



Araştırma Makalesi/Research Article

## Ardışık kavşaklarda trafik sinyalizasyonunun gömülü sistem ve bulanık mantıkla kontrolü

Ahmed Aycan Gençkal<sup>1</sup>, Tuna Göksu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Bulanık Mantık  
Gömülü Sistem  
Trafik Sinyalizasyonu  
STM32F4

### Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 31.01.2022  
Kabul Tarihi: 20.04.2022

**Öz:** Bu çalışmada, trafik sinyalizasyonunun gömülü sistem ve bulanık mantıkla kontrolü yapılmıştır. Trafiğin yoğun olduğu ardışık kavşaklardaki veriler haftanın günlerine ve günün saatlerine göre trafik yoğunluğu verisi şeklinde kayıt edilerek kırmızı ışık süreleri optimize edilmiştir. Yoğunlukların değişken olduğu saatler için kavşakların tüm kollarında araç sayısı ve bekleme süreleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bu verilerden esinlenerek yaklaşık tahmini araç sayısı girişleri oluşturularak kavşak için bilgisayar ortamında bir model oluşturulmuştur. Simülasyonda kullanılan bulanık model Mamdani yöntemidir. Durulaştırmada kullanılan yöntem ise centroid yani ağırlık merkezleri yöntemidir. Ulaşılan sonuçlar ve tablolar verilmiştir. Tez çalışması kapsamında arka arkaya gelen kavşaklar kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yöntem ile diğer yöntemler arasındaki yapılan karşılaştırmalar sonucunda elde edilen yakıt tasarrufunun daha yüksek, salınımı önlenen CO<sub>2</sub> miktarının daha fazla ve trafik akışının daha hızlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Toplamda ardışık seçilen iki kavşak için yılda ortalama 455.844,78 litre yakıt tasarrufu sağlanabileceği gösterilmiş, bu sayede 1.030,2 ton CO<sub>2</sub> salınımının önlenmesiyle birlikte yılda 46826 ağaç kurtarılacağı gösterilmiştir.

### Atf için/To Cite:

Gençkal A. Göksu T. Ardışık Kavşaklarda Trafik Sinyalizasyonunun Gömülü Sistem Ve Bulanık Mantıkla Kontrolü. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(1), 40-49, 2022.

## Embedded system and fuzzy logic control of traffic signaling at consecutive intersections

### Keywords

Fuzzy Logic  
Embedded System  
Traffic Signalization  
STM32F4

### Article history:

Received: 31.01.2022  
Accepted: 20.04.2022

**Abstract:** In this study, the control of traffic signaling with embedded system and fuzzy logic was performed. Red light durations are optimized by recording the data at the traffic intensive intersections as traffic density data according to the days of the week and hours of the day. For the hours when the intensities are variable, the number of vehicles and waiting times are recorded in all branches of the intersections. Inspired by these data, a model for the intersection was created in the computer environment by creating the approximate number of vehicles entries. The fuzzy model used in simulation is the Mamdani method. The method used in defuzzification is the centroid, that is, the center of gravity. Achieved results and tables are given. Intersections to be used within the scope of the thesis will be interchanges that will come one after another. As a result of the comparisons between the method used in this study and the other methods, it was concluded that the fuel savings are higher, the amount, the amount of CO<sub>2</sub> prevented from being released is higher and the traffic flow is faster. It has been shown that an average of 455,844.78 liters of fuel can be saved per year for two consecutively selected intersections in total, and 46826 trees per year can be saved, together with the prevention of 1,030.2 tons of CO<sub>2</sub> emissions.

### 1. Giriş

Trafik sinyalizasyonunun amacı taşıtları minimum sürelerde bekleterek trafik akışını hızlandırmak, CO<sub>2</sub> salınımı azaltarak ekolojik sistemin zarara görmesini

engellemek, fosil yakıtların tüketiminin minimuma indirilmesini sağlamaktır. Bu konu ile ilgili çalışmaların geçmişi eskiye dayanmakla beraber, algılama, karar verme teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte güncelliğini muhafaza etmektedir.

\* İlgili yazar/Corresponding author: aycangenc95@hotmail.com

Dört yönlü bir trafik kavşağındaki trafik lambalarının sinyalizasyon sistemi, bulanık mantık yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada, trafiğin yoğunluğu bazı elektronik devreler ile yapay olarak oluşturulmuş ardından deney bu düzenek ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın neticesinde, sadece sabah trafiğinde kullanılan normal yoğunluklu trafik sinyalizasyonu ve bulanık mantık kullanılarak yapılan trafik ışıklarının sinyalizasyonuna göre rötar ve bekleme değişkenlerinde yaklaşık %19'luk bir değişimle üstünlük sağlamıştır. Ama diğer bütün durumlarda ise bulanık denetim kullanılan trafik sinyalizasyon kontrol sisteminde, standart sisteme kıyasla rötar ve bekleme değişkenlerinde minimum % 45'lik değişimlerle üstünlük sağlandığı görülmüştür [2].

Güler (2013), ulaşım ağlarındaki trafik yoğunluğunu önlemek amacıyla, tıkanıklığa sebep olan kavşakların uyarlamalı kontrolünü sağlayan ve mantık olarak kural tabanlı çalışan bir algoritma önerisinde bulunmuştur. Kavşakta bulunan araçların sayısını (tüm yönlerdeki kuyruk uzunluğunu) ve bu sayıdaki artışı gözlemleyen algoritma için en iyi ışık süresini bir sonraki döngüde kullanılmak üzere ayarlamaktadır. Bu şekilde her kavşağın kendi sinyal sürelerini belirleyebilmesi, gecikmeleri, kavşakta bekleme sürelerini azaltmakta ve mevcut kavşağın en iyi verimlilikte çalışmasını sağlamaktadır. Kural tabanlı çalışan model kavşak oluşturulurken gerçek trafik verilerine benzer değerler kullanılmış ve bu değerler ile eğitilen kural blokları normal bir kavşağa göre %20-%30 daha çok taşıtın kavşağı boşaltmasına olanak sağlayan bir çeşit algoritma meydana getirmiştir[8].

Dağüstü (2010), tez çalışmasında kavşak trafiğinin kontrolü için bir çeşit sinyal zamanlama modeli geliştirmeye çalışmıştır. Bu çalışmasında Webster (İngiliz) metodu yardımıyla sinyal zamanlama algoritması geliştirmiştir ve bu algoritma ile İstanbul'daki bazı sinyalizasyon kavşaklarının mevcut devre süresini hesaplamıştır. Bu algoritma yardımıyla hesaplanan süreler; mevcut durumda kullanılan süreleri VISSIM trafik analiz ve simülasyon programı yardımıyla analiz etmiş ve bazı performans kriterlerine göre karşılaştırmıştır. Karşılaştırmada performans kriteri olarak taşıt basına olacak şekilde ortalama gecikme süresi, ortalama durma süresi, ortalama duruş sayısı, toplam NOx ve CO emisyonu, yakıt sarfiyatı, gözlenen bir saatlik sürenin içerisinde kavşağı terk eden araç sayısı ve toplam seyahat süresini almıştır. Bulunan süreler uygulandığında kavşağın performansında düzeltilmeler olduğunu tespit etmiştir[9].

