

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖMÜLÜ SİSTEMLER KULLANILARAK DİNAMİK KAVŞAK YÖNETİMİ

Abdülkadir ÇİLDİR

Danışman
Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN

II. Danışman
Prof. Dr. Mesut TIĞDEMİR

DOKTORA TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ A.B.D.
ISPARTA 2021



© 2021 [Abdülkadir ÇİLDİR]

TEZ ONAYI

Abdülkadir ÇİLDİR tarafından hazırlanan "**Gömülü Sistemler Kullanılarak Dinamik Kavşak Yönetimi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN**

Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Şükrü ÖZEN**

Akdeniz Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Serdal TERZİ**

Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Selçuk HELHEL**

Akdeniz Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Ufuk ÖZKAYA**

Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Abdülkadir ÇİLDİR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1. GİRİŞ	1
1.1. Dinamik Kavşak Yönetimine Giriş	1
1.2. Dinamik Kavşak Yönetiminde Gömülü Sistemlerin Yeri	4
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
3. DİNAMİK KAVŞAK YÖNETİMİNDE ARAÇ TESPİTİ	14
3.1. Ultrasonik Sensör	14
3.2. Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga Radarı (FMSSD)	16
3.3. Kızılötesi Sensör	17
3.4. Lidar Sensör Sistemi	19
3.4.1. Lidar sensör	20
3.4.2. Servo motor ve hareket aparatı	23
3.4.3. İşlemci modülü	24
3.4.4. Sistem algoritması	25
3.4.5. Kavşak Optimizasyon Yazılımı	28
4. GERÇEKLENEREN YAPININ ANALİZİ	31
4.1. Dinamik Trafik Ölçüm ve Değerlendirmeleri	32
4.2. Statik Trafik Ölçüm ve Değerlendirmeleri	36
5. KAVŞAK OPTİMİZASYONU	39
5.1. 1. Kavşak Optimizasyon Örneği	40
5.2. 2. Kavşak Optimizasyon Örneği ve Önerilen Kavşak Optimizasyon Algoritması	63
6. TARTIŞMA	68
7. KAYNAKLAR	75

ÖZET

Doktora Tezi

GÖMÜLÜ SİSTEMLER KULLANILARAK DİNAMİK KAVŞAK YÖNETİMİ

Abdülkadir ÇİLDİR

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN

II. Danışman: Prof. Dr. Mesut TIĞDEMİR

Bu tez çalışmasında kavşaklardaki araçların sayısını, hızını, sınıfını ve yine bu kavşakta oluşabilecek olan araç kuyruklarının uzunluğunu tespit edebilen tek boyutlu lidar sensörlü bir sistem üzerinde çalışılmıştır. Bu lidar sensörle izole bir kavşakta araç yoğunluğu tespiti gerçekleştirilmiştir. Elde edilen araç kavşak yoğunluğu ile kavşak kollarına ait ideal sinyal süreleri hesaplanmıştır.

Gerçekleştirilen lidar sensörlü sistemle kavşaktaki oluşabilecek olan kuyruk sonundaki tek bir aracı tahmin edebilmekten daha da öte kuyruğa gelen her bir aracı takip ederek kuyruk sonunu daha kesin sonuçlarla tespit edebilen bu çalışma farklı bir çözüm algoritması da sunmaktadır. Bu algoritma dahilinde araç sayımı, araç hızı, araç sınıfı, kuyruk uzunluğu hesabı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca dinamik izole bir kavşak yönetimi için trafik sinyalizasyon algoritması sunularak kavşak optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Tek boyutlu bir lidar sensörden alınan veriler ile 3D lidar sensörün yapabileceği kabiliyetleri barındıran bu çalışma, fiyat ve performans açısından öne çıkmaktadır. Kavşak kollarına yerleştirilebilen bu lidar sensör sistemi, uygulama alanlarına fiyat, performans ve farklı bir çözüm algoritması sunabilmesi açısından bazı araştırmacılara yol gösterici olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Dinamik kavşak yönetimi, tek boyutlu lidar sensör, kuyruk uzunluk tespiti.

2021, 90 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DYNAMIC INTERSECTION MANAGEMENT BY USING EMBEMMED SYSTEMS

Abdülkadir ÇILDİR

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronic and Communication Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mesud KAHRİMAN

Co-Supervisor: Prof. Dr. Mesut TIĞDEMİR

In this thesis, a unidimensional lidar sensor system that can detect the number, speed, class of vehicles at intersections and the length of vehicle queues that will occur at this intersection has been studied. By this lidar sensor, vehicle density detection was performed at an isolated intersection. With vehicle intersection density obtained were calculated the ideal signal times at the intersection legs.

With this lidar sensor system performed, more than predicting a single vehicle at the end of the queue that may occur at the intersection, this study, which can detect the end of the queue with more precise results by following each vehicle that comes to the queue, also offers a different solution algorithm. Within this algorithm, vehicle count, vehicle speed, vehicle class, queue length calculations were carried out. In addition, a traffic signaling algorithm has been presented and intersection optimization has been performed for a dynamic isolated intersection management

This study, which includes the data taken from unidimensional lidar sensor and the capabilities of a 3D lidar sensor, stands out in terms of price and performance. This lidar sensor system, which can be placed on intersection legs, also enlightens some researchers in terms of price, performance and offering a different solution algorithm to application areas.

Keywords: Dynamic intersection management, unidimensional lidar sensor, queue length detection.

2021, 90 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocamlarım Doç. Dr. Mesud Kahrıman ve Prof. Dr. Mesut Tıgdemir'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın yürütülmesinde yardımlarını gördüğüm Dr. Öğretim Üyesi Tuna Göksu hocama teşekkür ederim.

Bu çalışmada "ulaştırma akıllı ulaşım sistemleri" alanında 100/2000 doktora burs imkanı sağlayan YÖK'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Abdülkadir ÇİLDİR
ISPARTA, 2021

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1. Dinamik kavşak yönetimi blok diyagramı	3
Şekil 2. Ultrasonik devre şeması	15
Şekil 3. Gerçeklenen ultrasonik sensör devresi	16
Şekil 4. FMSD radarı blok şeması	16
Şekil 5. Tasarımı gerçekleştirilen FMSD radar sistemi	17
Şekil 6. Sharp GP2Y0A02YK0F (GP2Y0A02YK0F, 2006)	18
Şekil 7. Sharp GP2Y0A02YK0F gerilim-mesafe grafiği (GP2Y0A02YK0F, 2006).....	18
Şekil 8. Farklı cisimlerin ölçüm düzeneği	19
Şekil 9. Lidar sensör sistemi	20
Şekil 10. Elektromanyetik spektrum (Aykaç, 2005)	21
Şekil 11. Lidar sensör çalışma sistemi (Wehr, 1999).....	22
Şekil 12. Kullanılan Benewake TF-03 lidar sensör (Sparkfun, 2005)	23
Şekil 13 Kullanılan MG-996R servo motor	23
Şekil 14. Kullanılan servo motor ve 2-eksenli hareket kiti	24
Şekil 15. Kullanılan arduino atmega 2560 donanım kartı	25
Şekil 16. Oluşturulan sonlu durum makinesi diyagramı	26
Şekil 17. Matlab veri işleme kodu görüntüsü.....	29
Şekil 18. Anlık kavşak yoğunluk hesabı ve kavşak optimizasyonu görüntüsü.....	30
Şekil 19. Önerilen lidar sistemi konumu çalışma düzeni.....	31
Şekil 20. Yaya üst geçidine yerleştirilen lidar sistemi ve ölçüm yeri	33
Şekil 21. Gerçek-zamanlı dinamik trafik ölçümleri.....	33
Şekil 22. Hafif araç sınıf görüntüleri	34
Şekil 23. Ağır sınıf araç görüntüleri	34
Şekil 24. Gerçek-zamanlı dinamik trafik ölçümleri 2.....	35
Şekil 25. Kuyruk uzunluk tespit ölçüm düzeneği.....	37
Şekil 26. Durgun trafik kuyruk uzunluk ölçümleri	37
Şekil 27. Üzerinde çalışılan kavşak gösterimi	39
Şekil 28. Kavşak kollarındaki araç yoğunluk ve gelen akım değişimleri.....	41
Şekil 29. 12 farklı kol akım durumlarına ait 1. ve 3. kol uyarı ve klasik yöntem yeşil süresi değişimi.....	44

Şekil 30. 12 farklı akım durumları için uyarmalı ve klasik yöntem kavşak bekleme süreleri karşılaştırmaları.....	45
Şekil 31. 12 farklı akım kol durumları için uyarmalı yöntemin klasik yönetime göre kavşak gecikme süresindeki verimi.....	46
Şekil 32. 12 farklı kol akım durumlarına ait 1. ve 3. kol uyarmalı ve klasik yöntem yeşil süresi değişimi.....	48
Şekil 33. 12 farklı akım durumları için uyarmalı ve klasik yöntem kavşak bekleme süreleri karşılaştırmaları.....	49
Şekil 34. 12 farklı akım kol durumları için uyarmalı yöntemin klasik yönetime göre kavşak gecikme süresindeki verimi.....	50
Şekil 35. 12 farklı kol akım durumlarına ait 1. ve 3. kol uyarmalı ve klasik yöntem yeşil süresi değişimi.....	52
Şekil 36. 12 farklı akım durumları için uyarmalı ve klasik yöntem kavşak bekleme süreleri karşılaştırmaları.....	53
Şekil 37. 12 farklı akım kol durumları için uyarmalı yöntemin klasik yönetime göre kavşak gecikme süresindeki verimi.....	54
Şekil 38. 12 farklı kol akım durumlarına ait 1. ve 3. kol uyarmalı ve klasik yöntem yeşil süresi değişimi.....	56
Şekil 39. Uyarmalı sistem ve klasik sisteme ait farklı yeşil sürelerindeki kavşak araç gecikme süreleri karşılaştırması.....	58
Şekil 40. Uyarmalı sistem ve klasik sisteme ait farklı yeşil sürelerindeki 1. ve 3. anayollar araç gecikme süreleri karşılaştırmaları	58
Şekil 41. 3 farklı devre süreleri için uyarmalı ve klasik yöntem kavşak gecikme süreleri	61
Şekil 42. 3 farklı devre süresinde uyarmalı ve klasik yöntem kavşak toplam gecikme süreleri	62
Şekil 43. Kol akım değerleri	63
Şekil 44. Önerilen algoritma akış diyagramı.....	66
Şekil 45. Uyarmalı sistem gecikme verimi karşılaştırmaları.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1. Devre elemanları ve değerleri	15
Çizelge 2. Lazer tipleri ve dalga boyları	21
Çizelge 3. Gerçek-zamanlı dinamik trafik ölçüm sonuçları	34
Çizelge 4. Gerçek- zamanlı dinamik trafik ölçüm sonuçları 2.....	36
Çizelge 5. Kuyruk uzunluk ölçüm sonuçları	38
Çizelge 6. Grafik oluşturulurken alınan kabul değerleri.....	40
Çizelge 7. 12 farklı akım kollarına ait uyarmalı ve klasik sistem sinyal süresi için yeşil ve gecikme süreleri karşılaştırmaları.....	42
Çizelge 8. Kısaltma açıklamaları	43
Çizelge 9. 12 farklı akım kollarına ait uyarmalı ve klasik sistem sinyal süresi için yeşil ve gecikme süreleri karşılaştırmaları.....	47
Çizelge 10. 12 farklı akım kollarına ait uyarmalı ve klasik sistem sinyal süresi için yeşil ve gecikme süreleri karşılaştırmaları.....	51
Çizelge 11. Olasılıklı uyarmalı ve farklı klasik sistem sinyal süresi için bir saatteki kavşaktaki toplam gecikme karşılaştırmaları	55
Çizelge 12. Uyarmalı sistem ve farklı klasik sistemler için gecikme süreleri karşılaştırmaları	57
Çizelge 13. 12 farklı akım durumu için 3 farklı devre süresine ait uyarmalı ve klasik kavşak gecikme süreleri	60
Çizelge 14. 7 farklı duruma ait kavşak optimizasyonlarında araç gecikmeleri ve verim karşılaştırmaları	65
Çizelge 15. Uyarmalı sistem gecikme süresi ve verim karşılaştırmaları.....	67
Çizelge 16. Literatür çalışmaları karşılaştırılması	72
Çizelge 17. Gerçekleştirilen çalışmanın başarı yüzdeleri.....	74

1. GİRİŞ

Günümüzde şehirlerin kalabalıklaşması ve bunun neticesinde otomobil sayısının sürekli artış göstermesi insanları şehir trafiğini rahatlatmak için çözümler aramaya itmiştir. Çözüm yöntemlerinden en zor olanı mevcut yol sayısını artırmaktır. Diğer çözüm ise yol sayısını arttırmaya nispeten daha kolay olan mevcut yol kapasitesini en iyi şekilde kullanmaktır. Mevcut yol kapasitesini en iyi şekilde kullanmak doğrultusunda bu tezin amacı kavşak araç yoğunluk tespiti ile ideal trafik sinyalizasyonu gerçekleştirmektir.

Araç yoğunluk tespiti sistemi için başlıca aranan özellikler: Doğruluk oranı yüksek olması, uygun fiyatlı olması ve karmaşık olmamasıdır. Bu özellikler doğrultusunda bu çalışmada araç tespiti için kullanılan tek boyutlu lidar sensör sistemde nihai karar kılınmış ve bu tezde bu çalışma detaylı bir şekilde incelenmiştir.

1.1. Dinamik Kavşak Yönetimine Giriş

Dinamik kavşak yönetimi, kavşakta olan ve kavşağa yaklaşmakta olan araçların gerçek-zamanlı bir şekilde tespit edilmesinden geçmektedir. Dinamik kavşak yönetiminde, kavşaktaki araçların tespiti için için uygun bir araç tespit sensörü tercih edilmesi gerekmektedir.

Dinamik kavşak yönetimi, kavşağa ait yol araç kapasitelerini en iyi kullanmakla mümkün olmaktadır. Kavşakların dinamik yönetilmesinde kavşakların etkin rolü vardır. Kavşaklar, şehrin bağlantı noktalarında yer alan ve şehirdeki trafik akış hızını ayarlayan en temel unsurlardandır. Kavşakların önemli rol oynamasındaki etken ise trafik sinyallerinin ulaşım ağını en gerekli bir şekilde yönetmesiyle olmaktadır. İzole sinyalizasyon kavşaklardaki trafik sinyal sürelerinin en uygun bir şekilde düzenlenmesi, kavşaktaki araç sayısını tahmin etmekle birlikte bu kavşaktaki gecikmelerin gerçeğe yakın bir şekilde belirlenmesi ile olmaktadır. Böylece kavşak kapasitesi tam olarak kullanılmış olur. Dünyada kaza sayısının artması, yüksek yakıt maliyetleri, seyahat

stresi, çevre problemleri gibi birçok etken, dinamik kavşak yönetimi için trafik sinyal sürelerinin düzenlenmesine geçişi hızlandırmaktadır (Akanbi 2012).

Temel olarak kullanılan iki tür trafik sinyal kontrol sistemi vardır. Birinci tip sistemde önceden ayarlanan trafik ışık döngü süreleri sabit bir şekilde işlemektedir. İkinci tip sinyal sistemlerinde ise birincisine ek olarak sensörler yardımıyla yol üzerindeki araç sayısına göre ışık ve döngü süreleri değişimi yapılmaktadır. Araç sayısının fazla olduğu yollarda yeşil ışık süreleri artırılır, araç sayısının az olduğu yollarda ise kırmızı ışık süreleri artırılarak çözüm yolları sunulmaktadır (Chiu and Chand 1993). Bahsedilen sensörler yola müdahale edilen ve yola müdahale edilmeyen sensörler olarak ikiye ayrılabilir.

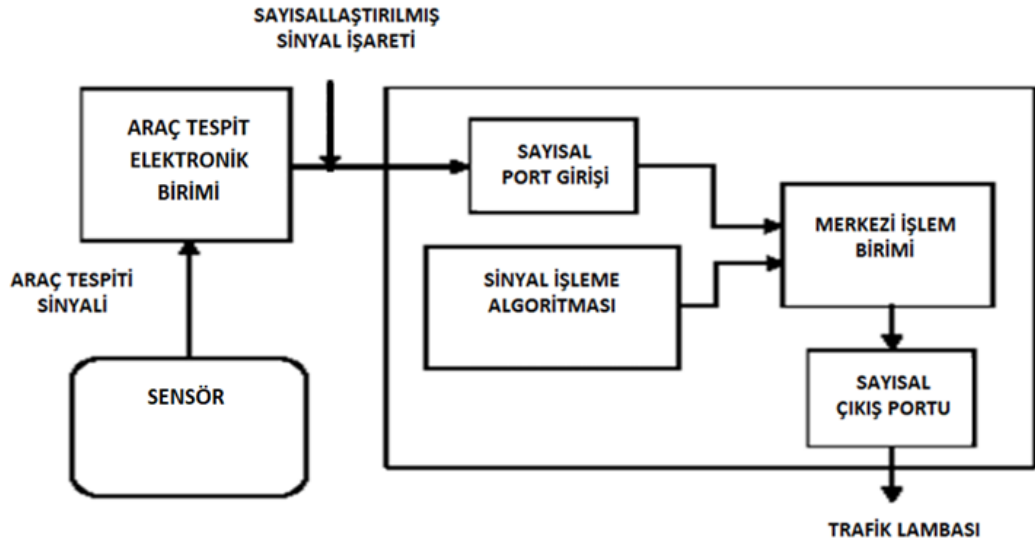
Yola müdahale edilen sensörler: Manyetik dedektörler, pnömatik yol tüpleri, piezoelektrik ve endüktif loop (IDL) gibi başlıca sensörler olarak sıralanabilir. Bu sensörler, adından da anlaşılacağı üzere yolun altına, trafik durdurularak yerleştirilir. Büyük yer kapladıkları, güç tükettikleri, kurulumları ve bakımları için yolun trafiğe kapalı olması gerekmektedir. Ayrıca yol geometrisine dayalı sistemleri vardır. Bu sistemin yollarda neden olduğu bozulmalar, verileri güvenilir hale getirebilmektedir (Cheung, 2006). Bu gibi durumlardan dolayı bu tip sensörlere ön yargılı bakılmaktadır.

Yola müdahale edilmeyen sensörler ise yine adından da anlaşılacağı üzere yola müdahale gerektirmeden yol kenarlarına veya üstlerine yerleştirilen sensörleri içermektedir. Yola müdahale edilmeyen sensörler; VIP (video görüntü işleme), mikrodalga radarı, lidar ve ultrasonik sensörleri içermektedir. Bu sensörler, araç tespitlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel anlamda bu sistemlerin performansı hava koşullarından etkilenebilmektedir.

Yola müdahale edilmeyen sensörlerin kurulumunun kolaylığı, trafiği durdurmaya gerek duyulmadan kurulabilmesi ve gerektiği zaman sensöre müdahale edilebilmesi ve yolu bozmaması gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. Bu sensörlerden mesafe tayini yapabilen lidar (light detection and ranging), mağara ve tarım arazileri

haritalandırmalarından otonom araçların yönetimine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Bu sensör uygulaması, birçok alanda kullanılmakla birlikte, özellikle otonom araçlarda çözüme kavuşturulması istenen araç takibi, araç tanıma, yol işaret levhalarını tanımlama, şerit takibi gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Ayrıca bu sensör ile dinamik trafikte araç tespiti ve duran trafikte kuyruk uzunluk tespiti gibi konular üzerinde de çalışılmaktadır. Bu çalışmada, bu sensörleri karşılaştırmaktan ziyade sadece üzerinde çalışılan tek boyutlu lidar sensör sistemi üzerinde durulacaktır.

Şekil 1 ile üzerinde çalışılan dinamik kavşak yönetimi genel gösterimi verilmiştir. Şekil 1'de sensörden alınan verilerle aracın varlığına, araç tespit elektronik biriminde karar verilmektedir. Ayrıca bu şekilde araç tespit elektronik biriminden elde edilen kavşağa ait araç yoğunluğunun, en kısa sürede boşaltılabilmesi için bir sinyalizasyon sürelerinin optimizasyon algoritması sunulmuştur. Bu algoritma ile trafik sinyalizasyon süre dağılımları belirlenmektedir.



Şekil 1. Dinamik kavşak yönetimi blok diyagramı

1.2. Dinamik Kavşak Yönetiminde Gömülü Sistemlerin Yeri

Gömülü sistem, belli bir amaç doğrultusunda elde edilen verilerle işlem yapılarak bir birimi kontrol eden sistemlere denir. Bu sistemler hayatımızın bir parçası olmuştur. Hayatımızın hemen hemen her alanında gömülü sistemleri görebilmekteyiz.

Gömülü sistemlerin işleyiş yapısına bakılacak olursa tek bir amacı gerçekleştirmek için bir mikroişlemci veya mikro denetleyici kullanılmaktadır. Bunlar ister işletim sistemi olsun ister olmasın bağımsız çalışabilen sistemlerdir. Müzik çalma aletleri, para çekme makineleri, bulaşık makinesi, çevreye duyarlı trafik ışıkları vb. gömülü sistemi kullanan yerlere örnek olarak verilebilir. Gömülü sistemleri çalıştıran elektronik donanımların başında gömülü sistem geliştirme kartı yer almaktadır. Bu kartın birimleri beşe ayrılabilir. Bunlar mikrodenetleyici, hafıza, haberleşme kontrolü, giriş ve çıkış birimleridir (Omnisci, 2010)

Mikrodenetleyiciler, mikroişlemciler gibi çok amaçlı değil tek bir özel amaç için kullanılırlar. CPU, RAM, ROM, I/O zamanlayıcı vb. birimler tek bir yonga içerisinde yerleştirilmiştir. Dahili ROM, RAM ve I/O portları mevcuttur, ayrıca bir tasarım gerektirmez ve ucuzdurlar. Mikrodalga fırın, alarmlı saat vb. gibi elektronik kontrol gerektiren birçok cihazda kullanılmaktadır.

Gömülü sistem programları için çok farklı alternatif kodlama dilleri bulunmakla birlikte, yaygın olarak kullanılanlarına: C, C++ ve python dilleri örnek olarak verilebilir.

Dinamik kavşak yönetiminde gömülü sistemin yeri, yukarıda anlatılanlardan da anlaşılacağı üzere trafikte kavşak yoğunluk tespiti ve kavşak için sinyalizasyon sürelerinin optimizasyonunu sağlayabilmektir. Gömülü sistemler, çevreden bağımsız olan kavşakları akıllı diyebileceğimiz çevreye bağlı trafik sinyal değişimlerine dönüşmesinde etken rol oynamaktadırlar. Sensörler ile yoğunluğu tespit edilen kavşak verileri ile trafik sinyalizasyon optimizasyonu gömülü sistem ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada gömülü sistem parçası olarak Arduino Mega donanım kartı kullanılmıştır. Bu kart yazılım dili olarak C dilinin alt yapısını kullanmaktadır. Ayrıca hazır kütüphaneleri içermesinden dolayı tercih edilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Kavşağa ait sinyalizasyon sürelerinin ayarlanmasına yönelik çalışmalar yaygın olarak sürdürülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları kavşak sinyalizasyon süresini belirlemede etken rol oynayan elektronik kısım olan araç tespit dedektörlerine yönelik; bazıları ise sadece kavşak sinyalizasyon süresini belirlemeye yönelik teoriktir kısma aittir. Bu konuda pek çok güncel yayın mevcuttur. Trafikte kavşak sinyalizasyon süre problemini çözmek için yapılan ve araç tespitinde kullanılan elektronik yöntemleri içeren çalışmalardan bazıları şöyledir.

Zhou, Li ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları çalışmada 2-3.5 GHz frekans aralıklarında çalışan radar ön-ucu tasarlamışlardır. Radar ön-uç devresi tek-farklı ara frekans dönüştürücü (SDC), lokal osilatör dönüştürücü (LO SDC), mikser ve test için bir adet çıkış tamponundan oluşturmuşlardır. Mikser devresi olarak Gilbert çift-katlı devresi tercih etmişlerdir. Radar ön-uç çalışmasında, çalışma akımı 38,3 mA ve voltaj kazancını 4.7 dB olarak hesaplamışlardır. (Zhou, Li vd. 2013).

Li ve Wu 2007 yılında yaptıkları çalışmada FMSD radar ön-uç sistemi tasarlamışlardır. Mikser olarak çift katlı devre tercihi yapmışlardır. 211 MHz bant genişliği sağlayan HMC385 gerilim kontrollü osilatör kullanmışlardır. Radar devresi, 24 GHz frekansında yapılmıştır. Güç bölücü olarak 90° yönlü kuplör kullanımı yapmışlardır. Radar devresini RO6002 alttaş malzemesi üzerine basmışlardır (Li and Wu 2007).

Charvat, Fenn ve Perry'nin 2011 yılında Lincoln Laboratuvarı'nda yaptıkları FMSD radarı tasarlanmıştır. Merkez frekansı 2.4 GHz (S bandı) olan radarın toplam maliyeti 360 \$ olduğu ifade edilmiştir Bu radar kitinin oluşturulması için birçok parçanın hazır alındığı ifade edilmiştir. Bu radarın bant genişliği yaklaşık olarak 330 MHz kadar ölçüldüğü söylenmiştir. Bu radar kiti; 2.4 GHz merkez frekansında, 20 mW'dan daha az iletim gücü sağladığını bulmuşlardır (Charvat, Fenn vd. 2012).

