

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAVŞAK TASARIMINDA TRAFİK SİMÜLASYON  
TEKNİKLERİNİN KULLANIMI VE SAKARYA İÇİN  
UYGULAMALAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali Ammar CAMCI**

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

**Eylül 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAVŞAK TASARIMINDA TRAFİK SİMÜLASYON  
TEKNİKLERİNİN KULLANIMI VE SAKARYA İÇİN  
UYGULAMALAR**


**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

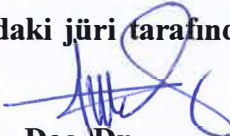
**Ali Ammar CAMCI**


**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA**

Bu tez <sup>23.09.2019</sup> tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr.  
**Hakan GÜLER**  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr.  
**Pelin ALPKÖKİN**  
Üye

  
Dr. Öğr. Üyesi  
**İrfan PAMUK**  
Üye

## **BEYAN**

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

Ali Ammar CAMCI

18.09.2019

## TEŞEKKÜR

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

Yapılan tez çalışması süresince saha olanakları konusunda her türlü teknik desteği esirgemeyen Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman olduğu gibi tez aşamasında da en büyük destekçim olan sevgili eşim Nisa CAMCI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ .....	vii
ÖZET .....	viii
SUMMARY .....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. Trafik Kavramı .....	4
2.1.1. Trafik akım parametreleri .....	4
2.1.2. Trafikte seyreden araçların özellikleri .....	9
2.2. Kavşak Tanımı .....	10
2.2.1. Kavşak tasarımı .....	10
2.2.1.1. Kavşak tasarımını etkileyen faktörler .....	11
2.2.1.2. Kavşak tasarımı için ihtiyaç duyulan bilgiler .....	12
2.2.1.3. Kavşak kapasite analizleri .....	13
2.3. Kavşak Tipleri .....	14
2.3.1. Eşdüzey kavşaklar .....	14
2.3.1.1. Dönel kavşaklar .....	17
2.3.1.2. Eşdüzey kavşaklarda trafik hareketleri .....	19
2.3.2. Katlı kavşaklar .....	21

2.3.2.1. Üç kollu katlı kavşaklar.....	24
2.3.2.2. Dört kollu katlı kavşaklar.....	26
2.4. Trafik Sinyalizasyonu .....	28
2.4.1. Sinyalizasyon kavramları.....	29
2.4.2. Kavşaklarda sinyalizasyon sisteminin gerekliliği.....	33
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM .....	34
3.1. Trafik Simülasyon Teknikleri .....	34
3.2. Araç Takip Modelleri.....	35
3.2.1. Şok Dalgaları.....	37
3.3. Trafik Simülasyon Yazılımları.....	41
3.3.1. Vissim yazılımı .....	42
3.3.2. Vissim için literatür araştırması.....	44
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI .....	46
4.1. Serdivan Sapak Camii Kavşağı Vissim Analizi.....	46
4.2. D-100 Dörtyol Sanayi Kavşağı Vissim Analizi.....	59
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ .....	63
KAYNAKLAR .....	65
ÖZGEÇMİŞ .....	67

## **SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ**

PHF	: Pik Saat Faktörü
YOGT	: Yıllık Ortalama Günlük Trafik
GHR	: Gazi-Herman-Rotary Modeli
TUSD	: Trafik Uyarmalı Sinyal Düzeni
LWR	: Lighthill-Whitham-Richards Modeli
AVM	: Alışveriş Merkezi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Hacim, hız, yoğunluk grafikleri .....	8
Şekil 2.2. Kapasite açısından kavşak tipleri .....	14
Şekil 2.3. Kanalize edilmemiş T kavşak örneği .....	15
Şekil 2.4. Kanalize edilmemiş dört kollu kavşak .....	16
Şekil 2.5. Üç kollu kanalize T kavşak gösterimi .....	16
Şekil 2.6. Mini dönel kavşak örneği .....	17
Şekil 2.7. Modern bir dönel kavşağın temel tasarım elemanları .....	18
Şekil 2.8. Ayrılma, katılma, kesişme ve örülme hareketleri.....	20
Şekil 2.9. Eşdüzey kavşaklarda çakışmalar .....	21
Şekil 2.10. Bir katlı kavşak örneği, Qian Chun, Çin .....	22
Şekil 2.11. Trafik hacmine göre katlı kavşak ihtiyacı .....	23
Şekil 2.12. Katlı kavşak tipleri.....	24
Şekil 2.13. Trompet kavşak örneği .....	25
Şekil 2.14. Yarım yonca katlı kavşak örneği .....	25
Şekil 2.15. Yönsel katlı kavşak örneği .....	26
Şekil 2.16. Dört kollu tek luplu kavşak .....	26
Şekil 2.17. Baklava kavşak örneği .....	27
Şekil 2.18. Toplayıcı/dağıtıcı yollu yonca kavşak örneği.....	28
Şekil 2.19. Üç çeyrek yonca kavşak örneği .....	28
Şekil 2.20. Faz düzeni gösterimi .....	31
Şekil 2.21. Sinyal devre diyagramı gösterimi.....	31
Şekil 2.22. Devre düzeni örnek gösterimi .....	32
Şekil 3.1. Araç takip gösterimi .....	36
Şekil 3.2. Konum değişimi ve hız değişimi grafiğinde reaksiyon bölgeleri .....	37
Şekil 3.3. Trafikte dalgalanmanın görülmesi .....	37
Şekil 3.4. Şok dalgalanmanın görüldüğü bölge .....	38



Şekil 3.5. Trafik değerlerinin farklı olduğu kesimler .....	38
Şekil 3.6. Belli bir anda belli bir uzunlukta araçların temsili gösterimi.....	39
Şekil 3.7. Şok dalgalanmanın başladığı kesim .....	39
Şekil 3.8. Şok dalgalanmanın Akım-Yoğunluk grafiğinde gösterilmesi .....	40
Şekil 3.9. Şok dalgasının yönü .....	41
Şekil 3.10. Örnek simülasyon görüntüleri.....	42
Şekil 3.11. Psiko-fiziksel araç takip modeli .....	43
Şekil 4.1. Serdivan İlçesi son 10 yıldaki nüfus artış grefiği .....	47
Şekil 4.2. Sapak Camii kavşağı uydu görüntüsü .....	48
Şekil 4.3. Sapak Camii kavşağı mevcut durum AutoCAD çizimi.....	49
Şekil 4.4. Vissim programı Sapak Camii kavşağı.....	50
Şekil 4.5. Linklerin tanımlanmış gösterimi.....	51
Şekil 4.6. Güzergah tanımlama gösterimi .....	53
Şekil 4.7. Güzergahlarına göre araç oranları .....	53
Şekil 4.8. Geçiş öncelikleri gösterimi .....	54
Şekil 4.9. Vissim üzerinde verilerin girilmiş son hali .....	55
Şekil 4.10. Vissim analiz sonuçları analiz sonuçları .....	55
Şekil 4.11. Vissim simülasyonu 3D simülasyon görüntüsü .....	56
Şekil 4.12. Köprü geçişli katlı kavşak tasarımının AutoCAD çizimi.....	57
Şekil 4.13. Kuyruk karşılaştırma görseli .....	58
Şekil 4.14. Dört yol sanayi kavşağının simülasyon yazılımında modellenmesi .....	59
Şekil 4.15. Yol kesimlerinin numaralandırılması.....	59
Şekil 4.16. Sinyal devre diyagramları .....	60

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. K-faktörü sınır değerleri .....	9
Tablo 2.2. Bazı taşıtların tasarım boyutları .....	7
Tablo 3.1. Araç takip modellerinde kullanılan parametreler .....	35
Tablo 4.1. Serdivan İlçesi son 10 yılın nüfus verileri.....	47
Tablo 4.2. Cadde 54 AVM trafik etüdü .....	52
Tablo 4.3. Sapak Camii senaryo verileri .....	52
Tablo 4.4. Mevcut yol verilerine ait kuyruk uzunlukları .....	56
Tablo 4.5. Katlı kavşak yerine ait kuyruk uzunlukları .....	58
Tablo 4.6. Dört yol sanayi kavşağı araç hacmi verileri .....	60
Tablo 4.7. Yol kesimlerinde halihazırdaki sinyalizasyon verilerine ait kuyruk uzunlukları .....	60
Tablo 4.8. 2. ve 4.yol kesimlerinde devre süresi değiştirilmeden 2 sn yeşil ışık süresinin artırılması sonucuna ait kuyruk uzunluğu değerleri.....	61
Tablo 4.9. 2. ve 4.yol kesimlerinde devre süresi değiştirilmeden 5 sn yeşil ışık süresinin artırılması sonucuna ait kuyruk uzunluğu değerleri.....	61
Tablo 4.10. 2. ve 4.yol kesimlerinde devre süresi artırılarak 2 sn yeşil ışık süresinin artırılması sonucuna ait kuyruk uzunluğu değerleri.....	61
Tablo 4.11. 2. ve 4.yol kesimlerinde devre süresi artırılarak 5 sn yeşil ışık süresinin artırılması sonucuna ait kuyruk uzunluğu değerleri.....	61

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Kavşak tasarımı, kavşak tipleri, trafik sinyalizasyonu, trafik simülasyonu, kuyruk uzunluğu

Modern çağda, büyük şehirlerin en ciddi sorunlarından biri trafik sıkışıklığıdır. Bu sorun toplumun yaşamını direkt olarak olumsuz etkilediğinden, ulaştırma mühendisliğinin en önemli çalışma konularından biridir. Trafik sıkışıklıkları, çoğunlukla, şehiriçi kavşaklarında görülmektedir. Bu sebeple kavşak tasarımı en etkili çözümlerin bulunması toplum için çok önemlidir. Gelişen bilgisayar teknolojileri ile, kavşakların yerinde inşa edilmeden trafik sonuçlarının gözlenebileceği trafik simülasyon programları üretilmiştir.

Bu çalışmada, kavşak tasarımı trafik simülasyon yazılımlarını kullanmanın etkisi araştırılmıştır. Serdivan Sapak Camii Kavşağı ve D-100 Dört Yol Sanayi Kavşağı geleneksel yöntemler ile incelenmiş, araç sayımları yapılarak güzergahlar üzerindeki trafik hacmi ortaya konmuştur. Çalışma konusu kavşakların, Vissim mikroskobik trafik simülasyon yazılımı kullanılarak, modeli oluşturulmuş ve trafik parametreleri yazılıma girilmiştir. Güncel durumdaki kuyruk uzunlukları iki kavşak içinde hesaplanmıştır. Serdivan Sapak Camii Kavşağı için yapılan senaryo çalışmalarında iki farklı trafik hacmi seçilmiş ve bu durumlardaki kuyruk uzunlukları tespit edilmiştir. Alternatif önerisi olarak kavşakta katlı kavşak tercih edilmiş ve yazılımda tasarlanmıştır. Aynı trafik hacim değerleri için katlı kavşak tasarımı oluşan kuyruk uzunlukları hesaplanarak mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. D-100 Dört Yol Sanayi Kavşağı için ise güncel trafik hacim değerleri sabit tutularak sinyalizasyon faz değerlerinde dört farklı alternatif için kuyruk uzunluğu değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Yapılan Vissim analizlerinde ortaya çıkan sonuçların gerçek duruma çok yakın olduğu gözlenmiş olup trafik simülasyon tekniklerinin kavşak tasarımlarında tasarımcılar tarafından kullanılmasının çok verimli olduğu ortaya konmuştur.

# **USE OF TRAFFIC SIMULATION TECHNIQUES IN JUNCTION DESIGN AND CASE STUDY FOR SAKARYA**

## **SUMMARY**

Keywords: Junction design, junction types, traffic signalization, traffic simulation, queue length

In the modern era, one of the most critical problems of big cities is traffic congestion. Due to this problem directly negatively affects the life of society, is one of the most important topics of transportation engineering. Traffic jams are mostly seen in urban intersections. Therefore, finding the most effective solutions in the design of intersections is very significant for the society. With the help of developing computer technologies, traffic simulation programs have been produced in which traffic results can be observed without being constructed at the intersections.

In this study, the effect of using traffic simulation software in junction design was investigated. Serdivan Sapak Mosque Intersection and D-100 Dörtyol Sanayi Intersection were examined with traditional methods and vehicle counts were made and traffic volume on the routes was revealed. These intersection were modeled using Vissim microscopic traffic simulation software and the traffic parameters were entered into the software. Current queue lengths are calculated at two intersections. Two different traffic volumes were selected in the scenario studies for Serdivan Sapak Mosque Junction and queue lengths were determined in these cases. As an alternative suggestion, interchange is preferred and designed in software. For the same traffic volume values, the queue lengths in the interchange design were calculated and compared with the current situation. For the D-100 Dörtyol Sanayi Junction, the current traffic volume values were kept constant and the queue length values were calculated and compared for four different alternatives in signaling phase values.

It was observed that the results of the vissim analyses were very close to the real situation and it was found that the use of traffic simulation techniques by designers in junction designs was very efficient.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Hız, günümüz dünyasında, toplumun en önemli ihtiyaçlarından biridir. Ulaşılmak istenen hedefler, zaman kısıtlaması ile anlam kazandığından hız kavramı da başarının bir ölçütü haline gelmiştir. Bu durum insanoğlunu daha hızlı yaşama konusunda hem teşvik etmekte hem de mecbur bırakmaktadır.

Hıza en çok ihtiyaç duyulan alanlardan biri de ulaştırma dır. Ulaştırma genel anlamı ile insan, mal ya da bir bilginin transferi konusunu kapsamaktadır. Bilgi transferi teknolojik gelişmeler ile farklı platformlara taşınmış olsa da mal ve insan transferi mevcut yollar üzerinden sağlanmaktadır. Yollar üzerinde yaşanan bu hareketlilik trafik kavramını doğurmakta ve hız faktörü üzerinden en önemli gündemlerimizden birini oluşturmaktadır. Yaşantımız içinde günlük kararlarımızı dahi etkileyen trafik yoğunluğu, yolların özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan, kullanım kapasitesi ile ilgili bir parametredir. Trafığın yoğunluğu arttıkça hayatın akışının yavaşladığı bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Her şeye rağmen her geçen gün kişisel taşıt kullanımı artmaktadır. Bu artışla birlikte artan trafik yoğunluğu mevcut yapılaşma ve ulaşım alt yapılarını test etmektedir. Özellikle hızla büyüyen, çağa uygun olmayan şehirler ve buna bağlı altyapı eksiklikleri, günlük hayatta en çok kullanılan karayollarında gözle görünür halde ve ciddi bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. İdarelerin sorunların çözümü konusunda yaptıkları altyapı çalışmalarının geneli trafik kapasitesinin artırılmasına yöneliktir. Ancak yol kapasitesi ne kadar artarsa artsın hız kesici unsurların bulunması kapasitesi düşürmektedir. Hız kesici unsurların en çok bulunduğu yerler ise kavşaklardır.

Karayolu kavşakları, yol kullanıcılarının güzergah kesişme noktalarıdır. Sadece taşıtların kullandığı şehirler arası kavşaklar olduğu gibi, yayaların, motorlu ve motorsuz taşıtların veya raylı sistemli ulaşım araçlarının bulunduğu şehir içi

kavşakları da mevcuttur. Bazı tasarım ve uygulamalar, özellikle seviye farklı çözümler, güzergah çakışmalarında kullanıcılara gecikme yaşatmadan devam etme şansı tanısa da, genel olarak her çakışma kısaca her kavşak gecikmeye sebebiyet vermektedir. Bu sebeple kavşakların en ideal şekilde tasarımı gecikmeyi azaltarak, temel amaç olan günlük yaşam hızının yüksek seviyede kalmasına yardımcı olmaktadır.

Modern çağın talebi hız olduğu gibi arzı da benzer şekilde hızdır. Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile her alanda ideal çözümler daha kolay bir şekilde üretilmeye başlanmıştır. Trafik mühendisliği konusunda da hazırlanan simülasyon yazılımları, tasarım yapma çalışmalarını hızlı, ucuz ve kolay hale getirmiştir.

Son zamanlarda, Trafik simülasyon programları ulaştırma mühendisleri ve diğer ilgililer tarafından yaygın ve etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Kullanıcılar trafik simülasyon programlarından, matematik model altyapısı güçlü olan programları öncelikli olarak tercih edilmektedir. Kullanıcılar, kavşak geometrisi ile beraber sürücü davranışlarını da modellemekte ve halihazırdaki trafiğin durumunu gerçeğe en yakın şekilde simüle edebilmektedir. Bilgisayar ortamında, kavşakların mevcut durumu, yoğunluğu, kapasitesi ve gelecekteki, muhtemel artan araç sayısı ile birlikte, oluşabilecek durumu kolay bir şekilde belirlenebilmekte ve altyapı çalışmalarının önceden kolay bir şekilde planlanması sağlanabilmektedir.

Tez konumuz olan, kavşak tasarımında simülasyon tekniklerinin kullanılması aşamasında Vissim simülasyon programı ile çalışılmıştır. Programın, tasarım senaryolarının sonuçlarını, yerinde uygulama yapılmadan göstermesi sayesinde, en uygun çözümlerin bulunması konusundaki desteği, tartışılmaz bir gerçektir. Yapılan senaryo çalışmaları sonrasında birçok farklı model karar vericilerin önüne seçenekler olarak sunulabilir. Tezimizde, Sakarya merkezinde bulunan Serdivan Sapak Camii Kavşağı ve D-100 Dört yol Sanayi Kavşağı çalışılmıştır. Seçilen kavşakların geleneksel yöntemler ile analizi yapılmış ve mevcut trafik durumları tespit edilmiştir. Gelecekte bölgedeki değişimler, değişimlerin trafiğe etkisi ve buna bağlı

oluşabilecek farklı senaryolardaki sonuçlar Vissim simülasyon programında ortaya konmuştur.



## **BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Trafik Kavramı**

Genel tanım olarak trafik, bir yerden bir yere gitmek amacıyla yolları kullanan tüm kullanıcıların oluşturduğu hareketlilikdir. Motorlu ve motorsuz taşıtlar, tramvaylar, yayalar, binek hayvanlar gibi yol kullanıcıları bir akım halinde yolda hareket ederler. Bu akım bazı ülkelerde soldan olmakla birlikte genel olarak sağdan devam eder.

Trafik akımının düzeni için idareciler trafik kanunlarını ve bunlara bağlı trafik kurallarını belirlerler. Bu kurallar trafiğin daha sağlıklı bir şekilde devam etmesi için çok önemlidir. Yol tasarımcılarının da bu kuralları dikkate alarak tasarım yapmaları gerekmektedir.

Tasarımcılar için yolların tanımlanması genel olarak fiziksel durum ve trafik durumu verileri ile mümkün olmaktadır. Tasarımcının fiziksel durumu yerinde yapılan gözlemler ile tespit ettikten sonra, trafik verilerini de yapılan ölçümler ile elde etmesi gerekir. Bu veriler ışığında tasarımcı tasarlayacağı yolun önce matematiksel modelini ortaya koyması gerekir.

#### **2.1.1. Trafik akım parametreleri**

Trafik akımlarının matematiksel modellerinin ortaya konması için bazı parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Modellerin ölçeği mikroskobik, mezoskopik ve makroskobik olarak üçe ayrılır. Yol ağının üzerindeki hareketlerin bütünsel olarak incelendiği modeller makroskobik modellerdir. Bu modellemede kullanılan parametreler, hız (km/saat), trafik hacmi (taşıt/saat) ve yoğunluktur (taşıt/km). Bu parametreler ile



tanımlanan makroskobik modeller, trafiği bütün olarak akışkan halde düşünerek ortaya koymaktadır [1].

Akım oranı: Hacim belirli bir süre aralığında yolun bir bölümünden geçen araç trafik miktarının sayısıdır. Akım oranı ise 1 saatten az, genel olarak 15 dakikalık ölçüm süresindeki trafik hacminin saatlik olarak tanımlanmasıdır [2].

