüzey yaya geçitleri.

3.1.1. Sinyalize eşdüzey yaya geçidi

Sinyalize eşdüzey yaya geçidi; taşıt yolu üzerinde sinyalize olarak devre süresi içerisinde yayalar için ayrı bir sinyal fazı olarak yaya güvenliğini ön planda tutan yaya geçidi tipleridir.

3.1.1.1. Otomatik sinyalize yaya geçidi

Devre faz süreli, sinyalize yaya geçidi; genellikle kavşaklarda kullanılan ve otomatik olarak her periyotta yaya kaldırımında karşıdan karşıya geçmek üzere bekleyen yaya olsun olmasın, önceden tayin edilmiş düzende yaya fazı yanan sinyalize yaya geçididir (TS 7635. 1989) (Şekil 3.2.). Yaya geçitlerinde yaya geçiş faz süreleri, hareket kısıtlılığı olan yayaların geçişine izin verecek şekilde düzenlenmekte olup çift şerit bölünmüş orta refüj bekleme adalı şehiriçi eşdüzey kavşaklarda min. 20 sn olmak üzere ayarlanmaktadır.



(a)



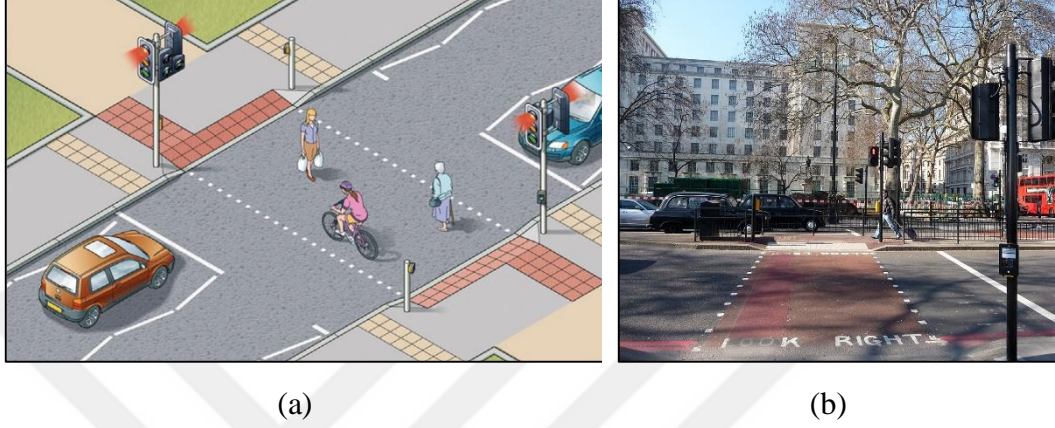
(b)

Şekil 3.2. Otomatik sinyalize yaya geçidi, ABD (Nacto, 2013).

3.1.1.2. Pelikan tipi yaya geçidi

Pelikan tipi yaya geçidi, İngilizce “Pedestrian Light Controlled” yaya geçidinin baş harfleri olan “Pe-Li-Con” kelimesine Birleşik Krallık hükümeti tarafından tüm yaya geçitlerinin hayvan isimlerine benzetilmesinden dolayı “o” harfi yerine “a” harfi getirilerek “Pelican–Pelikan’a” dönüştürülmesiyle oluşturulmuştur. Toplum genelinde

bas geç olarak anılan ve yaya kumandası ile çalışan ses uyarılı sinyalizasyon ile donatılmış yaya geçitleri olan Pelikan tipi yaya geçitleri, geçidi kullanmak üzere yaya sinyalizasyon kontrol düğmesine basarak istekte bulunulması halinde yayaya geçiş hakkı veren sinyalizasyon yaya geçidi türüdür (TS7768, 1990) (Şekil 3.3.).



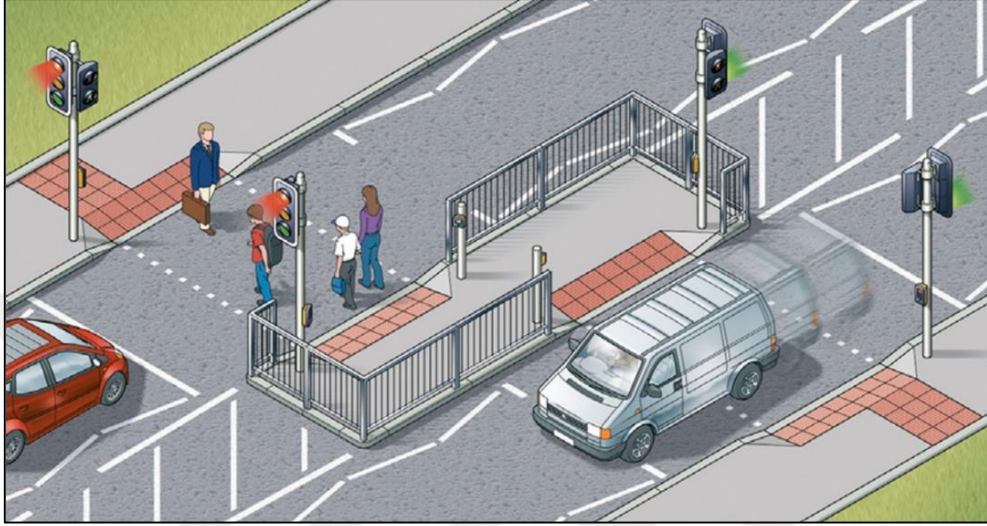
Şekil 3.3. Pelikan tipi yaya geçidi, (a) Tasarım örneği (The highway code, 2019), (b) Westminster, Londra, İngiltere, 2010 (Wikimedia, 2018).

Pelikan tipi yaya geçidi bir diğer yaya geçidine en az 150 m, sinyal kontrolsüz kavşağa en az 20 m, sinyal kontrollü kavşağa 150 m–250 m uzaklıkta yapılabilir. Geçit genişliği için minimum ölçü 2,40 m olmalıdır. Eğer dört pik saatlik ortalama yaya hacmi 600 ya/sa'yi geçen her 125 ya/sa için geçit genişliği 0,5 m arttırılmalıdır. Fakat yaya geçidi genişliği 10 m'yi geçmemelidir.



Şekil 3.4. Şaşırtmalı pelikan tipi yaya geçidi, Kartal, İstanbul (İbb, 2017).

Yol genişliği 12 m'den fazla ve orta refüj var ise geçit genişliği ve yayanın kademeli olarak geçmesine imkan sağlaması açısından bekleme alanı olarak minimum 3,00 m genişliğinde düzenleme yapılabilir. Bu tip durumlarda orta refüjdeki alandan istifade ederek geçit sağa veya sola şaşırtmalı olarak yapılabilir (Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Şaşırtmalı pelikan tipi yaya geçidi (The highway code, 2019).

Şaşırtma yapılan alanda yaya güvenliği ve yönlendirme açısından bekleme alanı sınırlarına, yüksekliği minimum 110 cm olacak şekilde korkuluk yapılarak yönlendirme yapılmalı ve izole bir ortam oluşturulabilmektedir. Ayrıca yaya yolu olarak kullanılan tretuvarlar ve orta refüjdeki bekleme alanlarının taşıt yolu ile birleştiği noktalara yaya geçidi boyunca 40 cm genişliğinde kontrast renklerde (sarı, turuncu, vb.) uyarıcı yüzeylerle hissedilebilirlik artırılmalıdır (Şekil 3.6.(a)).



(a)



(b)

Şekil 3.6. Pelikan tipi yaya geçidi detayı, (a) Korkuluk detayı, Cardiff, Galler, 2018 (Danielbowen, 2018), (b) Kontrol paneli (İbb, 2015).

Yaya geçitlerinde ulaşılabilirlik ile ilgili tasarım kurallarını düzenleyen TS 12576 (2012) sayılı standartta Pelikan tipi yaya geçitlerinde sinyalizasyon kontrol panelinin engelli yayaların kullanımına imkan sağlaması açısından sinyalizasyon direği üzerine yerden 90–120 cm yükseklikte bulunması gerekliliğinden bahsetmektedir.

Ayrıca kontrol paneli üzerindeki düğmelerin görme ve işitme engelli yayaların da rahatlıkla kullanabileceği şekilde kontrast renklerde ışık verebilen, sesli uyarı yapabilen ve titreşim sistemine sahip olması, düğmeler üzerinde braille alfabesine uygun kabartmalı kavşak yönünü gösteren okların olması gerekmektedir (şekil 3.6.(b)).

3.1.2. Sinyalize olmayan yaya geçidi

Taşıt yolu üzerine herhangi bir devre süresine bağlı kalmadan çeşitli yatay ve düşey işaretlerle yaya ve sürücülerin dikkatini çeken yaya geçidi tipidir. Sinyal kontrolsüz yaya geçitlerinde trafik kuralları çerçevesinde yaya akışının emniyetle karşıdan karşıya geçmesini sağlayan eşdüzey yaya geçididir (TS 12576, 2012).

3.1.2.1. Zebra tipi yaya geçidi

Taşıt trafik hacminin orta değerlerde ve hızın olduğu yollarda taşıt yolu kaplaması üzerine bir boş bir dolu çizilmiş yer işaretili teşkil edilen geçitlerdir. Yaya kaldırımında hem taşıtlara ve hem de yayaya yanıp sönen (flaşlı) sarı ışıkla birlikte kullanılır (TS 7636, 1989) (şekil 3.7.).



(a)



(b)



(c)

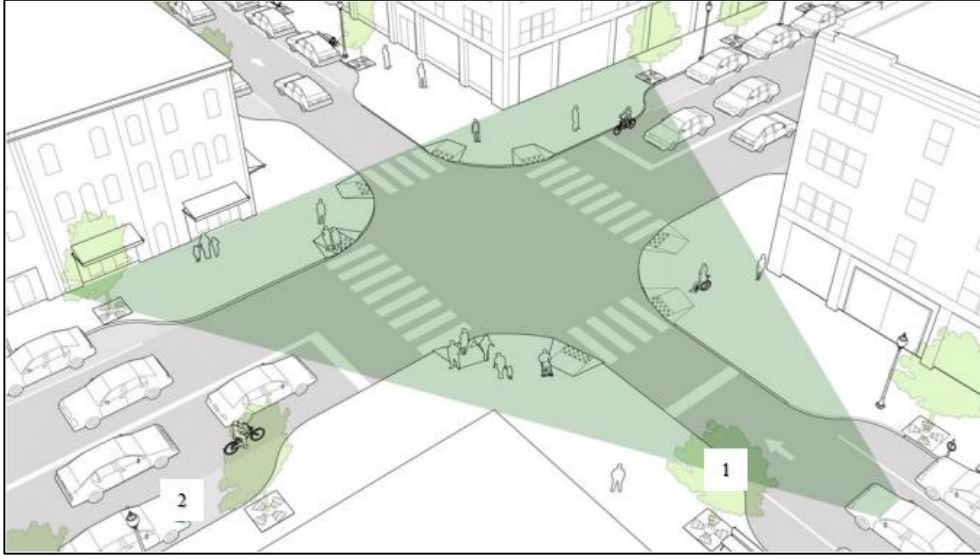


(d)

Şekil 3.7. Zebra tipi yaya geçidi, (a) Gece aydınlatması, Burnaby, Kanada, (b) Zebra tipi yaya geçidi, Washington, ABD, 2009 (Nacto, 2013), (c) Düşey boyama örneği, Edinburgh, İskoçya, (d) Yatay boyama örneği, Londra, İngiltere (Wikimedia, 2018).

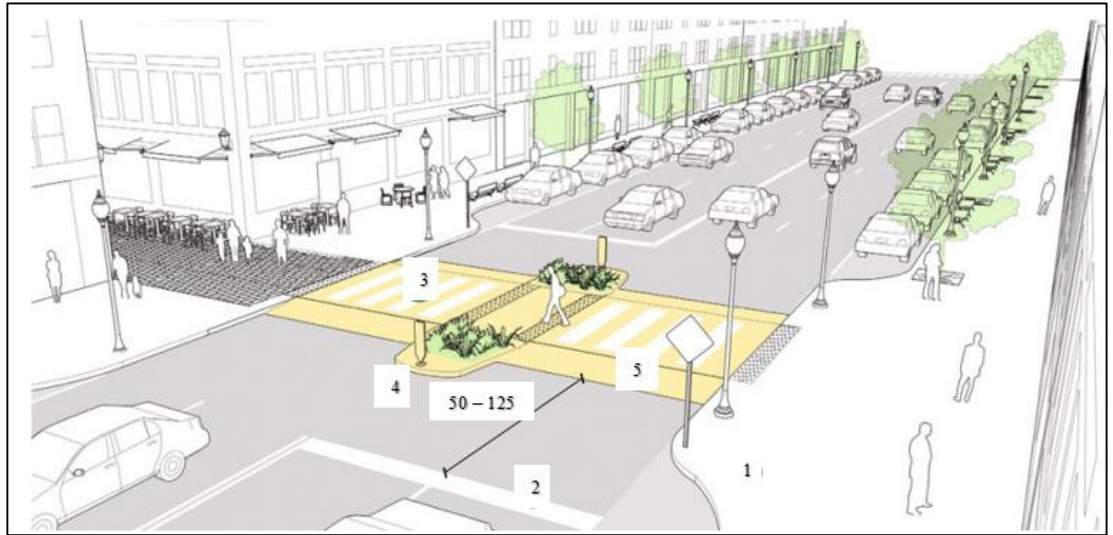
Yaya ve taşıt hacmine bağlı olarak yaya geçidinden en az 20 m önce taşıt sürücülerini yatay ve düşey trafik işaretleriyle yaya geçidi işaretleriyle uyarılmalı ve taşıtların yavaşlatılması sağlanmalıdır. Ayrıca, yaya geçidinin bulunduğu alan iyi aydınlatılarak yaya güvenliği açısından görünürlüğünün artırılması gerekmektedir.

Geçit yapılacak yer seçim kriterlerinde, park şeridi ve yakın konumda bulunan otobüs duraklarının; yaya ve taşıt sürücüsünün görüş açısını engellemeyecek bir konumda olması önemli bir husustur (TS 12576, 2012) (Şekil 3.8.).



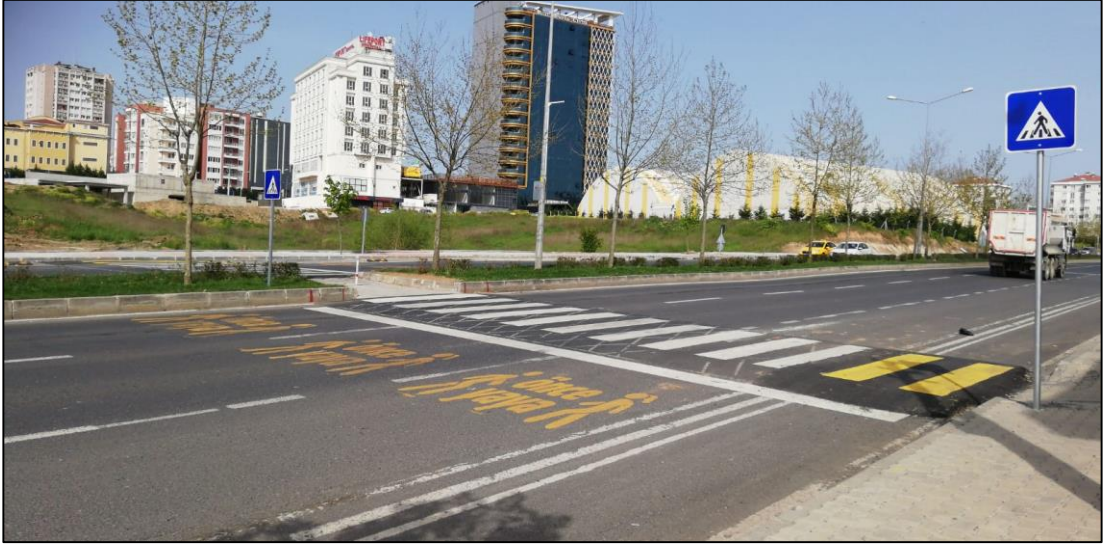
Şekil 3.8. Zebra tipi yaya geçidinin konumlandırılması (Nacto, 2013).

Zebra tipi yaya geçidi uygulamalarında taşıt trafiğinin hızlı aktığı karayollarında Şekil 3.9.(a)'daki gibi yükseltilmiş yaya geçidi olarakta uygulaması yapılabilir ve yatay trafik işaretlemelerinde 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu kapsamında “Önce Yaya” uygulaması yapılarak taşıt sürücülerinin yayaya öncelik vermesi açısından hassasiyetlerinin çekilmesi sağlanabilmektedir (Şekil 3.9. (b)).



(a)

Şekil 3.9. Yükseltilmiş zebra tipi yaya geçidi, (a) Tasarım elemanları (Nacto, 2013), (b) Kapalı pazar yaya geçidi, Çorlu, Tekirdağ, 2019.



(b)

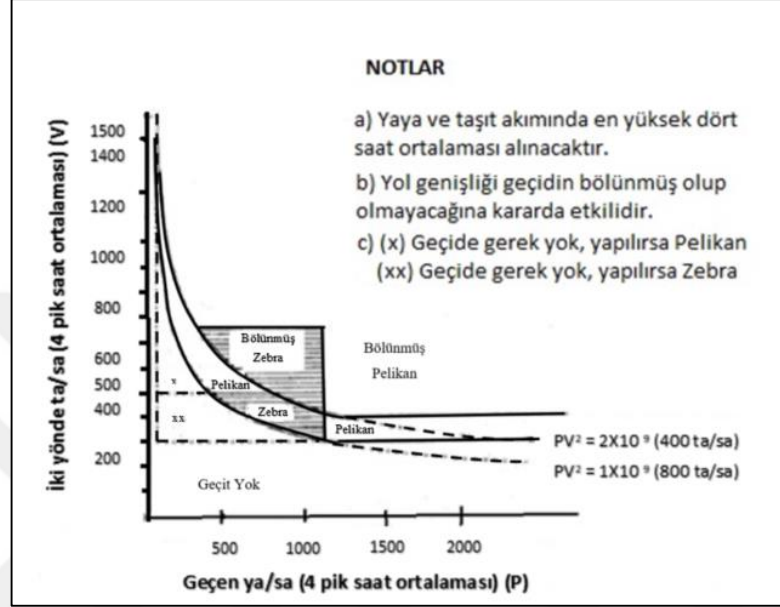
Şekil 3.9. (Devamı).

3.2. Eşdüzey Yaya Geçidi Seçim Kriterleri

Şehir içi yol ağları üzerine yapılacak yaya geçidi türünü seçiminde TS 7635 (1989)'da ilgili tarifler detaylıca yapılmaktadır. Öncelikli olarak geçit yeri yapılması düşünülen yerin her iki tarafında bulunan tretuvarlarda 50'şer metre olmak üzere 100 m'deki saatlik yaya (p) ve yolun her iki yönündeki saatlik taşıt ve bisiklet (v) adetleri sayılmalıdır. Ardından saatlik periyotlarda, pv^2 değerleri ve bu değerlerden en yüksek dört adet pv^2 değerleri seçilip bu periyotlara ait saatlik yaya ve saatlik taşıt değerlerinin ortalamaları bulunup, bulunan (P) ve (V) ortalamalarına göre yeni PV^2 değeri hesaplanarak Şekil 3.10.'da bulunan grafikten yararlanılarak düşey ekseninde dört pik saat ortalamasında iki yönde taşıt sayısı ile yatay ekseninde dört pik saat ortalamasında geçen yaya değerlerinin kesiştiği noktada çıkan sonuçlara göre yaya geçidi seçimi yapılabilecektir. Geçit ve geçit yerinin seçiminde sayısal değerler birçok durumlarda geçerliyse de, geçit yerinin aşağıdaki özellikte olması durumunda;

- Şehir içinde yoğun konut kullanımını ikiye bölen yolda,
- Ticari merkezin içinden geçen yolda,
- Hastane bölgesi içinden geçen yolda,
- Okul giriş çıkışında,

- Dört pik saatin ortalama hesabındaki sayımda her saatteki ağır taşıt adedi 300'ü geçmesi halinde,
- 100 m içinde üç yılı aşkın sürede yaya kazalarının çok olduğu yerde, sayısal değerlerle geçide ihtiyaç duyulmaması halinde de geçit yapılmalıdır.



Şekil 3.10. Yaya geçidi seçim grafiği (TS 7635, 1989).

Ayrıca yukarıdaki maddelere ek olarak;

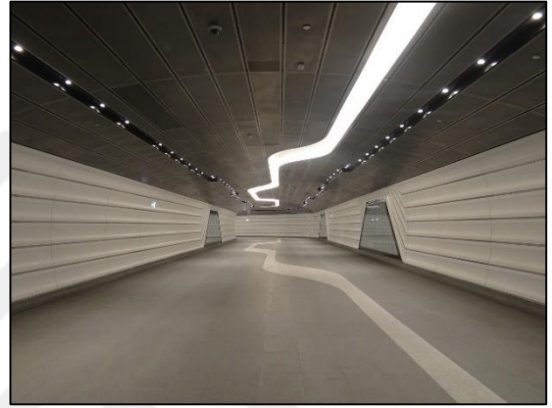
- Yıl içinde yaya ve taşıt sayısında değişimlerde 4 aylık değerler yaya geçidini gerektiriyorsa,
- Uygulamada yaşlı ve engelliz yayalar bölünmemiş yollarda Zebra'ya göre Pelikan geçidini daha emniyetli bulup oradan geçmeyi tercih ettiklerinden, % 10 yayanın bu durumda olması halinde sayısal değer Zebra geçidi verse de,
- Geniş ve düz yollarda taşıtlar genellikle hızını arttırdıklarından ve Pelikan geçit Zebra'ya göre daha emniyetli olduğundan,
- Demiryolu istasyonu, fabrika çıkışı gibi yaya akımının zaman zaman yüksek olduğu yerlerde, zebra tip geçitleri taşıt trafiğinin uzun zaman kesilmesine sebep olduğundan pelikan tipi geçidin seçimi tercih edilmelidir.

3.3. Üstgeçit ve Altgeçit

Yoğun trafik akımına sahip şehir içi yollarda trafik akımı, yayaların emniyetle karşı trefuvara geçmesine engel olması halinde veya iki yönde de taşıt trafik hacminin bölünmemiş yolda 900 ta/sa, bölünmüş yolda ise 1500 ta/sa olması durumunda yaya geçidini kullanan yaya sayısı 500 ya/sa'ten az olmaması durumunda üst veya alt geçit yapılarak yayaların karşıdan karşıya geçmesi güvenle sağlanabilir.



(a)



(b)

Şekil 3.11. Üstgeçit ve altgeçit, (a) Konak, İzmir, 2016, (b) Fütüristik tip, Sydney, Avustralya, 2017.

Ayrıca yaya geçidi yapılacak yerde;

- Taşıt trafik hacminin yoğun olduğu geniş orta refüjlü kavşaklarda,
- Taşıt akımının 1500 ta/sa'ten yüksek ve yaya akımının 500 ta/sa'ten yüksek olması durumunda
- Taşıt trafiği gecikmesinden korunmak ve trafik kazalarını azaltmada ekonomik fayda olduğu düşünüldüğü durumlarda
- Kent estetiği ve yapılaşma şartlarına uyum sağlayabileceği düşünüldüğünde,
- Şehir içinden geçen ve taşıt trafik hızının yüksek olduğu yüksek standartlı yollarda (Çevreyolu, otoyol, vb.) yaya hareketliliğinin sağlanması kapsamında altgeçit veya üstgeçidi yapılmalıdır (TS 7635, 1989).

Üstgeçit ya da altgeçit tercih edilmesi durumunda olduğu hallerde tüm yayaların rahatça kullanabileceği özellikte, çevre şartları müsait ise merdiven yapmaktan

kaçınılmalı ve Şekil 3.11.(a)'da gösterilen gibi merdiven yerine % 6'yı geçmeyen rampalar olmasına önem gösterilmelidir (TS 12576, 2012).

Yapılması planlanan üst geçitlerde hareket kısıtlılığına sahip bireylerin kullanımına uygun düşük eğimde rampa yapılacak alanın mevcut olmaması durumunda; yukarıya çıkabilmek için asansör, yürüyen merdiven veya merdiven boyunca hareket edebilen yatay asansör (lift) yapılması önemli bir husustur.

Yaya geçidi seçim kriterlerinde enerji kaybı üzerine bir değerlendirme yapılmaktadır. Potansiyel enerji (E_p) değeri Denklem 3.1 ile ifade edilir.

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (3.1)$$

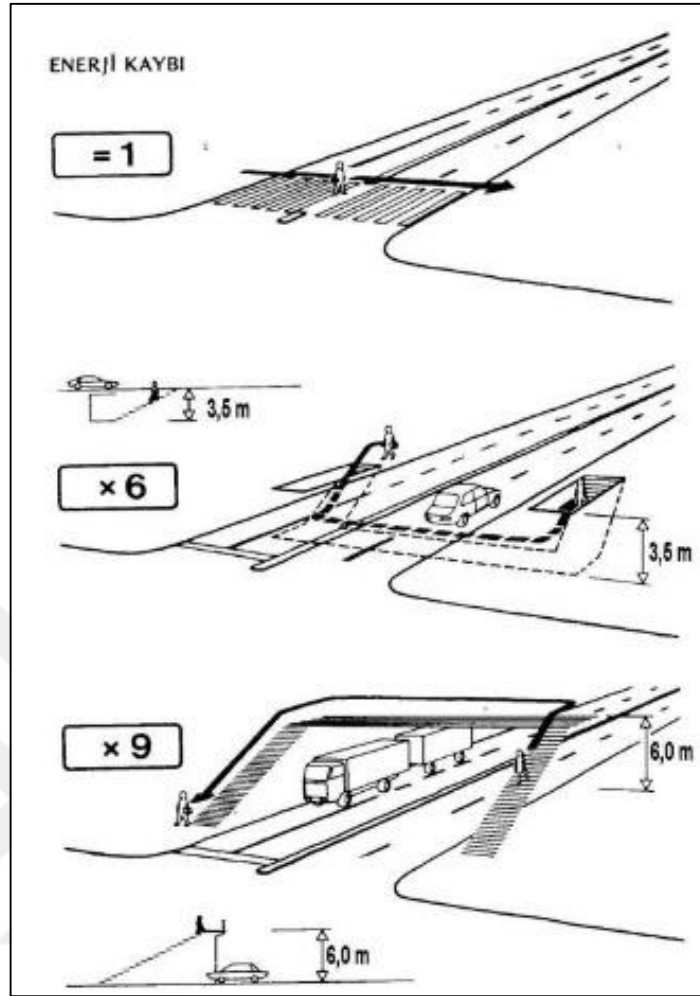
Burada;

m= Kütle,

g= Yer çekimi,

h= Yüksekliği ifade etmektedir.

Yayalar için eşdüzey bir yaya geçidinde yaya tarafından harcanan enerji 1 birim olarak kabul edilirse, yaklaşık 3,5 m'lik yaya geçidi yüksekliği yaya tarafından önce inilerek sonrasında çıkılacaktır. Fakat üstgeçit yapılması durumunda 4,8 m olan karayolları azami gabarisinden dolayı yapılacak üst geçidin min. 6,0 m yüksekliğinde olması gerekmektedir. Bu nedenle Şekil 3.11.(b)'de gösterildiği gibi yayalar açısından daha az enerji harcayabilecekleri durum olması sebebiyle, tercihen altgeçit yapılmalı ve üstgeçitten kaçınılmalıdır (TS 12576, 2012).



Şekil 3.12. Yaya geçitlerinde enerji kaybı karşılaştırması (TS12576, 2012).

BÖLÜM 4. TRAFİK SİMÜLASYON TEKNİKLERİ

Hızla gelişen endüstrielleşmeyle birlikte kırsal alanda azalan nüfus, şehirlerimizde hızla artan nüfus ile birlikte paralellik gösteren trafik sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Ulaşım ağında yaşanan bu sorunların en başında taşıt ve yaya kaynaklı sorunların artışı başı çekmektedir. Ayrıca ulaşım ağı içerisinde taşıt ve yayaların hareketleri etkileşim içinde olmalarından kaynaklı olarak sürücü ve yaya davranışlarına göre değişiklik gösterebilirler. Bu çerçevede eşdüzey kavşaklarda, yaya ve taşıtların simüle edilerek kavşak tasarımları yapılırken bu simülasyon sonuçlarından yararlanılabilir.

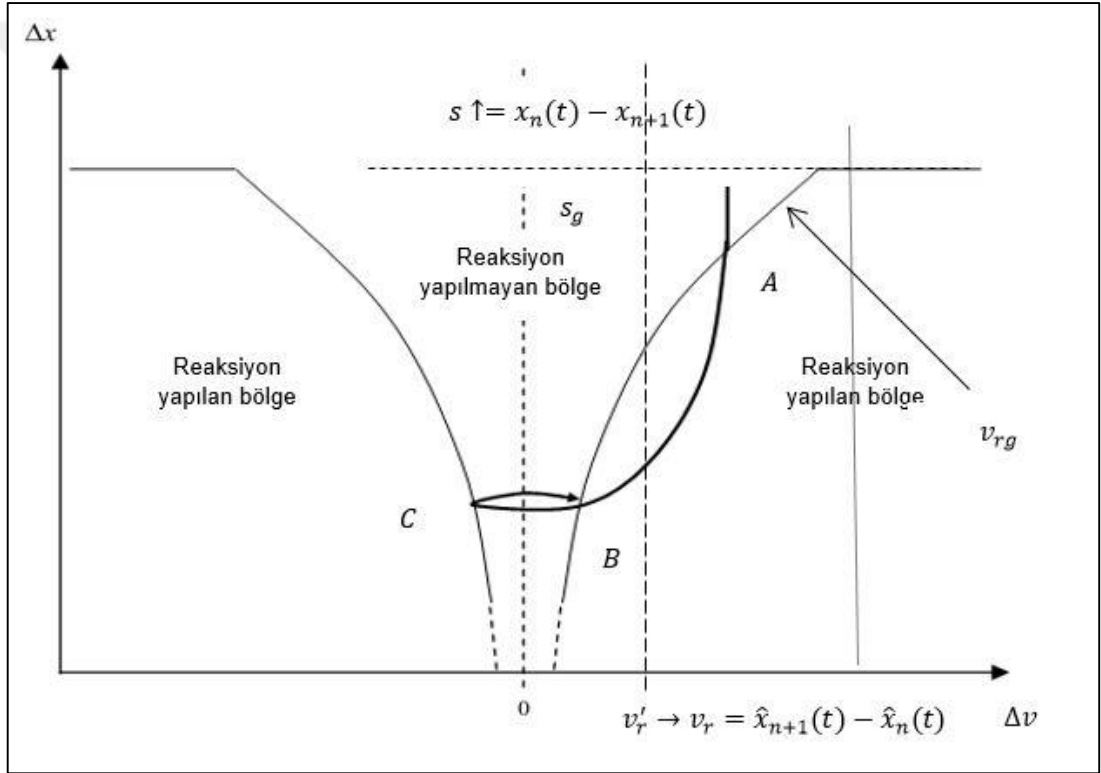
PTV Vissim mikro trafik simülasyon yazılımı, trafik simülasyon yazılımları arasında en çok kullanılan yazılımdır (Beyer ve ark., 2009; Erol ve Başkan, 2017). Beyer ve ark. (2009) tarafından Vissim yazılımı kullanılarak yaya simülasyonu ilgili çeşitli çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalarda yaya simülasyon yöntemlerinden biri olan sosyal kuvvet yöntemi ile ilgi ayrıntılı değerlendirmeler göz önüne konmuş ve modellenmesi ile ilgili detaylı örnekler sunulmuştur.

