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

# KOORDİNE SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME MODELLEMESİ: ULUS BULVARI ÖRNEĞİ, DENİZLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HALİL İBRAHİM YİĞİT**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2019**

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

# KOORDİNE SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME MODELLEMESİ: ULUS BULVARI ÖRNEĞİ, DENİZLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HALİL İBRAHİM YİĞİT**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Halil İbrahim YİĞİT** tarafından hazırlanan "**Koordine Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Modellemesi: Ulus Bulvarı Örneği, Denizli**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 20.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

| Jüri Üyeleri | İmza |
|---|---|
| Danışman<br>Prof. Dr. Halim CEYLAN | ..... |
| Üye<br>Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN | ..... |
| Üye<br>Prof. Dr. Serhan TANYEL | ..... |

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26/06/2019 tarih ve 26/11..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

**Halil İbrahim YİĞİT**

# ÖZET

**KOORDİNE SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME MODELLEMESİ: ULUS BULVARI ÖRNEĞİ, DENİZLİ**
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**HALİL İBRAHİM YİĞİT**
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**
**(TEZ DANIŞMANI:PROF. DR. HALİM CEYLAN)**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2019**

Dünya nüfusundaki artış ve giderek yaygınlaşan kentleşme, taşıt talebini de arttırmaktadır. Kent nüfusunun yoğun olduğu yerlerde taşıt trafiği de yüksek olmaktadır. Buda ulaşım ağlarında oluşan gecikmeyi minimize etme ihtiyacını doğurmuştur. Kentiçi arterlerde oluşan taşıt gecikmelerin temel sebeplerinden biride sinyalize kavşaklardır. Sinyalize kavşaklar arasında koordinasyon kurularak oluşan bu gecikmeler minimize edilebilir. Bu çalışma temelde sinyalize kavşaklar arasında koordinasyon kurularak minimum gecikmenin sağlanmasını amaçlamıştır. Bu kapsamda kavşakların trafik hacim değerleri belirlenmiş, kavşakların optimum devre süreleri hesaplanmış ve ofset sürelerine bağlı olarak gecikme değerleri ölçülmüştür. Çalışmada PTV VISSIM trafik simülasyon ve analiz programı kullanılarak koordinasyon sağlanmıştır. Çalışmanın örneklem alanı Denizli Ulus Bulvarı üzerindeki Tiyatro ve Havuzlu Köşk Kavşaklarıdır. Çalışma sonucunda kavşaklar arasından minimum gecikmeyi sağlayan koordinasyon sağlanmış, bu sayede ulaşım ağı genelinde zirve saat %15, zirve dışı saatte ise %32 iyileşme sağlanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER: Sinyalize Kavşaklar, Koordinasyon, Ofset Süresi, Gecikme**

# ABSTRACT

**MODELING OF DELAY IN COORDINATED SIGNALIZED INTERSECTION: DENİZLİ ULUS BOULEVARD SAMPLE**
**MSC THESIS**
**HALİL İBRAHİM YİĞİT**
**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**
**CIVIL ENGINEERING**
**(SUPERVISOR:PROF, HALİM CEYLAN)**

**DENİZLİ, JUNE 2019**

The increase in the world population and the increasingly widespread urbanization increase the demand for vehicles. Vehicle traffic is also high in urban areas. This has created the need to minimize the delay in transportation networks. One of the main causes of vehicle delays in urban arteries is signalized intersections. These delays can be minimized by forming a corridor between the signalized intersections. This study aims to provide a minimum delay by coordinating between signalized intersections. In this context, traffic volume values of intersections were determined, optimum cycle lengths of intersections were calculated and delay values were measured depending on offset times. The study was coordinated by using the PTV VISSIM traffic simulation and analysis program. The sample area of the study is the Tiyatro and Havuzlu Köşk Intersections on Denizli Ulus Boulevard. As a result of the study, coordination was ensured between the intersections with the minimum delay, thus, the peak of the transportation network was 15% and the peak hour was 32%.

**KEYWORDS: Signalized Intersections, Coordination, Offset, Delay**

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa 1**


**ÖZET** ..... **i**
**ABSTRACT** ..... **ii**
**İÇİNDEKİLER** ..... **iii**
**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **v**
**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **vi**
**TABLO LİSTESİ** ..... **vii**
**SEMBOL LİSTESİ** ..... **viii**
**ÖNSÖZ** ..... **ix**
**1. GİRİŞ** ..... **1**
1.1 Giriş ..... 1
1.2 Problem Tanımı ..... 3
1.3 Amaç ..... 4
1.4 Kapsam ..... 4
**2. LİTERATÜR TARAMASI** ..... **6**
**3. SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ** ..... **9**
3.1 İzole Sinyalize Kavşaklar ..... 9
3.1.1 Sabit Zamanlı Sinyalizasyon ..... 9
3.1.2 Trafik Uyarlamalı Sinyalizasyon ..... 10
3.1.2.1 Yarı Uyarmalı Trafik Sistemi ..... 10
3.1.2.2 Tam Uyarmalı Trafik Sistemi ..... 10
3.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi ..... 11
3.1.4 El İle Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi ..... 11
3.2 Koordine Sistemler ..... 11
3.2.1 Koordinasyona Etki Eden Faktörler ..... 12
3.2.2 Koordine Sistemlerin Genel Prensipleri ..... 12
3.2.3 Koordine Sistem Bileşenleri ..... 12
3.2.3.1 Ofset Süresi ..... 12
3.2.3.2 Yer-Zaman Diyagramı ..... 14
3.2.3.3 Bant Genişliği ..... 15
3.2.4 Koordine Kavşaklarda Kuyruklanma Etkisi ..... 17
3.2.5 Koordine Sistem Türleri ..... 19
3.2.5.1 Senkronize Sistem ..... 19
3.2.5.2 Alternatif Sistem ..... 20
3.2.5.3 Progresif Sistem ..... 21
3.2.5.3.1 Basit Progresif Sistem; ..... 22
3.2.5.3.2 Esnek Progresif Sistem; ..... 22
3.2.5.4 Alansal Trafik kontrol Sistemi ..... 23
**4. SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME VE KAPASİTE HESAPLARI** **25**
4.1 Webster (İngiliz Yöntemi) ..... 25
4.1.1 Doygun Akım ..... 25
4.1.2 Taşıt Kompozisyonu ..... 26
4.1.3 Hacim/Kapasite Oranı ..... 27
4.1.4 Optimum Devre Süresi ..... 28
4.1.5 Gecikme Hesabı ..... 29

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa 2**


**5. SİMULASYON İLE MODELLEME ..... 30**
5.1 Simülasyonun Kullanım Alanları ..... 30
5.2 Simülasyonun Avantajları ..... 31
5.3 Simülasyonun Dezavantajları ..... 32
5.4 Benzetim Modeli ..... 32
5.5 PTV VISSIM Mikro Simülasyon Programı ..... 33
5.6 Model Çıktılarının Analizi ..... 35
**6. ARAŞTIRMA VE BULGULAR ..... 36**
6.1 Giriş ..... 36
6.2 Ağ Tasarımı ve Trafik Etütleri ..... 36
6.2.1 Tiyatro Kavşağı ..... 37
6.2.1.1 Zirve Saat Trafik Bilgileri ..... 39
6.2.1.2 Zirve Dışı Saat Trafik Bilgileri ..... 41
6.2.2 Havuzlu Köşk Kavşağı ..... 44
6.2.2.1 Zirve Saat Trafik Bilgileri ..... 46
6.2.2.2 Zirve Dışı Saat Trafik Bilgileri ..... 49
6.3 Doygun Akım Hesabı ..... 52
6.4 Mevcut Durum Analizi ..... 55
6.4.1 Kalibrasyon ..... 55
6.4.2 Tiyatro Kavşağı ..... 56
6.4.3 Havuzlu Köşk Kavşağı ..... 57
6.4.4 İzole Durum Analizi ..... 58
6.4.5 Koordine Durum Analizi ..... 59
6.5 Optimizasyon ..... 60
6.5.1 Ofset Süresinin Belirlenmesi ..... 62
6.6 Sonuçlar ..... 68
6.6.1 Zirve Saat ..... 68
6.6.2 Zirve Dışı Saat ..... 69
**7. SONUÇLAR ..... 70**
7.1 Giriş ..... 70
7.2 Sonuçlar ..... 70
7.3 Öneriler ..... 73
**8. KAYNAKLAR ..... 74**
**1. ÖZGEÇMİŞ ..... 76**

# ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa 1**


Şekil 1.1: Ulus Bulvarı çevresi yerleşim alanları ..... 3
Şekil 1.2: Ulus Bulvarı çevresi yerleşim ağı ..... 3
Şekil 3.3: Tek yönlü yer – zaman diyagramı ..... 15
Şekil 3.4: Kuyruklanma olan koordine kavşaklarda yer zaman diyagramı ..... 17
Şekil 3.5: Kuyruklanma düzeltmesi sonrası ideal ofset süresine bağlı yer – zaman diyagramı ..... 18
Şekil 3.6: Senkronize koordine sistemin yer – zaman diyagramı ..... 19
Şekil 3.7: Alternatif koordine sistemde yer – zaman diyagramı ..... 20
Şekil 3.8: Progresif koordine sistem yer – zaman diyagramı ..... 22
Şekil 4.9: Kavşak yaklaşım kolundaki taşıtların yeşil ışık boyunca hareketi ..... 25
Şekil 5.10: Widemann psiko fiziksel taşıt takip modeli ..... 34
Şekil 6.11: Tiyatro Kavşağı konumu ..... 38
Şekil 6.12: Tiyatro Kavşağı İHA görüntüsü ..... 38
Şekil 6.13: Tiyatro Kavşağı taslak plan ..... 38
Şekil 6.14: Tiyatro Kavşağı zirve saat faz planı ..... 39
Şekil 6.15: Tiyatro Kavşağı zirve saat devre diyagramı ..... 39
Şekil 6.16: Tiyatro Kavşağı sabah zirve saat trafik hacimleri şema gösterimi ..... 40
Şekil 6.17: Tiyatro Kavşağı sabah zirve saat birim otomobil hacimleri şema gösterimi ..... 41
Şekil 6.18: Tiyatro Kavşağı zirve dışı saat faz planı ..... 42
Şekil 6.19: Tiyatro kavşağı zirve dışı saat devre diyagramı ..... 42
Şekil 6.20: Tiyatro kavşağı zirve dışı saat trafik hacimleri şema gösterimi ..... 43
Şekil 6.21: Tiyatro Kavşağı zirve dışı saat birim otomobil hacimleri şema gösterimi ..... 44
Şekil 6.22: Havuzlu Köşk Kavşağı konumu ..... 45
Şekil 6.23: Havuzlu Köşk Kavşağı İHA Görüntüsü ..... 45
Şekil 6.24: Havuzlu Köşk Kavşağı taslak plan ..... 45
Şekil 6.25: Havuzlu Köşk Kavşağı Zirve Saat Faz Planı ..... 46
Şekil 6.26: Havuzlu Köşk Kavşağı zirve saat devre diyagramı ..... 46
Şekil 6.27: Havuzlu Köşk Kavşağı sabah zirve saat trafik hacimleri şema gösterimi ..... 47
Şekil 6.28: Havuzlu Köşk Kavşağı zirve saat birim otomobil hacimleri şema gösterimi ..... 48
Şekil 6-29: Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat faz planı ..... 49
Şekil 6.30: Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat devre diyagramı ..... 49
Şekil 6.31: Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat trafik hacimleri şema gösterimi ..... 50
Şekil 6.32: Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat birim otomobil hacimleri şema gösterimi ..... 51
Şekil 6.33: Kavşaklar arasındaki eğim bilgileri ..... 52
Şekil 6.34: Tiyatro kavşağı yaklaşım kollarının şerit başına doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit) ..... 53
Şekil 6.35: Havuzlu Köşk Kavşağı yaklaşım kolları doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit) ..... 54
Şekil 6.36: Tiyatro Kavşağı mevcut durum simülasyonu ..... 56
Şekil 6.37: Havuzlu Köşk Kavşağı mevcut durum simülasyonu ..... 57

# ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa 2**

Şekil 6.38: Ulaşım ağı geneli mevcut izole durum simülasyonu ..... 58
Şekil 6.39: Kavşakların kolları ve cadde isimleri ..... 59
Şekil 6.40: Koordine durum simülasyonu ..... 59
Şekil 6.41: PTV VISSIM ile modellenen ulaşım ağı ..... 62
Şekil 6.42: Koordine aksların zirve saat ofset/gecikme değerleri ..... 65
Şekil 6.43: Ulaşım ağının zirve dışı saat ofset/gecikme değerleri ..... 67
Şekil 6.44: Zirve saat optimum devre süresi ve koordinasyon planı ..... 68
Şekil 6.45: Zirve dışı saat optimum devre süresi ve koordinasyon planı ..... 69
Şekil 7.46: Ulaşım ağı genelinde zirve saat performans karşılaştırmaları ..... 72
Şekil 7.47: Ulaşım ağı genelinde zirve dışı saat performans karşılaştırmaları ..... 72

# TABLO LİSTESİ

**Sayfa 1**


Tablo 4.1: Taşıt türlerine göre birim otomobil değerleri (Kimber & ve diğ.(1986) .. 27
Tablo 6.2: Tiyatro Kavşağı sabah zirve saat taşıt hacimleri (taşıt/saat) (08:00-09:00) ..... 40
Tablo 6.3: Tiyatro Kavşağı sabah zirve saat birim otomobil hacimleri (tş/sa) ..... 41
Tablo 6.4: Tiyatro Kavşağı zirve dışı saat taşıt hacimleri (taşıt/saat) ..... 42
Tablo 6.5: Tiyatro Kavşağı zirve dışı saat birim otomobil taşıt hacimleri (tş/sa) ..... 43
Tablo 6.6: Havuzlu Köşk Kavşağı sabah zirve saat taşıt hacimleri (taşıt/saat) (08:00-09:00) ..... 47
Tablo 6.7: Havuzlu Köşk Kavşağı sabah zirve saat birim otomobil taşıt hacimleri (taşıt/saat) (08:00-09:00) ..... 48
Tablo 6.8: Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat taşıt hacimleri ..... 50
Tablo 6.9: Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat birim otomobil taşıt hacimleri ..... 51
Tablo 6.10: Tiyatro kavşağı Ulus geliş yönü doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit) ..... 52
Tablo 6.11: Tiyatro kavşağı Askeri Yol geliş yönü doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit) ..... 53
Tablo 6.12: Havuzlu Köşk Kavşağı Antalya geliş yönü doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit) ..... 54
Tablo 6.13: Havuzlu Köşk Kavşağı Tiyatro geliş yönü doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit) ..... 54
Tablo 6.14: Ulaşım ağının zirve ve zirve dışı saat GEH değerleri ..... 56
Tablo 6.15: Tiyatro Kavşağı mevcut durum performansı ..... 57
Tablo 6.16: Havuzlu Köşk Kavşağı mevcut durum performansı ..... 57
Tablo 6.17: Ulaşım ağın geneli izole durum performans sonuçları ..... 58
Tablo 6.18: Ulaşım ağı geneli mevcut koordine durum performans sonuçları ..... 60
Tablo 6.19: Tiyatro Kavşağı zirve saat izole durum optimum devre ve yeşil süreler ..... 61
Tablo 6.20: Havuzlu Köşk Kavşağı zirve saat izole durum optimum devre ve yeşil süreler ..... 61
Tablo 6.21: Tiyatro Kavşağı zirve dışı saat izole durum optimum devre ve yeşil süreler ..... 61
Tablo 6.22: Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat izole durum optimum devre ve yeşil süreler ..... 61
Tablo 6.23: Tiyatro Kavşağı optimize sinyal ve devre süreleri ..... 63
Tablo 6.24: Havuzlu Köşk Kavşağı optimize sinyal ve devre süreleri ..... 63
Tablo 6.25: Koordine aksların zirve saat için ofset/gecikme değerleri ..... 64
Tablo 6.26: Koordine aksların zirve dışı saat için ofset/gecikme değerleri ..... 66
Tablo 6.27: Ulaşım ağı genelinde zirve saat performans değerleri ..... 68
Tablo 6.28: Koordine aksların zirve dışı saat performans değerleri ..... 69

# SEMBOL LİSTESİ

| | | |
|---|---|---|
| $t_{ideal}$ | : | İdeal Ofset Süresi |
| **L** | : | Kavşaklar arası mesafe |
| **S** | : | Araçların ortalama seyahat hızı |
| $t_{adj}$ | : | Düzeltilmiş ideal ofset süresi (s) |
| **L** | : | Mesafe (m) |
| **S** | : | Hız (m/s) |
| **Q** | : | Şerit başına kuyruktaki araç sayısı, (Birim Oto) |
| **H** | : | Kuyruktaki araçların boşalma zaman aralığı (s/ta) |
| $L_1$ | : | Başlangıç kaybı, (s) |
| $E_b$ | : | Bant genişliği etkinliği (%) |
| **C** | : | Devre süresi |
| **B** | : | Bant genişliği |
| $C_b$ | : | Bant genişliği kapasitesi (araç/saat) |
| **N** | : | Doğru istikametteki şerit sayısı |
| **C** | : | Sinyal periyodu |
| **H** | : | Bir noktadan art arda geçen iki taşıt arasındaki farktır. |
| $t_{ideal}$ | : | Kuyruklanma etkisi altındaki optimum ofset süresi |
| $L_m$ | : | İki kavşak arasındaki mesafe (m) |
| **V** | : | Araçların arterdeki ilerleme hızı (m/san) |
| **K** | : | Kuyrukta bekleyen şerit başına araç sayısı |
| **H** | : | Kuyrukta bekleyen araçların boşalması için taşıtlar arası zaman aralığı |
| $I_1$ | : | Kalkış zaman kaybı (san) |
| **E** | : | Eş zamanlı sistemin etkinliği |
| **N** | : | Sistemdeki kavşak sayısı |
| **V** | : | Araç takımının arterde ortalama seyahat hızı |
| **V** | : | Araçların arterde ilerleme hızı (m/san) |
| $S_1$ | : | Doygun akım oranı (otomobil/saat/şerit) |
| $d_n$ | : | Banket kenarı şeritlerde 1,banket kenarı olmayan şeritlerde 0 değeri |
| $d_g$ | : | Yokuş yukarı çıkış şeritlerinde 1,yokuş aşağı şeritlerde 0 değeri |
| **G** | : | Yol dikey eğimi |
| **W** | : | Şerit genişlikleri |
| **F** | : | Şeritte dönüş yapan taşıtların oranları |
| **R** | : | Şeritlerin dönüş yarı çapları |
| $X_i$ | : | Yaklaşım kolunun hacim/kapasite oranı |
| $V_i$ | : | Trafik hacmi (taşıt/saat) |
| $C_i$ | : | Kapasite (taşıt/saat) |
| $S_i$ | : | Doygun akım değeri, |
| $G_i$ | : | Etkin yeşil süre |
| **C** | : | Devre süresi |
| **G** | : | Görünen yeşil süre |
| **I** | : | Yeşiller arası süre |
| **A** | : | Sarı ışık süresi |
| $D_o$ | : | Optimum devre süresi |
| **L** | : | Bir devredeki toplam kayıp süre |
| **Y** | : | Her faz için akımların doygun derecelerinin toplamı |
| $\phi$ | : | 1,2-1,8 arasında değişen kat sayı |
| **W** | : | Bir kavşak kolundaki taşıt başına ortalama gecikme (sn) |
| $\lambda$ | : | Yeşil süre oranı ($\lambda$ = g/D) |

# ÖNSÖZ

"Koordine Kavşaklar Arasında Gecikme Modellemesi – Denizli Ulus Bulvarı Örneği" konulu bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalında "Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmayı, titizlikle yöneten, bilgi ve tecrübesinden faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. Halim CEYLAN'a, tez çalışması süresince bilgi ve fikirleri ile destekleyen çok kıymetli hocam Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN'e, tez çalışması süresince maddi ve manevi yönden desteğini hiç esirgemeyen ve sürekli beni teşvik eden değerli eşim Ravza Nur YİĞİT'e, ömrüm boyunca dualarını esirgemeyen çok değerli annanem Fatma EROL'a, annem ve babam Huriye-Mustafa YİĞİT çiftine, ayrıca sahada gerçekleştirilen trafik etütleri çalışmalarında vermiş oldukları desteklerinden dolayı Denizli TKM ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Giriş

Trafikte kritik noktalardan birisi olan kavşaklar, gerek farklı yönlerden gelen taşıtların gerekse de yaya ve motorsuz taşıtlar gibi hız farkları çok olan farklı hareketlerin kesiştiği ve başta güvenlik olmak üzere tasarım ve yönetim parametrelerinin etkilendiği noktalardır. Bu nedenle güvenliğin arttırılması, risklerin azaltılması ve kapasitenin etkin olarak kullanılması için iyi tasarlanmaları ve yönetilmeleri gerekmektedir. Kavşaklarda kapasitenin verimli kullanılması için yapılabilecek düzenlemeler tek yön uygulamaları, sola dönüşlerin yasaklanması, yol genişletme, şerit ilaveleri, yayalaştırma akslarının oluşturulması, bisiklet yollarını yapılandırılması, sinyal planlarının düzenlenmesi, koordine kavşak uygulamalarının genişletilmesi gibi motorlu ve motorsuz taşıtların yanında yaya hareketlerini de destekleyen düzenleme ve önerileri içermektedir.

Ulaşım problemleri insan yaşamında önemli bir yere sahiptir. Artan nüfus ve kentleşeme ile birlikte kentiçi ulaşım problemleri de artmaktadır. Özellikle kentiçi trafik yoğunluğundan dolayı kavşaklarda tıkanıklık veya kapasitesinin %100'üne yakınını kullanma durumu oluşmaktadır. İstatistiklere göre, kentiçi ulaşımda trafik kazalarının %40-%60'ı, gecikmelerin ise %70'den fazlasının kavşaklardaki duraklamalardan meydana gelmektedir (Yayla, 2002). Kentiçi ulaşımda gecikmelerin yanı sıra, oluşan trafik kazaları, maddi hasarlar, ölümler, zaman ve üretim kayıpları ulaşımın çok yönlü değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda ulaşım planlaması sırasında kavşakların tasarım ve planlaması büyük önem arz etmektedir.

Denizli 524 bin nüfusu ile Türkiye'nin en gelişmiş onuncu kenti durumundadır (İllerin Sosyo Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması, 2011). Otomobil sayısına bakıldığında ise Denizli'de kayıtlı otomobil sayısı 2018 yılı itibariyle 405 bine ulaşmıştır (İllere göre motorlu kara taşıtları sayısı, 2018). Artan nüfusu ve gelişen

ekonomiye paralel olarak araç sahipliği de artan Denizli'de trafik sorunları da paralelinde oluşmaktadır.

Tez çalışmasında; birbirine benzer özelliklerde olan ve komşu iki kavşak arasında koordine sinyalize planlarının oluşturulması ve gecikme/ofset ilişkisine bağlı olarak aksların optimum ofset sürelerinin belirlenerek koordinasyon kurulmuştur. Bunun amacı ulaşım ağında gecikmeleri minimize etmektir. Uygulama alanı olarak Denizli'nin ana arter ulaşım akslarından birisi olan Ulus bulvarı üzerindeki Tiyatro ve Havuzlu Köşk Kavşakları seçilmiştir.

Çalışmada, Denizli Ulus Bulvarında bulunan Tiyatro ve Havuzlu Köşk kavşaklarının, mevcut durum performanslarının belirlenmesinden sonra, sinyal süreleri optimize edilmiş ve kavşaklar arasında koordinasyon planı hazırlanmıştır. Planda koordine olan aksların, ofset sürelerine göre gecikme ve durma değişimleri incelenmiş, performansı en iyileyecek şekilde zirve ve zirve dışı saat için ofset süreleri belirlenmiştir.

## 1.2 Problem Tanımı

Ulus Bulvarı Denizli'de ev-iş, ev-okul vb. ulaşımda yoğun olarak kullanılan arterlerden birisidir. Bulvar Merkezefendi ilçesinden başlayarak Antalya- İzmir ana yoluna bağlanmaktadır. Ayrıca bulvarın çevresinde Askeri bölge, Alışveriş merkezleri, Pamukkale Üniversitesi bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı çalışma Ulus Bulvarında bulunan Tiyatro ve Havuzlu köşk kavşakları analiz edilmiştir. Şekil 1.1'de Bulvar çevresindeki yerleşim alanları gösterilmiştir. Şekil 1.2'de ise Bulvara bağlandığı ana yollar, toplayıcı yollar gösterilmiştir.

**Şekil 1.1:** Ulus Bulvarı çevresi yerleşim alanları

**Şekil 1.2:** Ulus Bulvarı çevresi yerleşim ağı

## 1.3 Amaç

Tez çalışmasının amacı; birbirine benzer özelliklerde olan ve komşu iki kavşak arasında koordine sinyalize planlarının oluşturulması ve gecikme/ofset ilişkisine bağlı olarak aksların optimum ofset sürelerinin belirlenerek koordinasyon kurulmasıdır. Amaç ulaşım ağında gecikmeleri minimize etmektir. Uygulama alanı olarak Denizli'nin ana arter ulaşım akslarından birisi olan Ulus bulvarı üzerindeki Tiyatro ve Havuzlu Köşk Kavşakları seçilmiştir. Kavşakların optimum devre süresinin belirlendikten sonra, kavşaklar arasında ofset/gecikme değerleri baz alınarak koordinasyon kurulmuştur. Çalışmada sinyal sürelerinin optimizasyonunda Webster yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra optimize planlar üzerinden PTV VISSIM trafik simülasyon ve analiz programı ile gecikme ve ofset süreleri ölçülmüş, ofset süresi sıfırdan başlanarak devre süresi kadar değiştirilmiş, bu sayede iteratif yöntemler ile optimum ofset süresi belirlenmiştir.

## 1.4 Kapsam

Çalışma kapsamında; Ulus Bulvarı üzerinde bulunan Tiyatro ve Havuzlu Köşk Kavşaklarında zirve ve zirve dışı saatlerde trafik etütleri yapılmıştır. Ayrıca her iki kavşağın faz planları çıkarılmış, mevcut durumdaki sinyal süreleri, ofset süresi ve şerit sayıları ile yaklaşım kolu genişlikleri gibi geometrik özellikleri de belirlenmiştir. Bu bağlamda her iki kavşağın mevcut trafik hacimleri baz alınarak sinyal süreleri optimize edilmiş, mevcut ve optimize sonrası gecikme değerleri bulunmuş. PTV VISSIM Trafik simülasyon yazılımı ile de gecikme/ofset değerleri incelenerek optimum ofset süreleri hesaplanmıştır.

Çalışmanın giriş bölümünü izleyen ikinci bölümde koordine kavşaklar ve sinyalizasyon sistemleri üzerine yapılan önceki çalışmalar incelenmiş ve analiz metotlarından bahsedilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde koordine kavşak sistemlerinden ve koordine kavşakların bileşenleri açıklanmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise sinyalize kavşaklarda gecikme analiz metotları açıklanmış araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan Webster metodu ile devre süresi optimizasyon ve kavşak gecikme modelleri açıklanmıştır. Çalışmanın beşinci bölümünde simülasyon ve modelle çalışmaları açıklanmış, bu aşamada tez

çalışmasında kullanılan PTV VISSIM Trafik simülasyon ve analiz programının özellikleri belirtilmiştir. Tüm bu araştırma ve açıklama bölümlerinden sonra, çalışmanın altıncı bölümünde modelleme çalışmalarına geçilmiştir. Bu aşama kavşakların mevcut durum analizleri yapıldıktan sonra Webster yöntemi ile devre ve sinyal süreli optimize edilmiştir. Daha sonra optimize süreleri üzerinden PTV VISSIM programı ile iki kavşak arasında ofset sürelerine bağlı olarak koordinasyon kurulmaya çalışılmıştır. Çalışmanın yedinci bölümünde ise sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

# 2. LİTERATÜR TARAMASI

Trafik en geniş tanımıyla yayaların, hayvanların ve taşıtların tüm ulaşım yolları üzerindeki hareketleri denilebilir. Trafik sadece yollardan oluşan bir ulaşım ağı değil, aynı zamanda toplum bireylerinin bir başka biçimde etkileşimde bulunmasıdır. İnsanoğlunun varoluşundan bu yana hareket etme ve ulaşım istekleri, bundan 4000 yıl öncesine kadar hayvanlar vasıtasıyla gerçekleştiriliyordu. Daha sonra ise M.Ö. 2000 yıl öncesinde tekerleğin keşfi, bundan 2300 yıl önce üç tekerlekli aracın bulunuşu, Romalıların tekerlekli vagon dediği araçları barış ve savaşta kullanmaya başlaması ile ulaşım sistemleri oluşmaya başlamıştır.

