

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİĞİ VE TRAFİK
SİMÜLASYON YAZILIMLARI YARDIMIYLA KAVŞAK
PERFORMANS ANALİZİ
(ERZURUM İLİ ÖRNEĞİ)**

Berivan BAYDAR

Danışman: Doç. Dr. Halim Ferit BAYATA

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

ERZİNCAN

2021

Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİĞİ VE TRAFİK SİMÜLASYON YAZILIMLARI YARDIMIYLA KAVŞAK PERFORMANS ANALİZİ (ERZURUM İLİ ÖRNEĞİ)

Berivan BAYDAR

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Halim Ferit BAYATA

Erzurum İl’inde trafik hacminin ve ulaşım taleplerinin artmasıyla ana arterler üzerinde bulunan Yakutiye Belediye kavşağı, Havuzbaşı kavşağı ve Üniversite kavşaklarında iyileştirme ihtiyacı doğmuştur. Kavşaklarda yapılması düşünülen iyileştirmelerin trafik simülasyon programları kullanılarak önceden simüle edilmesi hem ekonomik açıdan hem de zaman açısından fayda sağlamaktadır.

Bu çalışmada Erzurum kent merkezinde aynı koridor üzerinde bulunan üç kavşak ele alınmıştır. Ele alınan bu kavşaklarda gecikme süresi, yoğunluk, yakıt tüketimi, CO₂ (karbondioksit), NO_x (azot oksit), PM (partikül madde), VOC (uçucu organik bileşen), ortalama hız, duraklama süresi, seyahat süresi ve maliyet tasarım kriterleri olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında AIMSUN programı kullanılarak mevcut durum ve altı farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryoların simülasyon sonuçları Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan PROMETHEE yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve uygun senaryo seçimi sağlanmıştır.

Çalışma sonuçlarından, gecikme süreleri için %30, yoğunluk için %9, yakıt tüketimi için %14, NO_x için %8, PM için %17, durma süreleri için %32, seyahat süreleri için %11, VOX için %9 ve CO₂ için %9'lara varan oranlarda azalmalar, ortalama hızda ise %13'lere varan artış elde edilmiştir. PROMETHEE yöntemine göre kavşak performans analizi yapılarak incelenen senaryolar içinde en yüksek öncelik değerine Senaryo 6 sahip olmuştur.

2021, 97 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Kavşak performans analizi, mikroskobik simülasyon, promethee.

ABSTRACT

Master Thesis

INTERSECTION PERFORMANCE ANALYSIS WITH THE HELP OF MULTICRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUE AND TRAFFIC SIMULATION SOFTWARE

(ERZURUM PROVINCE SAMPLE)

Berivan BAYDAR

Erzincan Binali Yıldırım University
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Halim Ferit BAYATA

With the increase in traffic volume and transportation demands in Erzurum Province, a need for improvement has arisen at Yakutiye Belediye junction, Havuzbaşı junction and Üniversite junctions located on the main arteries. Pre-simulating the improvements that are planned to be made at the intersections by using traffic simulation programs provides benefits both in terms of economy and time.

In this study, three intersections located on the same corridor in Erzurum city center are considered. At these intersections, delay time, density, fuel consumption, CO₂ (carbon dioxide), NO_x (nitrogen oxide), PM (particulate matter), VOC (volatile organic compound), average speed, pause time, travel time and cost were determined as design criteria. The current situation and six different scenarios were created using the AIMSUN program within the scope of the study. The simulation results of the scenarios were evaluated using the PROMETHEE method, one of the Multi Criteria Decision Making methods, and appropriate scenario selection was achieved.

From the study results, 30% for delay times, 9% for density, 14% for fuel consumption, 8% for NO_x, 17% for PM, 32% for stop times, 11% for travel times, 9% for VOX and% for CO₂. Reductions of up to 9s and an increase of up to 13% in average speed were achieved. Scenario 6 has the highest priority among the scenarios examined by performing intersection performance analysis according to the PROMETHEE method.

2021, 97 Pages

Keywords: Intersection performance analysis, microscopic simulation, promethee.

TEŞEKKÜR

Tez sürecim boyunca çalışmamın yürütücülüğünü üstlenen, tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen saygı değer danışanım, Doçent Doktor Sayın Halim Ferit BAYATA' ya ve çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen ve AIMSUN programını kullanarak modellemelerde önerileri ile tezimin gelişmesine katkıda bulunan değerli meslektaşım Sayın Araştırma Görevlisi Ahmet Oğuz Demiriz' e ve yüksek lisans eğitimine başlamama vesile olan öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi destek veren çok kıymetli aileme teşekkürlerimi borç bilirim.

Berivan BAYDAR

Ağustos, 2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3.KURAMSAL TEMELLER.....	10
3.1. Eşdüşey Kavşaklar.....	10
3.1.1. Kavşak düzenlemelerinin amaçları.....	10
3.2. Eşdüşey Kavşak Türleri.....	12
3.2.1. Denetimli sinyalize kavşaklar.....	12
3.2.1.1. Sinyalize kavşak tipinin seçimi.....	13
3.2.2. Dönel kavşak.....	14
3.2.2.1. Kontrolsüz kavşak tasarımı.....	18
3.2.2.2. Dönel kavşakların özellikleri.....	19
3.2.2.3. Dönel kavşakların uygulamasını gerektiren şartlar.....	19
4.MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
4.1. Trafik Simülasyonu.....	21
4.2. GEH Analizi.....	22
4.3. Webster Yöntemi.....	23
4.4. PROMETHEE Yöntemi.....	26
4.4.1. PROMETHEE işlem adımları.....	28
5.ARAŞTIRMA BULGULARI.....	36
5.1. Çalışma Alanı.....	36
5.2. Verilerin Toplanması.....	39
5.2.1. Faz süreleri.....	39
5.2.2. Trafik sayımları.....	43

5.3. Simülasyon Modellemesi.....	51
5.3.1. Mevcut durum simülasyon modellemesi.....	51
5.3.2. Kontrolsüz kavşak uygulamaları.....	53
5.3.3. Webster yöntemi uygulamaları.....	56
5.3.4. Altgeçit uygulamaları.....	58
5.3.5. GEH analizleri.....	60
5.3.6. Simülasyon sonuçları.....	61
5.3.7. PROMETHEE uygulamaları.....	67
5.3.8. PROMETHEE uygulama sonuçları.....	73
6.SONUÇ	88
KAYNAKLAR.....	91

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Kavşak seçim modeli.....	10
Şekil 3.2. Dönel kavşak.....	14
Şekil 3.3. Sinyalize kavşak.....	14
Şekil 3.4. Dönel kavşaklarda dikkate alınan geometrik elemanlar.....	15
Şekil 3.5. Üç kollu yarım dönel kavşak.....	16
Şekil 3.6. Dört kollu eliptik dönel kavşak.....	16
Şekil 3.7. Dört kollu mini dönel kavşak.....	17
Şekil 3.8. Kontrolsüz dönel kavşak.....	17
Şekil 3.9. Kontrolsüz dönel kavşak elemanları.....	18
Şekil 4.1. Ortak tercih fonksiyonlarının gösterimi.....	32
Şekil 4.2. Karar seçeneği için hazırlanan pozitif ve negatif üstünlük.....	33
Şekil 5.1. Çalışma planı.....	36
Şekil 5.2. Çalışma koridoru olan kavşaklar.....	37
Şekil 5.3. Üniversite kavşağı.....	37
Şekil 5.4. Havuzbaşı kavşağı	38
Şekil 5.5. Yakutiye Belediye kavşağı.....	38
Şekil 5.6. Üniversite kavşağı mevcut durum sinyal 1 ve sinyal 2 faz süreleri.....	39
Şekil 5.7. Üniversite kavşağı mevcut durum sinyal 3 ve sinyal 4 faz süreleri.....	40
Şekil 5.8. Üniversite kavşağı mevcut durum sinyal 5 ve sinyal 6 faz süreleri.....	41
Şekil 5.9. Üniversite kavşağı mevcut durum sinyal 7 ve sinyal 8 faz süreleri.....	41
Şekil 5.10. Havuzbaşı kavşağı mevcut durum sinyal 1 ve sinyal 2 faz süreleri.....	42
Şekil 5.11. Yakutiye Belediye kavşağı mevcut durum sinyal 1 ve sinyal 2 faz süreleri...43	
Şekil 5.12. Üniversite kavşak kolları.....	44
Şekil 5.13. Havuzbaşı kavşak kolları.....	46
Şekil 5.14. Yakutiye Belediye kavşak kolları.....	48
Şekil 5.15. Üniversite, Havuzbaşı, Yakutiye Belediye kavşağı mevcut durum.....	51
Şekil 5.16. Mevcut durum arterler 1. Kısım.....	52
Şekil 5.17. Mevcut durum arterler 2. Kısım.....	52
Şekil 5.18. Oluşturulan trafik ağının mevcut durum modeli.....	53
Şekil 5.19. Havuzbaşı kontrolsüz kavşak genel görünüm.....	54

Şekil 5.20. Havuzbaşı kontrolsüz kavşak arterler 1. kısım.....	54
Şekil 5.21. Havuzbaşı kontrolsüz kavşak arterler 2. kısım.....	55
Şekil 5.22. Havuzbaşı kontrolsüz kavşak.....	55
Şekil 5.23. Havuzbaşı kontrolsüz kavşak uygulaması.....	56
Şekil 5.24. Havuzbaşı kavşağı Webster yöntemi senaryo 3 uygulaması.....	57
Şekil 5.25. Yakutiye Belediye kavşağı Webster yöntemi senaryo 4 uygulaması.....	58
Şekil 5.26. Yakutiye Belediye kavşağı alt geçit uygulaması.....	59
Şekil 5.27. Üniversite kavşağı altgeçit arterler 1. kısım.....	59
Şekil 5.28. Gecikme süresi.....	62
Şekil 5.29. Yoğunluk.....	62
Şekil 5.30. Yakıt tüketimi.....	63
Şekil 5.31. CO ₂ emisyonu.....	63
Şekil 5.32. NO _x emisyonu.....	64
Şekil 5.33. Partikül madde emisyonu.....	64
Şekil 5.34. VOC emisyonu.....	65
Şekil 5.35. Hız.....	65
Şekil 5.36. Durma süresi.....	66
Şekil 5.37. Seyahat süresi.....	66
Şekil 5.38. Maliyet.....	67
Şekil 5.39. VISUAL PROMETHEE’de senaryo ve kriterler.....	70
Şekil 5.40. VISUAL PROMETHEE’de kriter ağırlıkları.....	71
Şekil 5.41. VISUAL PROMETHEE’de senaryo ve kriterler verileri	71
Şekil 5.42. VISUAL PROMETHEE’de istatistiksel değerleri.....	72
Şekil 5.43. VISUAL PROMETHEE’de tercih fonksiyonları.....	73
Şekil 5.44. PROMETHEE I (Partial Ranking) sıralaması.....	74
Şekil 5.45. PROMETHEE II (Complete Ranking) sıralaması	75
Şekil 5.46. PROMETHEE Diamond.....	76
Şekil 5.47. PROMETHEE Network.....	77
Şekil 5.48. PROMETHEE Rainbow.....	78
Şekil 5.49. PROMETHEE akış tablosu.....	78
Şekil 5.50. PROMETHEE Senaryo 1 alternatifinin profili.....	79
Şekil 5.51. PROMETHEE Senaryo 2 alternatifinin profili.....	79
Şekil 5.52. PROMETHEE Senaryo 3 alternatifinin profili.....	80
Şekil 5.53. PROMETHEE Senaryo 4 alternatifinin profili.....	80

Şekil 5.54. PROMETHEE Senaryo 5 alternatifinin profili.....	81
Şekil 5.55. PROMETHEE Senaryo 6 alternatifinin profili.....	81
Şekil 5.56. PROMETHEE Senaryo 7 alternatifinin profili.....	82
Şekil 5.57. PROMETHEE GAIA.....	83
Şekil 5.58. PROMETHEE GAIA Senaryo 1.....	84
Şekil 5.59. PROMETHEE GAIA Senaryo 2.....	85
Şekil 5.60. PROMETHEE GAIA Senaryo 3.....	85
Şekil 5.61. PROMETHEE GAIA Senaryo 4.....	86
Şekil 5.62. PROMETHEE GAIA Senaryo 5.....	86
Şekil 5.63. PROMETHEE GAIA Senaryo 6.....	87
Şekil 5.64. PROMETHEE GAIA Senaryo 7.....	87

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Otomobil Eşdeğer Faktörü.....	25
Tablo 4.2. Şerit Kullanım Faktörü.....	25
Tablo 4.3. Veri Matrisi.....	28
Tablo 4.4. Tercih Fonksiyonları.....	30
Tablo 4.4. Tercih Fonksiyonları (devam).....	31
Tablo 5.1. Üniversite Kavşağı Sabah Zirve Saati Trafik Akım Değerleri.....	45
Tablo 5.2. Üniversite Kavşağı Akşam Zirve Saati Trafik Akım Değerleri.....	45
Tablo 5.3. Havuzbaşı Kavşağı Sabah Zirve Saati Trafik Akım Değerleri.....	47
Tablo 5.4. Havuzbaşı Kavşağı Akşam Zirve Saati Trafik Akım Değerleri	47
Tablo 5.5. Yakutiye Belediye Kavşağı Sabah Zirve Saati Trafik Akım Değerleri	49
Tablo 5.6. Yakutiye Belediye Kavşağı Akşam Zirve Saati Trafik Akım Değerleri.....	49
Tablo 5.7. Oluşturulacak Senaryolar.....	50
Tablo 5.8. Üniversite Kavşağı Mevcut Durum GEH Analizleri.....	60
Tablo 5.9. Havuzbaşı Kavşağı Mevcut Durum GEH Analizleri.....	60
Tablo 5.10. Yakutiye Belediye Kavşağı Mevcut Durum GEH Analizleri.....	61
Tablo 5.11. Kavşaklarla İlgili Senaryo ve Kriterler Tablosu	69

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

a	Sarı Süre(saniye)
α	Fren İvmesi
C	Kapasite(taşıt/saat)
d	İki Karar Seçeneği Arasındaki Fark
D	Devre Süresi(saniye)
D_o	Optimum Devre Süresi(saniye)
f	Fonksiyon
f_i	Düzeltilme Faktörü
g	Yeşil Süre Etkin
G	Yeşil Süre Gerçek
H	Araç Hızı
I_s	Başlangıç Kaybı
I_e	Son Kazancı
k	Kriter
K	Kavşak Kapasitesi
K_j	Gözlemlenen Değer
l	Araç uzunluğu
L	Bir Devredeki Kayıp Zaman
M_j	Simülasyon Modelinde Çıkan Değer
N	Şerit Sayısı
n	Devredeki Faz Sayısıdır
p	Yeterli Görülebilecek En Küçük Fark
q	Farksızlık Değeri
s	Karar Seçenekleri
s	Mevcut Durumda Kavşak Doyum Akımı
s_o	İdeal Şartlarda Kavşak Doyum Akımı
S	Doygun Akım Değeri(taşıt/saat)
U	Şerit Kullanım Faktörü
V	Şerit sayısına göre düzeltilmiş talep akımı (araç/saniye)
Y	N Fazındaki Kritik yaklaşım İçin Oran
Y_i	i Yönündeki Boşaltım Fasılası

t	İntikal- reaksiyon süresi (saniye)
w	Kriter Ağırlıkları
W	Hareket Uzunluğu (metre)
Φ^+	Pozitif Üstünlük
Φ^-	Negatif Üstünlük

Kısaltmalar

AIMSUN	Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
PROMETHEE	Prefence Ranking Organization Method for Enrichment Evvaluations
TC	Türkiye Cumhuriyeti
YHM	Yaklaşık Hesaplama Metodu
YOGT	Yıllık Ortalama Günlük Trafik

1.GİRİŞ

Ulaşım insan hayatını etkileyen en önemli olgudur. Temel gereksinimler doğrultusunda başlamış olan ulaşım ihtiyacı, hızla artan nüfus, kentleşme, ekonomik gelişmeler ve değişen teknoloji nedeniyle günümüzde hayatın içinde her gün yaşanan ciddi problemler haline gelmiştir. Gelişmiş olan ve büyümekte olan şehirlerde, mevcut ulaşım sorunlarına artan çarpık şehirleşme, otomobil sahipliği ve şehir içi altyapısına yapılan projersiz, plansız çalışmalar eklenmiş, böylelikle ulaşım problemi daha da çok artmıştır.

Ulaşımın günümüzde oluşturduğu sorunları en doğru şekilde saptamak, ulaşımı başlangıç noktasında etkileyen sebepleri belirlemekle mümkündür. Toplumun sosyal, kültürel, ekonomik durumu, ulaşımın tarihi gelişimi derinlemesine irdelenmelidir. Bu şekilde yapılan bir çalışma, gelecekteki olası ulaşım sorunlarının da bugünden çözülmesi anlamı taşımaktadır.

Kent içi ulaşımında ulaşım talebindeki hızlı artışlar kent içi trafik problemlerini de meydana getirmiştir. Ekonomi, teknoloji ve sanayideki gelişmeler sonucunda araç miktarındaki hızlı artış, trafik yoğunluğu, trafik kazaları, çevre kirliliği ve trafik tıkanıklıkları gibi birçok soruna neden olmuştur. Bu sorunları çözmek ulaşım konforunu sağlamak için önemli bir hale gelmiştir. Şehir içi trafik akım yönetim şekillerinin oluşturulması, kavşak düzenleme uygulamaları ve trafik akışının incelenmesi ulaşım mühendislerinin ana çalışma konusu olmuştur. Yapılan çalışmalar ile yaya güvenliğinin sağlanması, akım hareketinin devamlılığının oluşturulması, trafik kazalarının önlenmesi, gecikme miktarlarının kabul edilebilir seviyelerde tutulması hedeflemektedir.

Ulaştırma ve trafik mühendislerinin temel iki amacı konfor ve güvenliktir. Ulaştırma ve trafik mühendisleri için planlama veya düzenlemenin verimliliğini tahmin etmek son derece önemli parametrelerdir. Bu parametrelerden dolayı farklı ulaştırma modlarında trafik ağlarını analiz etmek için trafik simülasyon modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Trafik simülasyonu güvenilir, ucuz ve kolay uygulanabilir bir yöntem olduğundan, bu modellemeler aracılığıyla alternatif çözümler etkili bir şekilde analiz edilebilmektedir (Park ve Schneeberger, 2003; Siddharth ve Ramadurai, 2013).

Bu çalışmada Erzurum ilinde aynı koridor üzerinde bulunan Yakutiye Belediye kavşağı, Havuzbaşı kavşağı ve Üniversite kavşağı ele alınarak AIMSUN yazılımı ile mevcut durumun ve önerilen iyileştirmeleri içeren 6 senaryonun mikroskobik simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarının doğrulaması için GEH formülü kullanılmıştır. Daha iyi bir trafik yönetimi sağlanması için oluşturulan senaryoların simülasyon sonuçları çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan PROMETHEE yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriterleri gecikme süresi, yoğunluk, yakıt tüketimi, CO₂, NO_x, Partikül Madde, VOC, ortalama hız, duraklama süresi, seyahat süresi ve maliyet olarak belirlenmiştir. Oluşturulan senaryolar arasında en yüksek öncelikli senaryonun bulunması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, giriş bölümü yer almıştır ve çalışmanın amacı, çalışmanın yöntemi ve çalışmanın bölümleri hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, literatür taraması yapılmış, daha önceden yapılmış olan çalışmalar belirtilmiş ve bu konuya dayalı öneriler, eksiklikler, yorumlar verilmiştir. Üçüncü bölümde ise, yapılmış olan çalışma, kuramsal temellere dayandırılmış, kavşaklar; eşdüzey kavşaklar, denetimsiz eşdüzey kavşaklar, eşdüzey kavşak türleri, sınıflandırılması, tasarım esasları, dönel kavşaklar denetimli eşdüzey kavşaklar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, materyal ve yöntem açıklanmıştır. Kavşak kapasitesinin nasıl belirlendiği, trafik simülasyonu, GEH analizi, Webster yöntemi, PROMETHEE yöntemi anlatılmıştır. Beşinci bölümde, araştırma bulguları, çalışma alanı, GEH analizi, Webster uygulaması simülasyon ve PROMETHEE sonuçları verilmiştir. Altıncı bölümde, sonuç yer almaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Sinyal optimizasyonu ve yapılacak olan kavşak tasarımları AIMSUN programında mikroskobik olarak tasarlanarak sonuçlar PROMETHEE yöntemiyle değerlendirilmiştir. PROMETHEE, AIMSUN, GEH formülü, mikroskobik simülasyon, kavşak tasarımı, kavşak sinyalizasyon sistemi ve WEBSTER yöntemi ile ilgili kaynak özetleri aşağıda verilmiştir.

Varlıorpak ve Tanyel (1998) gecikmelerin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapmış ve genel olarak kavşak kontrol türlerinin değiştirilmesi ve ışıklı kavşak optimum süreleri üzerine çalışmışlardır. Varlıorpak ve Tanyel (1998) kavşak kapasitesi ve meydana gelen kaza sayısı üzerine iki ayrı kavşak üzerine çalışmışlardır. Çalışılan kavşakların; ışıklı kavşak ve dönel kavşak performansları incelenerek kıyaslanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda ışıklı kavşaklara nazaran dönel kavşak tasarımının uygun bir şekilde projelendirilmesi daha yüksek performansa sahip olabilecekleri görülmüştür. İngiltere'de dönel kavşak ile ışıklı kavşak kıyaslamalarında kazaların azaltılmasında dönel kavşakların etkin bir rol olduğunu, fakat hem ışıklı kavşağın hemde dönel kavşağın kendilerine özgü üstünlüklerinin bulunması dolayısıyla kavşağın üzerinden geçen trafiğin ve bulunduğu bölgeye göre tercih edilmesi belirlenmiştir (Tanyel, 2001).

Ekmekçi (2002) tarafından yapılan çalışmada, kavşaklarda bekleyen araçların hacminin belirlenmesinde en önemli etkenlerden birisinin gecikme olduğunu ve çalışmada kavşaktaki trafik lambalarının sinyalizasyon sürelerinin ve taşıt yoğunluğunu incelemiştir. Gecikmelerin artmasıyla birlikte trafik hacmi, kuyrukta bekleyen araç sayılarının ortalama verileri ve kırmızı ışık bekleme süreleri model üzerinde değerler kullanılarak kavşaklar için en uygun sinyalizasyonun belirlenmesini sağlamış ve çözümler üretmiştir.

Yayla (2004) dönel kavşakların kapasitelerinin belirlenmesi için farklı metotları kıyaslamışlardır. Kıyaslamalar sonucunda dönel kavşakların kapasitelerinin analizinde kritik aralık kabulü yöntemleri ile regresyon analizinin hesaplamalarda kullanılabileceği ve birbirlerine yakın sonuçlar elde edildiği sonucuna varılmıştır. Fakat daha doğru

sonuçlara ulaşılması için ülke şartlarına uygun kapasite hesap modellerinin geliştirilmesinin etkin olduğu belirtilmiştir.

Tanyel (2005)'in dönel kavşak performansı ile ilgili yaptığı çalışmada dönel kavşaklardaki ana akım içindeki ağır taşıt yüzdesinin yan yol kapasitesi üzerindeki etkisini inceleyip, incelemeler sonucu ana akım içindeki ağır taşıt oranının artmasının yan yol kapasitesinin ciddi oranda azaldığını belirtilmektedir. Yan yoldan gelen ağır taşıt yüzdesi değişiminin yan yol kapasitesi üzerinde çok fazla etkisinin olmadığı belirtilmiştir.

Trafik simülasyonu ile ilgili Yılmaz (2006) tarafından hazırlanan 'Karayolu Trafik Simülasyonu' adlı çalışmasıdır. Bu çalışmadaki amaç karayolu ağındaki trafik akışını inceleyip, modelleyerek ve oluşturulan modelin bilgisayar ortamındaki simülasyonunu yapan bir yazılım ortaya koymaktır. Üretilen, geliştirilen yazılım ve tekniklerle maliyet, zaman, iş gücü kaybı olmadan simülasyonların uygulanabilirliğini onaylanmış ve bulunan çözümler mevcut olarak bulunan trafik şebekeleri üzerine uygulanabilmiştir.

Yapılan başka bir çalışmada Ceylan vd. (2007) tarafından hazırlanan 'Yaklaşık Hesaplama Metodu İle Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Bileşenlerinin Matematiksel Çözümü' adlı çalışmasıdır. Geliştirilen yaklaşık hesaplama metodu ile koordinat transformasyon tekniği kullanılarak sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin bileşenleri hesaplanmıştır. Kavşak performans göstergeleri doyumluk altı durumlar için kuyruk oluşup oluşmaması ile ve doyumluk üstü linkler için iki farklı yaklaşım ile incelemeler yapılmıştır. Geliştirilen yaklaşık hesaplama metodu örnek olarak tasarlanan sinyalize kavşak üzerine uygulanmıştır. Yapılan uygulamalar sonucu yaklaşık hesaplama methodu'nun performansı Webster methodu ile mevcut duruma göre karşılaştırılması yapılmıştır. Seçilen kavşağın ortalama performansı ile geliştirilen yaklaşık hesaplama metodunun yüzde beş yüz oranında arttığı ortaya konulmuştur. Ayrıca sinyalleme parametrelerinin Webster methodu ve mevcut durum sinyalleme kontrolünden bayağı büyük farklılıklar görülmüştür.

Vereeck ve Brabender (2007) yaptıkları bir çalışmada dönel kavşaktaki trafik kazalarını büyük oranda azalttığını lakin bu durumun diğer yollardaki hız sınırı ve ana yoldaki hız sınırı ile enterkonnekte olduğunu belirtmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, en güvenli kavşakların trafik güvenliği açısından sinyalize dönel kavşaklar olduğunu belirtmiştir.

Eraslan ve Dağdeviren (2008), yaptıkları ‘PROMETHEE Sıralama Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi’ adlı çalışmada etkin sıralama yöntemi olan PROMETHEE ile işletmelerin tedarikçi seçimi problemi ele alınmış ve PROMETHEE yöntemi aracılığıyla alternatif tedarikçilerin öncelik sıralamaları belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda ise alternatif tedarikçiler için hem tam öncelikler hem de kısmi öncelikler belirlenerek karar verme süreçleri daha kapsamlı bir şekilde analiz edilip ortaya konulmuştur.

Kavşak kapasite performansları açısından Alçelik (2010) tarafından hazırlanan ‘Kent İçi Sinyalize Ve Dönel Kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması-Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi’ adlı çalışmadır. Yapılan bu çalışmada amaç kent içinde kavşak tipinin seçimi, tasarımı, dönel ve sinyalize kavşak kapasitelerinin kıyaslanmasıdır. Çalışma İstanbul ili Ümraniye ilçesinde bulunan Yukarı Dudullu Mahallesi ve Tepeüstü Mahallesinde sinyalize kavşak ve dönel kavşak bulunan karayolu koridorunu incelemiş ve benzetim programıyla gerçeğe uygun bir şekilde sinyalizasyonu hazırlanmıştır. Bu kavşaklar üzerinde analizler yaparak kavşak kapasiteleri karşılaştırılmış mevcut durum ve dönel kavşağın sinyalize kavşaklara olan etkisi incelenmiştir.

Bai vd. (2010) yaptıkları çalışmada deneysel trafik mühendisliği ve nümerik hesaplama yöntemlerini devre sürelerinin ortalama taşıt gecikmesi ve merkez adanın yarıçapı üzerindeki etkilerini sinyalize dönel kavşakta uygulayarak araştırıp hesaplamışlardır.

Behzadian vd. (2010) yaptığı çalışmalarında, PROMETHEE ile ilgili çok sayıda makaleyi incelemiş, ele almış ve PROMETHEE yönteminin uygulandığı alanlara göre sınıflandırılmıştır. Finans ve işletme yönetimi, imalat ve lojistik, ulaşım ve montaj, turizm, sağlık, enerji yönetimi, tarım, ilaç sanayi, kimya, eğitim, iş gücü planlama, tıp, ve sosyal alanlar itibarıyla sınıflandırılan çalışmalarda PROMETHEE’ nin diğer ÇKKV yöntemleriyle (AHS, ELECTRE, GAIA, TOPSIS vb.) bir arada da kullanıldıkları görülmektedir (Behzadian, 2008; Parreiras ve Vasconcelos, 2007).

Dağüstü (2010) tarafından yapılan çalışmada Webster yöntemi kullanılarak bir algoritma önermiştir. Yapılan algoritmanın değerlendirmesinde dokuz sinyalize kavşakta sinyal zamanlama yapılmış ve trafik simülasyonlardan biri olan VISSIM programında kavşaklar modellenip analize edilmiştir. Kavşaklar için belli kriterler belirlenerek karşılaştırma

yapılmış ve mevcut durum ile önerilen algoritmalar sonucunda başarılı olduğu belirlenmiştir.

Literatürde, PROMETHEE yöntemi ile bir çok çalışma yapılmıştır. PROMETHEE Yöntem, Kutay ve Tektüfekçi (2012) tarafından muhasebe kararların verilmesinde, Albadvi vd. (2007) tarafından hisse senedi satım ve alımında, Dağdeviren ve Yılmaz (2011) tarafından tedarikçi seçimlerinde; Özgüven (2012) tarafından çalışılan bir çok çeşitli alanlarda ve internet alışveriş sitelerinin değerlendirilmesinde kullanılmış, kullanılmaya devam edilmiştir.

Literatürde PROMETHEE yöntemi kullanılarak çeşitli sektörlerde birçok çalışma bulunmaktadır. Genç (2013)'in yapmış olduğu, 'PROMETHEE Yöntemi ve GAIA Düzlemi' adlı çalışmasında son yıllarda akademik çalışmalarında sık kullanılan PROMETHEE yöntemini tanıtarak yöntemin karar vericiye GAIA düzleminin görsel olarak sunduğu kazanım, avantajları vurgulamıştır.

Başka bir çalışmada Johnie vd. (2013), dönel kavşaklardaki ve sinyalize dönel kavşaklardaki hizmet düzeyini belirlemeyi amaç edinmişler. Yaptıkları çalışmada hizmet düzeyinin artırılabilmesi için dönel kavşak uygulaması yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Başka bir çalışmada Dalaff vd. (2013) toplu taşıma yönteminin daha iyi yapılması için bir karar destek sistemi geliştirmiş. Geliştirilen modelde kritik trafik durumlarını önceden belirlemek için, trafik durumunu sürekli izlemektedir. Yapılan bu çalışmada GEH istatistikleri kullanarak trafik simülasyon sonuçları analiz edilmiştir. Sonuç olarak tasarlanan modelin kullanışlı ve yapılacak olan araştırmalar için yararlı olduğu ortaya konulmuştur.

Gross vd. (2013) yaptıkları çalışmada ışıklı kavşakların dönel kavşak şeklinde tasarımının yapılması kavşak güvenliğinde meydana gelecek olan yenilikler üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan tasarım kapsamında, Amerika Birleşik Devletleri'nde 28 adet ışıklı kavşak dönel kavşağa dönüştürüldüğü belirlenmiş ve bu kavşaklar önce-sonra diye değerlendirilmiştir. Oluşturulan tasarım sonucunda, dönel kavşağa çevrilen ışıklı kavşağın kavşak güvenliği açısından daha faydalı olduğu sonucuna varılmıştır.

Çakıcı (2014)'nın ışıklı dönel kavşak tipi olan kontrollü kavşakların tasarım niteliği üzerine çalışma yapmış ve yapılan çalışmalar sonucu ışıklı dönel kavşakların performansını etkileyen farklı faktörler ve depolama alanı gerekliliklerini senaryolar altında değerlendirmiştir.

Sinyalize dönel kavşaklarla ilgili Çakıcı ve Murat (2014) tarafından yazılan 'Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi' adlı çalışmasıdır. Yapılmış olan bu çalışmada sinyalize dönel kavşaklar incelenmiştir. Modellenen 4 farklı senaryo için, ortalama taşıt gecikmesi performans kriteri, sola dönüş oranları ve farklı trafik hacimlere sahip 50 farklı durum dikkate alınarak VISSIM programı ile sonuçlar karşılaştırılıp analizler yapılmıştır. Analizlerde, Merlbourn-Avustralya' dan, geometrisi normlarına uygun kavşak olan sinyalize dönel kavşak örnek alınmış olup iki ve üç şeritten oluşan şerit sayılarının durumları incelenmiştir. Yapılmış olan incelemeler sonucunda ve trafik hacimlerinin artması ve kavşak yaklaşım kollarındaki sola dönüş hacimlerinin sonucunda ortalama taşıt gecikmelerinde ciddi seviyede arttığı görülmüştür. Tasarlanan örneklerde sinyal sürelerinin uygulaması ve faz planlarının ortalama taşıt gecikmelerinin ciddi bir oranda azaltıldığı görülmüştür.

Salamati vd. (2015) kavşak tipi çalışmalarında ışıklı kavşak ve dönel kavşakların yaratmış olduğu emisyonlar açısından kıyaslamalar yapmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar dönel kavşakların düşük talep/kapasite oranlarında ışıklı kavşaklara oranla daha az emisyon salınımı yaptığı belirlenmiştir. Fakat ışıklı kavşakların talep/kapasite oranının artması durumunda emisyon açısından performansının daha uygun olduğu ortaya konulmuştur.

Başka bir çalışmada Bayata (2016) Atatürk Üniversitesi Kampüsündeki en yoğun trafik hacmine sahip olan Teknokent Kavşağını incelemiştir. Yapılan ölçümler VISSIM programında modellenmiştir. Yapılan simülasyonlar değerleri ve gözlemlenen değerlerin tutarlılığın kontrol edilmesi için GEH formülü kullanılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucu başarılı olduğu görülmüş ve uygulanması için önerilmiştir. Yapılan uygulamalar sonucu kavşaktaki sağa dönüş adaları gecikmeleri ve kazaları minimize etmiştir.

Başka bir çalışmada Rahimov (2016), pinavia kavşak ile dönel kavşak tipi AIMSUN trafik simülasyon programı ile tasarlanarak ekonomik ve teknik açıdan karşılaştırma yapmıştır. Ekonomik açıdan karşılaştırma yapmak için seyahat süresi maliyeti, ilk yapım

maliyeti, güvenlik kriteri, yakıt tüketim maliyeti ve işletme maliyeti kriterleri alınmıştır. Teknik açıdan karşılaştırmak için ise; emisyon değerleri, seyahat süresi, trafik yoğunluğu, gecikme süresi ve yakıt tüketimi kriterleri alınmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu 20 yıllık bir kullanım süreci için pinavia tipi kavşakların dönel kavşağa oranla daha verimli olduğu belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada Erol ve Başkan (2016) tarafından hazırlanan ‘Şehiriçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisinin İncelenmesi ’ adlı çalışmadır. Bu çalışmanın amacı Denizli’de bulunan, Emniyet kavşağı ışıklı kavşak olarak faaliyet göstermekte ve çalışma alanı olarak seçilmektedir. Bu kavşak VISSIM programını kullanılarak modellenmiştir. Bu kavşağın mevcut durumu, hız parametreleri ve ortalama taşıt gecikmeleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. VISSIM programında dönel kavşak olarak tasarlanarak analizleri yapılmıştır ve kavşak kontrol türünün değiştirildiğinden kavşak performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca sola dönüş oranları, trafik hacmi ve ağır taşıt değerlerinin kademeli olarak artırılmasıyla analizler yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Güney (2017), tarafından Visual PROMETHEE ile ilgili hazırlanan ‘Visual PROMETHEE ile Yatırımcılar Açısından Sektörlerin Değerlendirilmesi’ adlı çalışmadır. Bu çalışmada Borsa İstanbul’ da yer alan çeşitli sektörlerin hangi sektörlerin gelecek vaat ettiği PROMETHEE yöntemiyle yatırımcılar için belirlemeye çalışmıştır. Uygulanan PROMETHEE yöntemine göre sektörlerin yatırımcılar açısından sıralanması elde edilen verilere göre; mali sektör, sanayi, hizmet ve teknoloji sektörü başarılı bir şekilde belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada Bennett ve Betts (2017), AIMSUN 8.2.0 sürümündeki varsayılan parametrelerin mezoskopik ve mikroskobik simülasyonlarında doygunluk akış hızlarını incelemiştir. Doygunluk akışının kalibrasyonunda başlangıç noktası parametreler belirlemiştir. Yapılan çalışmada doygunluk akışının araç reaksiyon süresi, dönüş hızı ve sıkışma yoğunluklarından etkilendiği belirlenmiştir.

Kavşak simülasyon değerlendirmesiyle ilgili Bayata ve Bayrak (2018) tarafından hazırlanan ‘Yeni Yapılması Planlanan Bir Kavşağın Mikro-Simülasyon ile Değerlendirilmesi’ adlı çalışmadır. Bu çalışmada Türkiye’de şehir merkezlerinde

meydana gelen trafik kazalarının yaklaşık %52'sinin kavşaklarda olduğunu göstererek yapılması düşünülen kavşağın mevcut ve yeni durumunu mikro-simülasyon programı ile modellemiş ve gecikme, kuyruk uzunluğu, seyahat süresi ile yakıt tüketimlerini karşılaştırmıştır. Mikro-simülasyon analiz sonuçlarına göre kuyruk uzunluklarında % 83, seyahat süresi ve gecikmelerde % 35, egzoz emisyonlarında ise yaklaşık % 23'e varan oranlarda azalma gözlemlenmiştir.

Demiriz (2019) tarafından yapılan çalışmada Erzincan kent merkezindeki ana arterler ve arterler üzerinde bulunan 14 adet kavşak AIMSUN programında mezoskopik olarak modellenmiştir. Tasarım kriterleri belirlenerek mevcut durum ve dört farklı senaryo için öneriler sunulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucu seyahat süresi %23, gecikmeler %47, kuyruk uzunlukları %48 NOx %11 ve CO₂ için %13' lere varan azalmalar hızda ise %30'lara varan artışlar elde edilmiştir.

Literatür incelendiğinde ışıklı ve dönel kavşakların performans analizleri ve kapasite açısından farklı yaklaşımlar altında bir çok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada ise gecikme süresi, yoğunluk, yakıt tüketimi, CO₂, NOx, PM, VOC, hız, duraklama süresi, seyahat süresi ve maliyet tasarım kriterleri belirlenerek kavşaktan geçen toplam araç sayısı gibi etkenleri dikkate alarak dönel ve ışıklı kavşak performans analizleri PROMETHEE yöntemiyle değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma kapsamında, kavşak tiplerinin belirlenmesi ve optimum bir şekilde kavşak düzenlenmesinin yapılması amaçlanmaktadır.