Doğan, Abbak ve arkadaşları 2018 yılında 24 GHz frekansında çalışan FMSD trafik radarı gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen radarın tek-göndericili, iki-alıcılı bir ön

uca ve sinyali işlemek için de bir arka uca sahip olduğu ifade edilmiştir. Anten tercihini, mikroşerit antenden yana kullanmışlardır. Bu radar maksimum 80 m mesafedeki araçların, mesafesini ve hızını ölçebildiği ifade edilmiştir (Dogan, Abbak vd. 2018).

Wang, Qing Zheng ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptıkları manyetik sensörlerin yol kenarlarına yerleştirilmesi nedeniyle, çok hassas manyetik sinyalleri algılayabilmesinin çok zor olduğu ifade edilmiştir. Manyetik sinyali aldıktan sonra; dalgacık yöntemlerini, gürültüyü filtrelemek ve manyetik sinyalin doğruluğunu arttırmak için kullanmışlardır. Ayrıca, manyetik sinyale dayalı trafik akışını belirlemek için iki çeşit algoritma oluşturmuşlardır. Deney sonuçlarına göre, her algoritmanın doğruluğunun sırasıyla % 90,9 ve % 84,1 bulunduğu ifade edilmiştir (Wang, Zheng vd. 2015).

Xinghe Bao ve arkadaşları 2017 yılında çift mikrodalga doppler radar alıcı modülü üretmişlerdir. Araç parkı için kullanılan bu radarın, % 98'den daha iyi bir başarı grafiği elde ettiği ifade edilmiştir. (Bao, Zhan vd. 2017).

Tubaishat, M., Y. Shang ve arkadaşlarının 2007 yılında yaptıkları çalışmada: Sensör düğümlerini; bir işlemci, bir radyo, bir manyetometre, bir batarya ve araçlardan korunmak için bir kapaktan oluşturmuşlardır. Mikroişlemcinin 128 kb programlanabilir bellek, 512 kb veri flash belleği ile Atmel ATmega128L'den oluştuğu söylenmiştir. UC Berkeley'de geliştirilen bir işletim sistemi olan Tiny OS'u dahili flash bellekten çalıştırmışlardır. Tiny OS tek işlemci kartı ile aynı anda sensör ve radyo iletişimi sağladığı ifade edilmiştir. Bu çalışmada, ayrıca anizotropik magneto-resistive (AMR) sensör teknolojisine dayalı iki adet HMC1051Z manyetik sensör kullanmışlardır. Bu sensörlerin kaldırımın herhangi bir yerine yerleştirilebileceği söylenmiştir (Tubaishat, Shang vd. 2007).

Y. Şazi Murat (2006), "sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin bulanık mantık ile modellenmesi" adı altında bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yeni bir yaklaşım getirmek amacıyla bulanık mantığa dayanan bir gecikme tahmini modeli geliştirmiştir. Yaklaşım kolundaki trafik hacmini, kuyruktaki ortalama taşıt sayısını ve kırmızı sinyal süresinin

devre süresine oranını parametre olarak dikkate almıştır. Geliştirilmiş model ve arazi çalışmalarında gözlenmiş değerler; HCM ve Akçelik yöntemleriyle karşılaştırılmış ve başarılı sonuçların elde edildiği ifade edilmiştir. (Murat 2006).

Yetiş Şazi Murat, 2. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu'nda yayınladığı çalışmada kavşakların kentsel ulaşımın düzenlenmesinde ilk temel etken olduğu üzerinde durmuştur. Bu çalışma, sayısal bir çalışmadan ziyade ege bölgesinin büyük şehirlerinden olan Denizli şehri için sinyalize kavşakların kontrol düzenlemelerini ele almış ve araştırmıştır. Makalede yapılması gerekenleri, maddeler halinde sunmuştur (Murat,2005).

Yetiş Şazi Murat'ın (2006) yaptığı bir diğer çalışmada yapay sinir ağlarından yararlanarak kavşaklardaki ortalama araç gecikmelerini tahmin etmeye çalışmıştır. Yapay sinir ağlarıyla ortalama taşıt gecikmelerini tahmin edebilen bir model geliştirmiştir. Yazar, yapay sinir ağlarını tercih etme sebebi olarak çok işlevi az sayıda nöron aktivitesi ile gerçekleştirebildiğini belirtmiştir. Bu çalışma trafik gecikmelerini çözümlemede en büyük sıkıntıya yol açan çok veri girişi problemini yapay sinir ağları ile aşmaya çalışmıştır. Ayrıca ortalama gecikme süresinin hesaplanmasında girdi olarak trafik hacmi, devre süresi, kırmızı süresi kullanmıştır. Yapay sinir ağı ile yaptığı çalışma ile gözlemlenen gerçek gecikme değerleri arasında 0.12'lik bir mutlak hata payı ortaya çıktığı ifade edilmiştir (Murat and Başkan 2006).

Bulanık mantık ile çalışan bir diğer çalışma Doğan ve Akgüngör'ün (2016) çalışmasıdır. Yapılan çalışmada üç kollu sinyalize bir kavşağın üzerinde durulmuştur. Bulanık mantık yaklaşımıyla, kavşak noktalarının kontrolünü daha verimli hale getirmeye çalışmışlardır. Kırmızı ışık bekleme süresini sınırlandıran, bulanık mantık tabanlı sinyal denetim sistemin geliştirildiği ve bunun üç kollu bir kavşakta test edildiği belirtilmiştir. Geliştirilen bu kontrol sistemini (BMT-SDS) TU-SDS (tam uyarlamalı sinyal denetim sistemi) ve OZ-SDS (öz tabanlı sinyal denetim sistemi) gibi kontrol sistemleriyle karşılaştırmışlardır. Geliştirilmiş sistemin, OZ-SDS'ye göre % 7,3 ile % 65,3 arasında iyileştirme sağladığı ifade edilmiştir. TU-SDS ile karşılaştırıldığında ise düşük trafik

hacimlerinde yüksek hacimlere göre yaklaşık olarak % 60 iyileşme gözlemlendiği ifade edilmiştir (Akgüngör and Doğan 2016).

Arel, Liu ve arkadaşlarının (2010) yaptıkları çalışma, çoklu-etmenli bir sistemin yeni kullanımını ve verimli bir trafik sinyal kontrol tedbiri sağlamak için güçlendirilmiş bir öğrenme (RL) sistemini içermektedir. Bu çalışma, ortalama gecikmeyi ve çapraz-engelleme ile kavşak olasılıklarını ve tıkanıklıklarını en aza indirmeye çalışmıştır. Beş kavşaklı bir trafik ağında çalıştırılmış olan ve her bir kavşak otonom zeka etmeni ile kontrol edildiği ifade edilmiştir. Bu etmenler merkezi sistemli ve giden (outbound) etmenler olarak iki adet olduğu belirtilmiştir. Giden etmeni; trafik sinyalleri, LQF algoritması kullanarak hesaplamışlardır. Böylece bu kararlılık sağlanarak merkez etmen ile işbirliği yapıldığı söylenmiştir. Bu yeni metotla değer fonksiyonu yaklaşımı için ileri beslemeli sinir ağı bir Q öğrenme algoritması kullanmayı amaçlamışlardır. Deneysel sonuçlarda; çoklu etmenli RL tabanlı kontrolün, izole edilmiş tek kavşak kontrolü yapan LQF'ye göre üstünlükleri ifade edilmiştir. Böylece bu çalışma, kavşak bağlantılarında trafik sinyallerini düzenlemek için RL-tabanlı tasarım yapmış ve bir çoklu-etmen tanımlamıştır (Arel, Liu vd. 2010).

Akçelik yaptığı bir çalışmada (1980) sonlu zamanlı bir periyotta süren akış koşulları için zaman ayarlı bir modda işleyen trafik sinyallerinde; kuyruk uzunluğu, bekleme oranı ve öngörülen gecikmeye ait yeni yöntemler sunmuştur. Bu çalışmada yoğun kuyruk kavramı, satürasyon altındaki ve satürasyon üstündeki iletimleri daha iyi anlamak için kolaylaştırdığı ve bu her iki koşulu uygulayarak daha basit ifadelerin ortaya çıkmasına izin verildiği ifade edilmiştir. İlk olarak satürasyon üstünü aşmış koşullar için gecikmede; bekleme oranı ve kuyruk uzunluğu belirleyici ifadeler türetildiği söylenmiştir. Satürasyonu aşmayan sinyaller için durgun-durum ifadelerini özetlemişlerdir. Daha sonra yakın kapasite koşulları için belirleyici ifadeler ve durgun-durum sınırlamaları tartışmasını yapmışlardır. Bu sınırlamaları aşan iletim fonksiyonları verilmiştir. Bu fonksiyonların Whiting/ Kimber-Holis işbirliğindeki iletim tekniğini kullanarak türetildiği söylenmiştir. Gecikmeler, duraklama oranları ve kuyruk uzunlukları için yeni yöntemler sunulduğu ifade edilmiştir. Ayrıca bu makale

izole edilmiş sinyallerdeki ortalama taşma kuyruklar için iletim fonksiyonları sunmuştur (Akçelik 1980).

Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde (2011) yapılan çalışmada, Isparta'da trafik sinyalizasyon sistemini değiştirerek trafik akışında iyileştirmeye çalışmıştır. Bu çalışmada, sabit-zamanlı kontrol tekniği kullanılarak kavşak problemlerinin çözülmeye çalışıldığı ifade edilmiştir. Bu teknikle kavşağa gelen akıma göre sinyal çevrim süresini ve yeşil ışık sürelerini belirlemişlerdir. Bu sistemin; trafik uyarımlı kontrol tekniğine, tercih edilmesi sebebinin daha uygun fiyatlı olması olduğu ifade edilmiştir. Isparta'nın küçük şehir olması dolayısıyla diğer sistemin çok fayda sağlamayacağı ifade edilmiştir. Bu çalışmada modelin kurulduğu ve çözüldüğü yazılım The General Algebraic Modeling System (GAMS) olarak ifade edilmiştir. GAMS'in modelleme ve optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılan yüksek seviyeli programlama dili olduğu söylenmiştir. Bu programda probleme uygun olan doğrusal olmayan programlama modeli kullanmışlardır. Çalışmalar sonucunda bekleme sürelerinde %11'lik bir azalma ve bekleyen araç sayılarında da bir azalma gözlemlendiği ifade edilmiştir. Isparta ekonomisine katkısının 11 saat süresince; ortalama 889,79 TL tutarında olduğu ve çevreye salınan karbondioksit gazının ise 357 kg daha az olduğu ifade edilmiştir (Mulbay, Çay vd.).

Mustafa Sinan Yardım ve Güzin Akyıldız yaptıkları çalışmada "Akıllı Ulaştırma Sistemleri" hakkında bilgi aktarımı ve bu konunun Türkiye açısından önemini vurgulamak istemişlerdir. Akıllı ulaşım sistemlerin, dünyanın gelişmiş ülkelerinde çok ileride olduğu fakat Türkiye'nin bu sisteme yaklaşık 30 yıl gecikme ile 1992 yılında bazı otoyollarda otomatik ücret ödeme sistemi uygulamalarıyla geçtiği belirtilmiştir. Ülkemizde akıllı ulaşım sistemlerini kurmak için gerekli bazı aşamalar öngörmüşlerdir. Bunlardan sadece ikisini söylemek gerekirse ilki ciddi bir para yatırımı ikinci olarak kullanıcının iyi bir şekilde bilgilendirilmesi olduğu ifade edilmiştir (Yardım and Akyıldız 2005).

Alper Özpinar, Ebru Kazasker ve Özgün Öz'ün yaptıkları çalışmada özellikle büyük şehirlerde otoyollar için elektronik plaka ile trafik denetimi yapmak istemişlerdir. Bu

çalışma RFID (Radio Frequency-Identification) ile yapılmak istendiği söylenmiştir. Böyle bir çalışmanın yapılma sebebi özellikle büyük şehirlerde trafik gecikmesinden dolayı olduğu ifade edilmiştir. Böylece trafikte veya herhangi bir köprü, otopark vb. yerlerde araçlar bekleme yapmayacak ve araca yerleştirilen küçük bir etiketle aracın ne zaman nereye gittiği, nerde ücret ödemesi gerektiği gibi çoğu şey kontrol altında tutulabileceği ifade edilmiştir. Aynı zamanda bu sistemle kent içi trafik istatistikleri ve sürücü kural ihlalleri de kayıt altına alınabileceği söylenmiştir (Özpinar, Kazasker vd. 2010).

Abdülkadir Çakır, Hakan Çalış ve Emre Dandil 2009 yılında PLC tabanlı bir trafik sinyalizasyon otomasyonu ve hız ölçüm sistemi tasarlamışlardır. Yapılan çalışmada; yollara sensörler yerleştirilerek trafik lambalarının yanma sürelerini, trafik yoğunluğuna göre ayarlamak istemişler ve trafik akış hızının kesilmemesini amaçlamışlardır. Sensörler tarafından alınan yol bilgileri ile trafik lambalarına yerleştirilen PLC'lerin, yolun yoğunluk durumuna göre trafik sinyalizasyon sürelerini değiştirebileceği söylenmiştir. Ayrıca çalışmada yol kenarlarına yerleştirilen farklı iki sensör yardımıyla aracın hızının ölçümünün de basit bir şekilde gerçekleştirileceği ifade edilmiştir. (Çakır, Çalış vd. 2009).

Trafik tıkanıklığını çözebilmek için (2014) Yüksel Çelik ve Hakkı Soy'un yaptıkları çalışma, hali hazırda merkezi kontrol sistemleri ile yönetilen trafik sinyalizasyon sistemlerinin farklı bir yaklaşımla yerel düzeye indirgenmesini amaçlamışlardır. Trafik sensör verilerine göre her bir sinyal için öz-örgütlenme (kendi kendine organize olma) sistemine, optimizasyon algoritmalarının uyumlandırılmasıyla; trafik sinyalinin şebekedeki tüm sinyaller ile haberleşmesini amaçlamışlardır. Sonuçta bu sistemin çok faydalı ve ucuz bir sistem olacağı belirtilmiştir (Çelik and Soy 2010).

Sinan İlgen ve Akif Durdu bir kavşaktaki trafik ışıklarının akıllı denetimi üzerinde çalışmışlardır. Sistem giriş verisi olarak araç yoğunluğunu kabul eden kural tabanlı bulanık modelleme tekniği kullanmışlardır. Çıkış parametresi olarak yolların kırmızı ışık sürelerini tanımlamışlardır. Trafik yoğunluğuna göre kırmızı ışık süresi düzenlenmesi istenildiği ifade edilmiştir. Çalışmada giriş ve çıkış parametreleri olarak

seçilen araç yoğunluğu ve kırmızı ışık süreleri zamana bağlı lineer bir şekilde değişkenlik gösterdiği için modelleme sırasında üçgen üyelik fonksiyonunun tercih edildiği ifade edilmiştir. Sonuçta; bulanık mantıklı tekniğinin kavşakların akıllı kontrolünün sağlanmasında kullanılabileceği ifade edilmiştir. (İlgen and Durdu 2005).

Kadriye Soysal, Muhammet Balcılar, A. Coşkun Sönmez'in yaptıkları çalışmada, dağınık çoklu-etmen tabanlı trafik yönetim sisteminin tasarımı ve uygulaması anlatılmıştır. Sistemde; kararsız yapıda olan araç, şerit ve kavşak nesnelere etmen olarak tanımlanmışlardır. Bilgisayar benzetiminde tasarladıkları sistemde, tek bir kavşak kullanmışlardır. Şerit etmeninin, üzerinde bulunan araç etmenlerinin sayısını kavşağa bildirdiğini; bu bilgi ile kavşak sinyalizasyonunun yapılabilmekte ve bununla birlikte şerit etmenlerinin de bu bilgiden haberdar edilebildiklerini belirtmektedirler. Tekrardan şerit etmene gelen bilgi, araç etmenine iletildiği ifade edilmiştir. Sonuçta; araçların hızlı bir şekilde kavşağı terk etmelerinin sağlandığı söylenmiştir. Böylece çift yönlü haberleşme olduğu için kararsızlığın azaldığı ifade edilmiştir (Soysal, Balcılar vd. 2010).

Pitu, Mirchandani ve Larry Head (2000) yaptıkları çalışmada, "rhodes" olarak adlandırılan gerçek-zamanlı bir trafik-uyum sinyal kontrol sistemini konu edinmişlerdir. Bu sistemin, gerçek-zamanlı trafik akışının ölçümünü veri olarak aldığı ve optimize ederek ağ boyunca trafik akışını kontrol ettiğini söylemişlerdir. Ağ akış kontrol lojijini alt ağlardaki gözlemlenmiş takımların hareketini optimize eden "realband" olarak adlandırılan bir modele dayandırmışlardır. Bu sistem, bir kontrol mimarisi kullanmakta olduğunu ve bu mimarinin trafik kontrol problemlerini birkaç alt probleme ayrıştırılabilmekte olduklarını ifade etmişlerdir. Bu alt problemleri birbirine hiyerarşik biçimde bağlanmışlardır. Aynı zamanda daha mükemmel kontrol sağlamak için bireysel araçlara uygun bir çözümle trafik akışını sunmuşlardır. B-hiyerarşik, alt problemleri çözmek için çeşitli optimizasyon modellerine izin vermişler ve alt problemlerin hızlı çözümü için bilgisayar yaklaşımı ve bir veri yapısı sunmuşlardır. Bu "rhodes" prototip beş modelden oluşturulduğunu ifade etmişlerdir: Kavşak optimizasyon lojijini, bağlantı akış tahmin lojijini, ağ akış optimizasyon lojijini, takım akış tahmin lojijini ve parametrelerin tahmin lojijidir. Bu prototip FHWA

(Federal Highway Administration)'nin "corsim" benzetim modeli kullanılmıştır. Gerçek senaryo benzetim modellerinde "rhodes" in uygulamasına dayandırılan laboratuvar test sonuçları ile bu sistemin etkinliğini aydınlatmışlardır (Mirchandani and Head 2001).

Binbin, Zhou ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, bir WSN (Wireless sensor network) tarafından toplanan gerçek-zamanlı trafik bilgilerini kullanan, uyumlandırılmış trafik ışık kontrolünü probleminin üzerinde durmuşlardır. Bu çalışmada, sabit kuyrukta yeşil ışık süresini uzatmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada, gerçek-zamanlı trafik ile ilgili trafik ışık sürelerini ve araç kuyruğunu düzenleyen, bir uyarlanabilir trafik ışık kontrol algoritması amaçlandığı söylenilmiştir. Bu algorithmada, uygun yeşil ışık süresi ve yeşil ışıktaki kuyruk uzunluğunu belirlemek için trafik genişliği, bekleme zamanı, araç yoğunluğu gibi trafik etkenlerinin bir kaçı üzerinde düşünöldüğü söylenmiştir. Algoritmanın benzetim sonuçları, zaman-sabitli kontrol algoritması ve harekete geçmiş kontrol algoritması ile karşılaştırıldığında kavşaktan daha yüksek aracın geçiş yaptığını ve daha az ortalama bekleme süresi elde edildiği ifade etmişlerdir (Zhou, Cao vd. 2010).

Ali Payıdar Akgüngör (2004) yılında yaptığı çalışmada: Sinyalize kavşaklardaki gecikme süresi olan "k"yı, literatürde yaygın olarak bilinen modellerde olduğu gibi sabit bir sayı olarak değil; çözümleme süresinin bir fonksiyonu olarak ifade etmişlerdir. Böylece kavşaklardaki gecikmenin, değişen çözümleme süreleri için daha doğru tahmin yapabilmesini amaçlamışlardır. Sinyalize bir kavşaktaki gecikme miktarı ve kuyruklanma seviyesi, kavşağa gelen araçlara ve kavşağın servis özelliklerine bağlı olarak değişebileceği belirtilmiştir. Gecikme modellerinde bu özellikler bir gecikme değişkeni olan "k" ile ifade edilmiştir. Söylenildiği gibi "k" gecikme değişkeni değerini, kuyruklanma çözümleme yöntemi ile tahmin edebilmek için araç gelişlerini, servis imkanını ve kuyruklama disiplinini bilmek gerektiği; bunlarla ilgili herhangi bir yeterli bilgi yoksa benzetim teknikleri ve ampirik yaklaşımlarla bulunabileceği söylenmiştir. Aynı zamanda bu çalışmada, Traf-Netsim benzetim modeli ve ampirik yaklaşım kullanılarak "k" değerinin hesaplanmaya çalışıldığı anlaşılmaktadır. Bu modelde, farklı bir sinyalize kavşak tasarlamışlardır. Sonuç olarak; geliştirilen modelde farklı

çözümleme süreleri için değişken “k” değerlerinin kullanılması ise sinyalize kavşaklarda gecikme (özellikle de aşırı akım gecikme) tahmininin mevcut modellere göre daha güvenilir olmasına olanak sağladığı belirtilmiştir (Akgüngör,2004).

Halim Ceylan, Özgür Başkan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (2007); geliştirilen yaklaşık hesaplama metodu (YHM) ile sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin bileşenlerini, koordinat transformasyon tekniğini kullanılarak çözmeye çalışmışlardır. Sabah trafiğinde, YHM ile yapılan çözüm mevcut duruma göre yaklaşık %450 oranında bir gecikme azalması, akşam trafiği için ise yaklaşık %750 oranında bir performans iyileşmesi sağlandığı söylenmiştir. YHM ile Webster metoduna göre aynı devre süreleri için karşılaştırmalar yapıldığı zaman toplam gecikmelerde oldukça büyük farklılıklar bulunmasının en önemli sebebi Webster’e göre uniform gecikmeler hesaplanırken tüm kollardaki en yüksek kritik akım değeri kullanılması; YHM’e göre ise uniform gecikmeler için o fazdaki akım değerleri kullanılması olarak ifade edilmiştir (Ceylan, Başkan vd. 2007).

Prothmann ve Hartmut Schmeck ve arkadaşları (2009) şehir yol bağlantıları için trafik sinyal kontrolünü çalışmışlardır. Son yıllarda, otonom ve organik (bedensel) işlenimlerinin bilişimsel toplumda aktif araştırma alanı olduğunu söyleyen bu çalışma; aynı zamanda iki işlenimin de ilk olarak uyum ve kendini optimize etme kabiliyetine odaklandığı söylemiş ve teknik sistemlerdeki büyüme karmaşasını idare etmeyi amaçlamışlardır. Bunların neticesinde organik kavramlar için umut vadeden uygulamalar ile şehirdeki yol trafik sinyallerinin kontrolünü amaçlamışlardır. Bu çalışmada, şehirdeki trafik ışıklarını kontrolüne organik bir yaklaşım sunulduğu söylenmektedir. Sadece mevcut trafik verilerine ve komşu kavşaklar arasındaki iletişime dayanan, komşu trafik ışıkları için bir koordinasyon mekanizması sunulduğu ifade edilmiştir. (Prothmann, Branke vd. 2009)

3. DİNAMİK KAVŞAK YÖNETİMİNDE ARAÇ TESPİTİ

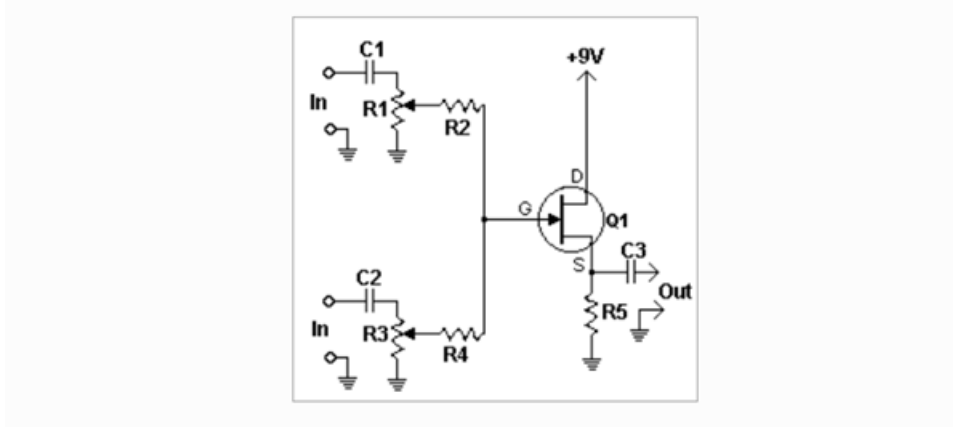
Bu tez kapsamında ultrasonik sensör, FMDS (Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga Radarı), kızılötesi sensör ve lidar kullanılarak farklı yöntemlerin araç tespitine uygunluğu test edilmiştir. Her bir yöntemden elde edilen ilk sonuçlara göre, dinamik kavşak yönetiminde sistemin tamamlanabilmesi için en uygun tercihin; maliyet, uygulanabilirlik, yüksek çözünürlük ve benzeri sebeplerden dolayı lidar sensör olduğuna karar verilmiştir.

Bu kısımda ultrasonik sensör, FMDS ve kızılötesi sensörler ile çalışma için tercih edilen lidar sensör sistemi ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

3.1. Ultrasonik Sensör

İngilizce 'ultra' ve 'sonic' kelimelerinin birleşimi olan ultrasonik kelimesi 'daha yüksek ses' anlamına gelmektedir. İnsan duyulabilir aralığı dışında yüksek frekanslı (25-35 kHz) ses dalgalarını yaygın olarak kullanmaktadır. Temelde mikrodalga radar sistemine benzemektedir. Ses dalgası iletilir ve gelme süresine göre aracın mesafesi hesaplanır. Arka plandaki yüzeyden daha çabuk sinyal geliyorsa bir cismin orada olduğunu tahmin eder. Hız tahmini için ise çoğu sistem gibi çoklu algılama bölgesine sahip olması gerekmektedir. Performansının sıcaklık değişiminden etkilenmesi onu bir arka plana atmaktadır (Industries, 2005).