Çakır vd. (2009), yaptığı çalışmasında gerçekleştirdiği sistemi değişken zamanlı kontrol mantığına dayalı şekilde çalıştırmıştır. Oluşturulan bu sistemle kavşaklardaki trafik azaltılmakta ve trafik akışı

arttırılmaktadır. Çift yönlü bir kavşaktaki trafiği, akıllı algoritmalar ile düzenlemiş ve bu doğrultuda yollara yerleştirdiği sensörlerden aldığı verilerle, trafik akış fazlalığına göre trafik lambalarının yanma sürelerini PLC'de ayarlanmıştır. Sensörlerden gelen bilgiler PLC'deki yazılım ile işlenmekte ve sonuç trafik ışıklarına yani çıkışlara aktarılmaktadır. Eğer kavşaktaki bir yolun trafik kalabalıklığı (araç sayısı) diğerine göre daha çoksa bu yoldaki yeşil ışık yanma süresi daha uzun yanmaktadır. Ayrıca kavşaklara yerleştirilen algılayıcılar vasıtasıyla, araçların belli bir mesafeyi ne kadar sürede aldıklarının belirlenmesi mantığı ile, iki algılayıcı arasındaki mesafeyi aracın iki algılayıcı arasını alma zamanına bölerek, araçların kavşağa giriş hızlarını da tespit edilebileceğini belirtmiştir[10].

Jha ve Shukla (2014), çalışmalarında MATLAB programı kullanılarak trafik modeli geliştirmişlerdir. Çalışmalarının temelinde çok girişli ve tek çıkışlı kuyruk teorisi modeli yer almaktadır. MATLAB programında "SimEvent" araç kutusunu kullanmışlardır. Trafik denetleyicisi, acil araç hareketlerini algılayan sensörler yardımıyla ambulans, polis, itfaiye, vb. araçlara öncelik verir ve durumun aciliyetine göre o bölgeye tercih edilen sinyali iletmektedir[11].

Üçüncüoğlu (2015), çalışmasında gelişmiş ülkelerin sonuçlanmış AUS (Akıllı Ulaşım Sistemleri) mimarilerini incelemiş ve İstanbul kent-içi trafik optimizasyonu için mantıksal bir mimari geliştirme önerisi hazırlamıştır[12].

Akbulut vd. (2019), çalışmalarında MATLAB programındaki fuzzy logic yani bulanık mantık yardımıyla değişen trafik hacmine ve araç hızlarına bağlı olarak izole kavşaktaki yeşil ışık sürelerinin modellemesini yapmışlardır. Sonuç olarak yeşil ışık süresi ile zirve saat faktörünün ilişkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu şekilde sinyalizasyon bir kavşakta kullanılacak sistemler ile yeşil ışık süresinin geçiş önceliğine göre ayarlanacağı ve trafik sıkışıklığının önüne geçileceğini vurgulamışlardır[13].

Harb vd. (2019), makalelerinde kavşaklar için trafik sinyalizasyon kontrolünü gerçek zamanlı sistemin bulanık mantık yöntemi tasarımını ve uygulamasını yapmışlardır. Çalışmalarında dört yönlü bir kavşak seçmişler ve bu kavşakta trafik ışıklarının akıllı denetim mekanizmasıyla gerçek verilerin kullanımıyla klasik ve bulanık mantık (BM) yöntemlerini kullanarak bir kontrol çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında MATLAB programını kullanmışlar ve sonuç olarak klasik denetleyiciler ve bulanık mantık denetleyicilerinin performanslarını karşılaştırmışlardır. Giriş verileri olarak araç sayısı kullanılmış, çıkış verisi olarak ise bulanık mantık kuralları ile belirlenen yeşil

ışık süresi seçilmiştir. Burada elde edilen aynı değerler klasik yöntemde de kullanılmış, bu sayede bulanık mantık yönteminin daha etkili olduğunu göstermişlerdir[14].

Gonca (2019), çalışmasında sinyalizasyon kontrol tekniklerinin uygulanma şekillerini, bu uygulamalardan yüksek verimli güncel çözüm yöntemlerinden adaptif trafik yönetim sistemine ait teknikler, kullanılan yapay zeka yöntemleriyle ürün haline gelebilmesi için gerekli olanlar ve sisteme dair fayda analizinde bulunmuştur[15].

1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından temeli atılmış bulanık mantık (fuzzy logic) kavramı, diğer mantık kavramlarına bir alternatif getirmiş, sibernetik ile ilgili bilimlerde ciddi derecede gelişmeleri, yapay zekâ ve sibernetik çalışmalarını hızlandırmıştır. Bulanık mantık temelli kontrolörler çıkış değerlerinin hesaplanabilmesi için insan beyninin karar verme yapısını taklit eden kural tabanlı sonuç çıkarım yapısına sahiptir. Ortam sıcaklığı gibi parametrelerinin düzenlenmesi amacı ile bulanık gömülü kontrolör kullanılması havalandırma ve ısıtmaya yönelik enerji sarfiyatını minimuma indirmek için oldukça etkili bir yaklaşım sunar. Bulanık Mantık günlük hayatta kullanılan ve davranışların yorumlandığı yapıya ulaştıran bir matematiksel disiplindir. Bu kavram yaşamın birçok yerinde görülmektedir. Bulanık mantık yüksek, orta ve düşük değerlerden oluşur. Bunun yanında; çok yüksek, orta ve çok düşük gibi değerleri de içerir. Temelini bulanık kümelerin oluşturduğu bulanık mantığın en temel konusu bulanık kümelerdir. Klasik küme yaklaşımında, elemanlar o kümeyle ait (1) ya da değil(0) şeklinde belirlenir. Fakat Bulanık Mantık yaklaşımında elemanların o kümeyle aitliği 0 ve 1 arasında değişkenlik gösterir. Herhangi bir sıcaklık değeri klasik kümeyle göre ya sıcaktır ya da değildir. Bulanık mantıkta ise kümeyle göre bu sıcaklık kendi içinde üyelik derecesine sahiptir. Örneğin; 5 °C sıcaklık değeri çok düşük kümesine 0.5 üyelik derecesi ile girerken, 0.667 üyelik derecesi ile düşük kümesine ait olabilir. Bulanık mantık denetleyici sistemlerinde ilk olarak ne yapılması gerektiğine karar vermek ardında da bulanık mantık kural tablosunu oluşturmak gerekmektedir. Bu yazılan kurallar sonucunda sistem kontrol edilir. Bulanık mantığın çalışma durumu oluşturulan kurallardan oluşan çıkarımlar olarak ele alınabilir[16].