3. KURAMSAL TEMELLER

Araştırmada sık kullanılan terim ve kavramlar: Trafik simülasyonu, kavşak performans analizi, çok kriterli karar verme yöntemi ve Visual PROMETHEE yöntemidir.

3.1 Eşdüzey Kavşaklar

Karayolu üzerindeki ulaşım ağının altyapısını ayrı yönlerde bulunan yollar ve bu yollar üzerinde hareket eden trafik akımları oluşturmaktadır. Kavşak, ayrı yönden gelen trafik akımlarının ortak kullanmak zorunda kaldıkları yol alanlarına denir. Trafik akımlarının kesişmelerini önlemek amacıyla ortak kullanılan bu alanlar aynı düzeyde oluşturulan kavşağa eşdüzey kavşak, farklı düzeylerde oluşturulan kavşaklara ise katlı kavşak denilmektedir.

Ortak kullanım özellikleri sebebiyle kavşak noktaları özellikle şehir içi ulaşımında gidiş-geliş trafiğinin yavaşlama ve durmalarla kaza olasılığının en yoğun olduğu, en çok gecikmeye uğradığı ve güvenlik düzeyinin en aza indiği bölgelerdir (Yayla, 2004; Gedizlioğlu, 1979). Hemen her ülkede verilen istatistiklere göre, kent içi ve kırsal yollarda birden fazla yolun kesişmesi ya da birleşmesi ile oluşan trafik kazalarının %40 - %60'ı eş düzey kavşaklarda ortaya çıkmaktadır. Özellikle kentiçi ulaşımında, yine bu tip kavşaklardaki duraklamalardan ileri gelen gecikmelerin %70'inden fazla olduğu gözlemlenmiştir (Yayla, 2004).

Kavşaklar karayolunun en önemli unsurlarından biridir. Bunun nedeni ise, güvenlik, hız, kapasite, yolun performansı ve işletme maliyeti gibi hususların kavşakların tasarımına bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Kavşaklar iki ya da daha çok karayolundaki kesişen veya doğrusal trafik akışlarını, bu yollar arasındaki dönüş davranışlarını kapsamaktadır. Kavşaklardaki sürücülerin davranışı kavşak tipine bağlı olarak, trafik kontrolü ve çeşitli geometrik tasarımlar ile sağlanmaktadır.

3.1.1 Kavşak düzenlemelerinin amaçları

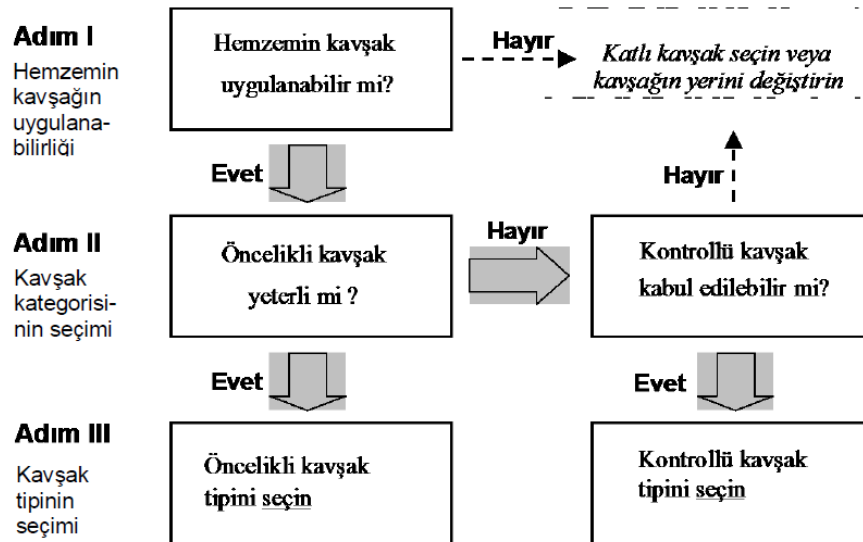
Kavşaklar, ana yol ve tali yollardaki kesişen trafik akışlarının;

- Güvenliğin artırılması

- Devamlılığın sağlanması
- Hız denetiminin kontrol altında olması
- Yeterli hizmet düzeylerinin sağlanması
- Durmalar ve yavaşlamalar nedenleriyle oluşan gecikmelerin azaltılması
- Taşıt işletme maliyetlerinin azaltılması

amacıyla, trafiğin güvenliği, arazinin şartları, ve trafiğin hacmi dikkate alınarak, eşdüzey veya farklı düzeylerde tasarlanmaktadır.

Genellikle, kavşak tipi seçimi inşaat maliyeti, kaza maliyeti, çevre maliyeti ve seyahat süresi maliyetinin göz önüne alındığından bir sosyoekonomik bakış açısından yapılması gerekmektedir. Ayrıca, kavşak tipi seçiminde bazı durumlarda diğer benzer kavşaklarda elde edilen deneyimler göz önünden bulundurulabilir. Bundan dolayı bütün olası kavşak tiplerini göz önünde bulundurarak sosyoekonomik hesaplamalar yapmak her zaman gerekli olmayabilir. Asıl kriterin trafik güvenliği olması tavsiye edilir. Dolayısıyla ilk olarak güvenlik kontrol edilmelidir. Daha sonra, diğer faktörlerin kabul edilebilir olup olmadıklarına bakılmalıdır. Kavşak seçim modeli Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kavşak seçim modeli

3.2 Eşdüzey Kavşak Türleri

Kavşağı oluşturan yolların sayısı ile bu yolların birleşme şekillerine, başka bir ifadeyle kavşaklardaki denetim tarzına, ayrıca geometrik durumuna göre eşdüzey kavşaklar değişik türlere ayrılmaktadır (Tanyel, 2001).

Denetim şekillerine bağlı olarak eşdüzey kavşaklar üç ana gruba ayrılmaktadır:

- 1- Denetimli eşdüzey kavşaklar
- 2- Denetimsiz eşdüzey kavşaklar
- 3- Dönel Kavşaklar

3.2.1 Denetimli eşdüzey (sinyalize) kavşaklar

Sinyalize denetimli kavşaklar kavşaktan hangi trafik akımının hangi yöne hangi sıraya göre geçileceğinin net ve açık bir şekilde, ışıklı özel donanımlarla gösterildiği kavşaklara denir. Bu tür denetimli (sinyalize) kavşaklar, trafik rağbetin fazla yoğun olduğu yollarda kullanılmaktadır. Böyle kavşaklarda düzenli bir akım elde edilebildiğinden kapasiteyle beraber güvenlikte artmaktadır. Trafik akımında düzenin sağlanmasıyla birlikte denetimli eşdüzey kavşaklarda karşı karşıya kalan veya yandan çarpma gibi trafik kazalarında büyük oranda azalma görülmektedir. Genellikle arkadan çarpma trafik kazaları meydana gelmektedir fakat oluşan trafik kazalarında taşıtlar arasındaki hız farkı az olduğu için ölüm riski daha düşük ve meydana gelen zarar daha düşük olmaktadır (Gedizlioğlu, 2002; Yayla, 2004).

Denetimli eşdüzey kavşaklarda taşıt davranışları ışıklı işaret tesisleri veya trafik polisiyle yönetilmektedir. Üç başlık altında denetim çeşitleri incelenebilir.

El ile kumanda: Bir yetkili tarafından veya trafik polisiyle idare edilen denetim sistemidir.

Otomatik ışıklı kumanda: Trafik sayımlarında kullanılan sayaçlara benze kavşağa yaklaşma yönünde belli bir uzaklığa yerleştirilen dedektörler aracılığıyla kumanda edilmektedir. Seyir halindeki taşıt kavşağa gelirken, tekerleğin dedektöre yapacağı çökme veya basınç etkisi bir kondansatörü şarj eder ve seyir halindeki araç, taşıtın hızına göre

kavşağı geçme süresince o yöndeki yeşil ışığı açık tutmaktadır. Bununla birlikte, diğer kollardaki taşıtların oldukça fazla beklememeleri için yeşil ışık süresi sınırlı kalmaktadır.

Zamana bağlı ışıkla kumanda: Denetimli eşdüzey kavşaklarda sık kullanılan denetim şekli olmakla birlikte, kırmızı, yeşil ve sarı sürelerin taşıt hacmi değerlerine bağlı olarak ayarlanmasıyla gerçekleştirilmektedir (Kutlu, 1991).

Işıklı işaret tesisleri sinyalizasyon sistemleri olarak da adlandırılan tesislerinin amacı, kavşak noktalarında kontrolü sağlayarak hedeflenen kapasiteyi elde etmek ve trafik kaza olasılığını azaltmak amacıyla trafik akımlarının birbirini takiben geçmeleri veya birbirleriyle kesişmeden geçmelerini minimum gecikme ile sağlamaktadır (Murat, 1996).

Kavşaklarda kapasite, konfor ve güven gereksinimlerini sağlamak trafik akımlarını düzenlemek amacıyla kurulmalarına rağmen denetimli (sinyalize) kavşakların bazı olumsuz yanları da bulunabilmektedir.

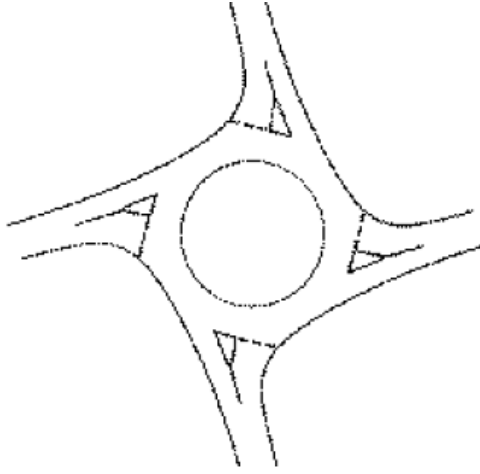
Denetimli (sinyalize) kavşakların bazı olumsuz yanları:

- Sabit yatırım maliyeti
- Bakım, onarım ve işletme masrafları
- Anayolda hareket halinde olan araçların gereksiz yere bekletilip durdurulması sonucu zaman, amortisman ve enerji masrafları
- Çevre kirliliğinin artması (Murat, 1996)
- Seyahat konforunun azalması

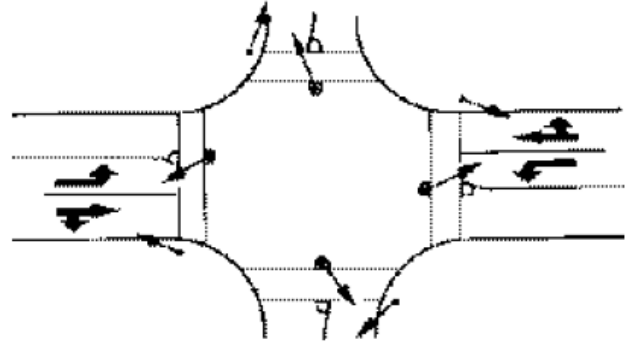
3.2.1.1 Sinyalize kavşak tipinin seçimi

Sinyalize kavşak tipleri

Önerilen kontrollü kavşak tipleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te gösterilmiştir:



Şekil 3.2. Dönel kavşak



Şekil 3.3. Sinyalize kavşak

Yapılan incelemeler sonucu dönel kavşakların sinyalize kavşaklardan daha güvenilir olduğu belirlenmiştir.

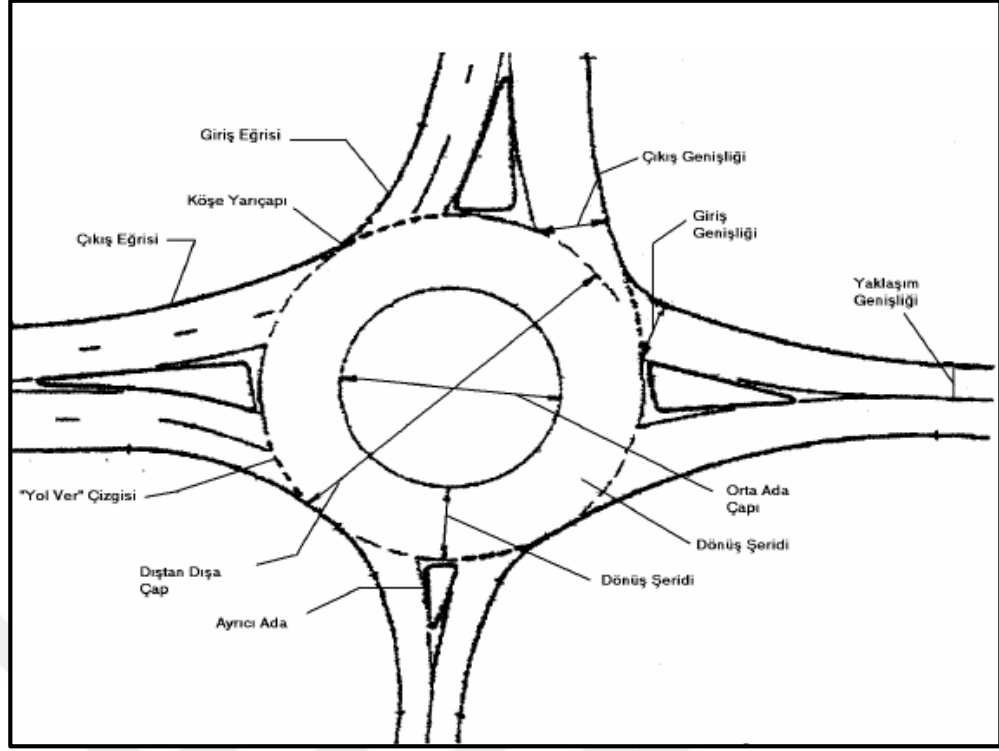
Aşağıdaki durumlar söz konusu olmadığı sürece, güvenlik nedenlerinden dolayı dönel kavşak seçilmelidir:

- Planlama şartlarının sinyalize kavşakların seçimini zorunlu kıldığı durumlar.
- Sinyalize kavşağın kullanılmasının sosyoekonomik yönünden daha avantajlı olduğu durumlar.

3.2.3 Dönel kavşaklar

Merkezi bir trafik adası etrafında trafiğin saat yönünde (eğer trafik soldan akıyor ise) hareket ettiği veya saat yönünün tersinde (trafik sağdan akıyor ise) hareket ettiği, yönlendirilmiş kavşaklara dönel kavşak denir (Janssens, 1994).

Dönel kavşakların kavşak performansı üzerinde geometrik özellikleri önemli bir etken olmaktadır. Kavşağın iyi tasarlanması durumunda, güvenliğinde ve kapasitesinde belirgin bir artış görülmektedir. Şekil 3.4 dönel kavşakların tasarlanmasında dikkate alınacak geometrik elemanlardan bazıları belirtilmiştir.



Şekil 3.4. Dönel kavşaklarda dikkate alınan geometrik elemanlar (Taekratok, 1998)

Dönel kavşakların en belirgin ve önemli özelliği, kavşağa girişte araçların durmaya veya yavaşlamaya mecbur edilmeleri ve kavşakta dönüş hareketi yapan ana akım içinde buldukları bir aralıkta giriş yapabilmeleridir. Bu amaçla, kavşak girişlerinde sürücülerin rahatça görebilecekleri yerlere “yol-ver” tabelalarının konulması ve kaplama üzerine de bekleme hattını gösteren çizgilerin çizilmesi büyük önem arz etmektedir (Tanyel, 2001).

Dönel kavşaklar elips adalı ya da dairesel sinyalizasyonlu dönel kavşaklar kol sayısına göre,

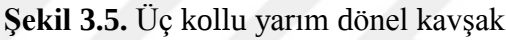
- Yarım dönel (üç kollu kavşaklar)
- Mini dönel (üç veya daha fazla kollu kavşaklar)
- Kontrolsüz kavşak (üç veya daha fazla kollu kavşaklar)

olarak gruplara ayrılırlar. Kontrolsüz kavşakların ve mini dönel kavşakların dörtten fazla kollu tasarımları istenilmemektedir. Ada yarıçapı mini dönel kavşaklarda en az 8m, kontrolsüz kavşaklarda ise minimum 20-25m olarak tasarlanmalıdır. Dörtten fazla girişi olan kontrolsüz kavşakların yarıçapı 60m’ye kadar tasarlanabilir. Üç kollu kavşaklarda

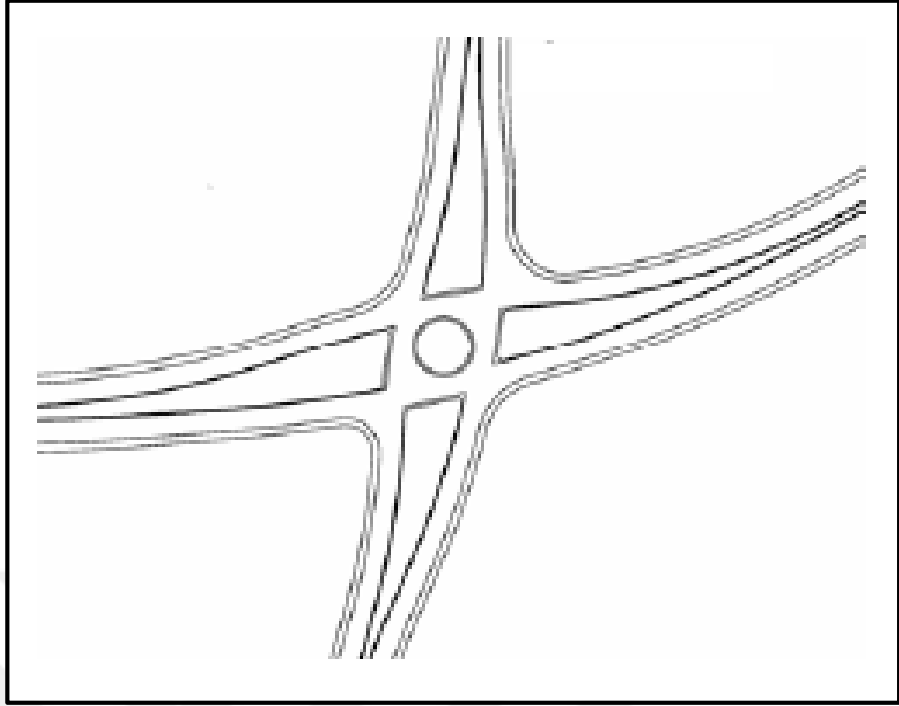


Şekil 3.5. Üç kollu yarım dönel kavşak

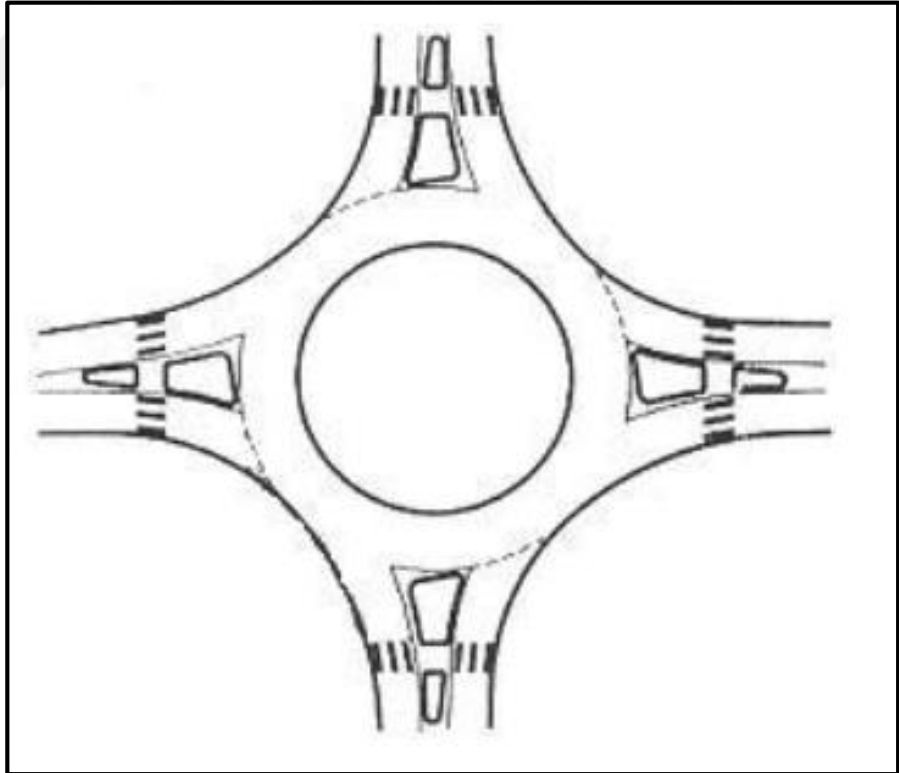
Dört kollu kavşaklarda mini dönel anayol, tali yol ve dönel ada trafiği birbirinden farklı olduğu durumlarda elips , birbirine yakın olduğu durumlarda ise mini dönel kavşak olarak tasarlanmalıdır. Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



16



Şekil 3.7. Dört kollu mini dönel kavşak



Şekil 3.8. Kontrolsüz kavşak

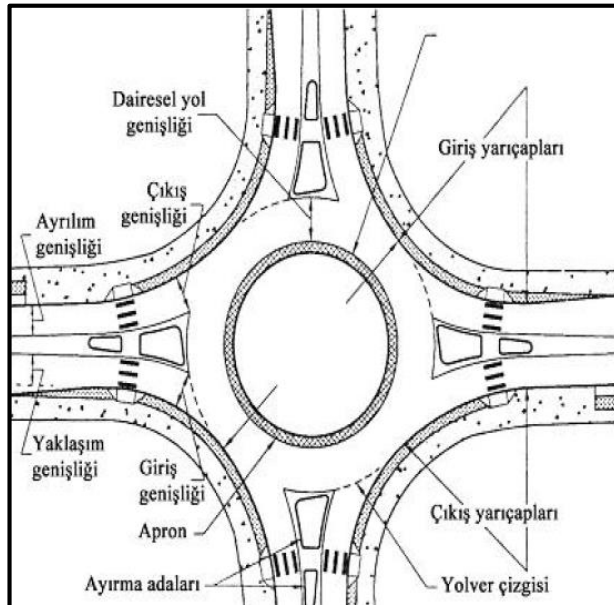
3.2.2.2 Kontrolsüz kavşak tasarımı

Kontrolsüz kavşak en az üç koldan oluşan kavşaklardır. Şekil 3.9’da görüldüğü üzere, kontrolsüz kavşaklarda taşıtların kavşak içindeki hızları ve kavşağa giriş-çıkışında önemli oranda azaltılabildiğinden kavşak kapasitesi azalırken aynı zamanda trafik güvenliği de artmaktadır.

Kavşağa dönüş uzunlukları ve taşıt işletme hızının düşmesi, giriş-çıkış çapının azalması, kavşak içerisinde bulunan taşıtların park etmesi, durmasının kısıtlanması ve yaya hareketlerinin kontrollü hale getirilmesi seyahat güvenliğini artırır. Bundan dolayı transit sol-sağ ve U dönüş trafik hacmi, yaya trafiği fazla ve trafik hacmi az olan kavşaklarda tercih edilmektedir.

Bu tip kavşakların tasarımı ve işletmesi iki temel prensibe dayanmaktadır:

Kavşak kollarına giren taşıtların kontrolsüz ada çevresinde seyir halinde bulunan taşıtlara yol vermesidir. Kontrolsüz kavşaklarda araçlar seyir halindeyken kavşağa girmeden önce yavaşlaması istenildiğinden dolayı yol bölümü bir kurp ile kavşağa bağlanmaktadır. Bu uygulamada, trafik kapasitesini artırmak ve serbest trafik akımını sağlamak için “Yol Ver” tabelası kullanılır. Böyle kavşakların tasarımı ve uygulanmasında, örülme hareketleri kapasite kriteri veya tasarım olarak dikkate alınmaz.



Şekil 3.9. Kontrolsüz kavşak elemanları

3.2.2.2 Dönel kavşakların özellikleri

Günümüzde Avustralya, İngiltere vb. ülkelerde trafiğin soldan aktığı kapasite ve yol güvenliği bakımından yeni tip dönel kavşaklar yapılmaktadır. Sinyalizasyonlu kavşaklara oranla yeni tip dönel kavşakların tercih edilme nedeni;

- Kavşaklardan geçişte bekleminin azalması;
- Zorunlu olarak yapılan yavaşlamalar nedeniyle oluşan kazalarda fark edilir azalma;
- Yaya geçişi olanaklarının sağlanması;
- Işıklı sinyalizasyonlu kavşaklara gereksinim duyulmaması;
- Bakım, yapım ve kontrol masraflarının büyük oranda azalması;

3.2.3.3 Dönel kavşakların uygulanmasını gerektiren şartlar

Dönel kavşak proje ve uygulamaları aşağıdaki kriterlerin bulunduğu kavşaklarda uygun sonuç vermektedir.

- Anayollardaki hızların düşürülmesinde;
- İş merkezi olmayan yerleşim bölgelerinde;
- Kazalar açısından ‘kara nokta’ olarak belirlenmiş bölgelerde;
- Kavşağa dörtten fazla kolun bağlanması durumunda;
- Mevsimlik veya günlük trafikteki hacmin yoğun olarak görüldüğü kavşaklarda;
- Sağa ya da sola dönüşlerin fazla olduğu yerlerde (örnek olarak çevre yolu bağlantıların);
- Çevre düzenlemelerinde.
- Anayol üzerinde araç hacminin 5000 araç/saat’ i geçtiği kavşaklarda;

Bazı dönel kavşak uygulamaları aşağıda belirtilen durumlarda uygun olmayabilir:

- Yüksek eğimli yerlerde;

- İki şeritli girişlerde yaya trafiğinin fazla sayıda olduğu bölgelerde;
- Tali yol ve ana yol arasında trafik hacmi yoğunluğu bakımından büyük bir çarpıklık var ise;
- Dönel kavşağa yakın sinyalizasyon kavşak bulunması;
- Yeşil dalga ile tasarlanıp, projesi çizilen hatlar üzerinde;
- Yüksek sayıda toplu taşıma araçları ve ağır araçlarının bulunduğu bölgelerde;
- Dönel kavşak içerisinde park etmeye yönelten alışveriş merkezleri ya da dükkanların bulunması.



4. MATERYAL VE YÖNTEM

Gelişen teknolojiden yararlanarak araç türlerine göre araç sayımları yapılmıştır. Elde edilen veriler Excel, AIMSUN ve Visual PROMETHEE programları kullanılarak kavşak performans analizleri yapılmıştır.

4.1 Trafik Simülasyonu

Trafik simülasyonu var olan olguların sanal ortama aktarılmasıdır. Trafik simülasyonu verinin kalitesine bağlı olarak çeşitli çözümler üretme yeteneğine sahiptir. Simülasyon istatistiksel ihtiyacı belirlemek ve tarif etmek için kullanılmaktadır. Trafik akım problemleriyle ilgili maliyetler tanımlanabilmektedir. Trafik simülasyonları sayesinde gecikme süreleri, kuyruk uzunlukları, yakıt tüketimleri, yoğunluk, seyahat süresi ve emisyon değerleri modellenerek hesaplanabilmektedir. Yapılan modelleme ve hesaplamaların doğru karar verilebilirliği ve uygulanabilirliği simülasyonlar sayesinde artmakta ve zaman kaybı yaşanmamaktadır. Trafik simülasyonu bunlara ek olarak geleneksel modelleme yaklaşımı, ağın durumu, varış-çıkış taleplerini sunmaktadır.

Trafik simülasyon modelleri trafiğin akım büyüklük seviyeleri göz önünde bulundurularak analitik, mezoskopik, makroskopik ve mikroskobik olarak dört kategoriye ayrılmaktadır. Analitik modeller; doğrudan trafik akım teorisine dayanarak sürücü davranışı üzerine yani araç takip aralığı, şerit değiştirme, araç takibi veya dağılımı üzerine yapılmış matematiksel denklemlerden yararlanarak analitik modeller bazen mikroskobik veya matematiksel modeller olarak ta tanımlanır. Makroskopik modeller sürecin elemanlarını gruplar halinde değerlendirmektedir. Tek bir araç yerine tüm sistemin davranışını incelemektedir. Mezoskopik modeller ise mikroskobik modeller gibi tekil araçların davranışlarını izlerler ama makroskopik akım eşitliklerini kullanarak diğer davranışları da modellemektedir. Son olarak yapmış olduğumuz çalışmada mikroskobik model ise sürecin tekil elemanlarını ele alarak yeni yol üzerindeki taşıtların hareketlerinin tanımlanmasıdır. Mikroskopik modeller her bir aracın davranışını ayrı ayrı ele almakta ve daha karmaşık modellerdir.

Günümüzde birçok trafik simülasyon programları vardır. Bunlardan bazıları; SIDRA, PARAMICS, SUMO, AVENUE, DRACULA, TRANSIMS, VISSIM ve AIMSUN

programlarıdır. AIMSUN, şehirlerarası kentsel trafik ağlarını simüle etmek için geliştirilmiştir. AIMSUN araç takip modeline dayanmaktadır. Bu nedenle AIMSUN, çarpışmayı önleme aracını takip eden bir modele dayanmaktadır. Trafik giriş akışları ve varış noktası, dönüş hareketleri matrisleri ve rota seçim modelleri ile modellenebildiğinden bu çalışmada AIMSUN programı kullanılacaktır. AIMSUN programı ulaşım ağları üzerine geliştirilmiş etkileşimli bir simülatördür. AIMSUN önceden mikroskobik simülasyon modeline sahip iken şu anda makroskopik, mezoskopik ve mikroskobik modelleri içermektedir. Mikroskobik model küçük boyutlu, mezoskopik orta boyutlu, makroskopik ise büyük boyutlardaki ağlarda kullanılan simülasyon modelidir (Demiriz A. 2019).

4.2 GEH Analizi

1970 yıllarında planlamacı Geoffrey E. Harvers GEH formülünü oluşturmuştur. Oluşturulan GEH formülü trafik tahmini ve trafik modellemesinde kullanılmıştır. GEH formülü, oluşturulan bir modelin değerlerini ve gözlemlenen değerleri kıyaslayarak modelin uygunluğunu belirtir.

Eş. 4.1'deki formül GEH analizinde kullanılmaktadır.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(K_j - M_j)^2}{K_j + M_j}} \quad (4.1)$$

GEH formülünde;

K_j : Gözlemlenen değer

M_j : Simülasyon modelinde çıkan değer

Formülden çıkan sonucun GEH değerinin 5'in atında olması durumunda yapılmış olan modelin uygun olduğunu, 5'in üzerinde olması durumunda yapılmış olan modelin uygun olmadığı belirtilmektedir. (Feldman 2012; Shankar vd. 2013; Bayata ve Bayrak 2018). Yapılan çalışmada toplam gözlenen araç değerleri ve toplam simülasyon değerleri GEH analizine tabi tutulduğundan değer 3'ten küçük olması istenmektedir.

4.3 Webster Yöntemi

İngiliz yöntemi olan sinyalize kavşaklarda sinyallerin periyodunu ve faz sürelerini düzenlemek için Webster yöntemi kullanılır. Sinyalize olan kavşaklarda trafik akımı sinyaller ile kesintiye uğramakta olduğu için kesintisiz akımdan bahsedilmemektedir. Webster (İngiliz) yöntemi bu nedenle kesintili trafik akımına dayanan bir yaklaşım belirlemektedir. Bu yöntemle göre sinyalizasyonlu bir kavşağın kapasitesi, yeşil sürede geçebilecek taşıt sayısına bağlıdır (Tunç 2003, Çetinkaya 2008).

Sinyal sürelerinin hesaplanması üzerine uygun yöntem ve tekniklerin geliştirilmesi Webster'in orijinal çalışmalarıyla başlamaktadır (Webster, 1958; Webster ve Cobbe, 1966). Yapılan çalışmalar sonucu performans geliştirme amacına yönelik ve sinyal sürelerinin hesaplanması için kullanılan analitik yöntemler geliştirilmeye devam edilmiştir.

- Doyum akım kavşaktaki bir yön için sürekli yeşil ışığın yandığı varsayılırsa her bir şeritten geçebilecek maksimum trafik akımına denir. Doyum akımı Eş. 4.2'deki formül ile hesaplanmaktadır.

$$s = s_o N f_i \quad (4.2)$$

s: Mevcut Durumda kavşak doyum akımı

s_o : İdeal şartlarda kavşak doyum akımı

N: Şerit sayısı

f_i : Düzeltme faktörü

- Kavşak kapasitesi Eş. 4.3'teki formül ile hesaplanmaktadır.

$$K = s \left(\frac{g}{C} \right) \quad (4.3)$$

K: Kavşak kapasitesi

s: Doyum akımı

g: Yeşil süre

C: Periyod süresi

- Değişim fasılası tayini için kullanılması gereken formül Eş. 4.4' te verilmiştir.

$$Y_i = t + \frac{0,3H}{2a} + \frac{W+1}{H} \quad (4.4)$$

Y_i : i yönündeki boşaltım fasılası (saniye)

t : İntikal- reaksiyon süresi (saniye)

H : Araç hızı (metre/saniye)

a : Fren ivmesi ($4,6 \text{ m/sn}^2$ olarak alınması uygundur)

W : Hareket uzunluğu (metre)

l : Araç uzunluğu (metre cinsindendir ve 6 metre alınması uygundur)

- Webster yönteminde etkin kullanım süreleri dikkate alındığından efektif yeşil süre kullanılmaktadır. Efektif yeşil süre Eş. 4.5'te verilmiştir.

$$g_i = G_i + Y_i - t_L = G_i + (y + r_h) - t_L \quad (4.5)$$

g_i : i fazı için efektif yeşil süre (saniye)

G_i : i fazında fiili yeşil süre (saniye)

Y_i : Sarı+tüm kırmızı süre (saniye)

t_L : Toplam kayıp süre (saniye)

y : Sarı süre (saniye)

r_h : Hep kırmızı süre (saniye)

- Minimum gecikme dikkate alınarak optimum periyot süresi Eş. 4.6'daki formül ile hesaplanmaktadır.

$$C_o = \frac{1,5L+5}{1-\sum x_i} = \frac{1,5(nl+r_h)+5}{1-\sum x_i} \quad (4.6)$$

C_o : Optimum periyod (saniye)

L : Kayıp süre (saniye)

n : Faz sayısı

l : Kalkıştaki kayıp süre (saniye)

r_h : Tüm kırmızı süre (genellikle 1 veya 2 saniye)

x_i : Tasarım akımının i 'inci fazdaki doyum akımına oranı

- Otomobil eşdeğer faktörü kullanılarak trafik kompozisyonu içerisindeki araçlar otomobil hacmine dönüştürülür. Otomobil eşdeğer faktörü Tablo 4.1 'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Otomobil Eşdeğer Faktörü

Vasıta türleri ve dönüşler	Otomobil eşdeğer faktörü
Otomobil	1
Ağır vasıta	1,5
Sola dönüş yapan vasıtalar	1,6
Sağa dönüş yapan vasıtalar	1 ile 1,4 arasında

- Tasarım saatlik hacim, zirve saat içindeki maksimum akımı temsil etmektedir. Tablo 4.2'deki verilen çizelge ve formül yardımı ile hesaplanır.

Tablo 4.2. Şerit Kullanım Faktörü

Şeritteki trafik akım yönü	Şerit sayısı	Şeridin kullanım yüzde sınırları	Şerit kullanım faktörü (U)
Sapmayan veya paylaşılan	1	100	1,00
	2	52,5	1,05
	≥ 3	36,7	1,10
Özel sol dönüş şeridi	1	100	1,00
	≥ 2	51,5	1,03
Özel sağ dönüş şeridi	1	100	1,00
	≥ 2	56,5	1,13

$$V = TSHxU = \frac{Zirve\ Saat\ Hacmi}{ZSH} xU \quad (4.7)$$

V: Şerit sayısına göre düzeltilmiş talep akımı (araç/saat)

U: Şerit kullanım faktörü (Tunç 2003)

4.4 PROMETHEE Yöntemi

PROMETHEE yöntemi (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations), Jean Pierre Brans tarafından Kanada’ daki Laval Üniversitesi’nde gerçekleşmiş bir konferansta 1982 yılında önerilen çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi olarak bilinir. PROMETHEE çok kriterli analiz için birçok yöntemle oranla kavram ve uygulamada oldukça basit bir sıralama yöntemidir. Sınırlı sayıda seçeneklerinin, birbirleriyle çelişebilen kriterler PROMETHEE yönteminde dikkate alınarak sıralanması için iyi bir şekilde tasarlanmıştır. (Mareschal ve Brans, 1992; Climaco, 1997; Macharis vd. 2004; De Smet vd, 2009;).

PROMETHEE yöntemde öncelikli olarak PROMETHEE I (kısmi sıralama), PROMETHEE II (tam sıralama) olmak üzere iki farklı kuram ile sunulmuştur (Şenkayas ve Hekimoğlu, 2013; Yıldırım, 2014). Birkaç yıl sonra ise PROMETHEE yönteminin aralıkları dikkate alarak sıralama (PROMETHEE III), sürekli durumlar için (PROMETHEE IV), PROMETHEE V yani insan beyninin temsilcisi olarak bilinen diğer sürümleri Mareschal ve Brans tarafından ortaya konulmuştur (Yıldırım, 2014). Ayrıca görsel bir modül olan GAIA ile grafiksel olarak etkin bir gösterim sağlamaktadır. Matematiksel özellikleri ve kolay kullanımı sebebiyle PROMETHEE yönteminin çok yaygın olarak başarılı bir şekilde uygulandığı görülmüştür. (Ballı 2007).

Karar seçeneklerinin sıralamasını belirlemek amacıyla PROMETHEE yöntemi değerlendirme faktörlerine göre kıyaslamalar yapılır. PROMETHEE yöntemini diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden ayıran özelliği, her bir değerlendirme faktörünün kendi iç ilişkisini ve değerlendirme faktörlerinin birbiri ile olan kıyaslamalarını gösteren

önem derecelerini de dikkate almasıdır. Veri kümelerinin dağılımıyla Değerlendirme faktörünün iç ilişkisi ortaya konulur, bu yöntemde bu gereçe altı farklı dağılım uygulanmaktadır. (Şenkayas ve Hekimoğlu, 2013).