Trafik ışıkları ise ilk olarak 1868 yılında Londra'da el ile yönetilen semaforlar biçiminde kullanılan trafik sinyalleri gece görünümlerini sağlamak amacı ile gaz lambaları ile aydınlatılmıştır. Kırmızı ve yeşil ışıklı ilk sinyalizasyon tesisi 1914 yılında A.B.D.'nde Cleveland'da kurulmuş, 1920 yılında Detroit'te sarı ışıklar da kullanılmıştır. 1924 yılından sonra Avrupa ülkelerinde de kullanılmaya başlayan ışıklı kavşaklar özellikle 1950 yılından sonra büyük gelişme göstermiştir. 1970'li yıllardan itibaren ise, taleplerin yolların kapasitelerine yaklaştığı ve hatta yol kapasitelerini aştığı durumlar gelişmeye başlamıştır. Bu nedenle, bir yandan ulaşım alt yapısı planlamalarına ve yolların inşasına devam ediliyorken, diğer yandan da dikkatler ulaşım talebinin kontrol edilmesi olgusuna çevrilmiştir. Tüm bunlar ile birlikte kavşak analizleri, gecikme hesapları, gibi matematiksel modeller araştırmacıların ilgilisini çekmeye başlamıştır. Kentlerin ulaşım ağlarındaki ve kavşaklardaki bu gelişmelerin yanında, 18. Yüzyıl sonlarına doğru araç ve motor üretimindeki gelişmeler de eklenince, otomobil sahipliğini de tetiklemeye başlamıştır.

Sinyal kontrollü kavşakların kullanımı yaygınlaşması ile birlikte kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerini eniyilemek gereksinimi de ortaya çıkmıştır. Eniyilenmedeki amaç kavşaklardaki gecikme, kuyruk uzunluğu, hava kirliliği, yakıt tüketimi ve trafik çıktılarının hepsinin ayrı ayrı veya birleştirilerek eniyilenmesi olarak tanımlanabilir. Bu bağlamda (Webster, 1958) ve (Webster & ve Cobbe, 1966) yıllarında yapmış oldukları çalışmalarında ortalama taşıt gecikmesini ilk defa modellemişlerdir. Bu çalışmadan sonra trafik üzerinde yapılan optimizasyon araştırmaları verimlilik için sürekli iyileştirmeler getirilmiştir. Fakat bu araştırmalar

1980 yıllarına kadar yalnızca tekil kavşakların trafik ışıkları kontrolü üzerinde yapılan çalışmalardır, daha sonra ise komşu kavşaklar ile birlikte optimizasyon fikri ortaya çıkmıştır.

Komşu kavşaklarda koordinasyonun sağlanması amacıyla ilk olarak (Gartner H. ve diğ, 1975) yapmış oldukları çalışmalarında, kavşakların aynı döngü süresi içerisinde ve aralarındaki uzaklıklar dahil edilerek belirledikleri periyotlara göre bir koordinasyon ayarlamıştır. Burada parametreler ile belirli süreler ile sabit zamanlı olarak trafik optimize edilebildiğini göstermiştir.

Bu çalışmadan sonra ise (P. B. Hunt ve diğ) SCOOT (Split, Cycle, Offset, Optimisation Technique) adını verdikleri kentsel trafik kontrol sistemi ile adaptif trafik yönetimini sağlamayı amaçlamışlardır. SCOOT sistemi diğer izole kavşak optimizasyonlarından ayıran özellik ise, belirlenen kavşaklara yerleştirilen dedektörler sayesinde trafik verilerini gerçek zamanlı takip edebilme, koordine olarak çözebilme yetisidir. Daha geniş tanımıyla SCOOT trafik modeli, zamanla değişen verileri (örn. sinyallerin yeşil ve kırmızı zamanları ile dedektörlerden gelen taşıt sayıları ölçümleri) ve çalışma alanı için önceden belirlenmiş verileri kullanır. Bu veriler;

- Taşıt sayımları ile işgaliye verileri;
- Devre süreleri;
- Yaklaşım kollarında kuyruklanma tahmini;
- Trafik sıkışıklığının belirlenmesi;
- Çalışma alanının trafik davranışlarıdır.

Koordine kavşak optimizasyonun da ise SCOOT;

- Yeşil süre optimizasyonu;
- Ofset optimizasyonu;
- Devre süresi optimizasyonu gibi parametreleri hesaplayarak optimum gecikmeyi vermektedir.

Park & diğ, (2004), yapmış oldukları çalışmada belirledikleri ulaşım ağında bulunan koordine kavşakları, dört ana mikroskobik trafik simülasyon programı olan CORSIM, SIMTRAFFIC, VISSIM ce PARAMICS kullanarak modellemiş ve

programların ağ geneli performans çıktılarını ile zamanlama planları, stokastik değişkenliklerini karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmada SYNCHRO trafik simülasyon programı baz almışladır. Buna göre diğer 4 simülasyon programının çıktılarını göstermişlerdir. Çalışma sonucunda, kalibrasyon aşamasında dört simülasyon programının da SYNCHRO'ya benzer sonuçlar verdiği, fakat optimizasyon sonucunda VISSIM ve PARAMICS'in tutarlı sonuçlar verdiği, CORSIM ve SIMTRAFFIC'in tutarsız sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Park & Schneeberger, (2002) yapmış oldukları çalışmada koordine olarak çalışan kavşakların bulunduğu ulaşım ağında; şerit değişimi, acil durma mesafesi, durma mesafesi, ilk hareket süresi, hızlanma, takip aralığı gibi parametrelerde farklı varyasyonları denemiş ve ulaşım ağına etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında VISSIM çoklu model simülasyon programını kullanmışlar ve farklı senaryoların etkisini modellemişlerdir.

Tian & diğ., (2001), yapmış oldukları çalışmada koordine kavşaklarda farklı yaya fazlarını deneyerek, ulaşım ağına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada yaya fazı olmayan, eş zamanlı yaya fazı olan, özel yaya geçiş fazı gibi farklı varyasyonları denemiş, her kavşak için ayrı ayrı uygulamıştır.

Jiang & diğ., (2005) yapmış oldukları çalışmada koordine kavşaklar arasındaki gecikmeleri ölçümleyebilmek için GPS cihazı kullanmışlardır. Bu sayede kavşaklar arasındaki seyahat gecikmesi, yaklaşma gecikmesi ve toplam gecikme dahil olmak üzere ağ genelinde gecikmelerin tümü ölçümlenebilmiştir. Bu sayede kavşaklar arasındaki gecikmelerinin belirlenmesinde simülasyon tekniğinden farklı bir teknik ile ölçümleme gerçekleştirilmiştir.

Jin & Ma, (2014) yapmış oldukları çalışmada Stokastik optimizasyon algoritması kullanılarak koordine kavşaklar arasındaki gecikmeyi optimize etmeye çalışmışlardır. Çalışmada gecikmenin yanı sıra gürültü, hava kirliliği gibi çevresel faktörlerdeki değişimlerde incelenmiştir. Çalışma da SUMO (Simulation of Urban Mobility) programı kullanılarak analizleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, optimize koordine kavşaklar sayesinde gecikme ve çevresel faktörlerde iyileşme sağlandığı, tek yönlü koordinasyonunda sabit zamanlı sinyal plan için küçükte olsa kazanç sağladığı gösterilmiştir.

# 3. SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

Trafiğin kontrollü geçişinin sağlanması, yaya ve taşıt hareketlerinin düzenlenmesi için trafik işaretleri kullanılmaktadır. Trafik işaretleri yatay ve düşey yönlendirici işaretler olmakla birlikte, elektrikli çalışan ışıklı lambalardan da oluşabilir. Işıklı lambalar ile çevrilmiş kavşaklara "sinyalize/ışıklı kavşaklar" olarak isimlendirilir.

Işıklı kavşaklar, birbirine yakın ve komşu olma durumlarına göre aralarında koordinasyon sağlanabilir. Bu koordinasyon kavşaklar arasındaki mesafe ile ilişkilidir. Bazı durumlarda kavşaklar arasındaki mesafe çok az olur, bu durumda kavşaklar tek bir kavşak olarak düşünülebilir. Baz durumlarda ise aralarındaki mesafe kısmen uzak olduğundan kavşaklar arasında koordinasyon sağlanamamaktadır. Bu ve benzeri durumlarda kavşaklar "izole" yani birbirinden bağımsız olarak çalıştırırlar. Kavşaklar arasında koordinasyon sağlanarak birlikte çalıştırılması durumuna ise "koordine" olarak isimlendirilir.

## 3.1 İzole Sinyalize Kavşaklar

İzole sinyalizasyon sistemleri çevresinde bulunan komşu kavşaklardan bağımsız olarak çalışan ışık denetimli kavşak sistemleridir. İzole sinyalize kavşaklar kendi içerisinde dörde ayrılır;

- Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi;
- Trafik Uyarlamalı Sinyalizasyon Sistemi;
- Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi;
- El İle Kumandalı Sinyalizasyon Sistemidir.

### 3.1.1 Sabit Zamanlı Sinyalizasyon

Sabit sinyalizasyon sisteminde önceden ayarlanmış olan sinyal planlarına göre çalışır. Böylece trafik taşıt ve yayalara planlanan sisteme göre sırasıyla geçiş hakkı verir. Sabit sinyalizasyon sisteminde yaklaşım kollarındaki yeşil süreler ile devre süreleri önceden gerçekleştirilen trafik etütlerine göre ayarlanır. Bilindiği gibi günün

farklı zamanlarında trafik hacimleri büyük değişimler göstermektedir. Sabah ve akşam saatlerinde trafik hacmi yükselirken, gün içi saatlerde ise daha yatay bir seyir izlemektedir. Bu sebeple sabit zamanlı kavşaklar günün farklı zamanlarına göre programlanarak; devre süreleri, faz planları ve yeşil süreler parametreler değiştirilebilir.

### 3.1.2 Trafik Uyarlamalı Sinyalizasyon

Trafik uyarmalı sistemlerde, kavşağın çalışma planı ve yeşil süreleri gibi parametreler kavşak yaklaşım kollarında bulunan uyarıcı dedektörler vasıtasıyla hesaplanır. Bu dedektörler sürekli olarak trafik hacmi ölçer, ölçüm sonucunda belirlenen kapasiteye göre optimum devre süresini ve yeşil süreleri hesaplar. Trafik uyarmalı sistemler iki türe ayrılırlar. Bunlar,

- Yarı Uyarmalı Trafik Sistemler;
- Tam Uyarmalı Trafik Sistemlerdir.

#### 3.1.2.1 Yarı Uyarmalı Trafik Sistemi

Yarı uyarmalı sinyalizasyon sisteminde kavşağın yoğun trafik hacmi olan yaklaşım kollarına sensörler konulur, diğer yaklaşım kollarında ise sabit zamanlı olarak sürekli yeşil ışık yanması sağlanır. Bu sayede sensör bulunan yaklaşım kollarında araç gelmediğinde sürekli kırmızı ışık yakılarak, ana akım yaklaşım kollarında sürekli yeşil ışık yanması korunur.

#### 3.1.2.2 Tam Uyarmalı Trafik Sistemi

Tam uyarmalı sinyalizasyon sisteminde kavşağın tüm kollarında sensörler bulunur. Bu sensörler sürekli olarak trafik hacimlerini ölçer ve kavşağın dinamik yönetilmesini sağlar. Tam uyarmalı sinyalizasyon sisteminin kurulum maliyeti yüksek olmasına karşın, izole kavşak sistemleri içerisinde en verimli kavşak işletim sistemidir.

### 3.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemleri genelde kavşaklarda, bağlantı yollarında veya kavşak olmayan yaya geçitlerinde bulunur. Bu sistemlerde yayanın gelmediği durumlarda taşıtlara sürekli olarak yeşil ışık yanar, yaya geldiğinde ise uyarı dedektörüne basarak taşıtlara yanan yeşil ışığın kesilmesini sağlar ve yayaya geçiş imkanı verir.

### 3.1.4 El İle Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

El ile uyarmalı sinyalizasyon sisteminde, kavşağın tüm yaklaşım kollarında kumanda bağlanılarak kavşak dışarıdan yönetilir. Bu tip sistemler de, kavşak genelde sabit zamanlı çalıştırılır, ancak trafik hacminin ani yükselişler gösterdiği durumlarda dışarıdan kumanda ile müdahale edilerek hızlı yönetimin sağlanması için kullanılır.

## 3.2 Koordine Sistemler

Ulaşım ağı üzerinde birbirine yakın olan komşu kavşaklar arasında gecikmeyi, durma sayısını azaltmak ve ortalama seyahat hızlarını arttırmak için koordinasyon sağlanabilir.

Koordine kavşaklar genelde ana akım trafiği oluşturan akslar arasında kurulur. Kavşaklar arasında koordinasyon kurulmasının temel amacı taşıtların aks boyunca durmadan sürekli olarak geçişini sağlamaktır. Koordine kavşaklar kendi arasında dört gruba ayrılırlar;

- Senkronize Sistem;
- Alternatif Sistem;
- Progresif sistem;
- Alansal Trafik Kontrol Sistemidir.

Kavşakların koordine olarak çalıştırılmasının en büyük kazanımı gecikme, durma sayısı ve kuyruklanma gibi performans ölçütlerinde iyileşme sağlamasıdır.

### 3.2.1 Koordinasyona Etki Eden Faktörler

Ulaşım ağı üzerinde bulunan kavşaklar arasında iyi bir koordinasyon sağlanabilmesi için;

- Kavşaklar arasındaki mesafelerim kısa veya uzun olması;
- Aks üzerinde diğer yönlerden katılım yoğun olması;
- Koordine akslar arasında şerit sayısının artması veya azalması;
- Yol kapasitesinin yetersiz olması;
- Yol kenarlarında parklanmaların veya duraklamaların olması gibi etkenler koordinasyonun etki ederek performansı düşürebilir.

### 3.2.2 Koordine Sistemlerin Genel Prensipleri

Kavşaklar arasında koordine sağlanabilme için temel gereksinim kavşakların devre sürelerinin eşit veya tam katı olmasıdır. Böylece kavşaklar arasında zaman kaymaları engellenerek bütünlük sağlanır. Koordine kavşak arasındaki trafik hacim değerleri çok düşük veya yüksek olduğu durumlarda, kavşaklar arasında koordine devre süresinin yarı veya iki katı zamanda çalıştırılabilir Roess & Prassas, (2004).

### 3.2.3 Koordine Sistem Bileşenleri

#### 3.2.3.1 Ofset Süresi

Ofset, sinyal sürelerinin zamanlamasında kritik bir parametredir. Bir kavşağın koordine olan yaklaşım kollunda yeşil fazın başlangıç süresi ile diğer kavşakta koordine olan yaklaşım kolundaki yeşil fazın başlaması arasında geçen süreye ofset denir (Roess & Prassas, 2011) Ofset, genellikle ortak bir devre süresine sahip koordineli bir sinyal sistemlerinde kullanılır. Ofset süresi genellikle 0 ile sonsuz arasında değişen bir tam sayıdır. Her zaman bir anahtar kavşak referans alınarak tanımlanır. Farklı algoritmalara dayalı optimum ofset süresinin nasıl hesaplanacağından bahseden çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bununla birlikte,

ofset sürelerinin değişiminin trafik akışını nasıl etkileyebileceği ile ilgili de çalışmalar bulunmaktadır. (Roess & Prassas, 2011) yapmış oldukları çalışmada kuyruklanmanın olmadığı durumlarda ideal ofset süresini Denklem (3.1) ile hesaplamışlardır.

$$t_{ideal} = \frac{Lm}{S} \tag{3.1}$$

Şeklinde tanımlamışlardır. Burada;

$t_{ideal}$= İdeal Ofset Süresi
$L_m$=Kavşaklar arası mesafe
$S$= Araçların ortalama seyahat hızı

İlk kavşaktan çıkan taşıtların büyük çoğunluğu koordine kavşaklarda yeşilde geçecektir. Fakat diğer yaklaşım kollarından gelen taşıtlar, parklanma ve diğer etkenlerden dolayı kavşak yaklaşım kollarında kuyruklanmalar oluşabilir. Bu durumda koordine yaklaşım kolundan gelen taşıtlar kırmızı ışıta beklemektedir. Bu sebeple yaklaşım kolundaki araçların kuyruklanma oluşturduğu durumu Denklem (3.2) yardımı ile hesaplanabilir.

$$t_{adj} = \frac{L}{S} - (Qh + l_1) \tag{3.2}$$

Denklemi kullanılarak ofset düzeltmesi yapılır. Burada;

$t_{adj}$= Düzeltilmiş ideal ofset süresi (s)
$L$= Mesafe (m)
$S$= Hız (m/s)
$Q_h$= Şerit başına kuyruktaki araç sayısıdır. (Birim Oto)

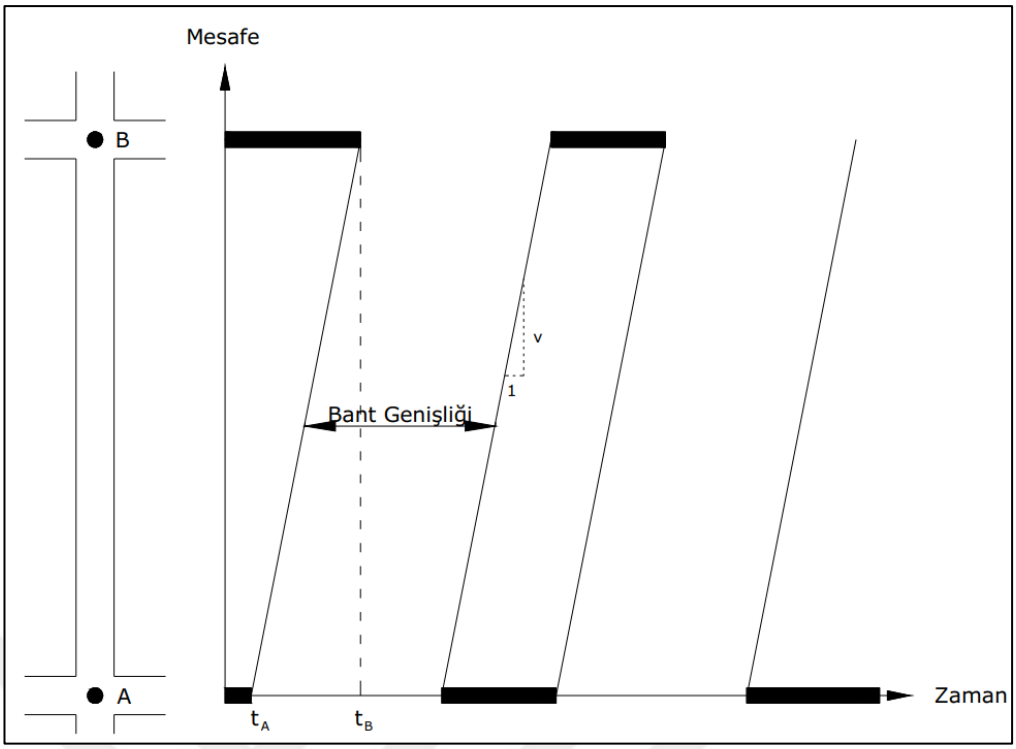
Ofset süresinin belirlenmesinde, yukarıda açıklanan formülasyonlar gibi farklı yaklaşımlar olmakla birlikte, günümüzde simülasyon tekniği ile koordine kavşaklarda optimum ofset ve gecikme değerleri belirlenebilir. Araştırmacıların yaygın olarak kullandığı "TRANSYT" ve "PTV VISSIM" trafik analiz programları bunlarda bazılarıdır.

TRANSYT; trafik simülasyon ve optimizasyon yapan bir programıdır. Program genetik algoritmalar metodunu kullanarak devre süresi (cycle), faz sırası, faz ayırımı ve kavşaklar arası kayma (ofset) zamanlarını optimize eder. Transyt'in kullanmış olduğu optimizasyon yöntemleri genetik algoritmalar, tepe tırmanma ve çok periyotlu optimizasyon modelleridir. Programda var olan simülasyon modeliyle kuyruklanmalar (queue spillback), taşıt takım dağılımları (platon dispersion) ve trafik uyarmalı kontrol simülasyonunu da kapsayan paket programdır. Bu program, trafik şebekeleri, arterler ve tek kavşaklara uygulanabilir (Ocaktan, 2010).

VISSIM trafik analiz ve simülasyon programı mikro düzeyde çalışma için tasarlanmıştır. Program otomobil, kamyon, demiryolu, hafif raylı tren, bisiklet ve yayaları kapsayan çok modlu trafik akımları için analizler gerçekleştirebilir. Esnek tasarım özellikleri sayesinde her çeşit geometride sinyalli kavşak, döner kavşak, otoyol koridorları, otobüs durakları ve hatta hava alanları simülasyonu yapabilecek güçtedir. VISSIM hava fotoğrafları, harita altlıkları ve CAD çizimleri kullanarak arka planda görüntü yerleşimini sunar. Program 4 boyutlu. (X,Y, Z ve zaman) simülasyonu sağlar (Ocaktan, 2010).

#### 3.2.3.2 Yer-Zaman Diyagramı

Yer zaman diyagramı art arda gelen kavşaklarda sinyal planlarını gösterir. Akslar arasında ilk kavşaktan çıkan taşıtların ikinci kavşağa geldiklerine, sinyal grubuna denk geldikleri yer-zaman diyagramı ile şematize edilir. Şekil 3.3'te tek yönlü aksta yer zaman diyagramı gösterilmiştir.




**Şekil 3.3:** Tek yönlü yer – zaman diyagramı

Şekil 3.3'te A ve B kavşakları için yer-zaman diyagramı gösterilmiştir. Her iki kavşakta da siyah taralı bölümler kırmızı ışığı simgelemektedir. A kavşağında $t_A$ anında yeşil ışık başlamakta, B kavşağında ise $t_B$ anında yeşil ışık başlamaktadır. Her iki kavşak için yeşil ışığın başlama anı arasındaki fark, bu iki kavşak için kayma (ofset) değerini vermektedir. Bu örnekte A ve B kavşakları için kayma değeri $t_B - t_A$'dır.

Ofset süresi genellikle sıfır ile devre süresi arasında herhangi bir değer alabilir. Koordine arter üzerinde sıralı kavşak arasında ofset süreleri, genelde master kavşak baz alınarak hesaplanır. Master kavşakta ofset süresi sıfır kabul edilerek, sırasıyla birinci, ikinci vs. kavşaklar için yeniden hesaplanır. Devre süresini aşan ofset süresi verilmesi gereken durumlarda ise kavşakların devre süreleri sabit kalarak faz planlarını değiştirmek mümkündür. Buda ofset süresinin değişmesi demektir.

#### 3.2.3.3 Bant Genişliği

Bant genişliği koordine arterler arasında birinci kavşaktan çıkan taşıtların planlanan hız ile gittikleri takdirde ikinci kavşaktan geçebilen ilk ve son taşıt aralığının süresi olarak tanımlanabilir. Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, kavşaklar arasında optimum

ofset süresinin verildiği takdirde $t_A$ anında A kavşağına gelen bir taşıt, v hızı ile ilerleyerek $t_B$ anında B kavşağına varacaktır. Böylece B kavşağından geçen ilk taşıt olacaktır. A kavşağının yeşil sinyalin son anına denk gelen bir taşıt ise B kavşağına vardığında yine yeşil sinyalin son anına denk gelecektir. Böylece B kavşağından geçebilen ilk ve son taşıt arasındaki süre bant genişliğini oluşturur. Optimum ofset süresinin uygulandığı durumlarda bant genişliği ikinci kavşağın yeşil süresine eşittir. Bant genişliğinin etkinliği, bant genişliğinin sinyal periyoduna oranlayarak Denklem (3.6) ile bulunabilir.

$$E_b = \left(\frac{B}{C}\right) * 100 \tag{3.6}$$

Denklemi ile hesaplanır. Burada;

$E_b$= Bant genişliği etkinliği (%)

$C$= Devre süresi

$B$=Bant genişliği

Genelde bant genişliği etkinliği %40-%55 arasında olması iyi olarak kabul edilir (Roess & Prassas, 2004).Bant genişliği etkinliği ofset süresi ile ilişkilidir. Optimum ofset süresinin değiştirilmesi bant genişliği etkinliğini de değiştirecektir.

Bir arter boyunca yer alan art arda kavşaklardan hiç durmadan geçebilen toplam araç sayısı *"bant genişliği kapasitesi"* ile ifade edilir. Bant genişliği kapasitesi Denklem (3.7) ile hesaplanabilir.

$$C_b = \frac{3600 * B * N}{C * h} \tag{3.7}$$

Burada;

$C_b$= Bant genişliği kapasitesi (araç/saat)

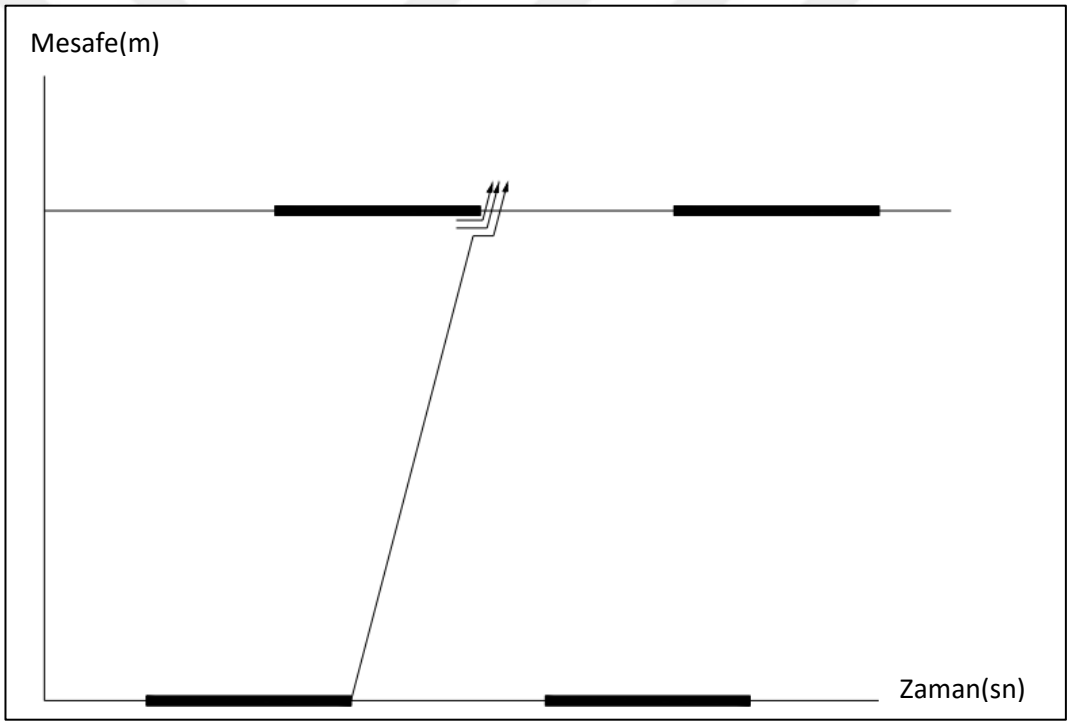
$N$=Doğru istikametteki şerit sayısı

$C$=Sinyal periyodu

$h$= Bir noktadan art arda geçen iki taşıt arasındaki farktır.

### 3.2.4 Koordine Kavşaklarda Kuyruklanma Etkisi

Ofset optimizasyonlarında kavşaklar arasında koordinasyon hesaplanırken bir kavşaktan çıkan taşıtın diğer kavşağa vardığında, kuyruklanma ile karşılaşmadığı var sayılır. Kavşakta kuyruklanma oluşması taşıtların ortalama seyahat hızını etkileyeceğinden dolaylı olarak koordinasyonun verimliliğini de düşürecektir. Kuyruklanma genelde koordine olmayan yan kollardan katılımdan, yetersiz yeşil süreden ve diğer trafik akışını engelleyen etkenlerden kaynaklanır. Bu durumda koordine akslardan gelen taşıtlar kuyruktaki taşıtlar hareket edene kadar beklemek zorunda kalır. Şekil 3.4'te kuyruklanma olan koordine kavşaklar yer-zaman diyagramı şematize edilmiştir.