Bu çalışmada, trafik sinyalizasyonunun gömülü sistem ve bulanık mantıkla kontrolü yapılmıştır. Trafik yoğun olduğu ardışık kavşaklardaki veriler haftanın günlerine ve günün saatlerine göre trafik yoğunluğu verisi şeklinde kayıt edilerek kırmızı ışık süreleri optimize edilmiştir. 01.09.2020 tarihinde salı günü saat 18.30'da iş çıkış saatinde Antalya'da bulunan eski

Kırcami Diş Tedavi ve Protez Merkezi önündeki Kırcami Kavşağı ve ardışık olarak gelen Laura Kavşağında incelemeler yapılarak bir tam turun süresi, kırmızı ve yeşil ışık süreleri ve ışıklardaki araç sayılarının sayılması sonucu elde edilen verilerden esinlenerek yaklaşık tahmini araç sayısı girişleri oluşturulan bulanık mantık sistemine göre STM32F4 mikrodenetleyici kartına aktarılan kural tablosuyla analiz yapılarak kırmızı ışık süreleri belirlenmiştir. Bu verilerin toplanması ile bilgisayar ortamındaki simülasyon programında kavşaklar için Waijung blok setleri ile bulanık mantık blokları yardımıyla meydana getirilen kontrol yapısı STM32F4 mikrodenetleyicisine aktarılmasıyla bir yöntem elde edilmiştir. Simülasyonda kullanılan bulanık model Mamdani yöntemidir. Durulaştırmada kullanılan yöntem ise centroid yani ağırlık merkezleri yöntemidir.

Palandız (2018), yaptığı çalışmada 17 turun sonucunda klasik yöntem ve bulanık yöntem kullanarak ortalama %8,62 yakıt tasarrufu sağlanmıştır[1]. Bu çalışmada ise ardışık gelen ikinci kavşak için 5 turun sonucunda klasik yöntem ve bulanık yöntemi kullanılarak %57,22'ye varan yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Materyal

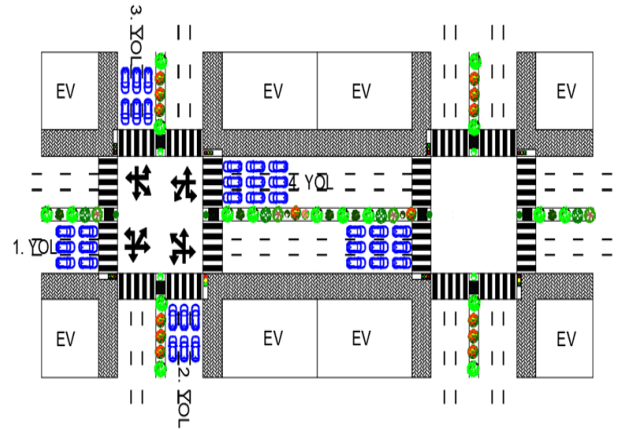
Bu çalışmada, Trafik Sinyalizasyonunun Gömülü Sistem ve Bulanık Mantıkla Kontrolü yapılarak trafiğin yoğun olduğu ardışık kavşaklardaki veriler kayıt edilerek kırmızı ışık süreleri optimize edilmiştir. Yoğunlukların değişken olduğu saatler için kavşakların tüm kollarında kuyruktaki araç sayısı ve bekleme süreleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bu verilerin toplanması ile kavşak için bilgisayar ortamında bir model oluşturulmuştur. Simülasyonda kullanılan bulanık model Mamdani yöntemidir. Durulaştırmada kullanılan yöntem ise centroid yani ağırlık merkezleri yöntemidir. Ulaşılan sonuçlar ve tablolar gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan kavşaklar arka arkaya gelen ardışık kavşaklar olarak seçilmiştir. Bunun sebebi tıpkı yeşil dalga sistemindeki gibi birbirini takip eden kavşaklar olmalı ki araçlar minimum bekleme süresi ile seyahat etsinler. Yeşil dalga sisteminde varsayımlara göre yapılan hesaplar yerine bulanık mantık sayesinde varsayımla değil her tur başına ayrı hesap yapıldığı için mümkün olan en ideal ışık süreleri elde edilerek sistemin çalışması sağlanmıştır.

### 2.2. Metod

Oluşturulan bu sistemin hesaplamaları ve analizleri MATLAB yazılımı yardımıyla elde edildi ve bu çalışmamızın metod bölümünü oluşturmaktadır. Tez çalışması kapsamında kullanılan kavşaklar arka arkaya gelen ardışık kavşaklar olarak seçilmiştir. 01.09.2020 tarihinde salı günü saat 18.30 da iş çıkış saatinde Antalya bulunan eski Kırcaami Diş Tedavi ve Protez Merkezi önündeki Kırcaami Kavşağında kavşağın bir köşesinden cep telefonu ile ultra geniş açılı balıkgözü lens takılarak tüm yollardaki araçları aynı anda görebilecek şekilde 5 tur için kamera kaydı alınmıştır. Hemen sonrasında ardışık olarak gelen Laura Kavşağında kavşağın bir köşesinden cep telefonu ile ultra geniş açılı balıkgözü lens takılarak tüm yollardaki araçları aynı anda görebilecek şekilde 5 tur için kamera kaydı alınmıştır. Bu kayıtlar daha sonra izlenerek araç sayıları sayılmıştır ve incelemeler yapılarak bir tam turun süresi, kırmızı ve yeşil ışık süreleri ve ışıklardaki araç sayılarının sayılması sonucu elde edilen verilerden esinlenerek yaklaşık tahmini araç sayısı girişleri oluşturulan bulanık mantık sistemine göre STM32F4 mikrodenetleyici kartına aktarılan kural tablosuyla analiz yapılarak kırmızı ışık süreleri belirlenmiştir. Ardışık 2 kavşaktan birinci kavşak için birinci bulanık sistem ve kural tablosu oluşturulmuştur.