Bu tez kapsamında üzerinde çalışılan ultrasonik sensörün devre şeması aşağıda Şekil 2'de verilmiştir. Giriş 1 ve giriş 2'ye ultrasonik sensörler bağlanmaktadır ve devre 9V'luk bir DC kaynak ile beslenmektedir.



Şekil 2. Ultrasonik devre şeması

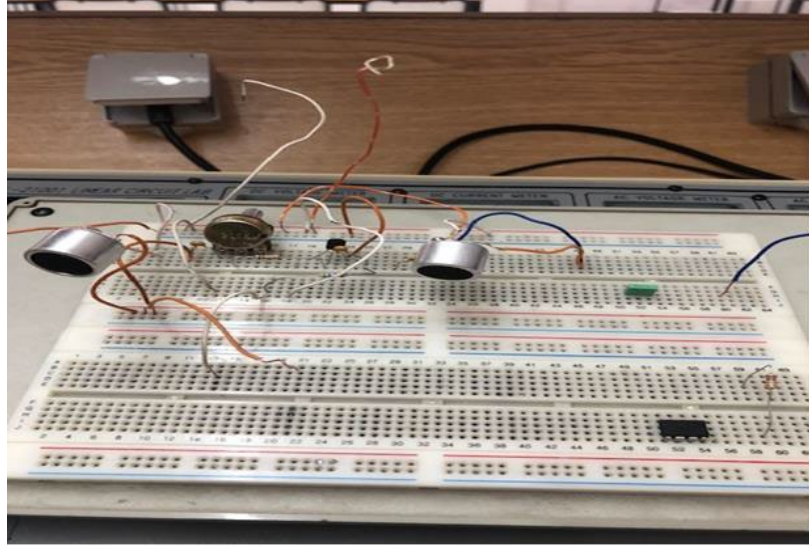
Şekil 2 ile gösterilen ultrasonik devre şemasındaki devre elemanları değerleri tablo 1 ile verilmiştir.

Çizelge 1. Devre elemanları ve değerleri

Eleman Adı	Değeri	Eleman Adı	Değeri	Eleman Adı	Değeri
C1	0.1 μ F	R1	10 K Ω pot	R4	100 K Ω pot
C2	0.1 μ F	R2	100 K Ω pot	R5	6.8 K Ω
C3	0.1 μ F	R3	10 K Ω pot	Q1	BF245

Devre şemasında yer alan iki girişten birincisine verici, diğerine ise alıcı ultrasonik sensör yerleştirilmiştir. 40 kHz frekansta 20 V gücünde işaret ile beslenen verici ultrasonik sensöründen çıkan sinyal işareti, hedef nesneye çarptıktan sonra nesneden yansıyan sinyal alıcı sensör vasıtasıyla mikser devresine aktarılır. Burada gönderilen sinyal ile nesneden yansıyan geri gelen sinyal karşılaştırılarak sensör önünde cisim olup olmadığı tespit edilebilir. Mikser devresi, iletilen ve alınan sinyal işaretlerinin farkını alarak hedefteki nesneyi tespit etmektedir.

Ultrasonik sensör kullanılarak gerçekleştirilmiş olan devre Şekil 3 ile gösterilmektedir.

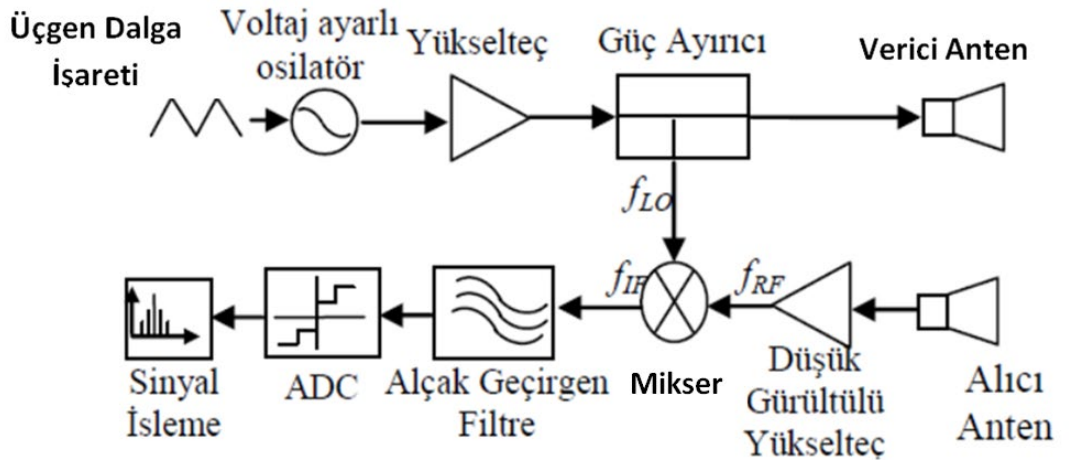


Şekil 3. Gerçeklenen ultrasonik sensör devresi

3.2. Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalgı Radarı (FMSS)

Tez çalışmaları içerisinde üzerinde çalışılan bir yöntem de, frekans modülasyonlu sürekli dalgı radarıdır. Bu radar belli bir frekans aralığında değışken sinyal ürettiği için frekans modülasyonlu sürekli dalgı radarı ismini almıştır. Modülasyonlu frekans ile hareketsiz cisimler de tespit edilebilmektedir.

Şekil 4 ile FMSS radarının basit blok şeması gösterilmektedir



Şekil 4. FMSS radarı blok şeması

Şekil 4’de verilen FMSD radar blok şemasına ait üçgen dalga işaret üretici, voltaj ayarlı osilatör, wilkonson güç bölücü, alıcı ve verici anten, alçak geçiren filtre üretimleri yapılmıştır. Gerilim kontrollü osilatör yükselteç mikser gibi mikrodalga cihazlar ise hazır alınmıştır. Bu devre elemanlarının olduğu FMSD radarı tasarımı Şekil 5 ile gösterilmektedir.



Şekil 5. Tasarımı gerçekleştirilen FMSD radar sistemi

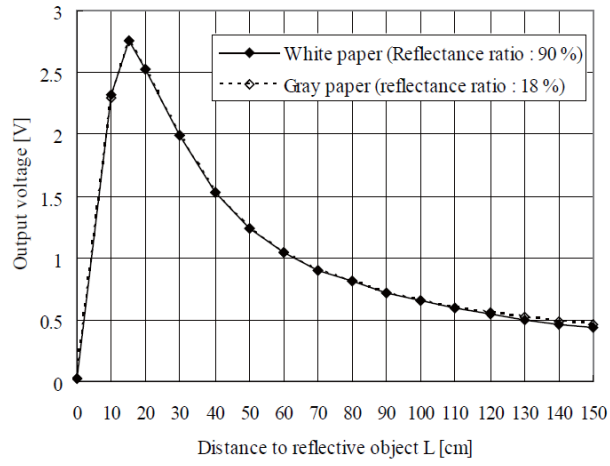
Dinamik kavşak yönetimde araç tespit sistemi için farklı mikrodalga devrelerin birlikte kullanımı ile gerçekleştirilebilecek bir FMSD uygulaması yüksek maliyet gerektirmektedir. Ayrıca farklı mikrodalga cihazların birlikte kullanımı empedans uyumlandırma problemlerine de sebep olmaktadır.

3.3. Kızılötesi Sensör

Tez çalışması kapsamında üzerinde çalışılan bir diğer cihaz olan kızıl ötesi sensörün dinamik kavşak yönetimde araç takibi için uygulanabilirliği test edilmiştir. Çalışmada sharp GP2Y0A02YK0F 20 ile 150 cm arası mesafe ölçer sensor kullanılmıştır. Şekil 6 ile ölçümlerde kullanılan Sharp kızılötesi sensor gösterilmiştir.



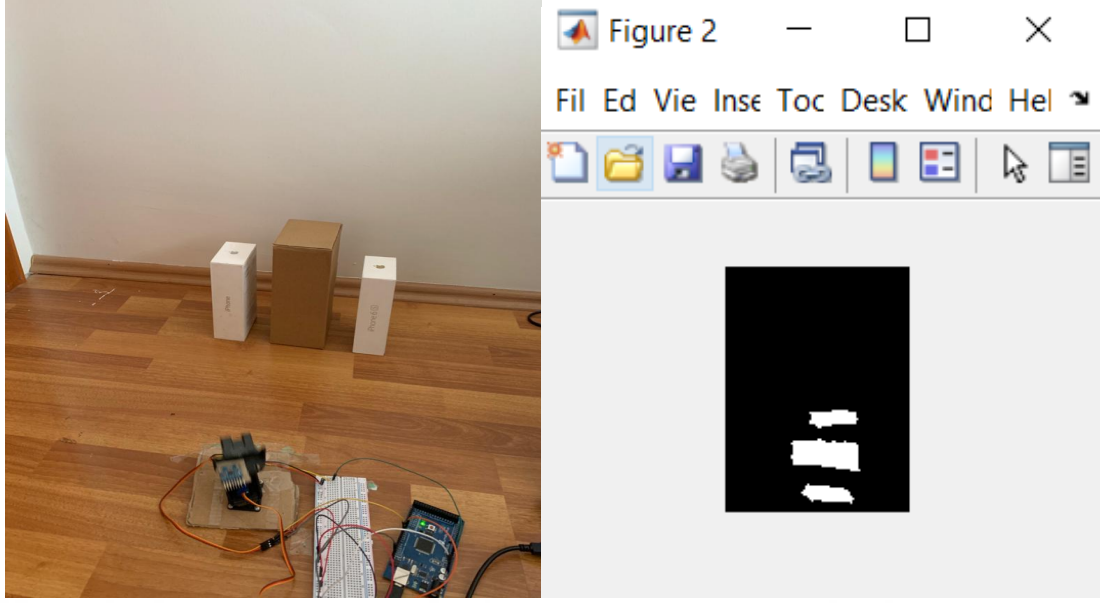
Şekil 6. Sharp GP2Y0A02YK0F (GP2Y0A02YK0F, 2006)



Şekil 7. Sharp GP2Y0A02YK0F gerilim-mesafe grafiği (GP2Y0A02YK0F, 2006)

Kullanılan Sharp kızılötesi sensor, analog gerilim çıkışı vermektedir. Şekil 7’de çıkış gerilimine göre değişen mesafe bilgisi verilmiştir. Kullanılan sensor, arduino kartı ile kontrol edilmiştir.

Şekil 8’de iki adet aynı boyuttaki ve bir adet farklı boyuttaki cisimlerin görüntüsü ve sensörden alınan verilerin Matlab programında işlenmiş görüntüsü gösterilmektedir. Şekil 8’de görüldüğü üzere cisim alan tespitlerinde doğruluk sağlanmıştır.



Şekil 8. Farklı cisimlerin ölçüm düzeneği

Kızılötesi sensör ve servo motorlar arduino kartıyla yönetilmiştir. Arduino kartı kızılötesi sensörün çıkışında vermiş olduğu gerilim değerini mesafe bilgisine dönüştürmüştür. Aynı zamanda arduino kartı ile alınan servo motor açısı bilgisi ve kızılötesi sensörden alınan veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Arduino gömülü sistemin temelini oluşturmaktadır. Arduino'dan bilgisayara aktarılan veriler Matlab programında işlenmiştir. Matlab programında cisimlerin şekilleri alanları ve boyutları ve sayıları hesaplanmış ve sınıflandırması yapılmıştır.

Kızılötesi sensörlü prototip çalışması, lidar sensör ile yapılan çalışmanın temelini teşkil etmiştir.

3.4. Lidar Sensör Sistemi

Bu çalışmada gerçekleştirilen ve sonuçların elde edildiği tek-boyutlu lidar sensör sistemi Şekil 9 ile gösterilmektedir. Bu sistemde bir platform üzerine yerleştirilen servo motorlu iki yönlü hareket aparatı ve yine onun üzerine yerleştirilmiş tek-boyutlu lidar mesafe sensörü yer almaktadır. Servo motorlar, 6V dc gerilim kaynağı ile beslenmektedir. Aynı zamanda servo motorların ve lidar sensörün işlem

basamaklarını gerçekleştiren, arduino mega donanım kartı sistemin bir parçasıdır. Arduino ve lidar sensörlü hareket aparatı bağlantısı yine Şekil 9'da yer alan elektronik devre üzerindeki bağlantılarla gerçekleştirilmiştir.



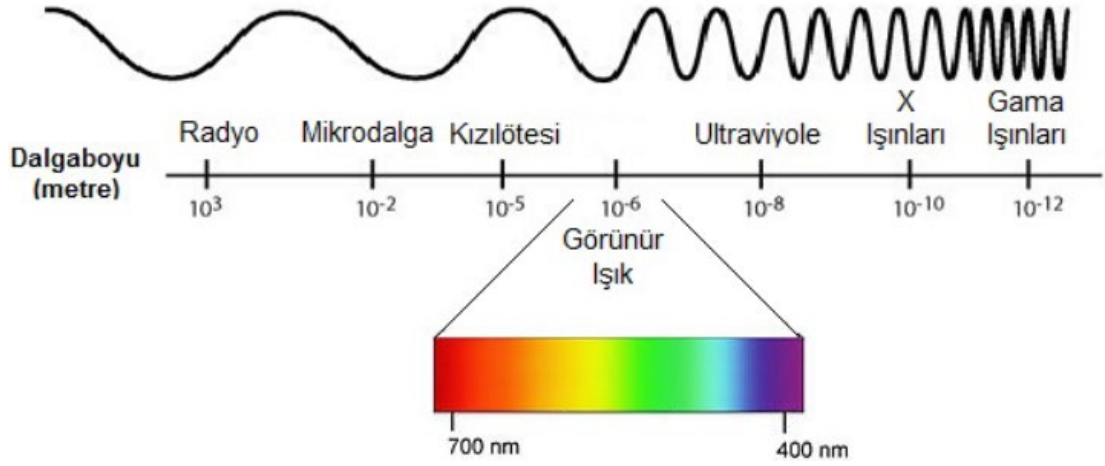
Şekil 9. Lidar sensör sistemi

3.4.1. Lidar sensör

Lidar, "Light Detection and Ranging" kelimelerinin kısaltılmasından oluşturulmuştur. Lidar, hedef nesneye ışığın gidip gelme süresiyle, hedefin uzaklığını tespit edebilen bir aktif uzaklık sensörüdür. Bu sensörler, ölçüm mesafeleri ve belli başlı özelliklerine göre tek boyutlu, 2 boyutlu veya 3 boyutlu olarak çeşitlilik göstermektedir.

Lidar sensörler küçük hedefleri uzun mesafelerde tespit etme hassasiyetine sahiptir. Gerek maliyet, gerekse araç takip sistemi gibi özellikleri açısından düşünüldüğünde; kullanımı en elverişli olan tek-boyutlu lidar sensördür. 2D (2 boyutlu) ve 3D (3 boyutlu) olan lidar sensörler ise yüksek maliyetleri sebebiyle tercih edilmemiştir.

Şekil 10 ile elektromanyetik sinyallerin çalıştığı, ortalama dalga boyları verilmiştir. Burada lidar sensörlerin çalışma alanları: Kızılötesi bölgesinden, ultraviyole ışık bölgesine kadar değişebilmektedir.



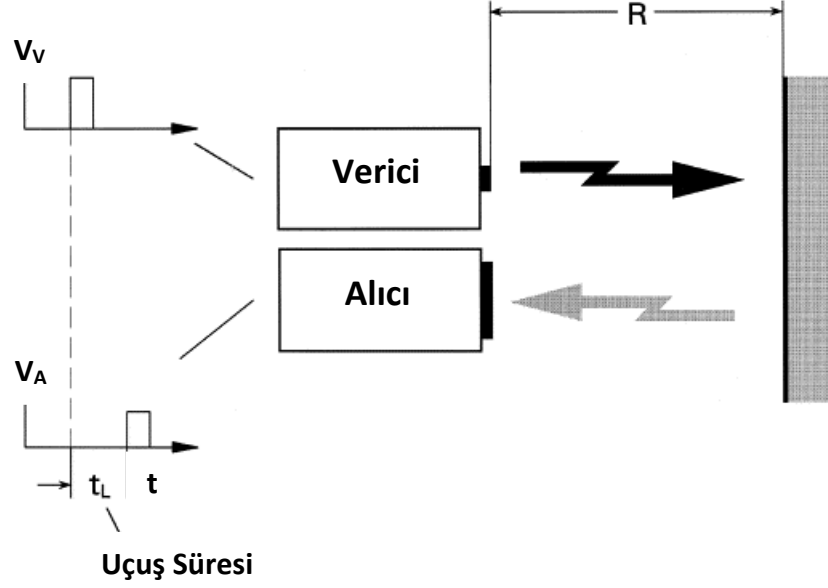
Şekil 10. Elektromanyetik spektrum (Aykaç, 2005)

Şekil 10 ile gösterilen elektromanyetik spektrumda yer alan lazer tipleri ve dalga boyları Çizelge 2’de detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan lazer tipi, diyot lazerdir.

Çizelge 2. Lazer tipleri ve dalga boyları

Lazer tipi	Dalga Boyu (nm)
Argon iyon	488-514,5
Kripton iyon	530,9-647,1
Helyum-neon	632,8
Diyot	785-905
Nd-YAG	1064

Şekil 11’de lidar sensor genel çalışma prensibi gösterilmektedir. Sensor içerisindeki vericiden iletilen sinyal ile hedef nesneye çarpıp alıcıdan alınan sinyal arasındaki süre farkından hedef nesnenin mesafe tespiti yapılabilmektedir.



Şekil 11. Lidar sensor çalışma sistemi (Wehr, 1999)

Şekil 11'deki uçuş süresi: Hedef nesneye sensörden giden darbelenmiş sinyaldeki faz değişiminin olduğu dalgadan, ışığın süresine dönüştürülmesiyle elde edilmektedir (Wehr and Lohr 1999).

$$R = \frac{c \times t}{2} \quad (1)$$

c: ışık hızı

t: iletilen ve gelen sinyal arasındaki süre farkı

R: lidar sensörün hedef nesneye olan mesafesi

Şekil 11 ile gösterilen lidar sensör çalışma prensibine göre mesafe tespiti için denklem (1) kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında kullanılan Benewake TF03, genellikle akıllı ulaşım sistemlerinde, otomotiv sektöründe, IHA'larda kullanılabilen tek-boyutlu uzun mesafeli bir lidar sensördür. Farklı alanlarda kullanılabilmesi için uyumlandırabilen çeşitli haberleşme ara yüzlerine, IP67 yüksek-dayanıklı kasaya ve 10 KHZ e kadar yüksek frekans ölçümlerine olanak sağlayabilen bir mesafe sensörüdür. Bu çalışma kullanılan lidar sensör 180 m mesafe menzille sahiptir. Ölçümlerde kullanılan lidar sensor, Şekil 12 ile

gösterilmiştir. Çalışma tekniği 2D ve 3D lazerlerden farklı olsa da tek boyutlu lidarların lazer ışığı 905 nm dalga boyu ile lazer ışık spektrumunda yer aldığı için lidar kategorisinde yer almaktadır (D.A. SKOOG, 1981). Bu lidar sensör, lazer ışık kaynağı olarak LED (light emitted diode)'i kullanmaktadır (Sparkfun, 2005)



Şekil 12. Kullanılan Benewake TF-03 lidar sensor (Sparkfun, 2005)

3.4.2. Servo motor ve hareket aparatı

MG-996R 6V'da 13 kg torka kadar çıkabilen 120 derece dönme açısına sahip olan bir servo motordur. Verilen komuta göre dönüş yapabilen motor türlerindedir. Şekil 13'de kullanılan MG-996R servo motor gösterilmiştir.



Şekil 13 Kullanılan MG-996R servo motor

Bu servo motor 60 dereceyi 0.15 saniyede alabilmektedir. Servo motorun iç yapısı; dc motor, dişli mekanizması, motor sürücü kartı ve potansiyometreden oluşmaktadır.

Motor sürücü kartı arduino tarafından kontrol edilmiştir. Bu motorların beslemesi ise şebeke geriliminden 6V'luk adaptör ile gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında bir diğer kullanılan lidar sistem parçası 2-eksenli pan tilt kit'dir. Şekil 14'de kullanılan servo motor ve üzerine yerleştirilmiş iki eksenli hareket aparatı gösterilmektedir.

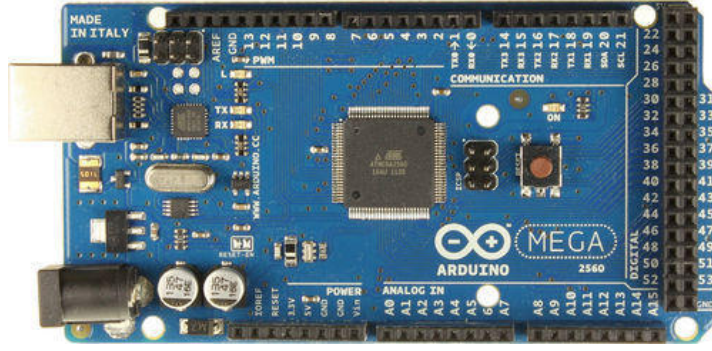


Şekil 14. Kullanılan servo motor ve 2-eksenli hareket kiti

Noktasal veya tek-boyutlu olarak isimlendirilebilen bu lidar sensöre, iki eksenli hareket aparatıyla iki boyut daha kazandırılmak istenmiş ve böylece bu sektörde kullanılan üç boyutlu sensörlerle benzer özelliklerde sonuç veren bir sensör elde edilmiştir.

3.4.3. İşlemci modülü

Lidar sensör sistemde programlayıcı ve denetleyici olarak arduino donanım kartı tercih edilmiştir. Arduino, C dilinin alt yazılımlarıyla programlanabilen fiziksel programlanabilir bir karttır. İçerisinde birçok sensorün kütüphanesi olduğu için kullanımı yaygındır. Sistem içerisinde kullanılan mesafe sensörünü hareket ettirmek ve bu sensörden verileri toplamak için kullanılan 16 girişli Arduino ATmega2660 kartı Şekil 15 ile gösterilmiştir.

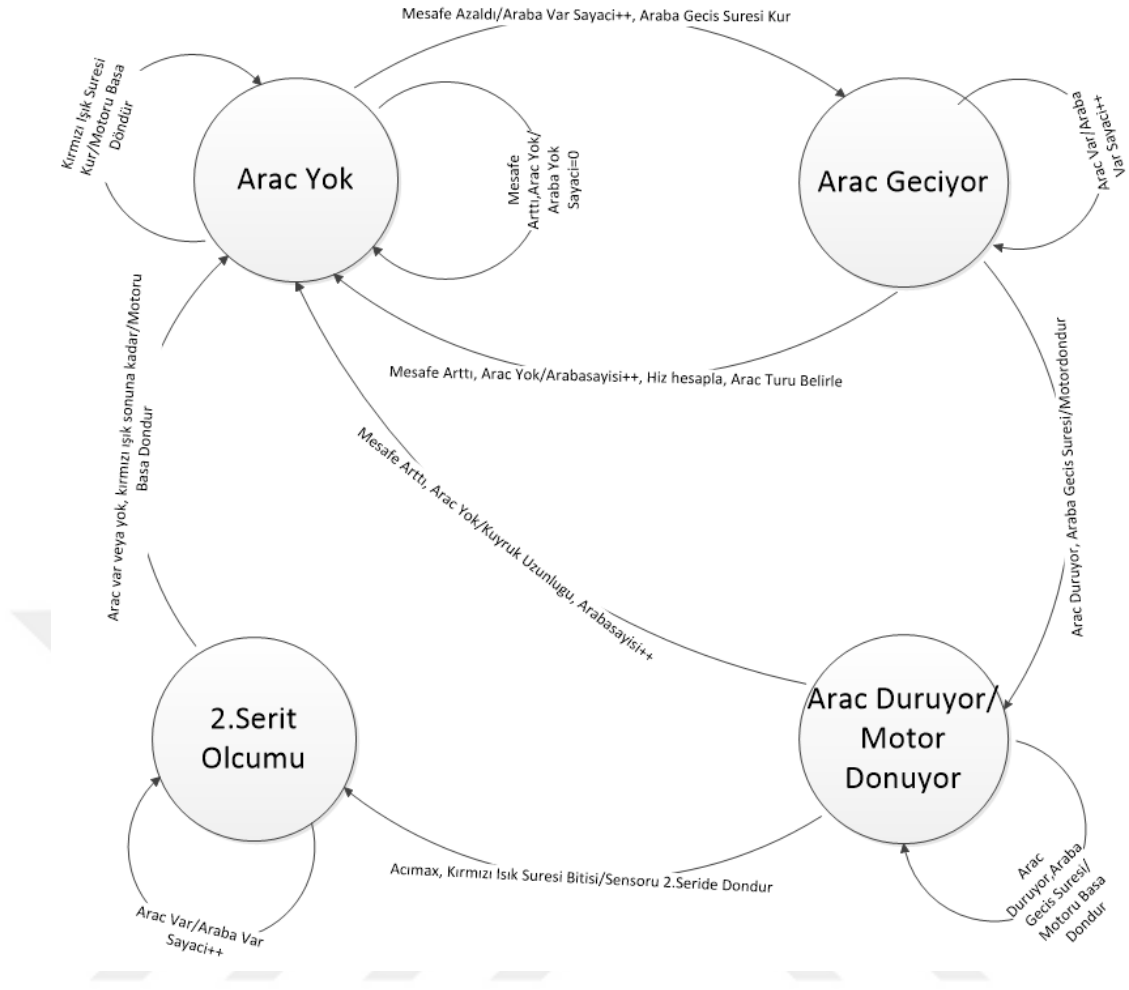


Şekil 15. Kullanılan arduino atmega 2560 donanım kartı

Bu çalışmada, hazır kütüphanelere sahip olduğundan dolayı arduino donanım kartı kullanılmıştır. Arduino içerisinde mega kartı çeşidinin kullanılmasının sebebi ise diğer arduino gruplarına göre daha çok çıkış portuna sahip olmasıdır. Gerçekleştirilen algoritma arduino donanım kartı yerine, istenilmesi halinde farklı bir donanım kartı ile de kullanılabilir.