**Şekil 3.4:** Kuyruklanma olan koordine kavşaklarda yer zaman diyagramı

Optimum ofset süresinin belirlenmesinde kuyruklanmanın önlenmesi için ofset süresine kuyruklanma etkiside eklenir. Burada İdeal ofset süresi denklem (3.8) ile hesaplanır. Şekil 3.5'te kuyruklanma düzeltme sonrası yer-zaman diyagramı verilmiştir.

$$t_{ideal} = {}^{L}/_{v} - (K * h + I_{1)}) \tag{3.8}$$

Burada;

$t_{ideal=}$ Kuyruklanma etkisi altındaki optimum ofset süresi

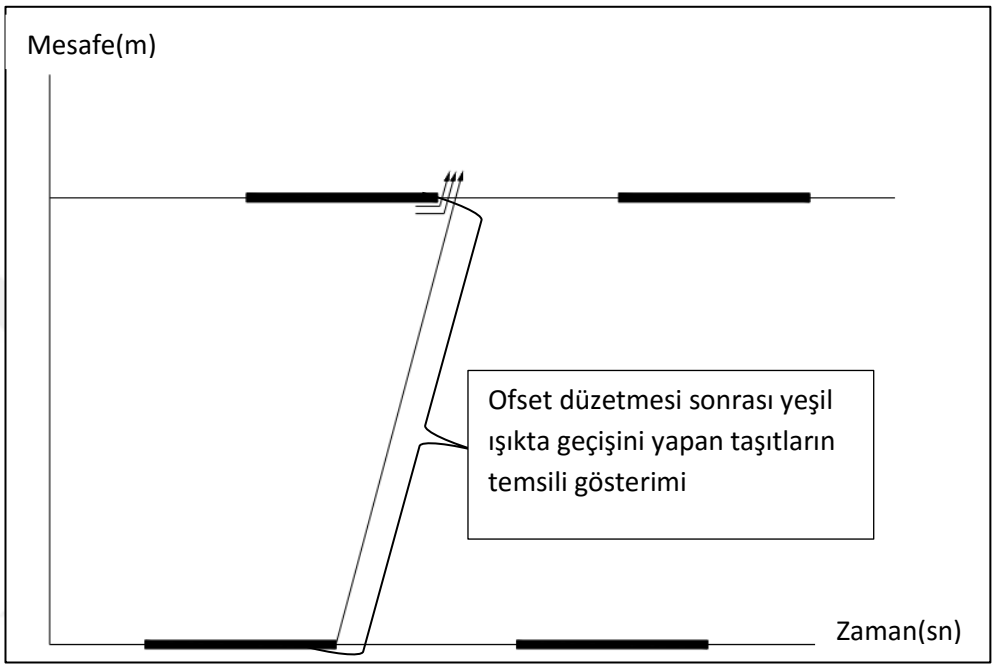
$L$=iki kavşak arasındaki mesafe (m)

$v$=Araçların arterdeki ilerleme hızı (m/san)

$K$=Kuyrukta bekleyen şerit başına araç sayısı

$h$=Kuyrukta bekleyen araçların boşalması için taşıtlar arası zaman aralığı (san)

$I_1$= Kalkış zaman kaybı (san)




**Şekil 3.5:** Kuyruklanma düzeltmesi sonrası ideal ofset süresine bağlı yer – zaman diyagramı

Şekil 3.5'te gösterildiği üzere düzeltme sonrası ideal ofset süresine bağlı olarak 1. Kavşaktan harekete başlayan taşıtlar 2. Kavşağa vardıklarında yeşil sinyale denk gelmesi sağlanmıştır.

### 3.2.5 Koordine Sistem Türleri

#### 3.2.5.1 Senkronize Sistem

Senkronize sistemde ana akımı trafiğini oluşturan yaklaşım kollarında aynı anda sinyal grupları açılırlar. Koordine kavşaklar arasında koordinasyonun sağlanması için gerekli olan ofset süresi bu sistemde yoktur. Genel olarak kentiçi alanlar çok kullanılmayan bir sistemdir. Kavşaklarda yeşil süreler aynı anda açılması kapasiteyi düşürür, trafik sürekli akışını engeller. Bu tip sistemler; kavşakların sinyalli, kavşaklar arasındaki mesafenin kısa olması ve akım trafik yönüne daha fazla yeşil bırakılması gereken durumlarda tercih edilirler. Eş zamanlı sistemin etkinliği kavşak sayısına bağlıdır ve Denklem (3.9) ile hesaplanır. Şekil 3.6'da senkronize koordine sistem yer-zaman diyagramı verilmiştir.

$$E = \left[\frac{1}{2} - \frac{(N-1)*L}{v*C}\right] \quad (3.9)$$

Burada;

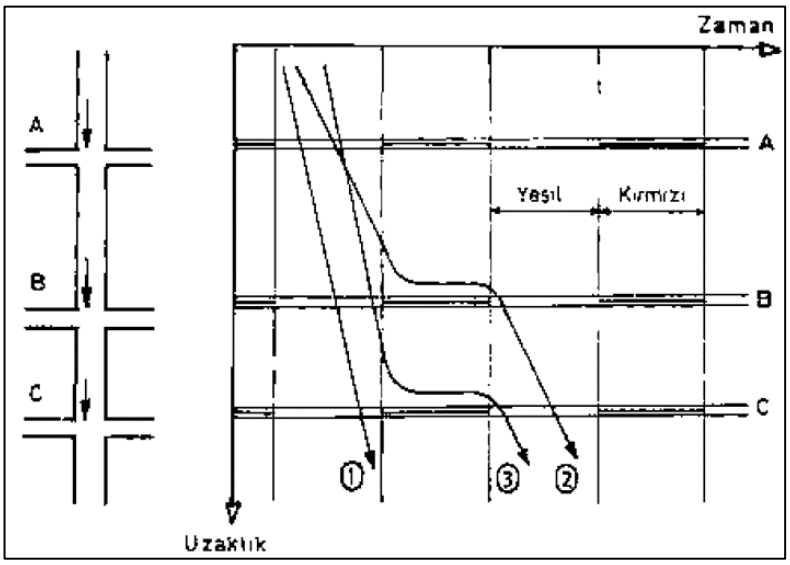
*E*=Eş zamanlı sistemin etkinliği

*N*= Sistemdeki kavşak sayısı

*v*= Araç takımının arterde ortalama seyahat hızı

*C*= Devre Süresi

*L*= İki kavşak arası mesafe (3 ve daha fazla kavşak olması durumunda kavşak arası mesafelerin ortalaması alınır)




**Şekil 3.6:** Senkronize koordine sistemin yer – zaman diyagramı

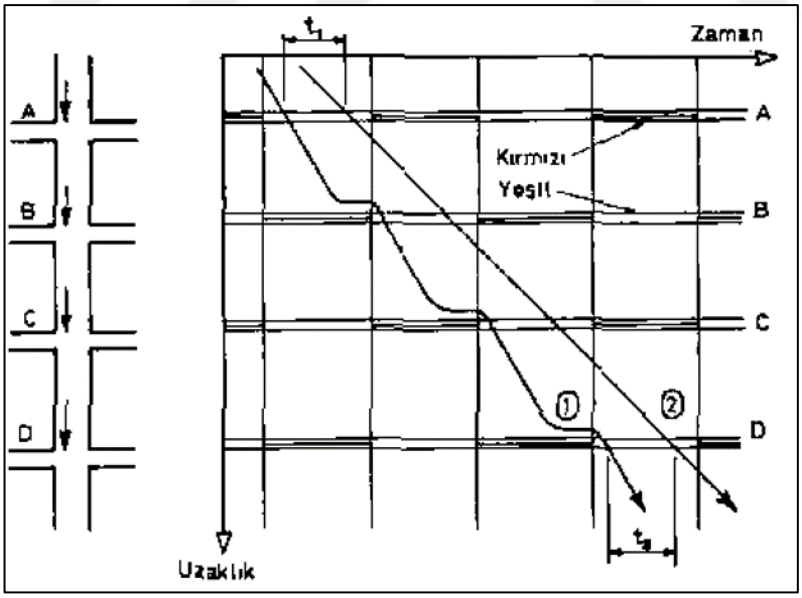
### 3.2.5.2 Alternatif Sistem

Alternatif Sistem, koordine akslar üzerinde birbirini izleyen komşu kavşaklara arka arkaya zıt sinyaller verilir. Alternatif sistemin hedefi, taşıtların iki kavşak arasındaki uzaklığı ışıklı sinyallerin bir devre süresinin yarısı kadar ki zamanda almaları sağlamaktır. Bu sayede taşıtlar belirli bir hızda hareket edebileceklerdir. Fakat bu sistemin sürdürülebilmesi için kavşaklar arasındaki mesafeler çok değişmemesi gerekir. Kavşaklar arasındaki uzaklıklar devre süresi ve taşıt hızları ile ilişkilidir. Alternatif sistemde senkronizasyon Denklem (3.10) yardımı ile sağlanır. Şekil 3.7'de alternatif koordine sistem yer-zaman diyagramı verilmiştir.

$$C/2 = L/v \tag{3.10}$$

Burada;

*C*= Sinyal devir süresi (san)
*L*= İki kavşak arası mesafe (m)
*v*= Araçların arterde ilerleme hızı (m/san)



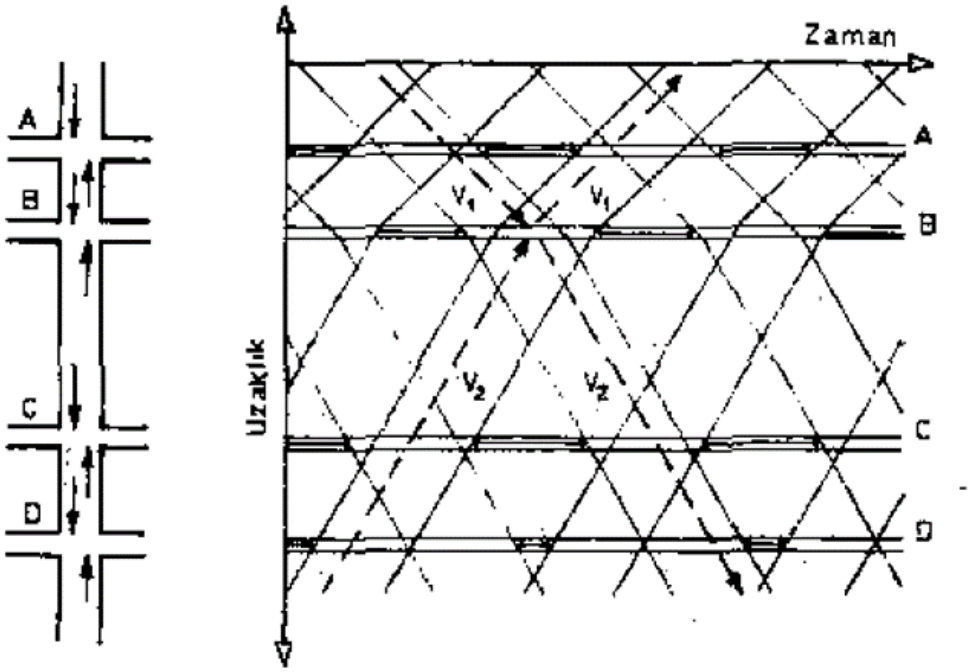

**Şekil 3.7:** Alternatif koordine sistemde yer – zaman diyagramı

Alternatif sistemin senkronize sistemden farkı taşıtların devre süresinin yarısı veya tam katı kadar sürede diğer kavşağı ulaştırmayı hedeflemesidir. Senkronize sistemde kavşakların sinyal programları ve devre süreleri eşitlenir bu şekilde koordinasyon kurulur. Sinyal planları aynı olduğu ve herhangi bir kaydırma yapılmadığı için taşıtlar genellikle kırmızı ışığa denk gelirler buda sistemin performansını etkiler. Şekil 3.6'da verilen Senkronize sistem yer-zaman diyagramı incelendiğinde kavşakların sinyal planları aynı olduğu ve yeşil sürelerinin de eşit verildiği gösterilmiştir. Şekil 3.7'de ise Alternatif koordine sistemin yer-zaman diyagramı incelendiğinde sinyal planları $t_1$ süresi kadar kaydırılmıştır. Alternatif sistemde bu süre genelde devre süresi yarısı veya tam katı kadar verilmektedir.

#### 3.2.5.3 Progresif Sistem

Progresif sistemde koordine akslar üzerindeki tüm kavşaklar da devre süresi aynıdır. Koordine yaklaşım kollardaki yeşil süreler ise proje hızına uygun olarak verilir. Bu sayede taşıtların koordineye dahil olan tüm kavşaklardan yeşil ışıkta geçmesi sağlanır. Şekil 3.8'de progresif sisteme örnek yer-zaman diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.8 incelendiğinde aksın her iki yönündeki yeşil süreler aynı kabul edilmiştir. A ve B kavşakları arasında taşıtların hızı $V_1$, B-C ve C-D kavşak aralarında ise $V_2$ olarak kabul edilmiştir. A kavşağında yeşil ışıkta geçen bir taşıt B kavşağına kadar $V_1$ hızı ile seyrettikten sonra hızını $V_2$ ye yükseltirse C ve D kavşaklarından da durmadan geçecektir. D kavşağı yönünden $V_2$ mertebesinde bir hızla B kavşağına doğru gelen bir taşıt ise A kavşağında takılmamak için hızını $V_1$'e düşürmek zorunda kalacaktır.

Progresif sistemde belirlenen hız limitleri dışına çıkmadan hareket eden taşıtların koordine aks boyunca yeşil ışıkta geçebilmeleri sağlanır. Böylece taşıtların sürekli olarak yeşil ışığa denk gelmeleri için bulunması gereken zaman aralığı *"yeşil dalga"* olarak isimlendirilir.




**Şekil 3.8:** Progresif koordine sistem yer – zaman diyagramı

Progresif koordine sistem iki türde sağlanabilir. Bunlar;

- Basit progresif sistem; ile
- Esnek progresif sistemdir.

#### 3.2.5.3.1 Basit Progresif Sistem;

Bu sistem akslar arasında her iki yönde koordinasyon bir kere sağlanır, daha sonra devre süresi, ofset süresi gibi parametreler değiştirilmez. Dolayısıyla esnek ve değiştirilebilir bir yapıya sahip değildir.

#### 3.2.5.3.2 Esnek Progresif Sistem;

Bu sistemde devre süreleri, yeşil ışık süreleri ve ofset süreleri dinamik olarak değiştirilebilir. Bu sayede günün farklı zamanlarında trafik hacim değerleri değişeceği için taşıtlar etkin ve verimli bir şekilde yönetilebilir. Ayrıca kavşaklar arasında gecikme minimize edilir, yeşil sürelerde maksimum araç geçişi sağlanır.

#### 3.2.5.4 Alansal Trafik kontrol Sistemi

Koordine sistemler genel olarak aynı aks üzerinde yer alan kavşak arasındaki senkronizasyon sağlanarak gecikmeyi minimuma indirmek için kullanılır. Alansal trafik kontrol sistemi ise farklı yönlerdeki aksları, aynı anda kontrol edilmesini sağlar. Bilindiği gibi kent içi ulaşım arterleri farklı yönlerden oluşmakta ve birbiri ile kesişmektedir. Bu ve benzeri durumlarda diğer koordine sistemler yetersiz kalmakta, bilgisayar kontrollü bölge trafik kontrol sistemi kullanılmaktadır. Alansal trafik kontrol sisteminde belirlenen alan içerisindeki kavşaklara sensörler yerleştirilir, bu sayede merkez bilgisayara sürekli olarak data akışı sağlanır. Trafik hacim değerleri sürekli olarak incelendiğinden, trafik etkin ve verim bir şekilde yönetilir. Bölge trafik kontrol sisteminin pek çok avantajı vardır: Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

- Kavşakların tüm sinyal planları tek bir merkezden yönetilir, zamandan ve maliyetten kazanç sağlar
- Günün farklı zamanların değişen sinyal planları hazırlanabilir.
- Kavşak etkinliğini sürekli olarak takip eder, olası bir arıza ve kesilme durumlarında çabuk fark edilir.
- Toplu taşıma sistemlerinin geçişlerine uygun olarak planlanabilir.

Alansal trafik kontrol sistemlerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

SCOOT (Split, Cycle and Offset Optimizing Technique) alansal trafik yönetim sistemi ile olarak İngiltere'nin: Glasgow ve Coventry'de şehirlerinde uygulanmıştır. SCOOT alansal trafik yönetim sistemi trafik sıkışıklıklarının giderilmesi ve gecikmelerinin minimize edilmesi amacı ile kullanılmaya başlanmıştır (P. B. Hunt ve diğ). Bu sistemin en büyük avantajı sinyal zamanlamasının küçük ve sık aralıklarla ayarlama imkanı tanımasıdır. SCOOT daha önce Transyt sinyal zamanlama programında geliştirilen sinyal-optimizasyon mantığına dayanır. Kavşağın yaklaşım kollarına yerleştirilen dedektörler sayesinden gelen taşıtların bir devre süresi içerisindeki değişimleri incelenir. Daha sonra program tarafından optimum devre süresinin hesaplanmasında kullanılır. Bu sistemde detektörler yolun bir önceki kavşaktan sonraki baş tarafına konulur; böylece yolda teşekkül edecek kuyruklar bulunur ve bu bilgi daha sonra kuyrukların yukarı kavşakların tıkanmasını önleyecek şekilde sinyal zamanlarının ayarlanmasında kullanılır (Ocaktan, 2010).

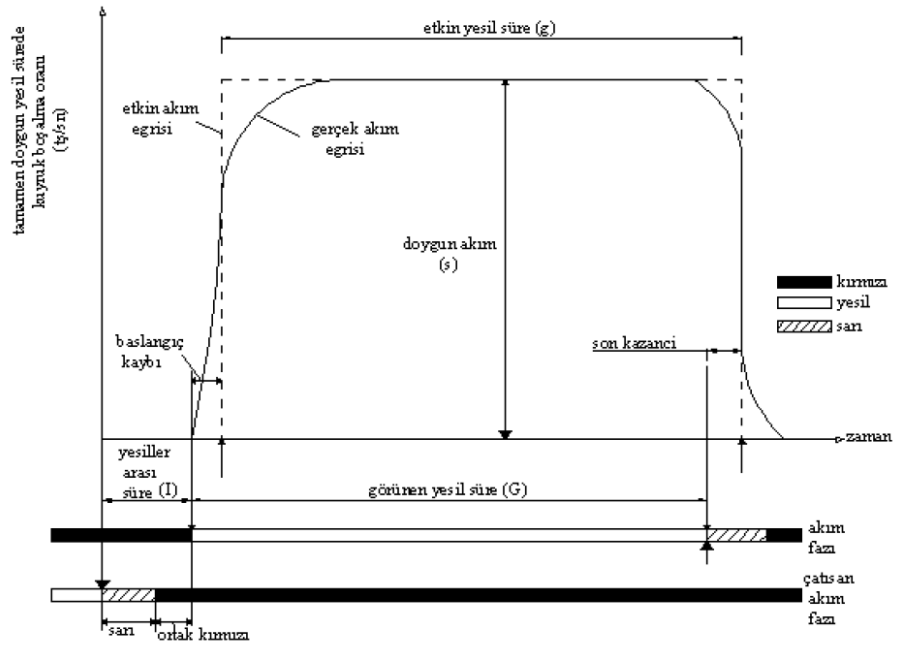
TRANSYT -7F, ABD'de kullanılan ve devre dışı sinyal optimizasyonu ile kavşaklar arasında koordinasyon yapılmasını sağlayan bir programdır. Program trafik analizlerinin yanı sıra trafik simülasyon yapabilme yetisine sahiptir. Program genetik algoritmalar metodunu kullanarak devre süresi (cycle), faz sırası, faz ayırımı ve kavşaklar arası kayma (ofset) zamanlarını optimize eder. Transyt'in kullanmış olduğu optimizasyon yöntemleri genetik algoritmalar, tepe tırmanma ve çok periyotlu optimizasyon modelleridir. Programda var olan simülasyon modeliyle kuyruklanmalar (queue spillback), taşıt takım dağılımları (platon dispersion) ve trafik uyarmalı kontrol simülasyonunu da kapsayan paket programdır. Bu program, trafik şebekeleri, arterler ve tek kavşaklara uygulanabilir (Ocaktan, 2010).

# 4. SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME VE KAPASİTE HESAPLARI

## 4.1 Webster (İngiliz Yöntemi)

### 4.1.1 Doygun Akım

Doygun akım, bir sinyalize kavşakta ışığı 1 saat boyunca yeşile dönmesi ile geçebilecek maksimum taşıt sayısıdır. Başka bir deyişle kavşak yaklaşım kolunda sürekli taşıt bulunması ve ışığın sürekli yeşil yanması durumu olarak açıklanabilir. Doygun akımın belirlenmesinde birçok araştırmacı farklı yaklaşımlar ve matematiksel modeller geliştirmiştir. (Pursula ve Niittymäki, (1996) yapmış oldukları çalışmada doygun akım değerlerinin 1800-2475 otomobil/saat/şerit aralığında değişebildiğini belirlemişlerdir. Şekil 4.9'da yeşil süre boyunca taşıtların kavşağı girişi ve doygun akıma ulaşma durumu gösterilmiştir (Akçelik, 1998).




**Şekil 4.9:** Kavşak yaklaşım kolundaki taşıtların yeşil ışık boyunca hareketi

Şekil 4.9'da görüleceği kavşaklarda etkin süreler ve kayıp süreler meydana gelmektedir. Kavşak yaklaşım kolunda yeşil ışık yandığı andan itibaren taşıtların hareketine başlamasına kadar geçen sürede başlangıç kaybı meydana gelmektedir. Ayrıca devre süresi içerisinde fazların geçişleri sırasında yeşiller arası süre ve koruma süreleri de kayıp sürelere eklenmektedir. Bu sebeple kavşak kapasiteleri etkin yeşil süre ve kayıp süreleri ile bağlantılıdır. Doygun takip aralığına bağlı olarak doygun akım değeri Denklem (4.11) ile hesaplanır.

$$S = 3600/h_n \tag{4.11}$$

Burada kavşakların geometrik özellikleri göz ardı edilmiştir. Bilindiği gibi şerit sayıları, yol eğimi, sürücü davranışları gibi etkenler doygun akım değerlerine etkisi olmaktadır. (Kimber ve diğ., (1986)'da yapmış oldukları çalışmada doygun akım değerinin hesaplanmasında geometrik faktörleri de dahil etmişlerdir. Bu çalışmada geometrik etkiler altında doygun akım değerini Denklem (4.12) ve (4.13) ile hesaplamışlardır.

$$S_1 = (S_0 - 140d_n)/(1 + 1{,}5f/r) \text{ otomobil/saat/şerit} \tag{4.12}$$
$$S_0 = 2080 - 42d_g * G + 100(w - 3{,}25) \tag{4.13}$$

Burada;

$S_1$=Doygun akım oranı (otomobil/saat/şerit);

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

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

$G$= Yol dikey eğimi;

$w$ = Şerit genişlikleri;

$f$=Şeritte dönüş yapan taşıtların oranları;

$r$ = şeritlerin dönüş yarı çaplarıdır.

### 4.1.2 Taşıt Kompozisyonu

Kavşaklarda gecikmeyi etkileyen önemli faktörlerden biri de ağır taşıt sayılarıdır. Motorlu taşıtları, hafif taşıtlar ve ağır taşıtlar olmak üzere iki genel sınıfta toplamak mümkündür. Tek dingilli araçlardan oluşan hafif taşıtlar, otomobil, minibüs ve kamyonet ile daha küçük yapıdaki araçları temsil eder. Otobüs ve kamyon gibi büyük taşıtlar ise, ağır taşıtlar sınıfına girer. Bu taşıtların arka taraflarında birden fazla

dingil olabileceği gibi bu dingillerin her iki ucunda iki tekerlek bulunur (Yayla, 2002). Kavşaklar trafik hacimleri ve taşıt türü dağılımları belirlendikten sonra, hesaplamalarda kullanılmak üzere birim otomobile çevrilirler Tablo 4.1'de farklı türdeki araçların birim otomobil değerleri verilmiştir.

**Tablo 4.1:** Taşıt türlerine göre birim otomobil değerleri (Kimber & ve diğ., (1986)

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

### 4.1.3 Hacim/Kapasite Oranı

Sinyalize kavşaklarda kapasite doygun akıma (si) bağlıdır. Kavşağın herhangi bir yaklaşım kolundaki trafik hacmi (v), doygun akıma bölünmesiyle hacim/kapasite oranı belirlenir. Kavşaklarda hacim/kapasite oranı Denklem (4.14) ile hesaplanır.

$$x_i = \left(\frac{v}{c}\right) \tag{4.14}$$

Burada;

$x_i$=Yaklaşım kolunun hacim/kapasite oranı;

$v$=Trafik hacmi (taşıt/saat);

$c$=Kapasite (taşıt/saat);

Etkin yeşil süre ise Denklem (4.15) ile hesaplanır.

$$g = G - l \tag{4.15}$$

Burada;

$G$=Görünen yeşil süre

$l$=Kayıp süre

Webster yöntemine göre kavşağın kapasitesi, devre içindeki kayıp sürelerin toplamına (L) bağlıdır. Toplam kayıp süre Denklem (4.16) ile hesaplanır.

$$L = \sum(I - a) + \sum l \tag{4.16}$$

Burada;

*I*=Yeşiller arası süre
*a*=Sarı ışık süresi
*l*=Bir fazdaki kayıp süre

### 4.1.4 Optimum Devre Süresi

Webster yöntemine göre bir fazdaki toplam kayıp süre, yeşiller arası süreden sarı ışık süresinin farkı alınarak bir fazdaki kayıp sürenin toplanması ile elde edilir. Bir fazdaki kayıp süre (*l*), başlangıç kaybı ve fazın sarı süresinin ikinci yarısının toplamıdır. Bir devredeki tüm fazlardaki kayıp sürelerin toplamı, Denklem (4.16)'da tanımlanan "*L*" ile verilmektedir. Devrenin geri kalanı yararlı süre olarak adlandırılmaktadır. Bu yararlı süre fazlar arasında paylaşılmaktadır. Bu paylaşımda her fazın ağırlıklı akım hacminin, doygun akımına olan oranı alınarak hesaplanır. Webster yönteminde bu oran doygunluk derecesini belirtmektedir. Doygunluk derecesi "*y*" ile gösterilirse, kavşaktan en iyi gecikmeyi dağlayacak optimum devre süresi denklem (4.17) ile hesaplanır.

$$D_o = \frac{\emptyset * L + 5}{1 - Y} \tag{4.17}$$

Burada;

$D_o$=Optimum devre süresi;
*L*=Bir devredeki toplam kayıp süre;
*Y*=Her faz için akımların doygun derecelerinin toplamı;
$\phi$=1,2-1,8 arasında değişen kat sayıdır.

### 4.1.5 Gecikme Hesabı

Işıklı kavşaklarda taşıtların maruz kaldığı gecikme, tasarım ve değerlendirme aşamasında kavşak performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir ölçüttür. Işıklı bir kavşaktaki toplam gecikme bir taşıtın denetimli bir kavşakta beklemeden kavşağı boşalttığı süre ile kavşağa gelerek beklediği süre (durma gecikmesine maruz kaldığı süre) arasındaki zaman farkı olarak tanımlanmaktadır. Webster (İngiliz) yöntemine göre sabit zamanlı sinyalizasyonda bir akım için ortalama gecikme değeri Denklem (4.18)'de verilmiştir. Doygunluk derecesi; bir kavşak kolundan geçen akımın o kavşaktan geçebilecek maksimum akıma oranıdır ve denklem (4.18) yardımı ile hesaplanır.

$$w = \left(\frac{D*(1-\lambda)^2}{2*(1-\lambda*x)}\right) + \left(\frac{x^2}{2*q*(1-x)}\right) - (0{,}65 * \left(\frac{D}{q^2}\right)^{\frac{1}{3}} * x^{(2+5*\lambda)} \qquad (4.18)$$

Burada,

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

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

*g:* yeşil süre;

*D:* Devre süresi;

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

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

*s:* Doygun akımdır.

# 5. SİMULASYON İLE MODELLEME

Simülasyon; teorik yada fiziksel gerçek bir sistemin, bilgisayar ortamında modellendikten sonra bu model ile sistemin işletilmesi amacına yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi, bu sistemlerin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar aracılığıyla değerlendiren bir tekniktir.