### 2.3. Bulanık mantık sisteminin tasarımı

Ardışık 2 kavşaktan birinci kavşakta bulunan yollar sırasıyla 1.yol, 2.yol, 3.yol, ve 4.yol olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yol için ayrı ayrı araç yoğunlukları 0-120 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Çıkış parametresi ise, kavşaktaki bulunan trafik lambalarının kırmızı ışık yanma zamanı olarak saptanmıştır. Araç sayısındaki değişimler göz önüne alınarak kırmızı ışık yanma zamanlarının kaç saniyeye ayarlanması amaçlanmıştır. Kırmızı ışık süreleri sırasıyla 1.ışık, 2.ışık, 3.ışık ve 4.ışık olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yol için ayrı ayrı kırmızı ışık yanma süreleri 0-120 saniye olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. İncelenen kavşağın çizimi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. İncelenen kavşağın çizimi

Ardışık 2 kavşaktan 2. kavşak için ikinci bulanık sistem ve kural tablosu oluşturulacaktır. 2. kavşağa 1. kavşaktan yaklaşan araçlar 1.yoldan gelen, 2.yoldan gelen, 3.yoldan gelen ve 4.yoldan gelen olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yaklaşım için araç yoğunlukları 0-100 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Çıkış parametresi ise, kavşaktaki bulunan trafik lambasının kırmızı ışık yanma zamanı olarak saptanmıştır. Araç sayısındaki değişimler göz önüne alınarak kırmızı ışık yanma zamanının kaç saniyeye ayarlanması amaçlanmıştır. Diğer bir deyişle, araç sayısına göre kırmızı ışık yanma süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İkinci kavşağa yaklaşan yol için kırmızı ışık süresi 0-120 saniye aralığında olacak şekilde belirlenmiştir. Kırmızı ışık süresi "ışık süresi" olarak tanımlanmıştır ve üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Tasarlanan bu bulanık mantık sisteminin tüm üyelik fonksiyonları alanında uzman ve daha önce bulanık mantık sistemleriyle çalışan kişilerin yardımlarıyla uzman görüşü alınarak belirlenmiştir. Kural tabloları oluşturulmuştur. MATLAB Simulink içerisinde waijung blok setlerinden sistemin blok tasarımı yapılmıştır ve fuzzy bloklarının içerisine kural tabloları eklenmiştir.

### 2.4. Fuzzy bloğu

Bulanık mantık kullanılarak girişlere yazılan kurallara göre sonuçları değerlendirerek çıkış verilerine karar veren blok fuzzy bloğudur [5].

Çalışmada, ardışık 2 kavşaktan birinci kavşakta bulunan yollar sırasıyla 1.yol, 2.yol, 3.yol, ve 4.yol olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yol için ayrı ayrı araç yoğunlukları 0-120 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar az, orta ve çoktur. Tablo 1’ de görülmektedir.

Tablo 1. Birinci kavşak için giriş üyelik fonksiyonları tablosu

Giriş fonksiyonları	Giriş fonksiyonlar aralıkları
Az(A1)	0-50
Orta(A2)	30-90
Çok(A3)	70-120

Ardışık kavşaklardaki çıkış parametresi, kavşaktaki bulunan trafik lambalarının kırmızı ışık yanma zamanı olarak saptanmıştır. Araç sayısındaki değişimler göz önüne alınarak kırmızı ışık yanma zamanlarının kaç saniyeye ayarlanması amaçlanmıştır. Kırmızı ışık süreleri sırasıyla 1.ışık, 2.ışık, 3.ışık ve 4.ışık olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yol için ayrı ayrı kırmızı ışık yanma süreleri 0-120 saniye olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar kısa, orta ve uzundur, tablo 2' de görülmektedir.

Tablo 2. Birinci kavşak için çıkış üyelik fonksiyonları tablosu

Çıkış fonksiyonları	Çıkış fonksiyonlar aralıkları
Kısa(S1)	0-50
Orta(S2)	30-90
Uzun(S3)	70-120

Verilen giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarına göre birinci kavşak için kurallar yazılmıştır. Kural tablosu bulanık sistemin akıllıca bir çıkış üretebilmesi içindir. Üretilen çıkışın ardından sıradaki aşama durulaştırmadır. Bu çalışmada sistemin daha stabil olabilmesi için 81 kural oluşturulmuştur. Dört giriş ve dört çıkışlı bu sistemde toplam yazılabilecek kural sayısı üyelik fonksiyon değerleri arttırılarak çoğaltılabilir ve bu sayede hata payı azalır. Bu kuralları oluşturmanın en önemli adımı ise yolların bütünlüğünü mümkün olduğu kadar bozmadan oluşturmaktır. Durulaştırma işlemi kullanılan yöntem centroid yani ağırlık merkezi yöntemidir.

Ardışık 2 kavşaktan 2. Kavşağa 1. Kavşaktan yaklaşan araçlar 1.yoldan gelen, 2.yoldan gelen, 3.yoldan gelen, ve 4.yoldan gelen olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yaklaşım için araç yoğunlukları 0-100 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar Tablo 3'te ikinci kavşak için giriş üyelik fonksiyonları olarak gösterilmiştir.

Tablo 3. İkinci kavşak için giriş üyelik fonksiyonları tablosu

Giriş fonksiyonları	Giriş fonksiyonlar aralıkları
Az(A1)	0-35
Orta(A2)	15-75
Çok(A3)	55-100

Ardışık kavşaklardan ilkindeki gibi ikinci kavşakta da çıkış parametresi, kavşaktaki bulunan trafik lambalarının kırmızı ışık yanma zamanı olarak saptanmış ve ikinci kavşağa yaklaşan dört yol için kırmızı ışık süresi 0-120 saniye aralığında birbirinden ayrı bağımsız olacak şekilde belirlenmiştir. Kırmızı ışık süresi "ışık süresi" olarak tanımlanmıştır. Belirtilen yol için ışık yanma süreleri 0-120 saniye olarak belirlenmiş ve üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar kısa, orta ve uzundur. Tablo 4'da görülmektedir.

Tablo 4. İkinci kavşak için çıkış üyelik fonksiyonları tablosu

Çıkış fonksiyonları	Çıkış fonksiyonlar aralıkları
Kısa(S1)	0-70
Orta(S2)	30-90
Uzun(S3)	50-120

Verilen giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarına göre ikinci kavşak için kurallar yazılmıştır.

Kural sayısı arttırılarak hata payı azaltılabilir. Kural tablosunun sayısı, üyelik derecesinin üzeri üyelik fonksiyonu sayısı şeklinde bulunur.

Buradan hareketle giriş için 3 üyelik derecesi ve 4 üyelik fonksiyonu olması sebebiyle  $3^4=81$  adet kural oluşturulmuştur. Üyelik derecesinin sayısı 4 yapılarak  $4^4=256$  kural oluşturulabilir ve hata payı azaltılabilir. Kural sayısının fazla olmasının dezavantajı da sistemin yanıt verme süresini uzatmasıdır.