Erol ve Başkan (2017), tarafından yapılan çalışmada ise Vissim yazılımı kullanılarak sinyalize kavşaklarda trafik simülasyon teknikleri üzerinden değerlendirmeler yapılarak performans ölçütleri kıyaslamalı olarak ortaya konulmuştur. Özge (2010)'nin yaptığı kavşak iyileştirme çalışmalarında sinyalize kavşak performanslarının arttırılmasında kavşak kontrol fazlarının doğru seçilmesinin önemli bir kriter olduğu belirtilmiştir. Özellikle kavşak noktalarında yaya ve taşıt kesişimlerinden kaynaklı yapılan araştırmalarda, yol ağının güvenlik açısından irdelenmesinin çeşitli mikro trafik simülasyon yazılımlarının kullanılarak karşılaştırıldığını görüyoruz (Mahmud ve ark., 2018).

Bu bölümde, Psiko-Fiziksel Taşıt Takip Modelleri, Vissim Yazılımı ve Sosyal Kuvvet Modelleri ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

4.1. Psiko-Fiziksel Taşıt Takip Modeli

Psiko-fiziksel taşıt takip modeli, taşıtların ivmelenme değişikliklerine göre, taşıt sürücülerinin trafikte davranışlarını belirler. Şayet hız ve mesafede önceki koşullara göre bir değişme olursa taşıtlar tarafından bir reaksiyon gösterilir (Wiedemann, 1974). Psiko-fiziksel algı modeli, Şekil 4.1.'de özetlenmiştir.

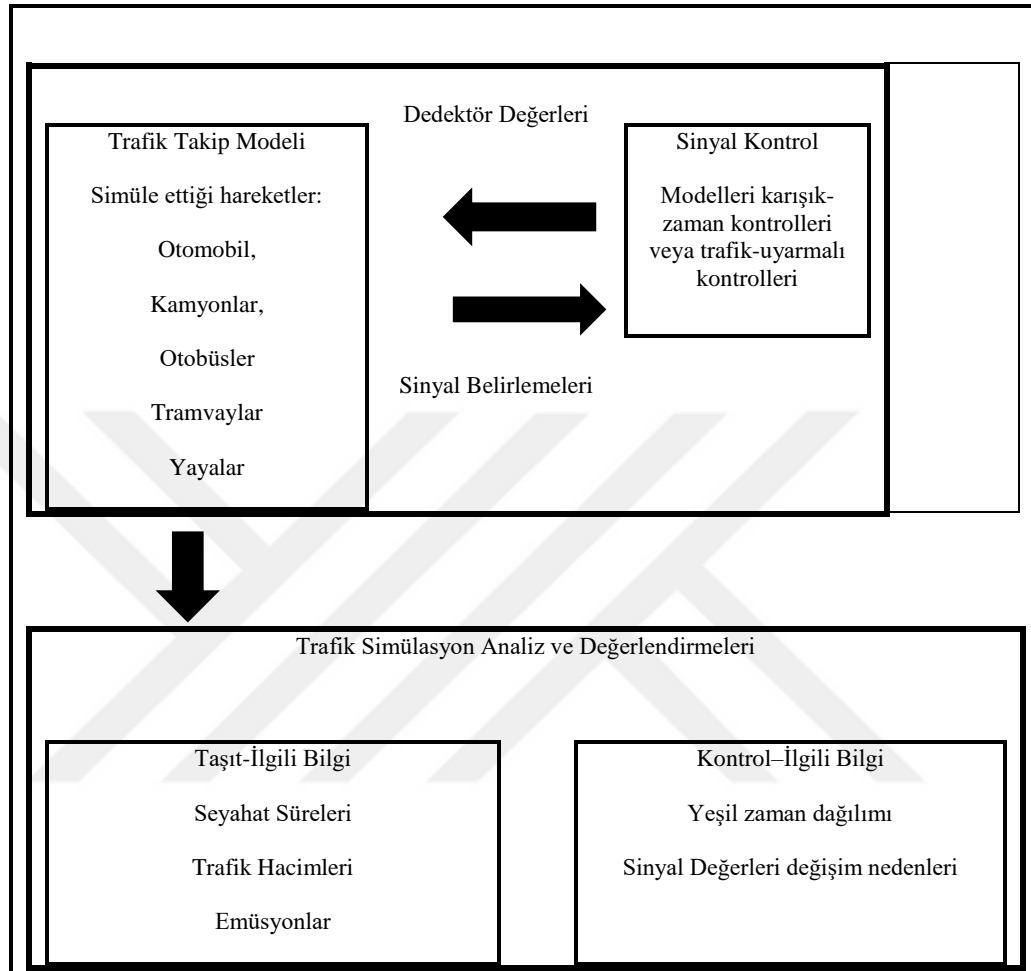


Şekil 4.1. Psiko-fiziksel taşıt takip modeli (Wiedemann, 1974).

4.2. PTV VISSIM Yazılımı

PTV VISSIM, bir mikro trafik simülasyon yazılımıdır. Bu yazılımın içinde kullanılan trafik akış modeli, sürücü-taşıt birimlerini temel alan stokastik, zaman aşamalı ve mikroskobik bir modeldir. Bu trafik akış modeli, psiko-fiziksel taşıt takip modeli için uzunlamasına taşıt hareketleri ve yanal hareketleri için kural tabanlı bir algoritma

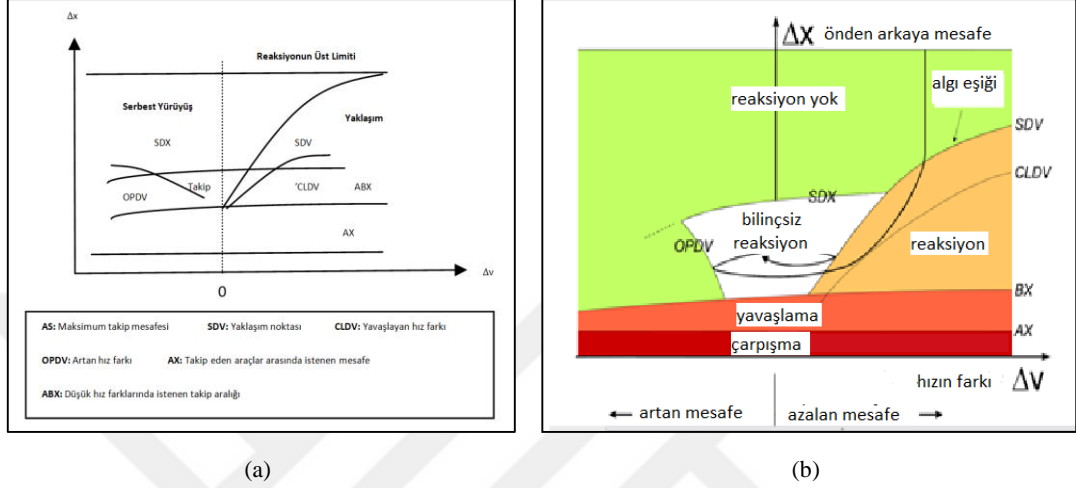
içermektedir. PTV VISSIM yazılımında trafik takip simülasyonu Şekil 4.2.'de verilmiştir (PTV, 2016).



Şekil 4.2. PTV VISSIM yazılımında trafik takip simülasyonu (PTV, 2016).

Wiedemann tarafından 1974 yılında psiko-fiziksel algı modeli geliştirilmiştir (Wiedemann, 1974). Wiedemann tarafından geliştirilen bu modele göre taşıtlar ağda trafik takip modeline göre hareket etmektedir. Trafik takip modelinin kalitesi, kaliteli bir simülasyonun temelini oluşturmaktadır. Piyasada bulunan diğer mikro trafik simülasyonları büyük ölçüde sabit hız ve deterministik taşıt takip modeli kullanırken, VISSIM yazılımı Wiedemann tarafından geliştirilen psiko-fiziksel algı modeli üzerine çalışmaktadır (PTV, 2016).

Fritzsche (1994) tarafından geliştirilen trafik simülasyon modelindeki eşik değerler Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Wiedemann ve Reiter (1992) tarafından geliştirilen taşıt takip modelinde ise farklı eşikler ve rejimler söz konusudur. Bu farklı eşikler ve rejimler Şekil 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Eşik Değerler, (a) Fritzsche modelinde eşik değerler (Fritzsche, 1994), (b) Wiedemann modelinde eşikler ve rejimler (PTV, 2016).

Wiedeman (1974) tarafından geliştirilen modelde aşağıdaki formülasyonlar kullanılmaktadır (Güler, 2018).

Takip eden taşıtlar arasında istenen mesafe (AX), Denklem 4.1 ile ifade edilir.

$$AX = L_{n-1} + AX_{add} + RND1_n \cdot AX_{mult} \quad (4.1)$$

Burada;

AX_{add} ve AX_{mult} : Kalibrasyon parametreleri,

$RND1_n$: Sürücüyü ilgili bir parametredir.

Düşük hız farklarında istenen minimum takip mesafesi (ABX), Denklem 4.2 ile ifade edilir.

$$ABX = AX + BX$$

$$BX = (BX_{add} + BX_{mult} \cdot RND1_n) \cdot \sqrt{v}AX \quad (4.2)$$

Burada;

BXadd ve BXmult: Kalibrasyon parametreleridir.

Hız (v) Denklem 4.3 ile belirlenir.

$$v = \begin{cases} v_{n-1} & \text{for } v_n > v_{n-1} \\ v_n & \text{for } v_n \leq v_{n-1} \end{cases} \quad (4.3)$$

Maksimum takip mesafesi (SDX) Denklem 4.4 ile ifade edilir. Mesafe, minimum takip mesafesinin 1.5 ve 2.5 katı arasında değişir ve Denklem 4.5 ile ifade edilir.

$$SDX = AX + EX \cdot BX \quad \text{ve} \quad (4.4)$$

$$EX = EXadd + EXmult \cdot (NRND - RND2_n) \quad (4.5)$$

Burada;

EXadd ve EXmult: Kalibrasyon parametreleri,

NRND: Rastgele bir sayı,

RDN2_n: Sürücü ile ilgili parametredir.

Yaklaşım Noktası (SDV) değeri Denklem 4.6 ve Denklem 4.7 kullanılarak elde edilir.

$$SDV = \left(\frac{\Delta x - L_{n-1} - AX}{CX} \right)^2 \quad (4.6)$$

$$CX = CXconst \cdot (CXadd + CXmult \cdot (RND1_n + RND2_n)) \quad (4.7)$$

Burada;

CXcons, CXadd, CXmult: Kalibrasyon parametreleridir.

Yavaşlama hız farkı (CLDV): VISSIM'de CLDV değeri basit olarak SDV'ye eşit alınır.

Artış hızı farkı (OPDV) Denklem 4.8 kullanılarak elde edilir.

$$OPDV = CLDV. (-OPDVadd - OPDVMult. NRND) \quad (4.8)$$

Burada;

OPDVadd ve OPDVMult: Kalibrasyon parametreleri,

NRND: Rastgele bir sayıdır.

Yukarıdaki eşik değerler ile oluşturulan rejimler:

4.2.1. İzleme

Hızlanma ve yavaşlama oranı b_{null} Denklem 4.9 ile ifade edilir.

$$b_{null} = BNULLmult. (RND4_n + NRND) \quad (4.9)$$

Burada;

BNULLmult: Kalibrasyon parametresi,

RND4_n: Sürücü parametresi,

NRND: Rastgele bir sayıdır.

4.2.2. Serbest sürüş

Otomobiller için maksimum ivmelenme değeri Denklem 4.10 ve Denklem 4.11 kullanılarak elde edilir.

$$b_{max} = BMAXmult. (v_{max} - v. FaktorV) \quad (4.10)$$

$$FaktorV = \frac{v_{max}}{v_{des} + FAKTORVMult - (v_{max} - v_{des})} \quad (4.11)$$

Burada;

v_{max} : Taşıtların maksimum hızı,

FAKTORVMult: Kalibrasyon parametresidir.

4.2.3. Yakınlaşma

Yavaşlama ivmesi Denklem 4.12 ile bulunur.

$$b_n = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\Delta v)^2}{ABX - (\Delta x - L_{n-1})} + b_{n-1} \quad (4.12)$$

Burada;

b_{n-1} : b_{n-1} : Lider aracın yavaşlama ivmesidir.

4.2.4. Acil rejim

Acil rejim değeri Denklem 4.13 ve Denklem 4.14 kullanılarak hesaplanabilir.

$$b_n = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\Delta v)^2}{AX - (\Delta x - L_{n-1})} + b_{n-1} + b_{min} \cdot \frac{ABX - (\Delta x - L_{n-1})}{BX} \quad (4.13)$$

4.2.5. Taşıt maksimum yavaşlama oranı

$$b_{min} = -BMINadd - BMINmult \cdot RND3_n + BMINmult \cdot v_n \quad (4.14)$$

Burada;

BMINadd ve BMINmult: Kalibrasyon parametreleri,

RND3: Sürücü parametresidir.

4.3. Sosyal Kuvvet Yöntemi

Sosyal kuvvet modeli, 1995 yılında Helbing ve Molnar tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde, bir yayanın farklı türdeki motivasyonları ve çevre etkileri bir dizi kuvvetler olarak tanımlanmaktadır.

Günümüzde kullanılan, yaya ve taşıt simülasyon yazılımlarından biri olan VISSIM, Wiedemann (1974) tarafından geliştirilen model sayesinde çalışmaktadır. Böylece

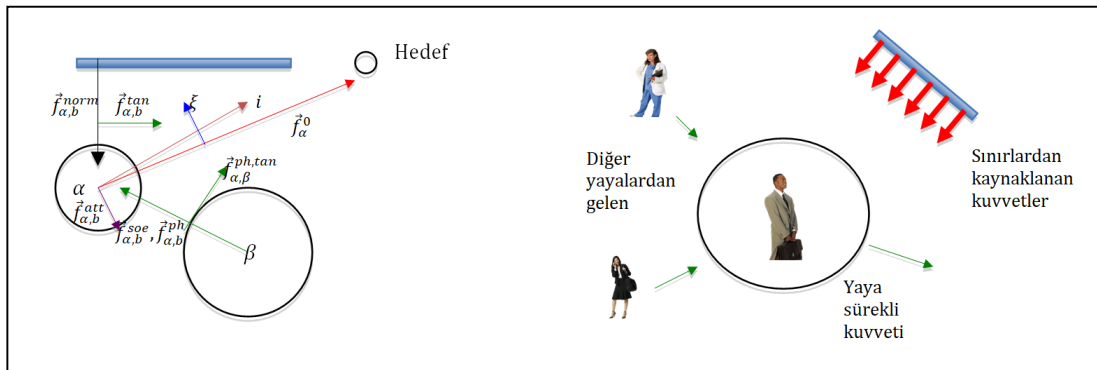
taşıt ve yaya etkileşimleri gerçeğe yakın bir şekilde simüle edilebilmektedir. VISSIM yazılımı, havaalanı, gar, konser alanı gibi yaya hareketlerinin yoğun olduğu ortamlarda sadece yaya odaklı bir simülasyon ve analiz yapılmasına imkan sağlamaktadır (PTV, 2016). Simülasyonu gerçekleştirirken Helbing tarafından geliştirilmiş olan Sosyal kuvvet metodunu kullanılır (Helbing ve Molnar, 1995).

Bu modelde bir yayanın farklı türdeki motivasyonları ve çevre etkileri bir dizi kuvvetler olarak tanımlanır. Newton dinamiğinde birim kütle kavramına benzer bir durum söz konusudur. Sosyal kuvvet modeli, pek çok kuvveti içerir ve bu kuvvetler yayanın belirli bir hedefe yönelmiş olmasından dolayı ortaya çıkarlar (Marko, 2004).

Yayalar normal durumlarda;

- Yayalar normal olarak en kısa yolu tercih ederler.
- Yayalar yaş, cinsiyet, engeller, çevre koşulları vb. durumlar çerçevesinde bireysel bir hızda hareket ederler. Bu hız, Gauss dağılımına uygundur.
- Yayalar diğer yayalarla aralarına bir mesafe koyarlar. Bu mesafe yaya yoğunluğuna ve yürüme hızına bağlı olarak değişiklik gösterir.

Helbing tarafından geliştirilen Sosyal kuvvet modelinde bir yayaya etki eden çevresel kuvvetler Şekil 4.4.'te gösterilmiştir (Marko, 2004; Johansson ve diğ. 2007).



Şekil 4.4. Yayaya etki eden kuvvetler (Beyer ve ark., 2009).

Vissim tarafından kullanılan Sosyal kuvvet modeli normal şartlarda yaya üzerine etki eden kuvvetlerin toplamına eşittir ve Denklem 4.15 ile ifade edilir.

$$\frac{d\vec{v}_{\alpha t}}{dt} = \vec{f}_{\alpha}^0 + \sum_{\beta} \vec{f}_{\alpha\beta} + \sum_b \vec{f}_{\alpha\beta} + \sum_i \vec{f}_{\alpha\beta} + \sum_{\beta} \vec{f}_{\alpha\beta}^{\text{att}} + \xi \quad (4.15)$$

1995 yılında Helbing tarafından geliştirilen model sayesinde yaya hareketleri gerçeğe yakın bir şekilde modellenebilmektedir. Fakat denklemde gösterilen kuvvetlerin bazıları yaya simülasyonun oluşturulacağı senaryolara göre değişiklik gösterebilmektedir (Helbing ve Molnar, 1995).

4.3.1. Sürüklenme kuvveti

En belirgin kuvvet yayanın motivasyonundan kaynaklanan sürüklenme kuvvetidir. Yaya hedefine arzu ettiği hızla varmak isteyecektir. Bu kuvvet, aşağıdaki Denklem 4.16 ile ifade edilir (Marko, 2004; Schreckenberg ve Sharma, 2002).

$$\vec{f}_{\alpha}^0 = \frac{v_{\alpha}^0 \vec{e}_{\alpha}^0(t)}{\tau_{\alpha}} - \frac{\vec{v}_{\alpha}(t)}{\tau_{\alpha}} \quad (4.16)$$

Burada;

v_{α}^0 : Yayanın arzuladığı hızı,

\vec{e}_{α}^0 : Yayanın arzuladığı hareket doğrultusu,

τ_{α} : Yayanın gevşeme süresi,

$\vec{v}_{\alpha}(t)$: Yayanın gerçek hızı.

Yayanın arzuladığı hareket doğrultusu aşağıdaki Denklem 4.17 eşitliği kullanılarak hesaplanır (Marko, 2004; Werner ve Helbing, 2003).

$$\vec{e}_{\alpha}^0(t) = \frac{\vec{p} - \vec{x}_{\alpha}}{\|\vec{p} - \vec{x}_{\alpha}\|} \quad (4.17)$$

Burada;

\vec{x}_{α} : Yayanın anlık konumu,

\vec{p} : Arzulanan hedef konum

4.3.2. Diğer yayalarla etkileşim

Yaya, hareketi süresince diğer yayalarla etkileşim içinde olur. Bu etkileşim beraberinde bir kuvveti doğurur.

Bu kuvvet sosyo-psikolojik kuvvet ve fiziksel etkileşimler olmak üzere ikiye ayrılır ve Denklem 4.18 ile ifade edilir (Marko, 2004; Johansson ve ark., 2007).

$$\vec{f}_{\alpha\beta}(t) = \vec{f}_{\alpha\beta}^{SOC}(t) + \vec{f}_{\alpha\beta}^{ph}(t) \quad (4.18)$$

Yayalar arasında en önemli etkileşim, yayanın diğer yayalardan kendisini belirli bir mesafede tutmasıdır. Bu olay sosyal kuvvet modelinde itici sosyo-psikolojik kuvvet olarak ele alınır. İtme şiddeti etkileşim içinde olan yayalar arasındaki mesafeye bağlıdır. Düşük mesafelerde en yüksek değere sahiptir ve mesafe arttıkça sıfır değerine iner ve Denklem 4.19 ile ifade edilir.

$$\vec{f}_{\alpha\beta}^{SOC}(t) = A_{\alpha} \exp\left[\frac{r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}}\right] \vec{\eta}_{\alpha\beta} \cdot F_{\alpha\beta} \quad (4.19)$$

Burada;

A_{α} : Etkileşim gücü,

B_{α} : İtici güç aralığı,

$d_{\alpha\beta}$: Yayalar arasındaki mesafe,

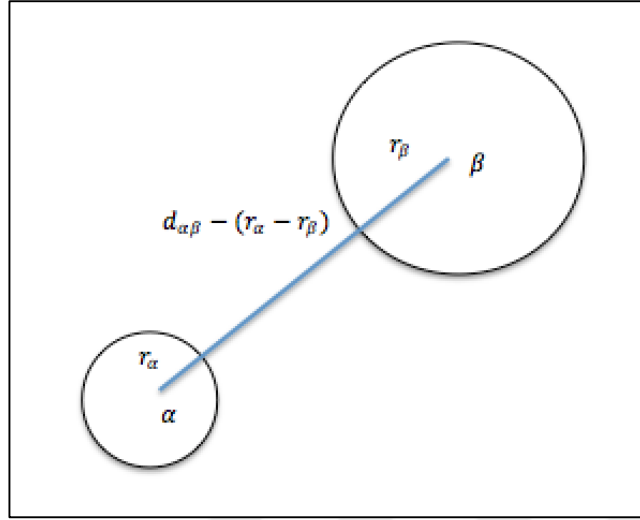
α, β : Yayalar,

$r_{\alpha\beta}$: Yarıçaplarının toplamı,

$\vec{\eta}_{\alpha\beta}$: α yayasından β yayasına normalize vektör,

$F_{\alpha\beta}$: Anizotropik davranışlarda form faktör

Şekil 4.5.'te etkileşim halinde olan iki yayayı göstermektedir. Her bir yaya işgal ettiği alan kadar bir yarıçapa sahiptir. Ekponensiyel fonksiyonda yayalar arasında işgal edilmeyen mesafe dikkate alınır (Marko, 2004; Werner ve Helbing, 2003).



Şekil 4.5. Etkileşim halinde olan iki yaya (Marko, 2004).

Yayalar arasındaki mesafe ve yaya hareketi normal olarak anizotropiktir. Anlamı, bir yayanın önündeki faaliyet arkasındaki faaliyetten daha önemlidir. İnsanlar diğer insanların hareketlerini tahmin edebilme yeteğine sahiptirler ve böylece diğerleri tarafından yapılacak hareketlere bağlı olarak hareket ederler.

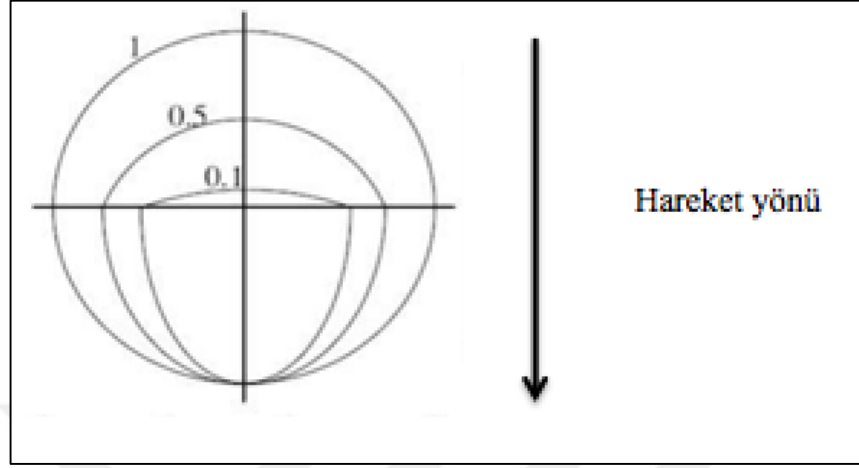
Sosyal kuvvet modelinde, yayanın görüş alanı içinde bulunan diğer yaya etkileri, yayanın görüş alanı dışındaki yaya etkilenenden daha büyük olacaktır. Bu davranışı modele katmak için bir form faktör kullanılır.

Bu faktör hareketin istenen yönü ve itici kuvvetin ortaya çıkardığı yaya yönü arasındaki açıya bağlıdır. Form faktör Denklem 4.20 ile ifade edilir (Marko, 2004; Werner ve Helbing, 2003).

$$F_{\alpha\beta} = \lambda_{\alpha} + (1 - \lambda_{\alpha}) \frac{1 + \cos(\varphi_{\alpha\beta})}{2} \quad (4.20)$$

Form faktörün çeşitli λ_{α} değerleri için alabileceği değerler Şekil 4.6.'da gösterilmiştir. $\lambda_{\alpha} < 1$ ise yaya hareketi anizotropik olarak dikkate alınır. Şayet itici bir kuvvet hareket yönünde mevcutsa α (ve β arasındaki açı sıfır olması durumu), etki en büyük değerini alır. ($F_{\alpha\beta}=1$). 0° - 90° ve 270° - 360° arası 90° - 270° derece aralığına göre daha büyük form

faktör değeri vardır ve böylece görüş alanı dışındaki yayaların etkisi daha azdır (Marko, 2004; Werner ve Helbing, 2003).



Şekil 4.6. Anizotropik yaya davranışı form faktörü (Marko, 2004; Werner ve Helbing, 2003).

Denklem 4.21 ile ifade edilen denklemin ikinci kısmı yayalar arasında fiziksel etkileşimler sonucu ortaya çıkar.

$$\vec{f}_{\alpha\beta}(t) = \vec{f}_{\alpha\beta}^{\text{SOC}}(t) + \vec{f}_{\alpha\beta}^{\text{ph}}(t) \quad (4.21)$$

Yayaların yarıçapları toplamı aralarındaki mesafeden büyükse bu etkileşim görülür. Bu durumda yayalar arasında fiziksel bir temas söz konusudur. Bu durum panik ve dar yerlerden geçen yayalar arasında görülür. Fiziksel etkileşimler vücut kuvveti ve kayma sürtünme kuvveti olmak üzere iki kuvvet şeklinde ortaya çıkarır. Vücut kuvveti karşı vücut kuvvetiyle karşılaşır. Yaya fiziksel zarar görmekten kaçınır. Bu kuvvet Denklem 4.22 ile hesaplanır (Marko, 2004; Johansson ve ark., 2007).

$$\text{Vücut kuvveti} = k\theta(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})\vec{n}_{\alpha\beta} \quad (4.22)$$

Kayma sürtünme kuvveti, yayaların diğer yayaları yüksek hız ve kısa mesafelerde geçmekten sakınmasından dolayı ortaya çıkar. Bu sebeple yayaların birbirlerine çarpmamak için göstermiş oldukları tepkilerden ortaya çıkan kayma sürtünme kuvveti Denklem 4.23 ile hesaplanır (Marko, 2004; Johansson ve ark., 2007).

$$\text{Kayma sürtünme kuvveti} = k\Theta(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})\Delta v_{\beta\alpha}^t \vec{t}_{\alpha\beta} \quad (4.23)$$

Vücut kuvveti ve kayma sürtünme kuvveti β yayasından α yayası üzerine etki eden fiziksel kuvvetin toplamıdır ve Denklem 4.24 ile ifade edilir (Marko, 2004; Schreckenberg ve Sharma, 2002).

$$\vec{f}_{\alpha\beta}(t) = k\Theta(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})\vec{n}_{\alpha\beta} + k\Theta(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})\Delta v_{\beta\alpha}^t \vec{t}_{\alpha\beta} \quad (4.24)$$

4.3.3. Sınırlarla etkileşim

Engeller ve sınırlar yaya hareketlerini etkilerler. Bir yaya benzer şekilde engel ve sınırlardan belli bir mesafede durmaya çalışır. Genel olarak bir oda birden fazla sınır ve engeller içerir. Engel ve sınırlarla ilgili üç model söz konusudur (Marko, 2004; Schreckenberg ve Scharma, 2002);

- Süperpozisyon: Tüm sınırlar ve engeller yayayı etkiler ve tüm kuvvetler toplanır.
- En kısa mesafeler: Yayaya en yakın sınır/engel dikkate alınır.
- En büyük etki: Sadece en büyük etkiye sahip sınır/engel dikkate alınır.

Kullanılacak model simülasyon yapılan koşula bağlı olarak değişir. Bir odada veya bir geçiş yolunda engelsiz bir durumun olmadığı şartlarda, en kısa mesafe modeli en büyük etki modeline eşittir. Açılı bir geçiş yolunda, süperpozisyon modelini kullanmak en doğrusudur. Yayalar geçiş yollarında ilerlerken yolun köşeli geçişlerinden kaçınırlar. Bu durum insanın tipik davranışını gösterir.