Simülasyonlar, genel tasarım formları içinde metin, test, canlandırma, seslendirme, alıştırma uygulama gibi pek çok tasarım seçeneğinin uygulanmasına olanak tanırlar. Simülasyon çalışmalarında uygulanan iki adım; model tasarımı ve analizlerdir. Model tasarımında sistemin tüm bileşenlerini içerecek şekilde, model yapısının kurulmasıdır. Analiz kısmında ise kurulan modelin performans sonuçları incelenir. Simülasyonlar genellikle mevcut olmayan, pahalı ve zor gerçekleştirilebilecek sistemlerin önceden denenmesine olanak verir (Kobal, 2011).

## 5.1 Simülasyonun Kullanım Alanları

Simülasyon tekniği araştırmacılar tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır. Tekniğin düşük maliyetli oluşu, yüksek hesaplama kabiliyeti, sürekli gelişmesi gibi etkenler bu metodu en çok kullanılan metotlardan biri haline getirmiştir. Simülasyonun hangi şartlar altında kullanılması gerektiği birçok yazar tarafından incelenmiştir. Bunları genel olarak sınıflandırırsak, simülasyon aşağıdaki amaçlar için kullanılabilir:

- Simülasyon, karmaşık bir sistemin tüm bileşenlerinin incelemek için kullanılabilir.
- Modelin farklı etkenler ve değişkenler altında göstermiş olduğu tepkiler incelenebilir. Hangi etkenin daha önemli olduğu ve değişkenlerin birbirlerini nasıl etkiledikleri hakkında bilgi edinilir.
- Bilgi, organizasyonel ve çevresel değişiklikler simüle edilebilir ve modelin davranışı üzerinde bu değişikliklerin etkileri incelenebilir.
- Model tasarımından ve analizlerden elde edilen bilgiler, incelenen sistemin geliştirilmesine büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır.

- Simülasyon, analitik çözüm metodolojisini destekleyen bilgi verici bir araç olarak kullanılabilir.
- Simülasyon, modellemedeki tasarımlar değiştirilerek, sonuçlara etkisi incelenebilir.
- Simülasyon, analitik sonuçları test etmek için kullanılabilir (Kobal, 2011)

## 5.2 Simülasyonun Avantajları

Simülasyon problem çözmede son derece güçlü bir yardımcı olup, yaygın kullanılışının çeşitli nedenleri vardır. Bunlar şu başlıklar altında derlenebilir:

- Sistemin modeli kurulduktan sonra farklı değişkenler ve etkenler altına istenildiği kadar analiz gerçekleştirilebilir.
- Simülasyon yöntemleri, maliyetli yatırımların hayata geçirilmeden simüle edilerek incelenebilir, bu da vakit ve maliyetten kazanç sağlar.
- Simülasyon modeli üzerinde daha sonra yapılacak analiz için veri, çoğu kez gerçek hayatta olduğundan daha ucuz elde edilir.
- Simüle edilen sistemin ayrıntılı gözlemi, daha iyi anlaşılması, daha önce görülmemiş eksikliklerin giderilebilmesi, daha etkin fiziksel ve operasyonel sistemin kurulmasını sağlayabilir.
- Simülasyon, değişik koşullar altında sistemin nasıl olacağı hakkında çok az veya hiçbir veriye sahip olmadığımız yeni durumlar üzerine deney yapma amacıyla kullanılabilir.
- Simülasyon analitik çözümlerin doğruluğunu gerçeklemek üzere kullanılabilir.
- Simülasyon ile dinamik sistemlerin gerçek zamanı, daraltılmış veya genişletilmiş süre içinde incelenebilir (Kobal, 2011).

### 5.3 Simülasyonun Dezavantajları

Bu avantajlara rağmen, simülasyon çalışmalarının bazı dezavantajları da vardır;

- Simülasyon modelleri geliştirmek matematiksel altyapı bilgisi gerektiren ve geliştirilmesi zor modellerdir.
- Simülasyon modellerinin stokastik yapısı, gerçek sistemle ilgili ancak tahminlerde bulunmayı sağlar. Tamamıyla doğruluğu garanti edemez.
- Simülasyon tekniğinde model ne kadar detaylandırılırsa, sonuçlarda o kadar gerçekçi olur. Bu sebeple modelin detaylandırılması kullanıcının tercihine kalmıştır.

### 5.4 Benzetim Modeli

Mikro simülasyon, mikro ulaşım ağ genelinde çalışan sistemin performans analizlerinin gerçekleştirilmesine olanak verir. Mikro simülasyon, zaman ve kaynak gereksinimi olan bir faaliyettir. Simülasyon tekniğinde kaynakların etkin ve verimli kullanılabilmesi için bazı önemli kurallar vardır. Bunlar;

- İstenilen simülasyonun, yazılıma uygunluğu analiz edilir. Ağın yapısını ve büyüklüğü iyi analiz etmek gerekir.
- Taşıtların hacim ve sınıfları belirlenmesi ve trafik akımlarının doğru temsil edildiğinden emin olunmalıdır.
- Kaynak ve zamanın yeterliliği analiz edilmelidir.
- Verilerin doğrulu, simülasyon modelinin temelini oluşturur.
- Uygulamacının, yerel duruma göre mikrosimülasyon modelini kalibre etmesi çok önemlidir.

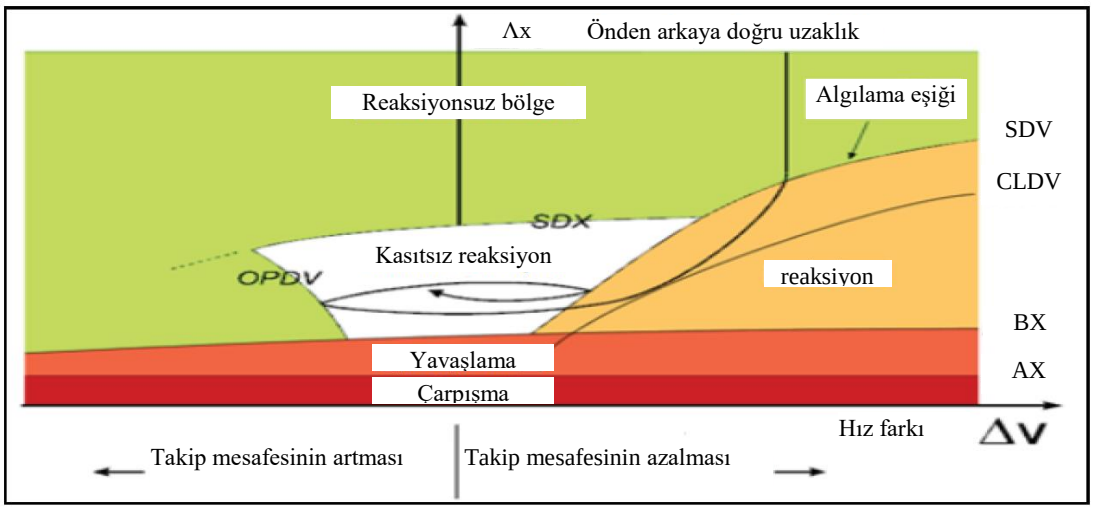
## 5.5 PTV VISSIM Mikro Simülasyon Programı

PTV VISSIM mikro simülasyon ve analiz programı ulaşım sistemlerinde trafiğin ve toplu taşıma sistemlerinin modellenmesinde ve analizlerinde kullanılması için geliştirilmiş, davranış tabanlı ve ayrık zamanlı bir mikroskobik simülasyon programıdır. Yazılım ulaşım danışmanlık kuruluşu olan PTV GmbH tarafından geliştirmiştir. Bu programın kalibrasyonu ise, Karlsruhe Teknik Üniversitesi (Almanya) tarafından gerçekleştirilmiştir. VISSIM, modelleme sürecinde ulaşım ağının alt yapısını, trafiğin akışı ve kontrol parametrelerine ilişkin verilerin monitörden canlı olarak izlenebilmesi ve sahada trafik sensörleri üzerinden alınabilecek mikroskobik akım parametrelerinin sanal ortamda üretilmesi gibi yeniliklerin yanında, aynı amaçla kullanılan diğer simülasyon programlarına göre daha esnek kullanım imkanları sağlamaktadır.

Program vasıtasıyla, trafiğin bileşenlerini oluşturan karayolu ulaşım ağı ve toplu ulaşım sistemi, yol konfigürasyonları, trafik ışıkları vb. kısıtlara bağlı olarak analiz edilebilir. Dolayısıyla VISSIM, ulaşım planlaması çalışmalarına mevcut durum, planlanan durum ve alternatiflerin analizinde kullanılabilen hızlı, kolay ve gerçekçi bir simülasyon programıdır.

Trafik simülasyon programları çoğunlukla sabit hıza dayalı ve belirleyici araç takip mantığı sağlamaktadır. VISSIM ise, (Wiedemann, 1974) tarafından geliştirilen psiko-fiziksel algı modeli kullanır. Bu model aynı yönde daha hızlı ilerleyen bir taşıtın sürücüsünün önündeki yavaş ilerleyen taşıtın hızını algılaması ile hızını düşürmeye başlayacağı mantığı modelin temelini oluşturur. Hızlı giden sürücü önceki taşıtın hızını tam olarak belirleyemediği için yeni bir algı eşiğini ulaşıncaya kadar hızını düşürür, daha sonra tekrar hızlanmaya başlar. Bu modelde, yavaş ve sabit bir hızlanma-yavaşlama söz konusudur. VISSIM çok şeritli yollarda seyreden taşıtların davranışlarını belirlerken, yalnız aynı şeritti art arda olan taşıtlarının davranışlarını analiz etmekle kalmaz, aynı zamanda bitişik şeritlerde seyreden taşıtların davranışlarını da dikkate alır. Böylece, bir sinyalize kavşağa yaklaşan taşıtların, duruş çizgisine 100 metreden daha yakın bir mesafe içerisinde şerit değiştirmesine izin verilerek, kuyrukların bir şerit boyunca uzaması gibi gerçek hayata uymayan bir

durumun oluşması engellenir. VISSIM programında kullanılan taşıt takip modeli, Şekil 5.10'daki diyagramda gösterilmiştir (Kobal, 2011).




**Şekil 5.10:** Widemann psiko fiziksel taşıt takip modeli

Wiedemann'ın trafik akış modeli, temel olarak bir sürücünün 4 farklı seyir durumu olduğu varsayımına dayandırılmıştır.

***Serbest sürüş;*** Öndeki taşıtın hiçbir etkisi gözlemlenmez. Bu durumda, sürücü belirlenen hızına ulaşmaya ve o hızda devam etmeye çalışır.

***Yaklaşma;*** Sürücünün öndeki taşıtın daha düşük hızına kendi hızını uyarlama sürecidir. Sürücü yaklaşırken, belirlenen güvenlik mesafesine ulaştığı anda hızında bir değişiklik olmasın diye yavaşlar.

***Takip;*** Sürücü öndeki otomobili bilinçli olarak hızlanmadan ya da yavaşlamadan takip eder. Güvenlik mesafesini sabit tutar.

***Frenleme;*** Öndeki taşıta olan mesafenin belirlenen güvenlik mesafesinin altına düşmesi durumunda sürücü, ani yavaşlama eğilimindedir. Bu durum, öndeki taşıtın sürücüsü aniden hız kestiğinde ya da üçüncü bir taşıtın sürücüsü iki taşıtın arasına girmek için şerit değiştirdiğinde meydana gelir.

VISSIM, simülasyon mantığında trafik akımlarını bir yol ağı boyunca sürücü-taşıt etkileşimini dikkate alır. Her sürücü-taşıt biriminin davranışı, sürücünün kendine özel davranış karakteristiği ile taşıtın teknik kapasitesine bağlıdır. Dolayısıyla

VISSIM, sürücü-taşıt birimlerinin davranışına ilişkin karakteristikleri belirlemek için, her sürücü taşıt birimi için üç ayrı grup halinde belirlenen etkenlere bağlı olarak değerlendirmeler yapar;

***Taşıtın teknik özellikleri*** Uzunluk, maksimum hız, hızlanma potansiyeli, aktüel konum, aktüel hız ve ivme.

***Sürücü-taşıt etkileşimi*** Sürücünün psiko-fiziksel hassasiyet eşiği (agresif veya uyumluluğa yatkınlık gibi), sürücü hafızası, sürücünün istediği hız ve yürürlükteki hıza bağlı olan hızlanma.

***Trafiğin çevresel referansları*** Önde giden ve takip eden taşıtların kendi şeritleri ve bitişik şeritlere göre belirlenen bağımsız hareket sınır değerlerine ilişkin referanslar, yürürlükteki yol ve bir sonraki kavşağa göre belirlenen referanslar, bir sonraki trafik ışıklarına göre belirlenen referanslar (Kobal, 2011).

## 5.6 Model Çıktılarının Analizi

Çalışma için mevcut durum modelinin çıkarılmasından sonra, modelde yapılan her değişikliğin simülasyon sonuçları raporlanmalıdır. Bu sayede modeli kuran kişinin mevcut durum için belirlemiş olduğu trafik analiz parametrelerinin, değiştirilen parametreler (hız, ofset, sinyal süresi vb.) karşısındaki trafik analiz parametrelerindeki değişimler gözlemleyebilir. Bu durum hangi değişkenin trafiğe etkisinin daha çok veya daha az olduğunu belirlememize yardımcı olur. Bu sayede model ile yapılan deneyler sonucu elde edilen bilgi ve veriler başlangıçta belirlenen amaçlar göz önünde bulundurularak çözümlenir, değerlendirilir, karar seçeneklerine ilişkin olarak yorumlanır ve gerçek sistem işleyişi konusunda karar verilir.

# 6. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

## 6.1 Giriş

Tez çalışmasında örnek uygulama alanı olarak Denizli Ulus aksının Tiyatro ve Havuzlu köşk kavşakları seçilmiştir. Bu bölümde kavşakların sırasıyla;

- Ağ tasarımı ve trafik etütleri;
- Doygum Akım;
- Mevcut durum analizi;
    - İzole durum;
    - Koordine durum;
- Optimizasyon;
    - İzole durum devre süresi optimizasyonu;
    - Ofset süresinin belirlenmesi; ile
    - Koordine durum analizidir.

Uygulama aksında optimize sinyal süreleri için koordinasyon planları hazırlanmıştır. Koordine akslar arasında iteratif yöntemler ile ofset süresi değiştirilerek, buna karşın gecikme değerleri ölçülmüştür. Böylece minimum gecikme değerini veren ofset süreleri belirlenmiştir.

## 6.2 Ağ Tasarımı ve Trafik Etütleri

Bu çalışmada, trafik hacim değerlerini tespit etmek amacıyla, kavşakların İnsansız Hava Araçları (İHA) ile kamera çekimi ve piezometrik elektrik algılayıcılı (loop sensörleri) sensörler ile trafik sayımları gerçekleştirilmiştir. Piezometrik elektrik algılayıcılı sensörlerin sayım sonuçları ve kavşakların sinyal plan bilgileri, Denizli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Trafik Kontrol Merkezi (TKM) tarafından sağlanmıştır. İHA çekimleri ile kavşağın diğer fiziksel özellikleri belirlenmiştir. İHA ile kamera çekimi 22.02.19 tarihinde sabah 07:00-09:00 zirve ve 09:00-10:00 zirve dışı saatlerde gerçekleştirilmiştir. Tez Çalışması kapsamında belirlenen kavşakları koordine olarak çalışmasından dolayı, trafik sayımları her iki

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

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

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

***Sinyal planları;*** Kavşakların faz planları, devre diyagramları, yeşil süreler, yeşiller arası süreler, devre süreleri gibi bilgiler belirlenmiştir.

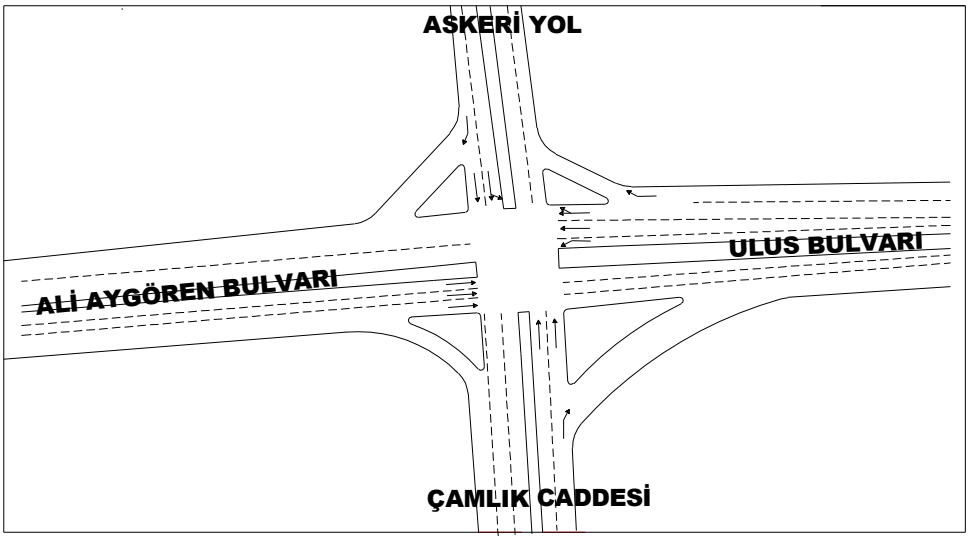
Sahada yapılan çalışmalar ve gözlemlerden elde edilen Kavşak geometrik özellikleri, trafik hacim değerleri ve sinyal planları bir sonraki aşamada trafik analiz ve simülasyon programı ile gecikme, kuyruklanma, ortalama seyahat hızı gibi göstergeler hesaplanmıştır.

### 6.2.1 Tiyatro Kavşağı

Tiyatro kavşağı Ulus bulvarı, Askeri yol, Çamlık Caddesi ve Lise Caddesi kesişiminde bulunmaktadır. Kavşak hali hazırda 4 yaklaşım kolu bulunmakla birlikte, Ulus bulvarı ve Askeri yoldan gelen taşıtları ana akım trafiğini oluşturmaktadır. Bu sebeple kavşak Doğu-Batı aksında (Ulus – Askeri Yol) koordine olarak çalışmaktadır. Kavşak, Servergazi Mahallesi, Forum Çamlık Alışveriş Merkezi ve Pamukkale Üniversitesi gibi trafik üreten ve çeken alanların ulaşım ağı üzerindedir. Tiyatro Kavşağının Konumu ve İHA Görüntüsü Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de, kavşağın taslak planı ise Şekil 6.13'te verilmiştir.

**Şekil 6.11:** Tiyatro Kavşağı konumu

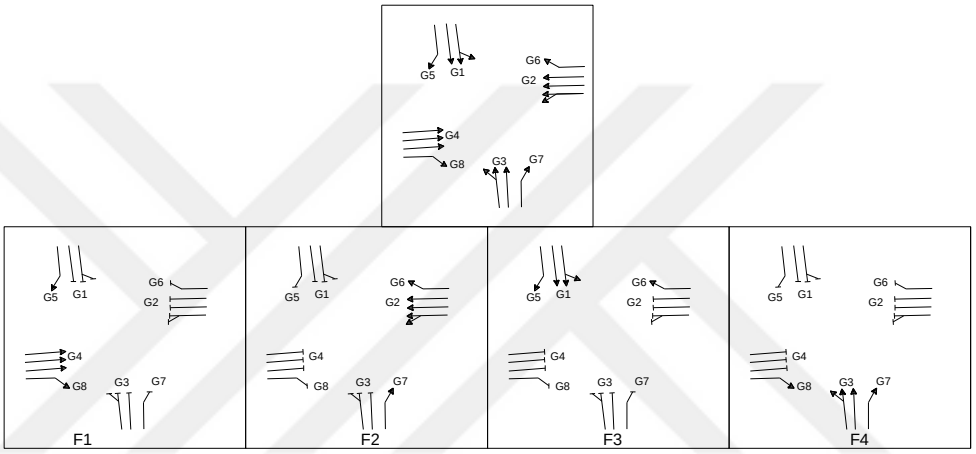
**Şekil 6.12:** Tiyatro Kavşağı İHA görüntüsü



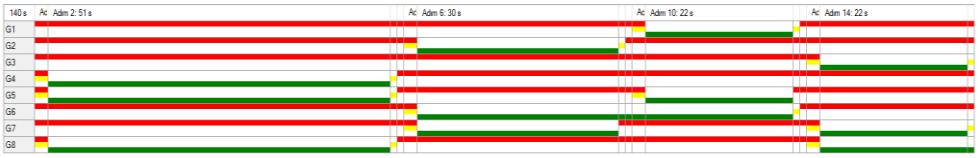

**Şekil 6.13:** Tiyatro Kavşağı taslak plan

### 6.2.1.1 Zirve Saat Trafik Bilgileri

Tiyatro kavşağı zirve saatte 140 sn devre süresi ile 4 faz olarak çalıştırılmaktadır. Sinyal grupları ve zirve saat faz planları Şekil 6.14'te verilmiştir. Kavşağın Askeri yol geliş yönünde 51 sn, Ulus geliş yönünde 30 sn, Lise ve Çamlık geliş yönlerinde ise 22'şer saniye yeşil süre verilmiştir. Fazlar arası geçiş süreleri ise 5 saniye olarak alınmıştır. Şekil 6.15'te Tiyatro kavşağı zirve saat sinyal programı gösterilmiştir. Kavşak Ulus Bulvarının başlangıç durumundan olduğundan Tiyatro Kavşağı koordine sistemin anahtar kavşağı olarak seçilmiştir.




**Şekil 6.14:** Tiyatro Kavşağı zirve saat faz planı

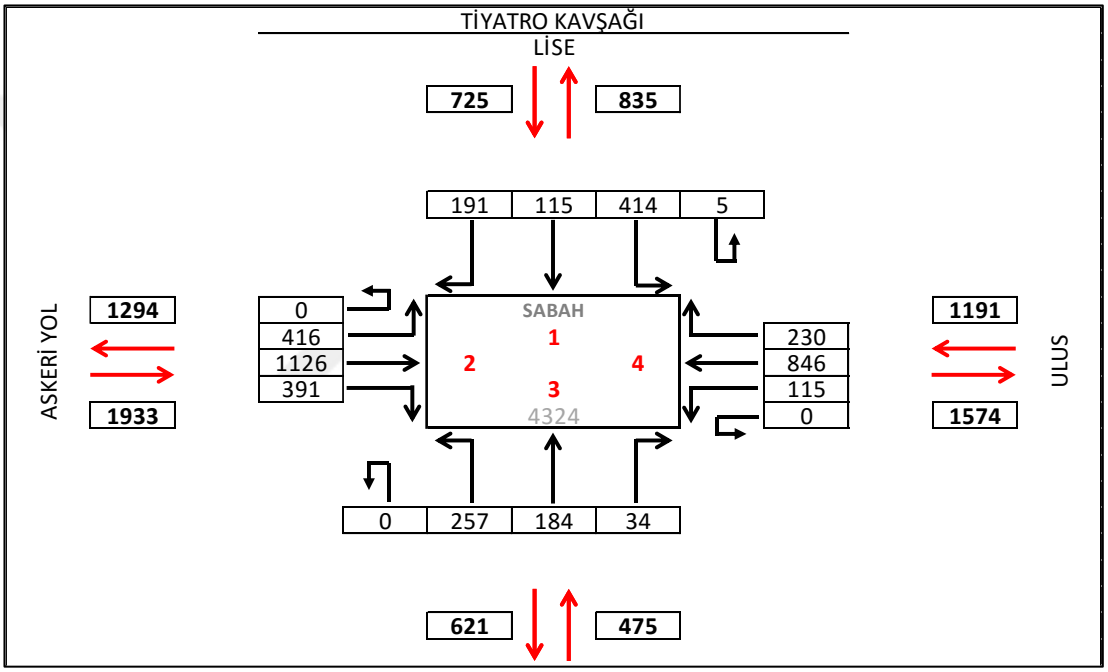



**Şekil 6.15:** Tiyatro Kavşağı zirve saat devre diyagramı

Tiyatro kavşağının yaklaşım kolu isimleri Şekil 6.11'de verilmiştir. Trafik sayımların bu isimlendirmeler baz alınarak trafik hacim matrisi oluşturulmuştur. Tablo 6.2'de sabah zirve saat taşıt hacimleri verilmiştir. Tiyatro kavşağında sabah zirve saatte 4300 taşıt/saat mertebesinde trafik hacmi oluşmaktadır. Kavşağın ana akım yaklaşım kollarından biri olan Askeri yoldan sabah zirve saatte 1933 taşıt/saat, Ulus Bulvarından 1191 tş/saat, Lise Caddesinden 725 taşıt/saat, Çamlık Caddesinden ise 475 taşıt/saat'lik trafik gelmektedir. Şekil 6.16'da Tiyatro kavşağının zirve saat trafik hacimleri şematik olarak gösterilmiştir.

**Tablo 6.2:** Tiyatro Kavşağı sabah zirve saat taşıt hacimleri (taşıt/saat) (08:00-09:00)

| 08:00-09:00 | Çamlık | | | | Lise | | | | Askeri Yol | | | | Ulus | | | | TOPLAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | |
| **Çamlık** | 0 | 0 | 0 | 0 | 168 | 2 | 2 | 13 | 235 | 2 | 2 | 18 | 31 | 0 | 0 | 2 | **475** |
| **Lise** | 105 | 2 | 1 | 7 | 5 | 0 | 0 | 0 | 174 | 3 | 2 | 12 | 377 | 6 | 5 | 27 | **725** |
| **Askeri Yol** | 356 | 5 | 4 | 25 | 379 | 6 | 5 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1025 | 15 | 13 | 73 | **1933** |
| **Ulus** | 105 | 2 | 1 | 7 | 210 | 3 | 3 | 15 | 775 | 5 | 5 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | **1191** |
| **TOPLAM** | **566** | **8** | **7** | **40** | **761** | **10** | **9** | **54** | **1184** | **10** | **9** | **90** | **1433** | **21** | **17** | **102** | **4324** |

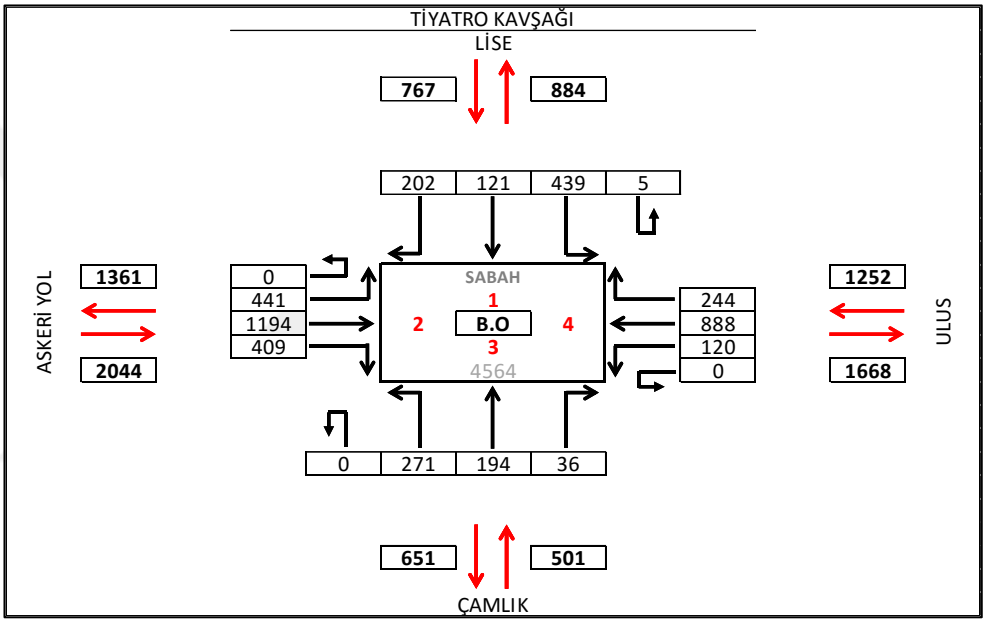



**Şekil 6.16:** Tiyatro Kavşağı sabah zirve saat trafik hacimleri şema gösterimi

Kavşaklarda gecikmeyi etkileyen önemli faktörlerden biri de ağır taşıt sayılarıdır. Kavşaklar trafik hacimleri ve taşıt türü dağılımları belirlendikten sonra, hesaplamalarda kullanılmak üzere trafik hacimleri birim otomobile çevrilmiştir. Bu dönüşüm Tablo 4.1'de verilen birim otomobil eşdeğerlikleri baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 6.3'te birim otomobil cinsinden taşıt sayıları ve dönüş hacimleri gösterilmiştir. Şekil 6.17'de ise Tiyatro Kavşağı sabah zirve saat birim otomobil taşıt hacimleri şematik olarak gösterilmiştir.