3.4.4. Sistem algoritması

Önerilen algoritma, gömülü sistemlerde sıklıkla kullanılan ve makine durumlarını gösteren bir davranış modeli olan sonlu durum makinesi biçiminde gerçekleştirilmiştir. Üzerinde değişikliklerin kolay yapılabilmesi ve algoritmasının geliştirilebilmesinin karışıklığa meydan vermeden kolay bir şekilde yapılabilmesi açısından sıkça tercih edilmektedir.



Şekil 16. Oluşturulan sonlu durum makinesi diyagramı

Bu çalışmada kullanılan sistem algoritması yukarıda Şekil 16 ile gösterilmektedir. Gerçekleştirilen durum makinesi dört durumdan oluşmaktadır. Sırasıyla araç yok, araç geçiyor, araç duruyor/motor dönüyor, 2. şerit ölçümü durumlarıdır.

Bu çalışmanın sisteminin trafikte gerçek-zamanlı çalıştırılmak istenmesinden dolayı motorun başa dönme süresi (araç yok durumuna gelmesi) ortalama bir kırmızı ışık süresi olan 60 sn süresi olarak belirlenmiştir.

Lidar sensörün yerleştirildiği yerden, ölçüm alacağı boş alana olan uzaklığı araç yok durumu için referans alınmıştır. Lidar sensörün önünden bir araç geçmesiyle referans mesafesi azalmakta ve sonlu durum makinesinde 2. durum olan araç geçiyor durumuna geçilmektedir. Eğer azalan mesafe tekrar artarsa aracın sensörün önünden

geçtiği anlaşılmaktadır. Araç sensörün önünden geçmesiyle elde edilen veri sayılarından, aracın kaç saniyede lidar sensörün önünden geçtiği hesaplanmaktadır. Ölçümlerde lidar sensörün darbe frekansı 100 Hz olarak belirlenmiş ve elde edilen araç mesafe verileri de bu frekansa göre hesaplanmıştır. Bu hesaplama formül 2’de verilmiştir. Hız hesaplamasında kullanılan diğer formüller formül 2 ve 3’de sırasıyla verilmiştir.

$$t = \frac{vs}{f} \quad (2)$$

t: saniye

vs: araç lidar sensör önünden geçerken elde edilen veri sayısı

f: lidar sensörün frekansı

Aracın lidar sensör önünden geçiş süresi formül 2 ile hesaplanmıştır.

$$X = V \times t \quad (3)$$

X: araç boyu (3m olarak kabul edilmiştir)

V: araç hızı

Formül 3’de ise genel yol hız formülü verilmiştir. 2 ve 3 formüllerinden yola çıkılarak 4. formül oluşturulmuş ve araç hızı bu formülle hesaplanmıştır.

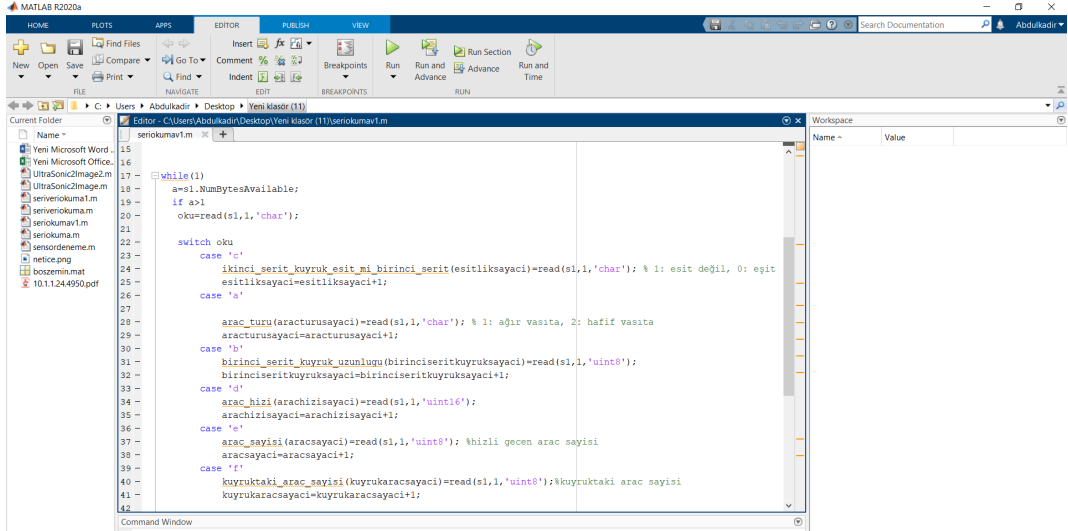
$$V = \frac{X \times f}{\text{veri sayısı}} \quad (4)$$

Önceki yapılan çalışmalara benzer bir şekilde belli bir hızın altına düşen araçların kuyruk oluşturmaya başlamış olması (Cai, 2010; Wu, 2013) durumundan yola çıkılarak buna benzer nitelikte yapılan bu çalışma algoritmasında aracın sensör önünde 4 sn ve üzerinde beklemesi ile durum makinesinde üçüncü duruma geçilmektedir. Bu durumda aracın artık kuyruğa girmiş olduğu ve kuyruk oluşumuna başladığı anlaşılmaktadır. Bu durumda lidar sensör sinyali, aracın üstünden aşarak kuyruk

sonunu tespit edebilmektedir. Sensör aracın üzerinden motorun dönmesiyle geçerken aynı zamanda geride bıraktığı her bir aracın sayısını da hesaplamaktadır. 1. şerit ölçümleri belirlenen kırmızı ışık süresinin ilk 45 saniyesi boyunca gerçekleştirilmiştir. 2. şerit kontrolü ise 4. durumda gerçekleştirilmektedir. Kuyruğun uzaması ve lidar sensörün yolu gördüğü açının bizce ayarlanan maksimum değerine ulaşmasıyla ya da kuyruk uzamasa dahi kırmızı ışık süresi için belirlenen sürenin son 15 sn'si, lidar sensörün 2. şerit kontrolü ile geçmektedir. 4. durumda sadece 1. şeritle kuyruk uzunluğu eşit mi değil mi kararı verilmektedir. Lidar sensör eğer 1. şeritin kuyruk sonuna kadar gitmiş ise hemen ardından 1. şeritin paralelindeki 2. şerit hizasına geçmektedir. Sensör, 2. şeritte 15 sn durup kuyruk oluşumunu kontrol etmektedir. Bu tek-boyutlu lidar sensörün hem 1. şeriti hem 2. şeriti kontrol ederek 3D lidar sensör gibi davranması 2 servo motorun hareketiyle birlikte gerçekleşmektedir. 2. şeritteki araç kontrolünü ise bu şeritteki boş alan mesafe bilgisi ile karşılaştırmaktadır. Yapılan çalışmada, 2. şeritte araç var ise lidar sensörün referans mesafesi azaldığı için 2. şerit kuyruk uzunluğu 1. şeritle eşit, araç yok ise 2. şerit kuyruk uzunluğu 1. şeritle eşit değil çıktısı vermektedir.

3.4.5. Kavşak Optimizasyon Yazılımı

Bu çalışmada kavşağa ait sinyalizasyon optimizasyonu için Matlab (matrix laboratory) programı kullanılmıştır. Matlab sayısal hesaplama programıdır. Az kodla çok işlem yapabildiği için kullanımı kolaydır. Görüntü ve veri işlemede sıkça kullanılmakta ve bu işlemler için hazır kodlar içermektedir.



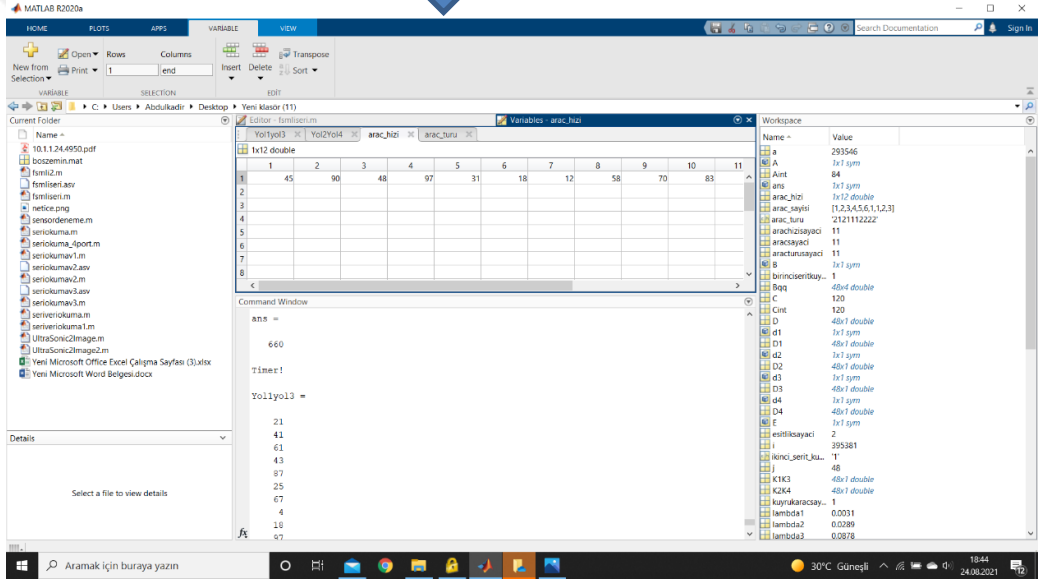
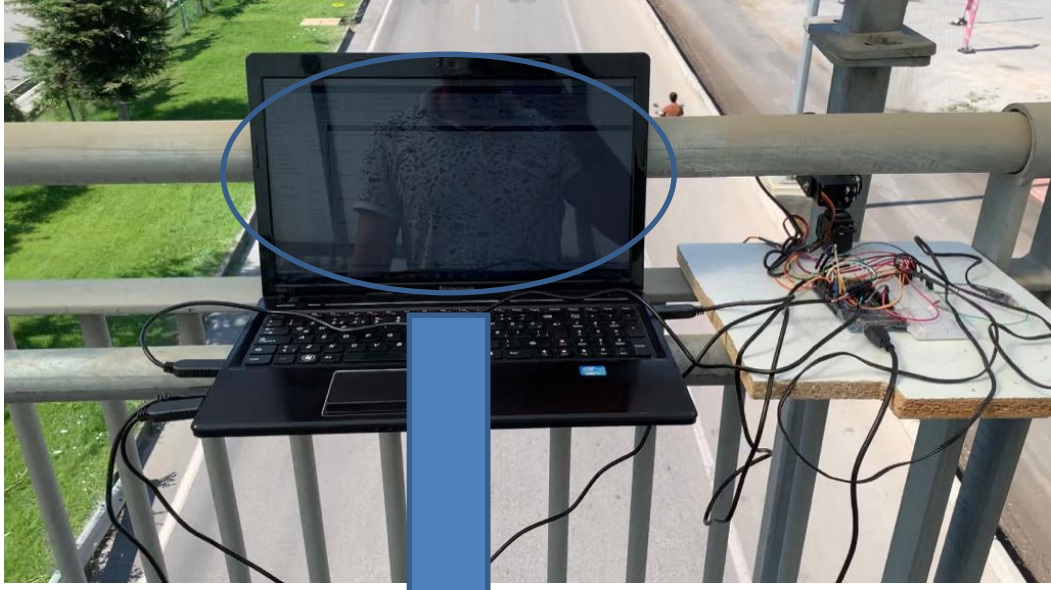
```
15 while(1)
16     a=s1.NumBytesAvailable;
17     if a>1
18         oku=read(s1,'char');
19         switch oku
20             case 'c'
21                 ikinci_serit_kuyruk_esit_mi_birinci_serit(esitliksayaci)=read(s1,'char'); % 1: esit değil, 0: esit
22                 esitliksayaci=esitliksayaci+1;
23             case 'a'
24                 arac_turu(aracturusayaci)=read(s1,'char'); % 1: ağır vasıta, 2: hafif vasıta
25                 aracturusayaci=aracturusayaci+1;
26             case 'b'
27                 birinci_serit_kuyruk_uzunlugu(birinciseritkuyruksayaci)=read(s1,'uint8');
28                 birinciseritkuyruksayaci=birinciseritkuyruksayaci+1;
29             case 'd'
30                 arac_hizi(arachizisayaci)=read(s1,'uint16');
31                 arachizisayaci=arachizisayaci+1;
32             case 'e'
33                 arac_sayisi(aracsayaci)=read(s1,'uint8'); %hızlı geçen arac sayısı
34                 aracsayaci=aracsayaci+1;
35             case 'f'
36                 kuyruktaki_arac_sayisi(kuyrukaracsayaci)=read(s1,'uint8');%kuyruktaki arac sayısı
37                 kuyrukaracsayaci=kuyrukaracsayaci+1;
38         end
39     end
40 end
```

Şekil 17. Matlab veri işleme kodu görüntüsü

Matlab programında arduino kartından gelen verinin işlenmesi için kullanılan kodların görüntüsü Şekil 17 ile gösterilmiştir.

Bu çalışmada, kavşaktaki bir kol için lidar sensör sisteminden elde edilen gerçek verilerle diğer üç kol için arduino kartından rastgele elde edilen veriler birlikte matlab programında çalıştırılmıştır. Böylece kavşağa ait sinyalizasyon optimizasyonu anlık olarak gerçekleştirilmiştir.

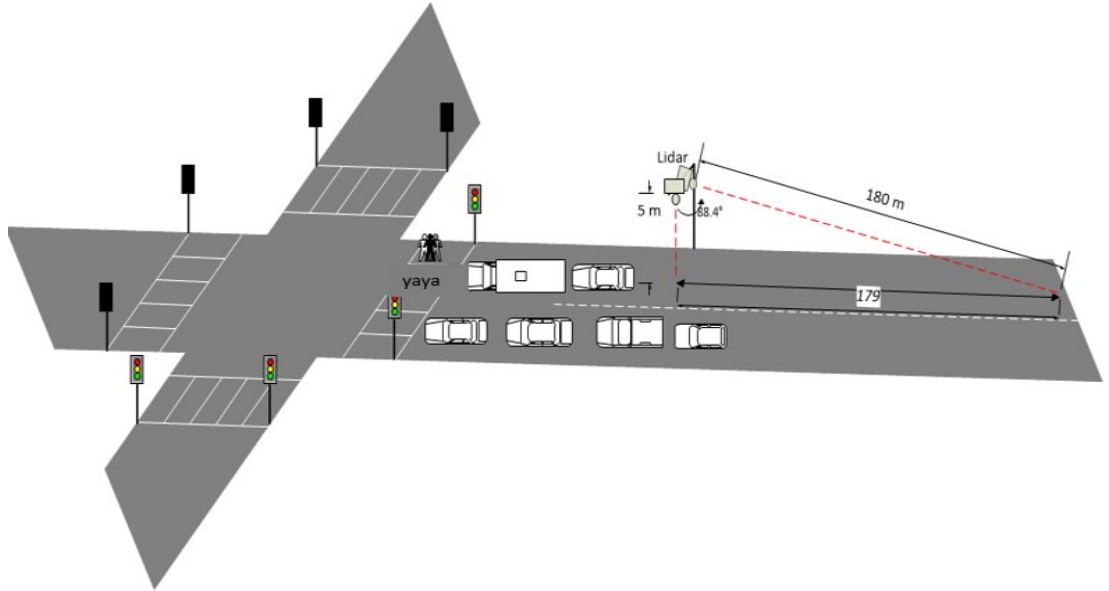
Çünür yaya üst geçidinde anlık olarak kavşak yoğunluk hesabı ve kavşak optimazasyonu beraber olarak gerçekleştirilmiştir. Lidar sensörün gördüğü araç bilgileri ve kavşağa ait kollar için hesaplanan optimum yeşil süreleri anlık olarak Matlab programında hesaplanmış ve Şekil 18 ile gösterilmiştir.



Şekil 18. Anlık kavşak yoğunluk hesabı ve kavşak optimizasyonu görüntüsü

4. GERÇEKLENEREN YAPININ ANALİZİ

Dört kollu bir kavşaktaki bir kol için düşünölen lidar sensör ölçüm yeri konumlandırılması ve çalışma biçimi Şekil 19 ile gösterilmiştir. Bu lidar sistemin, bir koldaki kırmızı ışık süresince oluşabilecek ortalama kuyruğun hizasına yerleştirilmesi düşünölmüştür. İlk olarak yola 90 derece dik bir şekilde bakan lidar sensör, bu koldaki kuyruk oluşumu ile birlikte hareket etmeye başlayacak ve oluşacak kuyruğu takip edecektir. Yol kenarlarına (Zhao, 2019; Emami, 2019) veya yerden insan müdahalesinin olmaması adına yerden en az 2-3 metre yüksekliğe yerleştirilmesi tavsiyesine (Lee, 2015) benzer bir şekilde bu çalışmada yerden 5 m ve 8 m yüksek iki farklı yere yolu üstten görecek şekilde konumlandırılmıştır. Lidar sensör sisteminin kavşağa olan uzaklığı ise yolun yoğunluğuna göre değiştirilebilir. Lidar sensörün mesafe tespiti 180 m olmasından dolayı servo motorlar ile yaptığı açı yaklaşık olarak 89 derece olacak ve böylece lidar sensör, 179 m kadar yatay uzaklıktaki kuyruk oluşumunu tespit edebilecektir. Sensörün, konumlandırılacağı yerin yüksekliğine göre kuyruk uzunluk tespit mesafesi de değişecektir.



Şekil 19. Önerilen lidar sistemi konumu çalışma düzeni

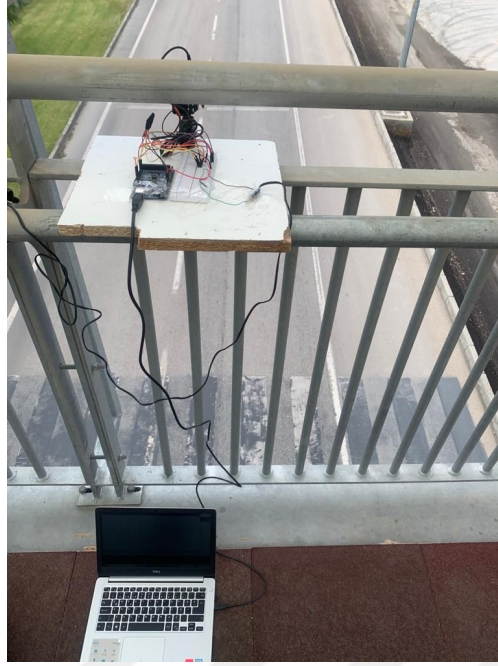
Lidar sensörü ölçümü için düşünölen konumlandırma yeri Şekil 19'daki gibi olsa da bu şekilde bir konumlandırma yeri bulunamadığı için farklı metotlara başvurulmuştur.

Lidar sensör sistemi bir yaya üst geçidine yerleştirilmiş ve burada araç sayısı, hız ölçümü ve araç türü tespiti için gerçek-zamanlı ölçümler alınmıştır. Lidar sensör sistemi bu yaya üst geçidine Şekil 19'da gösterildiği gibi yeri dik görebileceği bir şekilde yerleştirilmiştir. Yaya üst geçidinin kavşağa olan uzaklığından dolayı burada kuyruk oluşmamış ve kuyruk uzunluğu tespiti yapılmamıştır. Kuyruk uzunluğu tespiti için imkanlar dahilinde iki araçlık kontrollü bir gerçek kuyruk tespit ortamı oluşturulmuş ve burada ölçümler yapılmıştır. Aynı zamanda araçların yaya üst geçidinde gerçek-zamanlı bir şekilde hızları tespit edilmesine rağmen, lidar sistemin araç hız tespitinin doğru sonuçlar verdiğiinden emin olmak için kontrollü bir diğer ortam daha oluşturulmuş ve burada hız tespiti ve araç sayım ölçümleri tekrarlanmıştır. Ölçümler ve ölçümlerin alındığı yerler sırasıyla verilecektir.

4.1. Dinamik Trafik Ölçüm ve Değerlendirmeleri

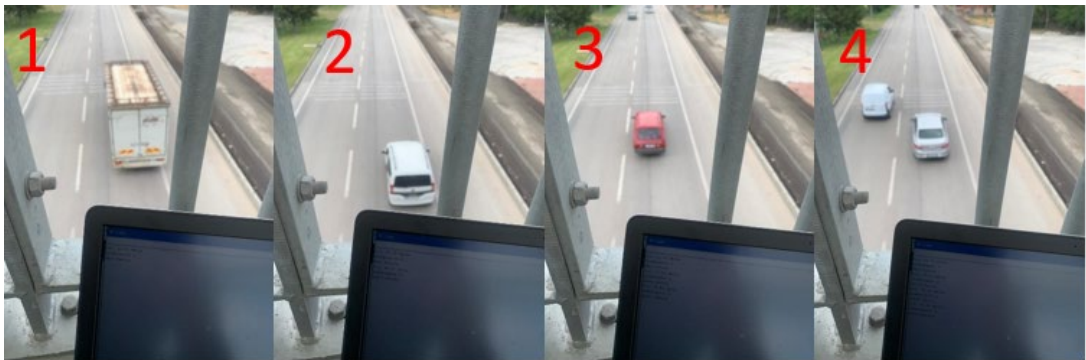
Dinamik trafik ölçümleri iki farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. İlk ölçüm alanında gerçek-zamanlı dinamik bir trafikte araç sayısı, hızı ve sınıflandırma tespitleri gerçekleştirilmiştir. İkinci ölçüm araç sayımı ve hız tespiti için kontrollü dinamik bir ortamda gerçekleştirilmiştir.

Bu bölgelerden ilki Şekil 20'de araç sayımı, araç sınıfı ve araç hızı tespitleri için ölçüm alınan yaya üst geçidi ile lidar sistemi görüntüsü birlikte verilmiştir. Yerden yaklaşık olarak 8 m yükseklikte olan yaya üst geçidinde ölçümler alınmıştır.



Şekil 20. Yaya üst geçidine yerleştirilen lidar sistemi ve ölçüm yeri

Şekil 20 ile gösterilen gerçek-zamanlı olarak çalışan sistemden elde edilen ölçüm anı görüntüleri, bilgisayar ekran görüntüleri ile birlikte Şekil 21’de gösterilmiştir. Şekil 21’de sırasıyla dört farklı durumun kamera ile çekilmiş görüntüleri bulunmaktadır. Böylece ölçüm sonuçları; bilgisayar ekranından, gerçek-zamanlı olarak takip edilebilmektedir. Bu ölçümün değerleri Çizelge 3’de özetlenmiştir. Çizelge 3’de, tespit edilen araçların sayısı, hızı ve sınıfı birlikte verilmiştir.

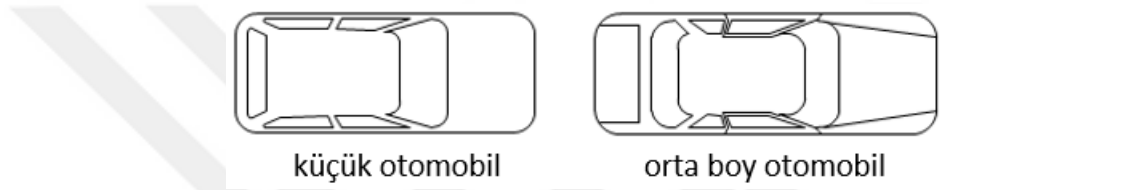


Şekil 21. Gerçek-zamanlı dinamik trafik ölçümleri

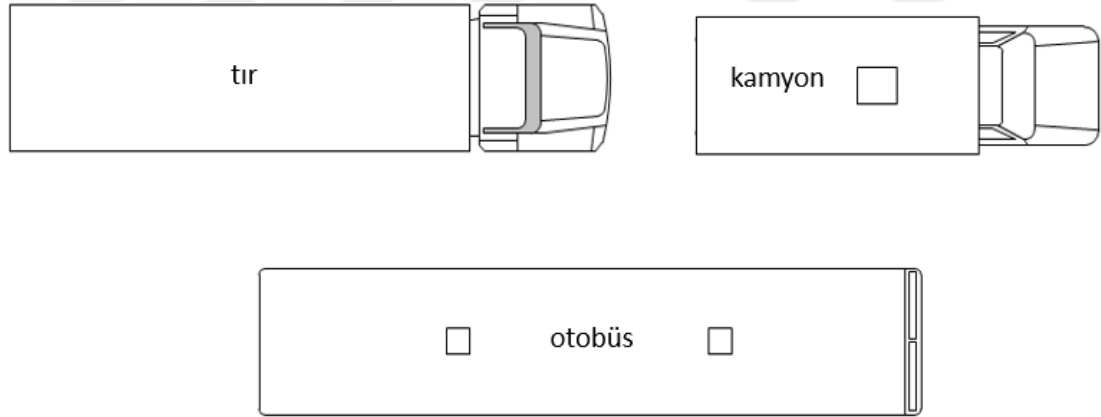
Çizelge 3. Gerçek-zamanlı dinamik trafik ölçüm sonuçları

Durum	Araç sayısı	Hız (km/h)	Araç sınıfı
1	1	25,71	Ağır araç
2	2	45,50	Hafif araç
3	3	51,43	Hafif araç
4	4	42,20	Hafif araç

Araç sınıfı tespiti yapılırken araçlar, iki sınıfa ayrılmıştır. Büyük araçlar ağır araç, otomobiller ise hafif araç olarak sınıflandırılmıştır. Otomobillerin bütün türleri hafif araç olarak kabul edilmiş ve Şekil 22’de bu araçların bazıları gösterilmiştir.