İki kavşak için de oluşturulan bulanık sistemler MATLAB simulink ortamında simüle edilmiştir. Tasarımın klasik yöntem ve bulanık mantık yöntemi ile simüle edilerek elde edilen sonuçlarının karşılaştırmaları yapılabilmektedir. Birinci bulanık sistemin kurallarının yazılıp eklenebilmesi için MATLAB içerisinde Command Window kısmına "fuzzy" yazarak bulanık mantık penceresi açılır. Bu aşamada kurallar eklenir. Kuralların çıktısı dışa aktar yapılır. Bu sayede .fis uzantılı dosya oluşturulmuş olur. Bu dosya Simulink içindeki bulanık sistemin simülasyon ekranında fuzzy bloğu içerisine tanımlanmıştır. İkinci bulanık sistemin kurallarının yazılıp eklenebilmesi için MATLAB içerisinde Command Window kısmına "fuzzy" yazarak bulanık mantık penceresi açılır. Bu aşamada kurallar eklenir. Kuralların çıktısı dışa aktar yapılır. Bu sayede .fis uzantılı ikinci bir dosya oluşturulmuş olur.

Bu dosya Simulink ikinci bulanık sistemin simülasyon ekranında fuzzy bloğu içerisine tanımlanmıştır. MATLAB Simulink içerisinde waijung blok setlerinden sistemin genel blok tasarımı yapılmıştır ve Fuzzy Bloklarının içerisine .fis uzantılı kural tabloları eklenerek analizler yapılmıştır.

### 3. Bulgular

Çalışma kapsamında kullanılan kavşaklar arka arkaya gelen ardışık kavşaklar olarak seçilmiştir. Simülasyon yapılabilmesi için giriş ve çıkışlar tespit edilmelidir. Bunun için sistemdeki giriş çıkışlara verilen isimler sözel olarak isimlendirilmiş ve üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Ardından kural tablosu oluşturulmuş ve sonra bulanıklaştırma işlemine geçilmiştir. Üyelik fonksiyonlarının birbiri içine az bir miktar geçmesi sistemin daha az hata payı ile çalışmasını sağlamıştır. Gaussmf yani gaussian üyelik fonksiyonu yerine daha kısa sürede daha doğru sonuçlar Trimf yani üçgensel üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Sonraki aşama çıkarım aşamasıdır, burada kullanılan bulanık model Mamdani yöntemidir. Durulaştırmada kullanılan yöntem ise centroid yani ağırlık merkezleri yöntemidir

Ardışık 2 kavşaktan 1. kavşakta bulunan yollar sırasıyla 1.yol, 2.yol, 3.yol, ve 4.yol olarak tanımlanmıştır, araç yoğunlukları 0-120 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar: "az (A1)", "orta (A2)", "çok (A3)" dur. Çıkış parametresi, kavşaktaki bulunan trafik lambalarının kırmızı ışık yanma zamanı olarak saptanmıştır. Kırmızı ışık süreleri sırasıyla 1.ışık, 2.ışık, 3.ışık ve 4.ışık olarak tanımlanmıştır, kırmızı ışık yanma süreleri 0-120 saniye olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar: "kısa (S1)", "orta (S2)", "uzun (S3)" dur.

Ardışık 2 kavşaktan 2. kavşağa 1. kavşaktan yaklaşan araçlar 1.yoldan gelen, 2.yoldan gelen, 3.yoldan gelen, ve 4. yoldan gelen olarak tanımlanmıştır, araç yoğunlukları 0-100 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar: "az (A1)", "orta (A2)", "çok (A3)" dur. İkinci kavşağa yaklaşan dört yol için kırmızı ışık süresi 0-120 saniye aralığında birbirinden ayrı bağımsız olacak şekilde belirlenmiştir. Kırmızı ışık süresi "ışık süresi" olarak tanımlanmıştır. Belirtilen yol için ışık yanma süreleri 0-120 saniye olarak belirlenmiş ve üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar: "kısa (S1)", "orta (S2)", "uzun (S3)" dur. İki kavşak için de oluşturulan bulanık sistemler MATLAB simulink ortamında simüle edilmiştir. Tasarımın klasik yöntem ve bulanık mantık yöntemi ile simüle edilerek elde edilen sonuçlarının karşılaştırmaları yapılmıştır.

Birinci kavşaktaki fuzzy sisteminin baştan sona kendini tekrarlamasını 1 tur farz ederek sistemin 5 tur boyunca

aynı koşullarda bulanık mantık yöntemi ve klasik yöntem ile ilgili yakıt ve CO<sub>2</sub> karşılaştırması yapılmıştır ve bulanık mantık yöntemi sayesinde birinci kavşağın 1. turunda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 0,42 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 1. tur sonunda 0,95 kg daha az CO<sub>2</sub> salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile her yol için harcanan yakıt miktarlarının toplamı, klasik yöntem ile her yol için harcanan yakıt miktarlarının toplamına bölündüğündeki bölümün, 1'den çıkartılması sonucu bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %9,32 yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salınımı sağlandığı görülmüştür.

2. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 2,68 litre daha az olduğu görülmüş, aynı şekilde 2. tur sonunda 6,05 kg daha az CO<sub>2</sub> salınımı görülmüştür.

3. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 1,87 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 3. tur sonunda 4,23 kg daha az CO<sub>2</sub> salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %32,18 yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salınımı sağlanmıştır.

4. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 2,19 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 4. tur sonunda 4,94 kg daha az CO<sub>2</sub> salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %33,23 yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salınımı sağlanmıştır.

5. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 2,49 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 5. tur sonunda 5,63 kg daha az CO<sub>2</sub> salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %41,49 yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salınımı sağlanmıştır.

İkinci kavşaktaki fuzzy sisteminin baştan sona kendini tekrarlamasını 1 tur farz ederek sistemin 5 tur boyunca aynı koşullarda bulanık mantık yöntemi ve klasik yöntem ile ilgili yakıt ve CO<sub>2</sub> karşılaştırması yapılmıştır ve bulanık mantık yöntemi sayesinde 1. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 2,02 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 1. tur sonunda 4,56 kg daha az CO<sub>2</sub> salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %47,94 yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salınımı sağlanmıştır.

2. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 3,39 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 2. tur sonunda 7,65 kg daha az CO<sub>2</sub> salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %54,22 yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salınımı sağlanmıştır.

3. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 3,44 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 3. tur sonunda 7,79 kg daha az CO<sub>2</sub> salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntemle göre %53,11 yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salınımı sağlanmıştır.

4. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 4,07 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 4. tur sonunda 9,19 kg daha az CO<sub>2</sub> salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntemle göre %57,22 yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salınımı sağlanmıştır

5. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 3,45 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 5. tur sonunda 7,80 kg daha az CO<sub>2</sub> salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntemle göre %55 yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salınımı sağlanmıştır

#### 4. Sonuç ve öneriler

Türkiye'deki araçların %24,4 ü benzinli, %36,7 si LPG'li, %38,3 ü dizeldir. [7].