**Tablo 6.3:** Tiyatro Kavşağı sabah zirve saat birim otomobil hacimleri (taşıt/saat)

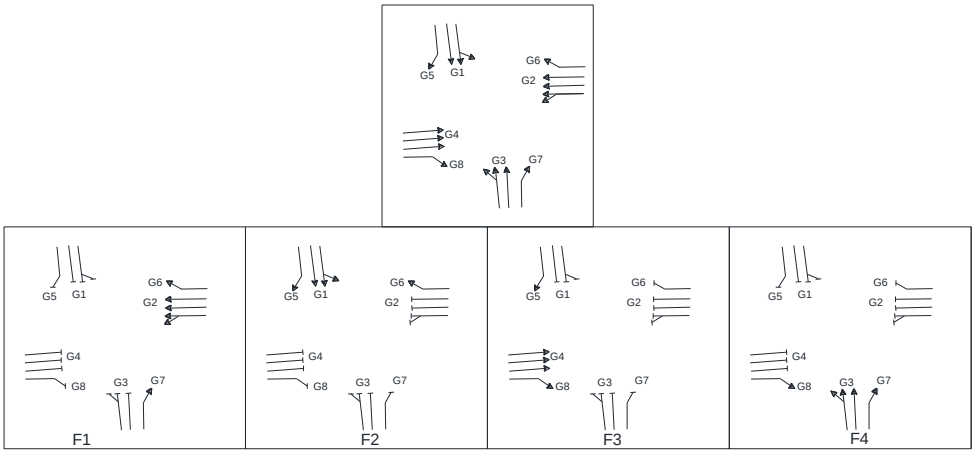
| 08:00-09:00 | Çamlık | | | | Lise | | | | Askeri Yol | | | | Ulus | | | | TOPLAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | |
| **Çamlık** | 0 | 0 | 0 | 0 | 168 | 4 | 4 | 19 | 235 | 5 | 5 | 26 | 31 | 1 | 1 | 3 | **501** |
| **Lise** | 105 | 2 | 3 | 11 | 5 | 0 | 0 | 0 | 174 | 5 | 5 | 19 | 377 | 11 | 11 | 40 | **767** |
| **Askeri Yol** | 356 | 5 | 10 | 38 | 379 | 11 | 11 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1025 | 30 | 29 | 109 | **2044** |
| **Ulus** | 105 | 2 | 3 | 11 | 210 | 6 | 6 | 22 | 775 | 10 | 12 | 91 | 0 | 0 | 0 | 0 | **1252** |
| **TOPLAM** | **566** | **8** | **16** | **60** | **761** | **21** | **20** | **82** | **1184** | **20** | **22** | **135** | **1433** | **42** | **40** | **153** | **4564** |



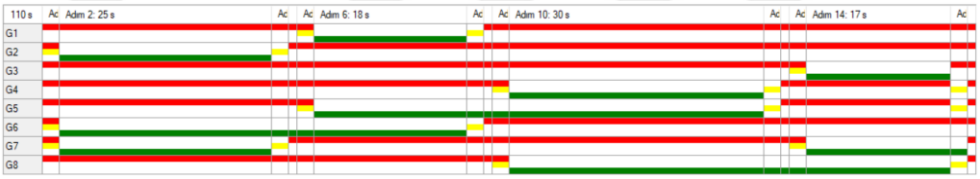

**Şekil 6.17:** Tiyatro Kavşağı sabah zirve saat birim otomobil hacimleri şema gösterimi

### 6.2.1.2 Zirve Dışı Saat Trafik Bilgileri

Tiyatro kavşağı zirve dışı saatte 110 sn devre süresi ile 4 faz olarak çalıştırılmaktadır. Sinyal grupları ve zirve dışı saat faz planları Şekil 6.18'de verilmiştir. Kavşağın Askeri yol geliş yönünde 30 sn, Ulus geliş yönünde 25 sn, Lise geliş yönünde 18 sn ve Çalık geliş yönlerinde ise 17 saniye yeşil süre verilmiştir. Fazlar arası geçiş süreleri ise 5 saniye olarak alınmıştır. Şekil 6.19'da Tiyatro kavşağı zirve dışı saat sinyal programı gösterilmiştir. Kavşak, Ulus bulvarının başlangıç konumunda olduğundan anahtar kavşak olarak seçilmiştir.




**Şekil 6.18:** Tiyatro Kavşağı zirve dışı saat faz planı

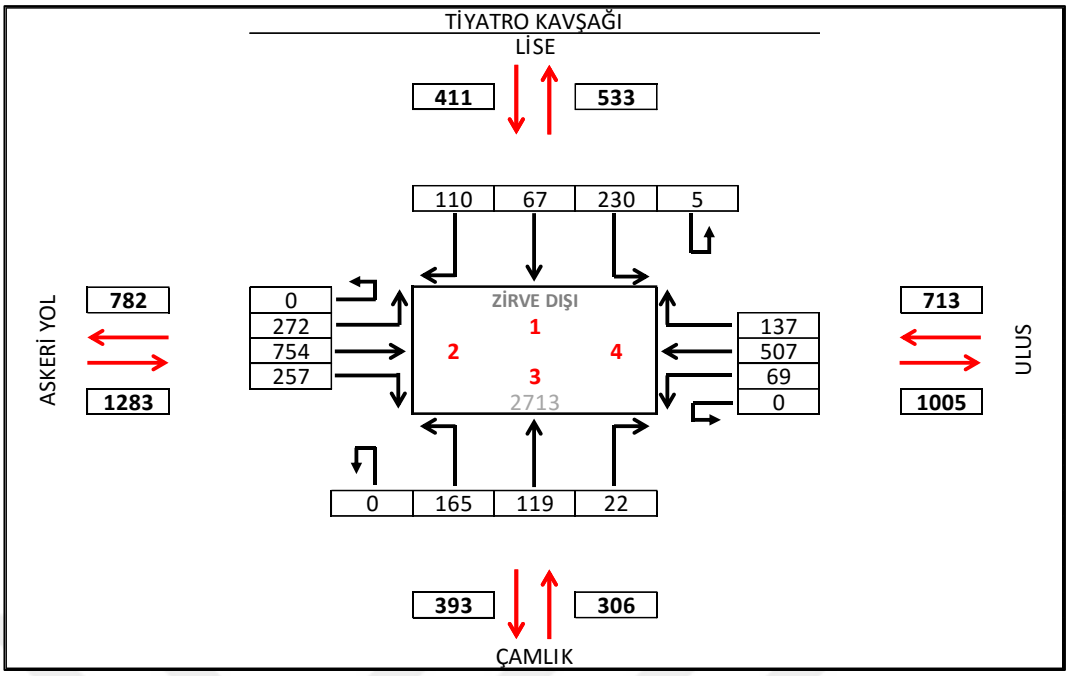



**Şekil 6.19:** Tiyatro kavşağı zirve dışı saat devre diyagramı

Tiyatro kavşağının yaklaşım kolu isimleri Şekil 6.11'de verilmiştir. Trafik sayımlarında bu isimlendirmeler baz alınarak trafik hacim matrisi oluşturulmuştur. Tablo 6.4'te zirve dışı saat, saatlik taşıt hacimleri verilmiştir. Tiyatro kavşağında zirve dışı saatte 2713 taşıt/saat mertebesinde trafik oluşmaktadır. Kavşağın ana akım yaklaşım kollarından biri olan Askeri yoldan geliş yönünde 1283 taşıt/saat, Ulus Bulvarından 713 tş/saat, Lise Caddesinden 411 taşıt/saat, Çamlık Caddesinden ise 306 taşıt/saat'lik trafik gelmektedir. Şekil 6.20'de Tiyatro kavşağının zirve saat trafik hacim değerleri şematik olarak gösterilmiştir.

**Tablo 6.4:** Tiyatro Kavşağı zirve dışı saat taşıt hacimleri (taşıt/saat)

| 09:00-10:00 | Çamlık | | | | Lise | | | | Askeri Yol | | | | Ulus | | | | TOPLAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | |
| **Çamlık** | 0 | 0 | 0 | 0 | 109 | 1 | 1 | 8 | 151 | 2 | 1 | 11 | 20 | 0 | 0 | 1 | **306** |
| **Lise** | 61 | 1 | 1 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 100 | 1 | 1 | 7 | 209 | 3 | 3 | 15 | **411** |
| **Askeri Yol** | 234 | 3 | 3 | 17 | 247 | 4 | 3 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 687 | 10 | 8 | 49 | **1283** |
| **Ulus** | 63 | 1 | 1 | 4 | 125 | 2 | 2 | 9 | 465 | 3 | 3 | 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | **713** |
| **TOPLAM** | **358** | **5** | **4** | **25** | **486** | **7** | **6** | **35** | **716** | **6** | **6** | **55** | **916** | **13** | **11** | **65** | **2713** |

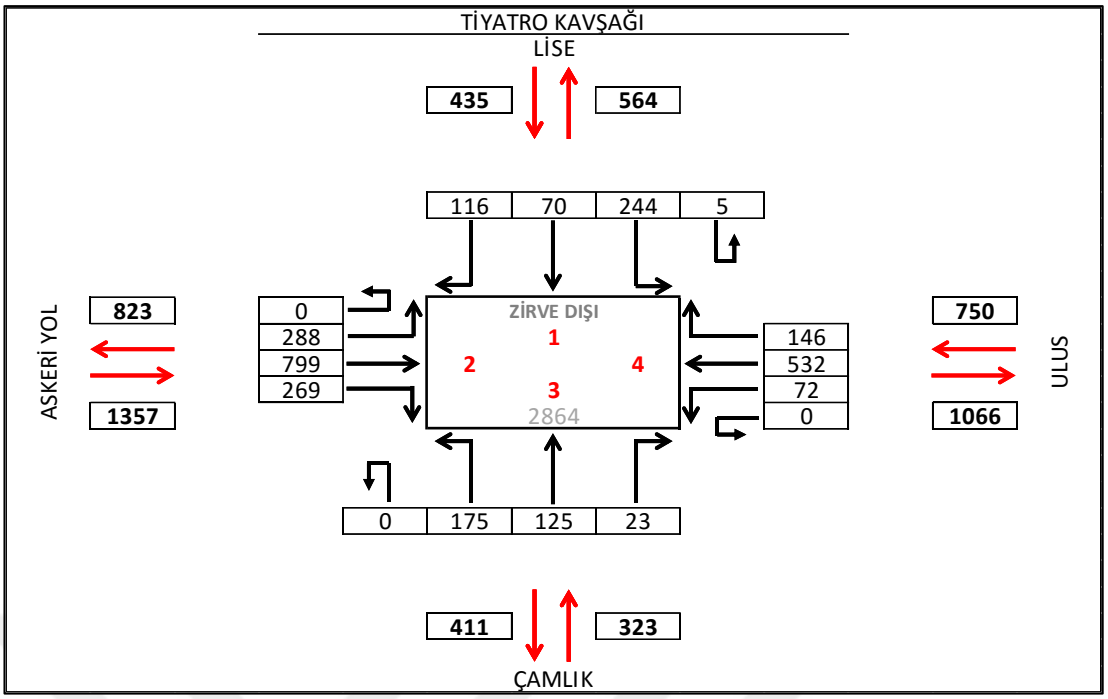



**Şekil 6.20:** Tiyatro kavşağı zirve dışı saat trafik hacimleri şema gösterimi

Kavşaklarda gecikmeyi etkileyen önemli faktörlerden biri de ağır taşıt sayılarıdır. Tablo 4.1'de gösterilen taşıtların birim oto eşdeğerliklerine göre çevrilmiştir. Tablo 6.5'te birim otomobil cinsinden taşıt sayıları ve dönüş hacimleri gösterilmiştir. Şekil 6.21'de Tiyatro kavşağının zirve saat birim otomobil trafik hacim değerleri şematik olarak gösterilmiştir.

**Tablo 6.5:** Tiyatro Kavşağı zirve dışı saat birim otomobil taşıt hacimleri (taşıt/saat)

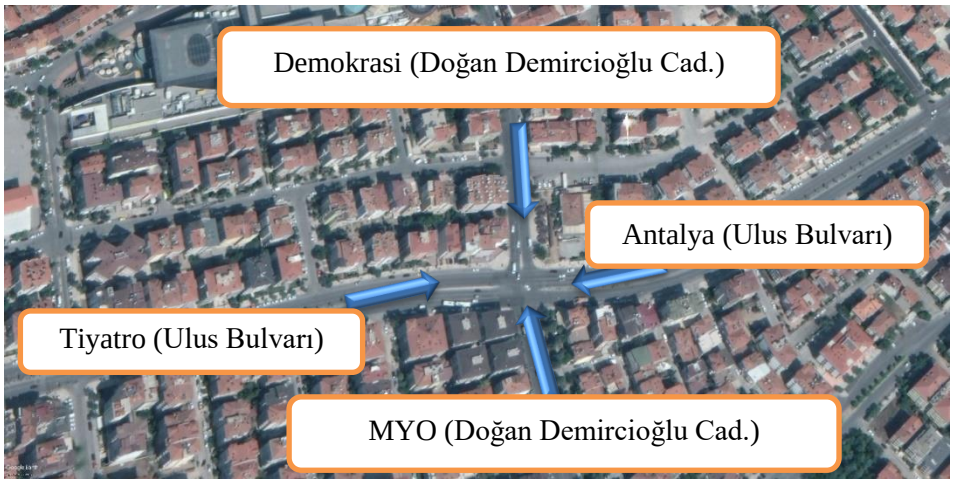
| 09:00-10:00 | Çamlık | | | | Lise | | | | Askeri Yol | | | | Ulus | | | | TOPLAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | |
| **Çamlık** | 0 | 0 | 0 | 0 | 109 | 2 | 2 | 12 | 151 | 3 | 3 | 17 | 20 | 0 | 0 | 2 | **323** |
| **Lise** | 61 | 1 | 2 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 100 | 3 | 3 | 11 | 209 | 6 | 6 | 22 | **435** |
| **Askeri Yol** | 234 | 3 | 7 | 25 | 247 | 7 | 7 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 687 | 20 | 19 | 73 | **1357** |
| **Ulus** | 63 | 1 | 2 | 7 | 125 | 4 | 4 | 13 | 465 | 6 | 7 | 54 | 0 | 0 | 0 | 0 | **750** |
| **TOPLAM** | **358** | **5** | **10** | **38** | **486** | **13** | **13** | **52** | **716** | **12** | **13** | **82** | **916** | **27** | **26** | **98** | **2864** |




**Şekil 6.21:** Tiyatro Kavşağı zirve dışı saat birim otomobil hacimleri şema gösterimi

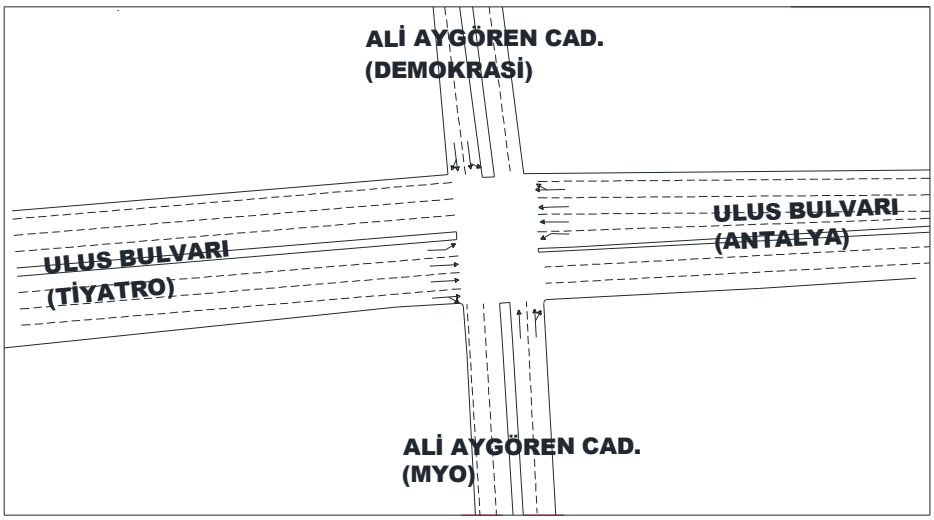
### 6.2.2 Havuzlu Köşk Kavşağı

Havuzlu Köşk Kavşağı; Ulus bulvarı ile Doğan Demircioğlu Caddesi kesişiminde bulunmaktadır. Kavşak hali hazırda 4 yaklaşım kolu bulunmakla birlikte, Ulus Bulvarı'nın Doğu-Batı aksı ana akım trafiğini oluşturmaktadır. Bu sebeple kavşak Doğu-Batı aksında (Tiyatro Kavşağı) koordine olarak çalışmaktadır. Kavşak, Servergazi Mahallesi, Forum çamlık Alışveriş Merkezi ve Pamukkale Üniversitesi gibi trafik üreten ve çeken alanların ulaşım ağı üzerindedir. Havuzlu Köşk Kavşağının Konumu ve İHA Görüntüsü Şekil 6.22 ve Şekil 6.23'te, kavşağın taslak planı ise Şekil 6.24'te verilmiştir.




**Şekil 6.22:** Havuzlu Köşk Kavşağı konumu

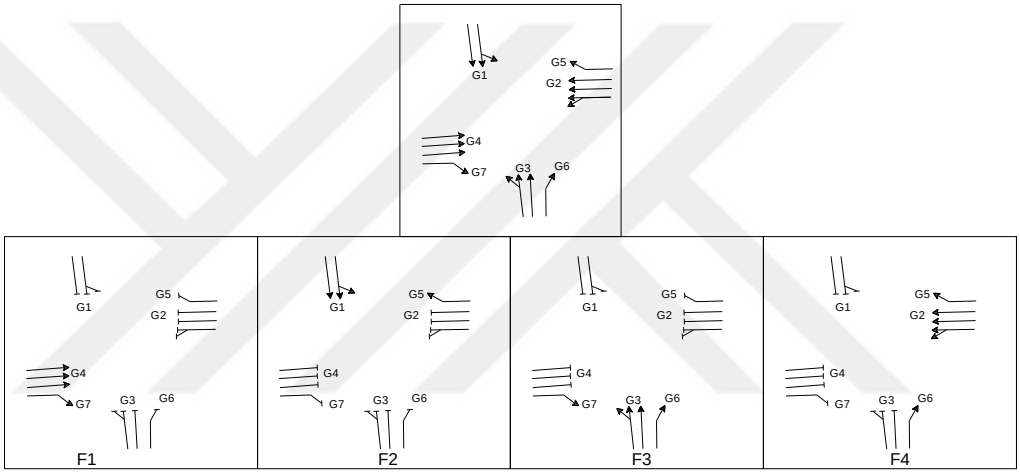
**Şekil 6.23:** Havuzlu Köşk Kavşağı İHA Görüntüsü



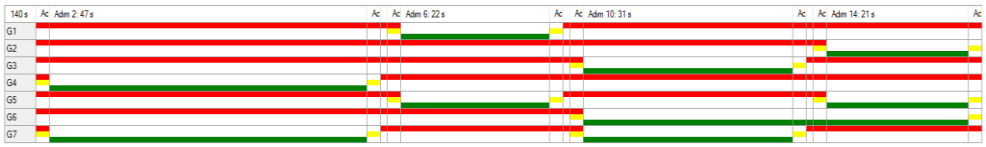

**Şekil 6.24:** Havuzlu Köşk Kavşağı taslak plan

### 6.2.2.1 Zirve Saat Trafik Bilgileri

Havuzlu Köşk Kavşağı zirve saatte 140 sn devre süresi ile 4 faz olarak çalıştırılmaktadır. Sinyal grupları ve zirve saat faz planları Şekil 6.25'te verilmiştir. Kavşağın Ulus Bulvarı (Tiyatro) geliş yönünde 47 sn, Ulus Bulvarı (Antalya) geliş yönünde 31 sn, Ali Aygören Bulvarı (MYO) geliş yönünde 31 sn ve Ali Aygören Bulvarı (Demokrasi) geliş yönünde 22 saniye yeşil süre verilmiştir. Fazlar arası geçiş süreleri ise 5 saniye olarak alınmıştır. Şekil 6.26'da Havuzlu Köşk Kavşağı zirve saat sinyal programı gösterilmiştir. Kavşak, Tiyatro Kavşağı ile koordine olarak çalışmaktadır.




**Şekil 6.25:** Havuzlu Köşk Kavşağı Zirve Saat Faz Planı

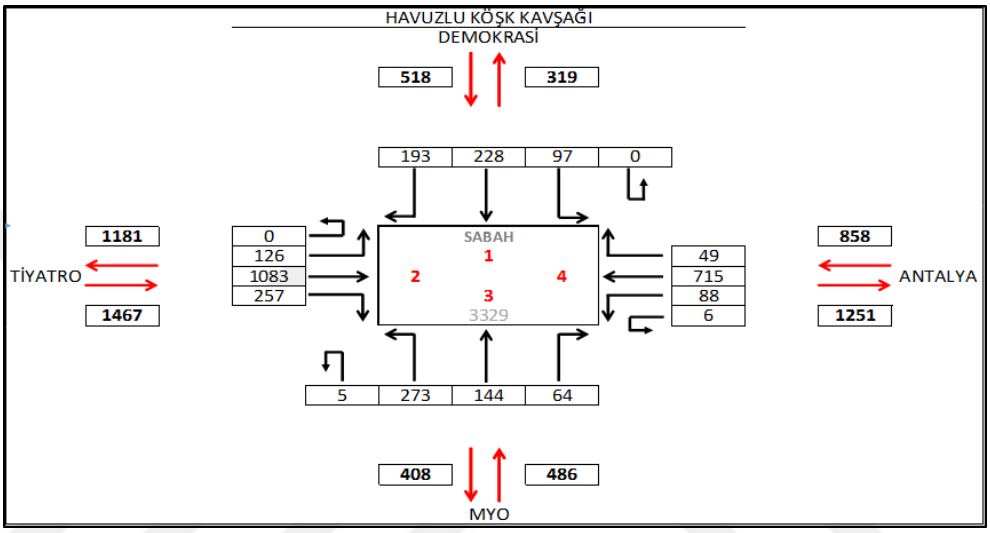



**Şekil 6.26:** Havuzlu Köşk Kavşağı zirve saat devre diyagramı

Havuzlu Köşk Kavşağının yaklaşım kolu isimleri Şekil 6.22'de verilmiştir. Trafik sayımların da bu isimlendirmeler baz alınarak trafik hacim matrisi oluşturulmuştur. Tablo 6.6'da Havuzlu Köşk Kavşağı sabah zirve saat taşıt hacimleri verilmiştir. Havuzlu Köşk Kavşağında sabah zirve saatte 3329 taşıt/saat mertebesinde trafik oluşmaktadır. Kavşağın ana akım yaklaşım kollarından biri olan Ulus (Tiyatro) yönünde sabah zirve saatte 1467 taşıt/saat, Ulus (Antalya) yönünde 858 tş/saat, Ali Aygören Bulvarı (MYO) yönünde 486 taşıt/saat ve Ali Aygören Bulvarı (Demokrasi) yönünde ise 518 taşıt/saat'lik trafik gelmektedir. Şekil 6.27'de Havuzlu Köşk Kavşağının sabah zirve saat trafik hacimleri şematik olarak gösterilmiştir.

**Tablo 6.6:** Havuzlu Köşk Kavşağı sabah zirve saat taşıt hacimleri (taşıt/saat) (08:00-09:00)

| 08:00-9:00 | Antalya | | | | Demokrasi | | | | MYO | | | | Tiyatro | | | | TOPLAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | |
| **Antalya** | 0 | 1 | 2 | 3 | 45 | 0 | 0 | 3 | 81 | 0 | 0 | 6 | 661 | 4 | 4 | 47 | **858** |
| **Demokrasi** | 90 | 1 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 211 | 1 | 1 | 15 | 178 | 1 | 1 | 13 | **518** |
| **MYO** | 59 | 0 | 0 | 4 | 133 | 1 | 1 | 9 | 5 | 0 | 0 | 0 | 252 | 1 | 1 | 18 | **486** |
| **Tiyatro** | 1001 | 6 | 6 | 71 | 117 | 1 | 1 | 8 | 238 | 1 | 1 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | **1467** |
| **TOPLAM** | **1150** | **8** | **9** | **84** | **295** | **2** | **2** | **21** | **535** | **3** | **3** | **37** | **1091** | **6** | **6** | **77** | **3329** |

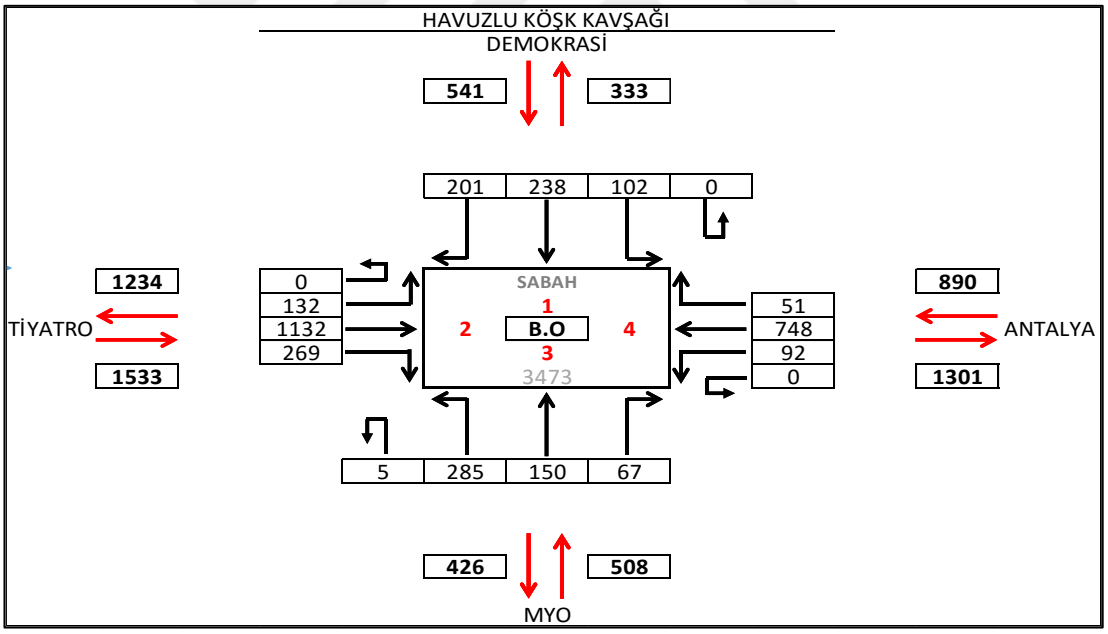



**Şekil 6.27:** Havuzlu Köşk Kavşağı sabah zirve saat trafik hacimleri şema gösterimi

Kavşaklarda gecikmeyi etkileyen önemli faktörlerden biri de ağır taşıt sayılarıdır. Tablo 4.12'de gösterilen taşıtların birim oto eşdeğerliklerine göre çevrilmiştir. Tablo 6.7'de birim otomobil cinsinden taşıt sayıları ve dönüş hacimleri gösterilmiştir. Şekil 6.28'de Havuzlu Köşk Kavşağının sabah zirve saat birim otomobil trafik hacimleri şematik olarak gösterilmiştir.