Şekil 22. Hafif araç sınıf görüntüleri



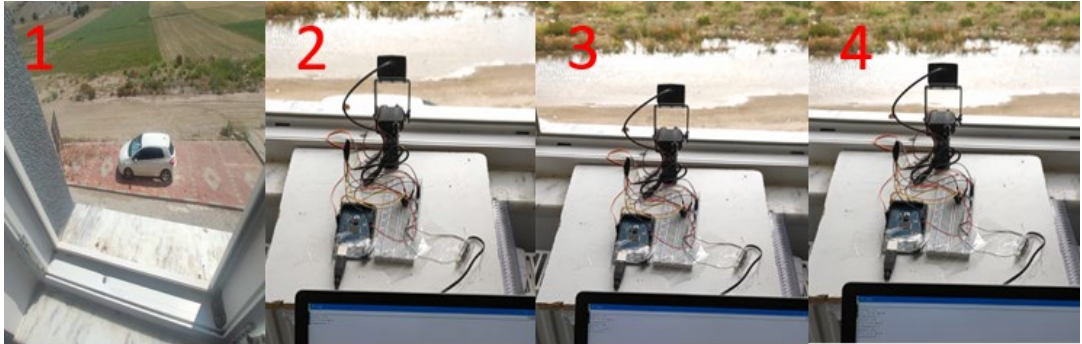
Şekil 23. Ağır sınıf araç görüntüleri

Tır, kamyon, otobüs gibi büyük araçlar ağır araç sınıfına dahil edilmiştir. Bu araç modelleri ise Şekil 23’de gösterilmiştir.

Araçların hafif ve ağır olarak kategorize edilmesinde araçların yerden yüksekliğinden faydalanılmıştır. Bu nedenle ağır araç sınıfına, tavan yüksekliği otomobillerden daha yüksek olan çoğu araç dahil edilebilir.

Kontrollü oluşturulan ikinci bölge Şekil 24’de üç adet ölçüm anı görüntüsü ile birlikte verilmiştir. Bu çalışma araç hızının ve sayısının daha kontrollü bir şekilde tespit edilmek istenmesinden dolayı kontrollü bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Tek bir araçla gerçekleştirilen bu çalışmada; lidar sensör, aracı yandan görecek bir şekilde yerleştirilmiştir. Bu şekilde bu araç ileri ve geri hareket ettirilerek lidar sensör sisteme araçlar saydırılmış ve hızları tespit ettirilmiştir.

Ölçüm yapılan yer ve araç Şekil 24’deki 1. resimde gösterilmiştir. Ölçüm alınan yerde tespit edilen araç sayıları ve hızları bilgisayar çıktı ekranı ile birlikte gerçek-zamanlı olarak kamera ile kaydedilmiştir. Böylece ölçüm sonuçları, bilgisayar ekranından da gerçek-zamanlı takip edilebilmektedir. Bu ölçüm sonuçları Çizelge 4’de özetlenmiştir. Şekildeki görüntülerde resim 2’de, araç ileri bir şekilde giderken aracın sayısı ve hızı tespit edilmiştir. Aynı şekilde resim 3’de araç geri geri giderken ölçümler alınmış ve durum 4’de ise araç tekrar ileri giderken ölçümler alınmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Şekildeki 1. resimden de anlaşılacağı üzere aracın hareket alanı küçük olmasından dolayı 10 km/sa’den fazla hız yapamayacaktır ve buda sonuçların gerçek hız değerine çok yakın olduğunu göstermektedir. Aracın 10 km/sa hızı geçemediği Çizelge 4’de de görülmektedir.



Şekil 24. Gerçek-zamanlı dinamik trafik ölçümleri 2

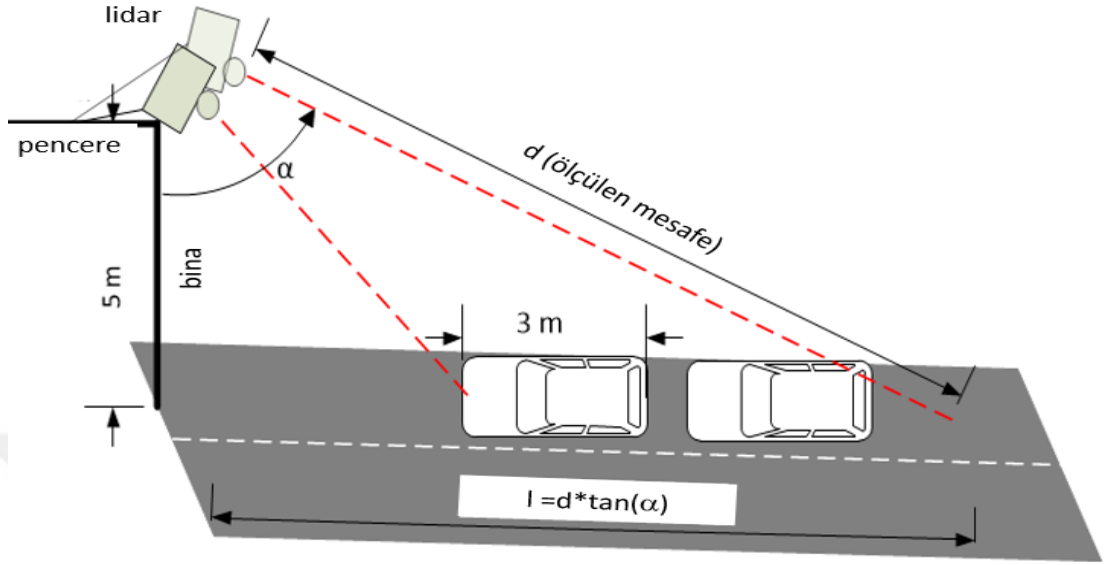
Çizelge 4. Gerçek- zamanlı dinamik trafik ölçüm sonuçları 2

Resim	Araç sayısı	Hız (km/h)
2	1	10,09
3	2	8,57
4	3	9,64

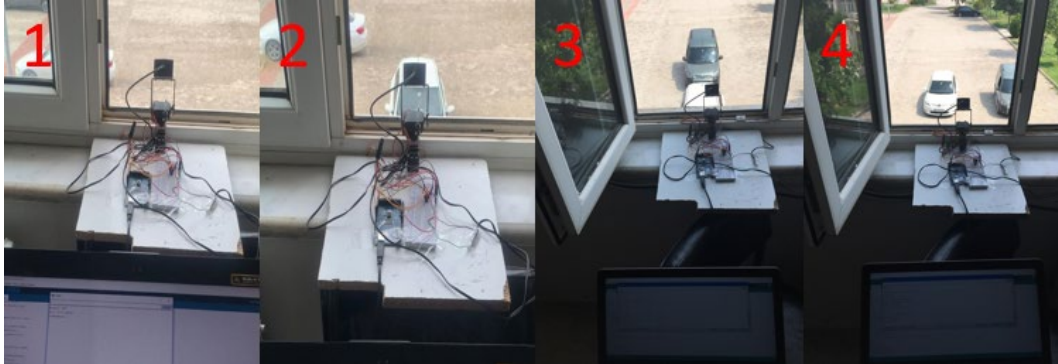
4.2. Statik Trafik Ölçüm ve Değerlendirmeleri

Şekil 25’de kuyruk uzunluğu ölçümü için lidar sensörün konumlandırılması ve çalıştığı alanın sanal bir gösterimi yer almaktadır. Kavşakta, gerçek-zamanlı kuyruk uzunluğu ölçümü yapılamamasından dolayı bu ölçümler; kontrollü bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Trafik ışıklarının ortalama yükseklik seviyesinde olacak şekilde, kontrollü bir ortamda ölçüm yapılacak alanı görece biçimde bir binaya yerleştirilen lidar sensör ile kuyruk uzunluk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 25 ile görüldüğü üzere araç boyu sabit 3 metre olarak kabul edilmiştir. Şekilde gösterilmeye çalışıldığı gibi eğer araç sensor önünden geçerken 4 sn’den fazla bekleme yaparsa (kuyrukta durmuş kabul edilir) servo motor araçsız yolu göresiye kadar hareket etemekte ve araçsız yolu görünce durmaktadır. Lidar sensöre, iki araç 1 sn ve üstü aralıklarla yaklaşması halinde lidar sensör; iki aracı da ayrı ayrı görebilmekte ve toplam kuyruk uzunluğunu tespit edebilmektedir. Kuyruk uzunluk tespiti için gerekli olan Şekil 25’deki α açısı, servo motorun kendi algoritmasında yer almaktadır. Bu açıdan ve lidar sensörün mesafe tespitinden yararlanılarak yol boyunca duran araçların yataydaki kuyruk uzunluk ölçümü yine Şekil 25 ile gösterilmiştir. Şekil 25’deki “d”, lidar tarafından ölçülen mesafe; “l”, ise mesafe ve tanjant açı formülünden faydalanılarak tespit edilen kuyruk uzunluğudur. Kavşakta yerleştirilmesi düşünülen biçimden biraz farklı konumlandırılan lidar sensör sistemi, araçları belli bir mesafeden itibaren tespit

etmeye çalışmıştır. Bundan dolayı lidar sensörden araçların olduğu kısma kadarki boş kısım, kuyruk uzunluğuna dahil edilerek hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 25. Kuyruk uzunluk tespit ölçüm düzeneği



Şekil 26. Durgun trafik kuyruk uzunluk ölçümleri

Şekil 26 ile gösterilen kuyruk uzunluk ölçümleri sonuçları Çizelge 5'e kaydedilmiştir. Çizelge 5 incelenecek olursa, lidar sensörün önünde araç olmadığı durumda, sensör yatayda 9 m'lik bir mesafe ölçmektedir. Ardından sırasıyla 2. resimde bir araçlı kuyrukta yaklaşık olarak 13 m kuyruk uzunluğu tespit edilmiştir. Kuyrukta 2 araç olması durumu olan 3. resimde ise; yaklaşık olarak 15,5 m kuyruk uzunluğu tespiti yapılmıştır. Aynı zamanda bu çizelgede ölçümü yapılan her bir durum için doğru

ölçülmesi halindeki gerçek kuyruk uzunlukları da verilmiştir. Araçların boyları 3 m olarak kabul edildiği için gerçekleştirilen ölçümde küçük farklılıklarla doğru sonuçlar elde edildiği çizelgede görülmektedir.

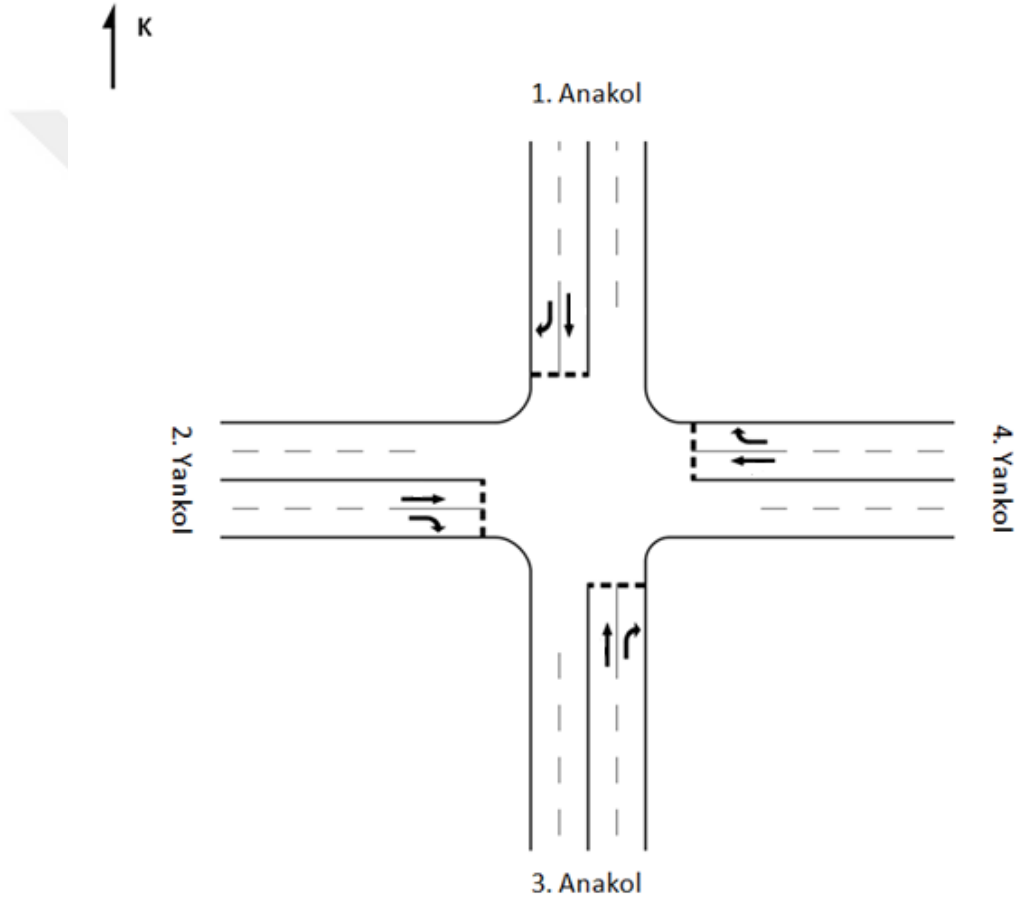
2. ve 3. durumlarda 2. şeritte araç yokken 2. şerit kuyruk uzunluğu 1. şerite eşite eşit değil bilgisi alınmıştır. 4. durumda ise sadece 2. şerit kontrolünün gerçekleşip gerçekleşmeyeceği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu durumda olması gerektiği gibi 2. şerit kuyruk uzunluğu 1. şerite eşit çıktısı elde edilmiş ve Çizelge 4'e aktarılmıştır.

Çizelge 5. Kuyruk uzunluk ölçüm sonuçları

Resim/Durum	Gerçek kuyruk uzunluğu (m)	Ölçülen kuyruk uzunluğu (m)	Şerit ölçümü
1 (Araç yok)	9	9	-
2	12	13	1. şerite eşit değil
3	15	15,5	1. şerite eşit değil
4	-	-	1. şerite eşit

5. KAVŞAK OPTİMİZASYONU

Bu çalışma, Şekil 27'deki kavşak tipi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kavşakta sadece karşı geçişlere ve sağa dönüşlere izin verilmiştir. Kavşakta karşılıklı yollarda sinyalizasyon süreleri eşit kabul edilmiştir. Üzerinde çalışılan kavşak, izole bir kavşaktır ve kayıplar göz ardı edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma, 2 örnek üzerinden yürütülmüştür ve aynı zamanda kavşakta sinyalizasyon sürelerinin optimizasyonu için bir algoritma sunulmuştur. Yapılan çalışma başlıklar halinde sırasıyla verilecektir.



Şekil 27. Üzerinde çalışılan kavşak gösterimi

5.1. 1. Kavşak Optimizasyon Örneği

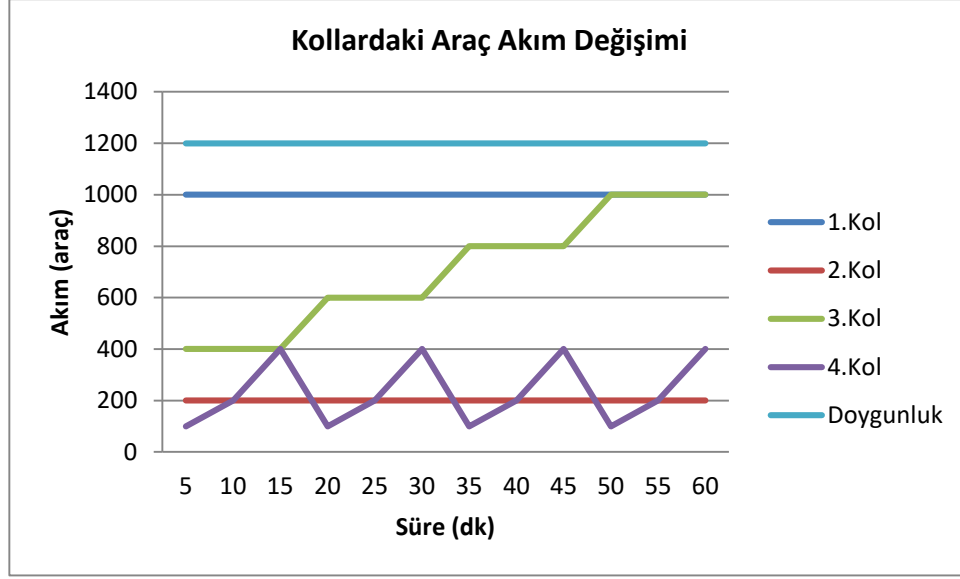
Bu kavşak tipinde dört kol için saatte 100, 200, 400, 600, 800, 1000 araç yoğunluklu altı ihtimal ile hesaplamalar yapılmıştır. 1. ve 3. kollar anayol kabul edildiği için burada, saatteki araç yoğunluk ihtimalleri 400, 600, 800, 1000 tercih edilmiştir. 2. ve 4. kollar için ise saatte 100, 200, 400 araç yoğunlukları tercih edilmiştir. Toplamda 12 olasılıklı sonuçlar için alınan kabul değerleri Çizelge 6'da gösterilmiştir. Kavşaktaki ışık döngü süresi 120 sn olarak kabul edilmiştir. Kavşak araç kapasitesi saatte 1200 araç olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6'da kabul edilen çalışma değerleri verilmiştir. Her bir kol 5 dakika çalışacak şekilde toplam 12 durumdan 1 saatlik hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 6. Grafik oluşturulurken alınan kabul değerleri

Durum	1.Kol Akımı (sa)	2.Kol Akımı (sa)	3.Kol Akımı (sa)	4.Kol Akımı (sa)	Döngü Süresi(sn)	Araç Doygunluk Akımı (sa)	Akım Değişim Süresi (dk)
1	1000	200	400	100	120	1200	5
2	1000	200	400	200	120	1200	5
3	1000	200	400	400	120	1200	5
4	1000	200	600	100	120	1200	5
5	1000	200	600	200	120	1200	5
6	1000	200	600	400	120	1200	5
7	1000	200	800	100	120	1200	5
8	1000	200	800	200	120	1200	5
9	1000	200	800	400	120	1200	5
10	1000	200	1000	100	120	1200	5
11	1000	200	1000	200	120	1200	5
12	1000	200	1000	400	120	1200	5

Bu çalışmada kabul edilen araç akım yoğunluk değişim grafiği Şekil 28'de verilmiştir. Bu şekle göre 4. Kol, her 5 dakikada bir değişmiş ve 1. kol ise 1000 araç/sa sabit kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Diğer kollar da bu değerlerin arasında değişim gösterdiği şekilde gözlenmektedir.



Şekil 28. Kavşak kollarındaki araç doğunluk ve gelen akım değişimleri

Çizelge 7’de, 5’er dakikada bir değişen kavşak yoğunluklarına göre uyarmalı ve klasik sistemlerin gecikme verimleri karşılaştırılmıştır. Her bir durumun 5 dakika çalıştığı varsayılmış ve kavşaktaki toplam uyarmalı gecikme süresi örn: 1. durum için 7450 sn olarak kaydedilmiştir. Klasik sistem için toplam gecikme süresi ise 8850 sn olarak kaydedilmiştir. 12 durum için toplamda 1 saat gecikme hesaplamaları uyarmalı ve klasik sistemler için tespit edilmiş ve gecikme verimleri her bir durumun 5’er dakika çalıştığı kabul edilerek 1 saat için Çizelge 7’ye kaydedilmiştir. Kavşaktaki 1 saat sonundaki gözlemlene sonucu; gecikme süreleri hesaplamaları göz önünde bulundurulduğunda uyarmalı sistemler, klasik sistemlere göre 1.kol da % 92.51 ve tüm kavşak da ise % 39.05 daha verimli çalışmaktadır.

Çizelge 7. 12 farklı akım kollarına ait uyarı ve klasik sistem sinyal süresi için yeşil ve gecikme süreleri karşılaştırmaları

Durum	Uyarı Y1Y3 (sn)	Uyarı Y2Y4 (sn)	Uyarı D (sn)	Uyarı D1 (sn)	Klasik Y1Y3 (sn)	Klasik Y2Y4 (sn)	Klasik D(sn)	Klasik D1(sn)	D Verim (%)	D1 Verim (%)
1	106	14	7450	765	90	30	8850	3750	15,81	79,6
2	107	13	7520	655	90	30	9225	3750	18,48	82,53
3	109	11	7635	495	90	30	9975	3750	23,45	86,8
4	112	7	4500	235	90	30	7200	3750	37,5	93,73
5	112	8	4475	275	90	30	6825	3750	34,43	92,66
6	112	8	7850	255	90	30	12225	3750	35,78	93,2
7	114	6	3315	150	90	30	6090	3750	45,56	96
8	114	6	3330	130	90	30	6465	3750	48,49	96,53
9	114	6	4540	175	90	30	7950	3750	42,89	95,33
10	115	5	3350	95	90	30	7215	3750	53,56	97,46
11	115	5	4615	90	90	30	10200	3750	54,75	97,6
12	117	3	3390	50	90	30	9465	3750	64,18	98,66
Toplam			61970	3370	90	30	101685	45000	39,05	92,51

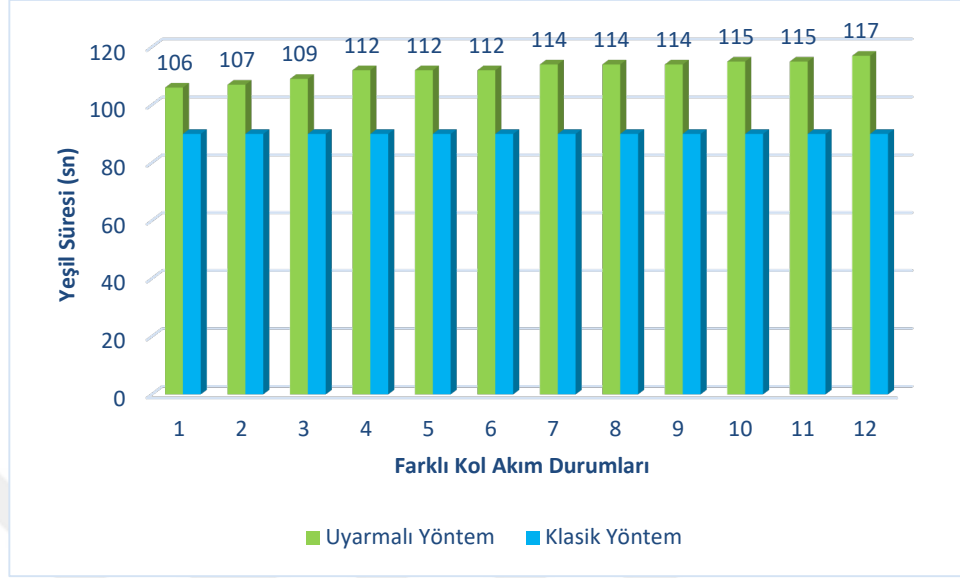
Çizelge 8’de Çizelge 7’ye ait kısaltmalar gösterilmiştir.

Çizelge 8. Kısaltma açıklamaları

KISALTMA	AÇIKLAMA
Uyarmalı Y1Y3	Kavşağa ait uyarmalı yöntemin 1. ve 3. kol yeşil süreleri
Uyarmalı Y2Y4 (sn)	Kavşağa ait uyarmalı yöntemin 1. ve 3. kol yeşil süreleri
Uyarmalı D (sn)	Kavşağa ait uyarmalı yöntemin 1. ve 3. kol yeşil süreleri
Uyarmalı D1 (sn)	Kavşağa ait uyarmalı yöntemin 1.kol gecikme süresi
Klasik Y1Y3 (sn)	Kavşağa ait klasik yöntemin 1. ve 3. kol yeşil süreleri
Klasik Y2Y4 (sn)	Kavşağa ait klasik yöntemin 2. ve 4. kol yeşil süreleri
Klasik D (sn)	Kavşağa ait klasik yöntemin gecikme süresi
Klasik D1 (sn)	Kavşağa ait klasik yöntemin 1. ve 3. kol yeşil süreleri
D verim (%)	Kavşağa ait uyarmalı yöntemin klasik yönteme göre gecikme verimi
D1 verim (%)	Kavşağa ait 1. kol uyarmalı yöntemin klasik yönteme göre gecikme verimi

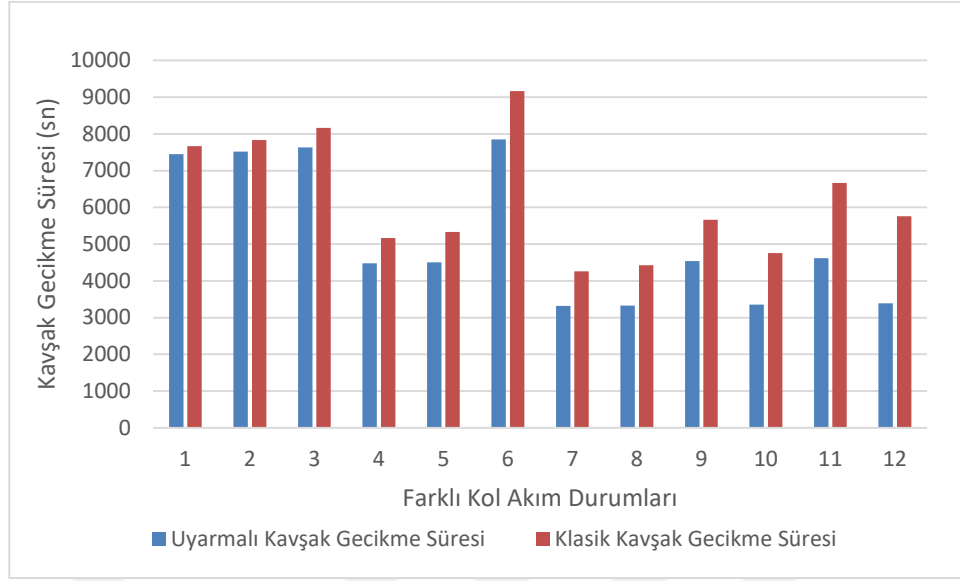
Çizelge 7’de verilen farklı akım kollarına göre artan yeşil süresi Şekil 29’da verilmiştir. Yeşil süre değişimi 1.ve 3. kollar olan anayollara aittir. Uyarmalı yöntem için 106 sn’den koldaki akım yoğunluğuna bağlı olarak 118 sn’ye kadar değişim göstermiştir.