4.3.4. Çekici olaylar

Bazı çekici durumlar yaya davranışını etkileyebilir. Vitrinler, görüntülü olaylar veya diğer çekici olaylar yayayı kendine doğru yöneltebilir. Çekicilik zamana bağlıdır ve doğrusal olarak sıfırlanır. Bu çekici durumlar yayalar arasındaki sosyal kuvvette olduğu gibi modellenilebilir (Marko, 2004; Schreckenberg ve Sharma, 2002).

4.3.5. Grup etkisi

Yayalar genelde grup halinde yürürler. Ayrılma olması durumunda herhangi bir yaya diğerlerini toplamaya çalışır. Bu durum β yayasından α yayası üzerine sürekli bir çekim kuvveti gibi uygulanır. Grup etkisi Denklem 4.25 ile hesaplanır (Marko, 2004; Schreckenberg ve Scharma, 2002).

$$\vec{f}_{\alpha\beta} = -C_{\alpha\beta}\vec{n}_{\alpha\beta} \quad (4.25)$$

4.3.6. Simetrik olmayan değişimler ve bireysellik

Tüm yayalar bireysel bir davranış gösterirler ve bu hareket kabul edilen kurallardan farklılık gösterebilir. Bu davranış rastgele dalgalanan bir kuvvetle temsil edilir (ξ). Dalgalanma kuvveti, Gauss dağılımına uyar ve gidilen yöne diktir ve Denklem 4.26 ile ifade edilir (Marko, 2004; Schreckenberg ve Scharma. 2002).

$$\xi = \langle \vec{e}_{\alpha}^0, \vec{f}_{\alpha} \rangle X e_{\alpha}^{-1} \quad (4.26)$$

Burada;

\vec{f}_{α} : Yaya üzerine etki eden tüm sosyal kuvvetler,

X: Normal dağılım.

X'in yoğunluğu Denklem 4.27 ile ifade edilir.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (4.27)$$

BÖLÜM 5. OTOMATİK SİNYALİZE YAYA GEÇİDİNDE SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Kentiçi ulaşım sistemlerinde gelişmişlik düzeyi ile orantılı olarak artan taşıt ve yaya hareketliliğinin birbirleriyle etkileşim halinde oldukları en önemli nokta çoğu zaman yaya geçitleri olmuştur. Gelişmişlik düzeyi yüksek toplumlarda, bu yaya geçitleri trafik kurallarına uyma ile doğru orantılı olarak daha çok sinyalize olmayan zebra tipi yaya geçitleri olarak uygulanmaktadır. Oysaki gelişme aşamasındaki toplumlarda trafik kurallarına uyma oranı düşük olduğundan dolayı yaya geçitleri, üstgeçit ya da altgeçit şeklinde uygulanmaktadır. Fakat bu durumda da genellikle yayaların kullanma alışkanlıklarından dolayı bu kavşakların istenilen kullanma seviyelerine ulaşamadığı tespit edilmiştir (Anciaes ve Jones, 2017). Yaya geçitlerinin en yoğun konumlandırıldığı noktalardan olan eşdüzey kavşaklarda yaya geçidinin yeri genellikle alışlagelmiş bir şekilde kavşak kollarında bulunan sinyalizasyon ışıklarının hemen arkası olmaktadır.

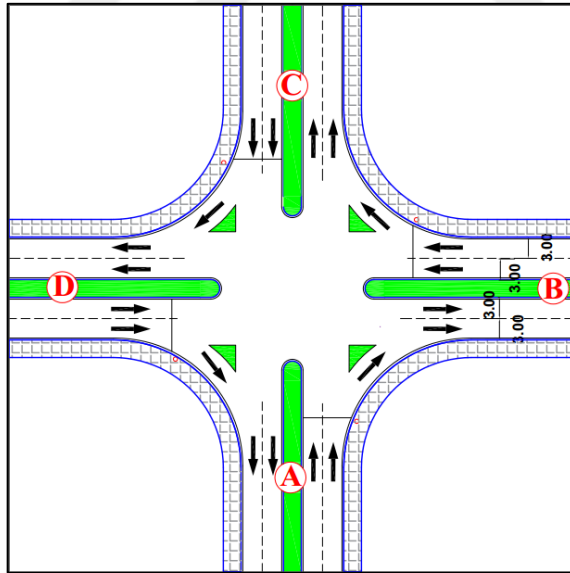
Inman ve Davis (2007), sinyalize dönel kavşaklarda bulunan yaya geçitlerinin ülkelere göre değişen tasarımı ile ilgili yaptığı çalışmada; İngiltere’de bulunan dönel kavşaklarda yaya geçitlerinin kavşak kolunda bulunan orta refüjde şaşırtmalı olarak uygulandığını tespit etmiştir. Özellikle dünya konjonktüründe pelikan tipi yaya geçitlerinin şaşırtmalı olarak uygulanmasının en büyük avantajlarından birinin yaya güvenliğinin artırılması olduğu anlaşılmaktadır. Duran ve Ceheu (2012) çalışmasında, dünya ölçeğinde daha çok sinyalizasyonsuz olarak teşkil edilen dönel kavşakların girişinde bulunan yaya geçitlerinin konumlarının ve yaya hacminin kavşak performansına etkisini araştırmış olup, sonraki çalışmalarda sinyalize kavşaklarda bulunan yaya geçitlerinin konumlarının etkisinin araştırılması gerekliliğinden bahsetmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda, genellikle sinyalize kavşaklardaki yaya geçitlerini kullanan yaya ve sürücülerin davranışlarının kavşak performansına

etkisinin araştırıldığı saptanmıştır (Alhajyaseen ve ark., 2011; Marisamynathan ve Perumal, 2014).

Bu bölümde, standartlara uygun olarak tasarlanmış sinyalize şehirçi dört kollu eşdüzey bir kavşak olduğu varsayılarak Vissim mikro trafik simülasyon yazılımı yardımı ile yaya geçidinin konumu değiştirilerek taşıt ve yaya trafiğinin kavşak performansı üzerine etkileri simüle edilerek incelenmiştir.

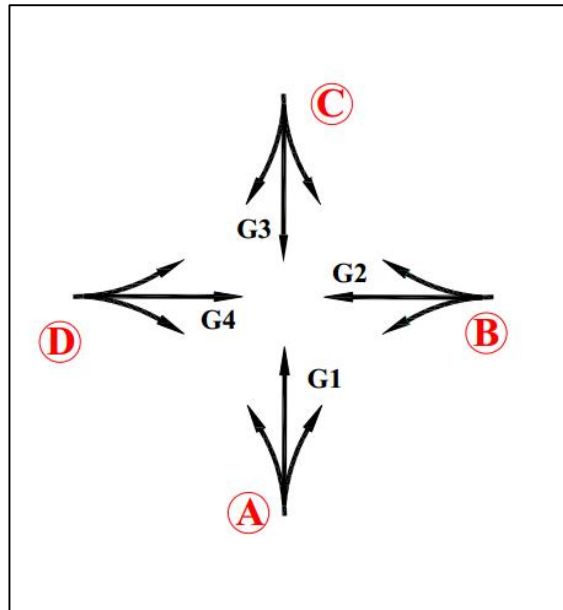
5.1. Yaya Akımsız, Sinyalize Kavşak Durumu

Dört kollu sinyalize kavşağın optimize sinyal devre süresini tespit etmek için kavşak yaya akımı olmadan kurgulanmıştır. Her bir kavşak yaklaşım kolu (A, B, C, D) yeterli miktarda trafik akımı oluşturarak simülasyonda gerçekçi değerler vermesi açısından 200 m uzunluğunda çizilmiştir. Kavşak kolları 3,00'er m'lik şerit genişliğinde olup çift şeritten oluşmaktadır. Orta refüj adası 2,50 m genişliği olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Sinyalize eşdüzey kavşak.

Tasarlanan kavşak yaklaşım kollarındaki taşıt trafik akım yönleri ve grupları Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.



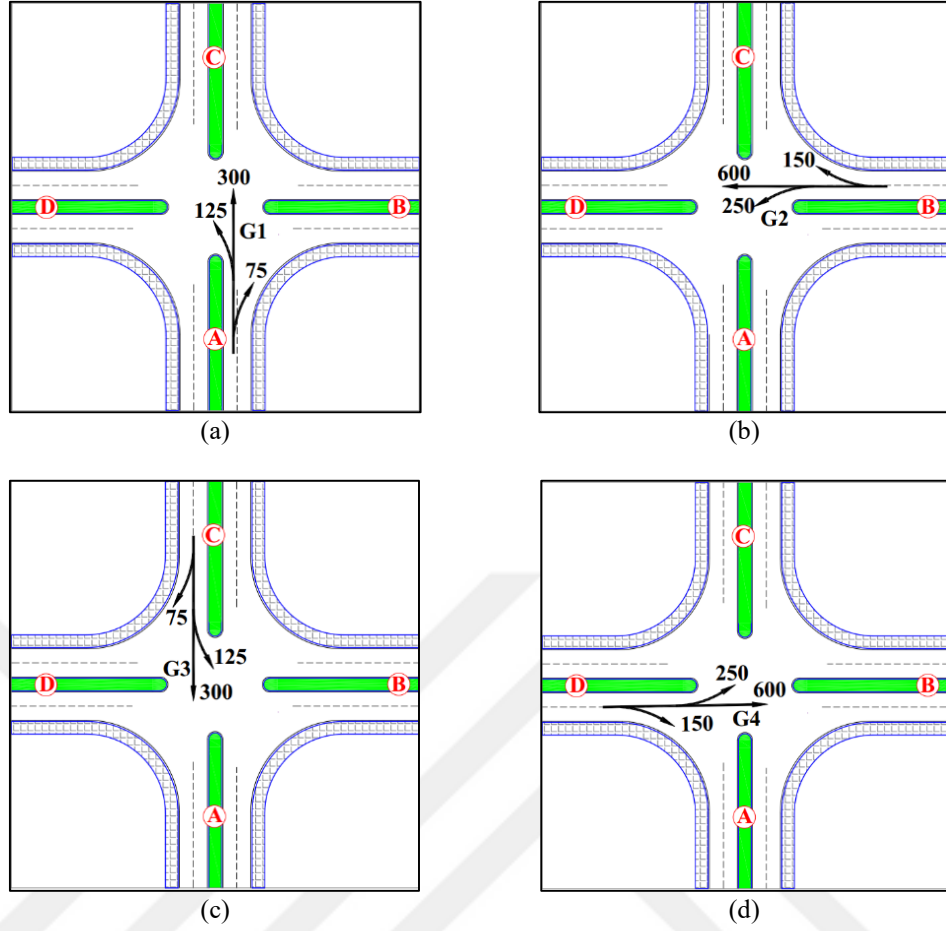
Şekil 5.2. Kavşak yaklaşım kollarındaki trafik akım grupları ve yönleri.

Kavşak hacmi; A ve C yaklaşım kollarında 1000 ta/sa, B ve D yaklaşım kollarında ise 500 ta/sa alınmıştır. Her bir yaklaşım kolunda saatlik taşıt hacimlerinin % 15'i sağa dönüşlerden, % 60'ı direk yolculuklardan, % 25'i ise sola dönüşlerden oluşmaktadır (Tablo 5.1.).

Tablo 5.1. Kavşak kollarındaki hacim değerleri (ta/sa)

| | A | B | C | D | TOPLAM |
|--------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| A | 0 | 75 | 300 | 125 | 500 |
| B | 250 | 0 | 150 | 600 | 1000 |
| C | 300 | 125 | 0 | 75 | 500 |
| D | 150 | 600 | 250 | 0 | 1000 |
| TOPLAM | 700 | 800 | 700 | 800 | 3000 |

Çalışma alanı olarak gösterilen kavşak kolları üzerindeki saatlik taşıt hacimleri sırasıyla Şekil 5.3.'te gösterilmiştir. Saatlik hacim değerleri içerisindeki taşıt tipleri Vissim yazılımındaki ön tanımlı Tablo 5.2.'de gösterilen oranlara göre hesaplanmıştır.

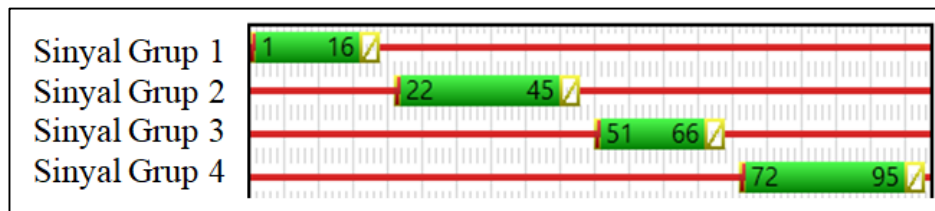


Şekil 5.3. Yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri (ta/sa).

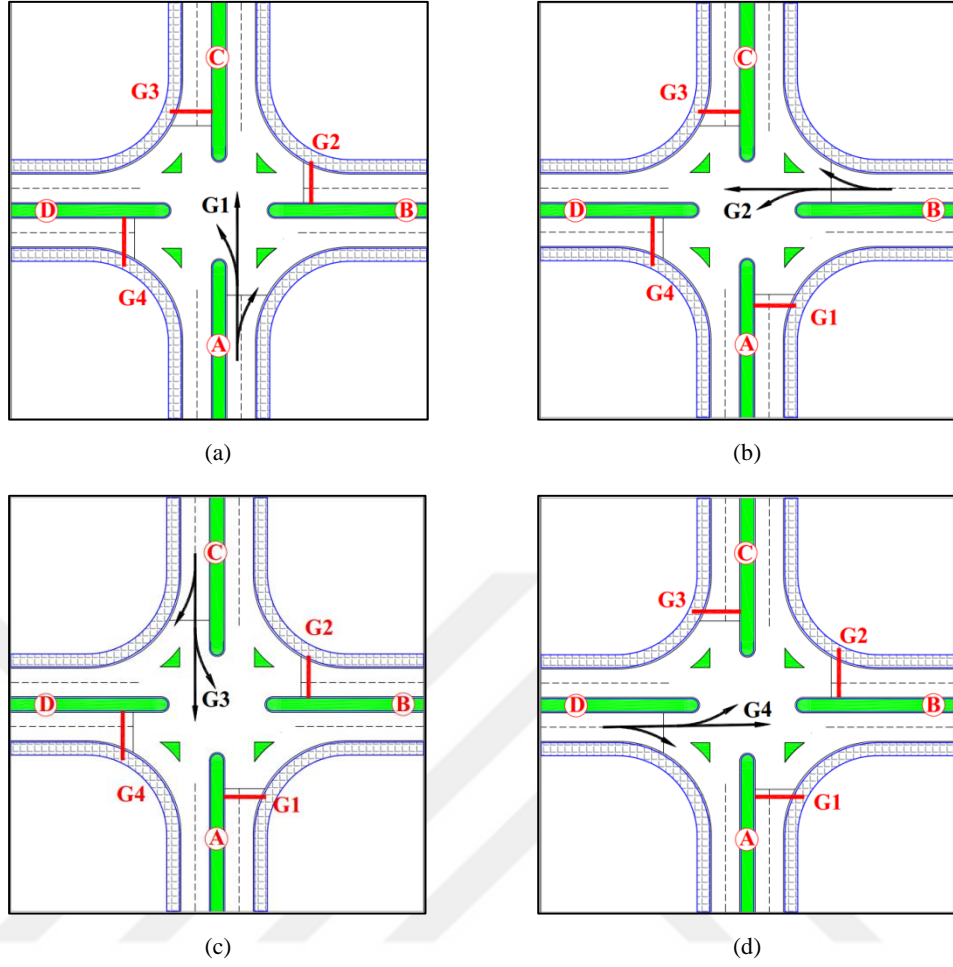
Tablo 5.2. Yaklaşım kollarındaki taşıt türlerinin trafik hacmine oranı

| Sıra | Taşıt Türü | Yüzdesi |
|------|------------------------------------|---------|
| 1 | Otomobil | % 98 |
| 2 | Ağır Taşıt (Kamyon, Kamyonet, vb.) | % 2 |

Şekil 5.4.'te yaya hacmi olmadan optimize edilmiş 99 sn'lik devre diyagramı gösterilmiştir. Şekil 5.5.'te ise yaya geçidi sinyalizasyon direklerinin kavşağın iç kısmına yani 0 m mesafede bulunan eşdüzey kavşağın yaklaşım kollarındaki sinyal faz grupları gösterilmektedir.

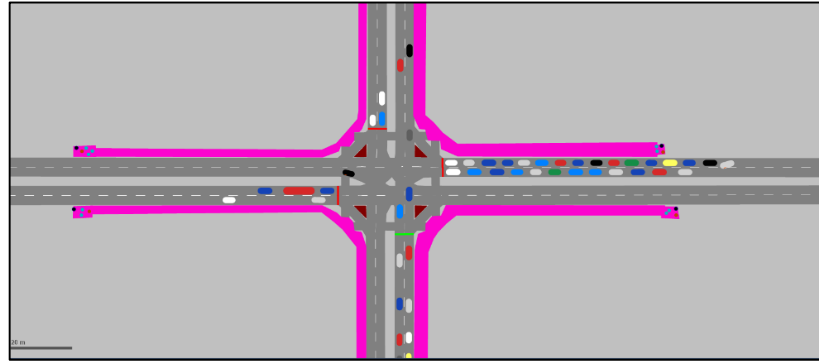


Şekil 5.4. Yaya geçersiz durumda optimum devre diyagramı.



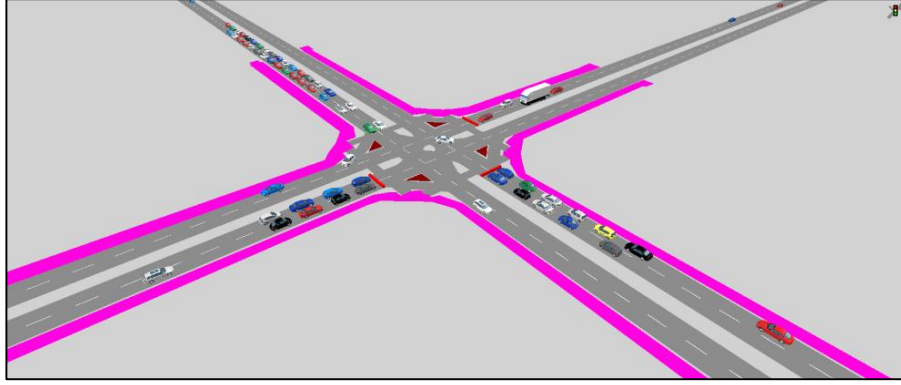
Şekil 5.5. Yaya geçersiz durumda fazlar, (a) Faz 1, (b) Faz 2, (c) Faz 3, (d) Faz 4.

Tasarlanan kavşağın Vissim simülasyon yazılımında performans değerlendirilmesi için yapılan analiz çalışması sırasındaki iki boyutlu ve üç boyutlu görselleri Şekil 5.6.'da gösterilmiştir.



(a)

Şekil 5.6. Yaya geçersiz durumda simülasyon görüntüleri, (a) 2Dgörüntü, 897.sn, (b) 3D görüntü, 2297.sn.



(b)

Şekil 5.6. (Devamı).

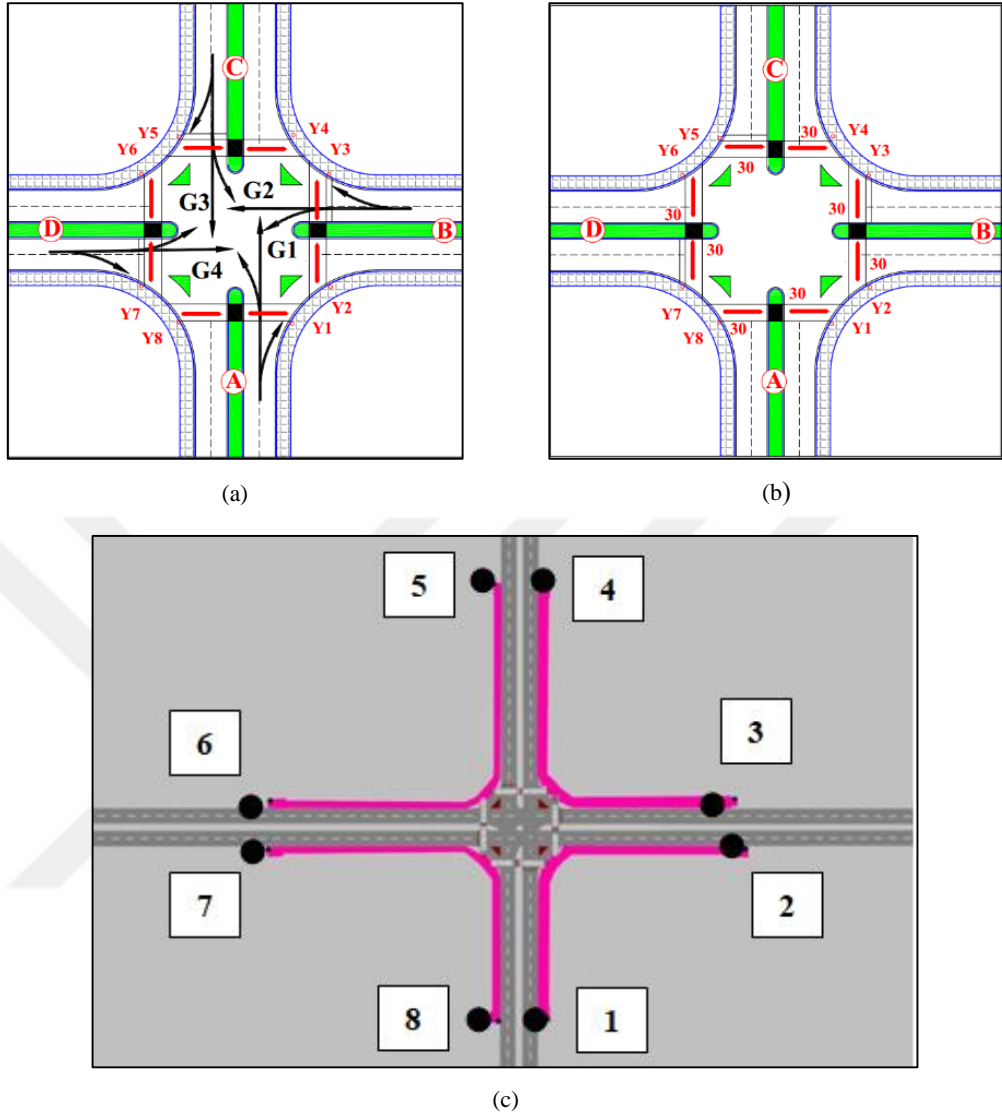
Kavşak kollarındaki taşıt hacmine göre optimize edilen 99 sn devre süresi sonucu Tablo 5.3.'teki performans değerleri elde edilmiştir.

Tablo 5.3. Yaya geçitsiz durumda sinyalize kavşak performans değerleri

| Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme Süresi (sn) | Ortalama Taşıt Hızı (km/sa) |
|----------------------|--|--------------------------------|
| 99 sn | 41,00 | 26,43 |

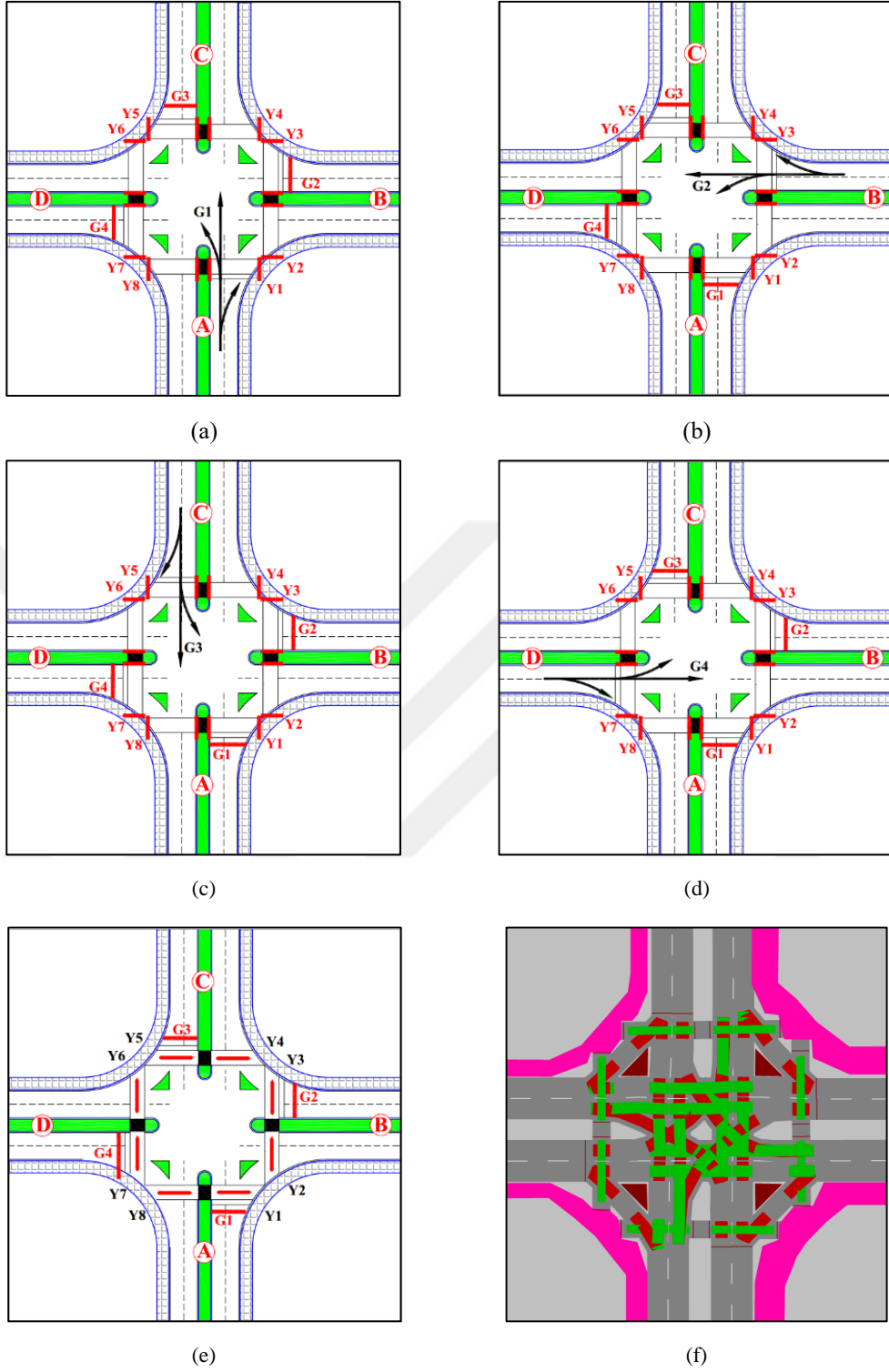
5.2. Yaya Geçidinin 0.m'de Olması Durumu

Otomatik sinyalize yaya geçidinin, eşdüzey kavşağın yaklaşım kollarında, kavşak giriş noktasına konarak 0.m'de olması durumu olarak isimlendirilmiştir (Şekil 5.7.(a)). Tablo 5.1.'deki taşıt hacim değerleri ve Şekil 5.3.'teki taşıt akım yönlerine ek olarak Şekil 5.7.(b)'de belirtildiği şekilde sekiz noktadan saatte 30 yaya toplamda 240 ya/sa sinyalize kavşağa giriş yapılmıştır.



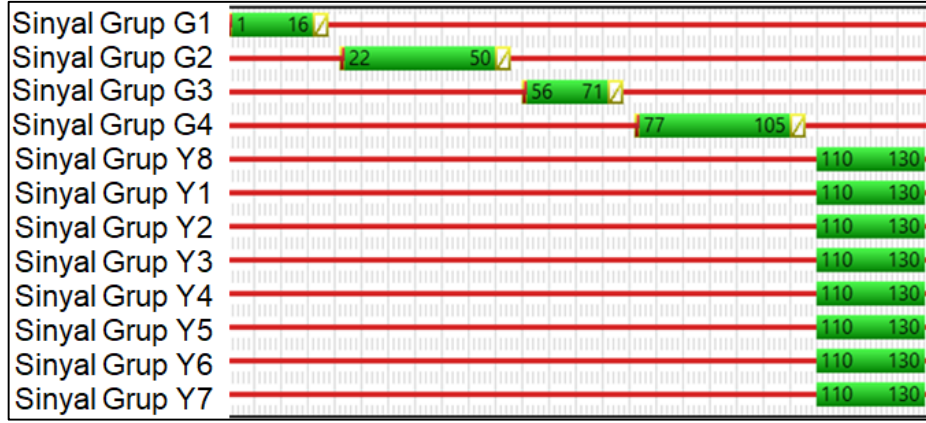
Şekil 5.7. 0.m’de olması durumu özellikleri, (a) Sinyal grupları, (b) Yaya hacim değerleri, (c) Yayaların modele giriş noktaları.

Optimum devre süresini bulmak amacıyla Şekil 5.8. (a, b, c, d, e)’deki taşıt fazlarına göre simülasyon çalışmaları uygulanmıştır. Ayrıca Şekil 5.8. (f)’de sinyalize kavşakta bulunan taşıt ve yayaların kesişim noktaları ve öncelik durumları gösterilmiştir.



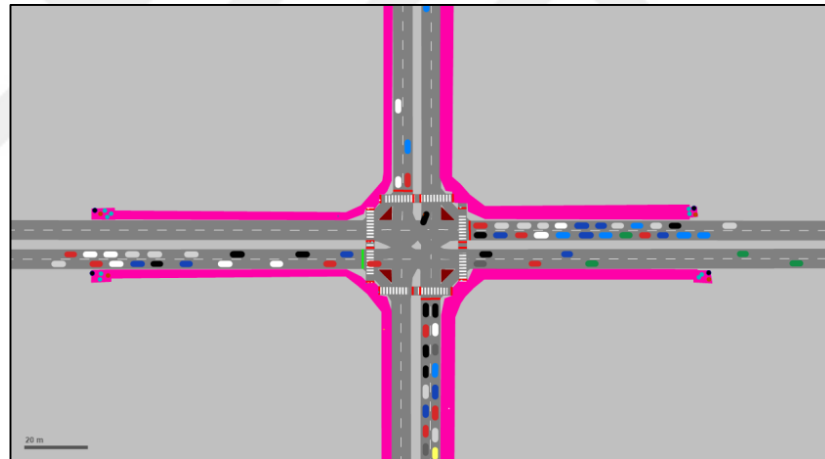
Şekil 5.8. 0.m'de olması durumu fazları, (a) Faz 1, (b) Faz 2, (c) Faz 3, (d) Faz 4, (e) Faz 5, (f) Taşıt-yaya etkileşim noktaları.