Pik saat faktörü (PHF): Pik saatlik faktör değeri, pik akım oranı ve saatlik akım değerlerinden elde edilir. Eğer 15 dakikalık periyot kullanılırsa, PHF aşağıdaki gibi (Denklem 2.1) hesaplanır [3].

$$PHF = \frac{V}{4 \cdot V_{15}} \quad (2.1)$$

Denklemde; PHF: Pik saat faktör, V: Saatlik hacim (araç/saat) ve  $V_{15}$ : Pik 15 dakika süresince geçen hacmin pik saatlik değeri (araç/15 dakika) olarak verilmiştir [3].

PHF ile ilgili kurallar [3]:

- $PHF \leq 1,00$ ,
- $PHF \geq 0,25$  (Pik 15 dakika içinde tüm araçlar),
- PHF'in 1,00 değerine yakın olması her 15 dakikalık periyotlarda tutarlı bir akım olduğunu gösterir,
- PHF değeri trafik hacmindeki değişkenliği gösterir,
- PHF'ün yol kapasitesiyle bir ilişkisi yoktur.

Hız: Tanım olarak birim zamanda alınan mesafeye hız denir. Trafikte, kullanıcıların yol alternatiflerinden tercih yaparken ilk değerlendirdikleri parametredir. Trafikte hız, sürücü kabiliyeti, taşıt özellikleri, yolun fiziksel özellikleri, sınırlandırmalar, hava şartları ve trafik yoğunluğuna bağlıdır. Yol tasarımı yapılırken, kullanıcıların beklentilerini en iyi şekilde karşılamak adına, çoğunlukla yapılması tahmin edilen hızların dikkate alınması gerekir. Hız cinsi kilometre/saat olarak ifade edilir. Ortalama seyahat hızı aşağıda (Denklem 2.2) verilmiştir [2, 3].

$$S = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{t_a} \quad (2.2)$$

Burada;

S: Ortalama seyahat hızı (km/sa),

L: Yol uzunluğu (km),

n: Gözlenen seyahat süreleri.

Denklemden seyahat süresi, trafik sıkışıklığı veya herhangi bir sebeple durma ve duraklamaları da içermektedir. Trafik akımında kullanılan diğer hızlar aşağıda verilmiştir [2]:

- Zamana bağlı ortalama hız,
- Mesafeye bağlı ortalama hız,
- Ortalama işletme hızı,
- Ortalama seyahat hızı,
- Serbest akım hızı.

Zamana bağlı ortalama hız, radarla tespit edilebilen hız cinsi olup Denklem 2.3 aşağıda verilmiştir [2].

$$V_{TMS} = \frac{\sum V_t}{n} = \frac{\sum \frac{d}{t_t}}{n} \quad (2.3)$$

Mesafeye bağlı ortalama hız, seyahat süresiyle tespit edilen hız cinsi olup Denklem 2.4 aşağıda verilmiştir [3].

$$V_{SMS} = \frac{d}{\frac{\sum t_t}{n}} = \frac{n \cdot d}{\sum t_t} \quad (2.4)$$

Ortalama işletme hızı, hesaplamalarında gecikme süreleri dahil edilmez. Denklem 2.5 aşağıdaki gibidir [3].

$$V_r = \frac{d}{\sum \frac{t_{ri}}{n}} = \frac{n \cdot d}{\sum t_{ri}} \quad (2.5)$$

Burada;

d: Seyahat edilen mesafe,

n: Gözlem sayısı,

$V_i$ : i. aracın hızı,

$t_i$ : i. aracın seyahat süresi,

$t_{ri}$ : i. aracın işletme süresi.

Zamana bağlı ortalama hız ile mesafeye bağlı ortalama hız arasındaki ilişki Denklem 2.6'da verilmiştir [3]:

$$V_{TMS} = V_{SMS} + \frac{S^2_{SMS}}{V_{SMS}} \quad (2.6)$$

$S^2_{SMS}$  : Mesafeye bağlı ortalama hızın örneklem varyansı Denklem 2.7'de verilmiştir [3]:

$$S^2_{SMS} = \frac{\sum_i (V_{ort} - V_i)^2}{n - 1} \quad (2.7)$$

Yoğunluk: Belli bir yolun belli bir bölümünü anlık olarak kullanan taşıt sayısı, trafik yoğunluğunu ifade eder. Yoğunluk genel olarak yolun işletme konforunun en önemli göstergesidir. Yoğunluk çok şeritli yollarda hizmet seviyesinin belirlenmesinde ana unsur konumundadır. Yoğunluğun doğrudan ölçülmesi çok zordur. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 2.8) yoğunluk hesaplanabilir [2, 3].

$$D = \frac{V}{S} \quad (2.8)$$

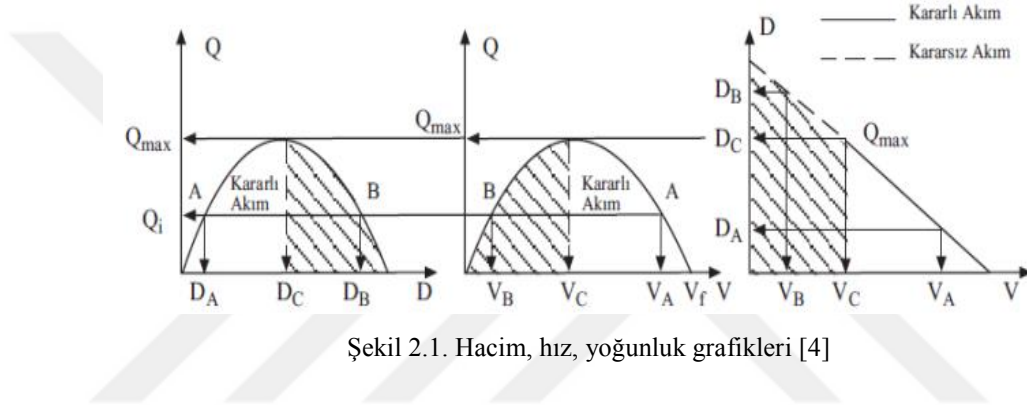
Burada;

V: Akım oranı (Araç/saat),

S: Ortalama sehayathızı (km/sa),

D: Yoğunluk (Araç/km).

Hacim, hız ve yoğunluk parametrelerinin birbiri ile olan ilişkileri Şekil 2.1.'deki grafiklerle gösterilmiştir [4].



Şekil 2.1. Hacim, hız, yoğunluk grafikleri [4]

Yıllık ortalama günlük trafik (YOGT): Bir yılda hesaplanan trafik hacminin günlük ortalaması değeridir [5].

Zirve saat faktörü: Saat bazında en yüksek trafik hacim değerinin, o saat içerisindeki bir zaman periyodu içerisindeki en yüksek akım değerine oranını ifade etmektedir [2].

K-faktörü: Yıllık yapılan sayımlarda saatlik maksimum trafik hacminin yıllık ortalama günlük trafiğe göre değişimi olarak tanımlanır. Genel olarak, saatlik maksimum trafik hacim değerleri sıralaması yapıldığında en yüksek 30. Saat trafiği, zirve saat olarak kabul edilir. K-Faktörü Sınır Değerleri Tablo 2.1.'de verilmiştir [2].

Tablo 2.1. K-faktörü sınır değerleri [2]

Yol Tipi	K Faktörü
Kent Dışı	0,12 – 0,25
Kent Girişi	0,10 – 0,13
Kent İçi	0,07 – 0,10

Trafik kompozisyonu: Trafiği oluşturan taşıtların birbirlerinden farklı ağırlık ve hacimde olmaları sebebiyle farklı seyahat özellikler gösterirler. Hesaplamalarda kolaylık ve gerçeklik sağlanması açısından farklı araçların binek otomobil eşdeğeri cinsinden dikkate alınması uygun olmaktadır.

Trafik tahmini: Genellikle proje ömrünün 20 yıl olduğu yol planlamalarında, proje süresi içerisinde oluşabilecek trafiğin tahmin edilmesidir.

### 2.1.2. Trafikte seyreden araçların özellikleri

Trafikte seyahat eden araçların fiziki özellikleri kavşak tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. Tasarım yapılacak kavşağı kullanacak araçların tiplerinin incelenmesi ve buna uygun olarak şerit genişliği ve dönüş yarıçaplarının seçilmesi şarttır. Örnek olarak mahalle içi kavşak tasarımında treyler boyutlarını hesaba katmanın faydası olmayacağı gibi maliyetlerin artması konusunda zararı da olacaktır. Ancak şehirler arası yollarda en büyük araçların dahi geçebileceği şekilde kavşak tasarımının yapılması gerekmektedir. Bu sebeple Tablo 2.2.'de bazı taşıtların tasarım boyutları ve dönüş yarıçapları verilmiştir [6].

Tablo 2.2. Bazı taşıtların tasarım boyutları [6]

Araç	Sembol	Yükseklik	Genişlik	Uzunluk	Min. Dönüş Yarı Çapı
Otomobil	P	1,3	2,1	5,8	7,3
Kamyon	SU	3,4-4,1	2,4	9,2	12,8
Otobüs	BUS-12	3,7	2,6	12,2	13,7
Körüklü Otobüs	A-BUS	3,4	2,6	18,3	12,1
Treyler (Orta)	WB-12	4,1	2,4	13,9	12,2
Treyler (Büyük)	WB-19	4,1	2,6	20,9	13,7
Treyler (Üç Kasalı)	WB-20D	4,1	2,6	22,4	13,7
Treyler	WB-33D	4,1	2,6	34,8	18,3
Karavan	MH	3,7	2,4	9,2	12,2
Karavan + Bot	MH/B	3,7	2,4	16,2	15,2
Traktör	TR	3,1	2,4-3,1	4,9	-

## 2.2. Kavşak Tanımı

Genel tanım olarak, devamlılık göstererek giden yol benzeri unsurların kesiştikleri veya birleştikleri yerlere kavşak denir. Ulaştırma kapsamında ele alındığında ise; iki veya daha fazla yolun kesişmesiyle oluşan ortak alan kavşak (intersection-junction) olarak adlandırılır. Kavşaklar karayolları ve demiryollarında sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Bu tez çalışmasının ilgi alanı karayolu kavşaklarıdır.

Karayolu kavşakları hem kent dışı yollarda hem kent içi yollarda sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Sıklıkla karşılaşmamızın yanı sıra kavşaklar, yolun performansı, güvenlik, hız, işletme maliyeti ve kapasite gibi özellikleri etkilediğinden karayollarında önemli bir yere sahiptir [2].

### 2.2.1. Kavşak tasarımı

Ekonomi ve teknolojilerin gelişmesi ile artan trafik hacmi, kavşak tasarımlarını daha da önemli hale getirmektedir. Hem yeni yapılacak olan kavşakların tasarımı hem de mevcut durumda faaliyette olan kavşakların daha iyi hizmet vermesi amacıyla

düzenlenmesi hususunda temel hedefler baz alınmaktadır. Bu hedefleri belirleyen temel kavşak tasarım ilkeleri şu şekildedir [7]:

- **Güvenlik:** Trafikteki en önemli kriter olarak göze çarpmaktadır. Kavşakların temel amacı kullanıcıların güvenli bir şekilde kavşağa girmeleri ve çıkmalarıdır. Trafikte kazaların çoğunluğunun kavşaklarda olduğu düşünülürse kavşak tasarımında güvenliğin en üst düzeyde olmalıdır.
- **Yeterli hizmet düzeyi:** Modern dünyanın yoğun temposunda güvenlikten sonraki en önemli amaç hızdır. Kavşakların yüksek sayıda kullanıcıya hizmet etmesi ancak kaybedilen zamanın minimum olması istenir.
- **Ekonomi:** Elbette güvenlik ve hizmet düzeyi kadar bir diğer önemli unsur ekonomidir. Hem yapım ve işletme maliyeti hem de kullanıcıların tüketim maliyetinin en düşük olduğu model tercih sebebi olmaktadır.
- **Çevreye Uyumluluk:** Son olarak yapılan çalışmanın ve ortaya konan eserin estetik açıdan çalışma alanı ile uyumlu olması beklenir. İbni Haldun Mukaddime adlı eserinde şehirlerin süslenmesi gereken ortak yaşam alanları olduğuna vurgu yapmıştır [8].

Kavşaklar, trafik devamlılığının sağlanması, güvenliğin artırılması, hızın uygun seviyede tutulması, gecikmelerin azaltılması, yeterli hizmet seviyesinin sağlanması, kullanıcı işletme maliyetlerinin düşürülmesi amacıyla arazi şartları ve temel ilkeler dikkate alınarak düzenlenirler [2].

#### **2.2.1.1. Kavşak tasarımını etkileyen faktörler**

Kavşak tasarımı yapılırken birçok faktör dikkate alınmalıdır. Bunlar, İnsan faktörü, trafik faktörü, fiziksel faktörler, ekonomik faktörler, sosyal faktörler ve fonksiyonel kavşak alanıdır [2].

İnsan faktörü: Kavşak tasarımcılarının tasarlayacakları kavşağı kullanan sürücü ve yayaların günlük alışkanlıklarını ve reflekslerini dikkate almaları gerekir. Yolda karşılaşılan durumlara göre sürücülerin karar verme yetenekleri ve reaksiyon süreleri tasarımın önemli birer parçasıdır. Örnek olarak yaşlı bireylerin yoğunlukla kullandığı bir yaya geçidindeki trafik ışığının geçiş süresi için yeterli uzunlukta olduğundan emin olunmalıdır.

Trafik faktörü: Kavşak tasarımını etkileyen trafik faktörleri, mevcut ve tasarım kapasitesi, trafik hacmi, zirve saat trafiği, taşıt boy ve nitelikleri, taşıt hareketlerinin dağılımı, taşıt hızları, trafik kazaları olarak özetlenebilir [2].

Fiziksel faktörler: Kavşak alanının şekli, çevresel etmenler, yerleşim alanlarının varlığı ve İmar durumu, güvenlik parametreleri, yaya uyarı levhaları ve ışıklandırma araçları ile yayalara özel yollar kavşak tasarımlarında rol oynayan önemli fiziksel etmenlerdir.

Ekonomik faktörler: Kavşak alanının kamulaştırma maliyetleri, kavşağın inşaat, bakım ve işletme maliyetleri de kavşak tasarımlarını doğrudan etkilemektedir.

Sosyal faktörler: Demografik yapı ve kamuoyu kavşak tasarımını etkileyen sosyal faktörlerdir [2].

Fonksiyonel kavşak alanı: Kavşak tasarımında etkili olan son unsur fiziksel ve fonksiyonel kavşak alanlarıdır. Fiziksel alan yolların kesişim alanını, fonksiyonel alan ise, algılama-reaksiyon mesafesi, manevra mesafesi ve depolama mesafesini içine alan daha geniş bölgedir [2].

#### **2.2.1.2. Kavşak tasarımı için ihtiyaç duyulan bilgiler**

Kavşaklar, araştırmalar sonucunda elde edilen bilgiler ışığında tasarlanması gerekir. Bu veriler, bölgesel veriler ve trafik verileri olmak üzere iki grupta toplanabilir. Bölgesel veriler, kavşak tasarlanacak alanın topografik yapısı, yolların geometrileri,

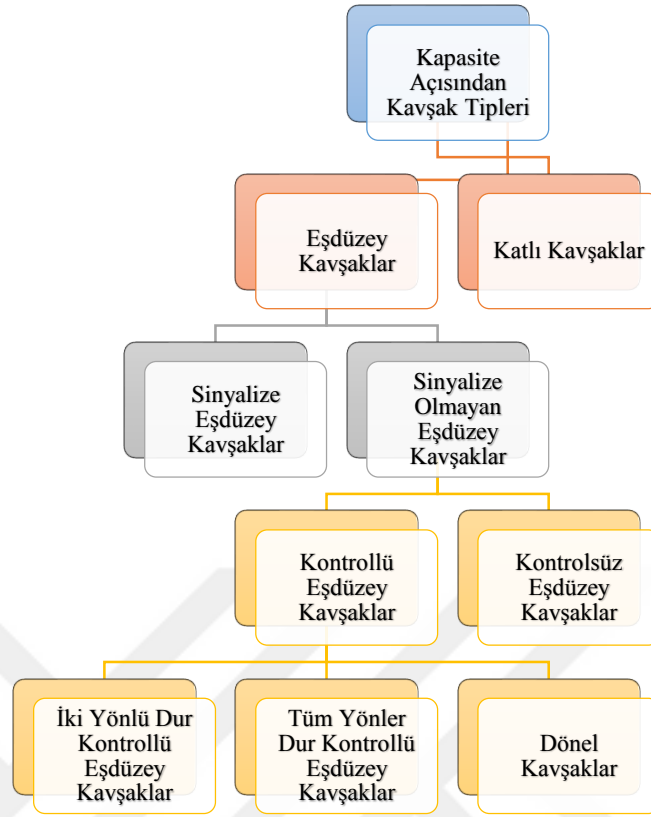


üstyapı kaplama durumları, drenaj yapısı, bölgenin kültürel yapısı, imar planı, kamulaştırma ihtiyaçları ve diğer hukuki sınırlamalar olarak özetlenebilir. Trafik verileri ise yollardaki taşıt miktarları, zirve saat değerleri, taşıt hızları, yaya hareketliliği, kavşaktaki kaza raporları ve planlanan kapasite analizleridir [7].

### **2.2.1.3. Kavşak kapasite analizleri**

Belli bir zaman aralığında, yol, trafik ve kontrol koşulları gibi belirli hakim koşullar altında, kavşaktan geçebilecek en yüksek taşıt sayısına kavşak kapasitesi denir. Hakim koşullar kapasiteyi doğrudan etkileyen faktörlerdir ve bunlardan bağımsız kapasite hesabı yapılamaz. Kavşak kapasite analizleri, mevcut zamanda veya gelecekte oluşacak trafik hacminin kavşak tarafından karşılanabilme durumunu incelemek için yapılır. Yapılan analiz sonucunda yetersizliğin tespiti halinde kavşak tasarımındaki düzenlemeler ile kapasitenin istenen düzeye gelmesi beklenir [2].

Kavşak kapasite analizini yapmak için, kavşak kollarındaki güzergahlara göre trafik hacim değerlerini, diğer kullanıcıların hacim değerlerini, kavşak kollarının geometrik özelliklerini ve trafik düzenlemelerini tespit etmek gerekir. Kapasite açısından kavşak tipleri, Şekil 2.2.'deki gibi kategorize edilebilir [2].



Şekil 2.2. Kapasite açısından kavşak tipleri [2]

## 2.3. Kavşak Tipleri

Karayolu kavşak sınıflandırmasında temel ayırım, yolların hangi kotta kesiştikleri ile yapılabilir. Kavşaklar genel olarak eşdüzey kavşaklar ve katlı kavşaklar olmak üzere ikiye ayrılır.

### 2.3.1. Eşdüzey kavşaklar

Eşdüzey kavşaklar, birden fazla karayolunun aynı düzeyde karşılaşması sonucu oluşan kavşaklardır. Kavşağa giren ve çıkan kollardaki trafik hacmi, arazi şartları, yaya ve taşıt güvenliği kriterlerine göre öncelikli olarak ele alınır [2].

Eşdüzey kavşaklar kol sayısına göre üç kollu kavşaklar (T ve Y tipi), dört kollu kavşaklar ve çok kollu kavşaklar olmak üzere üç ana grupta toplanır. Şekil 2.3.'de Sakarya Serdivan İlçesindeki T kavşak örneği verilmiştir [9].