Bir litre benzin yanması sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> miktarı 2.39kg [6].

Bir litre LPG yanması sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> miktarı 1.91kg [6].

Bir litre mazot yanması sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> miktarı 2.65kg [6].

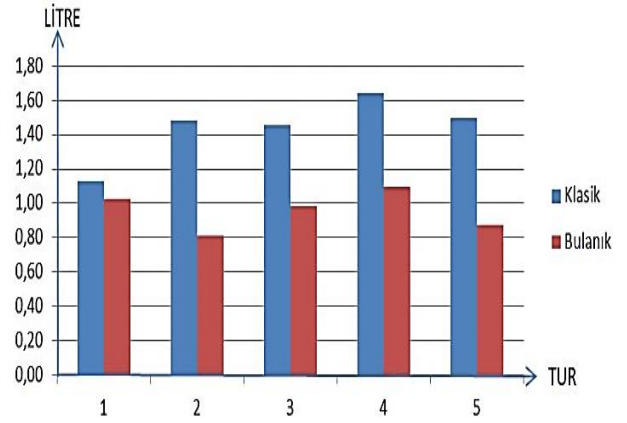
Araç motorları genellikle rölantide 0.3-2.5lt/saat oranında yakıt tüketirler. [7].

Bir ağacın yılda ortalama emdiği CO<sub>2</sub> miktarı 22kg [3].

Bu araştırmaların sonucuna göre Türkiye'deki araçların ortalama yakıt tüketimi 23ml/dk olarak belirlenmiş ve tezdeki elde edilen veriler bu doğrultuda oluşturulmuştur. Bu araştırmaların sonucuna göre 1 litre yakıttaki ortalama CO<sub>2</sub> salınımı 2,26kg olarak saptanmıştır ve elde edilen veriler bu doğrultuda oluşturulmuştur.

Tablo 6'da görüldüğü üzere yılda ortalama 169.058,51 litre yakıt tasarrufu sağlanabilir, bu sayede 382,07 ton CO<sub>2</sub> salınımının önlenmesiyle birlikte yılda 17.366 ağaç kurtarılabilir. Beş turun sonucuna göre birinci bulanık sistemde yakıt tüketiminin sütun grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

Birinci kavşakta bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir tur için klasik yöntemden daha düşük boşta harcanan yakıt miktarına sahip olduğu görülmektedir. Şekil 2'de iki yöntem arasındaki farkın 1. tur için daha az iken 2. tur ve 5. turda daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Birinci sistemde yakıt tüketiminin sütun grafiği

Birinci kavşakta bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin tamamında klasik yöntemden daha düşük boşta harcanan yakıt miktarına sahip olduğu ve daha az CO<sub>2</sub> salınımına sebep olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 10 dakikalık, 1 saatlik, 8 saatlik, 1 aylık ve 1 yıllık süre sonunda ne kadar kazanç sağladığı Tablo 5 ve Tablo 6'da görülmektedir.

Beş turun sonucuna göre ikinci bulanık sistemde yakıt tüketiminin sütun grafiği Şekil 5'de verilmiştir. İkinci kavşakta Bulanık Mantık Yöntemi ile Klasik Yöntem karşılaştırıldığında Bulanık Mantık Yönteminin her bir tur için klasik yöntemden daha düşük boşta harcanan yakıt miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 1. tur için daha az iken 4. turda daha yüksek olduğu Şekil 3'de görülmektedir.

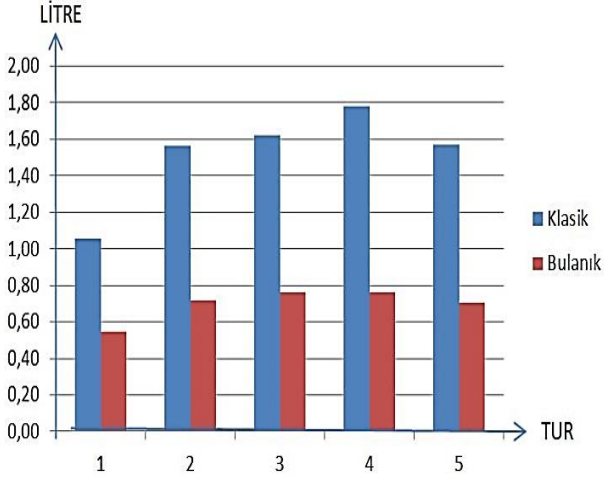
Tablo 5. Birinci kavşak için yakıt ve CO<sub>2</sub> salınımının 1 saate kadarki tasarruf miktarları

5 Turun Ortalama Değerleri (10dk'lık)	1 Saatin Ortalama Değeri
Toplam Yakıt Tasarrufu (lt)	9,65
Her Turdaki Ort. Yakıt Tasarrufu (Lt)	1,93
Salınımı Önlenecek CO <sub>2</sub> Miktarı (Kg)	21,81
Salınımı Önlenecek Ort. CO <sub>2</sub> Miktarı (Kg)	4,36

Tablo 6. Birinci kavşak için yakıt ve CO<sub>2</sub> salınımının 1 yıla kadarki tasarruf miktarları

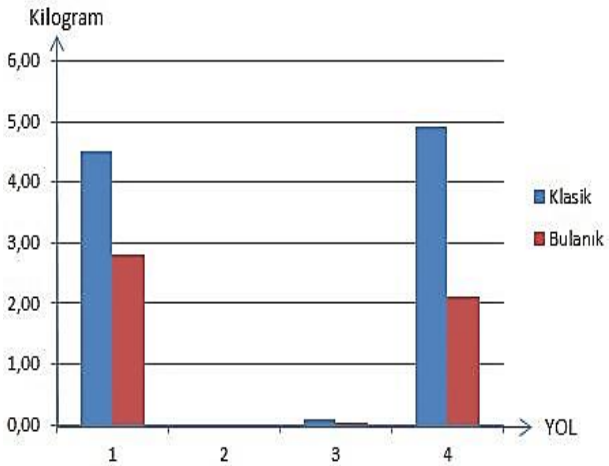
1 Saatin Ortalama Değeri	8 Saatin Ortalama Değeri	1 Aylık Ortalama Değeri (Ton)	1 Yıllık Ortalama Değeri (Ton)
57,90	463,17	13895,22	169058,51