PROMETHEE yöntemi, literatürdeki mevcut yöntemlerinin uygulanmasında ortaya çıkan zorluklardan kaynaklı geliştirilmiştir. (Eraslan, ve Dağdeviren, 2008). Bulunan yöntemler arasında PROMETHEE yöntemi diğer çok kriterli karar verme yöntemlerine göre avantajı, karar vericiye değerlendirme açısından bir tercihi yapabilmesi veya değerlendirme faktörünün kendi belirlemiş olduğu değerlerle sınırlandırabilmesine olanak sağlamasıdır. Bunu tercih fonksiyonlarını kullanarak yerine getirmektedir (Uyar, 2012).

PROMETHEE yönteminin ilk aşaması değerlendirme tablosunun oluşturmaktır. Oluşturulan bu değerlendirme tablosunda karar mekanizmaları farklı kriterlere göre değerlendirilir. PROMETHEE' yönteminin uygulanmasında iki farklı bilgiye ihtiyaç vardır. Bunlar (Albadvi vd., 2007):

- Belirlenen kriterlerin göreceli önemleri,
- Karar vericinin fonksiyon tercihleri. Bu işlem her bir farklı kritere göre karar seçeneklerinin katkısının karşılaştırılması yapılması için gereklidir.

PROMETHEE yönteminin uygulanmasında kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için herhangi bir uygulama bulunmamaktadır. Uygulamada kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için AHS, SWARA ve DEMATEL vb. yöntemler kullanılabilmekte veya puanlama uygulanmaktadır. Kriterlerin ağırlıkları toplamı 1 (bir) olmalıdır. Verilen ağırlık değerleri sıfır ile bir [0,1] arasında olmalıdır. Verilen bu bir kriterin ağırlığı ne kadar büyük olursa belirlenen kriterin önemi de, o derece yüksek olur. Her bir kriterin ağırlığı w_i olarak gösterilir. Eş. 4.8'de kriter ağırlık toplamlarının 1 olduğu görülmektedir.

$$\sum_{j=1}^k w_j = 1$$

(4.8)

PROMETHEE yöntemi uygulanırken göz önünde bulundurulması gereken birkaç nokta;

- Öncelik ilişkileri kurulurken, kriterlerin değerleri arasındaki farklarda uyumsuzluk söz konusu değildir.
- Karar verici iki alternatif arasındaki önceliğini tüm kriterler bakımından ifade etmelidir.
- Tüm kriterlere verilen değerler anlamlı olmak zorundadır.

4.4.1 PROMETHEE işlem adımları

PROMETHEE yöntemi başlangıçtan itibaren sonuç aşamasına kadar 7 adımdan oluşmaktadır. Bu adımların sıralaması ve içerdikleri formüller aşağıda verilmiştir (Şenkayas ve Hekimoğlu, 2013; Dağdeviren ve Eraslan, 2008).

Adım 1: Kriterler ve alternatifler içi veri matrisi oluşturulur. Birinci aşamada karar seçenekleri ve değerlendirme kriterleri belirlenir. İkinci aşamada kriter ağırlıkları tayin edilir. Son olarak ta karar seçeneklerinin belirlenen kriterlere göre performansları tayin edilir.

Bu işlemler sonucunda kriter ağırlıkları ($w=w_1, w_2, \dots, w_k$) ile k kritere ($c=f_1, f_2, \dots, f_k$) göre değerlendirilen karar seçenekleri ($s=A, B, C, \dots$) Tablo 4.3' te gösterilen veri matrisi formatında oluşmaktadır.

Tablo 4.3. Veri Matrisi

		Kriterler					
		$f1$	$f2$	$f3$	...	f_k	
Karar Alternatifleri	A	$f1(A)$	$f1(A)$	$f1(A)$	...	$f1(A)$	
	B	$f1(B)$	$f1(B)$	$f1(B)$	...	$f1(B)$	
	C	$f1(C)$	$f1(C)$	$f1(C)$	...	$f1(C)$	
	...	...	...	...	...	...	
Kriter Ağırlıkları		Wi	W1	W2	W3	...	Wk

Adım 2: İkinci adım kriterler için tercih fonksiyonlarının belirlenmesidir. Önceden belirlenmiş olan tercih fonksiyonları değerlendirme kriterlerinin iç ilişkisini ve yapısını göstermek için kullanılmaktadır. PROMETHEE yöntemi, karar seçeneklerinin temelinde ve bağımsız olarak, tamamında veya her bir değerlendirme kriteri için değişmeyen bir fayda belirlememektedir. Bunun yerine karar seçeneklerinin değerlendirme kriterlerine göre ikili karşılaştırmalarla kıyaslama yapmaktadır (Dağdeviren ve Eraslan, 2008:70). PROMETHEE yöntemi uygulamasında altı tercih fonksiyonu kullanılmaktadır ve bu kullanılacak altı farklı tercih fonksiyonu Tablo 4.4’te belirtilmiştir.

Tablo 4.4’te verilen değişkenler ve açıklamaları:

q: Farksızlık değeri. q değeri, değerlendirme faktörlerinin seçeneklerine göre önemsiz görülebilecek en büyük fark değeridir.

p: Yeterli görülebilecek en küçük farktır.

Karar verici kritere ait verilerin dağılımını temel alarak her bir kriteri belirler. p ile q faktörleri karar verici tarafından her kritere göre ayrı ayrı belirlenmektedir (Yıldırım, 2014).

d: kritere göre iki karar seçeneği arasındaki fark olmaktadır.

Tercih fonksiyonu belirlenirken aşağıdaki hususlar dikkate alınır (Uyar, 2012).

Olağan Tercih Fonksiyonu (1. Tip) : Bir kriter için karar vericinin herhangi bir tercihi yoksa, bu durumda seçeceği tercih olağan tip tercih fonksiyonudur.

U Tercih Fonksiyonu (2. Tip) : Bir kriter için karar verici kendi belirlediği değerden daha çok değere sahip olan alternatifleri seçmek istiyorsa, bu durumda seçeceği tercih U tipi tercih fonksiyonudur.

V Tercih Fonksiyonu (3. Tip) : Eğer bir kriter için karar verici kendi belirlediği değerden daha fazla değere sahip olan alternatifleri seçmek istiyor ve belirlediği bu değer altındaki alternatifleri göz ardı etmek istemiyorsa, bu durumda o kriter için kullanacağı tercih V tipi tercih fonksiyonudur.

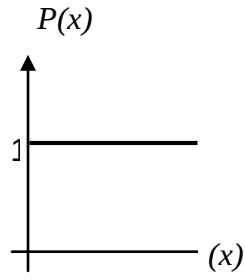
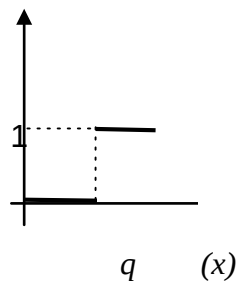
Seviyeli Tercih Fonksiyonu (4. Tip) : Bir kriter için karar verici bir değer aralığı belirleyecek ise, bu durumda o kriter için kullanacağı tercih Seviyeli tip tercih fonksiyonudur.

Doğrusal Tercih Fonksiyonu (5. Tip) : Eğer bir kriter için karar verici ortalama değerin üstündeki alternatiflerden birini seçmek istiyorsa, bu durumda o kriter için kullanacağı tercih Doğrusal tip tercih fonksiyonudur.

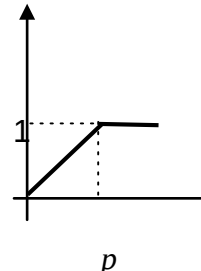
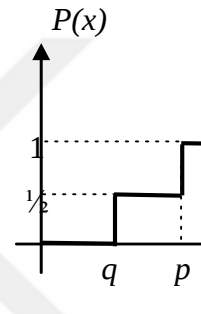
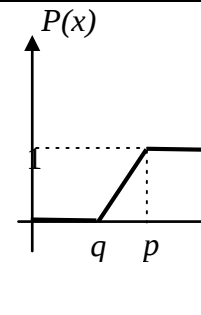
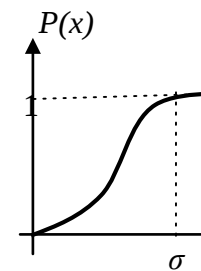
Gaussian Tercih Fonksiyonu (6. Tip) : Bir kriter için karar verici ortalamadan sapma değerlerine bakarak tercih yapmak istiyorsa, bu durumda kullanacağı tercih f altıncı tip - Gaussian tip tercih fonksiyonudur.

PROMETHEE yöntemi, kriterleri temel olarak seçeneklerine değişmeyen mutlak bir değer katmaz. PROMETHEE ikili kıyaslamaları dikkate alarak tercih yapısını oluşturmaktadır. Bu durumda herhangi bir kriter için iki karar seçeneğinin değerleri arasındaki fark dikkate alınır.

Tablo 4.4. Tercih Fonksiyonları (Geldermann ve Lerche, 2014)

Tip	Parametre	Tercih Fonksiyonları	Grafikler
Olağan (1. Tip)	-	$p(x)=\begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
U (2. Tip)	q	$p(x)=\begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1, & x > q \end{cases}$	

Tablo 4.4. Tercih Fonksiyonları (Geldermann ve Lerche, 2014) (devam)

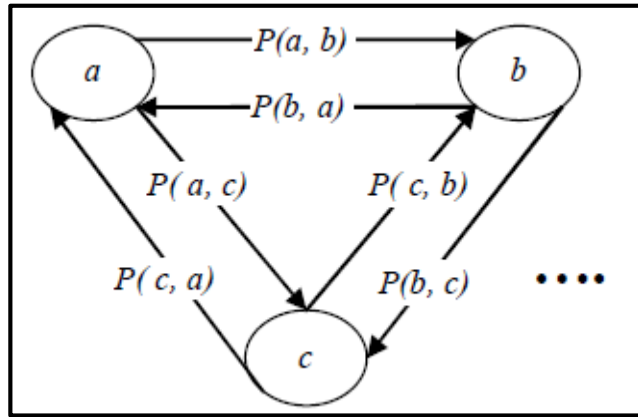
V (3. Tip)	p	$p(x) =$ $\begin{aligned} &0, \quad x \leq 0 \\ &x/p, \quad 0 \leq x \leq p \\ &1, \quad x > p \end{aligned}$	
Seviyeli (4. Tip)	q, p	$p(x) =$ $\begin{aligned} &0, \quad x \leq q \\ &1/2, \quad q < x \leq p \\ &1, \quad x > p \end{aligned}$	
Tip	Parametre	Fonksiyon	Grafik, P(x)
Lineer (5. Tip)	q, p	$p(x) =$ $\begin{aligned} &0, \quad x \leq q \\ &(x - q) / (p - q), \quad q < x \leq p \\ &1, \quad x > p \end{aligned}$	
Gaussian (6. Tip)	σ	$p(x) =$ $\begin{aligned} &0, \quad x \leq 0 \\ &-x^2 / 2\sigma^2, \quad 0 < x \leq \sigma \\ &1 - e^{-x^2 / 2\sigma^2}, \quad x > \sigma \end{aligned}$	

Seçilmiş olan iki karar seçeneğinin değerleri arasındaki fark küçükse bu durumda tercih değeri küçük olmaktadır. Fakat iki karar seçeneğinin değerleri arasındaki fark büyüdükçe tercihin aldığı değerde o oranda büyük olmaktadır. Tercih değerleri $[0,1]$ arasında yer almaktadır. (Brans ve Mareschal, 2005; Yıldırım, 2014).

Adım 3: Ortak tercih fonksiyonlarının tayin edilmesi. Her bir kriter için karar alternatiflerinin kıyaslamaları tercih fonksiyonları dikkate alınarak yapılmaktadır, ortak tercih fonksiyonları tayin edilir, a ve b tercih fonksiyonu Eş. 4.9 kullanılarak hesaplanmaktadır

$$P_j(a,b) = \begin{cases} 0 & f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)] & f(a) > f(b) \end{cases} \quad (4.9)$$

Karar alternatifleri için belirlenen ortak tercih fonksiyonları Şekil 4.1’ de gösterilmiştir (Dağdeviren ve Eraslan, 2008).



Şekil 4.1. Ortak tercih fonksiyonlarının gösterimi

Karar seçeneklerinin ikili karşılaştırmaları yapılırken, kriterlerin minimizasyon veya maksimizasyon yönlü olup olmadığı dikkate alınmalıdır.

Adım 4: Tercih indekslerinin tayin edilmesi. Her karar alternatifi çifti için ortak tercih fonksiyonları kullanılarak tercih indeksleri tayin edilir ve. w_i , ($i=1,2, \dots, k$) önem

ağırlıklarına sahip k kriter tarafından değerlendirilmekte olan a ve b karar alternatiflerinin tercih indeksi Eş. 4.10 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^K w_i P_i(a, b) \quad (4.10)$$

Adım 5: Alternatif için pozitif Φ^+ tayin edilmesi. Karar alternatifleri için pozitif Φ^+ üstünlük ve negatif Φ^- üstünlükler değerleri Eş. 4.11 kullanılarak hesaplanmaktadır.

Pozitif akım:

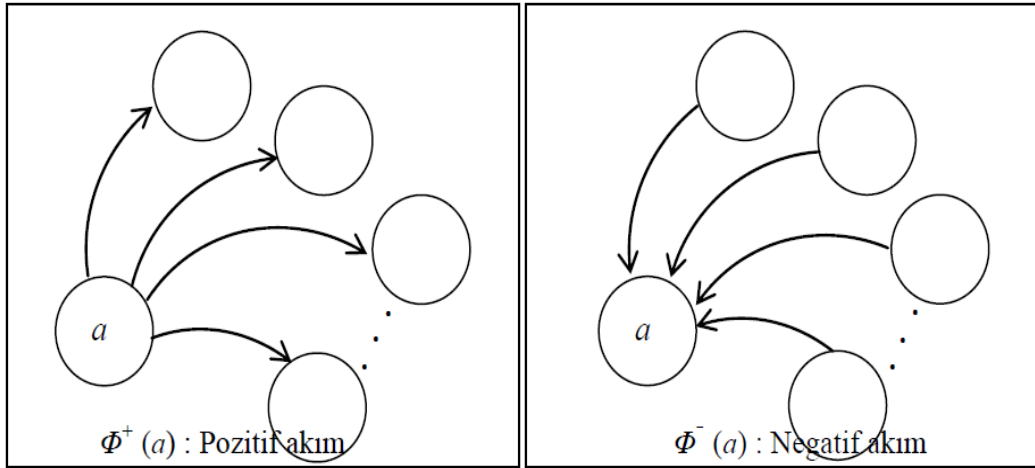
$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b)$$

Negatif akım:

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a)$$

(4.11)

A karar alternatifi için pozitif üstünlük ve negatif üstünlük Şekil 4.2' de gösterilmiştir (Dağdeviren ve Eraslan, 2008:72).



Şekil 4.2. Karar seçeneği için hazırlanan pozitif ve negatif üstünlük

Adım 6: PROMETHEE I ile kısmi önceliklerin tayin edilmesi. Bu adımda karar alternatiflerinin negatif üstünlük ve pozitif üstünlük değerlerinin kıyaslamaları yapılmaktadır. Karar alternatiflerinin farksızlığı, bir karar alternatifinin diğer karar alternatiflerine üstünlüğü ve karar alternatiflerinin birbirleriyle kıyaslanamaması durumlarıdır. a ve b karar alternatifleri için aşağıdaki durumlar belirtilmiştir:

- Eğer, Eş. 4.12' deki şartlardan herhangi biri sağlanıyorsa, a ve b karar alternatifleri farksız olmaktadır:

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad (4.12)$$

- Eğer, Eş. 4.13' teki şartlardan herhangi biri sağlanıyorsa, a karar alternatifi b karar alternatifi üstün olmaktadır.

$$\begin{aligned} &\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad \text{ya da} \\ &\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad \text{ya da} \\ &\Phi^-(a) > \Phi^-(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^+(a) = \Phi^+(b) \end{aligned} \quad (4.13)$$

- Eğer, Eş. 4.14' teki şartlardan herhangi biri sağlanıyorsa, a ve b karar alternatifleri karşılaştırılmaz.

$$\begin{aligned} &\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) > \Phi^-(b) \quad \text{ya da} \\ &\Phi^+(a) < \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \end{aligned} \quad (4.14)$$

PROMETHEE I Bazı sıralama problemlerinde değerlendirme matrisine bağlı olarak tam sıralama sağlamaktadır (Balali vd, 2014).

Adım 7: PROMETHEE II ile karar alternatiflerinin tam sıralaması gerçekleştirilir. Karar alternatiflerinin öncelikleri Eş. 4.15 ile belirlenmektedir. Hesaplanan değerler büyükten küçüğe doğru sıralanır. Yapılan sıralama sonucu tüm karar alternatifleri aynı düzlemde değerlendirilmektedir ve tam sıralama elde edilir.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (4.15)$$

Bu eşitliğe göre a ve b karar alternatifi hesaplanan tam öncelik değerine göre şu kararlar alınmaktadır;

- $\Phi(a) > \Phi(b)$ ise, a karar alternatifi daha üstün olmaktadır.
- $\Phi(a) = \Phi(b)$ ise, a ve b karar alternatifleri farksız olmaktadır.

Tüm anlatılanlar sonrasında PROMETHEE yönteminin işleyiş adımlarını kısa başlıklar altında şu şekilde özetleyebiliriz:

Adım 1 : Karar vericinin kriter ağırlıklarını ve alternatiflerini tayin etmesi.

Adım 2 : Tercih fonksiyonlarının tayin edilmesi.

Adım 3 : Ortak tercih fonksiyonları ve tercih indekslerinin tayin edilmesi.

Adım 4 : Negatif üstünlük ile pozitif üstünlük değerlerinin hesap edilmesi.

Adım 5 : PROMETHEE I ile alternatiflerin kısmi sırasının hesap edilmesi.

Adım 6 : Net öncelik değerlerinin hesap edilmesi.

Adım 7 : PROMETHEE II ile alternatiflerin tam sırasının tayin edilmesi.

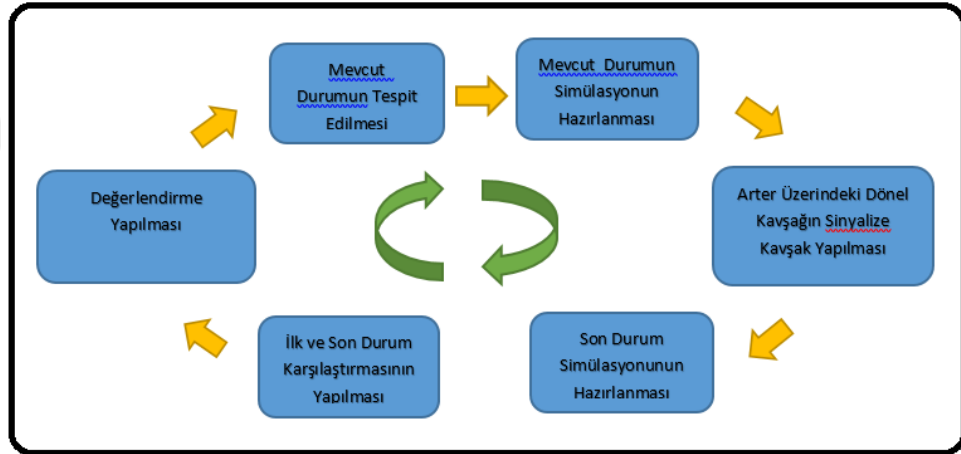
ÇKKV problemlerinde en iyi ve uygun çözüme ulaşmak için elde bulunan kriter sayısı ve alternatifler çok fazla değilse karar verici çözüm üretirken problem yaşamamaktadır. Ancak birçok alternatif ve kriterlerin olduğu problemlerde problemin amacına uygun matematiksel metotlara ihtiyaç duyulmaktadır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Çalışma Alanı

Araştırma dönel ve sinyalize kavşakların bir arada olduğu tek koridor üzerinde çalışılmıştır. Trafik analizinde kullanılmak üzere trafik sayım sonuçlarına göre kavşaklar için sabah ve akşam zirve saatleri ve verileri gösterilmiştir.

Kentiçi dönel ve sinyalize kavşak arterinde seyahat etmekte olan araçların belli bir zaman diliminde kavşak kapasitesi ve kavşak etkileşiminin incelenmesi gerekir. Yapılan incelemeler sonucu karşılaştırma yapabilmek için veri toplamak gerekir. Söz konusu verilerin toplanması için incelenecek kavşaklar belirlenmiş ve bu kavşakların verileri sayımlarla elde edilmiştir. Trafik akımının düzenli ve sürekli olabilmesi için trafik sayım sonuçlarının sağlıklı bir şekilde belirlenmesi gerekir. Belirli bir çalışma planı yapılarak Şekil 5.1’de görüldüğü gibi tüm aşamalar tamamlanarak sonuca ulaşılmıştır.



Şekil 5.1. Çalışma planı

Trafiğin en yoğun olduğu zirve saatlerinde yani sabah 07:30-08:30 ve akşam 16:30-17:30 saatlerindeki sayımlar kullanılmıştır. Çalışma alanı Erzurum İl’inde bulunan dönel kavşak ve sinyalize kavşakların tek koridor üzerinde bulunan Yakutiye Belediye kavşağı, Havuzbaşı kavşağı ve Üniversite kavşakları belirlenerek AIMSUN’ daki sonuçlar PROMETHEE Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri aracılığıyla adım adım karşılaştırılmıştır.

Çalışma bölgesi dönel ve sinyalizasyon kavşaklarının bir arada olduğu koridor Şekil 5.2.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Çalışma koridoru olan kavşaklar (Google Earth, 2020)

Erzurum şehir merkezinden geçen cumhuriyet caddesi; şehrin en yoğun caddelerinden biridir. Ayrıca ilıca yolu, terminal yolu ve üniversiteyi şehir merkezi ile birleştiren koridor olduğu için bu koridor üzerindeki Üniversite kavşağı, Havuzbaşı kavşağı ve Yakutiye Belediye kavşağı seçilmiştir. Üniversite kavşağı Google Earth aracılığıyla Şekil 5.3' te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Üniversite kavşağı (Google Earth, 2020)

Havuzbaşı kavşağı Google Earth aracılığıyla Şekil 5.4' te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Havuzbaşı kavşağı (Google Earth 2020)

Yakutiye Belediye kavşağı Google Earth aracılığıyla Şekil 5.5' te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Yakutiye Belediye kavşağı(Google Earth 2020)

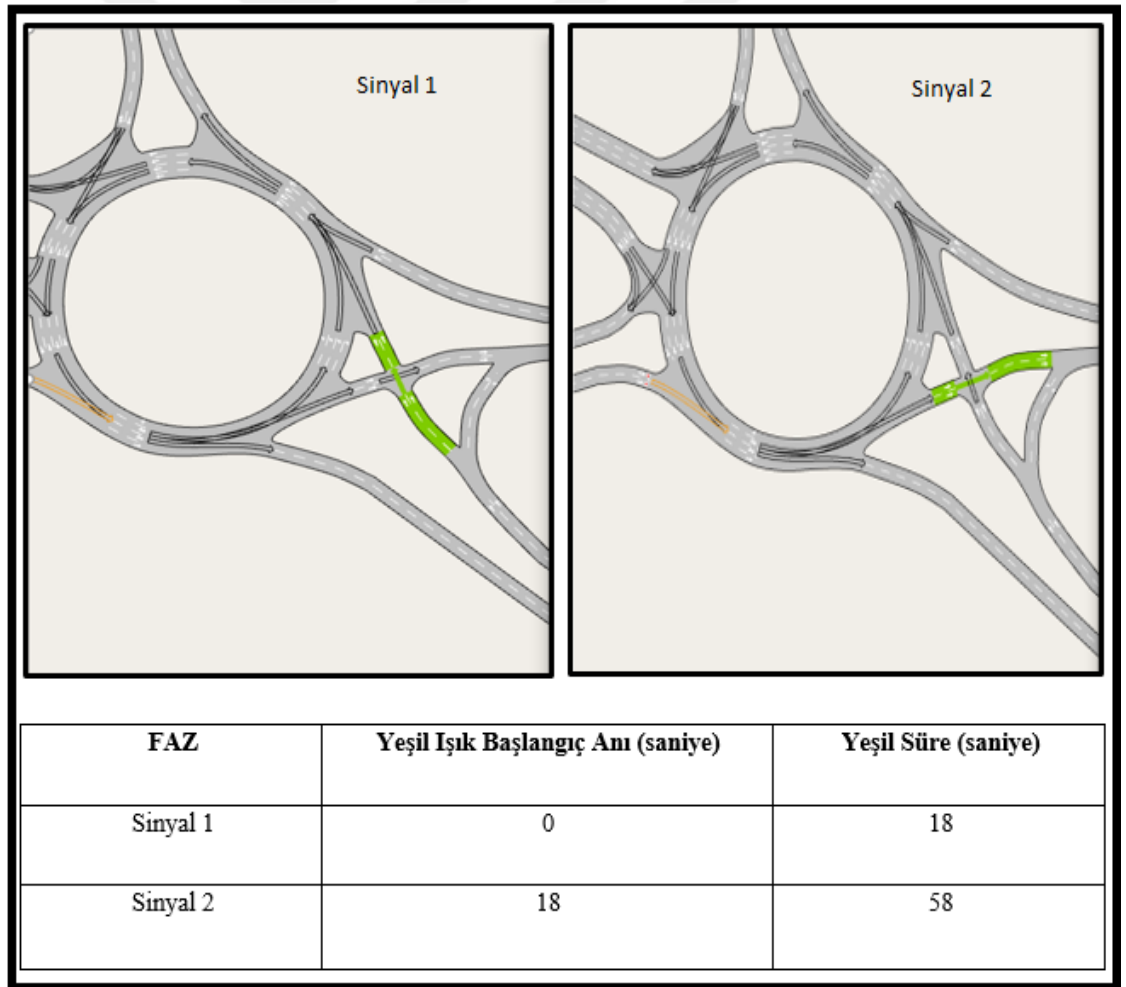
5.2. Verilerin Toplanması

Simülasyon modellemesi yapmak için en önemli husus verilerin toplanmasıdır. Yapılmış olan modelleme için gerek duyulan veriler; sinyalizasyon fazları ve türlerine göre araç sayımlarıdır.

Araç sayımları araç türlerine göre (otomobil ve otobüs) kavşaklarda manuel olarak pazartesi, çarşamba, cuma ve pazar günlerinde; saat 07:30-08:30, 16:30-17:30 saatleri arasında yapılmıştır.

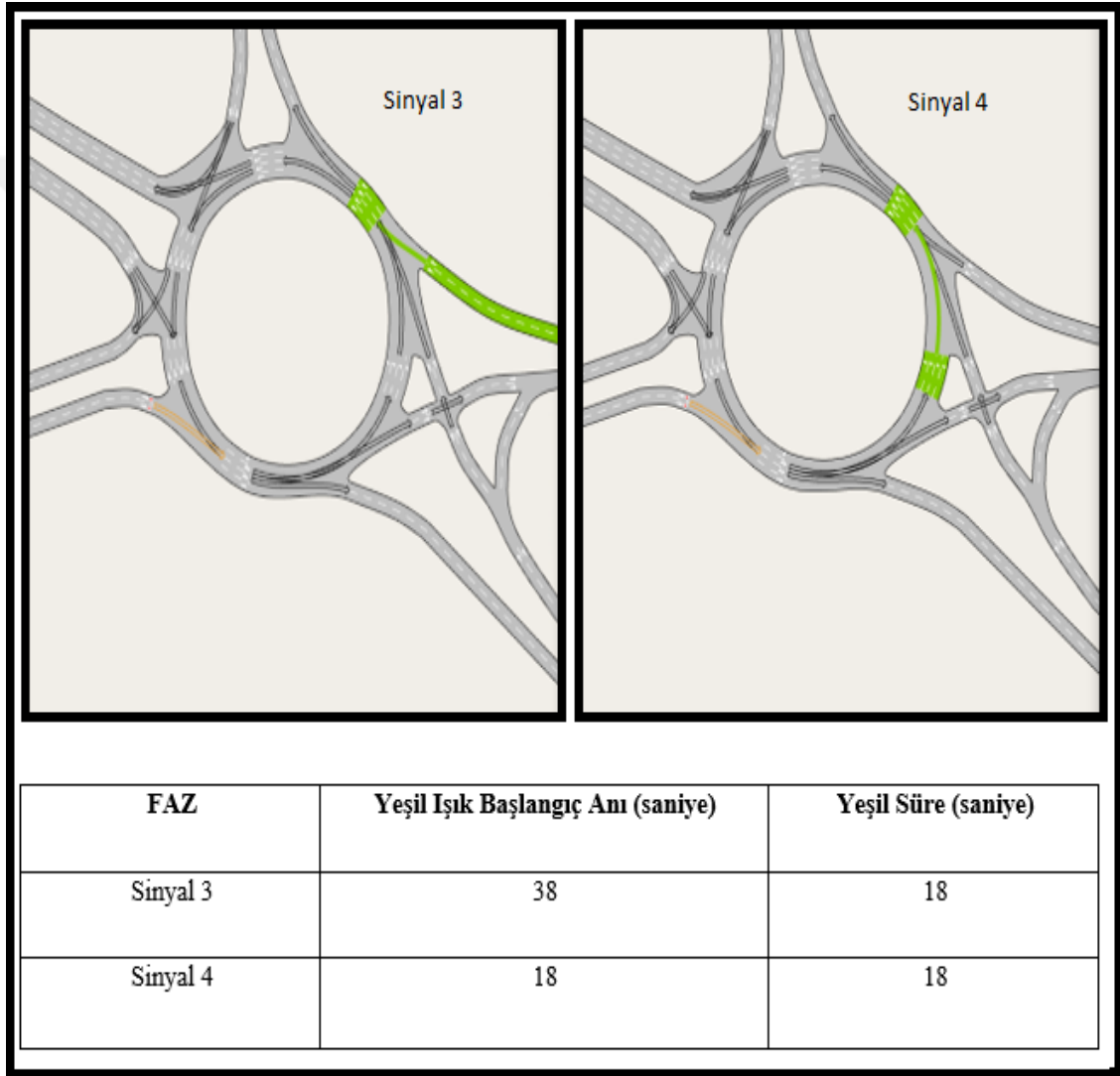
5.2.1. Faz süreleri

Bu kısımda mevcut durumda bulunan Üniversite Kavşağı, Havuzbaşı Kavşağı ve Yakutiye Belediyesi Kavşakların sinyal süreleri gösterilmiştir.



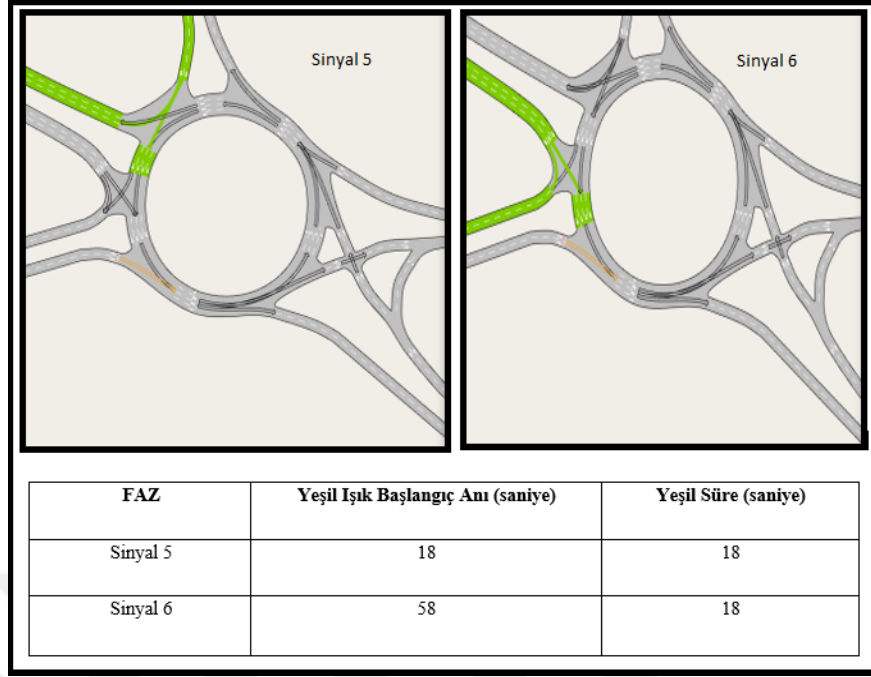
Şekil 5.6. Üniversite kavşağı mevcut durum sinyal 1 ve sinyal 2 faz süreleri

Şekil 5.6’da verilen Üniversite kavşağındaki mevcut sinyal 1 ve sinyal 2 planları incelendiğinde Üniversite kavşağında periyot süresi 80 saniye, kırmızı ışık ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye’dir. Sinyal 1’de 0. saniyede yeşil ışık yanar ve 18 saniye sürer sonra 2 saniye koruma kırmızı yanar. Sinyal 2’de de bu süre zarfından sonra 2 saniye sarı ışık yanar ve ardından 18. Saniyede yeşil ışık yanmaya başlar ve 40 saniye boyunca yeşil ışık yanar. Her fazda kırmızı ışığın yandığı, kavşakta araç kalmış ise boşaltılması için güvenlik amacıyla verilen süreye de koruma kırmızı denir.



Şekil 5.7. Üniversite Kavşağı mevcut durum sinyal 3 ve sinyal 4 faz süreleri

Şekil 5.7’de verilen Üniversite kavşağındaki mevcut sinyal 3 ve sinyal 4 planları incelendiğinde periyot süresi 80 saniye, kırmızı ışık ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



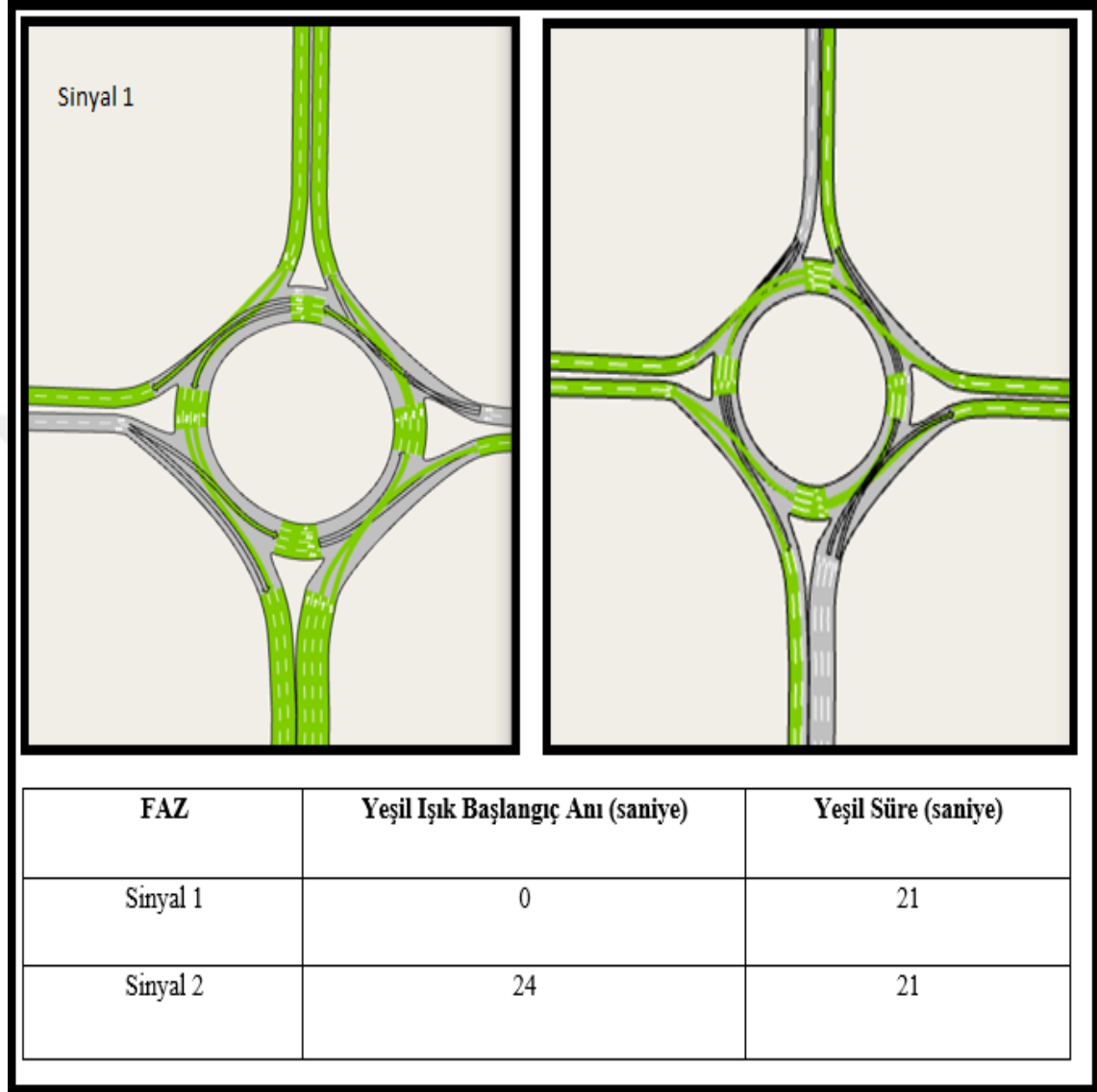
Şekil 5.8. Üniversite kavşağı mevcut durum sinyali 5 ve sinyali 6 faz süreleri

Şekil 5.8’de verilen Üniversite kavşağındaki mevcut sinyali 5 ve sinyali 6 planları incelendiğinde periyot süresi 80 saniye, kırmızı ışık ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



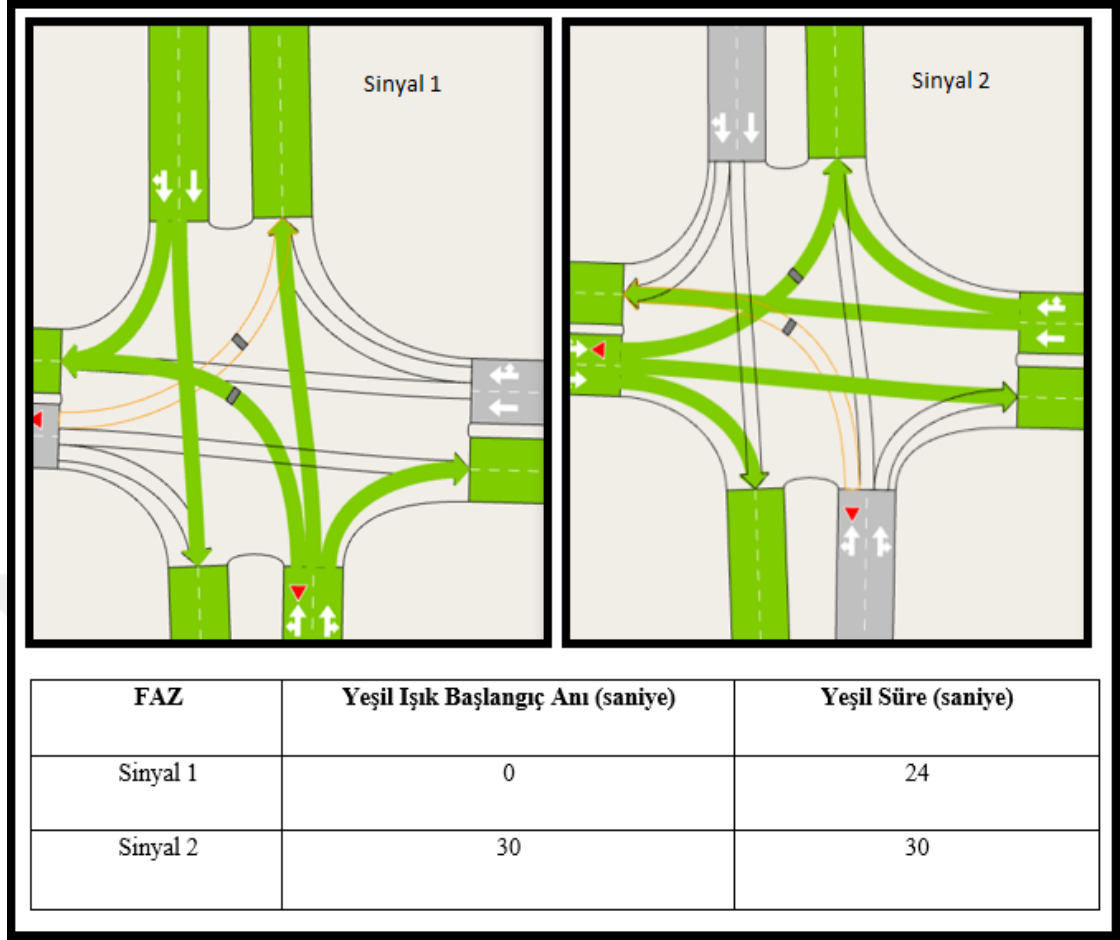
Şekil 5.9. Üniversite kavşağı mevcut durum sinyali 7 ve sinyali 8 faz süreleri

Şekil 5.9’da verilen Üniversite kavşağındaki mevcut sinyal 7 ve sinyal 8 planları gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Havuzbaşı kavşağı mevcut durum sinyal 1 ve sinyal 2 faz süreleri

Çalışma kapsamında Şekil 5.10’da verilen Havuzbaşı kavşağı sinyalizasyon sisteminin mevcut sinyal 1 ve sinyal 2 durumu analiz edilmiştir. Havuzbaşı kavşağındaki mevcut sinyal planları incelendiğinde periyot süresinin 48 saniye olup 2 faz şeklinde çalıştığı görülmektedir. Kırmızı ışık ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 3 saniyedir. Sinyal 1’de 0. saniyede yeşil ışık yanar ve 21 saniye sürer. Sinyal 2’de de bu süre zarfından sonra 3 saniye sarı ışık yanar ve ardından 24. saniyede yeşil ışık yanmaya başlar ve 21 saniye boyunca yeşil ışık yanar.