Şekil 2.3. Kanalize edilmemiş T kavşak örneği [9]

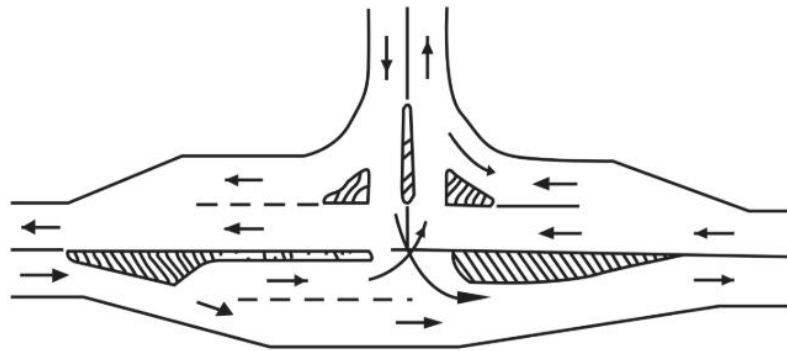
Trafik kontrol sistemine eşdüzey kavşaklar sinyalize ve sinyalize olmayan eşdüzey kavşaklar olarak iki grupta incelenirler.

Son olarak işaretleme ve yönlendirmeye göre iki tipte gruplandırılır. Bunlar kanalize edilmiş kavşaklar ve kanalize edilmemiş kavşaklardır. Şekil 2.4.'te kanalize edilmemiş kavşak örneği verilmiştir [9].



Şekil 2.4. Kanalize edilmemiş 4 kollu kavşak [9]

Üç kollu T tipi kavşaklarda tali yolun ana yol ile kesişme açısı dik açıya yakın olması beklenir. Düşük trafik hacminin bulunduğu yerlerde kanalize edilmeden uygulanabilmekte olup şehir içi gibi yüksek trafik hacmine sahip yerlerde kanalize edilerek uygulanması daha uygun olacaktır. Dönüş hareketlerini kanalize eden adaların büyüklüğü en az 5 m<sup>2</sup> olarak uygulanmalıdır. Kapasite analizleri sonrası gerekli hallerde sinyalize olarak da tasarlanabilir [2]. Şekil 2.5.'te üç kollu kanalize T kavşak gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.5. Üç kollü kanalize T kavşak gösterimi

Dört kollu kavşaklarda da tali yolun ana yol ile kesişme açısı dik açıya yakın olması istenir. Dar açılı olması durumunda yol eksenleri yeniden düzenlenmelidir. Bu kavşaklarda ayrılma ve katılma sırasında hız uyumunu sağlamak amacıyla ilave hız değiştirme şeritleri kullanılabilir [2].

Çok kollu kavşaklarda ise imkan olduğu ölçüde dört koldan fazla bağlantının olmayacağı şekilde düzenleme yapmak uygun olacaktır. Bir veya daha fazla kol bir diğer kola uygun mesafede bağlanarak iki farklı kavşak oluşturulması istenir. Bu durumlar mümkün değilse dur kontrollü geçiş ile hizmet sağlanabilir [2].

### 2.3.1.1. Dönel kavşaklar

Daire veya elips adalı dönel kavşaklar kol sayısına göre üç grupta toplanabilir.

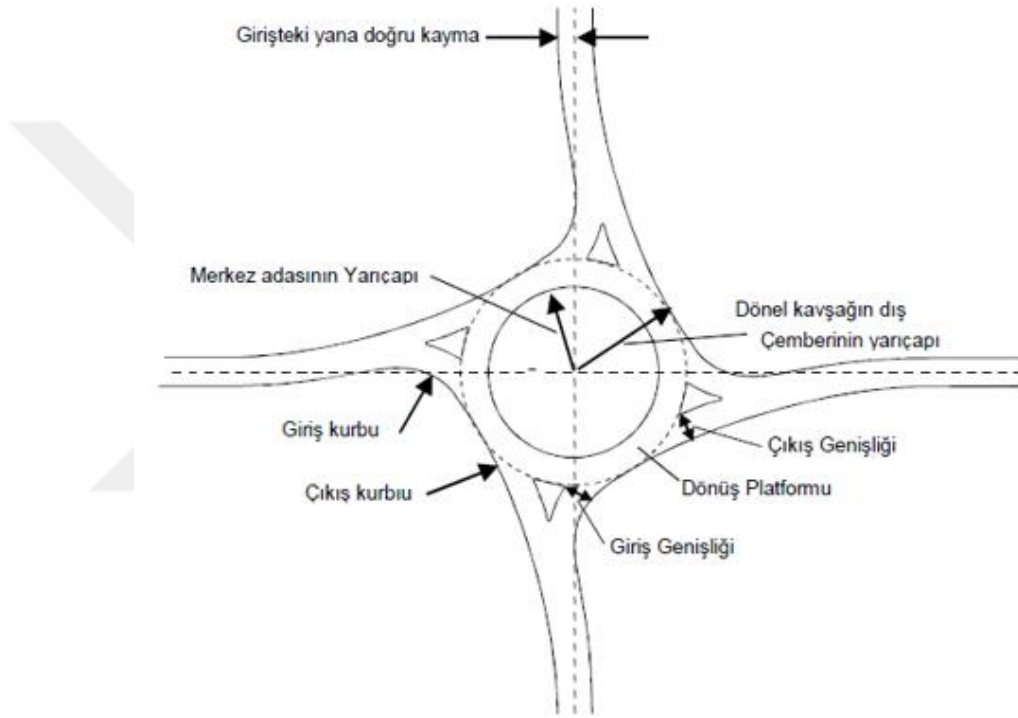
- Yarım dönel kavşaklar (Üç kollu kavşaklar),
- Mini dönel kavşaklar (Üç veya daha fazla kollu kavşaklar),
- Modern dönel kavşaklar (Üç veya daha fazla kollu kavşaklar).

Şekil 2.6.'da mini dönel kavşak örneği gösterilmiştir [9].



Şekil 2.6. Mini dönel kavşak örneği [9]

Dörtten fazla kollu olması istenmeyen dönele kavşaklarda mini dönele kavşak ada yarıçapı 8 m'den az olmaması ve modern dönele kavşaklarda 20-25 m olması beklenir. Daha çok kollu olması durumunda ada yarıçapı 60 m'yi bulabilir. Dört kollu kavşaklarda mini dönele ada, ana yol ve tali yol arasındaki yoğunluğun yakın olması durumunda daire ve yoğunluğun büyük oranda farklı olması durumunda elips şeklinde tasarlanmalıdır. Modern dönele kavşağın temel tasarım elemanları Şekil 2.7.'de gösterilmiştir [10].



Şekil 2.7. Modern bir dönele kavşağın temel tasarım elemanları [10]

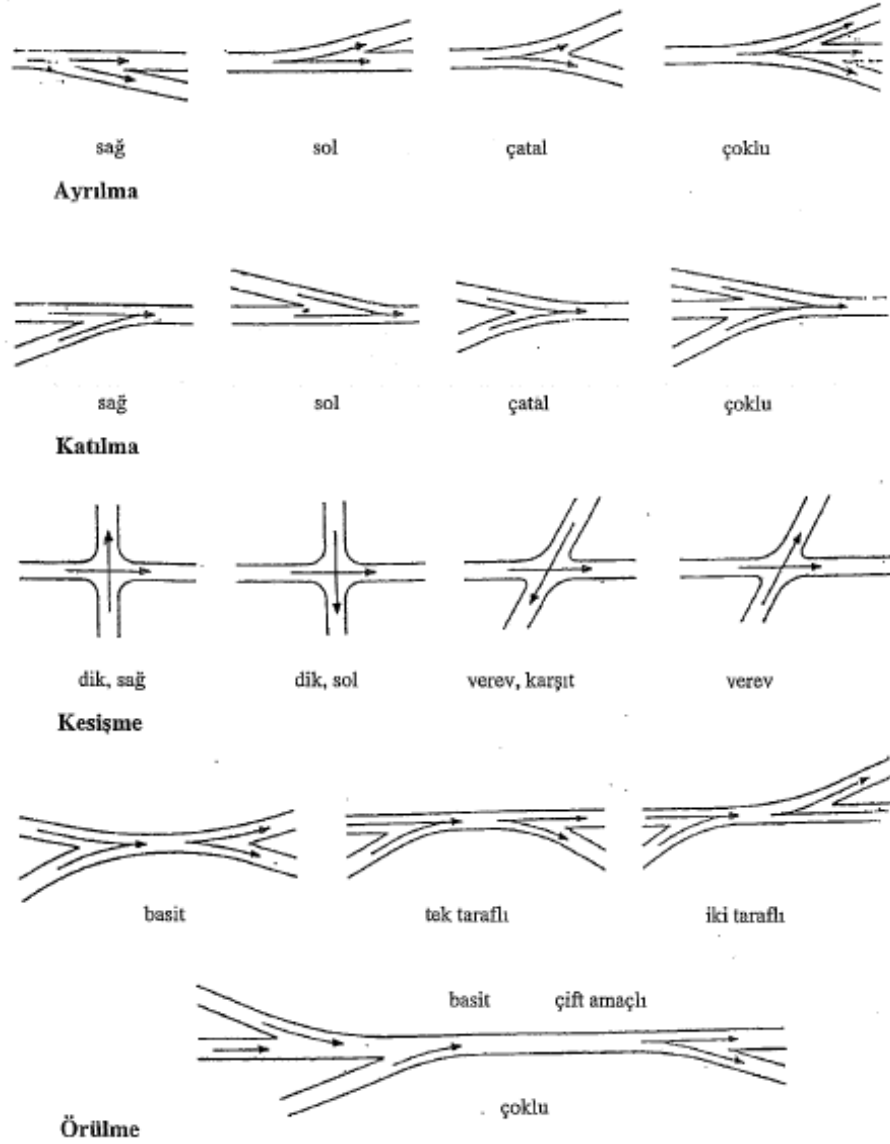
Modern dönele kavşaklarda kavşağa giriş yapan her taşıtın kavşak içinde seyreden taşıtlara yol vermesi gerekmektedir. Ayrıca taşıtların kavşağa giriş kurbu ile gerektiğinde daha yüksek hızda kavşağı aşması beklenir. Modern dönele kavşakların dönüş hattı üzerinde taşıtların duraklamasına veya park etmesine müsaade edilmez. Ayrıca merkez ada yaya geçişlerine kapalıdır.

Modern dönele kavşakların öncelik kontrollü ve sinyalize kavşaklara göre avantaj ve dezavantajları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

### 2.3.1.2. Eşdüzey kavşaklarda trafik hareketleri

Kavşak tasarımını yaparken kavşak kullanıcısı araçların hareketlerini detaylı bir biçimde incelemek gerekmektedir. Eşdüzey kavşaklarda araçların kavşaktaki hareketleri dört ana karakterdedir. Bunlar ayrılma, katılma, kesişme ve örülmedir.

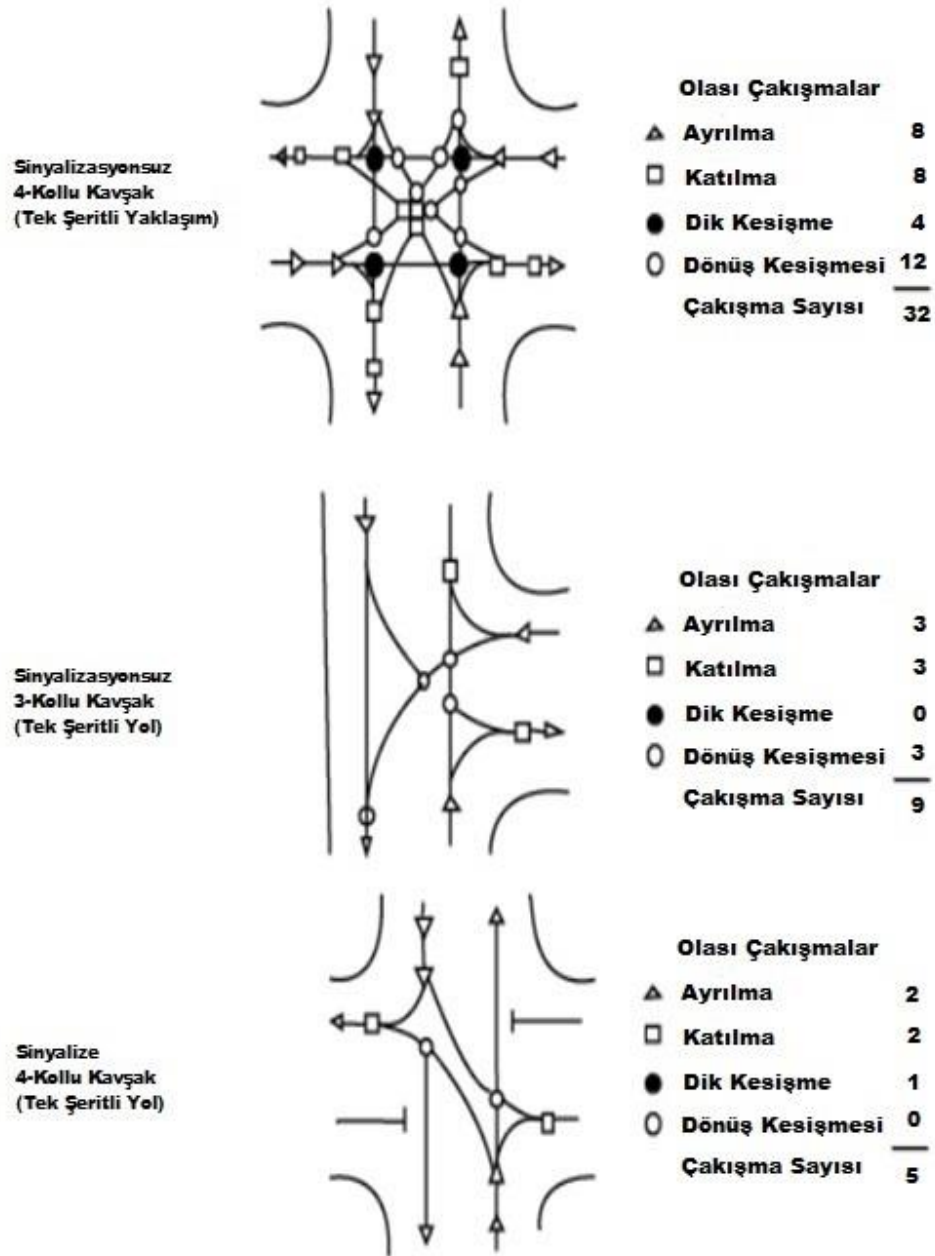
Ayrılma, bir ana yolda ilerleyen aracın tali yola geçişidir. Katılma, tali yoldan gelen araçların ana yola dahil olmasına denir. Kesişme, farklı kollardan gelen araçların yollarına devam ederken birbirleri ile aynı noktada çakışma durumlarını belirtir. Aynı yola farklı kollardan dahil olan araçların katılım yönlerinden farklı yönlere hareket ederek güzergahlarının birbiri ile çakışmasına örülme denir. Şekil 2.8.'de bu trafik hareketleri gösterilmiştir [2].



Şekil 2.8. Ayrılma, katılma, kesişme ve örülme hareketleri [2]

Eşdüzey kavşaklarda ayrılma, katılma, doğrusal geçişler ve dönüşler olmak üzere 4 çeşit çakışma bulunmaktadır. Kavşağa bağlanan yolların sayısı, yollardaki taşıt sayısı, sinyalizasyon, trafik hacmi ile sol ve sağ dönüş trafik oranına bağlı olarak kavşaklardaki çakışmaların sayısı değişir. Şekil 2.9'da çakışma örnekleri verilmiştir [2].





Şekil 2.9. Eşdüzey kavşaklarda çakışmalar [2]

### 2.3.2. Katlı kavşaklar

Katlı kavşaklar, yolların birbirinin altından veya üstünden geçtiği kavşak tipleridir. Maksimum kavşak kapasitesi katlı kavşaklar ile sağlanmaktadır.

Kavşak tasarımcılarının, kavşağı kullanan yayaların, motorlu ve motorsuz taşıt sürücülerinin ihtiyaçlarını dikkate alarak kavşak içinde güvenli ve rahat hareket

etmelerini sağlamaya çalışmaları önemlidir. Güvenlik, mekânsal kısıtlamaları ve benzeri durumlar sebebiyle farklı kullanıcıları tek noktada buluşturmak ciddi sorunlara yol açabilir. Bu nedenle tasarımcılar için farklı kotta çözümler üretmek daha verimli olabilir. Ancak bazı uyumsuzlukları sebebiyle bu durum en ideal çözüm olmayabilir [11].

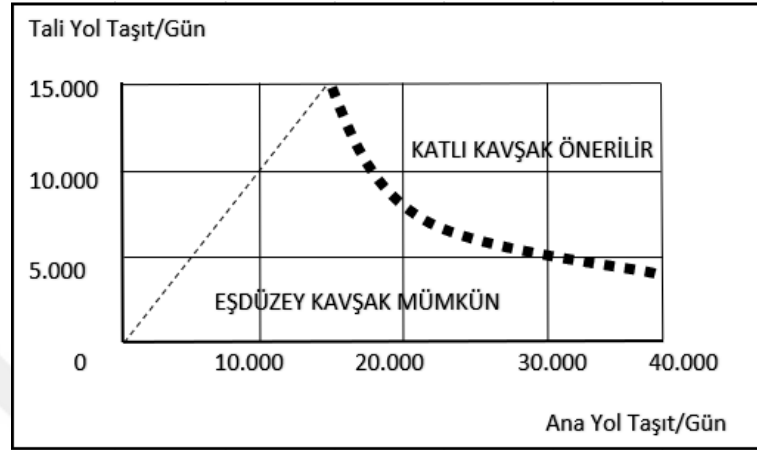
Katlı kavşaklar yalnız farklı yolları birbirine bağlamakla kalmaz, kavşağı kullanan farklı tip kullanıcıların da yollarını birbirinden ayırabilir. Örneğin yayaların ana yoldan geçişlerini keserek, tali yolu bağlayan katlı kavşak kolu ile ulaşımını sağlanabilir. Bunun yanında çözüm olarak katlı kavşağın seçilmesi bazı faktörlerin incelenmesine bağlıdır. Bunlar, tasarım atama, güvenlik, sıkışıklık, bölge topoğrafyası, trafik hacmi ve kullanıcı yararlarıdır [11].

Katlı kavşaklar genel olarak, şehirler arası yollarda daha çok tercih edildiğinden ilgili idarenin beklentilerini dikkate almak gereklidir. Amerika’da şehirler arası yolların üzerinde yapılması düşünülen katlı kavşak için Federal Karayolları İdaresi’ne (FHWA) Katlı kavşak Gerekçe/Değişiklik Raporu sunulması gereklidir. Şekil 2.10.’da Çin’de bulunan bir katlı kavşağın havadan görüntüsü verilmiştir [9, 11].