Klasik yöntemle ait 1. ve 3. kolların yeşil süresi ise bütün durumlarda eşit ve 90 sn olarak aynı şekilde gösterilmiştir.



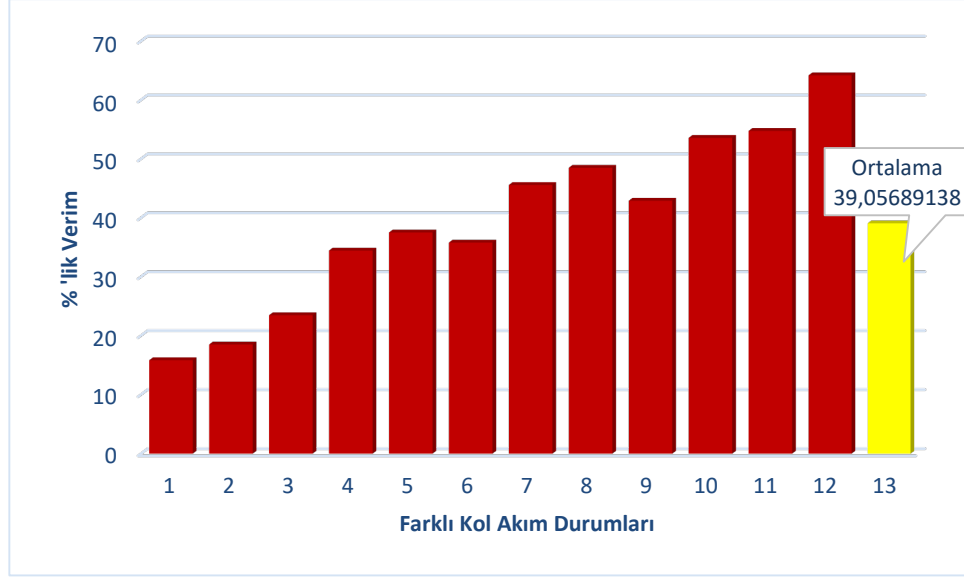
Şekil 29. 12 farklı kol akım durumlarına ait 1. ve 3. kol uyarmalı ve klasik yöntem yeşil süresi değişimi

Şekil 30'da farklı kol akımlarında uyarmalı yöntem ve klasik yöntem gecikme süreleri karşılaştırmaları birlikte verilmiştir. Uyarmalı sistemin, her durumda kavşaktaki araçların gecikme sürelerini düşürdüğü gözlenmektedir.



Şekil 30. 12 farklı akım durumları için uyarmalı ve klasik yöntem kavşak bekleme süreleri karşılaştırmaları

Şekil 31’de ise farklı akım kolları değişimine göre tüm kavşakta uyarmalı sistemin klasik sisteme göre üstünlüğünü özetleyen gecikme verimi verilmiştir. Kavşakta dört kol için ortalama gecikme verimi % 39.05 olarak uyarmalı sistem lehine olduğu grafikte gösterilmiştir.



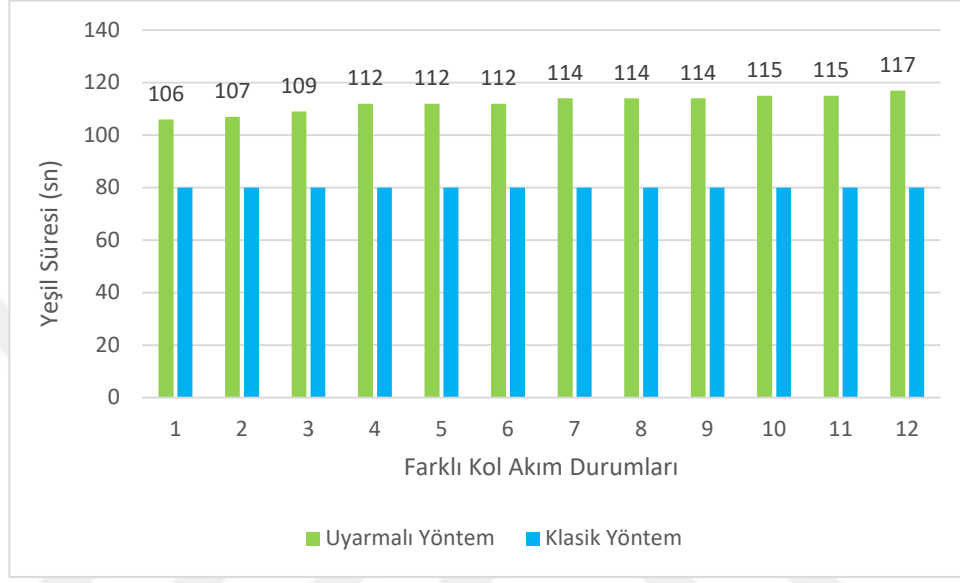
Şekil 31. 12 farklı akım kol durumları için uyarı yönteminin klasik yöntemle göre kavşak gecikme süresindeki verimi

Çizelge 9'da aynı devir süresinde uyarı sinyalizasyon ile klasik yöntemle ait 1. ve 3. yollar için 80'er sn, 2. ve 4. yollar için 40'ar sn yeşil süreleri göz önünde bulundurularak gecikme süreleri ve verimleri hesap edilmiş ve gösterilmiştir.

Çizelge 9. 12 farklı akım kollarına ait uyarmalı ve klasik sistem sinyal süresi için yeşil ve gecikme süreleri karşılaştırmaları

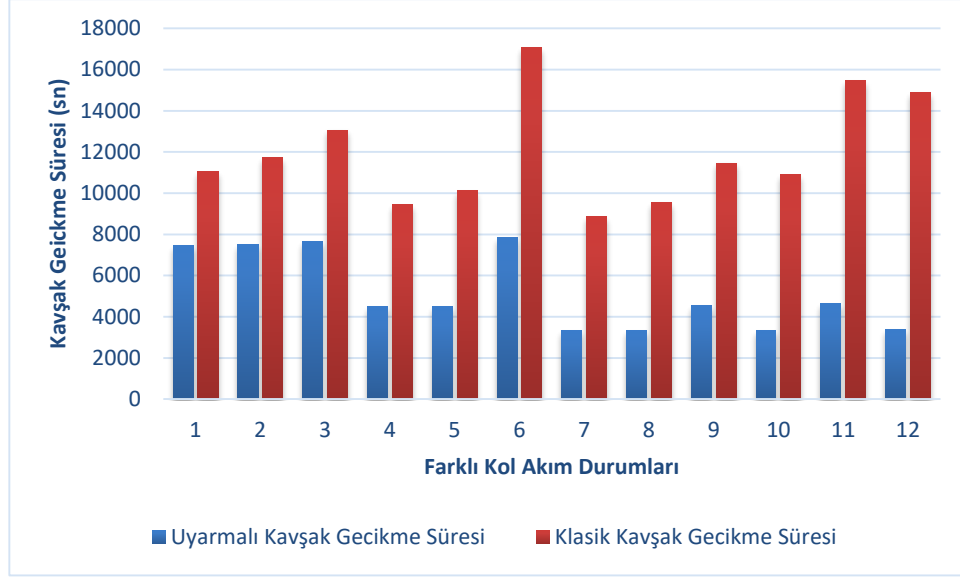
Durum	Uyarmalı Y1Y3 (sn)	Uyarmalı Y2Y4 (sn)	Uyarmalı D (sn)	Uyarmalı D1 (sn)	Klasik Y1Y3 (sn)	Klasik Y2Y4 (sn)	Klasik D(sn)	Klasik D1(sn)	D Verim (%)	D1 Verim (%)
1	106	14	7450	765	80	40	11065	6665	32,67	88,52
2	107	13	7520	655	80	40	11735	6665	35,91	90,17
3	109	11	7635	495	80	40	13065	6665	41,56	92,57
4	112	8	4475	275	80	40	9465	6665	52,72	95,87
5	112	7	4500	235	80	40	10135	6665	55,59	96,47
6	112	8	7850	255	80	40	17065	6665	53,99	96,17
7	114	6	3315	150	80	40	8885	6665	62,68	97,74
8	114	6	3330	130	80	40	9550	6665	65,13	98,04
9	114	6	4540	175	80	40	11465	6665	60,40	97,37
10	115	5	3350	95	80	40	10885	6665	69,22	98,57
11	115	5	4615	90	80	40	15465	6665	70,15	98,64
12	117	3	3390	50	80	40	14885	6665	77,22	99,24
Toplam			61970	3370	80	40	143665	79980	56,86	95,78

Çizelge 9’da verilen farklı akım kollarına göre artan yeşil süresi Şekil 32’de verilmiştir. Yeşil süresi değişimi, 1.ve 3. kollar olan anayollara aittir. Uyarımalı yöntem için yeşil ışık süresi 106 sn’den koldaki akım yoğunluğuna bağlı olarak 118 sn’ye kadar değişim göstermektedir. Klasik yöntemde ait 1. ve 3. kollar yeşil süreleri ise bütün durumlarda eşittir ve 80 sn olarak aynı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 32. 12 farklı kol akım durumlarına ait 1. ve 3. kol uyarımalı ve klasik yöntem yeşil süresi değişimi

Şekil 33’de farklı kol akımlarında uyarımalı yöntem ve klasik yöntem gecikme süreleri karşılaştırmaları birlikte verilmiştir. Uyarımalı sistemin, her durumda kavşaktaki araçların gecikme sürelerini azalttığı gözlenmektedir.



Şekil 33. 12 farklı akım durumları için uyarmalı ve klasik yöntem kavşak bekleme süreleri karşılaştırmaları

Şekil 33'de Çizelge 9'a göre 1. kol uyarmalı ve klasik sistem bekleme süreleri gösterilmiştir. Böylece klasik sistemde kavşaktaki araçların gereksiz bekleme yaptığı açık bir şekilde görülmektedir.

Şekil 34'de ise farklı akım kolları değişimine göre tüm kavşakta uyarmalı sistemin klasik sisteme göre üstünlüğünü özetleyen gecikme verimi verilmiştir. Kavşakta dört kol için ortalama gecikme verimi % 56,86 olarak uyarmalı sistem lehine olduğu grafikte gösterilmiştir.



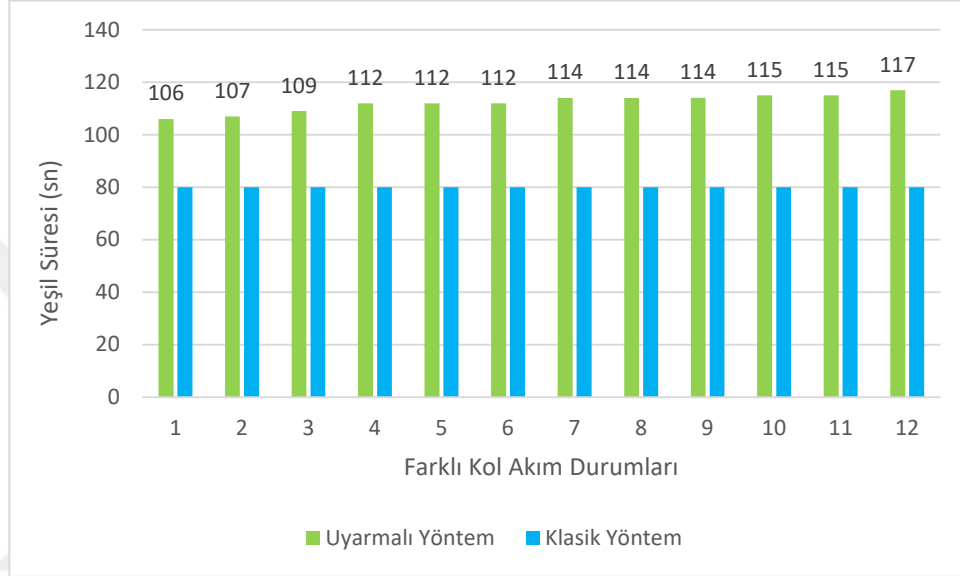
Şekil 34. 12 farklı akım kol durumları için uyarı yönteminin klasik yöntemle göre kavşak gecikme süresindeki verimi

Çizelge 10'da aynı döngü sinyalizasyon süresinde, uyarı yöntemi ile her bir koldaki kırmızı ve yeşil süreleri eşit olan klasik yöntemin, gecikme süreleri ve verimleri birlikte verilmiştir.

Çizelge 10. 12 farklı akım kollarına ait uyarmalı ve klasik sistem sinyal süresi için yeşil ve gecikme süreleri karşılaştırmaları

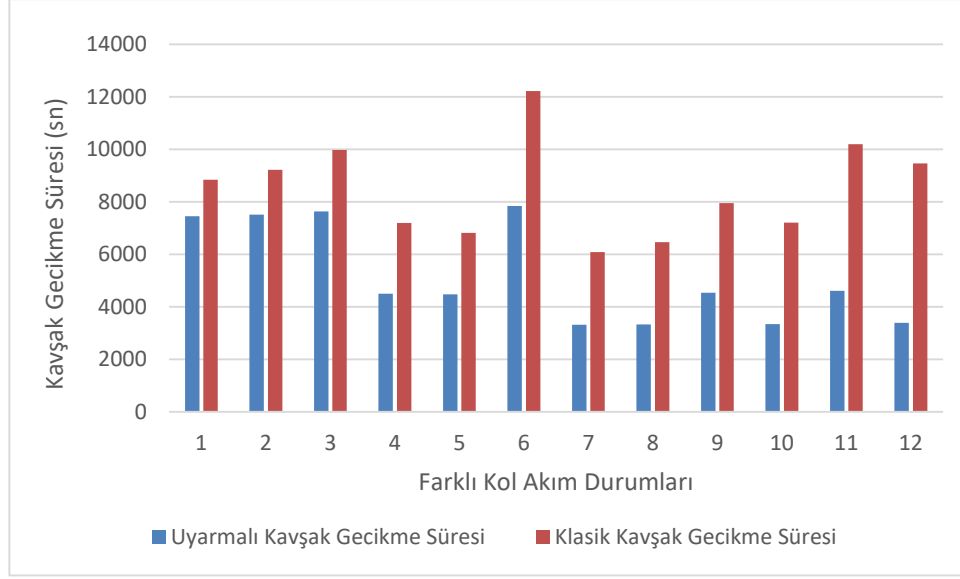
Durum	Uyarmalı Y1Y3 (sn)	Uyarmalı Y2Y4 (sn)	Uyarmalı D (sn)	Uyarmalı D1 (sn)	Klasik Y1Y3 (sn)	Klasik Y2Y4 (sn)	Klasik D(sn)	Klasik D1(sn)	D Verim (%)	D1 Verim (%)
1	106	14	7450	765	60	60	18600	15000	59,94	94,9
2	107	13	7520	655	60	60	20100	15000	62,58	95,63
3	109	11	7635	495	60	60	23100	15000	66,94	96,7
4	112	8	4475	275	60	60	17700	15000	74,71	98,16
5	112	7	4500	235	60	60	19200	15000	76,56	98,43
6	112	8	7850	255	60	60	32100	15000	75,54	98,3
7	114	6	3315	150	60	60	17375	15000	80,9	99
8	114	6	3330	130	60	60	18875	15000	82,35	99,13
9	114	6	4540	175	60	60	22200	15000	79,54	98,83
10	115	5	3350	95	60	60	21875	15000	84,68	99,36
11	115	5	4615	90	60	60	31200	15000	85,20	99,4
12	117	3	3390	50	60	60	30875	15000	89,020	99,66
Toplam			61970	3370	60	60	273200	180000	77,31	98,12

Çizelge 10'da verilen farklı akım kollarına göre artan yeşil süreleri, Şekil 35'de verilmiştir. Buradaki yeşil sürelerin değişimi, 1.ve 3. kollar olan anayollara aittir. Uyarımalı yöntemde, yeşil süresinde 106 sn'den koldaki akım yoğunluğuna bağlı olarak 118 sn'ye kadar değişim gözlenmiştir. Klasik yöntemin 1. ve 3. kolları yeşil süreleri ise bütün durumlarda eşit ve 60 sn olarak aynı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 35. 12 farklı kol akım durumlarına ait 1. ve 3. kol uyarımalı ve klasik yöntem yeşil süresi değişimi

Şekil 36'da farklı kol akımlarında uyarımalı yöntem ve klasik yöntem gecikme süreleri karşılaştırmaları birlikte verilmiştir. Uyarımalı sistemin her durumda araçların kavşaktaki gecikme sürelerini azalttığı gözlenmektedir. Uyarımalı sistemin, kavşaktaki araçların gecikme sürelerini azalttığı açık bir şekilde Şekil 36'da görülmektedir.



Şekil 36. 12 farklı akım durumları için uyarmalı ve klasik yöntem kavşak bekleme süreleri karşılaştırmaları

Şekil 37’de ise farklı akım kollarındaki değişimi göre tüm kavşağa ait, uyarmalı sistemin klasik sisteme göre üstünlüğünü özetleyen gecikme verimi gösterilmiştir. Kavşakta dört kol için ortalama gecikme verimi % 77,31 olarak uyarmalı sistem lehine olduğu şeki 37’de açıkça görülmektedir.



Şekil 37. 12 farklı akım kol durumları için uyarı yönteminin klasik yöntemle göre kavşak gecikme süresindeki verimi

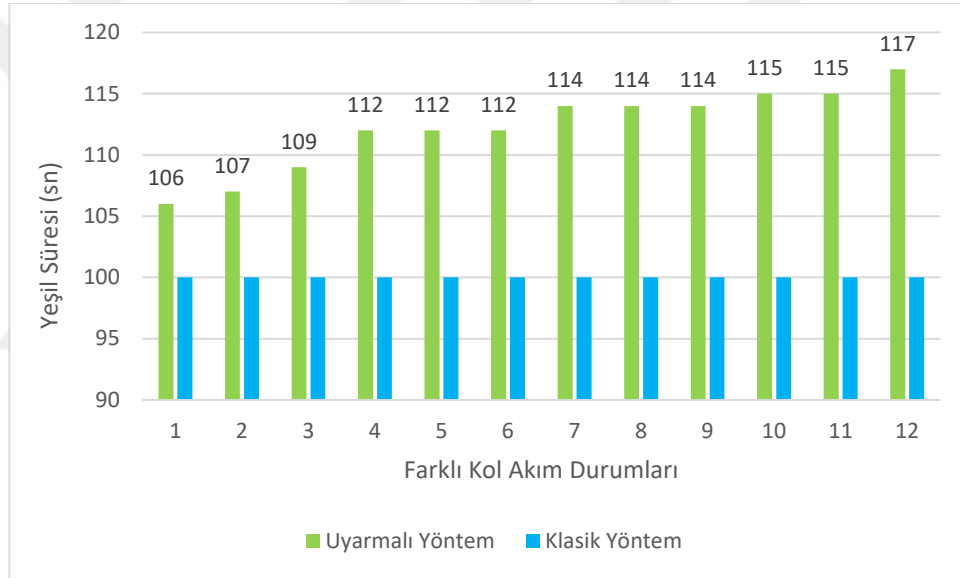
Çizelge 11’de eşit sinyalizasyon döngü sürelerinde; uyarı sinyalizasyon ile klasik yöntemle ait 1. ve 3. yollar için 100’er sn, 2. ve 4. yollar için 20’şer sn yeşil süreleri kabul edilerek, gecikme süreleri ve uyarı yönteminin verimleri birlikte verilmiştir.

Çizelge 11. Olasılıklı uyarmalı ve farklı klasik sistem sinyal süresi için bir saatteki kavşaktaki toplam gecikme karşılaştırmaları

Durum	Uyarmalı Y1Y3 (sn)	Uyarmalı Y2Y4 (sn)	Uyarmalı D (sn)	Uyarmalı D1 (sn)	Klasik Y1Y3 (sn)	Klasik Y2Y4 (sn)	Klasik D (sn)	Klasik D1 (sn)	D Verim (%)	D1 Verim (%)
1	106	14	7450	765	100	20	7665	1665	2,80	54,05
2	107	13	7520	655	100	20	7835	1665	4,02	60,66
3	109	11	7635	495	100	20	8165	1665	6,49	70,27
4	112	8	4475	275	100	20	5165	1665	13,35	83,48
5	112	7	4500	235	100	20	5335	1665	15,65	85,88
6	112	8	7850	255	100	20	9165	1665	14,34	84,68
7	114	6	3315	150	100	20	4260	1665	22,18	90,99
8	114	6	3330	130	100	20	4425	1665	24,74	92,19
9	114	6	4540	175	100	20	5665	1665	19,85	89,48
10	115	5	3350	95	100	20	4760	1665	29,62	94,29
11	115	5	4615	90	100	20	6665	1665	30,75	94,59
12	117	3	3390	50	100	20	5760	1665	41,14	96,99
Toplam			61970	3370	100	20	74865	19980	17,22	83,13

Çizelge 11’de uyarımalı sisteminin farklı klasik yöntemin durumlarına göre kavşağa ait tüm kollardaki gecikme sürelerini azaltarak üstünlük sağladığı açık bir şekilde görülmektedir. Uyarımalı sistemin; 1. kol için % 83, tüm kavşak için ise % 17 gecikme süresi verimi sağladığı gösterilmiştir.

Çizelge 11’de verilen farklı akım kollarına göre artan yeşil ışık süreleri Şekil 38’de verilmiştir. Buradaki sinyalizasyon yeşil süresi değişimi 1.ve 3. kollar olan anayollara aittir. Uyarımalı yöntem için yeşil süreleri 106 sn’den koldaki akım yoğunluğuna bağlı olarak 118 sn’ye kadar değişim göstermektedir. Klasik yöntemin 1. ve 3. Kolları için yeşil süreleri ise bütün durumlarda eşittir ve 100 sn olarak aynı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 38. 12 farklı kol akım durumlarına ait 1. ve 3. kol uyarımalı ve klasik yöntem yeşil süresi değişimi

Buraya kadar farklı klasik sistemlere ait sinyal süreleriyle elde edilen gecikmelerle, uyarımalı sistemin gecikme süreleri karşılaştırmaları yapılmıştır. Her bir klasik sistemin sinyalizasyon süresinin uyarımalı sisteme göre çok zayıf ve verimsiz olduğu gösterilmiştir.

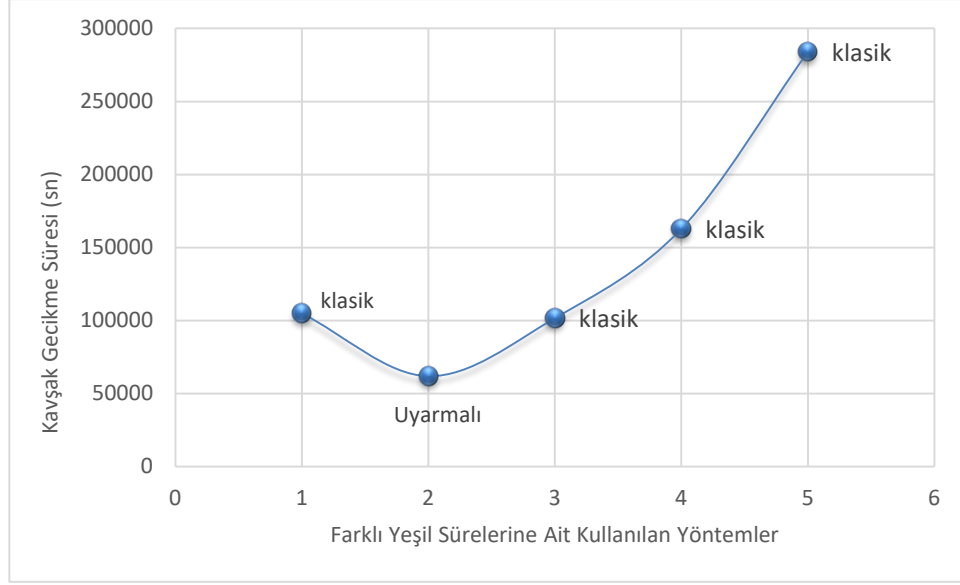
Çizelge 12’de ise buraya kadar hesaplamaları yapılmış olan farklı klasik döngü süreleri ve bu sürelerden açığa çıkan gecikme süreleri ile uyarmalı sinyalizasyon gecikme süreleri birlikte verilmiştir.