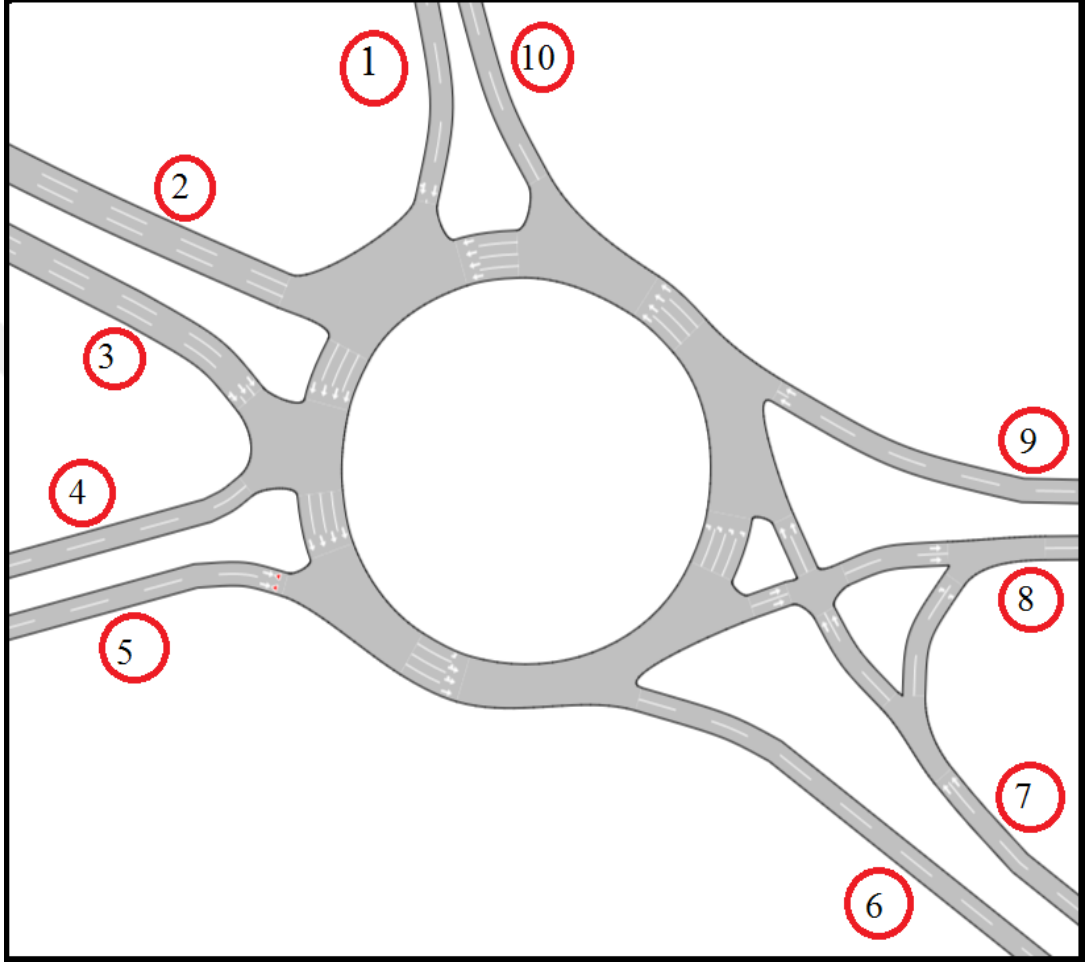
Şekil 5.11. Yakutiye Belediye kavşağı mevcut durum sinyali 1 ve sinyali 2 faz süreleri

Çalışma kapsamında Şekil 5.11’de verilen Yakutiye Belediye kavşağı sinyalizasyon sisteminin mevcut sinyali 1 ve sinyali 2 durumu analiz edilmiştir. Havuzbaşı kavşağındaki mevcut sinyali planları incelendiğinde periyot süresinin 66 saniye olup 2 faz şeklinde çalıştığı görülmektedir. Kırmızı ışık ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 3 saniye, koruma kırmızısı 3 saniyedir. Sinyali 1’de 0. saniyede yeşil ışık yanar ve 24 saniye sürer. Sinyali 2’de de bu süre zarfından sonra 3 saniye sarı ışık yanar ve ardından 30. Saniyede yeşil ışık yanmaya başlar ve 30 saniye boyunca yeşil ışık yanar.

5.2 2.Trafik sayımları

Bu çalışmada Erzurum kent merkezinde trafik yoğunluğu fazla ve art arda olan üç kavşak üzerine sayımlar yapıp, modellemesi yapılmıştır. Trafik sayımları; araçların kavşağa giriş ve çıkış kolları dikkate alınarak yapılmıştır. Trafik yoğunluğunun cuma günü sabah 07:30-08:30 ve akşam 16:30-17:30 saatleri arasında olduğu belirlenmiştir. Aşağıda

Üniversite kavşağı, Havuzbaşı kavşağı ve Yakutiye Belediye kavşağının yapılan trafik sayımlarına göre sabah ve akşam zirve saatindeki taşıt/saat değerleri akımlarına göre gösterilmiştir. Ayrıca tablolarda tüm kavşaklardaki akım kollarına ait trafik hacim değerleri araç türlerine göre (taşıt/saat) değerleri verilmiştir.



Şekil 5.12. Üniversite kavşak kolları

Şekil 5.12’de Üniversite kavşağı olan; sinyalizasyonlu dönel kavşak kolları gösterilmiştir. Sayım sonuçları doğrultusunda Üniversite kavşağında tespit edilen sabah zirve saati 07:30-08:30 aralığındadır. Kavşağa giren toplam trafik hacmi 3961 birim oto’dur. Sabah zirve saatinde kavşağın doğu yönünde bulunan 9 kolu, 1029 birim oto’luk trafik hacmi ile kavşağa katılımın sağlandığı en yoğun koldur. 9 kolundaki kavşağa giren 1029 b.o ada içerisine girerek 10 nolu kola 72 b.o, 2 nolu kola 473 b.o, 4 nolu kola 296 b.o, 8 nolu kola 122 b.o ve 6 nolu kola 63 b.o u dönüşü yaptığı belirlenmiştir. Tablo 5.1’de Üniversite kavşağı sabah zirve saati trafik akım değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Üniversite Kavşağı Sabah Zirve Saati (07:30 – 08:30) Trafik Akım Değerleri

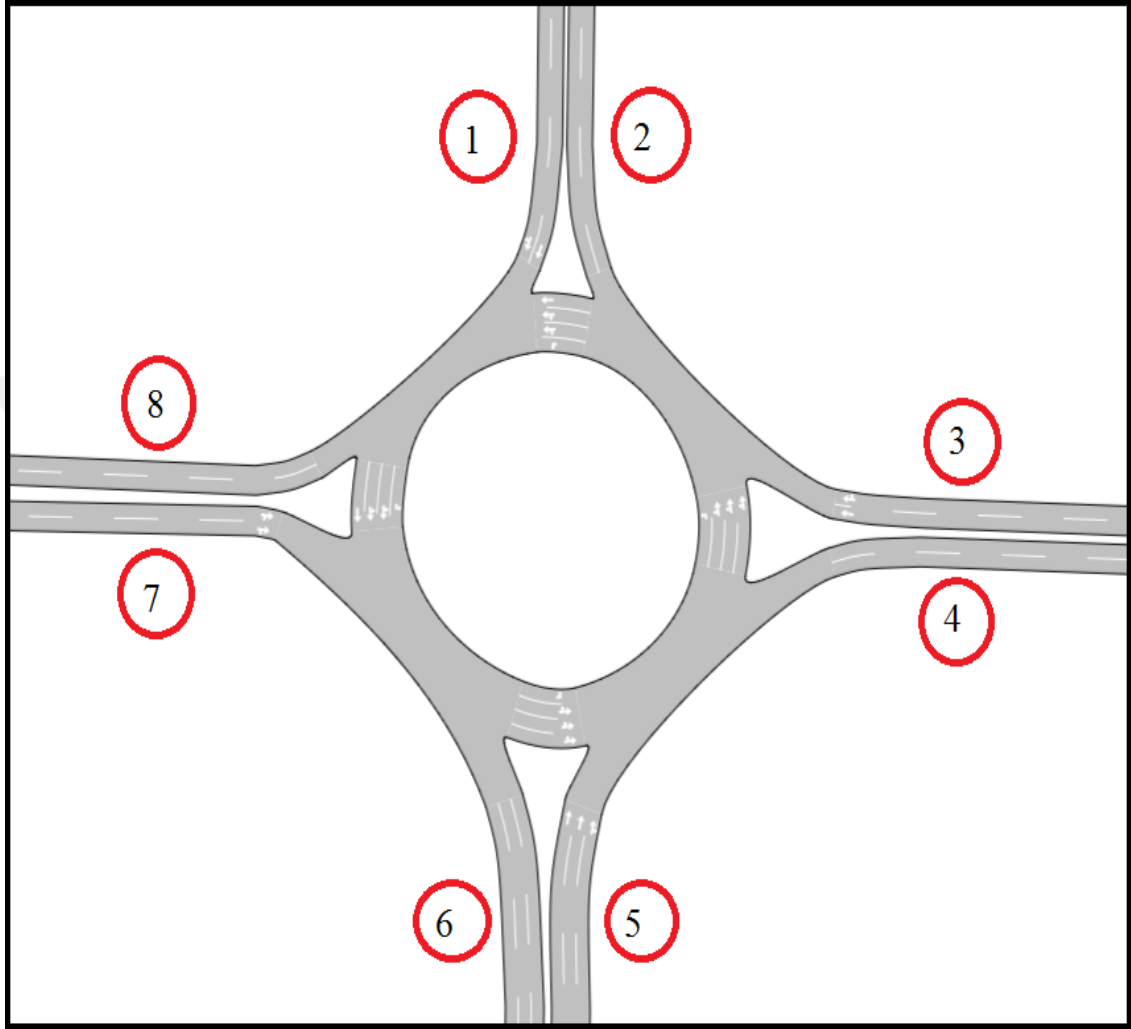
AKIM NO	4	6	8	10	2	ÇIKAN TOPLAM
3	24	252	255	83	128	742
5	-	295	302	96	147	840
7	125	80	170	265	200	840
9	296	66	122	72	473	1029
1	281	63	116	-	50	510
GİREN TOPLAM	726	756	965	516	998	3961

Sayım sonuçları doğrultusunda Üniversite kavşağında tespit edilen akşam zirve saati 16:30-17:30 aralığındadır. Kavşağa giren toplam trafik hacmi 4627 birim oto'dur. Akşam zirve saatinde kavşağın doğu yönünde bulunan 9 kolu, 1134 birim oto'luk trafik hacmi ile kavşağa katılımın sağlandığı en yoğun koldur. 9 kolundaki kavşağa giren 1134 b.o ada içerisine girerek 10 nolu kola 157 b.o, 2 nolu kola 727 b.o, 4 nolu kola 118 b.o, 8 nolu kola 79 b.o ve 6 nolu kola 53 b.o u dönüşü yaptığı belirlenmiştir. Tablo 5.2'de Üniversite kavşağı akşam zirve saati trafik akım değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Üniversite Kavşağı Akşam Zirve Saati (16:30 – 17:30) Trafik Akım Değerleri

AKIM NO	4	6	8	10	2	ÇIKAN TOPLAM
3	18	314	226	127	111	796
5	-	453	326	152	191	1122
7	57	63	98	376	351	945
9	118	53	79	157	727	1134
1	258	116	172	-	84	630
GİREN TOPLAM	451	999	901	812	1464	4627

Çalışma kapsamında mevcut durumda, sinyalizasyon olan kavşak analiz edilmiştir. Sayımlardan elde edilen kavşak kollarının ve kavşak genelinin gün içindeki zirve saatlere göre dağılımı yukarıdaki tabloda gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Havuzbaşı kavşak kolları

Şekil 5.13'te Havuzbaşı kavşağı olan; sinyalizasyon dönel kavşak kolları gösterilmiştir. Sayım sonuçları doğrultusunda Havuzbaşı kavşağında tespit edilen sabah zirve saati 07:30-08:30 aralığındadır. Kavşağa giren toplam trafik hacmi 4118 birim oto'dur. Sabah zirve saatinde kavşağın güney yönünde bulunan 5 kolu, 1440 birim oto'luk trafik hacmi ile kavşağa katılımın sağlandığı en yoğun koldur. 5 kolundaki kavşağa giren 1440 b.o ada içerisine girerek 4 nolu kola 192 b.o, 2 nolu kola 1167 b.o, 8 nolu kola 54 b.o ve 6 nolu kola 27 b.o u dönüşü yaptığı belirlenmiştir. Tablo 5.3'te Havuzbaşı kavşağı sabah zirve saati trafik akım değerleri gösterilmiştir

Tablo 5.3. Havuzbaşı Kavşağı Sabah Zirve Saati (07:30 – 08:30) Trafik Akım Değerleri

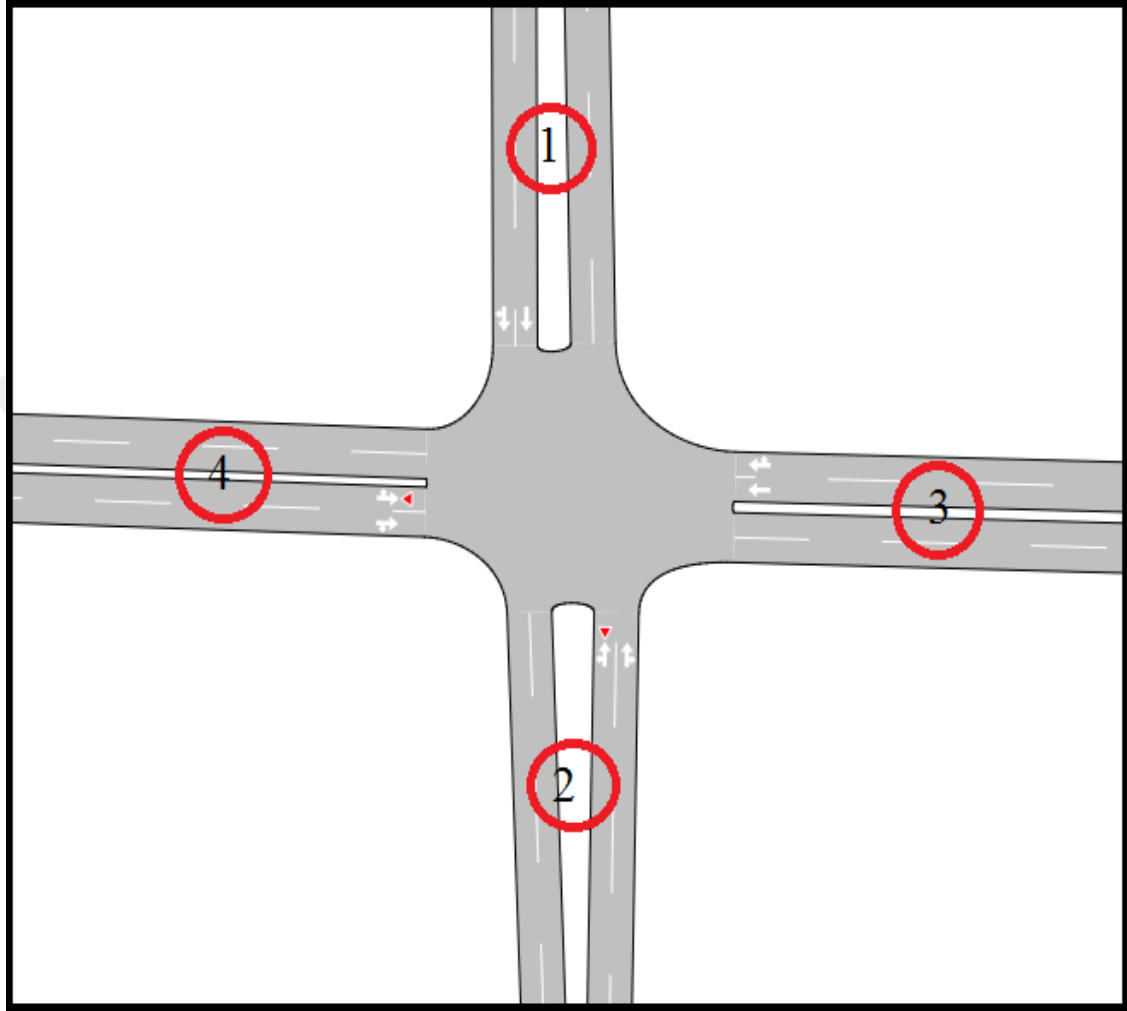
AKIM NO	2	8	6	4	ÇIKAN TOPLAM
3	93	395	134	62	684
1	112	289	531	133	1065
7	368	26	71	464	929
5	1167	54	27	192	1440
GİREN TOPLAM	1740	764	763	851	4118

Sayım sonuçları doğrultusunda Havuzbaşı kavşağında tespit edilen akşam zirve saati 16:30-17:30 aralığındadır. Kavşağa giren toplam trafik hacmi 4841 birim oto'dur. Akşam zirve saatinde kavşağın güney yönünde bulunan 5 kolu, 1509 birim oto'luk trafik hacmi ile kavşağa katılımın sağlandığı en yoğun koldur. 5 kolundaki kavşağa giren 1509 araç ada içerisine girerek 4 nolu kola 209 b.o, 6 nolu kola 29 b.o, 8 nolu kola 67 b.o ve 2 nolu kola 1204 b.o u dönüşü yaptığı belirlenmiştir. Tablo 5.4'te Havuzbaşı kavşağı akşam zirve saati trafik akım değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Havuzbaşı Kavşağı Akşam Zirve Saati (16:30 – 17:30) Trafik Akım Değerleri

AKIM NO	2	8	6	4	ÇIKAN TOPLAM
3	225	539	270	114	1148
1	100	188	630	167	1085
7	342	27	113	617	1099
5	1204	67	29	209	1509
GİREN TOPLAM	1871	821	1042	1107	4841

Çalışma kapsamında mevcut durumda, sinyalizasyon olan kavşak analiz edilmiştir. Sayımlardan elde edilen kavşak kollarının ve kavşak genelinin gün içindeki zirve saatlere göre dağılımı yukarıdaki tabloda gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Yakutiye Belediye kavşak kolları

Şekil 5.14'te Yakutiye Belediye kavşağı olan; sinyalizasyon hemzemin kavşak kolları gösterilmiştir. Sayım sonuçları doğrultusunda Yakutiye Belediye kavşağında tespit edilen sabah zirve saati 07:30-08:30 aralığındadır. Kavşağı giren toplam trafik hacmi 3027 birim oto'dur. Sabah zirve saatinde kavşağın güney yönünde bulunan 2 kolu, 1074 birim oto'luk trafik hacmi ile kavşağı katılımın sağlandığı en yoğun koldur. 2 kolundaki kavşağı giren 1074 araç kavşak içerisine girerek 3 nolu kola 99 b.o, 1 nolu kola 962 b.o ve 4 nolu kola 13 b.o girdiği belirlenmiştir. Tablo 5.5'te Yakutiye Belediye kavşağı sabah zirve saati trafik akım değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Yakutiye Belediye Kavşağı Sabah Zirve Saati (07:30 – 08:30) Trafik Akım Değerleri

AKIM NO	4	2	3	1	ÇIKAN TOPLAM
1	178	592	-	-	770
4	-	235	289	11	535
2	13	-	99	962	1074
3	324	-	-	324	648
GİREN TOPLAM	515	827	388	1297	3027

Sayım sonuçları doğrultusunda Yakutiye Belediye kavşağında tespit edilen akşam zirve saati 16:30- 17:30 aralığındadır. Kavşağa giren toplam trafik hacmi 3649 birim oto'dur. Akşam zirve saatinde kavşağın kuzey yönünde bulunan 1 kolu, 1400 birim oto'luk trafik hacmi ile kavşağa katılımın sağlandığı en yoğun koldur. 1 kolundaki kavşağa giren 1400 b.o ada içerisine girerek 4 nolu kola 221 b.o, 2 nolu kola 1179 b.o girdiği belirlenmiştir. Tablo 5.6'da Yakutiye Belediye kavşağı akşam zirve saati trafik akım değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Yakutiye Belediye Kavşağı Akşam Zirve Saati (16:30 – 17:30) Trafik Akım Değerleri

AKIM NO	4	2	3	1	ÇIKAN TOPLAM
1	221	1179	-	-	1400
4	-	330	295	1	626
2	9	-	163	916	1088
3	309	2	-	224	535
GİREN TOPLAM	539	1511	458	1141	3649

Çalışma kapsamında mevcut durumda, sinyalize olan kavşak analiz edilmiştir. Sayımlardan elde edilen kavşak kollarının ve kavşak genelinin gün içindeki zirve saatlere göre dağılımı yukarıdaki tabloda gösterilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucu trafik hacminin yoğunluğu akşam saatlerinde olduğu belirlenmiş ve akşam saatlerindeki sayımlar kullanılmıştır.

Yapılacak olan çalışmada 6 adet senaryo ile mevcut durumu gösteren 1 adet senaryo uygulanacaktır. Uygulanacak senaryolar Tablo 5.7’de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Oluşturulacak Senaryolar

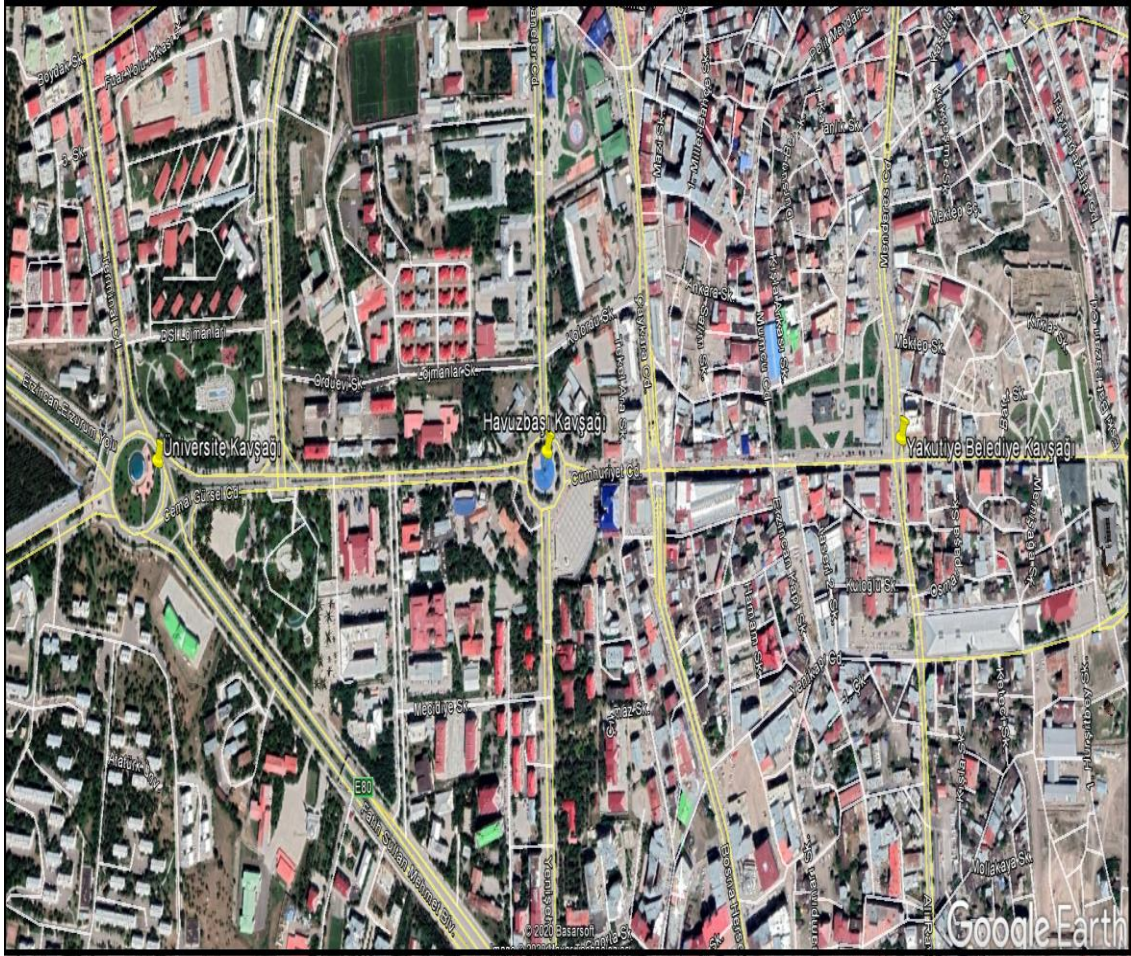
KAVŞAKLAR	Üniversite Kavşağı	Havuzbaşı Kavşağı	Yakutiye Belediye Kavşağı
Senaryo 1	Mevcut Durum	Mevcut Durum	Mevcut Durum
Senaryo 2	Mevcut Durum	Kontrolsüz Kavşak	Mevcut Durum
Senaryo 3	Mevcut Durum	Webster Yöntemi	Mevcut Durum
Senaryo 4	Mevcut Durum	Mevcut Durum	Webster Yöntemi
Senaryo 5	Mevcut Durum	Webster Yöntemi	Webster Yöntemi
Senaryo 6	Mevcut Durum	Mevcut Durum	Alt Geçit
Senaryo 7	Alt Geçit	Mevcut Durum	Mevcut Durum

5.3 Simülasyon Modellemesi

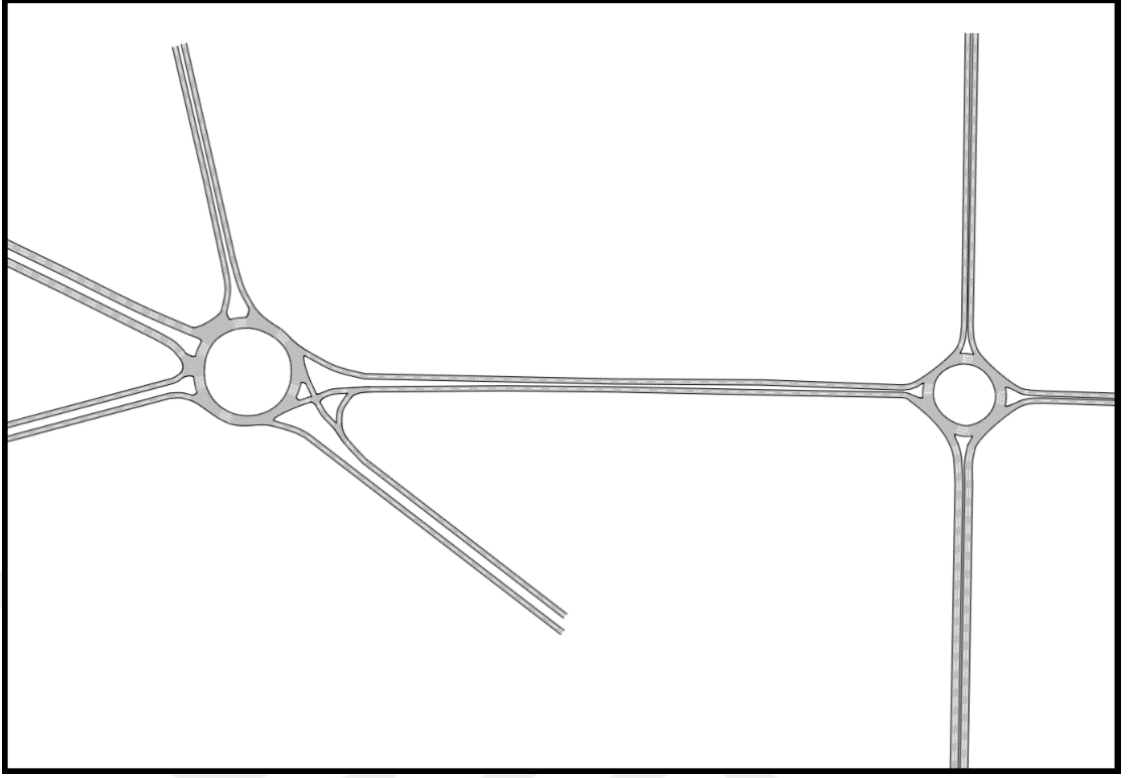
Bu çalışmada yeşil dalga sistemi düşünülmüştür ancak uygun sonuçlar elde edilemediğinden çalışma kapsamında yeşil dalga sistemine yer verilmemiştir.

5.3.1. Mevcut durum simülasyon modellemesi

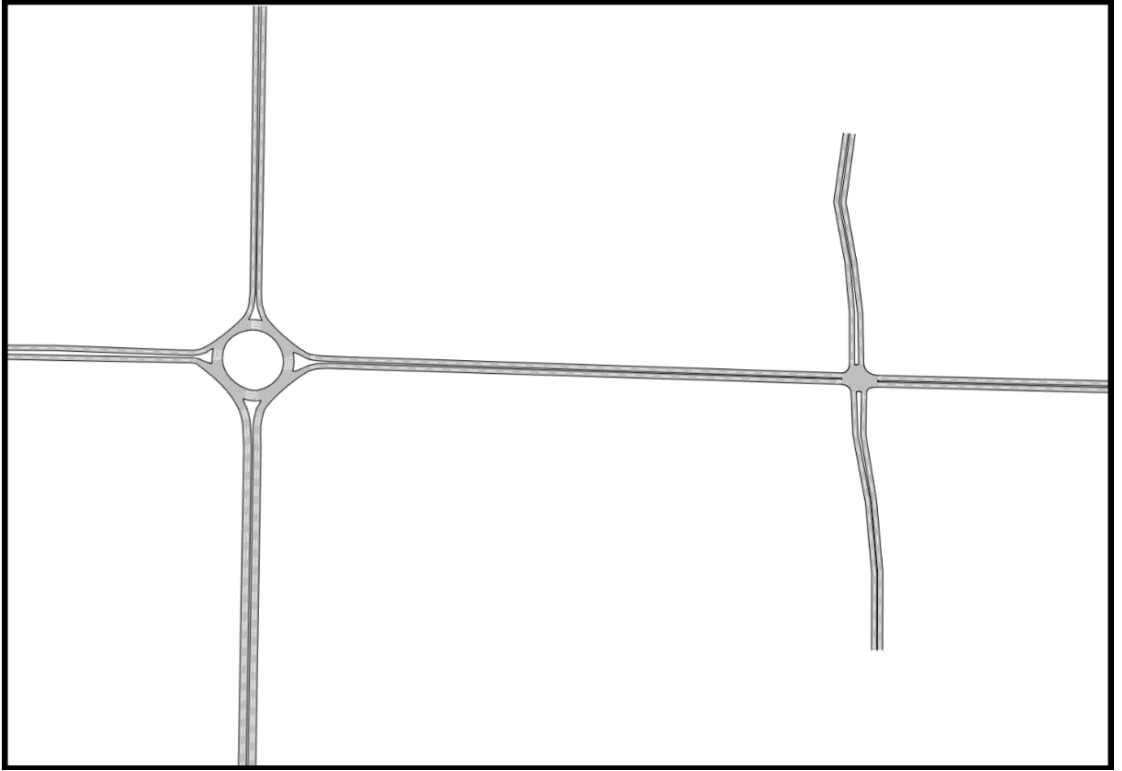
Çalışma kapsamında trafik ağının bilgisayar ortamında oluşturulabilmesi için Google Earth programı kullanılarak Erzurum İl'inde bulunan modelleme yapılacak koridorun görüntüsü alınmış, altlık olarak kullanılmıştır. Kavşak ve yol bölümleri AIMSUN programına aslına uygun olarak eklenmiş ve modelleme sonucu çıkan değerler PROMETHEE yöntemiyle karşılaştırılmıştır. PROMETHEE yönteminde senaryo 1 mevcut durumdur. Modellemesi yapılan kavşakların mevcut durumu Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Üniversite, Havuzbaşı, Yakutiye Belediye kavşağı mevcut durumu

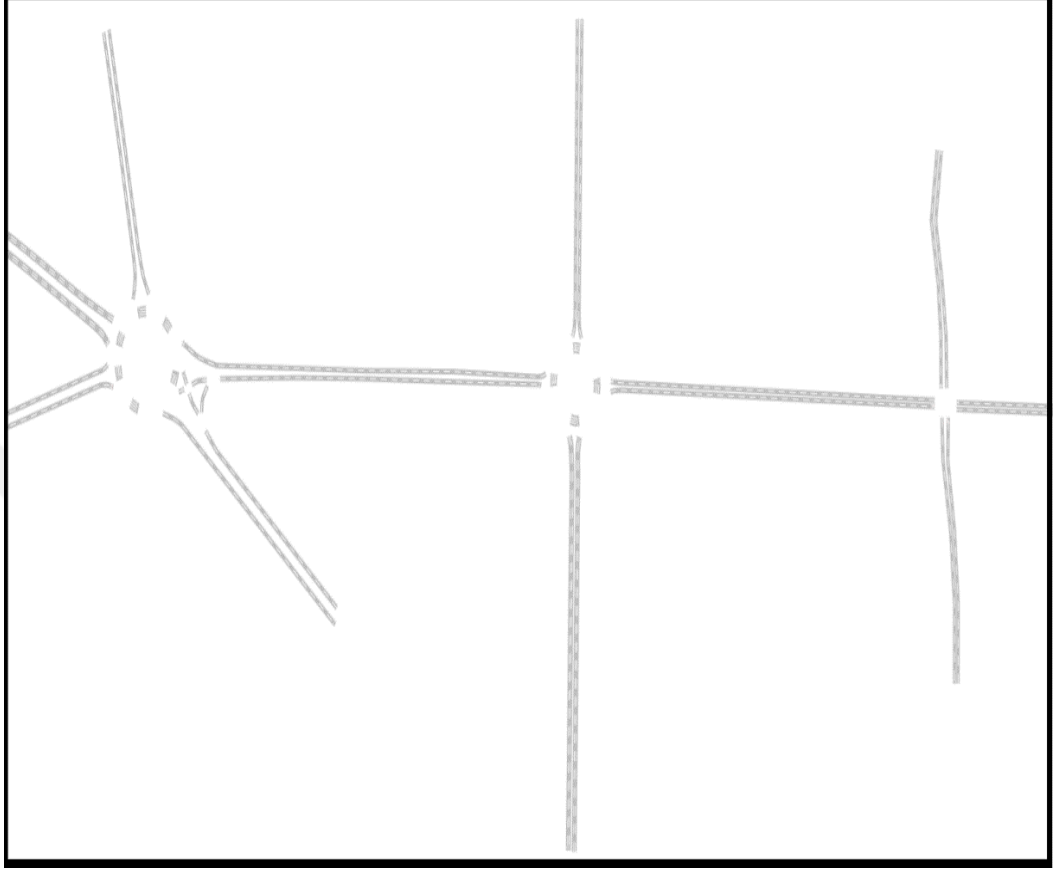


Şekil 5.16. Mevcut durum arterler 1. kısım



Şekil 5.17. Mevcut durum arterler 2. kısım

Oluşturulan trafik ağının modeli daha net bir şekilde görüntülenmesi amacıyla mevcut durum modeli Şekil 5.18’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Oluşturulan trafik ağının mevcut durum modeli

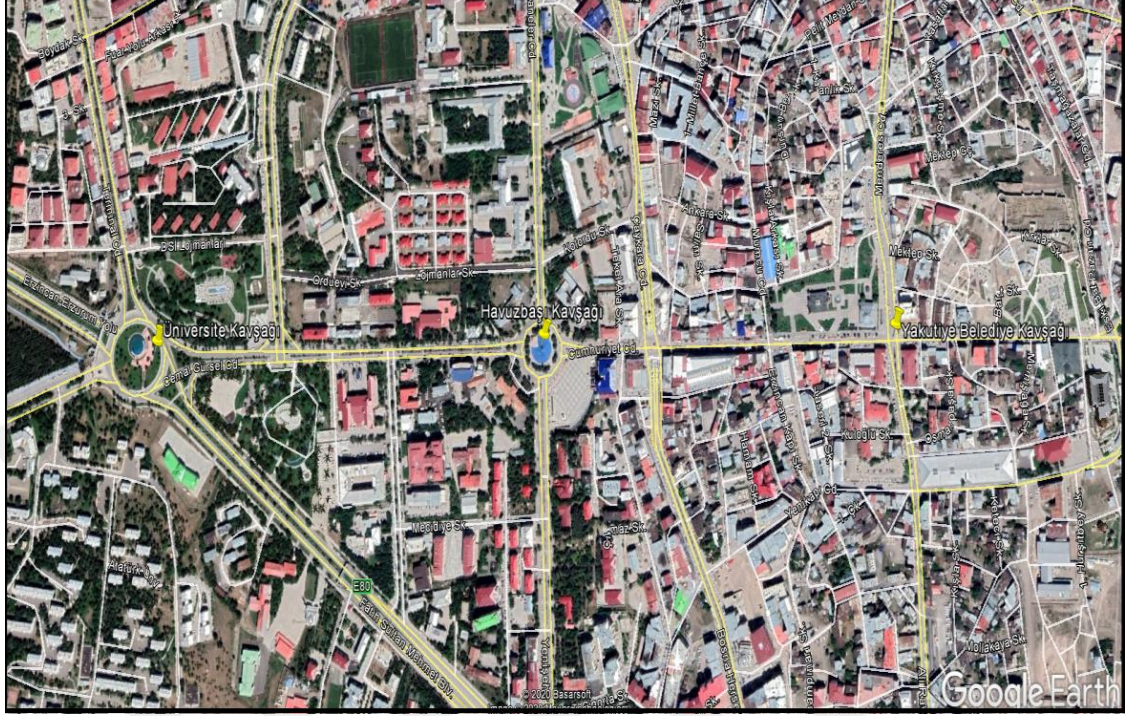
Oluşturulan trafik ağında öncelikli olarak Üniversite kavşağı, Havuzbaşı kavşağı ve Yakutiye Belediye kavşağının mevcut durumu incelenmiştir.