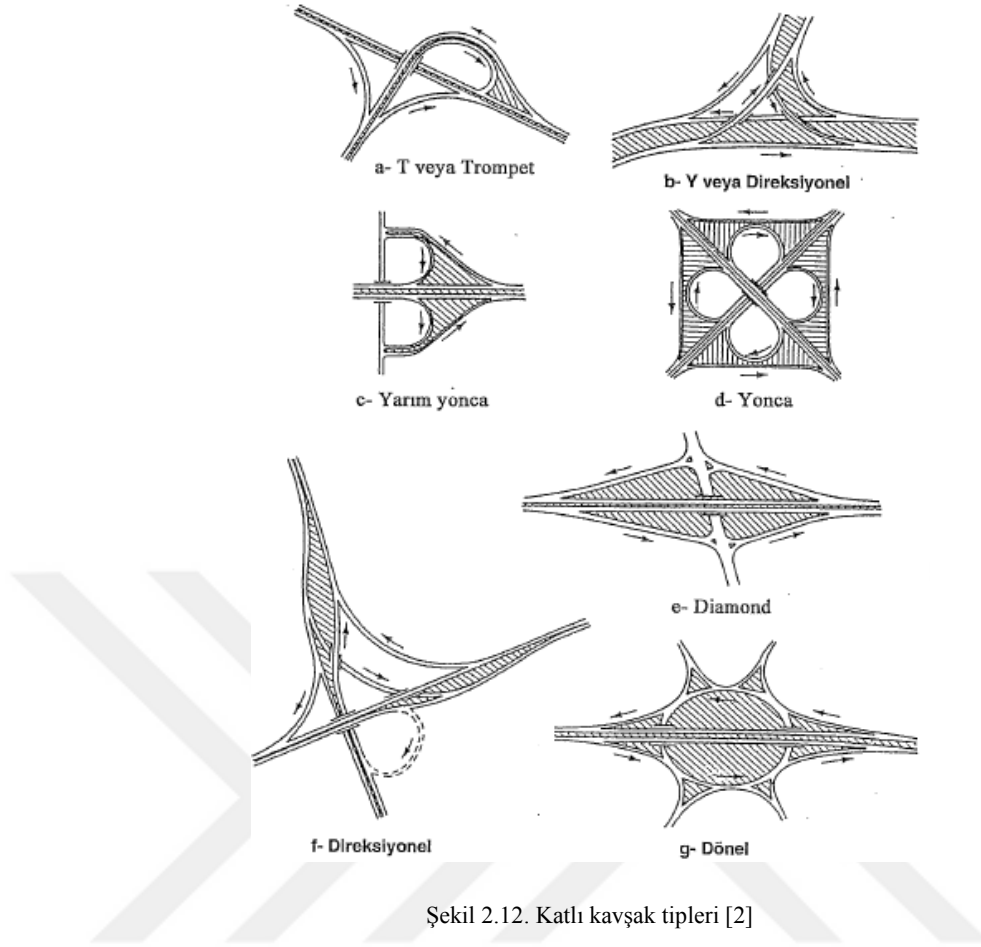
Şekil 2.10. Bir katlı kavşak örneği, Qian Chun, Çin [9]

Kapasite dikkate alındığında belli bir trafik hacmine kadar eşdüzey kavşaklar hizmet verebilirken daha yüksek yoğunluklarda katlı kavşaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Trafik hacmine göre katlı kavşak ihtiyacı aşağıdaki Şekil 2.11.'de verilmiştir [2].



Şekil 2.11. Trafik hacmine göre katlı kavşak ihtiyacı [2]

Katlı kavşaklar, karşılaşılan durumlara göre farklı tipte tasarlanırlar. Uygulanabilirlik, işlevsellik ve maliyet başta gelen karar faktörleridir. Her katlı kavşak, uygulama sahasına uygun olmalıdır. En sık karşılaşılan katlı kavşak tipleri, üç ayak, tam ya da kısmi yonca yaprağı, yönsel, baklava tipleridir. Şekil 2.12.'de farklı katlı kavşak tipleri verilmiştir [2, 11].



### 2.3.2.1. Üç kollu katlı kavşaklar

Trompet kavşaklar, ana yolun yoğun, tali yolun seyrek trafiğe sahip olduğu durumlarda katlı kavşak modeli olarak tercih edilir. Tek yapı ile oluşturulabilir. Şekil 2.13.'de örneği verilmiştir [9].



Şekil 2.13. Trompet kavşak örneği [9]

Yarım yonca kavşaklar, her iki yönde de sola dönüşün döngü rampalarıyla (lup) sağlandığı kavşak tipidir. Şekil 2.14.'te örneği verilmiştir [9].



Şekil 2.14. Yarım yonca katlı kavşak örneği [9]

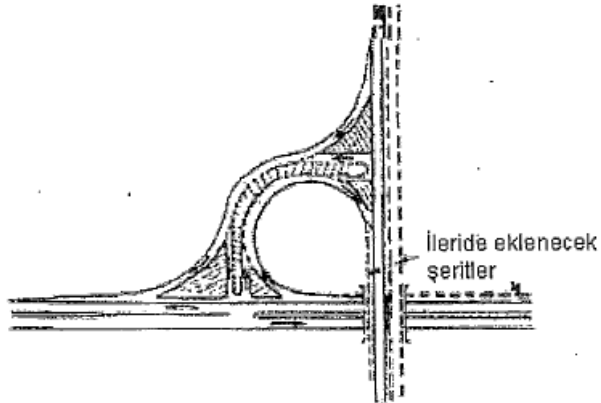
Yönsel ve yarı yönsel kavşaklar, genellikle kentsel alanlarda iki ana yolun kesişiminde uygulanmakta olup birçok farklı uygulama tipi vardır. Şekil 2.15.'te örneği verilmiştir [9].



Şekil 2.15. Yönel katlı kavşak örneği [9]

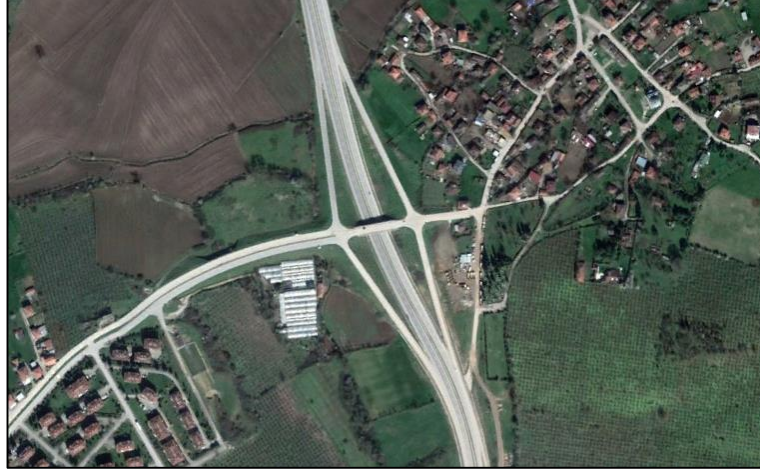
### 2.3.2.2. Dört kollu katlı kavşaklar

Tek luplu (döngülü) kavşaklar, genellikle topoğrafyanın gereği olarak uygulanırlar ve düşük trafik hacmine hizmet edebilmektedir. Şekil 2.16.'da dört kollu tek luplu kavşak gösterimi verilmiştir [2].



Şekil 2.16. Dört kollu tek luplu kavşak [2]

Baklava kavşaklar en yaygın katlı kavşak tipi olarak geniş bir uygulama sahasına sahiptir. Baklava kavşaklar, her yöne dönüş imkanı sağlamaktadır. Şekil 2.17.'de baklava kavşak örneği verilmiştir [9].



Şekil 2.17. Baklava kavşak örneği [9]

Ana yolun yüksek tali yolun düşük trafik hacmine sahip olduğu durumlarda çok verimlidir. Baklava kavşakların avantajlarından biri yapının giriş çıkışları yüksek kalite olmasıdır. Baklava kavşaklar ekonomik tip katlı kavşak modeli olup ana yolda örülmelere görülmemektedir. Bu tip katlı kavşakların dezavantajları ise tali yoldan sola dönüş kapasitesi düşüktür. Özellikle tali yolda kapasite artırımı sinyalizasyon sistemlerinin eklenmesi ile mümkün olmaktadır. Tali yolda örülmeler görüldüğünden sürüş konforu düşüktür. Ayrıca tali yolda hareket düşük hızda sağlandığından ana yola ek depolama şeritleri gerekebilir.

Yonca kavşaklar, güzergâh kesişmelerinde sola dönüş hareketlerdeki çakışmaları ortadan kaldıran kavşak tipidir. Ancak geniş alana ihtiyaç duyduğundan her yerde uygulanması kolay değildir. Çok farklı tipte yonca kavşaklar bulunmaktadır. Şekil 2.18. ve 2.19.'da farklı tipte yonca kavşaklar verilmiştir [9].



Şekil 2.18. Toplayıcı/dağıtıcı yollu yonca kavşak örneği [9]



Şekil 2.19. Üç çeyrek yonca kavşak örneği [9]

#### 2.4. Trafik Sinyalizasyonu

Londra’da 1868 yılında ilk kez kullanılan trafik sinyalleri, yollarda akış düzeni ve güvenliği konusunda gerekli araçlardan biridir. Trafik sinyalleri aşağıdaki amaçlarla kullanılmaktadır [12]:

- a. Trafik sıkışıklıklarını önlemek,
- b. Yaya ve taşıtlar için güvenli geçiş akışı oluşturmak ve kaza ihtimalini düşürmek,



- c. Akım yönlerine göre uygun zaman aralığı oluşturarak bekleme süresini dengelemek,
- d. Trafik yoğunluğu yüksek olan yollarda tali yoldan gelen kullanıcılara geçiş hakkı tanımak.

Trafik sinyalleri, yol kullanıcılarının dikkatini çekebilecekleri ve yeterli reaksiyon zamanı oluşturacak mesafeden görünür şekilde tasarlanmalıdırlar. Sinyalizasyon, anlam karmaşasına yol açmayacak şekilde kesin yönlendirmeleri ifade etmeli ve kullanıcıların trafik sinyallerine uymaları için gerekli cezai ve teşvik edici önlemler alınarak trafik kuralları oluşturulmalıdır [12].

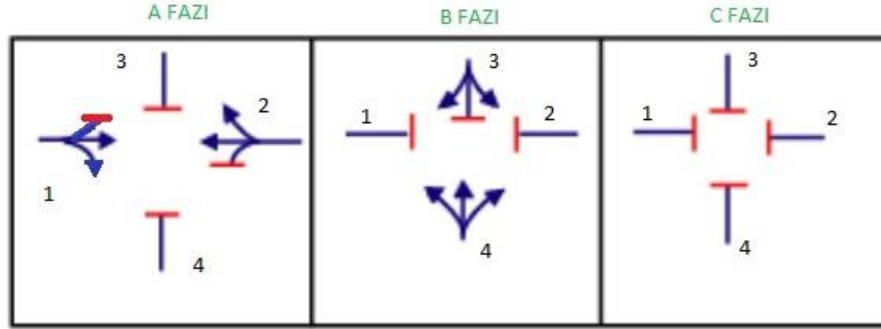
#### **2.4.1. Sinyalizasyon kavramları**

Sinyalizasyon sistemleri ile ilgili kavramlar aşağıda açıklanmıştır [12]:

- Işıklı sinyal: Bir veya daha fazla sayıda ünitenin ışıklandırma ile anlamı olan bir komut vermesi.
- Ünite: İçinde ışık kaynağı, mercek ve reflektör olan belli bir renk veren fener.
- Cephe: Bir yöndeki akımı yönlendiren birden fazla sayıda ünite grubu.
- Flaş: Bir ışıklı ünitenin kısa aralıklarla yanıp sönmeye başladığı işaret.
- Yeşil ışık: Yolun geçmeye müsait olduğu komutunu veren işaret.
- Yeşil flaş: Yeşil ışığın yanma süresinin sonuna geldiğini gösteren sinyal.
- Sarı ışık: Taşıtları durmaya hazırlanmaları için uyarıcı işaret olup kırmızı ile birlikte kullanıldığında kalkış için hazırlanma komutu verir.
- Sarı flaş: Taşıtlara dikkatli ve yavaş geçmelerini öneren işaret.

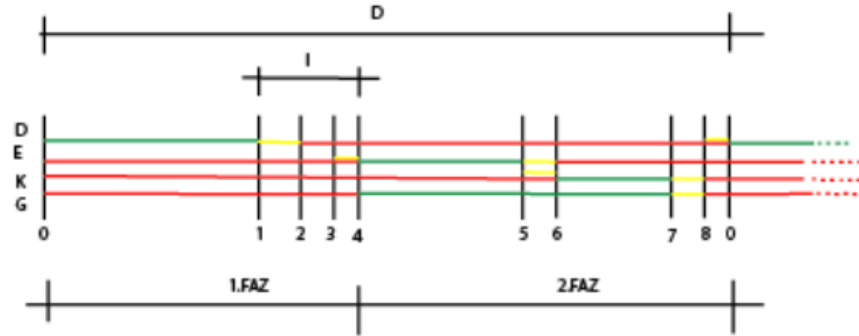
- Kırmızı ışık: Yaya ve taşıtlara durmaları komutunu veren işaret.
- Kırmızı flaş: Taşıtların önce durup sonra yolun güvenli olması halinde geçmeleri komutunu veren sinyal.
- Uyarıcı (Dedektör): Kullanıcı yoğunluğuna göre geçiş sürelerinin ayarlanması için veri kaydeden araç.
- İzole sistem: Tek başına çalışan sinyalizasyon sistemi.
- Koordine sistem: Aynı yol üzerinde en az iki farklı sinyalizasyon sisteminin birbiri ile bağlantılı çalışması.
- Senkronize sistem: Koordine kavşakların hepsinde aynı anda aynı ışıklı sinyalleri veren sistem.
- Alternatif sistem: Sıralı kavşaklarda sırayla birbirine zır sinyalleri veren sistem.
- Progresif sistem: Bir kavşakta geçiş hakkı olan bir aracın diğer koordine kavşaklarda da beklemeden geçişini sağlayan sistem.
- Anahtar kavşak: Koordine sistemlerde bütün kavşakların sinyallerini kontrol eden kavşak.
- Ofset: Koordine edilmiş iki ardışık sinyalize kavşakta aynı yöne verilecek yeşil ışıkların arasındaki süre.
- Trafik uyarımalı sinyal düzeni (TUSD): Trafik yoğunluğu göz önüne alınarak geçiş hakkı sıra ve sürelerinin ayarlandığı düzen.
- Yaya uyarımalı sinyal düzeni: Yaya uyarısına göre ayarlanan sinyal düzeni.

- Aralık: Hiçbir ışığın değişmediği süre.
- Faz: Bir veya daha fazla aralığı kapsayan ve sinyal devresinin belirli bir trafik akımını veya akımlarını öngören bölümdür. C fazı yaya fazı olarak tanımlanır. Şekil 2.20.'de faz düzeni gösterimi verilmiştir [13].



Şekil 2.20. Faz düzeni gösterimi [13]

- Sinyal devresi: Sıralı ışıkların bir devri.
- Devre süresi: Bir devre için geçen süre (Şekil 2.21. ve Şekil 2.22.).



Şekil 2.21. Sinyal devre diyagramı gösterimi [13]

- Yeşiller arası süre: Yeşil sinyalin yanmadığı sürenin toplamı.
- Koruma süresi: Yoldan çıkan son yaya veya taşıtların yoldan çıkıp diğer akımın yola girmesine müsaade edilmesi için gerekli olan zaman.

- Kayıp zaman: Bir devre boyunca cephelerin hiçbirinde yeşil yanmadığı zamanların toplamı.
- Etkili akım: Her fazdaki değişik akımların arasındaki en yoğun akım.
- Etkili akım yükü: Etkili akımdaki bir saatlik araç sayısı.
- Doygun akım: Sürekli kuyruk bulunan bir kavşakta serbest geçiş hakkı ile boşalan akım.
- Doygun akım hacmi: Bir saatlik dilimde doygun akımın geçirdiği araç sayısı.
- Doyma derecesi: Bir yaklaşık yönündeki gerçek akım değerinin kapasite değerine oranı.
- Dalga: taşıtların birbiri ardınca grup halinde hareket etmeleri.
- Yeşil dalga: Taşıtların her kavşakta yeşil ışık bulabilmeleri için zaman-uzaklık diyagramı üzerinde bulunmaları gereken alan.
- Devre düzeni: Kavşaktaki akımların hangi sürelerde yeşil, sarı ve kırmızı ışık aldıklarını zaman diyagramı üzerinde gösterimidir.

Yaklaşım Kolları	A FAZI			B FAZI			C FAZI	
	15 sn	2sn	2sn	10	2sn	2sn	7sn	3sn
1-2								
3-4								
1-2-3-4(YAYA)								

Şekil 2.22. Devre düzeni örnek gösterimi [13]

Trafik Sinyalizasyon Sistemlerinin başarılı olabilmesi için öncelikle kavşak adalarının trafik akımına uyumlu olacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Bununla

birlikte faz diyagramlarının ve devre süreleri ile dağılımlarının kavşakta kollardan gelen trafik akımları ile uyumlu olması gerekmektedir [14].

Trafik akımlarına duyarlı sistemlerin kurulması ve buna uygun olarak devre sürelerinin ayarlanması sinyalizasyon sisteminin verimliliğini artıracaktır. Önemli olan kullanıcı gecikmelerini azaltmaktır [14].

#### **2.4.2. Kavşaklarda sinyalizasyon sisteminin gerekliliği**

Sinyalizasyon sisteminin esas amacı kavşaklarda güvenliği sağlamak ve kazaları önlemektir. Yetersiz ya da hatalı kurulan bir sistem, güvenlik riski oluşturabileceği gibi bekleme süresini de artırabilir. Ayrıca sistem kuruluşu maliyetli olduğundan her kavşak için elzem olmayacaktır. Ancak işaretlemelere rağmen kaza yaşanan kavşaklara veya geçiş düzensizliği ve yoğunluğu nedeniyle gecikme ve tıkanıklığı yoğun olan kavşaklara sinyalizasyon sistemi kurulması gereklidir. Ana yolun yoğun ve hızlı akışı sebebiyle yan yoldan güvenli girişin sağlanamadığı kavşaklarda veya yaya hareketliliğinin güvenliği açısından trafik ışıkları kullanmak çok uygundur. Ek olarak kavşağın fiziki ve geometrik yapısı da işaretlemeyi zorunlu kılabilir [15].

Kavşaklar üzerinde düzeni tesis etmek ve güvenliği sağlamak amacı ile trafik ışık sistemleri tercih edilmektedir. Yaya ve araç trafiğinin yoğun olduğu kavşaklarda en ideal kapasite ile kavşak kullanımı sinyalizasyon sistemleri ile mümkün olmaktadır. Devamlı olarak artan trafik hareketliliği için sinyalizasyon kullanımı, işletme risklerini önleme adına en verimli yöntemdir [12].

## **BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM**

### **3.1. Trafik Simülasyon Teknikleri**

Trafik simülasyonu, belli saha değerleri ışığında doğru formüller kullanılarak, tasarlanan sistemin nasıl çalışacağını ve oluşan sonuçları analiz etmeye yarayan bilgisayar kaynaklı trafik modellemesidir. Fayda-maliyet analizleri yapılabilen simülasyon çalışmaları ile ekonomik olarak çok düşük bütçeler ile doğru kararlar alınabilir. Simülasyona esas olan modellemeler farklı parametreler kullanılarak mikro, mezo ve makro ölçekli yapılır [16].

Makro modeller, hız, yoğunluk, akım gibi parametreleri kullanarak trafiği geniş bir alanda bütün bir akım olarak görmektedir. Mikro modellerde ise her bir aracın bireysel hareketi incelendiğinden araç takip modelleri esas alınmaktadır. Makroskobik modellerde tek bir aracın değil de sistemdeki araçların tümü değerlendirilir. Bunun için sisteme girip çıkan araçların hızları ve sayıları incelenir. LWR Model, AR Model ve Zhang Modeli makroskobik model denklemlerinin birkaçıdır. Transyt 13, Transyt 7F, Saturn 10.7, Contram 8, Visum 10 ve Cube Suit programları makroskobik yazılım programlarıdır [4].

Mikroskobik modeller ise her taşıtın ya da diğer kullanıcıların hareketlerini tek tek incelediğinden makro modellere göre daha karmaşık olarak görülürler. Farklı sürücü davranışlarını ayrı ayrı bilmek ve hesaplamak zor olduğundan, mesafe ve zaman olarak iki taşıt arasındaki uzaklık üzerinden araç takip modelleri geliştirilerek makro modeller oluşturulmaktadır. Zaman cinsinden taşıtlar arasındaki mesafeyi bilmek, bir sonraki aracın hareketini de modelleme şansını tanır. Ancak modellemede araç takip istatistiğini oluşturabilmek için poisson, binom ve eksponensiyel dağılımın kullanılması gerekir [4].