Kavşak devre süresi için yapılan çalışmalarda optimum devre süresi 131 sn olarak bulunmuştur. Şekil 5.9.'da 131 sn'lik devre diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 5.9. 0.m'de olması durumu optimum devre diyagramı.

Kavşak yaklaşım kollarında 0.m mesafeye yerleştirilen otomatik yaya geçitlerinin Vissim simülasyon yazılımında performans değerlendirilmesi için yapılan analiz çalışması iki boyutlu (a) ve üç boyutlu (b) görselleri Şekil 5.10.'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.10. 0.m'de olması durumu simülasyon görüntüleri, (a) 2D görüntü, 874.sn, (b) 3D görüntü, 2695.sn.

Otomatik sinyalizasyon yaya geçişinin 0.m’de olduğu sinyalizasyon kavşağının optimum devre süresi hesap edilirken ilk olarak Tablo 5.3.’te bulunan 99 sn optimum devre süresine blok yaya fazı olarak 22 sn eklenerek 121 sn’deki taşıt başı ortalama gecikme değeri olan 144,56 sn bulunmuştur.

Ardından yapılan çeşitli simülasyon çalışmaları sonucu 131 sn’lik optimum devre süresinde, taşıt başı ortalama gecikme süresinin 95,89 sn olduğu tespit edilmiştir. Aynı devre süresinde modellenen kavşak ağını kullanan yayalar için ortalama yaya yolculuk süresi de 421,07 sn olmaktadır (Tablo 5.4.).

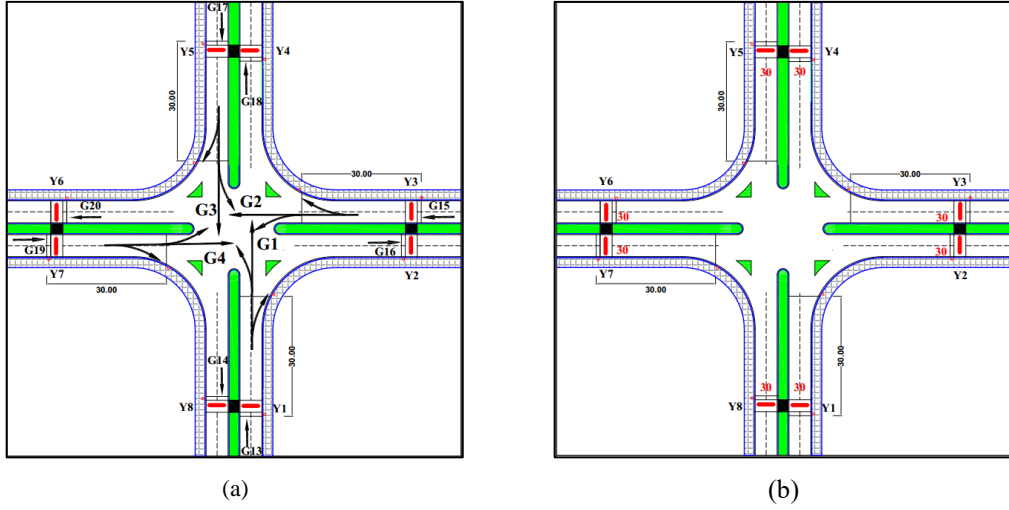
Tablo 5.4. 0.m’de olması durumu performans değerleri

| Yaya Geçidinin Kavşağa Olan Mesafesi (m) | Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme (sn) | Ortalama Taşıt Hızı (km/sa) | Ortalama Yaya Yolculuk Süresi (sn) | Ortalama Yaya Hızı (m/sn) |
|--|-------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 0 | 121 | 144,56 | 11,48 | 289,88 | 2,37 |
| 0 | 131 | 95,89 | 15,69 | 310,80 | 2,53 |

5.3. Yaya Geçidinin 30.m’de Olması Durumu

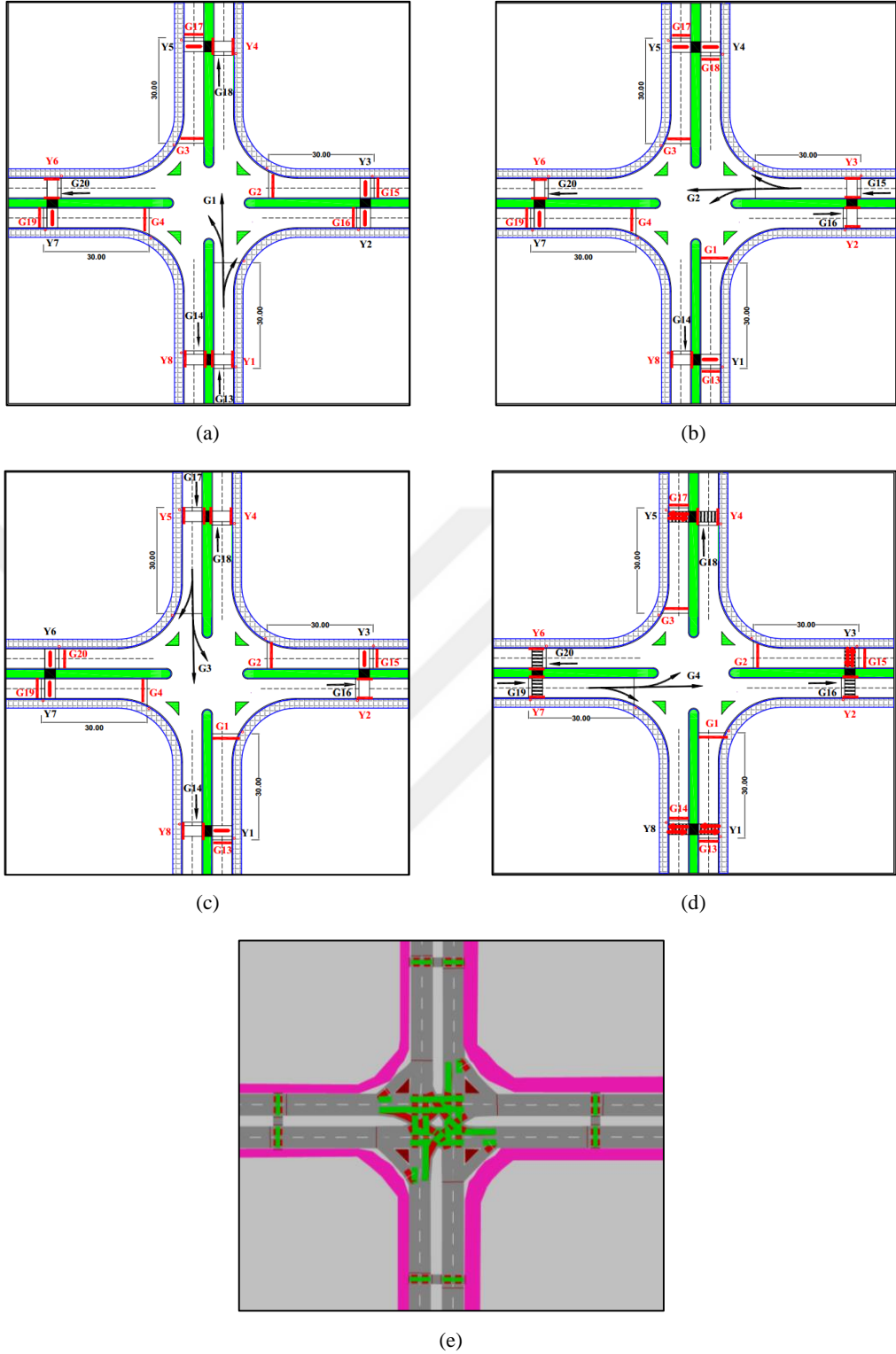
Bölüm 5.2.’de üzerinde durulan durma çizgisinin 0.m konumunda olmasının ardından kavşak yaklaşım kollarındaki otomatik sinyalizasyon yaya geçitlerini, yaklaşım kollarındaki konumlarından 30 m daha geriye konumlandırılmıştır. Otomatik sinyalizasyon yaya geçidi sinyalizasyon kavşağının devre süresi ile koordineli bir şekilde çalışması sağlanmıştır.

Şekil 5.11. (a) ve (b)’de yaya geçidinin 0.m konumundan, yaklaşım kolunda 30 m mesafe geriye çekilmesiyle oluşan sinyal grupları ve Şekil 5.11. (c)’de yaya hacimleri gösterilmiştir.



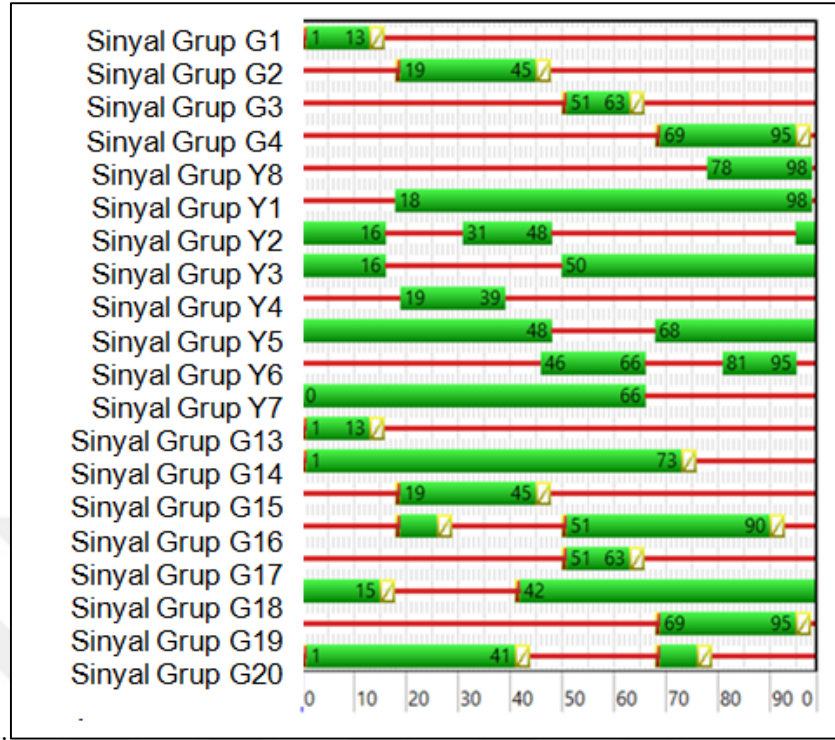
Şekil 5.11. 30.m’de olması durumu özellikleri, (a) Sinyal grupları, (b) Yaya hacim değerleri, (c) Yayaların modele giriş noktaları.

Şekil 5.12. (a, b, c, d)’de sinyalizasyon fazları ile 5.12. (e)’de sinyalizasyon kavşağında bulunan taşıt ve yayaların kesişim noktaları ve öncelik durumları gösterilmiştir.



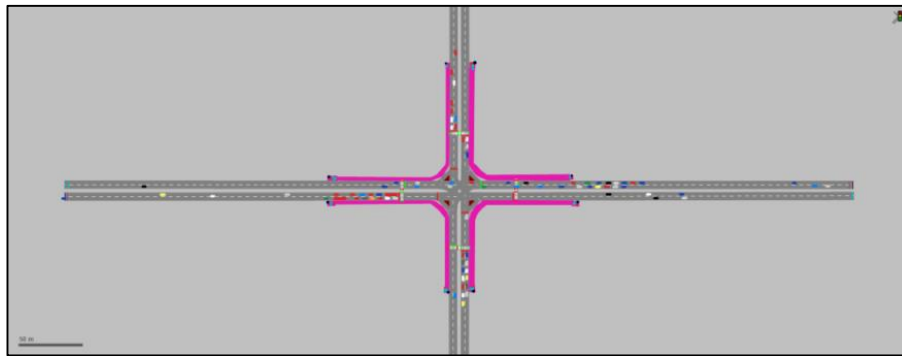
Şekil 5.12. 30.m’de olması durumu fazları, (a) Faz 1, (b) Faz 2, (c) Faz 3, (d) Faz 4, (e) Taşıt-yaya etkileşim noktaları.

Kavşak devre süresi için yapılan çalışmalarda optimum devre süresi 99 sn olarak bulunmuştur. Şekil 5.13.’te 99 sn’lik devre diyagramı gösterilmiştir.



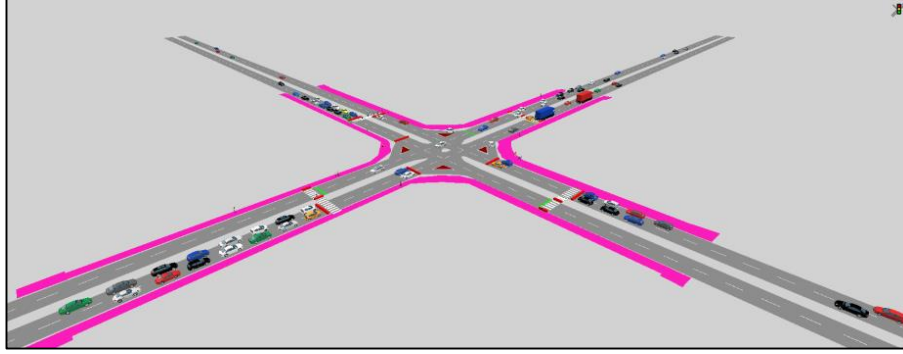
Şekil 5.13. 30.m'de olması durumu optimum devre diyagramı.

Kavşak yaklaşım kollarında 30 m mesafe geriye yerleştirilen otomatik sinyalize yaya geçitlerinin Vissim simülasyon yazılımında performans değerlendirilmesi için yapılan analiz çalışması için iki boyutlu ve üç boyutlu görselleri Şekil 5.14.'te gösterilmiştir.



(a)

Şekil 5.14. 30.m'de olması durumu simülasyon görüntüleri, (a) 2D görüntü, 921.sn, (b) 3D görüntü, 2303.sn.



(b)

Şekil 5.14. (Devam).

Kavşak kollarındaki taşıt hacim ve 30.m’de bulunan yaya geçidini kullanan taşıt hacmine göre 131 sn olan devre süresi optimizasyon sonucu elde edilen 99 sn devre süresine göre Tablo 5.5.’te performans değerleri verilmiştir.

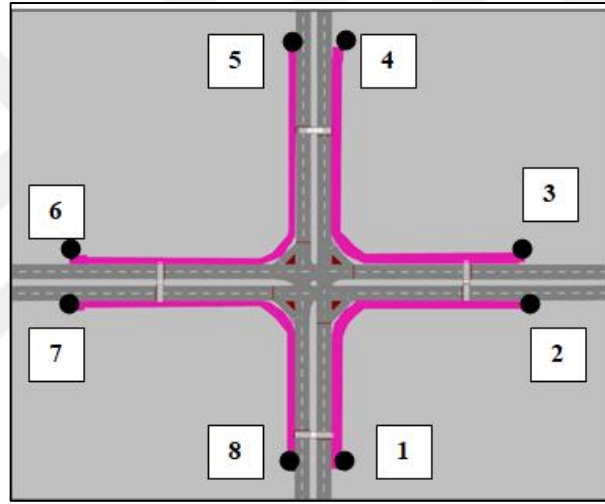
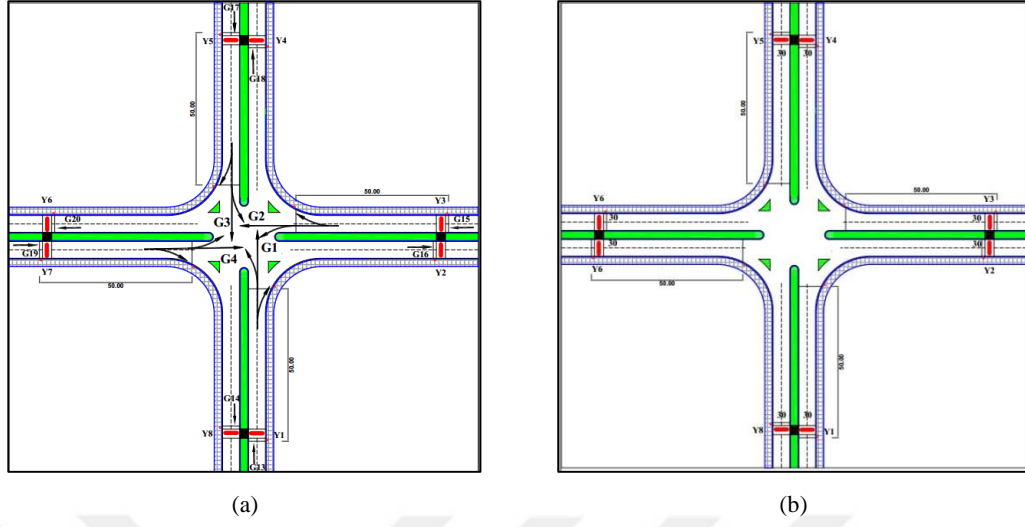
Tablo 5.5. 30.m’de olması durumu performans değerleri

| Yaya Geçidinin Kavşağa Olan Mesafesi (m) | Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme (sn) | Ortalama Taşıt Hızı (km/sa) | Ortalama Yaya Yolculuk Süresi (sn) | Ortalama Yaya Hızı (m/sn) |
|--|-------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 30 | 131 | 118,49 | 13,32 | 240,88 | 3,14 |
| 30 | 99 | 59,13 | 21,63 | 234,10 | 3,24 |

5.4. Yaya Geçidinin 50.m’de Olması Durumu

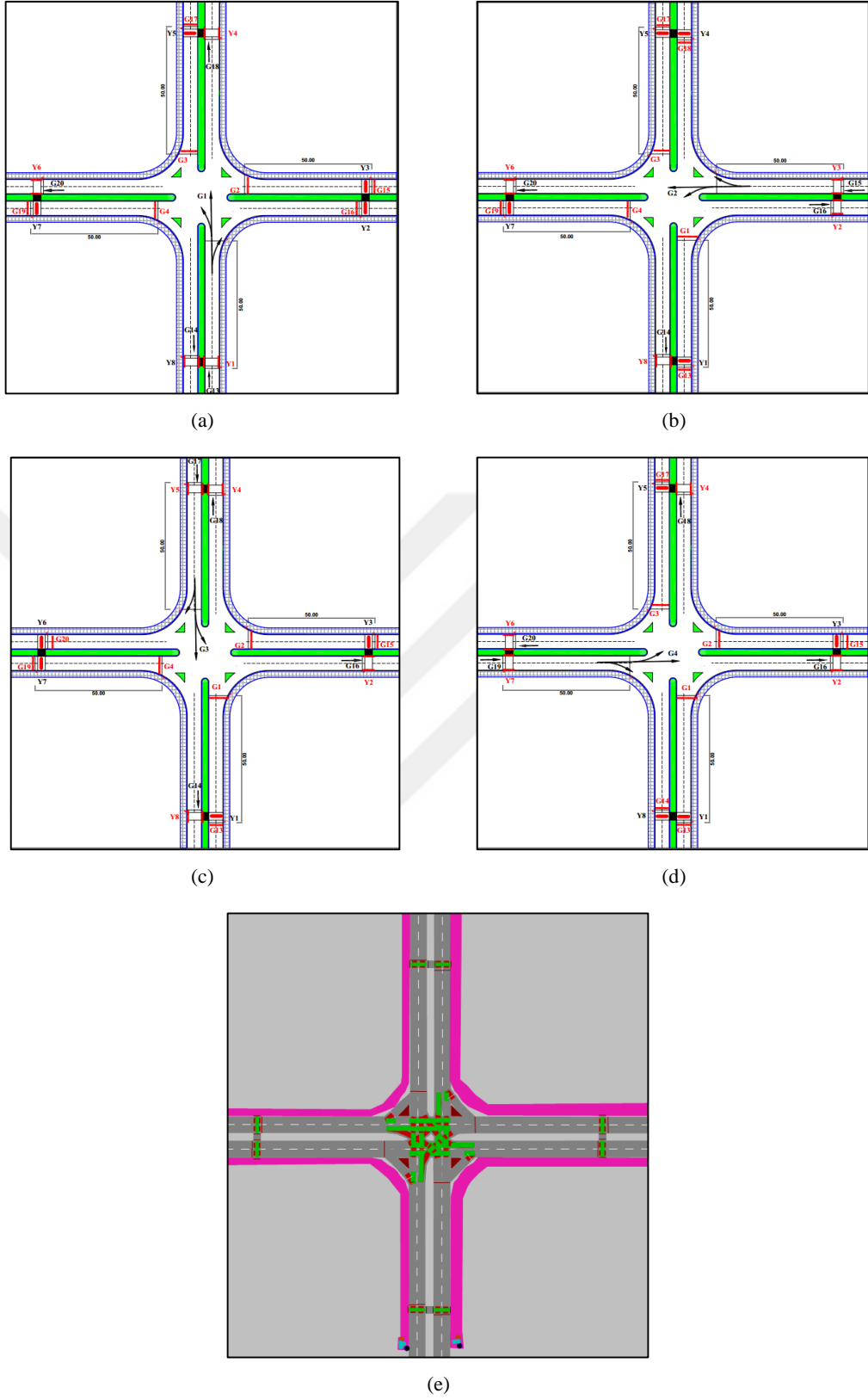
Bölüm 5.2.’deki hacim ve sinyal grupları kullanılarak otomatik yaya geçidinin kavşak yaklaşım kolunun 0 noktasından 50 m geriye çekilmesiyle oluşan durumun modellemesi için kavşak tasarımı yapılarak Vissim programında simülasyonu yapılmıştır.

Şekil 5.15.’te yaya geçidini kullanan yaya akımlarının yönleri ve hacimleri ile yayaların modele giriş noktaları gösterilmiştir.



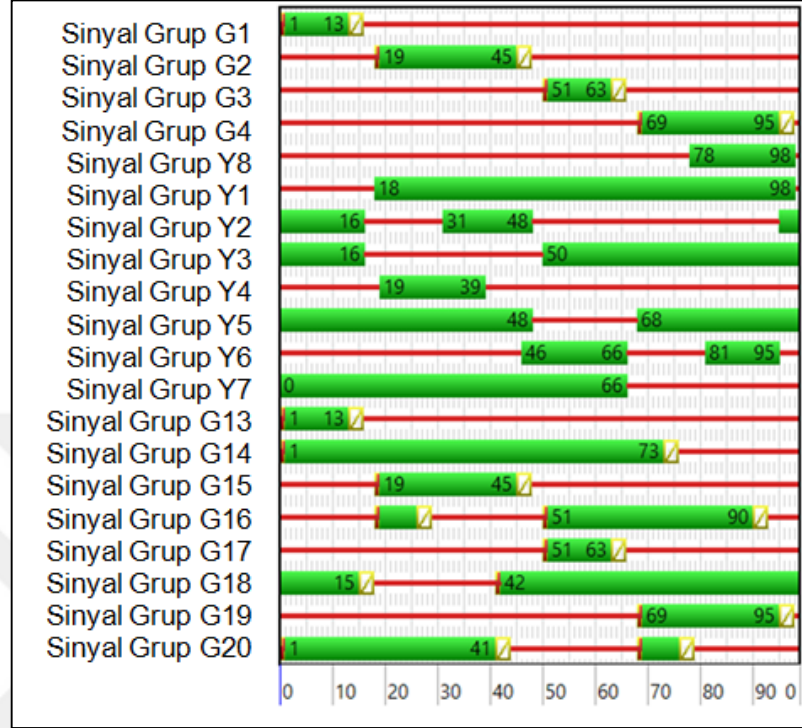
Şekil 5.15. 50.m'de olması durumu özellikleri, (a) Sinyal grupları, (b) Yaya hacim değerleri, (c) Yayaların modele giriş noktaları.

Şekil 5.16.'da uygulanan sinyal fazları ve taşıt-yaya çakışma noktaları ile öncelikleri gösterilmiştir.



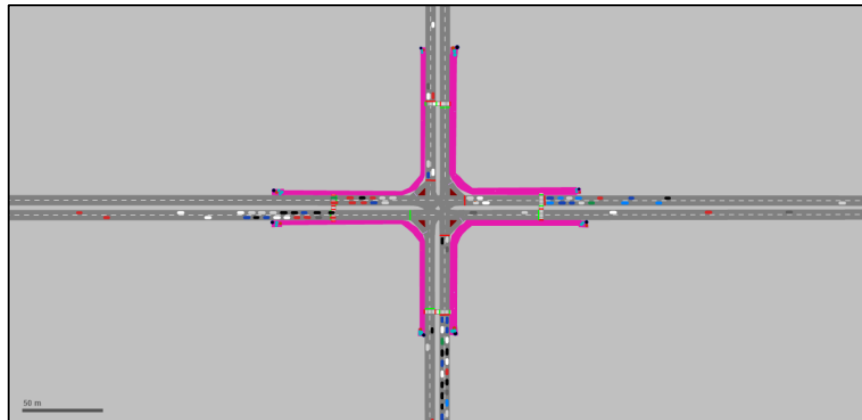
Şekil 5.16. 50.m'de olması durumu fazları, (a) Faz 1, (b) Faz 2, (c) Faz 3, (d) Faz 4, (e) Taşıt-yaya etkileşim noktaları.

Kavşak devre süresi için yapılan çalışmalarda optimum devre süresi 99 sn olarak bulunmuştur. Şekil 5.17.'de 99 sn'lik devre diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 5.17. 50.m'de olması durumu optimum devre diyagramı.

Kavşak yaklaşım kollarında 50 m mesafe geriye yerleştirilen yaya geçitlerinin Vissim simülasyon yazılımında performans değerlendirilmesi için yapılan analiz çalışması için üç boyutlu ve iki boyutlu görselleri Şekil 5.18.'de gösterilmiştir.



(a)

Şekil 5.18. 50.m'de olması durumu simülasyon görüntüleri, (a) 2D görüntü, 862.sn, (b) 3D görüntü, 3143.sn.



(b)

Şekil 5.18. (Devamı).

Kavşak kollarındaki taşıt hacim ve 50.m'de bulunan yaya geçidini kullanan taşıt hacmine göre optimize edilen 99 sn devre süresi sonucu Tablo 5.6.'da performans değerleri verilmiştir.

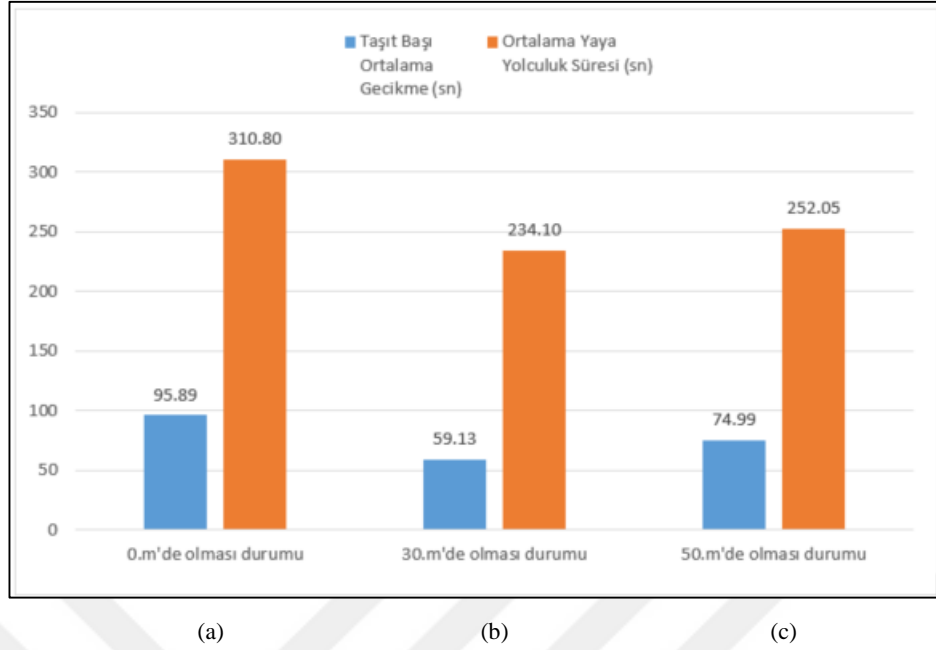
Tablo 5.6. 50.m'de olması durumu performans değerleri

| Yaya Gecidinin Kavşağa Olan Mesafesi (m) | Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme (sn) | Ortalama Taşıt Hızı (km/sa) | Ortalama Yaya Yolculuk Süresi (sn) | Ortalama Yaya Hızı (m/sn) |
|--|-------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 50 | 131 | 140,42 | 11,68 | 260,67 | 3,19 |
| 50 | 99 | 74,99 | 18,64 | 252,05 | 3,27 |

Taşıt başı ortalama gecikme süresinin 30.m'de bulunmasından daha uzun olarak 74,99 sn olduğu tespit edilmiştir. Aynı devre süresinde modellenen kavşak ağını kullanan yayalar için ortalama yaya yolculuk süresi de 252,05 sn olarak 30.m'de hesaplanan ortalama yaya yolculuk süresinden daha uzun mesafede modeli kullanan yayaların seyahetlerini tamamladığı anlaşılmıştır (Tablo 5.6.).

5.5. Simülasyon Sonuçlarının Analiz Edilmesi

Kurgusal olarak tasarlanan dört kollu eşdüzey kavşak üzerinde yapılan simülasyon çalışmaları sonucu bulunan değerlerden bazıları Şekil 5.19.'da verilmiştir.



Şekil 5.19. Performans değerleri, (a) 0.m olması durumu, (b) 30.m olması durumu, (c) 50.m olması durumu.