5.3.2. Kontrolsüz kavşak uygulamaları

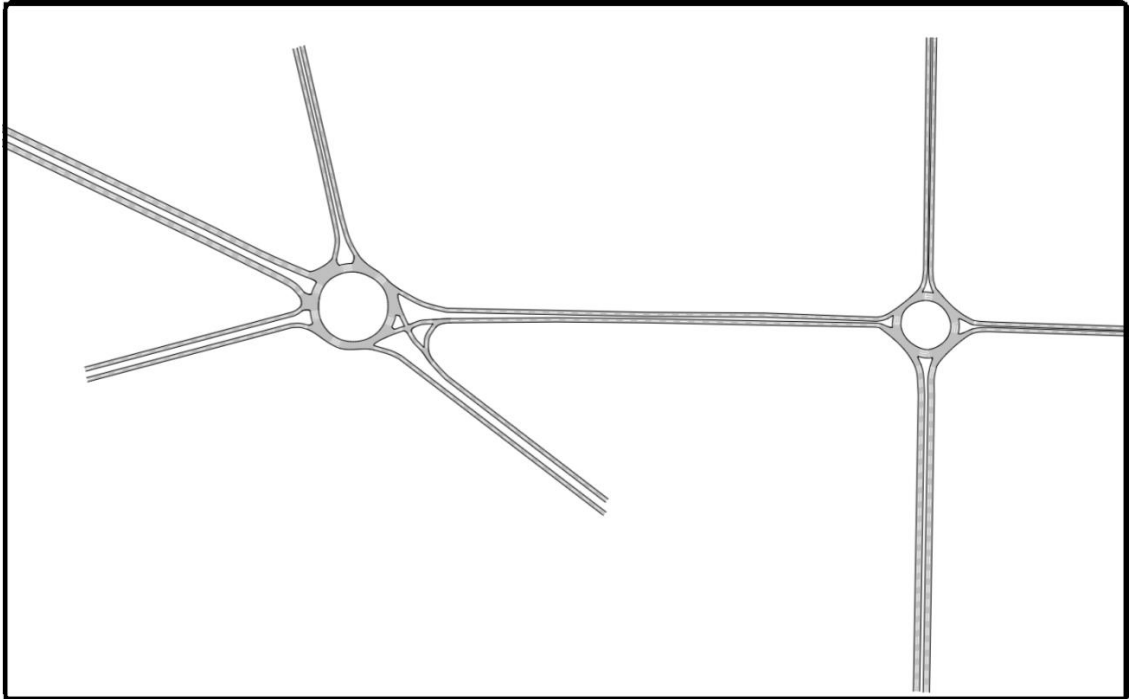
Kontrolsüz kavşak en az üç koldan oluşan kavşaklardır. Kontrolsüz kavşaklarda taşıtların kavşak içindeki hızları ve kavşağa giriş-çıkışında önemli oranda azaltılabildiğinden kavşak kapasitesi azalırken aynı zamanda trafik güvenliği de artmaktadır.

Kavşak kollarına giren taşıtların kontrolsüz ada çevresinde seyir halinde bulunan taşıtlara yol vermesidir. Yapılmış olan çalışmada mevcut trafik ağındaki gerekli geometrik şartları sağlayan Havuzbaşı kavşağı kontrolsüz kavşakla modellenmiştir. Kontrolsüz kavşak olan

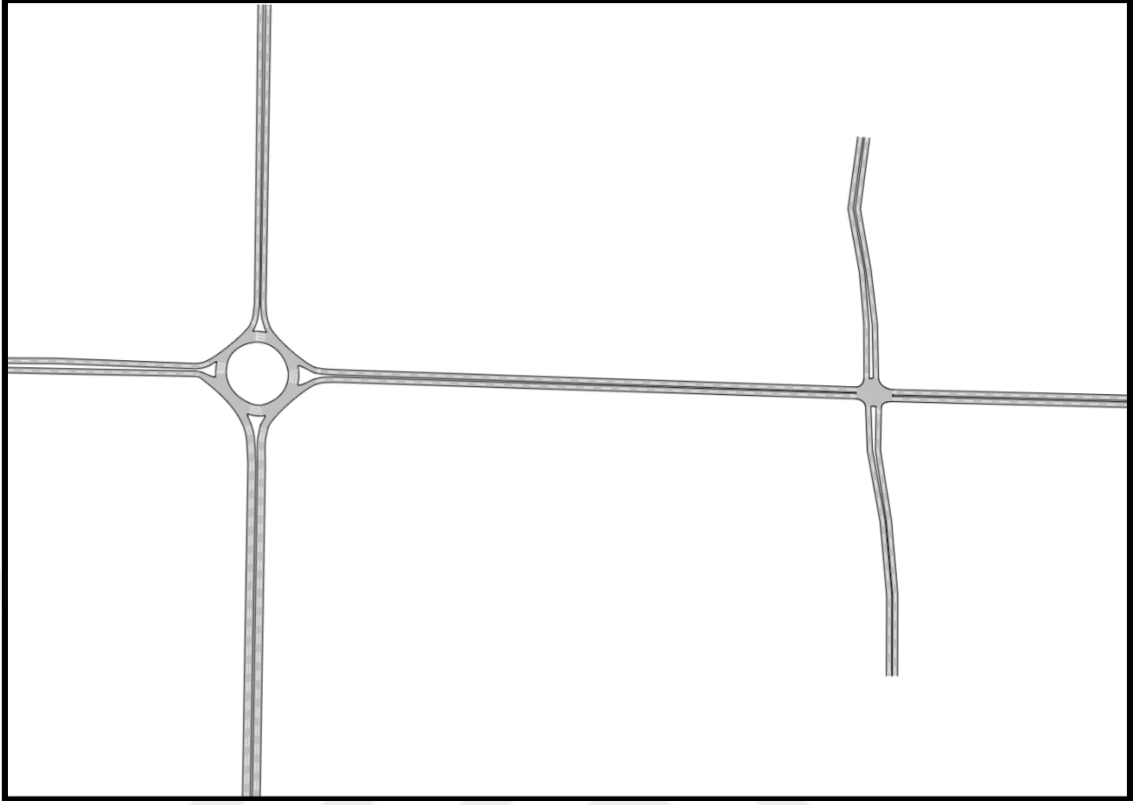
senaryo 2, modellemesi yapılan Havuzbaşı kavşağı Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



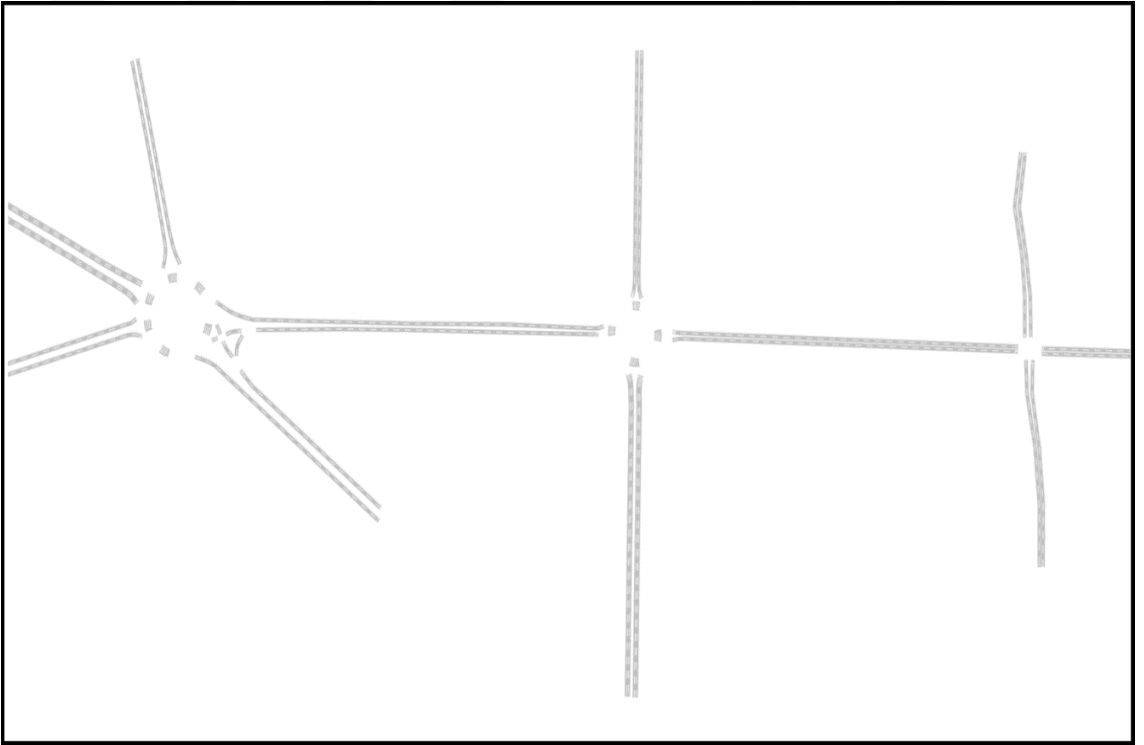
Şekil 5.19. Havuzbaşı kontrolsüz kavşak genel görünüm



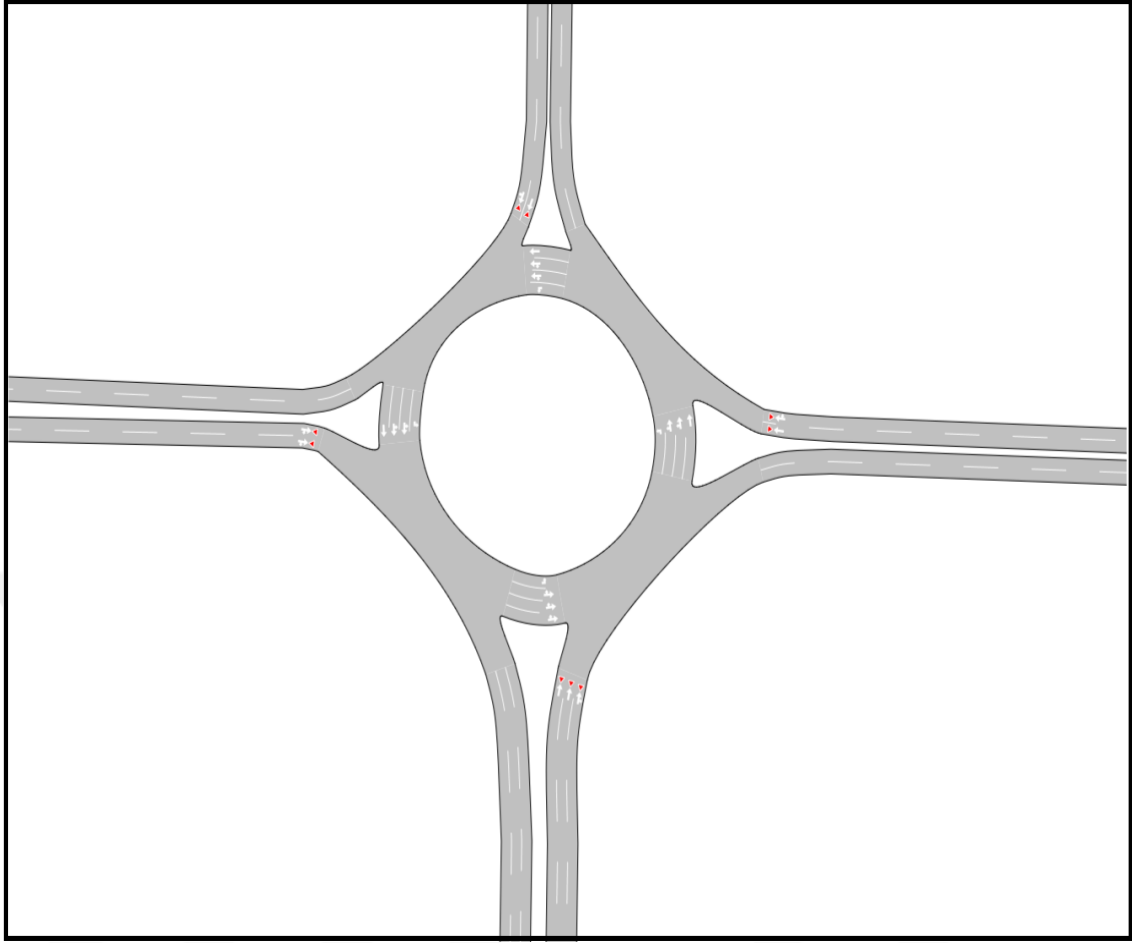
Şekil 5.20. Havuzbaşı kontrolsüz kavşak arterler 1. kısım



Şekil 5.21. Havuzbaşı kontrolsüz kavşak arterler 2. kısım



Şekil 5.22. Havuzbaşı kontrolsüz kavşak altlıksız

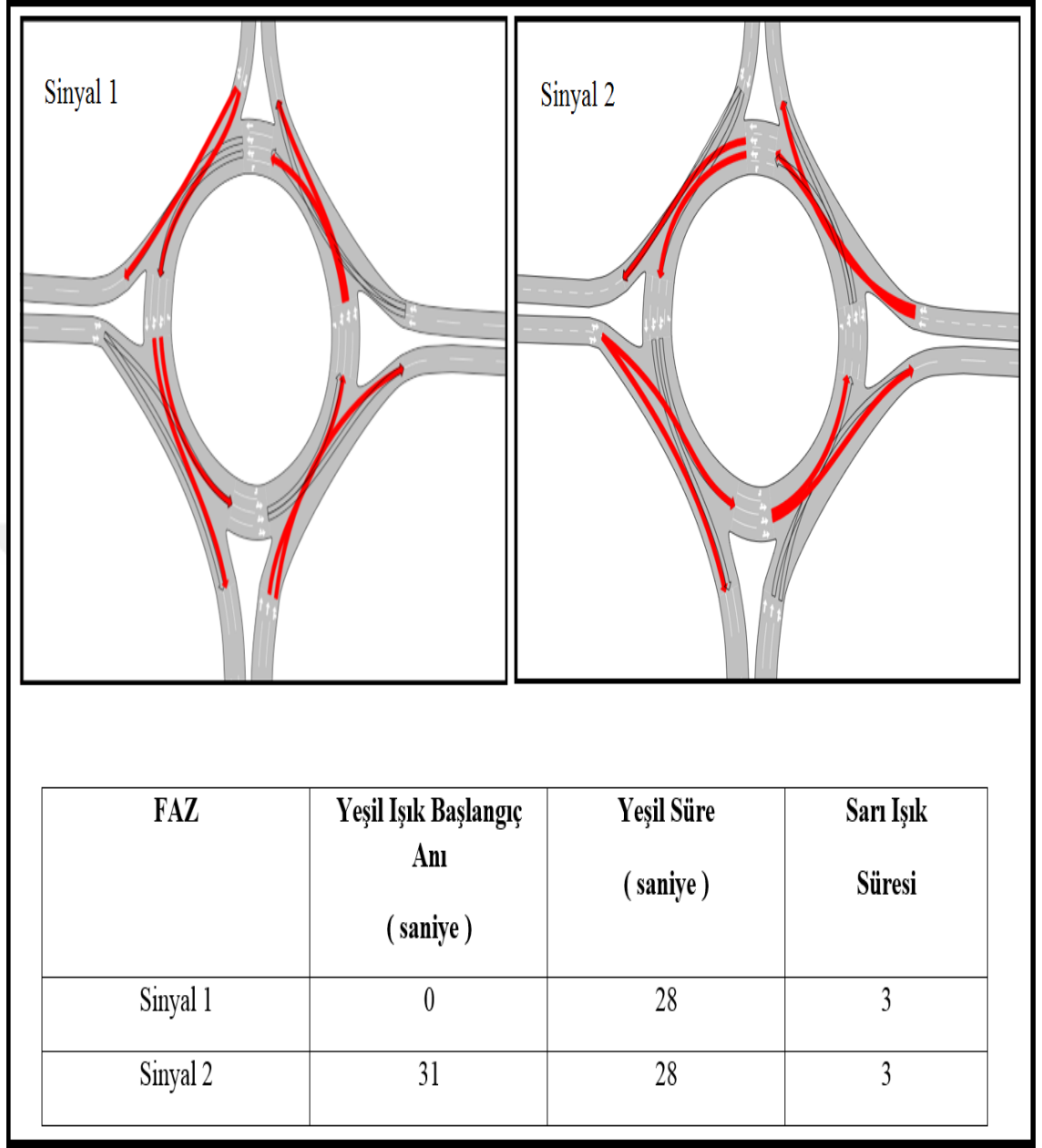


Şekil 5.23. Havuzbaşı kontrolsüz kavşak uygulaması

Şekil 5.23’ te Havuzbaşı kavşağının kontrolsüz kavşak uygulanmış modeli gösterilmektedir. Kavşağa giren kollara ‘yolver’ tanzim işareti eklenmiş ve kavşak içindeki akıma öncelik atanmıştır.

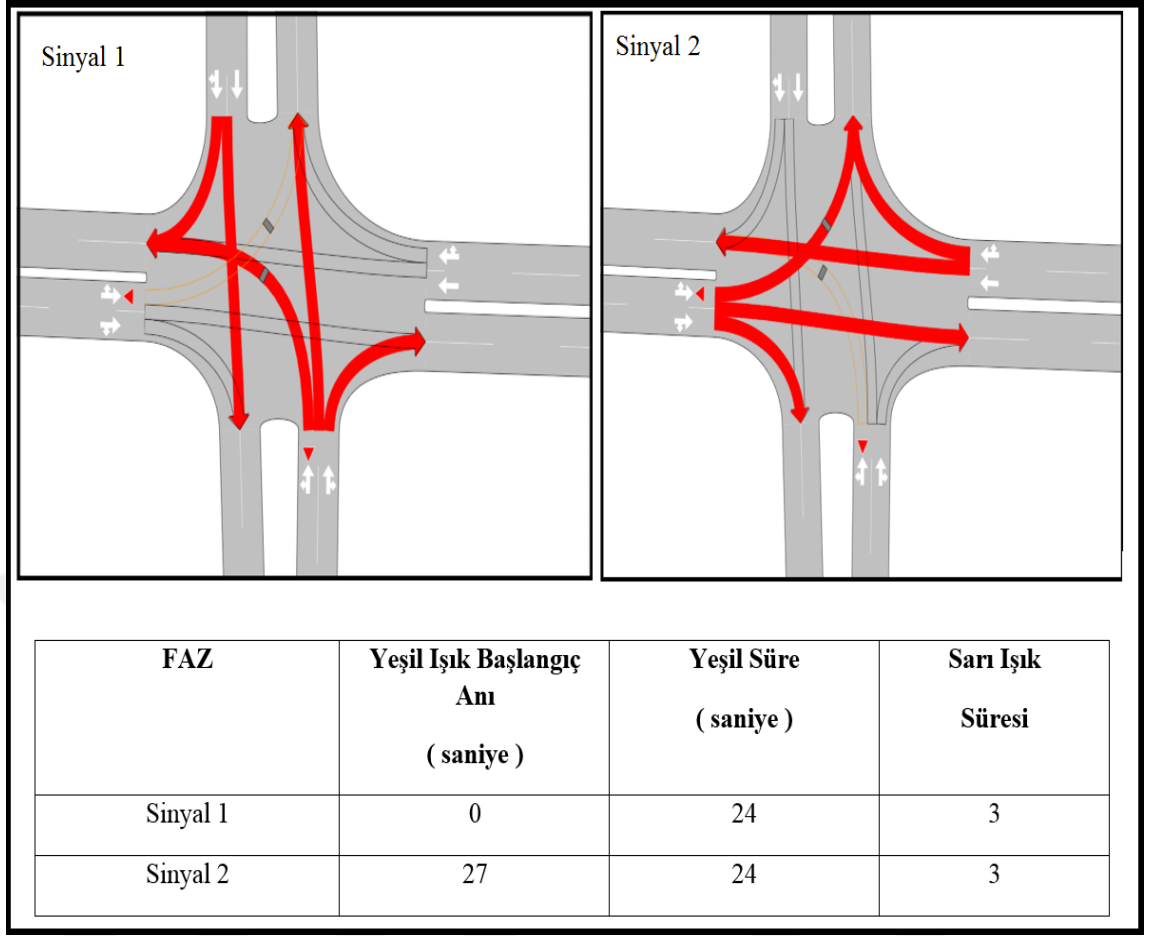
5.3.3. Webster yöntemi uygulamaları

Sinyal optimizasyonuna sahip Havuzbaşı kavşağı ve Yakutiye Belediye kavşaklarına Webster yöntemi uygulanmıştır. Havuzbaşı ve Yakutiye Belediye kavşağına ait Webster yöntemiyle oluşturulan fazlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Uygulanan yöntemle ait fazlardaki geçiş hakları ve faz süreleri detaylı bir şekilde gösterilmiştir. PROMETHEE yönteminde Havuzbaşı kavşağı Webster yöntemi, Yakutiye Belediyesi kavşağı Webster yöntemi ayrı ayrı uygulanmış olup senaryo 3, senaryo 4 olarak adlandırılmış, senaryo 5’te ise Havuzbaşı kavşağı ve Yakutiye Belediye kavşağına aynı anda Webster yöntemi uygulanmıştır.



Şekil 5.24. Havuzbaşı kavşağı Webster yöntemi senaryo 3 uygulaması

Şekil 5.24'te Havuzbaşı kavşağının Webster yöntemiyle oluşturulan yeni fazları gösterilmiştir. Gösterilen şekilde sinyal 1 ve sinyal 2 fazında müsaade edilen geçişler belirtilmiş ve fazlardaki ışık süreleri verilmiştir. Webster yöntemine göre oluşturulan modelde sinyal planları 2 faz şeklinde çalışmaktadır. Sinyal 1'de yeşil ışık 0 . saniyede başlar ve 28 saniye boyunca yeşil yanmaktadır. Yeşil ışık ile kırmızı ışık arasındaki sarı ışık süresi 3 saniyedir. Sinyal 2'de 31. saniyede yeşil ışık yanmaya başlar ve 28 saniye boyunca yeşil ışık yanar.



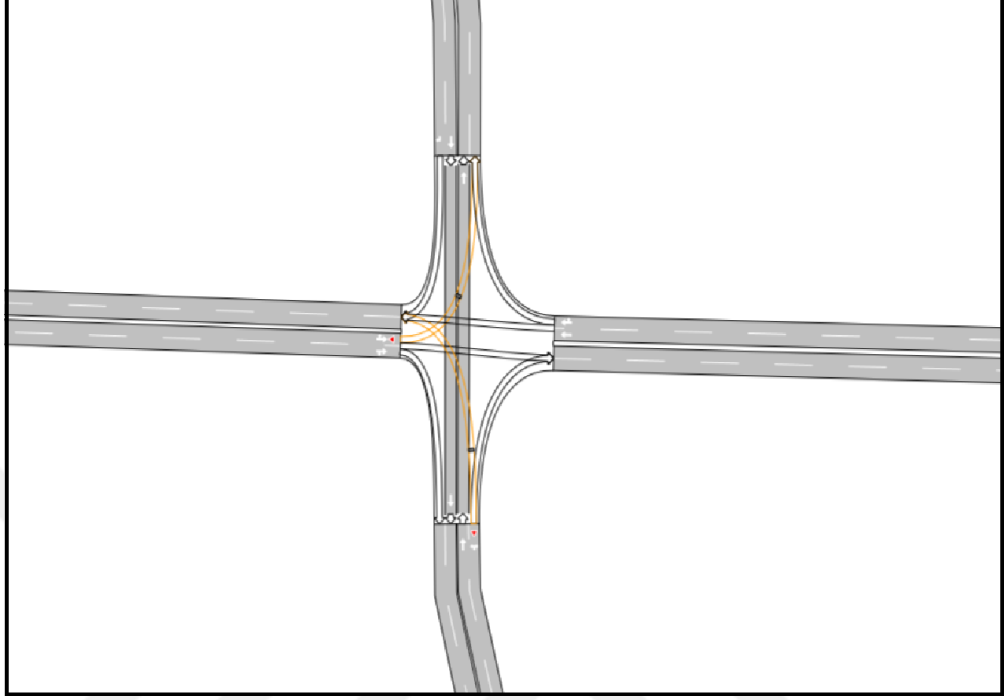
Şekil 5.25. Yakutiye Belediye kavşağı Webster yöntemi senaryo 4 uygulaması

Şekil 5.25 'te Yakutiye Belediye kavşağının Webster yöntemiyle oluşturulan yeni fazları gösterilmiştir. Gösterilen şekilde sinyal 1 ve sinyal 2 fazında müsaade edilen geçişler belirtilmiş ve fazlardaki ışık süreleri verilmiştir. Webster yöntemine göre oluşturulan modelde sinyal planları 2 faz şeklinde çalışmaktadır. Sinyal 1'de yeşil ışık 0. saniyede başlar ve 24 saniye boyunca yeşil yanmaktadır. Yeşil ışık ile kırmızı ışık arasındaki sarı ışık süresi 3 saniyedir. Sinyal 2' de 27. saniyede yeşil ışık yanmaya başlar ve 24 saniye boyunca yeşil ışık yanar.

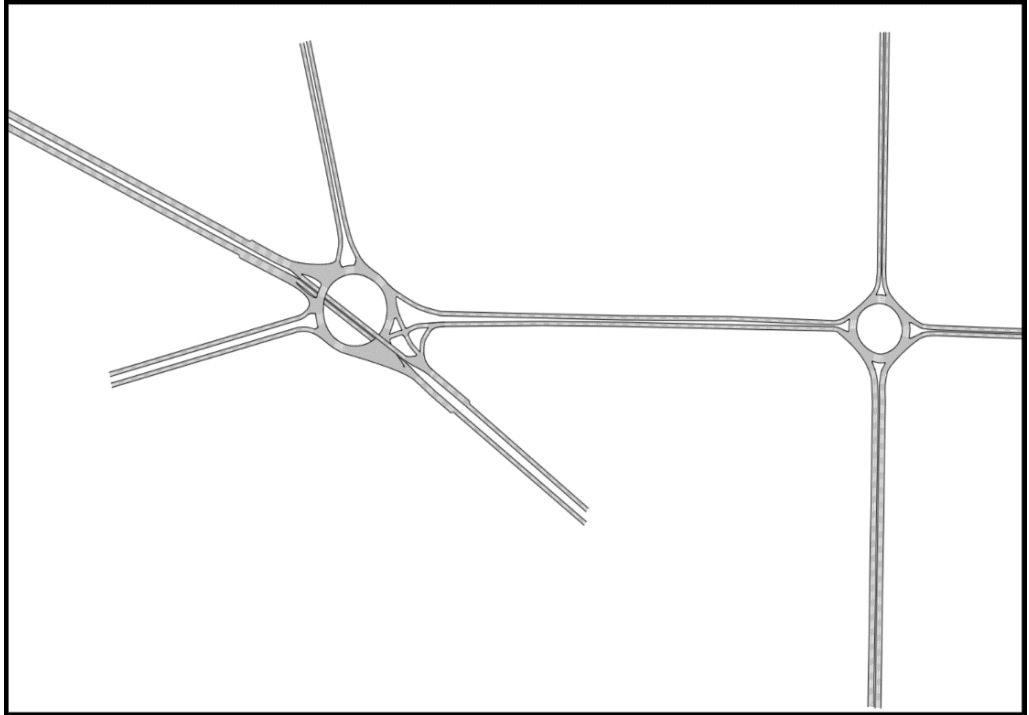
5.3.4. Alt geçit uygulamaları

Üniversite Kavşağı ve Yakutiye Belediye Kavşağına alt geçit uygulaması yapılmıştır. PROMETHEE yönteminde Yakutiye Belediye kavşağı alt geçit senaryo 6, Üniversite kavşağı alt geçit senaryo 7 olarak adlandırılmıştır. Modellemesi yapılan kavşaklar aşağıda gösterilmiştir.

Alt geçit' in yönü; trafik yoğunluğunun fazla ve zirve saat faktörünün yüksek olduğu yönlere göre belirlenmiştir. şekil 5.26 ve şekil 5.27' de gösterilmiştir.



şekil 5.26. Yakutiye Belediye kavşağı alt geçit uygulaması



şekil 5.27. Üniversite kavşağı altgeçit arterler 1. kısım

5.3.5. GEH analizleri

Çalışma kapsamında mevcut durumdaki ve simülasyondaki yol bölümlerinden geçen araç sayılarının kalibresi ve doğrulama testi GEH formülü kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışmada toplam gözlenen değerleri ve toplam simülasyon değerleri GEH analizine tabi tutulduğundan toplam GEH değerinin 3'ün atında olması durumunda yapılmış olan modelin uygun olduğu görülmüştür. Tablo 5.8, Tablo 5.9 ve Tablo 5.10'da GEH analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.8. Üniversite Kavşağı Mevcut Durum GEH Analizleri

GEH	3	5	7	9	1	4	6	8	10	2	TOPLAM
Gözlenen Değerler	796	1122	945	1134	630	451	999	901	812	1464	9254
Simülasyon Değerleri	834	1078	948	1024	738	408	991	852	762	1446	9081
GEH Değeri	1,33	1,33	0,10	3,35	4,13	2,07	0,25	1,66	1,78	0,47	1,81
Kriter GEH <5	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet

Tablo 5.9. Havuzbaşı Kavşağı Mevcut Durum GEH Analizleri

GEH	3	1	7	5	2	8	6	4	TOPLAM
Gözlenen Değerler	1148	1085	1099	1509	1871	821	1042	1107	9682
Simülasyon Değerleri	1126	1164	1014	1578	1768	720	1002	1018	9390
GEH Değeri	0,65	2,36	2,62	1,76	2,41	3,64	1,25	2,73	2,99
Kriter GEH<5	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet

Tablo 5.10. Yakutiye Belediye Mevcut Durum GEH Analizleri

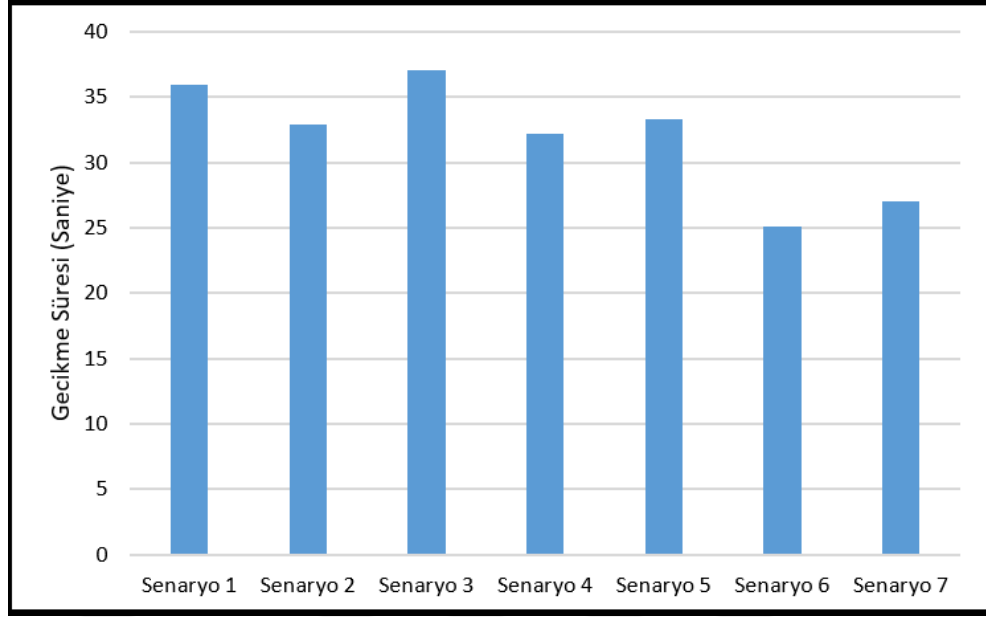
GEH	1	2	3	4	1	2	3	4	TOPLAM
					Giren	Giren	Giren	Giren	
Gözlenen Değerler	1400	1088	535	626	1141	1511	458	539	7298
Simülasyon Değerleri	1363	1110	510	610	1176	1402	444	510	7125
GEH Değeri	1,00	0,66	1,09	0,64	1,03	2,86	0,66	1,27	2,04
Kriter GEH <5	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet	evet

5.3.6. Simülasyon sonuçları

Senaryolar AIMSUN programında ayrı ayrı modellenmiştir. Belirlenen kriterler doğrultusunda sonuçlar elde edilmiştir.

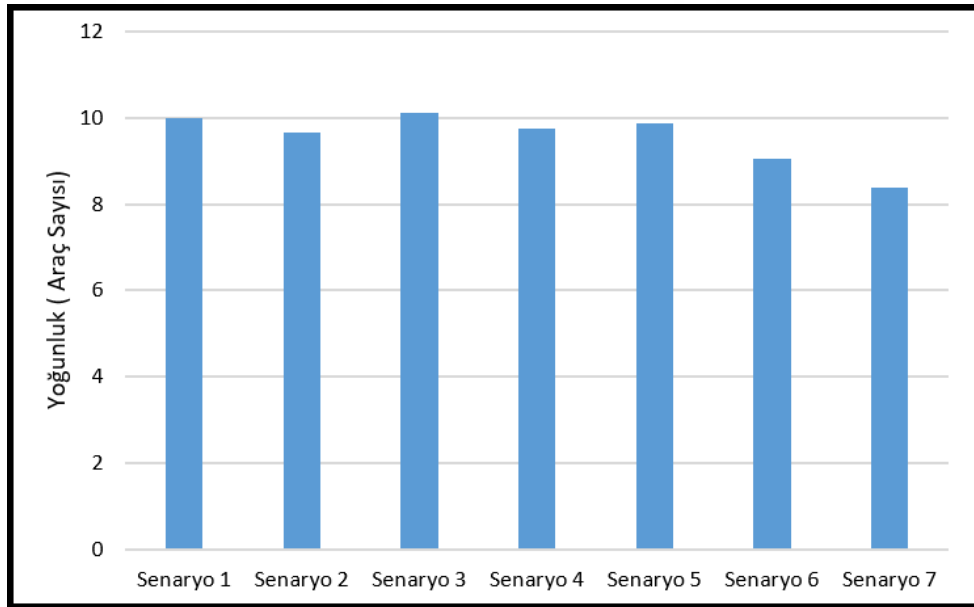
Oluşturulan senaryoların kriterler ölçütünde karşılaştırılmalı olarak aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Gecikme süresi, yoğunluk, yakut tüketimi, CO₂, NO_x, PM, VOC, hız, durma süresi, seyahat süresi ve maliyet kriterlerinin grafikleri ayrı ayrı aşağıda verilmiştir. Yapılan simülasyon sonuçlarına göre senaryoların en düşük değer ve en yüksek değerlere bakılarak grafik yorumlamaları yapılmıştır.