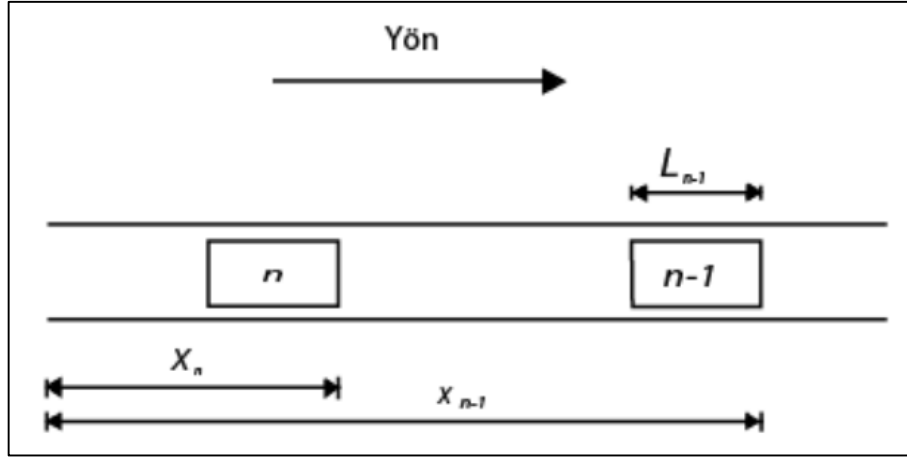
### 3.2. Araç Takip Modelleri

Mikroskobik simülasyon modellerinin temelini araç takip modelleri oluşturmaktadır. Bir tek taşıtın hareketini baz alan mikroskobik modeller, araçların birbiri ile olan ilişkisi üzerinden yolun fiziki durumunu dikkate alarak hareket fonksiyonunu düzenler.

Araç takip modellerinin çalışma esası, dikkate alınan taşıtın, önündeki taşıta göre hareket etmesine dayanır. Araçlar genel olarak, serbest takip, normal takip ve acil yavaşlama olmak üzere üç halde seyrini sürdürür. Bu seyir hali tablo 3.1.'de verilen parametreler ile tanımlanmakta olup şekil 3.1.'de gösterimi yapılmıştır [5].

Tablo 3.1. Araç takip modellerinde kullanılan parametreler

Parametreler	Açıklamalar
$a_n$ :	İvmelenme, $m/sn^2$
$x_n$ :	Konum, m
$v_n$ :	Hız, $m/sn$
$\Delta x$ :	$x_{n-1} - x_n$ araçları arası mesafesi, m
$\Delta v$ :	$v_n - v_{n-1}$ hız farkı, $m/sn$
$v_n^{istenen}$ :	İstenen hız, $m/sn$
$L_{n-1}$ :	Uzunluk, m
$S_{n-1}$ :	Efektif uzunluk ( $L_{n-1} +$ iki araç arası min ara mesafe)
$T$ :	Reaksiyon süresi, sn

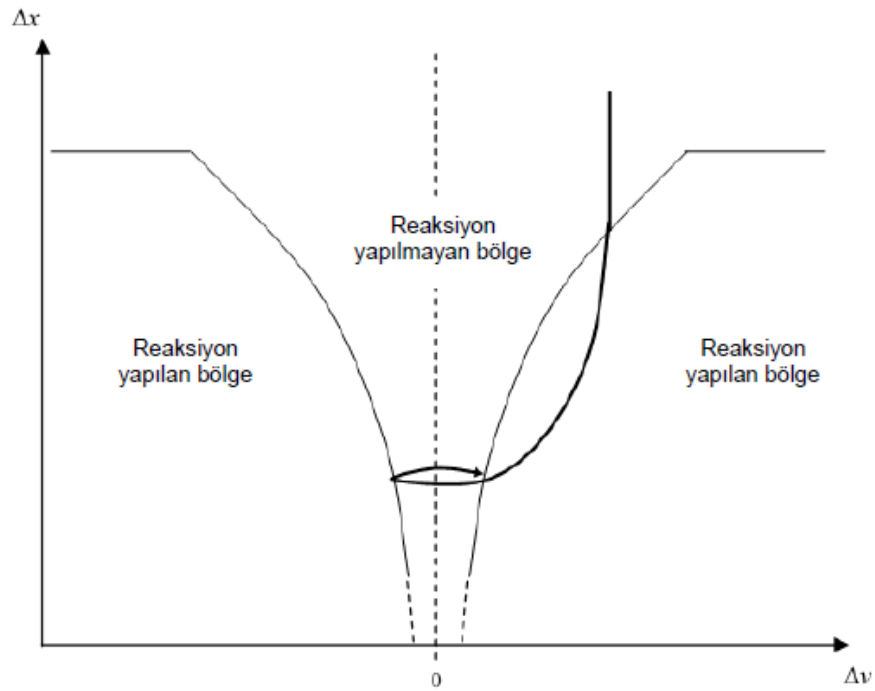


Şekil 3.1. Araç takip gösterimi

Araçların seyir halini koruma şekli ise farklı araç takip modeller ile açıklanmaya çalışılmıştır. Genel araç takip modeli olarak da isimlendirilen Gazi-Herman-Rothery modeli (GHR), en çok kullanılan modeldir. GHR modeli, izleyen aracın ivmesi ve hızı ile öndeki araçla olan mesafe ve hız farklarını dikkate alan model tipidir. Güvenli mesafe modellerinde, araçlar arasında güvenli sürüş mesafesi korunacak şekilde hesap yapılmakta ve takip eden araç buna göre konumunu belirlemektedir. Fritzsche modelinde psiko-sosyal model olup insanların algılama özelliklerini dikkate almaktadır. Psiko-fiziksel araç takip modellerinde ise takip eden araç, takip aralığını ve hızını bazı değerlerin sınırına geldiğinde değiştirerek sürüş devamlılığını sağlamaktadır [4].

İlk modeli 1974 yılında Wiedemann tarafından geliştirilen, psiko-fiziksel modellerde, araç sürücüsünün hareketinin devamlılığı ile ilgili karar vermesi bazı parametrelerin sınır değerlerine bağlanmıştır. Sınır değerlere gelindiğinde sürücü öndeki araç ile durumunu korumak için hız ya da takip aralığını değiştirmek zorundadır. Bu sebeple aracın sürücüsü reaksiyon gösterecektir. Reaksiyon bölgeleri Şekil 3.2.'de konum ve hız değişimi grafiğinde verilmiştir [4].





Şekil 3.2. Konum değişimi ve hız değişimi grafiğinde reaksiyon bölgeleri

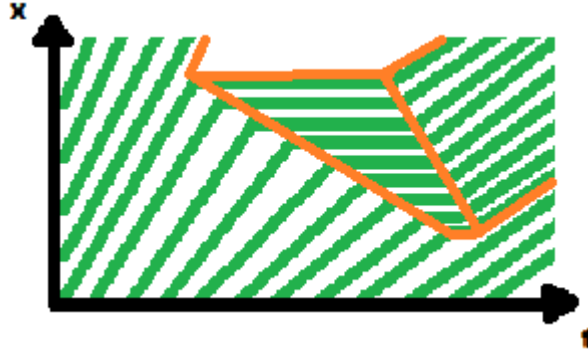
### 3.2.1. Şok dalgaları

Trafiğin akışına yapılan herhangi bir müdahaleye şok dalgaları denilmektedir. Müdahale ile trafik akımında dalgalanma meydana gelmekte olup Şekil 3.3.'te Konum (x) - Zaman (t) grafiklerinde durum açıklanmaktadır [3].



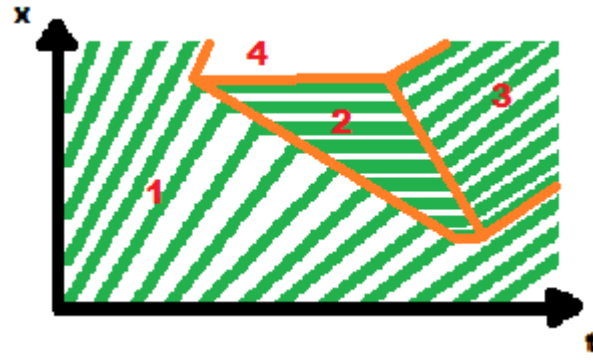
Şekil 3.3. Trafikte dalgalanmanın görülmesi

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi şok dalgaların olduğu bölgeyi belirlemek mümkündür. Sabit bir yoğunluğa sahip olan bölge Şekil 3.4.'te görüldüğü gibi üçgen içine alınmıştır.



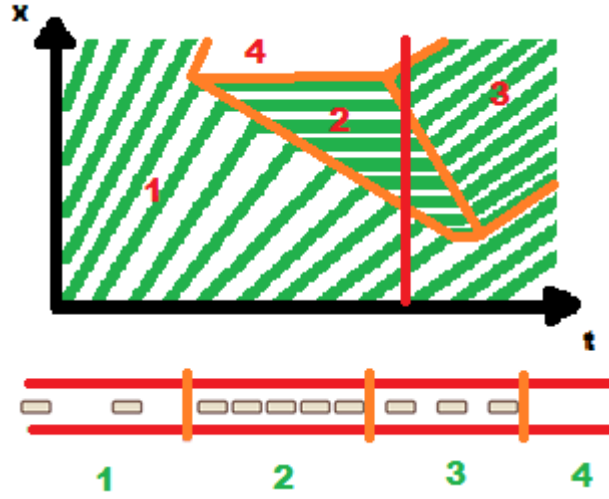
Şekil 3.4. Şok dalgalanmanın görüldüğü bölge

Trafik akım değerlerinin farklılık gösterdiği bölgeler Şekil 3.5.'te grafik üzerinde işaretlenmiştir.



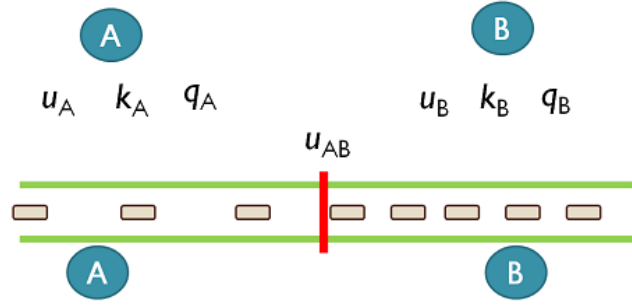
Şekil 3.5. Trafik değerlerinin farklı olduğu kesimler

Herhangi bir anda belli bir yol uzunluğunda bulunan araçların durumu Şekil 3.6.'da olduğu gibi gösterilebilir.



Şekil 3.6. Belli bir anda belli bir uzunlukta araçların temsili gösterimi

Şok dalgalanmanın başladığı bir yol kesimi Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Şok dalgalanmanın başladığı kesim [3]

Araçların şok dalgasının başladığı kesimdeki trafik hacim ( $q_{AB}$ ) değeri, hıza ( $u_{AB}$ ) ve yoğunluğa ( $k_A$ ) bağlıdır ve Denklem 3.1'de verilmiştir.

$$q_{AB} = u_{AB} \cdot k_A \quad (3.1)$$

Araçların şok dalgasına girdikleri hızda trafik hacim değeri Denklem 3.2'de verilmiştir.

$$q_{AB} = (u_A - u_{AB}) \cdot k_A \quad (3.2)$$

Araçların şok dalgasından ayrıldıkları hızda trafik hacim değeri Denklem 3.3'te verilmiştir.

$$q_{AB} = (u_B - u_{AB}) \cdot k_B \quad (3.3)$$

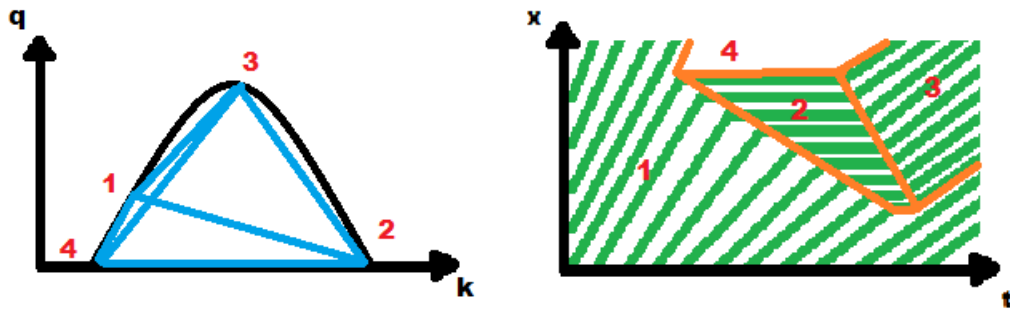
Bağıntıları yazılabilir. Yukarıdaki akım oranlarının, şok dalgada araçların kaybolmayacağı ya da var olamayacağından eşit olması gerekir. Sonuç olarak, şok dalgasına girerken ve ayrılırken gerçekleşen hacim değerleri eşitlenirse (Denklem 3.4):

$$(u_A - u_{AB}) \cdot k_A = (u_B - u_{AB}) \cdot k_B \quad (3.4)$$

Şok dalga başlangıcındaki hız değeri (Denklem 3.5) aşağıda verilmiştir.

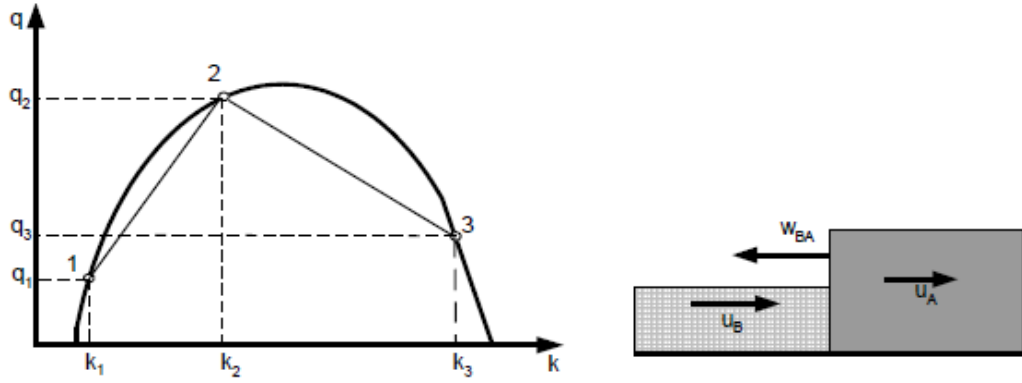
$$u_{AB} = \frac{q_A - q_B}{k_A - k_B} \quad u_{AB} = \frac{q_B - q_A}{k_B - k_A} \quad (3.5)$$

Şok bölgesi ve diğer bölgeler Şekil 3.8.'de grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Şok dalganın Akım-Yoğunluk grafiğinde gösterilmesi

Şok dalga hızının ( $W_{BA}$ ) işaretinin pozitif olması şok dalganın akım yönünde, negatif olması akım yönünün tersine olduğunu gösterir. Şekil 3.9.'da şok dalgasının yönü belirtilmiştir [3].

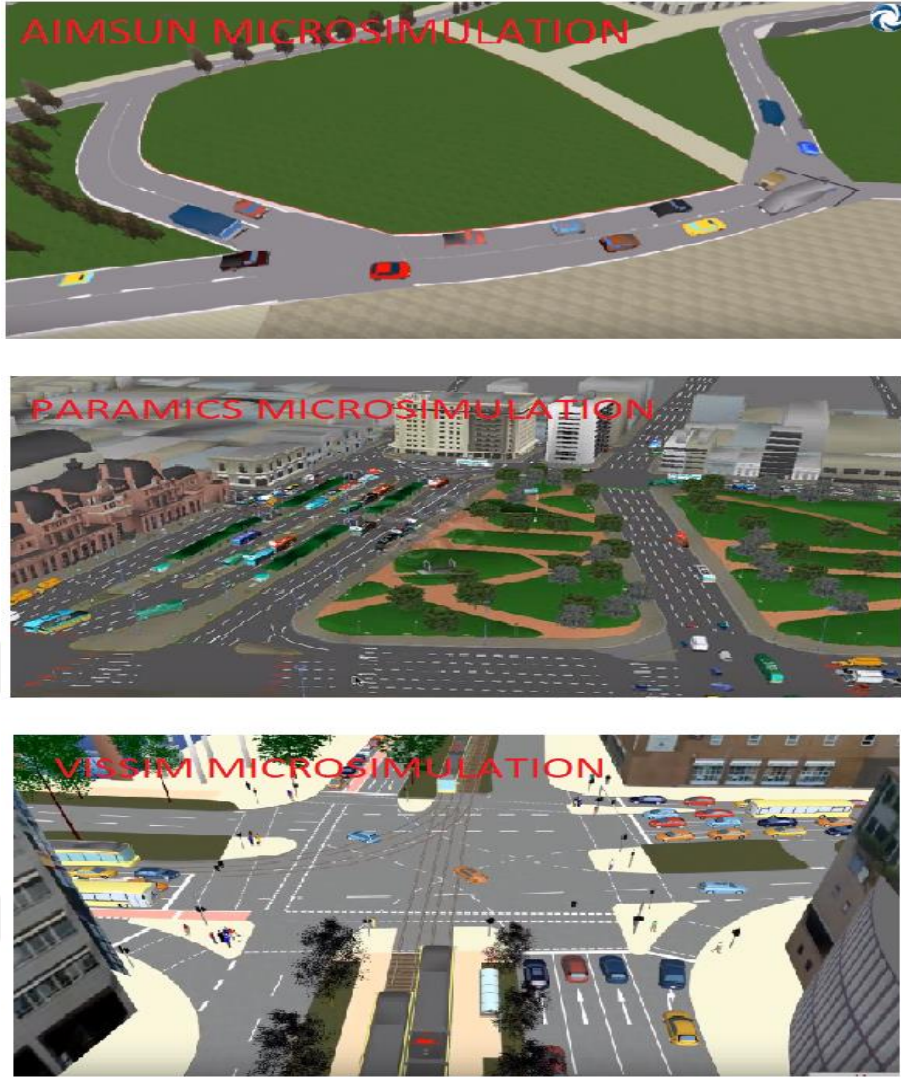


Şekil 3.9. Şok dalgasının yönü [3]

### 3.3. Trafik Simülasyon Yazılımları

Simülasyon modelleri, kullanılan parametreler ve yaklaşımlar açısından farklılık gösterir. Bugün, Aimsun, Mıtsım, Paramics ve Vissim en çok kullanılan mikro simülasyon yazılımlarıdır. Aimsun güvenli mesafe modeli, Mıtsım GHR modeli, Paramics Fritzsche modeli ve Vissim ise psiko-fiziksel araç takip modeli esas alınarak geliştirilmiştir [4].

Şekil 3.3.'te Aimsun, Paramics ve Vissim yazılım programlarının simülasyon görüntüleri verilmiştir.