**Tablo 6.7:** Havuzlu Köşk Kavşağı sabah zirve saat birim otomobil taşıt hacimleri (taşıt/saat) (08:00-09:00)

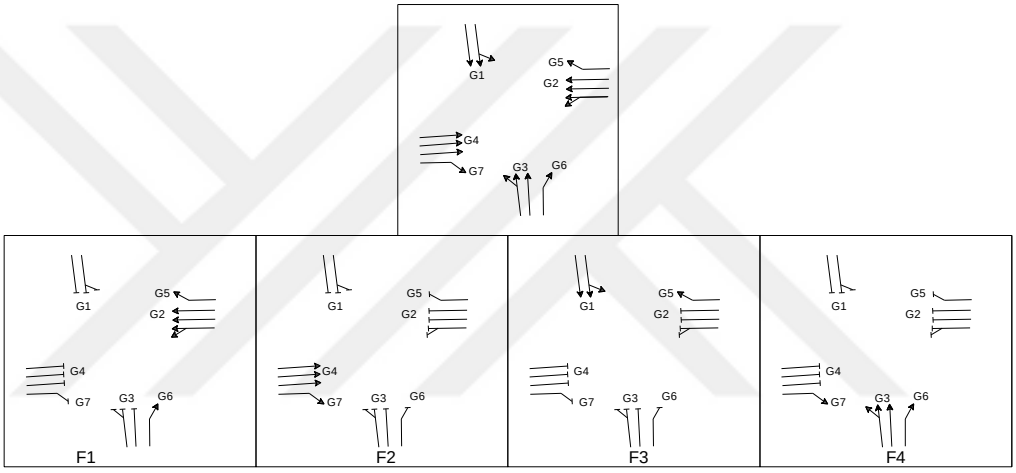
| 08:00-9:00 | Antalya | | | | Demokrasi | | | | MYO | | | | Tiyatro | | | | TOPLAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | |
| **Antalya** | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 1 | 1 | 5 | 81 | 1 | 1 | 9 | 661 | 8 | 9 | 70 | **890** |
| **Demokrasi** | 90 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 211 | 2 | 3 | 22 | 178 | 2 | 2 | 19 | **541** |
| **MYO** | 59 | 1 | 1 | 6 | 133 | 2 | 2 | 14 | 5 | 0 | 0 | 0 | 252 | 3 | 3 | 27 | **508** |
| **Tiyatro** | 1001 | 12 | 14 | 106 | 117 | 1 | 2 | 12 | 238 | 3 | 3 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | **1533** |
| **TOPLAM** | **1150** | **14** | **16** | **122** | **295** | **3** | **4** | **31** | **535** | **6** | **7** | **56** | **1091** | **13** | **15** | **116** | **3473** |



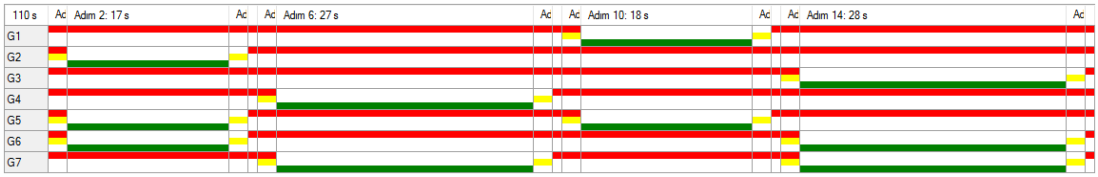

**Şekil 6.28:** Havuzlu Köşk Kavşağı zirve saat birim otomobil hacimleri şema gösterimi

### 6.2.2.2 Zirve Dışı Saat Trafik Bilgileri

Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saatte 110 sn devre süresi ile 4 faz olarak çalıştırılmaktadır. Sinyal grupları ve zirve dışı saat faz planları Şekil 6.29'da verilmiştir. Kavşağın Ulus Bulvarı (Tiyatro) geliş yönünde 27 sn, Ulus Bulvarı (Antalya) geliş yönünde 17 sn, Ali Aygören Bulvarı (MYO) geliş yönünde 28 sn ve Ali Aygören Bulvarı (Demokrasi) geliş yönünde 18 saniye yeşil süre verilmiştir. Fazlar arası geçiş süreleri ise 5 saniye olarak alınmıştır. Şekil 6.30'da Havuzlu Köşk kavşağı zirve dışı saat sinyal programı gösterilmiştir. Kavşak, Tiyatro Kavşağı ile koordine olarak çalışmaktadır.




**Şekil 6-29:** Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat faz planı

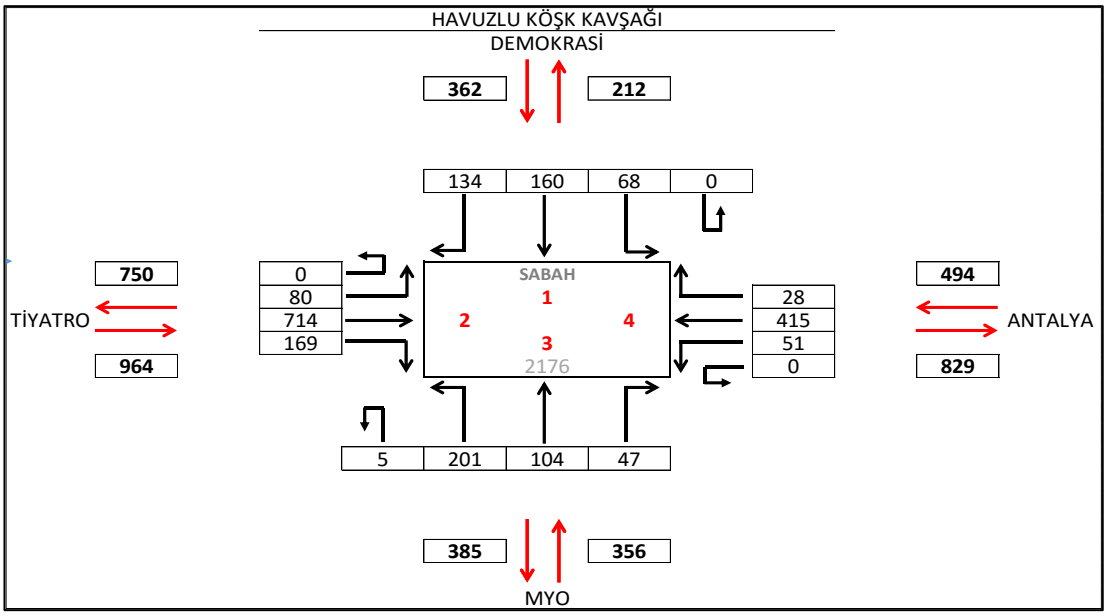



**Şekil 6.30:** Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat devre diyagramı

Havuzlu Köşk Kavşağının yaklaşım kolu isimleri Şekil 6.22'de verilmiştir. Trafik sayımlarında bu isimlendirmeler baz alınarak trafik hacim matrisi oluşturulmuştur. Tablo 6.8'de zirve dışı saat taşıt hacimleri verilmiştir. Havuzlu Köşk Kavşağında zirve dışı saatte 2176 taşıt/saat mertebesinde trafik oluşmaktadır. Kavşağın ana akım yaklaşım kollarından biri olan Ulus (Tiyatro) yönünde zirve dışı saatte 964 taşıt/saat, Ulus (Antalya) yönünde 494 tş/saat, Ali Aygören Bulvarı (MYO) yönünde 356 taşıt/saat ve Ali Aygören Bulvarı (Demokrasi) yönünde ise 362 taşıt/saat'lik trafik gelmektedir. Şekil 6.31'de Havuzlu Köşk Kavşağının zirve dışı saat trafik hacimleri şematik olarak gösterilmiştir.

**Tablo 6.8:** Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat taşıt hacimleri

| | Antalya | | | | Demokrasi | | | | MYO | | | | Tiyatro | | | | TOPLAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | |
| **Antalya** | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 | 0 | 0 | 2 | 47 | 0 | 0 | 3 | 384 | 2 | 2 | 27 | **494** |
| **Demokrasi** | 63 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 148 | 1 | 1 | 10 | 124 | 1 | 1 | 9 | **362** |
| **MYO** | 43 | 0 | 0 | 3 | 96 | 1 | 1 | 7 | 5 | 0 | 0 | 0 | 185 | 1 | 1 | 13 | **356** |
| **Tiyatro** | 660 | 4 | 4 | 47 | 74 | 0 | 0 | 5 | 156 | 1 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | **964** |
| **TOPLAM** | **766** | **5** | **5** | **54** | **196** | **1** | **1** | **14** | **356** | **2** | **2** | **25** | **693** | **4** | **4** | **49** | **2176** |

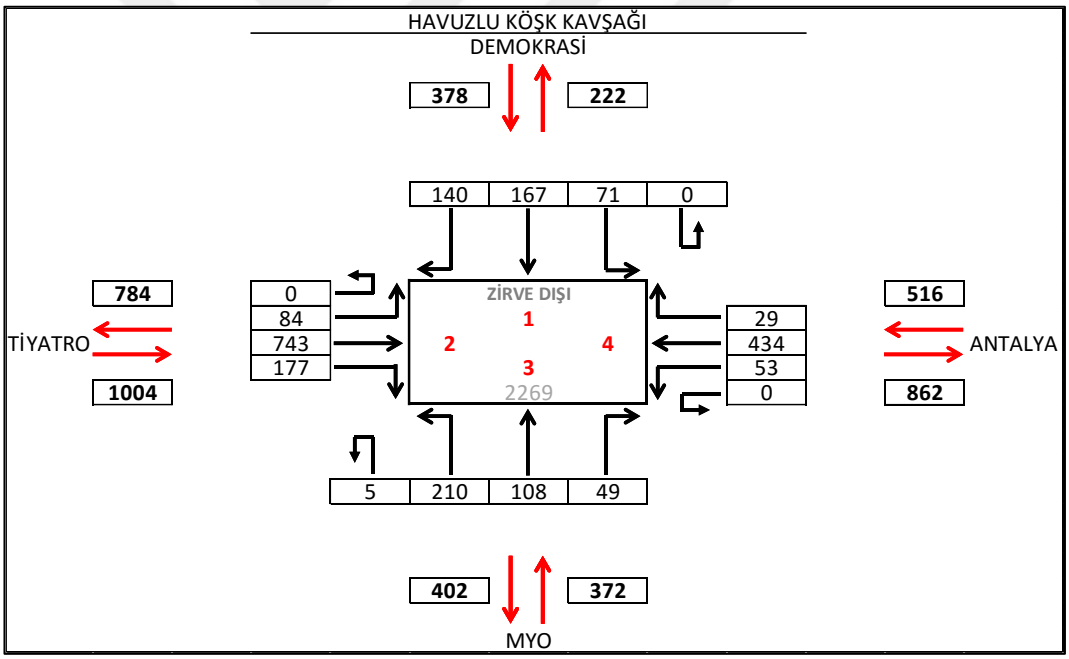



**Şekil 6.31:** Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat trafik hacimleri şema gösterimi

Kavşaklarda gecikmeyi etkileyen önemli faktörlerden biri de ağır taşıt sayılarıdır. Tablo 4.11'de gösterilen taşıtların birim oto eşdeğerliklerine göre çevrilmiştir. Tablo 6.9'da birim otomobil cinsinden taşıt sayıları ve dönüş hacimleri gösterilmiştir. Şekil 6.32'de Havuzlu Köşk Kavşağının zirve dışı saat birim otomobil trafik hacimleri şematik olarak gösterilmiştir

**Tablo 6.9:** Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat birim otomobil taşıt hacimleri

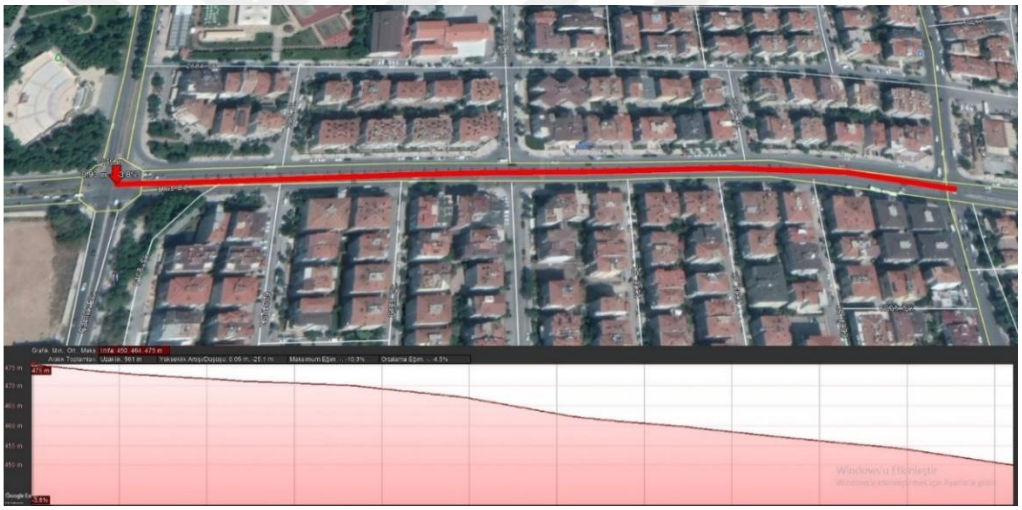
| 08:00-9:00 | Antalya | | | | Demokrasi | | | | MYO | | | | Tiyatro | | | | TOPLAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | Otomobil | Otobüs | Kamyon | Minibüs | |
| **Antalya** | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 | 0 | 0 | 3 | 47 | 1 | 1 | 5 | 384 | 5 | 5 | 41 | **516** |
| **Demokrasi** | 63 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 148 | 2 | 2 | 16 | 124 | 1 | 2 | 13 | **378** |
| **MYO** | 43 | 0 | 1 | 5 | 96 | 1 | 1 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 | 185 | 2 | 3 | 20 | **372** |
| **Tiyatro** | 660 | 4 | 9 | 70 | 74 | 1 | 1 | 8 | 156 | 2 | 2 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | **1004** |
| **TOPLAM** | **766** | **5** | **10** | **81** | **196** | **2** | **3** | **21** | **356** | **4** | **5** | **37** | **693** | **8** | **9** | **73** | **2269** |




**Şekil 6.32:** Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat birim otomobil hacimleri şema gösterimi

## 6.3 Doygun Akım Hesabı

Doygun akım hesabında Tiyatro ve Havuzlu köşk kavşaklarının geometrik özellikleri dikkate alınmıştır. Çalışmada İHA kullanılarak havadan video ve fotoğraf kayıtları alınmıştır. Daha sonra elde edilen verilen ofis ortamında analiz edilmiş, Microsoft Excel programı ile doygun akım hesabı Denklem (4.12) ve (4.13) yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan eğim Şekil 4.33'te gösterildiği üzere iki kavşak arasındaki ortalama eğim %4,5 olarak alınmıştır. Böylece trafik etütleri bölümünde açıklanan kavşakların geometrik özellikleri baz alınarak Tablo 4.10'da Tiyatro kavşağının Ulus geliş yönü doygun akım değerleri, Tablo 4.11'de ise Tiyatro kavşağının Askeri yol geliş yönü doygun akım değerleri gösterilmiştir. Tüm yönler için doygun akım değerleri hesaplanmış olup Şekil 6.34'te yaklaşım kollarının şerit başına doygun akım sonuçları verilmiştir.



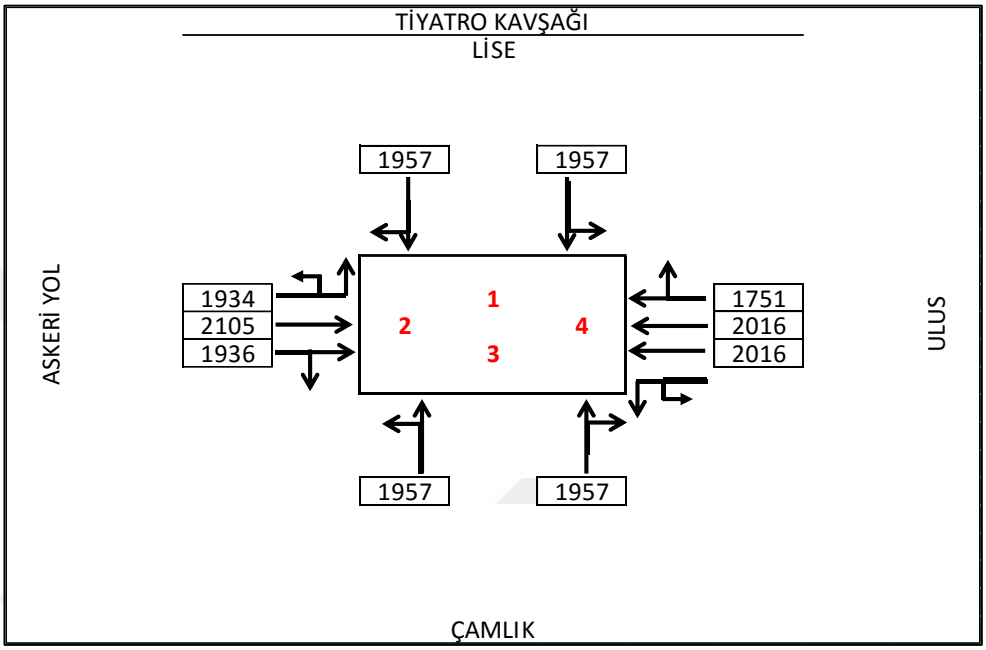
**Şekil 6.33:** Kavşaklar arasındaki eğim bilgileri

**Tablo 6.10:** Tiyatro kavşağı Ulus geliş yönü doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit)

| **Sağ Dönüş** | | **Düz Gidiş** | | **Sola Dönüş** | |
|---|---|---|---|---|---|
| $d_n$ | 1 | $d_n$ | 0 | $d_n$ | 1 |
| $d_g$ | 1 | $d_g$ | 1 | $d_g$ | 1 |
| G | 4,5 | G | 4,5 | G | 4,5 |
| w | 3,5 | w | 4,5 | w | 4,5 |
| f | 20,10% | f | 0,00% | f | 0,06% |
| r | 20 | r | 1 | r | 15 |
| **$S_o$** | **1916** | **$S_o$** | **2016** | **$S_o$** | **2016** |
| **$S_1$** | **1750** | **$S_1$** | **2016** | **$S_1$** | **1876** |

**Tablo 6.11:** Tiyatro kavşağı Askeri Yol geliş yönü doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit)

| **Sağ Dönüş** | | **Düz Gidiş** | | **Sola Dönüş** | |
|---|---|---|---|---|---|
| $d_n$ | 1 | $d_n$ | 0 | $d_n$ | 1 |
| $d_g$ | 0 | $d_g$ | 0 | $d_g$ | 0 |
| G | 4,5 | G | 4,5 | G | 4,5 |
| w | 3,5 | w | 3,5 | w | 3,5 |
| f | 16,4% | f | 0,00% | f | 26,02% |
| r | 20 | r | 1 | r | 20 |
| **$S_o$** | **2105** | **$S_o$** | **2105** | **$S_o$** | **2105** |
| **$S_1$** | **1941** | **$S_1$** | **2105** | **$S_1$** | **1927** |




**Şekil 6.34:** Tiyatro kavşağı yaklaşım kollarının şerit başına doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit)

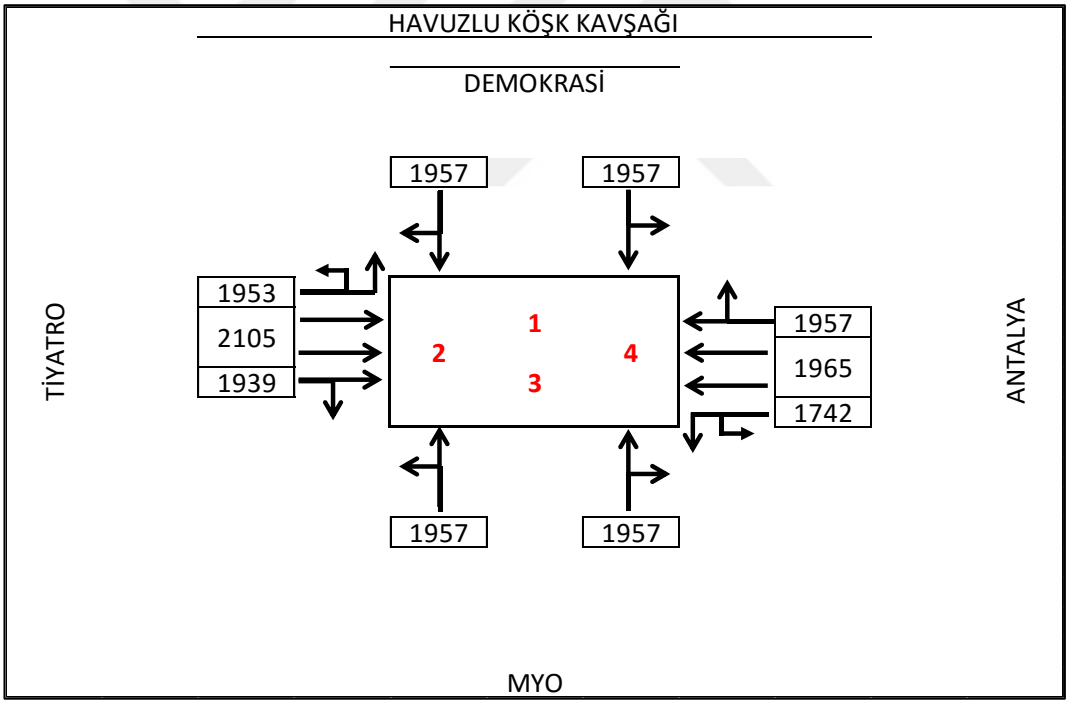
Çalışma kapsamında doygun akım değerlerinin analiz edildiği bir diğer kavşak ise Havuzlu Köşk 'tür. Kavşak geometrik özellikleri bakımında Tiyatro kavşağına oldukça yakındır. Ana akım yollar 4'er şerit gidiş-geliş, yan kollar ise 2'şer şerit gidiş-geliş olarak çalışmaktadır. Kavşakta doygun akım hesabı yapılırken baz alınan eğim Şekil 6.33'te gösterildiği üzere %4,5 dir. Havuzlu köşk kavşağında da Tiyatro kavşağındaki hesaplamalara benzer olarak denklem 4.12 ve 4.13'te verilen formüller kullanılmıştır. Tablo 6.12'de Havuzlu köşk kavşağının Antalya geliş yönü doygun akım değerleri, Tablo 6.13'te ise Havuzlu köşk kavşağının Tiyatro geliş yönündeki şerit bazlı doygun akım değerleri gösterilmiştir. Çalışma kapsamında tüm yaklaşım kollarında doygun akım hesabı yapılmış olup, Şekil 6.35'te Kavşağın yaklaşım kollarının doygun akım sonuçları gösterilmiştir.

**Tablo 6.12:** Havuzlu Köşk Kavşağı Antalya geliş yönü doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit)

| **Sağ Dönüş** | | **Düz Gidiş** | | **Sola Dönüş** | |
|---|---|---|---|---|---|
| $d_n$ | 1 | $d_n$ | 1 | $d_n$ | 1 |
| $d_g$ | 1 | $d_g$ | 1 | $d_g$ | 1 |
| G | 0 | G | 0 | G | 5 |
| w | 3,5 | w | 3,5 | w | 3,5 |
| f | 5,70% | f | 0,00% | f | 10,27% |
| r | 20 | r | 20 | r | 20 |
| **$S_o$** | **2105** | **$S_o$** | **2105** | **$S_o$** | **1895** |
| **$S_1$** | **1957** | **$S_1$** | **1965** | **$S_1$** | **1742** |

**Tablo 6.13**: Havuzlu Köşk Kavşağı Tiyatro geliş yönü doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit)

| **Sağ Dönüş** | | **Düz Gidiş** | | **Sola Dönüş** | |
|---|---|---|---|---|---|
| $d_n$ | 1 | $d_n$ | 0 | $d_n$ | 1 |
| $d_g$ | 0 | $d_g$ | 0 | $d_g$ | 0 |
| G | 5 | G | 5 | G | 5 |
| w | 3,5 | w | 3,5 | w | 3,5 |
| f | 17,56% | f | 0,00% | f | 8,35% |
| r | 20 | r | 20 | r | 20 |
| **$S_o$** | **2105** | **$S_o$** | **2105** | **$S_o$** | **2105** |
| **$S_1$** | **1939** | **$S_1$** | **2105** | **$S_1$** | **1953** |




**Şekil 6.35:** Havuzlu Köşk Kavşağı yaklaşım kolları doygun akım değerleri (otomobil/saat/şerit)

## 6.4 Mevcut Durum Analizi

Tez çalışmasında örneklem alanı olarak belirlenen Ulus Bulvarı üzerinden bulunan Tiyatro ve Havuzlu Köşk kavşaklarının trafik değerleri, geometrik durumları ve sinyal planları Bölüm 6.2 ve Bölüm 6.3'te verilmiştir. Arazi çalışmalarından ve Denizli TKM'den alınan veriler "PTV VISSIM" trafik simülasyon ve analiz programı benzetim modeli kurularak, mevcut durum analizleri gerçekleştirilmiştir. Benzetim modeli ulaşım ağının zirve ve zirve dışı saat trafik ve sinyal planları baz alınarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

### 6.4.1 Kalibrasyon

Çalışma alanı içerisinde bulunan kavşakların analizlerinin yapılması aşamasından önce PTV VISSIM programı ile modellenen ulaşım ağının kalibrasyonları yapılmıştır. Bu bağlamda kurulan modelin kalibrasyon sonucunu test etmek üzere GEH istatistiği kullanılmıştır. Geoffrey E., (1970) tarafından bulunan GEH istatistiği; Trafik mühendisliğinde, Trafik tahmin ve modellemede, iki trafik hacmini karşılaştırmak için kullanılır. GEH istatistiğinde "Model" ve "Ölçüm" olmak üzere iki adet değişken vardır. GEH istatistiğinin denklemi aşağıda verilmiştir:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \tag{6.18}$$

Burada *M*: Model, *C*: Ölçüm ifadelerini göstermektedir. Ölçüm ifadesi bu model için saha yapılan trafik sayımlarını ifade etmektedir. Bir başka deyişle bu modelde ölçüm kesitten geçen trafik hacmi olarak alınmıştır. Model ifadesi ise kurulan ulaşım ağında linklerde ölçülen trafik hacmidir. GEH'in genel olarak 0 ila 5 veya 5-10 arasında olması beklenmelidir. Yine de geçerli kural tüm GEH değerlerinin %80-85'inin 5'ten küçük olmasıdır. Kurulan modelde sınıflara göre verilen, tüm kesitlerin ortalama GEH değerleri Tablo 6.14'te verilmiştir.

**Tablo 6.14**: Ulaşım ağının zirve ve zirve dışı saat GEH değerleri

| | Yönler | Zirve | | Zirve Dışı | | GEH | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ölçüm | Model | Ölçüm | Model | Zirve | Zirve Dışı |
| **Tiyatro** | Askeri Yol | 1933 | 2041 | 1283 | 1384 | 2 | 3 |
| | Çamlık Caddesi | 475 | 480 | 306 | 320 | 0 | 1 |
| | Ulus Bulvarı | 1191 | 1193 | 713 | 776 | 0 | 2 |
| | Lise Caddesi | 725 | 677 | 411 | 426 | 2 | 1 |
| **Havuzlu Köşk** | Tiyatro | 1467 | 1374 | 964 | 927 | 2 | 1 |
| | MYO | 486 | 472 | 356 | 366 | 1 | 1 |
| | Antalya | 858 | 869 | 494 | 520 | 0 | 1 |
| | Demokrasi | 518 | 525 | 362 | 363 | 0 | 0 |

GEH İstatistiği sonuçlarına göre kalibrasyonu yapılan ulaşım ağında, zirve ve zirve dışı saatlerde toplam linklerin %100'nün GEH istatistiği 5'in altında çıkmıştır.

### 6.4.2 Tiyatro Kavşağı

Tiyatro kavşağı mevcut durumda 4 faz olarak çalışmaktadır. Kavşağının trafik değerleri, geometrik durumları ve sinyal planları Bölüm 6.2'de verilmiştir. Belirlenen değişkenlere göre kavşağın izole çalışması durumundaki performans değerleri Tablo 6.15'te verilmiştir. Tiyatro kavşağı izole mevcut durumun zirvede 48,1 sn/tş, zirve dışında ise 34,8 sn/tş gecikme ile çalışmaktadır. Şekil 6.36'da kavşağın izole mevcut durum simülasyon görseli verilmiştir.