130,85	1046,77	31,40	382,07
--------	---------	-------	--------



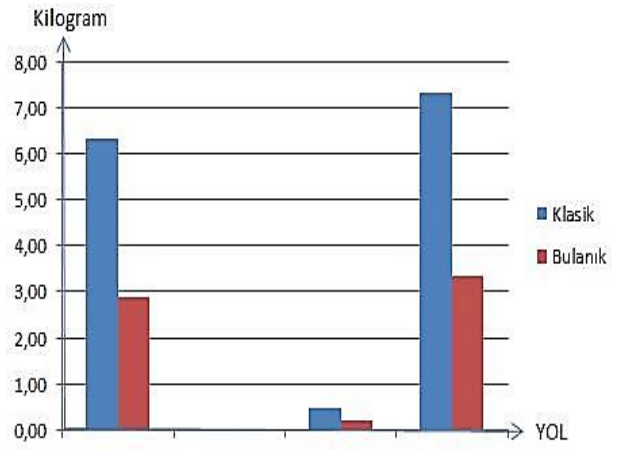
Şekil 3. İkinci sistemde yakıt tüketiminin sütun grafiği

İkinci kavşak 1. turda Bulanık Mantık Yöntemi ile Klasik Yöntem karşılaştırıldığında Bulanık Mantık Yönteminin her bir yol için klasik yöntemden daha düşük CO<sub>2</sub> salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 3. yol için daha az iken 1. ve 4. yolda daha yüksek olduğu Şekil 4'de görülmektedir.



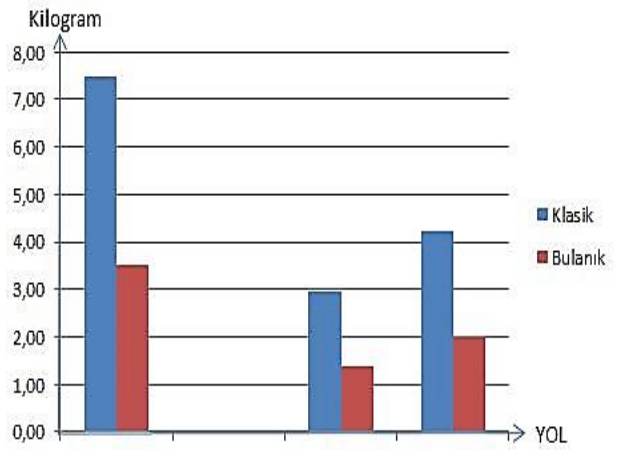
Şekil 4. İkinci kavşak birinci tur CO<sub>2</sub> salınımı grafiği

İkinci kavşak 2. turda bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir yol için klasik yöntemden daha düşük CO<sub>2</sub> salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 3. yol için daha az iken 1. ve 4. yolda daha yüksek olduğu Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. İkinci kavşak ikinci tur CO<sub>2</sub> salınımı grafiği

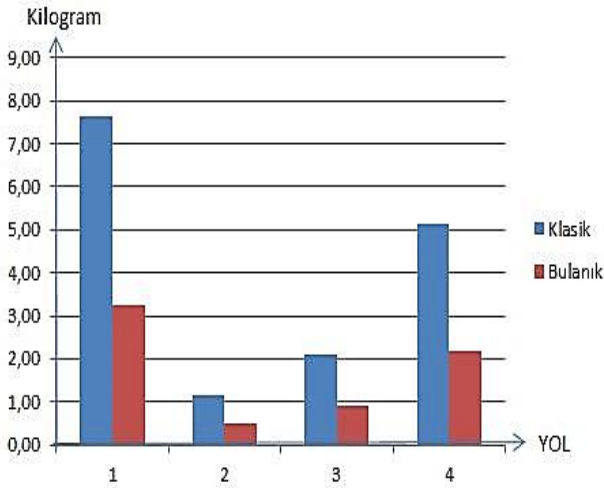
İkinci kavşak 3. turda bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir yol için klasik yöntemden daha düşük CO<sub>2</sub> salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 3. yol için daha az iken 1. ve 4.yolda daha yüksek olduğu Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. İkinci kavşak üçüncü tur CO<sub>2</sub> salınımı grafiği

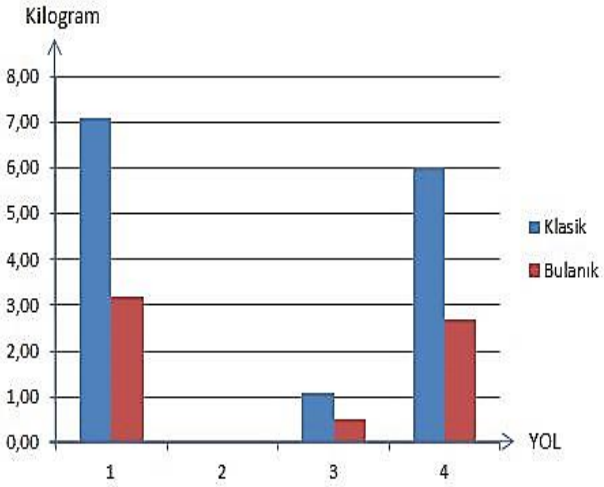
İkinci kavşak 4. turda bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir yol için klasik yöntemden daha düşük CO<sub>2</sub> salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 2. ve 3. yol için daha az iken 1. ve 4. yolda daha yüksek olduğu Şekil 7'de görülmektedir.





Şekil 7. İkinci kavşak dördüncü tur CO<sub>2</sub> salınımı grafiği

İkinci kavşak 5. turda bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir yol için klasik yöntemden daha düşük CO<sub>2</sub> salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 3. yol için daha az iken 1. ve 4. yolda daha yüksek olduğu Şekil 8'de görülmektedir.

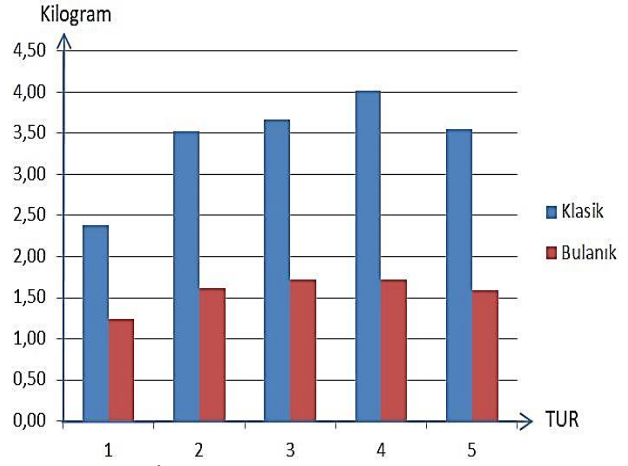


Şekil 8. İkinci kavşak beşinci tur CO<sub>2</sub> salınımı grafiği

İkinci kavşakta bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir tur için klasik yöntemden daha düşük CO<sub>2</sub> salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 1. tur için daha az iken 4. ve 5. turda daha yüksek olduğu Şekil 9'da görülmektedir.