Çizelge 12. Uyarmalı sistem ve farklı klasik sistemler için gecikme süreleri karşılaştırmaları

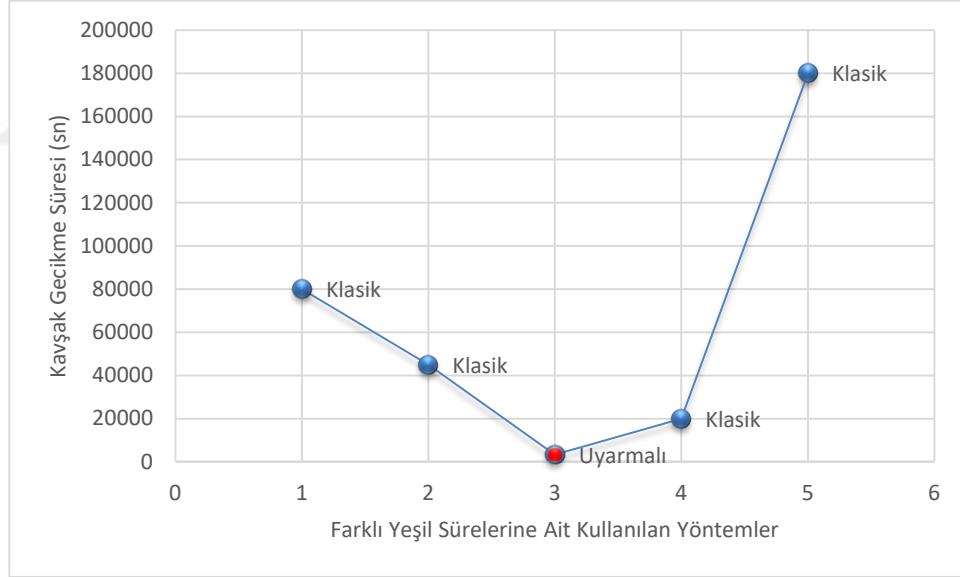
Durum	Yöntem	Döngü Süresi (sn)	(Y1Y3/Y2Y4) Kollara Verilen Yeşil Süresi (sn)	D (Toplam Kavşak Araç Gecikmesi) (sn)	D1 (1. Kol Araç Gecikmesi) (sn)
1	Klasik	120	80/40	162865	79980
2	Klasik	120	90/30	101685	45000
3	Uyarmalı	120	Değişken	61970	3370
4	Klasik	120	100/20	104865	19980
5	Klasik	120	60/60	284000	180000

Çizelge 12’i incelenecek olursa; kavşaktaki 120 sn sinyalizasyon döngü süresi korunarak, 1. ve 3. kollara 80, 90, 100, 60 sn ve 2. ve 4. kollara ise yine sırasıyla 40, 30, 20, 60 sn yeşil ışık süreleri verilmiştir Toplam döngü süresi 120 sn olarak kabul edilmiş ve çizelgeye kaydedilmiştir. Çizelgede klasik sistemlere ve uyarmalı sisteme ait yeşil süreleri ve kavşak araç gecikme süreleri birlikte verilmiştir.

Çizelge 12’den elde edilen verilerle kavşaktaki tüm yolların toplamına ait uyarmalı sistemin gecikme süresi ve diğer klasik yöntemlerin gecikme süreleri Şekil 39’da gösterilmiştir. Uyarmalı sistemin, araçların gecikme süresini, klasik sisteme göre yaklaşık 6 kat azalttığı şekilde görülmektedir. Uyarmalı sinyalizasyon yöntemi, farklı klasik yöntem sinyalizasyon sürelerine göre de araç gecikme sürelerini çok kısalttığı görülmüştür.



Şekil 39. Uyarmalı sistem ve klasik sisteme ait farklı yeşil sürelerindeki kavşak araç gecikme süreleri karşılaştırması



Şekil 40. Uyarmalı sistem ve klasik sisteme ait farklı yeşil sürelerindeki 1. ve 3. anayollar araç gecikme süreleri karşılaştırmaları

Şekil 40'da; Çizelge 12'deki veriler eşliğinde, uyarmalı sinyalizasyon yönteminin klasik sisteme göre anayollardaki gecikme süreleri karşılaştırmaları verilmiştir. Bu şekildeki karşılaştırma bir üst şekildeki klasik sisteme ait farklı yeşil süreleri esas alınarak

yapılmıştır. Uyarımalı yöntem kullanıldığı zaman 1. anayolda gecikme süresi 3370 sn iken bu değere en yakın klasik sistem araç gecikme süresi yaklaşık 20000 sn'dir. En uygun klasik yöntem kullanılsa bile klasik yöntem uyarımalı yöntem göre 6 kat daha fazla araç gecikme süresi yapmaktadır. Şekil 40'daki 5. durum klasik yöntemine ait araç gecikme süresi ise 180000 sn'dir. Bu klasik yöntem, uyarımalı yöntem göre kavşakta yaklaşık 50 kat daha fazla araçları geciktirmektedir.

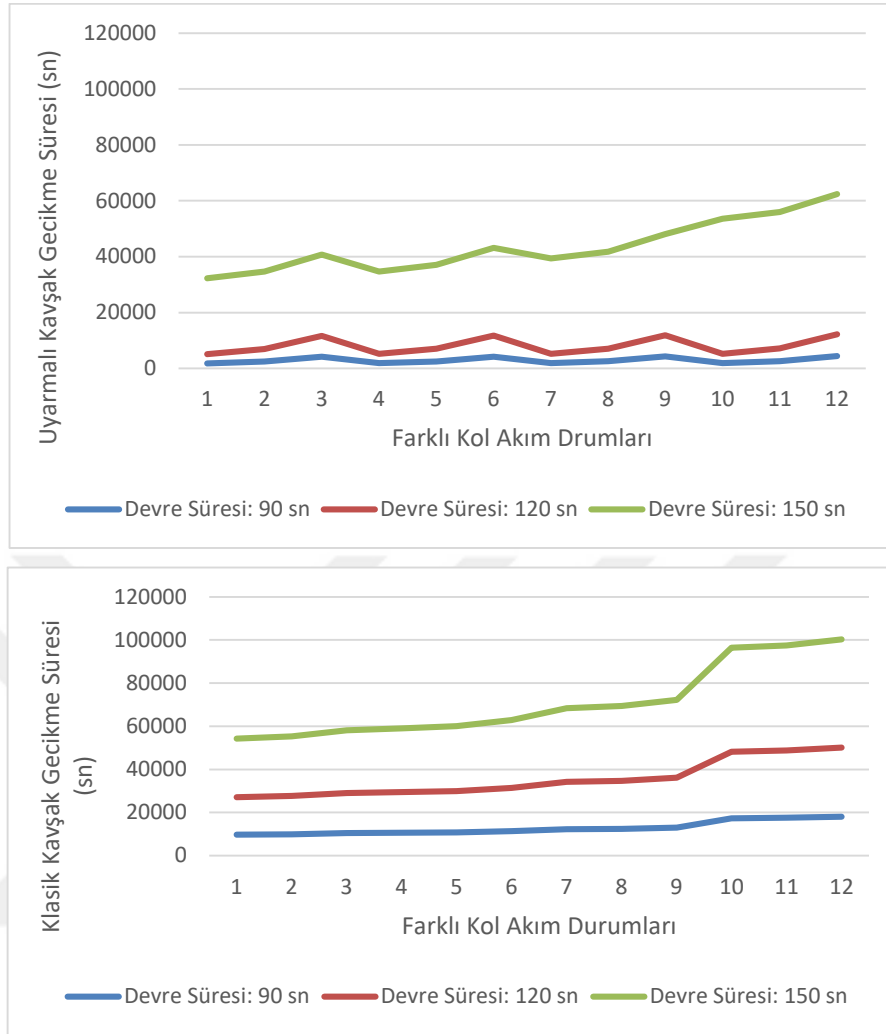
Kavşak bütünlüğüne ve anayollardaki araç gecikmelerine bakılacak olursa uyarımalı yöntemin trafiği oldukça rahatlatacağı çok açık bir şekilde Şekil 39 ve Şekil 40'da görülmektedir.

Buraya kadar bütün incelemeler döngü süresi sabit 120 sn olacak şekilde yapılmıştır. Şimdi ise farklı devre süreleri göz önünde bulundurularak Çizelge 12 oluşturulmuştur. Döngü süreleri 90, 120, 150 sn alınarak kavşaktaki klasik ve uyarımalı yöntemlere ait gecikmeler hesaplanmıştır. Hesaplamalar üst sayfalarda olduğu gibi 12 farklı kol akım durumlarında gerçekleştirilmiştir. Her bir döngü süresine ait araç bekleme süreleri çizelgede aynı renkte verilmiştir. Örn: 90 saniyelik döngü süresi kavşak araç gecikmeleri turuncu renkte gösterilmiştir.

Çizelge 13. 12 farklı akım durumu için 3 farklı devre süresine ait uyarımlı ve klasik kavşak gecikme süreleri

Durum	Devre Süresi (sn)	Klasik D (sn)	Uyarımlı D (sn)	Devre Süresi (sn)	Klasik D (sn)	Uyarımlı D (sn)	Devre Süresi (sn)	Klasik D (sn)	Uyarımlı D (sn)
1	90	9770	1865	120	17375	3315	150	27145	5180
2	90	9955	2515	120	17700	4475	150	27655	6990
3	90	10465	4190	120	18600	7450	150	29065	11645
4	90	10615	1875	120	18875	3330	150	29490	5200
5	90	10800	2530	120	19200	4500	150	30000	7030
6	90	11305	4230	120	20100	7520	150	31405	11755
7	90	12305	1885	120	21875	3350	150	34175	5235
8	90	12490	2555	120	22200	4540	150	34690	7095
9	90	12995	4295	120	23100	7635	150	36095	11930
10	90	17365	1910	120	30875	3390	150	48240	5300
11	90	17550	2595	120	31200	4615	150	48750	7210
12	90	18055	4415	120	32100	7850	150	50155	12265
Toplam	90	153670	34860	120	273200	61970	150	426865	96835

* D: Toplam kavşak araç gecikmesi

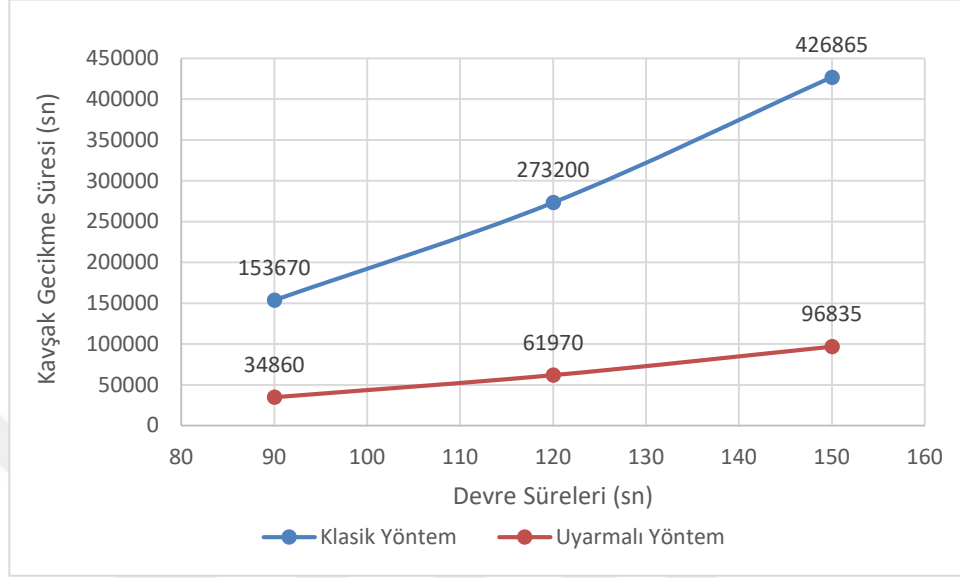


Şekil 41. 3 farklı devre süreleri için uyarmalı ve klasik yöntem kavşak gecikme süreleri

Çizelge 13’den alınan bilgiler ile Şekil 41’de, farklı kol akımlarında 3 farklı devre (döngü) süresine ait uyarmalı ve klasik yöntemler için kavşaktaki araç gecikme süreleri verilmiştir. Şekillerde en az araç gecikmesine sahip devre süresi 90 sn’dir. En fazla gecikme ise 150 sn’ devre süresinde olmuştur.

Devre sürelerine ait uyarmalı ve klasik yöntem gecikme sürelerine bakılacak olursa: Devre süresi 120 sn iken klasik yöntemin araç gecikme süreleri, 30.000 sn ile 50.000 sn arasında değişim gösterirken; uyarmalı yönteme ait gecikme süreleri, 5.000 ile 10.000 sn arasında değişmektedir. Bu 5’er dakikalık her bir durum için kavşak araç

gecikme süresi hesabında en az 6 kat fazla araç beklemesi anlamına gelmektedir. Diğer devre sürelerinde de buna benzer durumlar mevcuttur. Klasik yöntemin uyarmalı yöneme hiçbir devre süresinde üstünlüğü görülmemiştir.



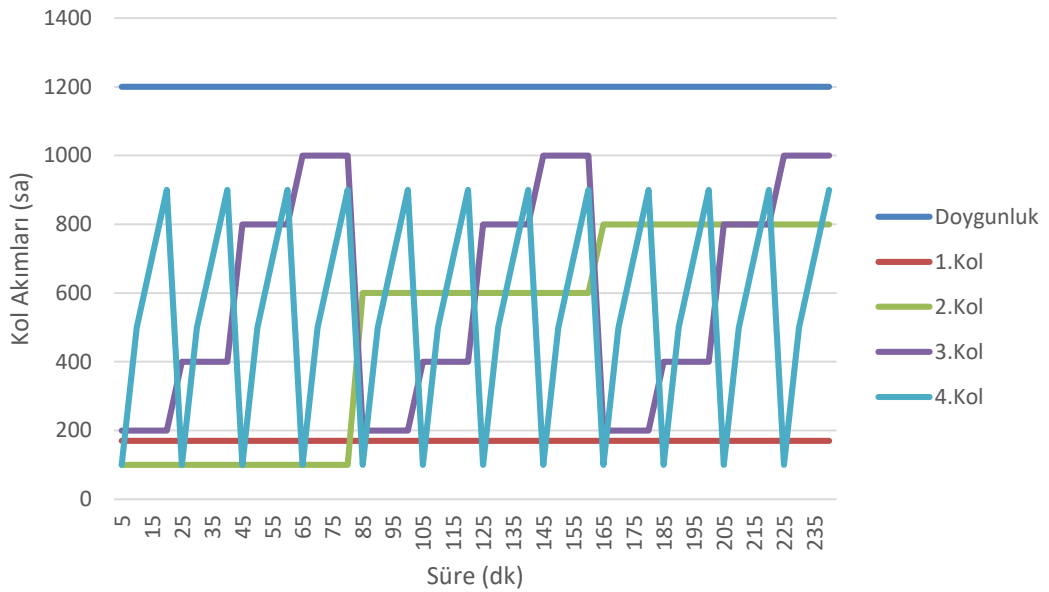
Şekil 42. 3 farklı devre süresinde uyarmalı ve klasik yöntem kavşak toplam gecikme süreleri

Şekil 42’de uyarmalı ve klasik yöntem için 5’er dakikalık 12 durumun toplamda 1 saatlik kavşak araç gecikme süreleri birlikte verilmiştir. Ortalama olarak; uyarmalı bir sistem, klasik yöntemlere göre 6 kat daha az araç gecikmesi yapmaktadır. Şekil 42’den yola çıkılacak olursa; uyarmalı yöntemin, klasik yöneme göre 6 kat daha verimli çalıştığı rahatlıkla söylenebilir.

Yine Şekil 42’yi incelediğimizde devre süresini artırdığımız zaman uyarmalı yöntem içinde, klasik yöntem içinde kavşaktaki araç gecikme süreleri doğru bir oranda artmaktadır.

5.2. 2. Kavşak Optimizasyon Örneği ve Önerilen Kavşak Optimizasyon Algoritması

5. bölümün başında verilen aynı kavşak tipinde yapılan çalışmalara devam niteliğinde olan bu ikinci örnek lidar sensörden alınan araç yoğunluk verileri ile gerçekleştirilmiştir. İzole ve kayıpsız dört kollu kavşakta lidar sensörden tek bir koldan alınan gerçek araç yoğunluk verileri ile kavşağın diğer üç kolundan rastgele elde edilen 9 farklı araç akım değerleri(100,170, 200, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000) beraber bu örnekte hesaba katılmıştır. Lidar sensörden elde edilen gerçek araç akım değeri ise 170 araç/sa'dır ve bu bütün çalışma boyunca sabit olarak kabul edilmiştir. Bu örnekte klasik sistem olan çevreden bağımsız trafik sinyalizasyonu ile uyarımlı sisteme ait farklı algoritmalar kıyaslanarak en uygun algoritma sunulmuştur. Şekil 43'de bu örneğe ait kavşak doygunluk akımı, kol akım değerleri ve sistemin çalıştığı süre ile beraber verilmiştir.



Şekil 43. Kol akım değerleri

Kollarda araç akımlarının her 5 dakikada bir değiştiği varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Toplamda 48 döngüden oluşan 240 dk'lık bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 14'de yedi farklı yöntem üzerinde yapılan çalışmaların karşılaştırmaları gösterilmiştir. Bu çalışmalarda sinyalizasyon devre süreleri 120 sn olarak alınmıştır.

Bu çizelgedeki her bir çalışma Şekil 43'de verilen 48 farklı kol akım değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Durum 1'de çevreden duyarsız olan sabit sinyalizasyon süresinde çalışan klasik yöntem yer almaktadır. Durum 2, 3, 4, 5, 6, 7, uyarımalı yöntemin farklı algoritmalarını göstermektedir. Bu durumların verim karşılaştırmalarında durum 1'deki klasik yöntem eşik değer olarak kabul edilmiştir.

Durum 2'de anlık olarak verilen yöntemde, kollardaki belirlenen araç yoğunluklarının o ana ait trafik sinyalizasyon sürelerini hemen belirlediği varsayılmıştır. Bu durumu kavşaklarda uygulamak oldukça zordur ama diğer durumlarla kıyaslama yapılması açısından çizelgeye dahil edilmiştir.

Durum 3'de kavşaktaki bir önceki tespit edilen kol akım değerlerine göre sinyalizasyon süreleri ve araç gecikme süreleri belirlenmiştir. Bu durum kavşaklarda uygulanabilmektedir.

Gerçekleştirilen 4. durum olan onlu döngü algoritmasında; trafik sinyalizasyonu, geçmiş on döngünün kol ortalamaları dikkate alınarak hesap edilmiştir.

6. 7. durumlar ise birbirlerine benzer çalışan algoritmaları içermektedir. Bu durumlar 4. durumda olduğu gibi trafik sinyalizasyonunu, son on döngünün ortalamasını alıp belirlemekle beraber ani müdahale gerektiren durumlarda önerilmiş olan bir algoritmalarından oluşmaktadırlar. Bu ani müdahale; eğer geçmiş onlu araç akımı ortalamasının, 1.5, 2 ya da 3 katını aşacak şekilde araç akım değerlerinin olması durumunda çalışmaktadır. Ortalamanın en az 1.5, 2 ya da 3 katı araç akımı gelecek olursa gecikme süresi hesabına o değer katılmakta ve trafik sinyalizasyon süresi belirlenmektedir. Bu algoritmalar kavşaktaki tek bir kol için çalışmaktadır.

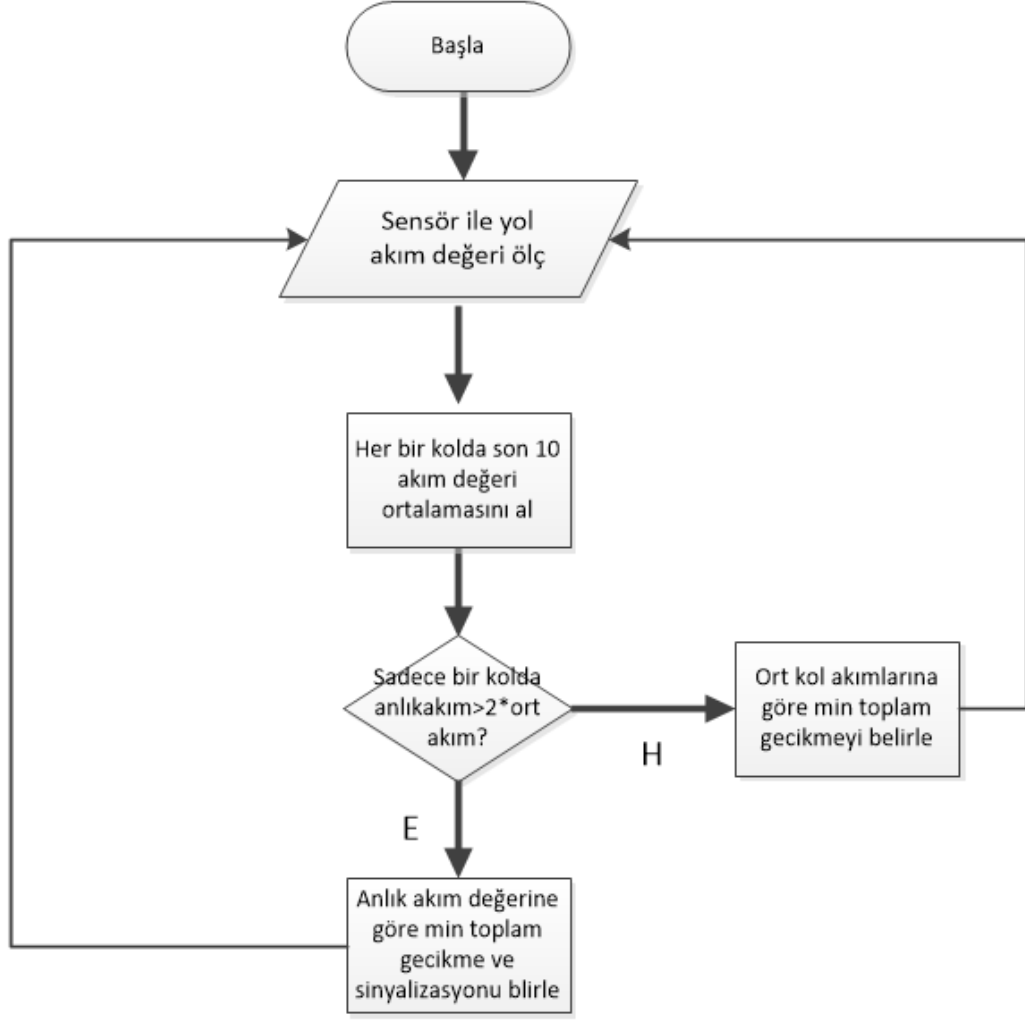
Çizelge 14'de karşılaştırılan durumların kavşak araç gecikme sürelerine göre verimlerine bakılacak olursa en verimli durum bu tez kapsamında önerilen 6. durum olduğu görülmektedir. Gecikme süresi en fazla veya verimi en düşük olan yöntem klasik sinyalizasyon yöntemidir. Verimi en yüksek yöntemler ise ani müdahale yapılan

yöntemler olan son üç durumdur. Bu son üç durum içerisinde ise en verimli algoritma ise önerilen algoritma olmakla birlikte verimi % 65'leri geçmektedir.

Çizelge 14. 7 farklı duruma ait kavşak optimizasyonlarında araç gecikmeleri ve verim karşılaştırmaları

Durum	Yöntem/Algoritma	Devre Süresi (sn)	Döngü Sayısı	D (Toplam Kavşak Araç Gecikmesi) (sn)	Verim %
1	klasik	120	48	166132	0
2	anlık	120	48	94420	43,16
3	tek döngü	120	48	119101	28,30
4	onlu döngü	120	48	67647	59,28
5	1.5 katlı	120	48	66435	60,01
6	2 katlı	120	48	57851	65,17
7	3 katlı	120	48	65552	60,54

Önerilen algoritma akış diyagramı Şekil 44'de verilmiştir. Bu algoritma kavşaktaki her bir kol için geçmiş on araç akım değerlerinin ortalamasını almaktadır. Eğer ortalama değer iki katı ve bundan büyük bir akım değeri gelirse o akım değeri anlık olarak hesaba katılmakta ve araçların kavşak gecikmesini en az yapan trafik sinyalizasyon süreleri hesaplanmaktadır.



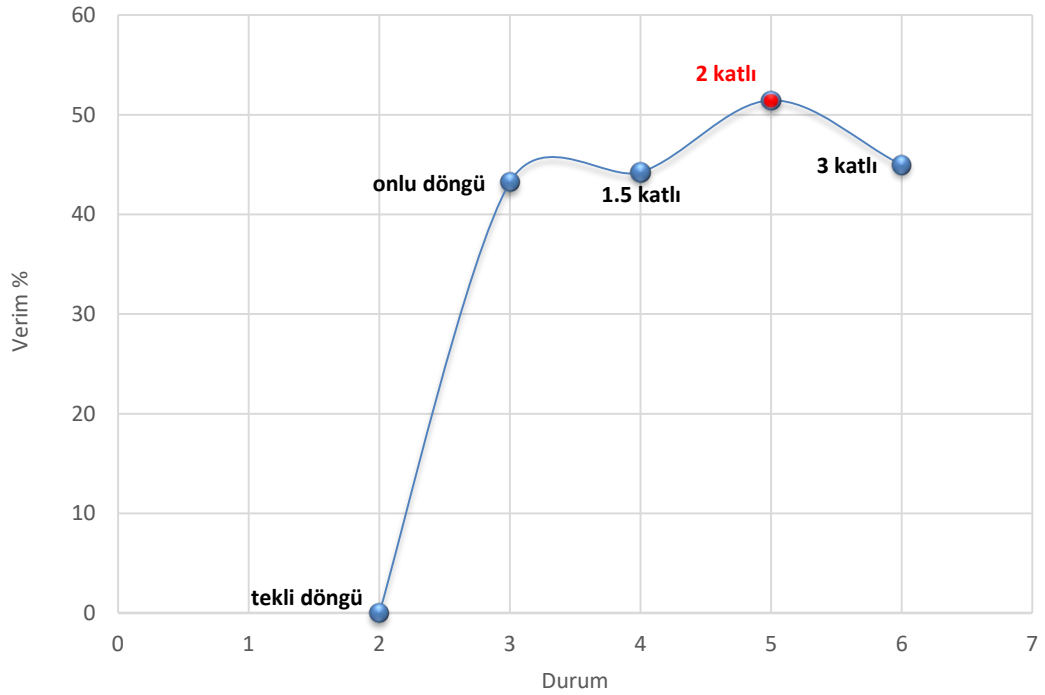
Şekil 44. Önerilen algoritma akış diyagramı

Klasik sistem olmaksızın sadece uyarmalı sisteme ait toplam kavşak araç gecikmeleri ve buna bağlı verimleri Çizelge 15’de verilmiştir. Verim hesaplamaları, 1. durum gecikme süresi eşik alınarak yapılmıştır. Durum 4’deki önerilen uyarmalı sistemin % 51,42 verim ile en verimli sistem olduğu ve araç gecikmelerini en aza indiren algoritma olduğu çizelgede açık ara görülmektedir.