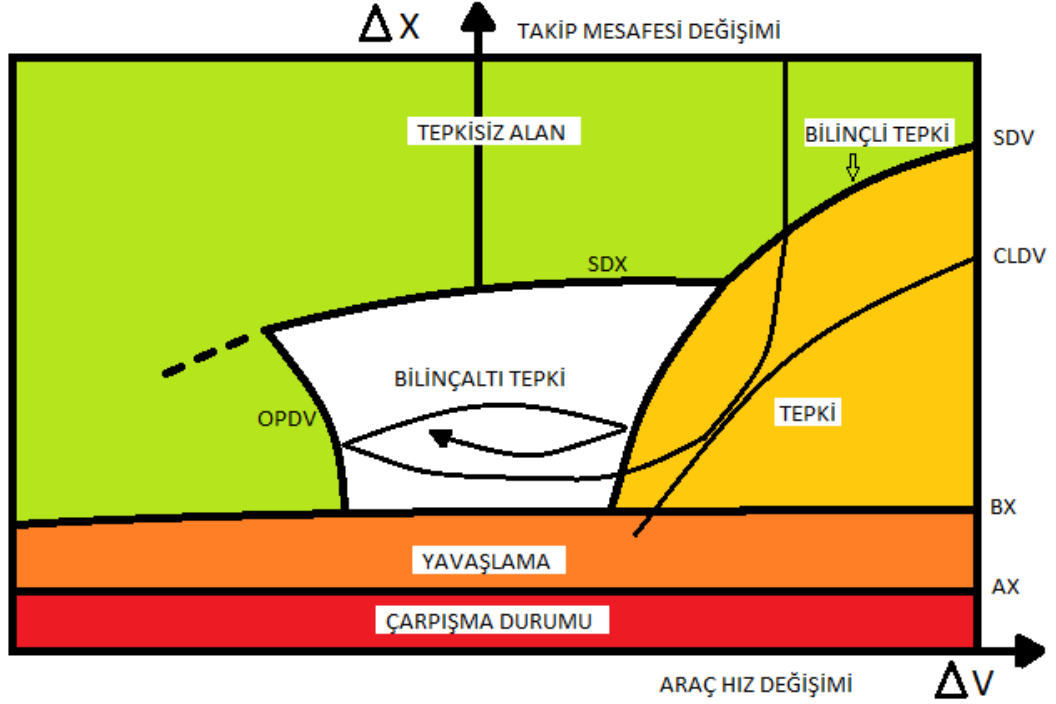
Şekil 3.3. Örnek simülasyon görüntüleri

### 3.3.1. Vissim yazılımı

Mikroskobik Trafik Simülasyon yazılımı olan Vissim, 1979 yılında Karlsruhe/Almanya’da kurulmuş olan PTV Grup tarafından üretilmiştir. Kentsel yollar ve otoyollarda trafik operasyonlarını modelleyen Vissim, çeşitli matematiksel modeller kullanarak her aracın 0,1 – 1 saniyelik periyotlar ile yeniden pozisyonunu belirleyerek hareket olasılıklarını değerlendirir [17].

Vissim yazılımının temel çekirdek modeli, araç takibi, taşıt yatay hareketleri, sürücü davranışları, yaya modellemesi, sabit rota, dinamik rota ve atama modellemeleri esas alınarak oluşturulmuştur. Bu modellerin başında araç takibi gelmektedir. Araç takip

modeli, peşi sıra ilerleyen araçların birbirlerine olan mesafeleri ve aralarındaki hız farkları esas alınarak, sürücü algı ve tepkilerine göre hareket olasılıklarına karar veren psiko-fiziksel araç takip modelidir. Şekil 3.4.'te Wiedemann tarafından tasarlanan psiko-fiziksel araç takip modeli gösterilmiştir [17].



Şekil 3.4. Psiko-fiziksel araç takip modeli [17]

Modelde belirtilen ifadelerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- AX: Kuyrukta ardışık iki aracın arasında olması gereken mesafe.
- BX: Güvenli araç mesafesi.
- ABX: Aranan minimum takip mesafesi.  $ax$ ,  $bx$  ve hızın bir fonksiyonudur.
- SDV: Algılama eşiği. Bilinçli tepkinin olduğu bölge.
- CLDV: Fren kullanılan bilinçli tepki bölgesi.
- OPDV: Öndeki araçtan yavaş kalındığının farkına varıldığı ve tekrar hızlanılan eşik.
- SDX:  $abx$ 'in yaklaşık 1.5-2.5 katı olan maksimum takip mesafesini modellemek için algılama eşiği.

### 3.3.2. Vissim için literatür araştırması

Jannes, R. ve ark., uyarlanabilir hız kontrolü modelinin trafik akışı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları araştırmada mikroskobik simülasyon yazılımı Vissimi kullanmışlardır. Vissim yazılımının sonuçlarına göre uyarlanabilir hız kontrolü üretimi trafik akışını olumsuz yönde etkilemektedir [18].

Liu, YY. ve arkadaşları, yaşam döngüsü değerlendirmesi kullanarak, otoyol bakım projelerinde karbondioksit emisyonu azaltma potansiyelinin belirlenmesi amacıyla Çin'de bir örnek çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Vissim yazılımından yardım alınarak geleneksel değerlendirme ve yaşam döngüsü değerlendirme arasında emisyon değerleri farkı ortaya konmuştur. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ile 22 kat emisyon değerinin azaldığı yazılım sonuçlarından tespit edilmiştir [19].

Erol, D., Denizli ilinde belli şehir içi kavşaklarda, sinyalize ve modern dönel kavşak performanslarını Vissim simülasyon programını kullanarak analiz etmiştir. Farklı senaryo çalışmaları ile kavşakların gecikme ve hız değerlerini dikkate alarak modern dönel kavşakların sinyalize kavşaklara göre daha iyi performans verdiğini ortaya koymuştur [20].

Çakıcı, Z., sinyalize dönel kavşakların performansını simülasyon tekniklerini kullanarak Vissim yazılımı yardımı ile araştırmıştır [21].

Gözler, D., trafikte hız yönetiminin kavşaklardaki etkisini incelerken, yapılan değişiklikleri Vissim yazılım programında tasarlamış ve farklı senaryoların yazılımdaki sonuçlarını karşılaştırmıştır [22].

Göksu, G., katılım kontrolü ve hız yönetimi gibi farklı yaklaşımları olan dinamik trafik akım kontrolü altında kavşaklardaki gecikme sürelerinin tespiti için yapılan uygulamalar sırasında trafik simülasyon yazılımları kullanmıştır [23].



Aydın, F., Fatih Sultan Mehmet Köprüsü üzerindeki ek şerit uygulamasının trafiğe olan etkisini simülasyon yazılımları desteğiyle incelemiştir [24].

Yılmaz, E., trafik problemlerinin çözümü adına farklı trafik sinyalizasyon uygulamalarını, geliştirdiği bilgisayar tabanlı bir yazılım programı simülasyonlarını üreterek incelemiştir [25].

Tapani, A., kırsal yollardaki mikroskobik trafik hareketlerini incelemek ve sürücü destek sistemlerinin gelişimini takip etmek için trafik simülasyon tekniklerini kullanmıştır [26].



## **BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR**

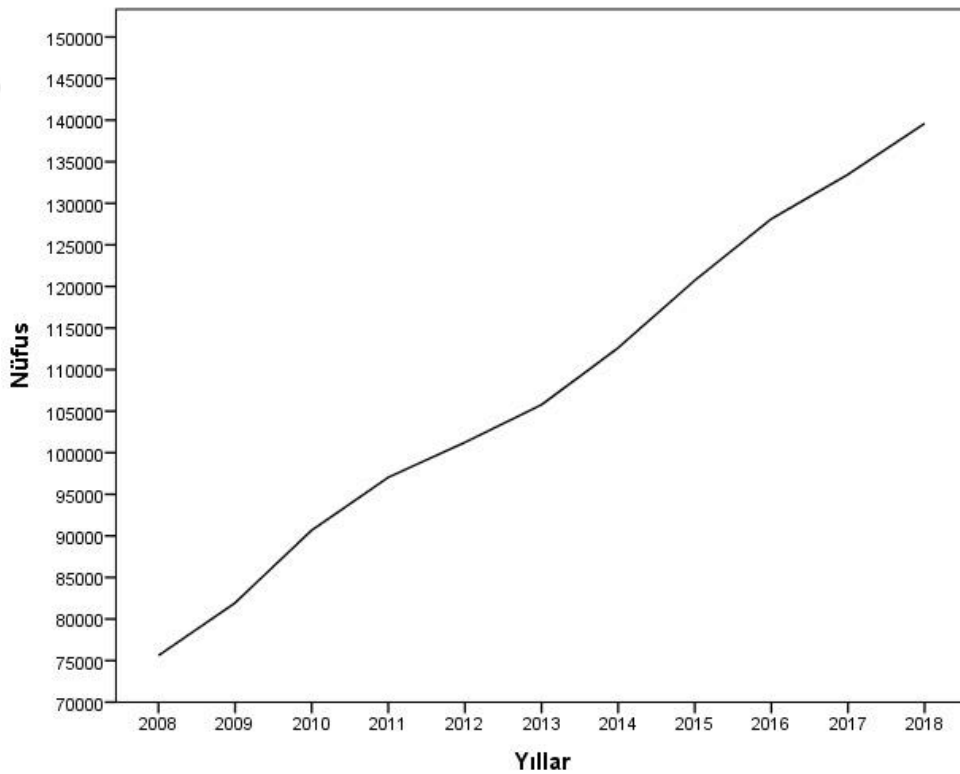
Çalışma yapılacak kavşaklar Sakarya il merkezindeki araç hareketliliğinin yoğun olduğu arterlerden seçilmiştir. Analiz yapılacak kavşaklar Serdivan İlçesinde bulunan Sapak Camii Kavşağı ve Erenler İlçesinde bulunan D-100 Dört Yol Sanayi Kavşağıdır. Yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda ilgili kavşaklarda hafta içi 18:00 – 19:00 saatleri arasında yoğunluk ve sıkışıklık yaşandığı, buna bağlı kullanıcıların yolda kuyruklar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple çalışma kavşaklarında yoğun saatlerdeki araç hareketliliği sayılarak tespit edilmiştir. Buna göre kavşaklarda hangi yol kesimlerinde hangi yön istikametinde hareket eden araç hacimleri belirlenmiştir. Yapılan sayımlar sonrasında bulunan değerler otomobil eşdeğerine çevrilerek yazılım programlarında tasarlanan kavşaklara aktarılmıştır. Senaryo çalışmaları ile ilgili kavşakların analizi bu bölümde yapılmıştır.

### **4.1. Serdivan Sapak Camii Kavşağı Vissim Analizi**

Sakarya'nın merkez ilçelerinden Serdivan, Sakarya Üniversitesi Merkez Kampüsü'nün ilçede bulunması, Sapanca Gölü'ne kıyısı olması, geniş caddeleri, modern hastane ve AVM'leri ile ilin en gözde ilçesi durumundadır. Bu ve benzeri sebeplerle son yıllarda ilçede konut ve işyeri inşaatlarında çok ciddi bir artış yaşanmıştır. Buna bağlı olarak ilçenin nüfusu son 10 yılda neredeyse iki katına çıkmıştır. İlçenin son 10 yıldaki nüfus sayım verileri Tablo 4.1.'de ve nüfus artış grafiği Şekil 4.1.'de verilmiştir [27].

Tablo 4.1. Serdivan İlçesi son 10 yılın nüfus verileri [27]

Yıl	Nüfus Sayıları		
	Toplam Nüfus	Erkek	Kadın
2018	139.595	68.976	70.619
2017	133.477	66.268	67.209
2016	128.121	64.901	63.220
2015	120.731	60.827	59.904
2014	112.611	56.429	56.182
2013	105.775	52.556	53.219
2012	101.248	50.501	50.747
2011	97.044	48.826	48.218
2010	90.680	45.678	45.002
2009	81.943	41.283	40.660
2008	75.602	38.212	37.390



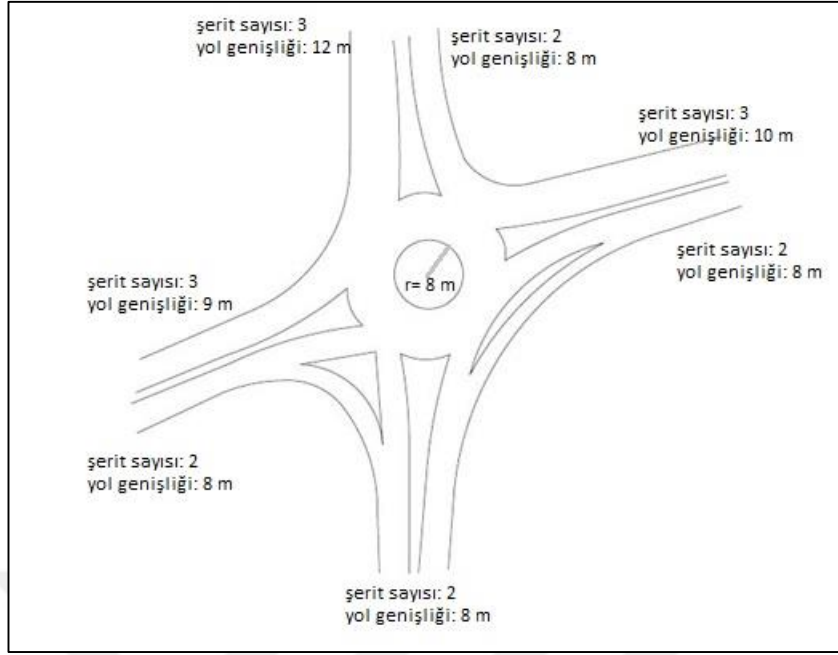
Şekil 4.1. Serdivan İlçesi son 10 yıldaki nüfus artış grafiği

Nüfus artışı çok yüksek oranda olmasına rağmen yapılaşma hızına yetişememiştir. Son yıllarda yapılan konut ve işyerlerinin halihazırda birçoğu hala boştur. Ancak bu yapıların da zamanla dolacağı ve zamanla nüfusun daha da artacağı öngörülmektedir.

Serdivan merkezinde bulunan, ilçenin en yoğun kavşaklarından biri olan Sapak Camii Kavşağı çalışma sahası olarak tercih edilmiştir. Kavşak halihazırda dönele kavşak olup dört istikamette çift yönlü trafik akımı vardır. Kavşağın köşelerinde Serdivan Belediyesi, Sapak Camii, Akaryakıt İstasyonu ve bir boş parsel bulunmaktadır. Şekil 4.2.'de Sapak Camii kavşağının uydu görüntüsü ve yol kesimlerinin numarataj bilgileri gösterilmiştir [9]. I nolu yol kesimi Mehmet Akif Ersoy Caddesi'ni, II nolu yol kesimi Çark Caddesi'ni, III nolu yol kesimi 2. Cadde'yi, IV nolu yol kesimi Kasım Paşa Caddesi'ni göstermektedir. Şekil 4.3.'te kavşağın mevcut durumunun AutoCAD çizimi verilmiştir.



Şekil 4.2. Sapak Camii kavşağı uydu görüntüsü [9]



Şekil 4.3. Sapak Camii kavşağı mevcut durum AutoCAD çizimi

Kavşağa bağlanan I nolu yol kesiminden konut ağırlıklı boş inşaatların yoğun olarak bulunduğu Yazlık bölgesine ulaşım sağlanır. Ayrıca yol üzerinde Serdivan AVM, Hilloria otel projesi ve kavşağa yaklaşık 200 m mesafede halihazırda inşası devam eden Cadde 54 AVM bulunmaktadır. Cadde 54 AVM projesi bölgenin en büyük alışveriş ve yaşam merkezi olma özelliğini taşıyor. 900'den fazla ofis ve konutu, 1500 araçlık otoparkı bulunan Cadde 54 AVM projesinin, 2500 kişiye istihdam sağlayacağı öngörülmektedir. Bu durumların Sapak Camii Kavşağı'na gelen araç hacminin ve bölgedeki yaya yoğunluğunu ciddi biçimde artıracak açıktır. Serdivan AVM'nin 1200 araçlık açık otoparkı bulunmakta olup yoğun zamanlarında AVM otoparkına girmenin çok zor olduğu bilinmektedir.

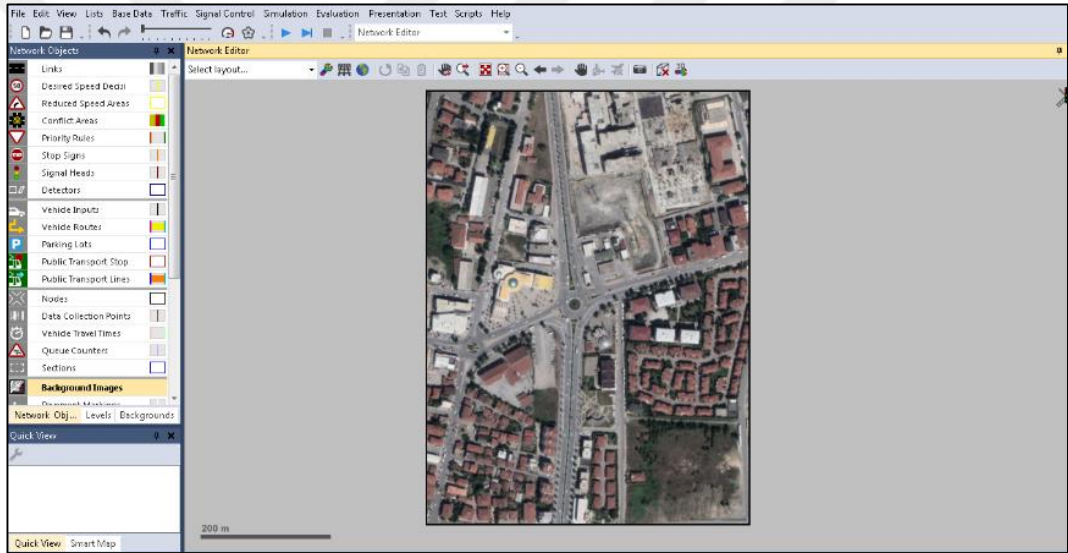
II nolu yol kesiminden Adapazarı Çarşısı bölgesine ulaşım sağlanır. Yol kesimini kapsayan ve yolun sonunda sadece yayaya ayrılan kısmı ile Çark Caddesi, il merkezinin en prestijli ve yoğun caddesi konumundadır.

III nolu yol kesiminden Konak Hastanesi, Altınova iş merkezleri bölgesi ve üniversite merkez kampüsüne ulaşım sağlanır. Altınova bölgesi Sakarya iş dünyasının yeni cazibe merkezlerinden biri durumunda olup zamanla trafik

yoğunluğunu daha da artıracak bir bölgedir. Halihazırda akşam trafiğinin en yoğun olduğu yol kesimidir.

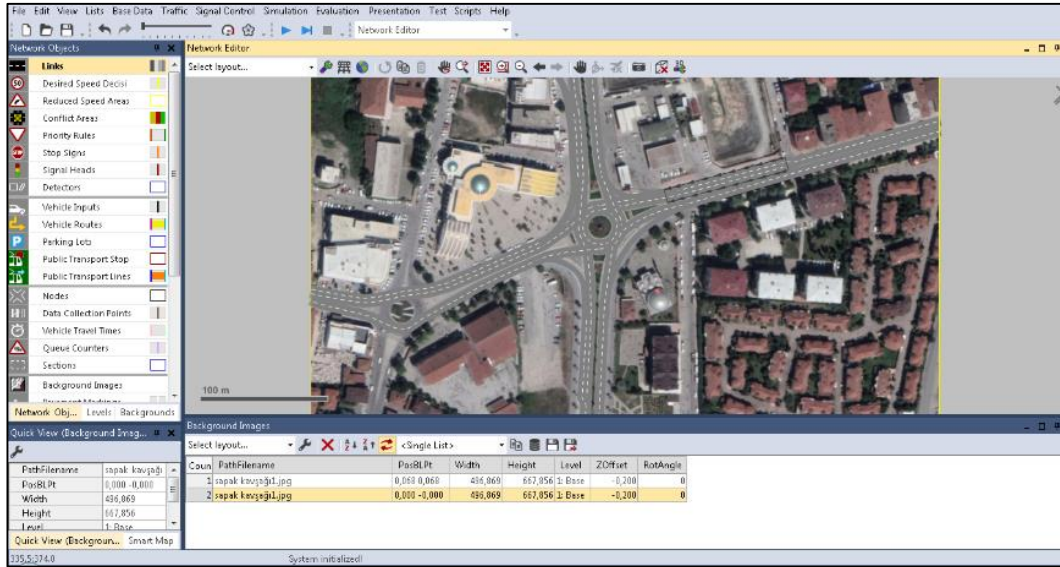
IV nolu yol kesiminden Adatıp Hastanesi ve Mavi Durak kafeler bölgesine ulaşım sağlanır. Kavşağın tüm yönlerinde zamanla nüfus ve trafik artışı beklenmektedir.