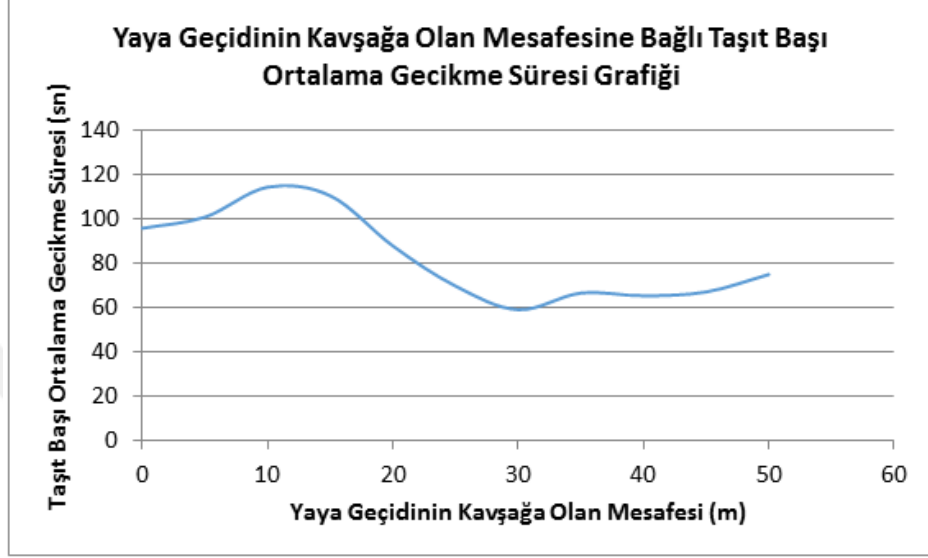
Yapılan detaylı analizlerde durma çizgisinin 0'dan 50.m'ye kadar her 5'er m'lik ara noktalardaki değerleri ayrıca saptanarak bulunan optimum devre sürelerindeki performans sonuçları Tablo 5.7.'de verilmiştir.

Tablo 5.7. 0.m ile 50.m arasındaki performans sonuçları

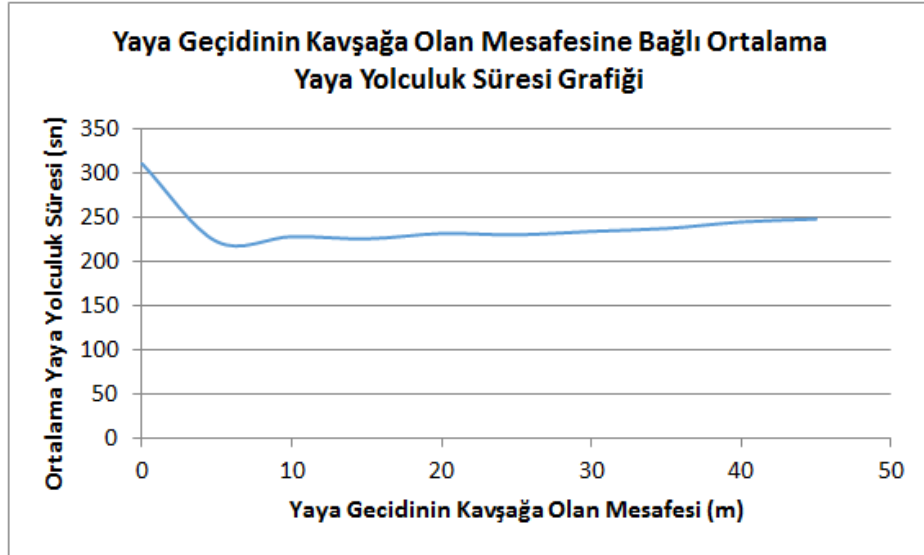
| Yaya Gecidinin Kavşağa Olan Mesafesi (m) | Devre Süresi (sn) | Taşıt Baş Ortalama Gecikme (sn) | Ortalama Taşıt Hızı (km/sa) | Ortalama Yaya Yolculuk Süresi (sn) | Ortalama Yaya Hızı (m/sn) |
|--|-------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| - | 99sn | 41,00 | 26,43 | - | - |
| 0 | 121 | 144,56 | 11,48 | 289,88 | 2,53 |
| 0 | 131 | 95,89 | 15,69 | 310,80 | 2,37 |
| 5 | 131 | 100,96 | 15,08 | 222,47 | 3,07 |
| 5 | 99 | 194,84 | 8,88 | 225,06 | 3,11 |
| 10 | 131 | 114,48 | 13,73 | 228,22 | 3,06 |
| 10 | 99 | 164,59 | 10,31 | 222,45 | 3,13 |
| 15 | 99 | 110,56 | 14,11 | 225,68 | 3,15 |
| 20 | 99 | 87,87 | 16,63 | 231,71 | 3,14 |
| 25 | 99 | 69,78 | 19,54 | 230,19 | 3,23 |
| 30 | 99 | 59,13 | 21,63 | 234,10 | 3,24 |
| 35 | 99 | 66,64 | 20,12 | 237,37 | 3,24 |
| 40 | 99 | 65,40 | 20,34 | 244,80 | 3,22 |
| 45 | 99 | 67,14 | 20,02 | 248,13 | 3,24 |
| 50 | 99 | 74,99 | 18,64 | 252,05 | 3,27 |

Tablo 5.7.'de bulunan değerler açısından yaya geçidi bulunan kavşakların optimizasyon sonucu elde edilen performans değerlerinin özetlendiği taşıt başı

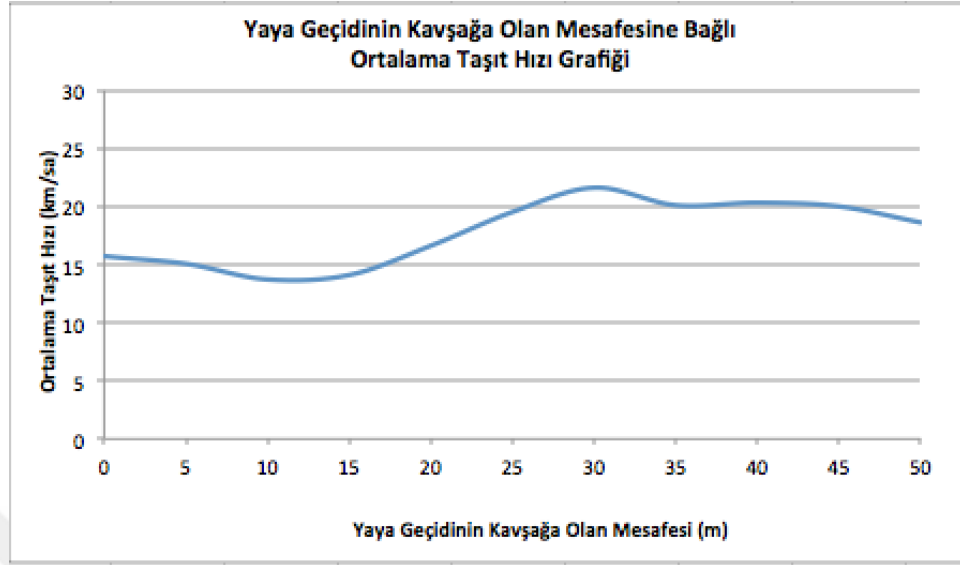
ortalama gecikme–yaya geçidinin kavşağa olan mesafesi, ortalama yaya yolculuk süresi–yaya geçidinin kavşağa olan mesafesi ve taşıt başı ortalama gecikme–hız parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 5.20., Şekil 5.21. ve Şekil 5.22.’de verilmiştir.



Şekil 5.20.Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı taşıt başı ortalama gecikme süresi grafiği.



5.21. Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı ortalama yaya yolculuk süresi grafiği.



Şekil 5.22. Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı ortalama taşıt hızı grafiği.

Dört kollu sinyalize eşdüzey kavşak üzerinde bulunan otomatik sinyalize yaya geçidinin konumunun değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, yaya geçidinin kavşak içerisinde bir diğer ifade ile durma çizgisinin 0 konumunda bulunması durumunda optimum devre süresi 131 sn olup, taşıt başı ortalama gecikme değeri 95,89 sn olarak elde edilmiştir.

Otomatik sinyalize yaya geçidinin kavşak yaklaşık konumundan geriye doğru çekilmesi durumunda ilk 15 m' ye kadar taşıt başı gecikme değerlerinde ise bir iyileşme olmazken 20.m'den sonra düşmeye başlamaktadır. İyileşme oranları Tablo 5.8.'de verilmektedir.

Yaya geçidi 30.m'ye konumlandırıldığında 99 sn'lik optimum devre süresinde gecikme değeri 59,13 sn ile en düşük seviyesine ulaşarak 0 konumuna göre % 38'lik bir iyileşme meydana geldiği tespit edilmiştir. Eğer yaya geçidi kavşak kolunda 30 m'den 50.m'ye çekilmeye devam edilirse taşıt başı ortalama gecikme değeri artış göstererek 50.m'de 99 sn'lik devre süresinde 74,99 sn'ye ulaşmaktadır. Bu sonuç ile ilk duruma göre sadece % 22'lik bir iyileşme söz konusu olmaktadır.

Tablo 5.8. 0.m ile 50.m arasındaki performans sonuçlarının (%) değişimleri

| Yaya Geçidi Konumu | Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme Süresi Değişimi (%) | Ortalama Taşıt Hızı Değişimi (%) | Ortalama Yaya Yolculuk Süresi Değişimi (%) | Ortalama Yaya Hızı Değişimi (%) |
|--------------------|-------------------|---|----------------------------------|--|---------------------------------|
| | | 0.m | 0.m | 0.m | 0.m |
| 10.m | 99 | -71 | -34 | 28 | 32 |
| 30.m | 99 | 38 | 38 | 25 | 37 |
| 35.m | 99 | 31 | 28 | 24 | 37 |
| 50.m | 99 | 22 | 19 | 19 | 38 |

Aynı durumlar; taşıtlar için karşılaştırılsa 0 konumunda ortalama hız değeri 15,69 km/sa iken yaya geçidinin 30 m geriye çekilmesi durumunda hız % 37 iyileşerek 21,63 km/sa ile en iyi değere ulaşmaktadır. Eğer durma çizgisi kavşak yaklaşım kolundan 50 m geriye çekilirse ise ilk duruma göre hız % 20 artışla 18,64 km/sa olarak gerçekleşmektedir.

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen verileri kavşağı kullanan yaya performansı üzerine değerlendirildiğinde; sinyalize yaya geçidinin kavşak içerisinde bulunması durumunda optimum devre süresinde ortalama yaya yolculuk süresi 310,80 sn olurken, 10.m'de 222,45sn ile en düşük seviyesine gerileyerek % 28 iyileşme göstermektedir.

Durma çizgisi, 30 m geriye çekildiğinde bu süre 234,10 sn ile ilk duruma göre % 25'lik bir iyileşme tespit edilmektedir. Eğer durma çizgisi kavşak içinden 50.m'ye doğru geri çekilmeye devam edilirse ortalama yaya yolculuk süresi artarak 50.m'de ilk duruma göre sadece % 19 iyileşerek 252,05 sn olmaktadır.

Yaya hızları kıyaslandığında ise 0.m'de 2,37 m/sa olarak gerçekleşen ortalama yaya hızı, yaya geçidinin konumunun uzaklaştırılmasıyla artmaya başlayarak 30. ve 35.m'de 3,24 m/sn'ye değerine ulaşarak ilk duruma göre yaklaşık % 37 iyileşme göstermektedir. Fakat yaya geçidi 50.m'ye doğru geri çekilmeye devam edilirse ortalama yaya hızı % 38 ile sabit kalmaktadır.

BÖLÜM 6. ÇORLU İLÇESİ UYGULAMASI

Kentlerimizdeki en büyük trafik sorunlarının oluşma sebeplerinden birinin yeni imara açılan bölgelerde taşıt trafiğinin hızla ani bir şekilde artışı olduğunu belirtirken, bir diğerinin ise alışveriş merkezi gibi yoğun yaya talebini yoğun bir şekilde çeken bölgelerin şehrin trafik talebini değiştirmesinden kaynaklı olduğunu söyleyebiliriz. Bununla birlikte, şehiriçi ulaşım sistemlerimizde raylı sistem altyapıları yeterli seviyelerde değildir. Bu durumdan ötürü, halen yolculukların büyük bir kısmı karayolu ile yapılmaktadır. Karayolu taşıtlarının hızlı artış göstermesiyle şehiriçi trafik hareketliliğinin artması trafik yoğunluğuyla birlikte trafiğin işletilmesi sorunları ortaya çıkmaktadır.

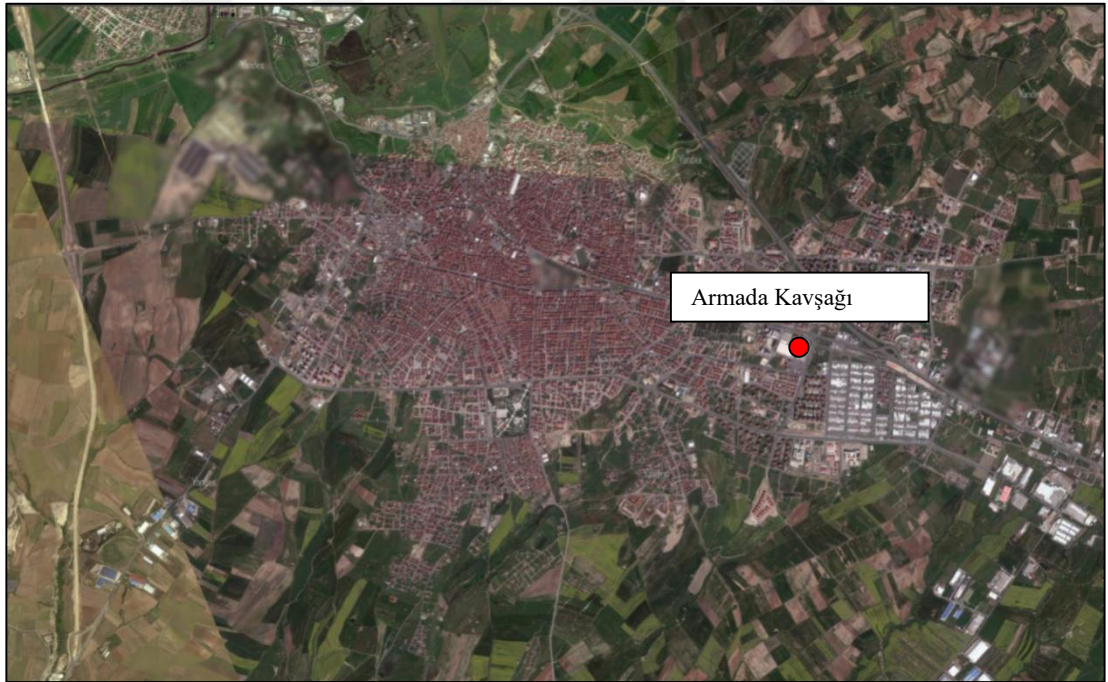
Karayolunda, yolcu güvenliği ve düzenli trafik akımı sağlanması amacıyla yaşanan en büyük trafik işletme sorunu da genellikle sinyalize eşdüzey kavşaklarda uygun devre sürelerinin işletilememesiyle birlikte taşıtlarda gereksiz beklemler oluşmasıdır. Bu durumda, kavşak bütününde taşıt gecikme sürelerinin değerleri artmakta, bununla doğru orantılı olarak taşıt hızları da azalmaktadır. Sonuç olarak, sinyalize kavşakların trafik kuralları çerçevesinde minimum gecikme ve maksimum hız olacak şekilde geometrik düzenlemelerin yapılması ve devre sürelerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, uzun bekleme sürelerinden kaynaklı olarak fazla fosil yakıt tüketimi ve yüksek emisyon değerleri gibi ekonomik ve çevresel sorunlar ortaya çıkabilmektedir (Wilshire, 1992).

Bu bölümde uygulama çalışması için, Bölüm 5'te yapılan kurgusal çalışmayla elde edilen sonuçlar çerçevesinde, Çorlu İlçesi'nde bulunan bir adet sinyalize eşdüzey kavşakta toplanan trafik verilerinin mevcut durum analizi yapılmış ve mikro ölçekli trafik simülasyon yazılımında da modellenmesi yapılmıştır. Kavşak içerisinde bulunan otomatik sinyalize kavşağın yaklaşım kollarındaki konumunun değiştirilmesi sonucu

oluşturulacak senaryoların kavşak performansına olan etkileri üzerine analizler yapılmıştır.

6.1. Çalışma Alanı

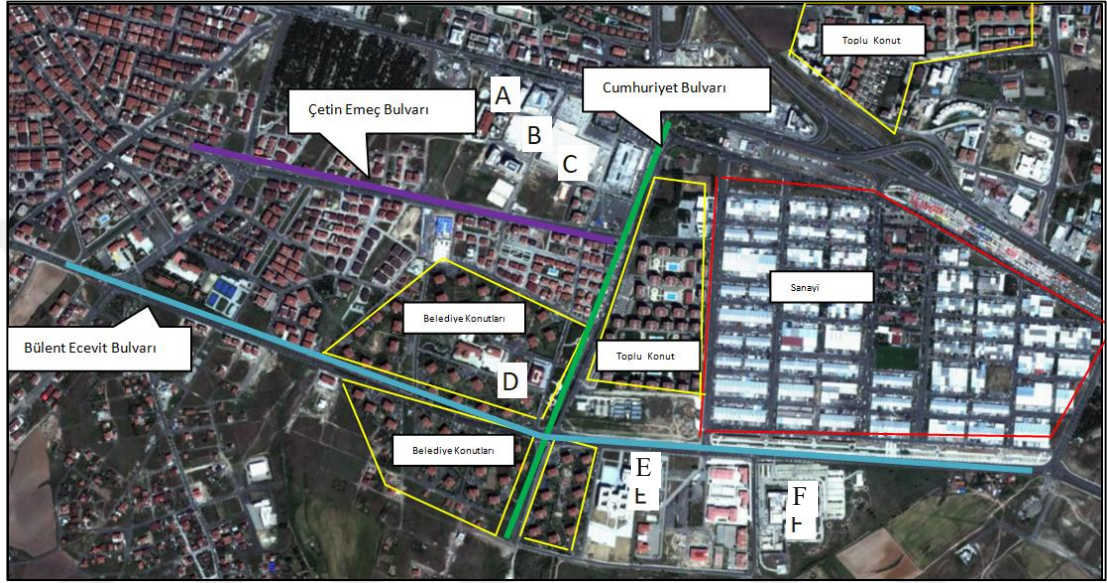
Değerlendirme yapılacak eşdüzey kavşak; Çorlu İlçesi, Tekirdağ İli'nin doğusunda, 253 bin nüfusu ile Trakya bölgesinin en büyük yerleşim yeri olarak bulunmaktadır. Coğrafik konum olarak Türkiye'nin en büyük şehri İstanbul'a komşu olan Tekirdağ İli'nin Çorlu ilçesi seçilmiştir. Çorlu İlçesi'nin, ülkemizdeki büyük sanayi tesislerinin bulunduğu Çerkezköy'e 22 km, Lüleburgaz'a 40 km uzaklıkta bulunması bu ilçeyi göç alan şehirler kategorisine sokmaktadır. Bu çerçevede, yıllık nüfus artışı ortalama dört bin kişi olan şehrin, nüfus artışıyla birlikte yeni imarlı alanlarda konut stoğunun arttığı görülmektedir (Şekil 6.1.).



Şekil 6.1. Çorlu ortofoto (Googlemaps, 2018).

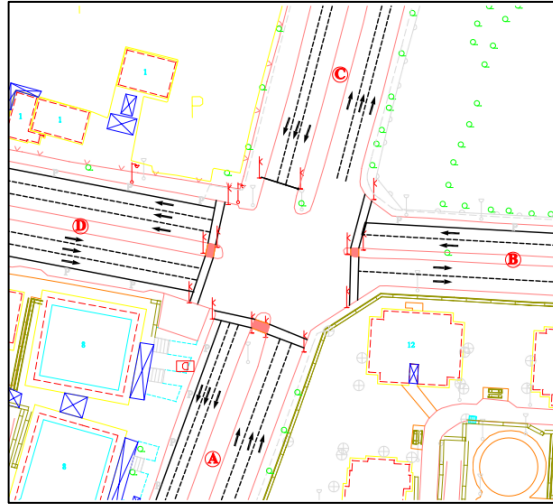
Bu çerçevede, çalışma alanı olarak seçilen kavşak; Alipaşa Mahallesi'nin ve Zafer Mahallesi'nin kesişim noktasında bulunan Armada kavşağıdır. Yeni yapılaşan bir bölgede seçilen Armada kavşağı, hızla gelişen ticaret hareketliliğine sahip alışveriş

merkezleri ile sürekli artan toplu konut projelerinin ortasında, ÇTSO'na 100 m mesafede, yaklaşık 1200 bağımsız birim bulunan Koordine küçük sanayi sitesine ise 150 m mesafede bulunmaktadır. Bu kavşağın seçilme nedeni, kavşağın bulunduğu bölgede yaya ve taşıt yoğunluğu ile birlikte, uzun bekleme sürelerinin ve gecikmelerin yaşanmasıdır (Şekil 6.2.).



Şekil 6.2. Armada kavşağı, (ortofoto, 2018) (A: Avm-1; B: Avm-2; C: Avm-3; D: Kaymakamlık; E: Adliye; F: Devlet Hastanesi).

Armada kavşağının bir başka önemli özelliği ise, Cumhuriyet Bulvarı üzerinde bulunan Kaymakamlık hizmet binasına 400 m mesafede olup, şehrin en önemli ana arterlerinden olan Bülent Ecevit bulvarından yaklaşık 50 bin kişinin yaşadığı Esentepe ve Hürriyet Mahallesi'nde bulunan toplu konut yaşam bölgesine geçiş özelliği taşımaktadır. Ayrıca, şehir içerisinde gün içerisinde talep çekebilen çekim merkezlerinin yanında, sabah ve öğleden sonra yaklaşık beş bin öğrenciye hizmet veren okullar bölgesine ulaşım için kullanılan yollardan birinin üstünde olması, kavşağı önemli kılan noktalarından birisi olmasıdır (Şekil 6.3.).



Şekil 6.3. Armada kavşağı vaziyet planı.

Şekil 6.3.'te görüleceği üzere Armada kavşağı; dört kollü, eşdüzey, sinyalizasyonlu bir kavşak olup A, C, D kolları 3,5 m genişliğindeki üçer şeritten oluşan bölünmüş yol olarak hizmet verirken, B kolu 3,5 m şerit genişliğine sahip 2x2 bir yaklaşım koludur. Kavşağın tüm kollarında 2,5 m genişliğinde orta refüjle birlikte, en az 2,5 m genişliğinde olmak üzere trotuar mevcutken otomatik sinyalizasyonlu yaya geçişi sadece A ve D kolları üzerinde bulunurken D kolu üzerinde yaya geçişi bulunmadığından sinyalizasyonlu olmayan yaya geçidi bulunmamaktadır. Ayrıca, B kolunun her iki tarafında ve A kolunun batı aksında taşıt parklanmasına imkan veren yol üstü ücretsiz parklanma şeridi mevcuttur.

6.2. Mevcut Verilerin Toplanması

Çalışma kapsamında ele alınan Armada kavşağının trafik analizlerinin yapılabilmesi için mevcut durumuna ait pik saat trafik hacim değeri, faz planı, devre ve ışık süreleri gibi verilerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu hususta, bahse konu veriler, Çorlu Belediyesi tarafından her yıl düzenli olarak iki defa olmak üzere yaptırılan Çorlu geneli kavşak sayım raporları kapsamında, 18 Nisan 2018 tarihinde Şekil 6.4.'e göre sabah, öğlen ve akşam pik saatlerde ikişer saat olmak üzere insansız hava aracı (drone) ile yerinde sayımlar yapılarak toplanmıştır (Tablo 6.1.) (Pamukkale Üniversitesi, 2018b).

Tablo 6.1. Çorlu Belediyesi. kavşak sayım periyotları, 2018

| Sayım Tarihi | Sayım Periyotları | | |
|--------------|-------------------|-------------|-------------|
| | Sabah | Öğle | Akşam |
| 18.04.2019 | 07:00-09:00 | 15:00-16:00 | 18:00-20:00 |



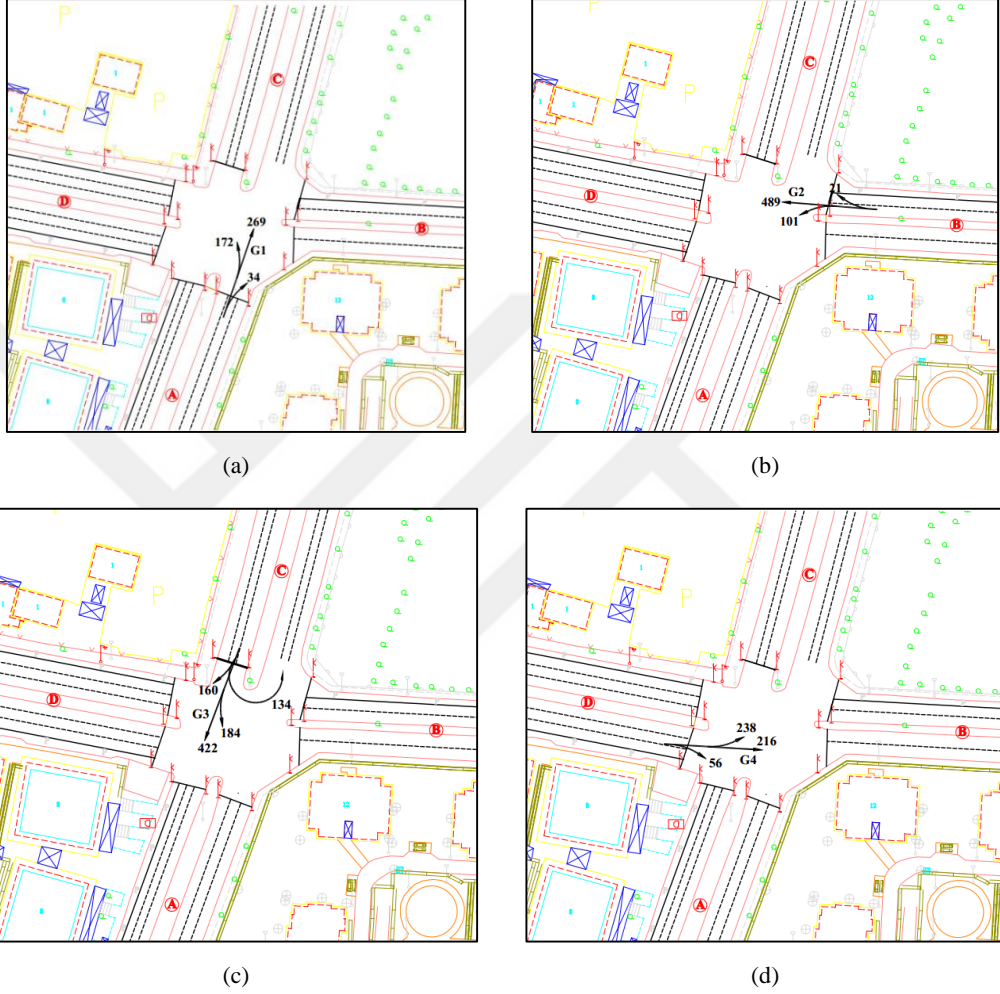
Şekil 6.4. Eşdüzey Armada kavşağı (Pamukkale Üni. kavşak sayım raporu, 2018b).

Tablo 6.1.'de görülen periyotlarda yapılan trafik hacim sayımları sonucunda hesaplanan akşam sayıları saatlik trafik hacim değerleri Tablo 6.2.'de verilmiştir (Pamukkale Üniversitesi, 2018b).

Tablo 6.2. Armada kavşağı akşam periyodu saatlik trafik hacim tablosu

| | A | | | | B | | | | C | | | | D | | | | Σ |
|---|----------|--------|--------|---------|----------|--------|--------|---------|----------|--------|--------|---------|----------|--------|--------|---------|------|
| | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | |
| A | 35 | 0 | 0 | 2 | 32 | 1 | 0 | 1 | 229 | 17 | 3 | 20 | 156 | 5 | 1 | 10 | 511 |
| B | 83 | 6 | 1 | 11 | 4 | 0 | 0 | 1 | 18 | 1 | 0 | 2 | 441 | 10 | 7 | 31 | 617 |
| C | 356 | 27 | 3 | 36 | 177 | 0 | 1 | 6 | 130 | 0 | 2 | 2 | 133 | 7 | 1 | 19 | 901 |
| D | 49 | 2 | 0 | 5 | 197 | 4 | 2 | 13 | 198 | 11 | 4 | 25 | 13 | 0 | 0 | 1 | 525 |
| Σ | 523 | 35 | 5 | 55 | 410 | 5 | 3 | 20 | 575 | 29 | 9 | 49 | 743 | 22 | 9 | 61 | 2553 |

Kavşağa ait hafta içi akşam pik saat trafik hacim değeri 2553 ta/sa dir. Kavşağı kullanan taşıt türleri açısından incelenecek olursa, kavşak yaklaşım kollarındaki toplam saatlik hacimin % 88'i otomobillerden oluşurken, % 3,5'i otobüs, % 1'i kamyon ve % 7,5'lik bölümü ise minibüslerden oluşmaktadır.



Şekil 6.5. Saatlik trafik hacim değerleri.

Şekil 6.5.'te verilen saatlik trafik hacim değerleri incelendiğinde; en yoğun yaklaşım kolunun şehrin kuzeyinde bulunan toplu konut bölgelerini ve şehri batıdan-doğuya ikiye bölen Salih Omurtak caddesine bağlanan Cumhuriyet bulvarı üzerindeki 901 ta/sa hacimli C koludur. 617 ta/sa'lık değeriyle ikinci sırada bulunan kolu ise ÇTSO'nun otopark giriş çıkışına hizmet vermekle birlikte yeni sanayi sitesini kent merkezine bağlayan batı çıkışını oluşturmaktadır. A ve C kolları üzerinde trafik hacim değerlerinin birbirine yakın olmasıyla birlikte Çetin Emeç bulvarı üzerinde bulunan ve

yeni yapılaşan bölgeden gelen C kolunda saatlik hacim 525 ta/sa iken, Bülent Ecevit bulvarı gibi kuvvetli bir arter üzerinden gelen A kolunun değerleri 511 ta/sa olmaktadır. Tüm kollar üzerinde sağa dönüşler sinyal kontrolüne tabii olurken, U dönüşlerinin yasak olmasına rağmen C kolu üzerinde kural ihlal oranı kol üzerindeki trafik hacminin yaklaşık % 15 gibi ihmal edilemeyecek bir oranda olduğu dikkat çekmektedir. Yapılan incelemeler sonucu bunun en önemli nedeninin; kavşak kolu üzerinde bulunan alışveriş merkezinden çıkan taşıtların şehrin kuzeyinde bulunan Esentepe ve Hürriyet mahallerinde bulunan toplu konut yaşam alanlarına ulaşmak için C kolu üzerinde U dönüşü yaparak kuzeye doğru yönlendikleri tespit edilmiştir.