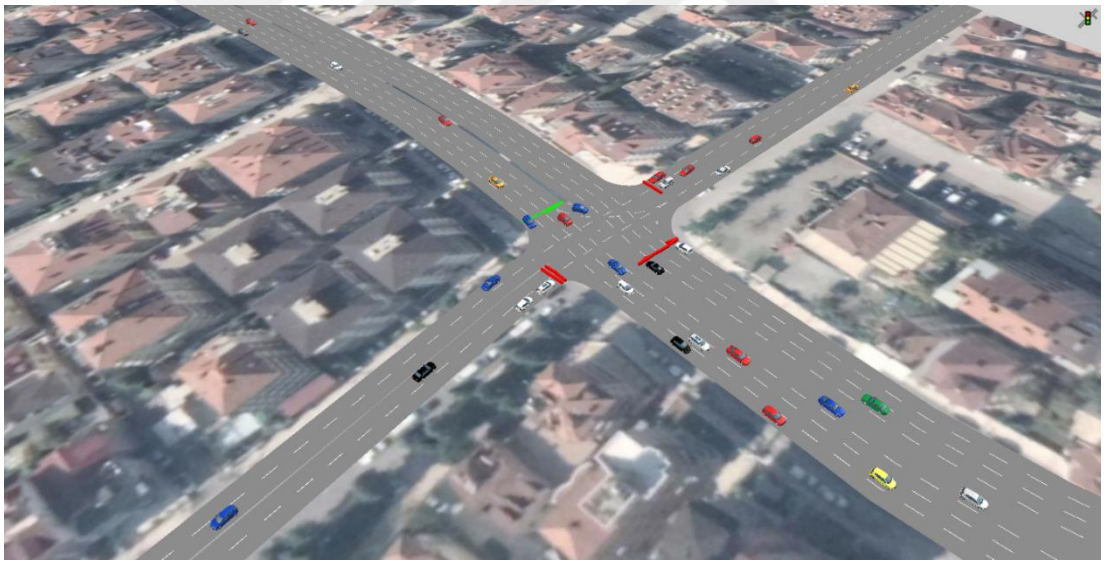
**Şekil 6.36:** Tiyatro Kavşağı mevcut durum simülasyonu

**Tablo 6.15:** Tiyatro Kavşağı mevcut durum performansı

| Mevcut Durum | Zirve Saat | Zirve Dışı Saat |
|---|---|---|
| **Ortalama Araç başı Gecikme (sn/ta)** | 48,18 | 34,85 |
| **Araç başına Ortalama Duruş Sayısı** | 0,97 | 0,77 |
| **Ortalama Hız (km/s)** | 24,54 | 29,50 |
| **Toplam Gecikme (saat)** | 59,42 | 27,92 |

### 6.4.3 Havuzlu Köşk Kavşağı

Havuzlu Köşk kavşağı mevcut durumda 4 faz olarak çalışmaktadır. Kavşağının Trafik değerleri, geometrik durumları ve sinyal planları Bölüm 6.2'de verilmiştir. Belirlenen değişkenlere göre kavşağın izole çalışması durumundaki performans değerleri Tablo 6.16'da verilmiştir. Havuzlu Köşk Kavşağı izole mevcut durumun zirvede 46,20 sn/tş, zirve dışında ise 37,4 sn/tş gecikme ile çalışmaktadır. Şekil 6.37'de kavşağın izole mevcut durum simülasyon görseli verilmiştir.



**Şekil 6.37:** Havuzlu Köşk Kavşağı mevcut durum simülasyonu

**Tablo 6.16:** Havuzlu Köşk Kavşağı mevcut durum performansı

| Mevcut Durum | Zirve Saat | Zirve Dışı Saat |
|---|---|---|
| **Ortalama Araç başı Gecikme (sn/ta)** | 46,20 | 37,39 |
| **Araç başına Ortalama Duruş Sayısı** | 0,84 | 0,75 |
| **Ortalama Hız (km/s)** | 27,54 | 30,84 |
| **Toplam Gecikme (saat)** | 44,17 | 23,31 |

### 6.4.4 İzole Durum Analizi

Tiyatro ve Havuzlu Köşk Kavşakları izole olarak çalıştığı durum baz alınarak ulaşım ağı genelinde gecikme analizleri yapılmıştır. Kavşakların mevcut devre süreleri baz alınarak, iki kavşak arasında herhangi bir ofset tanımlanmamıştır. Ulaşım ağı geneli izole durum analizi için "PTV VISSIM" trafik simülasyon ve analiz programı ile gecikme, ortalama hız, ve durma sayısı gibi parametreler belirlenmiştir. Kavşakların ulaşım ağı geneli mevcut izole durum simülasyon görüntüsü Şekil 6.38'de verilmiştir.

**Şekil 6.38:** Ulaşım ağı geneli mevcut izole durum simülasyonu

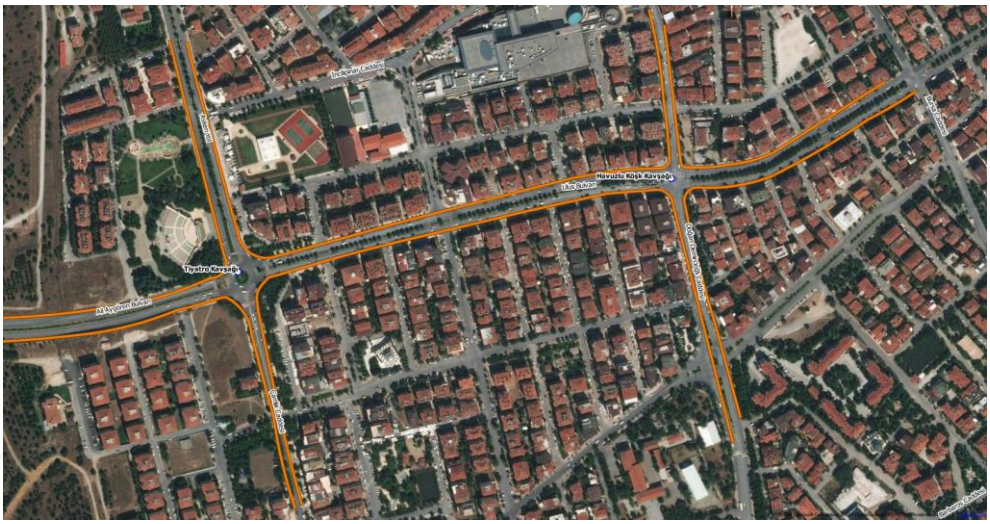
Belirlenen değişkenlere göre kavşakların izole çalışması durumundaki performans değerleri Tablo 6.17'de verilmiştir. Havuzlu Köşk Kavşağı koordine mevcut durumun zirvede 66,24 sn/tş, zirve dışında ise 46,57 sn/tş gecikme ile çalışmaktadır.

**Tablo 6.17:** Ulaşım ağın geneli izole durum performans sonuçları

| **Ulaşım Ağı Geneli Mevcut Durum** | | |
|---|---|---|
| | **Zirve Saat** | **Zirve Dışı Saat** |
| **Ortalama Araç başı Gecikme (sn/ta)** | 78,79 | 60,32 |
| **Araç başına Ortalama Duruş Sayısı** | 1,40 | 1,22 |
| **Ortalama Hız (km/s)** | 21,65 | 22,84 |
| **Toplam Gecikme (saat)** | 112,83 | 56,97 |

### 6.4.5 Koordine Durum Analizi

Tiyatro ve Havuzlu Köşk Kavşakları mevcut durumda progresif koordine olarak çalışmaktadır. Kavşaklar arasında 550 metre mesafe olup, belirlenen ofset süresi ise zirve saatte 35 saniye, zirve dışı saatte 40 saniyedir. Koordine durum analizi için "PTV VISSIM" trafik simülasyon ve analiz programı ile ulaşım ağı genelinde gecikme, ortalama hız, ve durma sayısı gibi parametreler belirlenmiştir. Kavşakların konum ve yaklaşım kolu bilgileri Şekil 6.39'da verilmiştir. Koordine durum simülasyon görüntüsü ise Şekil 6.40'da sunulmuştur.




**Şekil 6.39:** Kavşakların kolları ve cadde isimleri

**Şekil 6.40:** Koordine durum simülasyonu

Belirlenen değişkenlere göre kavşakların koordine çalışması durumundaki performans değerleri Tablo 6.18'de verilmiştir. Havuzlu Köşk Kavşağı koordine mevcut durumun zirvede 66,24 sn/tş, zirve dışında ise 46,57 sn/tş gecikme ile çalışmaktadır.

**Tablo 6.18:** Ulaşım ağı geneli mevcut koordine durum performans sonuçları

| **Ulaşım Ağı Geneli Mevcut Koordine Durum** | | |
|---|---|---|
| | **Zirve Saat** | **Zirve Dışı Saat** |
| **Ortalama Araç başı Gecikme (sn/ta)** | 66,24 | 46,57 |
| **Araç başına Ortalama Duruş Sayısı** | 1,29 | 1,06 |
| **Ortalama Hız (km/s)** | 24,42 | 26,74 |
| **Toplam Gecikme (saat)** | 104,85 | 43,98 |

## 6.5 Optimizasyon

Çalışmanın bu bölümünde çalışma alanına dahil edilen kavşakların sinyal optimizasyonları yapılmıştır. Denizli Ulus Bulvarında koordine olarak çalışan Tiyatro ve Havuzlu köşk kavşaklarının mevcut durum analizleri ve trafik hacim değerleri Bölüm 6.2'de verilmiştir. İlk olarak kavşaklar münferit durumdaki gecikmeleri açıklanmış, daha sonra koordine durum için ulaşım ağı genelindeki gecikme değerleri de gösterilmiştir. Ulaşım ağının mevcut durumunun analizleri gerçekleştirildikten sonra koordine kavşakların optimum sinyal süreleri ile ofset sürelerinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda koordine kavşakları için optimum devre ve ofset süreleri bulunmuştur.

Kavşakların sinyal sürelerinin optimizasyonu için birçok metot bulunmaktadır. Bu çalışmada devre süresi optimizasyonu (Webster ve Cobbe, 1966) tarafından bulunan Denklem (4.17) kullanılmıştır. Tablo 6.19'da Tiyatro Kavşağının izole durum optimum devre ve yeşil süreleri, Tablo 6.20'de ise Havuzlu Köşk Kavşağının izole optimum devre ve yeşil süreleri verilmiştir.

**Tablo 6.19:** Tiyatro Kavşağı zirve saat izole durum optimum devre ve yeşil süreler

| | Taşıt Hacmi (B.O/Saat) | Hacim/ Kapasite | Faz Sayısı | Kayıp Süre | Opt. Devre Süresi | Yeşil Süreler |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Çamlık** | 501 | 0,107 | 4 | 20 | 126 | 16 |
| **Lise** | 767 | 0,115 | | | | 17 |
| **Askeri yol** | 2044 | 0,311 | | | | 46 |
| **Ulus** | 1252 | 0,189 | | | | 28 |

**Tablo 6.20:** Havuzlu Köşk Kavşağı zirve saat izole durum optimum devre ve yeşil süreler

| | Taşıt Hacmi (B.O/Saat) | Hacim/ Kapasite | Faz Sayısı | Top. Kayıp Süre | Opt. Devre Süresi | Yeşil Süreler |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Antalya** | 890 | 0,143 | 4 | 20 | 84 | 16 |
| **Demokrasi** | 541 | 0,132 | | | | 15 |
| **MYO** | 508 | 0,108 | | | | 12 |
| **Tiyatro** | 1533 | 0,202 | | | | 22 |

Kavşakların zirve saat devre sürelerinin optimizasyonu yapıldıktan sonra, yaklaşım kollarındaki optimum yeşil süreler belirlenmiştir. Hesaplanan devre süreleri farklı olduğundan kavşakların arasında koordine kurulması amacı ile devre süreleri eşitlenmiştir. Bu sebeple her iki kavşağın zirve devre süreleri 126 saniye olarak alınmıştır. Kavşakların zirve saate benzer şekilde zirve dışı saatte de koordinelerin kurulması için zirve dışı saat trafik değerleri baz alınarak yeniden devre süresi optimizasyonu yapılmıştır. Tablo 6.21'de Tiyatro Kavşağının, Tablo 6.22'de ise Havuzlu Köşk Kavşağının zirve dışı saat optimum devre süreleri yeşil süreler gösterilmiştir.

**Tablo 6.21:** Tiyatro Kavşağı zirve dışı saat izole durum optimum devre ve yeşil süreler

| | Taşıt Hacmi (B.O/Saat) | Hacim/ Kapasite | Faz Sayısı | Top. Kayıp Süre | Opt. Devre Süresi | Yeşil Süreler |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Çamlık** | 322 | 0,102 | 4 | 20 | 75 | 10 |
| **Lise** | 432 | 0,095 | | | | 13 |
| **Askeri yol** | 1403 | 0,170 | | | | 22 |
| **Ulus** | 749 | 0,104 | | | | 10 |

**Tablo 6.22:** Havuzlu Köşk Kavşağı zirve dışı saat izole durum optimum devre ve yeşil süreler

| | Taşıt Hacmi (B.O/Saat) | Hacim/ Kapasite | Faz Sayısı | Top. Kayıp Süre | Opt. Devre Süresi | Yeşil Süreler |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Antalya** | 516 | 0,09 | 4 | 20 | 70 | 15 |
| **Demokrasi** | 378 | 0,10 | | | | 9 |
| **MYO** | 372 | 0,08 | | | | 11 |
| **Tiyatro** | 1004 | 0,14 | | | | 14 |

Kavşakların zirve dışı saat devre sürelerinin optimizasyonu yapıldıktan sonra, yaklaşım kollarındaki optimum yeşil süreler belirlenmiştir. Hesaplanan devre süreleri

farklı olduğundan kavşakların arasında koordine kurulması amacı ile devre süreleri eşitlenmiştir. Bu sebeple her iki kavşağın zirve devre süreleri 75 saniye olarak alınmıştır.

### 6.5.1 Ofset Süresinin Belirlenmesi

Ulaşım ağının VISSIM ile modellenmesinin ardından, kavşakların devre sürelerinin optimizasyonu yapılmış daha sonra ise ofset süresinin sıfırdan başlatılarak devre süresi kadar değiştirilmiştir. Yapılan çalışmanın her ofset süresi değişiminde gecikme ve durma sayısı parametreleri ölçülmüştür. Bu sayede ulaşım ağında ofset süresine bağlı olarak minimum ve maksimum gecikme değerleri belirlenmiştir. Kavşaklar arasında minimum gecikme ile koordinasyon kurulabilmesi için ofset süresi, gecikmeyi ve durma sayısını minimum yapacak şekilde seçilmiştir. Şekil 6.41'de VISSIM programı ile modellenen ulaşım ağı verilmiştir.

**Şekil 6.41:** PTV VISSIM ile modellenen ulaşım ağı

Mevcut durum analizde açıklandığı gibi ulaşım ağının oluşturulmasının ardından kavşakların sinyal sürelerinin optimizasyonları yapılmıştır. Tablo 6.23 ve Tablo 6.24'te Tiyatro ve Havuzlu köşk kavşaklarının optimize sinyal süreleri gösterilmiştir. Optimize sinyal planları PTV VISSIM programına girilmiştir. Bu sayede gecikme, durma sayısı gibi parametreler hesaplanmıştır.

**Tablo 6.23:** Tiyatro Kavşağı optimize sinyal ve devre süreleri

| | **İzole Durum** | | **Koordine Durum** | |
|---|---|---|---|---|
| | Zirve Saat | Zirve D. Saat | Zirve Saat | Zirve D. Saat |
| **Çamlık** | 16 | 10 | 16 | 10 |
| **Lise** | 17 | 13 | 17 | 10 |
| **Askeri yol** | 46 | 22 | 46 | 20 |
| **Ulus** | 28 | 10 | 28 | 15 |
| **Devre Süresi** | **126** | **75** | **126** | **75** |

**Tablo 6.24:** Havuzlu Köşk Kavşağı optimize sinyal ve devre süreleri

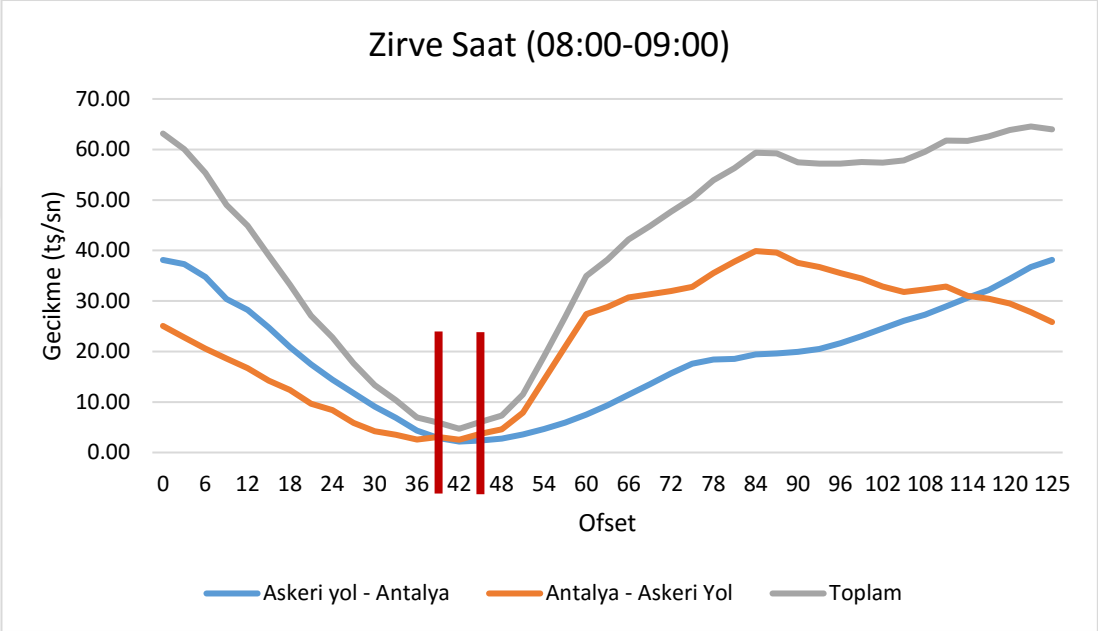
| | **İzole Durum** | | **Koordine Durum** | |
|---|---|---|---|---|
| | Zirve Saat | Zirve D. Saat | Zirve Saat | Zirve D. Saat |
| **Antalya** | 16 | 15 | 28 | 15 |
| **Demokrasi** | 15 | 9 | 17 | 11 |
| **MYO** | 12 | 11 | 16 | 9 |
| **Tiyatro** | 22 | 14 | 46 | 20 |
| **Devre Süresi** | **84** | **70** | **126** | **75** |

Tablo 6.25'te gösterildiği üzere Tiyatro Kavşağının zirve saat optimum devre süresi 126 saniye, Tablo 6.26'da gösterildiği üzere Havuzlu Köşk Kavşağının optimum devre süresi ise 84 saniyedir. Kavşakların koordine olarak çalışmasının temel sebeplerinden biri ortak devre süresi olduğundan her iki kavşağın devre süresi 126 saniye olarak alınmıştır. Zirve dışı saatte ise Tiyatro kavşağının optimum devre süresi 75 saniye, Havuzlu köşk kavşağının 70 saniyedir. Kavşakların zirve dışı saatte koordinelerinin de kurulması için devre süreleri 75 saniye olarak alınmıştır. Tablo 6.27'de koordine aksların zirve saat için ofsete göre değişen durma gecikmesi (sn/ta), durma sayısı ve araç gecikme (sn/ta) değerlerini, Şekil 6.42'de ise ofset/gecikme değişimi verilmiştir.

**Tablo 6.25:** Koordine aksların zirve saat için ofset/gecikme değerleri

| | Askeri yol - Antalya | | | Antalya - Askeri Yol | | | Toplam Ortalama Durma G. (sn/ta) | Toplam Gecikme (saat) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ofset Süresi** | Araç başı Gecikme (sn/ta) | Durma Sayısı | Araç başı Gecikme (sn/ta) | Araç başı Durma Gecikmesi (sn/ta) | Durma Sayısı | Araç başı Gecikme (sn/ta) | | |
| **0** | 38,09 | 0,84 | 45,57 | 25,03 | 0,81 | 32,72 | 63,13 | 128,79 |
| **3** | 37,27 | 0,82 | 44,51 | 22,77 | 0,82 | 30,47 | 60,04 | 127,57 |
| **6** | 34,77 | 0,75 | 41,56 | 20,56 | 0,82 | 28,22 | 55,33 | 126,70 |
| **9** | 30,41 | 0,71 | 36,82 | 18,61 | 0,83 | 26,49 | 49,02 | 121,25 |
| **12** | 28,20 | 0,61 | 33,87 | 16,68 | 0,83 | 24,50 | 44,88 | 119,61 |
| **15** | 24,74 | 0,55 | 29,81 | 14,24 | 0,84 | 22,15 | 38,97 | 117,87 |
| **18** | 20,87 | 0,48 | 25,38 | 12,36 | 0,83 | 20,38 | 33,22 | 113,54 |
| **21** | 17,43 | 0,42 | 21,38 | 9,64 | 0,79 | 17,21 | 27,08 | 114,46 |
| **24** | 14,39 | 0,36 | 17,98 | 8,39 | 0,77 | 16,26 | 22,78 | 108,82 |
| **27** | 11,75 | 0,30 | 14,95 | 5,86 | 0,65 | 13,30 | 17,62 | 107,39 |
| **30** | 9,08 | 0,25 | 11,94 | 4,24 | 0,49 | 11,11 | 13,32 | 106,84 |
| **33** | 6,86 | 0,20 | 9,40 | 3,51 | 0,29 | 9,15 | 10,37 | 103,06 |
| **36** | 4,35 | 0,14 | 6,49 | 2,55 | 0,23 | 7,04 | 6,90 | 102,43 |
| **39** | 2,89 | 0,09 | 4,88 | 3,04 | 0,24 | 7,28 | 5,94 | 101,55 |
| **42** | **2,17** | **0,09** | **4,39** | **2,54** | **0,19** | **6,01** | **4,70** | **100,61** |
| **45** | 2,36 | 0,15 | 5,34 | 3,70 | 0,22 | 7,33 | 6,06 | 103,06 |
| **48** | 2,72 | 0,24 | 6,44 | 4,59 | 0,21 | 7,89 | 7,31 | 107,91 |
| **51** | 3,56 | 0,33 | 8,02 | 7,91 | 0,25 | 11,48 | 11,47 | 109,88 |
| **54** | 4,66 | 0,43 | 9,81 | 14,41 | 0,36 | 18,99 | 19,06 | 115,49 |
| **57** | 5,89 | 0,51 | 11,65 | 20,92 | 0,46 | 26,13 | 26,81 | 116,94 |
| **60** | 7,50 | 0,59 | 13,81 | 27,42 | 0,59 | 33,72 | 34,92 | 119,40 |
| **63** | 9,37 | 0,66 | 16,02 | 28,82 | 0,52 | 34,47 | 38,18 | 120,49 |
| **66** | 11,47 | 0,73 | 18,41 | 30,70 | 0,62 | 36,96 | 42,17 | 120,63 |
| **69** | 13,52 | 0,77 | 20,67 | 31,31 | 0,57 | 37,22 | 44,83 | 123,57 |
| **72** | 15,69 | 0,81 | 22,99 | 31,99 | 0,60 | 37,96 | 47,69 | 124,75 |
| **75** | 17,57 | 0,82 | 24,97 | 32,81 | 0,61 | 38,93 | 50,38 | 124,60 |
| **78** | 18,40 | 0,81 | 25,67 | 35,50 | 0,65 | 41,87 | 53,91 | 127,62 |
| **81** | 18,55 | 0,76 | 25,40 | 37,79 | 0,71 | 44,74 | 56,34 | 126,13 |
| **84** | 19,44 | 0,74 | 25,98 | 39,88 | 0,76 | 47,42 | 59,32 | 126,47 |
| **87** | 19,60 | 0,70 | 26,00 | 39,60 | 0,73 | 47,13 | 59,20 | 126,23 |
| **90** | 19,90 | 0,68 | 26,13 | 37,55 | 0,72 | 44,76 | 57,46 | 125,46 |
| **93** | 20,49 | 0,67 | 26,56 | 36,73 | 0,68 | 43,84 | 57,22 | 124,84 |
| **96** | 21,65 | 0,65 | 27,71 | 35,54 | 0,68 | 42,55 | 57,18 | 123,85 |
| **99** | 23,04 | 0,64 | 29,06 | 34,45 | 0,69 | 41,45 | 57,49 | 124,49 |
| **102** | 24,54 | 0,64 | 30,68 | 32,87 | 0,68 | 39,72 | 57,41 | 124,47 |
| **105** | 26,08 | 0,65 | 32,25 | 31,78 | 0,69 | 38,51 | 57,86 | 126,42 |
| **108** | 27,29 | 0,66 | 33,73 | 32,26 | 0,76 | 39,48 | 59,55 | 128,46 |
| **111** | 28,95 | 0,68 | 35,75 | 32,84 | 0,76 | 40,38 | 61,79 | 126,88 |
| **114** | 30,67 | 0,73 | 37,84 | 31,00 | 0,78 | 38,30 | 61,67 | 128,31 |
| **117** | 32,15 | 0,78 | 39,56 | 30,46 | 0,80 | 38,15 | 62,60 | 129,46 |
| **120** | 34,39 | 0,81 | 41,91 | 29,48 | 0,83 | 37,20 | 63,88 | 129,66 |
| **123** | 36,75 | 0,83 | 44,29 | 27,81 | 0,84 | 35,77 | 64,55 | 128,66 |
| **125** | 38,14 | 0,82 | 45,54 | 25,82 | 0,84 | 33,86 | 63,96 | 128,79 |

Tablo 6.25'te verilen durma gecikmesi araçların toplu taşıma araçlarının duraklarda kısa süreli beklemesi ve yol kenarı paklanmalardan meydana gelen gecikme etkileri göz ardı edilerek hesaplanmıştır. Bu sebeple gecikmeye etkisi olan diğer etkenlerin ayrıştırılabilmesi için çalışmada performans karşılaştırmaları yapılırken araç başı durma gecikmesi baz alınmıştır. Ayrıca Tablo 6.25'te ulaşım ağı genelinde meydana gelen araç başı gecikme de gösterilmiştir. Burada taşıtların gecikmesine etki eden tüm parametreler dahil edilmiştir.



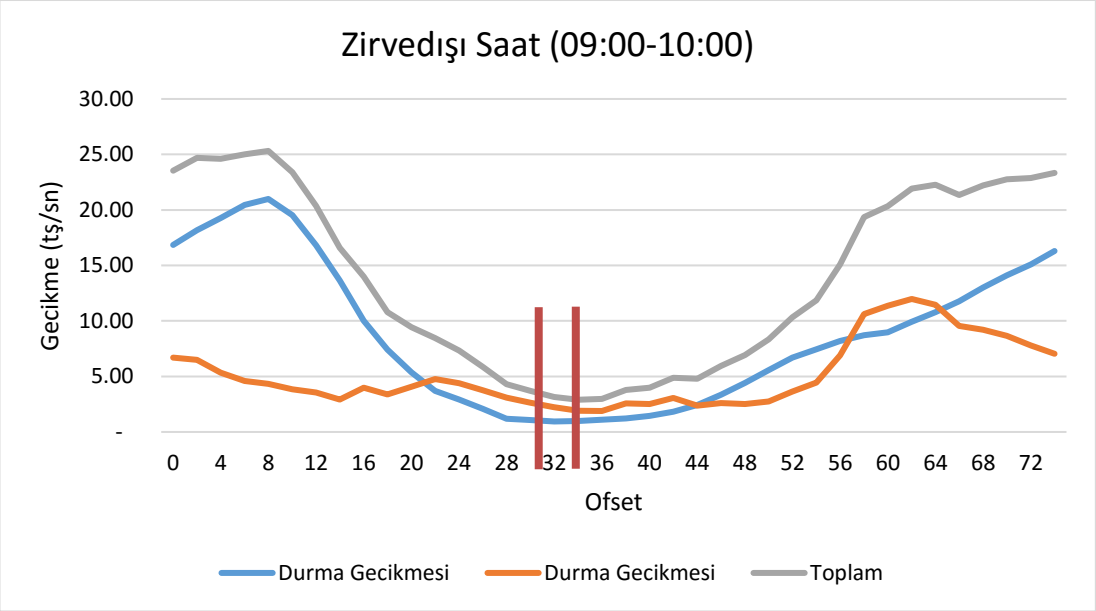

**Şekil 6.42:** Koordine aksların zirve saat ofset/gecikme değerleri

Tablo 6.25 ve Şekil 6.42'de görüleceği üzere ofset süresinin değişimine bağlı olarak koordine akslardaki toplam gecikmeler 65 sn/ta ile 5 sn/ta arasında değişmektedir. Aksın her iki yönünde de minimum gecikmenin sağlandığı 42 saniyelik ofset ile kavşaklar koordine edilmiştir. Belirlenen ofset süresi ile aksın Askeri yol – Antalya yönünde durma gecikmesi 2,17 sn/ta, durma sayısı ise 0,09 tersi yönde ise durma gecikmesi 2,54 sn/ta, durma sayısı 0,19 olarak belirlenmiştir. Tablo 6.26'da koordine aksların zirve dışı saat için ofsete göre değişen durma gecikmesi (sn/ta), durma sayısı ve araç gecikme (sn/ta) değerlerini, Şekil 6.43'te ise ofset/gecikme değişimi verilmiştir.