Programda ilk olarak, Sapak Camii kavşağının Google Maps'ten %100 ölçekle ekran görüntüsü alındı. Vissim programı üzerine kuzey yönü esas alacak şekilde yerleştirildi. Şekil 4.4.'te Sapak Camii kavşağının Vissim programı üzerinde açılmış hali görülmektedir.



Şekil 4.4. Vissim programı Sapak Camii kavşağı

Vissim programı üzerinde mevcut yolların tanımlaması link sekmesi kullanılarak tamamlandı. Yolları tanımlarken yol boyları, şerit genişlikleri, yol bağlantıları, trafiğin akış yönü dikkate alınarak yerleştirildi. Linklerin çizilmiş hali Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Linklerin tanımlanmış gösterimi

Güncel olarak hafta içi 18:00 – 19:00 saatlerinin ilgili kavşağın en yoğun saatleri olduğu yapılan gözlem ve incelemelerle görülmüştür. Kullanıcıların bu saatlerde yolda kuyruklar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple çalışma kavşağında yoğun saatlerdeki araç hareketliliği sayılarak tespit edilmiştir. Sayımların ışığında kavşak kollarındaki araçların sayısı ve hangi yöne gittikleri tespit edilmiştir.

Kavşağa katılan araçların %85'ini otomobil, %8'ini minibüs ve dolmuş, %5'ini otobüs-kamyon ve %2'sini diğer araçlar oluşturduğu görülmüştür. Sayımlar ile elde edilen hacim verileri, simülasyon analizlerinde kolaylık sağlamak amacıyla otomobil eşdeğerine çevrilmiş ve mevcut durum Senaryo 1 olarak Vissim programında hazırlanan kavşak simülasyonuna aktarılmıştır. Kısa dönemde beklenen trafik hacim değerleri Senaryo 2 ve orta dönemde beklenen trafik hacim değerleri Senaryo 3 olarak oluşturulmuştur. Kısa dönem, Cadde 54 AVM projesinin tamamlanması ile ortaya çıkan trafik durumu, orta dönem ise nüfus artış oranı baz alınarak yaklaşık 10 yıl sonraki trafik durumu baz alınmıştır.

Cadde 54 AVM projesinin, bağımsız bölüm sayıları, tahmini kullanıcı sayıları ve araç sahipliği oranları dikkate alınarak yapılan trafik etüdü Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Cadde 54 AVM trafik etüdü

Kullanım Tipi	Bağımsız	Tahmini	Tahmini	Tahmini Araç
	Bölüm	Kullanıcı	Araç	Kullanım
	Sayısı	Sayısı	Sahipliği (%)	Sayısı
Stüdyo Daire	450	500	%80	400
Ofis ve Rezidans	470	1410	%50	705
Dükkan	157	1250	%35	437
Tahmini Ziyaretçi	-	20000	%20	4000
<b>Toplam</b>	<b>1077</b>	<b>23160</b>	<b>%24</b>	<b>5542</b>

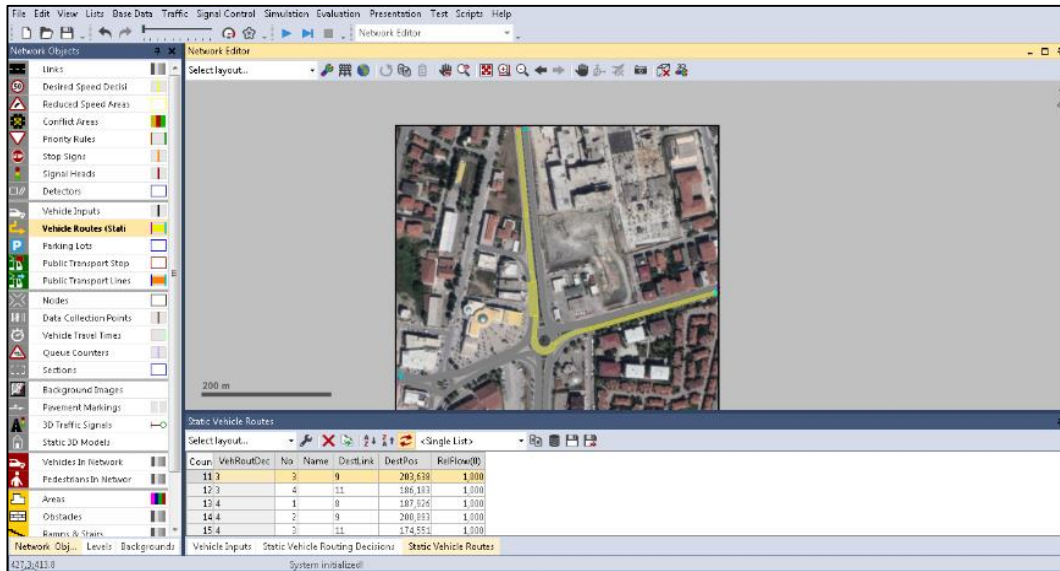
Kavşağa tesir eden en önemli cazibe merkezi konumundaki Cadde 54 AVM projesi, tamamlanmasıyla beraber günlük 5542 adet aracı bölgeye çekeceği tahmin edilmektedir. Bu araçların yaklaşık yarısının akşam üzeri 16.30 – 19.30 saatleri arasında AVM'ye geleceği (924 araç/saat) tahmin edilmektedir. Bu araçların %60'ı yani yaklaşık 554 aracın Sapak Camii kavşağını kullanacağı düşünülmektedir. Ayrıca inşaatın tamamlanması süresince, diğer bölgesel gelişimlerin ve nüfus artışının etkisiyle, yaklaşık 1/3 oranında bir artışın da olacağı ve toplam 700-750 araç civarında bir trafik hacim artışı olacağı tahmin edilmektedir. Yapılan tahminlere göre mevcut trafik hacim değerleri, Senaryo 2'de yaklaşık %30-35 civarında artırılarak ve Senaryo 3'te de benzer oranda artırılarak, senaryo değerleri oluşturulmuştur. Bu bilgiler ve varsayımlar ışığında veriler Vissim programına aktarılmıştır. Girilen senaryo verileri Tablo 4.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Sapak Camii senaryo verileri

No	Yol Kesimi	Trafik Hacmi (araç/saat)		
		Senaryo 1 (2019)	Senaryo 2 (2021)	Senaryo 3 (2029)
1	I. Yol Kesimi	1037	1350	1700
2	II. Yol Kesimi	542	700	900
3	III. Yol Kesimi	1214	1600	2000
4	IV. Yol Kesimi	803	1050	1300
	<b>Toplam Trafik Hacmi</b>	<b>3996</b>	<b>4700</b>	<b>5900</b>

Bütün yollar tek tek seçilerek güzergahlara göre araç dağılım oranları girildi. Şekil 4.6.' da güzergâh tanımlama gösterilmektedir.





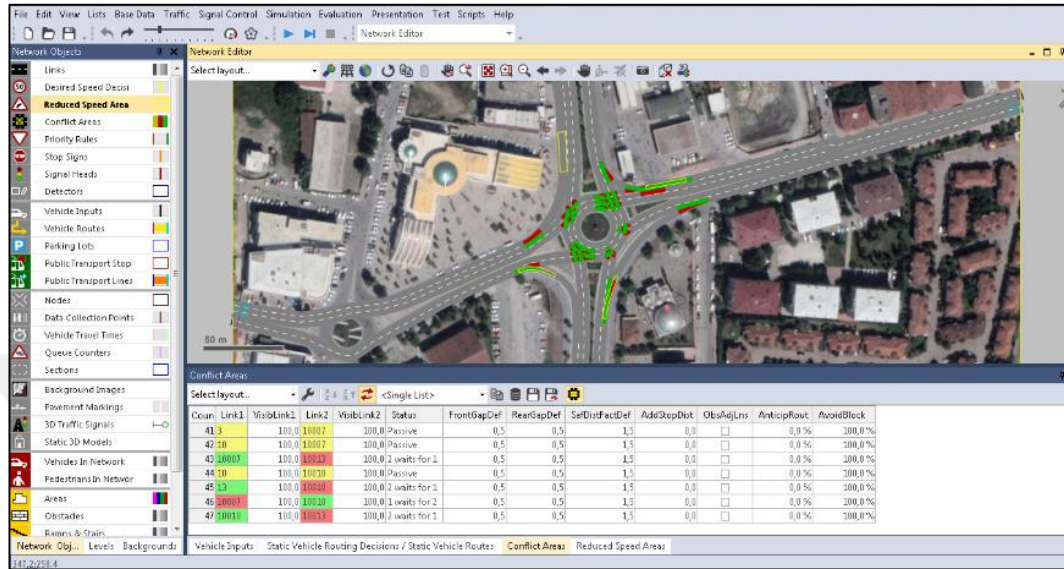
Şekil 4.6. Güzergâh tanımlama gösterimi

Yol kesimlerinden gelen trafiğin güzergahlarına göre araç oranları Şekil 4.7.'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Güzergâhlarına göre araç oranları

Kavşağıma giren araçların geçiş öncelikleri yol kurallarına göre belirlendi. Geçiş öncelikleri ve yavaşlama alanları tanımlandı. Şekil 4.8.'de geçiş öncelikleri gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Geçiş öncelikleri gösterimi

Saat 18:00 ve 19:00 saatleri arasındaki en yüksek verileri alarak ve senaryo verilerimizi programımızda tanımladık. Araçların rotalarını verilen verilere göre oranlayarak girdik. Yayaaların yol güzergâhları geçiş yerleri girildi. Şekil 4.9.'da tanımlamaların son hali gösterilmektedir.

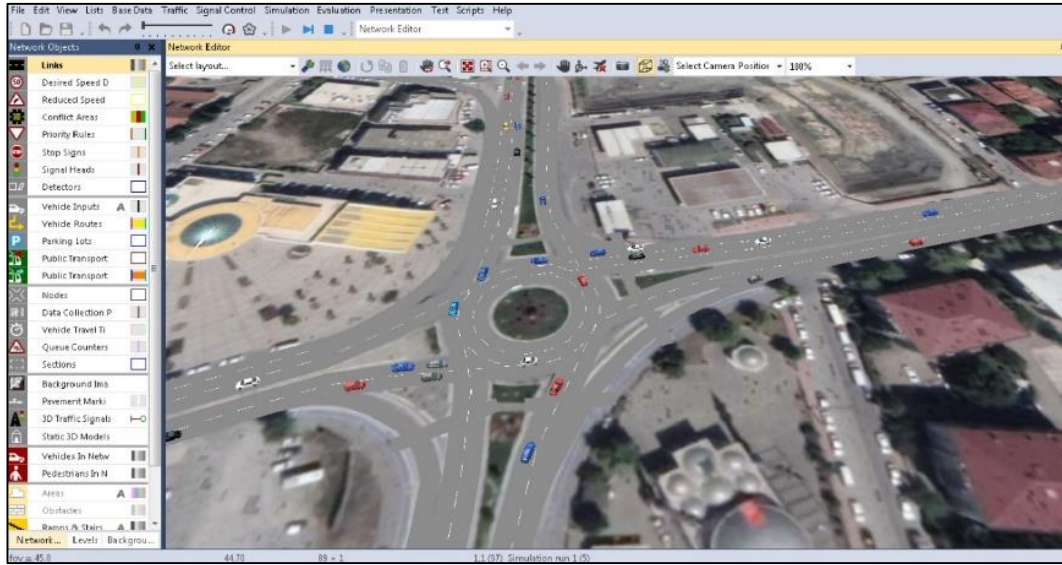


Şekil 4.9. Vissim üzerinde verilerin girilmiş son hali

Girdiğimiz araç sayılarına göre simülasyon ve trafik analiz işlemi başlatılmıştır. Yapılan her bir analiz, beş farklı olasılığın en büyük değerleri alınarak yapılmaktadır. Şekil 4.10.'da analiz sonuçları gösterilmektedir. Bu analiz değerlerinde kuyruk uzunluğu, maksimum kuyruk uzunluğu, araç gecikmeleri, yaya gecikmeleri, durma gecikmeleri, durma mesafeleri, emülsiyon değerleri ve yakıt tüketimi verilerine ulaşabiliriz. Şekil 4.11.'de simülasyon programının üç boyutlu (3D) görüntüsü görülmektedir.

Count	TimeInt	Movement	QLen	QLenMax	Vehs(AI)	Pers(AI)	VehDelay(AI)	PersDelay(AI)	StopDelay(AI)	Stops(AI)	EmissionsCO	EmissionsNOx	EmissionsVOC	FuelConsumption
1	0-16000	1-10@32.3-9@1019.7	24,62	282,97	7	7	25,37	25,37	2,00	1,57	26,00	2,27	2,19	0,240
2	0-16000	1-10@32.3-9@1019.7	24,62	282,97	223	223	37,29	37,29	0,30	0,10	323,237	62,00	74,99	4,624
3	0-16000	1-10@32.3-11@1014.4	34,62	282,97	1463	1463	29,99	29,99	1,02	0,43	2330,303	492,30	586,43	36,199
4	0-16000	1-10@32.3-12@1014.4	34,62	282,97	370	370	34,40	34,40	1,67	0,85	705,667	147,30	165,54	10,096
5	0-16000	1-20@22.0-8@1019.7	202,61	223,37	57	57	1132,24	1132,24	100,00	52,13	1304,633	253,80	302,55	19,064
6	0-16000	1-20@22.0-9@1019.7	202,61	223,37	6	6	1144,39	1144,39	1022,57	11,00	133,727	26,03	30,93	1,913
7	0-16000	1-20@22.0-11@1014.4	224,78	275,02	39	39	1146,12	1146,12	1025,94	12,77	817,892	178,50	212,730	13,132
8	0-16000	1-20@22.0-12@1014.4	224,78	275,02	47	47	1130,90	1130,90	1076,74	11,30	2317,354	396,60	472,306	29,147
9	0-16000	1-30@28.8-8@1019.7	25,27	177,49	1552	1552	22,56	22,56	1,73	0,43	2490,184	484,40	517,124	35,625
10	0-16000	1-30@28.8-9@1019.7	25,27	177,49	201	201	22,18	22,18	1,85	0,42	320,750	62,40	74,337	4,589
11	0-16000	1-30@28.8-11@1014.4	24,27	177,49	11	11	15,71	15,71	0,00	0,10	26,202	3,10	3,724	0,223
12	0-16000	1-30@28.8-12@1014.4	24,27	177,49	237	237	10,44	10,44	0,14	0,09	346,903	69,60	97,904	3,962
13	0-16000	1-40@11.8-8@1019.7	197,87	237,95	132	132	323,23	323,23	173,59	10,49	1304,090	236,40	285,989	18,054
14	0-16000	1-40@11.8-9@1019.7	197,87	237,95	116	116	409,21	409,21	199,75	14,40	1051,250	192,40	234,017	15,710
15	0-16000	1-40@11.8-11@1014.4	195,97	205,29	114	114	406,82	406,82	295,60	14,20	2774,171	540,14	645,404	39,715
16	0-16000	1-40@11.8-12@1014.4	195,97	205,29	1	1	533,12	533,12	126,10	17,10	26,226	3,10	3,700	0,232
17	0-16000	1-10@32.3-9@1019.7	137,25	282,97	4669	4669	109,72	109,72	67,22	2,09	16634,437	3336,45	3955,191	237,875
18	0-16000	1-10@32.3-11@1014.4	29,33	205,42	3	3	19,98	19,98	0,45	0,10	4,853	0,94	1,124	0,085
19	0-16000	1-10@32.3-12@1014.4	31,79	302,06	243	243	24,94	24,94	0,20	0,14	375,290	68,50	81,477	5,024
20	0-16000	1-10@32.3-11@1014.4	25,13	269,42	1416	1416	27,32	27,32	0,04	0,30	2264,040	459,95	547,091	33,020
21	0-16000	1-10@32.3-12@1014.4	25,13	269,42	400	400	25,42	25,42	1,60	0,32	747,195	145,37	173,170	10,689
22	0-16000	1-20@22.0-9@1019.7	199,36	221,96	0	0	1093,59	1093,59	951,50	9,32	1841,653	339,39	398,457	23,405
23	0-16000	1-20@22.0-11@1014.4	199,36	221,96	0	0	0	0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000
24	0-16000	1-20@22.0-12@1014.4	175,90	273,61	32	32	1139,46	1139,46	1034,82	9,83	676,672	131,65	156,925	9,681
25	0-16000	1-20@22.0-11@1014.4	189,36	221,96	13	13	1322,17	1322,17	1205,00	10,99	2055,314	399,09	476,143	29,404

Şekil 4.10. Vissim analiz sonuçları



Şekil 4.11. Vissim simülasyonu 3D simülasyon görüntüsü

Elde edilen mevcut yoldaki trafik hacim değerleri Vissim simülasyon programına girilerek her yol kesimine ait maksimum kuyruk uzunlukları belirlenmiştir. Maksimum kuyruk uzunlukları araç hareket olasılıklarındaki en yüksek kuyruk uzunluğu ihtimali olarak tanımlanmıştır. Tablo 4.4.' de bu veriler gösterilmiştir.

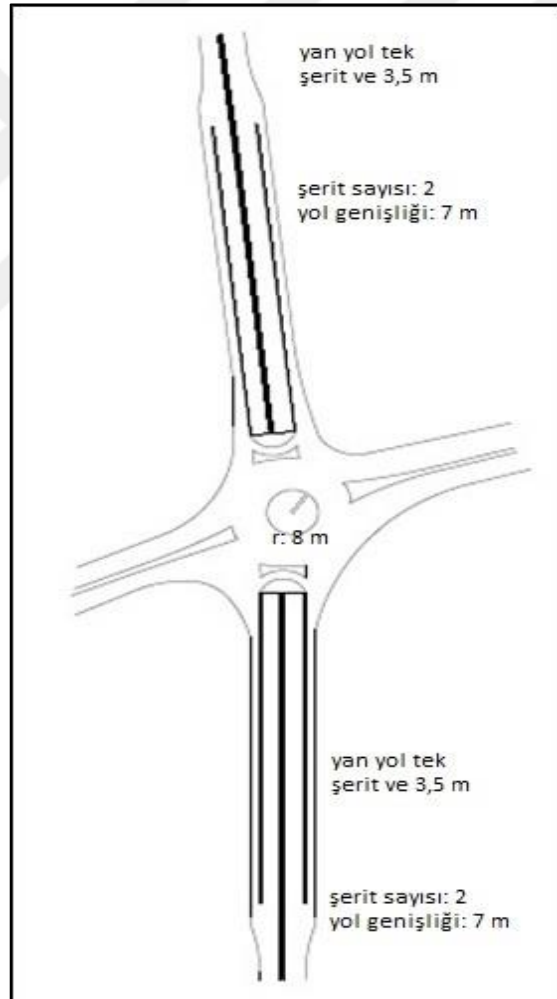
Tablo 4.4. Mevcut yol verilerine ait kuyruk uzunlukları

No	Yol Kesimi	Kuyruk Uzunluğu (metre)		
		Senaryo 1 (2019)	Senaryo 2 (2021)	Senaryo 3 (2029)
1	I. Yol Kesimi	83,55	409,07	510,18
2	II. Yol Kesimi	47,88	162,95	487,40
3	III. Yol Kesimi	105,86	261,71	451,80
4	IV. Yol Kesimi	41,13	160,02	510,21
<b>Toplam Kuyruk Uzunluğu:</b>		<b>278,42</b>	<b>993,95</b>	<b>1959,59</b>

Not: Kullanılan Vissim yazılımının lisans erişimi kısıtlı olduğundan, Senaryo 3'te ulaşılan I. ve IV. yol kesimlerinin maksimum kuyruk uzunlukları limit değerde kalmıştır.