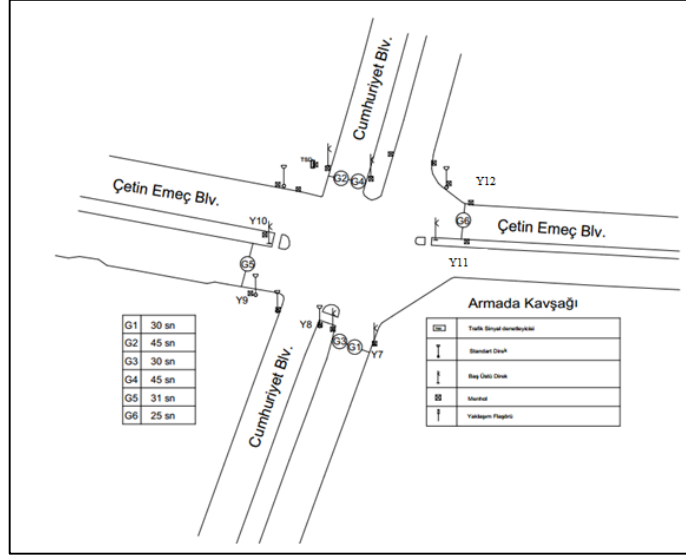
6.2.1. Mevcut durum

Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi sorumluluğunda bulunan yol ağları üstünde bulunduğundan Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen kavşağın sinyal grupları Şekil 6.6. (a)'da ve yayaların kurulan modele giriş noktaları Şekil 6.6. (b)'de gösterilmiştir. Şekil 6.7.'de genel faz planı gösterilen kavşak, dört faz olarak işletilmekte olup Şekil 6.8.'de faz planı detaylı olarak gösterilmektedir.

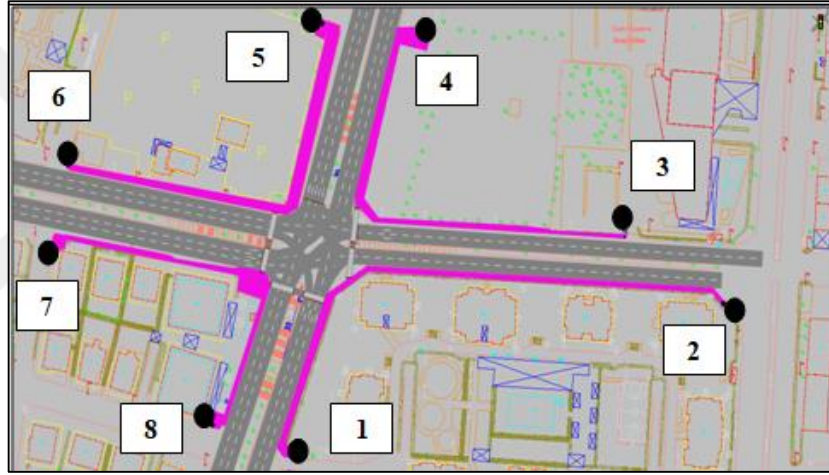
Kavşak yaya hacimlerinin gösterildiği gibi şekilde sekiz noktadan saatte 30 adet yaya olmak üzere toplamda 240 ya/sa ataması yapılmıştır (Tablo 6.3.).

Tablo 6.3. Bir saatlik yaya hacim değerleri

| Yaya Giriş Noktası | Hacim (ya/sa) |
|--------------------|---------------|
| 1 | 30 |
| 2 | 30 |
| 3 | 30 |
| 4 | 30 |
| 5 | 30 |
| 6 | 30 |
| 7 | 30 |
| 8 | 30 |

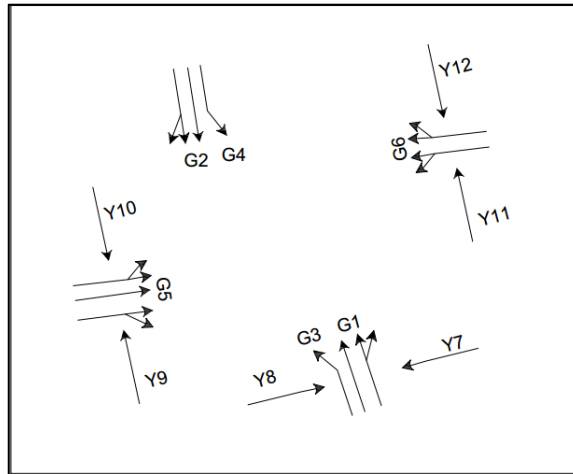


(a)

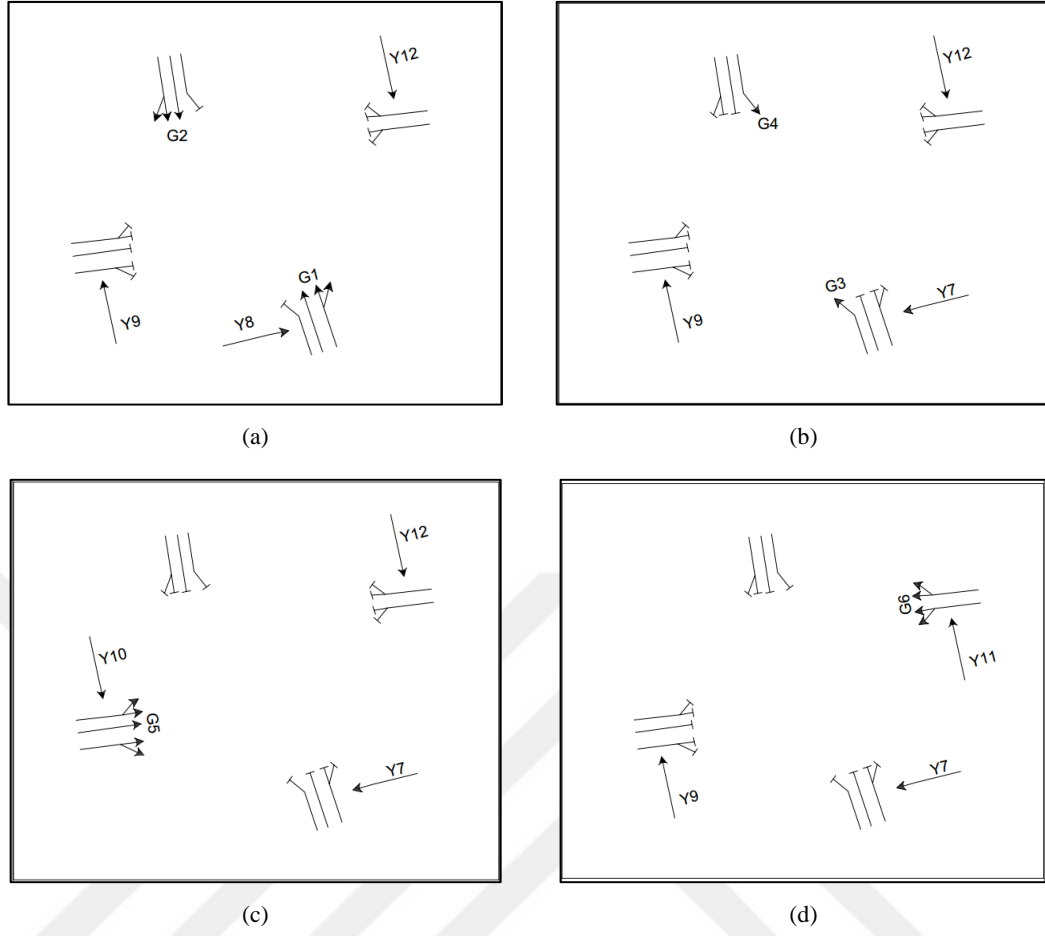


(b)

Şekil 6.6. Mevcut durum, (a) Sinyal grupları, (b) Yayaların modele giriş noktaları.

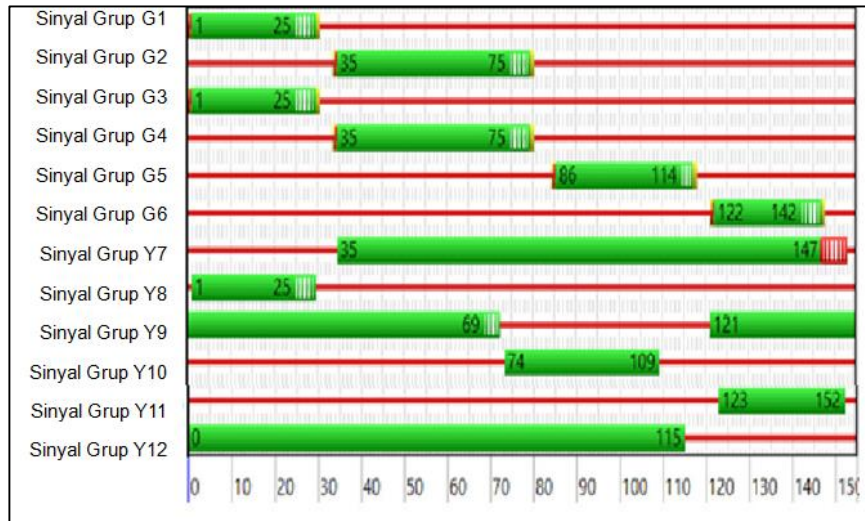


Şekil 6.7. Mevcut durum genel faz planı.



Şekil 6.8. Mevcut durum fazları, (a) Faz 1, (b) Faz 2, (c) Faz 3, (d) Faz 4.

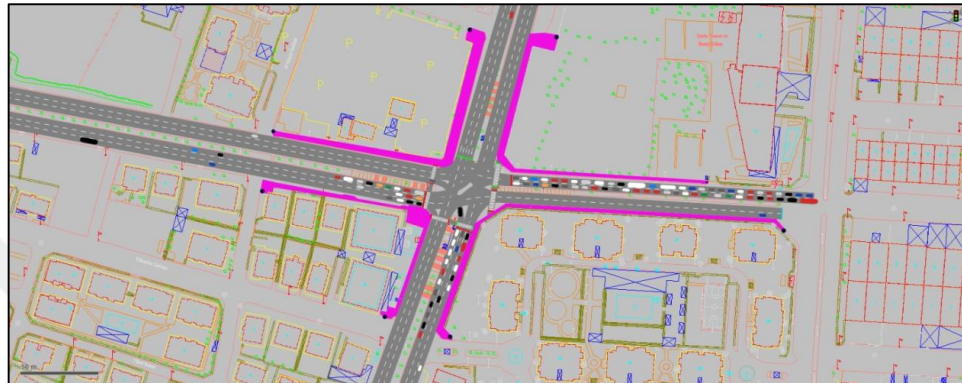
Şekil 6.9.'da mevcutta uygulanan 155 sn'lik devre diyagramını ayrıntılı olarak gösterilmektedir.



Şekil 6.9. Mevcut durumda uygulanan devre diyagramı.

6.2.2. Mevcut durum performans analizi

Şekil 6.10. ve Şekil 6.11.'de kavşağa ait derlenen hacim ve mevcut sinyal devre sürelerinin Vissim simülasyon yazılımı ile ilgili model çalışmasındaki simülasyon görüntüleri görülmektedir.



Şekil 6.10. Simülasyon 2D görüntü, 690.sn.



Şekil 6.11. Simülasyon 3D görüntü, 2771.sn.

Tablo 6.4.'te bir saatlik analiz yapılarak simülasyon sonucu ortaya çıkan kavşak performans değerleri elde edilmiştir.

Tablo 6.4. Mevcut durum performans değerleri

| Yaya Gecidinin Kavşağa Olan Mesafesi (m) | Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme (sn) | Ortalama Hız (km/sa) | Ortalama Yaya Yolculuk Süresi (sn) | Ortalama Yaya Hızı (m/sn) |
|--|-------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 0 | 155 | 134,62 | 13,25 | 384,58 | 2,68 |

Yapılan analiz sonucu olarak Vissim yazılımı sonuçlarından taşıt başı ortalama gecikme süresi ve ortalama hız seçilmiştir.

155 sn gibi oldukça uzun sayılabilecek devre süresi uygulandığı durumdaki performans değerleri incelendiğinde fiili durumda özellikle B kolunda oluşan uzun kuyruklanmalar modelde karşımıza çıkmaktadır (Şekil 6.10.). Kavşak genelinde 101,75 sn gibi yüksek bir taşıt başı ortalama gecikme süresi ortaya çıkarken bununla doğru orantılı olarak 16,50 km/sa gibi düşük ortalama hız değerleri saptanmıştır. Ayrıca C ve D kolunda yeşil ışık sürelerinin uzun olmasından kaynaklı gecikme sürelerine etki ettiği gözükmemektedir.

Sinyal faz grupları incelendiği zaman, özellikle yaya geçitleri için ayrı bir faz uygulanmadığı, bundan dolayı blok yaya fazı olmamasından kaynaklı yayaların karşıdan karşıya geçmesi hususunda fazla miktar ışık ihlali yapıldığı sahada yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir. Devre süresi içerisinde blok yaya fazı uygulanmadığı için modelleme çalışmasında modele yaya girişi yapılmamıştır. Bu aşamadan sonra yapılacak modelleme çalışmalarında, optimize devre süresi tespiti için yayalar için minimum 20 sn blok yaya fazı uygulanacağından, ilerideki bölümlerde yaya sonuçları da performans kriterleri içerisinde değerlendirilecektir.

6.3. Senaryolar

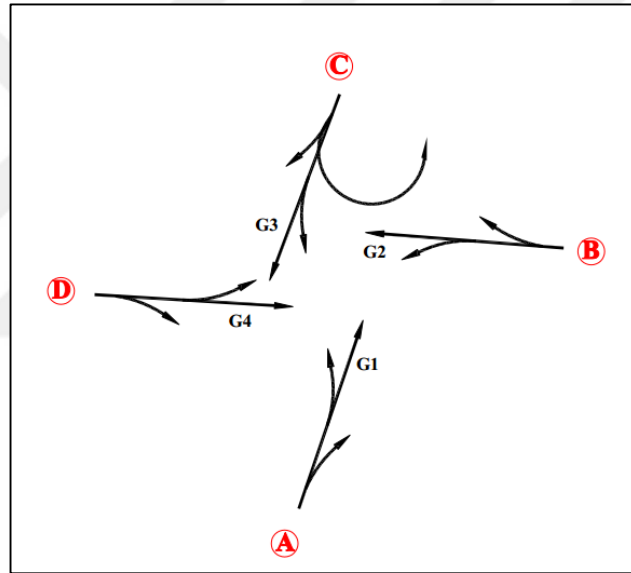
Öncelikle, Vissim simülasyon programında modellenerek mevcut durum analizi yapılan sinyalize kavşağın seçilen performans kriterlerine göre yaya akımı uygulanmadan önce optimum simülasyon devre süresi tespit edilecektir.

Tespit edilen devre süresine göre Senaryo 1’de sinyalize kavşağa yaya hacmi uygulanarak kavşak içerisinde bulunan otomatik sinyalize geçidiyle performans analizi yapılacaktır. Senaryo 2’de ise kavşağın 0 noktasında bulunan otomatik sinyalize yaya geçidi kavşak yaklaşım kolundan 30 m geriye alınarak mikro simülasyon yazılımında optimum devre süresindeki performans değişiklikleri tespit edilecektir. Son olarak Senaryo 3’te otomatik sinyalize yaya geçidi kavşak yaklaşım

kolunda 50 m gerideki konuma yerleştirilerek yine koordineli bir şekilde modelleme çalışması yapılarak optimum devre süresindeki performans kriterlerinde değişimlerin kurgusal çalışma ile benzerlik gösterip göstermediği değerlendirilecektir.

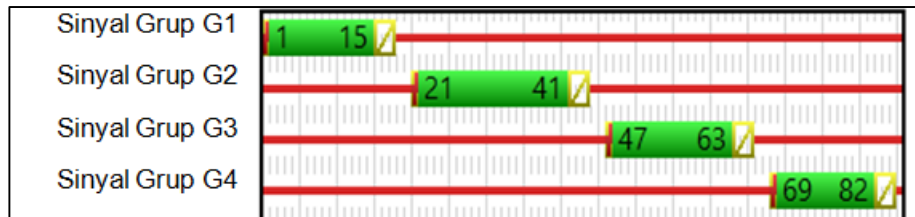
6.3.1. Yaya akımsız, sinyalize kavşak durumu

Dört kollü sinyal kontrollü kavşağın optimize sinyal devre süresini tespit etmek için öncelikle kavşak modellemesinde; kavşak yaya akımı olmadan kurgulanmıştır. Hacim değerleri olarak sahadan yapılan sayım sonuçları elde edilen hacim değerleri kullanılmıştır (Şekil 6.12.).

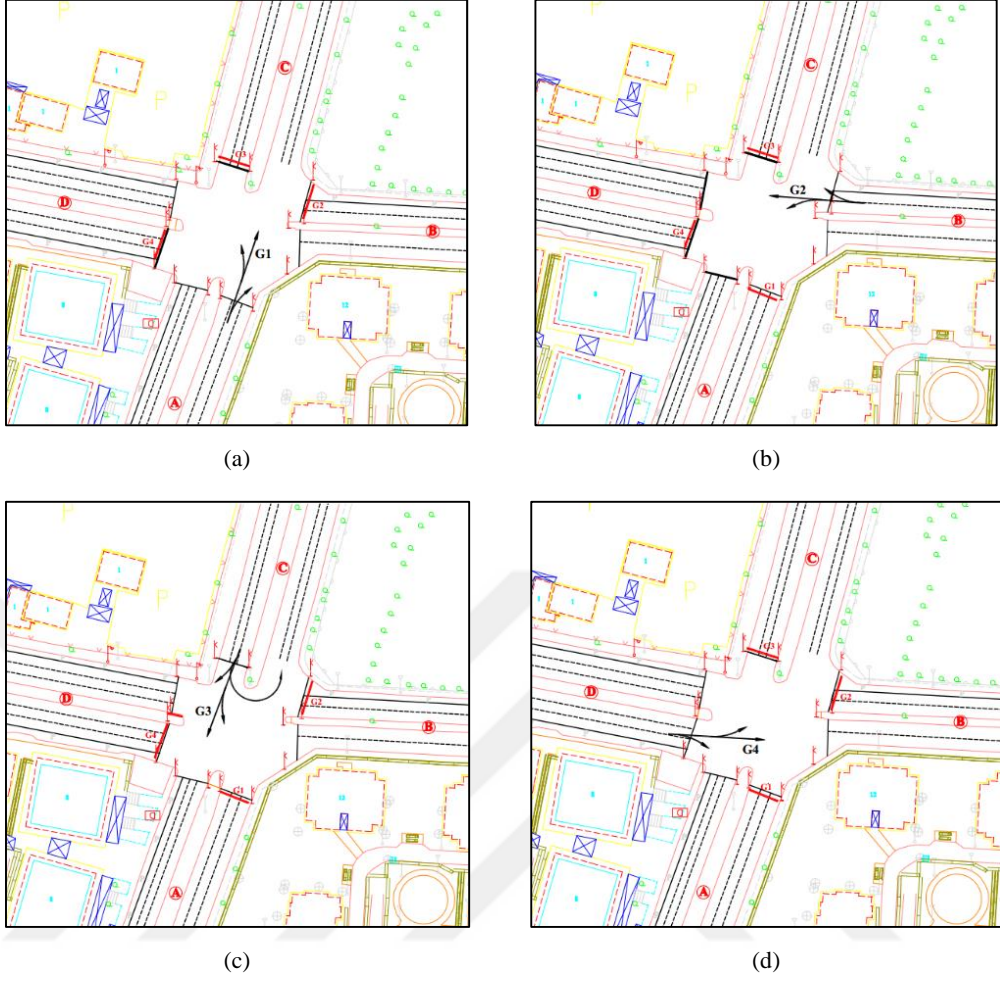


Şekil 6.12. Kavşak yaklaşım kollarındaki trafik akım grupları ve yönleri.

Çalışma alanı olarak gösterilen kavşak kolları üzerindeki devre diyagramı Şekil 6.13.'te ve faz grupları sırasıyla Şekil 6.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Yaya geçitsiz durumda optimum devre diyagramı.



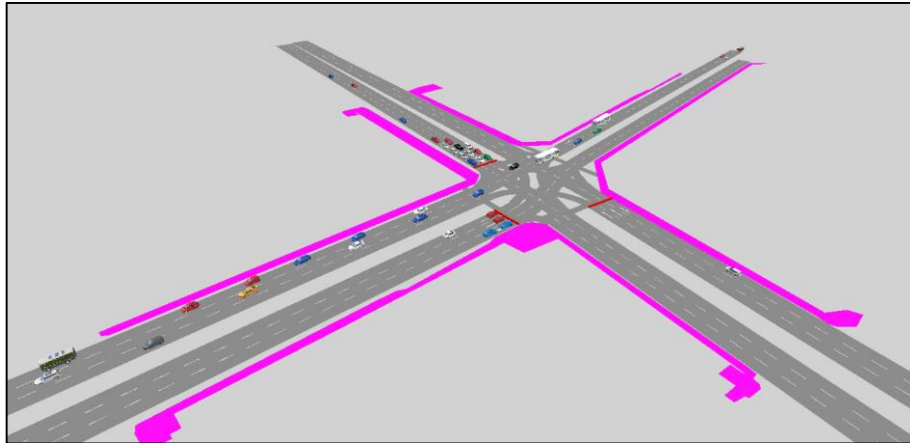
Şekil 6.14. Yaya geçitsiz durumda fazlar, (a) Faz 1, (b) Faz 2, (c) Faz 3, (d) Faz 4.

Tasarlanan kavşağın Vissim simülasyon yazılımında performans değerlendirilmesi için yapılan analiz çalışması sırasındaki üç boyutlu ve iki boyutlu görselleri Şekil 6.15.'te gösterilmiştir.



(a)

Şekil 6.15. Yaya geçitsiz durumda simülasyon görüntüleri, (a) 2D görüntü, 925.sn, (b) 3D görüntü 2535.sn.



(b)

Şekil 6.15. (Devamı).

Kavşak kollarındaki taşıt hacmine göre yapılan çeşitli simülasyonlar sonucu optimize devre süresinin 86 sn olduğu sonucu tespit edilmiş ve Tablo 6.5.'te performans değerleri verilmiştir.

Tablo 6.5. Yaya akımsız, Armada kavşağı performans değerleri

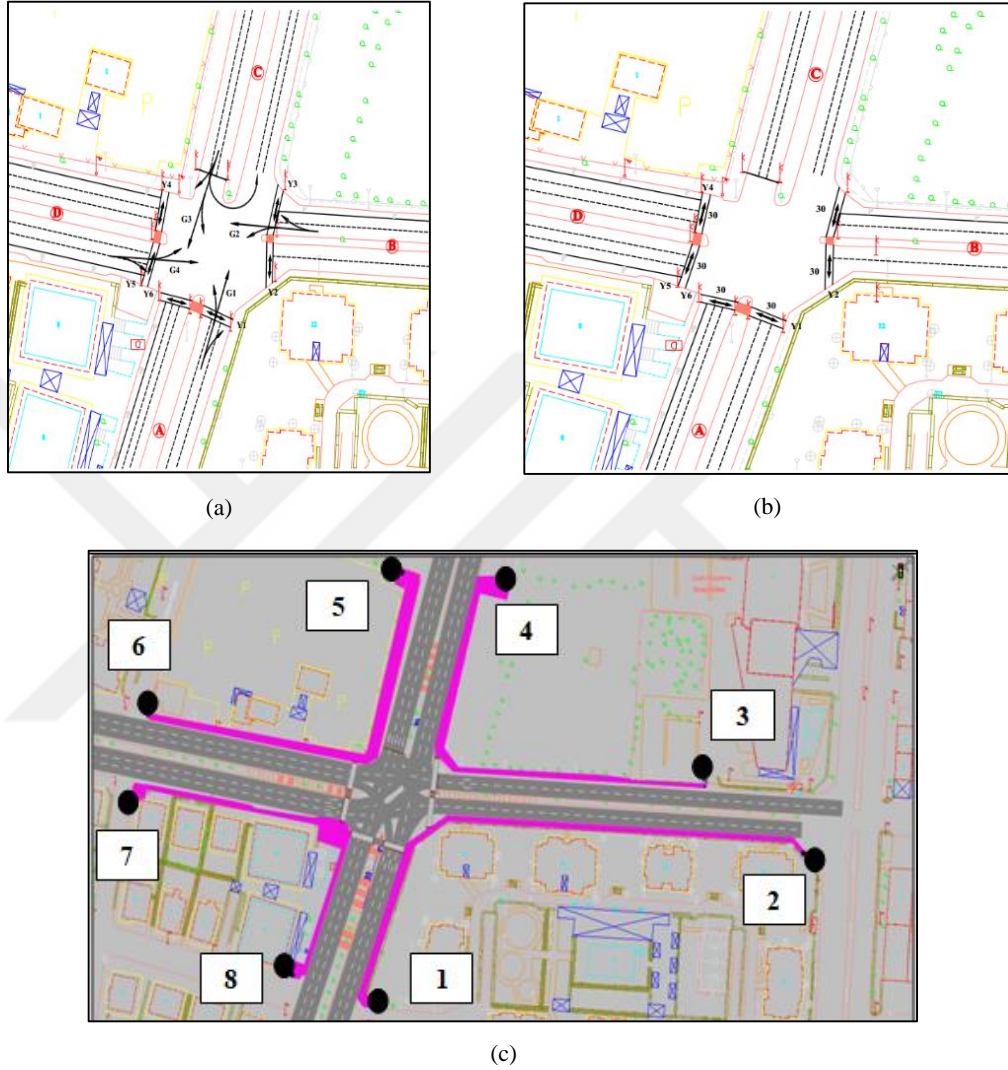
| Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme Süresi (sn) | Ortalama Taşıt Hızı (km/sa) |
|-------------------|---|-----------------------------|
| 90 | 32,64 | 31,31 |
| 86 | 31,09 | 31,92 |
| 85 | 31,44 | 31,75 |

86 sn'lik devre süresi sonucu ortalama gecikme süresi 31,09 sn olurken ortalama hız değeri 31,92 km/sa olarak hesap edilmiştir.

6.3.2. Senaryo 1. yaya geçidinin 0.m'de olması durumu

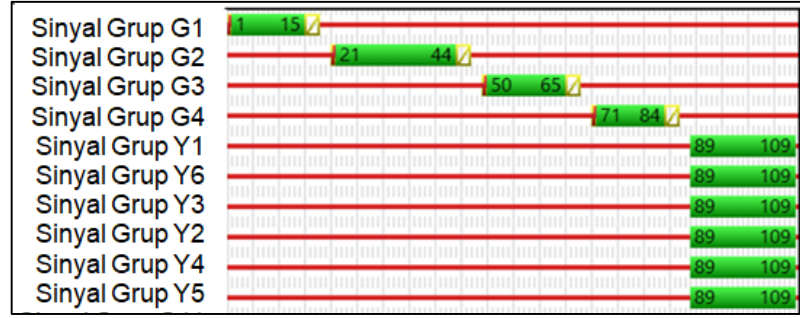
Otomatik sinyalizasyon yaya geçidi, eşdüzey kavşağın A, B ve D yaklaşım kollarının kavşak giriş noktasına konarak 0.m'de olması durumu olarak isimlendirilmiştir. Bu durum kısacası durma çizgisi 0.m konumunda olarak tanımlanabilir. Yaya akımı olarak mevcut durumdaki 240 ya/sa değeri kullanılmıştır.

Şekil 6.16.'da otomatik sinyalizasyon yaya geçidi kavşak içinde yani durma çizgisinin 0. m'de bulunması durumunda oluşan sinyal grupları ve yayaların modele giriş noktaları gösterilmiştir.