İkinci kavşakta bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin tamamında klasik yöntemden daha düşük boşa harcanan yakıt miktarına sahip olduğu ve daha az CO<sub>2</sub> salınımına sebep olduğu görülmektedir. İki yöntem

arasındaki farkın 10 dakikalık, 1 saatlik, 8 saatlik, 1 aylık ve 1 yıllık süre sonunda ne kadar kazanç sağladığı Tablo 7 ve Tablo 8'de görülmektedir.



Şekil 9. İkinci kavşak için CO<sub>2</sub> salınımı grafiği

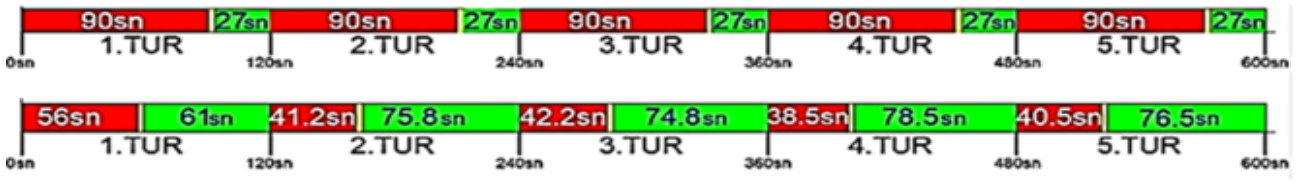
Tablo 7. İkinci kavşak için yakıt ve CO<sub>2</sub> salınımının 1 saate kadarki tasarruf miktarları

5 Turun Ortalama Değerleri (10dk'lık)		1 Saatin Ortalama Değeri
Toplam Yakıt Tasarrufu (lt)	16,37	98,21
Her Turdaki Ort. Yakıt Tasarrufu (Lt)	3,27	
Salınımı Önlenecek CO <sub>2</sub> Miktarı (Kg)	36,99	221,96
Salınımı Önlenecek Ort. CO <sub>2</sub> Miktarı (Kg)	7,40	

Tablo 8. İkinci kavşak için yakıt ve CO<sub>2</sub> salınımının 1 yıla kadarki tasarruf miktarları

1 Saatin Ortalama Değeri	8 Saatin Ortalama Değeri	1 Aylık Ortalama Değeri (Ton)	1 Yıllık Ortalama Değeri (Ton)
98,21	785,71	23571,23	286783,27
221,96	1775,70	53,27	648,13

Birinci kavşaktan hemen sonra gelen ardışık olan ikinci kavşağın sırasıyla üstte klasik yöntemle, altta bulanık yöntemle olan kırmızı ışık, sarı ışık ve yeşil ışık süreleri Şekil 10'da verilmiştir. Sarı ışık yanma süresi bir periyot için 3 sn kabul edilmiştir.



Şekil 10. Klasik ve bulanık yöntemle ışık sürelerinin karşılaştırılması

Bu çalışmada, trafik sinyalizasyonunun gömülü sistem ve bulanık mantıkla kontrolü yapılarak trafiğin yoğun olduğu ardışık kavşaklardaki kırmızı ışık süreleri optimize edilmiştir. Çalışmada bulanık mantık kullanılarak yapılan kavşak sinyalizasyonu ile klasik mantık kullanılarak kavşak sinyalizasyonu karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler ile analizler MATLAB programında yapılmıştır. Kavşaktaki yolların araç yoğunluğuna göre değişen kırmızı ışık süreleri karşılaştırılarak çıkarımlar ve değerlendirmeler elde edilmiştir. Rölantide yakıt tüketim değerleri, salınan CO<sub>2</sub> değerleri ve kurtarılan ağaç sayısı saptanmıştır. Toplamda ardışık bu iki kavşak için yılda ortalama 455.844,78 litre yakıt tasarrufu sağlanabilir, bu sayede 1.030,2 ton CO<sub>2</sub> salınımının önlenmesiyle birlikte yılda 46826 ağaç kurtarılabilir.

#### Kaynaklar

- [1] Palandız T. *Trafik Sinyalizasyonunun Çeşitli Parametrelere Göre Bulanık Mantıkla Kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2018.
- [2] Demirci O. *Akıllı Trafik Sinyalizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2007.
- [3] Yeni İnsan. Acaba Kişisel Olarak Karbon Ayak İzimi Ne Kadar? <https://yeniinsanyayinevi.com/karbon-ayak-izi-olcumu/> (Erişim Tarihi: 07.10.2021).
- [4] Rolanti nedir motor rolantide ne kadar yakıt tüketir? <https://www.sekizsilindir.com/2016/08/rolanti-nedir-motor-rolantide-ne-kadar.html> (Erişim Tarihi: 04.05.2020).
- [5] Mediaclick. Bulanık mantık (Fuzzy Logic) nedir? <https://www.mediaclick.com.tr/tr/blog/bulanik-mantik-fuzzy-logic-nedir> (Erişim Tarihi: 12.09.2021).
- [6] BRCTürkiye. Çevre Dostu LPG. <https://www.brcturkiye.com/haber/cevre-dostu-lpg> (Erişim Tarihi: 12.10.2021).
- [7] TÜİK. Motorlu Kara Taşıtları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Moto>
- [8] Güler, Z. *Akıllı Trafik Kontrol Sistemi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2013.
- [9] Dağüstü, H.Ş. *Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Modeli*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.
- [10] Çakır, A., Çalış, H. & Dandıl, E. *PLC Tabanlı Dinamik Trafik Sinyalizasyon ve Araç Hız Ölçüm Sistemi*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2009.
- [11] Jha, M. & Shukla, S. Design of fuzzy logic traffic controller for isolated intersections with emergency vehicle priority system using matlab simulation. <https://arxiv.org/abs/1405.0936> (Erişim tarihi: 02.04.2021).
- [12] Üçüncüoğlu, M. S. *İstanbul Kent İçi Trafik Yönetimi İçin Bir Mantıksal Mimari Plan Çalışması*. (Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 2015).
- [13] Akbulut, H., Güner, C., Yarcı, Ş., & Korkmaz, B. *Determination of traffic light time at signalized intersections with fuzzy logic method*. Jiciviltech, 1(1), 41-56, 2019.
- [14] Harb, A., Durdu, A. & Terzioğlu, H. *Kavşak trafik sinyalizasyon kontrolü için bulanık mantık yöntemi ile gerçek zamanlı sistemin tasarımı ve uygulaması*, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı, 490-497, 2019.
- [15] Gonca, C.K. & Gülsün, B. *Adaptif trafik yönetim sistemleri*, Dergi Park, 2(1), 32 - 40, 2019.
- [16] Şenol, R., Gençkal, A. A. & Tosun, M.F. *Modern kontrol yöntemleri ile bulanık mantık temelli oda sıcaklık kontrolü*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(3), 992-999, 2019.