Mevcut durumdaki kavşağın, bir süre sonra, toplamda yaklaşık 2 km araç kuyruk uzunluğuna sebep olacağı öngörülmektedir. Bu kuyruk uzunluğu hizmet düzeyini

ciddi şekilde düşüreceğinden yol kullanıcıları tarafından olumsuz karşılanacaktır. Yol kalitesini korumak için alternatif kavşak tasarımlarını değerlendirmek gerekmektedir. Bu sebeple kuyruk uzunluklarının düşürülmesi için çözüm önerisi olarak kavşağımıza köprü geçişli katlı kavşak tasarımı yapılması öngörülmüştür. Köprü geçişli katlı kavşak tasarımıımızda I yönünden III yönüne doğru olan güzergahlarda araç hacimleri en yüksek olması sebebiyle bu hatta alt geçit yapılması uygun görülmüştür. Bu tasarımda kuzeyden güneye ve güneyden kuzeye, her iki yönde 2'şer şerit olmak üzere yol yer altına alınmıştır. 3. şeritler yolun sağından dönel kavşağa bağlanmakta ve yolların sağından kavşaktan ayrılmaktadır. Şekil 4.12.'de Köprü geçişli katlı kavşak tasarımının AutoCAD çizimi verilmiştir.



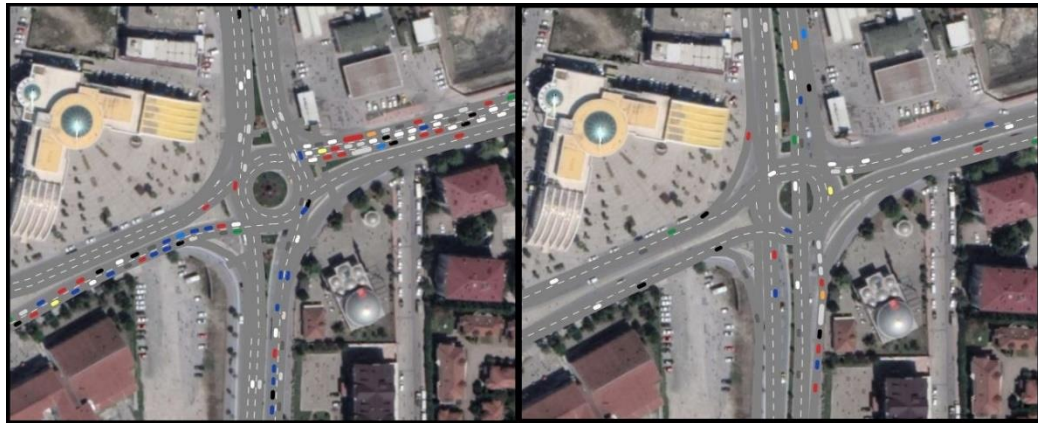
Şekil 4.12. Köprü geçişli katlı kavşak tasarımının AutoCAD çizimi

Köprü geçişli katlı kavşak tasarımında Vissim analizi mevcut durum analizindeki aynı hacim verileriyle tekrarlanmıştır. Yeni tasarımdaki kuyruk uzunlukları her bir senaryo için Tablo 4.5.'te verilmiştir.

Tablo 4.5. Katlı kavşak yerine ait kuyruk uzunlukları

No	Yol Kesimi	Kuyruk Uzunluğu (metre)		
		Senaryo 1 (2019)	Senaryo 2 (2021)	Senaryo 3 (2029)
1	I. Yol Kesimi	0	7,08	14,36
2	II. Yol Kesimi	25,81	95,97	427,41
3	III. Yol Kesimi	21,36	36,61	140,24
4	IV. Yol Kesimi	11,04	20,15	76,00
<b>Toplam Kuyruk Uzunluğu:</b>		<b>58,21</b>	<b>159,81</b>	<b>658,01</b>

Yapılan analiz sonuçlarında araç kuyruk uzunlukları senaryo sıralamasıyla doğru orantılı olarak artış gösterdiği görülmüştür. Ancak yapılan köprü geçişli katlı kavşak tasarımında ise toplam kuyruk uzunluklarının yaklaşık olarak %65 oranında azaldığı gözlenmiştir. Vissim programı ile 6 farklı senaryonun sonuçları hızlı bir şekilde elde edilmiştir. Şekil 4.13.'te kuyruk karşılaştırma görseli verilmiştir.



Şekil 4.13. Kuyruk karşılaştırma görseli

#### 4.2. D-100 Dörtyol Sanayi kavşağı Vissim analizi

Dörtyol Sanayi kavşağı, D-100 karayolu üzerinde konumlanmakta olup kavşak etrafında yoğunlaşmış küçük sanayi sitelerini de birbirine bağlamaktadır. D-100 Karayolu üzerinde şehir bağlantısı olan ana arterler üzerinde katlı kavşak uygulamaları mevcuttur. Yalnız Dörtyol Sanayi kavşağı dört kolda da yoğun trafik hacmine sahip olup dört kollu kanalize edilmiş sinyalizasyon eşdüzey kavşaktır. Halihazırda gelişmiş bir bölge olduğundan yakın gelecekte ciddi trafik artışı bölgede beklenmemektedir. Ancak kavşağın sinyalizasyon sistemindeki devre sürelerinin optimizasyonu için kavşak Vissim programında çalışılmıştır.

Dörtyol Sanayi kavşağının Vissim simülasyon programında modellenmesi Şekil 4.14.'te, yol kesimlerinin numaralandırılması da Şekil 4.15.'te gösterilmiştir.

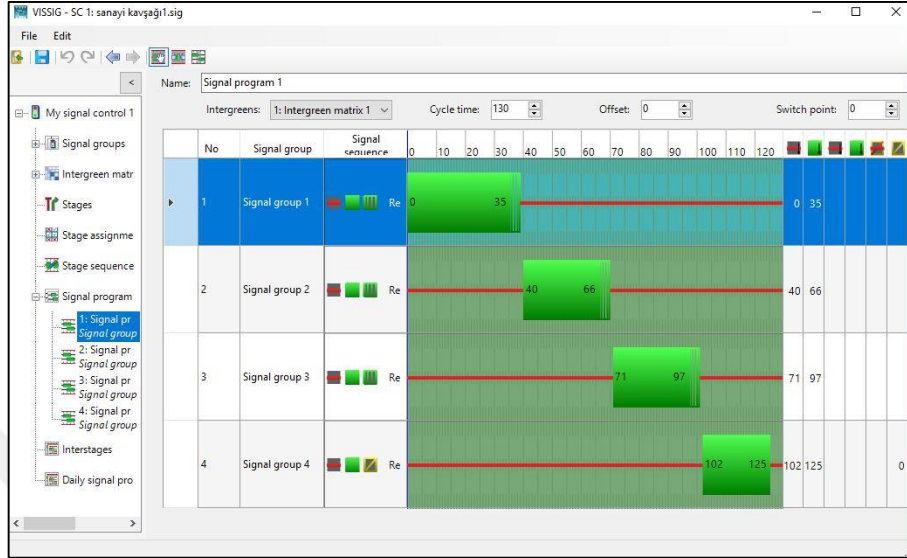


Şekil 4.14. Dörtyol Sanayi kavşağının simülasyon yazılımında modellenmesi



Şekil 4.15. Yol kesimlerinin numaralandırılması

Dört yol Sanayi kavşağında yapılan sayımlar sonucunda elde edilen güncel veriler doğrultusunda Vissim programı üzerinde analiz yapılmıştır. Şekil 4.16.'da sinyal devre diyagramları, Tablo 4.6.'da araç hacim verileri verilmiştir.



Şekil 4.16. Sinyal devre diyagramları

Tablo 4.6. Dört yol Sanayi kavşağı araç hacmi verileri

No	Yol Kesimi	Trafik Hacmi
		(araç/saat)
1	I. Yol Kesimi	653
2	II. Yol Kesimi	1238
3	III. Yol Kesimi	352
4	IV. Yol Kesimi	1386

Tablo 4.7.'de ise bu veriler ile yapılan analiz sonuçları gözlemlenmiştir.

Tablo 4.7. Yol kesimlerinde halihazırdaki sinyalizasyon verilerine ait kuyruk uzunlukları

No	Yol Kesimi	Kuyruk Uzunluğu (metre)
1	I. Yol Kesimi	81,77
2	II. Yol Kesimi	114,48
3	III. Yol Kesimi	44,48
4	IV. Yol Kesimi	111,99
<b>Toplam Kuyruk Uzunluğu:</b>		<b>352,72</b>



Dört yol Sanayi kavşağının mevcut trafik hacim ve sinyalizasyon verileri Vissim simülasyon programına aktarılıp her bir yol kesimine ait kuyruk uzunluğu değerleri bulunmuştur. Bu değerler doğrultusunda sistemde farklı alternatifler ortaya koyabilmek için sinyalizasyon verileri değiştirilmiş ve her bir yol kesimine ait kuyruk uzunluğu değerleri Vissim programı ile belirlenmiştir. Alternatif sinyalizasyon uygulamalarında devre süresi değiştirilmeden iki adet, devre süresi değiştirilerek de iki adet olmak üzere toplamda dört adet alternatif belirlenmiştir. Bu alternatiflerde trafik hacim ve kuyruk uzunluğu değerleri yüksek olan 2. ve 4. yol kesimlerine ait yeşil ışık sürelerinde sırasıyla 2 ve 5 saniye artırıma gidilmiştir. Devre süresi değiştirilmeden 2. ve 4. yol kesimlerinde yeşil ışık sürelerinin artırılması, 1. ve 3. yol kesimlerinde de kısaltılması sonucunda ortaya çıkan kuyruk uzunluğu değerleri sırasıyla Tablo 4.8.'de ve Tablo 4.9.'da verilmiştir.

Tablo 4.8. 2. ve 4.yol kesimlerinde devre süresi değiştirilmeden 2 sn yeşil ışık süresinin artırılması sonucuna ait kuyruk uzunluğu değerleri

No	Yol Kesimi	Kuyruk Uzunluğu (metre)
1	I. Yol Kesimi	81,77
2	II. Yol Kesimi	114,48
3	III. Yol Kesimi	44,48
4	IV. Yol Kesimi	111,74
<b>Toplam Kuyruk Uzunluğu:</b>		<b>352,47</b>

Tablo 4.9. 2. ve 4.yol kesimlerinde devre süresi değiştirilmeden 5 sn yeşil ışık süresinin artırılması sonucuna ait kuyruk uzunluğu değerleri

No	Yol Kesimi	Kuyruk Uzunluğu (metre)
1	I. Yol Kesimi	101,55
2	II. Yol Kesimi	114,48
3	III. Yol Kesimi	49,70
4	IV. Yol Kesimi	95,59
<b>Toplam Kuyruk Uzunluğu:</b>		<b>361,32</b>

Devre süresi artırılarak 2. ve 4. yol kesimlerinde yeşil ışık sürelerinin artırılması, 1. ve 3. yol kesimlerinde de sabit kalması sonucunda ortaya çıkan kuyruk uzunluğu değerleri sırasıyla Tablo 4.10.'da ve Tablo 4.11.'de verilmiştir.

Tablo 4.10. 2. ve 4.yol kesimlerinde devre süresi artırılarak 2 sn yeşil ışık süresinin artırılması sonucuna ait kuyruk uzunluğu değerleri

No	Yol Kesimi	Kuyruk Uzunluğu (metre)
1	I. Yol Kesimi	114,57
2	II. Yol Kesimi	127,16
3	III. Yol Kesimi	56,87
4	IV. Yol Kesimi	116,84
<b>Toplam Kuyruk</b>		
<b>Uzunluğu:</b>		<b>415,44</b>

Tablo 4.11. 2. ve 4.yol kesimlerinde devre süresi artırılarak 5 sn yeşil ışık süresinin artırılması sonucuna ait kuyruk uzunluğu değerleri

No	Yol Kesimi	Kuyruk Uzunluğu (metre)
1	I. Yol Kesimi	106,77
2	II. Yol Kesimi	131,64
3	III. Yol Kesimi	54,25
4	IV. Yol Kesimi	120,66
<b>Toplam Kuyruk</b>		
<b>Uzunluğu:</b>		<b>413,32</b>

Sonuç olarak yeşil ışık sürelerinin artırılması ve azaltılması sonucu ortaya çıkan veriler doğrultusunda Tablo 4.8.'de çıkan toplam kuyruk uzunluğu değerinde iyileşme gözlenirken diğer alternatiflerde artış gözükmemektedir. Vissim simülasyon programında pratik bir biçimde sinyalizasyonun devre ve faz süreleri değiştirilerek sonuçlar karşılaştırma yapılmıştır.

## **BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ**

Bu çalışmada Sakarya il merkezinden trafik hacmi yoğun iki farklı kavşak seçilerek önce arazi çalışması ve veri toplama işlemleri yapılmış sonrasında da Vissim simülasyon yazılım programında tasarımları yapılmıştır.

Serdivan Sapak Camii kavşağı için mevcut durum ve alternatif kavşak durumu seçenekleri incelenmiştir. İki alternatif durum için de üç farklı trafik hacmi senaryoları Vissim programında çalışılmıştır. Mevcut trafik hacmi dışında 2. ve 3. senaryolarda mevcut trafik hacmi sırasıyla yaklaşık %30 oranında artırılarak senaryolar oluşturulmuştur. Program sonuçları değerlendirildiğinde, trafik hacim artışlarının, kavşakta bekleyen araçların toplam kuyruk uzunluklarına yüksek oranda etkisi olduğu görülmüştür. Buna karşın alternatif kavşak tipi tercihinde seçilen köprü geçişli katlı kavşak tasarımı durumunda bu kuyruk uzunluklarının sırasıyla orantılı bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir.

D-100 Dörtüol Sanayi kavşağı için mevcut durum Vissim programında tasarlanmıştır. İlgili kavşak dört kollu kanalize edilmiş siyalize eşdüzey kavşaktır. Alternatif olarak katlı kavşak yapılması durumu mümkün olsa da tez çalışmasında siyazlizasyon süreleri dikkate alınarak senaryo durumları oluşturulmuş ve incelenmiştir. Devre süresi sabit tutularak ana arter üzerindeki yeşil ışık faz süreleri sırasıyla 2 ve 5 saniye artırılarak 1. ve 2. senaryolar oluşturulmuştur. Tali yollardaki faz süreleri sabit tutularak ana arter üzerindeki yeşil ışık faz süreleri sırasıyla 2 ve 5 saniye artırılarak 3. ve 4. senaryolar oluşturulmuştur. Yalnız Senaryo 1'deki durum ile mevcut durumdaki kuyruk uzunlukları karşılaştırıldığında yarım metreden daha az bir iyileşme olduğu diğer senaryolarda ise kuyruk uzunluğunun daha çok olduğu görülmüştür. Vissim programı analiz sonuçlarına göre mevcut durumdaki sinyalizasyon devre ve faz sürelerinin kavşak için ideal çözüm olduğu anlaşılmıştır.

İki kavşakta da yapılan incelemeler ve çalışmalar göstermektedir ki Vissim simülasyon programı vb. araçlar ile simülasyon tekniklerinin kullanılması, kavşak tasarımında tasarımcılar için büyük avantajlar sağlamaktadır.

Sonuç olarak, simülasyon programları, alternatif senaryo durumlarını çok kısa sürede analiz ederek süre ve maliyet açılarından, tasarımcılara, en iyi seçeneğin bulunması konusunda yardımcı olmaktadır. Trafik mühendisleri ve ulaştırma alanında çalışan diğer teknik personellerin güvenle başvurabileceği simülasyon programları, öğrenci ve akademisyenlere de akademik çalışmalarda yeni üretilen veya bilinen matematik modellerini test edebilme imkanı sunmaktadır.



## KAYNAKLAR

- [1] Demir, H. G., Gedizliođlu, E., Demir, Y. K., Otoyolda Trafik Akımının Modellenmesi ve Modellenmesi ve Model Kalibrasyonu: İstanbul O1 Örneği, İMO Teknik Dergi, s. 6909-6923, 2014.
- [2] KGM, Karayolları Tasarım El Kitabı, KGM Yayınları, Ankara, 2005.
- [3] Güler, H., Trafik Simülasyon Teknikleri Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, 2017.
- [4] Şengün, E., Ulaşım Mühendisliği Ders Notları, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, 2018.
- [5] Murat, Y. Şazi, Trafik Mühendisliği Ders Notları, Pamukkale Üniversitesi, 2012.
- [6] AASHTO, A Policy On Geometric Design Of Highways And Streets, Washington D.C., ABD, 2001.
- [7] Öđüt, K. S. ve Tezcan, O., Karayolu Ders Notları, İ.T.Ü., 2010.
- [8] İbn-i Haldun, Mukaddime, Cezayir, 1375.
- [9] [www.google.com/maps](http://www.google.com/maps), Erişim Tarihi: 01.05.2019.
- [10] KGYK, Türkiye İçin Ulusal Trafik Güvenliği Programı, Karayolu Tasarımı Raporu, Ek 2: Modern Dönel Kavşaklar İçin Önerilen Tasarım Esasları, Ankara, 2001.
- [11] Massachusetts Highway Department, Project Development and Design Guide, Massachusetts, ABD, 2006.
- [12] Ayfer, M. Ö., Trafik Sinyalizasyonu, Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüđü Matbaası Yayın No: 226, Ankara, 1977.
- [13] Karagöz, G. T., Kentçi Sinyalize Eşdüzey Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Modellenmesi ile Trafik Akışının İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 2018.
- [14] Kutlu, K., Trafik Tekniđi, 1. Baskı, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1993.

- [15] Gedizliođlu, E., Kentlerimizde Trafik Yönetimi, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 434, s.17-22, 2004.
- [16] ISSD, Trafik Simülasyon Çalışmaları, Trafik Mühendisliği Faaliyetleri, [www.issd.com.tr/tr/19571/Trafik-Simulasyon-Calismalari](http://www.issd.com.tr/tr/19571/Trafik-Simulasyon-Calismalari), Erişim Tarihi: 29.04.2019.
- [17] Barcelo, J., Fundamentals of Traffic Simulation, Chapter 2, Microscopic Traffic Flow Simulator Vissim, Fellendorf, M., Vortisch, P., 2010.
- [18] Jannes, R. M., Melson, C., Hu, J., Bared, J., Characterizing The Impact of Production Adaptive Cruise Control on Traffic Flow: An Investigation, Virginia, ABD, 2018.
- [19] Liu, Y., Wang, Y., Li, D., Fang, F., Yu, Q., Xue, S., Identification of the potential for carbon dioxide emissions reduction from highway maintenance projects using life cycle assessment: A case in China, s. 743-752, 2019.
- [20] Erol, D., Kentçi ışıklı ve dönel kavşak uygulamalarının performans kriterlerine etkisi: Denizli örneği, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [21] Çakıcı, Z., Sinyalize dönel (yuvarlakada) kavşakların tasarım esaslarının araştırılması, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [22] Gözler, D., Hız yönetiminde kullanılan altyapı değişikliklerinin kavşak performansına etkileri ve örnek bir uygulama, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [23] Göksu, G., Microscopic simulation of dynamic freeway traffic flow control approaches on an urban highway, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [24] Aydın, F., Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'ndeki ek şerit uygulamasının simülasyon modeli ile incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [25] Yılmaz, E., Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'ndeki ek şerit uygulamasının simülasyon modeli ile incelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [26] Tapani, A., Traffic Simulation Modelling of Rural Roads and Driver Assistance Systems, Linköping Studies in Science and Technology, Norrköping, 2008.
- [27] [www.nufusu.com/ilce/serdivan\\_sakarya-nufusu](http://www.nufusu.com/ilce/serdivan_sakarya-nufusu), Erişim Tarihi: 21.08.2019.

## ÖZGEÇMİŞ

Ali Ammar Camcı, 01.01.1989'da Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2006 yılında Sakarya Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Mezun olduğu dönemden bugüne değerleme sektöründe Gayrimenkul Değerleme Uzmanı olarak çalışmaktadır.