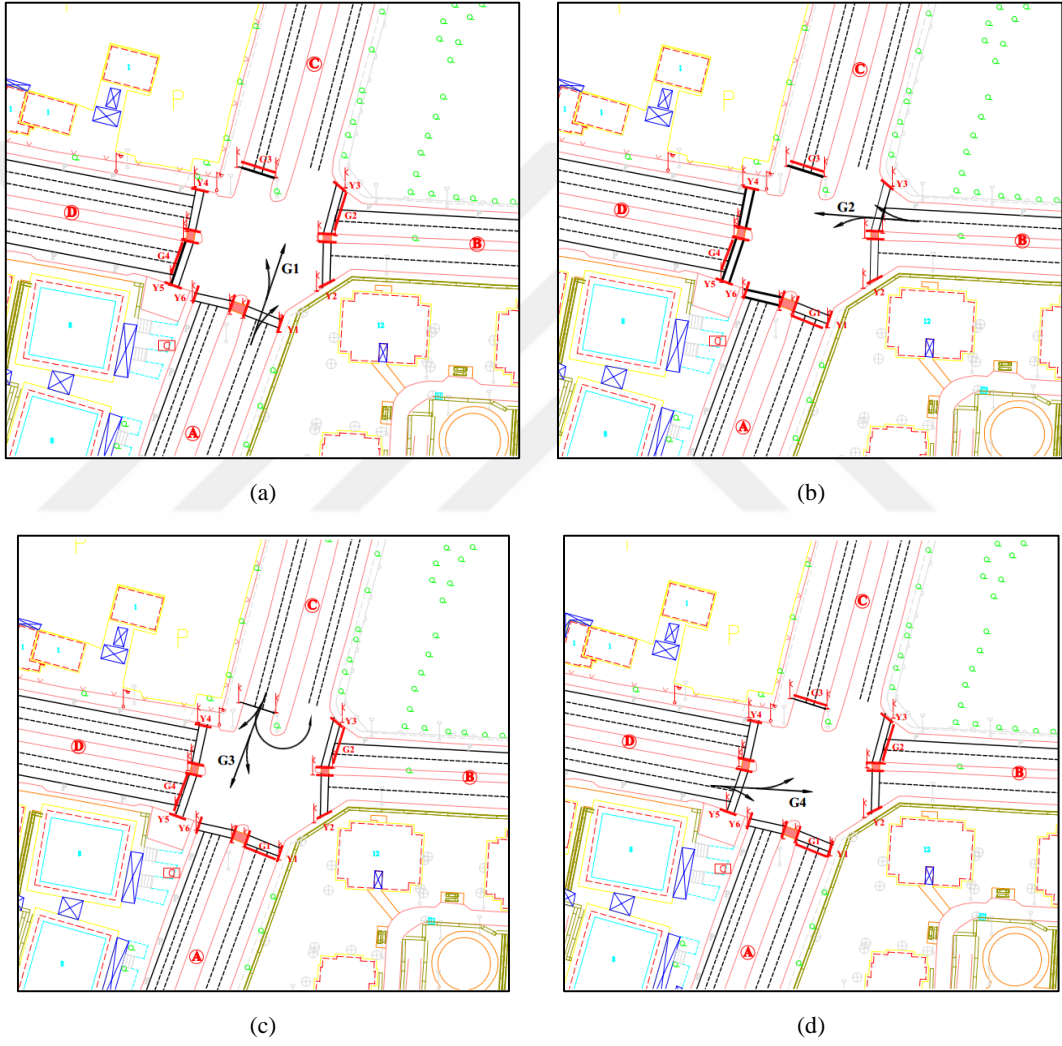


Şekil 6.16. Senaryo 1 durumu özellikleri, (a) Sinyal grupları, (b) Yaya hacim değerleri, (c) Yayıların modele giriş noktaları.

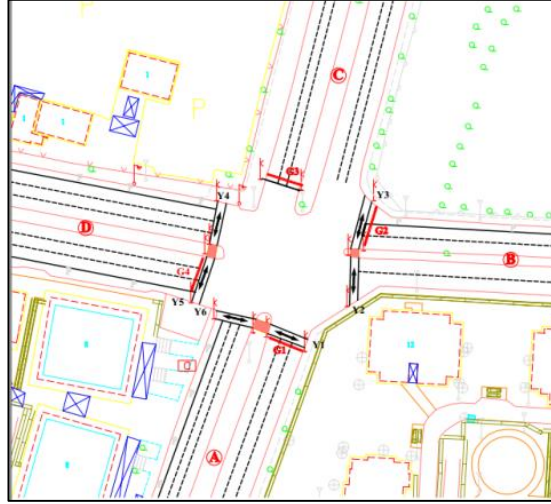
Şekil 6.17.'de kavşağa uygulanan faz diyagramı verilmiştir. Şekil 6.18.'de gösterildiği şekliyle kavşak devre süresi beş faz olmak üzere devre diyagramı oluşturulmuştur. Devre süresi hesaplanırken yaya fazı olarak oluşturulan beşinci fazda özellikle yayaların karşıdan karşıya geçebilmesi için 10,5 m'lik 3x2 yollarda yayalara blok olarak 20 sn yeşil ışık süresi tanımlanmıştır.



Şekil 6.17. Senaryo 1 durumu optimum devre diyagramı.



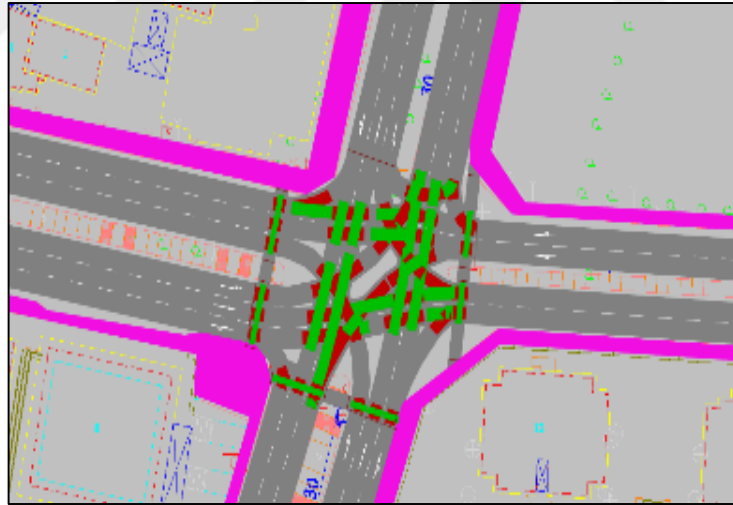
Şekil 6.18. Senaryo 1 durumu fazları, (a) Faz 1, (b) Faz 2, (c) Faz 3, (d) Faz 4, (e) Faz 5.



(e)

Şekil 6.18. (Devamı).

Şekil 6.19.'da kavşakta bulunan taşıt ve yayaların kesişim noktaları ve öncelik durumları gösterilmiştir.

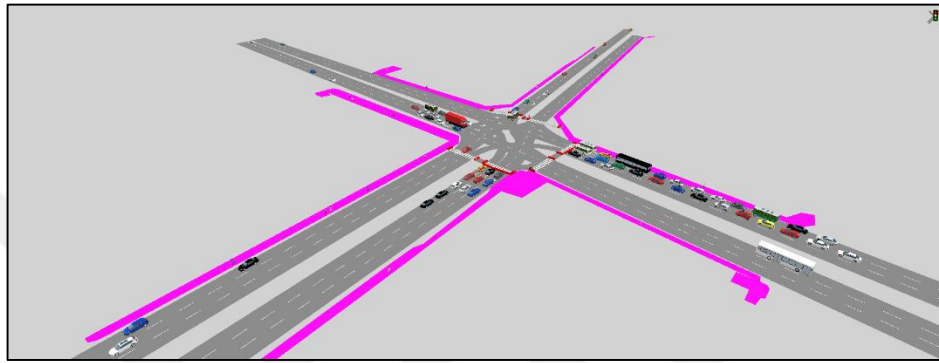


Şekil 6.19. Senaryo 1 durumu taşıt-yaya etkileşim noktaları.

Sinyalize kavşak yaklaşım kollarında kavşak içine yerleştirilen otomatik sinyalize yaya geçitlerinin Vissim simülasyon yazılımında modellenirken performans değerlendirilmesi için yapılan analiz çalışması sırasındaki iki ve üç boyutlu görselleri Şekil 6.20.'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.20. Senaryo 1 durumu simülasyon görüntüleri, (a) 2D görüntü, 883.sn, (b) 3D görüntü, 2470.sn.

Otomatik sinyalizasyonla yaya geçişinin 0.'m de olduğu sinyalizasyon kavşağının optimum devre süresi hesap edilirken ilk olarak Bölüm 6.3.'de bulunan 86 sn optimum devre süresine blok yaya fazı olarak 20 sn eklenerek 106 sn'deki taşıt başı ortalama gecikme değeri olan 93,14 sn bulunmuştur.

Tablo 6.6. Senaryo 1 durumu performans değerleri

| Yaya Gecidinin Kavşağa Olan Mesafesi (m) | Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme (sn) | Ortalama Taşıt Hızı (km/sa) | Ortalama Yaya Yolculuk Süresi (sn) | Ortalama Yaya Hızı (m/sn) |
|--|-------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 0 | 106 | 93,14 | 17,62 | 406,42 | 2,64 |
| 0 | 108 | 72,58 | 20,75 | 411,380 | 2,63 |
| 0 | 110 | 69,17 | 21,47 | 421,07 | 2,56 |
| 0 | 112 | 87,06 | 18,49 | 421,68 | 2,56 |

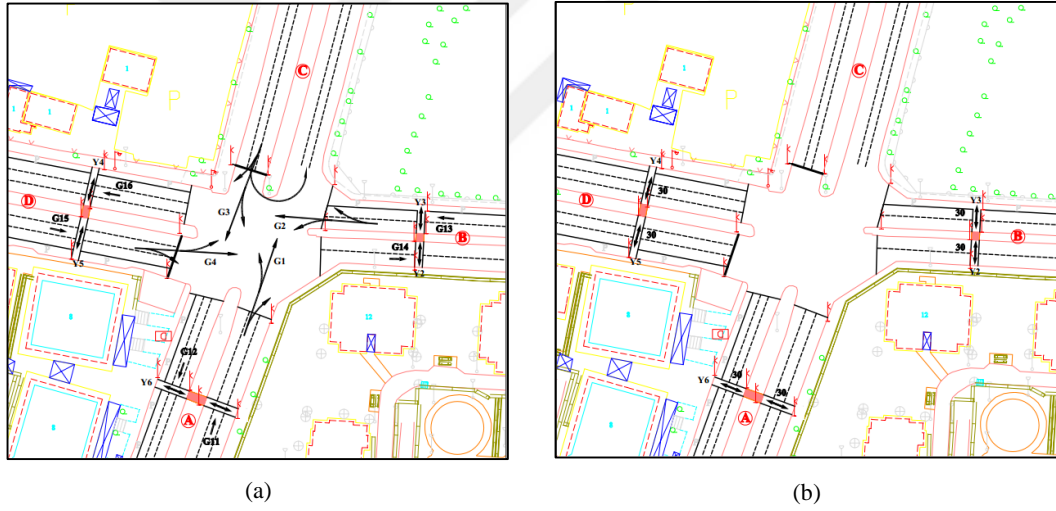
Yapılan çeşitli simülasyon çalışmaları sonucu optimum devre süresi 69,17 sn'lik taşıt başı ortalama gecikme süresine göre 110 sn olduğu tespit edilmiştir. Aynı devre

süresinde modellenen kavşak ağımlı kullanan yayalar için ortalama yaya yolculuk süresi de 421,07 sn olmaktadır (Tablo 6.6.).

6.3.3. Senaryo 2. yaya geçidinin 30.m’de olması durumu

Senaryo 1’de incelediğimiz durma çizgisinin 0.m konumunda olmasının ardından A, B ve D kollarındaki otomatik sinyalizasyon geçitlerini yaklaşım kollarındaki konumlarından 30 m daha geriye alınarak yine otomatik sinyalizasyon yaya geçidi olarak teşkil edilmek koşulu ile sinyalizasyon yaya geçidinin devre süresi ile koordineli bir şekilde çalışması sağlanmıştır.

Şekil 6.21.’de yaya geçidi kavşak içindeki yerinden 30 m mesafe geriye çekilmesiyle oluşan sinyal grupları ve yaya hacmi ile modele giriş noktaları gösterilmiştir.



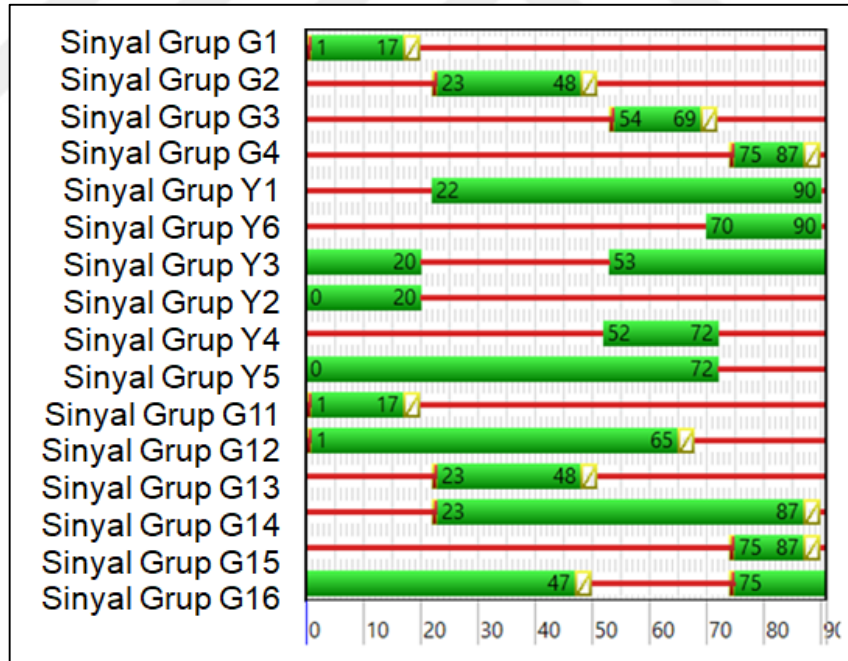
Şekil 6.21. Senaryo 2 durumu özellikleri, (a) Sinyal grupları, (b) Yaya hacim değerleri, (c) Yayaların modele giriş noktaları.



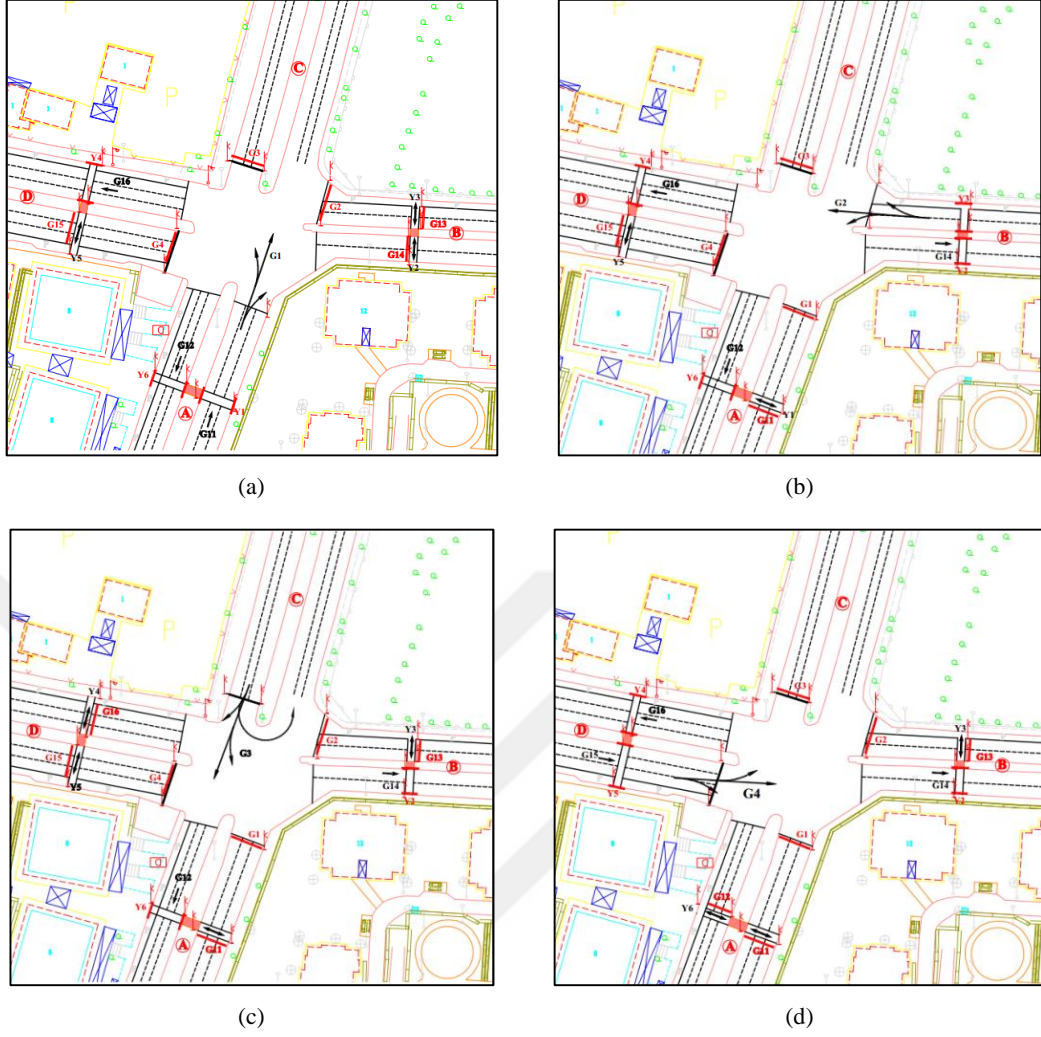
(c)

Şekil 6.21. (Devamı).

Şekil 6.22.'de devre diyagramı ve Şekil 6.23.'te sinyalize kavşakta ve koordineli çalışan 30 m mesafedeki otomatik yaya geçidine uygulanan sinyal fazları gösterilmiştir.

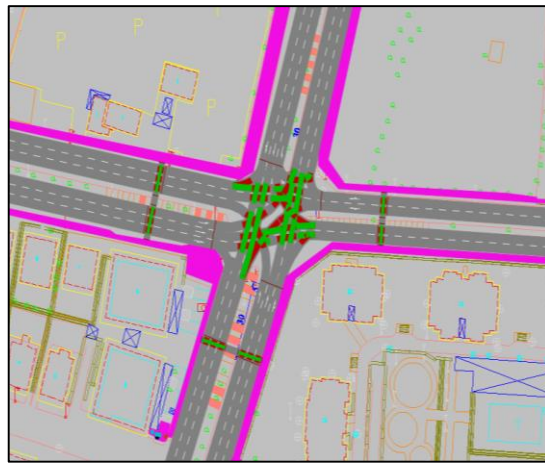


Şekil 6.22. Senaryo 2 durumu devre diyagramı.



Şekil 6.23. Senaryo 2 durumu fazları, (a) Faz 1, (b) Faz 2, (c) Faz 3, (d) Faz 4.

Şekil 6.24.'te yaya ve taşıt kesişim noktaları belirtilmiştir.

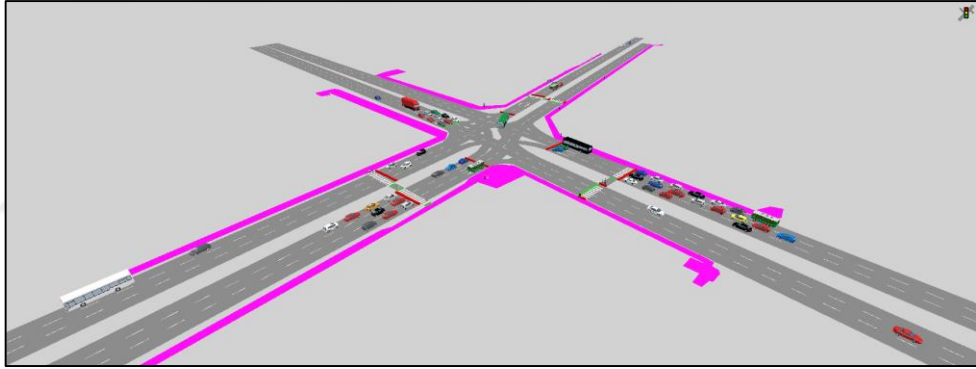


Şekil 6.24. Senaryo 2 durumu taşıt-yaya etkileşim noktaları.

Sinyalize kavşak yaklaşım kollarında 30 m geriye yerleştirilen otomatik sinyalize yaya geçitlerinin Vissim simülasyon yazılımında modellenirken performans değerlendirilmesi için yapılan analiz çalışması sırasındaki iki ve üç boyutlu görselleri Şekil 6.25.'te gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.25. Senaryo 2 durumu simülasyon görüntüleri, (a) 2D görüntü, 832.sn, (b) 3D görüntü, 2399.sn.

Otomatik sinyalize yaya geçinin kavşak yaklaşım kolunda 30 m geriye alınmasıyla koordineli olarak çalıştırılan sinyalize kavşağın taşıt başı ortalama gecikme değerine göre optimum devre süresi hesabı yapılarak optimum devre süresi 91 sn olarak bulunmuştur. 91 sn'lik devre süresi programında taşıt başı ortalama gecikme değeri olan 43,17 sn olarak bulunmuştur.

Aynı devre süresinde süresinde modellenen kavşak ağını kullanan yayalar için ortalama yaya yolculuk süreside 361,75 sn olmaktadır (Tablo 6.7.). Devre süresi

hesaplanırken her bir kavşak kolunda bulunan otomatik sinyalize yaya geçidinde min blok yaya fazı 20 sn olacak şekilde düzenleme yapılmıştır.

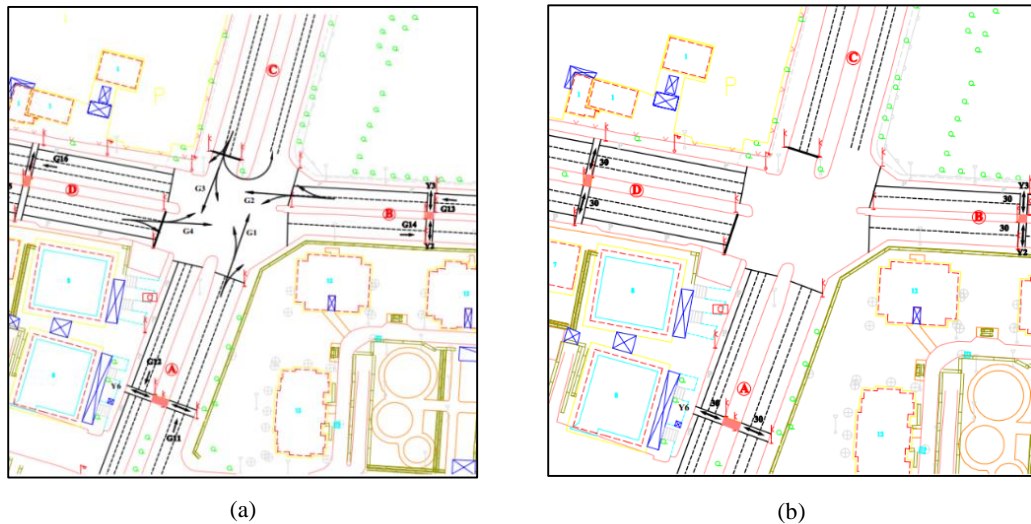
Tablo 6.7. Senaryo 2 durumu performans değerleri

| Yaya Geçidinin Kavşağa Olan Mesafesi (m) | Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme (sn) | Ortalama Taşıt Hızı (km/sa) | Ortalama Yaya Yolculuk Süresi (sn) | Ortalama Yaya Hızı (m/sn) |
|--|-------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 30 | 110 | 80,40 | 19,43 | 379,16 | 3,14 |
| 30 | 92 | 44,16 | 27,34 | 363,67 | 3,25 |
| 30 | 91 | 43,17 | 27,63 | 361,75 | 3,28 |
| 30 | 89 | 44,44 | 27,26 | 362,99 | 3,26 |

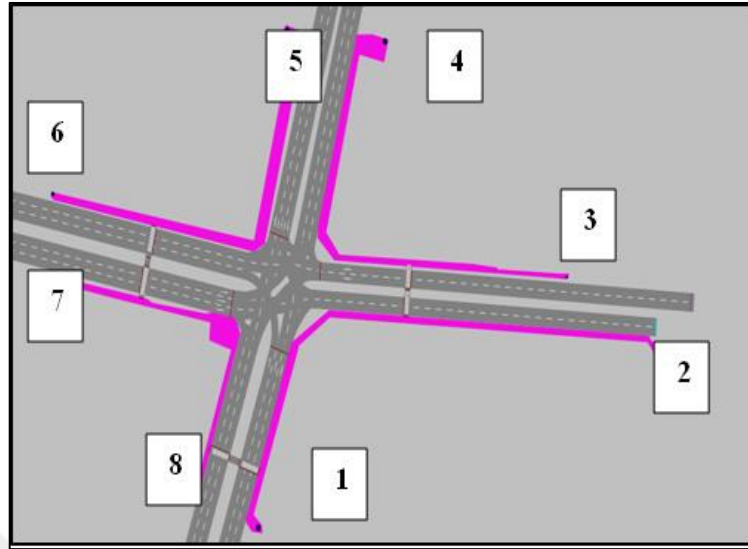
6.3.4. Senaryo 3. yaya geçidinin 50.m’de olması durumu

Senaryo 3.’de ise A, B ve D kollarındaki otomatik sinyalize geçitleri yaklaşım kollarındaki konumlarından 50 m daha geriye alınarak yine otomatik sinyalize yaya geçidi olarak teşkil edilmek koşulu ile sinyalize yaya geçidinin devre süresi ile koordineli bir şekilde çalışması sağlanmıştır.

Şekil 6.26.’da yaya geçidi kavşak içindeki yerinden 50 m mesafe geriye çekilmesiyle oluşan sinyal grupları ve yayaların modele giriş noktaları gösterilmiştir.



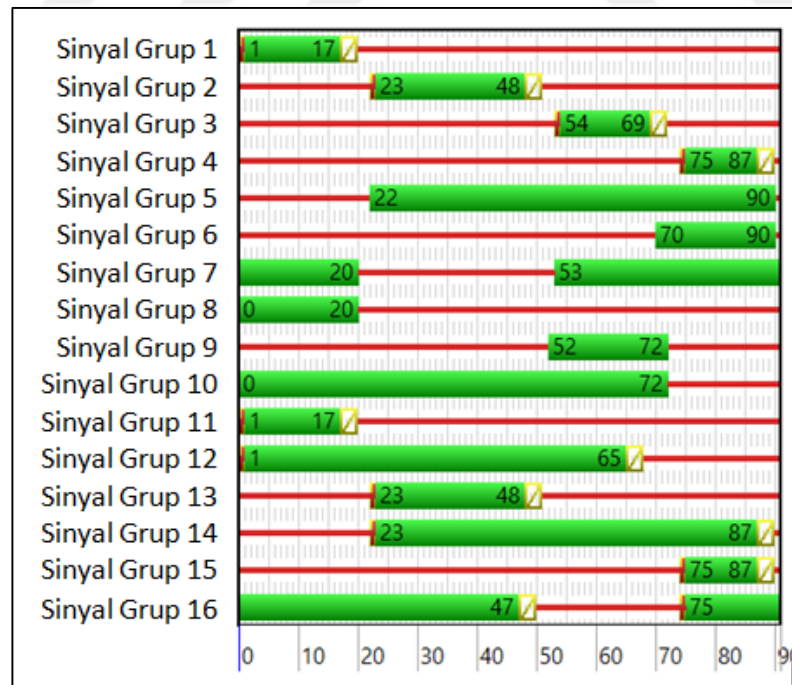
Şekil 6.26. Senaryo 3 durumu özellikleri, (a) Sinyal grupları, (b) Yaya hacim değerleri, (c) Yayaların modele giriş noktaları.



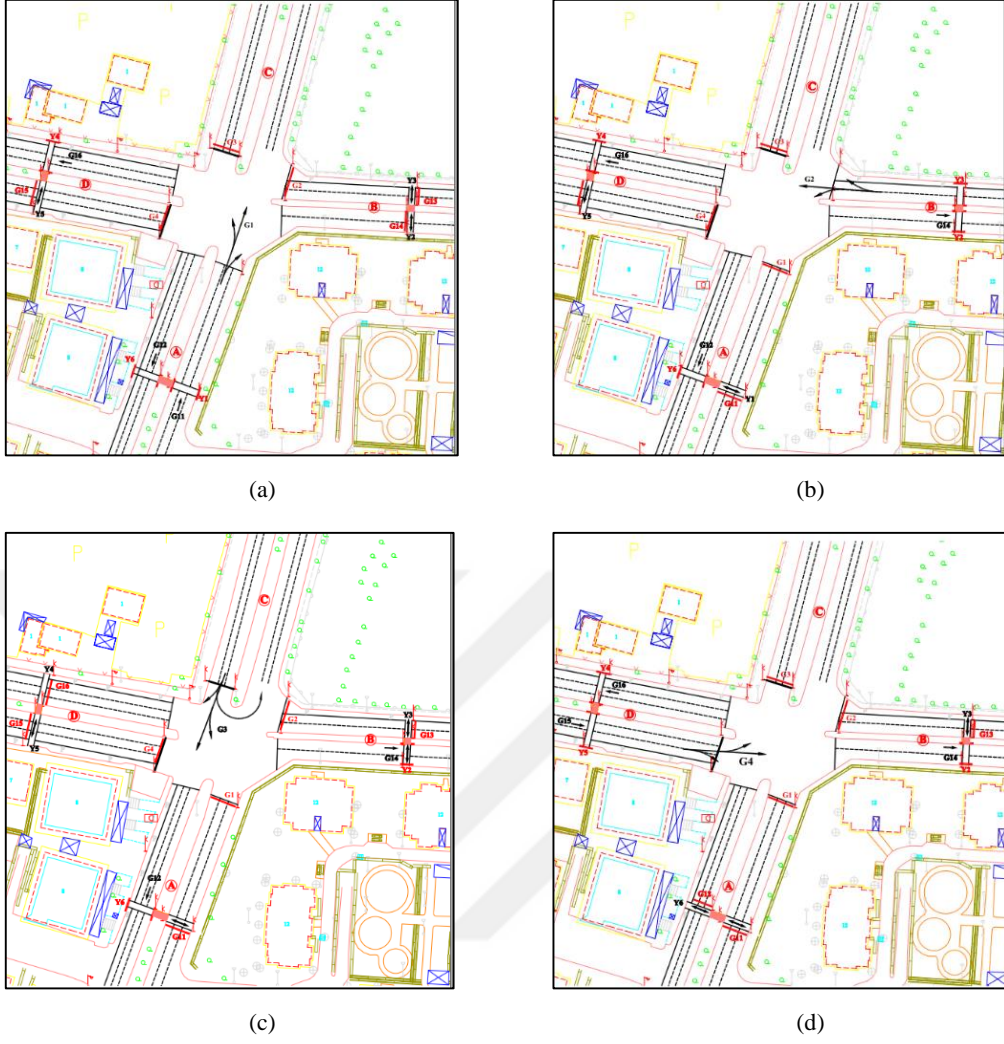
(c)

Şekil 6.26. (Devamı).

Şekil 6.27.'de sinyalizasyon kavşağında devre diyagramı ve Şekil 6.28.'de koordineli çalışan 50.m'deki mesafede otomatik yaya geçidine uygulanan sinyal fazları gösterilmiştir.



Şekil 6.27. Senaryo 3 durumu devre diyagramı.