Çizelge 15. Uyarımalı sistem gecikme süresi ve verim karşılaştırmaları

Durum	Yöntem	Devre Süresi (sn)	Döngü Sayısı	D (Toplam Kavşak Araç Gecikmesi) (sn)	Verim %
1	tekli döngü	120	48	119101	0
2	onlu döngü	120	48	67647	43,20
3	1.5 katlı	120	48	66435	44,21
4	2 katlı	120	48	57851	51,42
5	3 katlı	120	48	65552	44,91

Çizelge 15’de uyarımalı yönteme ait verilen araç gecikmelerin verim karşılaştırmaları Şekil 45’de verilmiştir. Önerilen 2 katlı algoritmanın diğer algoritmalara göre üstünlüğü bariz bir şekilde görülmektedir.



Şekil 45. Uyarımalı sistem gecikme verimi karşılaştırmaları

6. TARTIŞMA

Bu tez kapsamında, kavşak yoğunluk tespiti için ultrasonik sensör, FMSD radarı, kızılötesi sensör ve lidar sensör üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak ultrasonik sensörle yapılan çalışmada, kontrollü alanda gerçekleştirilen mesafe tespit çalışmaları başarılı sonuçlar vermiştir. Ultrasonik sensörün hava şartlarından çabuk etkilenbilmesi, mesafe tespitinin az olması ve sinyali bozucu etkenlerin radara oranla fazla olmasından dolayı bu çalışma, FMSD radarına geçiş niteliğinde olmuştur.

FMSD radarı üzerinde yapılan çalışmalar belli bir noktaya kadar gelmesine rağmen daha geniş bütçelere ihtiyaç duyulmasından ve konunun çok kapsamlı olmasından dolayı devam ettirilmemiştir. Tez kapsamı devamında; FMSD radarı çalışmasından, çalışma prensibi olarak birbirine benzer olan kızılötesi sensör ve lidar sensör çalışmalarına geçilmiştir.

Kızılötesi sensörle gerçekleştirilen çalışmada: Servo motorlarla hareket ettirilebilen iki eksenli hareket aparatına yerleştirilen kızılötesi sensör ile 3-boyutlu çevre taraması yapılmıştır. Böylece kavşaktaki araçların sayıları, türleri, konumları ve sonuçta; kavşak yoğunluğu tespiti yapılmak istenmiştir. Bu sensörle kapalı ortamlarda yapılan deneme çalışmaları başarılı olmuş ve farklı modellere ait konum, boyut ve saydırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, lidar sensörle yapılacak olan çalışmaya zemin teşkil etmesinden dolayı gerçekleştirilmiştir.

Kızılötesi sensöre ait çalışmaların devamında lidar sensörle gerçekleştirilen kavşak taraması denemeleri gerçekleştirilmiş fakat lidar sensör ve servo motorlar arasında görülen senkronizasyon problemlerinden dolayı lidar sensör ile kavşak tarama çalışmasına devam edilmemiştir.

Lidar sensörle, kavşak araç taramasından farklı bir algoritma çalışmasına geçilmiştir. Tez kapsamında nihai olarak lidar sensör çalışmasında karar kılınmıştır. Bu çalışma

lidara 3-boyutlu bir çalışma alanı sağlaması için aynı ekipmanlar kullanılarak hareket aparatlarıyla gerçekleştirilmiş ve bu çalışma çözüme kavuşturulmuştur.

Bu çalışmada lidar sensör ile kavşak yoğunluk tespiti ve kavşak optimizasyonu çalışmaları ayrı ayrı incelenmiş ve bununla beraber lidar sensörden tespit edilen kavşak araç yoğunluk verisiyle kavşağa ait sinyalizasyon süresi optimizasyonu Matlab programında gerçekleştirilmiştir.

Farklı örneklerle kavşak araç gecikmelerini en aza indirmek için kavşak optimizasyonları gerçekleştirilmiş ve bu örneklerin çalışma verimleri farklı algoritmalarla kıyaslanarak yeni bir algoritma öne sürülmüştür.

1. örnekte: 4 kollu bir sinyalize kavşakta; 1 saat süresince, 6 farklı araç yoğunluğunda farklı sinyal bekleme süreleri ile çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalarda kavşaktaki her bir kola ait Matlab programında, klasik yöntem ve uyarımlı yöntemlerden elde edilen sinyal süreleri ile araç bekleme süreleri hesaplanmış ve bu yöntemlerin gecikme sürelerinin verimleri karşılaştırılmıştır. Üzerinde çalışılan uyarımlı sistemin, klasik sisteme göre zaman zaman % 90'a varan verimleri gösterilmiştir.

Kavşağa ait sinyalizasyon süresi optimizasyonu için yapılan bu çalışma aşağıda detaylı bir şekilde özetlenmektedir.

İdeal ışık döngü sürelerinin tespiti için şerit boyutları, araç kayıp süreleri ve ışık sürelerinden oluşan kayıp süreleri hesaplamalarına girilmediğinden dolayı en uygun döngü süresi budur diyemeyiz. Fakat bu çalışmada, üzerinde çalışılan kavşağın yoğun olmasından dolayı uygun döngü süresi olarak 90, 120 ve 150 saniye değerlerinden 120 sn tercih edilmiştir. Aynı zamanda araç kol akım değerleri her 5 dakikada bir değiştiği için ortalama bir değer olarak 120 sn döngü süresi seçilmiştir. Daha az yoğun bir kavşak için 90 sn'lik döngü süresi ve çok daha yoğun kavşaklar için 150 sn devre süresi seçilebilir.

120 sn devre süresinde, uyarlı yöntem hesaplamaları yapılırken kavşak bekleme süresinin en az olması amaçlanmıştır. Bu hesaplamalar eşliğinde kavşağa ait kolların yeşil ışık süreleri, toplam araç bekleme süreleri bulunmuştur. Devre süresi yine 120 sn olacak şekilde klasik yöntem olan sabit süreli yeşil ve kırmızı süreli kavşak için toplam araç bekleme süreleri hesaplanmıştır. Uyarlı yöntemin başarısını göstermek için kavşaktaki kollara farklı yeşil ve kırmızı süreleri verilmiştir. 4 farklı klasik yöntemle ait yeşil ışık süreleri ile uyarlı yöntemden elde edilen yeşil ışık süreleri ve araç bekleme süreleri karşılaştırılmıştır. Uyarlı yöntem, 4 farklı klasik sisteme de açık ara üstünlük sağlamıştır. Bu üstünlükler; her bir kavşak kolu için 12 durumlu farklı akım kollarında, klasik yöntemin ve uyarlı yöntemin kavşak bekleme süreleri karşılaştırılarak gösterilmiştir. Uyarlı yöntem ve klasik yöntem araç gecikme süreleri arasında büyük farklılıklar olduğu grafiklerle gösterilmiştir. Bu gecikmelerden yola çıkılarak uyarlı yöntemin klasik sisteme göre verimleri de incelenmiştir. Anayollar için % 95'ler kavşak geneli için % 77'lere kadar verimler görülmüş ve grafiklendirilmiştir.

12 farklı kol akımlarını ve gecikmelerini incelediğimiz zaman kavşağın yoğun olduğu durumlarda uyarlı yöntemin verimi yoğun olmayan kavşak durumlarına göre daha yüksek olmaktadır. Bu durumda özellikle yoğun kavşaklarda uyarlı yöntemin tercih edilmesi gerekmektedir. Bununla beraber kavşağın yoğunluk durumunun çok değişken olduğu durumlarda da uyarlı yöntemin kullanılması ile yeşil süresi otonom olarak ayarlanacak ve kavşak gecikmeleri ciddi şekilde azaltılacaktır.

2. örnek: Aynı özelliklere sahip kavşak üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sinyalizasyon devre süresi 120 sn olarak alınmıştır. Bu örnek ise kavşaktaki bir yol üzerine yerleştirilen lidar sensörden alınan gerçek araç yoğunluğu verileri ile; kavşaktaki diğer üç yol için rastgele elde edilen veriler eşliğinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada da diğer örneğe benzer şekilde klasik yöntem sinyalizasyon yöntemi ile farklı uyarlı sistem algoritmaları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu örnekle birlikte önerilen algoritmanın kavşaktaki araç gecikmelerini ne kadar azalttığı ve buna bağlı verimin diğer yöntemlere göre ne kadar iyi olduğu çizelgeler ve grafiklerle gösterilmiştir.

Araç tespiti ve kuyruk boyu hesabı kısmında ise aşağıda anlatılan çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada: Servo motorlar, hareket aparatları ve lidar sensör ile hız ölçümü, araç sayımı, araç sınıflandırılması, trafikte oluşan araç kuyruk uzunluğu gibi tespitlerin yapılması için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sensör ve servo motorların programlaması arduino kartı üzerinden yürütülmüştür.

Ölçüm çalışmaları iki farklı ortamda gerçekleştirilmiştir: İlk ölçüm ortamı dinamik trafikte gerçekleştirilmiştir. Hareketli trafiği göreceğ şekilde çünür yaya üst geçidine yerleştirilen lidar sistemi ile yoldan geçen araçların sayısı, hızı ve türü tespit edilmeye çalışılmıştır.

İkinci ölçümler ise kontrollü bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Kontrollü bir ortamda çalışmasının sebepleri: Hareketli araçların hızlarını doğru tespit edebilmek ve oluşturulan ortamda duran araç kuyrukları ile kuyruk uzunluk tespiti yapabilmektir.

Kullanılan lidar sensör tek-boyutlu olmasına rağmen iki servo motor ile birlikte 3-boyutlu lidar sensörlerin yapabildiği görevi gerçekleştirebilmektedir. Böylece kuyruk uzunluk tespiti yapılabilecektir. Kuyruk uzunluk ölçümleri gerçekleştirilirken lidar sistemi, ölçüm yapılacak olan alanı göreceğ şekilde bir binaya yerleştirilmiştir. Kuyruk tespiti yapılırken birinci servo motorla lidar sensör oluşan araç kuyruğu doğrultusunda hareket etmekte ve kuyruk sonunu bulabilmektedir. Yolun diğer şeritlerinin kuyruk tespiti ise 2. servo motorun hareketi ile gerçekleştirilmektedir. Böylece tek boyutlu olan lidar sensör dikey ve yatay hareketlerle 3-boyutlu bir lidar sensöre dönüşmektedir.

Literatürde lidar sensörle yapılan çalışmalarda kuyruk sonu tespiti tahmini yapılmaktadır. Bu çalışmada ise tahmin, yerini daha kesin sonuçlara bırakmıştır. Ayrıca lidar sensörün mesafe tespitinden de yararlanılarak araçların kuyruk sonu bitiş mesafesi tespiti ile birlikte kuyruktaki araçlarda sayılarak iki farklı açıdan kuyruk uzunluğu tespiti yapılarak daha garanti sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 16. Literatür çalışmaları karşılaştırılması

Çalışma	Algılayıcı	Yöntem	Sınıflandırma	Mesafe (m)	Kuyruk uzunluğu	Kuyruk takibi	Hız	Araç sayımı	Fiyat (\$)
Bu çalışma	Lidar	Noktasal Lazer	+	180	+	+	+	+	280
1.(Zhao, Xu vd. 2019)	Lidar	3D lazer	+	80	-	+	+	-	8800
2. (Emami, Sarvi vd. 2019)	-	Algoritma	-	-	+				-
3. (Lee and Coifman 2015)	2 Lidar+ Kamera	2D lazer	+	80	-	-	+	+	10000
4. (Cai, Zhang vd. 2010)	Kamera	Görüntü işleme	-	~	+	+	-	-	-
5. (Wu, Xu vd. 2020)	Lidar	3D Laser	+	80	+	-	+	+	20000
6. (Cheung, Coleri vd. 2005)	Manyetik	Elektromanyetik	+	10	-	-	+	+	700
7. (Tiaprasert, Zhang vd. 2015)	-	Matematik	-	-	-	-	-	-	-
8. (Rani, Kumar vd. 2017)	Lidar+ Kamera	Kızılötesi+ görüntü işleme	+	-	+	+	-	-	500
9. (Managuli, Deshpande vd. 2017)	Lidar	Kızılötesi	+	-	-	-	-	-	-
10. (Sen, Maurya vd. 2012)	Kamera	Görüntü işleme	-	100	+	+	+	+	500

Çizelge 16'da yapılan tez çalışmasıyla, bazı literatür çalışmaları karşılaştırılmıştır. Çizelge 16'da araç tespiti için kullanılan yöntemlerden lidar sensor ile yapılan çalışmalar seçilmeye dikkat edilmiştir.

Yapılan çalışma ile çizelgedeki diğer çalışmalar kıyaslandığı zaman araç sınıflandırması, kuyruk uzunluk tespiti, hız tespiti ve araç sayımı yönünden 5. çalışmaya daha benzerlik göstermektedir. Yapılan çalışma, 5. Çalışmadan daha farklı yöntemler kullanarak gerçekleştirilmiş olmasıyla birlikte maliyet açısından da çok daha üstün durumdadır. 5. çalışmada kuyruk uzunluk tespiti yapılırken 3-boyutlu lidar sensör kullanılmıştır. Yine 5. çalışmada, 3-boyutlu lidar sensörle kuyruk uzunluk tespiti yapılırken belli bir hızın altındaki araçlar kuyruk sonu olarak kabul edilmekte ve sonradan gelen araçların tespiti yapılamamaktadır. Gerçekleştirilen sistem ise hareketli trafikte akıcı bir şekilde çalıştığı gibi aynı zamanda durağan trafikte servo motorlarla durağan araç kuyruğunu takip edebilmekte ve kuyruk uzunluğunu, mesafe olarak da tahmin değerler yerine daha net sonuçlarla vermektedir.

8. makaledeki çalışmaya bakıldığında, kuyruk uzunluk tespiti gerçekleştirebilmek için kızılötesi sensör ile kamera birlikte kullanılmıştır. Tek-boyutlu kızılötesi sensörle araç sayısı, sınıflandırma, hız tespiti, kuyruk takibi, kuyruk uzunluk tespiti yapılamamıştır.

Üst paragraflarda anlatılan 2. kavşak optimizasyonu örneğinde anlatılmış olmasına rağmen tekrar bahsedilecek olursa; literatürdeki çalışmalardan farklı olarak yapılan bu çalışmada lidar sensörden elde edilen gerçek verilerle birlikte Matlab programında anlık olarak kavşağa ait trafik sinyalizasyon optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Doğrudan Matlab programı üzerinden lidar sensör ölçümleri yapılmıştır. Böylece gömülü sistem kullanılarak dinamik bir şekilde; kavşak optimizasyonu ve araç tespit cihazı entegrasyonu gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 17. Gerçekleştirilen çalışmanın başarı yüzdeleri

	Araç sayımı	Hız	Kuyruk uzunluğu tespiti	Sınıflandırma
Başarı yüzdesi	90	94	85	90

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, lidar sensör sisteminin %'delik başarı değerleri Çizelge 17'de verilmiştir. Araç sayımı ve sınıflandırma başarısı benzerdir. Araç sayımı ve sınıflandırmadaki % 10'luk başarı kaybı; kamyon, tır gibi araçların kasalarının üstlerinin kapalı olmamasından dolayıdır. Kasanın üstünün açık olmasının hataya sebep olması ise araçların baş kısımları ile kasa kısımları arasında mesafenin çok değişken olmasıdır. Hız ve kuyruk tespitlerindeki başarı değerleri yine Çizelge 17'de gösterilmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmaya devam niteliğinde sonraki çalışmalarda kavşak yönetimi için farklı algoritmalar üzerinde çalışılabilir. Sinyalizasyon süresini belirlemede en etken rollerin başında gelen kol araç yoğunluğunun anlık olarak sinyalizasyon süre belirlemesi yapılabilir. Ayrıca lidar sensör sistemi daha yüksek yerlere yerleştirilerek ve daha fazla araçla 20 m'den daha uzun mesafelerde kuyruk uzunluk ölçümleri alınabilir. Ayrıca sonraki çalışmalarda; kavşağı görece şekilde lidar sensör sisteminin yerleştirilebileceği bir ortam bulunması halinde kontrollü bir ortam oluşturulmadan da kuyruk uzunluk tespiti yapılabilir. Yapılan çalışma üç veya daha fazla şerite sahip yollarda tekrarlanabilir. Ayrıca ikinci bir lidar sistemiyle desteklenebilir ve yeni çalışmalar gerçekleştirilebilir. Kullanılan lidar sensör sistemi lidar mesafe sensörünün özellikleri gereği karanlıktan etkilenmese de aşırı güneş ışığı, şiddetli yağmur ve kardan yansıma dolayısıyla etkilenmektedir. Yapılan çalışma her ne kadar bazı olumsuz hava şartlarında da yapılmış olsa da; sert hava koşullarında (şiddetli yağmur, kar, dolu) test edilmesi ve bu şartlarda performansının ölçülmesi yeni bir çalışma konusu olacaktır. Aynı zamanda bu algoritmalar ve kurulan sistem, farklı lidar sensörler ile yeni çalışma konularına açıktır.

7. KAYNAKLAR

- Akanbi, L. A. V. O., E.A. (2012). "A fuzzy-Based Intelligent Traffic Control System for Managing VIP-Induced Chaos at Road Intersections." African Journal of Computing & ICT: 109-120.
- Akçelik, R. (1980). "Time-dependent expressions for delay, stop rate and queue length at traffic signals."
- Akgüngör, A. P. "sinyalize kavşaklarda gecikme tahmininin matematiksel modellenmesi i: farklı çözümlene süreleri için zamana bağlı yeni bir gecikme modeli."
- Akgüngör, A. P. and E. Doğan (2016). "Bulanık mantık ile diğer sinyal denetim sistemlerinin karşılaştırılması: üç kollu sinyalize kavşak örneği." El-Cezeri Journal of Science and Engineering 3(1).
- Arel, I., C. Liu, T. Urbanik and A. Kohls (2010). "Reinforcement learning-based multi-agent system for network traffic signal control." IET Intelligent Transport Systems 4(2): 128-135.
- Bao, X., Y. Zhan, C. Xu, K. Hu, C. Zheng and Y. Wang (2017). "A novel dual microwave Doppler radar based vehicle detection sensor for parking lot occupancy detection." IEICE Electronics Express 14(1): 20161087-20161087.
- Cai, Y., W. Zhang and H. Wang (2010). Measurement of vehicle queue length based on video processing in intelligent traffic signal control system. 2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, IEEE.
- Ceylan, H., Ö. Başkan, H. Ceylan and S. Haldenbilen (2007). "Yaklaşık hesaplama metodu ile sinyalize kavşaklarda gecikme bileşenlerinin matematiksel çözümü." Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 13(2): 279-288.
- Charvat, G. L., A. J. Fenn and B. T. Perry (2012). The MIT IAP radar course: build a small radar system capable of sensing range, Doppler, and synthetic aperture (SAR) imaging. Radar Conference (RADAR), 2012 IEEE, IEEE.
- Cheung, S. Y., S. Coleri, B. Dundar, S. Ganesh, C.-W. Tan and P. Varaiya (2005). "Traffic measurement and vehicle classification with single magnetic sensor." Transportation research record 1917(1): 173-181.
- Chiu, S. and S. Chand (1993). Adaptive traffic signal control using fuzzy logic. Fuzzy Systems, 1993., Second IEEE International Conference on, IEEE.

- Çakır, A., H. Çalış and E. Dandil (2009). "PLC tabanlı dinamik trafik sinyalizasyon ve araç hız ölçüm sistemi." Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi **13**(1).
- Çelik, Y. and H. Soy (2010) "Trafik tıkanıklığının azaltması için öz-örgütlenme tabanlı akıllı trafik optimizasyonu yaklaşımı."
- Dogan, O., M. Abbak, H. B. Önen, M. H. Yaşın, Ö. Esas and U. Aydın (2018). Design and implementation of 24 GHz FMCW traffic radar. 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), IEEE.
- Emami, A., M. Sarvi and S. A. Bagloee (2019). "A neural network algorithm for queue length estimation based on the concept of k-leader connected vehicles." Journal of Modern Transportation 27(4): 341-354.
- Gaster, B., L. Howes, D. R. Kaeli, P. Mistry and D. Schaa (2012). Heterogeneous Computing with OpenCL: Revised OpenCL 1, Newnes.
- GP2Y0A02YK0F, S. (2006)
- İlgen, S. and A. Durdu (2005) "Bulanık mantık yöntemi ile trafik ışıklarının akıllı kontrolü intelligent traffic lights control using fuzzy logic method."
- Lee, H. and B. Coifman (2015). "Using LIDAR to validate the performance of vehicle classification stations." Journal of Intelligent Transportation Systems 19(4): 355-369.
- Li, Z. and K. Wu (2007). 24GHz FMCW radar front-end system on substrate. Radio and Wireless Symposium, 2007 IEEE, IEEE.
- Managuli, M., A. Deshpande and S. H. Ayatti (2017). Emergent vehicle tracking system using IR sensor. 2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT), IEEE.
- Mirchandani, P. and L. Head (2001). "A real-time traffic signal control system: architecture, algorithms, and analysis." Transportation Research Part C: Emerging Technologies **9**(6): 415-432.
- Mulbay, Z., E. Çay, M. Binici, Ö. Macit and H. Doruk "trafik sinyalizasyon sürelerinin değiştirilmesi ile trafik akışının iyileştirilmesi: ısparta örneği."
- Murat, A. G. Y. Ş. (2005) "Kentsel ulaşım çerçevesinde sinyalizasyon kavşak etüdüleri."
- Murat, Y. Ş. (2006). "Sinyalizasyon kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin bulanık mantık ile modellenmesi." Teknik Dergi 17(83).

- Murat, Y. Ş. and Ö. Başkan (2006). "İzole sinyalizasyon kavşaklarındaki ortalama taşıt gecikmelerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi." Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 12: 214-227
- Omnisci (2010). "www.omnisci.com"
- Özpinar, A., E. Kazasker and Ö. Öz (2010). "Akıllı trafik denetimi ve yönetimi için rfid ile elektronik plaka uygulaması." Akademik Bilişim, Muğla.
- Prothmann, H., J. Branke, H. Schmeck, S. Tomforde, F. Rochner, J. Hahner and C. Muller-Schloer (2009). "Organic traffic light control for urban road networks." International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems 2(3): 203-225.
- Rani, L. P. J., M. K. Kumar, K. Naresh and S. Vignesh (2017). Dynamic traffic management system using infrared (IR) and Internet of Things (IoT). 2017 Third International Conference on Science Technology Engineering & Management (ICONSTEM), IEEE.
- Sen, R., A. Maurya, B. Raman, R. Mehta, R. Kalyanaraman, N. Vankadhara, S. Roy and P. Sharma (2012). Kyun queue: a sensor network system to monitor road traffic queues. Proceedings of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems.
- Soysal, K., M. Balçılar and A. C. Sönmez (2010) "Çoklu etmen tabanlı trafik yönetim sistemi."
- Tiapraser, K., Y. Zhang, X. B. Wang and X. Zeng (2015). "Queue length estimation using connected vehicle technology for adaptive signal control." IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 16(4): 2129-2140.
- Tubaishat, M., Y. Shang and H. Shi (2007). Adaptive traffic light control with wireless sensor networks. Consumer Communications and Networking Conference, 2007. CCNC 2007. 4th IEEE, IEEE.
- Wang, Q., J. Zheng, B. Xu and Y. Huang (2015). Analysis and experiments of vehicle detection with magnetic sensors in urban environments. Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER), 2015 IEEE International Conference on, IEEE.
- Wehr, A. and U. Lohr (1999). "Airborne laser scanning—an introduction and overview." ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing 54(2-3): 68-82.
- Wu, J., H. Xu, Y. Zhang, Y. Tian and X. Song (2020). "Real-time queue length detection with roadside LiDAR data." Sensors 20(8): 2342.
- Yardımcı, M. S. and G. Akyıldız (2005). "Akıllı ulaştırma sistemleri ve Türkiye'deki uygulamalar. 6." Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı. içinde İstanbul: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.

Zhao, J., H. Xu, H. Liu, J. Wu, Y. Zheng and D. Wu (2019). "Detection and tracking of pedestrians and vehicles using roadside LiDAR sensors." *Transportation research part C: emerging technologies* 100: 68-87.

Zhou, B., J. Cao, X. Zeng and H. Wu (2010). Adaptive traffic light control in wireless sensor network-based intelligent transportation system. *Vehicular technology conference fall (VTC 2010-Fall)*, 2010 IEEE 72nd, IEEE.

Zhou, Q., Z. Li, Z. Duan and Z. Wang (2013). Design of 2–3.5 GHz transmitter front-end. *Proc. International Conference on Multimedia Technology*, Citeseer.