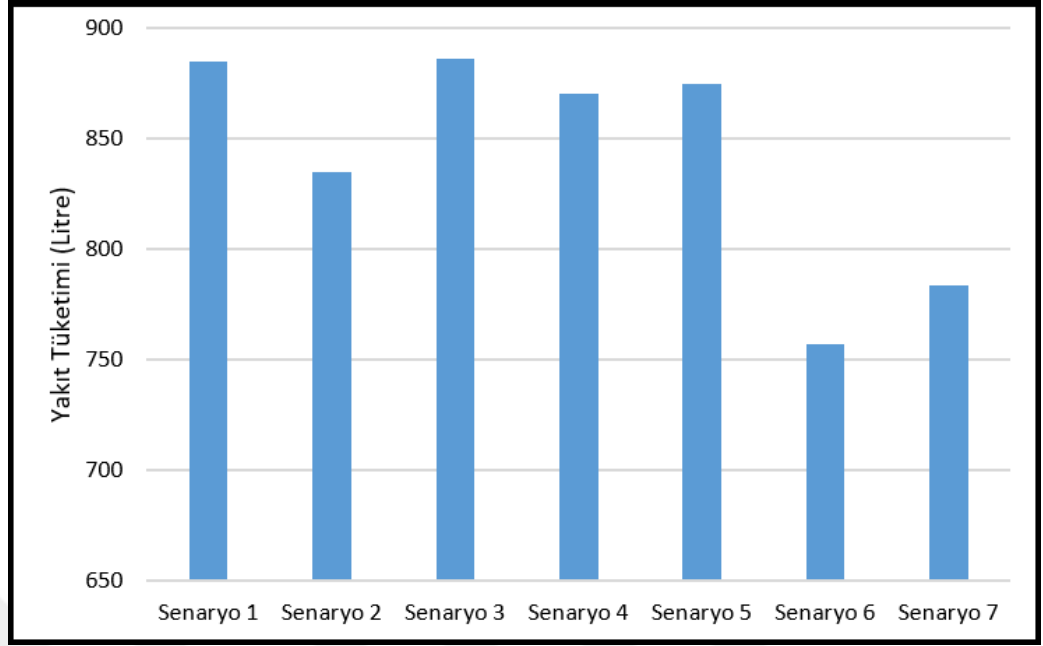
Şekil 5.28. Gecikme süresi

Şekil 5.28’de gecikme süresi grafiğinde gösterilen değerlere göre; Senaryo 6 en düşük gecikme süresi değeri olan durumdur, Senaryo 3 ise en yüksek gecikme süresinin yaşandığı durumdur.



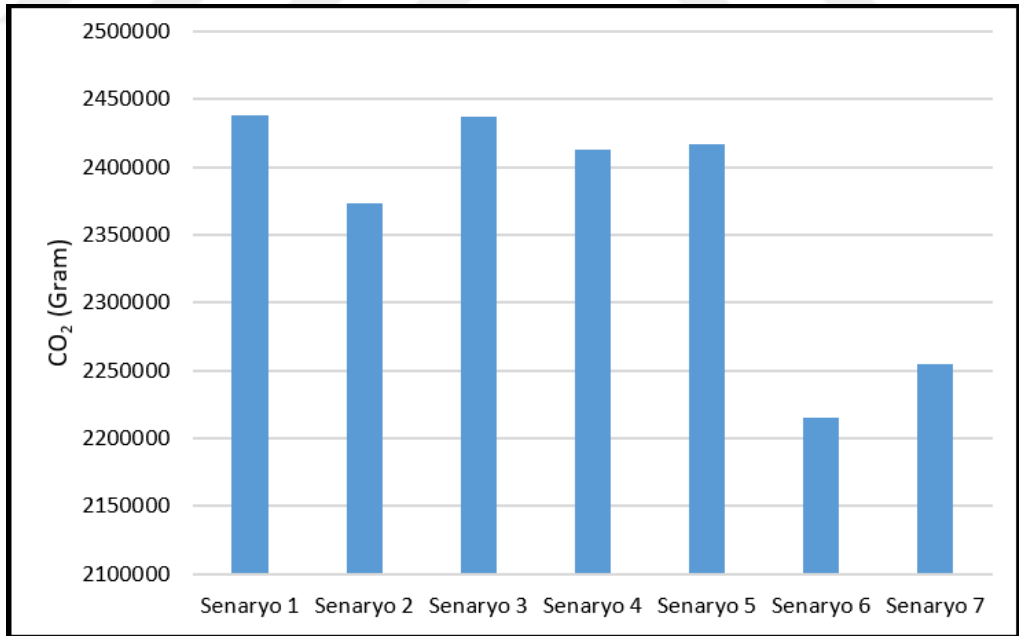
Şekil 5.29. Yoğunluk

Şekil 5.29’da yoğunluk grafiğinde gösterilen değerlere göre; Senaryo 7 en düşük yoğunluğa sahip iken Senaryo 3 ise en yüksek yoğunluğa sahiptir.



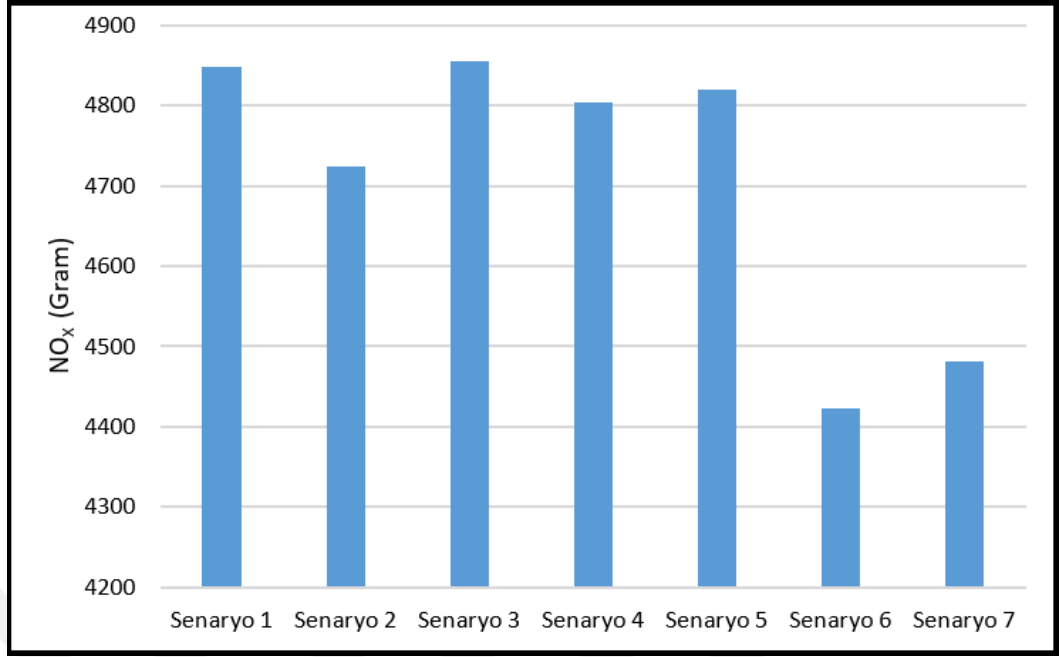
Şekil 5.30. Yakıt tüketimi

Şekil 5.30’da yakıt tüketimi grafiğinde gösterilen değerlere göre; Senaryo 6’ da en az yakıt tüketilirken Senaryo 3’de en çok yakıt tüketimi olmuştur.



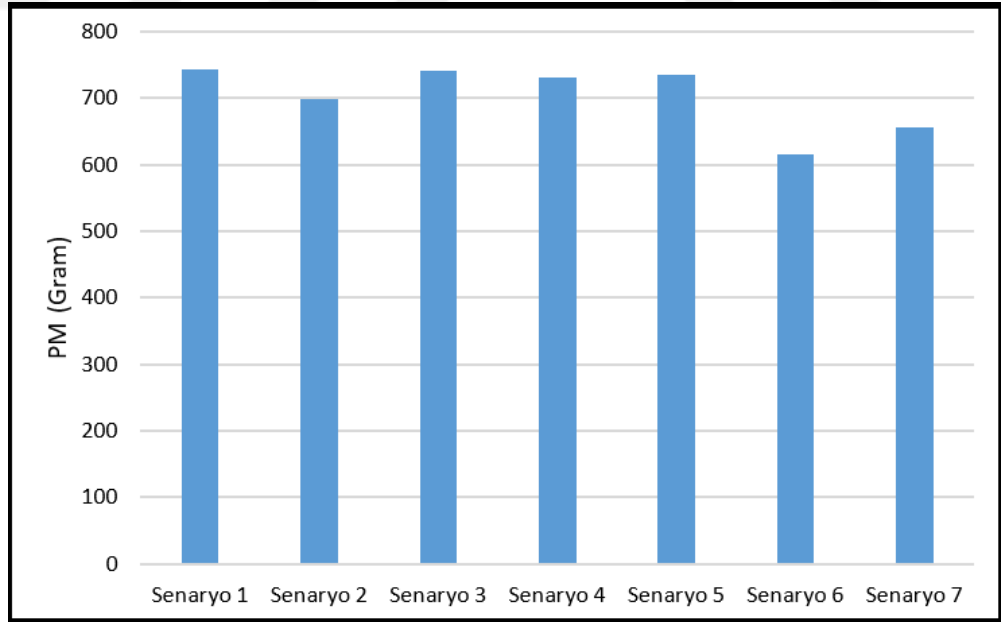
Şekil 5.31. CO₂ emisyonu

Şekil 5.31’ de CO₂ emisyonu grafiğinde gösterilen değerlere göre; en fazla CO₂ emisyonunun Senaryo 1’de, en az ise Senaryo 6’da olduğu gözükmemektedir.



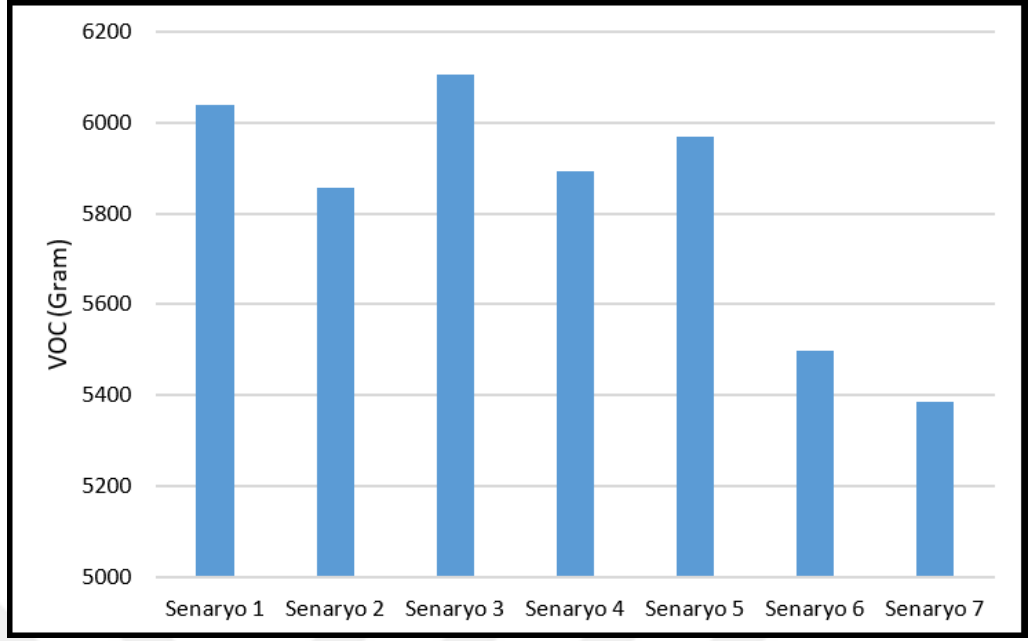
Şekil 5.32. NO_x emisyonu

Şekil 5.32’ de NO_x emisyonu grafiğinde gösterilen değerlere göre; en fazla NO_x emisyonunun Senaryo 3’de, en az ise Senaryo 6’da oluştuğu gözükmektedir.



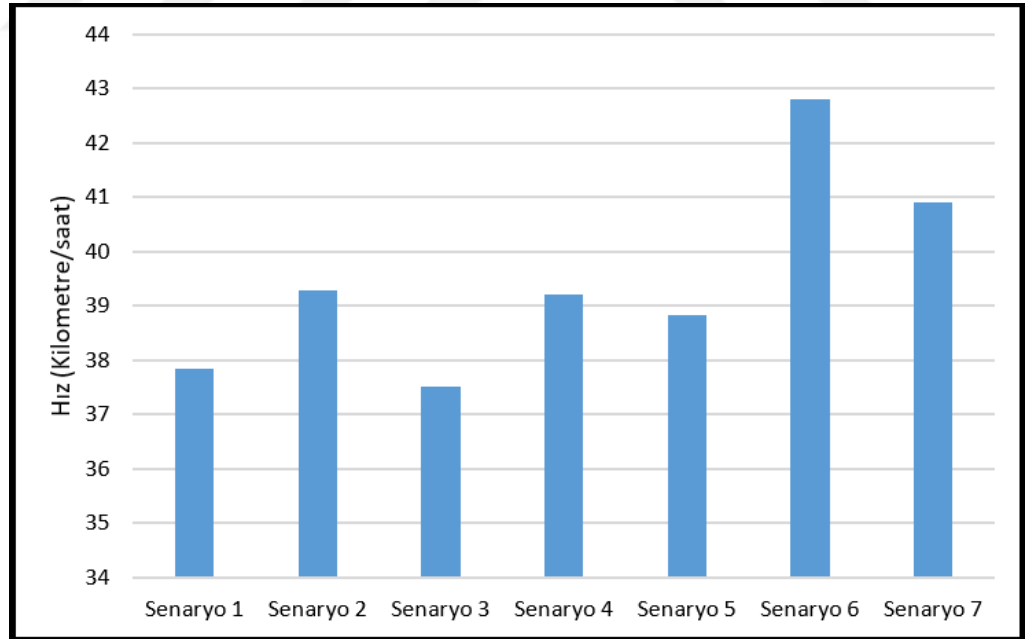
Şekil 5.33. Partikül madde emisyonu

Şekil 5.33’ de Partikül madde emisyonu grafiğinde gösterilen değerlere göre; en fazla emisyonunun Senaryo 3’de, en az ise Senaryo 6’da oluştuğu gözükmektedir.



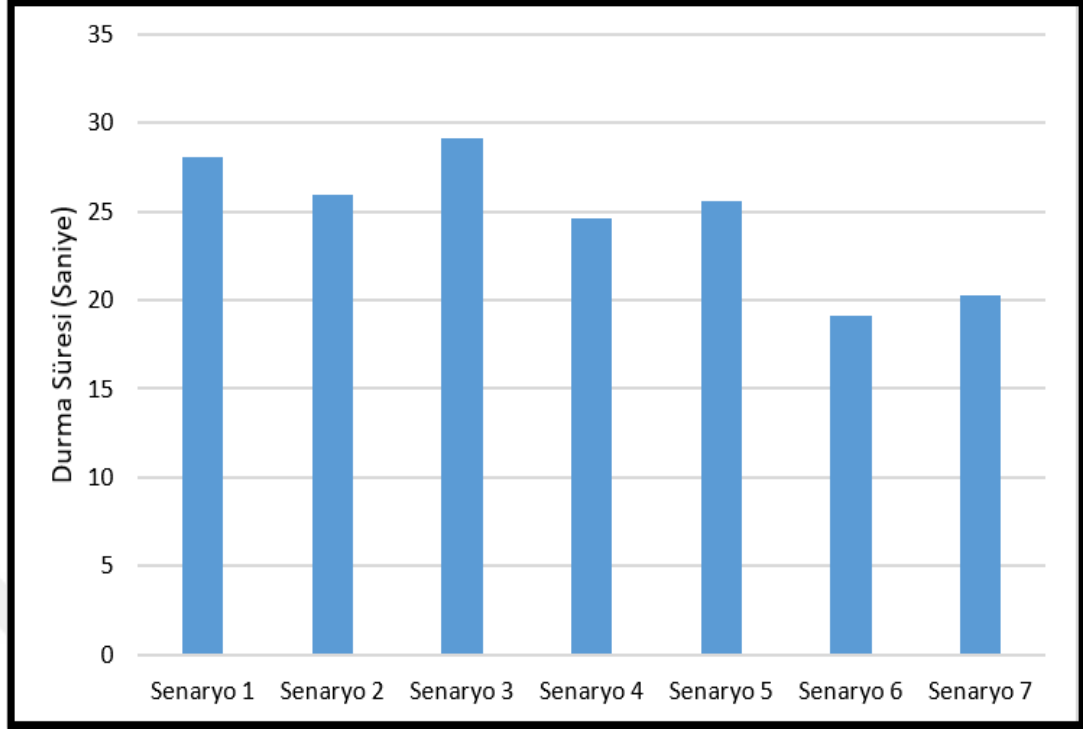
Şekil 5.34. VOC emisyonu

Şekil 5.34’ de VOC emisyonu grafiğinde gösterilen değerlere göre; en fazla emisyonunun Senaryo 3’de, en az ise Senaryo 7’de olduğu görülmektedir.



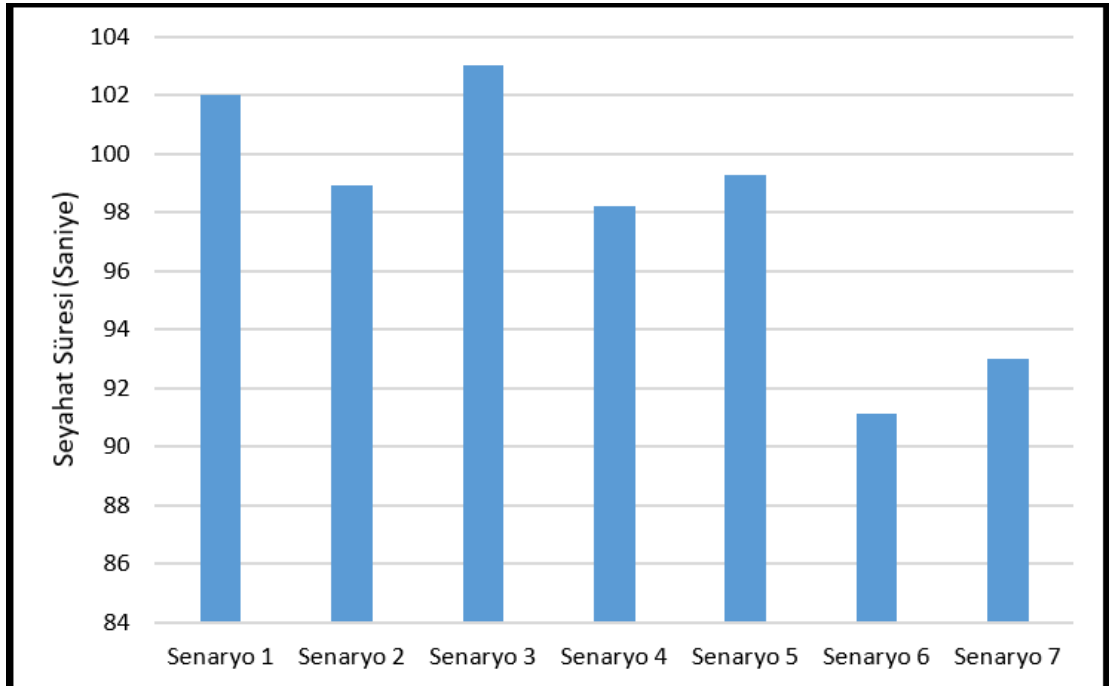
Şekil 5.35. Hız

Şekil 5.35’ de hız grafiğinde gösterilen değerlere göre Senaryo 3 en düşük ortalama hıza, Senaryo 6 ise en yüksek ortalama hıza sahip olan senaryodur.



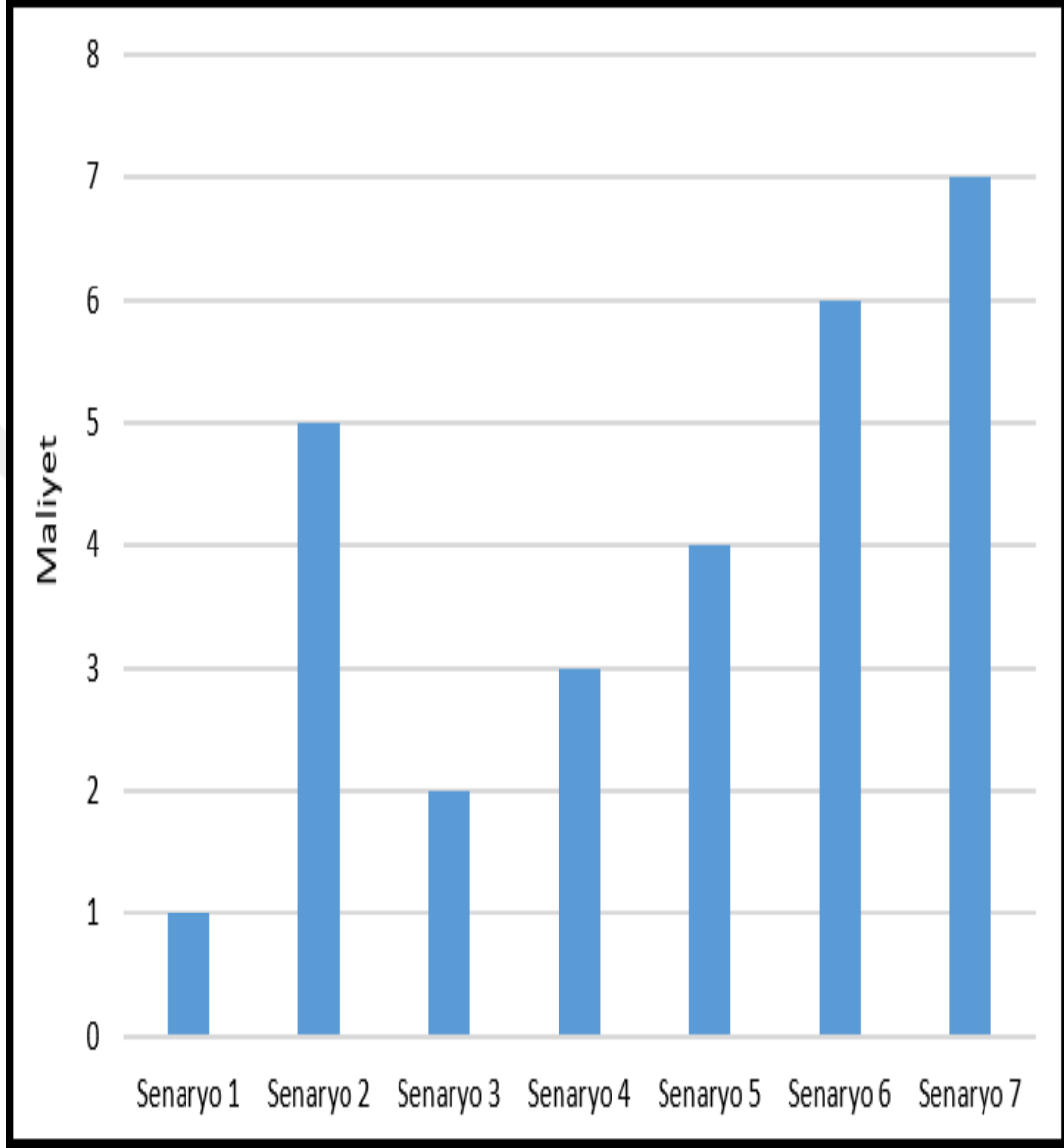
Şekil 5.36. Durma süresi

Şekil 5.36’ da durma süresi grafiğinde gösterilen değerlere göre Senaryo 6 en düşük durma süresine, Senaryo 3 ise en yüksek durma süresine sahip olan senaryodur.



Şekil 5.37. Seyahat süresi

Şekil 5.37’ de seyahat süresi grafiğinde gösterilen değerlere göre Senaryo 6 en düşük seyahat süresine, Senaryo 3 ise en yüksek seyahat süresine sahip olan senaryodur.



Şekil 5.38. Maliyet

Şekil 5.38’ de maliyet grafiğinde gösterilen değerlere göre Senaryo 1 en düşük maliyet oranına sahip iken, Senaryo 7 ise en yüksek maliyet oranına sahiptir.

5.3.7. PROMETHEE uygulamaları

VISUAL PROMETHEE, birçok çok kriterli yöntemlere göre uygulamada oldukça basit bir sıralama yöntemidir. Alternatiflerin, birbirleriyle çelişebilen kriterleri dikkate alınarak

sıralanması için tasarlanmış bir yöntemdir. Yapılan çalışmada ilk adımda alternatifler ve kriterler belirlenmiştir. PROMETHEE yöntemine 7 senaryo ve 11 kriter tanımlanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Senaryoların değerlendirilmesinde kullanılmak üzere belirlenen kriterler aşağıda verilmiştir.

- Kriter 1 gecikme süresi : Kilometre başına düşen araçların ortalama gecikme süresidir. Birimi saniye / kilometredir.
- Kriter 2 yoğunluk: Kilometre başına düşen araç sayıdır. Birimi araç / kilometredir.
- Kriter 3 yakıt tüketimi: Kilometre başına düşen araç yakıt tüketimidir. Birimi litre / kilometredir.
- Kriter 4 CO₂ emisyonu: Trafik ağından ayrılan tüm araçların kilometrede salınım yaptığı Karbon Monoksit miktarıdır. Birimi gram / kilometredir.
- Kriter 5 NO_x emisyonu: Trafik ağından ayrılan tüm araçların kilometrede salınım yaptığı Azot Oksit miktarıdır. Birimi gram / kilometredir.
- Kriter 6 PM emisyonu: Trafik ağından ayrılan tüm araçların kilometrede salınım yaptığı Partikül Madde miktarıdır. Birimi gram / kilometredir.
- Kriter 7 VOC emisyonu: Trafik ağından ayrılan tüm araçların kilometrede salınım yaptığı Ucucu Organik Bileşen miktarıdır. Birimi gram / kilometredir.
- Kriter 8 hız: Trafik ağından ayrılan tüm araçların ortalama hızıdır. Birimi kilometre / saat'tir.
- Kriter 9 durma süresi: Araçların durma süresini gösterir.
- Kriter 10 seyahat süresi: Tüm araçların toplam seyahat süresinin toplam kat ettiği yola oranıdır. Birimi saniye / kilometredir.
- Kriter 11 maliyet: Kavşak tasarımı yaparken maliyeti de oldukça önemlidir. Bundan dolayı fayda / maliyet oranı da göz önünde bulundurulacağından kriter olarak eklenmiştir.

PROMETHEE yöntemini uygulamak için ilk adım kriterler ve senaryolar için veri matrisi oluşturulur. Karar seçenekleri ve değerlendirme kriterleri Tablo 5.11' de gösterilmiştir.

Tablo 5.11. Kavşaklarla ilgili senaryo ve kriterler

Kriterler	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo7
Gecikme Süresi (sn/km)	35,96	32,892	37,01	32,17	33,28	25,11	27,05
Yoğunluk (araç/ km)	9,99	9,66	10,11	9,75	9,88	9,05	8,38
Yakıt Tüketimi(l)	884,66	834,61	886,31	870,52	874,51	756,92	783,66
CO₂ (g)	2437828	2372854	2437298	2412692	2416517	2215061	2254947
NO_x (g)	4849,10	4724,24	4856,53	4804,11	4820,40	4423,53	4480,56
PM (g)	743,89	698,62	741,26	731,97	734,87	614,9	656,3
VOC (g)	6040,28	5855,79	6107,09	5892,48	5967,47	5496,53	5385,31
Hız (km/sa)	37,85	39,29	37,50	39,21	38,82	42,80	40,90
Durma Süresi (sn/km)	28,12	25,98	29,13	24,58	25,63	19,08	20,31
Seyahat Süresi (sn/km)	102	98,92	103,05	98,21	99,31	91,13	93,01
Maliyet	1	5	2	3	4	6	7

Çalışmada PROMETHEE yöntemi ile analizler yapılmıştır. Kavşaklarla ilgili 7 senaryo ve 11 kriter belirlenmiştir. Kriterler VISUAL PROMETHEE’de uygulanarak Şekil 5.39’da gösterilmiştir.

The screenshot shows the Visual PROMETHEE Academic software interface. The main window displays a table for configuring scenarios and criteria. The table has columns for various criteria and rows for different scenarios. The criteria are: Gecikme süresi, Yoğunluk, Yakıt Tüketimi, CO2, NOx, PM, VOC, Hız, Duraklama S..., Seyahat Süresi, and Maliyet. The scenarios are: Senaryo1, Senaryo2, Senaryo3, Senaryo4, Senaryo5, Senaryo6, and Senaryo7. The table also includes sections for Preferences, Statistics, and Evaluations.

Scenario1	Gecikme süresi	Yoğunluk	Yakıt Tüketimi	CO2	NOx	PM	VOC	Hız	Duraklama S...	Seyahat Süresi	Maliyet
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences											
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics											
Minimum	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Maximum	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Average	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Standard Dev.	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Evaluations											
☒ Senaryo1	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
☒ Senaryo2	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
☒ Senaryo3	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
☒ Senaryo4	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
☒ Senaryo5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
☒ Senaryo6	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
☒ Senaryo7	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Şekil 5.39. VISUAL PROMETHEE’de senaryo ve kriterler

PROMETHEE yöntemini uygulamak için kriterlere ait ağırlıkları belirlenmiştir. Kriterlere verilen ağırlıklar 0 ile 1 arasında olmalıdır ve her bir kriterin aldığı değerler birbirinden bağımsız değerlendirilir. 0 ile 1 arasında verilen ağırlıklar ne kadar büyük olursa kriter o derece önemli sayılmaktadır. Kriter ağırlıkları toplamı 1’e eşit olacak şekilde gecikme süresi %15, yoğunluk %12, yakıt tüketimi %11, CO₂ %6, NO_x %5, PM %3, VOC %4, hız %7, duraklama süresi %8, seyahat süresi %12 ve maliyet %17 olarak Şekil 5.40’da kriter ağırlıkları verilmiştir.

Scenario1	Geçirme süresi	Yoğunluk	Yakıt Tüketimi	CO2	NOx	PM	VOC	Hız	Duraklama Süresi	Seyahat Süresi	Maliyet
Unit	sn/km	araç/km	l	g/km	g/km	g/km	g/km	km/sa	sn/km	sn/km	TL
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences											
Min/Max	min	min	min	min	min	min	min	max	min	min	min
Weight	0,15	0,12	0,11	0,06	0,05	0,03	0,04	0,07	0,08	0,12	0,17
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics											
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Average	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Standard Dev.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Evaluations											
Senaryo1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Senaryo2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Senaryo3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Senaryo4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Senaryo5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Senaryo6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Senaryo7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Şekil 5.40. VISUAL PROMETHEE’de kriter ağırlık oranları

Şekil 5.41’de senaryolar ve kriterlere ait veriler verilmiştir. Kavşaklar için verilen kriterlerin tamamında fayda gözetildiğinden maksimum ve minimum tercihler seçilmiştir. Oluşturulan değerlendirmelerde hız için maksimum; yoğunluk, yakıt tüketimi, CO₂, NO_x, PM, VOC, hız, duraklama süresi, seyahat süresi ve maliyet için ise minimum değerler alınmıştır.

Scenario1	Geçirme süresi	Yoğunluk	Yakıt Tüketimi	CO2	NOx	PM	VOC	Hız	Duraklama Süresi	Seyahat Süresi	Maliyet
Unit	sn/km	araç/km	l	g/km	g/km	g/km	g/km	km/sa	sn/km	sn/km	TL
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences											
Min/Max	min	min	min	min	min	min	min	max	min	min	min
Weight	0,15	0,12	0,11	0,06	0,05	0,03	0,04	0,07	0,08	0,12	0,17
Preference Fn.	V-shape	V-shape	V-shape	Level	Level	Level	Level	V-shape	Level	V-shape	V-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	1,00	1,00	1,00	1,00	n/a	1,00	n/a	n/a
- P: Preference	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics											
Minimum	25,11	8,38	756,92	2215061,00	4423,50	614,90	5385,31	37,50	19,08	91,13	1,00
Maximum	37,01	10,11	886,31	2437298,00	4856,53	743,89	6107,09	42,80	29,13	103,05	7,00
Average	31,92	9,55	841,60	2363885,29	4708,35	703,12	5820,71	39,48	24,69	97,95	4,00
Standard Dev.	4,06	0,57	48,33	84604,80	167,66	46,22	254,34	1,70	3,48	4,07	2,00
Evaluations											
Senaryo1	35,96	9,99	884,66	2437828,00	4849,10	743,89	6040,28	37,85	28,12	102,00	1,00
Senaryo2	32,89	9,66	834,61	2372854,00	4724,24	698,62	5855,79	39,29	25,98	98,92	5,00
Senaryo3	37,01	10,11	886,31	2437298,00	4856,53	741,26	6107,09	37,50	29,13	103,05	2,00
Senaryo4	32,17	9,75	870,52	2412692,00	4804,11	731,97	5892,48	39,21	24,58	98,21	3,00
Senaryo5	33,28	9,88	874,51	2416517,00	4820,40	734,87	5967,47	38,82	25,63	99,31	4,00
Senaryo6	25,11	9,05	756,92	2215061,00	4423,50	614,90	5496,53	42,80	19,08	91,13	6,00
Senaryo7	27,05	8,38	783,66	2254947,00	4480,56	656,30	5385,31	40,90	20,31	93,01	7,00

Şekil 5.41. VISUAL PROMETHEE’de senaryo ve kriter verileri

Şekil 5.42’deki istatistikler kısmında ise maksimum değer, minimum değer, ortalama ve standart sapmalar verilmiştir.

Visual PROMETHEE Academic - kavşak.vpg (not saved)

FileEditModelControlPROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help



	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	
Scenario1	Gecikme süresi	Yoğunluk	Yakıt Tüketimi	CO2	NOx	PM	VOC	Hız	Duraklama S...	Seyahat Süresi	Maliyet	
Unit	sn/km	araç/km	l	g/km	g/km	g/km	g/km	km/sa	sn/km	sn/km	TL	
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	
Preferences												
Min/Max	min	min	min	min	min	min	min	max	min	min	min	
Weight	0,15	0,12	0,11	0,06	0,05	0,03	0,04	0,07	0,08	0,12	0,17	
Preference Fn.	V-shape	V-shape	V-shape	Level	Level	Level	Level	V-shape	Level	V-shape	V-shape	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	1,00	1,00	1,00	1,00	n/a	1,00	n/a	n/a	
- P: Preference	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statistics												
Minimum	25,11	8,38	756,92	2215061,00	4423,50	614,90	5385,31	37,50	19,08	91,13	1,00	
Maximum	37,01	10,11	886,31	2437828,00	4856,53	743,89	6107,09	42,80	29,13	103,05	7,00	
Average	31,92	9,55	841,60	2363885,29	4708,35	703,12	5820,71	39,48	24,69	97,95	4,00	
Standard Dev.	4,06	0,57	48,33	84604,80	167,66	46,22	254,34	1,70	3,48	4,07	2,00	
Evaluations												
☒ Senaryo1		35,96	9,99	884,66	2437828,00	4849,10	743,89	6040,28	37,85	28,12	102,00	1,00
☒ Senaryo2		32,89	9,66	834,61	2372854,00	4724,24	698,62	5855,79	39,29	25,98	98,92	5,00
☒ Senaryo3		37,01	10,11	886,31	2437298,00	4856,53	741,26	6107,09	37,50	29,13	103,05	2,00
☒ Senaryo4		32,17	9,75	870,52	2412692,00	4804,11	731,97	5892,48	39,21	24,58	98,21	3,00
☒ Senaryo5		33,28	9,88	874,51	2416517,00	4820,40	734,87	5967,47	38,82	25,63	99,31	4,00
☒ Senaryo6		25,11	9,05	756,92	2215061,00	4423,50	614,90	5496,53	42,80	19,08	91,13	6,00
☒ Senaryo7		27,05	8,38	783,66	2254947,00	4480,56	656,30	5385,31	40,90	20,31	93,01	7,00

Şekil 5.42. VISUAL PROMETHEE’de istatistik değerler

PROMETHEE yöntemini uygulamak için kullanılacak senaryolar, kriter ağırlıkları ve kriterler belirlendikten sonra ikinci adım olarak; kullanılacak tercih fonksiyonları belirlenmiştir. Değerlendirilen kriterler nicel olduğundan 3. tip (V tipi) ve 5. tip (Doğrusal) tercih fonksiyonları kullanılmıştır. Şekil 5.43’de gecikme süresi, yoğunluk, yakıt tüketimi, hız, seyahat süresi ve maliyet için üçüncü tercih fonksiyonu; CO₂, NO_x, PM, VOC ve duraklama süresi için ise beşinci tercih fonksiyonu belirlenmiştir.