**Tablo 6.26:** Koordine aksların zirve dışı saat için ofset/gecikme değerleri

| Askeri yol - Antalya | | | | Antalya - Askeri Yol | | | Toplam Durma G. (sn/ta) | Toplam Gecikme (saat) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ofset Süresi** | Durma Gecikmesi | Durma Sayısı | Araç Gecikmesi | Durma Gecikmesi | Durma Sayısı | Araç Gecikmesi | | |
| **0** | 16,84 | 0,67 | 23,04 | 6,70 | 0,38 | 11,86 | 16,84 | 39,05 |
| **2** | 18,18 | 0,66 | 24,47 | 6,50 | 0,35 | 11,50 | 18,18 | 39,39 |
| **4** | 19,28 | 0,67 | 25,77 | 5,34 | 0,30 | 9,91 | 19,28 | 39,70 |
| **6** | 20,44 | 0,70 | 27,14 | 4,58 | 0,28 | 8,79 | 20,44 | 39,33 |
| **8** | 20,99 | 0,72 | 27,77 | 4,33 | 0,29 | 8,32 | 20,99 | 38,93 |
| **10** | 19,54 | 0,72 | 26,03 | 3,85 | 0,28 | 7,80 | 19,54 | 38,46 |
| **12** | 16,83 | 0,61 | 22,43 | 3,55 | 0,28 | 7,48 | 16,83 | 36,92 |
| **14** | 13,66 | 0,51 | 18,32 | 2,93 | 0,28 | 6,77 | 13,66 | 35,72 |
| **16** | 10,02 | 0,40 | 13,77 | 3,98 | 0,30 | 8,07 | 10,02 | 35,12 |
| **18** | 7,42 | 0,34 | 10,53 | 3,38 | 0,27 | 7,36 | 7,42 | 34,08 |
| **20** | 5,36 | 0,25 | 7,90 | 4,06 | 0,32 | 8,44 | 5,36 | 33,32 |
| **22** | 3,69 | 0,19 | 5,73 | 4,77 | 0,37 | 9,62 | 3,69 | 32,83 |
| **24** | 2,92 | 0,16 | 4,80 | 4,40 | 0,39 | 9,35 | 2,92 | 32,35 |
| **26** | 2,09 | 0,11 | 3,74 | 3,77 | 0,36 | 8,36 | 2,09 | 31,54 |
| **28** | 1,19 | 0,08 | 2,57 | 3,10 | 0,33 | 7,50 | 1,19 | 30,64 |
| **30** | 1,08 | 0,07 | 2,39 | 2,62 | 0,32 | 7,00 | 1,08 | 30,27 |
| **32** | **0,94** | **0,07** | **2,26** | **2,22** | **0,30** | **6,56** | **0,94** | **30,00** |
| **34** | 0,98 | 0,06 | 2,48 | 1,92 | 0,25 | 6,12 | 0,98 | 30,03 |
| **36** | 1,10 | 0,07 | 3,01 | 1,89 | 0,17 | 6,06 | 1,10 | 30,82 |
| **38** | 1,22 | 0,08 | 3,89 | 2,57 | 0,13 | 6,37 | 1,22 | 31,35 |
| **40** | 1,46 | 0,15 | 5,19 | 2,52 | 0,11 | 5,88 | 1,46 | 32,10 |
| **42** | 1,82 | 0,27 | 6,51 | 3,06 | 0,14 | 6,14 | 1,82 | 32,65 |
| **44** | 2,42 | 0,39 | 7,73 | 2,37 | 0,09 | 4,81 | 2,42 | 32,62 |
| **46** | 3,36 | 0,52 | 9,25 | 2,60 | 0,11 | 5,04 | 3,36 | 33,06 |
| **48** | 4,41 | 0,61 | 10,76 | 2,53 | 0,11 | 4,85 | 4,41 | 33,45 |
| **50** | 5,58 | 0,67 | 12,22 | 2,75 | 0,13 | 5,10 | 5,58 | 34,12 |
| **52** | 6,69 | 0,72 | 13,53 | 3,63 | 0,17 | 6,30 | 6,69 | 35,46 |
| **54** | 7,44 | 0,74 | 14,29 | 4,43 | 0,21 | 7,38 | 7,44 | 35,91 |
| **56** | 8,19 | 0,75 | 15,04 | 6,91 | 0,29 | 10,50 | 8,19 | 37,18 |
| **58** | 8,71 | 0,74 | 15,21 | 10,63 | 0,40 | 15,19 | 8,71 | 38,32 |
| **60** | 8,97 | 0,71 | 15,19 | 11,36 | 0,47 | 16,36 | 8,97 | 38,68 |
| **62** | 9,93 | 0,69 | 16,07 | 11,98 | 0,51 | 17,28 | 9,93 | 38,93 |
| **64** | 10,79 | 0,67 | 16,79 | 11,47 | 0,51 | 16,91 | 10,79 | 39,14 |
| **66** | 11,78 | 0,67 | 17,71 | 9,55 | 0,49 | 14,80 | 11,78 | 38,56 |
| **68** | 13,01 | 0,67 | 18,99 | 9,20 | 0,50 | 14,63 | 13,01 | 38,90 |
| **70** | 14,11 | 0,66 | 20,12 | 8,66 | 0,51 | 14,23 | 14,11 | 39,00 |
| **72** | 15,09 | 0,66 | 21,14 | 7,79 | 0,48 | 13,34 | 15,09 | 39,33 |
| **74** | 16,31 | 0,66 | 22,44 | 7,03 | 0,43 | 12,39 | 16,31 | 39,07 |

Tablo 6.26'da verilen durma gecikmesi araçların toplu taşıma araçlarının duraklarda kısa süreli beklemesi ve yol kenarı paklanmalardan meydana gelen gecikme etkileri göz ardı edilerek hesaplanmıştır. Bu sebeple gecikmeye etkisi olan diğer etkenlerin ayrıştırılabilmesi için çalışmada performans karşılaştırmaları yapılırken araç başı durma gecikmesi baz alınmıştır. Ayrıca Tablo 6.26'da ulaşım ağı genelinde meydana gelen araç başı gecikme de gösterilmiştir. Burada taşıtların gecikmesine etki eden tüm parametreler dahil edilmiştir.




**Şekil 6.43:** Ulaşım ağının zirve dışı saat ofset/gecikme değerleri

Tablo 6.26 ve Şekil 6.43'te görüleceği üzere ofset süresinin değişimine bağlı olarak koordine akslardaki toplam gecikmeler 25 sn/ta ile 3 sn/ta arasında değişmektedir. Aksın her iki yönünde de minimum gecikmenin sağlandığı 34 saniyelik ofset ile kavşaklar koordine edilmiştir. Belirlenen ofset süresi ile aksın Askeri yol – Antalya yönünde durma gecikmesi 0,98 sn/ta, durma sayısı ise 0,06 tersi yönde ise durma gecikmesi 1,92 sn/ta, durma sayısı 0,25 olarak belirlenmiştir.

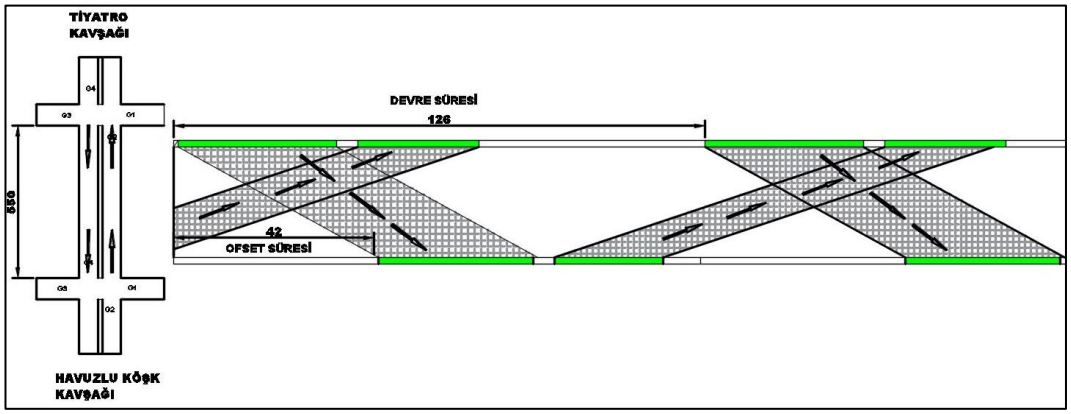
## 6.6 Sonuçlar

### 6.6.1 Zirve Saat

Ulaşım ağında zirve saat trafik hacimleri baz alınarak, PTV VISSIM Trafik analiz ve simülasyon programı ile modelleme yapılmıştır. Optimum devre sürelerinin hesaplanarak, koordinasyon planının yapılaması sonucunda ulaşım ağı genelinde iyileşmeler meydana geldiği belirlenmiştir. Çalışmanın asıl hedefi olan kavşaklar arasında koordine kurulabilmesi için optimum ofset süresinin belirlenmesinde, iteratif yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem ile ofset süresi 0 saniyeden başlatılarak, devre süresi kadar arttırılmıştır. Böylece koordine olan akslardaki değişimler gözlenmiş, gecikme ve durma sayısını minimum yapan ofset süresi zirve saatte 42 saniye olarak seçilmiştir. Tablo 6.27'de zirve saat için mevcut ve optimize durum arasındaki değişimler gösterilmiştir. Zirve saatte mevcut ve optimize durum arasında araç başına gecikmede %15, araç başı burma sayısında %5 iyileşme meydana gelmiş, ortalama seyahat hızı ise 25,76 km/saate çıkmıştır. Şekil 6.44'te ise kavşakların zirve saat optimum devre süresine göre yer-zaman diyagramı sunulmuştur.

**Tablo 6.27:** Ulaşım ağı genelinde zirve saat performans değerleri

| Zirve Saat | Mevcut | Optimize | Değişim (%) |
|---|---|---|---|
| **Ortalama Araç başı Gecikme (sn/ta)** | 66,24 | 56,26 | **15** |
| **Araç başına Ortalama Duruş Sayısı** | 1,29 | 1,22 | **5** |
| **Ortalama Hız (km/s)** | 24,42 | 25,76 | **5** |
| **Toplam Gecikme (Saat)** | 104,25 | 100,61 | **4** |



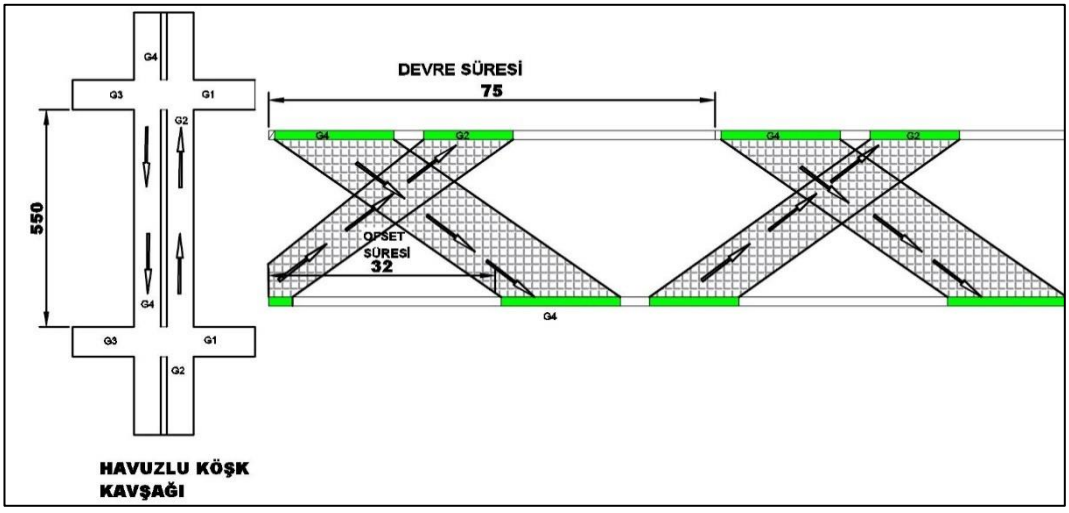

**Şekil 6.44:** Zirve saat optimum devre süresi ve koordinasyon planı

### 6.6.2 Zirve Dışı Saat

Ulaşım ağında zirve dışı saat trafik hacimleri baz alınarak, PTV VISSIM Trafik analiz ve simülasyon programı ile modelleme yapılmıştır. Optimum devre sürelerinin hesaplanarak, koordinasyon planının yapılaması sonucunda ulaşım ağı genelinde iyileşmeler meydana geldiği belirlenmiştir. Çalışmanın asıl hedefi olan kavşaklar arasında koordine kurulabilmesi için optimum ofset süresinin belirlenmesinde, iteratif yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem ile ofset süresi 0 saniyeden başlatılarak, devre süresi kadar arttırılmıştır. Böylece koordine olan akslardaki değişimler gözlenmiş, gecikme ve durma sayısını minimum yapan ofset süresi zirve saatte 32 saniye olarak seçilmiştir. Tablo 6.28'de zirve dışı saat için mevcut ve optimize durum arasındaki değişimler gösterilmiştir. Zirve dışı saatte mevcut ve optimize durum arasında kavşak gecikmesi %35, araç başı burma sayısında %15 iyileşme meydana gelmiş, ortalama seyahat hızı ise 28 km/saate çıkmıştır. Şekil 6.45'te ise zirve dışı saat koordinasyon planına göre yer-zaman diyagramı sunulmuştur.

**Tablo 6.28:** Koordine aksların zirve dışı saat performans değerleri

| Zirve Dışı Saat | Mevcut | Optimize | Değişim (%) |
|---|---|---|---|
| **Ortalama Araç başı Gecikme (sn/ta)** | 46,57 | 31,8 | **32** |
| **Araç başına Ortalama Duruş Sayısı** | 1,06 | 0,95 | **10** |
| **Ortalama Hız (km/s)** | 26,74 | 32,74 | **22** |
| **Toplam Gecikme (Saat)** | 43,98 | 30 | **32** |




**Şekil 6.45:** Zirve dışı saat optimum devre süresi ve koordinasyon planı

# 7. SONUÇLAR

## 7.1 Giriş

Bu bölüm çalışma kapsamında elde edilen sonuç ve önerileri içermektedir. Bölüm 7.2'de araştırmanın ana sonuçları ile bölüm içi sonuçlarının açıklamaları verilmiştir. Bölüm 7.3'te ise öneriler sunulmuştur.

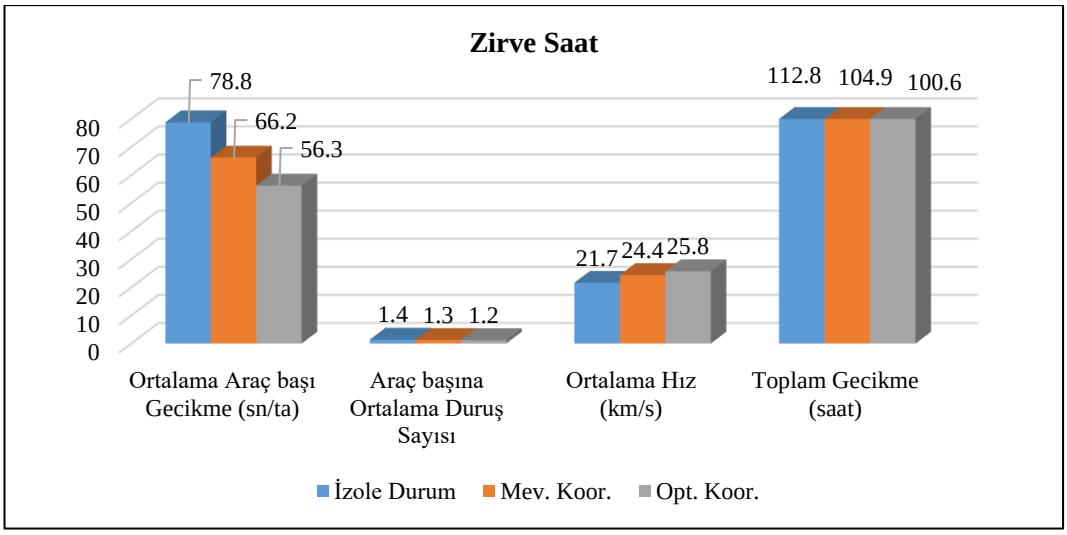
## 7.2 Sonuçlar

Ulaşım ağları üzerinde bulunan kavşaklar arasında koordinasyon sağlanması, ağ genelinde oluşan gecikme süreleri ile durma sayılarını minimize edilmesi ile bölgesel ve ulusal bazda birçok kazanç elde edilebilir. Gecikmelerinin minimize edilmesi, yol alt yapısındaki bozulmalar ile sürücü psikolojilerini pozitif yönde etkileyeceği gibi yakıt tüketimi ile çevresel etkileri de azaltacaktır. Çalışmada, kavşaklar arasından koordinasyonun sağlanması için PTV VISSIM Trafik simülasyon ve analiz programı kullanılmıştır.

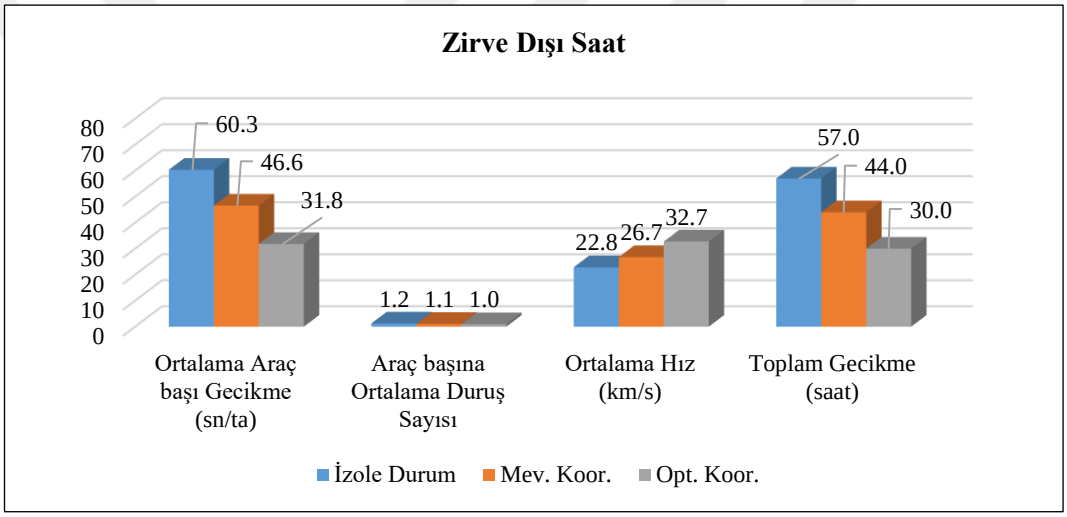
Çalışma alanını oluşturan Ulus Bulvarı Denizli'nin ana arterlerinden biri konumundadır. Bulvarı Kuzeyde Merkezefendi ilçesine, güneyde ise Denizli – Antalya ana yoluna bağlanmaktadır. Bulvarın yakın çevresinde Pamukkale Üniversitesi, merkezi iş alanları, Forum Çamlık AVM gibi seyahat üretim ve çekiminin yoğun olduğu lokasyonlar bulunmaktadır. Bu sebeple bulvar üzerinde günün pik saatlerinde trafik yoğunluğu oluşmaktadır. Bu sebeple çalışmada, bulvarın başlangıç kavşağı durumunda olan Tiyatro ve Havuzlu Köşk Kavşakları seçilmiştir. Aşağıda verilmiş olan sonuçlar bu çalışmadan elde edilmiştir.

1. Çalışmanın 2. Bölümünde açıklandığı üzere koordine kavşaklar ve adaptif sistemler ile ilgili olarak literatür taraması yapılmış olup, önemli bulgular ve sonuçlar açıklanmıştır. Ayrıca sinyalizasyon sistemlerinin tarihçesi ile farklı analiz metotlarını içeren simülasyon ve analiz programlarından bahsedilmiştir.

2. Çalışmanın 3. Bölümünde şehir içi kavşakların büyük kısmını oluşturan sinyalize kavşaklar hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmada sinyalize kavşaklar "izole" ve "koordine" olarak iki farklı kategoride incelenmiştir. İzole kavşaklar kendi içerisinde sabit, yaya uyarmalı, el ile uyarmalı ve tam uyarmalı olmak üzere 4 başlık altına açıklanmıştır. Bölüm içerisinde koordine kavşaklar ile ilgili olarak ise koordine kavşak sistemleri, koordinasyonun genel prensipleri, sistem bileşenleri koordine sistem türleri açıklanmıştır. Ayrıca bölümde koordine sistem türleri senkronize, alternatif, progresif ve alansal koordinasyon sistemleri olmak üzere 4 başlık altında toplanmıştır.
3. Çalışmanın 4. Bölümünde sinyalize kavşaklarda gecikme hesapları açıklanmıştır. Bu aşamada çalışmada da kullanılan Webster Yöntemi açıklanmıştır. Webster yöntemine göre gecikmeyi etkileyen birçok parametre mevcut olup, bölüm içerisinde gecikmenin temelini oluşturan doygun akım, taşıt kompozisyonu, devre süresi optimizasyonunu sağlayan matematiksel modeller gösterilmiştir.
4. Çalışmanın 5. Bölümünde simülasyon ve modelleme kavramları açıklanmıştır. Bu bölümde PTV VISSIM trafik analiz ve simülasyon programı hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Bölümün devamında simülasyonun kullanım alanları, avantajları ve dezavantajları ile benzetim modeli kurulmasına yönelik bilgiler açıklanmıştır.
5. Araştırma ve bulgular bölümünde ise çalışma alanı içerisinde bulunan kavşakların geometrik özellikleri belirlendikten sonra doygun akım hesapları yapılmış olup izole ve koordine durum için gecikme analizleri gerçekleştirilmiştir.
6. Kavşakların mevcut durumu baz alınarak Webster yöntemi ile devre süresi optimizasyonu yapılmıştır. Daha sonra optimum devre süreleri koordine kurulabilmesi adına eşitlenmiş ve zirve saatte 42 sn, zirve dışı saatte ise 32 saniye ile koordinasyon kurulmuştur. Bu durumda gecikmeler minimize edilerek zirve saate 56,26 sn/tş, zirve dışı saatte 31,8 sn/tş gecikme meydana gelmiştir. Bu sayede ulaşım ağında mevcut koordineli duruma göre gecikmeler zirve saate %15, zirve dışı saatte ise %32 kadar daha iyileşme sağlanmıştır. Ulaşım ağının izole durum, mevcut koordine durum ve optimize koordine durum analizleri yapıldığında diğer parametrelerdeki değişimler zirve ve zirve dışı saatte için Şekil 7.46 ve Şekil 7.47'de gösterilmiştir.




**Şekil 7.46:** Ulaşım ağı genelinde zirve saat performans karşılaştırmaları




**Şekil 7.47:** Ulaşım ağı genelinde zirve dışı saat performans karşılaştırmaları

7. Şekil 7.46 ve Şekil 7.47 gösterilen toplam gecikme değerleri baz alındığında izole durum zirve saatte 112,8 saat, mevcut koordinede 104,9 saat, optimum koordinede ise 100,6 saat toplam gecikme, zirve dışı saatte ise sırası ile 57,44,30 saat toplam gecikme meydana gelmektedir. Bu durumda toplam gecikmelerde mevcut koordine duruma göre zirvede %4, izole duruma göre %10 iyileşme olmaktadır. Zirve dışı saatte ise mevcut koordine duruma göre %31, izole duruma göre %47 iyileşme oluşmaktadır.
8. Ayrıca çalışmada gerçek zamanlı olmayan durumlarda ana arter ya da şehirlerarası devlet karayollarında saatlik ölçümler yapılarak kavşaklar arasında koordinasyon (özellikle şehir geçişlerinde) yapılabildiği belirlenmiştir.

## 7.3 Öneriler

Trafikte oluşan gecikmeleri azaltmak için birçok metot bulunmaktadır. Her ne kadar kavşaklar arasında koordinasyon kurulması, geometrik düzenlemeler ve yol kapasitelerinin arttırılması oluşan gecikmeleri düşürse de kalıcı çözüm üretememektedir. Giderek artan şehirleşme ve buna bağlı olarak artan araç sayıları ve talep, kentlerdeki trafik sıkışıklıklarını sürekli bir problem haline dönüştürmüştür. Bu sebeple bireysel araç talebi baskılanarak, toplu taşıma kullanımı ve daha çevreci ulaşım araçlarına yönelimin teşvik edilmesi önerilmektedir. Bu durumda temelde ülke politikaları ile desteklenerek mümkündür.

# 8. KAYNAKLAR


A Akçelik, R.,"Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis",*Australian Road Research Board Reseach Report,123,7,74-81*,(1998).

Gartner H. Little J. Gabbay H., "Optimization of Traffic Signal Settings by Mixed-Integer Linear Programming". *Traspotation Science 9,4*,(321-363),(1975)

Geoffrey E.,Desing Manual for Roads and Bridges, Londra Department for Transport (1996)

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK),"İllere göre motorlu kara taşıtları sayısı", (27Mayıs2019), http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30629,(2018).

T.C. Kalkınma Bakanlığı,"İllerin Sosyo Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması",(27Mayıs2019),http://www3.kalkinma.gov.tr/DocObjects/View/15310/SEGE-2011.pdf.,(2011).

Jiang, Y., Li, S., & Zhao, Z., "Performance Evaluation of Coordinated Intersections with GPS Devices",*Journal of the Transportation Research Forum*,44,77-91,(2005).

Jin, J., & Ma, X., "Stochastic Optimization of Signal Plan and Coordination using Parallelized Traffic Simulation", *SUMO2014 - Modeling Mobility with Open Data*,1-14,(2014).

Kimber, R., McDoland, M., & Hounsell N.B.,*"The prediction of saturation flows for road junctions controlled by traffic signals". Crowthorne: Research Report 67 Transport and Road Research Laboratory*,1-21,(1986)

Kobal, B., "Boğaziçi Köprüsü Üzerindeki Trafik Sıkışıklığının Hız Yönetimi Yöntemiyle Azaltılması",Yüksek Lisans,*Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,: Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Programı*, 27-36,(2011).

P. B. Hunt ve diğ.,."A Traffic Responsive Method Of Coordinating Signals", Transport and Road Research *Laboratory*,1014, 1-45,(1981).

Park, B. B., & Schneeberger, J. "Microscopic Simulation Model Calibration and Validation: A Case Study of VISSIM for a Coordinated Actuated Signal System",*Transportation Research Record 1856,03-2531,185-192*,(2002).

Park, B. B., Yun, I., & Choi, K., "Evaluation of Microscopic Simulation Tools for Coordinated Signal System Deployment,*KSCE Journal Of Civil Enginnering*,8(2),239-248,(2004).

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

Roess, R. P., & Prassas, E. V., "Traffic Engineering (3rd Edition)",*Pearson Higher Education*,786,(2004).

Roess, R. P., & Prassas, E. V., "Traffic Engineering (4.th Edition)", *Pearson Higher Education,734,(2011).*

Tian, Z. Z., Urbanik, T., Engelbrecht, R., & Balke, K.,"Pedestrian Timing Alternatives and Impacts on Coordinated Signal Systems Under Split-Phasing Operations", *Transportation Research Record*, 1748,46-54,(2001).

Ocaktan, S.,"Arterlerin Yeniden Yapılandırılmasında Simülasyon Tekniği ile Karar Verme ve Bir Kavşak Uygulaması*",Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik Yönetimi Programı, İstanbul,11-12,(2010).*

Webster, F. V.,"*Traffic Signal Setting",Road Reseach Technical, 39,(1957).*

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

Wiedemann R.,*"Simulation des Strassenverkehrsflusses", Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe,8,(1974).*

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

# 1. ÖZGEÇMİŞ


| | | |
|---|---|---|
| Adı Soyadı | : | Halil İbrahim Yiğit |
| Doğum Yeri ve Tarihi | : | Ordu/Ünye – 09.03.1992 |
| Lisans Üniversite | : | Pamukkale Üniversitesi |
| Elektronik posta | : | halilibrahimyigit@yandex.com |
| İletişim Adresi | : | 0543 391 57 93 |


**Yayın Listesi :**

Taksi Duraklarının Konum ve Kapasitelerinin, Erişilebilirlik Ölçütleri ve Nüfus Dağılımı Kapsamında Değerlendirilmesi: Tekirdağ-Çorlu Örneği, 8 (3) 153-166, (2018)