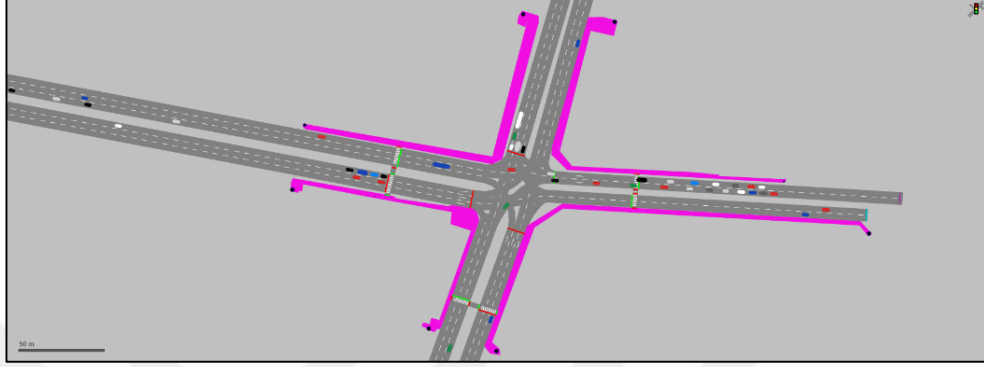
Şekil 6.28. Senaryo 3 durumu fazları, (a) Faz 1, (b) Faz 2, (c) Faz 3, (d) Faz 4.

Ayrıca Şekil 6.29.'da 50.m'de yaya ve taşıt çakışma noktaları verilmiştir.

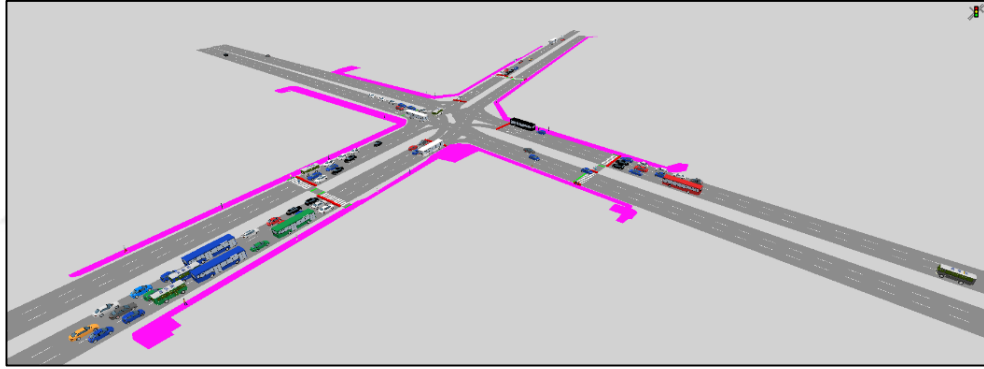


Şekil 6.29. Senaryo 3 durumu taşıt-yaya etkileşim noktaları.

Sinyalize kavşak yaklaşım kollarında 50 m geriye yerleştirilen otomatik sinyalize yaya geçitlerinin Vissim simülasyon yazılımında modellenirken performans değerlendirilmesi için yapılan analiz çalışması sırasındaki iki ve üç boyutlu görselleri Şekil 6.30.'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.30. Senaryo 3 durumu simülasyon görüntüleri, (a) 2D görüntü, 1125.sn, (b) 3D görüntü, 2337.sn.

Otomatik sinyalize yaya geçinin kavşak yaklaşım kolunda 50 m geriye alınmasıyla koordineli olarak çalıştırılan sinyalize kavşağın taşıt başı ortalama gecikme değerine göre optimum devre süresi hesabı yapılarak optimum devre süresi 92 sn olarak bulunmuştur. 92 sn'lik devre süresi programında taşıt başı ortalama gecikme değeri olan 47,21 sn olmuştur. Aynı devre süresinde modellenen kavşak ağını kullanan yayalar için ortalama yaya yolculuk süresi de 397,18 sn olmaktadır (Tablo 6.8.).

Tablo 6.8. Senaryo 3 durumu performans değerleri

| Yaya Gecidinin Kavşaağa Olan Mesafesi (m) | Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme (sn) | Ortalama Taşıt Hızı (km/sa) | Ortalama Yaya Yolculuk Süresi (sn) | Ortalama Yaya Hızı (m/sn) |
|---|-------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 50 | 110 | 96,23 | 17,24 | 411,53 | 3,20 |
| 50 | 92 | 47,21 | 26,44 | 397,18 | 3,31 |
| 50 | 89 | 47,75 | 26,28 | 394,78 | 3,32 |

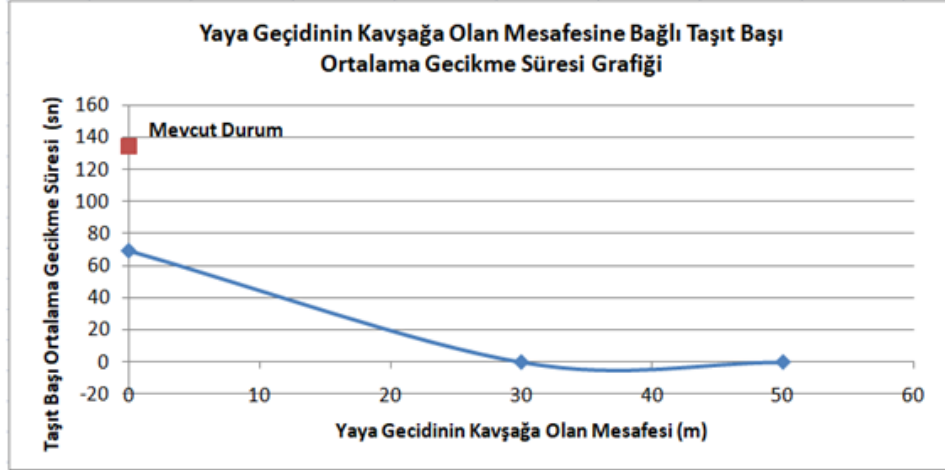
6.4. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan detaylı analiz sonucu durma çizgisinin mevcut durum daki, ve senaryolar sonucu optimizasyonlu devre süreleri ile 0., 30. ve 50. m mesafelerdeki performans sonuçları Tablo 6.9.'da verilmiştir.

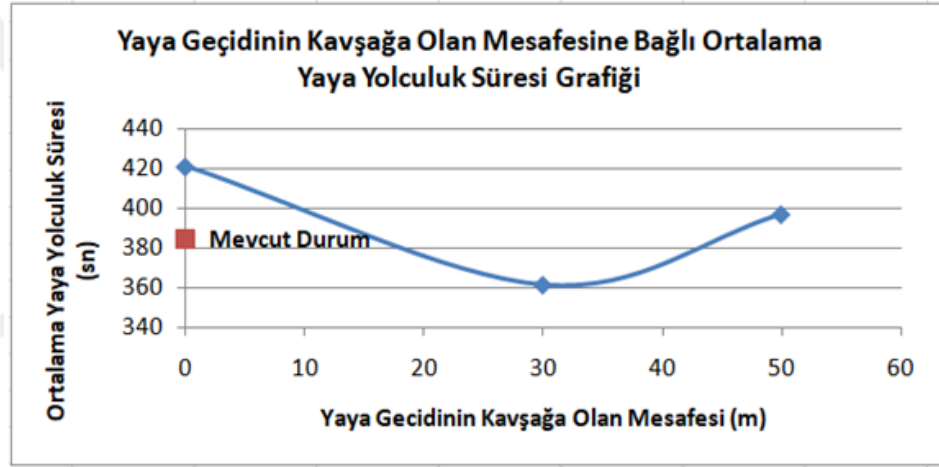
Tablo 6.9. Armada kavşaağı performans sonuçları

| Yaya Gecidinin Kavşaağa Olan Mesafesi (m) | Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme Süresi(sn) | Ortalama Taşıt Hızı (km/sa) | Ortalama Yaya Yolculuk Süresi (sn) | Ortalama Yaya Hızı (m/sn) |
|---|-------------------|--|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 0 | 155 | 134,62 | 13,25 | 384,58 | 2,68 |
| - | 86 | 31,09 | 31,92 | - | - |
| 0 | 110 | 69,17 | 21,47 | 421,07 | 2,56 |
| 30 | 91 | 43,17 | 27,63 | 361,75 | 3,28 |
| 50 | 92 | 47,21 | 26,44 | 397,18 | 3,31 |

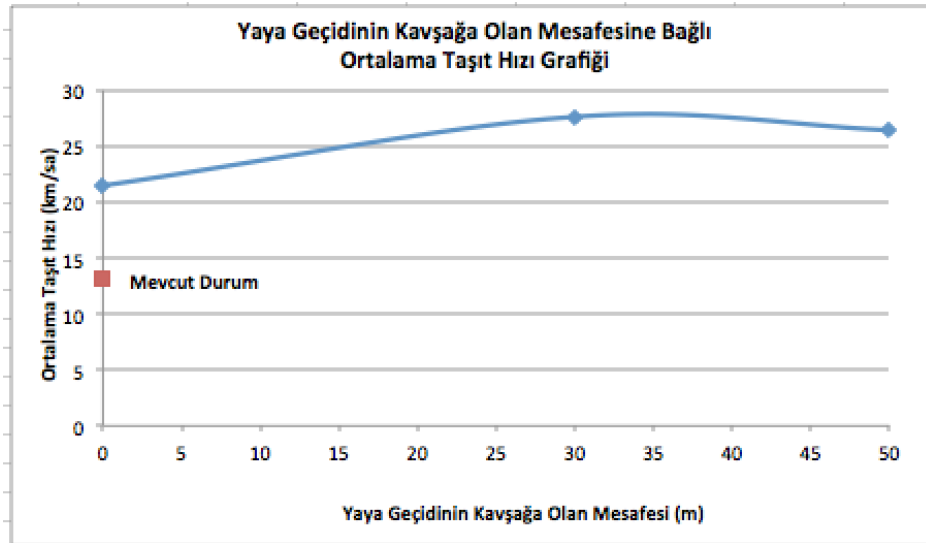
Tablo 6.9.'da bulunan değerler açısından yaya geçidi bulunan kavşaağın mevcut durum ile optimizasyon sonucu elde edilen performans değerlerinin özetlendiği taşıt başı ortalama gecikme–yaya geçidinin kavşaağa olan mesafesi, ortalama yaya yolculuk süresi-yaya geçidinin kavşaağa olan mesafesi ve taşıt başı ortalama gecikme–hız parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 6.31., Şekil 6.32. ve Şekil 6.33.'te verilmiştir.



Şekil 6.31. Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı taşıt başı ortalama gecikme süresi grafiği.



Şekil 6.32. Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı ortalama yaya yolculuk süresi grafiği.



Şekil 6.33. Yaya geçidinin kavşağa olan mesafesine bağlı ortalama taşıt hızı grafiği.

Günümüzde şehirlerde, gün geçtikçe artan konut talebi ile alışveriş merkezlerine olan ilgi artmaktadır. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda, Çorlu İlçesi'nde konut ve alışveriş merkezlerinin orta noktasında bulunan dört kollu sinyalize eşdüzey Armada kavşağı seçilmiştir. Öncelikle, bu kavşaktan mevcut veriler toplanarak kavşağın mevcut hali bilgisayar ortamında çizilmiştir. Sahada yapılan gözlemlerde, taşıt sürücülere için gereksiz beklemelemlerden kaynaklı uzun süreli gecikmelerin olduğu tespit edilmiştir.

Bu kapsamda öncelikle optimum devre süresi tespit edilmesi gerekliliğinden dolayı, yaya akımsız yapılan simülasyonlarda devre süresinin 86 sn olması gerektiği belirlenmiştir. Ardından, üç yaklaşım kolunda otomatik yaya geçidi kavşağın 0 konumu olarak kabul edilen kavşak içerisine yerleştirilerek optimum devre süre tespiti yapılmıştır. Mevcut durumda, blok yaya süresi olmadığı ve uygun fazlar arasında kademeli olarak yaya geçişine izin verildiği ve yayalar tarafından kural ihlalleri yapıldığı için, devre süresinin hesabında 20 sn blok yaya fazı eklenmiştir. Bu durumda, sinyalize kavşakta yapılan hesaplamalarda optimum devre süresinin 110 sn olduğu tespit edilmiştir. Mevcut durum devre süresi 155 sn olduğunda senaryoların iyileştirme yüzde değişimleri Tablo 6.10.'da özetlenmiştir.

Tablo 6.10. Armada kavşağı mevcut durum ve senaryoların (%) değişimleri

| Senaryolar | Optimum Devre Süresi (sn) | Taşıt Başı Ortalama Gecikme Süresi Değişimi (%) | | Ortalama Taşıt Hızı Değişimi (%) | | Ortalama Yaya Yolculuk Süresi Değişimi (%) | | Ortalama Yaya Hızı Değişimi (%) | |
|------------------|---------------------------|---|-------------------|----------------------------------|-------------------|--|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| | | Mevcut (155sn) | Senaryo 1 (110sn) | Mevcut (155sn) | Senaryo 1 (110sn) | Mevcut (155sn) | Senaryo 1 (110sn) | Mevcut (155sn) | Senaryo 1 (110sn) |
| Senaryo 1 (0 m) | 110 | 48 | - | 62 | - | -9 | - | -4 | - |
| Senaryo 2 (30 m) | 91 | 68 | 38 | 108 | 29 | 6 | 14 | 22 | 28 |
| Senaryo 3 (50 m) | 92 | 65 | 32 | 200 | 23 | -3 | 6 | 24 | 29 |

Mevcut durumda taşıt başı ortalama gecikme değeri 134,62 sn'dir. Senaryo 1'de olduğu gibi, durma çizgisinin 0 m konumunda bulunmasıyla, taşıt başı ortalama gecikme değeri 69,17 sn tespit edilmiştir. Otomatik sinyalize yaya geçidinin kavşak yaklaşık konumunda 30 m geriye çekilmesi durumu olan Senaryo 2'ye göre 91 sn'lik

optimum devre süresinde gecikme değeri 43,17 sn'ye düştüğü tespit edilmiştir. Mevcut duruma göre % 68, optimize edilen devre süresi olan Senaryo 1'e göre ise % 38'lik bir iyileşme meydana gelmiştir. Eğer, Senaryo 3 durumunda planlandığı gibi yaya geçidi, kavşak kolunda 50 m geriye çekilirse 92 sn'lik devre süresinde taşıt başı ortalama gecikme değeri 47,21 sn olmaktadır. Bu sonuçla mevcut duruma göre % 65, optimize devre süreli senaryo 1 göre ise yaklaşık % 32'lik bir iyileşme söz konusu olmaktadır.

Taşıtlar için ortalama hız değerlerinin karşılaştırması durumunda; mevcut durumda hız 13,25 km/sa olurken, Senaryo 1'de ortalama hız değeri % 62 artarak 21,47 km/sa, yaya geçidinin Senaryo 2'deki durumda ise hız mevcut duruma göre iki katından fazla iyileşerek % 108 artarken, Senaryo 1'e oranla % 29 iyileşerek 27,63 km/sa olmaktadır. Eğer durma çizgisi, Senaryo 3 durumundaki gibi 50 m geriye çekilirse ise mevcut duruma göre iki kat iyileşme olurken, Senaryo 1 durumuna göre hız % 23 artışla 26,44 km/sa olarak gerçekleşmektedir.

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen verileri ayrıca kavşağı kullanan yayaların performansı üzerine analiz yapılırsa; sinyalize yaya geçidinin mevcut durumda olması durumunda ortalama yaya yolculuk süresi 384,58 sn'dir. Senaryo 1'de bulunması durumunda 110 sn'lik optimum devre süresinde ortalama yaya yolculuk süresi mevcut duruma göre % 9 kötüleşmeyle 421,07 sn olurken, Senaryo 2'de 361,75 sn ile mevcut duruma göre % 6'lık, Senaryo 1'e göre ise % 14'lük bir iyileşme tespit edilmektedir. Eğer durma çizgisi, Senaryo 3'teki kavşak içinden 50 m geriye konumlandırıldığında ise mevcut duruma göre % 3 bir azalma olurken, Senaryo 1'e göre iyileşme % 6'da olarak 397,18 sn olmaktadır.

Yaya hızları kıyaslandığında ise, mevcut durumda 2,88 m/sn olarak gerçekleşen ortalama yaya hızı, Senaryo 1'de % 4 yavaşlayarak 2,56 sn olmuştur. Senaryo 2'de mevcut duruma kıyasla yaklaşık % 22 iyileşme olurken, Senaryo 1'e göre artış oranı % 28 olarak görülmüş ve 3,28 m/sn'ye çıkmıştır. Senaryo 3'teki durumda 3,31 m/sn olarak tespit edilen ortalama yaya hızı mevcut duruma göre % 24 artarken, Senaryo 1'e göre % 29 iyileştiği sonucuyla daha iyi bir iyileşme oranı tespit edilmektedir.

BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Caddelerden ve sokaklardan oluşan şehirçi karayollarımız, modern şehirlerdeki kamusal alanların % 80'inden fazlasını oluşturmaktadır. Fakat çoğu zaman şehirçi ulaşımdan sorumlu mahalli idareler ve karar vericiler yayaların güvenli bir şekilde yürüyebilecekleri, bisiklet kullanabilecekleri, taşıt sürebilecekleri kısacası sosyalleşebilecekleri bir alan sağlanması konusunda uzmanlardan yararlanmak konusunda tereddüt etmektedirler (Nacto, 2013).

Bu çalışma kapsamında, eşdüzey sinyalize kavşaklarda bulunan otomatik sinyalize yaya geçitlerinde gerçekleşen yaya ve taşıt etkileşimleri sonucu ortaya çıkan uzun bekleme sürelerinden kaynaklı gecikmelere çözüm yöntemi olarak kavşak içerisinde bulunan otomatik sinyalize yaya geçitlerinin, kavşak yaklaşım kolu üzerindeki konumlarının değiştirilerek hem yayaların güvenle karşıdan karşıya geçmesine imkan sağlamak hem de taşıtların gecikme sürelerini azaltarak tasarım ve işletme önerileri açısından ekonomik ve çevresel sorunların önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Bu çerçevede, öncelikle bilgisayar ortamında tasarlanan dört kollu eşdüzey sinyalize bir kavşağın mikro ölçekli simülasyon programı olan Vissim yazılımında modellenmesi yapılarak tespit edilen optimum devre süresi çerçevesinde yaya ve taşıtlar için belirlenen performans kriterleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler sonucu her bir kavşak yaklaşım kolunda bulunan otomatik sinyalize yaya geçitlerinin konumları kavşak içindeki durumu 0.m kabul edilerek sırasıyla 30.m ve 50.m'ye taşınarak sinyalize kavşak ile koordineli çalıştırılmasıyla tespit edilen sonuçların analizleri yapılmıştır. Beşer metre arayla ve sırasıyla değiştirilerek elde edilen performans kriterlerinin analizleri yapılmıştır.

Son olarak; deneysel yapılan çalışmaya ek olarak, hali hazırda mevcut olan Armada kavşağında sahadan toplanan trafik hacim değerleri ve geometrik özelliklerine göre bilgisayar ortamında çizimi yapılmıştır. Ardından deneysel çalışmada olduğu gibi yaya geçidinin konumu kavşağa 0.-30. ve 50.m’de konumlandırılarak mikro ölçekli simülasyon yazılımı yardımı ile modellemesi ve simülasyonu yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucu çıkarılan değerler benzerlik göstermiş ve amaçlanan sonuçlar şu şekilde sıralanabilmektedir;

- Yüksek hacim değerine sahip sinyalize kavşaklarda mikro ölçekli simülasyon programlarıyla öncelikli olarak devre sürelerinin optimizasyonları yapılarak kavşak kontrol sistemlerinin verimli kullanılması sonucu işletme sorunlarının önüne geçilebileceği tespiti yapılmıştır.
- Kavşak tasarım önerisi olarak yoğun yaya hareketliliğine ve yüksek taşıt hacmine sahip kavşak noktalarında ve kavşağa yakın noktalarda pelikan tipi yaya geçidi uygulamalarının gecikmelere yol açabileceğinden yaya davranış kuralları açısından kullanılabilir bir mesafe olan 50.m’ye kadar bir mesafede otomatik yaya geçidi uygulamasının kavşakla koordineli çalıştırılmasının yaya ve taşıt performanslarında olumlu etkileri olduğu gözlemlenmiştir.
- Otomatik sinyalize yaya geçidinin kavşak hacmine, devre diyagramına, geometrik özelliklerine ve işletim tercihlerine göre kavşak giriş noktasından 20.m’ den daha yakın bir noktaya konumlandırılacak yaya geçidinin kurgusal kavşakta ve uygulama kavşağında depolama alanının kapasite düşüklüğünden kaynaklı olumlu sonuçlar vermediği tespit edilmiştir.
- Yapılan çeşitli simülasyon çalışmalarında taşıt başı ortalama gecikme süresi en kısa 25.m ve 30.m’lerde konumlandırılan yaya geçitlerinde olduğu belirlenmiştir.
- Kavşak yaklaşım kolunda, ulaşılabilir bir mesafede otomatik yaya geçidi yapılmasının yaya güvenliği açısından kavşak etrafına korkuluklar yapılarak hem yayaların yakın mesafedeki yaya geçidine yönlendirilmesi hem de kavşak kesişiminde yaya güvenliği açısından yaşanabilecek olumsuzlukların önüne geçilebilmesine imkan sağlanabilecektir.

- Otomatik sinyalizasyon yaya geçidinin özellikle bölünmüş yollarda yol ortasında bulunan orta refüjdeki alanın kademeli olarak yapılabilme imkanı devre sürelerini kısaltacağından taşıt gecikmelerinden kaynaklı kavşağın performans değerleri artırılabilme imkanı sağlamaktadır.
- Sinyalizasyon kavşaklarında özellikle devre süresini uzatmamak için yayalara blok yeşil yakılmadığı gözlemlendiğinden yaya geçidinin kavşak giriş noktasından uzaklaştırılmasıyla kavşak ile sinyal direği arasında kalan depolama alanında taşıt sürücülerinin bekletilebilme imkanı ile yayalara blok yeşil süre yakılarak yaşanabilecek olası güvenlik sorunlarının önüne geçilebilmesine imkan sağlayabilmektedir.
- Bu çalışma ile, gelecekte yaya geçitlerinin kavşak tasarımında yerleştirileceği konumun yapılacak inceleme ve analizlerle kavşak trafik hacimlerine bağlı oluşturulabilecek bir grafikte, kavşak tasarımlarında çeşitli kabuller yapılabilmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Alçelik, N. 2010. Kentiçi Sinyalize ve Dönel Kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması Ümransye İlçesi Örneğinin İncelenmesi. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Alhajyaseen, W. K. M., Asano, M., and Nakamura, H. 2012. Estimation of left-turning vehicle maneuvers for the assessment of pedestrian safety at intersections, International Association of Traffic and Safety Sciences Research, Elsevier Ltd.
- Akbaş, A. 2001. Kentiçi Trafik Sinyal Sisteminin Optimal Kontrolü. M.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Akdoğan, E. 2002. A Signal Timing Algorithm for Intersection Traffic Control and Its Using in Expert System Approach. Uluslararası 1. Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Ankara, 271-276.
- Anciaes, P.R., Jones, P. 2017. Estimating preferences for different types of pedestrian crossing facilities. Transportation Research Part F 52, 222-237.
- Ayfer, M. Ö. 1977. Trafik Sinyalizasyonu. T.C. Bayındırlık Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayın No:226, Ankara.
- Beyer, J., Kretz, T., Aslan, A., Güler, H. 2009. Yaya trafiğinin modellenmesi ve simülasyonu. 8. Ulaştırma Kongresi, İstanbul.
- Bönisch, C., AndKretz, T. 2009. Simulation of Pedestrians Crossing a Street, Traffic and Granular Flow. Shanghai, China.
- Çakıcı, Z. 2014. Sinyalize Dönel (Yuvarlakada) Kavşakların Tasarım Esaslarının Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Duderstadt, J. J., Martin, W. 1979. Transport Theory, A Wiley – Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York, USA.
- Duran, C., Cheu, R. L. 2012. Effects of Crosswalk Location and Pedestrian Volume on Entry Capacity of Roundabouts, International Journal of Transportation Science and Technology, 2(1), 31-46.
- Erol, D. 2018. Kentiçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisi: Denizli Örneği. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

- Erol, D., Başkan Ö. 2017. Şehirçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisinin İncelenmesi, 12. Ulaştırma Kongresi (Ulaştırma Politikaları), 25-34.
- Fritzsche, H. 1994. A Model for Traffic Simulation. *Traffic Engineering & Control*, 35, 317-321.
- Gözler, D. 2015. Hız Yönetiminde Kullanılan Altıspı Değişikliklerinin Kavşak Performansına Etkileri ve Örnek Bir Uygulama. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Trafik Planlaması ve Uygulaması Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Güler, H. 2018. Simülasyon Teknikleri Ders Notu, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Helbing, D. and Molnar, P. 1995. Socialforce model for pedestrian dynamics, *Physical Review E*, 51(5), 4282–4286.
- İnaçlı, M. 2012. Dönel Kavşakların Güvenliği ve Konya'daki Bazı Kavşakların İncelenmesi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Inman, V. W. and Davis, G. W. 2007. Synthesis of Literature Relevant to Roundabout Signalization to Provide Pedestrian Access, Final Report, Roundabout Signalization for Accessibility Synthesis, 2007.
- Johansson, A., Helbing D., Suhlka, P.K. 2007. Specification of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data, *Advances in Complex Systems*, 10(4), 271-288.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2000. Karayolu Tasarım Raporu Ek-1 Kavşak Tipi Seçimi ile ilgili olarak Önerilen Esaslar, Trafik Güvenliği Projesi, Ankara.
- Mahmud, S. M. S., Ferreira, L., Hoque, Md. S., Tavassoli, A. 2018. Micro-simulation modelling for traffic safety: A review and potential application to heterogeneous traffic environment, *International Association of Traffic and Safety Sciences Research*.
- Marisamynathan, S., Perumal, P. 2014. Study on pedestrian crossing behavior at signalized intersections, *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2014, 1 (2), 103-110.
- Marko, A. 2004. Simulation of pedestrian flows based on the social force model using the verlet link cell algorithm. Poznan University of Technology, Master's Thesis.
- Murat, Y.Ş., Çakıcı, Z. 2016. Sinyalize Kavşaklarda Durma Gecikmesi ve Kontrol Gecikmesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. 12. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, 13-24.
- National Association of City Transportation Officials (nacto). 2013. Urban Street Design Guide, Intersection Design Elements, USA.
- Özdirim, M. 1994. Trafik Mühendisliği 2 Cilt Takım, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- Özge, K. V. 2010. Kavşak İyileştirme Seçeneklerinin Simülasyon Tekniğiyle Değerlendirilmesi: İstanbul Cendere Yolu Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Öztürk, E. A., Hatipoğlu S., Çubuk, M. K. 2008. Ankara İçin Bir Sinyal Zamanlaması Modeli: Beşevler Kavşağı Örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(1): 49-57.
- Pamukkale Üniversitesi, 2018a. Çorlu Kavşak Sayım ve Analiz Raporu.
- Pamukkale Üniversitesi, 2018b. Çorlu Geneli, Trafik Dolaşım ve Sirkülasyon Planlarının Hazırlanması İş.
- PTV VISSIM 8 User Manual, PTV AG, Karlsruhe, 2016.
- Schreckenberg, M., Sharma S.D.2002. Pedestrian and Evacuation Dynamics, Springer Verlag.
- The highway code, 2019, UK.
- TS 7635. 1989. Şehir içi Yollar-Yaya Geçitleri Seçim Esasları.
- TS 7636. 1989. Şehir içi Yollar-"Zebra" Yaya Geçitleri.
- TS 7768. 1990. Şehir içi Yollar-Pelikan Yaya Geçitleri-Yapım ve İşleyiş Kuralları.
- TS 12576. 2012. Şehir içi Yollar-Kaldırım ve yaya geçitlerinde ulaşılabilirlik için yapısal önlemler ve işaretlemelerin tasarım kuralları.
- Tuncuk, M., Kardeşahin, M. 2004. Coğrafi Bilgi Sistemleriyle Şehir içi Trafik Kaza Analizi: Isparta Örneği, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 17. Teknik Kongre ve Sergisi, 524-530, İstanbul.
- Url-1: Yetiş, Ş., M., Başkan, Ö. 2006. İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi. www.researchgate.net, Son Erişim Tarihi: 19.03.2019.
- Url-2: <https://uym.ibb.gov.tr>, Erişim Tarihi: 14.04.2019.
- Url-3: www.wikipedia.com, Erişim Tarihi: 19.04.2019.
- Url-4: www.wikimedia.com, Erişim Tarihi: 23.04.2019.
- Url-5: www.gettyimages.com, Erişim Tarihi: 23.04.2019.
- Umar F., Yayla N. 1992. Yol İnşaatı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Werner, T., Helbing, D. 2003. The Social Force Pedestrian Model Applied to Real Life Scenarios. Pedestrian and Evacuation Dynamics, 17-26.
- Wiedemann, R., Reiter, U. 1992. Microscopic traffic simulation: the simulation system MISSION, background and actual state. In: CEC project ICARUS (V1052) final report, vol 2, Appendix A. Brussels, CEC.
- Wiedemann, R. 1974. Simulation des Strassenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Band 8, Karlsruhe, Germany.
- Wilshire, R. L. 1992. Traffic signals, Traffic engineering handbook. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall.
- Yayla, N. 2004. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Kerem Savaş, 04.05.1985'te Çorlu'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Çorlu' da tamamladı. 2003 yılında Mehmet Akif Ersoy Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2004 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü Ocak 2009 yılında tamamladı. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Ayrıca 2009 yılında Çorlu Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü İhale hazırlık birimde başladığı iş hayatında sırasıyla inşaat ekipleri sorumlu yardımcısı, asfalt ekipleri sorumlusu olarak çalıştı. 2014 yılında Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı'nın kuruluş aşamasında kurucu mühendis olarak geçici bir süre görev yaptı. Belli bir süre Çorlu Belediyesi Strateji Geliştirme Müdürlüğü personeli olarak ar-ge çalışmalarına devam eden Savaş, halen Çorlu Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü'nde projeler birim sorumlusu olarak görevine devam etmektedir.