Visual PROMETHEE Academic - kavşak.vpg (not saved)

File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help

Geçirme süresi Yoğunluk Yakıt Tüketimi CO2 NOx PM VOC Hız Duraklama S... Seyahat Süresi Maliyet

Unit sn/km araç/km l g/km g/km g/km g/km km/sa sn/km sn/km TL

Cluster/Group

Preferences

Min/Max min min min min min min min max min min min

Weight 0,15 0,12 0,11 0,06 0,05 0,03 0,04 0,07 0,08 0,12 0,17

Preference Fn. V-shape V-shape V-shape Level Level Level Level V-shape Level V-shape V-shape

Thresholds absolute absolute absolute absolute absolute absolute absolute absolute absolute absolute absolute

- Q: Indifference n/a n/a n/a 1,00 1,00 1,00 1,00 n/a 1,00 n/a n/a

- P: Preference 2,00 2,00 2,00 2,00 2,00 2,00 2,00 2,00 2,00 2,00 2,00

- S: Gaussian n/a n/a n/a n/a n/a n/a n/a n/a n/a n/a n/a

Statistics

Minimum 25,11 8,38 756,92 2215061,00 4423,50 614,90 5385,31 37,50 19,08 91,13 1,00

Maximum 37,01 10,11 886,31 2437828,00 4856,53 743,89 6107,09 42,80 29,13 103,05 7,00

Average 31,92 9,55 841,60 2363885,29 4708,35 703,12 5820,71 39,48 24,69 97,95 4,00

Standard Dev. 4,06 0,57 48,33 84604,80 167,66 46,22 254,34 1,70 3,48 4,07 2,00

Evaluations

Senaryo1 35,96 9,99 884,66 2437828,00 4849,10 743,89 6040,28 37,85 28,12 102,00 1,00

Senaryo2 32,89 9,66 834,61 2372854,00 4724,24 698,62 5855,79 39,29 25,98 98,92 5,00

Senaryo3 37,01 10,11 886,31 2437298,00 4856,53 741,26 6107,09 37,50 29,13 103,05 2,00

Senaryo4 32,17 9,75 870,52 2412692,00 4804,11 731,97 5892,48 39,21 24,58 98,21 3,00

Senaryo5 33,28 9,88 874,51 2416517,00 4820,40 734,87 5967,47 38,82 25,63 99,31 4,00

Senaryo6 25,11 9,05 756,92 2215061,00 4423,50 614,90 5496,53 42,80 19,08 91,13 6,00

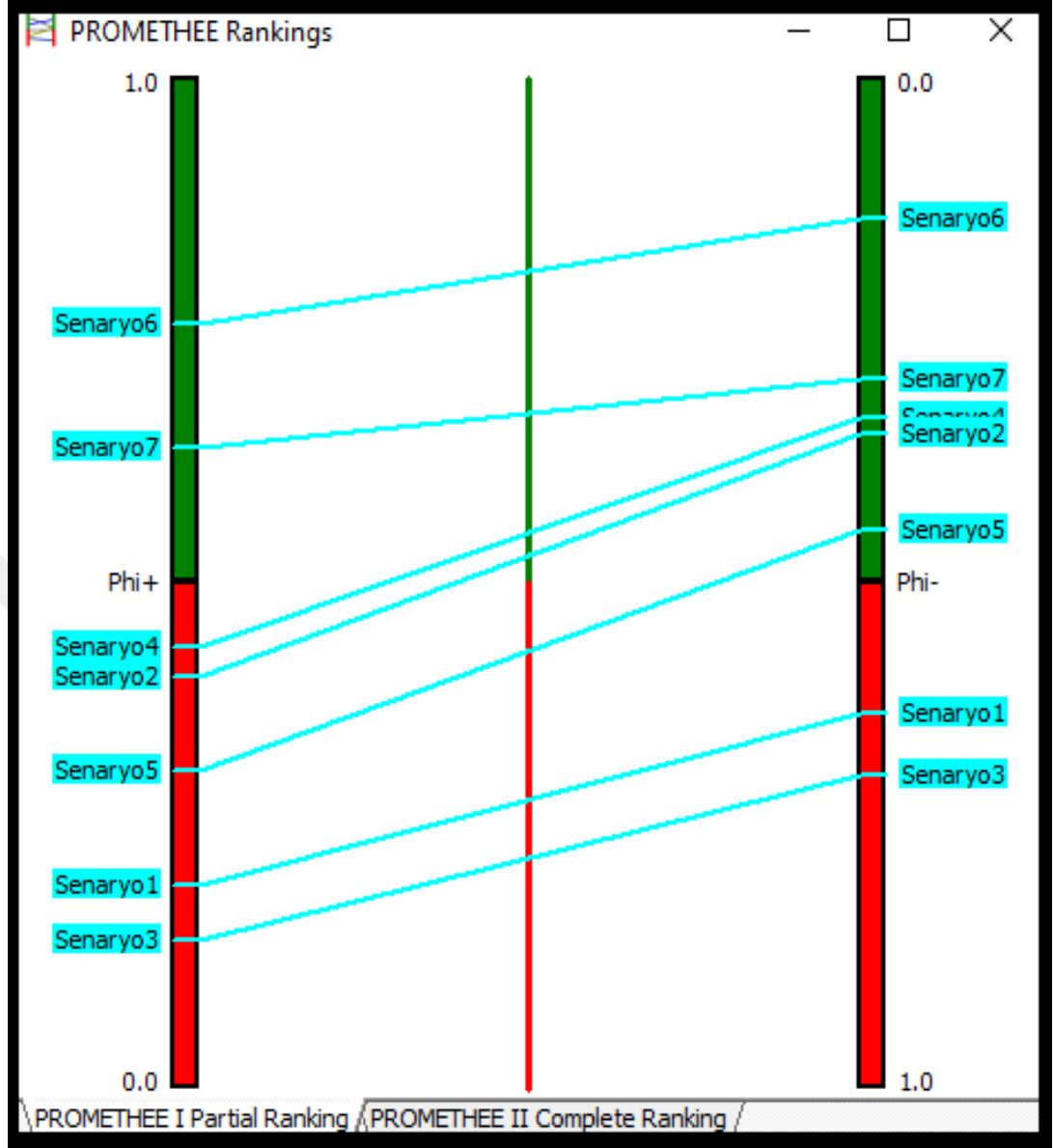
Senaryo7 27,05 8,38 783,66 2254947,00 4480,56 656,30 5385,31 40,90 20,31 93,01 7,00

Şekil 5.43. VISUAL PROMETHEE’de tercih fonksiyonları

5.3.8. PROMETHEE uygulama sonuçları

AIMSUN programında modellenen senaryoların kriterler doğrultusundaki sonuçları VISUAL PROMETHEE’de uygulanarak senaryolar karşılaştırılmıştır.

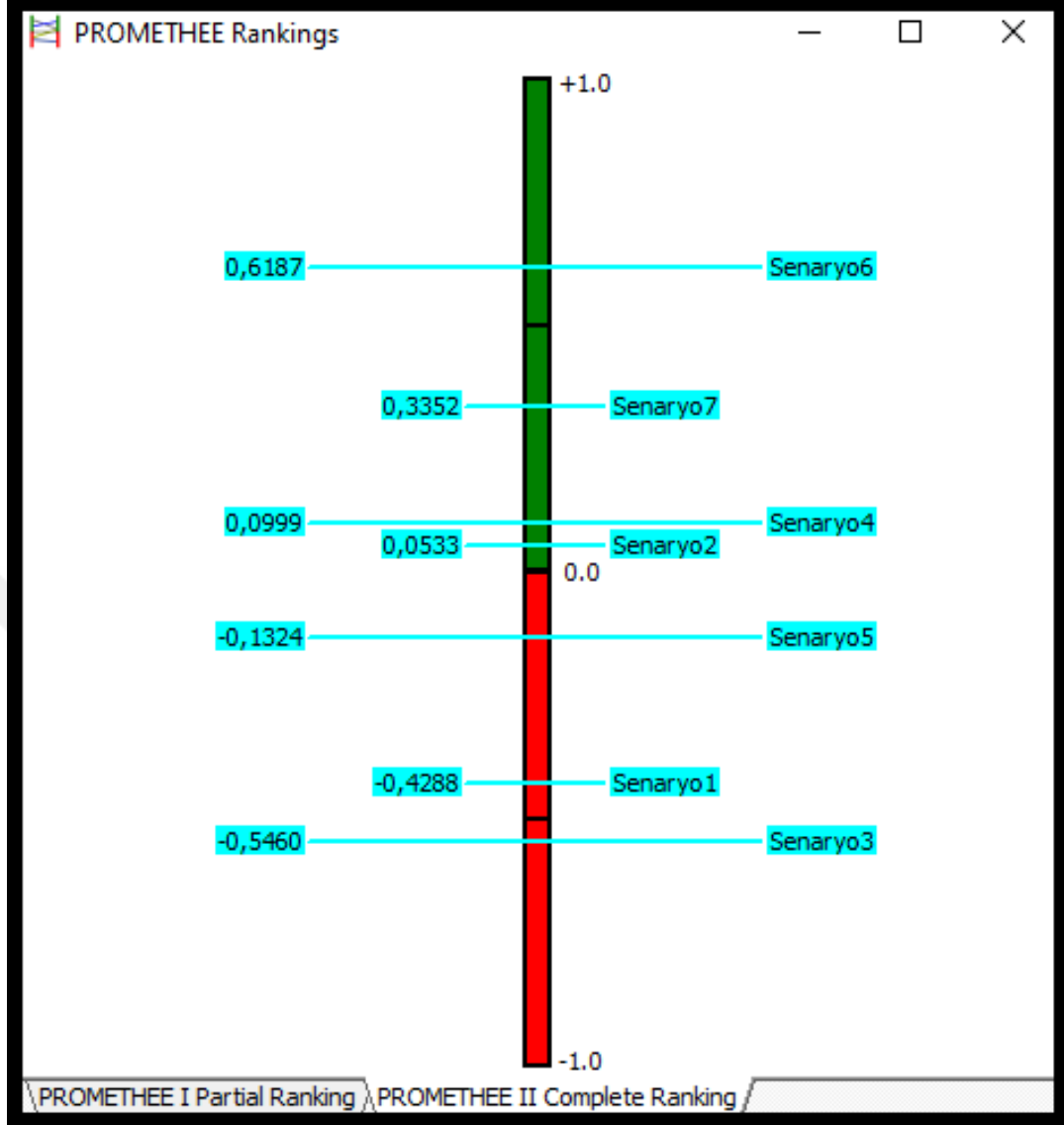
Oluşturulan senaryolar için +1 ile -1 arasında, negatif ile pozitif değerler PROMETHEE-I’de hesaplanmıştır. Negatif değer belirlenen alternatifin diğer alternatiflere oranla ne ölçüde zayıf kaldığını gösterir Pozitif değer ise belirlenen alternatifin diğer alternatiflere oranla pozitif üstünlüğünü göstermektedir (Akkaya ve Şahin, 2013).



Şekil 5.44. PROMETHEE I sıralaması

Şekil 5.44'te PROMETHEE I, sıralamasında negatif değerde bulunan Senaryo 3 ve Senaryo 1'in diğer alternatiflere göre zayıf kaldığını, Senaryo 6 ve Senaryo 7'nin ise diğer alternatiflere göre pozitif üstünlüğünü güçlü kaldığını göstermektedir.

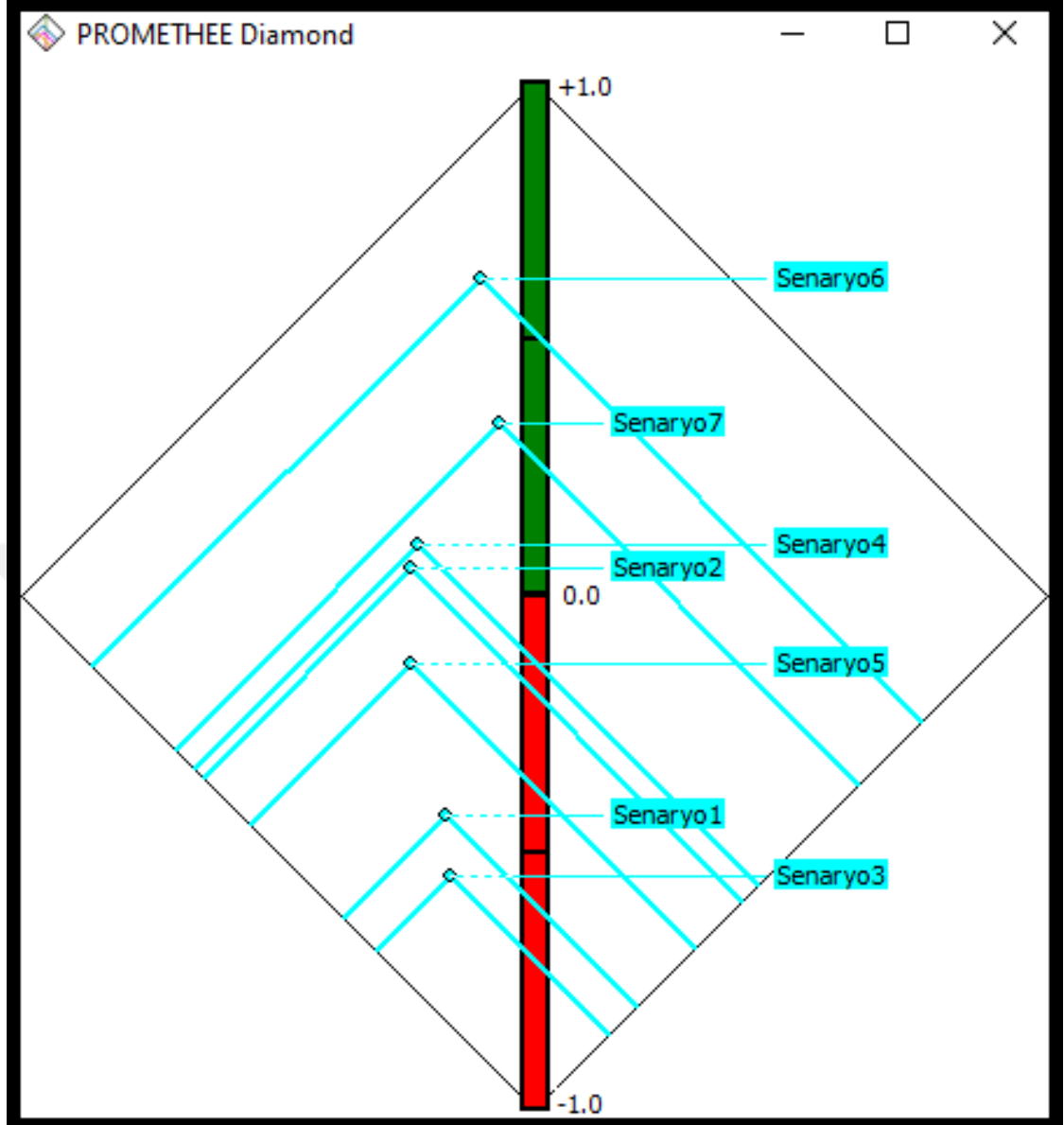
Promethee II (Complete Ranking) ile pozitif üstünlüklerden negatif üstünlükler çıkartılarak net üstünlükler belirlenmiştir. Yapılan çalışmada hangi senaryoların tercih edileceği gösterilmiştir. Promethee II'de yer alan değerler 0 ile +1 (0-1) arasında tercih sıralaması yapılmaktadır. Şekil 5.45'te Promethee II'de oluşturulan kavşaklara ait olan senaryoların sıralaması gösterilmiştir.



Şekil 5.45. PROMETHEE II (Complete Ranking) sıralaması

Şekil 5.45’ te PROMETHEE II, sıralamasında tercih açısından Senaryo 6’nın diğer senaryolara göre öncelikli olması gerektiğini göstermektedir.

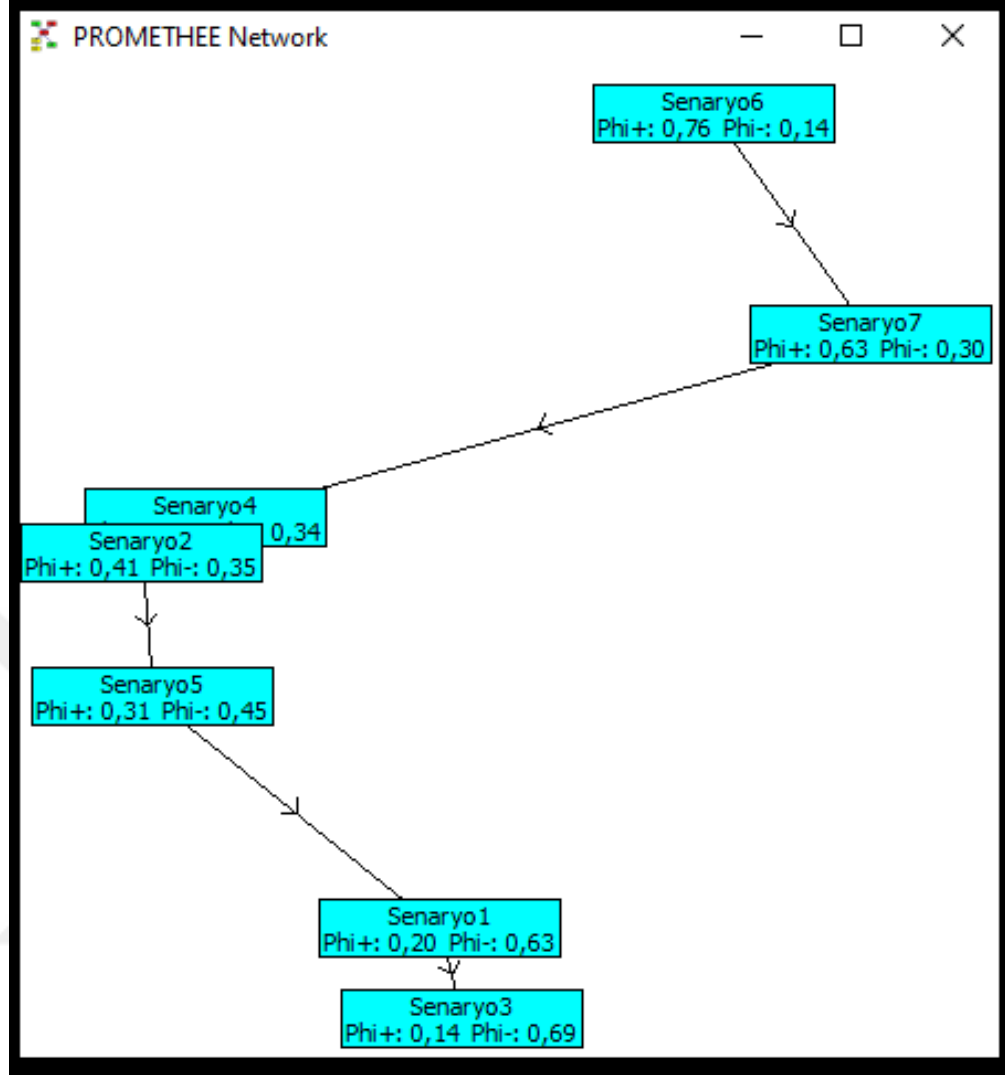
Şekil 5.46’ da her alternatif, (Phi-, Phi +) düzleminde PROMETHEE Diamond’da bir nokta olarak gösterilmektedir. Kırmızı-yeşil dik eksen, Phi net akıma 45 derece açılı karşılayacak şekildedir. Her bir senaryo için bir koni çizilmektedir. Çizilen her bir koni başka koniyle örtüştüğü zaman, PROMETHEE I’de alternatif diğer bir seçeneğe göre tercih edildiği anlamına gelmektedir. Kesişen koniler ise alternatifler arası kıyaslama olmadığı anlamına gelmektedir. (VPSolutions, 2013). Şekil 5.46’da oluşturulan senaryoların pozitif-negatif üstünlükleri gösterilmektedir.



Şekil 5.46. PROMETHEE Diamond

Şekil 5.46’da Senaryo 3, Senaryo 1 ve Senaryo 5 kıyaslanmazken, Senaryo 6, Senaryo 7, Senaryo 4 ve Senaryo 2 diğer seçeneklere göre tercih önceliği bulunmaktadır. Grafiğe göre en üstün alternatif Senaryo 6’dır. Dikey (yeşil-kırmızı) eksenle Phi’ye karşılık gelen her iki (negatif ve pozitif) PROMETHEE sıralaması aynı anda gösterilebilir.

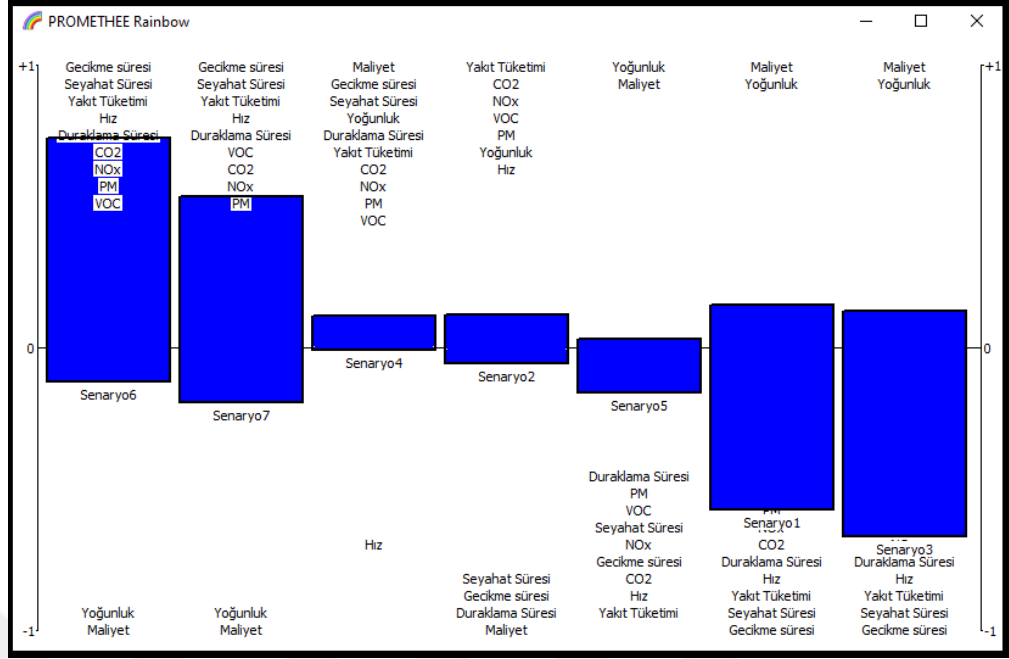
PROMETHEE Network Şekil 5.47’de ise bir düğüm bir alternatif olarak gösterilmektedir. Tercihler ise oklarla gösterilmektedir. PROMETHEE Diamond’da düğümlere karşılık gelen alternatifler birbirleriyle kıyaslanmaktadır ve böylelikle akış değerleri arasındaki yakınlık net bir şekilde görülmektedir. (VP Solutions, 2013)



Şekil 5.47. PROMETHEE Network

Şekil 5.47’ de Senaryo 1, Senaryo 3, Senaryo 4, Senaryo 2, Senaryo 5 diğer alternatiflere göre zayıf kalmaktadır, ancak Senaryo 6 ve Senaryo 7 tüm diğer alternatiflere göre tercih edilmelidir.

PROMETHEE Rainbow’da her alternatif için bir çubuk grafiği oluşturulmaktadır. Kriterlere göre her bir çubuk grafiği renklendirilmektedir. Bir kriterin katkısı ile alternatifin Phi net akış her bir sütun durumuna orantılıdır. Aşağıya doğru (negatif) olan sütunlar zayıf noktaları gösterirken, yukarıya doğru olan sütunlar güçlü noktaları göstermektedir. Böylelikle, sütunlar arasındaki denge negatif ve pozitif sütunlar Phi skoruna eşitlenmektedir. PROMETHEE II’ de alternatifler soldan sağa doğru sıralanmaktadır.



Şekil 5.48. PROMETHEE Rainbow

Şekil 5.48’de Senaryo 6 ve Senaryo 7 diğer senaryolara oranla daha güçlü özelliklerdedir.

PROMETHEE II ‘ye göre alternatiflerin sıralandığı bir tablodur. Şekil 5.49’da Phi +, Phi- ve Phi sonuçları gösterilmektedir. Akış tablosu’nda Promethee II sonucuna göre Phi + pozitif üstünlüğü, Phi- negatif üstünlüğü, Phi ise pozitif üstünlüklerden negatif üstünlüğün çıkarılması sonucu oluşan değerleri göstermektedir.

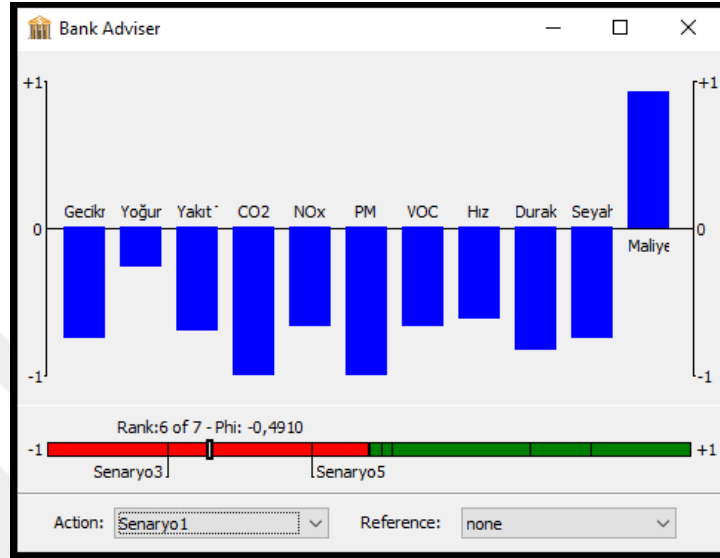
PROMETHEE Flow Table

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	Senaryo6		0,6187	0,7568	0,1381
2	Senaryo7		0,3352	0,6336	0,2984
3	Senaryo4		0,0999	0,4368	0,3369
4	Senaryo2		0,0533	0,4060	0,3527
5	Senaryo5		-0,1324	0,3145	0,4468
6	Senaryo1		-0,4288	0,2003	0,6291
7	Senaryo3		-0,5460	0,1445	0,6905

Şekil 5.49. PROMETHEE akış tablosu

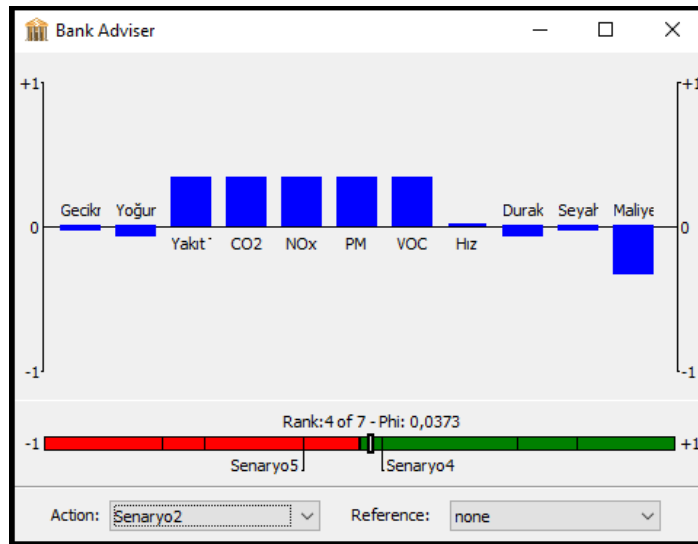
Şekil 5.49’ da Senaryo 6 net üstünlük değerlerini diğer alternatiflere oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Oluşturulan 7 senaryo ve gecikme süresi, yoğunluk, yakıt tüketimi, CO₂, NO_x, PM, VOC, hız, duraklama süresi, seyahat süresi, maliyet kriterlerine ait profiller gösterilmektedir.



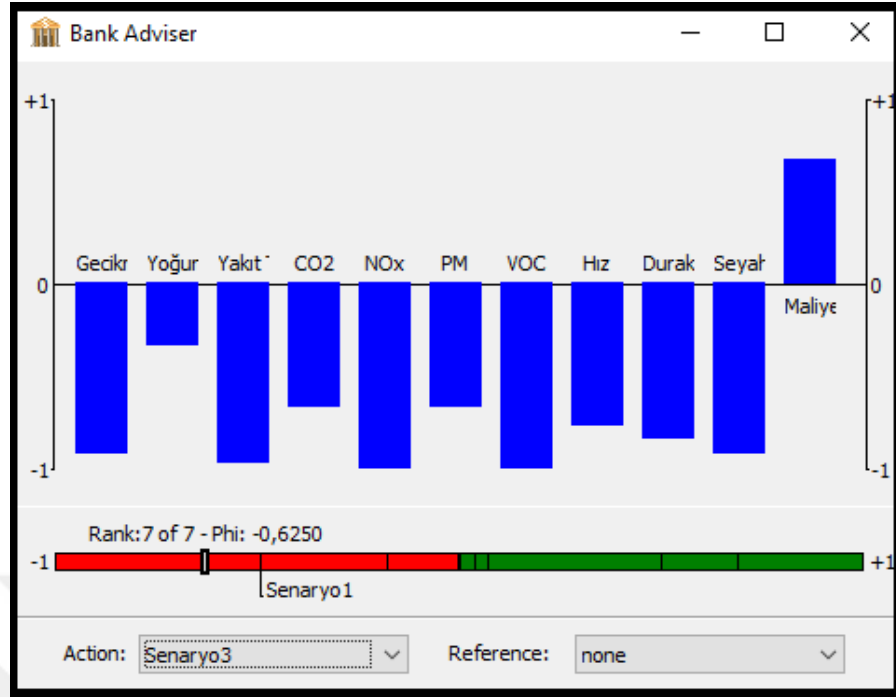
Şekil 5.50. Senaryo 1 alternatifinin profili

Şekil 5.50’de Senaryo 1 mevcut durum alternatifinin profili gösterilmektedir.



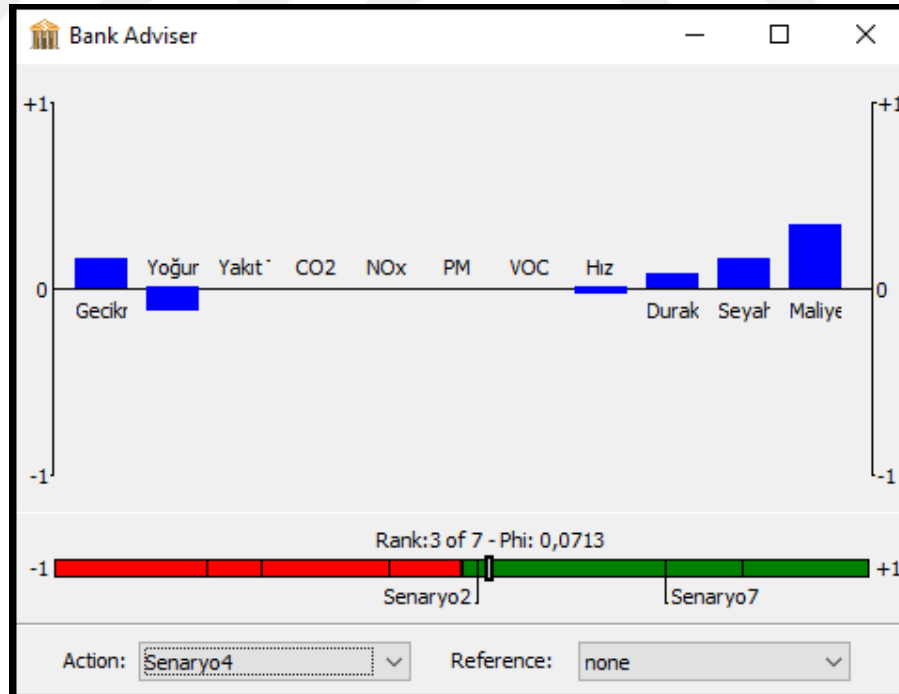
Şekil 5.51. Senaryo 2 alternatifinin profili

Şekil 5.51’de Senaryo 2 alternatifinin profili gösterilmektedir.



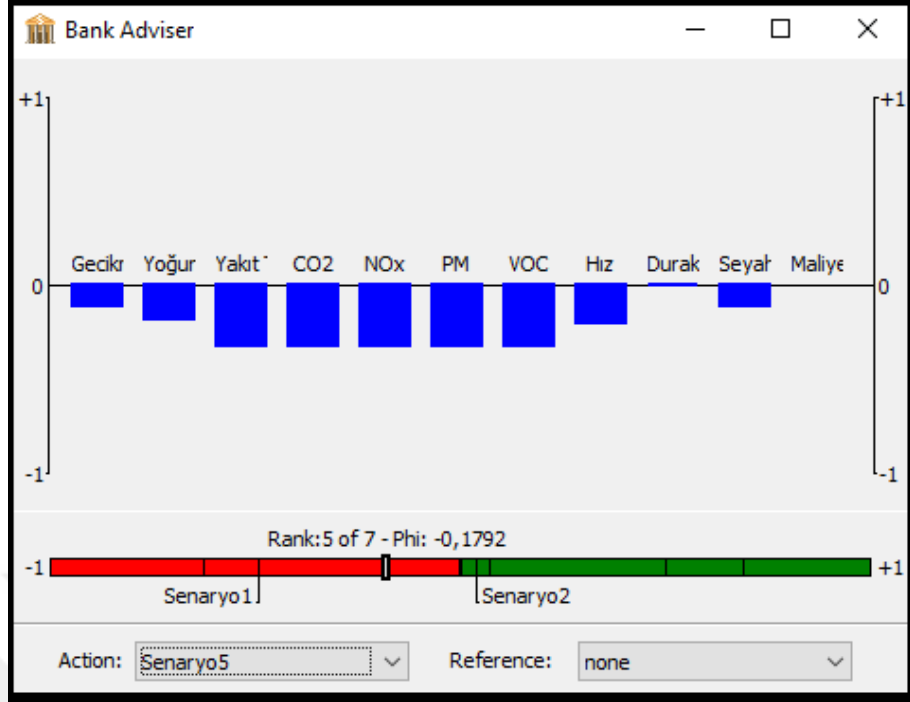
Şekil 5.52. Senaryo 3 alternatifinin profili

Şekil 5.52’de Senaryo 3 alternatifinin profili gösterilmektedir.



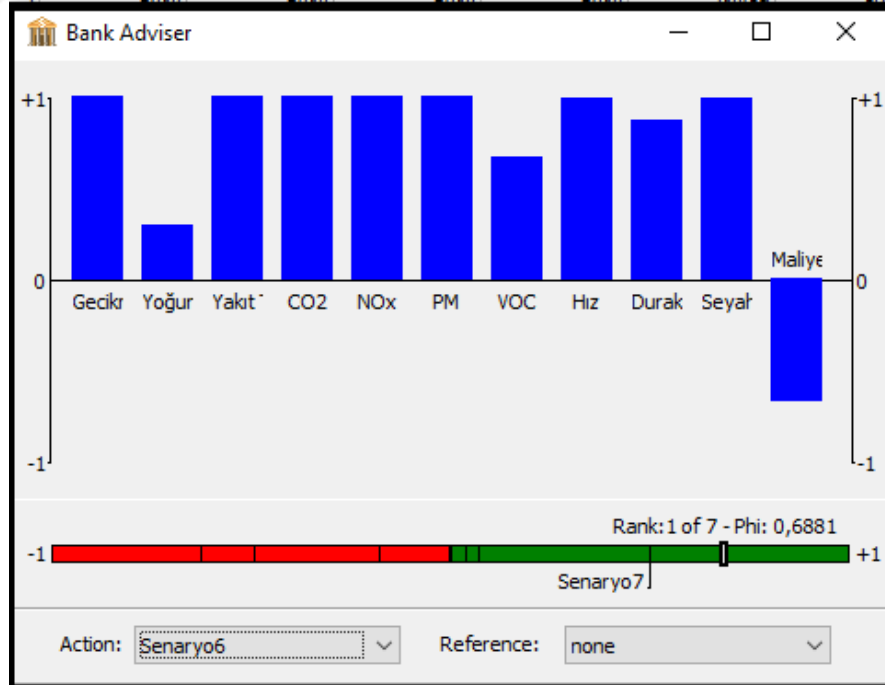
Şekil 5.53. Senaryo 4 alternatifinin profili

Şekil 5.53’te Senaryo 4 alternatifinin profili gösterilmektedir.



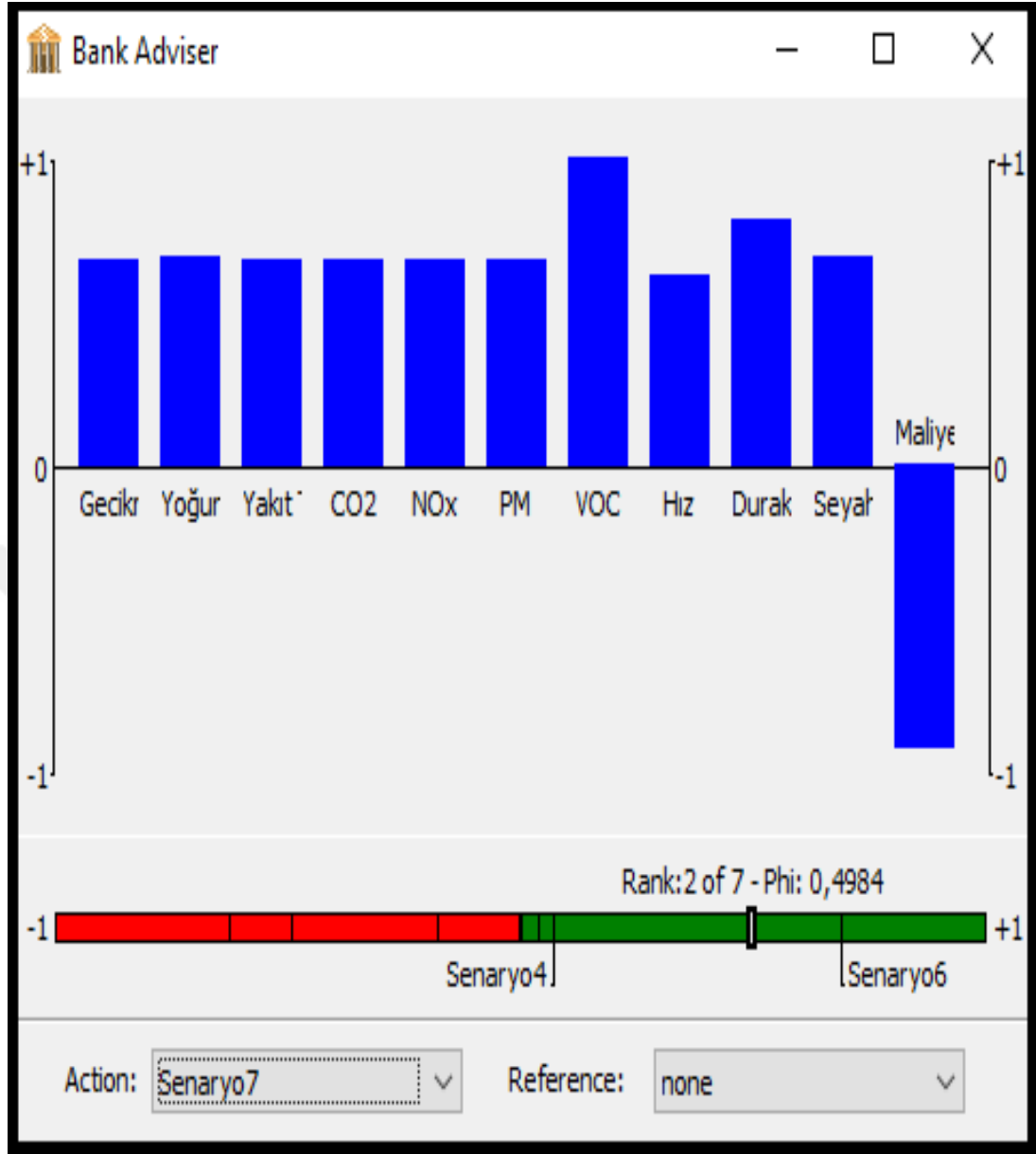
Şekil 5.54. Senaryo 5 alternatifinin profili

Şekil 5.54’te Senaryo 5 alternatifinin profili gösterilmektedir.



Şekil 5.55. Senaryo 6 alternatifinin profili

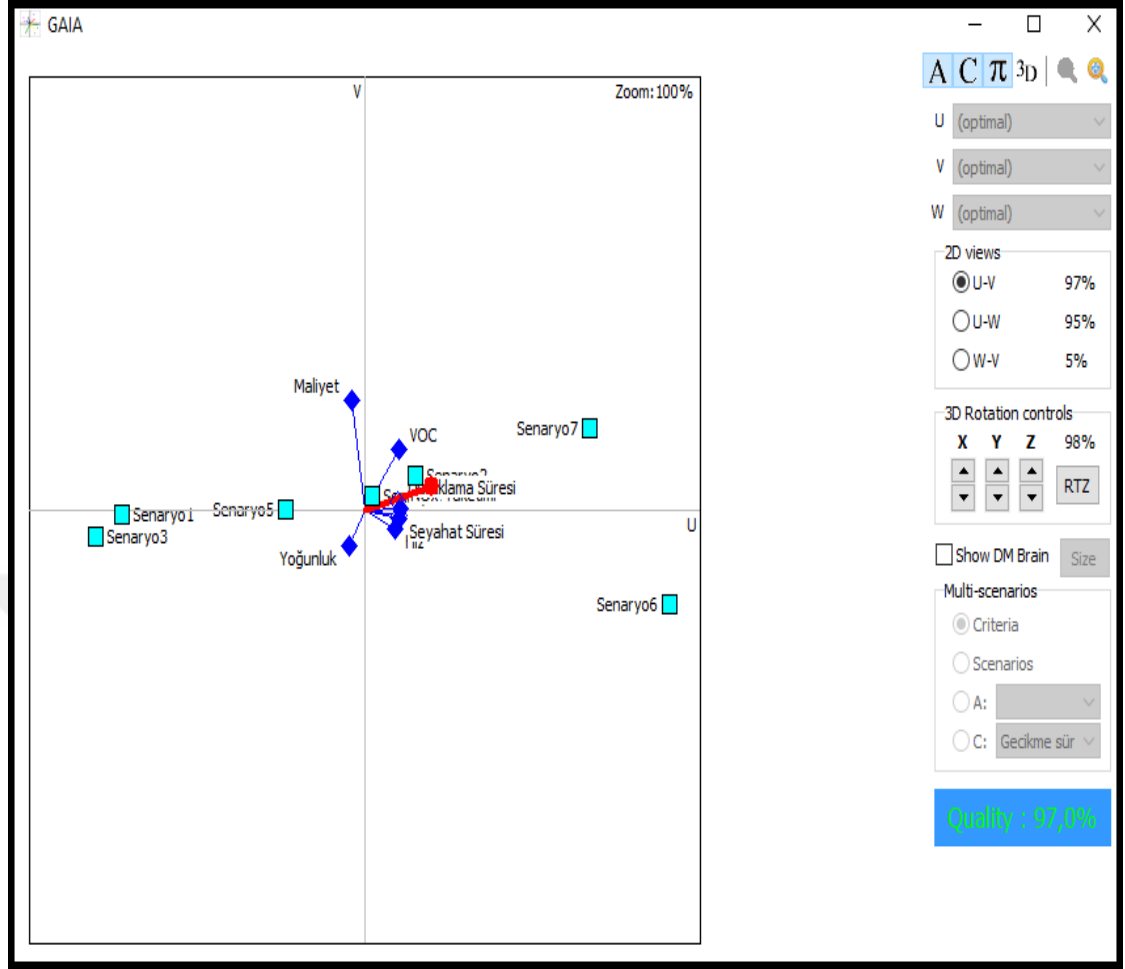
Şekil 5.55’te Senaryo 6 alternatifinin profili gösterilmektedir.



Şekil 5.56. Senaryo 7 alternatifinin profili

Şekil 5.56’te Senaryo 7 alternatifinin profili gösterilmektedir.

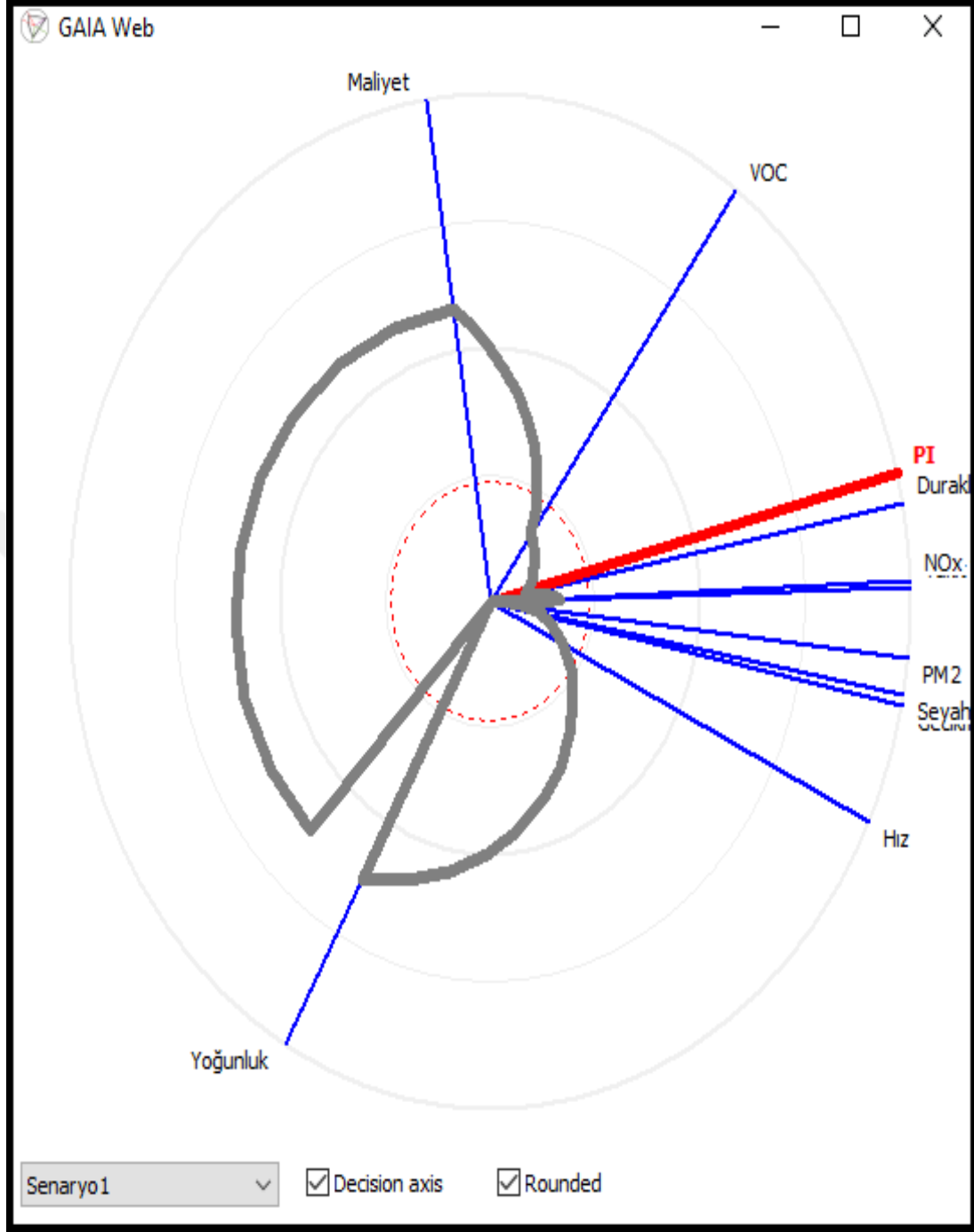
Kompleksli problemlerin çözümünü iki boyutlu olarak göstermek için GAIA düzlemi kullanılmaktadır. GAIA düzleminde kırmızı ve yeşil renk kodları kullanılmaktadır. Kırmızı renk düşük bir seviyeyi gösterirken yeşil renk yüksek, tatmin edici seviyeyi göstermektedir. Yatay çizgiye yakın olan kalın doğru GAIA düzleminde, optimum sonucu gösterir. Optimal doğruya yakın olan alternatifler için en yakın olan kriter için öncelikli olarak tercih edilmektedir.



Şekil 5.57. PROMETHEE GAIA

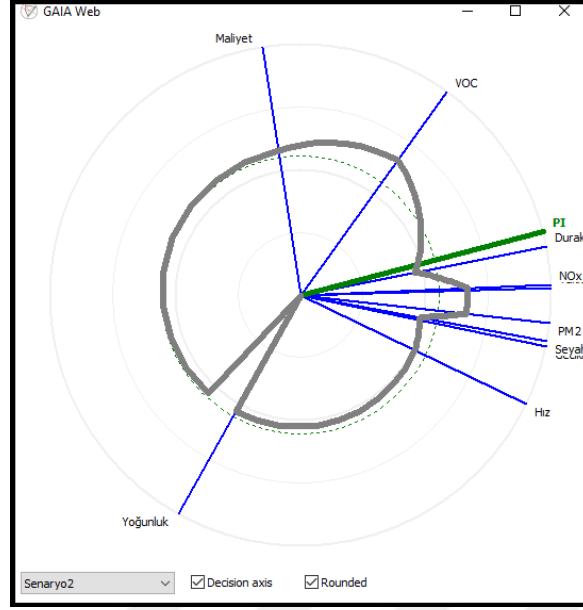
Şekil 5.57’de kırmızı renk düşük seviyeyi göstermektedir. Senaryo 6 ve Senaryo 7 ele alınan alternatifler için GAIA düzleminde öncelikli olarak tercih edilmesi gereken senaryolardır.

Seçilen alternatiflerin kendi içerisindeki öz değerlendirme net akış durumunun grafiksel örneğini GAIA Web penceresinde göstermektedir. GAIA Web’de birbirine yakın ve aynı istikamette bulunan alternatifler benzer özellikleri göstermektedir. Farklı istikamette bulunan kriterler ise birbirleriyle çeliştiklerini göstermektedir. GAIA Web’de Phi negatifse kırmızı, pozitif ise yeşildir. Kriterleri gösteren eksenin uzunluğu bu kriterin ayrıştırıcı özelliğinin ve önem derecesinin yüksek olduğunu gösterir. Kriteri gösteren çubuk (eksen) kısa ise o kriterin ayrıştırma gücünün az olduğunu ve kuvvetli bir karar gücünün olmadığını göstermektedir. Karar çubuğunun uzun olması karar gücünün kuvvetli olduğu anlamına gelmektedir.



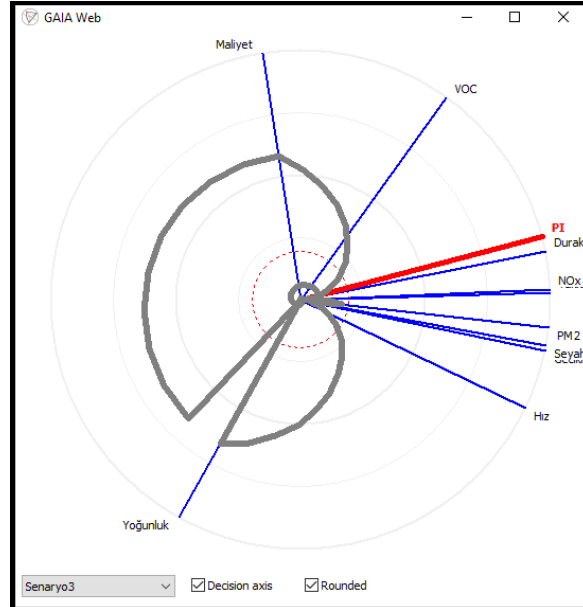
Şekil 5.58. PROMETHEE- GAIA Senaryo 1

Şekil 5.58’de Senaryo 1’in GAIA düzlemi gösterilmektedir. Senaryo 1’de kriterlerdeki ağırlığın maliyet, yoğunluk olduğunu göstermektedir. Aynı yönde bulunan çubukların ise benzer ağırlıklarının olduğunu göstermektedir. PI’ nın kırmızı renk olması çubuğa yakın kriterlerin düşük seviyede olduğunu göstermektedir. Diğer senaryolarda bu şekilde yorumlanmaktadır.



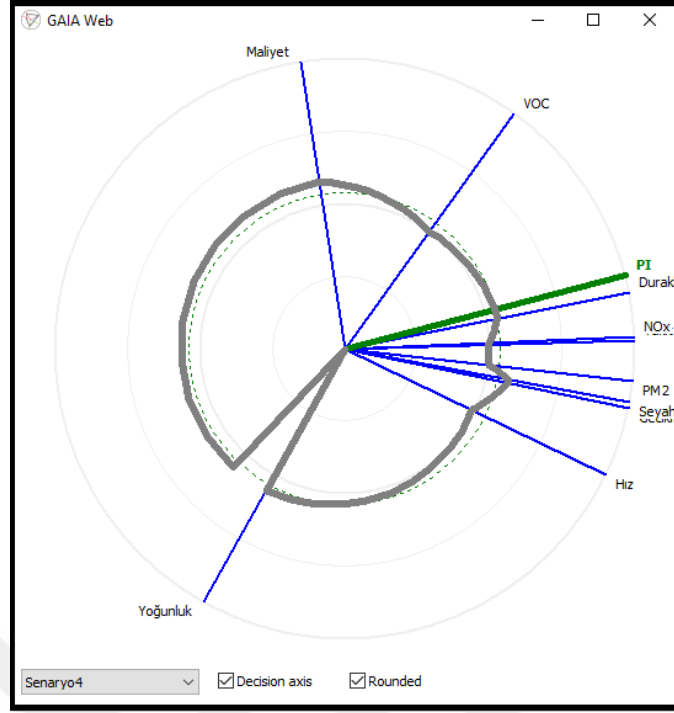
Şekil 5.59. PROMETHEE GAIA Senaryo 2

Şekil 5.59’da Senaryo 2’nin GAIA düzlemi gösterilmektedir. Kriterleri gösteren çubuk (eksen) ne kadar uzun ise, bu kriterin ayrıştırıcı özelliği ve karar çubuğunu etkilemedeki önemi o derece fazladır. Aynı istikameti gösteren kriter çubukları benzer özellik gösteren kriterlerdir. Farklı istikameti gösteren kriter çubukları ise birbiri ile çelişen kriterlerdir.



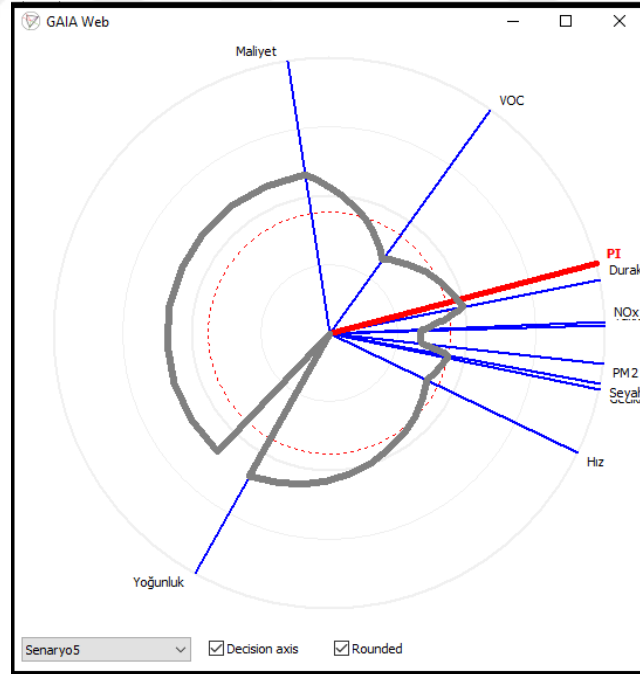
Şekil 5.60. PROMETHEE GAIA Senaryo 3

Şekil 5.60’ta Senaryo 3’ün GAIA düzlemi gösterilmektedir.



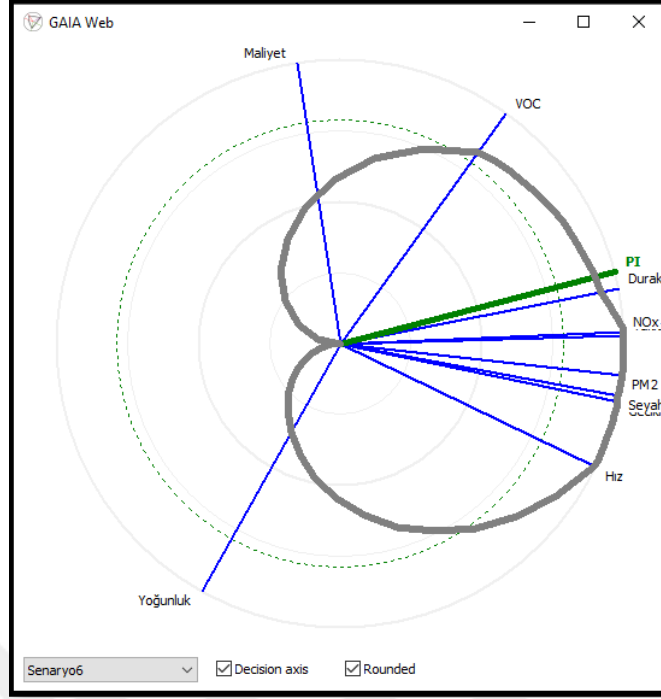
Şekil 5.61. PROMETHEE GAIA Senaryo 4

Şekil 5.61’de Senaryo 4’ün GAIA düzlemi gösterilmektedir.



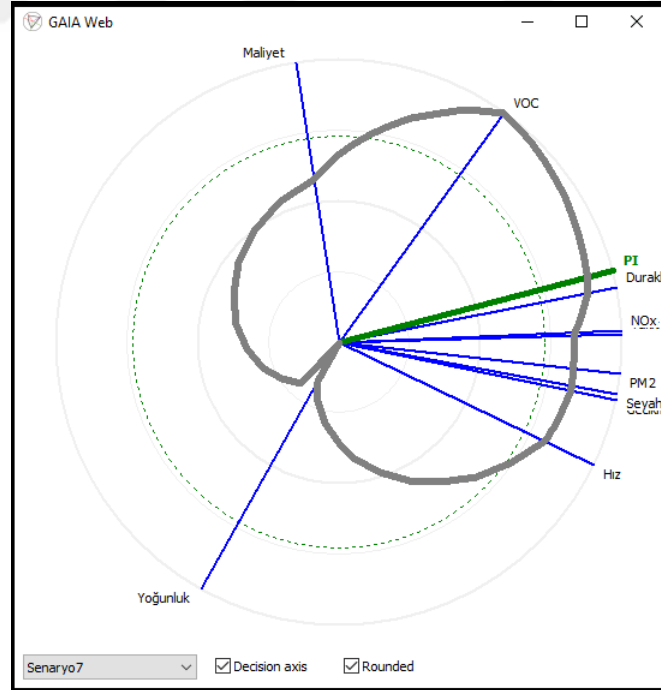
Şekil 5.62. PROMETHEE GAIA Senaryo 5

Şekil 5.62’de Senaryo 5’in GAIA düzlemi gösterilmektedir.



Şekil 5.63. PROMETHEE GAIA Senaryo 6

Şekil 5.63'te Senaryo 6'nın GAIA düzlemi gösterilmektedir.



Şekil 5.64. PROMETHEE GAIA Senaryo 7

Şekil 5.64'te Senaryo 7'nin GAIA düzlemi gösterilmektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, Erzurum İl'indeki ana arterler üzerinde bulunan Üniversite kavşağı, Havuzbaşı kavşağı ve Yakutiye Belediye kavşakları incelenerek gecikme süresi, yoğunluk, yakıt tüketimi, CO₂ emisyonu, NO_x emisyonu, Partikül maddde emisyonu, VOC emisyonu, hız, duraklama süresi, seyahat süresi ve maliyet açısından modellemeler değerlendirilmektedir. Bu amaç doğrultusunda Erzurum İl'inde bulunan koridorun mevcut durumu ve 6 farklı senaryo incelenmiştir. Elde edilen veriler PROMETHEE yöntemine göre, senaryolar belirlenen kriterler doğrultusunda değerlendirilerek en optimum seçenek belirlenmiştir.

- Yapılan simülasyonlarda gecikme süresini; 'Senaryo 3' % 2,9 oranında artırmakta, 'Senaryo 2' % 8 oranında, 'Senaryo 4' % 10 oranında, Senaryo 5' % 7 oranında, Senaryo 6' % 30 oranında, Senaryo 7' % 24 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda yoğunluğu; 'Senaryo 2' % 3 oranında, 'Senaryo 3' % 1 oranında, 'Senaryo 4' % 2 oranında, Senaryo 5' % 1 oranında, Senaryo 6' % 9 oranında, Senaryo 7' % 16 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda yakıt tüketimini; 'Senaryo 2' % 5 oranında, 'Senaryo 3' % 0,1 oranında, 'Senaryo 4' % 1 oranında, Senaryo 5' % 1 oranında, Senaryo 6' % 14 oranında, Senaryo 7' % 11 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda CO₂ emisyonunu; 'Senaryo 2' % 2 oranında, 'Senaryo 3' % 0,02 oranında, 'Senaryo 4' % 1 oranında, Senaryo 5' % 0,8 oranında, Senaryo 6' % 9 oranında, Senaryo 7' % 7 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda NO_x emisyonunu; 'Senaryo 2' % 2 oranında, 'Senaryo 3' % 0,1 oranında, 'Senaryo 4' % 0,9 oranında, Senaryo 5' % 0,5 oranında, Senaryo 6' % 8 oranında, Senaryo 7' % 7 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda partikül madde emisyonunu; 'Senaryo 2' % 6 oranında, 'Senaryo 3' % 0,3 oranında, 'Senaryo 4' % 1 oranında, Senaryo 5' % 1 oranında, Senaryo 6' % 17 oranında, Senaryo 7' % 11 oranında azaltmaktadır.

- Yapılan simülasyonlarda VOC emisyonunu; ‘Senaryo 2’ % 3 oranında, ‘Senaryo 3’ % 1 oranında, ‘Senaryo 4’ % 2 oranında, Senaryo 5’ % 1 oranında, Senaryo 6’ % 9 oranında, Senaryo 7’ % 10 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda ortalama hızı; ‘Senaryo 2’ % 3 oranında, ‘Senaryo 3’ % 0,9 oranında, ‘Senaryo 4’ % 3 oranında, Senaryo 5’ % 2 oranında, Senaryo 6’ % 13 oranında, Senaryo 7’ % 8 oranında artırmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda durma süresini; ‘Senaryo 2’ % 7 oranında, ‘Senaryo 3’ % 3 oranında, ‘Senaryo 4’ % 12 oranında, Senaryo 5’ % 8 oranında, Senaryo 6’ % 32 oranında, Senaryo 7’ % 27 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda seyahat süresini; ‘Senaryo 2’ % 3 oranında, ‘Senaryo 3’ % 1 oranında, ‘Senaryo 4’ % 3 oranında, Senaryo 5’ % 2 oranında, Senaryo 6’ % 10 oranında, Senaryo 7’ % 8 oranında azaltmaktadır.

Oluşturulan senaryolar arasında en uygun senaryonun belirlenmesi için PROMETHEE yöntemi uygulanan bu çalışmada;

- Promethee I (Partial Ranking) Sıralaması ile negatif değer de bulunan Senaryo 3’ ün diğer alternatiflere göre zayıf kaldığı, Senaryo 6 alternatifin ise diğer alternatiflere göre pozitif üstün olduğu,
- Promethee II Sıralaması ile tercih açısından Senaryo 6’nın diğer alternatiflere göre öncelikli olması gerektiği,
- Promethee Diamond ile tercih önceliği Senaryo 6’nın diğer tüm alternatiflerden daha öncelikli olduğu,
- Promethee Network ile diğer tüm alternatiflere göre Senaryo 6’nın tercih edilmesi gerektiği,
- Promethee Rainbow diğer alternatiflere göre Senaryo 6’nın daha etkin özelliklere sahip olduğu,

- Promethee Akış Tablosu pozitif üstünlüklerden negatif üstünlüklerin çıkarılması ile elde edilen Senaryo 6'nın net üstünlük değerlerinin yüksek olduğu,
- Promethee GAIA ile Senaryo 6'da ele alınan kriter için ilk tercih edilmesi gereken alternatifin olduğu, sonucuna varılmıştır.

AIMSUN programında koridor ve üzerinde bulunan kavşaklar mikroskobik olarak modellenmiştir. PROMETHE yöntemine göre en uygun alternatif, Senaryo 6 olarak elde edilmiştir. Senaryo 6'da yapılan tasarımda; gecikme süreleri için %30, yoğunluk için %9, yakıt tüketimi için %14, NO_x için %8, PM için %17, durma süreleri için %32, seyahat süreleri için %11, VOX için %9 ve CO₂ için %9'lara varan oranlarda azalmalar, ortalama hızda ise %13'lere varan artış elde edilmiştir. Üniversite kavşağı ve Havuzbaşı kavşağının mevcut durumda kalması, Yakutiye Belediye kavşağına ise alt geçit yapılması uygun görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Albadvi, A. (2007) “Decision Making in Stock Trading: An Application of PROMETHEE”, *European Journal of Operational Research*, ss. 674.
- Alçelik, N. (2010) “Kent içi Sinyalize ve Dönel Kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi”, *Bahçeşehir Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- Bai, Y., Chen, W., Xue, K. (2010) “Association of Signal-Controlled Method at Roundabout and Delay”, *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, Changsha, IEEE ss. 816-820.
- Balali, V. (2014) “A comparison of AHP and PROMETHEE family desicion making methods for selection of building structural system”, *American Journal of Civil Engineering and Architecture*,152.
- Ballı, S. (2007) “En Uygun Otomobil Seçimi Problemi için Bir Bulanık PROMETHEE Yöntemi Uygulaması”, *D.E.Ü. İ.İ.B.F. Dergisi*, 68.
- Bayata, H., F. ve Bayrak, O., Ü. ve Çolak, M., A. (2016) “Evolution of a Junction Traffic Management Measures Using Microsimulation Model”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(3), 87-96
- Bayata, H., F. ve Bayrak, O., Ü. (2018) “Yeni Yapılması Planlanan Bir Kavşağın Mikro-Simülasyon ile Değerlendirilmesi”, *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 11, Sayı 3, 550-559.
- Bennett, J. and Betts, B. (2017) ‘AIMSUN Saturation Flow Calibration For Hybrid Simulation: Challenges And Recommendations. Australian Institute of Traffic Planning and Management (AITPM)’ *National Conference 2017,Melbourne, Victoria*, Australia.
- Brabender, B., D. ve Vereeck L. (2007) ‘Safety Effects of Roundabouts in Flanders: Signal Type, Speed Limits and Vulnerable Road Users, Accident Analysis & Prevention, 39 (3), 591-599.
- Brans, Jean-Pierre, (1992) “L’ingenierie de la decision: Elaboration d’instruments d’instruments d’aide a la decision. La Methode PROMETHEE”, *Universite Laval*, Colloque d’aide a la Decision, Quebec, Canada, 183-213.
- Brans, J., P. and Mareschal, B. (2005) “PROMETHEE Methods”, Multiple Criteria Decision Analysis, *State of the Art Surveys*, New York, 163-195.

- Behzadian, M. (2008) "PROMETHEE A comprehensive literature review on methodologies and applications", *European Journal of Operational Research*, 198-215.
- Ceylan, H. ve Başkan, Ö. (2007) "Yaklaşık Hesaplama Metodu İle Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Bileşenlerinin Matematiksel Çözümü", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 279-288.
- Climaco, J. (1997) "Multicriteria Analysis, *Springer -Verlag*, New York.
- Çakıcı, Z., Murat, Y., Ş. (2014) "Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Denizli.
- Çakıcı, Z. (2014) "Sinyalize Dönel Kavşakların Tasarım Esaslarının Araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* Denizli.
- Çalışkanelli, P., S. (2006) "Yakın Mesafeli Sinyalize Kavşaklarda Kontrolsüz Kavşak Etkileşimleri", *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Çetinkaya, G. (2008) "Işıklı Kavşaklarda Değişik Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Dağdeviren, M., (2005) 'Performans Değerlendirme Sürecinin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Bütünleşik Modellenmesi', *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Dağdeviren, M., Dönmez, N., Kurt, M. (2006) 'Bir işletmede Tedarikçi Değerlendirme Süreci İçin Yeni Bir Model Tasarımı ve Uygulaması' *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(2), 247-255.
- Dağdeviren, M. ve Eraslan, E. (2008) "PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 69-75.
- Dağüstü, H., Ş. (2010) "Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Modeli", *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Dalaff, C., Ebendt, R., Erdmann, J., Gurezik, G. and Tcheumadjeu, L.C.T (2013) "5 Benchmarking SUMO Generated Traffic Simulation Results Based on GEH Statistic. 1 st SUMO User Conference", Berlin, Germany.
- De Smet, Y., Mareschal, B. and Verly, C. (2009) "Extending the PrometheeII method to continuous and combinatorial multiobjective optimization problems: a first model", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1608-1611.

- Demiriz, A., O. (2019) “Mezoskopik Simülasyon İle Koridor Kapasite Analizi Yapılması: Erzincan İli Örneği”, *Yüksek Lisans, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan*.
- Dickson, G.W. (1966) “An Analysis of Vendor Selection Systems and Decisions” *Journal of Purchasing*, Cilt 2, 5-17.
- Erol, D. ve Başkan, Ö. (2016) ‘Şehiriçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisinin İncelenmesi’ *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli.
- Feldman, O. (2012) ‘The GEH measure and quality of the highway assignment models *Association for European Transport and Contributors*, 1-18.
- Gedizlioğlu, E. (1979) “Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem” *Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*.
- Gedizlioğlu, E. (2002) “Trafik Yönetimi Ders Notları”, *İ.T.Ü Mimarlık Mühendislik Fakültesi, İstanbul*.
- Geldermann, J. and Lerche, N. (2014) “Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung”, *Georg-August Universität Göttingen, Lehrstuhl für Produktion und Logistik*, 57.
- Genç, T. (2013) “PROMETHEE Yöntemi ve GAIA Düzlemi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İBBF Dergisi*, CXV, S.I.
- Google Earth (2020) Google Earth <https://www.google.com/earth/>. (01.10.2020)
- Güney, C. (2017) “Visual PROMETHEE ile Yatırımcılar Açısından Sektörlerin Değerlendirilmesi”, *TURAN-SAM Uluslararası Bilimsel Hakemli Dergisi*, 9, 34.
- Gross, F., Lyonc C., Persaud B. and Srinivasan, R. (2013) “Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts”, *Accident Analysis and Prevention*, 50, 234-241.
- Heaslip, K., Join, M., Eleferradau, L. (2011) “Estimation Of Arterial Work Zone Capacity Wing Simulation”, *Transportation Letters*, 3 (2).
- Hoyer, R., Jumar, U. (1994) “Fuzzy Control Traffic of Traffic Lights”, *Proc. IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1526-1531.
- Huber, M., J. (1982) ‘Traffic Flow Theory. Transportation and Traffic Engineering Handbook’, *Institute of Transportation Engineers, Prentice Hall, New Jersey*, 437-469.

- Janssens, R. (1994) 'Evaluating the performance of a roundabout, on Road Development and Safety for Managerial Staff from', **Central and Eastern European Countries CEEC's Training Seminar**, Belgium.
- Johnnie, B., E., Ahmet, A. and Iman., A. (2013) 'Extent of Delay and Level of Service at Signalize Roundabout', **International Journal of Engineering & Tecnology**, 2 (3), 419-424.
- Karacasu, M., Yayla, N. (2004) 'Kent İçi Otobüs Taşımacılığında Özelleştirme İçin Bir Karar Destek Modeli Önerisi Eskişehir Örneği', **İ.T.Ü Dergisi**, 3(6), 59-70.
- Kutay, N. ve Tektüfekçi, F. (2012) 'Yönetmelik Muhasebe Kararlarının Verilmesinde Bir Araç Olarak PROMETHEE Sıralama Yöntemi ve Bir Uygulama', **Verimlilik Dergisi**, 83-96.
- Kutlu, K. (1964) 'Trafik Tekniği', **İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası**.İstanbul
- Kutlu, K. (1991) 'Trafik Tekniği'. **İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası**.İstanbul.
- Kim, Jongwan, (1997) "A Fuzzy Logic Control Simulator for Adaptive Traffic Management", **Proc. IEEE International Conference on Fuzzy Systems**, 1519-1524.
- Marechal, B. ve Branss, Jean-Pierre, (1988) 'Geometrical Representations for MCDA', **Europeen Journal of Operational Research**, 34, 69-77.
- Macharis, C. (2004) 'Promethee and AHP: the design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP', **Europeen Journal of Operational Research**, 153 (2), 307-317.
- Morales J.M., Morales J.M. and Associates. (1995) 'Improving Traffic Signal Operations'. **ABD: Federal Highway Administration, U.S. Department Of Transportation**.
- Murat, Y. (1996) 'Denizli şehiriçi kavşaklarındaki trafik akımlarının bilgisayarla incelenmesi', **Yüksek Lisans Tezi Pamukkale Üniversitesi**, Denizli.
- Nittymaki, Jarkko, P. (1997) "Isolated Traffic Signals- Vehicle Dynamics and Fuzzy Control", **Ph.D. Thesis, Helsinki University of Technology, Civil and Environmental Engineering**.
- Özbek, A. (2019) "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel İle Problem Çözümü", **Seçkin Yayıncılık**, 2. Baskı, Ankara, 169-193.
- Özdirim, M. (1994) *Trafik Mühendisliği I ve II*. Ankara: Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası.
- Özgüven, N. (2012) "PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Özel Alışveriş Siteleri Üzerine Bir Araştırma" **Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 27, 195-201.

- Pappis, C., P. and Mandahli, E., H. (1977) "A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction", *IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics*, 707-717.
- Parreiras, R., O., ve Vaconcelos, J., A. (2007) "A multiplicative version of Promethee II applied to multiobjective optimization problems", *European Journal of Operational Research*, 183, 729-740.
- Pinavia Team (2019) "Pinavia Road Juction)" Retrieved 25.10.2019, 2019, from <https://pinavia.com/start.phtml>.
- Rahimov, K., Motamadnia, A. And Samadi, S. (2016) 'Technical And Economic Evaluation Of Pinavia Interchange In Comparison With Roundabout Intersection By AIMSUN'' *Civil engeneering journal*,2(3),ss:102–112.
- Ren, L., Qu, X., Guan, H., Easa, S. And Oh, E. (2016) "Evaluation of Roundabout Capacity Models An Empirical Case Study" *Journal of Transportation Engineering*, 142(12).
- Salamati, K., Roupail, N., M., Frey, H., C., Liu, B. and Schroeder, B., J. (2015) 'Simplified Method for Comparing Emissions in in Roundabouts and at Signalized Intersections. Transportation Research Record, *Journal of the Transportation Research Board*, 2517, 48-60.
- Şahin, A., ve Akkaya, G., C. (2013) 'PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Portföy Oluşturma Üzerine Uygulama,' *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, cilt:2, sayı:2.
- Selvi, M., (2011) "İzmit Kent İçi Ulaşımının Makrobik Simülasyonu ile Değerlendirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, İstanbul.
- Shankar, K., R., Priya, H., Prasad, C., S., R., K. and Reddy, T., S. (2013) "Evaluation of area traffic management measures using microscopic simulation model" *ProcediaSocial and Behavioral Sciences*, 104, 815-824.
- Sönmez, C. (2005) "Sinyalize kavşaklarda trafik akımının modellenmesi". *Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Sun, X., Ma, W. and Huang, W. (2016) 'Comparative Study on The Capacity of a Signalised Roundabout. IET Intelligent Transport Systems, 10(3), pp. 175-185.
- Şimsir, F., Özkaynak, E. ve Ekmekçi, D. (2002) "Kavşaklarda Trafik Sinyalizasyon Sisteminin Modellemesi ve Benzetimi", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Şenkayas, H. ve Hekimoğlu, H. (2013) "Çok Kriterli Tedarikçi Seçimi Problemine Promethee Yöntemi Uygulaması", *Verimlilik Dergisi*, 68.

- Taekratok, T. (1998) "Modern roundabouts for Oregon. Salem, Oregon" **Oregon Department of Transportation Research Unit**.
- Tanyel, S. ve Varlıorpak, Ç. (1998) "Yeni Tip Dönel Kavşak Uygulama Örnekleri 4. Ulaştırma Kongresi", ss.135-147, **3-5 Haziran**, Denizli.
- Tanyel, S. (2001) "Türkiye'deki Dönel Kavşaklar İçin Kapasite Hesap Yöntemi", **Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul.
- Tanyel, S. (2005) "Yuvarlak Ada Kavşaklarda Ana Akımdaki Ağır Araç Yüzdesinin Yanyol Kapasite Üzerindeki Etkisi", **DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, 7(1), ss.19-30.
- Tunç, A. (2003), "Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları", **Asil Yayın Dağıtım**, Ankara ss.790.
- Tzes A., McShane and Kim, S. (1995) "Expert Fuzzy Logic Traffic Signal Control for Transportation Networks", **Institute of Transportation Engineers 65th Annual Meeting**, Denver USA, 154-158.
- Uyar, Ö., O., (2012), "Ulaştırma Sektöründe Faaliyet Gösteren Lojistik Firmalar için Araç Seçimi", **Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karar Harp Okulu Savunma Bilimler Enstitüsü**, ss.46.
- Varlıorpak, Ç. (2003) 'Trafik I ders notları', İzmir.
- VP Solutions, (2013) "A survey on multi criteria decision making methods and its applications", **American Journal of Information Systems**, 31-43.
- Yayla, N. (2004) "Karayolu Mühendisliği", **Birsan Yayınevi**, İstanbul.
- Yıldırım, B., F. (2014) "Gri İlişkisel Analiz, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri", **Dora Yayıncılık**, 1. Baskı, Bursa, ss. 177.
- Yıldırım, B., F. ve Dağ, S. (2018) "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri", **Dora Yayıncılık**, 3. Baskı, Bursa, ss. 177-200.
- Yılmaz, E. (2006) "Karayolu Trafik Simülasyonu", **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon.
- Yılmaz, B., Dağdeviren, M. (2011) 'PROMETHEE İçin Decision için Lab Yazılımı ve Örnek Bir Problem Üzerinde Uygulanma', **Endüstri Mühendisliği Yazılımları ve Uygulamaları Kongresi**, İzmir.
- Webster, F., V. (1958) "Traffic Signal Settings", **Road Research Laboratory Technical**, paper 39:27-35.
- Webster, F., V. ve Cobbe, B., M. (1966) "Traffic Signal Settings", **Road Research Laboratory Technical**, paper 56:38-46.

Wilshire, H., G. (1992) “Environmental Effects of Off-Road Vehicles: Impacts and Management in Arid Regions Springer Science & Business Media”, New York.

